

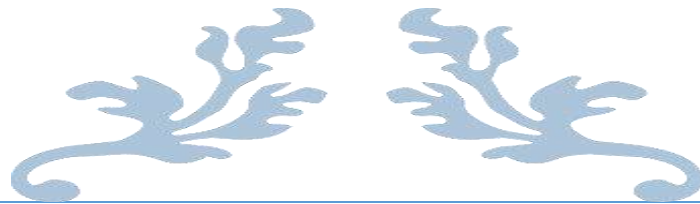


Faculté des Nouvelles technologies de l'Informations et de la
Communication
Département d'Informatique et de la Technologie de
l'Information



Mémoire de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique

Thème



Planification d'itinéraires de protocole
LEACH sur l'algorithme GRASP dans
les réseaux de capteurs sans fil.

Présenté par : Ben Chaoui Fouad

Encadreur : Alloui Imen
Co-Encadreur : Toumi Chahrazad



Remerciements

Grâce à Dieu vers lequel vont toutes les louanges, ce travail s'est accompli.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements envers toutes les personnes qui ont contribué au bon déroulement de ce travail.

En particulier, j'exprime ma gratitude à mon encadreur ALLOUI Imen et co-encadreur TOUMI Chahrazad pour toute son aide.

Je n'oublie pas mes parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience, mes proches et amis qui m'ont soutenu et encouragé.

Je remercie aussi vivement tous les responsables de l'université de Ouargla ainsi que toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin de nos études.

Résumé

Les réseaux de capteurs sans fil RCSF ne cessent de prendre une place très appréciée au sein de la communauté de la recherche vu leur déploiement assez simple et leurs applications. Mais les principaux problèmes dans les réseaux de capteurs sans fil sont le protocole de routage, l'énergie consommée par le nœud, la sécurité, l'agrégation de données, la mobilité imprévisible des nœuds, etc. Ces capteurs sont parfois déployés dans des zones hostiles, il est donc nécessaire d'avoir une stratégie efficace qui prend en considération l'énergie du réseau pour augmenter sa durée de vie en réduisant la perte d'énergie tout en étant réactive aux changements de l'environnement.

Dans ce mémoire, nous allons essayer de résoudre un de ces problèmes, qui est la «consommation d'énergie» en améliorant le protocole de routage LEACH "Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy" et en utilisant l'algorithme GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure). GRASP offre de nombreux avantages pour améliorer les performances ce protocole est remplacer la communication à un seul saut par une communication multi-sauts où on réalise une planification d'itinéraire à l'aide de l'algorithme GRASP entre les chefs des groupes et la station de base. Cette nouvelle méthode permettra d'améliorer le protocole LEACH, par l'augmentation de la durée de vie.

Mots-clés : réseau de capteur, RCSF, les protocoles de routages, planification d'itinéraire, optimisation, l'algorithme GRASP.

TABLE DE MATIERES

| | |
|----------------------------|---|
| INTRODUCTION GENERAL | 1 |
|----------------------------|---|

CHAPITRE I :RESEAU DE CAPTEURS SANS FIL

| | |
|--|----|
| I.1. INTRODUCTION | 1 |
| I.2. HISTOIRE DES RESEAUX DE CAPTEURS | 1 |
| I.3. PRESENTATION DES RESEAUX DE CAPTEURS | 2 |
| I.3.1. DEFINITION DE RESEAU DECAPTEUR..... | 2 |
| I.3.2. DEFINITION D'UN CAPTEUR | 2 |
| I.3.3. ARCHITECTURE D'UN CAPTEUR | 3 |
| I.3.4. ARCHITECTURE DE COMMUNICATION D'UN RESEAU DE CAPTEURS | 4 |
| I.3.5. PILE PROTOCOLAIRE | 5 |
| I.3.5.A Les couches de la pile..... | 6 |
| I.3.5.B Les plants de la pile | 7 |
| I.3.6. TYPE DE CAPTEUR | 7 |
| I.3.7. DOMAINES D'APPLICATION DES RESEAUX DE CAPTEURS | 8 |
| I.3.8. CARACTERISTIQUES ET LIMITES DES RESEAUX DE CAPTEURS | 10 |
| I.3.8.A Caractéristiques | 10 |
| I.3.8.B Limites | 10 |
| I.4. CONCLUSION | 11 |

CHAPITRE II:LES PROTOCOLES DE ROUTAGE DANS LES RESEAUX DE CAPTEURS

| | |
|---|----|
| II.1. INTRODUCTION | 13 |
| II.2. DEFINITION LE ROUTAGE | 13 |
| II.3. CLASSIFICATION DES PROTOCOLES DE ROUTAGE DANS LES RCSF..... | 13 |
| II.3.1. Selon La structure de réseau (Topologie) | 14 |
| 1. LES PROTOCOLES DE ROUTAGE PLAT (FLAT BASED-ROUTING)..... | 14 |
| 2. LES PROTOCOLES DE ROUTAGE HIERARCHIQUE..... | 14 |
| 3. LES PROTOCOLES DE ROUTAGE AVEC LOCALISATION GEOGRAPHIQUE..... | 15 |

| | |
|---|-----------|
| II.3.2. Selon Le type de protocole | 16 |
| 1. Protocole de routage multi-chemin | 16 |
| 2. Protocole de routage basé sur la négociation des données | 16 |
| 3. Protocole de routage basé sur les interrogations | 16 |
| 4. Protocole de routage basé sur la QoS | 17 |
| II.4. LES PROTOCOLES DE ROUTAGE PROPOSE POUR LES RCSF..... | 17 |
| II.4.1. Protocoles de routage hiérarchiques | 17 |
| 1. LEACH | 17 |
| 2. PEGASIS (Power Efficient GATHERing in Sensor Information Systems)..... | 17 |
| 3. TEEN et APTEEN(Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol) | 18 |
| 4. SAR (Sequential Assignment Routing) | 18 |
| II.4.2. Protocoles de routage non hiérarchiques | 18 |
| 1. AODV (Ad-hoc On Demand Distance Vector) | 18 |
| 2. SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation)..... | 19 |
| 3. DSDV (Destination Sequenced Distance Vector) | 19 |
| 4. GSR (Global State Routing) | 19 |
| 5. DSR (Dynamic Source Routing) | 19 |
| 6. OLSR (Optimized Link State Routing) | 20 |
| 7. GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) | 20 |
| II.5. CONCLUSION..... | 20 |

CHAPITRE III:PLANIFICATION D'ITINERAIRES DE PROTOCOLE LEACH A L'AIDE DE L'ALGORITHME GRASP

| | |
|--|-----------|
| III.1. INTRODUCTION | 22 |
| III.2. DESCRIPTION DE L'APPROCHE PROPOSEE | 22 |
| III.3. DESCRIPTION DETAILLEE L'APPROCHE PROPOSEE..... | 23 |
| III.3.1. Construction des clusters | 23 |
| III.3.2. Construction d'itinéraire | 26 |
| III.4. FONCTIONNEMENT GENERALE..... | 30 |
| III.5. CONCLUSION | 31 |

CHAPITRE IV: MISE EN ŒUVRE ET RESULTATS

| | |
|--|----|
| IV.1. INTRODUCTION | 33 |
| IV.2. OUTIL DE SIMULATION | 33 |
| IV.3. MODEL DE RESEAU | 33 |
| IV.4. SIMULATION AND PERFORMANCE EVALUATION..... | 34 |
| IV.4.1. Mesures de performance | 34 |
| IV.4.2. Paramètres de simulation | 35 |
| IV.4.3. Résultats et discussion | 35 |
| IV.5. CONCLUSION | 38 |
| CONCLUSION GENERAL | 41 |
| BIBLOGRAPHE | 43 |

Liste des figures

| | |
|---|-----------|
| FIGURE I. 1 : Réseau de capteurs sans fil..... | 2 |
| FIGURE I. 2 : Fonctionnement d'un capteur..... | 3 |
| FIGURE I. 3 : L'architecture hardware d'un nœud capteur sans fil..... | 3 |
| FIGURE I. 4 : Architecture de communication d'un RCSF..... | 5 |
| FIGURE I. 5 : Pile protocolaire..... | 6 |
| FIGURE I. 6 : Quelques modèles de capteurs sans fil..... | 8 |
| FIGURE I. 7 : Quelques domaines d'application pour les RCSF..... | 9 |
| | |
| Figure II. 1 : Exemple d'un protocole de routage..... | 13 |
| Figure II. 2 : Routage plat..... | 14 |
| Figure II. 3 : Routage hiérarchique..... | 14 |
| Figure II. 4 : Routage hiérarchique..... | 15 |
| Figure II. 5 : Protocoles de routage pour les RCSF selon la structure du réseau. . | 16 |
| Figure II. 6 : Protocoles de routage pour les RCSF selon le type de protocole..... | 17 |
| | |
| Figure III. 1 : Processus général de notre approche..... | 22 |
| Figure III. 2 : Processus général de notre approche..... | 22 |
| Figure III. 3 : Pseudocode de la phase de construction..... | 28 |
| Figure III. 4 : Pseudocode de la recherche locale..... | 29 |
| Figure III. 5 : Diagramme de séquence..... | 30 |

Liste des tableaux

| | |
|---|-----------|
| tableau IV. 1 : Paramètre de simulation de réseau..... | 35 |
|---|-----------|

Introduction générale

Les récents progrès dans le domaine des microsystèmes électromécaniques (MEMS) ont fortement influencé le développement de nœuds capteurs miniaturisés dans les domaines ISM (industriel, scientifique et médical) pour former des réseaux de capteurs sans fil (RCSF). Aux 21 ères siècle, les RCSF sont considérés comme une des technologies les plus importantes pour beaucoup d'applications à temps-réel.

Comme beaucoup de développements technologiques, les réseaux de capteurs sans fil ont émergé pour des besoins militaires tels que la surveillance sur le terrain de combat. Puis, ils ont trouvé leur chemin pour des applications civiles. Aujourd'hui, les RCSF sont devenus une technologie clé pour les différents types "environnements intelligents ". Ces réseaux sont d'une importance particulière quand un grand nombre des nœuds de capteurs doivent être déployés, dans des situations dangereuses. Par exemple, pour une gestion des catastrophes, un grand nombre de capteurs peuvent être largués par un hélicoptère. Ces capteurs peuvent aider à réaliser des opérations de sauvetage en localisant les survivants, pour l'identification des zones à risque ou pour renseigner l'équipe de secours.

Les principaux problèmes dans les réseaux de capteurs sans fil sont le protocole de routage, l'énergie consommée par le nœud, la sécurité, l'agrégation de données, la mobilité imprévisible des nœuds, etc. Ces capteurs sont parfois déployés dans des zones hostiles. Il est donc nécessaire d'avoir une stratégie efficace qui prend en considération l'énergie du réseau pour augmenter sa durée de vie en réduisant la perte d'énergie tout en étant réactive aux changements de l'environnement.

Ce mémoire se focalise sur la problématique de l'énergie consommée par le nœud dans les réseaux de capteurs sans fil. Nous nous intéressons d'itinéraires de protocole LEACH à l'aide de l'algorithme GRASP.

La suite de ce document est constituée de 4 chapitres :

Le chapitre 1 : nous présentons une description générale des réseaux de capteurs sans fil ainsi que leurs caractéristiques, contraintes et spécificités.

Le chapitre 2 : nous présentons les protocoles de routages proposés pour les RCSFs, une classification des protocoles de routage.

Le chapitre 3 : présente la Planification d'itinéraires de protocole LEACH à l'aide de l'algorithme GRASP.

Le chapitre 4 : présente mise en œuvre et résultats de notre travail.

Ce travail est terminé par une conclusion générale et une bibliographie.

Chapitre I

Réseau de capteurs sans fil

I.1. Introduction

Les avancées récentes dans le domaine de communication sans fil et les technologies MEMS (Micro-electro-mechanical systems) ont permis le développement des microcomposants qui intègrent des dispositifs de captages et de communication sans fil dans un seul circuit, à dimension réduite, et avec un coût raisonnable. Ces composants, communément appelés micro-capteurs, ont favorisé l'idée de développer les réseaux de capteurs basés sur l'effort collaboratif d'un grand nombre des nœuds opérant d'une façon autonome et communiquant entre eux via des transmissions à courte portée. Ce nouveau type de réseaux présente une grande amélioration comparé aux capteurs classiques.

Dans ce chapitre, nous donnons une brève présentation sur réseaux de capteurs, leurs caractéristiques et ainsi que les composants, architecture de communication, domaines d'application.

