

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



جامعة مولاي الطاهر سعيدة
كلية التكنولوجيا
قسم الاعلام الالي

Mémoire de Master

Spécialité: Réseau Informatique & Système Reparti

Thème

Le routage hiérarchique (le protocole LEACH)

Présenté par :

M^{me} NASRALLAH. FATIMA

M^{me} MEGHARBI. AMINA

Dirigé par:

Mr. MEKKAOUI. K



Année universitaire 2022-2023

Remerciement

C'est avec un grand plaisir que nous réservons ces lignes en signe de gratitude et de reconnaissance à tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

C'est avec un grand plaisir que, nous adressons nos sincères remerciements à l'égard de notre encadreur, Mr K. MEKKAOUI, pour ses conseils, ses remarques, ses aides.

Nous remercions tiens chaleureusement les membres de jury qui ont bien accepté de juger ce travail malgré les charges qu'ils les préoccupent.

Nos vifs remerciements vont également tous nos enseignants et enseignantes pour leurs conseils, leurs gentillesse, leurs générosité et leurs contribution à notre formation.

Un énorme merci à nos familles et amis pour leurs éternel soutien et la confiance qu'ils ont en nos capacité. À tous ceux que nous aimons, et à tous ceux qui nous aiment. Merci infiniment.

D
E
D
I
C
A
C
E

À ma source d'inspiration,
Ma très chère mère, Mon très chère père
À Mon époux et Mes deux fleurs, ainsi
Ma famille et Mes amis qui ont toujours été
Là pour me soutenir et m'encourager.....

AMINA

D
E
D
I
C
A
C
E

À ma source d'inspiration,
Ma très chère mère, Mon très chère père
À Mon époux et Mes deux fleurs, ainsi
Ma famille et Mes amis qui ont toujours été
Là pour me soutenir et m'encourager.....

FATIMA

Table Des Matières

| | |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| I. Liste des figures | 10 |
| II. Introduction générale | 14 |
| 1. Chapitre 01 : Généralité sur les réseaux ADHOC | 18 |
| 1.1 Introduction | 19 |
| 1.2 Environnement sans fil | 19 |
| 1.3 Environnement mobile: | 20 |
| 1.4 Les réseaux sans fil | 20 |
| 1.4.1 Les réseaux sans fil avec infrastructure..... | 20 |
| 1.4.2 Les réseaux sans fil sans infrastructure..... | 21 |
| 1.5 Les réseaux mobiles Ad hoc | 21 |
| 1.5.1 Les caractéristiques des réseaux Ad Hoc..... | 22 |
| 1.5.2 Les applications des réseaux mobiles Ad hoc..... | 24 |
| 1.5.3 Modes de communications dans les réseaux ad hoc..... | 25 |
| 1.5.4 Types des réseaux ad hoc | 26 |
| 1.5.4.1 Les réseaux personnels | 26 |
| 1.5.4.2 Les réseaux poste à poste ou peer to peer..... | 26 |
| 1.5.4.3 Les réseaux de capteurs..... | 27 |
| 1.5.4.4 Les réseaux véhiculaires..... | 27 |
| 1.5.5 Avantages des réseaux ad-hoc..... | 28 |
| 1.5.6 Architecture en couche du réseau IEEE 802.11..... | 29 |
| 1.5.6.1 La couche physique..... | 29 |
| 1.5.6.2 La couche Liaison de donnée..... | 31 |
| 1.6 Définition du routage | 35 |
| 1.6.1 Algorithme de routage..... | 36 |
| 1.6.1.1 Routage par inondation..... | 36 |
| 1.6.1.2 Routage par vecteur de distance | 37 |
| 1.6.1.3 Routage par état de lien..... | 38 |
| 1.6.1.4 Routage à la source..... | 38 |
| 1.6.1.5 Routage saut par saut..... | 39 |
| 1.6.1.6 Routage sans fil Ad hoc..... | 39 |

| | |
|------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1.7 Classification des protocoles de routage..... | 39 |
| 1.7.1 Protocoles de routage multi-chemins..... | 39 |
| 1.7.2 Routage à plat..... | 40 |
| 1.7.3 Routage hiérarchique..... | 41 |
| 1.8 Conclusion | 42 |
| 2 Chapitre 02: Les concepts fondamentaux de L'IOT | 43 |
| 2.1 Introduction | 44 |
| 2.2 Internet des objets | 44 |
| 2.3 Historique..... | 46 |
| 2.4 Les applications de l'IoT | 48 |
| 2.4.1 Le réveil..... | 48 |
| 2.4.2 Les plantes..... | 48 |
| 2.4.3 Les chaussures de sport..... | 49 |
| 2.4.4 Suivi et soins médicaux (Health care) | 49 |
| 2.4.5 Administration..... | 49 |
| 2.4.6 Economiser et gérer l'éclairage public..... | 50 |
| 2.4.7 Équiper les voitures..... | 50 |
| 2.5 Domaine d'application de l'internet des objets..... | 51 |
| 2.6 Utilité de l'internet des objets | 51 |
| 2.6.1 Surveillance d'état de santé des animaux..... | 52 |
| 2.6.2 Amélioration de la qualité de vie des personnes âgées..... | 52 |
| 2.7 Normes et standards utilisées dans l'IdO | 53 |
| 2.7.1 WiFi..... | 53 |
| 2.7.2 Bluetooth..... | 54 |
| 2.7.3 Zigbee..... | 55 |
| 2.7.4 5G..... | 56 |
| 2.8 Architecture de l'Internet des Objets | 57 |
| 2.8.1 Couche perception | 58 |
| 2.8.2 Couche réseau..... | 59 |
| 2.8.3 Couche traitement | 59 |
| 2.8.4 Couche application..... | 60 |
| 2.8.5 Couche Business..... | 60 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.9 Technologies fondatrices de l’IoT | 60 |
| 2.9.1 RFID (Radio Frequency IDentification)..... | 61 |
| 2.9.1.1 La RFID passive..... | 61 |
| 2.9.1.2 La RFID active..... | 62 |
| 2.9.1.3 Les réseaux de capteurs sans fil..... | 63 |
| 2.10 Les obstacles qui freinent l’IoT et les solutions envisageables: | 64 |
| 2.10.1 Le déploiement du protocole IPv6..... | 65 |
| 2.10.2 L’alimentation des capteurs..... | 65 |
| 2.10.3 Confidentialité des utilisateurs..... | 65 |
| 2.10.4 Les normes déployées et solutions proposes..... | 66 |
| 2.11 Conclusion | 67 |
| 3 Chapitre 03 : Le protocole de routage hiérarchique LEACH | 68 |
| 3.1 Introduction | 69 |
| 3.2 Notions de base | 70 |
| 3.2.1 Définition..... | 70 |
| 3.2.2 Nœud membre..... | 71 |
| 3.2.3 Cluster..... | 71 |
| 3.2.4 Cluster head..... | 72 |
| 3.2.5 Station de base..... | 72 |
| 3.2.6 Utilisateur final..... | 72 |
| 3.3 Approche dérivé de protocole hiérarchique | 73 |
| 3.4 Caractéristiques d’un protocole hiérarchique | 73 |
| 3.4.1 L’algorithme de clustering utilisé..... | 74 |
| 3.4.2 Election des cluster-heads..... | 75 |
| 3.4.3 La nature des clusters générés..... | 76 |
| 3.4.4 Communication intra-cluster et inter-cluster..... | 76 |
| 3.4.5 Le niveau d’agrégation de données..... | 78 |
| 3.5 Etude Du Protocole De Clustering LEACH (Low Energy Adap-tive Clustering Hierarchy) | 79 |
| 3.5.1 Architecture de LEACH..... | 79 |

| | | |
|------------|------------------------------------------------------|------------|
| 3.5.2 | Protocoles MAC utilisés par LEACH..... | 80 |
| 3.5.3 | Fonctionnement de LEACH..... | 82 |
| 3.5.4 | Phase de construction (setup phase)..... | 82 |
| 3.5.5 | Phase de communication (steady phase)..... | 85 |
| 3.5.6 | Interférences entre clusters..... | 86 |
| 3.5.7 | Avantages de LEACH..... | 86 |
| 3.5.8 | Inconvénients de LEACH..... | 87 |
| 3.6 | Variantes de LEACH..... | 88 |
| 3.6.1 | LEACH-F | 88 |
| 3.6.2 | LEACH-C..... | 89 |
| 3.6.3 | LEACH-B | 89 |
| 3.6.4 | Energy-LEACH (E-LEACH) | 89 |
| 3.6.5 | MS-LEACH..... | 90 |
| 3.6.6 | MH-LEACH..... | 90 |
| 3.6.7 | Multi-hop LEACH | 90 |
| 3.6.8 | K-LEACH. Le protocole K-LEACH | 91 |
| 3.7 | Conclusion | 92 |
| 4 | Chapitre 04: Implémentation et résultat | 93 |
| 4.1 | Introduction | 94 |
| 4.2 | Objectif..... | 94 |
| 4.3 | Environnement de développement..... | 95 |
| 4.3.1 | Eclipse IDE..... | 95 |
| 4.3.2 | Langage de programmation (Java)..... | 96 |
| 4.3.3 | Algorithme du protocole LEACH..... | 97 |
| 4.4 | Implémentation de l'application..... | 98 |
| 4.4.1 | Interfaces de l'application..... | 98 |
| 4.4.2 | Paramètre de simulation..... | 98 |
| 4.4.3 | Simulation de protocole LEACH..... | 99 |
| 4.5 | Structure de fichier | |
| 4.5.1 | Principal Main ()..... | 99 |
| 4.5.2 | Simulation de leach ()..... | 100 |
| 4.6 | les simulations avec différents scenario..... | 100 |
| 4.6.1 | Simulation de 20 Nœuds..... | 100 |
| 4.6.2 | Simulation de 40 Nœuds..... | 101 |

| | | |
|-------|-------------------------------------------------|------------|
| 4.6.3 | Simulation de 60 Nœuds..... | 102 |
| 4.6.4 | Simulation de 100 Nœuds; tours=10..... | 103 |
| 4.7 | La durée de vie du réseau..... | 105 |
| 4.8 | La consommation d'énergie du reseau..... | 108 |
| 4.9 | Discussion des resultants..... | 111 |
| 4.10 | Conclusion | 115 |
| III. | Conclusion générale | 116 |
| IV. | Bibliographie | 119 |

I. Listes des Figures

| | | |
|----|----------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Mode avec infrastructure | 20 |
| 2 | Mode Sans infrastructure | 21 |
| 3 | réseau mobile AD HOC..... | 21 |
| 4 | Le changement de la topologie des réseaux Ad Hoc..... | 22 |
| 5 | Les nœuds cachés | 24 |
| 6 | modes de communications dans les réseaux Ad hoc..... | 26 |
| 7 | Les réseaux véhiculaires mode ad hoc | 28 |
| 8 | Architecture de la couche physique et MAC..... | 30 |
| 9 | Espacement entre trames..... | 33 |
| 10 | Méthode d'accès CSMA/CA..... | 35 |
| 11 | Le chemin utilisé dans le routage entre la source et la destination. | 35 |
| 12 | Émission d'un paquet dans le cas du routage par inondation | 36 |
| 13 | Réseau utilisant le routage par vecteur de distance | 37 |
| 14 | Routage à plat | 40 |
| 15 | Routage hiérarchique..... | 41 |
| 16 | Une nouvelle dimension pour l'IdO..... | 45 |
| 17 | Évolution des réseaux informatiques vers l'IdO..... | 46 |
| 18 | Le développement de l'Internet des objets vu par Cisco en 2011.... | 47 |
| 19 | Économiser et gérer l'éclairage public | 50 |
| 20 | Les vaches seront équipées de capteurs..... | 52 |
| 21 | Logo du standard Bluetooth..... | 54 |
| 22 | Logo du protocole ZigBee | 55 |
| 23 | L'architecture cinq couches | 58 |
| 24 | Les étiquettes RFID | 62 |
| 25 | Architecture de communication d'un réseau de capteur sans fil.... | 64 |
| 26 | Configurations pour les RCSF découpés | 73 |
| 27 | Communication inter cluster via des nœuds passerelles..... | 77 |
| 28 | Communication inter cluster via des cluster-heads | 78 |
| 29 | Architecture de LEACH | 80 |
| 30 | formule de sélection CH..... | 83 |
| 31 | Protocole LEACH avec deux tours différents | 84 |
| 32 | Les différentes phases de LEACH | 85 |

| | | |
|----|-------------------------------------------------------------|-----|
| 33 | Opération de l'étape d'initialisation de LEACH..... | 95 |
| 34 | fenêtre de programmation Sur Eclipse | 96 |
| 35 | Interface d'accueil d'application..... | 98 |
| 36 | Un RCSF de 300 nœuds après RUN LEACH..... | 99 |
| 37 | Principal MAin..... | 99 |
| 38 | phase de simulation leach..... | 100 |
| 39 | simulation de 20 nœuds | 100 |
| 40 | simulation de 40 nœuds..... | 101 |
| 41 | simulation de 60 nœuds..... | 102 |
| 42 | simulation de 100 nœuds, tour= 10..... | 103 |
| 43 | simulation de 100 nœuds, tour= 50..... | 105 |
| 44 | Durée de vie du réseau | 106 |
| 45 | Evolution CH en fonction des Round..... | 107 |
| 46 | Evolution d'énergie en fonction de round | 108 |
| 47 | résultat après simulation de 100 nombres avec 10 tours..... | 109 |
| 48 | Evolution d'énergie en fonction de round | 109 |
| 49 | nombre des nœuds mort par rounds..... | 111 |

LISTE ABRÉVIATION:

CTS: Clear ToSend

DSS: Direct Sequence Spread

CH: Clusteur Head

DCF: Distributed Coordination Function

EIFS: Extended Inter-Frame Spacing

FHSS: Frequency Hopping Spread

SpectrumIFS: inter-Frame Spacing

IoT: Internet of things

IBSG: Internet Business Solutions

Group IDC: International Data Corprati

IPv4: Internet protocol version4

LEACH: Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy

MAC: Media Access Control

MANET: Mobile Ad hoc NETwork

OSI: Open system interconexion

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

PDA: Personal DigitalAssistant

PAN: Personal Area Network

PLCP: Physical Layer Convergence Procedure

PMD: Physical Media Dependent

PCF: Point Coordination Function

RTS: Read To Send

RFID: Radio Frequency IDentification

RCSF: Reseaux de capteurs sans fil

SB: Station Base

WoT: Web of Things

WiFi: Wireless Fidelety

ملخص:

مع ظهور التقنيات الجديدة، رأينا ظهور نوع جديد من الشبكات وهو شبكات الاستشعار اللاسلكية، وتتكون هذه الأخيرة من عدد كبير من عقد الاستشعار بهدف جمع البيانات ونقلها إلى وجهة. تتمتع مستشعرات الشبكة عمومًا بقدرات منخفضة في الحوسبة والذاكرة والطاقة. في هذا النوع من الشبكات، تعد الطاقة والتوجيه أكبر القيود. في هذه الرسالة نقدم دراسة عن مشاكل استهلاك الطاقة في شبكات الاستشعار اللاسلكية. الهدف من هذا العمل البحثي هو اقتراح ومن ثم دراسة منهجية توجيه هرمية، بناءً على آلية لتصنيف الشبكة إلى مجموعة من المجموعات المكونة من عقد الاستشعار التي يمثلها رؤساء الكتلة. يتم اختيار الأخير وفقًا لعملية انتقائية تعتمد على تحسين الموارد. لقد قمنا بتنفيذ وظيفة الأداء لتقليل الطاقة. لاختبار الفعالية وإظهار الأداء والتحسينات للنهج المقترح، أجرينا دراسة على بروتوكول التوجيه القياسي (LEACH) تم التنفيذ مع JAVA.

الكلمات الرئيسية: شبكات الاستشعار اللاسلكية، تحسين الموارد، التوجيه الهرمي، بروتوكول Leach، JAVA.

REUME:

Avec l'apparition des nouvelles technologies, nous avons vu l'apparition d'un nouveau type de réseau qui est les réseaux de capteur sans fil, les RCSFs sont composées d'un grand nombre de nœuds capteurs dans le but de collecter et de transmettre des données vers une destination. Les capteurs du réseau possèdent généralement de faibles capacités de calcul, de mémoire et d'énergie. Dans ce type de réseau, l'énergie et le routage sont les plus grandes contraintes. Dans ce mémoire, nous présentons une étude des problèmes de consommation d'énergie dans les RCSF. L'objectif de ce travail de recherche est de proposer puis d'étudier une méthodologie de routage hiérarchique, basée sur un mécanisme de classification du réseau en un ensemble de clusters constitués de nœuds capteurs représentés par des Cluster- Heads. Ces derniers sont sélectionnés selon un processus sélectif basé sur une optimisation des ressources. Nous avons implémenté une fonction de performance minimisant à l'énergie. Pour tester l'efficacité et montrer les performances et les améliorations de l'approche proposée, nous avons réalisé une étude sur le protocole de routage standard (LEACH). Implémentation a été réalisée avec JAVA.

Mots-clé: RCSF, Optimisation des ressources, Routage hiérarchique, protocole Leach, JAVA.

Abstract:

With the appearance of new technologies, we have seen the appearance of a new type of network which is the wireless sensor networks, the RCSFs are composed of a large number of sensor nodes with the aim of collecting and transmitting data to a destination. Network sensors generally have low computing, memory and energy capacities. In this type of network, energy and routing are the biggest constraints. In this thesis, we present a study of energy consumption problems in RCSF. The objective of this research work is to propose and then study a hierarchical routing methodology, based on a mechanism for classifying the network into a set of clusters made up of sensor nodes represented by Cluster- Heads. The latter are selected according to a selective process based on an optimization of resources. We have implemented an energy-minimizing performance function. To test the efficiency and show the performance and improvements of the proposed approach, we performed a study on the standard routing protocol (LEACH). Implementation was done with JAVA.

Keywords: RCSF, Resource optimization, Hierarchical routing, proto-colLeach, JAVA.

Introduction

Générale

II. INTRODUCTION GÉNÉRALE

La convergence de la micro-électronique et des technologies de communication sans-fil permis la création d'une combinaison entre les systèmes embarqués et les systèmes distribués ayant engendré les Réseaux de Capteurs Sans-fil ou RCSFs (Wireless Sensor Networks) qui nécessitent de prendre en compte l'environnement pour mesurer les phénomènes physiques afin de prendre les décisions nécessaires.

Un réseau sans fil (Wireless network) est un réseau Ad-hoc sans infrastructure multi saut à grande échelle dans lequel les équipements communiquent sans avoir besoin de fil pour les réseaux classiques, il est composé de plusieurs appareils distribués dans un espace pour former une communication à l'aide des ondes électromagnétiques.

Les RCSF (Réseaux de Capteurs Sans Fil) sont constitués d'un ensemble de nœuds capteurs intelligents de petites tailles, à faible coût, de puissance limitée et multifonctionnels qui sont généralement alimentés par des batteries ayant une capacité de stockage limitée ainsi qu'une manipulation difficile à assurer manuellement, déployés à travers une zone de capture ayant un accès difficile pour mesurer des grandeurs physiques telles que la température, la pression, la vibration, etc.

Chaque capteur sans fil est un petit dispositif électronique effectue la tâche de rassembler les données de son environnement. Lorsqu'un événement précis se produit, les capteurs concernés transmettent aussitôt les données vers la station de base (puits, sink). Cette dernière collecte et traite les données pour les utiliser dans une application spécifiée au préalable ou les communiquer aux réseaux auxquels il est relié via internet ou satellite pour renseigner l'utilisateur sur plusieurs données.

Les nœuds capteurs communiquent via des liens sans fil qui sont dotés d'une capacité de calcul. ILS collectent des données qui facilitent l'interaction dans les différentes applications. Ces petits capteurs peuvent être dispersés dans des zones géographiques distantes et intégrés dans plusieurs domaines d'applications tels que la surveillance médicale, le transport intelligent et la Supervision de l'habitat écologique, par conséquent leur localisation est difficile.

Aujourd'hui, l'optimisation pour la conservation d'énergie est l'un des principaux axes de recherche dans les réseaux de capteurs sans fil (RCSF).

Problématique:

La plupart des dispositifs sont caractérisés par la limitation des capacités de traitement, de stockage et surtout d'énergie car ils sont alimentés par des batteries avec une durée de vie limitée, et le remplacement des batteries sur des milliers de ces dispositifs est impossible surtout dans les réseaux de capteurs sans fil déployé dans une zone dure et difficile d'accès.

Objectifs de recherche:

Notre objectif est de traiter le problème de la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs avec l'utilisation des mécanismes de gestion optimisés au niveau des nœuds capteurs pour améliorer les performances du réseau, notamment la maximisation de sa durée de vie. Pour cela, nous avons proposé une solution de routage qui est basée sur la conservation d'énergie pour assurer une optimisation de la durée de vie du réseau.

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres suivis d'une conclusion générale, dans le premier chapitre on décrit les généralités sur les réseaux ad hoc et .Les caractéristiques des réseaux Ad Hoc, Les applications des réseaux mobiles Ad hoc, Architecture en couche du réseau IEEE 802.11.

Dans Le second chapitre nous présentons les concepts fondamentaux sur internet de l'objet, on expose historique et les applications de L'IOT ainsi Utilité de l'internet des objets.

Dans le troisième chapitre nous présentons notions de base sur les réseaux de capteurs comme l'architecture, ses caractéristiques. En fin, nous passons en revue Approche dérivé de protocole hiérarchique, Caractéristiques d'un protocole hiérarchique, Etude Du Protocole De Clustering LEACH.

Dans le quatrième chapitre nous parlons de l'implémentation de notre protocole LEACH amélioré. Par la suite nous évaluons les performances de nos propositions par le JAVA, en prenant en compte la métrique d'énergie et la durée de vie du réseau.

Enfin, on termine notre travail par une conclusion générale et les perspectives de recherche ouvertes par ce travail.

Chapitre 1

Généralité sur

les réseaux AD HOC

1.1 Introduction

Les réseaux mobiles Ad-hoc (MANET) forment un nouveau paradigme des réseaux sans fil. ILS se constituent par l'interconnexion de différentes entités mobiles inconnues et ne reposent sur aucune infrastructure fixe ou contrôle centralisé. La coopération entre ces entités permet de maintenir les services du réseau. La principale fonctionnalité des réseaux Ad-hoc est l'opération deroutage.

L'objectif principal d'un protocole de routage pour un réseau Ad-hoc est l'établissement efficace d'itinéraires entre une paire de nœuds de telle sorte que les messages puissent être acheminés.

Le protocole de routage permet aux noeuds de se connecter directement les uns aux autres pour relayer les messages par des sauts multiples.

Dans cette partie, nous présenterons les détails des réseaux Ad-hoc, leurs caractéristiques, et leurs domaines d'application. Par suite, nous présenterons les techniques utilisées par la IEEE 802.11 dans les deux premières couches du modèle OSI. Enfin, on conclut le chapitre.

1.2 Environnement sans fil

Un réseau sans fil (Wireless network) est, comme son nom l'indique, un réseau dans lequel les différents postes ou systèmes peuvent communiquer entre eux par ondes radio. Grâce aux réseaux sans fil, un utilisateur a la possibilité de resterconnecté tout en se déplaçant dans un périmètre géographique plus ou moinsétendu, c'est la raison pour laquelle on entend parfois parler de "mobilité". Lanorme la plus utilisée actuellement pour les réseaux sans fil est la norme IEEE802.11, mieux connue sous le nom de Wifi [1].

