



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la  
Recherche Scientifique



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

Présenté à l'Université de Tébessa  
Faculté des Sciences Exactes et Sciences de la Nature et de la Vie

Département de : **Mathématiques et Informatique**  
Spécialité : **Informatique**  
Option : **Réseaux et Sécurité Informatique**

Par :  
**MIZAB Anfel**

---

---

**Approche intelligente pour optimiser la qualité de service**  
**QoS dans les réseaux de capteur multimédia**

---

---

Devant le Jury :

<b>Pr MERAOUMIA Abdallah</b>	<b>Professeur</b>	<b>Président</b>
<b>Dr MERZOUG Soltane</b>	<b>M.C.B</b>	<b>Encadreur</b>
<b>Dr DAOUADI Kheir Eddine</b>	<b>M.A.B</b>	<b>Examineur</b>

---

**Année universitaire : 2021/2022**

---

---

# Dédicace

---

---

Je dédie ce travail

## **À MES CHERS PARENTS**

Que nulle dédicace ne peut exprimer mes sincères sentiments envers eux, pour leur patience illimitée, leur encouragement continu, leur aide en témoignage, de mon profond amour et respect pour leurs grands sacrifices.

## **MON CHER MARI, MON PARTENAIRE**

Qui sans son encouragement ce travail n'aurait jamais vu le jour. Aucun mot ne pourrait exprimer ma gratitude, mon amour et mon respect.

## **MA DÉFUNTE GRAND-MÈRE**

À cette source de tendresse, de patience et de générosité, que Dieu l'accueille dans son vaste paradis.

## **MES CHÈRES FRÈRES**

Oussama et Ilyes pour leur grand amour et leur soutien à qui, je présente ici l'expression de ma haute gratitude.

## **MES BEAUX-PARENTS ET BELLES-SŒURS**

**À MES ONCLES ET TANTES** ainsi que leurs **ÉPOUSES, ÉPOUX ET ENFANTS**

## **MES CHERS COUSINS ET COUSINES**

**MA COPINE** Radia.

**Anfel MIZAB**

---

# Remerciements

---

C'est avec un grand plaisir que je réserve ces quelques lignes en signe de gratitude et de profonde reconnaissance à tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué à la réalisation et l'aboutissement de ce travail.

Tout d'abord, je tiens à remercier **Allah** tout puissant, de m'a permis de mener à bien ce mémoire, et de m'a orienté au chemin du savoir.

Ensuite, je remercie très chaleureusement Dr **Soltane MERZOUG** qu'il m'a permis de bénéficier de son encadrement, les conseils qu'il m'a prodigués, la patience, la confiance qu'il m'a témoigné ont été déterminant dans la réalisation de mon travail.

Mes remerciements aux membres de jury Pr **Abdallah MERAOUmia** et Dr **Kheir Eddine DAOUADI** pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'examiner ce modeste travail.

Un profond respect et un remerciement particulier pour Dr **Rafik MENASSEL** le Chef de département et tous les enseignants du département Mathématiques et Informatique de Tébessa pour la bonne contribution de ce travail.

Merci à toutes et tous.

**Anfel MIZAB**

# Table des matières

---

---

<b>Dédicace.....</b>	<b>i</b>
<b>Remerciement .....</b>	<b>ii</b>
<b>Liste des figures .....</b>	<b>v</b>
<b>Liste des tableaux .....</b>	<b>vi</b>
<b>Glossaire des acronymes .....</b>	<b>vii</b>
<b>Résumé .....</b>	<b>viii</b>
<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 1 : Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil .....</b>	<b>4</b>
Introduction .....	4
1. Les réseaux sans fil.....	4
1.1. Les catégories de réseaux sans fil .....	5
1.2. Quelques avantages des réseaux sans fil.....	6
2. Réseaux de capteur sans fil.....	6
2.1. Le nœud capteur.....	7
2.2. Architecture d'un nœud-capteur sans fil .....	7
2.3. Architecture d'un réseau de capteur sans fil .....	8
2.4. Domaines d'application d'un réseau de capteur sans fil.....	9
2.5. Caractéristiques d'un réseau de capteurs sans fil.....	10
2.6. Principe de fonctionnement d'un réseau de capteurs sans fil .....	11

2.7. Communication dans RCSF.....	12
3. Réseaux de capteurs multimédias sans fil .....	13
3.1. Architecture de réseaux de capteurs multimédias sans fil .....	14
3.2. Caractéristiques de réseaux de capteurs multimédias sans fil.....	15
Conclusion .....	16
<b>Chapitre 2 : Optimisation de la QoS dans les réseaux de capteur (RCSF).....</b>	<b>17</b>
Introduction .....	17
1. Qualité de service .....	17
1.1. Paramètres de la qualité de service .....	18
1.2. Caractéristiques de la qualité de service .....	19
2. Techniques d'optimisation de la QoS dans les RCSF .....	19
2.1. Choix des routes.....	19
2.2. Mise en forme du trafic.....	20
2.3. Ordonnancement .....	20
2.4. Matériel .....	20
2.5. Diminuer les collisions .....	20
2.6. Maximiser la fiabilité.....	20
2.7. Réduire la consommation de l'énergie .....	21
2.8. Minimiser les interférences et maximiser la concurrence.....	21
2.9. Maximiser l'adaptabilité aux changements.....	21
3. Exigences de la couche réseau pour fournir la qualité de service optimisée.....	21
3.1. La couche réseau .....	21
3.2. Les protocoles d'optimisation du QoS dans RCSF.....	22
4. Synthèse.....	25
5. Discussion.....	28
Conclusion .....	29

<b>Chapitre 3 : Contribution</b> .....	<b>30</b>
Introduction .....	30
1. Approches et protocoles utilisés .....	30
1.1. Approche à cluster .....	30
1.2. Approche de construction de chaîne .....	31
1.3. Protocole LEACH.....	32
1.4. Protocole PEGASIS .....	32
2. Concepts de base de la stratégie PEGALEACH-QoS .....	33
2.1. Principe de fonctionnement .....	35
3. Principe de routage .....	40
3.1. Initialisation et réinitialisation .....	40
3.2. Transmission .....	42
Conclusion .....	43
<b>Chapitre 4 : Implémentation et simulation</b> .....	<b>44</b>
Introduction .....	44
1. Présentation du simulateur NS-2 .....	44
2. Évaluation des performances de la stratégie.....	44
2.1. Préparation de l’environnement d’implémentation .....	44
2.2. Paramètre de la simulation.....	46
2.3. Étapes et résultats de simulation de notre stratégie.....	46
Conclusion .....	52
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>53</b>
<b>Références bibliographiques</b> .....	<b>55</b>

# Liste des figures

---

<b>Figure 1.</b> Réseau mode infrastructure.....	5
<b>Figure 2.</b> Réseaux mode Ad hoc .....	6
<b>Figure 3.</b> Architecture d'un nœud capteur sans fil .....	8
<b>Figure 4.</b> Pile protocolaire dans RCSF .....	12
<b>Figure 5.</b> Architecture d'un réseau de capteurs multimédia sans fil.....	14
<b>Figure 6.</b> Réseau avant et après clustering .....	31
<b>Figure 7.</b> Construction de chaîne dans le réseau .....	32
<b>Figure 8.</b> Protocole LEACH.....	33
<b>Figure 9.</b> Principe de fonctionnement de la stratégie .....	35
<b>Figure 10.</b> Scénario de la stratégie .....	36
<b>Figure 10.</b> Digramme de fonctionnement de notre stratégie .....	37
<b>Figure 11.</b> Idée de base de formation de chaînes.....	38
<b>Figure 12.</b> Diagramme de construction des chaînes.....	39
<b>Figure 13.</b> Les étapes de la phase d'initialisation.....	41
<b>Figure 14.</b> Les étapes de la phase de transmission .....	42
<b>Figure 15.</b> Exemple de simulation sous NS-2 .....	46
<b>Figure 16.</b> Commande ns.....	47

<b>Figure 17.</b> Modèle d'expérimentation .....	47
<b>Figure 18.</b> Début d'initialisation de la simulation .....	47
<b>Figure 19.</b> Initialisation de la simulation .....	48
<b>Figure 20.</b> Présentation de la simulation .....	49
<b>Figure 21.</b> Code source de la création des objets pour ns .....	50
<b>Figure 22.</b> Code source de la création des nœuds mobiles et les attacher à la chaîne.....	50
<b>Figure 23.</b> Code source de la configuration des nœuds.....	51
<b>Figure 24.</b> Code source de fin de simulation.....	52



# Liste des tableaux

---

<b>Tableau 1.</b> Quelques protocoles de QoS selon le délai et la fiabilité .....	22
<b>Tableau 2.</b> Comparaison entre quelques protocoles de QoS dans la couche réseau .....	25
<b>Tableau 3.</b> Comparaison entre les protocoles de routage dans les RCSFs.....	27
<b>Tableau 4 .</b> Classification des protocoles de routage basés sur QoS dans les RCSFs .....	28

# **Glossaire des acronymes**

---

**CH** : Chef de cluster

**LEACH**: Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy

**NS2**: Network Simulator 2

**OFDM**: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

**PEGASIS**: Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems

**QoS**: Quality of service

**RCSF** : Réseaux de Capteurs Sans Fil

**RCMSFs** : Réseaux de Capteurs Multimédia Sans Fil

**Sink**: BS station de base

**TCL**: Tools Command Language

**WSNs**: Wireless Sensor Networks

# Résumé

---

---

Dans le monde de la recherche, la qualité de service (QoS) dans les réseaux sans fil représente un défi majeur (bande passante et délai de transmission et de gestion de l'énergie). Compte tenu de la panoplie d'applications des RCSF, la garantie de la QoS est requise par certaines applications, en particulier celles qui nécessitent un transfert de données multimédia en temps réel, telles que la surveillance des patients, le contrôle des zones critiques (militaires), est devenue primordiale. De même, la plupart des solutions développées pour les réseaux câblés et même les solutions recommandées pour les réseaux sans fil ad hoc ne sont pas directement applicables dans ce cas. Dans ce travail, nous avons proposé un algorithme de routage qui représente une combinaison de deux approches de routage principales (approche basée sur le cluster et approche basée sur la chaîne). Enfin pour confirmer les améliorations apportées par notre algorithme, nous avons effectué une simulation à l'aide de simulateur de réseau NS2.

**Mots clés :** RCSF, Qualité de service (QoS), Protocole.

# Abstract

---

---

In the world of research, quality of service (QoS) in wireless networks represents a major challenge (bandwidth, transmission and energy management delay). Given the range of applications of WSNs, the guarantee of QoS is required by some applications, especially those that require real-time multimedia data transfer, such as patient monitoring, control of critical (military) areas, has become paramount. Similarly, most of the solutions developed for wired networks and even the recommended solutions for ad hoc wireless networks are not directly applicable in this case.

In this work, we have proposed a routing algorithm that represents a combination of two main routing approaches (cluster-based approach and chain-based approach). And at the end to confirm the improvements made by our algorithm we performed a simulation using NS2 network simulator.

**Keywords:** WSNs, Quality of service, protocol.

## ملخص

في عالم البحوث، تمثل جودة الخدمة (QoS) في الشبكات اللاسلكية تحديا كبيرا (عرض النطاق الترددي والإرسال وتأخير إدارة الطاقة). و نظرا لتنوع تطبيقات شبكات الاستشعار اللاسلكية، فإن ضمان جودة الخدمة مطلوب من قبل بعض التطبيقات، وخاصة تلك التي تتطلب نقل بيانات الوسائط المتعددة في الوقت الحقيقي، مثل مراقبة المرضى، والسيطرة على المناطق الحرجة (العسكرية)، أصبح أمرا بالغ الأهمية. وبالمثل ، فإن معظم الحلول التي تم تطويرها للشبكات اللاسلكية وحتى الحلول الموصى بها للشبكات اللاسلكية المخصصة لا تنطبق مباشرة في هذه الحالة. وفي هذا العمل اقترحنا خوارزمية توجيه تمثل مزيجا من نهجين رئيسيين للتوجيه (النهج القائم على المجموعات والنهج القائم على السلسلة). وفي النهاية لتأكيد التحسينات التي أجرتها خوارزمتنا ، أجرينا محاكاة باستخدام محاكات شبكة NS2.

**كلمات مفتاحية :** جودة الخدمة، بروتوكول.

# **Introduction Générale**

---

---

Dans les années précédentes, les configurations de capteurs étaient complètement câblées, cela crée une multitude de problèmes techniques, notamment un manque de flexibilité, des coûts d'installation élevés et des difficultés à utiliser des équipements mobiles ou rotatifs. Les réseaux de capteurs sans fil ont été proposés comme une solution pour les problèmes des capteurs filaires en tirant parti de ces avantages tels que la technologie sans fil. Néanmoins, les RCSFs héritent de toutes les difficultés associées à la communication sans fil, en particulier celles liées à l'accès au médium, telles qu'une faible fiabilité de la communication sans fil, un problème de terminal caché et un problème de terminal exposé.

Bien qu'il soit similaire à d'autres réseaux sans fil, y compris les réseaux Ad-hoc, les RCSF se distinguent par un ensemble spécifique de contraintes. Comme exemple, les contraintes intrinsèques des nœuds capteurs se manifestent dans la pénurie de ressources énergétiques, la capacité limitée de mémoire et la faible puissance de calcul. Ces limites contribuent à augmenter la complexité de ces systèmes.

La qualité de service (QoS) est l'un des concepts les plus importants dans les réseaux modernes. Elle est de plus en plus nécessaire car l'intégration de plusieurs services ayant des besoins différents dans le même réseau. Pour les capteurs sans fil d'un réseau, les nœuds utilisent généralement une seule application. Toutefois, les trafics provenant de différents nœuds peuvent avoir des priorités différentes. D'une part, cette diversité du trafic dans le réseau nécessite un traitement différencié selon les exigences spécifiques de chaque type de trafic et d'autre part, répond aux exigences des applications (par exemple la latence). Dans le

contexte des réseaux de capteurs sans fil, la problématique est encore plus complexe en raison des contraintes intrinsèques des nœuds. La limitation des ressources (mémoire, processeur, puissance), une communication sans fil peu fiable, la haute densité et la nature distribuée des nœuds représentent les principaux défis pour le développement de tout protocole de communication. Bien sûr, en raison de ces exigences, la garantie de la QoS dans les réseaux de capteurs sans fil pose des problèmes de recherche non triviaux.

Toutes ces exigences précédentes nous ont poussés à répondre à la question suivante :

- Comment améliorer les performances des réseaux de capteurs multimédia à faible débit pour transporter un trafic à haut débit avec une bonne qualité de service ?

Pour assurer une bonne QoS en terme d'énergie pour les applications multimédia (sons, images, vidéo), on a proposé une stratégie hybride basée sur l'approche cluster et l'approche à chaîne en utilisant le routage multi-chemin, l'avantage de ces approches est de réduire le taux de perte, économiser de l'énergie et assurer une meilleure utilisation de la bande passante, et cela implique la maximisation de la durée de vie du réseau.

Dans ce mémoire, nous avons proposé une stratégie hybride basée sur la qualité de service, qui combine les avantages de deux protocoles LEACH et PEGASIS et qui aide à maximiser la durée de vie de réseau en économisant de l'énergie.

Le mémoire est organisé en quatre chapitres, dans le premier chapitre on a présenté les réseaux de capteurs sans fil, leurs types et technologies. Ensuite, nous avons présenté les réseaux de capteur multimédia sans fil en citant leur : Architecture et principe de fonctionnement, ainsi que leurs caractéristiques et différents domaines d'applications.

Le deuxième chapitre aborde la problématique de qualité de service dans les RCSFs, en citant ses paramètres et caractéristiques, ainsi que les techniques d'optimisation de la QoS dans les RCSFs et l'exigence de la couche réseau pour fournir la QoS optimisée. Ensuite, il présente un état de l'art sur les protocoles d'optimisation de la QoS ainsi que leur classification dans les RCSF et le chapitre se conclut par une discussion de notre état de l'art.

Le troisième chapitre consiste à présenter notre contribution qui est une stratégie hybride avec la qualité de service basée sur les deux approches à cluster et à chaîne ainsi qu'une étude détaillée de ses performances.

Le quatrième chapitre présente l'outil de simulation de RCMSFs NS2 (Network Simulator 2) voire la simulation et l'implémentation de notre stratégie.

Enfin, la conclusion générale récapitulera le travail de ce mémoire et permettra d'introduire les perspectives.



---

# Chapitre 1

## Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil

---

### Introduction

Au cours des dernières années, les réseaux de capteurs sans fil (WSNs) sont devenus l'une des technologies innovantes pour la communication d'alimentation sans fil. Le développement rapide de dispositifs de communication sans fil de faible puissance, le développement significatif du traitement du signal distribué, les protocoles réseau ad hoc et l'informatique omniprésente ont collectivement défini une toute nouvelle vision pour les réseaux de capteurs sans fil. Dans la majorité des applications WSNs, un nombre surdimensionné de nœuds de capteurs sont déployés pour assembler des domaines d'application pris en charge par les données. Ce processus de collecte de données sera continu, piloté par les événements et basé sur des requêtes. WSN peut être déployé dans divers domaines et applications tels que la détection de l'agriculture et de l'environnement, la surveillance de la vie sauvage, les soins de santé, la surveillance militaire, le contrôle industriel, la domotique et la sécurité... etc. Beaucoup de travaux de recherche ont été réalisés sur divers aspects des WSNs, y compris le protocole et l'architecture, le routage, la conservation de l'énergie, etc. Le soutien de la qualité de service (QoS) dans les WSNs reste un domaine de recherche ouvert sous divers angles. La QoS est interprétée par différentes communautés techniques par d'autres moyens. En général, la QoS fait référence à la qualité telle que perçue par l'utilisateur ou l'application. En réseau communauté, QoS est interprété comme une mesure de service qualité que le réseau offre à l'utilisateur supérieur ou à l'application [1].

### 1. Les réseaux sans fil

Un réseau sans fil est un réseau auquel les appareils peuvent se connecter au réseau sans câbles encombrants. Les points d'accès augmentent la diffusion des signaux, de sorte qu'un appareil puisse se connecter au réseau, même s'il est loin du routeur [2].