I.2. Histoire des réseaux de capteurs

Dans les années 1990, dans le monde de la recherche, est apparue une idée qui paraissait plutôt un rêve pour cette époque : imaginer un système nerveux central pour la Terre, capable de surveiller en temps réel les événements, ayant comme principaux bénéfiques de pouvoir empêcher les accidents et d'économiser l'énergie. (Cette poussière intelligente a mis longtemps à apparaître) dit le professeur Pister, de l'Université de Californie à Berkeley. (J'ai inventé l'expression il y a 14 ans. La poussière vraiment futée a mis le temps, mais elle est finalement arrivée). [1]

Aujourd'hui les réseaux de capteurs sont devenus des systèmes pouvant atteindre un très grand nombre de nœuds, avec une zone de couverture déterminée et déployés d'une manière plus ou moins dense dans un environnement hétérogène dont on mesure ainsi son état global. Les derniers progrès en terme de miniaturisation, ainsi que le remplacement du câblage classique par des technologies de communication radio, ont généré de nouvelles catégories d'applications qui visent de nombreux domaines : l'aéronautique, l'automobile, le médical, l'environnement, etc. De plus, les progrès des communications sans fil permettent aujourd'hui de répondre des exigences peu envisageables auparavant.[2]

I.3. Présentation des réseaux de capteurs

I.3.1. Définition de réseau de capteurs

Les réseaux de capteurs sont considérés comme une famille particulière des réseaux ad hoc. Ce sont des réseaux sans fil composés d'un grand nombre de nœuds appelés capteurs. Ces nœuds communiqués entre eux pour capter, traiter et transmettre les informations collectées dans différents environnements. La position de ces nœuds n'est pas obligatoirement prédéterminée, ils peuvent avoir des positions fixes ou bien être aléatoirement déployés dans une zone géographique dans le but de surveiller cette zone.[3]

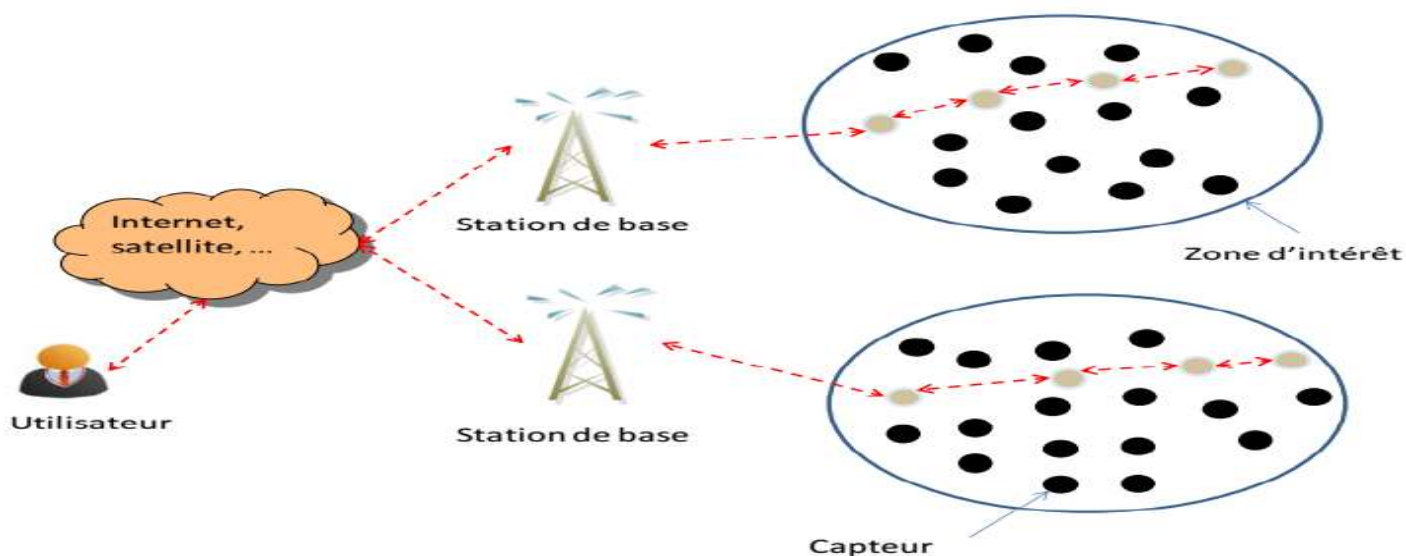


FIGURE I. 1 : Réseau de capteurs sans fil. [1]

I.3.2. Définition d'un capteur

Un capteur est un dispositif équipé de fonctionnalités de sensation avancées. Il mesure ou détecte un événement réel, comme le mouvement, la chaleur ou la lumière et convertit la valeur mesurée dans une représentation analogique ou numérique. Il prélève des informations et élabore à partir d'une grandeur physique (information d'entrée), une autre grandeur physique de nature électrique.[4]

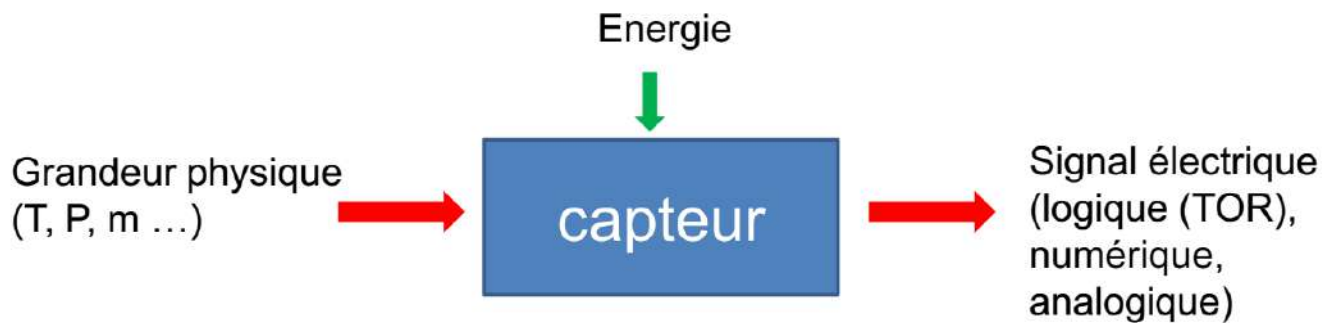


FIGURE I. 2 : Fonctionnement d'un capteur. .[4]

I.3.3. Architecture d'un capteur

Infrastructure d'un capteur est concrétisée autour de quatre principales unités comme le montre la figure I.3.

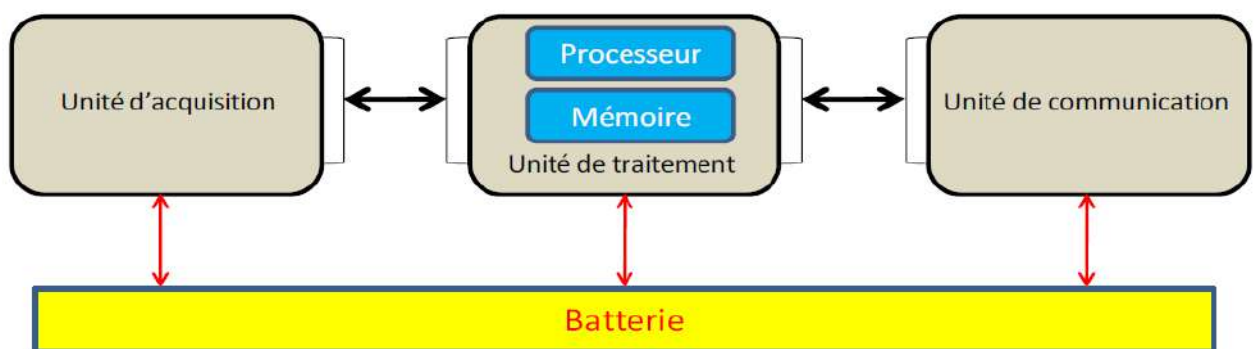


FIGURE I. 3 : L'architecture hardware d'un nœud capteur sans fil. [4]

➤ L'unité d'acquisition (de captage)

Est généralement composée de deux sous-unités : les capteurs et les convertisseurs analogique-numériques (ADC). Les capteurs obtiennent des mesures numériques sur les paramètres environnementaux et les transforment en signaux analogiques. Les ADCs (Analog to Digital Converter ou Convertisseur analogique-numérique) convertissent ces signaux analogiques en signaux numériques. [4]

➤ Unité de traitement (calcul)

Est composée de deux interfaces : une interface pour l'unité d'acquisition et une autre pour l'unité de transmission. Cette unité est également composée d'un processeur et d'une

mémoire, elle acquiert les informations en provenance de l'unité d'acquisition et les stocke en mémoire ou les envoie à l'unité de transmission.[5].

➤ **Unité de communication (transmission)**

Est responsable de toutes les émissions et réceptions de données via un support de communication sans fil. Les différents choix de media de transmission incluent la Radiofréquence (RF), le Laser et l'Infrarouge.[3, 5]

➤ **Unité d'alimentation (la batterie)**

Un capteur est muni d'une source d'énergie, généralement une batterie, pour alimenter tous ses composants. Les batteries utilisées sont soit rechargeables ou non. Souvent, dans les environnements sensibles, il est impossible de charger une batterie [5]. Pour cela, l'énergie est la ressource la plus précieuse puisqu'elle influe directement sur la durée de vie des capteurs et donc d'un réseau de capteurs.

I.3.4. Architecture de communication d'un réseau de capteurs

L'architecture des réseaux de capteurs fournit un prototype nécessaire à la compréhension des réseaux de capteurs et des relations entre les éléments utilisés. cette architecture se base sur l'interaction entre les trois éléments suivant[6]:

- **nœud capteur**
- **zone d'intérêt** : appelée aussi « champ de captage », c'est une zone géographique où on place les capteurs du réseau pour superviser ou surveiller des phénomènes divers.
- **stations de base (Sink)** : nommé aussi nœuds-puits où l'écoulement des données se termine. ces nœuds-puits sont des nœuds spéciaux qui possèdent plus de ressources matérielles et permettent de collecter et stocker les informations sorties des capteurs.

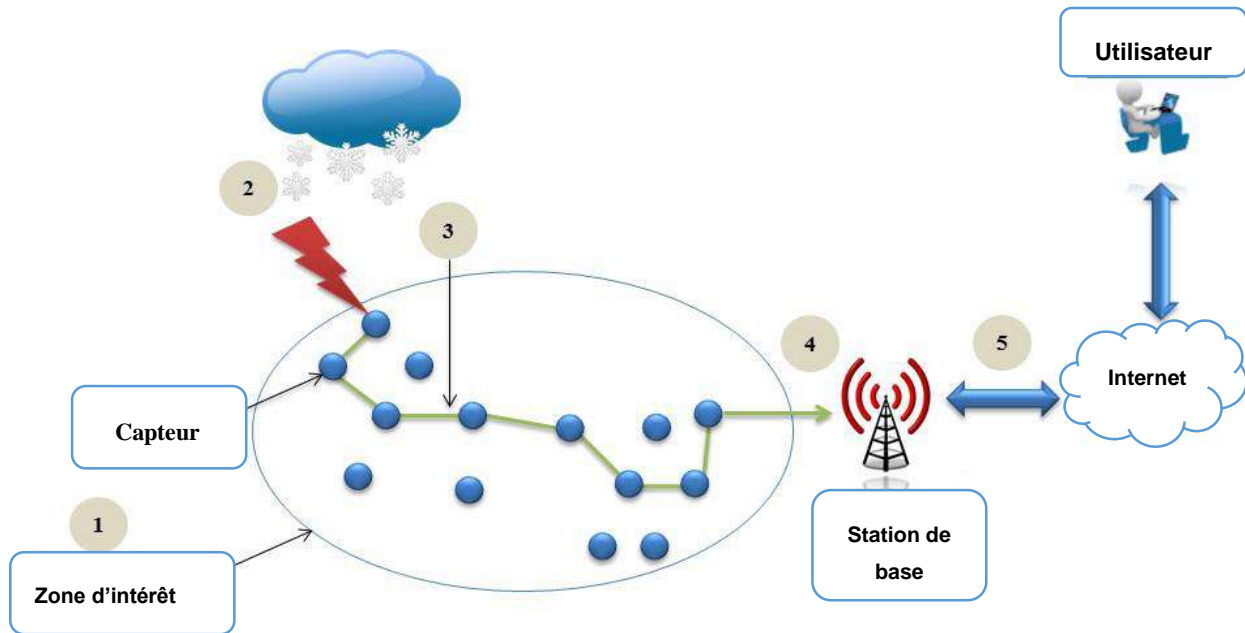


FIGURE I. 4 : Architecture de communication d'un RCSF. [3]

L'interaction entre ces éléments suit une séquence d'opérations telles que le déploiement, la détection d'évènement et la transmission des données[7]. Ces opérations doivent être exécutées dans l'ordre comme dans la figure I.4 :

1. Les capteurs sont déployés dans la zone d'intérêt de façon aléatoire ou fixe.
2. Lorsqu'un capteur détecte un évènement il le traite localement pour acquérir des données concernant cet évènement.
3. La transmission des données acquis par le capteur est réalisée par le biais d'une communication multi-sauts où un chemin est créé pendant le passage des messages par plusieurs nœuds.
4. La transmission des données se déroule jusqu'à ce qu'elles atteignent la station de base ou l'écoulement des données se termine.
5. La station de base est branchée à une machine puissante via internet pour utiliser les données récoltées.

