

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -
Tasdawit Akli Muḥend Ulḥağ - Tubirett -



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة أكلي محمد أولحاج
- البويرة -

Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées

كلية العلوم والعلوم التطبيقية

Référence :/MM/2021

المرجع:/م/م / 2021

Mémoire de Master

Présenté au

Département : Génie Électrique

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Réalisé par :

BELAIDI Yazid

Et

MAZOUNI Mohamed

Thème

Optimisation de déploiement dans les réseaux de capteurs sans fil

Soutenu le: /10/2021

Devant la commission composée de :

Mr : SAOUD Bilal	M.C.A	Univ. Bouira	Président
ROUAM Rania		Univ. Bouira	Rapporteur
GRICHE Issame	M.C.B	Univ. Bouira	Examinateur

Dédicace

Louange à dieu tout puissant, qui nous a permis de voir ce jour tant a attendu.

Ce projet de fin d'étude est dédié à nos chers parents, qui nous ont toujours motivés et poussé dans nos études.

Sans eux, ont n'aurais certainement pas fait des études longues. Ce projet fin d'étude représente donc l'aboutissement du soutien et des encouragements qu'ils nous ont prodigués tous au long de notre scolarité.

A nos chères sœurs et chers frères, pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.

A tous nos familles, pour leur soutien tout au long de notre parcours universitaire.

A nos amis (es) et collègues, et tous ceux qui nous ont aidé durant le parcours de nos études.

Yazid et Mohamed.

Remerciements

Tout d'abord nous remercions de plus profond de nos cœurs **ALLAH** le tout puissant, de nous avoir donné la santé et la volonté d'accomplir ce modeste travail. .

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à notre promotrice mademoiselle **Rouam Rania** de nous avoir proposé ce sujet de mémoire et de l'attention qu'il a porté à notre travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres de jury qui nous font l'honneur d'accepter de juger ce travail, et pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous remercions tout particulièrement les professeurs de l'université Akli Mohand Oulhadj notamment ceux du département de génie électrique.

Sans oublier de remercier nos amis, nos proches et toutes les personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Et pour finir, nous présentons nos remerciements les plus sincères à nos chères familles, particulièrement à nos parents pour leur encouragement durant toutes nos années d'étude.

Table des matières

Table des matières	i
Liste des figures	iv
Liste des tableaux	vi
Abréviation	vii
Introduction Générale	1

Chapitre 01 : Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil

1.1	Introduction.....	2
1.2	Présentation des réseaux de capteurs.....	2
1.2.1	Définition d'un capteur	2
1.2.2	Définition d'un réseau de capteurs.....	3
1.3	Architecture de réseaux de capteurs.....	4
1.3.1	Architecture d'un capteur	4
1.3.2	Architecture d'un réseau de capteur	5
1.4	Caractéristiques des réseaux de capteurs	6
1.5	Domaine d'application des réseaux de capteurs sans fil.....	7
1.6	Facteurs et contraintes de conception d'un RCSF	8
1.6.1	Contraintes conceptuelles	8
1.6.2	Contraintes matérielles	10
1.7	Communication dans les réseaux de capteurs	11
1.7.1	Pile protocolaire	11
1.8	Conclusion.....	13

Chapitre 02 : Techniques de déploiement dans lesRCSF

2.1	Introduction.....	14
2.2	Déploiement	14
2.2.1	Les phases de déploiement	14
2.2.2	Les méthodes de déploiement.....	15

2.3	Couverture	15
2.4	Connectivité	17
2.5	Communication	18
2.6	Durée de vie.....	19
2.7	Stratégies de déploiement des nœuds dans les RCSF	20
2.7.1	Objectifs visés	21
2.8	Conclusion.....	26

Chapitre03 : Routage dans les RCSF

3.1	Introduction.....	27
3.2	Collecte d'information dans les RCSF	27
3.2.1	Collecte à la demander	27
3.2.2	Collecte suite à un événement	28
3.3	Classification des protocoles de routage dans les RCSF.....	28
3.3.1	Classification selon la structure de réseau	29
3.3.2	Classification selon le fonctionnement de protocole	34
3.3.3	Classification selon l'établissement de la route.....	36
3.4	Conclusion.....	37

Chapitre04 :Stratégie proposé pour l'optimisation de déploiement (couverture totale et consommation énergétique réduite

4.1	Introduction.....	38
4.2	Problématique	38
4.3	Stratégie proposé.....	40
4.3.1	Phase de déploiement	40
4.3.2	Phase de routage.....	41
4.4	Conclusion	44

Chapitre05 : Evaluation des performances

5.1	Introduction.....	45
5.2	Simulateurs des réseaux de capteurs existants	45
5.2.1	OPNET (<i>Optimum NETWORK Performance</i>).....	45
5.2.2	GloMoSim (<i>Global Mobile information system Simulator</i>).....	45
5.2.3	OMNeT++ (<i>Objective Modular Network Test-bed in C++</i>)	45
5.2.4	NS3 (<i>Network Simulator version3</i>).....	46
5.3	Outils de simulation	46
5.4	Simulation de proposition pour le déploiement.....	46
5.4.1	Paramètres de simulation.....	46
5.4.2	Caractéristiques du système.....	47
5.4.3	Scenario de la simulation.....	47
5.4.4	Résultat de simulation	48
5.5	Discussion et résultat	51
5.6	Conclusion.....	52
	Conclusion générale et perspectives.....	53
	Bibliographie	54

Liste des figures

Chapitre 01 : Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil

Figure 1.1 : Capteur sans fil.....	3
Figure 1.2 : Architecture d'un capteur	4
Figure 1.3 : Architecture d'un réseau de capteurs sansfil.....	6
Figure 1.4: Applications des réseaux de capteurs sans fil	8
Figure 1.5 : Pile protocolaire dans les RCSF	11

Chapitre 02: Techniques de déploiement dans les RCSF

Figure 2.1 : Illustration d'un déploiement aléatoire des capteurs	15
Figure 2.2: Illustration d'une couverture simple.....	16
Figure 2.3 : Illustration d'une couverture multiple	17
Figure2.4: Communication multi-sauts	19
Figure2.5: Taxonomie des stratégies de déploiement de nœuds dans un RCSF	20
Figure2.6: Zone de couverture d'un capteur.....	22
Figure 2.7: Topologie en bande	23
Figure 2.8: topologie hexagonal.....	23
Figure 2.9: topologie carré.....	23
Figure 2.10: topologie triangulaire.....	24

Chapitre 03 : Routage dans lesRCSF

Figure 3.1: Collecter les informations à la demande.....	28
Figure 3.2: Collecter les informations suit à un puits.....	28
Figure 3.3: Classification selon structure de réseau.....	29
Figure 3.4: Problème d’implosion.....	30
Figure 3.5: Problème d’overlap.....	30
Figure 3.6: Protocole de routage LEACH.....	33
Figure 3.7: Classification selon le fonctionnement du réseau.....	34
Figure 3.8: Classification selon l’établissement de la route.....	36

Chapitre 04 : Stratégie proposé pour l’optimisation de déploiement (couverture totale et consommation énergétique réduite)

Figure 1.1 : Exemple d’une grille triangulaire.....	41
Figure 1.2 : Illustration d’une clusterisation à un seul-saut et à deux-saut.....	43

Chapitre 05: Evaluation des performances

Figure 5.1 : Distribution des nœuds (un déploiement déterministe).....	47
Figure 5.2: Variation du nombre des nœuds opérationnels en fonction du nombre de tour (a) :LEACH de la proposition. (b) : LEACH aléatoire.....	48
Figure 5.3 : Variation du nombre des nœuds opérationnels en fonction du nombre de tour (a) : LEACH déterministe (b) :LEACH aléatoire.....	49
Figure 5.4: variation d’énergie en fonction du nombre des transmissions effectuées.....	50

Liste des tableaux

Chapitre 05: Introduction à la Biométrie

Tableau 5. 1 :Paramètres de simulation.....46

Abréviation

ADC: Analog to Digital Converter.

ADV: Advertising.

CH: Cluster – Heads.

CSMA/CA: Carrier Sence Multiple Access with Collision Avoidance.

DD: Directed Diffusion

GAF: Geographique Adaptive Fidelity.

GloMoSim: Global Mobile information system Simulator

LEACH: Low-energy Adaptive Clustering Hierarchy.

MAC: Medium Access Control

MFR: Most Forward within Radius.

NC: Nœudcollecteur

NS3: Network Simulator version3

NS:Nœudsenseur

OMNeT++: Objective Modular Network Test-bet in C++

OPNET: *Optimum NETWORK Performance*

OSI: Open system interconnection

QoS: Quality of Service.

PARSEC : PARallel Simulator Environment for Complex System

RCSF : Réseaux de Capteurs Sans Fil.

REQ :REQuete.

SB : Station de Base.

SPIN: Sensor Protocols for Information via Negation.

TDMA: Time Division Multiple Access.

WSN : Wireless Sensor Networks.

*Introduction
générale*

Introduction Générale

Les réseaux de capteurs sans fil (*RCSF*) ou Wireless Sensor Network en anglais (*WSN*), sont des réseaux constitués d'un grand nombre d'unités appelées nœuds. Chaque nœud se compose d'un transducteur ou d'un capteur, d'un module de traitement et d'un module de communication. Les nœuds sont dispersés dans des endroits de la zone de surveillance difficilement accessibles et organisés selon une topologie de réseau fixe ou mobile ad hoc pour transmettre des informations à l'unité de contrôle en dehors de cette zone. Les capteurs sont équipés de très petites batteries, de faible autonomie et non remplaçables. Le réseau doit donc remplir sa mission tout en économisant l'énergie des nœuds. Le but du réseau de capteurs est déterminé par la capacité de router une grande quantité d'informations vers la station de base, ce qui garantit une longue durée de vie du réseau. Le routage est l'une des préoccupations majeures des réseaux de capteurs sans fil car la communication des données capturées s'effectue saute jusqu'à ce que les données atteignent leur destination.

Dans cette mémoire, nous allons traiter le problème de l'optimisation de déploiement, et nous proposons une topologie de déploiement qui sert à prolonger la durée de vie de réseau, avec le protocole LEACH. La suite de cette mémoire est structurée de la façon suivante :

Le **premier chapitre** de notre mémoire est consacré à la présentation générale des capteurs et réseaux de capteurs sans fil en décrivant leurs caractéristiques générales ainsi que leurs architectures et finalement les domaines d'applications de ces derniers.

Le **deuxième chapitre** est une présentation des objectifs de déploiement ainsi que la description des stratégies de déploiement.

Dans le **troisième chapitre** nous étudions la technique de routage, débutons par la définition classification et les facteurs de conception de protocole de routage ensuite nous expliquons les protocoles de routage sans fil basé sur la mobilité des capteurs.

Le **quatrième chapitre** est l'objectif de notre mémoire, nous proposant une nouvelle topologie de déploiement et notre problématique de déploiement.

Dans le **dernier chapitre** nous présentons les résultats et les discussions de notre simulation avec Matlab.

Nous terminons ce mémoire avec une conclusion générale qui résume notre travail en citant quelques perspectives.

*Généralités sur les réseaux
de capteurs sans fil*

Chapitre 01 : Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil.

1.1. Introduction

Les RCSF ou Wireless Sensor Networks (WSN) en anglais sont considérés comme un type particulier de réseaux ad hoc. Les nœuds de ce type de réseaux consistent en un grand nombre de capteurs capables de s'auto organiser, récolter et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome.

Cette cohabitation sert à un développement fulgurant des technologies en matière de communication à travers des réseaux sans fil, mobiles et dotés de capteurs sans cesse miniaturisés. Cette nouvelle technologie se fonde sur la collecte de l'information et sa transmission, c'est ainsi que nous avons assisté à l'émergence des capteurs sans fil. Ces capteurs peuvent être reliés formant ainsi un réseau sans fil se basant sur des protocoles pour se communiquer et proposer des programmes et des réseaux embarqués [1].

Ce premier chapitre est consacré à des généralités sur les RCSF (réseaux des capteurs sans fil). Nous allons aborder des définitions, des notions générales, des domaines d'application, l'architecture, les caractéristiques et la classification de ces réseaux.

1.2. Présentation des réseaux de capteurs

1.2.1. Définition d'un capteur

Un capteur est un dispositif qui transforme une grandeur physique (*température, pression, position, concentration, etc.*) en un signal (*souvent électrique*) qui renseigne sur cette grandeur. Ce capteur est caractérisé par :

- Rayon d'émission : environ 100m.
- Position : coordonné (x, y, z).
- Énergie : capacité de batterie.
- Cout d'émission /puissance d'énergie : d^4 [2].

Un capteur sans fil est un petit dispositif électronique qui permet de mesurer une valeur physique environnementale (*température, lumière, pression, etc.*) et de la communiquer à un centre de contrôle via une station de base [3].

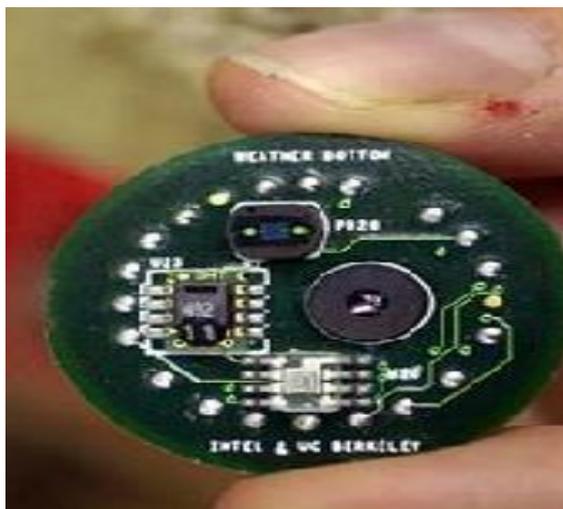


Figure 1.1 : Capteur sans fil [4].

1.2.2. Définition d'un réseau de capteurs

Un Réseau de Capteurs Sans Fil (*RCSF*) ou Wireless Sensor Network (*WSN*) est un réseau informatique composé de petits dispositifs autonomes, fixés ou dispersés aléatoirement dans une zone d'intérêt [5], utilisant des capteurs coopérant en vue de surveiller des conditions environnementales ou physiques, comme : la température, le son, les vibrations, la pression, le mouvement, etc. [6]. Pour les applications environnementales, les données recensées permettent une intervention beaucoup plus rapide et efficace des secours. Mais l'information fournie par le réseau est beaucoup plus utile 'il est possible de déterminer dans quelle partie de la zone surveillée cette information a été recensée. Supposons qu'un réseau de capteurs est déployé pour surveiller une forêt (*détecter le feu en mesurant la température de l'air*), des résultats utiles de ce réseau seraient non seulement le signal que la température de l'air est très élevée, mais également dans quelle partie de la forêt surveillée le feu a commencé, pour permettre de combattre le feu plus efficacement. Puisque les réseaux de capteurs sans fil peuvent être déployés dans des terrains inaccessibles, la position des nœuds capteurs ne peut-être prédéterminée. En conséquence, un système de localisation est requis afin de fournir des informations de position aux nœuds. Parfois, la localisation de nœuds capteurs est indispensable dans l'observation d'événements, ou la poursuite d'objets.

1.3. Architecture des réseaux de capteurs

1.3.1. Architecture d'un capteur

Un nœud capteur est composé de quatre composants de base [7], comme représenté dans la Figure 1.2 :

- Une unité d'acquisition.
- Une unité de traitement.
- Une unité de communication.
- Une source d'énergie.

Ils peuvent également avoir d'autres composants dépendant de l'application telle qu'un système de localisation, un générateur d'énergie et un mobilisateur.

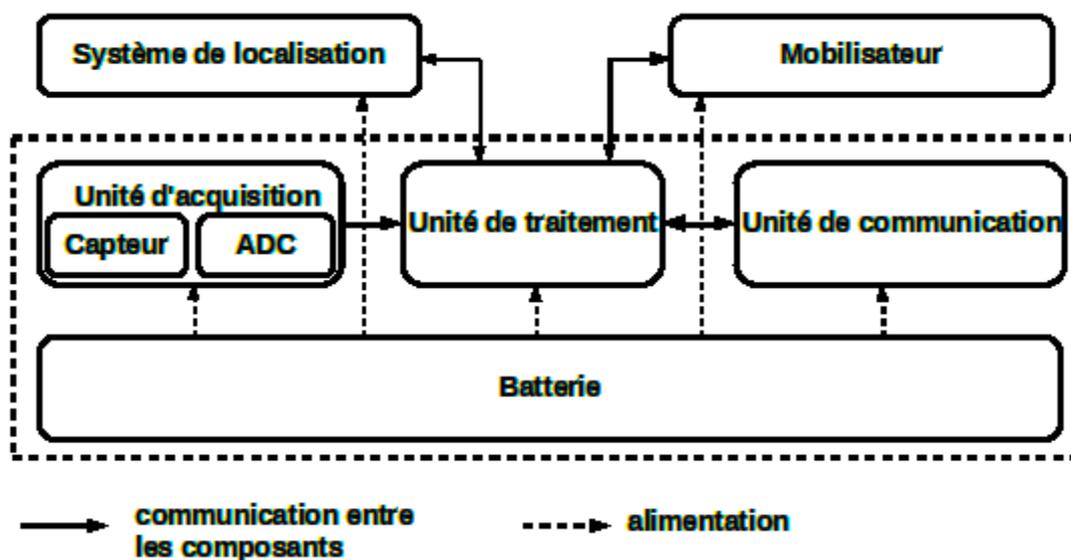


Figure 1.2 : Architecture d'un capteur. [7]

- Unité d'acquisition (ou de captage) :

Elle est généralement composée de deux sous unités, un capteur et un convertisseur analogique-numérique ADC (*Analog-to-Digital Converter*). Les capteurs obtiennent des mesures sur les paramètres environnementaux et les transforment en signaux analogiques. Les

ADCs convertissent ces signaux analogiques en signaux numériques. Ces derniers alimenteront l'unité de traitement.