## 1.1. Les catégories de réseaux sans fil

Les réseaux sans fil sont divisés en deux catégories :

### 1.1.1. Le mode infrastructure

Un réseau mobile avec infrastructure est un réseau qui permet aux utilisateurs d'accéder individuellement à l'information de leurs positions géographiques. Cette classe possède deux types de site les sites fixes d'un réseau filaire classique et les sites mobiles. Quelques sites fixes sont nommés stations de base (BS) et sont dotés d'une interface de communication sans fil pour communiquer directement avec les unités mobiles localisées dans une zone géographique limitée, appelée cellule. Chaque station de base adapte une cellule à partir de laquelle des unités mobiles peuvent véhiculer des messages. Bien que les sites fixes soient interconnectés entre eux à travers un réseau de communication filaire, qui se caractérise généralement par sa fiabilité et son haut débit, par contre, les liaisons sans fil ont une bande passante limitée qui réduit rudement le volume des informations échangées [3].

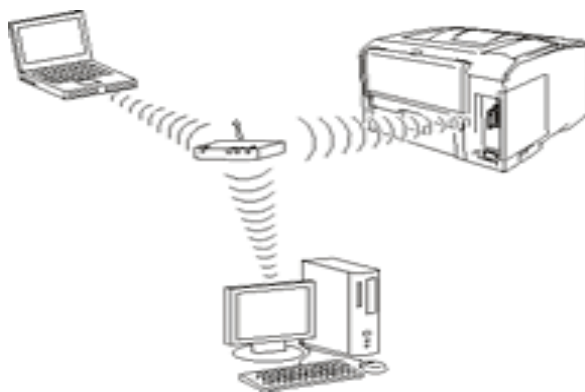
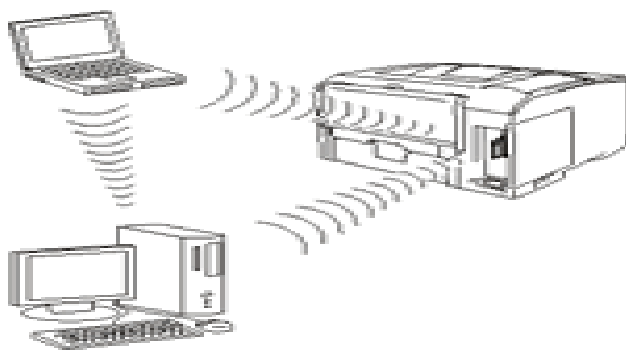


Figure 1. Réseau mode infrastructure [3].

### 1.1.2. Le mode Ad hoc

Dans un réseau ad hoc tous les appareils du réseau peuvent communiquer directement entre eux. Il n'y a pas de point d'accès centralisé chargé de la communication de l'appareil. Les périphériques en réseau ad hoc ne peuvent pas communiquer avec un périphérique en réseau d'infrastructure ou un périphérique du réseau filaire; ils peuvent communiquer seulement avec d'autres périphériques en réseau ad hoc. De plus, la sécurité en mode Ad-hoc est moins avancée que la sécurité en mode Infrastructure. [4].



**Figure 2. Réseaux mode Ad hoc [3].**

## **1.2. Quelques avantages des réseaux sans fil**

Les réseaux sans fil ont presque les mêmes avantages, ils changent selon la mobilité ainsi que la facilité d'installation et d'utilisation.

### **1.2.1. Mobilité**

La mobilité est l'avantage principal des réseaux sans fil, au contraire des réseaux filaires, l'utilisateur peut se connecter au réseau sans avoir besoin d'y être relié physiquement [5].

### **1.2.2. Facilité d'installation**

L'installation d'un réseau sans fil est simple et rapide par rapport à celle du réseau filaire, puisqu'on n'a pas besoin de poser des câblages dans les murs. Pour cette raison, les réseaux sans fil s'installent là où les câbles ne peuvent être installés facilement [6].

### **1.2.3. Topologie**

Les réseaux sans fil sont rapides à modifier grâce à leur topologie flexible. Cette topologie est dynamique, contrairement aux réseaux filaires qui ont une topologie statique [7].

### **1.2.4. Coût**

Les coûts d'installation et de maintenance des réseaux sans fil sont faibles en comparant avec les réseaux fixes puisqu'on n'a pas besoin ni de poser des câblages, ni d'entraîner des dépenses supplémentaires pour modifier la topologie [7].

## **2. Réseaux de capteur sans fil**

Les réseaux de capteurs sans fil sont des réseaux sans infrastructure (ad hoc) qui possèdent de nombreux micro-capteurs responsables de la collecte et du transfert des données

environnementales indépendamment. L'emplacement de ces nœuds n'est pas toujours prédéterminé [8].

### **2.1. Le nœud capteur**

Dans les réseaux de capteurs sans fil, un capteur sans fil est un équipement physique. Une unité de communication est incluse dans cet appareil, qui utilise des ondes radio pour recevoir et diffuser des données vers des capteurs supplémentaires ou à la station de base.

Il est composé de quatre unités, chacune avec une fonction distincte [9].

### **2.2. Architecture d'un nœud-capteur sans fil**

Un nœud capteur est constitué de quatre unités principales : unité d'acquisition, unité de traitement, unité de transmission et unité de contrôle d'énergie (Batterie) [9].

#### **2.2.1. L'unité d'acquisition**

L'unité d'acquisition est composée d'un ou plusieurs moyens de captage appelé « capteur » et d'un convertisseur Analogique/Numérique. Ces capteurs sont capables de mesurer analogiquement les paramètres environnementaux et de convertir ces données en données numériques et les transmettre à l'unité de traitement [9].

#### **2.2.2. L'unité de traitement**

Cette unité a deux interfaces, l'une pour l'unité de captage et l'autre pour l'unité de communication. Elle reçoit les informations de l'unité de captage et les transmet à l'unité de transmission. Cette unité permet aussi d'analyser les données captées [9].

#### **2.2.3. L'unité de transmission**

L'unité de transmission est chargée des émissions et réceptions des données via un medium de communication [9].

#### **2.2.4. L'unité de contrôle d'énergie**

L'unité de contrôle d'énergie est composée d'une ou de plusieurs batteries. Cette unité est chargée de gérer l'alimentation en énergie de tous les composants du nœud capteur.

La figure 3 illustre l'architecture d'un nœud capteur sans fil [9].

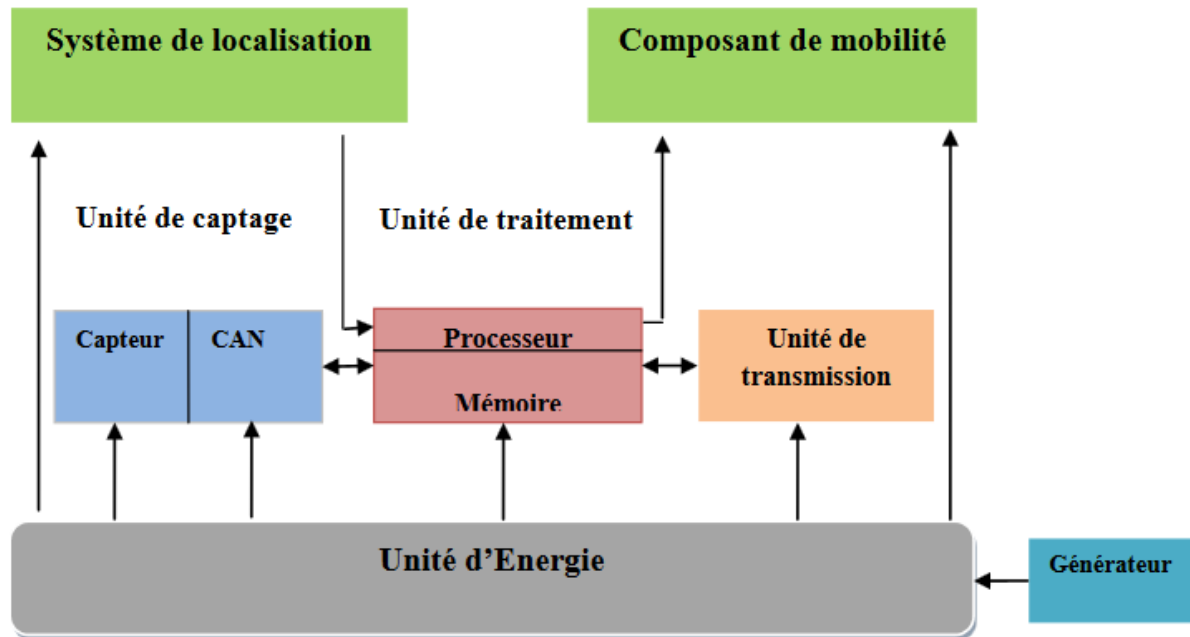


Figure 3. Architecture d'un nœud capteur sans fil [9].

### 2.3. Architecture d'un réseau de capteur sans fil

Les topologies applicables aux réseaux de capteurs sont :

- **La topologie en étoile**

Dans cette topologie, la station de base diffuse et reçoit des messages par de nombreux nœuds. Ces nœuds sont autorisés à échanger les messages uniquement avec une seule station de base ; ils ne peuvent pas ni envoyer ni recevoir des messages. La plupart des applications d'alerte, telles que les alarmes, utilisent un réseau en étoile pour connecter des capteurs isolés capables de transmettre des informations dès qu'un phénomène est précisé. Ils ont l'avantage de nécessiter peu d'infrastructure et de simplifier l'équipement au niveau du nœud [10].

- **La topologie point par point**

Dans cette topologie, les nœuds de la même plage de transmission peuvent échanger les messages entre eux. Si un nœud souhaite transmettre ou envoyer un message à un autre nœud hors sa plage de transmission, un nœud intermédiaire est utilisé pour envoyer son message au nœud récepteur [10].

- **La topologie maillée**

Les réseaux maillés sont utilisés dans les réseaux de capteurs plus denses. Ils englobent l'interconnexion de tous les nœuds ensemble en fonction du degré d'interconnexion requis. Ils sont largement utilisés dans la domotique ou l'industrie pour la communication entre les

équipements, car ils sont peu sensibles aux pannes et extensibles. Ils sont plus complexes à mettre en place, notamment en raison de nombre de liaisons requises : pour les terminaux  $N$ , il faut des liaisons  $N*(N-1)/2$  [10].

- **L'architecture de groupe**

L'architecture de groupe est constituée par la hiérarchie des équipements réseau : chaque groupe de nœuds (cluster) est associé à un nœud chef (cluster head). Au sein d'un groupe, les nœuds membres ont uniquement la capacité de communiquer avec le nœud chef. Seuls les nœuds chef peuvent communiquer avec les stations de base (routage étoile à étoile) ou d'autres nœuds chef (routage inter-cluster). Dans cette configuration, la défaillance d'objets de niveau supérieur entraîne la défaillance des objets ci-dessous [10].

- **La topologie hybride**

La topologie hybride est la combinaison de la topologie en étoile et en grille, elle fournit des transmissions réseau robustes et variés, elle assure la réduction de la consommation énergétique dans les réseaux de capteurs. Dans cette topologie, les nœuds capteurs indépendants énergétiquement ne peuvent pas router les messages, mais il y a d'autres nœuds qui ont la flexibilité de router les messages. En général, ces nœuds ont une source d'alimentation externe [10].

## **2.4. Domaines d'application d'un réseau de capteur sans fil**

Les réseaux de capteurs sont très importants puisqu'ils peuvent apporter de meilleures contributions dans plusieurs domaines, on peut citer le militaire, la santé, l'environnemental, l'industriel, le médical et le climatique... etc. [11].

### **2.4.1. Applications environnementales**

L'utilisation des réseaux de capteurs dans le domaine environnemental peut aider à surveiller la météorologie, les activités sismiques, la détection des risques naturels, la détection potentielle de la pollution (pollution de l'eau, et de l'air), prévenir d'incendies dans les forêts... et par la suite éviter plusieurs dégâts [11].

### **2.4.2. Applications à la surveillance**

L'intégration des réseaux de capteurs dans le domaine de la sécurité peut aider à éviter plusieurs dépenses destinées à la sécurisation des lieux et des êtres humains et garantir des résultats satisfaisants.

Par exemple l'intégration des capteurs dans les bâtiments aidera à détecter les fissures et les changements dans leur structure après un tremblement de terre ou un vieillissement [11].

### 2.4.3. Applications militaires

Les réseaux de capteurs sont très importants dans le domaine militaire grâce à leur facilité de déploiement et leur faible coût, ainsi que leur tolérance aux pannes. Plusieurs applications sont développées dans ce domaine dans le but d'aider les unités militaires, protéger les villes et surveiller les activités de l'ennemie [11].

### 2.4.4. Applications médicales

L'intégration des micros capteurs peut faciliter la collecte d'informations des patients, aide aussi à faciliter le diagnostic des maladies et le contrôle des malades en implantant des capteurs dans le corps humain sans intervention chirurgicale [11].

### 2.4.5. Applications domestiques

L'application des capteurs dans le domaine domestique permet à l'utilisateur de contrôler les appareils domestiques comme les micro-ondes et les aspirateurs... localement ou à distance grâce à l'interaction de ces capteurs entre eux et avec un réseau externe via Internet [11].

## 2.5. Caractéristiques d'un réseau de capteurs sans fil

Par rapport à d'autres réseaux sans fil, un réseau de capteurs présente des caractéristiques particulières.

Dans cette section, nous allons passer en revue les principales caractéristiques de ces réseaux :

- **Sans infrastructure** Les RCSF appartiennent à la famille de réseaux sans fil sans infrastructure (ad hoc). Les capteurs sont généralement déployés dans des zones hostiles, ce qui nécessite qu'ils s'auto-configurent et s'auto-organisent sans interaction humaine [9].
- **Scalabilité (Passage à l'échelle)** Dans les RCSF les capteurs sont généralement déployés en grand nombre pour fournir une couverture complète de la zone d'intérêt et pour se protéger contre les pannes, car les capteurs peuvent cesser de fonctionner pour diverses raisons.

Dans certains cas, nous pouvons avoir des RCSF de haute densité avec une taille de milliers ou de millions de capteurs [9].

- **Interférences** Le concept d'interférences apparaît dans la majorité des réseaux sans fil, en particulier dans RCSF, où deux capteurs voisins peuvent transmettre dans le même bande de fréquences, entraînant des interférences [9].

- **Topologie dynamique** Les capteurs sans fil peuvent être placés sur des objets mobiles, tels que des animaux, pour les surveiller de loin sans perturber leur comportement. Ce type de scénario génère une topologie dynamique plutôt qu'une topologie statique [9].
- **Contrainte d'énergie, de stockage et de calcul** La caractéristique la plus critique du RCSF est la disponibilité limitée des ressources énergétiques, car la majorité des capteurs sont équipés de tas à énergie limitée. Par conséquent, dans la grande majorité des projets de recherche, un problème est abordé en tandem avec l'économie énergétique [9].

## 2.6. Principe de fonctionnement d'un réseau de capteurs sans fil

Les données capturées par les nœuds sont récupérées à l'aide du routage multi-sauts vers un nœud, appelé nœud puits. Ce dernier peut être connecté à un utilisateur du réseau (via Internet, un satellite ou un autre système). L'utilisateur peut adresser des requêtes à d'autres nœuds sur le réseau, en spécifiant le type de données nécessaires, et récolter des données environnementales captées par le biais du nœud puits.

Des micro-capteurs de quelques millimètres cubes de volume, capables de fonctionner en réseau, ont été produits à un coût raisonnable grâce aux progrès de la microélectronique, de la microtechnique, des technologies de transmission sans fil et des applications logicielles. Ils intègrent:

- Une unité de captage responsable de recevoir les mesures physiques (température, humidité, vibrations, rayonnement, etc.) et de les convertir en mesures numériques.
- Une unité de traitement informatique et de stockage de données et un module de transmission sans fil.

En conséquence, ces micro-capteurs sont de vrais systèmes embarqués. L'intégration de plusieurs d'entre eux afin d'agréger et d'envoyer des données environnementales à un ou plusieurs sites de collecte d'une manière indépendante forme un réseau de capteurs sans fil (Wireless Sensor Network ou WSN) [12].



## 2.7. Communication dans RCSF

### 2.7.1. Pile protocolaire

Les RCSFs nécessitent de nouvelles exigences pour la conception des protocoles de communication par rapport aux réseaux ad hoc traditionnels. Les réseaux de capteurs utilisent le même modèle de communication du modèle OSI.

La pile protocolaire est composée de cinq couches : application, transport, réseau, liaison de données et physique. Et trois plans: gestion d'énergie, gestion de tâches et gestion de mobilité [13].

La pile protocolaire est illustrée dans la figure 4.

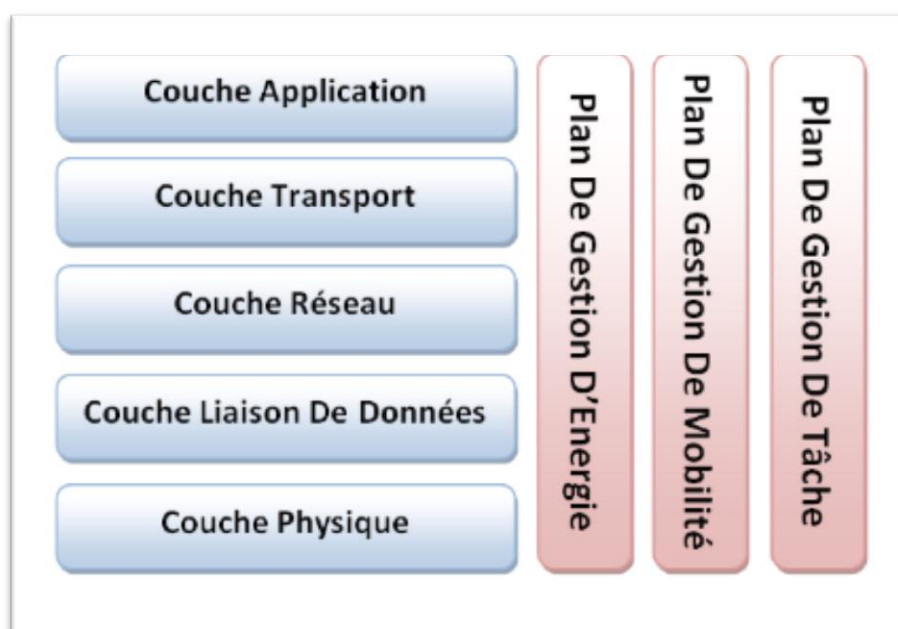


Figure 4. Pile protocolaire dans RCSF [13].