I.3.5. Pile protocolaire

La pile protocolaire mise en œuvre pour l'ensemble de protocoles de communication du réseau de capteurs. Elle est composée de cinq couches qui ont les mêmes fonctions que celles du

modèle OSI (*Open Systems Interconnection*). ainsi que trois plans pour la gestion d'énergie, la gestion de la mobilité et la gestion des tâches.[8]

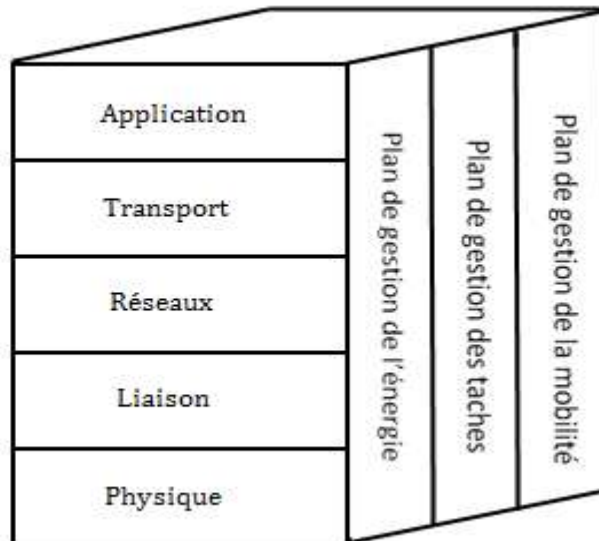


FIGURE I. 5 : Pile protocolaire. [3]

I.3.5.A Les couches de la pile

La pile protocolaire pour les réseaux de capteurs est organisée en couches superposées l'une sur l'autre. chaque couche assure une partie des fonctionnalités nécessaire à la communication entre les entités du réseau. les cinq couches du RCSF sont[3]:

- **La couche application** : Elle constitue les différentes applications qui peuvent être implémentées sur un réseau. Il s'agit du niveau le plus proche des utilisateurs géré directement par le logiciel. [9]
- **La couche transport** : Elle permet de diviser les données issues de la couche application en paquets pour les délivrer, ainsi elle réordonne et rassemble les paquets venus de la couche réseau avant de les envoyer à la couche application.[10]
- **La couche réseau** : Elle permet de trouver un chemin et une transmission fiable des données fournies par la couche transport. [10]
- **La couche liaison de données** : Elle prend soin de multiplexage du flux de données, contrôler l'accès aux MAC (Media Access Control), établir les liaisons point à point et multipoint dans le réseau et assurer la détection et la réception des trames de données. [9]

- **La couche physique** : Elle permet d'assurer la génération et modulation du signal radio, Estimation de la qualité de liens (signal) et la sélection des fréquences porteuses des données au niveau bit. [9]

I.3.5.B Les plans de la pile

Les plans de gestion sont nécessaires afin que les nœuds capteurs puissent fonctionner ensemble de manière efficace et prolonger la durée de vie du réseau. les trois plans du RCSF sont[3]:

- **Le plan de gestion de l'énergie** : il permet de préserver l'énergie en contrôlant l'utilisation de la batterie. Par exemple, un capteur se met en veille après la réception d'un message à partir d'un voisin dans le but d'éviter la duplication des messages déjà reçus. dans le cas où le niveau d'énergie devient bas, le nœud diffuse à ses voisins une alerte les informant qu'il ne peut pas participer au routage. [2]
- **Le plan de gestion de la mobilité** : il assure le routage des données dans un réseau de capteurs mobile. il est capable d'enregistrer les mouvements du nœud afin de l'aider à se localiser. [11]
- **Le plan de gestion des tâches** : comme il n'est pas nécessaire que tous les nœuds de réseau travaillent avec le même rythme, certains nœuds exécutent la tâche de captage plus que d'autres selon leur niveau d'énergie. le plan de gestion des tâches permet d'ordonner les différentes tâches de captage de données dans une zone spécifique afin d'assurer un travail coopératif et efficace au niveau de consommation d'énergie. [11]

I.3.6. Type de capteurs

Il existe actuellement un grand nombre de capteurs, avec des fonctionnalités diverses et variées. la plupart des capteurs dépendent de l'application pour laquelle ils ont été conçus (capteurs aquatiques, sous-terrain, etc.).

Depuis un peu plus de 10 ans, la technologie des capteurs sans fil a beaucoup évoluée. les modules deviennent de plus en plus petits et les durées de vie prévues augmentent. aujourd'hui, le marché de nœuds a été ouvert à l'industrie. le fournisseur le plus connu est Crossbow Inc. avec son offre de capteurs Mica2 et MicaZ.[5, 12]



FIGURE I. 6 : Quelques modèles de capteurs sans fil. [5]

I.3.7. Domaines d'application des réseaux de capteurs

Les avantages qui caractérisent les réseaux de capteurs les permettent de s'adapter à plusieurs domaines d'applications. parmi ces domaines où les réseaux de capteurs se révèlent très utiles et peuvent offrir de meilleures contributions, on peut noter le militaire, l'environnemental, le médicale et le domestique[12].

➤ 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'y envoyer des troupes (détection d'agents chimiques, biologiques ou de radiations).[13]

➤ 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. [7]

➤ Applications environnementales

Les réseaux de capteurs sont beaucoup appliqués dans ce domaine pour détecter des incendies, surveiller des catastrophes naturelles, détecter des pollutions et suivre des écosystèmes.[14]

➤ Applications agricoles

Dans les champs agricoles, les capteurs peuvent être semés avec les graines. Ainsi, les zones sèches seront facilement identifiées et l'irrigation sera donc plus efficace. [7]

➤ Applications médicales

Les réseaux de capteurs ont aussi des développements dans le domaine de diagnostic médical. par exemple, des micro-caméras sont capables, sans avoir recours à la chirurgie, de transmettre des images de l'intérieur d'un corps humain avec une autonomie de 24 heures. [13]

➤ Applications transportés

Il est possible d'intégrer des nœuds capteurs au processus de stockage et de livraison. Le réseau ainsi formé, pourra être utilisé pour connaître la position, l'état et la direction d'un paquet ou d'une cargaison. [14]

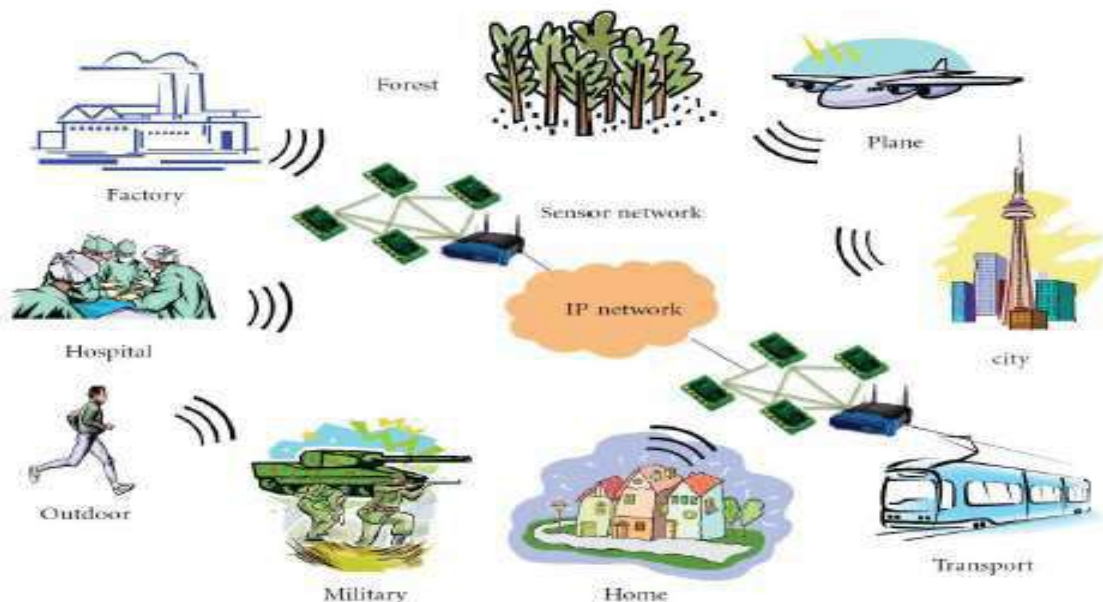


FIGURE I. 7 : Quelques domaines d'application pour les RCSF. [14]

I.3.8. Caractéristiques et Limites des réseaux de capteurs

I.3.8.A Caractéristiques

- **Absence d'infrastructure** : les réseaux ad hoc, en général, se distinguent des autres réseaux mobiles par la propriété d'absence d'infrastructure préexistante et de tout genre d'administration centralisée. les hôtes mobiles sont responsables d'établir et de maintenir la connectivité du réseau d'une manière continue. [15]
- **Taille** : un grand nombre de nœuds dispersés aléatoirement (des réseaux de 10000 nœuds peuvent être envisagés).
- **Contrainte d'énergie** : dans plusieurs applications, les nœuds de capteurs sont placés dans des surfaces distantes, le service du nœud peut ne pas être possible, dans ce cas la durée de vie du nœud peut être déterminée par la durée de vie de la batterie, ce qui exige la minimisation des dépenses d'énergies.[16]
- **Topologie dynamique** : les capteurs peuvent être attachés à des objets mobiles qui se déplacent d'une façon libre et arbitraire rendant ainsi, la topologie du réseau fréquemment changeante.
- **Auto organisation du réseau** : ceci peut être nécessaire dans plusieurs cas. par exemple, un réseau comportant un grand nombre de nœuds placés dans des endroits hostiles où la configuration manuelle n'est pas faisable, doit être capable de s'auto-organiser. un autre cas est celui où un nœud est inséré ou retiré (à cause d'un manque d'énergie ou de destruction physique), ainsi le réseau doit être capable de se reconfigurer pour continuer sa fonction. [15]
- **Sécurité physique limitée** : les RCSF mobiles sont plus touchés par les paramètres de sécurité que les réseaux filaires classiques. cela se justifie par les contraintes et limitations physiques qui font que le contrôle des données transférées doit être minimisé.[16]

I.3.8.B Limites

- Les ressources de calcul et de mémoire des nœuds sont relativement faibles, par exemple les nœuds de capteur de type "mote" sont composés d'un microcontrôleur 8-bits 4MHz, 40 KOctets de mémoire et une radio avec un débit d'environ 10 kbps.[17]
- Non seulement les capacités des nœuds sont faibles, mais en plus ils opèrent sur des piles et par conséquent ont une durée de vie limitée. [18]

- L'énergie limitée des capteurs est probablement la caractéristique la plus pénalisante, le plus grand des défis dans le domaine des réseaux de capteurs reste de concevoir des protocoles, entre autre de sécurité, qui minimisent l'énergie afin de maximiser la durée de vie du réseau. en d'autres mots, l'énergie est sans aucun doute la ressource qui convient pour gérer avec la plus grande attention[17]

I.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les réseaux de capteurs sans fil, leurs architectures, composants, types ainsi que l'architecture de communication, caractéristiques et domaines d'application.

Dans le chapitre qui suit, nous présentons quelques protocoles de routage classique conçus pour les RCSF et d'autres améliorations proposées par l'introduction des méta-heuristiques sur ces derniers.

Chapitre II

Les protocoles de routage dans les réseaux de capteurs

II.1. Introduction

Dans les réseaux sans fil, les protocoles de routage permettent d'établir des routes entre les nœuds pour acheminer les paquets entre eux. Cependant, dans les réseaux de capteurs, les protocoles de routage établissent des routes entre tout nœud du réseau et la station de base pour assurer la fidélité de routage. Dans cette optique, plusieurs protocoles ont été proposés dans la littérature. Il y en a de nouveaux protocoles qui ont été développés comme il y en a des protocoles qui sont des améliorations des autres et essaient de combler les limitations des versions originales.

Dans ce chapitre, nous présente les protocoles de routages proposés pour les RSFs, une classification des protocoles de routage

II.2. Définition le Routage

Le **routage** est le mécanisme par lequel des chemins sont sélectionnés dans un réseau pour acheminer les données d'un expéditeur jusqu'à un ou plusieurs destinataires.[3]

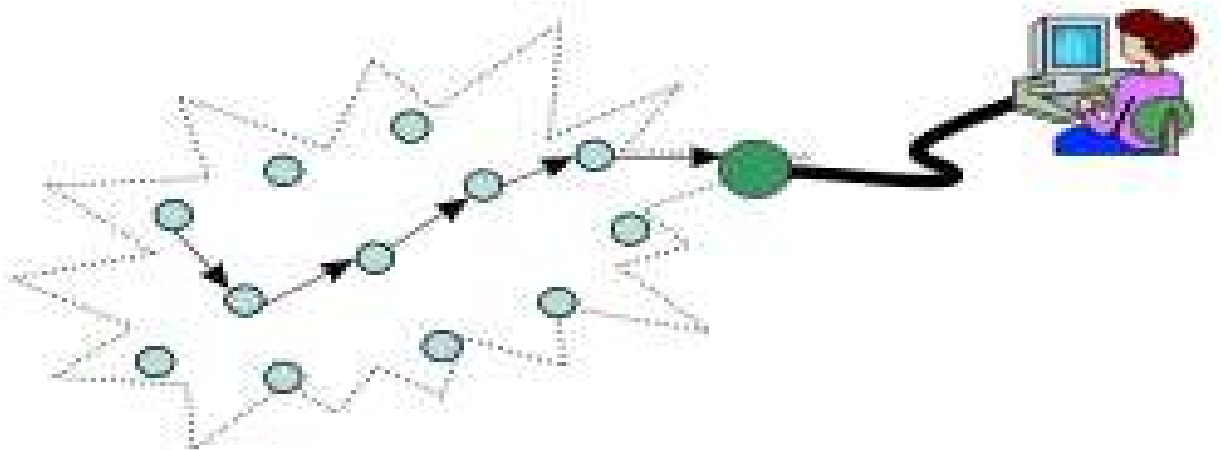


Figure II. 1 : Exemple d'un protocole de routage. .[3]

II.3. Classification des protocoles de routage dans les RC

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

1. La structure de réseau.
2. Le type de protocole.

II.3.1. Selon La structure de réseau (Topologie)

1. Les protocoles de routage plat (flat based-routing)

Ces protocoles considèrent que tous les nœuds sont identiques, c'est à dire ont les mêmes fonctions à exécuter sauf le nœud de contrôle (sink) qui est chargé de collecter toutes les informations issues des différents nœuds capteurs pour les transmettre vers l'utilisateur final. La décision d'un nœud de router des paquets vers un autre dépendra de sa position et pourra être remise en cause au cours du temps.[4]

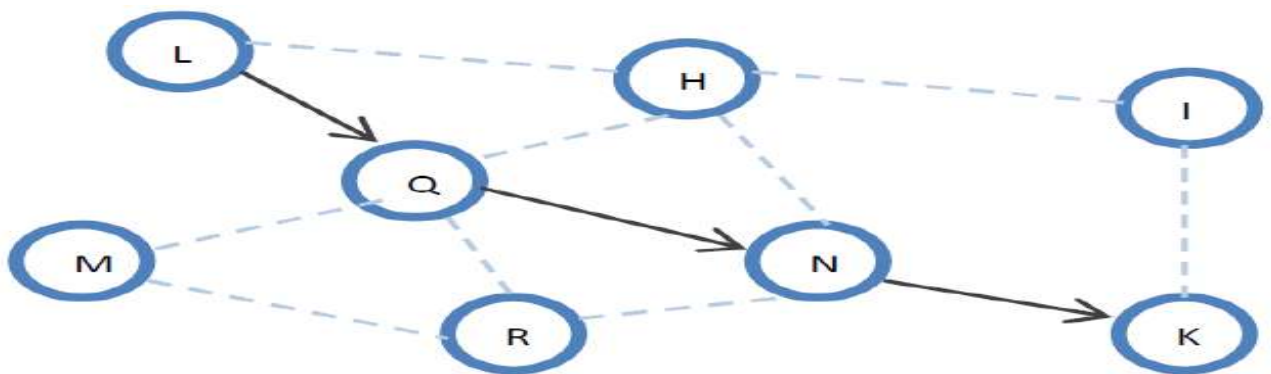


Figure II. 2 : Routage plat. [4]

2. Les protocoles de routage hiérarchique

Le principe des protocoles de routage hiérarchique est basé essentiellement sur les nœuds passerelles. En fait, les nœuds ordinaires savent que si le destinataire n'est pas dans leur voisinage direct, il suffit d'envoyer la requête à la passerelle qui la prendra en charge[5]. À son tour, elle transmettra cette requête vers le nœud ciblé. ce type de routage présente de nombreux avantages pour les réseaux dont leurs nœuds sont sédentaires et disposent de suffisamment d'énergie.