1.3 Environnement mobile

Un environnement mobile est un système composé des sites mobiles qui permet à ses utilisateurs d'accéder à l'information indépendamment de leurs positions géographiques. Les réseaux mobiles ou sans fil, peuvent être classés en deux classes principales: les réseaux avec infrastructure et les réseaux sans infrastructure [2].

1.4 Les réseaux sans fil

1.4.1 Les réseaux sans fil avec infrastructure

Ils sont constitués d'un ensemble des stations de bases connectées par un réseau filaire. La zone de couverture de chaque station de base définit une cellule. Les hôtes mobiles communiquent entre eux via le réseau des stations de base. Le réseau GSM est un exemple typique des réseaux sans fil avec infrastructure. Les réseaux WLAN basés sur la norme IEEE802.11 sont un autre exemple plus récent de cette famille de réseaux (Voir figure 1). [2].

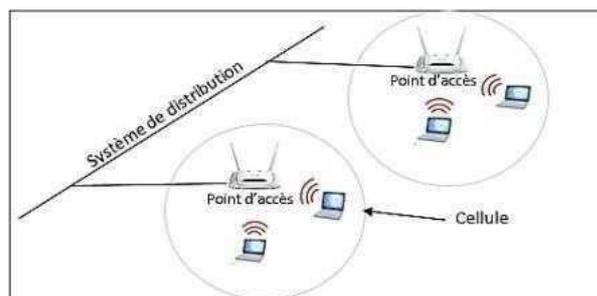


Figure 1: Mode avec infrastructure [2]

1.4.2 Les réseaux sans fil sans infrastructure

Ces réseaux se constituent des unités mobiles communiquant entre eux sans l'aide d'une infrastructure fixe. Appelés communément ad hoc, Ils ne nécessitent aucune structure physique pour être déployés et sont opérationnels instantanément. Dans ce type de réseaux, tous les hôtes doivent coopérer pour gérer les communications entre eux (routage, contrôle de l'accès aux médias .. .)[2].

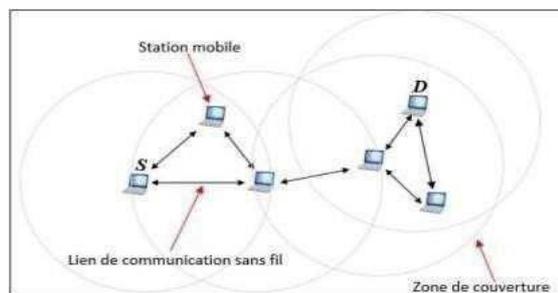


Figure 2: Mode sans infrastructure. [2]

1.5 Les réseaux mobiles Ad hoc

Un réseau mobile ad hoc est un environnement mobile sans infrastructure, appelé généralement MANET. Il est composé d'un ensemble de nœuds mobiles qui sont dynamiquement et arbitrairement éparpillés d'une manière où l'interconnexion entre eux peut changer à tout moment, nous parlons alors de réseaux auto-adaptatifs (capables de s'organiser par eux-mêmes) [3].

La normalisation des réseaux Ad-hoc a été réalisée par l'IETF (Internet Engineering Task Force) dans le groupe de travail MANET [4].

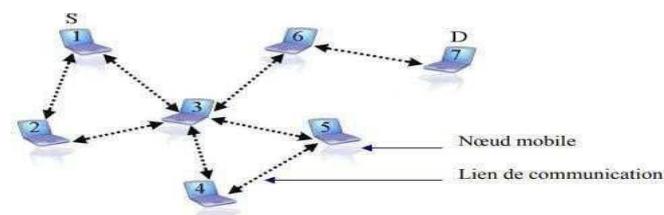


Figure 3: réseau mobile AD HOC.[4]

La topologie du réseau peut changer à tout moment, elle est donc dynamique et imprévisible ce qui fait que la déconnexion des unités soit très fréquente (figure 4)

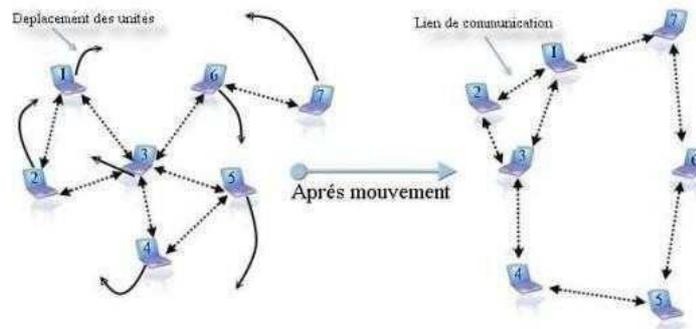


Figure 4: Le changement de la topologie des réseaux Ad Hoc[4]

1.5.1 Les caractéristiques des réseaux Ad Hoc

Les réseaux sans fil ad hoc se caractérisent principalement par:

- **Bande passante limitée:** Une des caractéristiques primordiales des réseaux basés sur la communication sans fil est l'utilisation d'un médium de communication partagé (ondes radio). Ce partage fait que la bande passante réservée à un hôte soit modeste.
- **Contraintes d'énergie:** Les hôtes mobiles sont alimentés par des sources d'énergie autonomes comme les batteries ou les autres sources consommables. Le paramètre d'énergie doit être pris en considération dans tout contrôle fait par le système.
- **Sécurité physique limitée :** Les réseaux mobiles Ad Hoc sont plus touchés par le paramètre de sécurité que les réseaux

filaires classiques. Cela se justifie par les contraintes et limitations physiques qui font que le contrôle des données transférées doit être minimisé

- Erreur de transmission: Les erreurs de transmission radio sont plus fréquentes que dans les réseaux filaires.
- Interférences: Les liens radios ne sont pas isolés, deux transmissions simultanées sur une même fréquence ou, utilisant des fréquences proches peuvent interférer [5].
- Absence d'infrastructure: Les réseaux ad hoc se distinguent des autres réseaux mobiles par la propriété d'absence d'infrastructures préexistante et de tout genre d'administration centralisée. Les hôtes mobiles sont responsables d'établir et de maintenir la connectivité du réseau d'une manière continue.
- Topologie dynamique: Les unités mobiles du réseau se déplacent d'une façon libre et arbitraire. Par conséquent, la topologie du réseau peut changer à des instants imprévisibles, d'une manière rapide et aléatoire. [5].
- Nœuds cachés: Ce phénomène est très particulier à l'environnement sans fil. Un exemple est illustré par la figure 5.

Dans cet exemple, les nœuds B et C ne s'entendent pas, à cause d'un obstacle qui empêche la propagation des ondes. Les mécanismes d'accès au canal vont permettre alors à ces nœuds de commencer leurs émissions simultanément. Ce qui provoque des collisions au niveau du nœud A

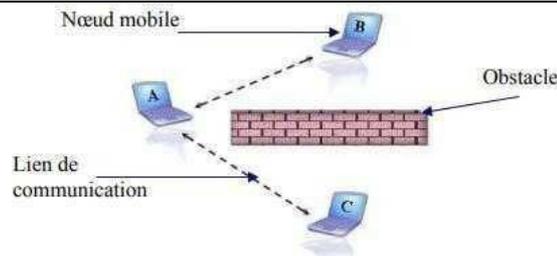


Figure 5: Les nœuds cachés[5].

1.5.2 Les applications des réseaux mobiles Ad hoc

Les applications des réseaux Ad hoc représentent l'une des causes principales de l'importance de ce type de réseau pour cela nous pouvons citer les applications suivantes [6] :

- Situations d'urgence : opérations de recherche, de secourisme et de sauvetage en urgence durant les catastrophes naturelles comme lors des tremblements de terre, feux, inondation, etc.
- Opérations militaires : Un réseau mobile Ad hoc est la solution idéale pour maintenir la liaison entre des chars d'assauts, des avions de chasse ou même entre des soldats et leur supérieur au cours des exercices militaires ou dans un champ de bataille.
- Réseau véhiculaire: VANET (Vehiculer Ad hoc Network): Les véhicules sont en besoin de communiquer entre eux ou avec leur environnement pour l'échange des informations sur l'état des routes ou dans le but de gérer et organiser le trafic routier.
- Réseaux de capteurs: la possibilité de coordonner une large collection de petits dispositifs de détection pour des applications environnementales (météo, activité terrestre, suivi animale, etc.) ou domestiques (contrôle des équipements à distance).

- Jeux vidéo: les réseaux sans fil sont adaptés pour permettre l'échange d'informations entre applications personnelles ainsi, pour les utilisateurs voulant jouer en réseau, il est facile et à faible coût de déployer un réseau Ad hoc.
- Le travail collaboratif et les communications dans des entreprises ou bâtiments: dans le cadre d'une réunion ou d'une conférence par exemple. [6]

1.5.3 Modes de communications dans les réseaux ad hoc

Avant de parler des protocoles de routage proprement dit, nous allons rappeler quels sont les principaux modes de communication dans les réseaux, et particulièrement dans les réseaux ad hoc. [6]

- La communication point à point ou unicast : pour laquelle il y a une source et une seule destination
- La communication multipoints ou multicast: qui permet d'envoyer un message à plusieurs destinations.
- La diffusion ou broadcast: envoie un message à tous les nœuds du réseau.
- Ces trois modes de communication sont schématisés par la figure suivante :

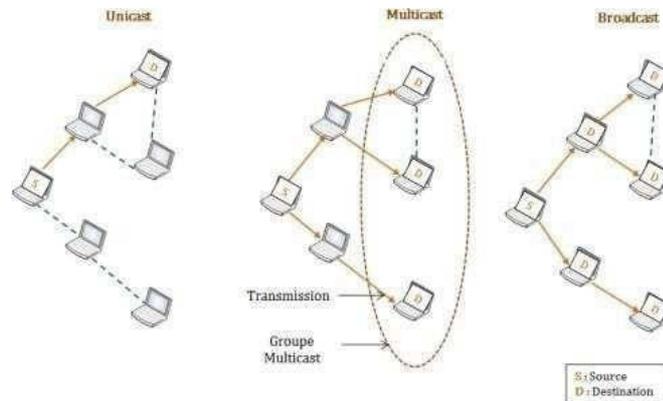


Figure 6: modes de communications dans les réseaux Ad hoc [6]

1.5.4 Types des réseaux ad hoc :

Les types des réseaux ad hoc sont divers, nous pouvons en citer quelques un:[6]

1.5.4.1 Les réseaux personnels :

PAN (Personal Area Network) désigne un réseau restreint d'équipement informatique Habituellement utilisées dans le cadre d'une utilisation personnelle.

Parmi les technologies sans fil utilisées par les réseaux PAN, nous pouvons citer:

le Bluetooth, l'infrarouge(IR),ou le zigbee (la technologie 802.15.4).

1.5.4.2 Les réseaux poste à poste ou peer to peer :

Sont des réseaux, dont le fonctionnement est décentralisé entre les différents utilisateurs du réseau, dont les machines sont simultanément, client et serveurs (routeur) des autres machines.

1.5.4.3 Les réseaux de capteurs

Sont des réseaux composés de nœuds, intégrant une unité de mesure chargée de capter des grandeurs physiques (chaleur, humidité, vibration) et de le transformer en grandeurs numériques, une unité de traitement informatique de stockage de données et un module de transmission sans fil (Wireless).

1.5.4.4 Les réseaux véhiculaires

Les voitures de nos jours embarquent de plus en plus de technologie, et ont de plus en plus, besoin de communiquer avec l'extérieur. Les voitures équipées par des capteurs sur les toits et/ou, les pare-chocs sont capables de créer des plateformes des réseaux mobiles ad hoc et de relier en réseau les automobiles passant à proximité les un des autres. Des prototypes ont déjà été développés pour les véhicules d'urgence (les ambulances, les Voitures des pompiers, etc).

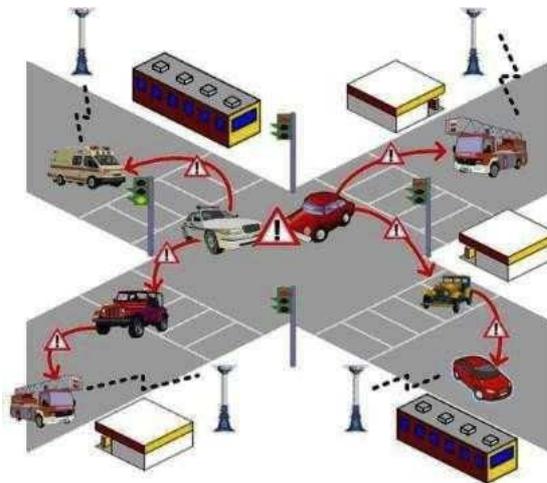


Figure 7: Les réseaux véhiculaires mode ad hoc[6]

1.5.5 Avantages des réseaux ad-hoc

Les avantages les plus importants des réseaux ad-hoc sont [7] :

1. Déploiement facile, rapide et économique: dans les réseaux ad-hoc, la tâche assommant de déploiement des stations de base (câblage, installation, etc.) n'est plus nécessaire. En conséquence, le déploiement est aussi plus rapide et se fait avec un faible coût.
2. Tolérance aux pannes: un réseau ad-hoc continue à fonctionner même si quelques nœuds tombent en panne, ceci est dû au fait qu'il ne comporte pas de nœuds centraux.

1.5.6 Architecture en couche du réseau IEEE 802.11

1.5.6.1 La couche physique

la couche physique de la norme IEEE 802.11 [8] c'est une interface située entre la couche MAC et le support, elle permet d'envoyer et de recevoir des trames de donnée. La couche physique se compose de deux sous couches (voir figure 8) :

1. PLCP (Physical Layer Convergence Procedure) : elle est liée directement à la couche MAC, elle permet d'écouter le support et notifier son état s'il est libre à la couche supérieure MAC
2. PMD (Physical Media Dependent) : elle est utilisée pour l'encodage des bits et la modulation. Elle permet la transmission et la réception des données par l'intermédiaire du support sans fil. Il existe trois techniques de transmission [9].

- Le FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) Il était utilisé pour des raisons militaires pour empêcher l'écoute des transmissions. En effet, cette méthode permet de faire des sauts de fréquences sur 79 sous canaux de largeur 1 MHz durant la transmission entre l'émetteur et le récepteur. Ces derniers se mettent d'accord sur une séquence de sauts précise. Cette méthode est vulnérable aux attaques à cause de la séquence de saut qui est fixe à la majorité des nœuds mais elle n'empêche pas qu'elle diminue les interférences entre les nœuds dans une même cellule.

- Le DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) cette technique consiste à diviser la bande de 83.5 MHz en 14 canaux de 20 MHz de largeur. Elle est plus sensible que la première aux interférences. La répartition du point d'accès APs et l'affectation organisée des canaux sont recommandées pour réduire les perturbations des transmissions.
- L'infrarouge (IR) consiste à diffuser d'une lumière infrarouge d'onde sur une longueur comprise entre 850 et 950 nm.
- OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) est une technique qui fait appel au multiplexage par la répartition des fréquences sur des porteuses orthogonales. Cette orthogonalité permet de séparer les canaux afin d'éviter les interférences du canal. Son principe est de partitionner la bande passante en plusieurs sous porteuses ou canaux distincts. Cette distinction est assurée par la propriété d'orthogonalité où l'amplitude maximale d'une porteuse correspond à une amplitude nulle des porteuses des voisins.



Figure 8: Architecture de la couche physique et MAC[9]

1.5.6.2 La couche Liaison de donnée

La couche MAC est spécifiée dans la norme IEEE 802.11 [10] avec une variété de fonction qui prend en charge l'opération d'accès au support sans fil. Elle gère et maintient la communication entre les stations en coordonnant l'accès à un canal radio commun, ainsi l'utilisation des protocoles qui améliorent la communication. Le protocole IEEE 802.11 prend en charge deux types de

fonctionnement d'accès : La méthode d'accès de base PCF (Point Coordination Function) et DCF (Distributed Coordination Function) [10].

1. Distributed Coordination Function (DCF) : Cette méthode d'accès, assez similaire à celle d'Ethernet, est dite période de contention. Elle est conçue pour supporter les transmissions de données asynchrones tout en permettant à tous les utilisateurs d'accéder au support.
2. Point Coordination Function (PCF) : Par contre cette méthode, est dite période sans contention et ne génère pas de collision du fait que le système de transmission de données est centralisé. Ce mode est utilisé dans les réseaux avec infrastructure car il faut un point d'accès qui gère le trafic synchrone par exemple les applications à temps réel.
3. Fonction de Coordination Distribuée (DCF) Ce mode [10] gère le trafic asynchrone à base d'un mécanisme d'accès multiple avec un évitement de collision (CSMA/CA) [11]. Dans son principe de fonctionnement, il combine le protocole CSMA/CA avec l'algorithme back-off.

Le protocole (CSMA/CA) utilise un mécanisme d'évitement de collision basé sur le principe de l'écoute au canal, l'émetteur doit s'assurer que le support est inactif avant de transmettre les données, cela signifie que la probabilité d'avoir une collision est petite.

CSMA/CA utilise des espacements d'inactivités entre les trames, ce sont des périodes de temps appelées l'inter-Frame Spacing (IFS). Il existe quatre types d'IFS :

- Short Inter-Frame Spacing (SIFS) : le plus court des IFS. Il est utilisé pour séparer les différentes trames transmises au sein d'un même dialogue comme par exemple, entre des données et leurs acquittements ou entre différents fragments d'une même trame ou pour toute autre transmission relative à un même dialogue (question-réponse).
- DCF Inter-Frame Spacing (DIFS): est le temps que doivent attendre les autres stations avant d'émettre un paquet en mode DCF. La valeur du DIFS est égale à celle d'un SIFS augmentée de deux timeslots
- PCF Inter-Frame Spacing (PIFS): est le temps que doivent attendre les stations avant d'émettre un paquet en mode PCF. La valeur est inférieure au DIFS, pour favoriser ce mode.
- Extended Inter-Frame Spacing (EIFS): est le plus long des IFS. Lorsqu'une station reçoit une trame erronée, elle doit attendre pendant un EIFS l'acquittement de cette trame.

Si une station veut émettre au préalable elle doit écouter le canal s'il est libre ou occupé. Si le canal est occupé, la transmission est différée. Dans le cas contraire, si le média est libre pendant un temps donné DIFS, alors la station a le droit d'émettre. Suite à l'épuisement de temps calculé par l'algorithme de back-off à ce moment la station commence la transmission des données. Le calcul du temporisateur se fait par le biais de l'algorithme du back-off. Il est utilisé de la même manière que dans le CSMA/CD La seule chose qui change, c'est qu'on ne détecte pas la collision, mais, on déduit qu'il s'est produit une collision lorsqu'on ne reçoit pas d'ACK [8].

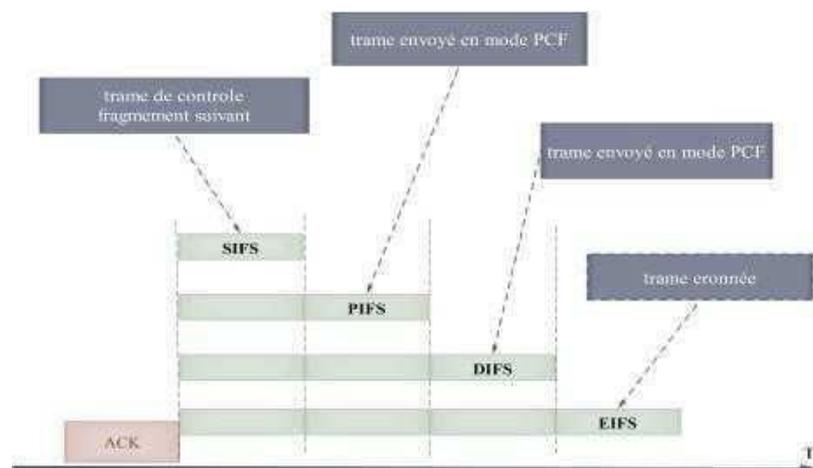


Figure 9: Espacement entre trames[10]

Il multiplie une valeur tiré aléatoirement dans un intervalle $[0, CW]$ (Contention Window) par une tranche de temps (timeslot). Ce temporisateur sera décrémenté seulement si le canal est libre. Si une collision est apparue ou une nouvelle tentative de transmission démarre. La valeur CW croit exponentiellement jusqu'à atteindre une valeur maximale, dans ce cas la transmission est échouée.

Le mode DCF est basé sur Le mécanisme de réservation de canal RTS/CTS, l'émetteur envoie une trame de contrôle RTS (Read To Send) à la station destinatrice. Tous les nœuds qui ont reçu ce RTS savent qu'une communication va voir lieu. La durée de communication est précisée dans le paquet RTS, ainsi que la station source et destination. A ce point, les voisins vont s'empêcher d'émettre pendant toute cette période définie par la trame RTS. Cette opération est réalisée grâce au NAV (Network Allocation Vector) qui stocke la valeur de cette durée et qui joue le rôle d'horloge.

Le récepteur qui reçoit le RTS renvoie la trame de contrôle CTS s'il n'est pas lui-même bloqué par son NAV.

La trame CTS (Clear To Send) a le même effet que la trame RTS pour les stations qui sont dans la même portée de communication du récepteur. À la réception du CTS, l'émetteur sait que le médium a été réservé et qu'il peut donc émettre ses données. Après réception de toutes les données émises par la source, le récepteur envoie un accusé de réception (ACK).

Toutes les stations voisines patientent. Pendant un intervalle temps qui est nécessaire avant la transmission du volume d'information.