- **La couche physique** est chargée de fournir les moyens de transmettre, de recevoir et de moduler les données de manière fiable. L'identification du signal et la sélection de la fréquence porteuse relèvent de ses responsabilités [13].
- **La couche de liaison de données** est chargée de multiplexer les flux de données, de détecter les erreurs et de fournir un accès aux médias. Elle est composée de deux couches : la couche de contrôle de liaison logique, qui sert d'interface entre les couches de liaison et de réseau, et la couche de contrôle d'accès au médium (MAC qui régule la radio). La couche de liaison de données doit garantir une faible consommation d'énergie et éviter les conflits entre les données diffusées par les nœuds

voisins, car l'environnement des réseaux de capteurs est bruyant et les nœuds peuvent être mobiles [13].

- **La couche réseau** Le travail de la couche réseau consiste à déterminer les chemins les plus efficaces pour transmettre les données collectées à la station de base tout en conservant l'énergie des nœuds [13].
- **La couche de transport** est chargée de transmettre les données, de les séparer en paquets, de contrôler les flux, de préserver l'ordre des paquets et de gérer les colis en cas de défauts de transmission [13].
- **La couche application** Cette couche est responsable de l'interaction avec les applications. En conséquence, c'est le niveau le plus proche des utilisateurs, et il est contrôlé directement par les logiciels [13].
- **Le plan de gestion de l'énergie** Les nœuds d'un réseau de capteurs sont définis par la capacité de leurs batteries. Le plan de gestion de l'énergie vise à réduire la quantité d'énergie consommée par les capteurs. Par exemple, un capteur doit se mettre en veille dès qu'il reçoit un message d'un nœud adjacent afin d'éviter de recevoir des signaux en double. De plus, lorsque le niveau d'énergie d'un nœud est faible, il peut envoyer un message à d'autres capteurs pour leur demander de s'abstenir de participer à des activités de routage afin que l'énergie restante puisse être utilisée pour le captage [13].
- **Plan de gestion de la mobilité** Il est chargé de détecter et de documenter tous les mouvements des nœuds de capteurs s'ils sont mobiles afin de faciliter leur localisation [13].
- **Le plan de gestion des tâches** Ce niveau permet de répartir équitablement les tâches entre les nœuds du réseau, en garantissant un travail coopératif et économique en terme d'énergie et, par conséquent, prolongeant la durée de vie du réseau [13].

### 3. Réseaux de capteurs multimédias sans fil

Ils sont un ensemble de nœuds capteurs à faible coût équipés de caméras ou de microphones, déployés de manière programmée ou aléatoire pour assurer une couverture. Les dispositifs de capteurs multimédias permettent le stockage, le traitement et la récupération de données multimédia telles que la vidéo, le son et les images. Ils doivent faire face à différents défis tels que la forte demande de bande passante, consommation d'énergie élevée, une qualité de service garantie et des technologies de traitement et de compression des données. Par conséquent, il est nécessaire de développer des technologies de transmission qui prennent en

charge une bande passante très élevée et une faible consommation d'énergie pour fournir du contenu multimédia de façon fiable tel que le streaming vidéo. Les RCMSF améliorent les applications RCSF existantes telles que le suivi et la surveillance [13].

### 3.1. Architecture de réseaux de capteurs multimédias sans fil

La figure 5 représente l'architecture d'un RCMSF, elle montre trois types de RCSF avec quelques caractéristiques et leurs détails. Les capteurs multimédias peuvent être intégrés dans un réseau à un seul niveau, comme il est illustré dans la partie a et b de la figure 5, ou d'une façon hiérarchique, comme l'illustre la partie c de la même figure. Les concentrateurs de traitement multimédia sont utilisés dans cette architecture car ils offrent des ressources importantes pour le calcul, et ils sont adaptés pour l'agrégation des flux multimédia à partir des nœuds capteurs. Ils réduisent le volume des données transmises à la station de base et les dispositifs de stockage. [14].

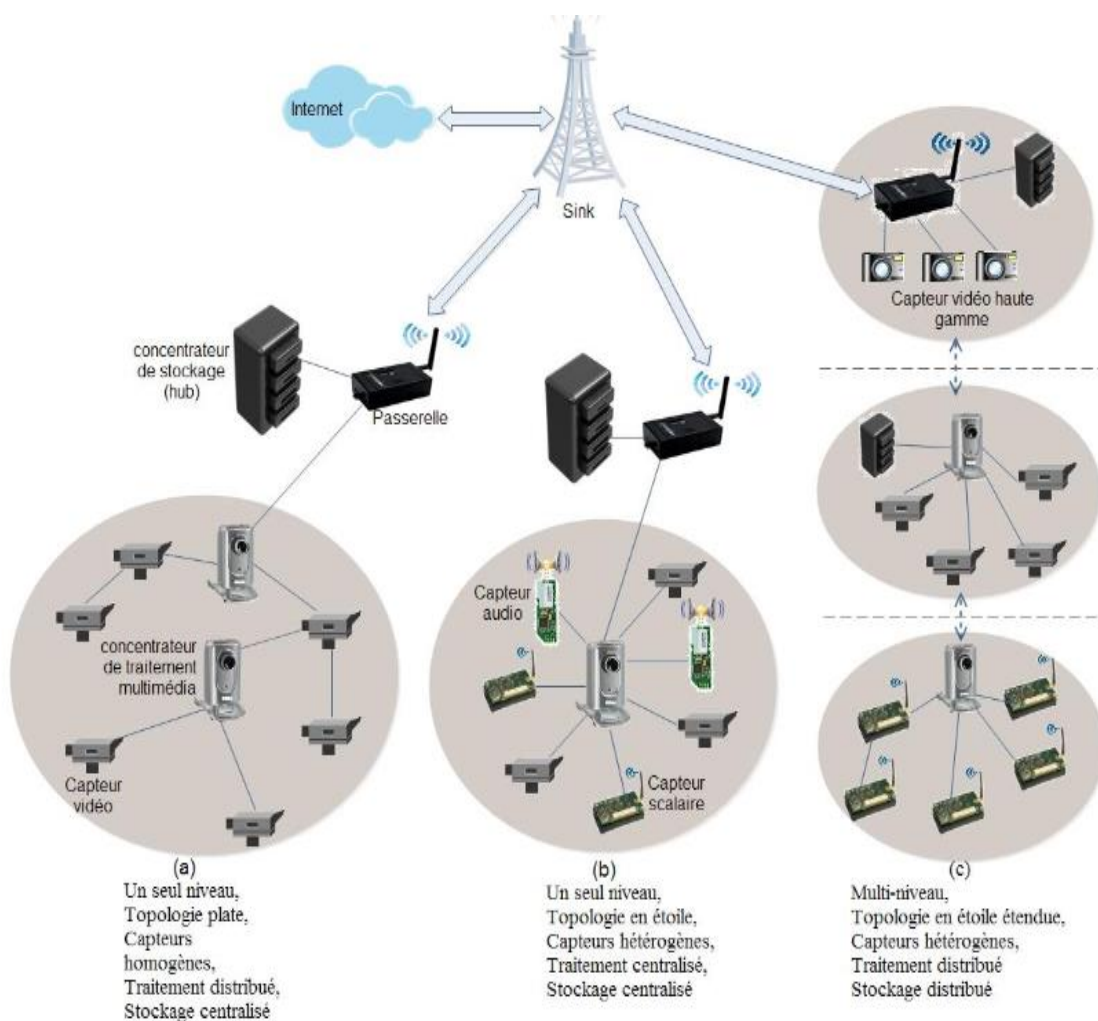


Figure 5. Architecture d'un réseau de capteurs multimédia sans fil [14].

### 3.2. Caractéristiques de réseaux de capteurs multimédias sans fil

Les RCMSF sont définis par les caractéristiques suivantes :

- **Consommation et efficacité d'énergie** : La consommation d'énergie représente un défi majeur dans les réseaux RCMSF. Dans quelques applications les réseaux RCMSF sont intégrés dans des régions isolées et inaccessibles telles que les montagnes et les déserts pour collecter des données multimédias. Les capteurs des réseaux RCMSF consomment généralement encore plus d'énergie en le comparant avec les RCSFs. La somme des énergies consommées par chaque composant qui constitue un nœud capteur (radio, traitement, capture, ... etc.) donne l'énergie consommée par ce dernier. Les paramètres principaux dans la consommation d'un nœud sont : la puissance du signal, le temps d'émission et de réception, le temps de traitement et la fréquence d'échantillonnage [14].
- **Bande passante** : Les solutions logicielles et matérielles, pour supporter les transmissions de flux multimédia, une bande passante très élevée leur est indispensable [14].
- **Scalabilité** : Les applications de surveillance dans des environnements hostiles nécessitent un déploiement très profond des capteurs multimédia. L'augmentation de nombre de capteurs permet la garantie et l'amélioration de la qualité et la fiabilité des mesures [14].
- **Tolérances aux pannes** : Le RCMSF doit pouvoir soutenir les fonctionnalités d'un réseau sans causer d'interruption lorsqu'un capteur cesse de fonctionner. Pour dire qu'un capteur a un bon comportement il doit être fiable en termes de la collection de personne/environnement, fiable sur le plan des liens de la communication inter et intra RCMSF, sans oublier la fiabilité de l'analyse des données collectées au niveau de la station de base [14].

### 3.3. Défis de conception des réseaux de capteurs multimédia

La conception des RCMSF rencontre plusieurs défis, on peut citer quelques-uns [13]:

- Le coût du matériel très élevé.
- La topologie dynamique.
- La consommation de l'énergie.
- L'hétérogénéité du réseau.
- L'auto-configuration.

- La conception de couches croisées (cross layer).
- La sécurité.

## **Conclusion**

Dans ce premier chapitre on a présenté les réseaux de capteurs d'une façon générale en citant leurs catégories, avantages et architectures, ainsi que quelques domaines d'application. Ensuite on a présenté les réseaux de capteurs multimédias sans fil (RCMSF) et leurs architectures et caractéristiques.

Dans le chapitre suivant, nous présenterons l'optimisation de la QoS dans les réseaux de capteurs (RCSF).

## Chapitre 2

# Optimisation de la QoS dans les réseaux de capteur (RCSF)

---

---

### Introduction

La qualité de service (QoS) est un problème majeur dans le domaine des télécommunications. Aujourd'hui, plusieurs types d'applications qui utilisent traditionnellement des réseaux dédiés transitent via Internet. Diverses applications telles que la voix, la vidéo en temps réel, le courrier électronique, l'échange de données, le web et les jeux en temps réel utilisent Internet comme support de communication. Toutes ces applications ont des exigences de qualité de service très différentes. Le problème est que le protocole Internet n'a pas été conçu pour fournir plusieurs niveaux de qualité de service, ou encore un contrôle d'admission. En effet, tous les processus sont traités de la même manière, en essayant toutefois d'offrir le meilleur service possible [15].

Dans ce chapitre, nous allons mettre en évidence la QoS et ses paramètres, ensuite nous présenterons les algorithmes d'optimisation de la QoS dans les RCSFs et à la fin, nous discuterons ses protocoles.

### 1. Qualité de service

La qualité de service (QoS) est la capacité de transférer un type de trafic spécifique dans de bonnes conditions en termes de délai, débit, fiabilité, gigue ...etc. La qualité de service est un concept de gestion visant à optimiser les ressources d'un réseau ou de processus et de garantir de bonnes performances aux applications critiques d'une organisation. La qualité de service peut fournir aux utilisateurs des débits et des temps de réponse différenciés par applications (ou activités) suivant les protocoles mis en œuvre au niveau de la structure. Ainsi, elle permet aux fournisseurs de services (départements de réseaux des entreprises, opérateurs, etc.) de s'engager formellement auprès de leurs clients sur les caractéristiques de transmission des données applicatives sur leur infrastructure IP [16].

### 1.1. Paramètres de la qualité de service

La qualité de service est basée en général sur un certain nombre de paramètres, de natures différentes, dont les plus importants sont :

- **Le délai de bout-en-bout (End-to-End Delay)** Étant donné que la plupart des applications suggèrent une communication rapide, le délai de communication est un critère critique. Les exigences en termes de délai, en revanche, varient d'une application à l'autre, voire entre des messages distincts au sein d'une même application. Selon le degré de tolérance au délai, il existe deux catégories d'applications : (i) applications tolérantes en délai, souvent appelées SRT « Soft Real-Time », qui peuvent résister à un délai maximal moyen, et (ii) applications avec des exigences strictes de délai maximal (appelées HRT « Hard Real-Time »). Le délai est généralement causé par l'une des deux choses. Le temps qu'il faut pour accéder au support, qui dépend fortement de la densité des nœuds RCSF, de la bande passante fournie par la couche physique et du mécanisme d'accès au canal utilisé. Ce délai peut être contrôlé dans le cas de méthodes d'accès déterministes. (ii) La seconde provient du temps de traitement des paquets à l'intérieur des nœuds intermédiaires (routeurs), en particulier dans les files d'attente. La latence est le terme utilisé pour décrire ce type de délai. Cela dépend plutôt de la quantité du trafic, de la bande passante et des mécanismes d'ordonnancement et de gestion des files d'attente utilisées. Étant donné que la distance entre les nœuds dans les réseaux de capteurs sans fil est si faible, d'autres sources de délai, telles que le temps de propagation, peuvent être négligeables [17].
- **Le débit** Cette métrique représente la quantité maximale de données qu'un lien peut envoyer dans un écart de temps donné. Le réseau doit répondre à cette contrainte, lors du téléchargement d'une application volumineuse qui nécessite une bande passante suffisamment importante pour récupérer des fichiers de l'application le plus rapidement possible [17].
- **La fiabilité (le taux de perte de paquets)** Ce facteur indique le degré de tolérance du réseau aux erreurs de transmission qui peuvent se produire. Ce paramètre est utile pour les applications Web, transfert de fichier, chat et messagerie électronique [17].
- **La gigue (en anglais jitter)** est la variation du temps qu'il faut pour que les paquets arrivent. Cette gigue est causée par le fait que les conditions du réseau ne sont pas toujours cohérentes et peuvent changer à tout moment.

Par conséquent, dans certaines applications, telles que les applications interactives, cette fluctuation peut avoir un impact sur la qualité du service. Un tampon est utilisé au niveau du récepteur pour modifier le temps à être constant, ce qui résout le problème de variation de délai. Néanmoins, si la gigue d'un paquet est très large, ce dernier risque d'être détruit. Quand il y a un nombre élevé de paquets perdus, la reconstruction des données sera difficile, ce qui réduira la qualité du service (par exemple, détérioration de la qualité sonore, de la qualité de l'image, etc.) [17].

Nous pouvons voir à partir de la définition de la qualité de service et de ses différents paramètres que les exigences en termes de qualité de service varient en fonction du type d'application. Par exemple, dans les applications en temps réel telles que le son et la vidéo, le délai de bout en bout du paquet doit être réduit au minimum ; sinon, le paquet sera inutile. Les applications non en temps réel, telles que le partage de fichiers et la messagerie, accordent une grande importance à la fiabilité des communications.

## 1.2. Caractéristiques de la qualité de service

Dans les réseaux, les informations sont transmises par paquets, petits éléments de transmission envoyés de routeur à l'autre jusqu'à la destination. Donc tous les traitements vont s'opérer sur ces paquets. La mise en place de la qualité de service passe en premier par la reconnaissance des différents services. Ceci peut se faire selon plusieurs conditions [16] :

- La source et la destination du paquet.
- Le protocole utilisé (TCP/UDP/ICMP/etc...).
- Les ports sources et destinations pour les protocoles UDP et TCP.
- L'heure et la date.
- La congestion du réseau.
- La validité du routage (par exemple la gestion des pannes dans un routage en cas de routes multiples).
- La bande passante consommée.
- Le temps de latence.

## 2. Techniques d'optimisation de la QoS dans les RCSF

En fonction des critères précédents (titre 1.2), différentes stratégies peuvent alors être appliquées pour assurer une bonne qualité de service :

**2.1. Choix des routes** Quand ils existent plusieurs routes pour une destination, le choix d'une des routes peut se faire pour assurer la qualité du service. Par exemple, pour les



applications interactives, une route proposant un délai faible sur un débit faible sera utilisée, tandis que pour les applications moins sensibles au délai (streaming, téléchargement, etc.), une route avec un débit plus élevé mais un délai plus long est préférable [16].

**2.2. Mise en forme du trafic** Mettre en forme un trafic signifie prendre des dispositions pour s'assurer que le trafic ne dépasse pas les valeurs prédéterminées. En pratique, cette contrainte s'applique en délayant certains paquets afin de forcer un certain trafic, selon divers algorithmes. L'utilisation du contrôle du trafic peut être utile pour limiter l'engorgement et assurer une latence correcte. Par ailleurs, des limitations de débit séparément aux trafics permettent en contrepartie de leur assurer en permanence un débit minimum, ce qui peut être intéressant pour un fournisseur d'accès par exemple, souhaitant garantir une certaine valeur de débit à ses clients. Les deux algorithmes les plus utilisés sont le seau percé et le seau à jetons [16].

**2.3. Ordonnement** La méthode par défaut de gestion de l'ordre de départ des paquets est basée sur le principe du « Premier arrivé, premier servi » (FIFO). Celle-ci ne donne aucune priorité sur les paquets, et ceux-ci sont transmis dans l'ordre où ils sont reçus [16].

**2.4. Matériel** La qualité de service se réalise au niveau de la couche 2 ou 3 du modèle OSI. Elle doit être configurée sur des commutateurs, les routeurs ou la passerelle reliée à Internet [16].