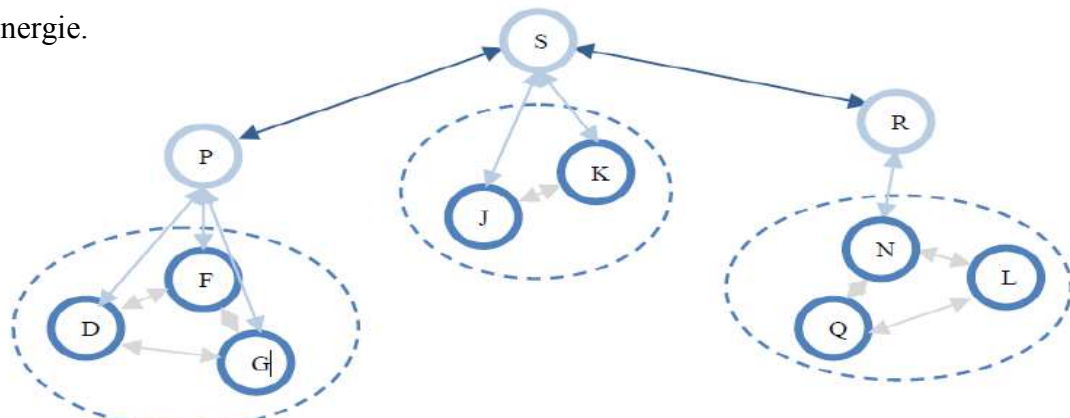


Figure II. 3 : Routage hiérarchique. [4]

3. Les protocoles de routage avec localisation géographique

Un routage est dit géographique lorsque les décisions de routage sont basées sur la position des nœuds. Les pré-requis pour effectuer un routage géographique dans un réseau ad hoc sont [19]:

- tous les nœuds possèdent un moyen de localisation, soit un système natif comme le GPS (Global Position System), soit un système logiciel comme un protocole de localisation.
- un nœud source connaît toujours la position du nœud destinataire. Pour ce faire, soit tous les nœuds connaissent les positions initiales de tous les nœuds, soit un service de localisation doit être utilisé.

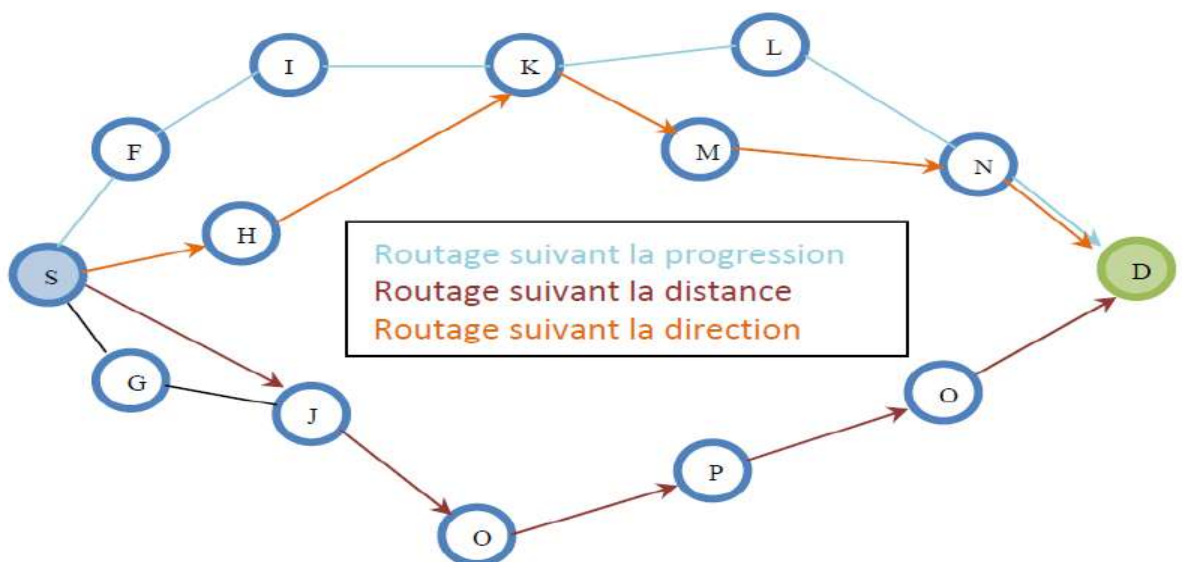


Figure II. 4 : Routage hiérarchique. [4]

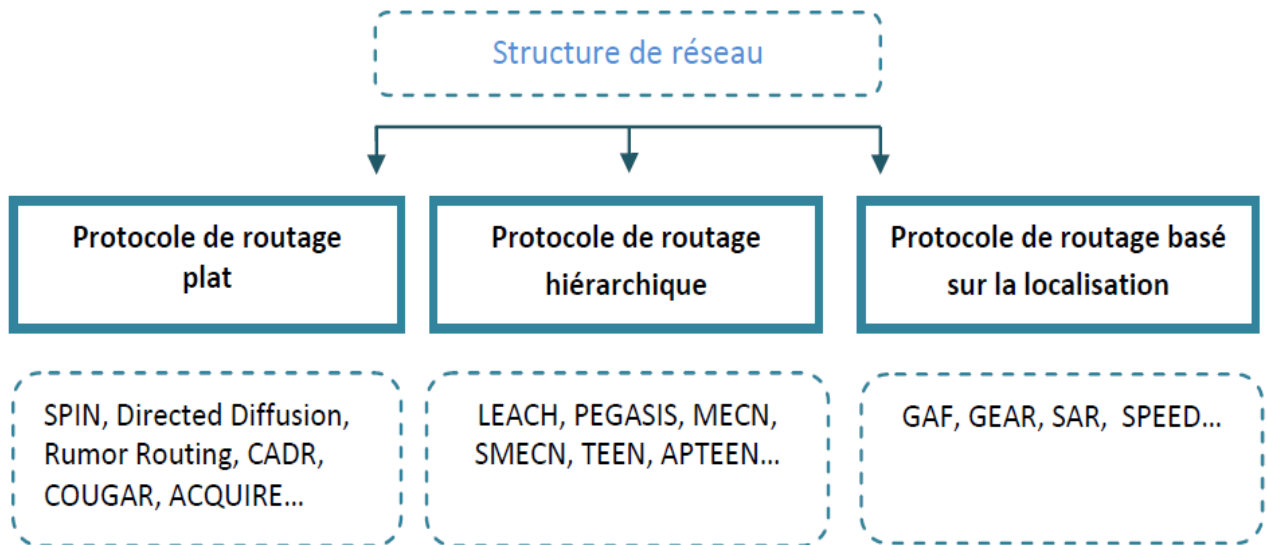


Figure II. 5 : Protocoles de routage pour les RC selon la structure du réseau. [3]

II.3.2. Selon le type de protocole

1. Protocole de routage multi-chemin

Il se base sur l'adoption de plus qu'un chemin menant vers la destination, et ce, pour avoir des chemins de secours si jamais le chemin principal serait rompu.[5]

2. Protocole de routage basé sur la négociation des données

En détectant le même phénomène, les nœuds capteurs inondent le réseau par les mêmes paquets de données. Ce problème de redondance peut être résolu en employant des protocoles de routage basés sur la négociation. En effet, avant de transmettre, les nœuds capteurs négocient entre eux leurs données en échangeant des paquets de signalisation spéciales, appelés META-DATA. Ces paquets permettent de vérifier si les nœuds voisins disposent des mêmes données à transmettre. cette procédure garantit que seules les informations utiles seront transmises et élimine la redondance des données.[4]

3. Protocole de routage basé sur les interrogations

La collecte des informations sur l'état de l'environnement est initiée par des interrogations envoyées par le nœud « Sink ».[20]

4. Protocole de routage basé sur la QoS

Ce type de protocoles tend à satisfaire certaines métriques, pendant la transmission des données vers la destination finale. Parmi ces métriques, nous citons : le délai de bout en bout, la gigue, PDR (Paquet Delivery Ratio), énergie consommée.[4]

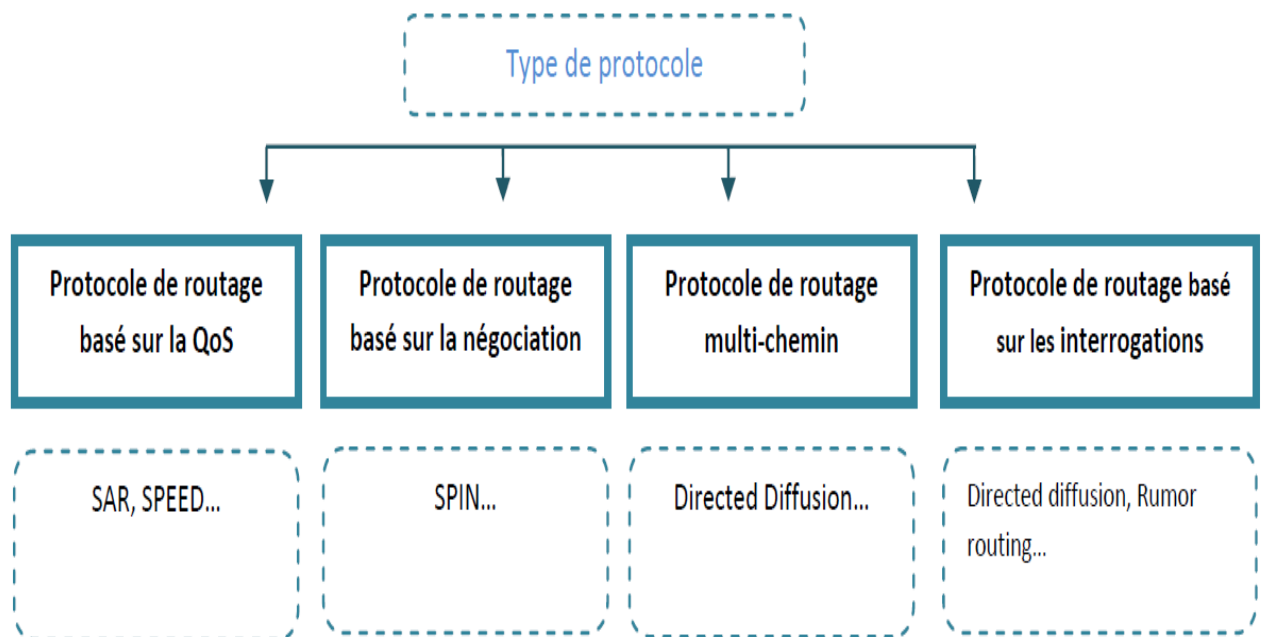


Figure II. 6 : Protocoles de routage pour les RC selon le type de protocole. [3]

II.4. Les protocoles de routage proposé pour les RCSF

II.4.1. Protocoles de routage hiérarchiques

1. LEACH

L'idée est de former des clusters de nœuds capteurs en se basant sur la force du signal reçue et d'employer le cluster-Head local comme routeur du sink[4]. Tout traitement de données est local au cluster. Le rôle de cluster-Head est échangé aléatoirement entre les nœuds afin d'équilibrer les charges.