Cette technique permet d'éviter au maximum les collisions en laissant, pour chaque station, la même probabilité d'accès au support. Le mode DFC peut être présenté comme le diagramme suivant :

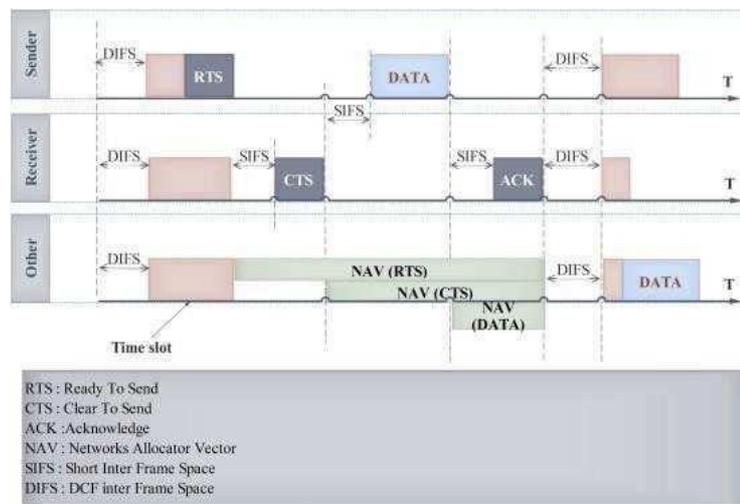


Figure 10: Méthode d'accès CSMA/CA[8]

1.6 Définition du routage

Le routage est une méthode d'acheminement des informations à la bonne destination à travers un Réseau de connexion donné. Son intérêt consiste à trouver le chemin optimal au sens d'un certain critère de performance (bande passante, délai, etc.). Il doit aussi être capable de s'adapter aux événements venant perturber le réseau (panne, congestion, etc.)[11]

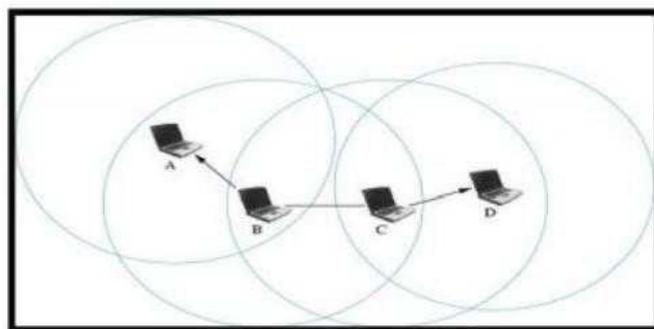


Figure 11: Le chemin utilisé dans le routage entre la source et la destination. [11]

1.6.1 Algorithme de routage

Certains algorithmes de routage ont été définis très tôt mais restent des méthodes solides et éprouvées qui sont encore utilisées aujourd'hui, les différentes méthodes qui existent sont:

1.6.1.1 Routage par inondation

Le routage par inondation est la méthode de routage la plus triviale: chaque routeur recevant un paquet le réémet sur toutes les interfaces s'il n'est pas la destination du paquet. Pour que la fin de l'inondation soit garantie, plusieurs techniques peuvent être employées. [12]

Le routage par inondation a en outre pour particularité une grande robustesse en raison de la redondance liée à l'inondation. Si le paquet vers une destination est perdu sur un chemin, il suffit qu'un autre chemin disjoint du premier existe pour que le paquet parvienne tout de même à destination. [12]

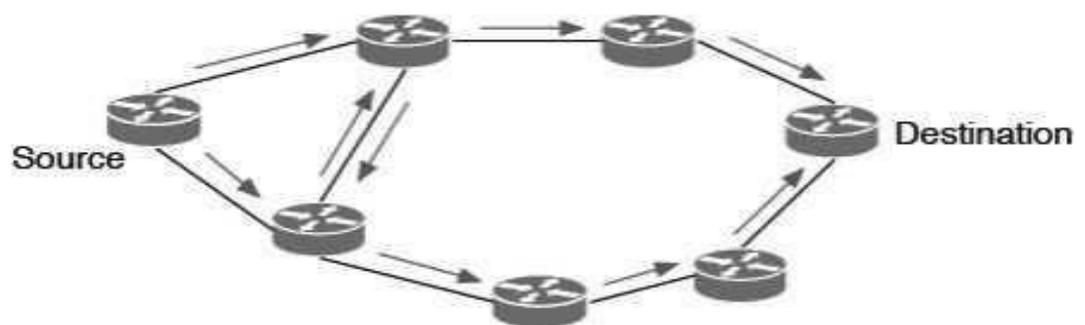


Figure 12: Émission d'un paquet dans le cas du routage par inondation [12]

1.6.1.2 Routage par vecteur de distance

Routage par vecteur de distance est basé sur l'algorithme de Bellman-Ford distribué. Chaque routeur possède une table de routage qui consiste en un couple de données pour chaque destination : le routeur par lequel passer pour atteindre cette destination et le coût associé selon une métrique définie. Ces informations sont transmises périodiquement à tous les voisins, et donc chaque routeur reçoit ces informations de ses voisins. Il en résulte que, pour un routeur, toute destination existante dans la table de routage d'un voisin devient connue et donc accessible par ce routeur. [12]

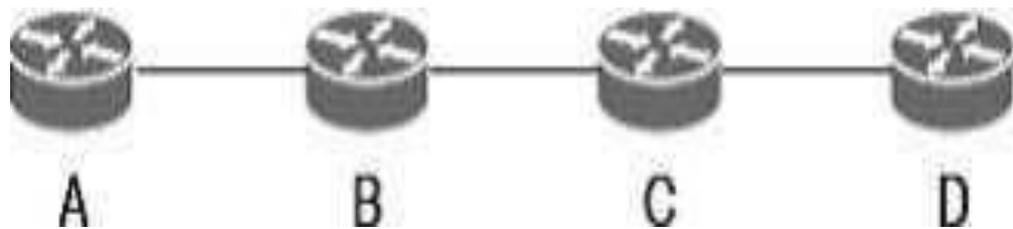


Figure 13: Réseau utilisant le routage par vecteur de distance.[12]

Cet algorithme forme le cœur du protocole RIP, qui fut utilisé au début d'Internet. En raison du problème majeur qu'est la convergence des informations de routage en cas de rupture de lien et parce qu'il était plus adapté à des réseaux de taille limitée, le routage par vecteur de distance a été assez rapidement abandonné au profit du routage par état de lien. [12]

1.6.1.3 Routage par état de lien

Dans les protocoles à état de liens, chaque nœud connaît à tout moment la topologie complète du réseau, c'est-à-dire l'état des liens existant entre chaque couple de nœuds du réseau. À chaque intersection (c.-à-d. les nœuds du réseau), il faut déterminer quelle est la meilleure direction à prendre (c.-à-d. la liaison vers un nœud voisin) pour atteindre une certaine destination. Pour ce faire, chaque nœud envoie à l'ensemble du réseau tous les nœuds auxquels il est relié. Sur base de ces informations, chaque nœud peut calculer indépendamment le meilleur next-hop pour atteindre chaque destination. Il est possible que certaines routes changent, apparaissent ou disparaissent. Dans ce cas, il faut en informer l'ensemble du réseau. [13] On peut distinguer trois phases :

- La découverte du voisinage.
- La distribution de la topologie.
- La détermination des meilleures routes.

1.6.1.4 Routage à la source

Le routage à la source ou " source routing" consiste à indiquer dans le paquet routé l'intégralité du chemin que devra suivre le paquet pour atteindre sa destination. L'entête de paquet va donc contenir la liste des différents nœuds relayeur vers la destination.[14]

1.6.1.5 Routage saut par saut

Le routage saut par saut ou "hop by hop" consiste à donner uniquement à un paquet l'adresse du prochain nœud vers la destination. [14]

1.6.1.6 Routage sans fil Ad hoc

Les réseaux ad hoc étant de nature multi-sauts, le protocole de routage détermine une route entre un nœud source et un nœud destination. Les protocoles de routage actuellement utilisés dans les réseaux filaires ne peuvent être utilisés dans les réseaux MANETs. De fait de nouveaux protocoles de routage ont dû être développés. Ils ont le même but qui consiste à maximiser le débit, et en même temps minimiser le nombre de paquets de contrôle, le taux de perte. [15]

1.7 Classification des protocoles de routage

Pour résoudre la difficulté du routage dans les réseaux ad hoc, plusieurs classifications sont apparues, et parmi lesquelles on a :

1.7.1 Protocoles de routage multi-chemins :

Ces protocoles sont efficaces pour la gestion de plusieurs chemins. Les nœuds envoient les données collectées sur plusieurs liens au lieu d'un seul. Cela permet une bonne fiabilité et une bonne tolérance aux pannes dans le réseau car il existe un chemin alternatif lorsque le chemin primaire échoue. [14]

1.7.2 Routage à plat

Considérons que tous les nœuds sont égaux. La décision d'un nœud de router des paquets pour un autre dépendra de sa position. Comme présenté sur la figure 13 tous les nœuds du réseau ont la même tâche: relayer l'information reçue vers le nœud suivant. [14]

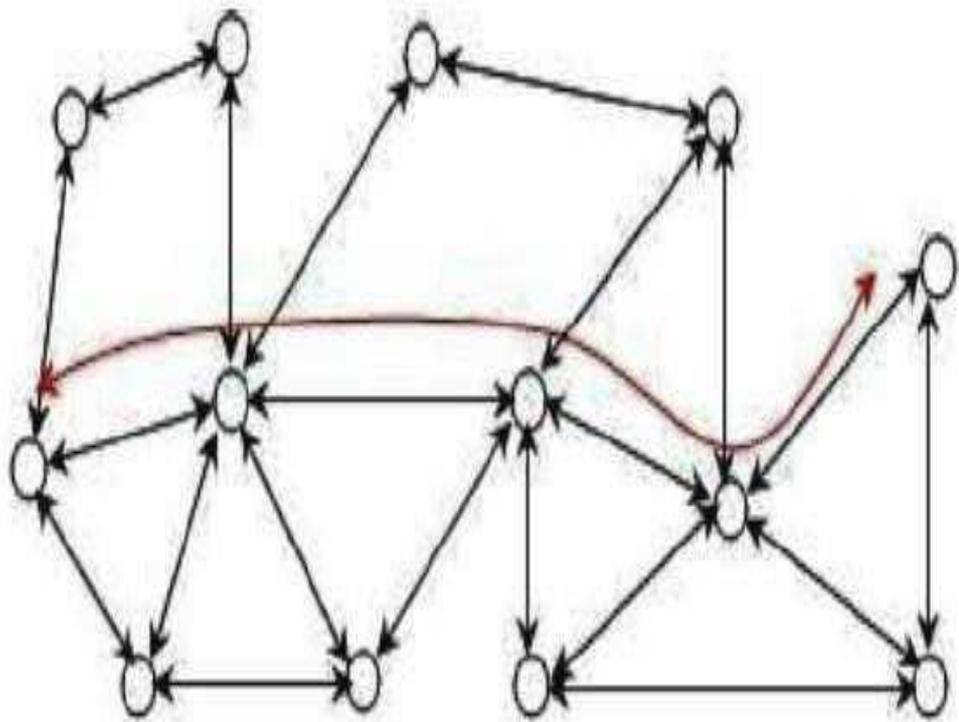


Figure 14: Routage à plat[14]

1.7.3 Routage hiérarchique

Fonctionnent en confiant aux mobiles des rôles qui varient de l'un à l'autre. Certains nœuds sont élus et assument des fonctions particulières qui conduisent à une vision en plusieurs niveaux de la topologie du réseau. Les noeuds seront utilisés comme passerelles et le reste des nœuds seront attachés à la passerelle la plus proche, la figure suivante montre que si le nœud N1 veut envoyer un paquet a un noeud N7, il doit passer d'abord par la passerelle p1, p2 ensuite p3. [14]

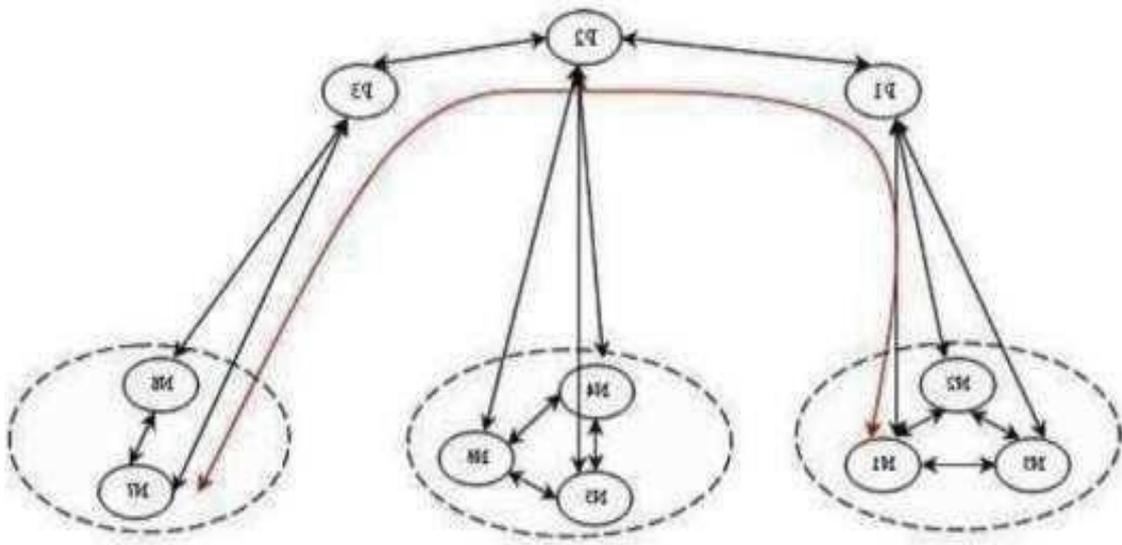


Figure 15: Routage hiérarchique[14]

1.8 Conclusion

Les réseaux mobiles Ad-hoc (ou MANET pour Mobile Ad hoc Networks) sont des réseaux sans fil mobiles indépendants de toute infrastructure fixe. Vu la nature du média de transport, ces réseaux héritent des avantages et des inconvénients de leur homologue qui se rattache à des infrastructures filaires, auxquels se rajoutent des nouveaux avantages et inconvénients. Les réseaux Ad-hoc se déroulent dans des environnements hostiles et dans des scénarios où le câblage serait difficile. De plus, à cause de plusieurs contraintes telles que l'absence d'infrastructure, l'absence d'une relation de confiance préalable, les contraintes des ressources des nœuds, la mobilité de ces réseaux ont de nombreuses utilités.

La norme IEEE 802.11 définit un ensemble des fonctionnalités nécessaire pour accéder au support, ainsi que la méthode CSMA/CA qui permet d'éviter les collisions[5].

Chapitre 2

Les concepts fondamentaux de L'IOT

2.1 Introduction

La technologie de l'Internet des Objets ou Internet of Things (IoT) est l'extension du réseau Internet à des choses/objets et à des lieux dans le monde physique. Les objets deviennent alors connectés et mis en réseau, tel que les montres connectées, bracelets connectés ou encore chaussures connectées. L'internet des objets est en pleine croissance bénéficiant de la création du Cloud Computing et de son autonomie, de ce fait il peut être appliqué dans divers domaines, Dans ce chapitre, nous présentons l'IoT (Internet of things) définition, ses domaines d'application, son architecture, ses normes , ainsi que ses Technologies fondatrices.

2.2 Internet des objets

L'internet des objets a été introduit pour la première fois par Kevin Ashton. Il désigne l'omniprésence autour de nous d'une variété d'objets qui, à travers des schémas d'adressage uniques, sont capables d'interagir les uns avec les autres et coopérer avec leurs voisins pour atteindre des objectifs communs. Les objets intelligents, qui sont considérés comme la plateforme de base de l'IOT, sont les objets de la vie quotidienne (réfrigérateur, téléviseur. etc.)[15].

L'Internet des objets ou Internet Of Things (IoT) correspond à l'extension au domaine des " choses " - c'est-à-dire aux entités matérielles et logicielles, que l'on appelle communément les "objets " - des fonctionnalités offertes par l'Internet et le Web en matière de communication entre personnes.

Dans cette approche, l'humain apparaît comme un cas particulier d'objet qui associe des capacités matérielles et logicielles spécifiques. On en vient alors à parler d'Internet of Everything (IOE) selon la conception introduite par Cisco en 2011[16].

Le terme d'Internet des Objets (IdO) ne fait pas encore consensus sur sa définition, ce qui s'explique par la jeunesse de ce concept en pleine

mutation. Il existe ainsi autant de définitions que d'entités impliquées dans la réflexion, le développement ou la normalisation de ce nouveau paradigme[17].

L'IdO est un réseau créé à partir d'appareils intelligents qui sont connectés et qui communiquent entre eux via un réseau comme Internet. Les appareils connectés recueillent et échangent de l'information entre eux grâce à des logiciels, caméras et capteurs capables de détecter la lumière, les sons, la distance, les mouvements, etc. Ils peuvent être contrôlés et surveillés à distance, mais la plupart fonctionnent automatiquement. Parmi les appareils intelligents, on trouve des électroménagers, des serrures, des caméras de sécurité, des équipements de production et des véhicules connectés [18].

Cette vision de l'Internet des objets introduira une nouvelle dimension aux technologies de l'information et de la communication : en plus des deux dimensions temporelle et spatiale qui permettent aux personnes de se connecter de n'importe où à n'importe quel moment, nous aurons une nouvelle dimension objet qui leur permettra de se connecter à n'importe quel objet[19].

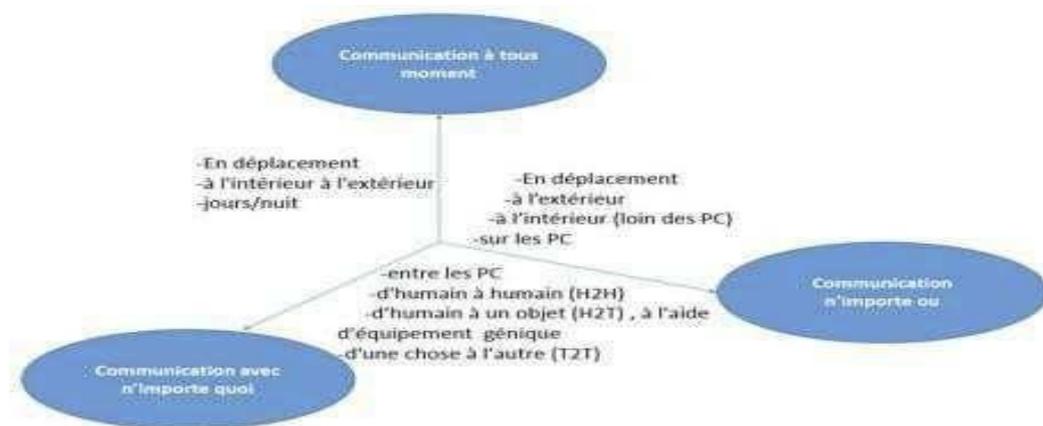


Figure 16: Une nouvelle dimension pour l'IdO[19]

2.3 Historique

Le concept de l'internet des objets apparaît pour la première fois en 1995 dans le livre du fondateur de Microsoft, Bill Gates, *The Road Ahead*. Il y mentionne alors ce nouveau concept, sans toutefois attirer l'attention du public puisque le développement d'Internet est alors trop limité[20].

Comme pour de nombreux nouveaux concepts, c'est au (MIT) et plus particulièrement au groupe Auto-ID Center qu'est attribuée l'origine de l'IoT.

Pour Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), l'IOT correspond simplement au moment où il y a eu plus de choses ou d'objets connectés à Internet que de personnes [16].

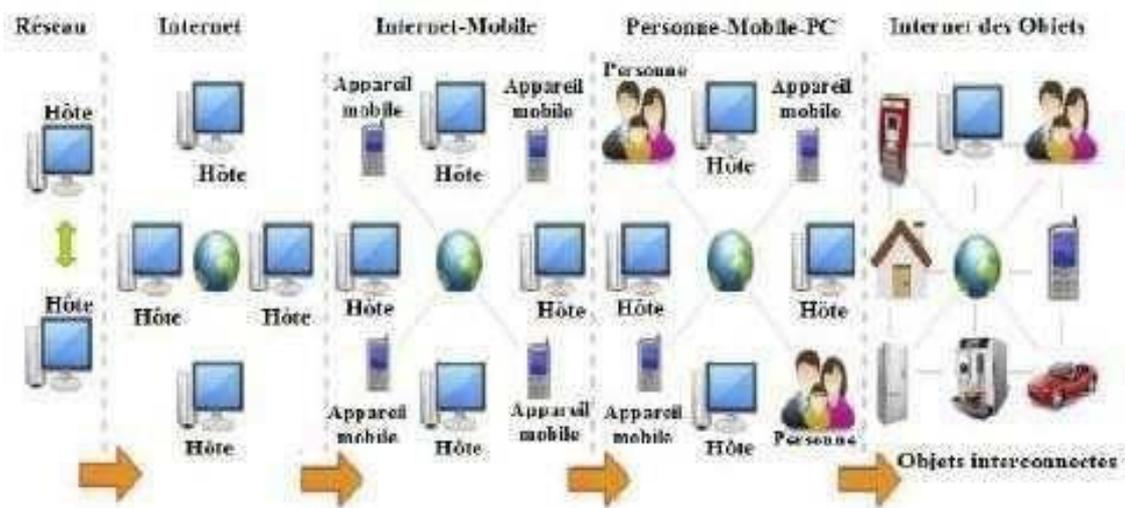


Figure 17: Évolution des réseaux informatiques vers l'IdO [21]

En 2003, la population mondiale s'élevait à environ 6,3 milliards d'individus et 500 millions d'appareils étaient connectés à Internet. Le résultat de la division du nombre d'appareils par la population mondiale (0,08) montre qu'il y avait moins d'un appareil connecté par personne [19]. Selon la définition de Cisco IBSG, l'IoT n'existait pas encore en 2003 car le nombre d'objets connectés était relativement faible. En outre, les appareils les plus répandus actuellement, et notamment les Smartphones, faisaient tout juste leur apparition sur le marché [19].

En raison de l'explosion des Smartphones et des tablettes, le nombre d'appareils connectés à Internet a atteint 12,5 milliards en 2010, alors que la population mondiale était de 6,8 milliards. C'est ainsi que le nombre d'appareils connectés par personne est devenu supérieur à 1 (1,84 pour être exact) pour la première fois de l'histoire [19].

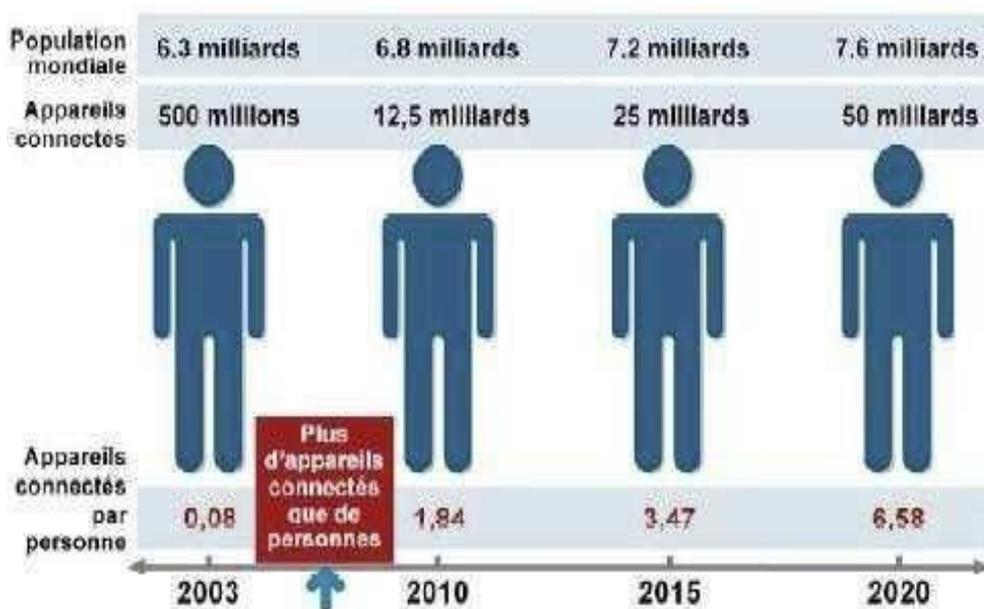


Figure 18: Le développement de l'Internet des objets vu par Cisco en 2011[19].

2.4 Les applications de l'IoT :

L'IoT est utilisé dans des dispositifs de sécurité, des systèmes de communication, des bâtiments commerciaux et résidentiels qui sont équipés de différents systèmes de contrôle dédiés aux dispositifs de chauffage, d'aération, de sécurité ou encore d'éclairage [22].

Nous allons énumérer quelques types d'applications à titre d'exemples:

2.4.1 Le réveil

qui va sonner plus tôt que prévu car la circulation est dense. Après récupération des données sur Google Maps, le réveil est alors capable d'analyser toutes les informations concernant le trajet quotidien de l'utilisateur.

2.4.2 Les plantes

informent le système d'arrosage quand il doit se mettre en marche car leurs taux d'humidité est trop bas : les capteurs font une analyse des différents facteurs environnementaux (température, humidité. . .)