**2.5. Diminuer les collisions** Les collisions et donc les retransmissions, ont un impact direct sur les paramètres du réseau comme le débit, la latence et l'efficacité énergétique. La couche MAC est chargée de réduire le nombre de collisions. Les collisions peuvent être évitées par plusieurs méthodes de détection, telles que l'adaptation de la fenêtre de contention en fonction des exigences de trafic, à l'aide des protocoles basés sur la contention. De plus, l'adaptation du nombre de slots de temps, de la fréquence avec les besoins du réseau peuvent réduire les collisions [18].

**2.6. Maximiser la fiabilité** Cette métrique est liée à la minimisation des collisions, un mécanisme d'acquittement peut être utilisé pour déterminer les pertes de paquets, de sorte que des retransmissions peuvent être effectuées pour corriger ces problèmes [18].

**2.7. Réduire la consommation de l'énergie** En raison de la capacité limitée des batteries de nœuds de capteurs, l'efficacité énergétique est une métrique importante dans les réseaux de capteurs sans fil [18].

**2.8. Minimiser les interférences et maximiser la concurrence (transmissions parallèles)** Étant donné que le support de transmission sans fil est partagé, toute transmission indésirable au sein du même réseau ou bien les transmissions des autres réseaux partageant les mêmes parties du spectre contribuent à des interférences sur les transmissions. Les interférences provoquent la perte des paquets. Maximiser la concurrence tout en minimisant l'impact des interférences des transmissions parallèles aide à atteindre ces métriques [18].

**2.9. Maximiser l'adaptabilité aux changements** Les réseaux de capteurs sont caractérisés par une topologie dynamique : les nœuds de capteurs peuvent vider les batteries, d'autres nœuds peuvent être ajoutés au réseau et les liens entre les nœuds peuvent être modifiés en fonction des conditions environnementales ou des changements de topologie. Par conséquent, le protocole de communication doit tenir compte de l'adaptation du réseau aux changements de topologie [18].

### **3. Exigences de la couche réseau pour fournir la qualité de service optimisée**

#### **3.1. La couche réseau**

La couche réseau est responsable de l'obtention de routes efficaces qui prennent en considération la consommation de l'énergie, qui sont stables et qui respecteront les paramètres de qualité de service. Les protocoles de routage participent à la garantie de qualité de service en choisissant le meilleur chemin pour transmettre les paquets à travers plusieurs techniques de routage tout en respectant les besoins de l'application. Dans ce cas, le but du protocole de routage est de trouver le chemin le plus court, mais qui garantit des exigences requises par l'application cible. Les protocoles de routage existants fournissent également une garantie de QoS soit probabiliste ou déterministe [19].

Le service de la couche réseau se base sur deux notions principales le délai et la fiabilité. Le tableau 1 montre une classification de quelques protocoles de QoS selon le délai et la fiabilité.

Protocoles selon délai	Protocoles selon fiabilité
SPEED	ReInForM
SAR	MMSPEED
EAQoS	
MMSPEED	
RPAR	

**Tableau 1. Quelques protocoles de QoS selon le délai et la fiabilité.**

### 3.2. Les protocoles d'optimisation du QoS dans RCSF (Etat de l'art)

Au cours de la dernière décennie, de nombreux travaux de recherche ont été versés dans le développement de techniques de routage à haut rendement énergétique pour les réseaux de capteurs. La plupart des protocoles de routage conçus pour les réseaux de capteur en considère l'efficacité énergétique comme un objectif principal de l'hypothétique, c'est-à-dire les données n'ont pas d'exigences strictes en matière de qualité de service. Par conséquent, ils proposent une performance insatisfaisante lorsqu'ils sont appliqués à « WMSNs QoS-bornés », Par conséquent, les chercheurs ont développé des techniques de routage qui prennent en charge la qualité de service avec l'utilisation efficace de l'énergie. Dans cette partie, nous présentons un bref aperçu de la plupart des protocoles de routage avec "QoS" bien connus dans les réseaux de capteurs ainsi que leurs limites [20].

#### 3.2.1. SAR (Sequential Assignment Routing)

Ce protocole utilise l'approche multi-chemin en se basant sur les tables de routage pour trouver des routes qui satisferont les besoins de QoS et la préservation de l'énergie dans les RCSFs. Il se base sur le schéma de priorité pour chaque paquet, chaque paquet possède une valeur de priorité fixe tout au long de la transmission du paquet vers la destination. Le nœud source choisit une route distincte pour l'utiliser pendant la transmission.

Ce protocole est capable de supporter plusieurs classes de trafic, son inconvénient est d'utiliser des tables dans la mémoire des capteurs pendant le routage [21].

#### 3.2.2. MCFA (Minimum Cost Forwarding Algorithm)

Le protocole MCFA (Minimum Cost Forwarding Algorithm) (Ye et al, 2001) cherche un chemin à coût minimal entre la source et le puits tout en préservant les exigences des réseaux de capteurs. Chaque nœud garde une mesure de coût minimal vers le puits. Plusieurs mesures

de coût peuvent être prises en considération comme le nombre de sauts. Ce protocole est composé de deux parties le calcul des coûts et le relais des paquets [22].

### 3.2.3. Le protocole SPEED

SPEED [8] est un protocole de routage dynamique en temps réel basé sur l'emplacement géographique. Il est basé sur l'idée que la latence de bout en bout est proportionnelle à la distance entre la source et la destination. Il s'efforce ensuite de s'assurer que les paquets sont envoyés le plus rapidement possible sur le réseau de capteurs, avec un délai de bout en bout proportionnel à la distance entre la source et la destination. La vitesse de livraison est un paramètre qui peut être défini au niveau de l'application.

Dans SPEED, le routage s'effectue comme suit :

Lorsqu'un paquet arrive au nœud  $i$ , il choisit des voisins plus proches de la destination que lui. Ensuite, il sélectionne un sous-ensemble de nœuds de cet ensemble qui ont une vitesse de relais supérieure à une valeur prédéfinie (qui varie). Le quotient de la distance entre  $i$  et le voisin de nœud sur le temps pour atteindre ce voisin est la vitesse du relais.

Le candidat à la transmission est ensuite choisi dans cette sous-liste (le choix est probabiliste).

Enfin, si cette sous-liste est vide, un premier processus d'adaptation du trafic est appelé pour tenter de réduire la valeur précédente. Dans le pire des cas, le package sera effacé.

SPEED utilise un deuxième processus de contrôle du trafic pour maintenir la vitesse souhaitée, ce qui lui permet d'alléger la charge sur un nœud spécifique en agissant sur le trafic envoyé par tous ces prédécesseurs. Le trafic est soit redirigé vers un autre nœud, soit entièrement détruit [23].

### 3.2.4. EAR (Energy Aware Routing)

Est un protocole pour RCSF qui gère QoS. Il utilise un schéma de priorité constante, dans lequel tous les paquets en temps réel ont la même priorité [25]. Ce protocole est basé sur un concept qui est défini par l'énergie résiduelle de chaque nœud de capteur, l'énergie consommée en cours de la livraison, le taux de perte et d'autres caractéristiques. Le trafic du réseau est séparé en deux catégories : meilleur effort et temps réel, chaque classe de trafic étant stockée dans sa propre file d'attente au niveau du nœud. Le protocole recherche tous les chemins possibles. Chaque nœud intermédiaire classe les paquets qu'il reçoit (en temps réel ou au meilleur effort).

L'algorithme de ce protocole n'empêche pas la livraison des packages les plus performants. L'attrait de cet algorithme provient du fait qu'il assure la transmission des paquets les plus performants tout en optimisant le débit du trafic en temps réel. Le manque de prise en charge de la priorité de trafic multiple en temps réel est l'inconvénient fondamental de cette technique. Étant donné que les packages d'une application multimédia peuvent avoir des exigences de qualité de service variées, cette technique ne répond pas à cette demande. D'autre part, la méthode qui détermine plusieurs itinéraires nécessite que chaque nœud ait une compréhension approfondie de la structure du réseau. Nous pouvons certainement affirmer que cette méthode n'est pas évolutive [24].

### **3.2.5. MMSPEED (Multi-Path Multi-Speed Protocol)**

En 2006 Felemban et al ont introduit le protocole MMSPEED [8], qui est une variante et une amélioration du protocole SPEED. Ce protocole utilise des multi-chemins et permet de différencier le service en variant les vitesses de relais en fonction du type de trafic [25].

### **3.2.6. DARA (Distributed aggregate routing algorithm)**

Le protocole prend en compte les facteurs QoS suivants : fiabilité, délai de transmission et consommation énergétique, et fait la distinction entre les paquets critiques et non critiques. Les deux types de paquets utilisent la même métrique pondérée ; la principale différence est que les paquets cruciaux sont acheminés via un ensemble de nœuds de capacité élevée. Les auteurs utilisent la théorie des files d'attente pour estimer la latence et proposer une méthode qui, dans la pratique, nécessite une grande capacité de stockage. [26].

### **3.2.7. RPAR (Real-time Power-Aware Routing)**

Est un protocole de routage dit à temps réel souple : Il essaie de garantir les délais de communication exigés par les applications tout en consommant moins d'énergie. Il se base sur l'hypothèse suivante : plus l'énergie est élevée plus les délais de transmissions sont faibles. Ainsi, le protocole établit un compromis entre la consommation d'énergie et les délais de transmissions. On appelle *vélocité* le rapport entre la distance parcourue par un paquet et son délai de bout en bout. RPAR se base sur le routage géographique. L'amélioration consiste à adapter dynamiquement la puissance de transmission selon les exigences de l'application. En effet, RPAR considère chaque paquet à part lors du processus de routage. Il transmet le paquet au nœud qui offre le meilleur choix en termes de consommation d'énergie. Un nœud voulant transmettre un paquet calcule les *vélocités* offertes par ses voisins (appelés *choix de transmission*). Il détermine ensuite ceux qui peuvent offrir une *vélocité* supérieure à celle

requis par le paquet (la vitesse requise pour assurer l'arrivée dans les temps du paquet) ; ce groupe de nœuds est appelé choix de transmissions éligibles. Enfin, il estime le coût d'énergie qui sera consommée lors de la transmission du paquet aux nœuds éligibles. Le prochain nœud choisi sera donc celui qui offre la vitesse requise tout en consommant le moins d'énergie [27].

Le tableau 2 montre une comparaison entre quelques protocoles de QoS dans la couche réseau.

Protocole	Caractéristiques	Inconvénients
SAR	-Il utilise l'approche multi-chemin en se basant sur les tables de routage ; - il se base sur le schéma de priorité ; - il est capable de supporter plusieurs classes de trafic.	- L'utilisation des tables dans la mémoire des capteurs pendant le routage.
SPEED	-Il est dynamique en temps réel ; -il est basé sur l'emplacement géographique.	-Il n'utilise pas la priorité.
MMSPEED	-Il utilise l'approche multi-chemin ; -il permet de différencier le service.	-La consommation de l'énergie est élevée.
RPAR	-Il est basé sur le routage géographique ; -Il consomme moins d'énergie.	

**Tableau 2. Comparaison entre quelques protocoles de QoS dans la couche réseau.**

#### 4. Synthèse

Le routage multi-chemin est estimé comme une technique viable pour surmonter les limites du RCMSF et améliorer les besoins de performance de diverses applications. En revanche, le routage multi-chemin peut avoir un impact négatif sur d'autres paramètres s'il est utilisé pour augmenter des paramètres de performances d'application spécifiques. Les copies multiples de paquets de données par exemple améliorent la fiabilité de la livraison des données, mais réduisent la capacité des nœuds et la durée de vie du réseau. Donc, déterminer s'il faut utiliser une solution à chemins multiples ou à chemin unique avec une architecture plate, hiérarchique

ou géographique dépend fortement de l'application et nécessite une composition entre de nombreuses caractéristiques de performance.

Le tableau 3 présente une classification des protocoles de routage de RCMSF classée en fonction de plusieurs caractéristiques.

Protocole de routage	Architecture	Connaissance de	Capacité multi-chemins	Efficacité énergétique	Latence limitée	Livraison fiable	modèle de livraison de données
<b>SAR</b>	Plat		Oui	Oui	Oui		Basé sur requête événementiel
<b>RAP</b>	Plat	Oui			Oui		Basé sur requête
<b>EAQoS</b>	Hiérarchique			Oui	Oui		Basé sur requête
<b>SPEED</b>	Plat	Oui			Oui		Basé sur requête
<b>PRAR</b>	Plat	Oui		Oui	Oui		Basé sur requête
<b>MMSPEED</b>	Géographique	Oui	Oui		Oui	Oui	Basé sur requête
<b>DARA</b>	Plat	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Basé sur requête
<b>RTLD</b>	Plat	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Basé sur requête
<b>Sen et Ukl</b>	Plat		Oui	Oui	Oui	Oui	Basé sur requête
<b>Mahapatra et al</b>	Plat		Oui	Oui	Oui	Oui	Basé sur requête
<b>OEDSR</b>	Plat		Oui	Oui	Oui		événementiel
<b>DGR</b>	Plat		Oui	Oui	Oui	Oui	
<b>Politis et al</b>	Hiérarchique		Oui	Oui	Oui	Oui	
<b>REAR</b>	Plat			Oui	Oui		événementiel
<b>ASAR</b>	Hiérarchique			Oui	Oui	Oui	Basé sur requête événementiel
<b>Peng et al</b>	Plat			Oui	Oui	Oui	
<b>Zongwa et al</b>	Plat			Oui	Oui		
<b>Haiping et Ruchan</b>	Hiérarchique	Oui		Oui		Oui	
<b>TPGF</b>	Géographique	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	
<b>GEAMS</b>	Plat	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	
<b>Pothuri et al</b>	Hiérarchique			Oui	Oui		Basé sur requête
<b>Yuan et al</b>	Plat	Oui		Oui	Oui		Basé sur requête
<b>Khalid et al</b>	Plat		Oui	Oui	Oui		Basé sur requête
<b>Ergen et al</b>	Plat			Oui	Oui		Basé sur requête
<b>Hamid et al</b>	Plat		Oui		Oui	Oui	Basé sur requête

**Tableau 3. Comparaison entre les protocoles de routage dans les RCSFs.**

Le tableau 4 montre une classification des protocoles de routage basés sur la qualité de service dans les RCSFs.



Protocole de routage	Mobilité	Modèle de communication		Architecture			Efficacité énergétique	Paramètres de QoS				
				Hiérarchie	plat	Géographique		Bande passante	délai	Taux de perte de paquet	fiabilité	gigue
		Mono chemin	Multi chemin									
MREEP	Non		✓		✓		Oui			✓	✓	
EResQoS	Non		✓		✓		Oui		✓			
SAR	Non	✓			✓		Oui		✓	✓		
MCFP	Non	✓			✓				✓			
QGRP	Non		✓			✓	Oui		✓			
MQoS	Non		✓			✓	Oui		✓		✓	
AEARP	Non	✓			✓		Oui		✓			
SPEED	Non		✓		✓		Non		✓			
MCMP			✓		✓		Oui		✓		✓	
LACR		✓			✓		Oui	✓	✓			✓
MMSP EED	Non		✓			✓	Non		✓		✓	
ReInFo rM	Non		✓		✓		Non				✓	
Mobicast	Oui	✓			✓		Oui		✓			
DAST	Non	✓			✓		Oui		✓			
M-IAR		✓			✓		Non		✓			✓
DARA		✓			✓		Oui		✓		✓	
RAP		✓			✓		Non		✓			
OEDSR		✓					Oui		✓			

**Tableau 4 .Classification des protocoles de routage basés sur la qualité de service dans les RCSFs.**

## 5. Discussion

Notre état de l'art s'appuie sur les protocoles d'optimisation de QoS afin d'optimiser les ressources du réseau et assurer de bonnes performances pour les applications délicates. Selon les protocoles utilisés au niveau de la couche réseau, la QoS optimisée fournit aux utilisateurs des débits et des temps de réponse différentiels par application. Cela permet aux fournisseurs

de services de communiquer officiellement avec leurs clients sur les caractéristiques de transfert des données d'application à travers leurs infrastructures.

Après avoir analysé les principaux protocoles d'optimisation de la qualité de service, nous aboutissons au résultat que le routage multi-chemin présente plusieurs avantages et constitue un bon moyen d'augmenter la capacité du réseau et l'utilisation des ressources lorsqu'il y a un trafic excessif. Les protocoles à chemins multiples sont classés en fonction de l'objectif de l'application, tels que la tolérance aux pannes, le transfert fiable des données et l'utilisation efficace des ressources réseau ; toutes ces fonctionnalités sont appelées paramètres de QoS.

Les tableaux 3 et 4 proposent un petit aperçu des principaux facteurs qui nous ont motivé de présenter notre stratégie dans l'objectif d'optimiser la QoS dans les RCMSF est de gérer efficacement la consommation d'énergie pour maximiser la durée de vie du réseau.

## **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons commencé par une présentation détaillée sur la qualité de service, ses paramètres et ses caractéristiques ainsi que les techniques d'optimisation de la QoS dans les RCSFs. Ensuite, on a essayé de mettre le point sur l'exigence de la couche réseau pour fournir la QoS optimisée, et on a présenté les protocoles d'optimisation de QoS ainsi que leur classification dans les RCSF et on a conclu le chapitre par une discussion de notre état de l'art.

Dans le chapitre suivant, nous présenterons notre stratégie, son architecture de fonctionnement ainsi que ses concepts de base.

---

# Chapitre 3

## Contribution

---

### Introduction

Ces dernières années, la recherche dans le domaine d'optimisation de la QoS fut très bénéfique avec plusieurs propositions et améliorations de ses protocoles. Cependant, dans certaines applications, ces protocoles ne répondent pas à toutes les exigences et attentes. Par ailleurs, la recherche dans les réseaux de capteurs est ouverte pour de nouvelles idées afin d'optimiser encore les protocoles existants pour obtenir une meilleure QoS [28].