2. PEGASIS (Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems)

PEGASIS est une amélioration du protocole LEACH. Au lieu de former plusieurs clusters, PEGASIS forme des chaînes de nœuds de sorte que chaque nœud transmet et reçoit du

nœud voisin appartenant à la chaîne. Un seul nœud est choisi, parmi cette chaîne, pour transmettre au sink. Ce nœud est nommé (leader node). Les données recueillies se déplacent d'un nœud à un autre, et seront agrégées puis envoyées au sink par le nœud leader. Dans le PEGASIS hiérarchique les nœuds construisent une chaîne qui forme un arbre hiérarchique. chaque nœud leader, choisi dans un niveau particulier, transmet des données aux nœuds du niveau supérieur de la hiérarchie jusqu'à atteindre la station de base Sink.[20]

3. TEEN et APTEEN(Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol)

TEEN est un protocole hiérarchique conçu pour être sensible aux changements imprévus des attributs détectés tels que la température. L'architecture du réseau est basée sur un groupement hiérarchique où les nœuds les plus proches forment des clusters. Après la construction des clusters, le clusterhead diffuse deux seuils aux nœuds. Qui sont la valeur minimale d'un attribut pour pouvoir être transmis et le degré minimale du changement de cet attribut. le TEEN adaptatif (APTEEN) est une extension du TEEN basée sur la capture périodique des données et la réaction aux événements temps-réel. quand la station de base forme les clusters, les cluster-heads diffusent les attributs, les seuils et le plan de transmission à tous les nœuds et effectuent également l'agrégation des données afin d'économiser l'énergie.[12]

4. SAR (Sequential Assignment Routing)

SAR est une approche multi-chemins qui s'efforce à réaliser l'efficacité énergétique et la tolérance aux fautes. SAR crée des arbres en prenant en compte les métriques QoS, la ressource énergétique sur chaque chemin et le niveau de priorité de chaque paquet. En utilisant ces arbres, des routes multiples du sink aux capteurs sont formés. une ou plusieurs routes peuvent, alors, être emprunter.[21]

II.4.2. Protocoles de routage non hiérarchiques

1. AODV (Ad-hoc On Demand Distance Vector)

C'est un protocole à vecteur de distance, comme DSDV, mais il est réactif plutôt que proactif comme DSDV. En effet, AODV ne demande une route que lorsqu'il en a besoin. AODV utilise les numéros de séquence d'une façon similaire à DSDV pour éviter les boucles de routage et pour indiquer la « nouveauté » des routes. une entrée de la table de routage contient essentiellement l'adresse de la destination, l'adresse du nœud suivant, la distance en nombre de

sauts (i.e. le nombre des nœuds nécessaires pour atteindre la destination), le numéro de séquence destination, le temps d'expiration de chaque entrée dans la table.[19]

2. SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation)

L'idée derrière le SPIN est d'échanger des informations sur les données à envoyer en utilisant des paquets de signalisations spéciales nommées meta-DATA. Ceci permet d'éviter le problème des données redondantes. chaque nœud, s'intéressant à la donnée référencée par ce paquet meta-DATA, peut les récupérer en envoyant un paquet de requête.[1]

3. DSDV (Destination Sequenced Distance Vector)

DSDV est un protocole proactif de routage à vecteur de distance. Chaque nœud du réseau maintient une table de routage contenant le saut suivant et le nombre de sauts pour toutes les destinations possibles. des diffusions de mises à jour périodiques tendent à maintenir la table de routage complètement actualisée à tout moment.[4]

4. GSR (Global State Routing)

Le protocole GSR est un protocole similaire au protocole DSDV décrit précédemment. Ce protocole utilise les idées du routage basé sur l'état des liens (Link State, LS), et les améliore en évitant le mécanisme inefficace d'inondation des messages de routage. GSR utilise une vue globale de la topologie du réseau, comme c'est le cas dans les protocoles basés sur LS. le protocole utilise aussi une méthode, appelée la méthode de dissémination, utilisée dans le DBF (Distributed Bellman-Ford).[19]

5. DSR (Dynamic Source Routing) :

DSR est un protocole de routage réactif qui utilise le routage de source afin d'envoyer des paquets de données. Dans ce type de routage, les entêtes des paquets de données portent la séquence des nœuds à travers lesquels le paquet doit passer. Ceci signifie que les nœuds intermédiaires ont juste besoin de garder des traces de leurs voisins intermédiaires afin de transférer les paquets de données. le nœud source a besoin de savoir l'ordre complet des nœuds jusqu'à la destination.[5]

6. OLSR (Optimized Link State Routing) :

Comme son nom l'indique, OLSR est un protocole proactif à état des liens optimisé ; il permet d'obtenir aussi des routes de plus court chemin. alors que dans un protocole à état des liens, chaque nœud déclare ses liens directs avec ses voisins à tout le réseau, dans le cas d'OLSR, les nœuds ne déclarent qu'une sous-partie de leur voisinage grâce à la technique des relais multipoints (MultiPoint Relaying, MPR).[4]

7. GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing):

La topologie a un caractère relativement provisoire dû à la mobilité des nœuds dans les réseaux Ad-Hoc et de capteurs mobiles. Pour cette raison, les protocoles de routage les plus étudiés pour ce type de réseaux sont les protocoles de routage géographique car ils permettent d'éviter la surcharge d'informations échangées entre les nœuds qui cherchent à obtenir la topologie du réseau ou à construire les tables de routage. [4]

Ce protocole de routage géographique se base sur le fait que tous les nœuds connaissent leur position, par exemple, grâce à un équipement GPS (Global Positioning System) ou encore par un système de positionnement distribué.

II.5. Conclusion

Dans les réseaux sans fil, plusieurs protocoles de routage ont été conçus et ces protocoles donnent de bons résultats en termes de temps nécessaire pour envoyer une information à la station de base et d'énergie dissipée pour les réseaux de taille modeste. Cependant, ces protocoles perdent leurs performances lorsque nous passons à l'échelle puisqu'ils utilisent des versions itératives pour établir les routes entre les nœuds et la station de base.

Dans ce chapitre, nous avons identifié et classifié quelque protocole de routage pour les réseaux RSF.

Chapitre III

Planification d'itinéraires de protocole LEACH à l'aide de l'algorithme GRASP

III.1. Introduction

L'objectif principal de notre travail est de réaliser un protocole de routage du protocole de routage LEACH selon l'algorithme GRASP afin de prolonger la durée de vie du réseau.

Dans ce chapitre on décrit notre approche proposée de planification avec les différents composants utilisés pour l'implémenter. On étudie essentiellement l'architecture globale et les descriptions détaillées des différentes entités, ainsi que leurs rôles. En outre, on met en relief les différents algorithmes de protocole.

III.2. Description de l'approche proposée

Afin d'atteindre notre objectif (augmenter la durée de vie et réduire la durée de la tâche dans WSN), nous proposons une amélioration de protocole de routage LEACH à base d'algorithme GRASP qui offrent plusieurs avantages améliorant la performance de ce protocole (Nombre de paramètres à régler, Consommé moins de temps CPU, Relativement plus simple à implémenter).

La structure de notre modèle est représentée par la figure III.1, qui comprend les deux étapes suivantes:

Étape 1: construire les clusters, cette étape comprend les deux sous-étapes suivantes:

- Définir les groupes de nœuds sources.
- Déterminer le chef de chaque cluster « cluster-Head ».

Étape 2: Bâtir l'itinéraire pour chaque cluster selon l'algorithme GRASP (étape de communication).

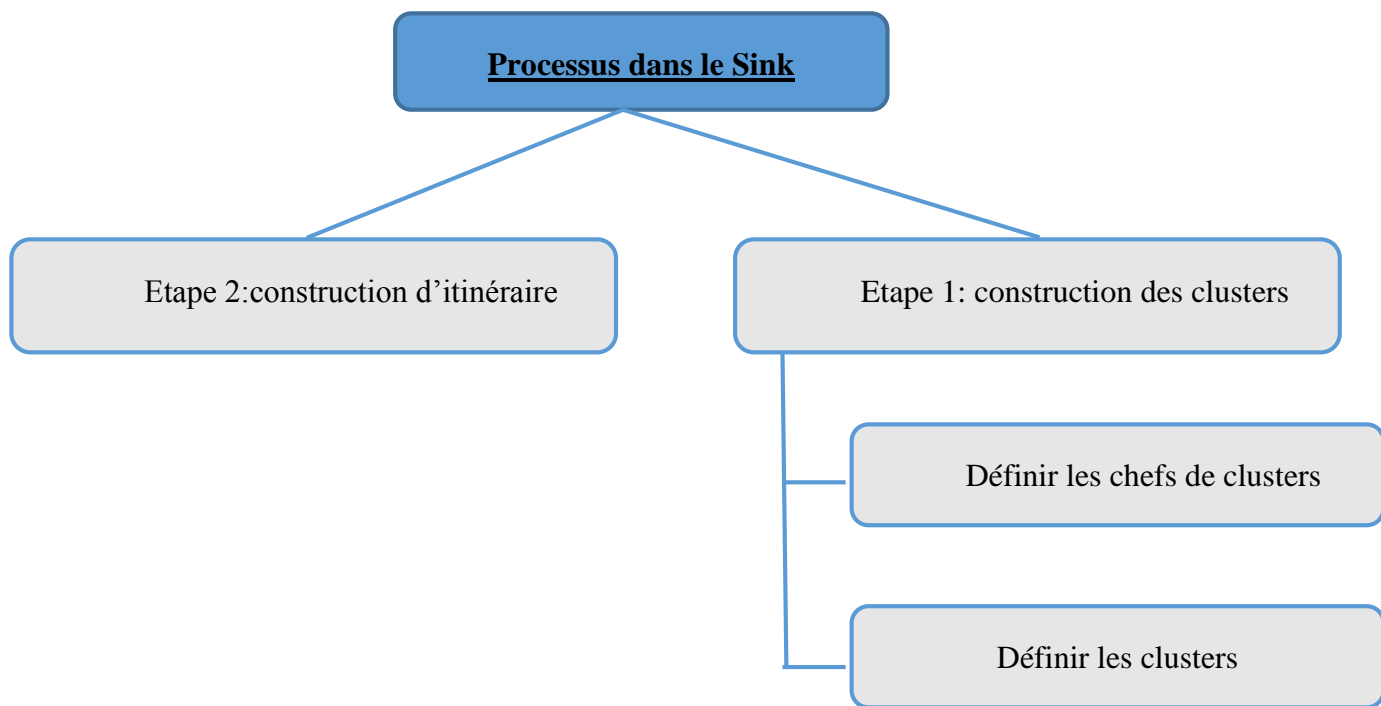


Figure III. 1 : Processus général de notre approche.

III.3. Description détaillée l'approche proposée

Dans cette section, nous présentons les deux étapes ci-dessus de la stratégie proposée avec plus de détails.

III.3.1. Construction des clusters

LEACH divise le réseau en zones et clusters de façon distribuée, des nœuds Chef (Cluster-Head) sont constitués puis utilisés comme relais pour atteindre le puits en optimisant la consommation d'énergie suivant un algorithme qui utilise la rotation randomisée des têtes de groupe (CH) pour distribuer équitablement la charge d'énergie entre les nœuds du réseau. Un nœud décide quel cluster rejoindre en se basant sur la puissance des signaux reçus.[22]

L'algorithme de LEACH se déroule en tours (rounds) qui ont approximativement le même intervalle de temps déterminé au préalable. Où chaque tour commence par une phase d'initialisation (Organisation en cluster) suivie d'une phase de transmission.

1. phase d'initialisation

Initialement, lorsque les groupes sont créés, chaque nœud décide ou non de devenir un CH pour le tour courant. Cette décision est basée sur le suggéré pourcentage de CHs pour le

réseau et le nombre de fois que le nœud a été un CH jusqu'ici [23]. Cette décision est faite par le nœud en choisissant un nombre aléatoire entre 0 et 1. Si le nombre est inférieur à un seuil $T(n)$ le nœud devient un CH pour le cycle actuel. Le seuil est défini comme suit:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P * (r \bmod \frac{1}{P})} & \text{Si } n \in G \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$$

- **P** est le pourcentage souhaité de CH c'est-à-dire choisi comme $p = 0,05$ pour une condition optimale;
- **r** est le tour courant ;
- **G** est l'ensemble des nœuds qui n'ont pas été CHs lors des $(1/p)$ tours précédents.

Chaque nœud est donné une probabilité égale de $(1/p)$ de devenir CH afin de équilibré la charge de l'énergie. Ainsi, lors du commencement d'un tour, chaque nœud a une probabilité égale de devenir un CH.

Les nœuds qui étaient CHs doivent attendre jusqu'à $(1/p)$ tours, donc augmenter la probabilité contribue à augmenter la chance pour les non CH de devenir CH. les nœuds sont de nouveau admissibles à devenir CHs si et seulement si tous les nœuds ont obtenu une fois la qualité de CH. tout nœud après $((1/p)-1)$ tours sera de nouveau élu CH en supposant que chaque nœud possédée dissipe une quantité égale d'énergie à des fins de transmission.[21]

Chaque nœud qui se sera désigné CH pour le tour courant diffuse un message d'annonce vers le reste des nœuds l'entourant. Lors de cette phase d'initialisation, les CHs utilisent le protocole MAC (Media Access Control) CSMA (Carrier Sense Multiple Access). En utilisant la puissance de transmission, tous les CHs diffusent leur message d'initialisation qui contient l'ID du nœud et un entête distinguable. Les autres nœuds doivent maintenir leurs radios à l'écoute afin d'entendre les messages diffusés par les CHs, et chacun de ces nœuds décide quel groupe rejoindre pour le tour courant en se basant sur la puissance de radio reçus de la part des CHs. Plus un nœud est proche du CH, plus le signal reçu sera puissant, indiquant à celui-ci

qu'il aura besoin de moins d'énergie pour transmettre ses données vers le CH. Si deux signaux reçus ont la même puissance, alors le CH à rejoindre est choisi aléatoirement.[24]

Après que chaque nœud ait choisi quel groupe rejoindre, le CH doit être informé des nœuds composant son groupe. Chaque nœud non-CH transmet une requête de ralliement vers le CH choisi en utilisant également un protocole CSMA MAC. Ce message ou requête de ralliement se compose de l'ID du nœud, de l'ID du CH et d'un entête. durant cette phase, tous les CHs doivent maintenir leurs radio allumés.[25]

Enfin le CH ensuite calculé ou bien établie un Schedule TDMA (Time Division Multiple Access) en se basant sur le nombre de nœuds dans son cluster. et ce n'est que pendant le temps qui leur est alloué que les nœuds peuvent transmettre leurs données vers le CH.[25]

2. Phase de transmission

Une fois que les groupes se sont organisés et le Schedule TDMA mis en place, la transmission de données commence avec l'hypothèse que les nœuds ont toujours des données à transmettre, mais ces données ne sont envoyées à la station de base que pendant l'intervalle de temps alloué au nœud. Ce type de transmission requiert une énergie minimale pour la transmission. Les autres nœuds membres du groupe, dont ce n'est pas le tour, doivent éteindre leurs transmetteurs afin d'éviter la dissipation inutile d'énergie. Mais le CH doit garder son récepteur allumé durant le tour courant pour recevoir toutes les données envoyées par les nœuds membres, après il exécute les fonctions de traitement du signal afin de former un signal unique à transmettre. Cette agrégation de données est alors envoyée à destination de la station de base. Le coût en énergie pour le CH est toujours supérieur à celui des membres à cause des différentes actions qu'il doit entreprendre et à cause de l'énergie nécessaire pour transmettre vers la station de base qui se trouve plus loin que la distance qui le sépare des nœuds membres. Cela donne la phase d'état stable. Après que la transmission des données soit terminée, le prochain tour de sélection des CHs commence pour ce cycle là comme expliqué dans la phase d'initialisation.[26]

2.1. Interférences entre groupes :

Dans ce qui précède, nous avons montré comment les nœuds communiquent avec leurs CH et les CHs avec la station de base. Ces communications ayant lieu par signaux radio, les transmissions des nœuds d'un groupe donné peuvent interférer avec celles d'un groupe voisin.