- Unité de traitement :

Cette partie est composée d'une petite unité de stockage pour stocker les données collectées, et d'un processeur pour traiter les données et contrôler les procédures permettant au nœud capteur de collaborer avec d'autres nœuds pour réaliser les tâches d'acquisition.

- Unité de communication (*émetteur-récepteur ou transceiver en anglais*) :

Cette unité est composée d'un émetteur/récepteur. C'est l'unité permettant aux nœuds du réseau de communiquer entre eux via un support de communication radio.

- Batterie :

C'est un composant important d'un nœud capteur qui sert à alimenter les autres unités pour fonctionner. La capacité d'énergie limitée au niveau des capteurs représente la contrainte principale lors de la conception des protocoles pour les réseaux de capteurs. Et les batteries ne sont, généralement, ni rechargeables ni remplaçables.

1.3.2. Architecture d'un réseau de capteur

Un RCSF est composé de plusieurs nœuds. Chaque capteur est doté d'un module d'acquisition qui lui permet de mesurer des informations environnementales : température, humidité, pression, accélération, sons, image, vidéo etc.

Les données collectées par ces nœuds capteurs sont routées vers une ou plusieurs stations de base ou nœud puits (*sink en anglais*). Ce dernier est considéré comme un point de collecte de données capturées. Il peut communiquer les données collectées à l'utilisateur final à travers un réseau de communication, éventuellement l'internet ou un satellite. L'utilisateur peut à son tour utiliser la station de base comme passerelle, pour transmettre ses requêtes au réseau, comme montré dans la figure 1.3. Généralement, un RCSF est composée de quatre éléments : les nœuds capteurs, une station de base, phénomène à mesurer et l'utilisateur [8] [9].

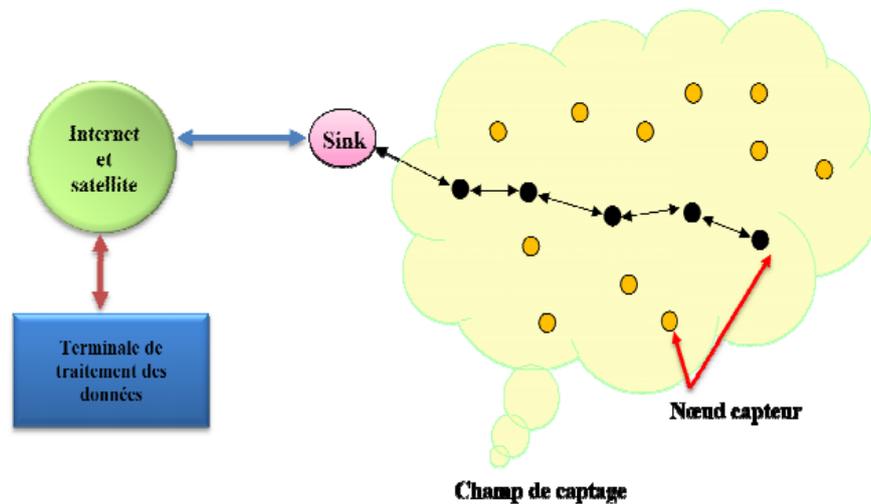


Figure 1.3 : Architecture d'un réseau de capteurs sans fil [9].

1.4. Caractéristiques des réseaux de capteurs

Il existe plusieurs caractéristiques relatives au réseau, nous citons :

- Bande passante :

Dans les RCSF, la bande passante utilisée est très réduite, et les échanges des messages protocolaires destinés au bon fonctionnement des protocoles de communication (*overhead*) sont limités au maximum.

- Densité :

Certaines applications des réseaux de capteurs sans fil exigent une forte densité des nœuds capteurs ce qui permet d'avoir des résultats de mesure fiables, d'exclure l'isolement des nœuds et de favoriser l'utilisation des communications multi-sauts qui sert à consommer moins d'énergie que les communications traditionnelles à un seul saut. Néanmoins, elle engendre des problèmes de communication non négligeables notamment la congestion.

- Types de communication inter-nœuds :

Il existe plusieurs types de communication dans les RCSF, nous citons :

- **Unicast** : utilisé pour échanger des informations entre deux nœuds capteurs dans un réseau.

- **Broadcast** : la station de base diffuse des informations vers tous les nœuds du réseau. Ces informations peuvent être des requêtes de données, des mises à jour de programmes ou des paquets de contrôle.

-Local Gossip: cette tâche est utilisée par des nœuds déployés dans une région bien déterminée qui collaborent ensemble pour avoir une meilleure estimation de l'évènement observé et d'éviter l'émission du même message vers la station de base (SB).

-Multicast : Il permet une communication entre un nœud et un groupe de nœuds.

1.5. Domaine d'application des réseaux de capteurs sans fil

Les réseaux de capteurs sans fil sont généralement utilisés pour contrôler certaines activités et surveiller des événements dans un domaine ou dans un environnement spécifique. Les réseaux de capteurs sans fil ont trouvé leur place dans une grande variété d'applications et systèmes, avec des besoins et des caractéristiques nettement différents. Des exemples d'applications potentielles dans différents domaines sont exposés ci-dessous [10] :

- **Applications militaires** : On peut penser à un réseau de capteurs déployé sur un endroit stratégique ou d'accès difficile, afin de surveiller toutes les activités des forces ennemies, ou d'analyser le terrain avant d'envoyer des troupes (*détection d'agents chimiques, biologiques ou de radiations*).
- **Applications domestiques** : En plaçant, sur le plafond ou dans le mur, des capteurs, on peut économiser l'énergie en gérant l'éclairage ou le chauffage en fonction de la localisation des personnes.
- **Applications environnementales** : Dans ce domaine, Les réseaux de capteurs sont beaucoup appliqués afin de détecter des incendies, surveiller des catastrophes naturelles, détecter des pollutions et suivre des écosystèmes.
- **Applications agricoles** : Dans les quelles, les capteurs peuvent être sèmes avec les graines. Aussi avec les zones sèches qui soient facilement identifiées et l'irrigation sera donc plus efficace.
- **Applications médicales** : Les réseaux de capteurs ont aussi plusieurs applications dans le domaine de diagnostic médical, nous citons : des micro-caméras sont capables, sans avoir recours à la chirurgie, de transmettre des images d l'intérieur d'un corps humain avec une autonomie de 24 heures.

- **Application industrielle** : L'intégration des micro-capteurs dans un processus de stockage et de livraison de marchandises peut être utilisée pour connaître la position, l'état et la direction d'un paquet ou d'une cargaison. Pour les entreprises manufacturières, les réseaux de capteurs permettront de suivre le procédé de production à partir des matières premières jusqu'au produit final livré.



Figure 1.4: Application des réseaux de capteurs [13].

1.6. Facteurs et contraintes de conception d'un RCSF

Les contraintes conceptuelles ou matérielles influencent la conception et la mise en place des RCSF. Ils représentent la base de la conception de protocoles ou d'algorithmes pour les réseaux de capteurs. Ces facteurs sont considérés comme métrique de comparaison de performances entre les différents travaux dans le domaine.

1.6.1. Contraintes conceptuelles

La conception des RCSF, leurs protocoles et algorithmes sont guidés par plusieurs facteurs :

- La tolérance aux pannes :

Les nœuds capteurs peuvent être sujets à des pannes ou des dysfonctionnements engendrés par plusieurs causes, notamment l'épuisement de l'énergie du nœud, l'endommagement physique ou les interactions externes (*chocs, interférences liées à l'environnement, pertes de nœuds*). La défaillance de ces nœuds ne doit pas affecter le fonctionnement global de son réseau. Donc, la tolérance aux pannes est la capacité de maintenir un bon fonctionnement du réseau après une défaillance d'un ou de plusieurs nœuds.

- L'extensibilité (*passage à l'échelle*) :

Le passage à l'échelle est une contrainte liée étroitement à la nature de l'application des réseaux de capteurs sans fil. Selon l'application, le nombre de nœuds déployés pour une zone d'intérêt peut atteindre plusieurs centaines voire des milliers de nœuds. Cependant, les solutions proposées doivent assurer l'efficacité et le bon fonctionnement des réseaux fortement denses.

- Le cout de production :

Le cout de production d'un seul micro-capteur est très important pour l'évaluation du cout global du réseau, si ce dernier est supérieur à celui nécessaire pour le déplacement des capteurs classique, l'utilisateur de cette nouvelle technologie ne serait pas rentable. En conséquence, réduire le cout 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 [11].

- Environnement :

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

- Média de transmission :

Les nœuds communicants sont reliés sans fil. Ce lien peut être réalisé par radio, signal infrarouge ou un média optique.

- Consommation énergétique :

L'économie d'énergie est l'une des problématiques majeures dans RCSF. Les nœuds capteurs qui sont des dispositifs microélectronique, peuvent être équipés seulement d'une source d'énergie limitée ($<0.5 Ah, 1.2V$). En effet, la recharge des sources d'énergie est souvent trop coûteuse et parfois impossible. Alors, il faut que les capteurs économisent au maximum l'énergie pour pouvoir fonctionner. Les réseaux de capteurs fonctionnant selon un mode de routage par saut, chaque nœud du réseau joue un rôle important dans la transmission de données. Le mauvais fonctionnement d'un nœud implique un changement dans la topologie et impose une réorganisation du réseau.

- Agrégation de données :

Dans les réseaux de capteurs sans fil, les données produites par les nœuds capteurs voisins sont très corrélées spatialement et temporellement. Ce qui peut engendrer la réception par la station de base d'informations redondantes. Réduire la répétition de la quantité d'informations transmises par les capteurs permet de réduire la consommation d'énergie dans le réseau et ainsi d'optimiser sa durée de vie. L'une des approches utilisées pour cette réduction est l'agrégation des données (fusion de données).

- Topologie dynamique :

Dans certaines applications, le RCSF doit supporter des topologies denses et dynamiques. Lorsqu'un nouveau nœud rejoint le réseau ou le quitte à cause d'une panne, la topologie de ce réseau devient dynamique. Elle peut également changer dans le cas où les capteurs sont mobiles.

1.6.2. Contraintes matérielles

On peut citer quelque contrainte matérielle liée aux RCSF :

- Puissance de calcul :

Les capteurs utilisent souvent des microcontrôleurs de faibles fréquences. Les processeurs des réseaux de capteurs sont différents de ceux d'une machine classique.

- Dimension :

Une taille réduite des capteurs peut présenter plusieurs avantages, elle permet un déploiement simple et flexible du réseau. Cependant, la petite taille des nœuds capteurs, limite la puissance des batteries utilisées pour alimenter ces derniers.

1.7. Communication dans les réseaux de capteurs

1.7.1. Pile protocolaire

Une architecture en couches est adoptée, dans le but d'améliorer la robustesse du réseau de capteurs sans fil et assurer certaines fonctionnalités. Chaque couche assure d'une manière indépendante une partie des fonctionnalités nécessaires à la communication entre les entités du réseau. Elle utilise le service des couches inférieures et en fournit à celle de niveau supérieur. Ce modèle comprend cinq couches (*une couche application, une couche transport, une couche réseau, une couche liaison de données, une couche physique*) qui ont les mêmes fonctions que celles du modèle OSI, ainsi que 3 plans qui sont : un plan de gestion d'énergie, un plan de gestion de mobilité et un plan de gestion des tâches. La pile protocolaire [14] utilisée par la station de base ainsi que par tous les autres nœuds capteurs du réseau, comme lustré dans la figure 1.5.

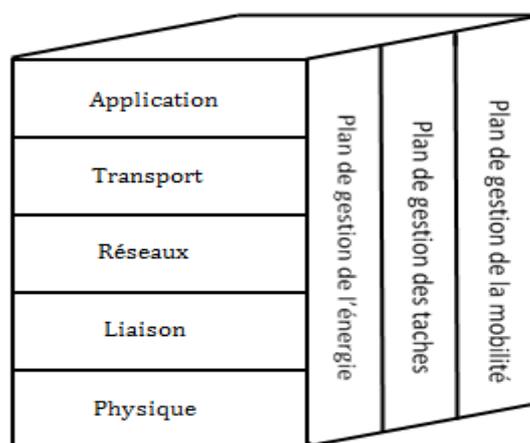


Figure 1.5: La pile protocolaire des RCSF [14].

- La couche physique :

La couche physique est responsable de la bonne émission et réception de données, de la sélection des fréquences et de la détection du signal.

- La couche liaison de données :

Comme l'environnement des réseaux de capteurs est bruyant et les nœuds peuvent être mobiles, la couche MAC doit garantir une faible consommation d'énergie et un taux de collision minimale entre les données diffusées par les nœuds voisins [14].

- La couche réseau :

La couche réseau s'occupe de l'acheminement des données (*trouver une route et une transmission fiable des données*) captées, des nœuds capteurs vers la station de base en optimisant l'utilisation de l'énergie des capteurs.

- La couche transport :

Cette couche est chargée du transport des données sans ré-ordonnement ou duplication, de leur découpage en paquets, du contrôle de flux et de la gestion des éventuelles erreurs de transmission.

- La couche application :

C'est le niveau le plus proche de l'utilisateur géré directement par le logiciel, elle assure l'interface avec les applications. Selon les tâches de détection, différents types d'applications peuvent être implémentés et utilisés sur la couche application.

Les plans intégrés dans la pile protocolaire dans les RCSFs, assurent les fonctions suivantes :

- Le plan de gestion d'énergie :

La vie du nœud montre une dépendance forte à l'égard de la vie de la batterie. Les fonctions intégrées à ce niveau permettent de gérer l'énergie consommée par les capteurs. Un capteur peut par exemple éteindre son interface de réception radio dès qu'il reçoit un message d'un nœud voisin afin d'éviter la réception des messages dupliqués.

- Le plan de gestion de mobilité :

Selon le type d'application, les nœuds capteurs peuvent être mobiles. Ce plan est responsable d'enregistrer les mouvements d'un nœud et de connaître sa localisation.

- Plan de gestion de tâches :

Le niveau de gestion des tâches assure l'équilibrage et la distribution de ces dernière sur les différents nœuds du réseau pour assurer un travail coopératif et efficace en matière de consommation d'énergie, ce qui permet de prolonger la durée de vie du réseau.

1.8. Conclusion

Dans ce présent chapitre, nous avons présenté quelques définitions de base sur les RCSF (*réseaux des capteurs sans fil*) et donné une vue générale sur les réseaux de capteurs sans fil, en décrivant leurs architecture, leurs classification et leurs caractéristiques. Puis, nous avons cité ses domaines d'application. Ensuite, nous avons parlé sur les factures et contraintes de conception des RCSF ainsi que la communication dans ces réseaux. Dans le chapitre suivant, nous allons discuter sur présentation des objectifs de déploiement ainsi que la description des stratégies de déploiement.

*Techniques de déploiement dans les
RCSF*

Chapitre 2 : Techniques de déploiement dans les RCSF.

2.1. Introduction

Le processus de déploiement des nœuds capteurs influence la performance d'un RCSF. La problématique de déploiement ou le placement des nœuds capteurs dans un RCSF est une technique qui permet de définir la topologie du réseau, donc le nombre et la position des nœuds capteurs. La qualité de la surveillance, la connectivité, et la durée de vie sont aussi directement affectées par la topologie de réseau. Dans ce chapitre, nous présentons les différentes techniques, méthodes et les stratégies de déploiement des nœuds dans les RCSF. Enfin nous terminons par une conclusion.

2.2. Déploiement

Le déploiement d'un plusieurs nœuds nécessite une maintenance de la topologie. Cette maintenance consiste en trois phases. Une phase de pré-déploiement, Une phase de post-déploiement et une phase de redéploiement. Le système peut itérer sur les phases 2 et 3. Différentes problématiques ont été étudiées au niveau du déploiement des nœuds capteurs dans un RCSF.

Dans [12], Les auteurs proposent une étude détaillée du déploiement dans le cas statique. Ils distinguent deux méthodologies de déploiement selon la distribution des nœuds (*soit aléatoire, soit contrôlé*). Les objectifs primaires traités sont différents, la connectivité du réseau, la durée de vie du réseau, le trafic du réseau, la fiabilité des données, le cout de déploiement (*fonction du nombre de nœuds déployés*) et la tolérance aux pannes et l'équilibrage de charge entre les nœuds.