Dans ce chapitre, nous présenterons notre contribution de recherche dans le domaine de qualité de service. La solution propose une nouvelle stratégie hybride basée sur QoS nommée PEGALEACH-QoS qui combine le protocole LEACH avec le protocole PEGASIS, ainsi que son architecture de fonctionnement et ses concepts de base afin de mieux expliquer cette combinaison.

### 1. Approches et protocoles utilisés

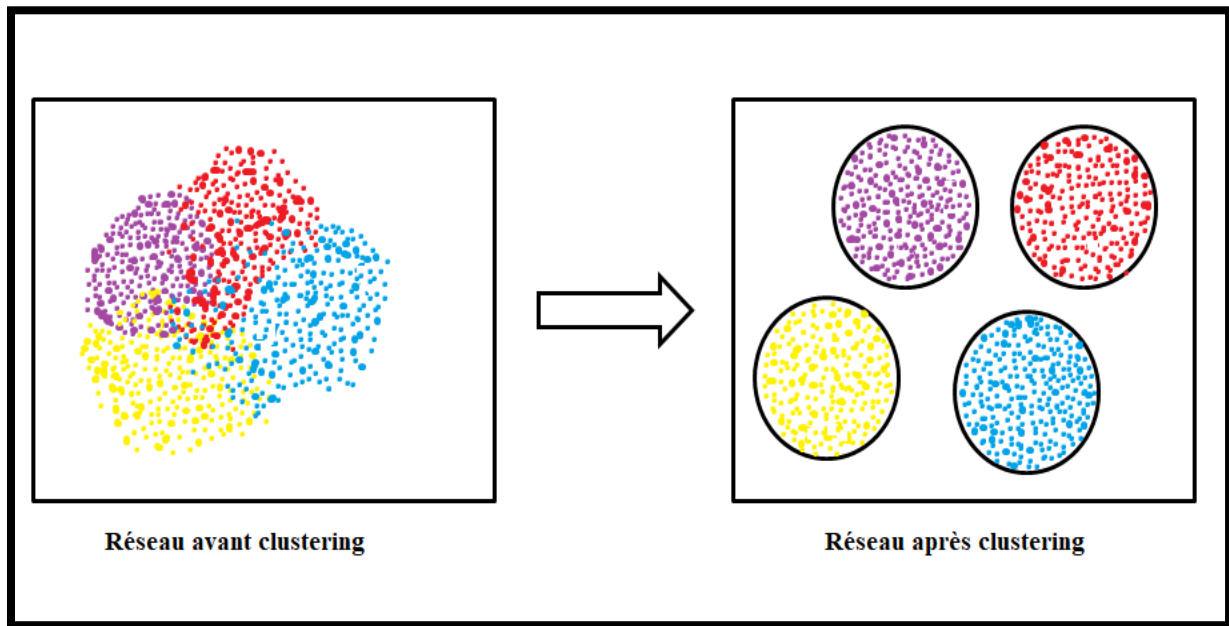
Le but principal de notre stratégie est de maximiser la durée de vie du réseau et le contrôle de la consommation d'énergie, et pour répondre à cette problématique, on a conclu que l'approche cluster et l'approche à chaîne sont les meilleures pour les RCMSFs.

#### 1.1. Approche à cluster

Dans les réseaux de capteurs sans fil, le clustering est un objectif essentiel pour l'efficacité énergétique et la cohérence du réseau.

Le clustering est une technique bien connue et souvent utilisée dans les réseaux de capteurs sans fil, qui consiste à regrouper les nœuds. Cette approche est essentielle pour résoudre diverses difficultés dans les réseaux de capteurs, notamment la consommation d'énergie et la durée de vie. Les méthodes de clustering limitent la communication dans une petite zone et transmettent uniquement les informations requises au reste du réseau via des nœuds de transfert (nœuds de passerelle).

Un groupe de nœuds forme un cluster et les interactions locales entre les membres du cluster sont contrôlées via une tête de cluster (CH) comme il est illustré dans la figure 6. Les membres du cluster communiquent généralement avec la tête du cluster et les données collectées sont agrégées et fusionnées par la tête du cluster pour économiser l'énergie. Les têtes de cluster peuvent également former une autre couche de grappes entre elles avant d'atteindre la station de base. [29].



**Figure 6. Réseau avant et après clustering.**

### **1.2. Approche de construction de chaîne**

Est le processus de construction de plusieurs chaînes en direction de la station de base. Le premier nœud de chaque chaîne transfère les données vers le nœud le plus proche de la chaîne. Les données sont collectées, agrégées et transmises au nœud le plus proche suivant par ce dernier. Ce processus se poursuit jusqu'à ce qu'il atteigne le dernier nœud, qui collecte les données et les envoie directement au destinataire [30]. La figure 7 montre un exemple de construction de chaîne

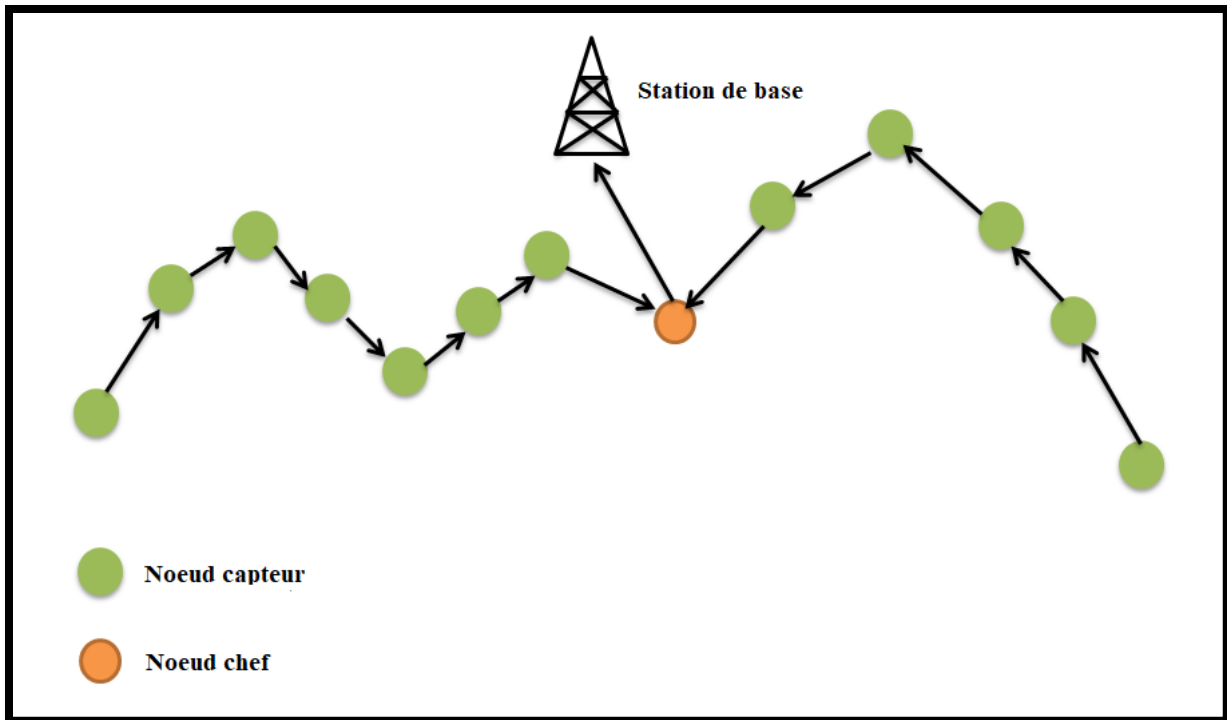


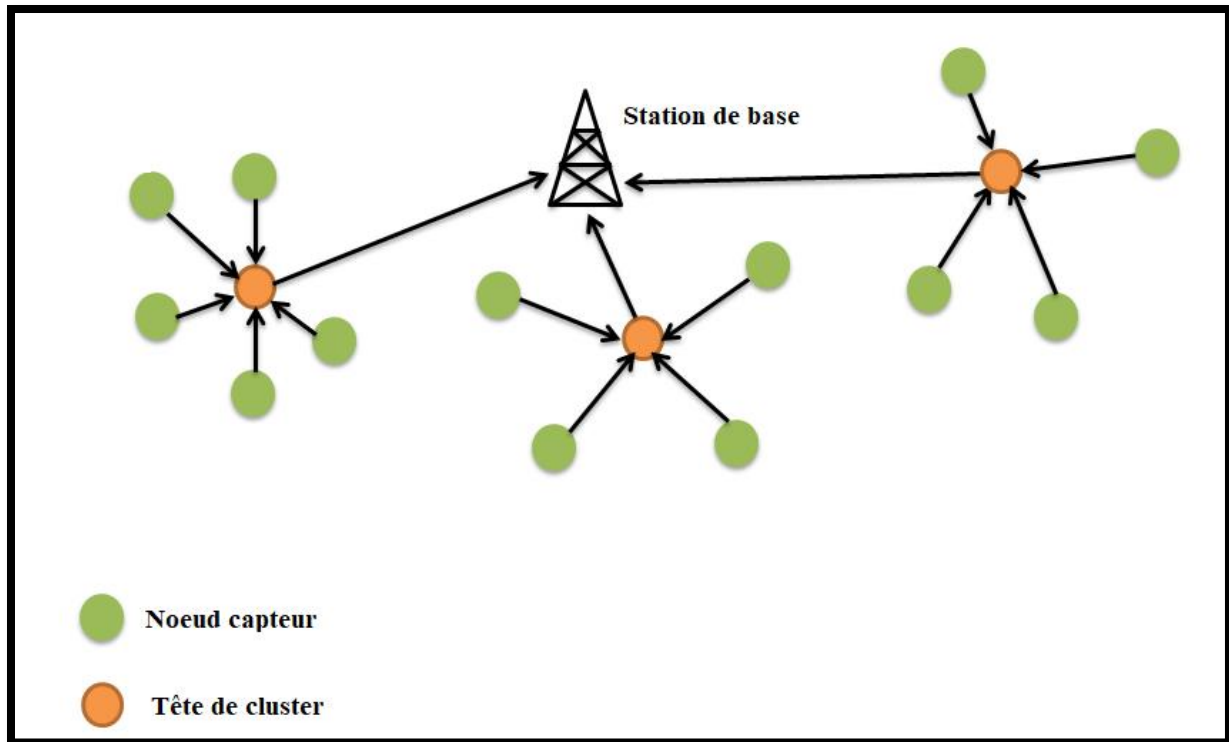
Figure 7. Construction de chaîne dans le réseau.

### 1.3. Protocole LEACH

L'objectif principal de ce protocole est de prolonger la durée de vie des réseaux de capteurs sans fil en réduisant la quantité d'énergie utilisée pour créer et maintenir les têtes de cluster.

Le protocole LEACH est divisé en nombreux tours, chacun avec deux phases: la mise en œuvre et la stabilité. L'objectif principal de la phase de mise en œuvre est de construire les clusters et de choisir la tête pour chaque cluster en sélectionnant le nœud de capteur avec une énergie maximale.

La phase stable, qui dure un peu plus longtemps que la mise en œuvre, concerne principalement l'agrégation des données aux têtes de clusters et la transmission des données agrégées à la station de base [31]. La figure 8 illustre le protocole LEACH.



**Figure 8. Protocole LEACH.**

#### 1.4. Protocole PEGASIS

Est l'un des protocoles de routage hiérarchique qui utilise un algorithme gourmand et une méthode basée sur la chaîne. Les nœuds de capteurs s'organisent eux-mêmes pour former une chaîne. Si un nœud de la chaîne meurt au milieu, la chaîne est reconstruite pour contourner le nœud mort. Un nœud chef, est alloué pour gérer la transmission de données vers la station de base. L'objectif principal de PEGASIS est de recevoir et de transmettre des données vers et depuis le voisin, ainsi que de se relayer en tant que tête de chaîne pour la transmission de données au nœud récepteur [32].

#### 2. Concepts de base de la stratégie PEGALEACH-QoS

La stratégie PEGALEACH-QoS combine les avantages des deux approches (l'approche basée sur les clusters utilisée par le protocole LEACH et l'approche basée sur chaîne du protocole PEGASIS). L'organisation des nœuds appartenant au même cluster qu'une chaîne améliore et régule la dissipation d'énergie et, par conséquent, réduit la charge sur le CH (tête de cluster). En effet, les nœuds ne communiquent qu'avec leurs proches voisins et non pas directement avec leur CH ce qui économise de l'énergie et assure une meilleure utilisation de la bande passante. La collecte de données de chaque nœud dans la chaîne réduit la quantité de données

---

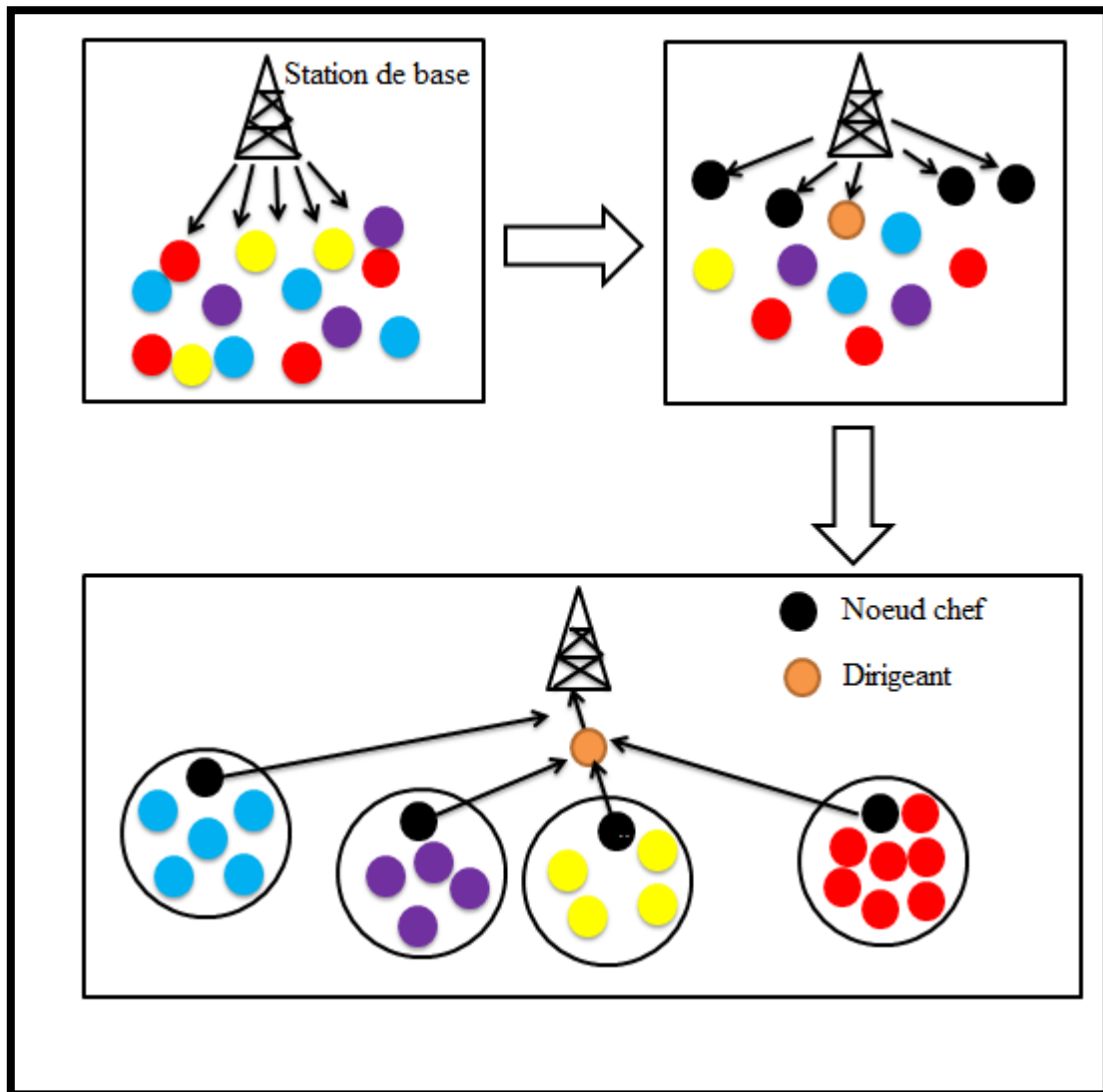
échangées entre les nœuds et leurs CHs, ce qui ont pour effet de préserver les réserves d'énergie de ces derniers.

Quant à lui recueille les données qu'il a reçues avec les siennes et les transmet à son autre voisin jusqu'à atteindre le CH et que ce dernier les transmette au dirigeant qui les transmet directement à la BS ou en utilisant une approche multi-sauts pour conserver plus d'énergie. En d'autres termes, dans cette nouvelle organisation de cluster à chaînes, tous les nœuds du cluster transmettent leurs données collectées à leurs CH respectifs en se reliant à travers la chaîne, tandis que chaque CH doit recevoir les données collectées à partir des nœuds en tête de la chaîne et les transmette au dirigeant et ce dernier les transmet à la BS.

Contrairement à LEACH, le nombre de nœuds communiquant avec le CH est considérablement réduit en un seul nœud. Cela implique une meilleure économie d'énergie et prolonge la durée de vie des CHs, et la communication du CH avec le dirigeant garantit leur vie car si ces derniers meurent (épuisent leur réserve d'énergie), alors tous les nœuds du cluster perdront leur pouvoir de communication avec la BS et donc l'ensemble du cluster est considéré comme invalide (ne communique pas avec la BS).

Dans notre stratégie on a adopté le concept de rotation aléatoire du rôle de CH proposé par le protocole LEACH, qui contrôle la dissipation de l'énergie permettant d'éviter que les nœuds sélectionnés comme CH meurent rapidement et dans le but de minimiser le nombre de nœuds qui communiquent avec la BS dans un seul nœud dirigeant.

## 2.1. Principe de fonctionnement



**Figure 9. Principe de fonctionnement de la stratégie.**

Au début tous les nœuds reçoivent un message de la BS leur demandant leurs informations. Les nœuds lancent une procédure qui détermine l'énergie et fournit la position après avoir reçu le message. Ensuite la BS traite les données des nœuds et transmet des informations provenant d'organisations; elle choisit le nœud le plus fort en termes d'énergie comme dirigeant et les nœuds qui suivent (en termes d'énergie toujours) comme chefs du groupe.