Ainsi, afin de réduire ces interférences, lorsqu'un nœud devient CH, il choisit parmi une liste éparse de codes CDMA (Code Division Multiple Access), celui qu'il désire utiliser et il informe tous les autres nœuds de son groupe de son choix. ils utiliseront alors ce code-là lors de leurs futures transmissions et le CH filtrera les signaux reçus en utilisant ce même code afin de reconnaître ceux émis par les membres de son groupe.[26]

L'assignement effectif des canaux de communication est une tâche difficile même en la présence d'une supervision centralisée. et l'utilisation des codes CDMA n'est peut-être pas une solution optimale à l'égard de la bande passante mais elle produit une solution pour le problème de l'accès multiple d'une manière distribuée.[27]

III.3.2. Construction d'itinéraire

Après avoir déterminé les clusters avec leurs chefs, nous procédons à l'étape de la construction d'itinéraire. Dans notre travail la construction de la trajectoire pour chaque cluster (chef de cluster vers la station de base) est réalisé par l'algorithme heuristique GRASP.

Cette tâche est chargée de déterminer l'ordre de nœuds à suivre. L'algorithme GRASP effectue deux étapes pour un nombre donné d'itérations :

- **La première étape** : Construction d'une solution qui tente de construire un circuit selon l'algorithme semi-glouton.

- **La deuxième étape** : Recherche locale qui tente d'améliorer l'itinéraire construit dans la première étape par une recherche locale. L'itinéraire final sera la meilleure solution obtenue.

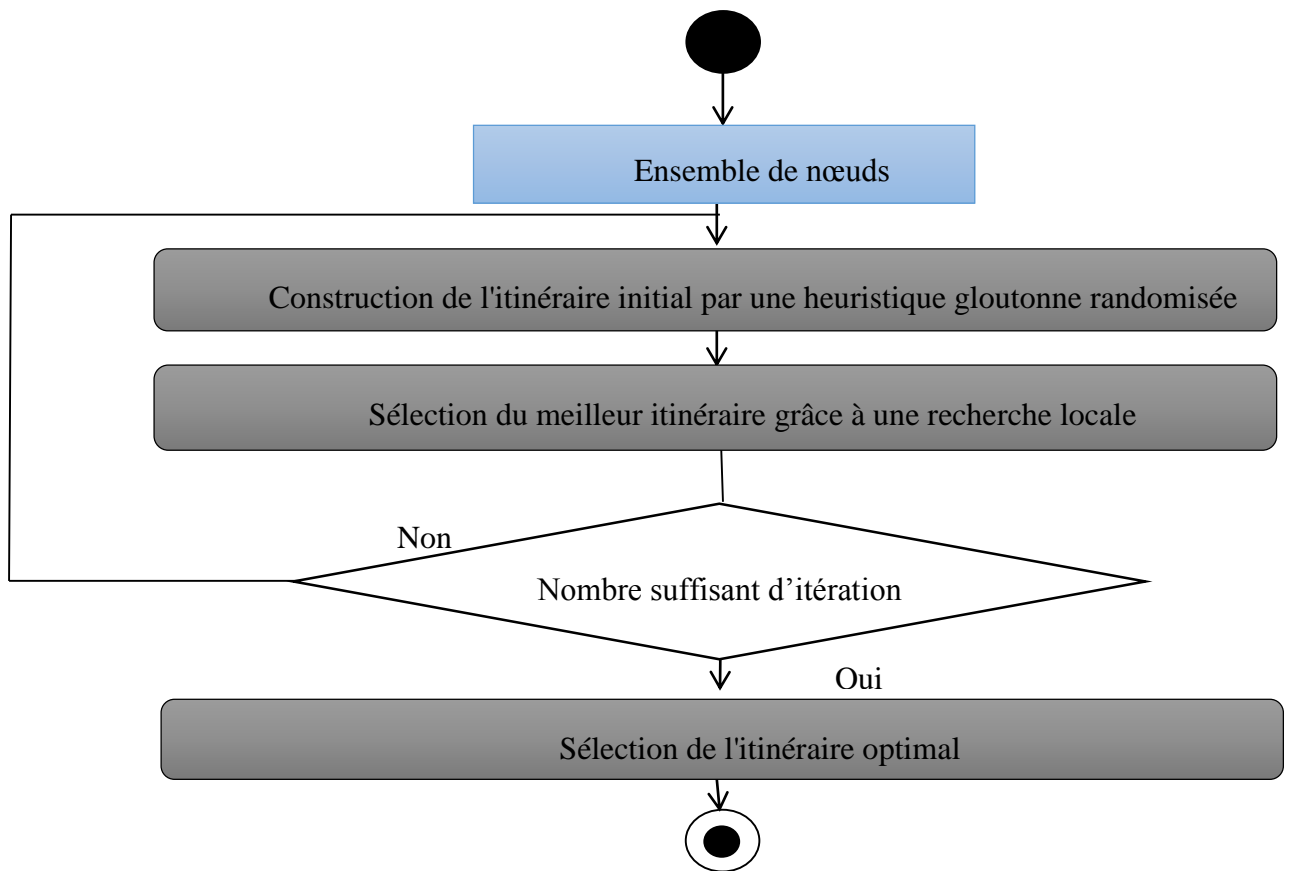


Figure III. 2 : Processus général de GRASP.

1. Phase de construction

Au cours de l'étape de construction un circuit est réalisé de manière itérative; où chaque itération ajoute un arc dans la solution partielle actuelle. Pour déterminer l'arc à ajouter, nous utilisons une liste des meilleurs candidats obtenus (RCL: Restricted Candidate List) avec une fonction glouton et on prendre un arc de manière aléatoire à partir de cette liste. Après cela, la liste RCL est mise à jour dynamiquement. cette étape de la construction se poursuit jusqu'à l'obtention d'une solution complète.[28]

La construction de la RCL est régi par un paramètre $\alpha \in [0, 1]$ qui contrôle la qualité et le nombre d'arc à inclure. Pour notre problème (problème de minimisation), RCL est construit comme suit:

$$\mathbf{RCL} \leftarrow \{e \in \mathbf{C} \mid c(e) \leq \mathbf{C}_{\min} + \alpha (\mathbf{C}_{\max} - \mathbf{C}_{\min})\}$$

Où:

- $cMin, cMax$: le cout incrémental minimal et maximal depuis la liste C .
- $c(e)$: le cout incrémental de l'arc ' e '.
- e : l'arc inclus.
- C : liste de tous les arcs possibles qui relient les nœuds d'un cluster.

```

Procédure GreedyRandomizedConstruction ( $\alpha$ )
Solution  $\leftarrow \phi$ 
C  $\leftarrow E$ 
Evaluation du cout incrémental  $c(e) \ e \in C$ 
Tant-Que C  $\neq \phi$  faire
  CMin  $\leftarrow \min\{c(e), e \in C\}$ 
  CMax  $\leftarrow \max\{c(e), e \in C\}$ 
  RCL  $\leftarrow \{e \in C \mid c(e) \leq cMin + (\alpha(cMax - cMin))\}$ 
  Sélection aléatoire de s depuis RCL
  Solution  $\leftarrow$  Solution U {s}
  Mise à jour de C
  Réévaluation du cout incrémental pour  $e \in C$ 
Fin Tant-Que
Retourne Solution
Fin GreedyRandomizedConstruction

```

Figure III. 3 : Pseudocode de la phase de construction. [28]

Pour $\alpha=0$, la RCL contiendra toujours le meilleur élément de C , pour tous les itérations, et cela rendra la recherche purement gloutonne (*greedy*), au contraire, pour un $\alpha=1$ la recherche sera purement aléatoire. C'est la construction de la liste RCL qui donne l'aspect glouton (*greedy*) au GRASP.

2. Phase de recherche locale

L'itinéraire construit par l'étape précédente n'est pas nécessairement optimale. en raison de cela, GRASP effectue une recherche locale sur l'itinéraire obtenu à l'étape précédente afin de l'améliorer. la recherche locale est effectuée de manière itérative; il remplacera la solution actuelle par une meilleure solution dans le voisinage à l'aide de la stratégie

"Best-improving", où on remplace l'itinéraire initial par le premier meilleur voisin qu'on trouve "First-improving". l'algorithme s'arrête lorsqu'on ne trouve aucune meilleure solution.[29]

```
Procédure RechercheLocal(Solution)  
  Tant-Que (Solution non optimal) faire  
    Rechercher  $S'$  tq  $(S') \leq f(Solution)$   
    Solution  $\leftarrow S'$   
  Fin Tant-Que  
  Retourne Solution  
Fin RechercheLocal
```

Figure III. 4 : Pseudocode de la recherche locale. [28]

Après cette étape on aura une solution localement optimale qu'on va comparer avec les solutions obtenues dans chaque itération, sachant que chaque itération est indépendante des autres, et se déroule de la même façon. La solution finale sera la meilleure solution obtenue.

GRASP à uniquement deux paramètres à régler, le nombre d'itérations MAX_ITER et α . plus grand est le nombre d'itérations, meilleur sera la solution, bien que la probabilité d'avoir une meilleure solution décroît avec le déroulement des itérations. Le paramètre α peut avoir un grand impact sur la qualité de la solution finale. puisque le temps de calcul ne varie pas trop d'une itération à l'autre, il est fonction du nombre d'itérations (MAX_ITER).[29]

III.4. Fonctionnement générale

Le processus général de notre approche est décrit comme suit : au niveau de sink on trouve trois processus (Définir les Chef, Constructeur les clusters et Planificateur d'itinéraire) lancés par le processus principal, et au niveau des nœuds on trouve le processus « Collecteurs données ».

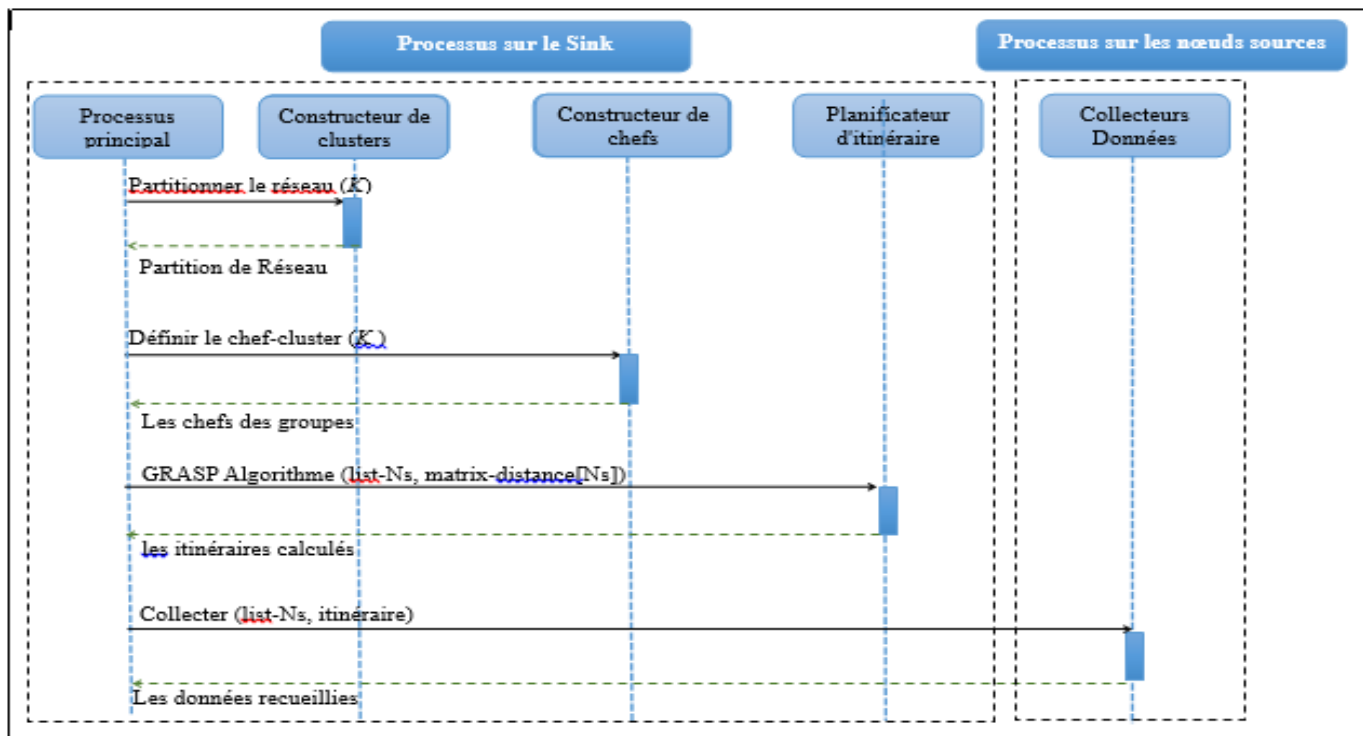


Figure III. 5 : Diagramme de séquence.