2.4.3 Les chaussures de sport

fournissent le temps, la distance et la performance de celui qui les portent, une comparaison peut alors s'effectuer entre athlètes indépendamment de leurs localisations. Les capteurs enregistrent des données pour les communiquer aux utilisateurs. Très récemment, les chaussures de sport équipées de puces embarquées indiquent l'implication d'un athlète et ses performances.

2.4.4 Suivi et soins médicaux (Health care)

pour faire face au sur poids, détection d'anomalies dans le corps (fièvre, hyper-tension, battement cardiaque trop lent ou trop élevé..) en se servant de capteurs adaptés afin d'envoyer une alerte à un professionnel de la santé lorsqu'un certain seuil est dépassé.

Nous pourrions même savoir si la personne qui le porte est tombée et ne parvient pas à se relever. [23]

2.4.5 Administration

-Le suivi de l'état d'un équipement pour allonger sa durée de vie tel un matériel complexe comme un réacteur d'avion équipé de plusieurs capteurs qui envoient en temps réel d'importants flux de données dont le volume peut atteindre plusieurs To par jour.

2.4.6 Economiser et gérer l'éclairage public

en allumant moins de lampes ou en diminuant de leurs degrés de luminosité quand personne ne traverse la route et cela, en se servant de détecteurs de mouvements.



Figure 19: Économiser et gérer l'éclairage public[24]

2.4.7 Équiper les voitures

d'un système de détection d'obstacles, d'auto stationnement, des mises à jours de météo, trafic routier ou encore de recherche d'endroit de stationnement, cela économise de l'énergie (carburant) et élimine les embouteillages.

2.5 Domaine d'application de l'internet des objets

Le marché des objets connectés est promis à une grande croissance dans les années à venir car il a une valeur immense dans les différents domaines d'objets connectés pour les professionnels. Cependant, seules quelques applications sont actuellement déployées. [30] Ce réseau peut être appliqué dans les domaines suivants :

- Le domaine de la santé.
- Le domaine de l'industrie.
- Le domaine du Transport et de La Mobilité Intelligent.
- Le domaine de la sécurité et la surveillance.
- Le réseau intelligent (Smart Grid).
- La domotique.

2.6 Utilité de l'internet des objets

L'internet des objets devra faire partie de notre quotidien proche et sera appliqué dans divers domaines. Il présente de nombreux points positifs à titre d'exemple, le renforcement de la sécurité des voitures autonomes et la gestion des ressources... Le nombre d'objets connectés à Internet a dépassé celui des personnes, cela a offert une infinité d'opportunités en matière de création d'applications dans les domaines de l'automatisation, de la détection et de la communication.

2.6.1 Surveillance d'état de santé des animaux

L'IoT fera en sorte que même les animaux seront connectés. Ce dispositif permet aux éleveurs de surveiller l'état de santé des animaux et de suivre leurs déplacements afin d'améliorer la quantité et la qualité de leurs produits. En moyenne, un animal génère environ 200 mégaoctets d'informations par an.

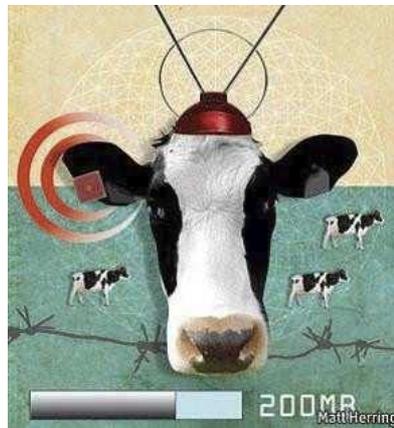


Figure 20: Les vaches seront équipées de capteurs[24]

2.6.2 Amélioration de la qualité de vie des personnes âgées

L'IoT devra améliorer la qualité de vie des personnes âgées, qui sont de plus en plus nombreuses (environ 1 milliard d'individus auront plus de 65 ans d'ici le milieu du siècle). On peut avoir sur soi-même un petit appareil qui détecterait les signes vitaux et enverrait une alerte à un professionnel de la santé lorsqu'un certain seuil est atteint ou encore, si la personne qui le porte est tombée et ne parvient pas à se relever. [24]

2.7 Normes et standards utilisées dans l'IdO

Il existe plusieurs normes de l'internet des objets dans cette partie nous mettons l'accent seulement sur quelques-unes :

2.7.1 WiFi

(Correspondant à la famille des standards IEEE 802.11) qui équipe aujourd'hui tous les nouveaux Smartphones, et est utilisée principalement par les réseaux locaux sans fil.

Le Wifi permet l'accès à Internet avec des vitesses de transfert atteignant facilement des dizaines de méga bits par seconde. Il est caractérisé par une consommation relativement importante, et donc une autonomie faible pour les équipements qui l'embarquent [25].

2.7.2 Bluetooth

qui équipe également la plupart des terminaux intelligents. Un grand nombre d'objets communicants l'adopteront aussi. Elle est définie par le groupement d'intérêt Bluetooth, pour les réseaux sans fil personnel.

Dans ses versions de base, Bluetooth se caractérise par une communication à faible portée et un débit beaucoup plus faible que le WiFi, de l'ordre de quelques centaines de kilo bits par seconde.

Néanmoins dans sa dernière version 4.2, qui met l'accent sur les objets communicants, on promet des débits 2 fois et demi plus rapides que les versions précédentes, tout en ayant une faible consommation d'énergie. Des objets tels que les montres connectées, équipées de cette dernière version, seront capables de dialoguer directement avec un routeur, afin d'accéder à Internet en utilisant le protocole 6LowPan d'IPv6, sans passer par un Smartphone [25].



Figure 21: Logo du standard Bluetooth. [26]

2.7.3 Zigbee

Elle est basée sur le standard IEEE 802.15.4 pour les couches physique et li-aison. Elle est définie par la Zigbee Alliance, et a été spécialement conçue pour des équipements à faible consommation d'énergie, avec un très bas débit n'excédant pas 250 kilo bits par seconde, et une taille de paquets ne dépassant pas 127 octets. Zigbee intègre un protocole de routage mesh, permettant une connectivité au-delà de la portée radio, en utilisant les noeuds intermédiaires comme relais et en utilisant un plan d'adressage qui lui est propre. Cela dit, une version plus récente, Zigbee IP, supporte désormais les standards 6LowPan d'IPv6, ouvrant le champ de l'interopérabilité avec le reste du monde [25].



Figure 22: Logo du protocole ZigBee. [27]

2.7.4 5G

La quatrième technologie peut être considérée comme le futur de IdO c'est la 5G, tout simplement la 5G est une évolution supplémentaire des technologies de la téléphonie mobile. Ce réseau de cinquième génération s'annonce tout d'abord comme une technologie très puissante puisqu'elle permettra la transmission de données à une vitesse de 10 Gbit/s. Un débit 100 fois plus élevé que la 4G.

Les réseaux de cinquième génération (5G) deviennent le principal guide pour la croissance des applications IoT. La 5G peut apporter d'importantes contributions à la prochaine génération d'IdO en connectant des milliards de choses intelligentes pour générer des IdO futurs réels et massifs.

A l'heure actuelle, il est très difficile d'identifier la capacité des dispositifs IoT, car le domaine hétérogène des applications doit satisfaire les besoins de l'application. Selon le rapport de l'International Data Corporation (IDC), les services de la 5G mondiale aidera 70

L'IdO se développe rapidement avec la nouvelle technologie, en particulier le nouveau domaine d'application. Aujourd'hui, les systèmes IdO améliorent la qualité des modes de vie qui impliquent l'interconnexion entre les appareils domestiques intelligents et les environnements intelligents. L'industrie de l'IdO (IIoT) est l'évolution de nombreux défis, tels que de nouvelles exigences pour les produits et les solutions, et la transformation des modèles d'affaires .

les techniques de communication les plus populaires dans la connectivité de l'IdO est 3GPP et LTE(4G) réseaux, qui offrent des systèmes IoT avec la fiabilité, intemporelle, robustesse de la connexion, et avec une large couverture, faible coût de déploiement, haut niveau de sécurité, accès au spectre dédié et simplicité de la gestion.[27]

Pourtant, les réseaux cellulaires existants, par exemple, ne sont pas en mesure de prendre en charge les communications MTC, mais les réseaux 5G- IoT pourraient le faire. De plus, 5G IoT fournit le débit de données de réseau cellulaire le plus rapide avec une latence très faible et une couverture améliorée pour la communication MTC [27].

Ces dernières années, divers travaux sur le 5G-IoT ont été réalisés. Les sociétés CISCO, Intel, Verizon, etc. ont mené des projets de recherche sans fil sur la 5G, qui ont adapté la qualité vidéo aux besoins de l'oeil humain. Les 5G-IoT fournissent des expériences en temps réel, reconfigurables, tout en ligne, à la demande et sociales aux applications IoT [27].

2.8 Architecture de l'Internet des Objets

L'architecture de l'IdO est l'un des sujets les plus mentionnés dans les articles de recherche de ce domaine. L'architecture cinq couches est généralement acceptée comme étant l'architecture qui décrit le mieux l'IdO. La Figure 23 montre la superposition des cinq couches de cette architecture. Ci-dessous une description de chacune d'entre elles [21].

2.8.1 Couche perception

C'est la première couche, on l'appelle aussi couche objets. Elle représente les objets physiques de l'IdO qui ont pour but la collecte et le traitement basique de l'information, et qui fournissent différentes fonctionnalités comme donner la position physique, la température, le poids, le mouvement, etc. Cette couche collecte et numérise les données d'un certain environnement et les envoie à la couche supérieure via des canaux sécurisés [21].

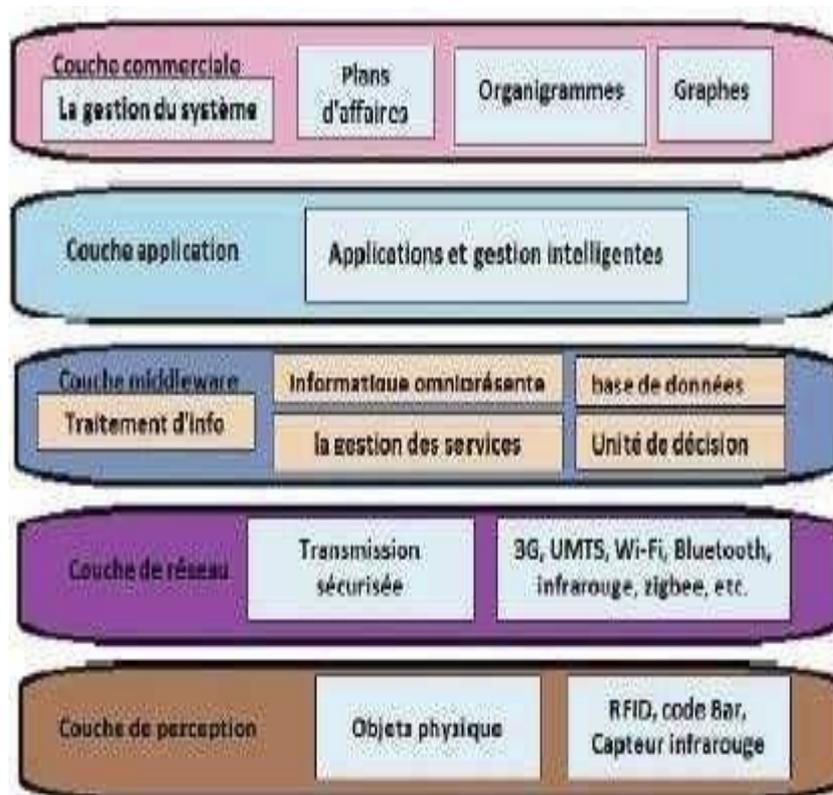


Figure 23: L'architecture cinq couches[21].

2.8.2 Couche réseau

Cette couche s'occupe du transport de la donnée vers le centre de traitement de l'information. Le moyen de transmission peut être filaire ou non et les principales technologies utilisées dans cette couche sont la 3G, Wifi, ZigBee, etc. C'est au niveau de cette couche que se trouvent les protocoles de communication, tels que 6LowPan, qui sont nécessaires pour l'adressage de millions d'objets connectés [28].

2.8.3 Couche traitement

Chaque objet de l'IdO offre des services que cette couche (appelée aussi coucheMiddleware) est responsable de gérer et de lier avec des bases de données les informations collectées, pour ensuite y appliquer des traitements et des calculs, afin de prendre des décisions automatiques. Elle permet aussi au développeur d'application de l'IdO de faire appel à des services sans prendre en considération l'interopérabilité des objets, ou bien une plateforme matérielle spécifique [28].

2.8.4 Couche application

Cette couche offre la possibilité d'utiliser les informations traitées par la couche traitement et les services des objets présentés par cette dernière, pour développer diverses applications de l'IdO. Ces applications seront ensuite directement être utilisées par des utilisateurs finaux [21].

2.8.5 Couche Business

Le but de cette couche est la gestion des différentes applications de l'IdO. Les responsabilités de cette couche sont de construire un modèle de gestion, des graphes, des organigrammes, etc. en se basant sur les données reçues de la couche application, et sur le résultat de cette analyse. Cette couche permet de décider le chemin futur et la stratégie de business. La gestion et la surveillance des quatre autres couches se font aussi à son niveau [28].

2.9 Technologies fondatrices de l'IoT

L'Internet of Things (IoT) permet l'interconnexion des différents objets intelligents via l'Internet. Ainsi, pour son fonctionnement, plusieurs systèmes technologiques sont nécessaires. Citons quelques exemples de ces technologies.

L'IoT désigne diverses solutions techniques (RFID, TCP/IP, technologies mobiles, etc.) qui permettent d'identifier des objets, capter, stocker, traiter, et transférer des données dans les environnements physiques, mais aussi entre des contextes physiques et des univers virtuels. En effet, bien qu'il existe plusieurs technologies utilisées dans le fonctionnement de l'IoT,

nous mettons l'accent seulement sur quelques-unes qui sont les technologies clés de l'IoT. Ces technologies sont les suivantes : RFID et RCSF et sont définies ci-dessous [28].

2.9.1 RFID (Radio Frequency IDentification)

Un système RFID est composé d'un ou plusieurs lecteurs et d'un ensemble d'étiquettes (appelée aussi tags, marqueurs, identifiants ou transpondeurs) à micro-puissances. Les étiquettes sont des dispositifs minuscules équipées d'une puce contenant des informations et une antenne pour la communication ra-dio. Elles sont placées sur les éléments que l'on veut identifier d'une manière unique ou tracer. Les étiquettes peuvent avoir différentes formes et peuvent être passives ou actives [28].

2.9.1.1 La RFID passive

Les étiquettes passives ne disposent d'aucune source d'énergie et attendent à ce qu'un signal électromagnétique leur arrive et munit de l'énergie pour pouvoir envoyer leurs propres signaux [28].

2.9.1.2 La RFID active

Les étiquettes actives sont équipées d'une batterie, elles diffusent des signaux automatiquement et d'une façon autonome [28]. Les étiquettes passives sont plus déployées que celles qui sont actives car leur usage est beaucoup plus flexible avec un cout nettement réduit (comparé au cout relatif aux étiquettes actives qui est nettement élevé). Une autre spécificité pas moins importante dans les étiquettes passives qui est la durée de vie. Par le fait d'être passive, la durée de vie de l'étiquette est

importante (elle reste valable tant qu'elle garde son bon état), ce qui n'est pas le cas pour une étiquette active ou la durée de vie est restreinte (s'achève avec l'épuisement de la batterie) [28].



Figure 24: Les étiquettes RFID [28].

2.9.1.3 Les réseaux de capteurs sans fil

Les RCSFs se composent généralement d'un grand nombre de noeuds capteurs minuscules, stationnaires ou mobiles, souvent déployés aléatoirement dans un champ de captage. Ce dernier est généralement un milieu hostile, isolé ou difficile à contrôler, ou la mission d'un noeud capteur consiste à chaque fois, de recueillir, d'une façon autonome, des informations précises depuis l'environnement de déploiement. Suivant le type du noeud capteur, la donnée captée peut être la température, l'humidité, la pression, la lumière ou autres. Les noeuds capteurs dans un RCSF communiquent entre eux via des liens radio pour l'acheminement des données collectées à un noeud considéré comme "point de collecte", appelé station de base ou puits. Cette dernière peut être connectée à une machine puissante, appelée gestionnaire des tâches, via Internet ou par satellite. En outre, le réseau peut être configuré de telle sorte que l'utilisateur puisse adresser ses requêtes aux capteurs en précisant l'information requise, et en ciblant les noeuds capteurs qui devraient s'y intéresser [28].

Les RCSFs jouent un rôle très intéressant dans l'Internet des objets. En effet, les capteurs permettent la représentation des caractéristiques dynamiques (température, humidité, pression, mouvements, ..) des objets et des endroits du monde réel dans le monde virtuel représenté par le réseau Internet global. Ainsi, avec l'incorporation des réseaux de capteurs dans l'Internet, Les capteurs deviennent des serveurs (fournisseurs de services) dans ce que l'on désigne par le web des objets (dit WoT pour Web of Things)

Ainsi les services (applications) des RCSFs se rajoutent à l'ensemble des services et applications de l'Internet de futur qui réunira une variété de réseaux fortement hétérogènes (que ça soit sur le plan matériel ou logiciel), Soumis à des contraintes différentes et qui sont déployés pour diverses applications, afin d'en avoir un monde réel très sophistiqué.

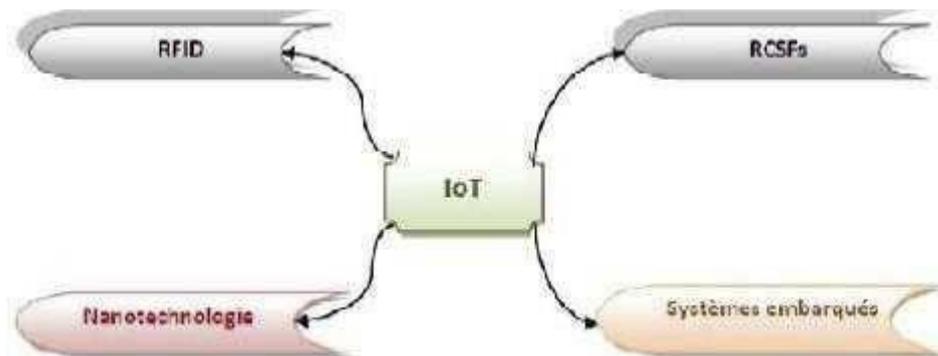


Figure 25: Architecture de communication d'un réseau de capteur sans fil [28].

En plus de ces deux technologies principales (RFID et RCSFs), on trouve également d'autres technologies qui contribuent à la concrétisation du principe de l'Internet des objets.

On parle alors des systèmes embarqués et la nanotechnologie (rétrécissement et incorporation des capteurs et autres dispositifs miniatures dans les objets à faire connecter à Internet), comme montré dans la figure suivante [28].

2.10 Les obstacles qui freinent l'IoT et les solutions envisageables

La progression de l'IoT se voit limitée par plusieurs obstacles, notamment la pénurie d'adresses IPv4, la difficulté d'alimenter les capteurs, la confidentialité des utilisateurs et la définition de normes. [29]

2.10.1 Le déploiement du protocole IPv6

L'IPv4 peut attribuer un nombre maximal de 232 adresses, ce nombre étant atteint en 2010, même si cela n'a pas eu d'incidence sur le grand public mais l'accroissement du taux des capteurs qui dépassera les milliards probablement, sachant que chaque capteur devra avoir sa propre adresse IP a fait en sorte que l'évolution de l'IoT pourrait s'en trouver ralenti. Avec l'apparition de l'IPv6, la gestion des réseaux est devenue plus facile grâce à des configurations automatiques et les systèmes de sécurité améliorés.

2.10.2 L'alimentation des capteurs

Pour que l'IoT puisse démontrer tout son potentiel, les capteurs devront être autosuffisants. Sinon, on devait changer les batteries de milliards d'appareils déployés aux quatre coins de la planète et même dans l'espace, cela serait évidemment impossible, nous devons donc trouver un moyen pour générer de l'électricité en puisant dans l'environnement, par exemple en utilisant les vibrations, la lumière et les courants d'air. D'ailleurs, des scientifiques ont annoncé la création d'un nano générateur, il s'agit d'une puce flexible capable de générer de l'électricité à partir de mouvements corporels tels qu'un pincement de doigt. [28]

2.10.3 Confidentialité des utilisateurs

Le piratage informatique sera un problème majeur, L'IoT devrait croître de plus de 12 milliards d'appareils en 2016 et 50 billions en 2020. Chaque appareil est un point d'accès potentiel pour une attaque du réseau par les pirates. Dans une enquête faite par l'organisation Forester, partout

dans le monde, 47 Pour ce qui est de la confidentialité, en robotique par exemple et ses diverses utilities mettent à nu la vie privée de l'individu et ses pensées les plus profondes, ce qui peut être considéré comme une violation de la vie privée des personnes.

2.10.4 Les normes déployées et solutions proposées

Des progrès appréciables ont déjà été accomplis dans le domaine des normes, notamment dans l'aspect de la sécurité et de la confidentialité.

De nombreux organismes contribuent au développement de la technologie IPv6 afin de garantir son acheminement sur différents types de réseaux.

Enfin, les obstacles et les défis ne sont pas insurmontables. Vu les bénéfices que promet l'IoT, nous trouverons les moyens de résoudre ces problèmes, ce n'est qu'une question de temps.

Actuellement l'IoT est dans une étape qui consiste à relier divers réseaux et à les faire fonctionner ensemble en respectant des normes. À cette fin, les entreprises, les administrations publiques, les organismes de normalisation et les universitaires devront conjuguer leurs efforts pour atteindre l'objectif commun.

Ensuite, pour que le grand public adopte l'IoT, les prestataires de services devront proposer des applications capables d'améliorer sensiblement la vie des gens et ne doivent pas être restreintes qu'au secteur des technologies. De très nombreux équipements ou produits intégreront alors ces technologies tels que les matériels médicaux, les systèmes robotiques, l'agriculture, l'automobile, les transports, la distribution d'eau, de gaz ou d'électricité, c'est ainsi que l'IoT poursuivra sa progression. [28]

2.11 Conclusion

Il est évident que les applications des IoT deviennent de plus en plus prépondérantes. Dans ce chapitre nous avons délibérément choisi des définitions simples concernant l'internet des objets et nous avons décrit son architecture et fonctionnement ensuite nous avons cité ses technologies et à la fin nous avons cité brièvement les domaines d'application de l'internet des objets.

Chapitre 3

Le protocole de routage hiérarchique leach

3.1 Introduction

Les réseaux de capteurs sont fortement contraints en termes de ressources énergétiques. Actuellement, la plus grande partie des travaux de recherches se focalise sur le prolongement de la durée de vie du réseau en optimisant la consommation de l'énergie des capteurs. Le clustering a été proposé comme une approche de routage qui contribue, non seulement à la réduction de la consommation de l'énergie, mais aussi à diminuer le nombre de messages dans le réseau ainsi que l'optimisation de l'utilisation de la bande passante.

Les protocoles de routage hiérarchique et de collecte de données impliquent une organisation en cluster des nœuds de capteurs afin que la fusion et l'agrégation de données soient possibles, conduisant à des économies d'énergie significatives.

Dans la structure de réseau hiérarchique, chaque cluster a un chef de cluster, également appelé tête de cluster (CH) et effectue généralement les tâches spéciales (fusion et agrégation) et plusieurs nœuds de capteurs communs comme membres.