A la fin le réseau s'organise en cluster et chaque cluster a un chef, les chefs des clusters communiquent avec le dirigeant. Le scénario de notre stratégie est montré dans la figure 10.



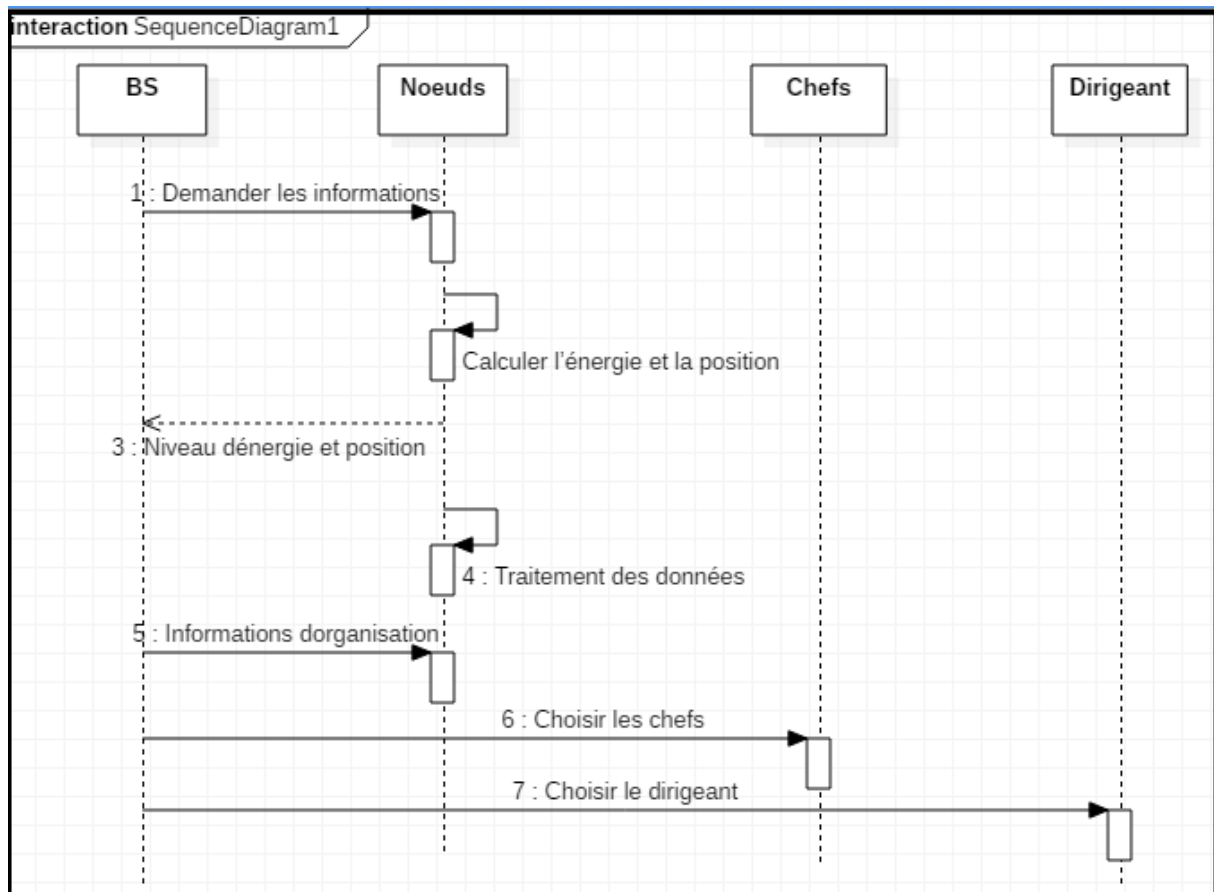


Figure 10. Scénario de la stratégie.

L'algorithme proposé pour notre protocole est montré ci-dessous.

#### Début

```

{   Bs envoie msg ;

    Si msg-BS= reçu aux nœuds alors

        { Répéter

            Lancer l'Initialisation;

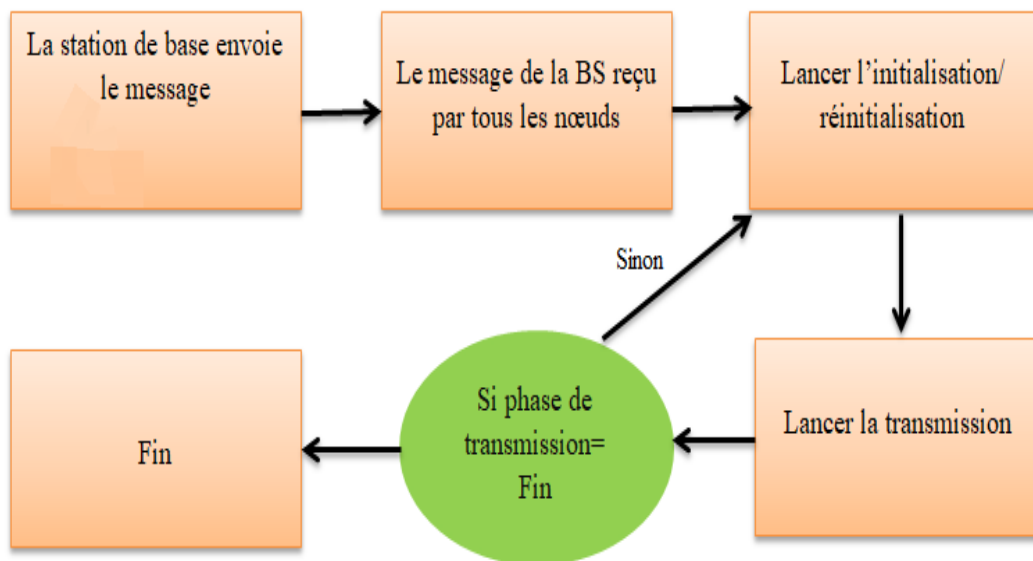
            Lancer la Transmission ;

            Jusqu'à phase Transmission= fin ;   }

    }
  
```

#### Fin

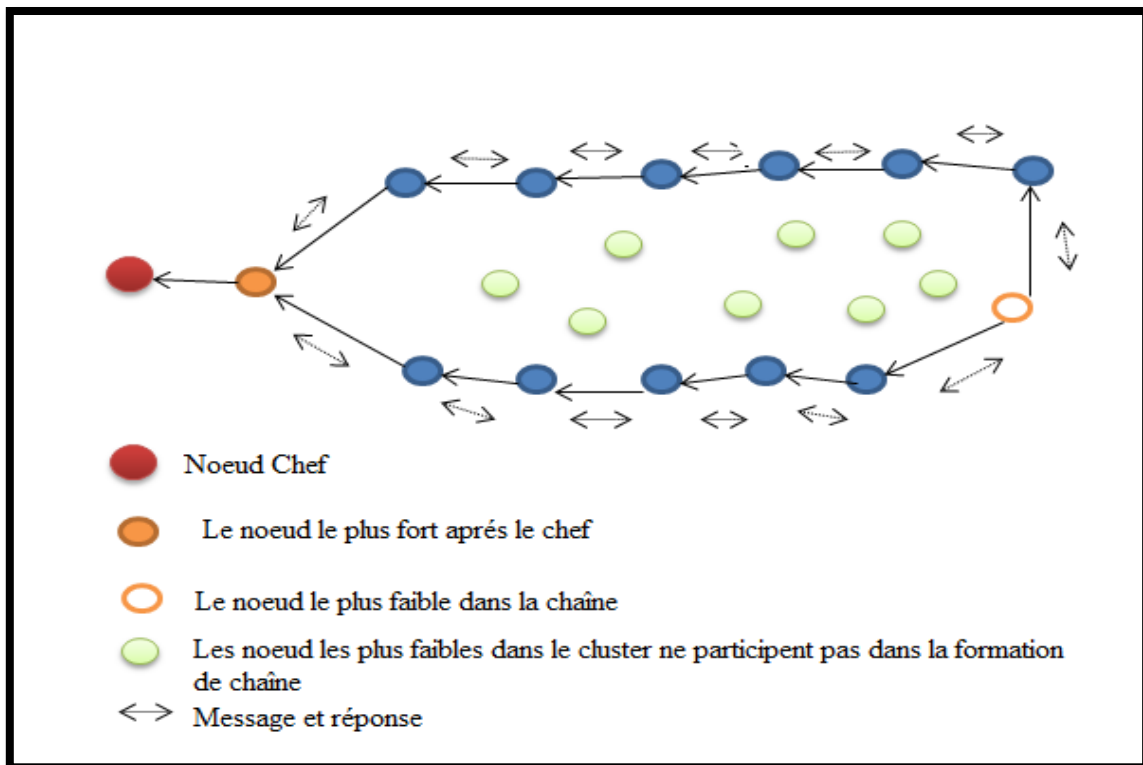
La figure 11 montre le diagramme de fonctionnement de notre stratégie.



**Figure 10. Digramme de fonctionnement de notre stratégie.**

L'idée de construction de chaîne consiste à construire plusieurs chaînes dans la direction de la station de base (les nœuds de chaque cluster construisent une chaîne). Le premier nœud de chaque chaîne envoie des données au nœud le plus proche de la même chaîne. Ce dernier collecte, agrège et transmet des données au nœud le plus proche suivant. Ce processus se répète jusqu'à atteindre le dernier nœud, qui agrège et transmet les données directement au nœud plus fort énergétiquement après le nœud chef et ce dernier les transmet au nœud chef. Et notre idée est de mettre les nœuds en ordre croissant selon l'énergie, le nœud le plus éloigné par rapport au chef est le plus faible énergétiquement et le nœud qui suit plus fort par rapport à son voisin précédent.

La figure 11 montre l'idée de base de formation de chaînes.



**Figure 11. Idée de base de formation de chaînes.**

Pour construire la chaîne, on a proposé un algorithme de construction des chaînes détaillé :

**Début**

```
{ tête = noeud plus éloigné du CH (le plus faible) ;
  new-tête= chaîne – tête ;
```

**Répéter**

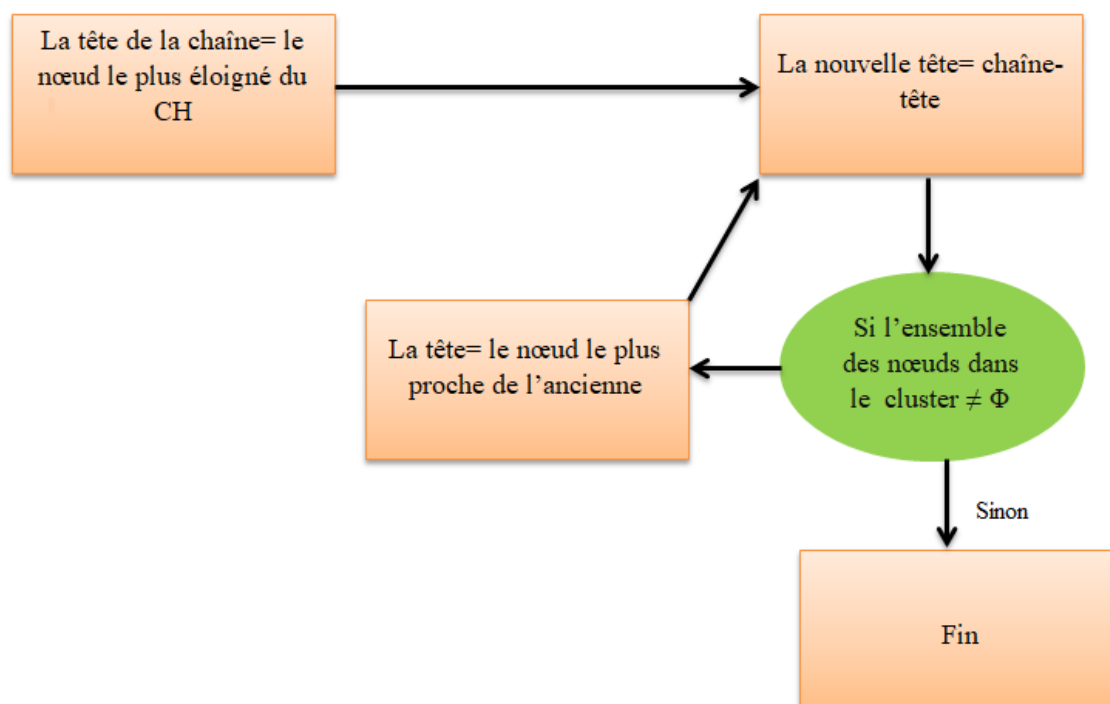
```
{
  tête = noeud le plus proche de l'ancienne &&
  new-tête= chaîne – tête
}
```

**Jusqu'à** l'ensemble des noeuds dans le cluster =  $\Phi$

```
}
```

**Fin**

La figure 12 montre le diagramme de construction des chaînes.



**Figure 12. Diagramme de construction des chaînes.**

Notre stratégie consiste à commencer par le nœud le plus faible énergétiquement et le plus éloigné pour garantir que tous les nœuds ont des voisins proches.

Étant donné que les nœuds qui font déjà partie de la chaîne ne peuvent plus être reconsidérés, la distance approximative augmentera régulièrement. La disposition des nœuds jusqu'au CH est illustrée dans la figure 11.

Au cas où un nœud meurt, la chaîne est reconstruite de la même façon pour contourner le nœud mort. Afin de limiter la quantité de données transférées et d'éliminer les informations fréquentes, l'opération d'agrégation est effectuée à chaque nœud. Certains nœuds peuvent être autorisés à transférer des données en même temps afin de réduire la latence causée par la chaîne.

Les transmissions peuvent être codées ou autorisées à diffuser vers des nœuds géographiquement distincts au même créneau horaire pour éviter les problèmes d'interférence. Chaque nœud de la chaîne prend les données d'un voisin, les combine avec les siennes et les envoie à un voisin ultérieur jusqu'à ce qu'il atteigne le CH pour but de collecter les données de nœuds capteurs.

---

Les données collectées sont envoyées du CH au dirigeant, qui les envoie ensuite à la BS.

### **3. Principe de routage**

Notre stratégie est composée de plusieurs étapes d'exécution répétitives. Chaque étape est composée de deux phases, une phase d'initialisation et une phase de transmission. L'objectif principal de la première phase est de créer les clusters de chaînes et choisir le dirigeant et les CH pour chaque cluster. Ensuite, il y a une phase de transmission qui a pour objectif de recueillir les données et les envoyer au CH par les chaînes, où les CH les enverront ensuite au dirigeant, qui les enverra à la station de base. Pour participer simultanément à l'étape d'initialisation, tous les nœuds doivent être synchronisés.

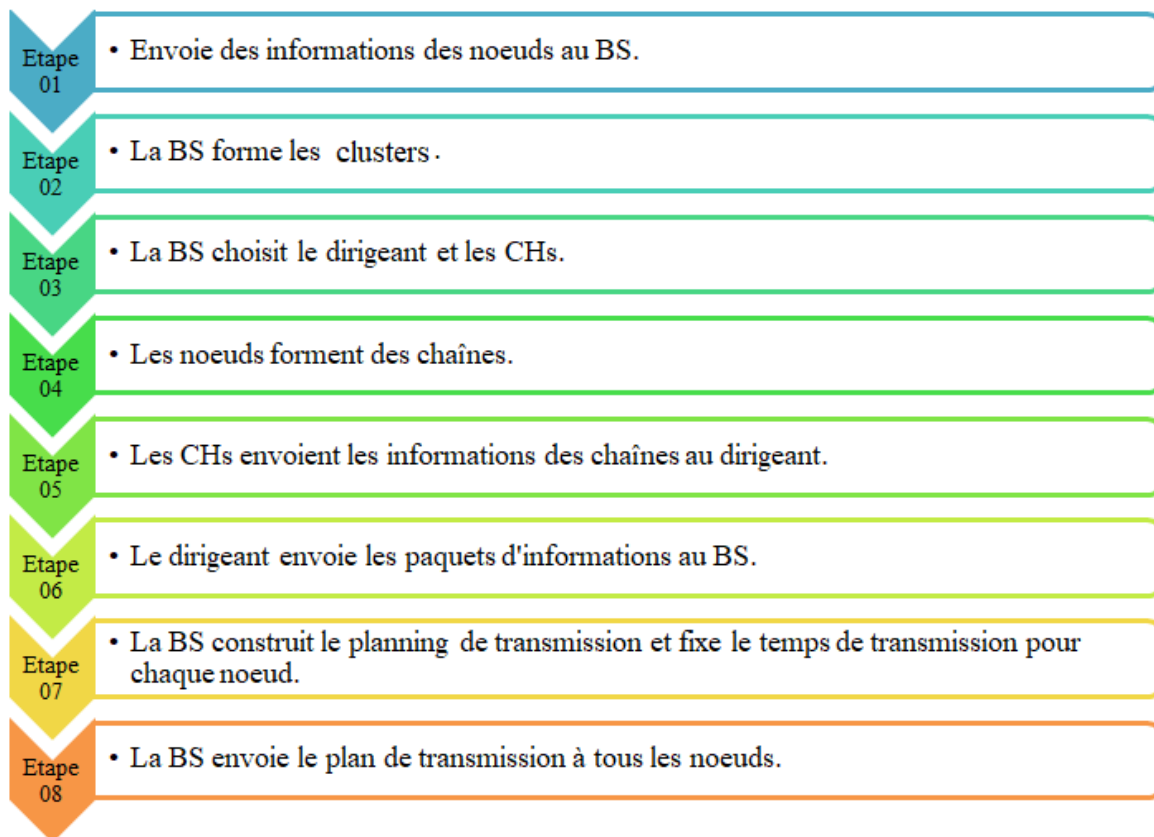
La durée de la phase d'initialisation est définie pour être considérablement plus courte que celle de la phase de transmission afin de réduire les problèmes d'interférence et les retards de transmission.