2.2.1. Les Phases de déploiement

- **Pré-déploiement ou déploiement** : cette phase concerne le placement manuel des nœuds par un humain, un robot ou par le lancement des nœuds à partir d'un hélicoptère par exemple.
- **Post-déploiement** : il est nécessaire si la topologie du réseau a évolué, suite par exemple à un déplacement de nœuds, ou un changement des conditions de propagation radio.
- **Redéploiement** : consiste à ajouter de nouveaux nœuds au réseau afin de remplacer certains nœuds défectueux ou en panne.

Ces études concernent principalement les cas stationnaires et mobiles, les cas mono et multi objectifs, les aspects déterministes et stochastiques, et enfin les cas statiques et dynamiques.

2.2.2. Les méthodes de déploiement

Les formes de déploiement varient en fonction des besoins des applications. Il existe deux types de déploiement : le déploiement déterministe et aléatoire.

- Déploiement déterministe

Ce type de déploiement se trouve dans les applications de contrôle, de multimédia et de surveillance corporelle. Il est utilisé lorsque la zone d'intérêt accessible. Dans ce cas, les nœuds capteurs sont placés dans des positions fixes et connues selon un plan prédéfini .cette méthode devient trop recommandé grâce a la précision de ces mesures ce qui impose un emplacement approprié des nœuds capteurs.

- Déploiement aléatoire

Contrairement au premier type, cette phase est utilisée pour déployer les nœuds-capteur dans des zones inaccessibles. Ces nœuds capteurs sont éparpillés généralement, soit par hélicoptère, drone, l'avion, lances grenades ou par des bombes en grappes, comme montre dans la figure 2.1, ce qui entraîne une distribution aléatoire des nœuds-capteurs. En effet, le nombre de nœud-capteurs à déployer est trop important et le coût de placer chacun d'une façon planifiée est élevée.

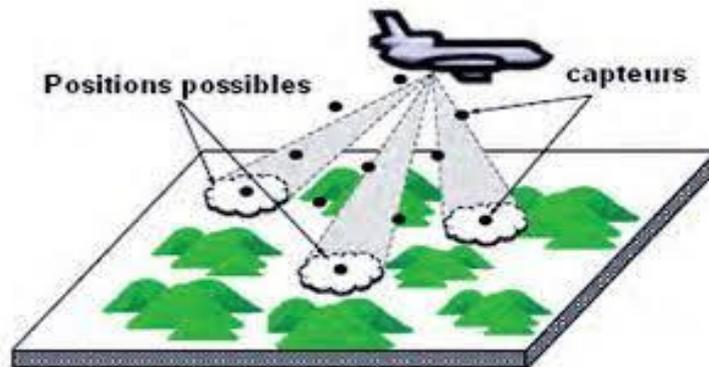


Figure 2.1 : Illustration d'un déploiement aléatoire des capteurs [12].

2.3. Couverture

Dans les RCSF, la couverture est considérée comme une mesure de performance très importante. Cette couverture reflète la façon dont une zone donnée est surveillée, c'est-à-dire comment chaque point de la zone de contrôle est observée et suivie par l'ensemble des nœuds capteurs [13]. Ainsi, la notion de couverture dans les RCSF peut être vue comme une mesure

de la QoS.

Il existe plusieurs facteurs de déploiement d'un réseau de capteur, nous parlerons sur la couverture qui est considérée comme l'une des métriques de la qualité de service. Lorsqu'un événement est détecté dans cette zone donc il est surveillé. La zone est surveillée par un rayon de capteur.

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.

- Types de couverture

Il existe deux types de couverture dans les RCSF : une couverture simple et k-couverture qui est définie comme une multitude de couvertures simples et dépendantes de la robustesse et du degré de l'application [14].

- **Couverture simple** : Lorsque de la surveillance d'une zone dans un moment t donné des capteurs N sont déployer pour surveiller cette zone et k est un entier positive appelé degré de couverture. Quand $k=1$, on a une couverture simple, ou tous les points de la zone surveiller doit être couverte par des capteurs actifs.

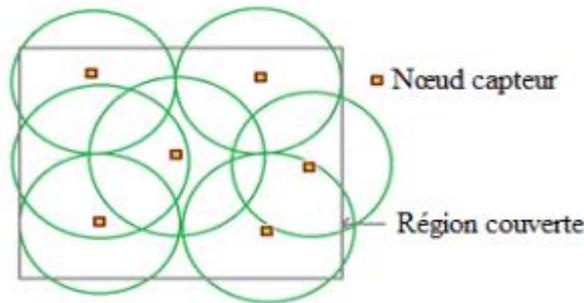


Figure 2.2 : Illustration d'une couverture simple [14].

- **Couverture multiple** : Une zone est dite k-couverte ou multiple si tout point p peut être surveillé par au moins k capteurs actifs ou bien s'il existe k ensembles disjoints de nœuds actifs, chacun couvrant la zone une fois [14].

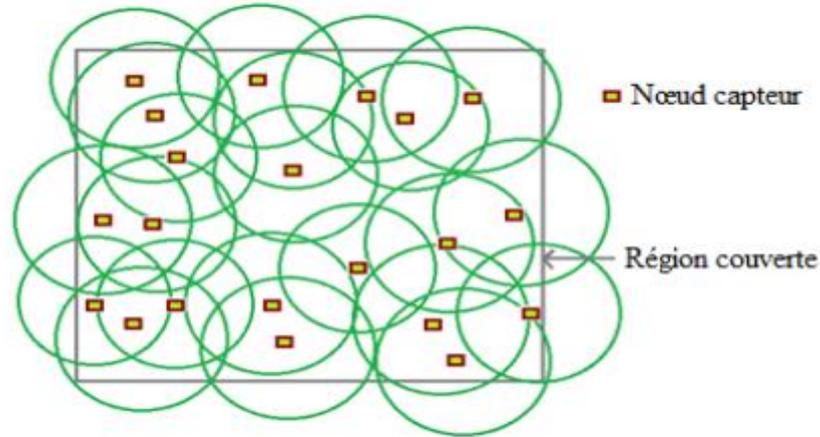


Figure 2.3 : Illustration d'une couverture multiple. [14]

2.4. Connectivité

Dans un RCSF, deux nœuds sont connectés si et seulement si ils peuvent communiquer directement (*connectivité à un saut*) ou indirectement (*connectivité multi-saut*). Ce réseau est connecté s'il existe au moins une route entre chaque nœud du réseau et la station de base [13]. D'après ces deux définitions, nous pouvons constater que la connectivité dépend donc essentiellement de l'existence de routes. Elle est ainsi affectée par les changements de topologie dus généralement aux défaillances de nœuds, à la mobilité, etc. Ces changements ont pour conséquences la perte des liens de communication, l'isolement des nœuds, le partitionnement du réseau, etc.

La connectivité dans les RCSF est considérée comme un paramètre très important pour mesurer les performances 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.

- Type de connectivité

Il existe deux types de connectivité dans les RCSF : la connectivité complète et la connectivité intermittente [14].

- **Connectivité complète :** 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

etelle 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.

- **Connectivité intermittente :** elle est garantie en utilisant par exemple un (*ou plusieurs*) stations de base mobiles se déplaçant afin de recueillir les mesures collectées par les nœuds capteurs déconnecter.

2.5. Communication

Dans les réseaux de capteurs, les nœuds sont déployés dans un environnement sans infrastructure, n'ayant aucune information sur la topologie globale même locale du construit. Pour cela, les capteurs doivent graduellement établir l'infrastructure de communication durant une phase d'initialisation. Cette infrastructure doit leur permettre de répondre aux requêtes venant des sites distants, d'interagir avec l'environnement physique et de transmettre les données captées via une communication multi-sauts.

- Transmission des informations dans les RCSF

Il existe deux manières de procéder pour transmettre des données d'un nœud source à un nœud destinataire (*puits ou point de collecte*). Nous pouvons utiliser une transmission de longue portée donc avec un seul saut afin de transmettre des données vers le point de collecte ou nous avons la possibilité d'utiliser le multi-saut qui permet de transmettre à des nœuds voisins et ainsi de suite vers le point de collecte. Comme évoqué dans les notions précédentes, la consommation énergétique sera proportionnelle à la distance séparant le nœud transmetteur et le nœud de réception, nous pouvons en conclure que le multi saut consomme moins d'énergie [15]. Dans ce cas, Il s'agit d'un réseau ad-hoc, ce type de transmission de données reste le plus utilisé pour les réseaux de capteur sans fils et qui correspond au mieux au vu de sa consommation énergétique.

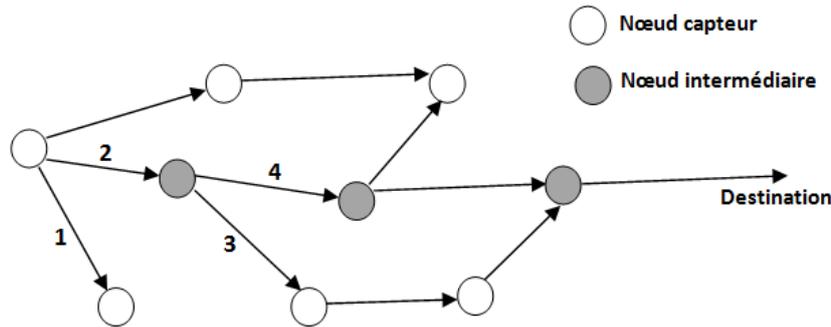


Figure 2.4 : Communication multi-sauts [15].

2.6. Durée de vie

La durée de vie est une métrique d'évaluation de performance très importante dans les RCSF. La durée de vie du RCSF est définie comme étant la durée pendant laquelle le réseau assure toutes les fonctionnalités du réseau (*couverture, connectivité, etc.*), c'est-à-dire, la durée de vie RCSF mesure dans ce cas, le temps qui s'écoule entre le début de la mise en service du réseau jusqu'à ce que le premier nœud de celui-ci devienne défaillant, et par la suite ne soit plus fonctionnel.

La défaillance d'un nœud capteur est généralement due à une panne de celui-ci, par l'exemple l'épuisement de son énergie résiduelle. Autrement dit, la durée de vie peut être définie comme étant le temps qui s'écoule entre la mise en service du réseau jusqu'au temps où le premier nœud du RCSF épuise complètement son énergie. Par conséquent, la durée de vie d'un nœud capteur dans le RCSF dépend essentiellement de la consommation énergétique du nœud en fonction du temps. Cette durée de vie dépend également de l'application mise en œuvre et peut varier entre des heures et des années selon les types d'applications des RCSF.

L'énergie est le principal facteur directement lié à la durée de vie d'un réseau de capteurs. Étant donné que la seule source d'énergie d'un capteur est une batterie à durée de vie limitée, la capacité énergétique des capteurs doit être utilisée efficacement pour maximiser la durée de vie du réseau. L'optimisation énergétique doit être prise en compte quel que soit le problème abordé. Une fois qu'un capteur a épuisé son énergie, il est considéré comme étant défectueux. Lorsque le capteur manque d'énergie, il est considéré comme défectueux. En raison de cette perturbation, il est probable que la connectivité réseau sera interrompue. Par conséquent, il s'agit d'une stratégie efficace pour prolonger la durée de vie du réseau en réduisant les pertes d'énergie.

2.7. Stratégies de déploiement des nœuds dans les RCSF

Les recherches sur les RCSF sont focalisés sur les aspects liés au fonctionnement et au non-fonctionnement, tout en faisant face aux contraintes matérielles (capacités faibles de traitement et de stockage de données, énergie limitée, etc.) et applicatives (taille du réseau, modèle de livraison de données, etc.), afin de prolonger la durée de vie du réseau et son accessibilité.

Certains auteurs [16] proposent une approche d'augmentation qui peut être complémentaire de la précédente en se focalisant sur le placement des nœuds afin de faciliter les communications et assurer un meilleur fonctionnement (*couverture et connectivité, durée de vie, etc.*).

Les auteurs dans [16] ont traitées les différentes stratégies et technique de placement des nœuds. La figure 2.5 représente leur taxonomie nous en proposons une nouvelle intégrant les attributs nécessaires pour notre problématique. Et nous les classons selon deux grandes stratégies dont l'une est basée sur la méthode de déploiement (*déterministe ou aléatoire*) et l'autre sur les objectifs visés (*couverture, connectivité, durée de vie*).

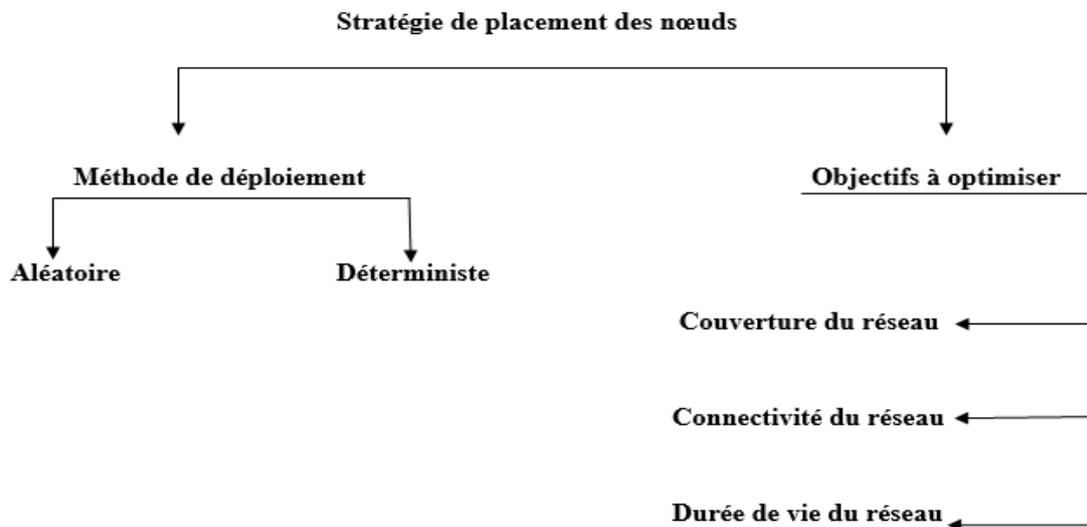


Figure 2.5 : Taxonomie des stratégies de déploiement de nœuds dans un RCSF.

2.7.1. Objectifs visés

La stratégie de placement de nœuds peut différer en fonction des objectifs à optimiser comme : maximiser la couverture de la zone de surveillance, renforcer la connectivité du réseau ou prolonger la durée de vie du réseau.

- **Optimisation de la couverture réseau** : La couverture peut être considérée comme une métrique de qualité de service dans un réseau de capteurs sans fil. Dans ce cas c'est la qualité du service des capteurs qui est concerné et n'est pas celle de réseau car elle signifie comment chaque point de la zone de surveillance est observé par les nœuds capteurs.

Pour proposer des stratégies de placement de nœuds la nécessité de couverture varie en fonction des besoins applicatifs et doit être prise en considération. Donc, dans cette section, nous nous intéressons aux différentes méthodes de placement de nœuds qui permettent d'optimiser à la fois la couverture de la zone de détection et le nombre de ressources utilisées.

La région surveillée par un rayon de capteur R_s (paramètre associé au capteur) est appelée zone de surveillance, si un événement survient dans cette région alors il est détecté par ce capteur [17] [18]. La forme de la zone de capteur est arbitraire à cause de l'environnement et des obstacles dans la zone d'intérêt, néanmoins dans plusieurs travaux on modélise cette zone de capteur par un cercle [18], tel que le centre de ce cercle est le capteur lui-même et le rayon de cercle est le rayon de capteur R_s .

De plus un nœud capteur possède d'autre paramètre, c'est le rayon de communication R_c [18] qui assure la connectivité avec des autres nœuds, donc grâce à ce rayon R_c le capteur peut transmettre les informations captées à la station de base SB de façon directement ou indirectement (*multi saut*). La figure 2.6 illustre la zone de couverture et la zone de communication d'un capteur.

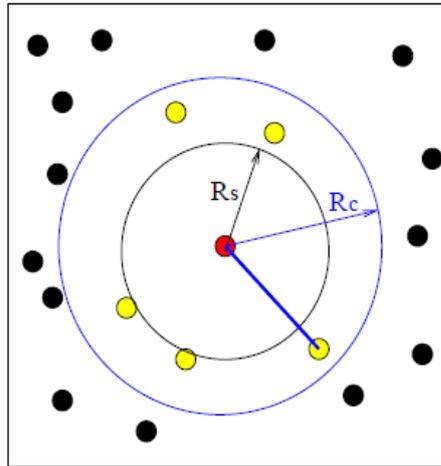


Figure 2.6 : Zone de couverture d'un capteur [18].

Une autre utilisée dans [19] exploitant la mobilité des nœuds, pour maximiser la couverture de la zone de surveillance. Cette approche à un but de repositionnement optimale des nœuds capteurs après le déploiement initial du réseau ou au cours de l'exploitation du réseau. En fête une couverture totale n'est pas garantie par un déploiement initial aléatoire souvent et peut entrainer de grandes disparités de répartition entre les différentes parties de la zone de surveillance. Le réseau sera non opérationnel si des changements topologiques ou des phénomènes d'environnement surviennent au cours de l'exploitation du réseau. Alors la nécessité de repositionner les nœuds dans les parties de la zone de couverture ou la surveillance est faible ou inexistante.