Le processus de formation des clusters conduit finalement à une hiérarchie à deux niveaux où les nœuds CH constituent le niveau supérieur et les nœuds membres du cluster, le niveau inférieur [31].

Dans ce chapitre, nous nous intéressons particulièrement à la classe des protocoles hiérarchiques en présentant une approche qui est dérivée de ce type de protocoles, les différentes caractéristiques de ces derniers et enfin, nous exposons le protocole LEACH.

3.2 Notions de base

La manière de déployer les nœuds capteurs en réseau affecte profondément l'application en question. Le déploiement du réseau pour une application donnée peut être fait de manière aléatoire et non uniforme ou manuellement dans le champ de captage [32].

Dans le cas d'une topologie non uniforme, le Clustering représente une méthode efficace qui permet de mieux gérer le trafic dans le réseau et diminuer le nombre de messages échangés entre les nœuds.

3.2.1 Définition

Généralement, les RCSFs sont déployés de manière très dense dans des environnements difficiles où l'organisation manuelle du réseau n'est pas envisageable d'où la nécessité de trouver un schéma d'organisations du réseau. Parmi les approches proposées à cet effet, nous citons le clustering. Cette méthode a été présentée comme un moyen performant pour augmenter la mise à l'échelle du réseau et améliorer sa durée de vie [31].

Les algorithmes de clustering divisent le réseau en groupes de nœuds nommés clusters afin de relayer les données captées de manière efficace vers la station de base [31].

Chaque cluster est représenté par un chef de cluster ou cluster-head CH. Chaque nœud dans un cluster envoie ses données vers le cluster-head.

Le rôle de ce dernier consiste à relier les données reçues à partir des membres de son cluster directement vers la station de base ou à travers des CHs intermédiaires. Le rôle d'un CH ne consiste pas seulement à relayer les données, mais aussi, à effectuer certains

traitements sur elles tels l'agrégation des paquets reçus à partir des nœuds du cluster.

Cette opération permet de réduire considérablement le nombre de paquets transmis vers la station de base et diminue aussi les interactions entre les CHs. Ce mécanisme permet d'économiser l'énergie des nœuds et prolonger la durée de vie du réseau puisque les nœuds effectuent des transmissions sur de courtes distances vers leur CH et que le nombre de paquets redondants est abaissé ce qui optimise l'utilisation du medium de transmission.

3.2.2 Nœud membre

Le nœud capteur est le composant noyau d'un RCSF. Les nœuds senseurs peuvent prendre différents rôles dans un réseau, tel que la sensation, le stockage des données, le routage ou le traitement des données. Les tâches d'un capteur dépendent du rôle qui lui est affecté par le protocole de clustering.

3.2.3 Cluster

Le cluster constitue l'unité organisationnelle pour les RCSFs. Le déploiement très dense de ces réseaux nécessite leur division en groupes de nœuds afin de faciliter les tâches de communication et répondre aux différentes contraintes.

3.2.4 Cluster head

Les cluster-heads (CH) sont les représentants des clusters. Ils sont responsables de la coordination entre les nœuds à l'intérieur de son cluster et l'agrégation de leurs données ainsi que les communications avec d'autres cluster-heads [33]. Chaque cluster est guidé par un seul CH ou deux, où le deuxième est prévu pour remplacer le CH principale en cas de panne.

3.2.5 Station de base

La station de base est dotée de ressources énergétiques, de capacité de traitement et de stockages très importantes. Elle représente le premier niveau dans la hiérarchie d'un RCSF. Elle fournit une liaison entre le réseau de senseurs et l'utilisateur final. Les données sont traitées et sauvegardées au niveau de la SB selon le type de l'application et les besoins de l'utilisateur final.

3.2.6 Utilisateur final

Les données générées par un réseau de capteurs sont utilisées par une large gamme d'applications [34].

Ces données sont accessibles via internet en utilisant un PDA ou un ordinateur bureau. L'utilisateur envoie des requêtes qui seront diffusées dans le réseau afin de recueillir les données d'intérêt.

3.3 Approche dérivé de protocole hiérarchique

Dans les réseaux hiérarchiques, des nœuds capteurs sont construits et gérés par les nœuds maîtres appelés CHs.

Il existe deux configurations possibles pour ces ensembles construits.

Dans la première configuration, les membres d'un ensemble ne communiquent qu'avec leurs CH, en obtenant ainsi un modèle basé sur les groupes. [31]

Dans la seconde, ils construisent des listes et les membres d'un ensemble utilisent d'autres nœuds comme passerelles appelés leaders pour transmettre leurs données à leurs chefs en obtenant ainsi un modèle basé sur les chaînes comme le montre la (Figure 25)

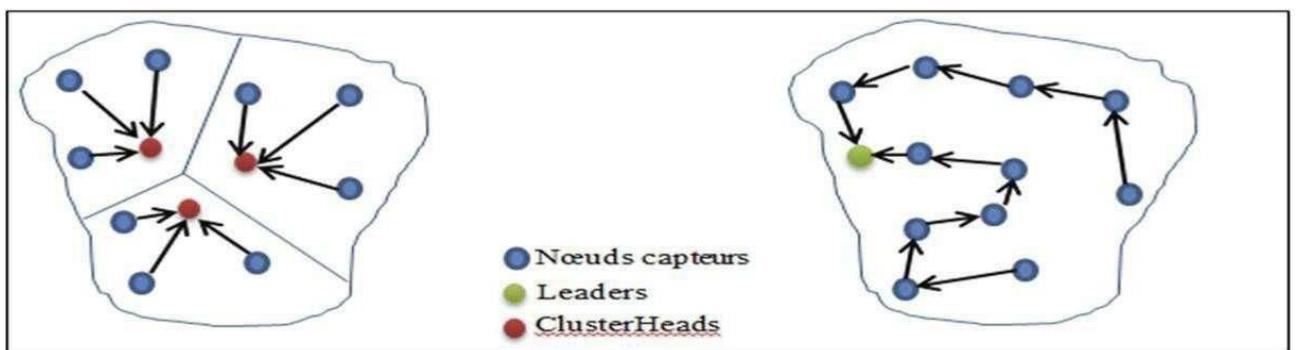


Figure 26: Configurations pour les RCSF découpés [31]

3.4 Caractéristiques d'un protocole hiérarchique

Un protocole de routage hiérarchique doit spécifier plusieurs tâches que nous pouvons classer selon:

3.4.1 L'algorithme de clustering utilisé

Plusieurs algorithmes sont proposés dans la littérature, un classement en trois types de ces algorithmes est proposé dans [35] en se basant sur le type d'algorithme de contrôle exécuté :

- **Centralisé:** l'algorithme est exécuté sur le nœud qui a une vue globale du réseau, généralement, au niveau du sink. Ce type d'algorithme est peu utilisé à cause de l'over-head c'est-à-dire, le surcoût, généré suite aux transmissions exécutées pour pouvoir garder la vue globale du réseau et la dynamique de la topologie qui fait que cette vue soit très variable. La vue obtenue par un nœud peut ne plus être valide à l'instant où le nœud la récupère à cause de pannes et des imprévisibles déconnexions. [35]
- **Distribué:** l'algorithme est exécuté en coopération au niveau de chaque nœud du réseau. La synchronisation des tâches de contrôle est obtenue en échangeant des messages de contrôle. [35] Ce type d'algorithme minimise la communication relative à la sauvegarde de la vue globale du réseau, car chaque nœud décide, indépendamment des autres, son rôle et fait connaître sa décision par l'envoi de message. Cependant, l'efficacité de ces algorithmes dépend de la taille et du nombre de ces messages de synchronisation.
- **Géographique:** l'algorithme de la tâche de contrôle à exécuter par un nœud dépend de sa position géographique.

3.4.2 Election des cluster-heads:

Un cluster-head peut être sélectionné aléatoirement parmi l'ensemble des nœuds capteurs déployés, ou bien choisit suivant une métrique telle que le plus grand/petit ID dans son voisinage, le degré de connectivité, la puissance de transmission, l'énergie résiduelle ou la mobilité des nœuds ou bien un poids qui représente une combinaison de quelques métriques. [36]

Il est essentiel d'attribuer le rôle cluster-head à un nouveau nœud régulièrement afin de ne pas charger certains nœuds de plus de tâches que les autres et dégrader leur niveau d'énergie.

Il y a plusieurs possibilités pour la réélection d'un nouveau cluster-head. Il y a des techniques qui utilisent l'expiration d'un temporisateur pour déclencher le processus de clustering, ce qui permet la sélection régulière de nouveaux cluster-heads.

D'autres techniques utilisent un paramètre dynamique (l'énergie résiduelle, la mobilité) pour déclencher l'algorithme de désignation d'un nouveau cluster-head. Par exemple un cluster head pourrait déclencher le processus d'élection dans sa région locale si l'énergie de sa batterie va en dessous d'un seuil prédéfini.

Il est évident que la réélection plus fréquente des cluster-heads ait comme conséquences un "over-head" plus important et parfois une surcharge et interruption du réseau, tandis que la réélection moins fréquente peut causer la défaillance de quelques nœuds plus rapidement que d'autres. L'étude de ce compromis est essentielle pour atteindre une durée de vie de réseau optimale. [36]

3.4.3 La nature des clusters générés:

Les algorithmes de Clustering utilisés peuvent générer deux types de cluster: des clusters disjoints et des clusters interconnectés.

- Dans le premier type, un nœud ne peut appartenir qu'à un et un seul cluster à la fois (le cas le plus fréquent), sauf que pour des applications spécifiques telles que le routage inter-cluster, la localisation et la synchronisation des nœuds; les clusters interconnectés sont utilisés.
- Ce type de clustering permet aux nœuds d'appartenir à un ou plusieurs clusters à la fois. [36]

3.4.4 Communication intra-cluster et inter-cluster:

Les nœuds sur les frontières du cluster sont utilisés comme des passerelles pour retransmettre les données entre les cluster-heads, cette approche est adéquate dans les réseaux.

Un objectif important de n'importe quelle technique de clustering est le maintien de la connectivité dans le réseau.

Les nœuds membres d'un cluster communiquent avec leurs cluster-heads, et à leur tour les cluster-heads communiquent entre eux ou directement avec la station de base pour livrer les informations prélevées par les nœuds capteurs.

Pour les communications intra-cluster, un membre du cluster communique avec son cluster-head directement ou bien en multi-sauts. Pour la communication inter-cluster, deux approches ont été adoptées pour maintenir la connectivité:

- Les nœuds sur les frontières du cluster sont utilisés comme des passerelles pour retransmettre les données entre les cluster-heads (Figure 26) cette approche est adéquate dans les réseaux qui utilisent une puissance de transmission fixe . La densité du réseau doit être suffisamment haute pour assurer qu'assez de passerelles soient présentes au niveau des zones d'intersection entre les clusters. [36]

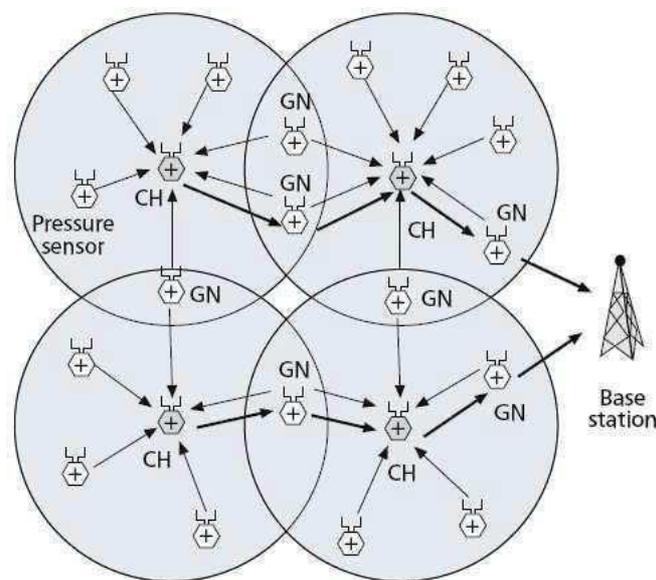


Figure 27: Communication inter cluster via des nœuds passerelles. [36]

- Dans une autre approche le recouvrement des cluster-heads constitue l'infrastructure de routage où les communications inter-cluster sont assurées via les cluster-heads seulement (Figure 27).

Un avantage de cette approche est qu'elle permet à tout nœud non clusterhead de passer en mode sommeil (sleep) dès qu'il n'est pas émetteur ou récepteur. [36]

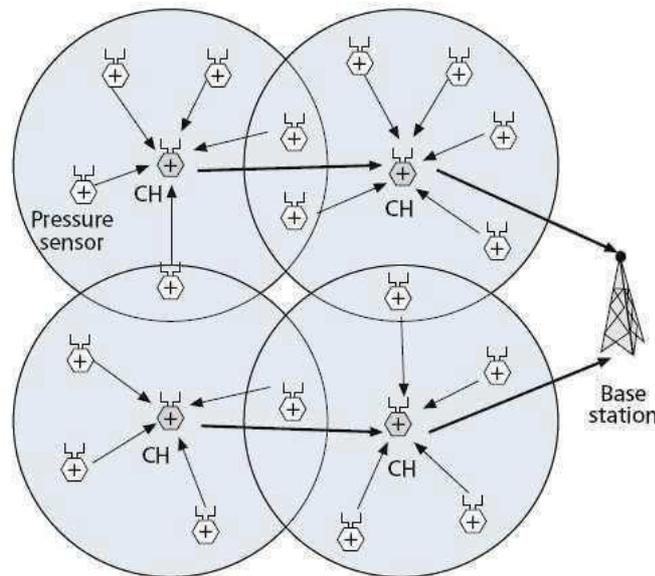


Figure 28: Communication inter cluster via des cluster-heads.[36]

3.4.5 Le niveau d'agrégation de données

Selon le type des capteurs utilisés, l'agrégation de données peut se faire à chaque nœud du réseau ou bien uniquement au niveau des CHs.

L'agrégation des données

permet de réduire la taille des données échangées entre les nœuds, et par conséquent réduire l'énergie dépensée. Plusieurs techniques d'agrégation sont utilisées à savoir des fonctions élémentaires comme la somme, la moyenne, l'écart type . . . etc. ou bien des fonctions plus complexes spécifiques aux applications utilisées. [36]

3.5 Etude Du Protocole De Clustering LEACH (Low En-ergy Adaptive ClusteringHierarchy)

Le protocole LEACH est l'un des protocoles de routage hiérarchique les plus connus pour les réseaux de capteurs sans fils. Il est considéré comme la référence et l'initiateur de plusieurs protocoles de routage hiérarchique proposé il y a plus de 18 ans.

Ses objectifs principaux se résument dans [37]:

- Augmenter la durée de vie du réseau.
- Diminuer la dissipation d'énergie des nœuds de capteurs.
- Réduisez le nombre de messages de communication.

3.5.1 Architecture de LEACH

LEACH a été proposé pour la réduction de la consommation d'énergie. L'idée est de former des clusters de nœuds de capteurs basés sur les zones où il y a un fort signal reçu, puis utiliser des chef de groupe locaux comme passerelle pour atteindre la destination, comme le montre la figure (29).

Cela permet d'économiser de l'énergie car les transmissions ne sont effectuées que par les chefs de groupes plutôt que par tous les nœuds de capteurs [38]

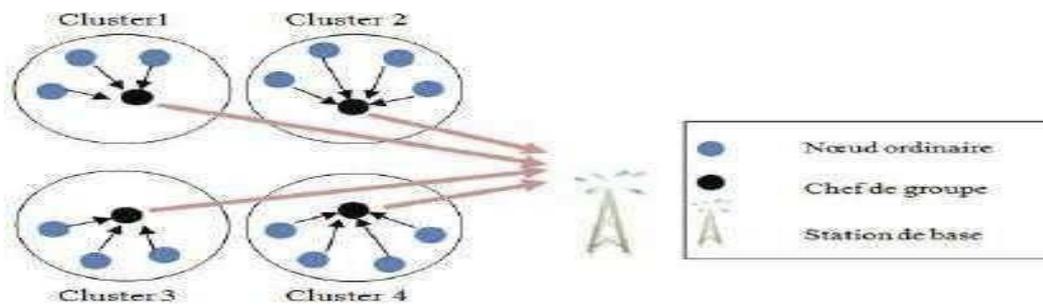


Figure 29: Architecture de LEACH[38]

3.5.2 Protocoles MAC utilisés par LEACH

Pendant son fonctionnement, le protocole LEACH appelle certains schémas du protocole MAC .

Les nœuds doivent avoir une certaine capacité de calcul pour supporter différents protocoles MAC. Comme les RCSF ont des caractéristiques distinctes de tout autre type de réseaux sans fil, les protocoles MAC conçus pour ces derniers ne sont pas toujours applicables dans les RCSF.

Deux versions des protocoles MAC pour l'accès au media sont alors proposées pour les RCSF:

l'accès aléatoire et l'allocation fixe.

- Accès aléatoire

Les schémas à accès aléatoire sont à base de contention. Dans ces derniers, les nœuds qui possèdent des données à transmettre doivent essayer d'obtenir l'autorisation pour l'accès au media tout en réduisant les collisions avec les transmissions des données des autres nœuds. Le schéma d'accès multiple avec surveillance de porteuse CSMA (Carrier Sense Multiple Access) sur lequel se base le protocole LEACH est l'un des schémas d'accès aléatoire [39].

Lorsqu'un nœud veut transmettre un message, il examine le média pour vérifier s'il est libre ou occupé par un autre nœud.

Dans le cas où le media est libre, ce nœud pourra émettre son message afin d'éviter les collisions. Cela dit, des nœuds peuvent émettre des données en même temps, ce qui mène à des collisions. Il est nécessaire donc que celles-ci soient détectées et que la récupération de données soit effectuée et que ces données soient retransmises. Si les retransmissions se passent encore en même temps, d'autres collisions vont se produire.

Une solution à ce problème consiste à introduire un délai aléatoire que chaque nœud attende avant de retransmettre ses données, ce qui réduit la probabilité d'une autre collision [39].

- Allocation fixe: Les schémas à allocation fixe permettent d'allouer pour chaque nœud le media de transmission suivant des intervalles de temps (schéma TDMA) ou un schéma de codage particulier (schéma CDMA).

Étant donné que chaque nœud est attribué en exclusivité à un intervalle, il n'y a presque pas de collisions entre les données.

Toutefois, les schémas à allocation fixe s'avèrent inefficaces lorsque tous les nœuds n'ont pas de données à transmettre. En effet, ces intervalles sont affectés à des nœuds qui n'ont pas besoin de les utiliser [41].

1. TDMA Dans cette technique, la bande passante est utilisée par tous les utilisateurs mais la division se fait sur l'axe de temps. Chaque utilisateur envoie sur un intervalle de temps et en utilisant toute la

bande passante. Les données envoyées par chaque utilisateur sont groupées en rafales pour être envoyés sur des intervalles de temps appelés slots. Le canal se comporte donc comme la succession des slots remplis par des rafales venant des différents utilisateurs. [43]

2. CDMA Dans cette technique [42], chaque utilisateur transmet ses informations sur le canal continûment et en utilisant toute la bande passante. Ceci veut dire qu'il y a interférence entre les différents utilisateurs, mais chaque utilisateur envoie sa propre signature avec ses informations. Cette signature est appelée code (désigné par π_i) et elle est combinée avec les informations utiles avant de tout transmettre.

3.5.3 Fonctionnement de LEACH

Le protocole LEACH utilise le principe de clustering en divisant le réseau en deux niveaux [37] :

les cluster-heads et les nœuds membres. Le protocole se déroule en round (ou tour). Chaque round se compose de deux phases : construction et communication.

3.5.4 Phase de construction (setup phase)

Divisée en trois sous phases : La sélection de CH, formation de cluster et assignation de TDMA (Time- division multiple Access).

1. La sélection de CH

Dans un premier temps, lors de la création des clusters, chaque nœud décide s'il devient ou non chef de cluster pour le cycle en cours.

Cette décision est basée sur le pourcentage suggéré de cluster Head pour le réseau (déterminé a priori) et le nombre de fois que le nœud a été CH jusqu'à présent. Chaque nœud choisit un nombre aléatoire entre 0 et 1, si le nombre est inférieur à un seuil $T(S_i)$ le nœud devient CH pour le tour courant. Le seuil est défini comme suit:

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

Figure 30: formule de sélection CH[37]

ou:

- p : pourcentage souhaité de nœud à devenir un CH.
- r : numéro de tour courant.
- G : l'ensemble des nœuds qui n'ont pas été élus CH pendant les $1/p$ tours précédents. Les auteurs de protocole ont démontré que :
 - Chaque nœud sera CH à un moment donné au cours de $1/p$ tour.
 - Au cours du tour 0 ($r = 0$), tous les nœuds peuvent participer dans le processus d'élection de CH.
 - Les nœuds CH au cours du tour 0 ne peuvent pas être CH pour les $1/p - 1$ prochains tours (Figure 31)

2. Formation de cluster

A la fin de processus de sélection, chaque CH émet un message de notification afin de permettre aux nœuds non CH de décider l'appartenance ou non à son cluster [40]. La décision se fait sur la base de la force du signal reçu (RSSI) [37], le CH avec le signal le plus fort sera choisi.

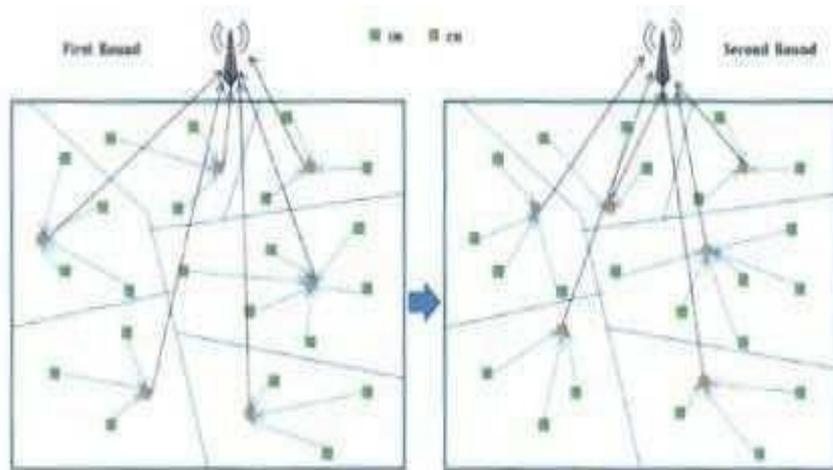


Figure 31: Protocole LEACH avec deux tours different [37]

3. Assignation de TDMA

Chaque CH crée un planning de Schedule TDMA et le transmet vers tous ses membres. Ce Schedule définit le temps (slot) réservé pour chaque membre de cluster pour transmettre ses données au CH.

3.5.5 Phase de communication (steady phase)

En utilisant le Schedule TDMA, les membres émettent leurs données captées pendant leurs propres slots. Cela leur permet d'éteindre leur interface de communication en dehors de leurs slots réservés, afin d'économiser leur énergie. Ces informations sont ensuite agrégées, pour être transmises à la station de base.