#### **3.1. Initialisation et réinitialisation**

La création de clusters marque le début du processus d'initialisation. Les clusters sont créés par la station de base à l'aide d'un algorithme proposé. En termes de formation de grappes et de conservation de l'énergie, cette stratégie donne de meilleurs résultats. L'étape qui suit la formation des clusters est de sélectionner les CH des clusters de manière rationalisée, le nœud le plus proche du dirigeant et la plus grande réserve d'énergie étant prise en compte.

La méthode de construction de chaînes est ensuite utilisée pour créer de nombreuses chaînes, les CH envoient les données de chaque chaîne au dirigeant, qui les envoie ensuite à la station de base. Dans ce scénario, si la phase de transmission avait échoué et que la station de base avait découvert un défaut dans le routage, notre stratégie est obligée de revenir à la phase de réinitialisation pour résoudre le problème et reprendre la transmission.

La figure 13 montre les étapes de la phase d'initialisation.



**Figure 13. Les étapes de la phase d'initialisation.**

Ces étapes sont expliquées ci-dessous.

**Etape 01** Tous les nœuds du réseau envoient des paquets d'informations contenant l'identificateur, le niveau d'énergie, et la position géographique à la BS.

**Etape 02** La BS utilise les informations reçues précédemment pour former les clusters.

**Etape 03** La station de base exécute un algorithme proposé pour former les clusters et choisit le dirigeant et les CHs pour chaque grappe.

**Etape 04** Les nœuds de même grappe exécutent un algorithme proposé pour former les chaînes.

**Etape 05** Les CHs envoient des paquets d'information contenant les informations de chaque chaîne au dirigeant.

**Etape 06** Le dirigeant envoie les paquets d'informations collectées par les chefs à la station de base.

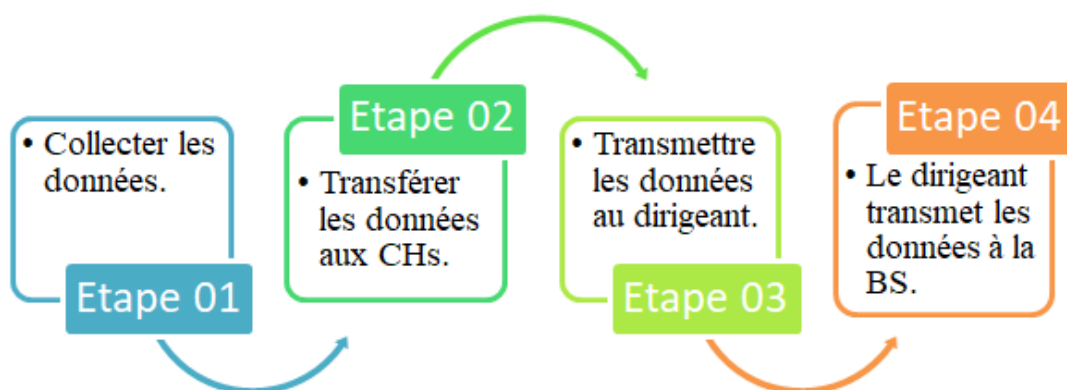
**Etape 07** La BS exécute un algorithme de TDMA pour construire le planning de transmission et fixe le temps de transmission pour chaque nœud dans le réseau.

**Étape 08** La BS envoie le plan de transmission créé précédemment à tous les nœuds du réseau.

### 3.2. Transmission

La phase de transmission est composée de plusieurs cycles, dans cette phase les nœuds envoient leurs données acquises le long de la chaîne aux CH, qui les envoient ensuite au dirigeant. Un nœud transmet au minimum un paquet de données dans le créneau horaire qui lui a été initialement attribué par la station de base tout au long de chaque cycle. Le temps de chaque cycle est défini selon le nombre de nœuds existants dans la chaîne de cluster, car le créneau horaire alloué à chaque nœud est fixe. Nous pouvons économiser plus d'énergie en faisant convertir les CH en mode d'écoute et désactiver leur fonctionnement jusqu'à ce que la chaîne de nœuds ait fini de collecter ses données. Une fois qu'une stratégie de contrôle a été choisie, le CH transmet un paquet de contrôle pour organiser la transmission et l'initier aux extrémités de la chaîne jusqu'à l'arrivée du CH. En raison de la petite taille du paquet de contrôle, cette méthode a des coûts relativement faibles.

Quatre étapes sont nécessaires pour l'opération de transmission. La figure 14 illustre ces étapes.



**Figure 14.** Les étapes de la phase de transmission.

Les étapes précédentes sont expliquées ci-dessous.

**Étape 01** Collecter les données à travers les nœuds capteurs.

**Étape 02** Transférer les données collectées et agrégées à travers la chaîne de nœuds voisins aux CHs.

**Étape 03** Transmettre les données précédentes à travers les CHs des clusters au dirigeant.

**Étape 04** Le dirigeant transmet les données reçues à la station de base.

## **Conclusion**

Ce chapitre s'est focalisé sur la proposition d'une nouvelle stratégie de communication pour les RCSF qui se doit d'être performante du point de vue qualité de service, ainsi que du point de vue énergétique. Dans le chapitre suivant nous passerons à l'implémentation et la simulation de notre stratégie.



# Chapitre 4

## Implémentation et simulation

---

### Introduction

Dans le but d'analyser les performances de la stratégie proposée on a choisi le simulateur de réseau NS2. Dans ce chapitre, on va commencer par présenter NS2 et ensuite on va passer à la simulation et l'implémentation de notre stratégie.

### 1. Présentation du simulateur NS-2

L'outil de simulation « open source » « Network Simulator Version 2 » (NS-2) [32], [fait partie de la famille des simulateurs d'événements « Event Driven » [33] Ce simulateur a été conçu pour la recherche spécialisée dans le domaine des réseaux informatiques, plus précisément des protocoles de communication filaires et sans fil. NS2 est l'un des simulateurs les plus populaires dans ce domaine d'étude. NS-2 a été créé en utilisant deux langages de programmation : C++ et Java, le C++ décrit le fonctionnement fondamental des objets de simulation (le cœur du simulateur) et l'OTCL, ou « Object-Oriented Tool Command Language », qui est chargé de configurer et de relier ces objets ainsi que d'organiser des événements. Le script TCL « Tool Command Language » sert de canal entre l'utilisateur et le noyau du simulateur.

Cette conception a été introduite afin que les détails de l'implémentation du protocole puissent être exécutés plus rapidement à l'aide du langage C ++ et que la configuration puisse être modifiée rapidement et de manière interactive à l'aide d'OTCL [34].

### 2. Évaluation des performances de la stratégie

#### 2.1. Préparation de l'environnement d'implémentation

Après le téléchargement du simulateur de réseau NS2 la version 2.35 sous le système d'exploitation Linux, on a copié le package d'installation NS2.35 dans le répertoire du

système et on a accédé au répertoire NS2.35 sur le terminal de commande, et dans le terminal de commande on a entré la commande d'installation'. **/Install** '.

La mise à jour du système Ubuntu est importante pour préparer l'environnement. Aussi il faut installer les packages importants reliés à NS, en utilisant les commandes ci-dessous :

**sudo apt-get update** et **sudo apt-get dist-upgrade** : ces deux commandes sont utilisées pour mettre l'installation Ubuntu à niveau.

**sudo apt-get install build-essential autoconf libx11-dev xorg-dev** : permet d'installer les paquets et les bibliothèques requises pour compiler NS2.

**wget ftp://ftp.isi.edu/nsnam/ns-allinone-2.27.tar.gz** : pour télécharger NS-2.27 allinone.

**tar -xvf ns-allinone-2.27.tar.gz** : pour déballer NS.

**wget http://dl.dropbox.com/u/12576285/ns-2.27-ubuntu\_10.04gcc\_4.patch.tar.gz** : pour télécharger le patch NS-2.27 pour Ubuntu.

**tar -xvf ns-2.27-ubuntu\_10.04-gcc\_4.patch.tar.gz** : permet de décompresser le patch.

**patch -p0 < ns-2.27-ubuntu\_10.04-gcc\_4.patch** : pour appliquer le patch.

**wget http://dl.dropbox.com/u/12576285/ns2-bashrc.append** : pour télécharger le fichier de configuration ns2-bashrc.

**nano ns2-bashrc.append** : permet de modifier la première ligne de ns2-bashrc.append et de définir la valeur de NS2\_DIR sur le chemin correct (si nécessaire).

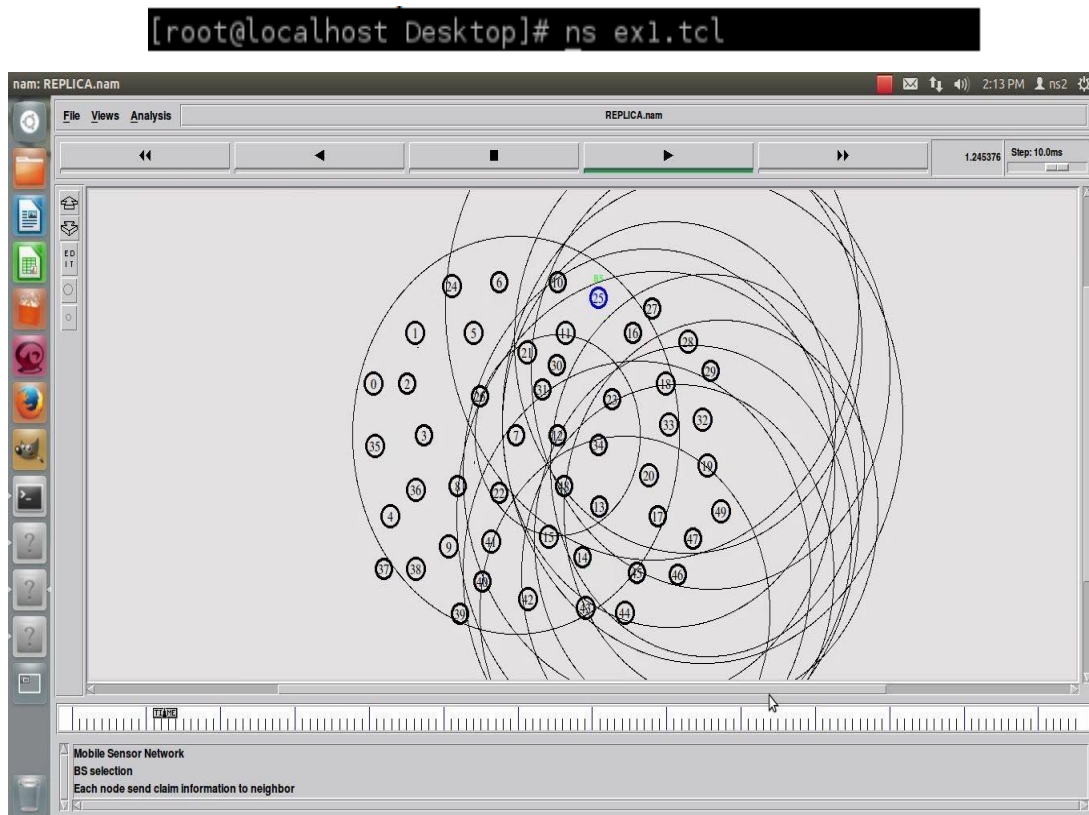
**cat ns2-bashrc.append >> ~/.bashrc** : pour ajouter le fichier au fichier .bashrc actuel.

**source ~/.bashrc** : permet de recharger .bashrc.

**cd ns-allinone-2.27/** et **./install** : pour compiler.

**cd ns-2.2.7** et **./validate** : pour exécuter la suite de validation ns.

Ensuite entrer la commande ns.



**Figure 15. Exemple de simulation sous NS-2 [32].**

## 2.2. Paramètre de la simulation

Notre modèle de simulation est fait sur 60 nœuds dans une surface de  $1000 \times 1000 \text{ m}^2$  avec un temps de simulation estimé par 250 secondes et un intervalle de transmission de 0.05 seconde avec une taille de paquet égale à 10000 bytes où le nœud de la station de base est le nœud 50 et la valeur de la couche MAC est MAC/ 802\_11, le modèle de mobilité est Random Walk Mobility Model.

## 2.3. Etapes et Résultats de simulation de notre stratégie

Dans notre modèle d'expérimentation les 60 nœuds sont distribués d'une façon aléatoire sur la surface. La figure 16 présente la commande ns pour exécuter le fichier.

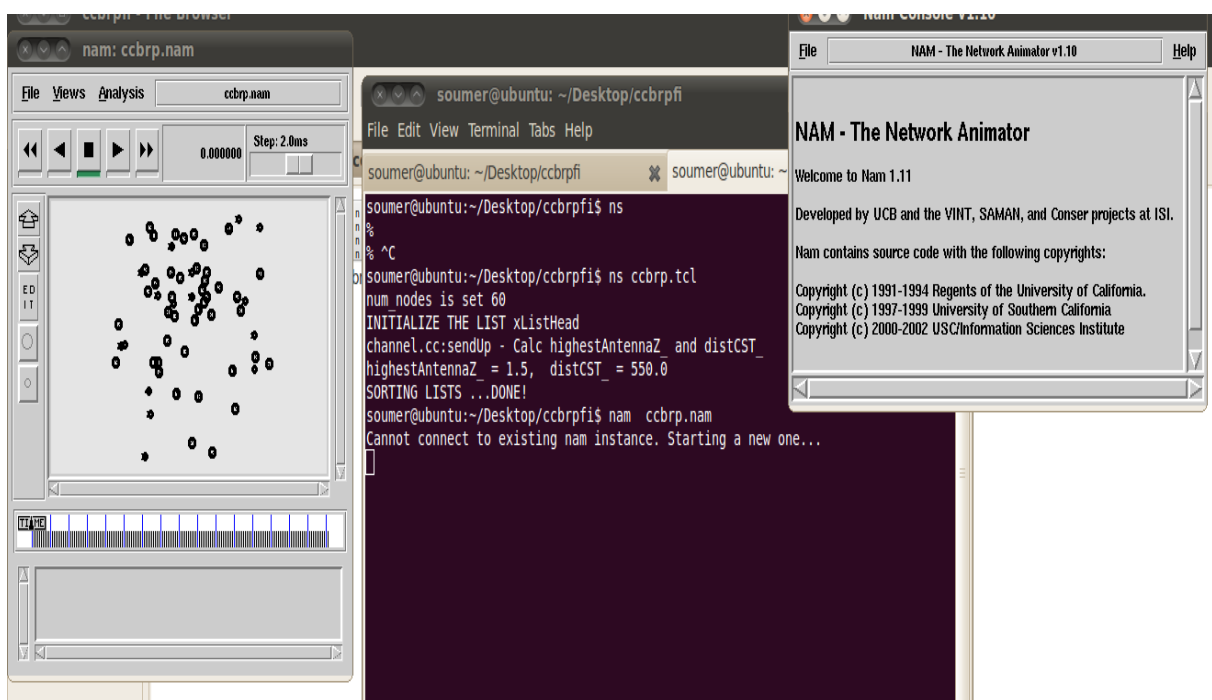
```

File Edit View Terminal Tabs Help
soumer@ubuntu: ~/Desktop/ccbrpfi
soumer@ubuntu:~/Desktop/ccbrpfi$ ns
%
% ^C
soumer@ubuntu:~/Desktop/ccbrpfi$ ns ccbrrp.tcl
num nodes is set 60
INITIALIZE THE LIST xListHead
channel.cc:sendUp - Calc highestAntennaZ_ and distCST_
highestAntennaZ_ = 1.5, distCST_ = 550.0
SORTING LISTS ...DONE!
soumer@ubuntu:~/Desktop/ccbrpfi$

```

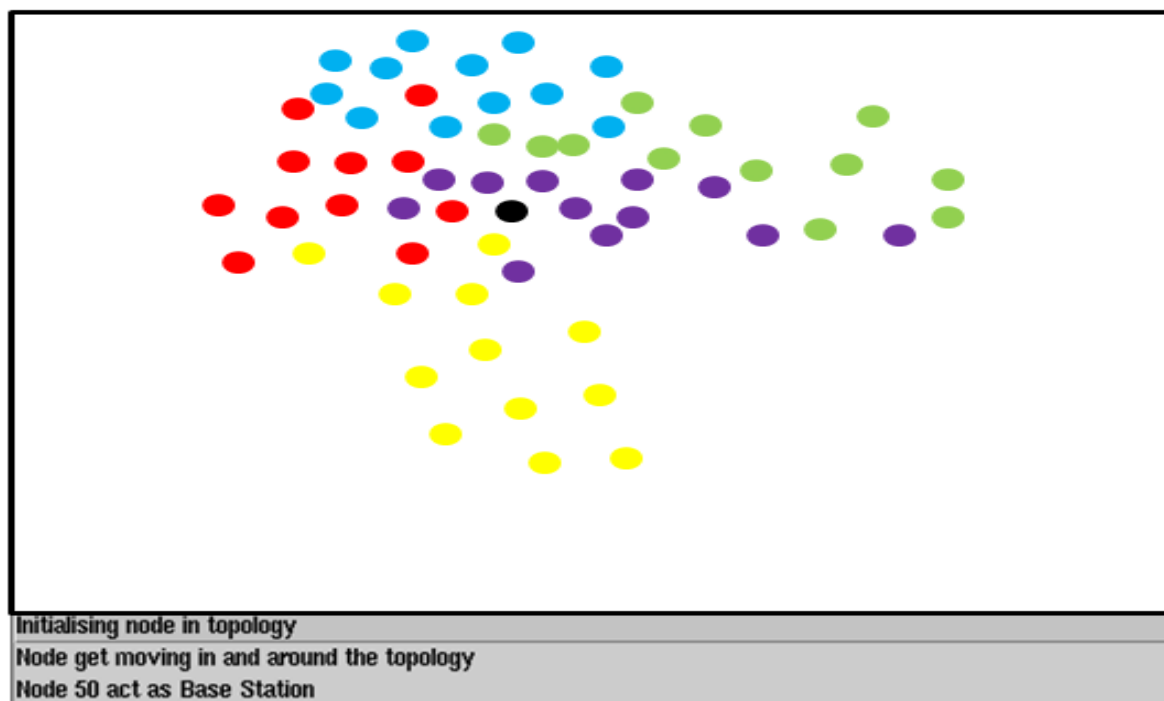
**Figure 16. Commande ns.**

Nous supposons que tous les nœuds sont en état mobile tout au long de la simulation. Notre modèle d'expérimentation est montré dans la figure 17.