La figure III.5 montre la communication entre tous les acteurs pour atteindre la transmission de l'information.

Le scénario au-dessus est exécuté comme suit :

1. On lance le partitionnement du réseau importé par la station de base « Sink », chaque nœud choisit un nombre aléatoire entier $[0,1]$, Si ce nombre est $< t(n)$ alors le nœud devient CH pour le tour courant.
2. Après, Chaque CH diffuse un messenger d'annonce (Advertisement) à tous les nœuds Non-Ch pour décider à quel cluster s'attache pour tour.
3. Chaque nœud Non-Ch informe son CH qu'il va être membre de son cluster.
4. Le CH ensuite calcule ou bien établie un Schedule en se basant sur le nombre de nœud dans son cluster et chaque nœud Non-Ch transmet ses Data seulement pendant son intervalle de temps

5. Finalement, le CH agrégation les données et il envoie indirect (multi saut) à la base de station avec l'algorithme heuristique GRASP.

III.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait l'analyse de la description et la modélisation de notre approche proposée. Ce dernier consiste à développer le protocole de routage LEACH dans le but de minimiser la consommation d'énergie du réseau. celle-ci repose sur l'utilisation de l'algorithme heuristique GRASP.

Le chapitre suivant sera consacré essentiellement à l'implémentation du notre travail.

Chapitre IV

Mise en œuvre et résultats

IV.1. Introduction

Pour évaluer la performance de notre proposition, nous avons également mis en place et appliqué l'algorithme GRASP sur le problème d'itinéraires de protocole LEACH.

Ce chapitre présente les résultats de simulations obtenus à partir de l'exécution du protocole LEACH et le protocole LEACH basé sur l'algorithme GRASP que nous avons mis en œuvre pour résoudre le problème de la planification d'itinéraire entre les chefs du groupe et la station de base, ainsi que son analyse et validation. De même, nous présentons les outils et les plateformes de développement utilisés à l'implémentation des différents composants du système.

IV.2. Outil de simulation

Pour bâtir notre système, nous avons choisi Matlab "*matrix laboratory*" en vue de ses qualités de simplicité, de robustesse, de portabilité et de dynamisme, en plus il est maniable et facile à utiliser.

IV.3. Model de réseau

Suite de modèle de référence du réseau de capteurs, les nœuds capteurs sont déployées de façon aléatoire dans un terrain de 1000 m \times 500 m et la station de base « sink » se trouve au centre la surface (figure V.1). Pour vérifier la propriété d'échelle de notre algorithme, nous sélectionnons un réseau à grande échelle avec 800 nœuds capteurs et 80 nœuds sources.

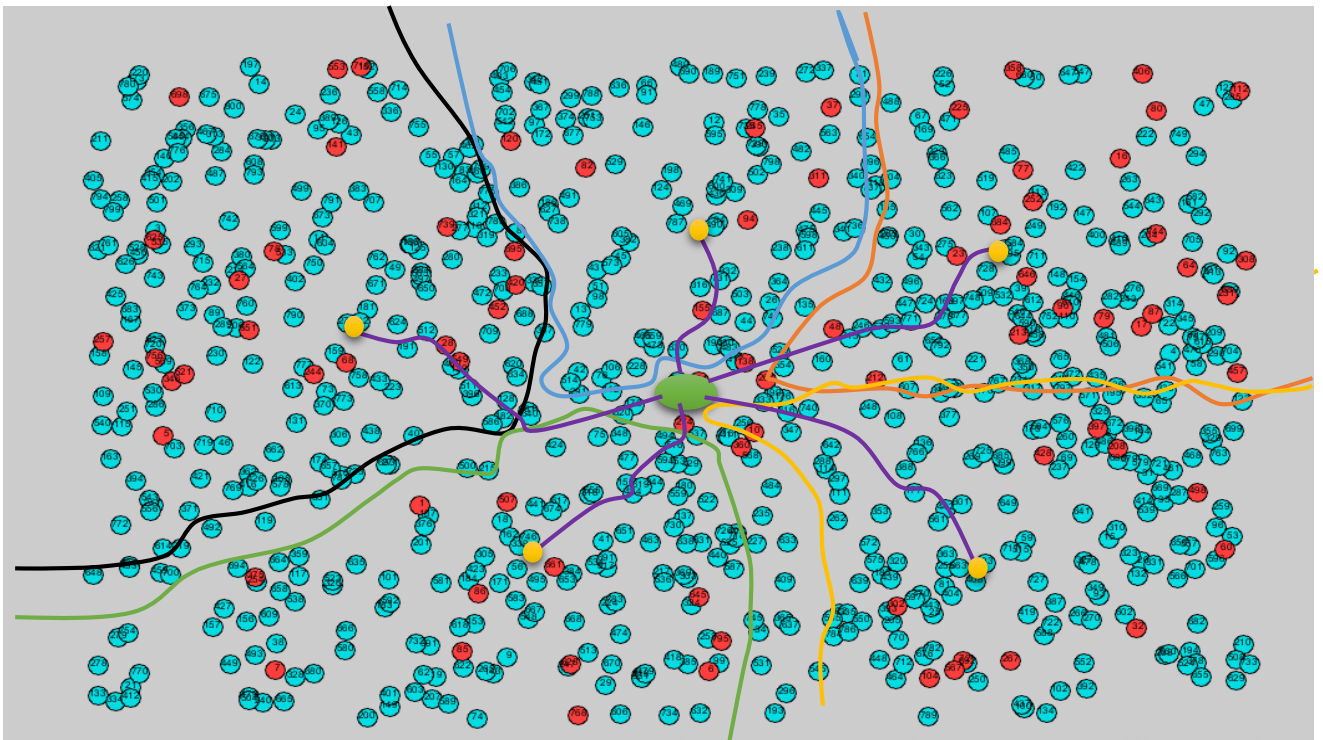
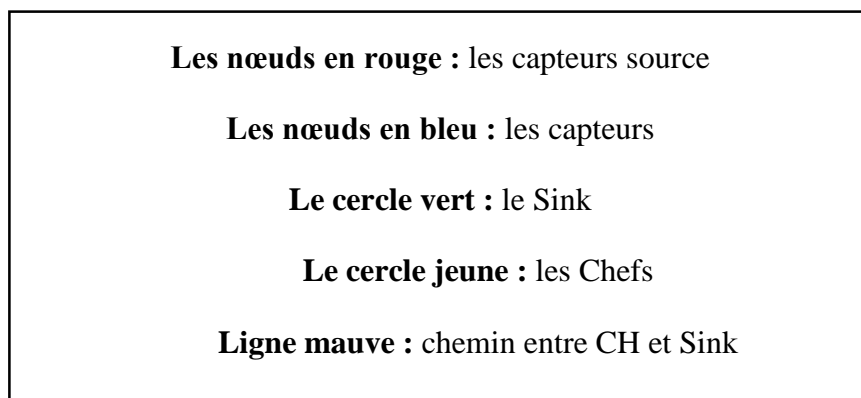


Figure IV. 1 : Visualisation du réseau avec 5 groupes sous Matlab.



IV.4. simulation et performance évolution

Afin de comparer la performance de notre travaille avec le protocole LEACH standard, nous effectuons des simulations dans Matlab.

IV.4.1. Mesures de performance

Afin évaluer notre proposition, nous définissons les mesures de performance suivantes :

1. **Coût de l'énergie** : cette mesure est indispensable pour prolongé la durées de vie de réseau. Le but est de minimiser la consommation d'énergie de sorte que l'itinéraire adopté par chaque chef de groupe soit le moins coûteux possible en termes d'énergie.
2. **Durée du la tâche** : la durée de la tâche est le délai personnalisé de chaque chefs pour envoie les données à la station de base.
3. **Durée de vie du réseau** : cette mesure représente le temps entre le déploiement de réseau et le premier capteur qui mort.

IV.4.2. Paramètres de simulation

Les paramètres utilisés et leurs valeurs nominales sont présentés dans le tableau IV.1, ci-dessous. Ces tableaux inclure les paramètres essentielle pour le réseau et l'algorithme GRASP.

| PARAMÈTRES DE RÉSEAU | |
|-------------------------------|--------------|
| La taille du réseau | 1000 m x500m |
| Distribution des nœuds | Aléatoire |
| Réseau de transmission radio | 60 m |
| Nombre des nœuds capteurs | 800 |
| Nombre des nœuds sources | 80/800 |
| Taille des données Brutes | 2048 bits |
| Nombre des itérations (GRASP) | 50 |
| Type de recherche (GRASP) | Best |

tableau IV. 1 : Paramètre de simulation de réseau.

II.4.3. Résultats et discussion

Dans cette section, nous présentons les résultats obtenus à partir de l'exécuter de notre programme. Ensuite, nous discutons et analysons ces résultats acquis en comparant les différents aspects de ce modèle selon les mesures de performance au-dessus. à la fin, avec l'aide de ces discussions, nous abordons les réponses à nos questions de travaille.

1. Coût de l'énergie

Dans la figure IV.2, nous présentons les résultats de l'impact de nombre de nœuds sources sur l'énergie consommée. LEACH avec algorithme GRASP consomme moins d'énergie que le LEACH.

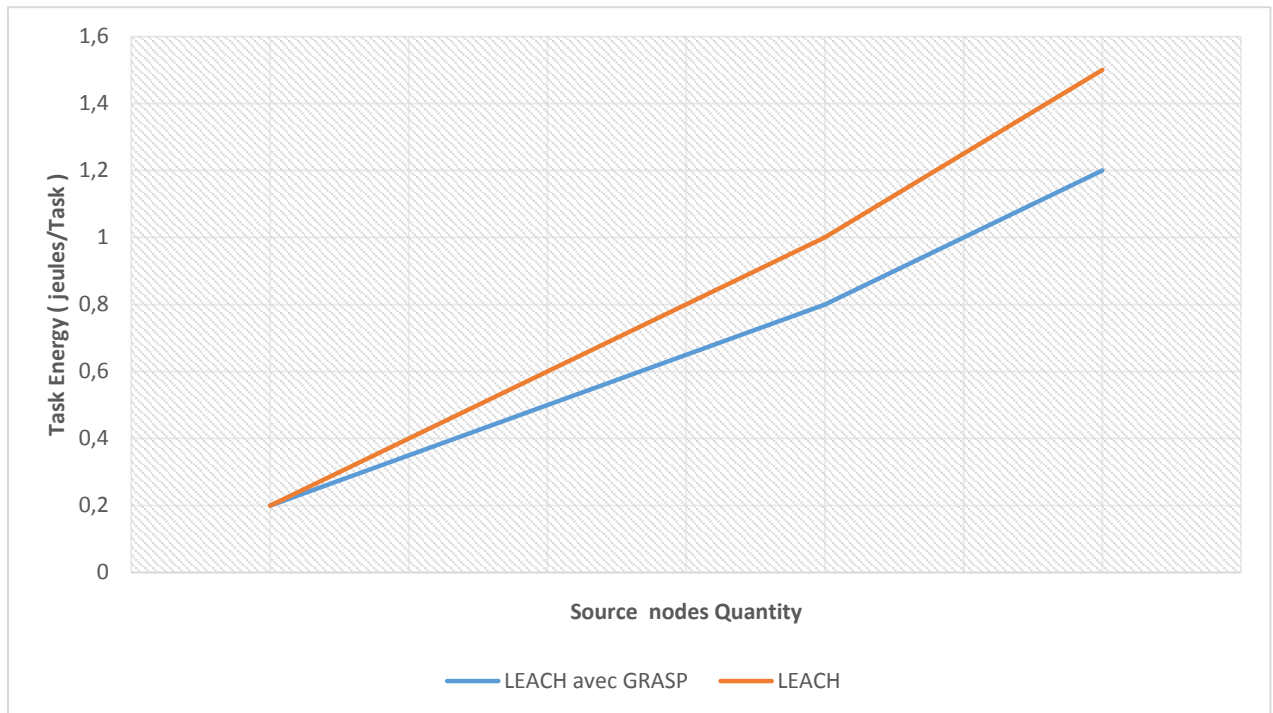


Figure IV. 2 : L'impact de nombre de nœuds sources sur l'énergie consommée.

2. Durée de la tâche

Concernant la durée de la tâche, la figure IV.3 montre le résultat de l'impact du nombre de nœuds sources sur la durée de la tâche. Le résultat obtenu en utilisant l'algorithme GRASP est très satisfaisant en termes de durée de la tâche.