Cette communication, entre un cluster-head et la station de base, se fait d'une manière directe, i.e:

le cluster-head adapte son émetteur radio afin d'atteindre directement la station de base (Figure 32)

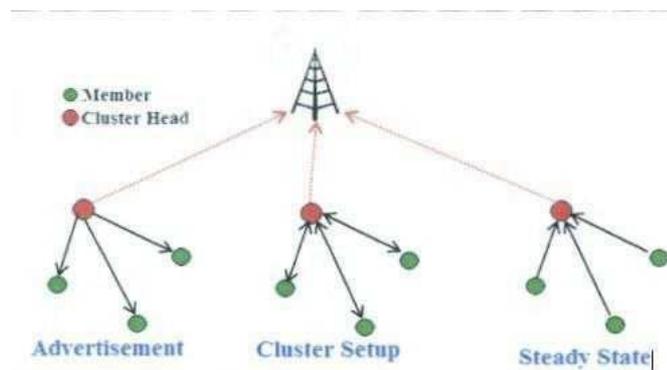


Figure 32: Les différentes phases de LEACH

[37]

3.5.6 Interférences entre clusters

Afin de réduire les interférences entre les signaux émis par les membres de différents clusters, chaque CH choisit aléatoirement un code dans une liste de codes de propagation CDMA et informe ses membres de son cluster afin de l'utiliser dans leurs transmissions. Chaque CH reconnaît les signaux de ses membres à travers ces codes.

3.5.7 Avantages de LEACH

Bien que LEACH économise la consommation énergie, LEACH a plusieurs avantages parmi les nous citons [43] :

- Le concept de clustering utilisé par le protocole LEACH applique moins de communication entre les nœuds de capteurs et le BS, ce qui augmente la durée de vie du réseau.
- La propriété de distributivité du rôle de CH entre les membres d'un cluster.
- Il ne requiert pas d'information sur la localisation des nœuds capteurs dans le réseau afin de former les groupes.
- L'utilisation des techniques TDMA/CDMA permet d'avoir une hiérarchie et de réaliser des clusterings sur plusieurs niveaux. Ces derniers permettent d'économiser l'avantage d'énergie.

- La consommation d'énergie est partagée sur l'ensemble des nœuds prolongeant ainsi la durée de vie du réseau.

3.5.8 Inconvénients de LEACH

Parmi les inconvénients présentés par LEACH on cite [43] :

- Les CHs ne sont pas uniformément distribués dans le cluster, ce qui résulte l'isolement de certains nœuds s'ils n'ont pas de CH dans leurs voisinages.

on ne peut pas avoir des CHs durant un round si la probabilité

- générée est supérieure à $T(n)$.
- les CHs les plus éloignés de la station de base meurent rapidement par rapport à ceux qui sont proches de la station de base.
- Le protocole LEACH n'est pas sécurisé. Aucun mécanisme de sécurité n'est intégré dans ce protocole. Ainsi, il est très vulnérable même aux simples attaques. Donc, un attaquant peut facilement monopoliser le réseau et induire à son dysfonctionnement.
- Les CH ne sont pas uniformément distribués dans le cluster, ce qui signifie que les CH peuvent se situer sur les bords du cluster. Par conséquent, certains nœuds n'auront pas de CH dans leurs voisinages.
- Il n'y a pas de communication intergroupe dans le réseau car les

CH communiquent directement avec la station de base. Ce processus nécessite une grande gamme de puissance de transmission dans le réseau. C'est pour cela que LEACH n'est pas le mieux adapté pour les réseaux de grande envergure qui requièrent une communication à un seul saut avec la station de base.

3.6 Variantes de LEACH

Plusieurs variantes de LEACH ont été présentés dans la littérature pour améliorer les performances de LEACH parmi ces protocoles on peut citer:

3.6.1. LEACH-F

Dans LEACH-F, après la création des clusters, chacun est arrangé et fixé, il n'y a pas de configuration au début de chaque round. Essentiellement, le même algorithme central de formation de clusters est utilisé pour déterminer les clusters (même principe que LEACH-C, décrit ci-dessous). Dans LEACH-F, il n'est pas possible d'ajouter de nouveaux nœuds au système ou d'ajuster leur comportement en fonction des nœuds mourants. De plus, la mobilité des nœuds ne tient pas dans LEACH-F, seule la rotation du cluster Head parmi les nœuds du cluster peut être effectuée.

En fait, LEACH-F peut mener ou non à des économies d'énergie. Dans LEACH-F, les concepts de cluster stable et de cluster rotatif sont utilisés, et tout cluster formé est préservé pendant toute la durée de vie du réseau pour éviter le processus de reclustering.[31]

3.6.2 LEACH-C

Les caractéristiques fondamentales de LEACH-C se basent sur un Algorithme de clustering centralisé.

La configuration de LEACH-C consiste à envoyer l'information de l'emplacement et du niveau d'énergie actuels de chaque nœud à la station de base. En fonctionnant de l'ensemble des informations du réseau, la station de base peut produire de meilleurs clusters qui nécessitent moins d'énergie pour toute transmission de données [45].

GPS ou une autre technique de localisation est nécessaire. La station de base doit s'assurer que seuls les nœuds disposant d'une énergie suffisante sont autorisés à contribuer au choix du cluster Head. Par conséquent, la station de base diffuse l'information à tous les nœuds du réseau.[31]

3.6.3 LEACH-B

L'algorithme LEACH utilise des algorithmes décentralisés pour la formation de clusters. Dans la variante LEACH-B, le nœud de cluster reconnaît uniquement sa position et celle du nœud de destination. Les étapes de LEACH-B commencent par la sélection des têtes de cluster, puis la formation du cluster et la transmission des données avec accès multiples. [31]

3.6.4 Energy-LEACH (E-LEACH)

Cette méthode aide à la sélection du Cluster Head en faisant de l'énergie résiduelle des nœuds un élément vital. Cette technique détermine si ces nœuds se transformeront en tête de cluster lors du roue suivant. De plus, E-LEACH améliore le processus d'élection du nœud principal

du cluster [19]. Par conséquent, il se caractérise par la production d'un réseau avec une durée de vie plus longue et des économies d'énergie plus importantes que le protocole LEACH.[31]

3.6.5 MS-LEACH

Cette catégorie combine le LEACH à sauts multiples et le LEACH à sauts simples. En raison de l'identification de la valeur critique pour la taille de la zone du cluster, tout problème lié à la mise en cluster de sauts multiples et de sauts simples sera résolu. Les résultats de simulation pour MS-LEACH révèlent une amélioration de 200

3.6.6 MH-LEACH

Cette variante démontre une nouvelle approche de communication d'un saut unique à plusieurs sauts entre le Cluster-Head et la station de base. Dans cette méthode, le CH communiquera directement avec le noeud du puits, quelle que soit la distance mesurée. En fait, une plus grande distance est significative car la puissance consommée sera plus grande. Par conséquent, MH-LEACH adoptera le chemin optimal entre CH et la station de base grâce à la communication à sauts multiples. [31]

3.6.7 Multi-hop LEACH

Cette approche illustre le fait que si le diamètre du réseau augmente, la distance entre la tête du cluster et la station de base augmentera considérablement. En fait, un tel phénomène ne favorise aucune communication efficace. Ainsi, une communication multi-hop sera réalisée afin de réduire la consommation d'énergie du réseau. [31]

3.6.8 K-LEACH. Le protocole K-LEACH

est basé sur l'algorithme de clustering de K- K medoids pour obtenir un clustering extrêmement uniforme de nœuds. Il en résulte un très bon choix de Cluster Heads. Il est bien connu que la rétention d'énergie d'un WSN dépend en grande partie du regroupement ou du clustering des nœuds de transmission et de réception dans l'étape de la mise en place du premier cycle de communication. K-LEACH considère la distance minimale à partir du centre du cluster comme un critère primaire pour la sélection des nœuds en tant que CH ; pour la procédure de sélection des CH à partir du second tour, K-LEACH est divisé en différentes étapes, et chaque étape comprend une phase de formation du cluster et une phase de stabilisation. [31]

3.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons parlé du routage hiérarchique qui vise à rendre les protocoles plus favorables au passage à l'échelle tout en restant plus économique en consommation d'énergie. Ainsi, nous avons identifié le protocole LEACH et ses variantes,

Chapitre 4

Implémentation

et résultats

4.1 Introduction

Dans le domaine des réseaux de capteurs sans fil, la simulation est une étape incontournable lorsqu'on veut tester et évaluer des modèles d'application ou des protocoles de communication. L'expérimentation réelle s'avère quelques fois très coûteuse. De plus, la simulation offre un gain considérable en temps, une flexibilité en permettant la variation des paramètres et une meilleure visualisation des résultats sous forme de graphes faciles à analyser et interpréter. Cependant, la simulation ne peut pas remplacer l'implémentation réelle. La validité du modèle simulé ne garantit pas le bon déroulement de son implémentation réelle. Des erreurs de programmation peuvent toujours survenir au moment de l'implémentation du simulateur. L'étape de la simulation doit être suivie par une implémentation physique pour vérifier le comportement réel des modèles. Dans ce chapitre on va présenter l'analyse des performances des algorithmes (LEACH).

4.2 Objectif

L'objectif principal de notre travail est simuler le protocole de routage hiérarchique LEACH.

L'un des problèmes de LEACH est que c'est uniquement le CH qui envoie les données à la station de base, donc, il n'y aura pas de données envoyées de CH à la station de base si ce dernier cesse de fonctionner.

Et aussi, Au niveau du protocole LEACH, la durée de vie du réseau est faible, parce que dans LEACH, les noeuds s'épuisent plus rapidement vu la distance entre les CHs et leurs membres d'un côté et la distance entre les CHs et la station de base, qui induisent un nombre important de messages de contrôle vont se faire à chaque

nouveau round impliquant une consommation d'énergie supplémentaire.

Dans LEACH, l'occurrence d'une panne permet la perte des données car c'est le Cluster Head qui envoie les données qu'il a reçu de la part de ces membres à la station de base.

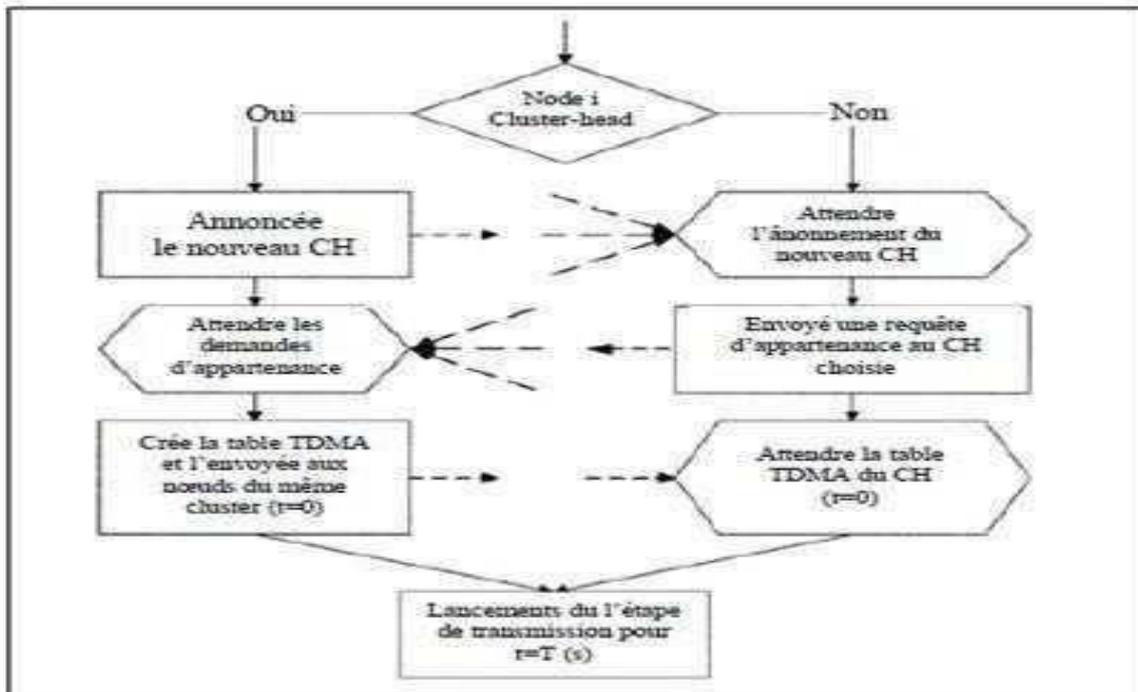


Figure 33: Opération de l'étape d'initialisation de LEACH

4.3 Environnement de développement

4.3.1 Eclipse IDE

Eclipse est un IDE, Integrated Development Environment (EDI environnement de développement intégré en français), c'est-à-dire un logiciel qui simplifie la programmation en proposant un certain nombre de raccourcis et d'aide à la programmation. Il est développé par IBM, est gratuit et disponible pour la plupart des systèmes d'exploitation, L'IDE NetBeans s'appuie sur cette plateforme. [45]

4.3.2 Langage de programmation (Java)

Java est un langage de programmation et une plate-forme informatique qui ont été créés par Sun Microsystems en 1995. Beaucoup d'applications et de sites Web ne fonctionnent pas si Java n'est pas installé et leur nombre ne cesse de croître chaque jour. Java est rapide, sécurisé et fiable. Des ordinateurs portables aux centres de données; des consoles de jeux aux super ordinateurs Scientifiques, des téléphones portables à Internet, la technologie Java est présente sur tous les fronts. [45]

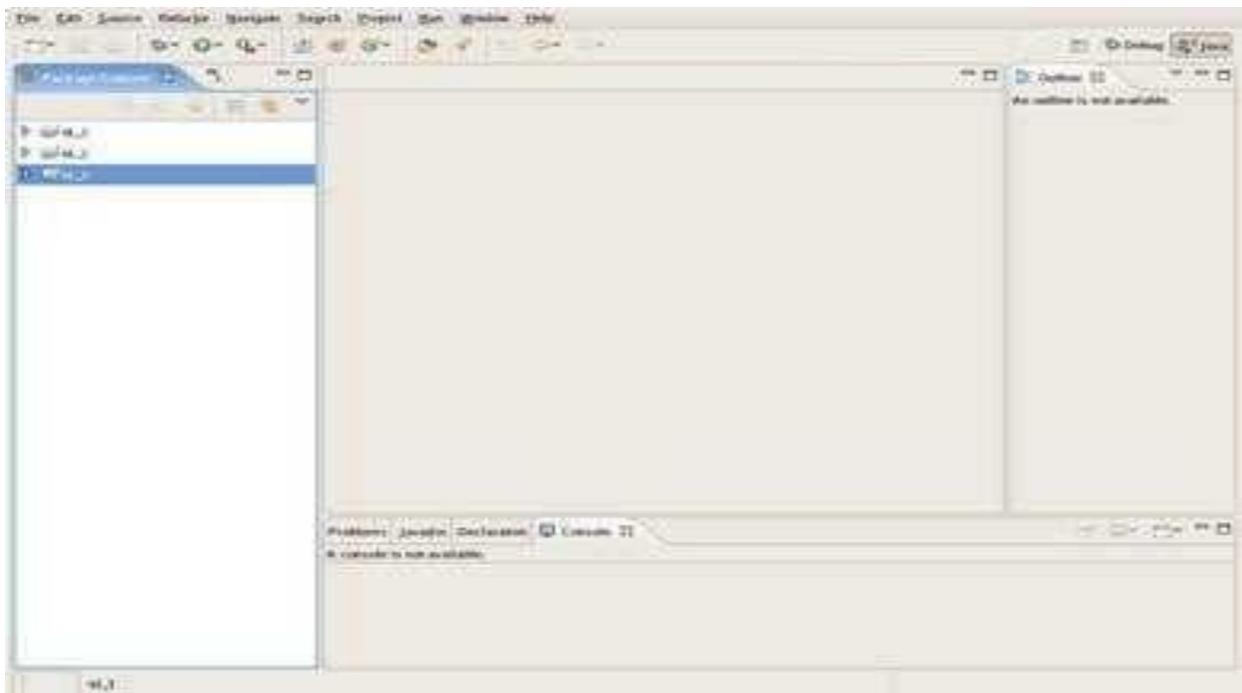


Figure 34: fenêtre de programmation Sur Eclipse

C'est un langage de programmation à usage général, évolué et orienté objet dont la syntaxe est proche du C.

Ses caractéristiques ainsi que la richesse de son écosystème et de sa communauté lui ont permis d'être très largement utilisé pour le développement d'applications de types très disparates. Java est notamment largement utilisée pour le développement d'applications d'entreprises et mobiles.

4.3.3 Algorithme du protocole LEACH

Soit $x = x_1, x_2, \dots, x_n$ le nombre de capteurs déployés dans le réseau.

Étape 1: Calculez l'énergie nécessaire pour que le nœud agisse en tant que chef de cluster.

Étape 2: Tout d'abord, sélectionnez au hasard le chef de cluster parmi les nœuds présents

Étape 3: Étape suivante, calculez itérativement la distance euclidienne entre les nœuds.

Étape 4: Sélectionnez maintenant les nœuds ayant la même distance euclidienne

Étape 5: Après cela, vérifiez le niveau d'énergie du nœud, qui devrait être capable de faire le travail de chef de cluster.

Étape 6: S'il a de l'énergie capable d'agir comme chef de groupe, élisez-le comme chef de groupe c'est-à-dire que $E \geq E_{CH}$

Étape 7: Sinon, rejetez-le.

Étape 8: Ajoutez maintenant les nœuds à ce chef de cluster particulier pour un ensemble particulier de tours.

Étape 9: Nombre de rounds terminés ou si le chef de cluster met un terme mortel au processus.

Étape 10: Encore une fois, envoyez un message de demande pour mettre à jour la distance et le niveau d'énergie des nœuds.

Étape 11: Répétez l'étape 3 jusqu'à ce que tous les nœuds soient morts.

4.4 Implémentation de l'application

4.4.1 Interfaces de l'application

Nous allons présenter l'interface d'accueil de notre application, Cette page offre un aperçu de l'application.



Figure 35: Interface d'accueil d'application

4.4.2 Paramètre de simulation

- 1 La station de base est fixe, elle n'a pas de contrainte d'énergie.
- 2 Tous les nœuds déployés ont une énergie et une puissance limitée et sont homogène.
- 3 La puissance de traitement des données est très faible par rapport à la puissance nécessaire pour transmettre et recevoir des données.

4.4.3 Simulation de protocole LEACH

On va simuler le protocole LEACH au réseau de 300 noeuds et on va consulter le résultat qui contient la consommation d'énergie et les nœuds .

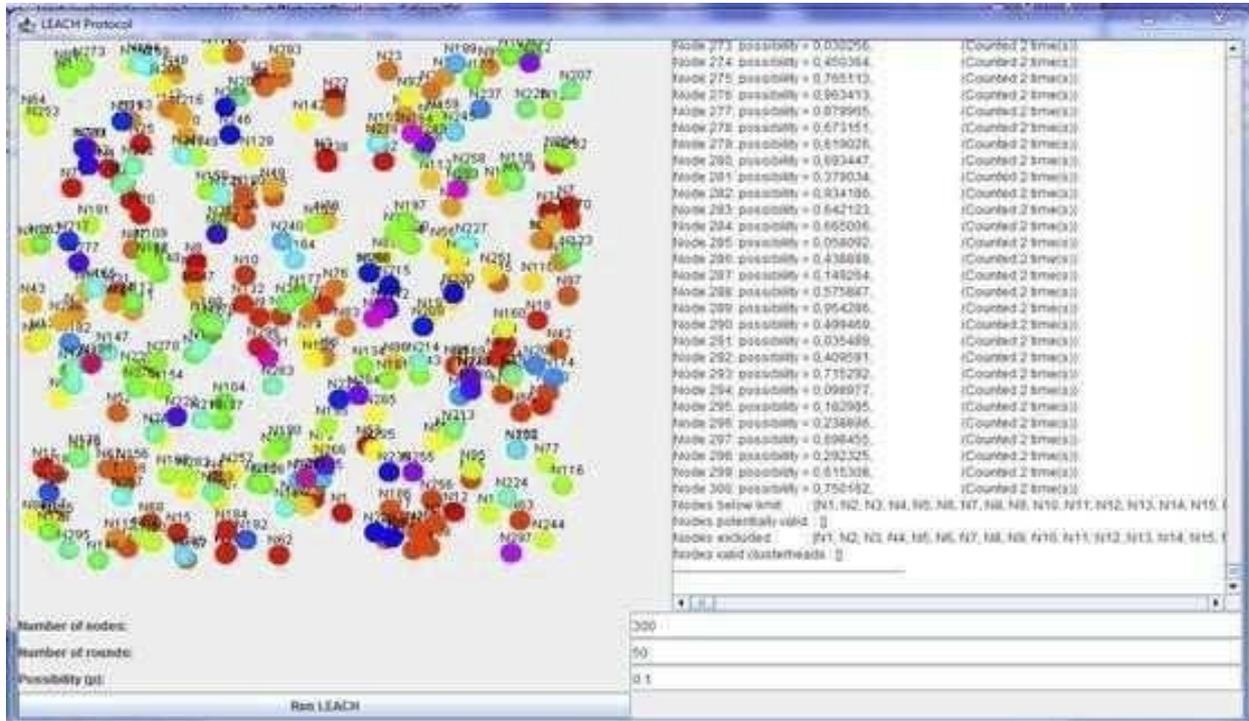


Figure 36: Un RCSF de 300 nœuds après RUN LEACH

4.5 Structure de fichier

4.5.1 Principal Main ()

```
package com.examples.leach;

import javax.swing.SwingUtilities;

public class App
{
    public static void main(String[] args) {
        SwingUtilities.invokeLater(new Runnable() {
            @Override
            public void run() {
                LeachSimulationGUI leach = new LeachSimulationGUI();
                leach.setVisible(true);
            }
        });
    }
}
```

Figure 37: Principal MAin

4.5.2 Simulation de leach ()

```
public LeachSimulation(int nodes, int rounds, double possibility) {
    this.nodes = nodes;
    this.rounds = rounds;
    this.possibility = possibility;
    this.currentRound = 0;
    this.nodeList = new ArrayList<>(rounds);

    // Initialize array with random and default values
    for (int r = 0; r < rounds; r++) {
        List<nodeDetails> nodeDetailsPerRound = new ArrayList<>(nodes);
        for (int node = 0; node < nodes; node++) {
            nodeDetails current = new nodeDetails();
            current.setPossibility(ThreadLocalRandom.current().nextDouble(0, 1));
        }
    }
}
```

Figure 38: phase de simulation leach

4.6 les simulations avec différents scénario:

4.6.1 Simulation de 20 Nœuds:

Les paramètres suivantes: Nombres de nœuds =20. Nombre de tours =10, p=0.9

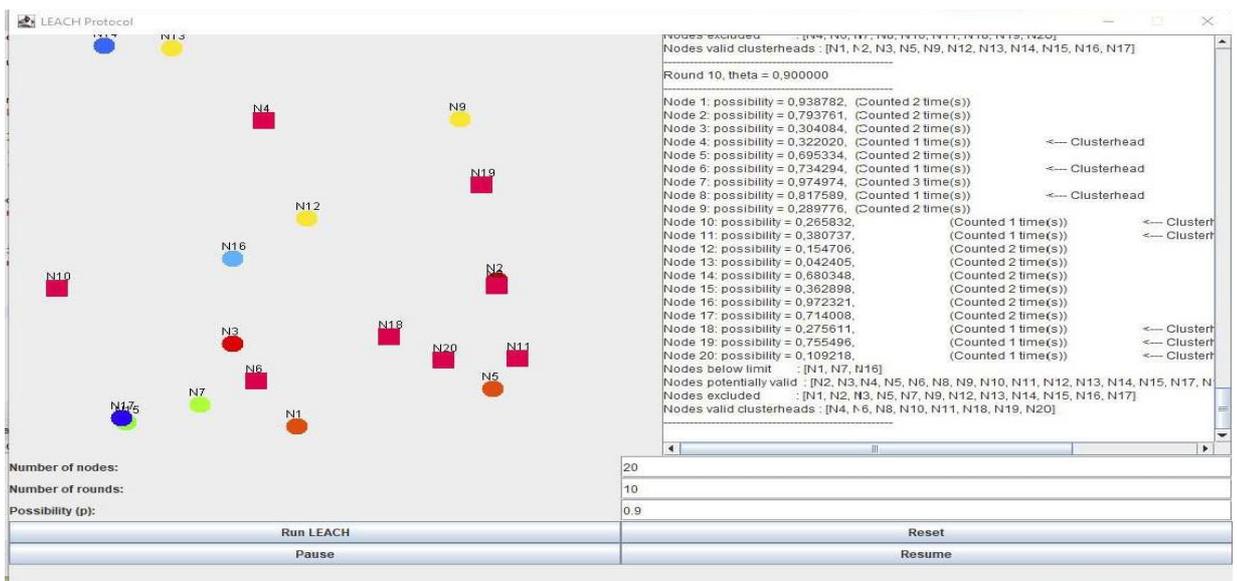


Figure 39: simulation de 20 nœuds

- Nous disposons de 20 nœuds et que nous utilisons une probabilité de 0,9 pour sélectionner les cluster heads dans le protocole LEACH, cela signifie que chaque nœud individuel a une chance de 90 % d'être choisie comme cluster head.
- en appliquant cette probabilité à 20 nœuds, nous pouvons calculer approximativement combien de nœuds seront sélectionnés comme cluster-heads.
- Nombre de nœuds sélectionnés comme cluster heads = Nombre total de nœuds * Probabilité de sélection. Cela nous donnera: Nombre de nœuds sélectionnés comme cluster heads = $20 * 0,9 = 18$
- Ainsi, avec une probabilité de 0,9, nous pouvons attendre à ce que 18 des 20 nœuds soient sélectionnés comme cluster heads dans notre réseau.