Une fois que les nœuds sont déployés dans la zone de surveillance, ils doivent former un réseau de communication pouvant évoluer dynamiquement dans le temps la mobilité du nœud, la consommation de l'énergie restante du nœud, les obstacles, Bruit ambiant, etc. Il y a donc un problème de connexion de la structure de communication. Ainsi, certains auteurs comme [20] et [21] ont intégré le problème de connectivité de réseau à celle de la couverture réseau. Selon eux, un algorithme est essentiel pour qu'une couverture garantit également la connectivité réseau, car un RCSF avec une couverture totale est opérable si et seulement si les nœuds le constituant forment un réseau connecté tel que les données détectées par les *NS* sont transmises à un *NC*. De plus, la connectivité réseau est un problème dans les scénarios où la couverture La transmission *RC* du nœud est sensiblement identique à la plage de détection *RD*, dans [22], les auteurs passent en revue et comparent différentes stratégies répartition des nœuds assurant à la fois une couverture complète et une bonne connectivité un réseau avec le

moins de ressources matérielles possibles (*nœuds*). Les auteurs de [23] [24] proposent des stratégies de déploiement de nœuds basées sur des rayures régulières carrées (*figure 2.9*), hexagonales (*figure 2.8*), en bande (*figure 2.7*), et en triangle ce qui permet, avec plusieurs nœuds capteurs, de maximiser une couverture réseau complète tout en maintenant une connectivité solide.

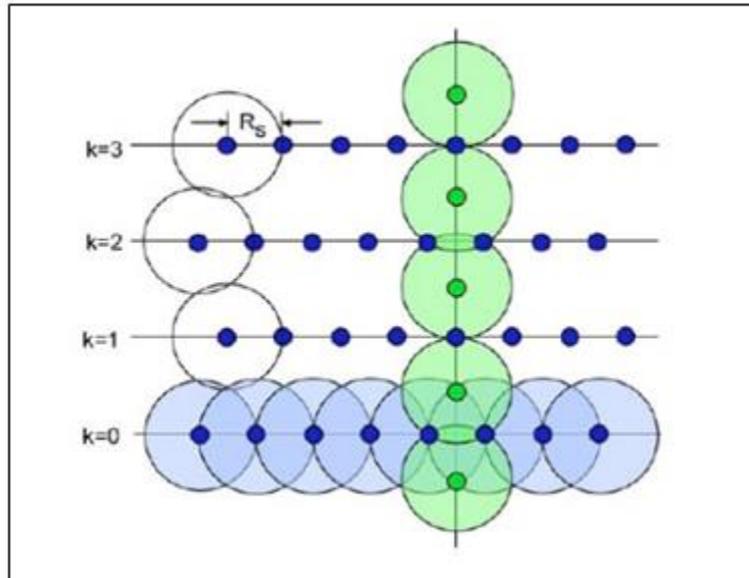


Figure 2.7 : Topologie en bande [25].

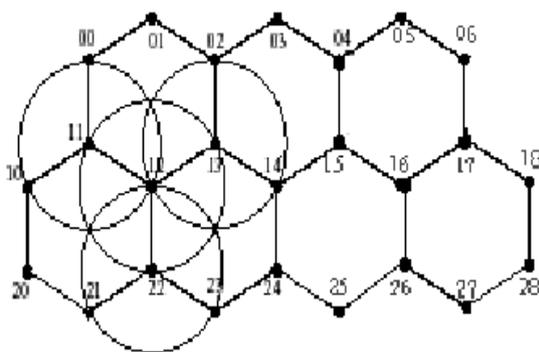


Figure 2.8 : topologie hexagonal.

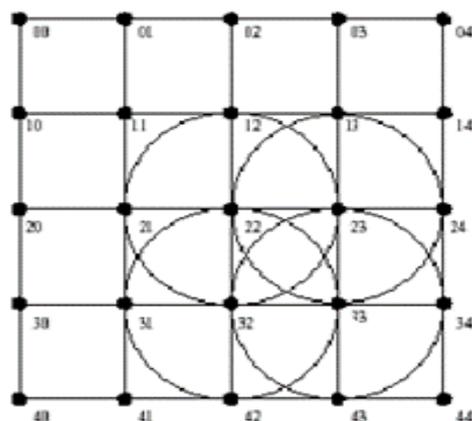


Figure 2.9 : topologie carré.

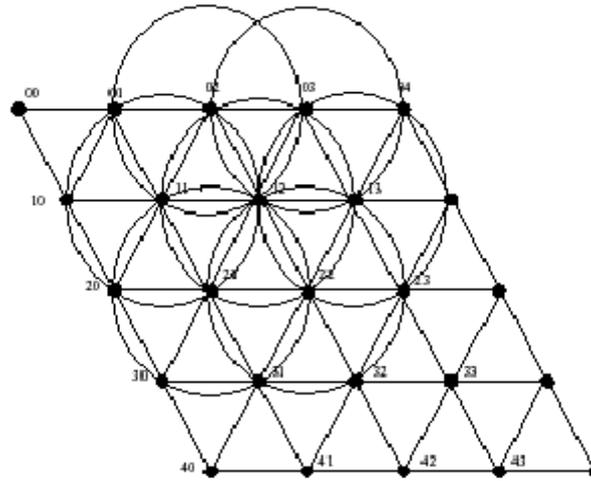


Figure 2.10 : Topologie triangulaire

- Optimisation de la durée de vie

Certains travaux se sont concentrés sur la durée de vie du réseau car il y a suffisamment de nœuds fournis implicitement dans un réseau dense pour assurer la couverture et la connectivité de la zone de surveillance. De plus, dans ces réseaux, qui s'étendent sur de grandes zones géographiques, il se pose un problème de conservation de l'énergie [26], surtout si l'application est destinée à être exécutée à grande échelle pendant une longue période. Afin de prolonger la vie du réseau, plusieurs méthodes de placement de nœuds ont été proposées dans la littérature. L'une des techniques utilisées pour atteindre cet objectif consiste à minimiser la consommation d'énergie moyenne par nœud. Dans [27], les auteurs supposent que les nœuds ont la capacité de se déplacer dans la zone de surveillance. Ils proposent une heuristique itérative pour déplacer les nœuds si nécessaire sous la contrainte de couverture. L'idée est d'équilibrer le trafic des données du réseau entre les nœuds. Les auteurs de [28] proposent une redistribution optimale des nœuds avec une distribution uniforme des nœuds. Cette approche leur permet d'uniformiser la consommation énergétique du réseau, puisque les distances entre les nœuds sont alors identiques. Cela aura un effet positif sur la durée de vie du réseau.

Les nœuds près du puits ont tendance à consommer plus que les nœuds situés à plus grande distance. L'auteur de [29] a proposé une fonction de répartition non-uniforme des nœuds dans le réseau tout en équilibrant la consommation d'énergie de tous les ensembles de nœuds situés à la même distance du puits. Ils recommandent de placer plusieurs nœuds à proximité du puits afin de disposer de plus d'énergie totale nécessaire pour transférer des données.

Au lieu d'augmenter la durée de vie du réseau en minimisant la consommation moyenne par nœud, certains auteurs tels que [29] [30] [30] utilisent un réseau hétérogène constitué de *NS* (*nœud senseur*) et *NC* (*nœud collecteur a capacitésupérieure*). Ils se concentrent sur l'identification du nombre optimale et/ou de la position des *NC* dans un réseau lié au travail afin de maximiser la durée de vie du réseau. Les auteurs dans [31] proposent une heuristique distribuée et localisée. Avec cela, on peut déterminer le nombre et les positions optimales des nœuds relais de sorte que tous les *NS* sont servis directement par un puits. Cela conduit à la construction de clusters à 1 saut, ou chaque nœud relais est un chef de cluster.

A cette fin, les nœuds sources travaillent ensemble pour déterminer l'intersection de leur zone de communication. Ensuite, les nœuds relais sont placés dans les intersections comportant le plus de nœud source.

Dans [29], les auteurs proposent une heuristique itérative pour minimiser le nombre de *NC* tout en ayant une contrainte sur la durée de vie du réseau. Pour cela, ils utilisent un algorithme de clustering avec k sauts pour déterminer le nombre de puits. Cet algorithme vise à partitionner *NS* en sous-réseaux ou en groupes distincts de manière à minimiser la distance euclidienne moyenne entre les nœuds sources et leur collecteur. Chaque collecteur est ensuite placé au centre de son cluster. Une autre solution basée sur une formulation de programme linéaire est proposée dans [32]. En utilisant un algorithme de partitionnement de graphe centralisé, les auteurs dans [30] proposent de partitionner le réseau en sous-réseaux relativement grands équivalents au nombre des nœuds, tout en ayant une connaissance préalable de la position de tous *NS*. Ensuite, ils proposent de déployer de manière aléatoire un collecteur dans chacun d'eux tant que les nœuds situés à proximité des collecteurs épuisent rapidement leurs réserves d'énergie (*car beaucoup d'entre eux sont utilisés pour relayer les données NS vers NC*). Les auteurs de [33] et ceux de [34] [35] [30] utilisent la mobilité des *NC* pour prolonger la vie du RCSF. Pour atteindre cet objectif, ces auteurs cherchent à déterminer périodiquement les positions presque optimales des *NC* tout en répartissant la charge de trafic de manière uniforme sur l'ensemble du système de réseau et à déterminer les chemins optimaux pour la transmission des données aux *NC*.

2.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donnée quelques stratégies de déploiement des nœuds dans les RCSF, et quelques objectifs visé. Ces stratégies nécessitent un routage des données de ce fait, le chapitre suivant sera consacré pour le routage dans les RCSF.

Routage dans les RCSF

Chapitre 03 : Routage dans les RCSF.

3.1. Introduction

Dans les RCSF, les nœuds communiquent en s'échangeant des paquets d'information. Quand deux nœuds ne sont pas directement connectés, des nœuds intermédiaires doivent intervenir pour acheminer les paquets qu'ils désirent s'échanger, formant des transmissions multi-sauts. Ce travail d'acheminement est sous le nom de routage.

Le routage est le processus de sélection de chemins sur un réseau pour transférer des données d'un expéditeur à un ou plusieurs destinataires. Ses performances sont importantes dans les réseaux décentralisés, c'est-à-dire où l'information n'est pas distribuée à partir d'une source unique, mais échangée entre des agents indépendants.

Dans ce chapitre, on va présenter les différents protocoles de routage dans les RCSF utilisés dans cette proposition. Par conséquent, pour garantir une bonne politique d'acheminement les considérations suivantes doivent être prises en compte :

- Contraintes énergétiques : toutes les couches doivent tenir compte de la limitation d'énergie des capteurs dans le but de pouvoir optimiser la durée de vie du réseau ;
- Bande passante limitée ;
- Redondance des données ;
- Réseau à sources multiples et destination unique.

3.2. Collecte d'information dans les RCSF

C'est une opération basique dans les RCSF qui consiste à transmettre les données prélevées par des capteurs vers une station de base.

Il existe deux méthodes dans les RCSF pour la collecte d'informations.

3.2.1. Collecte à la demande

Lorsque l'on souhaite avoir l'état de la zone de couverture à un instant T, le puits transmet des broadcastes à toute la zone afin que les capteurs renvoient leur dernière lecture au puits. Les informations sont ensuite acheminées via une communication multi-sauts.

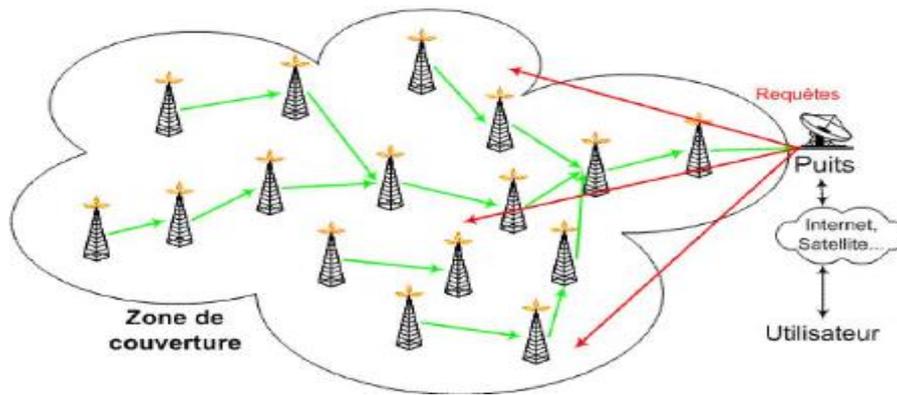


Figure 3.1 : Collecter les informations à la demande [35].

3.2.2. Collecte suite à un évènement

Un évènement se produit en un point de la zone de couverture (*changement brutal de température, mouvement...*), les capteurs situés à proximité restituent alors les informations enregistrées et les acheminent vers le puits.

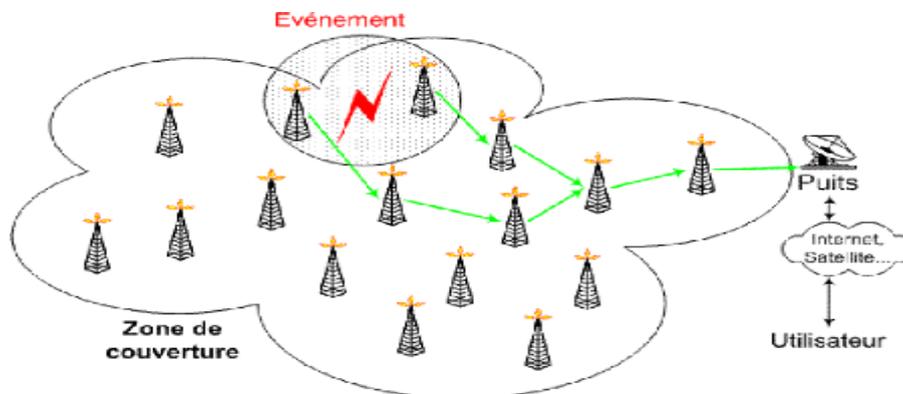


Figure 3.2 : Collecter les informations suite à un puits [35].

3.3. Classification des protocoles de routages dans les RCSF

Afin de permettre la communication dans le réseau de capteurs sans fils, plusieurs protocoles de routage spéciaux basés sur une communication à multi-sauts entre les nœuds de capteur et

le nœud collecteur sont nécessaires. Ces protocoles dépendent de la philosophie de l'approche à laquelle il appartient.

Les protocoles de routage dans les réseaux peuvent être classés selon les concepts suivants :

3.3.1 Classification selon la structure de réseau :

Cette structure joue un rôle important dans le fonctionnement du protocole de routage qui peut être divisé en trois types : protocole à plat, protocole hiérarchique et protocole d'emplacement géographique. Plusieurs algorithmes ont été proposés dont ses stratégies utiliser dépendent de la topologie du réseau et du type d'application.

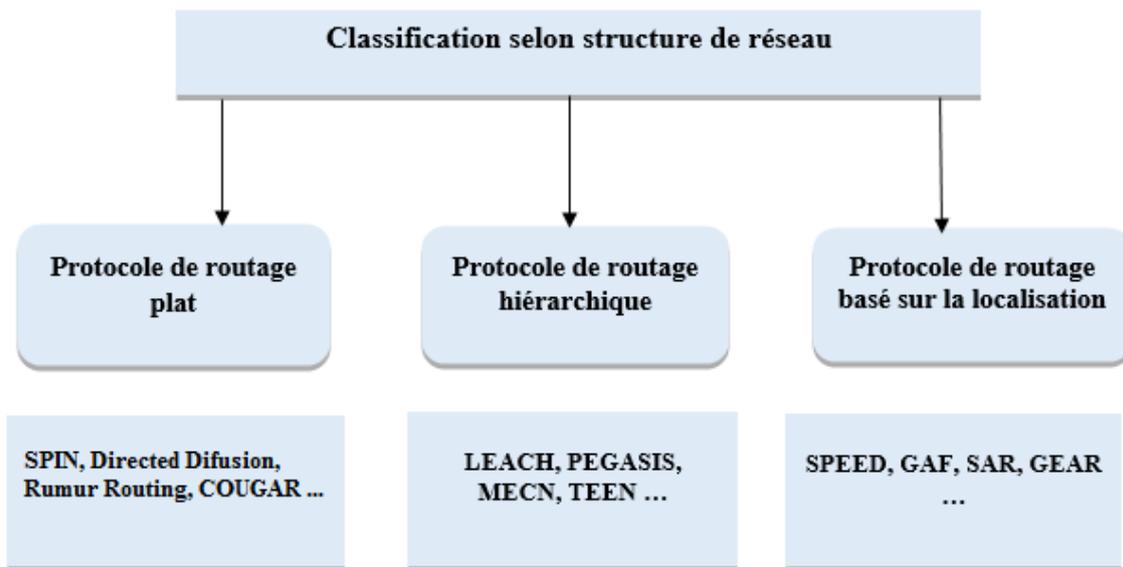


Figure 3.3 : Classification selon structure de réseau.