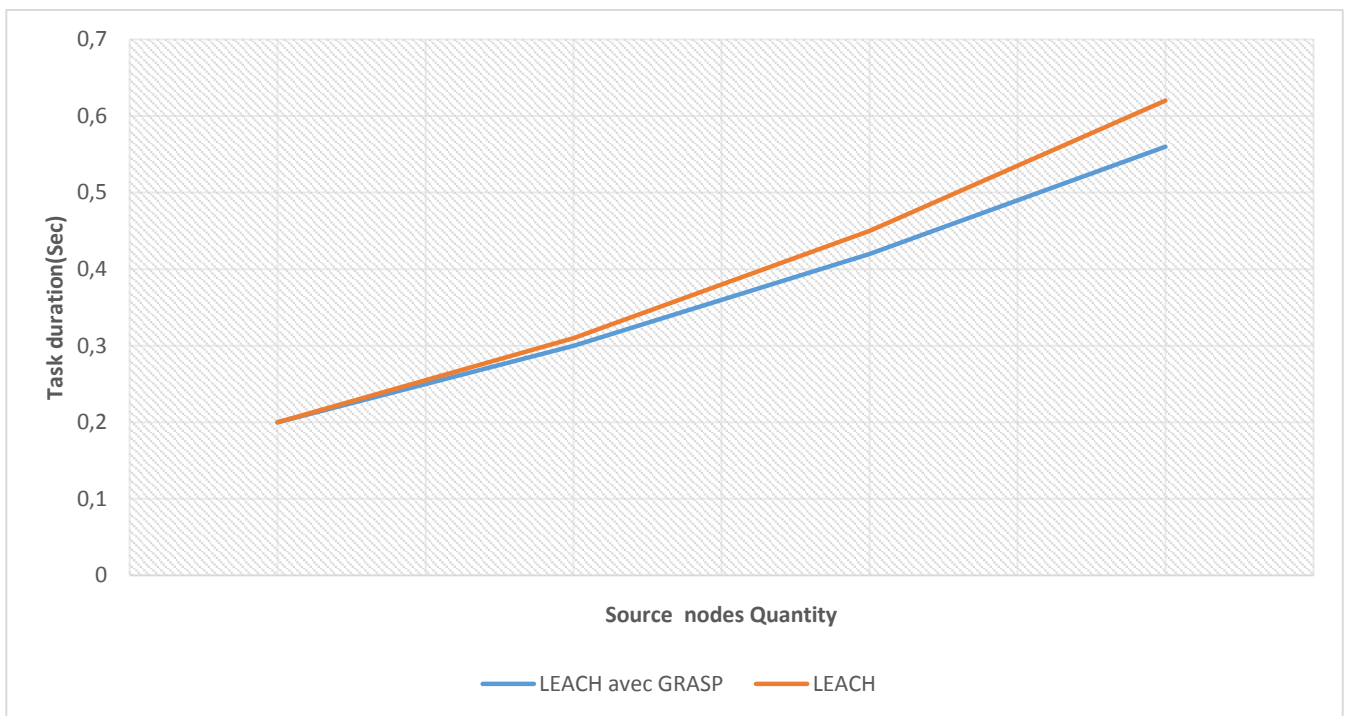


Figure IV. 3 : L'impact de nombre de nœuds sources sur la durée de la tâche.

3. Durée de vie du réseau

La durée de vie du réseau est augmentée par l'utilisation de protocole LEACH basé sur GRASP grâce au partitionnement d'énergie entre les capteurs du réseau au lieu des chefs est équilibré.

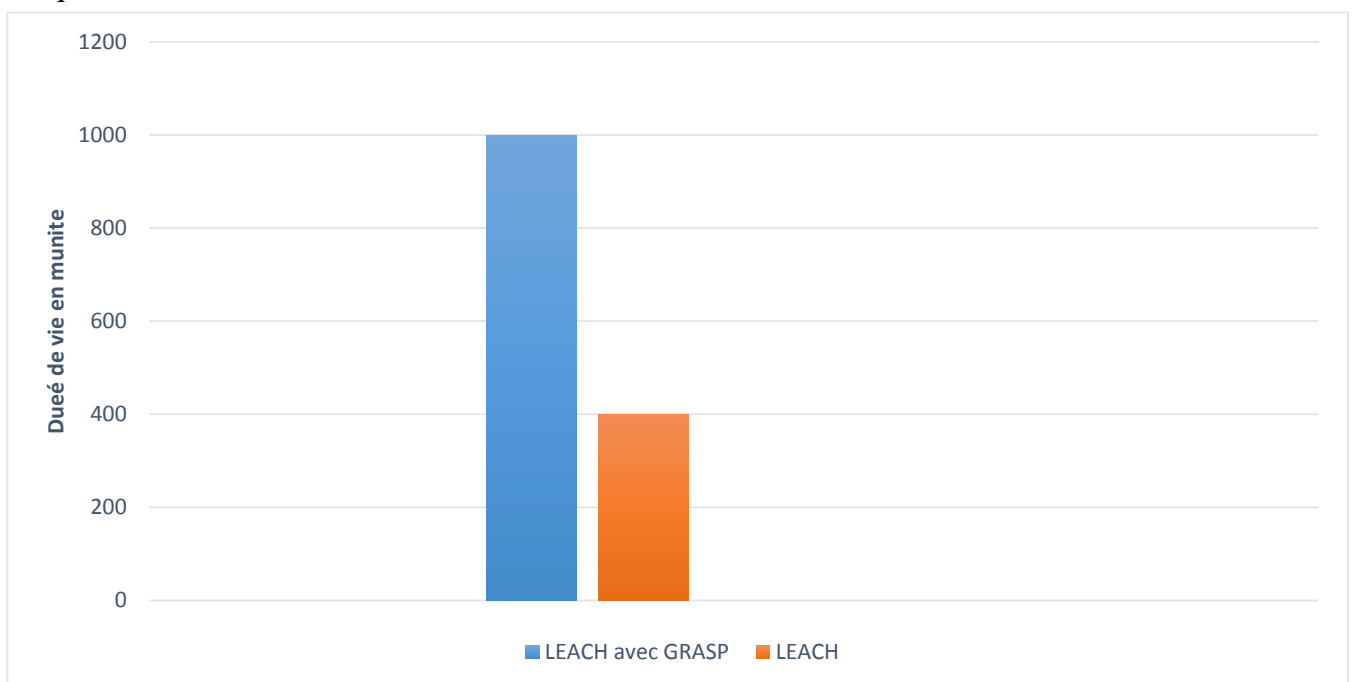


Figure IV. 4 : Durée de vie du réseau.

IV.5. Conclusion

Suite à notre partie conception présenté dans le chapitre III et la concrétisation de notre architecture, nous avons essayé de mettre en œuvre l'ensemble des idées qui caractérisent l'architecture proposée.

Par la suite, dans ce chapitre, nous avons exposé les résultats obtenus suite à nos recherches menées à ce jour. Par conséquent, Les résultats ont montré que la durée de vie du réseau est augmentée par l'utilisation de protocole LEACH basé sur GRASP. En plus, l'énergie consommée du LEACH avec algorithme GRASP consomme moins d'énergie que LEACH.

Conclusion Général

Les réseaux de capteurs sans fil vont sans doute dans les années à venir constituer un développement technologique majeur apportant des solutions aux différents problèmes dans plusieurs domaines d'applications liés à la sécurité, la santé, l'agronomie, etc.

Dans les réseaux de capteurs sans fil, le but principal dans la conception de protocoles de routage à basse consommation d'énergie est d'utiliser efficacement l'énergie du réseau pour que sa durée de vie augmente. Dans les réseaux de capteurs sans fil, beaucoup de protocoles de routage sont disponibles de nos jours. Un des algorithmes de routage le plus efficace et le plus populaire est le protocole de routage LEACH.

Bien que, Le protocole de routage hiérarchique Leach «Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy" est l'un des protocoles hiérarchiques les plus connus dans les RCSF. Mais elle conserve le problème de la consommation d'énergie.

Dans ce travail, nous avons présenté d'abord une présentation sur les réseaux de capteur sans fil leurs caractéristiques et ainsi que les composants, architecture de communication, domaines d'application, ensuite, durant la phase d'étude bibliographique, nous nous sommes intéressées aux RCSF stationnaires.

Après, nous avons discuté le problème de Planification d'itinéraires de protocole LEACH à l'aide de l'algorithme GRASP (procédure Greedy de recherche adaptative randomisée) dans les réseaux de capteurs sans fil, L'intérêt principal de cette recherche est établi sur deux points: i) améliorer la conservation de l'énergie et ii) augmenter la durée du ce réseau, en tenant compte des deux facteurs de base (distance géographique et taille des données) qui ont une grande influence sur la consommation d'énergie.

Enfin, pour tester les performances du protocole choisis, nous avons fait la simulation, ce qui nous a permis de tester le fonctionnement de notre programme et de démontrer son efficacité.

Perspectives

Dans de future travaux nous visant de appliqué algorithme GRASP dans le protocole LEACH pour obtenus le plus court chemine enter le CH et le base de station (Sink) que l'information se déplace rapidement et ne consomme pas trop de puissance.

BIBLIOGRAPHIE

1. Kacimi, R., *Techniques de conservation d'énergie pour les réseaux de capteurs sans fil*. 2009.
2. Vallet, E., *Toujours plus de murs dans un monde sans frontières*. Le Devoir, 2009. **26**.
3. ALOUI, I., *Une approche agent mobile pour les réseaux de capteurs*. 2016, Université Mohamed Khider-Biskra.
4. IMINE, Y. and S.M. KADDOUR, *Routage basé sur les algorithmes génétiques dans les réseaux de capteurs à grande échelle*. 2016.
5. KAZI TANI, C. and W. BENHADDOUCHE, *Implémentation et test d'un protocole de prévention de l'attaque Clone dans un réseau de capteurs sans fil*. 2014.
6. Alippi, C., et al. *Adaptive sampling for energy conservation in wireless sensor networks for snow monitoring applications*. in *Mobile Adhoc and Sensor Systems, 2007. MASS 2007. IEEE International Conference on*. 2007. IEEE.
7. Busnel, Y. *SOLIST: Structure multi-couche pair-à-pair à faible consommation pour les réseaux de capteurs sans-fil*. in *Conférence Francophone sur les Systèmes d'Exploitation-6ème édition*. 2008.
8. Anastasi, G., et al., *Understanding the real behavior of Mote and 802.11 ad hoc networks: an experimental approach*. *Pervasive and Mobile Computing*, 2005. **1**(2): p. 237-256.
9. Zimmermann, H., *OSI reference model--The ISO model of architecture for open systems interconnection*. *IEEE Transactions on communications*, 1980. **28**(4): p. 425-432.
10. Sitbon, G., J.-F. Bassier, and B. Katrantzis, *Process for automatic conversion for porting telecommunications applications from the TCP/IP network to the OSI-CO network, and module used in this process*. 1996, Google Patents.
11. Challal, Y., H. Bettahar, and A. Bouabdallah, *Les Réseaux de capteurs (WSN: Wireless Sensor Networks)*. Rapport interne, Université de Technologie de Compiègne, France, 2008.
12. Saad, C., *Quelques contributions dans les réseaux de capteurs sans fil: Localisation et Routage*. 2008, Université d'Avignon.
13. David, P., *Contribution à l'analyse de sûreté de fonctionnement des systèmes complexes en phase de conception: application à l'évaluation des missions d'un réseau de capteurs de présence humaine*. 2009, Université d'Orléans.
14. Bellot, D., *Fusion de données avec des réseaux bayésiens pour la modélisation des systèmes dynamiques et son application en télé-médecine*. 2002, Université Henri Poincaré-Nancy I.
15. Engoti, F.I., *Réalisation d'une plate-forme pour l'optimisation de réseaux de capteurs sans fil appliqués au bâtiment intelligent*. 2018, Université de Limoges.
16. Itoua Engoti, F., *Réalisation d'une plate-forme pour l'optimisation de réseaux de capteurs sans fil appliqués au bâtiment intelligent*. 2018, Limoges.

17. Challal, Y., *Réseaux de capteurs sans fil*. University of Technology in compiegne, France, 2008.
18. Van den Bossche, A. and T. Val. *WiNo: une plateforme d'émulation et de prototypage rapide pour l'ingénierie des protocoles en réseaux de capteurs sans fil*. in *9emes Journées francophones Mobilité et Ubiquité (UBIMOB 2013)*. 2013.
19. ABDESSELAM, A., *Conception d'un algorithme de routage basé sur l'heuristique du recuit simulé pour les réseaux de capteurs à grande échelle*. 2014.
20. Badache, N., et al., "Les protocoles de routage dans les réseaux mobiles Ad hoc. Revue RIST, 2002. **12**(2): p. 77-112.
21. Mejri, N. and F. Kamoun. *Algorithme de routage hiérarchique mheed à plusieurs sauts pour les grands réseaux de capteurs*. in *4th International Conference: Sciences of Electronic, Technologies of Iformation and Telecommunications*. 2007.
22. Brun, J., *Etude de l'action des fongicides huileux dans la lutte contre la Cercosporiose: action des traitements huileux sur la germination et la pénétration des ascospores de# Mycosphaerella musicola# leach*. Fruits, 1959. **14**(10): p. 419-422.
23. Dehni, L., Y. BEennabi, and F. Krief, *LEA2C: Une nouvelle approche de routage dans les réseaux de capteurs pour l'optimisation de la consommation d'énergie*. Université Paris, 2003. **13**.
24. Nefzi, B., *Mécanismes auto-adaptatifs pour la gestion de la Qualité de Service dans les réseaux de capteurs sans fil*. 2011, Institut National Polytechnique de Lorraine-INPL.
25. Romdhane, Y. and M.N. TABBENE, *Evaluation des performances des protocoles S-MAC et Directed Diffusion dans les réseaux de capteurs*. Projet de fin d'études Ecole Supérieure des Communications de Tunis (SupCom). 2007.
26. Khelladi, L. and N. Badache, *Les réseaux de capteurs: état de l'art*. Faculté électronique et informatique Bab Ezzouar-Algérie, 2004.
27. Chalhoub, G., *MaCARI: une méthode d'accès déterministe et économe en énergie pour les réseaux de capteurs sans fil*. 2009, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II.
28. Marques-Silva, J.P. and K.A. Sakallah, *GRASP: A search algorithm for propositional satisfiability*. IEEE Transactions on Computers, 1999. **48**(5): p. 506-521.
29. Resende, M.G., P.M. Pardalos, and Y. Li, *Algorithm 754: Fortran subroutines for approximate solution of dense quadratic assignment problems using GRASP*. ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS), 1996. **22**(1): p. 104-118.