4.6.2 Simulation de 40 Nœuds:

Les paramètres suivantes:

Nombre de nœuds = 40, nombre de tours = 10, $p=0.5$

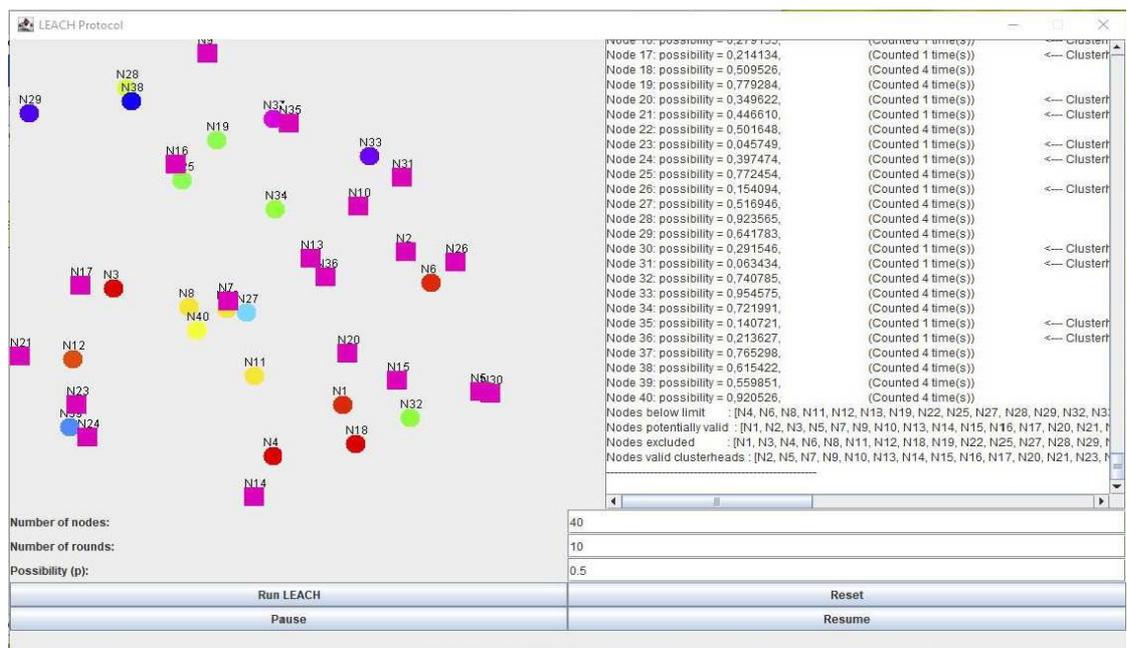


Figure 40: simulation de 40 nœuds

- Nous avons 40 nœuds et nous utilisons une probabilité de 0,5 pour sélectionner les cluster heads dans le protocole LEACH, cela signifie que chaque nœud individuel a une chance de 50 % d'être choisi comme cluster head.
- Pour calculer approximativement le nombre de nœuds qui seront sélectionnés comme cluster heads, multipliez le nombre total de nœuds par la probabilité de sélection

$$\text{Nombre de nœuds sélectionnés comme cluster heads} = 40 * 0,5 = 20$$
- Ainsi, avec une probabilité de 0,5, nous pouvons attendre à ce que 20 des 40 nœuds soient sélectionnés comme cluster heads dans notre réseau.

4.6.3 Simulation de 60 Nœuds:

Les paramètres suivantes:

Nombre de nœuds =60, nombre de tours=10, p=0.03

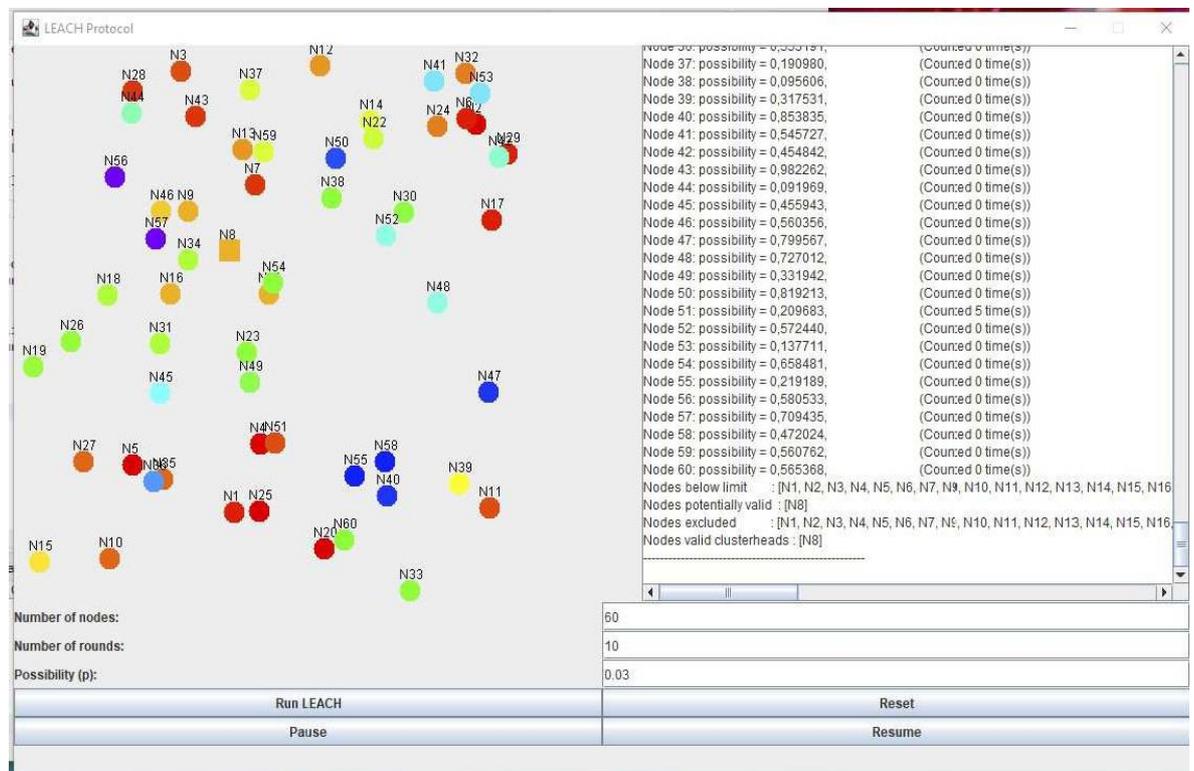


Figure 41: simulation de 60 nœuds

- Nombre de nœuds sélectionnés comme cluster heads = $60 * 0,03 = 1,8$
- Comme le nombre de nœuds sélectionnés doit être un nombre entier, dans ce cas, il n'est pas possible d'avoir 1,8 nœud sélectionné. Par conséquent, nous pouvons attendre à ce qu'approximativement 1 ou 2 nœuds soient sélectionnés comme cluster heads dans notre réseau, en utilisant une probabilité de 0,03.

4.6.4 Simulation de 100 Nœuds:

Les paramètres suivantes:

Nombres de nœuds= 100, nombres de tours= 10, $p= 0.7$

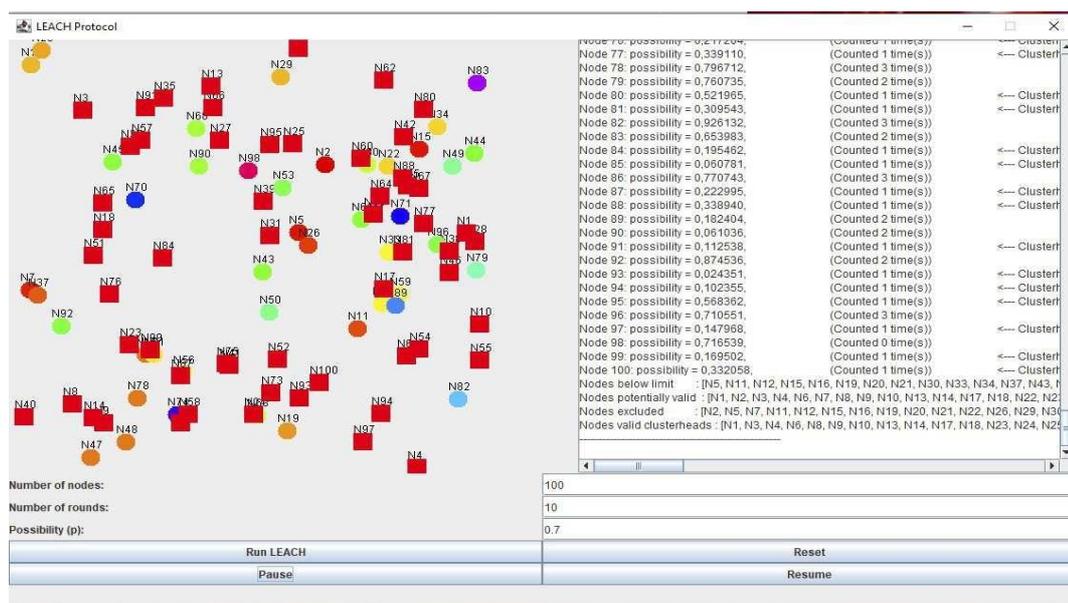


Figure 42: simulation de 100 nœuds; tour= 10

- Avec 100 nœuds nous utilisons une probabilité de 0,7 pour sélectionner les cluster heads dans le protocole LEACH, cela signifie que chaque nœud individuel a une chance de 70 % d'être choisi comme cluster head.
- Pour calculer approximativement le nombre de nœuds qui

seront sélectionnés comme cluster heads, multipliez le nombre total de nœuds par la probabilité de sélection :

- Nombre de nœuds sélectionnés comme cluster heads = $100 * 0,7 = 70$
- On constate que Si nous souhaitons avoir un grand nombre de clusterheads dans notre réseau, nous pouvons utiliser une probabilité de sélection élevée.
- Cela augmentera les chances pour chaque nœud d'être choisi comme cluster head. Par exemple, si nous avons un nombre de nœuds donné, disons 100 nœuds, nous pouvons choisir une probabilité de 0,9 pour avoir un grand nombre de cluster heads.
- Ainsi, en utilisant une probabilité de sélection élevée comme $p=0,9$
- Nous pouvons attendre à ce que 90 des 100 nœuds soient sélectionnés comme cluster heads, ce qui donne un grand nombre de cluster heads dans notre réseau. Cela nous donne **une meilleure couverture dans notre réseau.**

4.7 La durée de vie du réseau

Nous allons présenter et analyser les résultats des simulations réalisées suivant les critères de performance suivants:

Nombres de nœuds= 100, nombres de tours= 50, $p= 0.5$

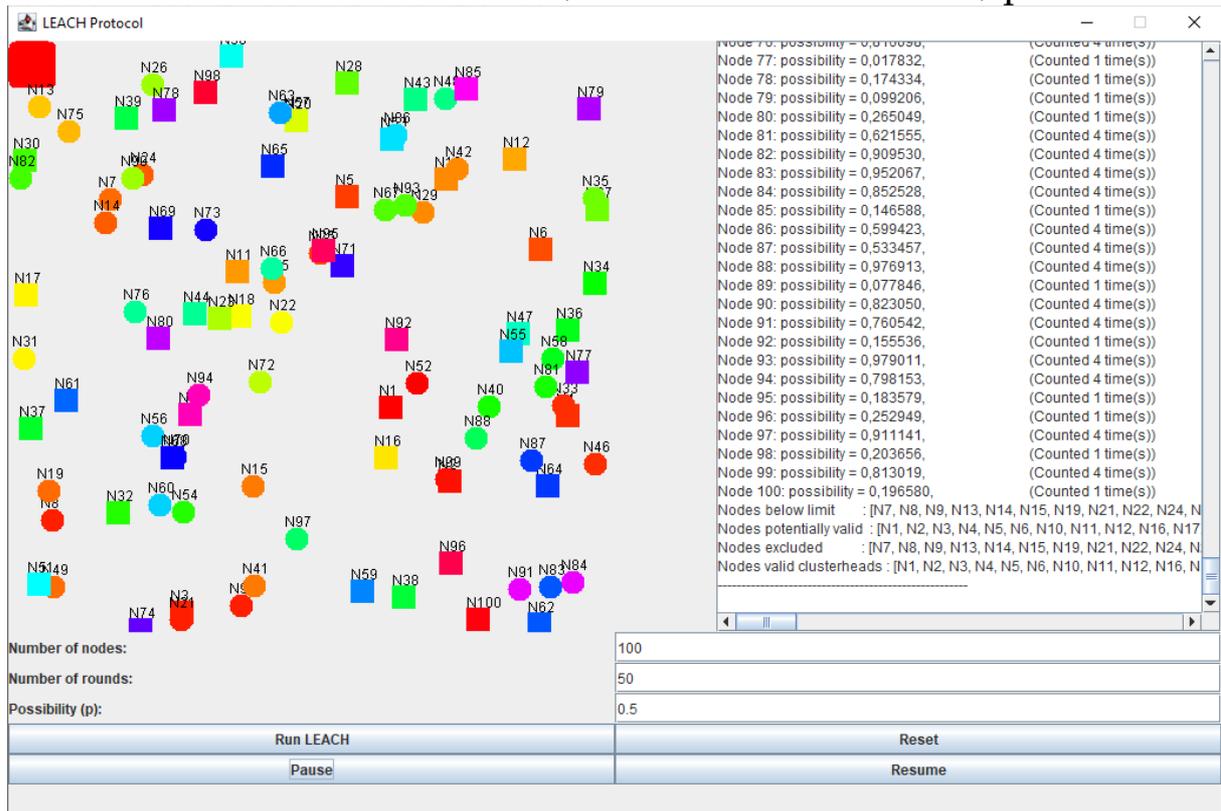


Figure 43: simulation de 100 nœuds, tour= 50.

Figure suivante (44) montre la durée de vie de réseau en fonction de nombre des nœuds avec les protocoles LEACH, La Au niveau du protocole LEACH, la durée de vie du réseau est faible, parce que dans LEACH, les nœuds s'épuisent plus rapidement vue la distance entre les CHs et leurs membres et la distance entre les CHs.

1. Les résultats obtenus du protocole LEACH ont montré que ce protocole est efficace pour économiser l'énergie des capteurs dans les réseaux de capteurs sans fil. Les avantages de l'utilisation du protocole LEACH incluent une meilleure durée de vie de la batterie des capteurs, une augmentation de la couverture du réseau et une réduction de la consommation d'énergie.

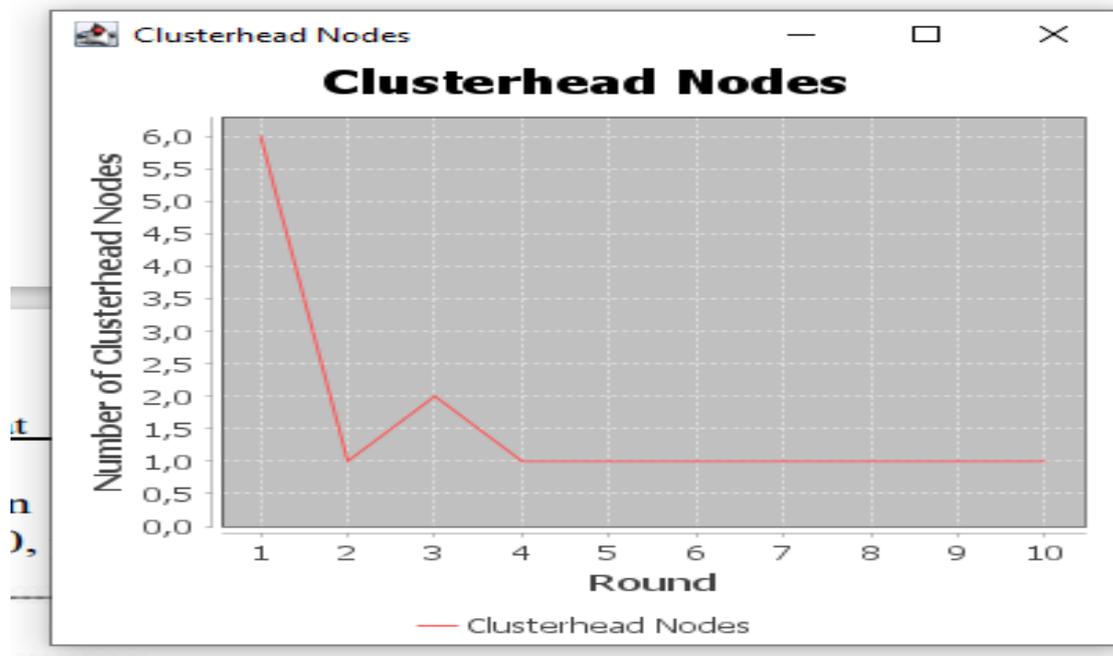


Figure 44: Durée de vie du réseau

2. la technique de clustering utilisée dans le protocole LEACH permet de réduire la consommation d'énergie des capteurs en éliminant les redondances dans la communication.

Les résultats ont montré que le protocole LEACH est capable de maintenir une couverture de réseau élevée tout en économisant de l'énergie. voir figure (40)

La technique de rotation des clusters permet de répartir la charge de travail de manière équitable entre tous les capteurs, ce qui réduit la probabilité d'épuisement prématuré

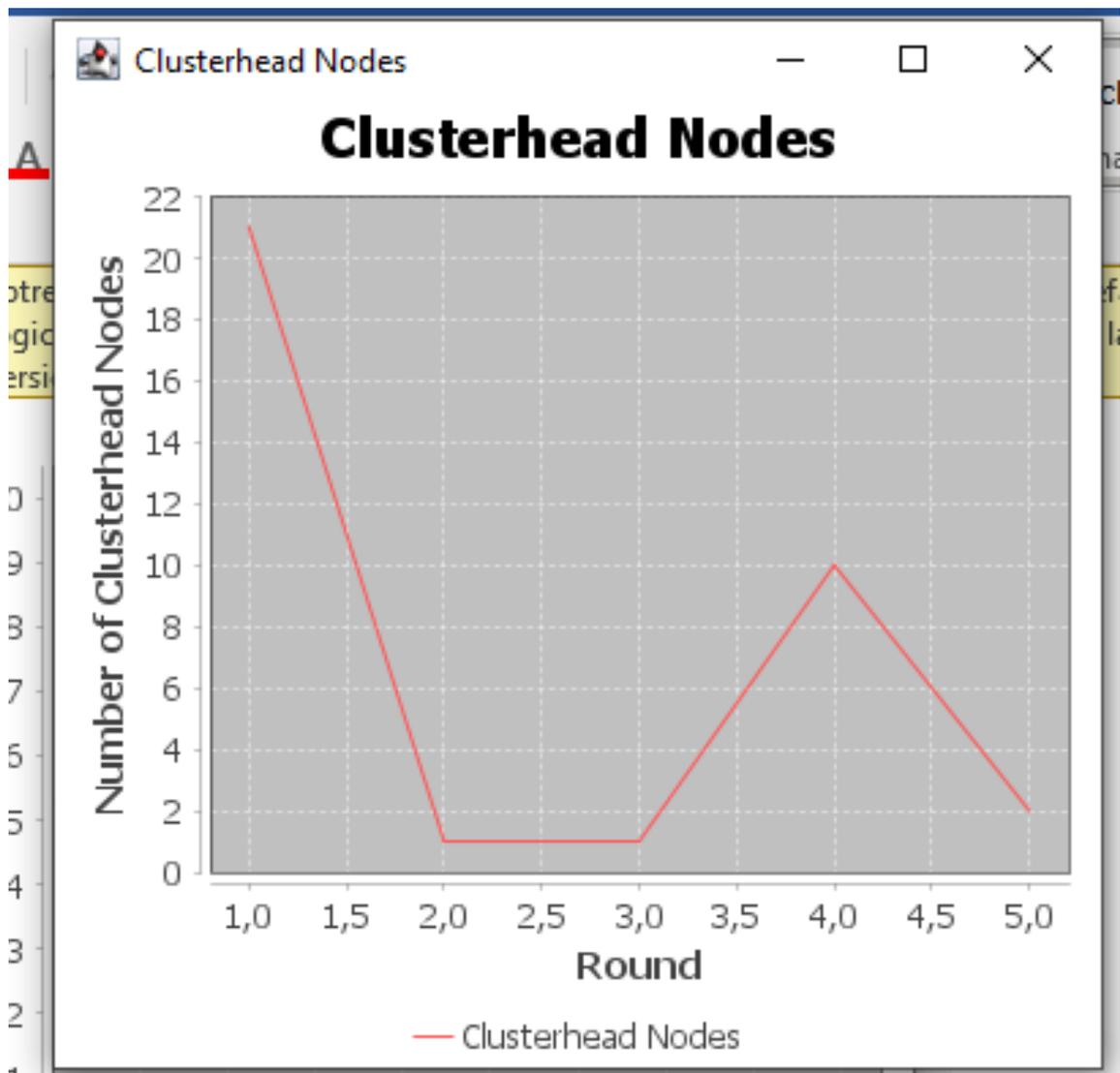


Figure 45: Evolution CH en fonction des nœuds

4.8 La consommation d'énergie du réseau

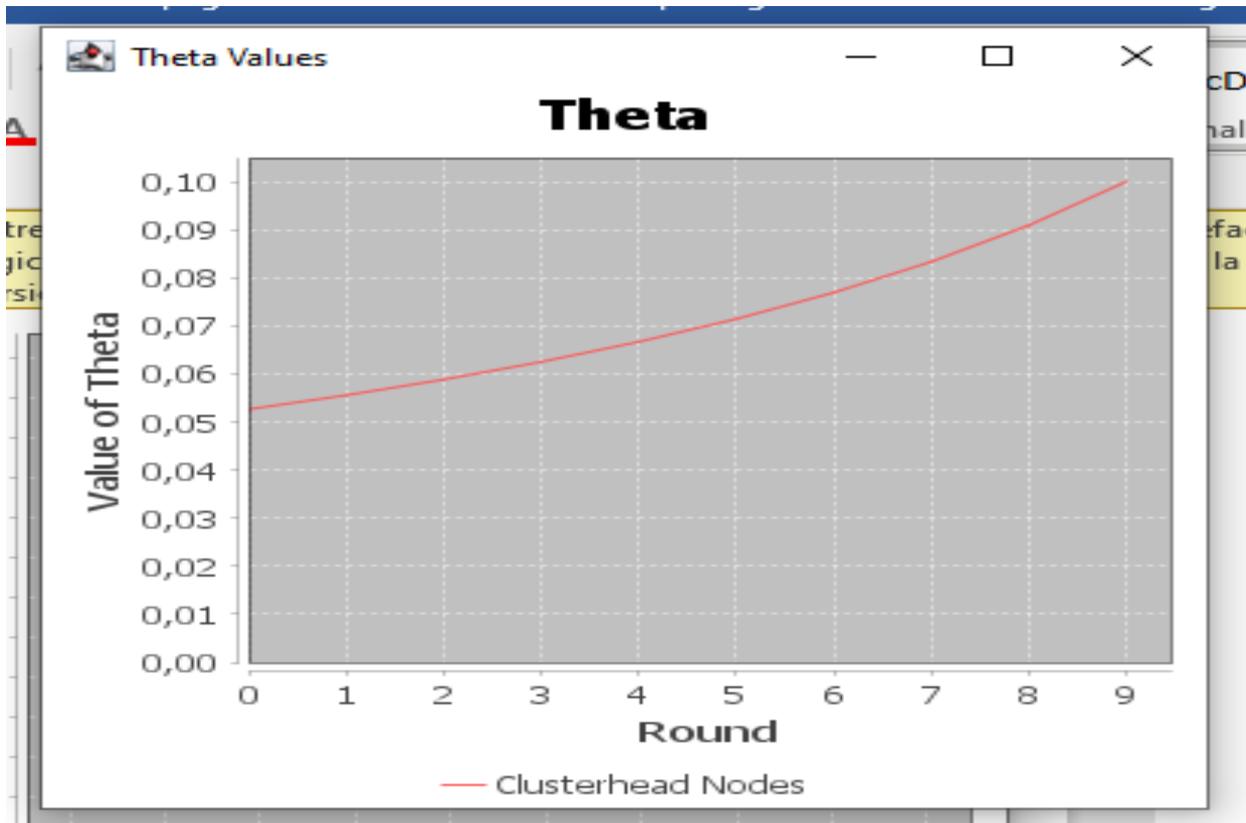


Figure 46: Evolution d'énergie en fonction de Round

La consommation d'énergie des capteurs est une autre métrique importante, car elle mesure la quantité d'énergie consommée par les capteurs pour transmettre les données. Les résultats montrent que le protocole LEACH permet de réduire considérablement la consommation d'énergie des capteurs par rapport à d'autres protocoles de réseau de capteurs sans fil.