- **Routage à plat :**
 - **Le protocole flooding (*inondation*) :**

C'est un algorithme de routage, dans lequel chaque nœud de capteur reçoit des messages sous la forme d'un paquet de données et les diffuse sur le réseau [35]. Il repose sur la transmission de tous les nouveaux paquets reçus et non destinés à lui. L'avantage de ce protocole est qu'il ne nécessite pas d'algorithme complexe pour la découverte des routes, mais il présente deux inconvénients majeurs qui sont :

- **L'implosion :** se produit lorsque les mêmes messages sont dupliqués plusieurs fois, c'est à dire les deux nœuds B et C reçoivent le même paquet de données du nœud A et

les mêmes nœuds (B et C) transmettront le même Paquet à D qui reçoit deux copies du même Paquet, comme montré dans la figure 3.4.

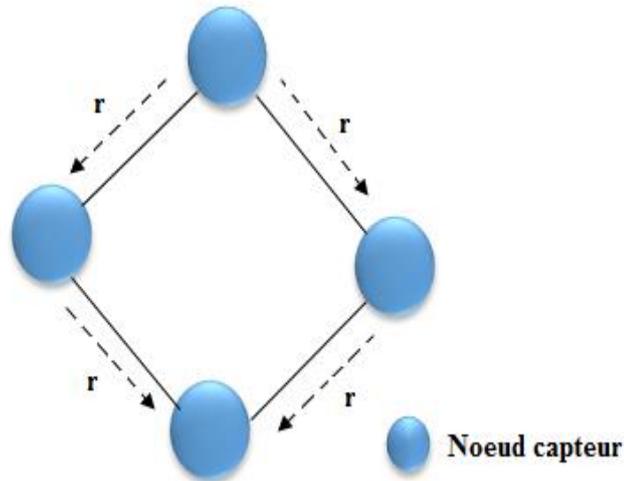


Figure 3.4 : Problème d'implosion.

- **Chevauchement (ou overlap)** : Lorsque les mêmes informations sont envoyés deux fois aux nœuds de réseau (*une redondance des informations*), le problème de chevauchement se produit, comme illustré dans la figure 3.5.

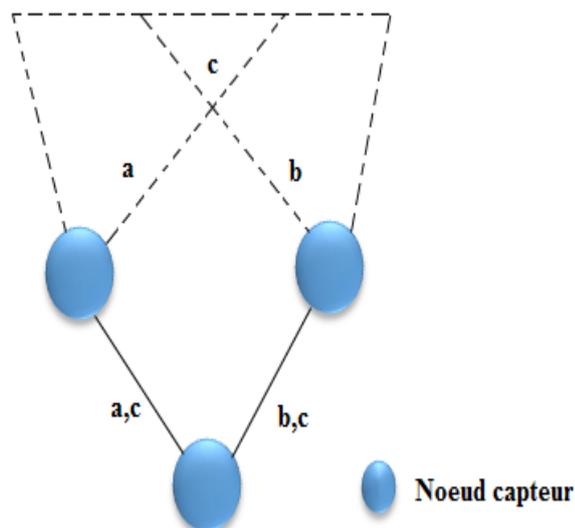


Figure 3.5 : Problème d'overlap.

- **Le protocole Gossiping :**

Ce protocole est considéré comme une version améliorée de Flooding, dont laquelle chaque nœud choisit aléatoirement un message et le transmet à un seul voisin sélectionné [35]. Cependant, l'envoi d'un message à tous les nœuds demande plus de temps [36].

- **Routage hiérarchique :**

Le routage hiérarchique a été proposé afin de résoudre les problèmes liés au routage à plat mais le rôle des nœuds de capteurs est différent. La technique de hiérarchisation consiste à partitionner le réseau en groupes de nœuds (*clusters*) pour faciliter la gestion de réseau surtout le routage. Chaque nœud consiste un nœud-chef ou cluster-Head (*CH*), le rôle de ce dernier est de faire le relais entre les nœuds de cluster et la station de base directement ou via d'autre CHs. Généralement, un CH possède des ressources énergétiques supérieures aux autres nœuds de réseau. Cette méthode est appelée clusterisation (*clustering*). L'avantage de ce routage est de supprimer la redondance des données, c'est à dire chaque CH diminuer le nombre de message pour agrèger les données. En revanche, l'inconvénient de ce protocole est que les cluster-head utilisent plus d'énergie que les autres nœuds de réseau ce qui aboutit un partitionnement de réseau.

- **LEACH (*en anglais Low-energy Adaptive ClusteringHierarchy*) :** Le protocole LEACH est une technique de routage hiérarchique qui permet de minimiser la consommation d'énergie pour les RCSF, cette approche est basée sur le principe du "clustering" dans lequel les nœuds du réseau sont structurés suivant deux niveaux : les Cluster-Head (*CH*) et les nœuds membres. En effet, il est considéré comme un protocole de routage réparti, proactif et dynamique. Les CH sont choisis aléatoirement selon une politique de gestion round-robin afin de garantir un équilibrage de la consommation énergétique entre les différents les nœuds du réseau. Ils sont sélectionnés aléatoirement selon une gestion round-robin qui garantit un équilibrage de la consommation énergétique entre les différents nœuds du réseau. Notons aussi que les CH peuvent agréger les données reçues de plusieurs nœuds membres pour la rédaction de la quantité de données envoyées à la station de base.

Dans LEACH, chaque tour se compose d'une phase de construction et une phase de communication. Pendant la phase de construction, les CH sont sélectionnés selon une politique d'accès au médium qu'est établie pour chaque groupe. Cette phase commence par la

prise de décision locale à chaque niveau de nœud pour devenir un CH ou un membre. Pour cela, chaque nœud capteur (S_i) du réseau va choisir un nombre aléatoire, si le nombre est inférieur à une valeur donnée $T(S_i)$, alors le nœud en question devient CH. Pour définir la valeur de $T(S_i)$, l'équation suivante est donnée :

$$T(S_i) = \frac{p}{1 - p * \text{mod}\left(\frac{1}{p}\right)}, \text{ si } p \in G$$

$$T(S_i) = 0, \text{ si non}$$

Avec :

p : Le pourcentage désiré de CH pendant un numéro de round r . G : Le nombre des nœuds qui n'ont pas été élus comme CH pendant les $\frac{1}{p}$ rounds précédent.

Chaque nœud élu comme CH diffuse son statut à ses voisins. Les messages de diffusion et d'établissement de cluster sont transmis en utilisant la technique CSMA/CA permettant ainsi d'éviter de probables collisions et interférences entre les CHs adjacents. Les nœuds membres regroupent les messages reçus et choisissent le cluster auquel vont appartenir. Cette décision est prise sur la base d'amplitude du signal reçu. En effet, le CH ayant diffusé le signal de plus grande amplitude (*le plus proche*) sera choisi. Le CH crée un programme de transmission basé sur la technique TDMA et le diffuse à ses nœuds membres. Ces derniers communiquent leurs données vers les CHs correspondant en respectant chacun le time slot qui lui est attribué. Les données reçues au niveau de chaque CH sont agrégées puis transmises à la station de base ce qui permet d'optimiser la consommation d'énergie et d'augmenter la durée de vie du réseau.

Ce protocole est exécuté en deux phases :

✓la phase d'installation : permet de sélectionner les CHs et former les clusters.

✓la phase de communication : sert à transmis les données vers la station de base, comme montré dans la figure 3.6.

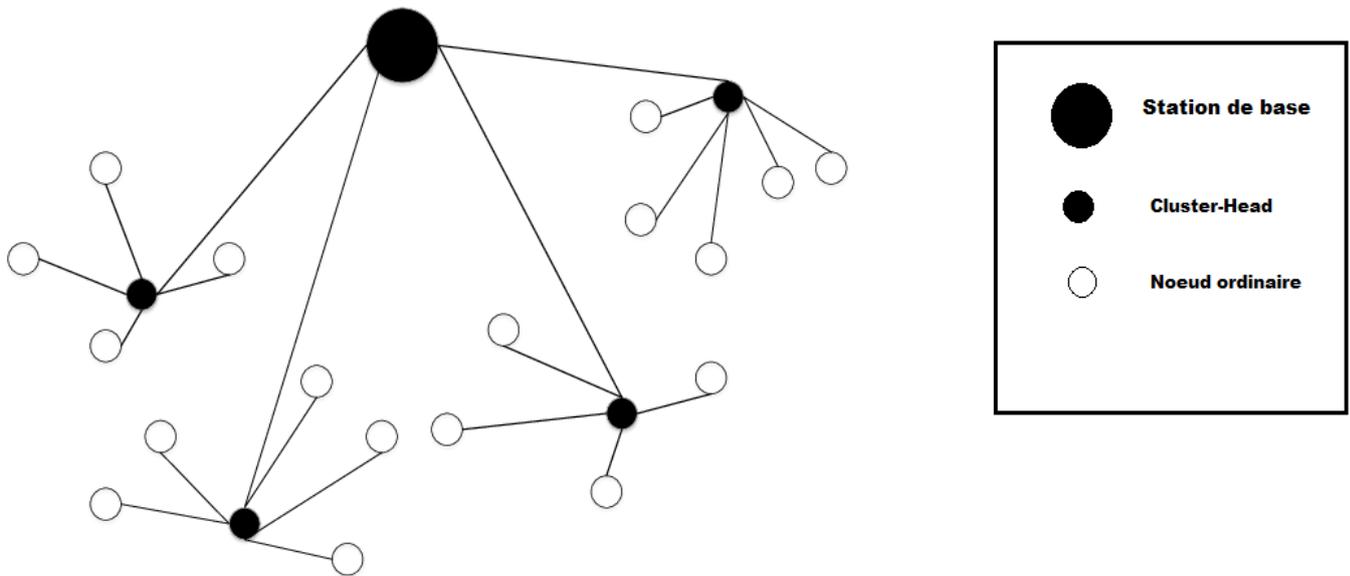


Figure 3.6 : Protocole de routage LEACH

- **Routage basée sur la topologie géographique :**

Les protocoles de routage basés sur la localisation utilisent des informations de localisation afin de guider la découverte du routage et la transmission des données. Ils permettent la transmission directionnelle d'informations évitant l'inondation d'informations dans l'ensemble du réseau. Par conséquent, le coût de contrôle de l'algorithme est réduit et le routage est optimisé. D'autre part, avec la topologie du réseau basée sur les informations en localisant les nœuds, la gestion du réseau devient simple. L'inconvénient de ces protocoles est que chaque nœud doit savoir les emplacements des autres nœuds. Les protocoles MFR (*Most Forwardwithin Radius*) et GAF (*Geographique Adaptive Fidelity*) sont des exemples de protocoles de cette classe.

3.3.2. Classification selon le fonctionnement des protocoles

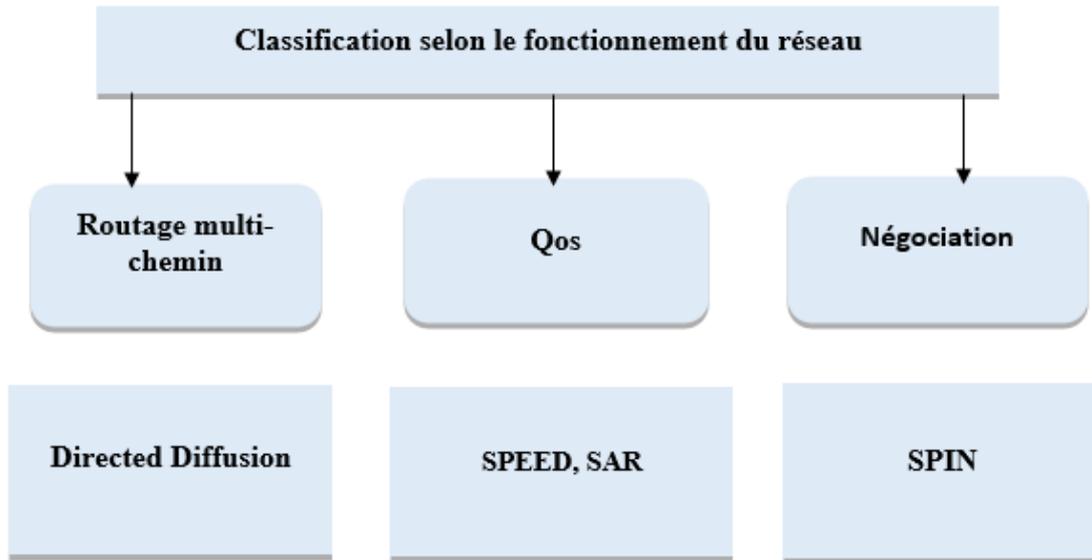


Figure 3.7 : Classification selon le fonctionnement du réseau.

- Routage basé sur QoS :

Dans ces protocoles de routage, le réseau doit équilibrer entre la qualité des données et la consommation d'énergie. En particulier, le réseau doit satisfaire certaines mesures de QoS, par exemple : délai, énergie, bande passante pass-through. Les protocoles de cette approche sont fortement recommandés pour surveillance (*centrales nucléaires, applications militaires, etc.*). Ces protocoles doivent prendre en considération la qualité de service comme une mesure qui doit satisfaire dans les décisions de routage. Le protocole SPEED est un type de routage donné par [37].

- Routage basé sur la négociation

Les nœuds du réseau entament une négociation sur les données à transmettre en diffusant un message contenant des métadonnées décrivant les ressources à transmettre. Les nœuds intéressés par ces données expriment leur intérêt et les reçoivent intégralement. La sélection des nœuds de destination par l'intérêt réduit la consommation d'énergie du réseau et la bande passante. Cette méthode élimine les transmissions redondantes et établit communications en fonction des ressources du réseau. Dans ce type on peut présenter le protocole suivant :

- **SPIN (*SensorProtocols for Information via Negation*)** : selon [38], ce protocole est utilisé pour masquer délibérément des informations dans le réseau. Le SPIN utilise trois paquets dans son opération, l'ADV (*ADVertissinng*), REQ (*REQuete*) et DATA (*information*). L'utilisation de ce protocole permet d'économiser l'énergie, ainsi il réduit la charge de réseau par rapport à les méthodes de diffusion traditionnelles. Dans le cas de la réception des nouvelles informations il informe tous ses voisins de la disponibilité des informations via des paquets ADV, les nœuds intéresser répond avec un paquet REQ pour avoir ces informations. Ensuite, envoyer un paquet DATA pour chaque répons REQ reçue.

- **Routage basé sur le multi-chemin**

Dans cette catégorie, les protocoles de routage utilisent beaucoup de chemins comme un moyen simple d'optimiser les performances du réseau. La fiabilité du protocole peut être mesurée par sa capacité à trouver des chemins alternatifs entre la source et destination en cas de défaillance du chemin principal. Pour cette raison, certains protocoles construisent plusieurs chemins indépendants, c'est-à-dire qu'ils ne partagent qu'un seul chemin. Malgré leur haute tolérance aux pannes, ces protocoles nécessitent plus de ressources énergétiques et plus de messages de contrôle :

- **Diffusion dirigée (DD : Directed Diffusion)** : Ce protocole [35] est centré sur les données. Il admet que les données générées par les capteurs sont décrite par paire (*valeurs et attribut*). Ces attributs expliquent le type de phénomène de capteur, l'emplacement géographique et la durée par exemple. La station de base indique les données requises en envoyant son intérêt sous forme de requêtes à un nœud de réseau. L'intérêt est deviser sur les réseaux de saut est envoyer par chaque nœud a ses voisins. Durant le processus de diffusion d'intérêt, chaque nœud intermédiaire d'intérêt posture un cache d'intérêt à son niveau, dans chaque entrée dans ce cache possède plusieurs champs, y compris un champ d'horodatage indiquant quand il a été reçu pour la dernière fois. Quand la SB commence à recevoir des données de la source, il se régénère et renvoie instantanément des intérêts. Cela est obligatoire pour vérifier que la demande a été transférer sur le réseau.

3.3.3. Classification selon l'établissement de la route

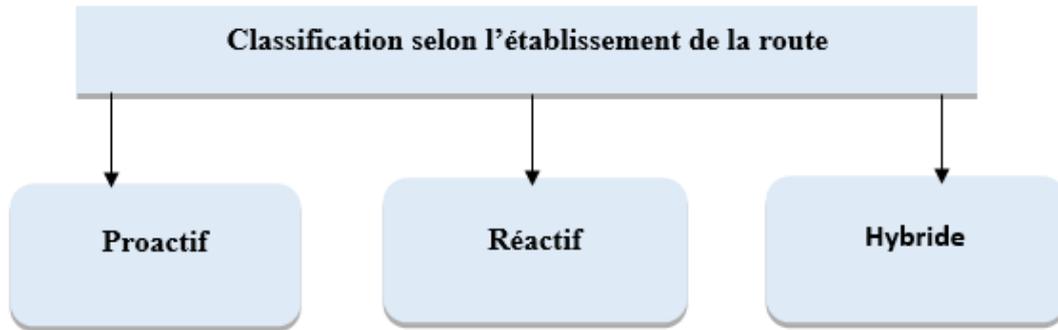


Figure 3.8 : Classification selon l'établissement de la route.