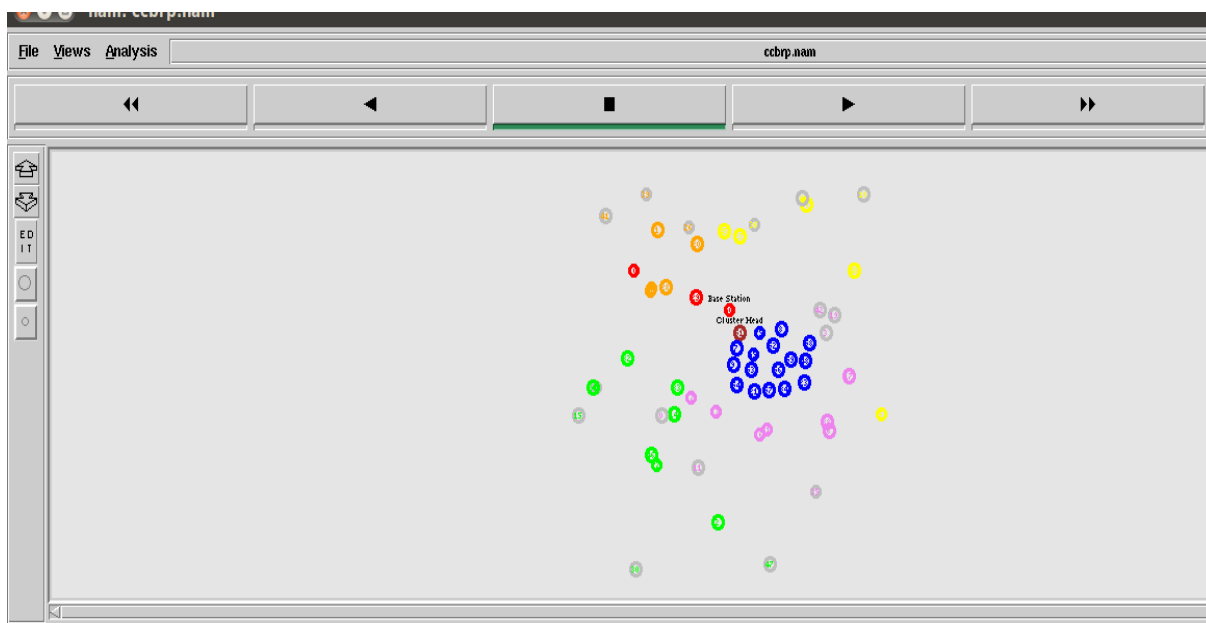
**Figure 17. Modèle d'expérimentation.**

L'étape d'initialisation est très importante dans notre simulation, elle présente l'initialisation de la topologie des nœuds, la figure 18 illustre comment les nœuds se déplacent dans et autour de la topologie, le nœud en noir agit comme station de base.



**Figure 18. Début d'initialisation de la simulation.**

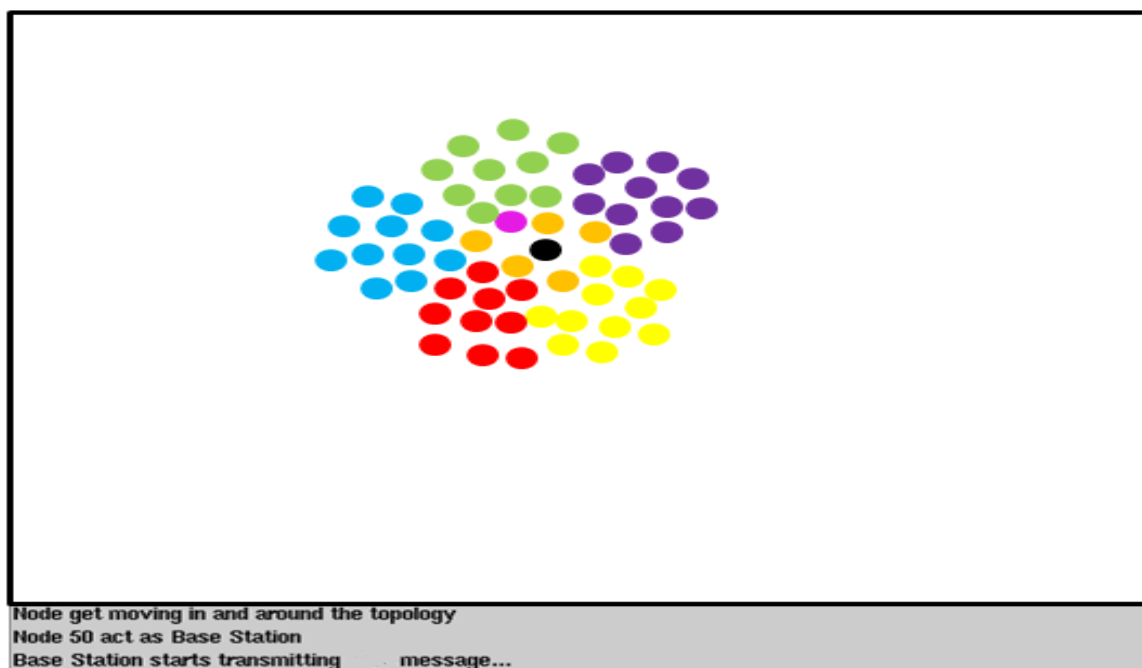
La figure 19 illustre l'initialisation de la simulation.



**Figure 19. Initialisation de la simulation.**

La phase d'initialisation commence par la création de clusters. La station de base utilise un algorithme proposé pour former les clusters. La figure 20 montre la présentation de la

simulation.



**Figure 20. Présentation de la simulation.**

Les nœuds sont déplacés dans et autour de la topologie pour qu'ils forment 5 clusters dans chacun d'entre eux un chef (les nœuds en orange) qui est responsable de la transmission de données au dirigeant (le nœud en vieux rose) et ce dernier les transmet à la station de base.

Dans la figure 20 la station de base commence la transmission de messages.

Le code source de la création des objets pour ns est présenté dans la figure 21.

```

# define options
set val(chan) Channel/WirelessChannel ;#Channel Type
set val(prop) Propagation/TwoRayGround ;# radio-propagation model
set val(netif) Phy/WirelessPhy ;# network interface type
set val(mac) Mac/802_11 ;# MAC type
#set val(ifq) Queue/DropTail/PriQueue ;# interface queue type
set val(ifq) CMUPriQueue ;# interface queue type
set val(ll) LL ;# link layer type
set val(ant) Antenna/OmniAntenna ;# antenna model
set val(ifqlen) 50 ;# max packet in ifq
set val(nn) 60 ;# number of mobilenodes
# set val(rp) AODV ;# routing protocol
set val(rp) DSR ;# routing protocol
set val(x) 1000 ;# X dimension of topography
set val(y) 1000 ;# Y dimension of topography
set val(stop) 300 ;# time of simulation end
set val(traffic) "connection"
set val(mobility) "inti"
set packetsize 1000

# create object for ns
set ns [new Simulator]

```

Figure 21. Code source de la création des objets pour ns.

La figure 22 montre le code source de création des nœuds et les attache à la chaîne.

```

# new trace file
$ns use-newtrace

# create trace file
set tracefd [open ccbrrp.tr w]
$ns trace-all $tracefd

# create nam file
set namtrace [open ccbrrp.nam w]
$ns namtrace-all-wireless $namtrace $val(x) $val(y)
# set up topography object
set topo [new Topography]
$topo load_flatgrid $val(x) $val(y)

# set up God
set god_ [create-god $val(nn)]

# set up Channel
set chan_1_ [new $val(chan)]
set chan_2_ [new $val(chan)]

#
# Create nn mobilenodes [$val(nn)] and attach them to the channel.
#

```

Figure 22. Code source de la création des nœuds mobiles et les attacher à la chaîne.

La figure 23 montre le code source de la configuration des nœuds.

```
# configure the nodes
  $ns node-config -adhocRouting $val(rp) \
    -llType $val(ll) \
    -macType $val(mac) \
    -ifqType $val(ifq) \
    -ifqLen $val(ifqlen) \
    -antType $val(ant) \
    -propType $val(prop) \
    -phyType $val(netif) \
    -topoInstance $topo \
    -agentTrace ON \
    -routerTrace ON \
    -macTrace ON \
    -movementTrace OFF \
    -channel $chan_1_

# Create nodes
for {set i 0} {$i < $val(nn)} {incr i} {
    set node_($i) [$ns node]
}
```

**Figure 23.** Code source de la configuration des nœuds.

La figure 24 montre le code source de définition de la position initiale, la taille des nœuds et la fin de simulation.



```
source $val(mobility)
source $val(traffic)

# Define node initial position in nam
# 30 defines the nide size for nam
for {set i 0} {$i < $val(nn) } {incr i} {

$ns initial_node_pos $node_($i) 30
}
# ending nam and the simulation
$ns at $val(stop) "$ns nam-end-wireless $val(stop)"
$ns at $val(stop) "stop"
$ns at 500.0 "puts \"end simulation\ ; $ns halt"
proc stop {} {
global ns tracefd namtrace
$ns flush-trace
close $tracefd
close $namtrace
#exec ./nam output.nam
exit 0
}

$ns run
```

**Figure 24.**Code source de fin de simulation.

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le simulateur de réseau NS2 ainsi que ses étapes d'installation. Nous avons aussi présenté l'étape d'initialisation et la formation de clusters.

Après l'expérimentation de notre stratégie PEGALEACH-QoS, on peut dire que cette stratégie présente de bons résultats, notamment dans la réduction de la consommation énergétique et la maximisation de la durée de vie du réseau.

Notre stratégie peut s'améliorer plus que ça pour satisfaire les besoins de la qualité de service.

## Conclusion Générale & Perspectives

---

---

Les réseaux de capteurs sans fil commencent à couvrir notre quotidien avec plusieurs applications pour nous augmenter le confort et la confidentialité. Les capteurs sans fils fournissent plusieurs avantages en termes de coûts et de facilité de déploiement car ils intègrent un système de communication sans fil, généralement composé d'une batterie. Néanmoins, ces avantages qui nécessitent de fortes exigences sur les protocoles développés. En effet, ils sont obligés de prendre compte de la consommation énergétique et les pannes (temporaires ou permanentes). À toutes ces exigences s'ajoutent celles définies par des applications telles que la latence, le débit, la fiabilité... etc. La simultanéité de plusieurs types de trafic dans les réseaux à faible débit nécessite la différenciation des services pour que les données les plus importantes puissent être prioritaires.

Parmi les défis de recherche les plus importants dans les réseaux de capteurs sans fil on trouve la garantie de la qualité de service notamment l'économie d'énergie.

Dans ce mémoire, on a proposé une stratégie hybride avec la qualité de service nommée PEGALEACH-QoS basée sur la division du réseau en cluster et dans chacun d'eux les nœuds sont disposés pour former une chaîne de voisin où on a combiné les avantages de deux protocoles LEACH et PEGASIS.

Cette proposition a pour but d'optimiser la qualité de service dans les réseaux de capteur multimédia en économisant de l'énergie et garantir une meilleure consommation de la bande passante.

Pour l'analyse des performances de notre stratégie, on a choisi le simulateur de réseau NS2, les résultats de simulation montrent que la solution proposée aide à augmenter les

performances de la QoS, tout en gérant le niveau de consommation d'énergie ainsi que la bande passante d'une meilleure façon.

Pour améliorer les performances de notre stratégie en perspective, il faut trouver une idée pour minimiser la distance entre les nœuds ainsi qu'améliorer les algorithmes proposés.

## Références Bibliographiques

---

---

- [1]: L. Konrad et al, « Sensor networks for emergency response: Challenges and opportunities», IEEE Pervasive Computing, 2004, Vol. 3(4), pp.16 -23.
- [2]: Y.Challal, Réseaux de Capteurs Sans Fils, Support de cour, 2008.
- [3]: Internet Engineering Task Force (IETF). Groupe de travail MANET (mobile ad hoc network). <http://www.ietf.org>.
- [4]: Mérouane Debbah „,“ introduction aux principes de l’OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing”” spet.2000.
- [5]: KAZEM SOHRABY, DANIEL MINOLI, TAIEB ZNATI, “WIRELESS SENSOR NETWORKS Technology Protocols and Applications” Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. Published simultaneously in Canada.2007 pp 103-115.
- [6]: E. McCune, „,„DSSS vs. FHSS Narrowband Interference Performance Issues,”” RF Signal Processing, Sept. 2000.
- [7]: Kemal A, Mohamed Y „,“ A survey on routing protocols for wireless sensor networks „,“ MD 21250, USA,spet 2005.
- [8]: ABDESSELAM Abdelhalim et BELOUATEK Mohammed, " Conception d’un algorithme de routage basé sur l’heuristique du recuit simulé pour les réseaux de capteurs à grande échelle", PFE Master, Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen, Juillet 2013.

[9]: Rajesh Patel, Sunil Pariyani, Vijay Ukani, "Energy and throughput Analysis of Hierarchical Routing Protocol (LEACH) for Wireless Sensor Networks", International Journal of Computer Applications Volume 20- No. 4 (April 2011).

[10]: Yuh Ren Tsai, "Coverage Preserving Routing Protocols for Randomly Distributed Wireless Sensor Networks", IEEE Transactions on Wireless Communications, Volume 6- No.4 (April 2007).

[11]: Boubiche, D. E. (2013) 'Une approche Inter-Couches (cross-layer) pour la Sécurité dans les RCSF', Université de batna, thèse de Doctorat en Sciences en Informatique.

[12]: Akyildiz, Ian F. and Melodia, Tommaso and Chowdhury, Kaushik R. "A survey on wireless multimedia sensor networks", New York, NY, USA, Nov(2007).

[13]: Akyildiz, I. F., Melodia, T. & Chowdhury, K. R. "Wireless multimedia sensor networks: Applications and testbeds", Proceedings of the IEEE: Oct(2008).

[14]: Hui, Z., and Knightly, E.W. (1999) 'Integrated and differentiated services for the internet'. IEEE Network, 13(5).

[15]: Bhaskar Bhuyan, Hiren Kumar Deva Sarma, Nityananda Sarma, Avijit Kar, Rajib Mal « Quality of Service (QoS) Provisions in Wireless Sensor Networks and Related Challenges » 2010 p863.

[16]: Soni, S. and, Srivastava, S. (2016) 'Survey of Quality of Service Routing Protocol in MANET', International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Vol. 136, No.13.

[17]: Amel BOURMADA, "Vers une approche cross layer pour le support de la QoS dans les Réseaux de capteurs sans fil", Thèse de Doctorat, Université de Batna 2 Faculté de Mathématiques et d'Informatique, Juillet 2017.

[18]: El Gholami, K. (2015) 'La gestion de la qualité de service temps-réel dans les réseaux de capteurs sans fil', université blaise pascal - Clermont II, thèse en cotutelle avec l'université chouaib doukkali - El Jadida, 29 May 2015.

[19]: S Misra, Martin R, and G Xue "A Survey of Multimedia Streaming in Wireless Sensor Networks" IEEE COMMUNICATIONS 2008.

[20]: B Bhuyan, H Kumar, D Sarma, N Sarma, A Kar, R Mall "Quality of Service (QoS) Provisions in Wireless Sensor Networks and Related Challenges" Oct 2010.

- [21]: K. Sohrabi, et al., “Protocols for Self-Organization of a Wireless Sensor Network,” IEEE Personal communications. 5, 2000.
- [22]: F. Ye, et al., “A Scalable Solution to Minimum Cost Forwarding in Large Scale Sensor Networks,” Dallas, TX, October 2001.
- [23] : T. He, et al., “SPEED: A Stateless Protocol for Real-Time Communication in Sensor Networks Providence, RI, 19-22 May 2003 .
- [24]: K. Akkaya and M. Younis, “An Energy-Aware QoS Routing Protocol for Wireless Sensor Networks,” Providence, RI, May 2003.
- [25]: Emad Felemban, Chang-Gun Lee, and Eylem Ekici, “MMSPEED: Multipath MultiSPEED Protocol for QoS Guarantee of Reliability and Timeliness in Wireless Sensor Networks”, June 2006.
- [26]: P. Ji, et al., “DAST: A QoS-Aware Routing Protocol for Wireless Sensor Networks,” International29-31 July 2008.
- [27]: Razzaque, M. A., Alam, M. M., Or-Rashid, M. M. and Hong, C. S. (2008) ‘Multi-Constrained QoS Geographic Routing for Heterogeneous Traffic in Sensor Networks’, IEICE Transactions on Communications, Vol. 91, No.B(8), pp.2589–2601.
- [28]: Akkaya, K., and Younis, M. (2003) ‘An energy-aware QoS routing protocol for wireless sensor networks’, 23rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, 2003.
- [29]: K. Du, J. Wu and D. Zhou, “ Chain-based protocols for data broadcasting and gathering in sensor networks,” International Parallel and Distributed Processing Symposium.
- [30]: Long C, Sajal K, Mario D, Canfeng C, Jian M “Streaming Data Delivery in Multi-hop Cluster-based Wireless Sensor Networks with Mobile Sinks” IEEE COMMUNICATIONS 2011.
- [31]: Ye-Qiong Song »Réseaux de Capteurs Sans Fil : Comment Fournir La Qualité de Service Tout En Economisant l’Energie » 2013 (2013).

[32]: Gaurav Gupta and Mohamed Younis “Performance Evaluation of Load-Balanced Clustering of Wireless Sensor Networks” IEEE COMMUNICATIONS 2011.

[33]: P. Agarwal and C. Procopiuc. “Exact and Approximation Algorithms for Clustering”. January 1999 April 2003.

[34]: Antonio Viridis & Michael Kirsche, « Recent Advances in Network Simulation », University of Pisa Italy, 2019, page 7.