Suivant la création et de maintenance des routes lors le routage, il existe trois catégories de protocole de ce routage : les protocoles de routage proactifs, les protocoles de routage réactifs et les protocoles de routage hybrides.

- **Protocole proactif** : Le calcul d'itinéraire est a priori, ce qui facilite le routage des données. Les informations de chemin que chaque élément de données source doit suivre jusqu'à sa destination sur les réseaux sont stockés dans la table de routage. Les tables de routage doivent être mises à jour régulièrement dans le but de corriger certains chemins coupés du fait du changement de topologie due à des pannes ou à la mobilité de certains nœuds capteurs. Cette mise à jour est assurée par une distribution périodique des paquets de contrôle sur le réseau, ce qui n'est pas évident pour les grands réseaux tels que les réseaux de capteurs sans fil. Le routage se fait indépendamment des besoins réels de l'application et un bon nombre de ces itinéraires sont enregistrés afin d'être jamais utilisées.
- **Protocole réactif** : Le routage réactif, également appelé routage à la demande, est utilisé pour créer des routes selon les besoins de l'application. Lorsque la demande est diffusée sur le réseau, la procédure de découverte de route est exécutée par les nœuds qui sont concerné et réponses sont acheminées vers les routes créées. Cette procédure est également valable pour des applications event-driven (*application orienté évènement*) pour chaque événement intéressant détecté. L'avantage de créer des routes à la demande est la conservation de l'énergie par rapport au routage proactif. La

recherche d'itinéraires peut entraîner des retards pour le routage des données qui ne convient pas aux applications interactives et temps-réel.

- **Protocole hybride** : C'est une combinaison des deux concepts de routage proactif et réactif. Des tableaux de routage sont stockés au niveau des nœuds capteurs pour créer des routes sur leur voisinage proche (*généralement en deux sauts au plus*). De plus, leur voisinage de routage devient réactif et les procédures de recherche d'itinéraire sont lancées. C'est une approche qui combine les avantages des deux autres approches proactives et réactives et réduit considérablement la taille des tableaux de routage, ainsi que le temps d'établissement de chemins.

3.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le routage et ses différentes classifications et on a cité quelques protocoles utilisés dans les réseaux des capteurs. Dans le chapitre suivant, nous proposons une stratégie de déploiement qui sert à prolonger la durée de vie d'un RCSF.

*Stratégie proposé pour l'optimisation de
déploiement (couverture totale et
consommation énergétique réduite)*

Chapitre 4 : Stratégie proposé pour l'optimisation de déploiement (couverture totale et consommation énergétique réduite).

4.1. Introduction

Les RCSFs sont un domaine de recherche en évolution continue avec une multitude de contextes d'application. Le déploiement des nœuds capteurs est la phase qui permet d'influer considérablement sur le fonctionnement et la performance du réseau. Dans cette partie, nous étudions le positionnement des nœuds capteurs dans un RCSF. Nous commençons par la présentation de la problématique de déploiement. Puis, nous détaillons les travaux de recherche les plus récents qui concernent les méthodologies de résolution de cette problématique.

4.2. Problématique

Le processus de déploiement des nœuds capteurs influence la performance d'un RCSF. La problématique de déploiement ou de positionnement des nœuds capteurs dans un RCSF est une méthode qui permet de définir la topologie du réseau, alors, le nombre et la position des nœuds capteurs, la qualité de la surveillance, la connectivité, et la consommation d'énergie sont aussi directement affectées par la topologie de ce réseau. En outre, le problème de déploiement de capteurs sert à trouver une stratégie optimale (*ou quasi optimale*) afin de placer les capteurs dans une zone donnée pour la couvrir complètement.

Dans notre travail, nous nous sommes concentrés sur les deux problématiques majeures dans le placement et le déploiement des RCSF : le problème des trous (*couverture*) et le problème de consommation énergétique (*durée de vie*).

Les nœuds d'un RCSF interagissent avec les autres nœuds afin de former un réseau de communication et avec le monde physique via les capteurs. Ces interactions sont fortement liées à la position des capteurs sur le terrain des opérations et donc à la méthode de déploiement du RCSF. afin de pouvoir comparer objectivement les déploiements des RCSF, il est nécessaire de disposer de mesures qualitatives et quantitatives de ces interactions entre les nœuds et avec le monde physique. Mais ces mesures sont aussi très utiles pour configurer le

réseau en temps réel dans le but d'augmenter sa durée de vie, en respectant les contraintes de son application.

Les topologies de placement des nœuds dépendent généralement du type d'application et du type d'environnement où ils sont déployés. Plusieurs facteurs et contraintes doivent être étudiés et pris en compte lors de la conception et de déploiement de ces réseaux. Aussi, plusieurs objectifs doivent être touchés pour assurer qu'un déploiement est optimisé ou bien non.

Dans les RCSF, le problème de couverture est devenu un axe de recherche très important. Ceci nous a motivé à trouver une problématique en relation avec le déploiement, est celle des trous de couverture dans le champ de détection. En réalité, ces dernières sont généralement provoquées par des défaillances des nœuds capteurs et des environnements hostiles (*régions de batailles ou régions volcaniques*) ou bien par le déploiement aléatoire des nœuds stationnaires dans les réseaux de capteurs hybrides composés de nœuds statiques et mobiles.

Dans ce cas le déploiement déterministe est préférable car on peut avoir des connaissances sur les conditions de terrain, mais aussi les paramètres physiques ou physiologiques capturés par les nœuds capteurs doit être précis, approprié et de bonne qualité. Il impose donc un emplacement approprié des nœuds capteurs. Il est de même pour le placement stations de base pour assurer l'acquisition, l'intégrité et le traitement de mesures capturées.

En ce qui concerne l'énergie, la consommation d'un capteur peut être influencée par différents facteurs : la taille de la zone à couvrir par ce capteur, la distance séparant ce capteur des autres pour l'envoi d'information et le nombre de paquets de données transitant par ce capteur.

Donc, la problématique auquel nous serons confrontés est de gérer le placement des nœuds capteurs avec un déploiement déterministe en respectant toutes les mesures et les calculs de distance entre les nœuds, pour cela nous allons proposer une nouvelle topologie de déploiement pour étudier le positionnement et le placement des différents nœuds capteurs dans le réseau de capteurs sans fil qui nous permettra d'assurer une couverture totale de la zone surveillée. Lorsque ce réseau déployé, le problème de couverture peut être formulé en termes de prolongement de la vie du réseau.

4.3. Stratégie proposé

4.3.1. Phase de déploiement

La couverture assurée par un réseau de capteurs peut être assimilée à la qualité de service, c'est la fonction et l'objectif principal du réseau tel que la durée de vie.

Dans cette section on s'intéressant à satisfaire la problématique de la couverture, pour cela nous proposons une topologie de déploiement pour étudier le positionnement et le placement de différents nœuds capteurs dans les réseaux de capteurs sans fil qui permet de maximiser la couverture des nœuds capteurs et assurer une couverture totale de la zone de surveillance.

L'auteur dans [39], propose plusieurs techniques et stratégies de déploiement (*déterministes, aléatoire*) nœuds capteurs sous plusieurs objectives (*durée de vie réseau, connectivité, couverture et latence des données*). Les travaux cités dans l'article [39] qui proposent plusieurs stratégies pour des objectifs spécifiques d'optimisation et de maximisation couverture de la zone de surveillance, nous on guidée à donner notre propre proposition.

La phase de déploiement est une étape fondamentale dans la mise en place d'un réseau de capteurs sans fil pour résoudre la problématique du déploiement.

Nous proposons une topologie de déploiement des nœuds tout en assurant une distribution uniforme de ces nœuds de façon optimale. Cette proposition consiste à minimiser le nombre de capteurs déployés tout en garantissant une couverture totale de la zone.

On a proposé donc un réseau qui possède une architecture composée des grilles triangulaires. La grille triangulaire est la meilleure parmi les autres types de grilles car elle à la plus petite zone de chevauchement, donc elle nécessite le moins de capteurs à déployer. Comme le montre la Figure 4.1, on peut avoir jusqu'à six (06) connectivités entre trois(3) nœuds capteurs. Ainsi, on peut assurer une couverture totale en éliminant les défaillances des nœuds capteurs, donc la couverture totale est atteinte si la distance inter-nœuds est inférieure ou égale à la relation suivante : $d = \sqrt{3R_s} \leq R_c$ (R_s est le rayon de capture, R_c est le rayon de communication et d est la distance inter-nœuds). Par conséquent pour optimiser le cout de déploiement on peut utiliser la formule 4.1 qui permet de minimiser les nombres des nœuds dans la zone de surveillance telle que :

$$N = 2 \sqrt{\frac{3}{9} \frac{1}{R^2}} \dots (4.1)$$

Ou

N : nombre des nœuds

R : rayon de capteur

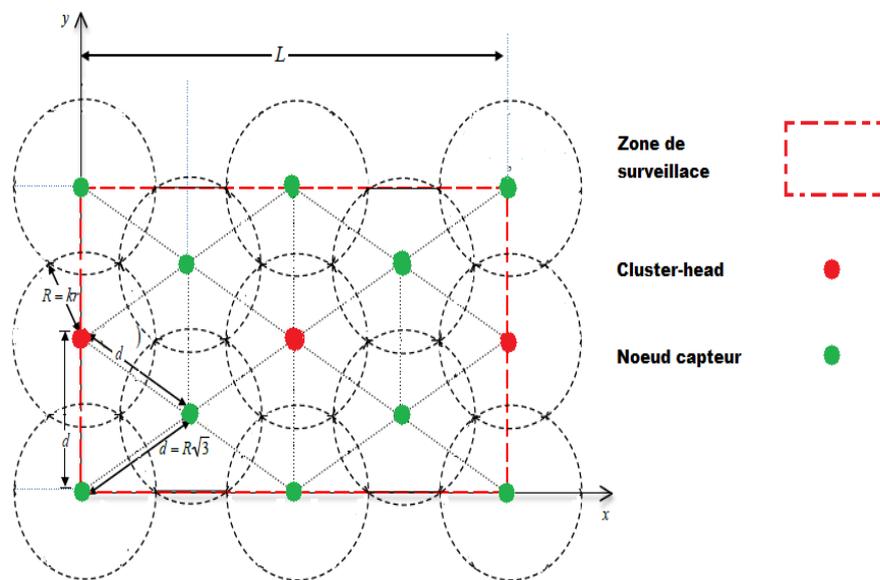


Figure 4.1 Exemple d'une grille triangulaire.

4.3.2. Phase de routage

Le routage c'est une étape essentielle dans un réseau capteur sans fil. Dans notre travail, nous nous intéressons particulièrement à la classe des protocoles hiérarchiques précisément par le protocole LEACH. L'objectif de ce travail est de proposer une nouvelle topologie de déploiement pour étudier le positionnement et le placement de différents nœuds capteurs dans les réseaux de capteurs sans fil qui permet de prolonger la durée de vie de réseau sous les contraintes de couverture et connectivité, il est basé sur la technique de clustérisation des nœuds pour économiser la consommation énergétique.

La maximisation de la durée de vie d'un réseau de capteur dépend fortement de certaines solutions de routage. La clusterisation représente une solution prometteuse pour les réseaux "auto-organisables" à grand nombre de nœuds, dans cette approche, nous visons à rassembler les nœuds du réseau dans des groupes virtuels appelés "clusters". Les nœuds voisins dans un même cluster sont regroupés suivant certaines règles. Chaque cluster est identifié par un chef ou leader, appelé chef de cluster ou Cluster-Head (*CH*). Le rôle de ce dernier est de gérer les activités de son groupe, tels que le routage des données, leur agrégation, la coordination et la synchronisation entre les nœuds membres. Les CHs se chargent ensuite de la structure du niveau hiérarchique supérieur en relayant ces données à la station de base.

Plusieurs techniques de clustering ont été proposées dans la littérature. Ces dernières peuvent varier selon la métrique d'élection des CHs, la taille des clusters, le mode de déploiement des capteurs (*aléatoire ou d'déterministe*), etc. Il est aussi important de tenir compte du nombre de sauts qui séparent un nœud membre et le CH auquel il est rattaché et qui peut être à un seul saut, comme il peut être à plusieurs sauts.

Dans la section précédente nous avons proposé une stratégie de déploiement basée sur les grille triangulaire cela nous a permis d'avoir une couverture totale du réseau. En effet, l'épuisement des batteries des nœuds peut aussi varier selon la topologie du réseau. L'organisation du réseau en clusters permet la réutilisation des ressources du réseau. La clusterisation à un seul saut n'est pas préférable car elle permet aux plusieurs nœuds de détecter un même événement et donc reporter la même valeur de mesure. Il faut donc prévoir des mécanismes pour la prise en charge d'éventuelles redondances de mesure. La problématique est donc ici la prise en compte de la redondance de mesure dans les réseaux de capteurs pour une meilleure amélioration de la consommation d'énergie. De ce fait on propose que les clusters non voisins puissent utiliser la même fréquence ou le même jeu de code. En plus, les nœuds de chaque cluster sont supervisés par leur CH qui peut gérer l'accès au canal de transmission, économisant par la suite les ressources gaspillées dans la retransmission causée par les collisions. Pour cela notre proposition repose sur le mécanisme de clusterisation à multi-sauts figure 4.2, donc cela va nous permettre d'échapper à la problématique de la redondance en économisant les ressources gaspillées la détection d'un même événement entre deux ou plusieurs nœuds. Alors cette étape va nous permettre d'évoluer la performance du réseau ainsi la réduction de la consommation énergétique du réseau.

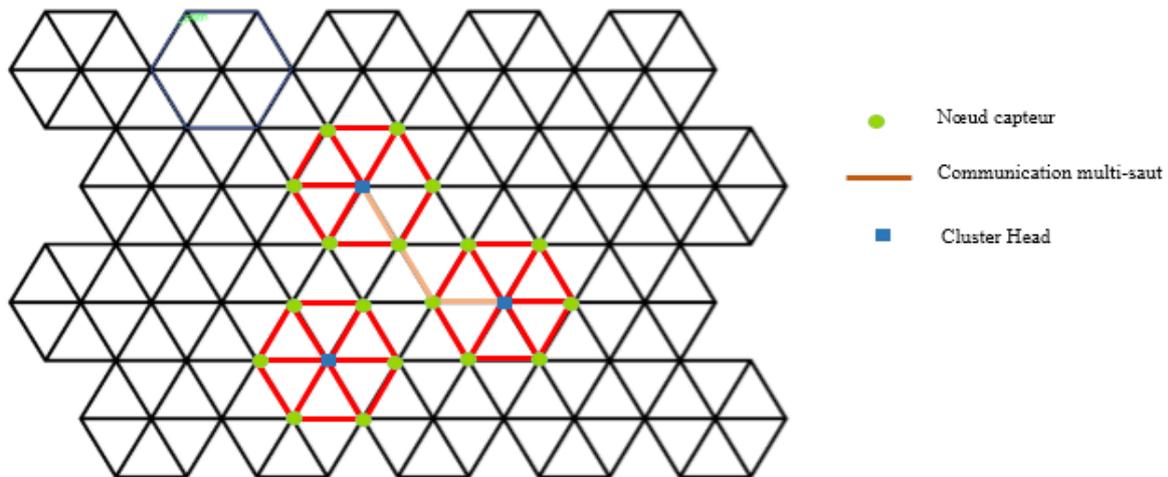


Figure 4.2 : Illustration d'une clusterisation

Dans un capteur, la durée de vie considéré comme un métrique de qualité de service. En effet, ce dernier doit être opérationnel le plus longtemps possible. Il est nécessaire d'économiser au maximum l'énergie consommée par ces derniers. Nous estimons que la transmission des données d'un capteur représente environ 70% de sa consommation d'énergie. De plus, les réseaux de capteurs étant assez denses en général, cela signifie que des nœuds assez proches en terme de distance (*voisins*) peuvent capter les mêmes données (*température, pression, humidité équivalentes par exemple*) et donc il apparaît nécessaire d'introduire le mécanisme d'agrégation de données afin d'éviter la duplication d'information au sein du réseau de capteurs et donc de préserver leur énergie et pour enfin augmenter la durée de vie du réseau.

L'agrégation est l'une des mécanismes utilisés pour réduire la charge du trafic acheminé dans le réseau ainsi que la consommation d'énergie. Nous proposons donc comme approche préventive, une opération d'agrégation qui effectue un traitement supplémentaire sur les données brutes captées depuis l'environnement. Un cluster combine les données provenant de plusieurs nœuds en une information significative. Ce qui réduit considérablement la quantité des données transmises en consommant moins d'énergie pour leurs désamination. En gros au lieu d'envoyer les données directement vers la station de base, les clusters les envoient vers un CH le plus proche de la station de base, qui se charge d'agrégé les données en vue de réduire le nombre de transmission et d'évité les données redondantes. Donc, ceci permet d'optimiser la durée de vie du réseau.

4.4. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié la problématique de la consommation énergétique dans les RCSF, en proposant de nouveaux mécanismes efficaces pour l'optimisation de la durée de vie dans les RCSF, 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.

Evaluation des performances

Chapitre 05 : Evaluation des performances

5.1. Introduction

Dans ce dernier chapitre, nous allons définir l'outil de simulation utilisé, scénario de simulation de notre proposition ainsi que le paramètre de performance utilisé. En suit nous allons comparer le résultat de notre proposition avec un résultat d'un LEACH aléatoire avec une discussion des résultats.

5.2. Simulateurs des réseaux decapteurs existants

Dans le domaine des RCSF, il existe plusieurs simulateurs de ses dernier tel que : OPNET, GloMoSIM, OMNET++, NS3 ...etc.

5.2.1. OPNET (*Optimum NETWORK Performance*)

Opnet [40] est un simulateur d'événements discrets, proposé pour la première fois par Massachusetts Institute of Technology (*MIT*) en 1986 et écrit en C++. OPNET est capable de simuler de grands réseaux de communication. Ce simulateur est conçu pour fournir un environnement de travail complet pour la modélisation et la simulation de réseau. Il peut être divisé en trois parties : modèle, test et évaluation, responsable de l'analyse des résultats [41].

5.2.2. GloMoSim (*Global Mobile information system Simulator*)

GloMoSim (*Global Mobile Information System Simulator*) [42] a été développé à l'UCLA ParallelComputingLaboratory en utilisant le langage PARSEC (*PARallel Simulator Environment for complex system*) développé sur la base du langage C, ce simulateur a été conçu selon des architectures similaires orientées à sept couches OSI pour les réseaux.

5.2.3. OMNeT++ (*Objective Modular Network Test-bed in C++*)

OMNet ++ [43] est un environnement de simulation open source. OMNeT++ est utilisé pour simuler des événements discrets, il est basé sur le langage C++, ce simulateur est entièrement programmable et configurable et modulaire.

5.2.4. NS3 (*Network Simulator version3*)

NS3 est un simulateur de réseau qui comprend un simulateur de réseau à événement discrets. Ses modèles et son noyau sont écrit en C++, et il dispose une interface de script Python. Son objectif est de créer une plateforme de simulation ouverte utilisée pour la recherche sur les réseaux [44].

5.3. Outils de simulation

La durée de vie peut être considérée comme un problème purement géométrique et MATLAB est un logiciel de calcul numérique développé par MathWorks. Il permet la manipulation de matrices, l'affichage de courbes, l'implémentation d'algorithmes et la création d'interfaces, et il dispose d'une grande bibliothèque de fonction intégrée et pré-écrite avec des notations simples et puissantes, pour cela nous avons choisi d'exécuter notre simulation sous ce logiciel.

5.4. Simulation de proposition pour le déploiement

5.4.1. Paramètres de simulation

Pour réaliser notre simulation, nous avons placé 63 capteurs réguliers dans une surface de 70 par 60 unités de mesure avec une portée de communication égale à 8.6 unités de mesure pour chaque nœud capteurs. La figure 5.1 représente le déploiement des nœuds.

Les paramètres utilisés dans notre modèle de simulation sont résumés dans le tableau ci dessous

Tableau 5.1 : Paramètres de simulation.

Paramètres	Valeur
Nombre de nœuds	63
Localisation de la SB	(62, 35) m
Nombre de SB	1
Surface de simulation	(70×60) m ²
Portée de communication	8.6 unités

5.4.2. Caractéristiques du système

Notre système de la simulation représente une zone de captage rectangulaire d'une surface de (70×60) m² qui comportant 63 capteurs et une station de base SB. Les entités de notre système sont classées comme suivant :

- **Une station de base SB** : qui est responsable de l'envoi des requêtes et de la collecte des données envoyées par les capteurs de réseau.
- **Des Cluster-Heads** : qui sont des nœuds capteurs spécialement choisis selon une technique présentée dans le chapitre précédent, leurs fonctionnement est d'agréger les données et ils participent au routage des paquets dans le réseau.
- **Des nœuds capteurs ordinaires** : qui servent à détecter les événements dans la zone de surveillance et participants aussi au routage des données vers la station de base.

5.4.3. Scenario de la simulation

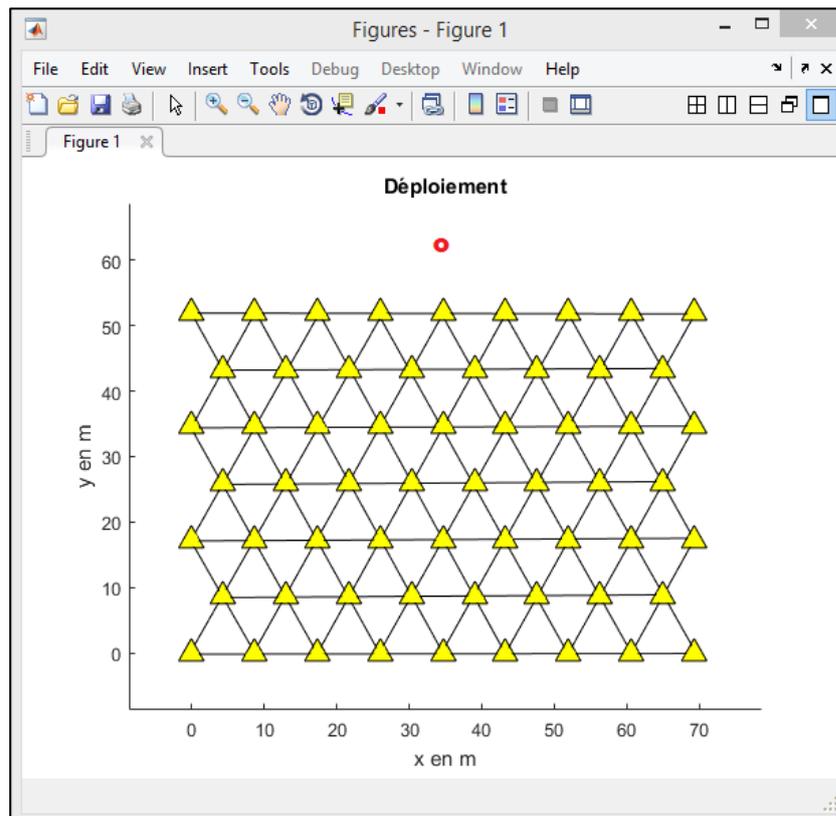


Figure 5.1 : Distribution des nœuds (*un déploiement déterministe*).

Dans cette étape, LEACH calcule l'énergie de la transmission du réseau comme montrer maintenant :

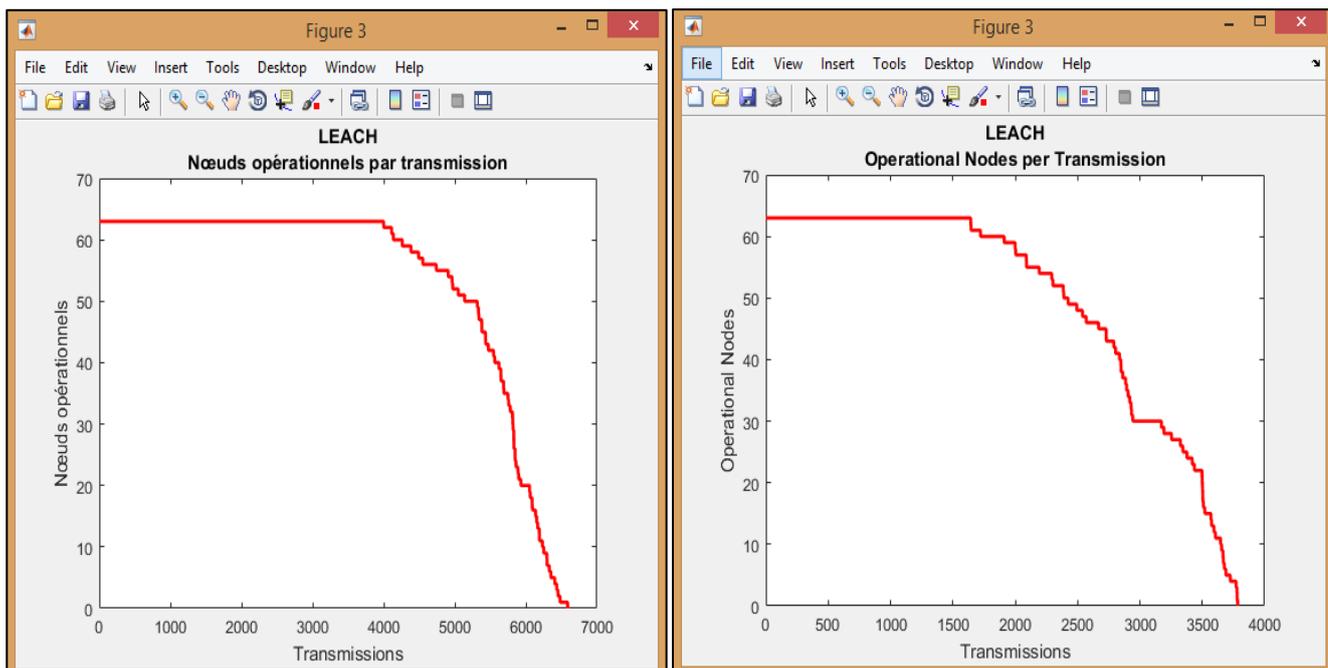
L'énergie de transmission égale à la somme de l'énergie électrique et l'énergie d'agrégation multiplié fois la taille du paquet de donnée plus l'énergie d'amplificateur multiplié fois la taille du paquet de donnée multiplié fois la distance entre la SB et CH au carré.

$$E_{Tx} = (E_{elec} + E_{DA}) \times k + E_{amp} \times k \times d^2.$$

Avec :

- k : est nombre de bit dans un message.
- d : clacule la distance entre la SB et le cluster-head.
- E_{elec} : est l'énergie électrique.
- E_{amp} : est l'énergie dépensée par l'amplificateur pour transmettre les bits.
- E_{DA} : est l'énergie d'agrégation des données.

5.4.4. Résultat de simulation



a- LEACH de la proposition.

b-LEACH aléatoire .

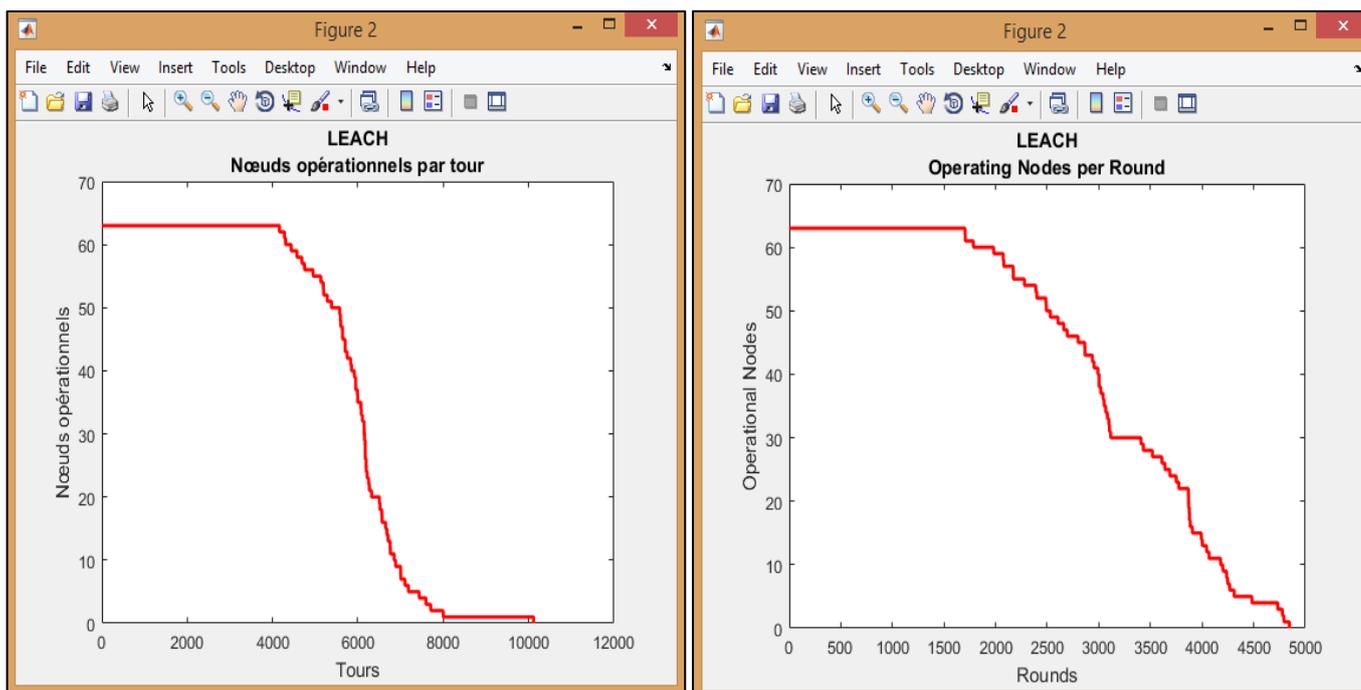
Figure 5.2 : Variation du nombre des nœuds opérationnels en fonction du nombre de tour.

Les résultats de notre simulation et les mesures d'évaluation de la performance seront présentés dans ce qui suit :

La figure 5.2.a, présente la variation du nombre nœuds opérationnels en fonction du nombre transmission effectuées. Elle montre que nombre de nœuds opérationnels commence a diminué dans la transmission 4000 et sera nul à partir de la transmission 6700.

La figure 5.2.b, présente la variation du nombre nœuds opérationnels en fonction du nombre transmission effectuées. Elle montre que nombre de nœuds opérationnels commence a diminué dans la transmission 1600 et sera nul à partir de la transmission 3700.

D'après la figure 5.2. On peut constater que le nombre des nœuds vivants diminue avec l'évolution des transmissions pour les deux protocoles (LEACH déterministe et LEACH aléatoire). Mais pour notre LEACH déterministe il reste des nœuds vivants jusqu'à 6700 transmissions contrairement au LEACH aléatoire dans les nœuds sont complètement morts après 3700 transmissions. Cette amélioration est due à la capacité de notre protocole proposé dans la collecte des données.



a-LEACH déterministe

b-LEACH aléatoire

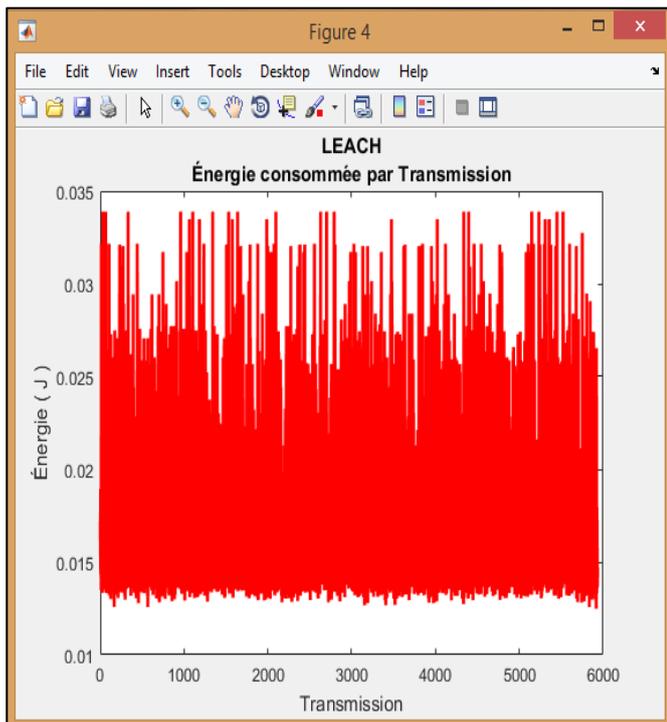
Figure 5.3 : Variation du nombre des nœuds opérationnels en fonction du nombre de tour.

La figure 5.3.a, illustre cette fois la variation du nombre des nœuds opérationnels en fonction du nombre de tour. Nous remarquons que le nombre des nœuds

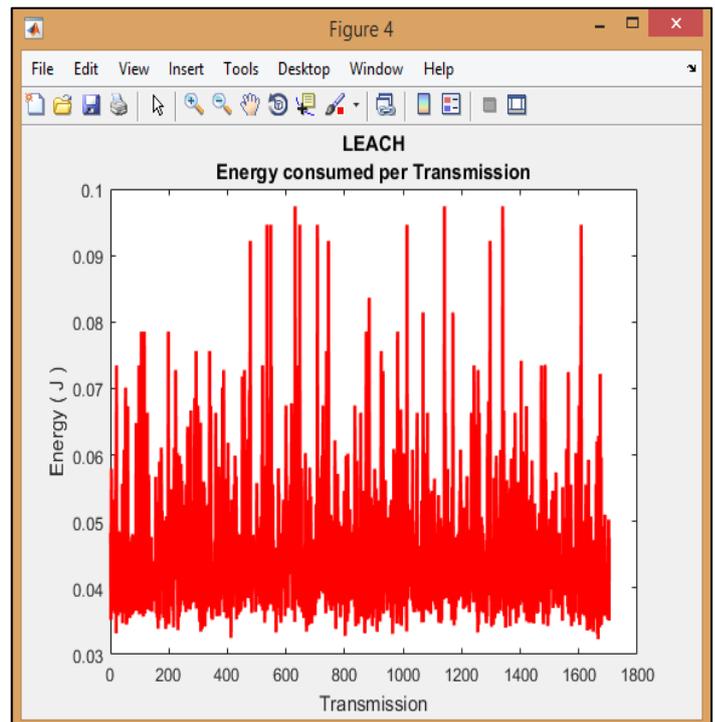
opérationnels diminue à partir d'un certain nombre de tour qui égal à 4200 tour, tel que le réseau commence d'épuiser ses nœuds séquentiellement et mort dans le tour 10115.

La figure 5.3.b, donne la variation du nombre des nœuds opérationnels en fonction du nombre de tour avec un LEACH aléatoire. Nous remarquons cette fois que le nombre des nœuds opérationnels diminue à partir d'un certain nombre de tour qui égal à 1700 tour, tel que le réseau commence d'épuiser ses nœuds séquentiellement et mort dans le tour 4845.

D'après la figure 5.3 ,il est clair que pour les deux protocoles le nombre de nœuds diminuent avec l'évolution de nombre de rounds. Dans LEACH aléatoire tout les nœuds sont morts après 4845 tours, par contre, dans LEACH déterministe on a fait 10115 tours pour que tout les nœuds sont morts. Cela due à la distribution optimal des nœuds, l'affectation équilibré des nœuds à leurs CH et aussi l'utilisation de technique de routage à deux-sauts pour les nœuds isolés ce qui leurs permettent de préservé au mieux leurs énergie.



a-LEACH déterministe



b-LEACH aléatoire

Figure 5.4 : variation d'énergie en fonction du nombre des transmissions effectuées.

La figure 5.4.a, montre cette dernière la variation d'énergie en fonction du nombre des transmissions effectuées avec LEACH déterministe. Nous remarquons que l'énergie restante dans la majorité des transmissions jusqu'à s'arrête dans la transmission 6000 d'où le réseau épuise son premier nœud.

La figure 5.4.b, montre cette dernière la variation d'énergie en fonction du nombre des transmissions effectuées avec LEACH aléatoire. Nous remarquons que l'énergie restante dans la majorité des transmissions jusqu'à s'arrête dans la transmission 1700 d'où le réseau épuise son premier nœud.

D'après la figures 5.4, on remarque que LEACH déterministe est plus performant que LEACH aléatoire, dans ce dernier l'énergie est entièrement consommée à 1700 transmissions par contre dans LEACH déterministe l'énergie est terminer à 6000 transmissions. Et on peut remarquer que LEACH aléatoire consume plus d'énergie que LEACH déterministe.

5.5. Discussion et résultat

Après avoir comparé les performances des deux protocoles LEACH déterministe et LEACH aléatoire, nous avons remarqué que notre protocole présente plusieurs avantages notamment dans la consommation d'énergie, l'augmentation des données reçues par la SB, un réseau avec une durée de vie plus longue et une bonne distribution des CH. Ces avantages sont grâce au déploiement qui est adapté afin d'être utilisé dans la sélection optimale des CH et l'utilisation de méthode de routage à deux-sauts pour les nœuds. Cependant, LEACH aléatoire montre une énorme variation du nombre de canaux par tour conduisant à une mauvaise distribution des canaux dans le réseau conduisant à l'émergence de nœuds isolés qui transmettent leurs données directement à la station de base. Ce type de communication directe entre un nœud isolé et une station de base entraîne une consommation d'énergie élevée, ce qui affecte la durée de vie globale du réseau.

Nous pouvons constater que, en termes d'optimisation de la durée de vie du réseau, notre protocole LAECH déterministe est toujours plus performant que LEACH aléatoire et la durée de vie du réseau augmente proportionnellement au nombre de nœuds.

5.6. Conclusion

Les résultats obtenus après différents tests confirment l'efficacité de notre proposition et le protocole LEACH nous a permis de retrouver rapidement des solutions optimales pour la consommation énergétique dans le réseau de capteurs. Après avoir implémenté et simulé le protocole LEACH avec le déploiement que nous avons proposé, de cela nous avons montré que ce dernier apporte des améliorations significatives en termes d'économies d'énergie, de quantité de données transférées vers la station de base et de durée de vie du réseau.

*CONCLUSION GENERALE
& PERSPECTIVES*

Conclusion Générale & Perspectives

Les réseaux de capteurs sans fil constituent un domaine de recherche très riche, ils peuvent être appliqués dans nombreux domaines différents. Ces réseaux sont destinés, le plus souvent, à relever les informations dans des environnements hostiles ou difficilement accessibles sans aucune intervention humaine. Donc, il est difficile de remplacer les capteurs lorsqu'une panne survient, tel qu'un épuisement énergétique ou une défaillance qui a pour conséquence de dégradation de la couverture de la surface surveiller. Dans ce cas-là, le réseau est tiré par la redondance induite par un déploiement aléatoire des capteurs pour rétablir la couverture des régions touchées.

Ce travail de mémoire s'inscrit dans le cadre de l'optimisation de déploiement dans les réseaux de capteurs sans fil (*RCSF*) sous la contrainte de maximiser la durée de vie et de la couverture. Les solutions proposées dans ce mémoire sont valables pour n'importe quel type d'application visée.

Notre objectif principal dans cette mémoire est de proposer un déploiement optimisé basé sur le protocole de routage hiérarchique LEACH. Cette solution permet d'adapter la technique de routage en clustering aux *RCSF* à grandes échelles. Elle améliore le taux de délivrance de paquets avec la technique d'agrégation.

Comme perspectives, nous envisageons d'améliorer notre proposition et la comparer avec d'autres propositions qui prennent en charge la contrainte d'énergie et de couverture. Il sera aussi, préférable d'implémenter notre proposition dans les simulateurs dédiés aux réseaux de capteurs sans fil (*ex. OPNET, NS2 . . . etc.*), pour pouvoir par la suite évaluer ses performances et la comparer avec d'autres protocoles qui prennent en considération la contrainte d'énergie.

Bibliographie :

[1] :K. Beydoun : « Conception d'un Protocole de Routage Hiérarchique pour les Réseaux de Capteurs ». Thèse de doctorat, Spécialité : Informatique des sciences et techniques de l'université de Franche-Comité, 2009.

[2] :A. LAOUID : « L'auto-structuration dans les Réseaux de Capteurs Sans Fil ». Mémoire de Magistère en Informatique, Université Abderrahmane Mira deBejaïa, 2008-2009.

[3] :Y. Yousef : « Routage pour la Gestion de l'Energie dans les Réseaux de Capteurs sans Fil ». Thèse de Doctorat. Spécialité Informatique. Université de haute alsace, 2010.

[4] : <http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/Bunel/Presentation.html>. Consulté le 10/05 / 2021.

[5] : J. Joy Winston and B. Paramasivan : « A Survey on Connectivity Maintenance and Preserving Coverage for Wireless Sensor Networks ». International Journal of Research and Reviews in Wireless Sensor Networks (IJRRWSN), Vol. 1, No. 2, ISSN :2047-0037, pp.11-18, June 2011.

[6]: D. Culler, D. Estrin, and M. Srivastava : « Guest Editors' Introduction ». Overview of Sensor Networks, Computer, vol.37, no. 83, pp. 41-49, Aug, 2004.

[7]: E. CAYIRCI, Erdal :« Wireless Sensor Networks ». In : Wireless information highways (pp. 273-301), 2005.

[8]: S. Tilak, N. Abu-Ghazaleh, and W. Heinzelman : « A taxonomy of Wireless Micro-Sensor Network Models ». ACM SIGMOBILE, Mobile Computing and Communications Review, vol.6, issue : 2, pp. 28-36, April, 2002.

[9] : Yazeed Al-Obaisat, Robin Braun : « On Wireless Sensor Networks ». Architectures, Protocols, Applications and Management, Institute of Information and Communication Technologies. University of Technology, Sydney (Australia), 2007.

- [10] : TILAK, Sameer, ABU-GHAZALEH, B. Nael, et H. Wendi : « A taxonomy of Wireless Micro-Sensor Network Models ». *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, vol. 6, no 2, p. 28-36, 2002.
- [11]: Akyildiz, I.F., W.Su, Y.Sankarasubramaniam, E.Cayirci :« A Survey on Sensor Networks ». *IEEE Communications Magazine*, 102-114, August, 2002.
- [12] :M. Younis, and K. Akkaya : « Strategies and Techniques for Node Placement in Wirelesssensor Networks A survey », *Ad Hoc Networks* 6 pp. 621–655, 2008.
- [13] : B. Wang : « CoverageProblems in Sensor Networks : A survey » in *ACM Computing Surveys*43, 2011, pp. 1-56, 2019.
- [14] : I. Khou, P. Minet, A. Laouiti, and S. Mahfoudh : « Survey of DeploymentAlgorithms in Wireless Sensor Networks : Coverage and Connectivity Issues and Challenges ». In *International Journal of Autonomous and Adaptive Communications Systems*, pp. 1-24 , 2014.
- [15] : T. Ducrocq : « Auto-organisation des Réseaux Sans-SilMulti-Sauts dans les villes intelligentes ».Université des Sciences et Technologies de Lille, Novembre 2013.
- [16]. Mohamed Younis et Kemal Akkaya :« Strategies and Techniques for Node Placement in Wireless Sensor Networks : A Survey ». In : *Ad Hoc Netw.* 6.4, p. 621–655. issn, juin 2008 .
- [17]: B. Wang, H. B. Lim and D. Ma: « A survey of movementstrategies for improving network coverage in wirelesssensor networks ». *Elsevier Computer CommunicationsJournal*, 32(13-14) : 1427-1436, 2009.
- [18] : X. Wang, G. Xing, Y. Zhang, C. Lu, R. Pless and C. Gill : « Integratedcoverage and connectivity configuration in wirelesssensor networks ». In *Proceedings of the 1st international Conference on Embedded NetworkedSensorSystems*, pages 28-39, 2003.
- [19]:Wang, Guiling, Guohong Cao et Thomas F. La Porta : « Movement assisted sensor deployment ». *IEEE Transactions on Mobile Computing*, **5**, 640–652, 2006.

- [20]: Biagioni, E. S. et G. Sasaki : « Wireless Sensor Placement for Reliable and Efficient Data Collection ». In : *Proc. 36th Annual Hawaii Int System Sciences Conf*, 2003.
- [21]: Kar, Koushik et SumanBanerjee : « Node placement for connectedcoverage in sensor networks ». In : *Proceeding of the Workshop on Modelling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Network (WiOpt'03)*, Sophia Antipolis, France, 2003.
- [22] : Ghosh, Amitabha et Sajal K. Das : « Review : Coverage and Connectivity Issues in Wireless Sensor Networks : A survey ». *Pervasive Mob. Comput.*, **4**, 303–334, 2008.
- [23] : Galen SASAKI Edoardo S. BIAGIONI : « Wireless sensor placement for reliable and efficient data collection ». *Proceeding HICSS 03 Proceedings of the 36th Annual HawaiiInternational Conference on System Sciences*, 2003.
- [24] : S. BANERJEE K. KAR : « Node placement for connectedcoverage in sensor networks ». *Proceedings of the Workshop on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks (WiOpt' 03)*, Sophia Antipolis, France, 2003.
- [25] : CheickTidjane KONE : « Conception de l'architecture d'un Réseau de Capteurs sans Fil de Grande Dimension ». Thèse de doctorat. Université Henri Poincaré. Nancy I, 2011.
- [26] :Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci and all : « Wireless Sensor Networks : A survey ». *Computer networks*, 2002.
- [27]: K. KalpakisK. Dasgupta, M. Kukreja : « Topology-aware Placement and Role assignment for Energy-Efficient Information Gathering in Sensor Networks ». *Proceeding ISCC 03 Proceedings of the Eighth IEEE International Symposium on Computers and Communications*, 2003.
- [28]: P.K. VarshneyHeo.N : « aDistributed Self Areading Algorithm for Mobile Wireless Sensor Networks ». *IEEE Wireless Communications and Networking WCNC*,2003.
- [29] :Ni. Lionel M. Liu Yunhuai, H. Ngan : « Power-Aware Node Deployment in Wireless Sensor Networks ». *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 3(2), 255-241.

- [30]: J. BadiiA. Hossam S. Ines and M.Chedly :«Cluster based wireless sensor networks optimizationunder energy onstraints». 3rd InternationalConference on Intelligent Sensor Networks and Information, 2007.
- [31]: T. Glen Xu Kenan, H. Hassanein: « Relay nodedeploymentstrategies inheterogeneous wireless sensor networks: multiple-hop communication case». SecondAnnual IEEE Communications Society Conference on Sensor and Ad Hoc Communicationsand Networks, 2005.
- [32]: H. Kim, Y. Seok and T. Kwan: « Optimal Multi-Sink Positioning and Energy-Efficient Routing in Wireless Sensor Networks ». In International Conference on Information Networking (pp. 264-274). Springer, Berlin, Heidelberg, 2005.
- [33]: S. W. Alsalih, H. Hassanein : « Placement of Multiple Mobile Data Collectors in Wireless Sensor Networks ». Ad Hoc Networks, 2010.
- [34] : M. KHENFER, M. HADADJ : « Etude Comparative Entre les Protocolesde Routage RCSF ». Mémoire master Professional. Réseaux Convergence et sécurité.Université KasdiMerbah. Ouargla, 2016-2017.
- [35]: Z. Wang, M. Basagnian and S. Melachrinoudis : « Exploiting Sink Mobility for Maximizing Sensor Networks Lifetime ». In Proceedings of the 38th annual Hawaii international conference on system sciences (pp. 287a-287a). IEEE, 2005
- [36] : S Boulfekhar : « Approche de Minimisation d'Energie dans les Réseaux de Capteurs ». Thèse Magister. Université A. Mira. Bejaia, 2005-2006.
- [37] :Z. Wang, Maria, et al. « Exploiting sink mobility for maximizing sensor networks lifetime ». Proceedings of the 38th Annual Hawaii international conference on system sciences. IEEE, 2005.Sciences, 2005.

[38]: M. BANGAD, K. AKKAYA and M. YOUNIS: « Sink Repositioning for Enhanced Performance in Wireless Sensor Networks». *Computer Networks*, 2005.

[39] : C. T. KONE : « Conception de l'architecture d'un Réseau de Capteurs Sans Fil de Grande Dimension ». Thèse de doctorat. Université Henri Poincare. Nancy I.

[40]: I. S. Hammoodi, B. G. Stewart, and all:«*A Comprehensive Performance Study of OPNET Modeler for Zig Bee Wireless Sensor Networks*». Third International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies, 2009. NGMAST '09, pp 357 – 362.2009.

[41] :A. Zibouda, A. Makhlouf : « Gestion Efficace du Budget Energétique dans le Protocole PEGASIS».Science of Electronics Technologies of Information and Télécommunications (SETIT), Tunisia, 2012.

[42]: X. Zeng, R. L. Bagrodia, and M. Gerla, *GloMoSim* : «a library for parallel simulation Of large-scale Wireless Networks ». In PADS, May 1998.

[43]: X. Xian, W. Shi, He. Huang: « Comparison of OMNET++ and other simulator for WSN simulation». 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 2008. ICIEA, pp 1439 – 1443, 2008.

[44] : <https://www.nsnam.org/>. Consulté le 29/09/2021

Résumé

Les (RCSF) sont un domaine de Recherche en évolution continue avec une multitude de contextes d'application. Le placement des nœuds capteurs est une phase décisive qui a un grand impact sur le fonctionnement et les performances réseau. Dans ce mémoire, nous avons traité des problèmes d'optimisation de déploiement dans les réseaux de capteurs sans fil et nous avons optimisé le nombre de capteurs déployés pour prolonger la durée de vie via une nouvelle topologie basée sur le protocole de routage LEACH. Par conséquent, nous devons confirmer les améliorations apportées par notre proposition en effectuant une simulation avec MATLAB.

Mots clés : RCSF, déploiement, optimisation, routage

Abstract

WSN are a continuously evolving research area with a multitude of application contexts. The placement of sensor nodes is a decisive phase that has a great impact on network operation and performance. In this dissertation, we addressed deployment optimization problems in wireless sensor networks and optimized the number of deployed sensors to extend the lifetime via a new topology based on the LEACH routing protocol. Therefore, we need to confirm the improvements made by our proposal performed a simulation with MATLAB.

Keywords: WSN, deployment, optimization, routing.

المخلص

شبكات الاستشعار اللاسلكية هي عبارة عن مجال بحث متطور باستمرار مع العديد من سياقات التطبيق. يعد وضع عقد الاستشعار مرحلة حاسمة، إذ أن لها تأثير كبير على تشغيل الشبكة و أدائها. في هذه الأطروحة، تناولنا مشكلات تحسين النشر في شبكات الاستشعار اللاسلكية، كما قمنا بتحسين عدد المستشعرات لهدف إطالة العمر الافتراضي، وذلك من خلال هيكل جديد يعتمد على بروتوكول التوجيه LEACH. لذلك نحتاج إلى تأكيد الفرضيات المقترحة عن طريق إجراء محاكاة باستخدام MATLAB.

الكلمات المفتاحية: شبكات الاستشعار اللاسلكية، التعيين، التحسين، التوجيه.