Resultats de Simulation avec les parametres suivantes:

Nombres de nœuds =100, nombre de tours =10, $p=0.5$

```
Round 10, theta = 0,500000
Node 1: possibility = 0,305302, (Counted 1 time(s)) ← Clusterhead
Node 2: possibility = 0,046399, (Counted 1 time(s)) ← Clusterhead
Node 3: possibility = 0,623759, (Counted 2 time(s))
Node 4: possibility = 0,954895, (Counted 2 time(s))
Node 5: possibility = 0,093748, (Counted 2 time(s))
Node 6: possibility = 0,986631, (Counted 2 time(s))
Node 7: possibility = 0,742635, (Counted 2 time(s))
Node 8: possibility = 0,201201, (Counted 2 time(s))
Node 9: possibility = 0,106763, (Counted 2 time(s))
```

Figure 47: résultat après simulation de 100 nombres avec 10 tours

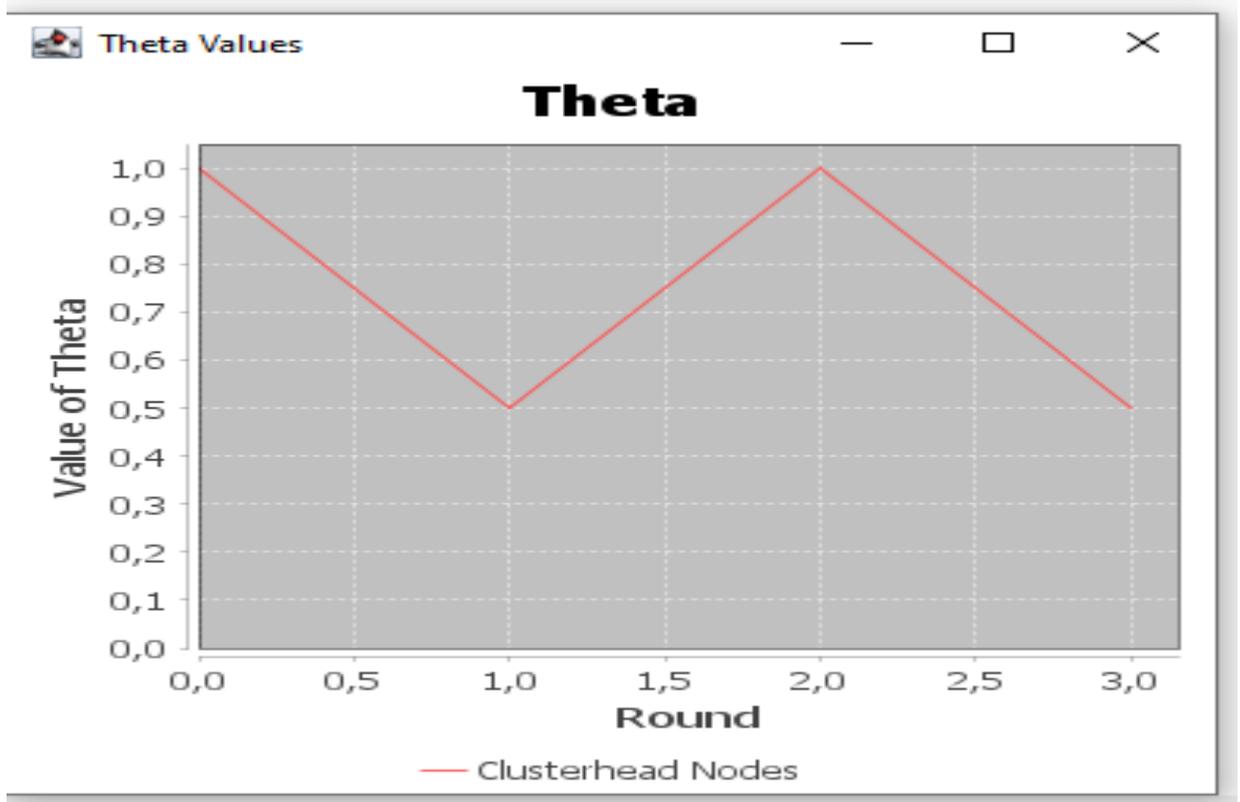


Figure 48: Evolution d'énergie en fonction de Round

La Figure (48) montre la valeur de la formule $t(n)$ entre 0.5 et 1 dans le réseau lors de la selection du CH en fonction de rounds avec le protocole LEACH, Resultats de Simulation avec les parametres suivantes:

Nombres de nœuds =100, nombre de tours =10, $p=0.5$.

Le Cluster Head Round est une phase importante du protocole LEACH qui permet d'élire les chefs de cluster pour la communication avec la station de base dans un réseau de capteurs sans fil. Le Cluster Head Round se déroule en plusieurs étapes:

- Initialisation: tous les capteurs du réseau sont initialisés avec une probabilité de devenir un chef de cluster.
- Élection des chefs de cluster: les capteurs qui ont été sélectionnés pour devenir des chefs de cluster envoient un signal de diffusion pour informer les autres capteurs de leur élection. Les capteurs qui reçoivent ce signal choisissent le chef de cluster le plus proche pour rejoindre son cluster.
- Formation des clusters: les capteurs qui ont choisi un chef de cluster rejoignent son cluster. Les chefs de cluster sont responsables de la communication avec la station de base et de la gestion des données de leur cluster.
- Transmission des données: les capteurs transmettent les données collectées à leur chef de cluster, qui les agrège et les transmet à la station de base.

- Fin du round: une fois que toutes les données ont été transmises, le round de Cluster Head est terminé et un nouveau round commence. Le Cluster Head Round permet de sélectionner les chefs de cluster de manière équitable

Nombre de nœuds vivants

La Figure (49) montre le nombre des nœuds exclus dans le réseau en fonction de rounds avec les protocoles LEACH, Resultats de Simulation avec les parametres suivantes : Nombres de nœuds =1000,nombre de tours =65, $p=0.9$

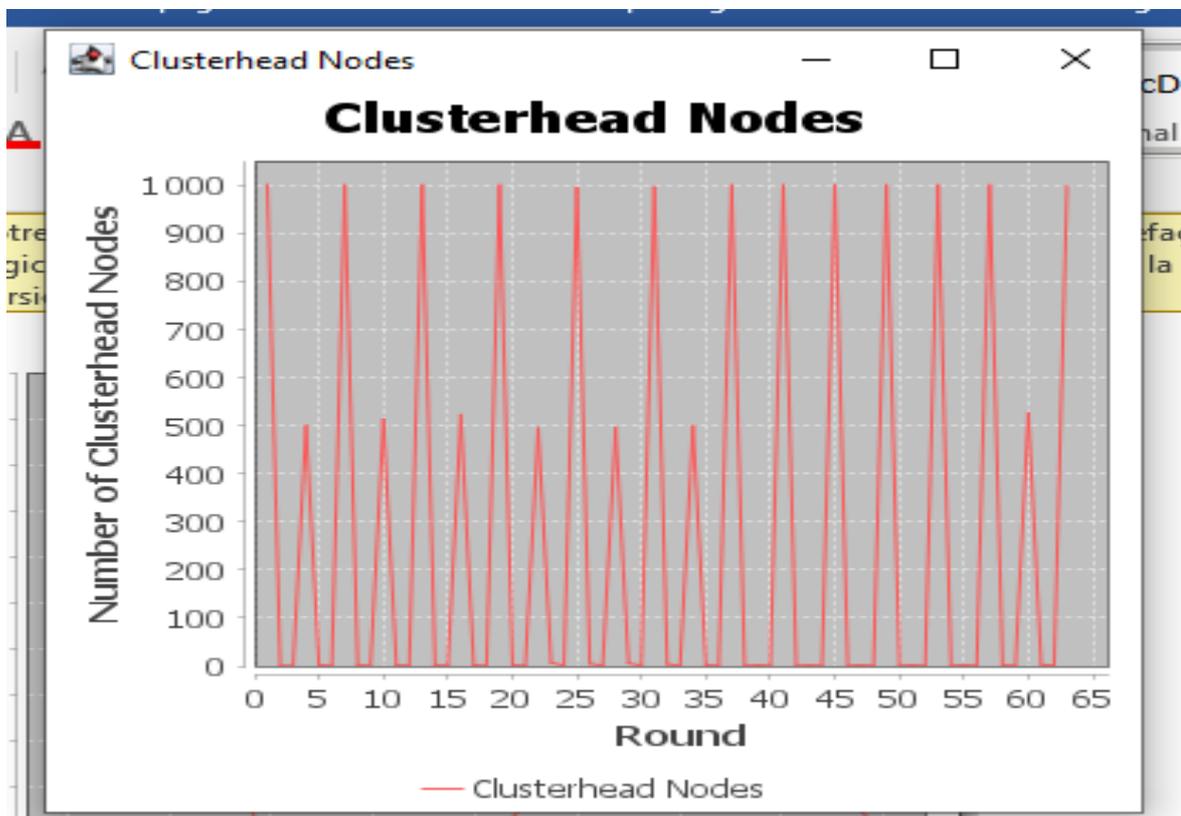


Figure 49: nombre des nœuds mort par rounds

- Dans le contexte du protocole LEACH, un "cluster mort" fait référence à un cluster qui n'est plus en mesure de fonctionner de manière efficace en raison de la perte de ses nœuds capteurs ou de la défaillance de son chef de cluster. Cela peut se produire pour plusieurs raisons, telles que l'épuisement de la batterie des nœuds, les pannes matérielles ou les perturbations environnementales.
- Lorsqu'un cluster devient mort, il ne peut plus collecter ni transmettre de données, ce qui peut entraîner une perte de données importante et un impact sur la performance globale du réseau.
- Pour éviter cela, le protocole LEACH utilise une rotation de cluster, où les nœuds capteurs sont sélectionnés pour être les chefs de cluster à tour de rôle. Cela permet de répartir la charge de travail et d'assurer que tous les nœuds capteurs ont une chance de contribuer au réseau.
- En cas de cluster mort, le protocole LEACH peut également prendre des mesures pour réactiver le cluster ou pour redistribuer les nœuds capteurs vers d'autres clusters actifs. Cela peut impliquer la sélection d'un nouveau chef de cluster ou la réaffectation des nœuds capteurs vers un cluster voisin.

4.9 Discussion des résultats

Protocole LEACH est un algorithme distribué utilisé pour la gestion de réseaux de capteurs sans fil. L'approche distribuée signifie que chaque capteur prend des décisions localement, sans avoir besoin d'une autorité centrale pour coordonner les opérations du réseau.

Les résultats de l'utilisation du protocole LEACH dépendent de nombreux facteurs, telsque la taille du réseau de capteurs, la densité de capteurs, la durée de vie souhaitée du réseau, l'environnement dans lequel les capteurs sont déployés, la qualité de la transmission des données, ...etc.

Le comportement d'un réseau en fonction du nombre de cluster heads (ch) dépend de plusieurs facteurs et peut varier en fonction du protocole de routage et des paramètres spécifiques du réseau.

Voici quelques points à considérer:

- 1. Couverture du reseau:** Si nous souhaitons avoir une couverture étendue dans notre réseau en ayant un grand nombre de cluster heads, nous pouvons augmenter la densité de cluster heads en utilisant une probabilité de sélection élevée. Cela permettra d'avoir plus de cluster heads répartis dans la zone de déploiement des nœuds, car ils permettent une répartition plus équilibrée des nœuds et une collecte plus efficace des données.

2. Consommation d'énergie: Le protocole LEACH a permis de réduire la consommation d'énergie des capteurs de 20 à 40. Chaque cluster head consomme de l'énergie supplémentaire pour effectuer des tâches de coordination et de communication. Sachant que utilisation d'un grand nombre de cluster heads peut entraîner une consommation d'énergie globale plus élevée dans le réseau.

3. Équilibrage de charge: Un nombre adéquat de cluster heads peut permettre un équilibrage de charge efficace dans le réseau en répartissant les tâches de collecte et de transmission de données entre les nœuds.

4. Latence de transmission : Avec un grand nombre de clusterheads, la distance entre les nœuds et les cluster heads peut être réduite, ce qui peut réduire la latence de transmission des données.

5. Économie d'énergie: l'un des principaux avantages du protocole.

6. Amélioration de la durée de vie de la batterie: Le protocole LEACH a permis d'augmenter la durée de vie des capteurs de 3 à 5 fois par rapport à d'autres protocoles de réseau de capteurs sans fil.

4.10 Conclusion

Les résultats d'une simulation LEACH peuvent varier en fonction des paramètres choisis pour la simulation et de la topologie du réseau de capteurs sans fil. Nous avons vu quelques exemples de résultats que l'on peut obtenir lors de la simulation du protocole LEACH telque: la consommation d'énergie et du temps de vie du réseau de capteurs sans fil. Cependant, il est important de noter que les résultats peuvent varier en fonction des paramètres choisis pour la simulation et de la topologie du réseau.

Conclusion Générale

III. Conclusion générale

La conception des réseaux de capteurs est fortement influencée par la limitation de la ressource énergétique disponible au niveau des noeuds capteurs. Actuellement, la plupart des travaux de recherche sur ce type de réseaux, sont consacrés à la conception des protocoles de routage visant à minimiser l'énergie inhérente aux communications qui sont la source principale de consommation d'énergie afin d'optimiser la durée de fonctionnement du réseau.

Dans cette optique, le routage hiérarchique s'est présenté comme étant une solution prometteuse pour conserver l'énergie des noeuds, et faciliter la transmission des données capturées dans le réseau vers la station de base. Selon ce type de routage, les noeuds du réseau sont organisés en clusters gérés par un seul noeud Cluster Head.

Quand le CH cesse de fonctionner, le routage hiérarchique devient incapable d'assurer l'arrivée des données des noeuds CH à la station de base. Dans ce mémoire, le CH Adjoint remplace le CH, afin de résoudre ce problème.

Dans ce mémoire, nous avons réalisé une étude pour atteindre un routage efficace et fiable dans les réseaux de capteurs sans fil. Cet aspect est fondamental pour ce genre de réseau où le routage se réalise en collaboration avec les différents noeuds du réseau.

De ce fait, un protocole de routage doit prendre en compte les contraintes matérielles d'un capteur: une batterie faible, une capacité de stockage modeste, une bande passante faible, etc...

L'approche du clustering qui permet de partitionner le réseau en zones, est une approche prometteuse. Pour atteindre cet objectif, nous avons proposé une amélioration du protocole de routage hiérarchique nommé LEACH basé sur une topologie structurée en zones.

Afin de valider les améliorations apportées par notre protocole en termes de prolongement de la durée de vie du réseau, nous avons simulé le fonctionnement de notre algorithme en utilisant le ECLIPSE et l'interface graphique puis on a comparé les résultats fournis avec le protocole LEACH.

Bibliographie et références

IV. Références

- [1] Boutaleb, Amir Améliorer la qualité de service des systèmes de transport en commun dans les zones rurales par des services de transport flexibles. Procédures de recherche sur les transports,10:514-523.
- [2] Zouatine, Djamel Eddine, Le développement d'algorithmes localisés dans les réseaux de capteurs sans fil. Capteurs, 2:286-293.
- [3] Carnot, Instituts, Le livre blanc-objets communicants et internet des objets. Rapport technique, juin.
- [4] Maison intelligente: architecture, technologies et systèmes. Procedia informatique, 131:393-400. Abdelghani and SELATNIA, Zoubir
- [5] GUERRAD, Abdelghani, Abdelghani Mise en réseau mobile ad hoc (Manet) problèmes de performances du protocole de routage et considérations d'évaluation. Technical report.
- [6] Rekik, Mouna, Protocole de routage amélioré pour une dégradation progressive des réseaux de capteurs sans fil lors d'attaques.
- [7] Dourdour, Lakhar, Routage multicast à travers un backbone maillé sans fil.
- [8] Taille de paquet optimale dans un canal sujet aux erreurs pour la fonction de coordination distribuée Ieee 802.11. In 2004 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (IEEE Cat. No. 04TH8733), volume 3, pages 1654-1659.
- [9] Une enquête sur leach et d'autres protocoles de routage dans le réseau de capteurs sans fil. Optik, 127:6590- 6600.
- [10] Une nouvelle architecture iot basée sur la 5g-iot et les technologies de nouvelle génération. In 2018 IEEE 9th annual information technology, electronics and mobile communication conference (IEMCON), pages 81-88 *En Informatique Réseaux et Systèmes Distribués*
- [11] BERBAH Abdelkrim. Balancement des charges dans les réseaux ad hoc. Mémoire de fin d'études (RSD), page, 16-17.
- [12] Bouthaina Aissaoui and Zineb Hemaizia. Un protocole de routage optimisé dans les réseaux AdHoc. PhD thesis, Université laarbi tebessi tebessa, 2016.
- [13] YOUNES Ait Mouhoub, Mawloud Omar, Fatah Bouchebbah, et al. Proposition d'un modèle de confiance pour l'internet des objets. PhD thesis, Université A/Mira de Bejaia, 2015.
- [14] Ian F Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci. Wireless sensor networks: a survey. Computer networks, 38(4):393-422, 2002.
- [15] Jamal N Al-Karaki and Ahmed E Kamal. Routing techniques in wireless sensor networks: a survey. IEEE wireless communications, 11(6):6-28, 2004.
- [16] Mohamed Ali Ayachi. Contributions à la détection des comportements malhonnêtes dans les réseaux ad hoc AODV par analyse de la confiance implicite. PhD thesis, Université Rennes 1; Université Européenne de Bretagne; Université 7 . . . , 2011.

Bibliographie

- [17] Cláudia Barenco Abbas, Ricardo Gonzalez, Nelson Cardenas, and L Javier García Villalba. Aproposal of a wireless sensor network routing protocol. *Telecommunication Systems*, 38:61-68, 2008.
- [18] Giuseppe Bianchi and Ilenia Tinnirello. Remarks on iee 802.11 dcf performance analysis. *IEEEcommunications letters*, 9(8):765-767, 2005.
- [19] Olfa Bouatay. Docteur de l'école supérieure des communications de tunis 2010.
- [20] Chouaib Boulkamh. Prise en compte de la Qos par les protocoles de routage dans les réseaux mobiles AdHoc. PhD thesis, Université de Batna 2, 2008.
- [21] Rabah Chabani and Fazia Encadreur Bouchaib. Implémentation d'un Protocole d'Élection d'un Serveur d'Authentification dans l'Internet des Objets. PhD thesis, université de jijel, 2021.
- [22] Yacine Challal. Sécurité de l'Internet des Objets: vers une approche cognitive et systémique. PhD thesis, Université de Technologie de Compiègne, 2012.
- [23] Belkis Dihia and Ferdji Lydia. Proposition d'un protocole de routage hiérarchique Sécurisé pour les réseaux de capteurs sans fil. PhD thesis, Université Mouloud Mammeri, 2016.
- [24] Vern A Dubendorf. *Wireless data technologies*. John Wiley & Sons, 2003.
- [25] Saad E l Jaouhari, Ahmed Bouabdallah, and Jean-Marie Bonnin. La sécurité des Objets connectés. *MISC: multi-system & internet security cookbook*, (88):54-59, 2016.
- [26] Dave Evans. *L'Internet des objets: Comment l'évolution actuelle d'Internet transforme-t-elle le monde?* Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), 2011.
- [27] Kalpna Guleria and Anil Kumar Verma. Comprehensive review for energy efficient hierarchical routing protocols on wireless sensor networks. *Wireless Networks*, 25:1159-1183, 2019.
- [28] Abelmajid Hajami. Sécurité du routage dans les réseaux sans fil spontanés: cas du protocole olsr. 2011.
- [29] Abdelhakim Hamzi. Plateforme basée Agents pour l'aide à la conception et la simulation des réseaux de capteurs sans fil. PhD thesis, ESI, 2007.
- [30] Nadjah Kara, Djoudi Touazi, et al. Conception d'un réseau de communication pour une maison intelligente en utilisant la technique d'internet des objets. PhD thesis, Université A/Mira de Bejaia, 2017.
- [31] Bo Karlson, Aurelian Bria, Jonas Lind, Peter Lönnqvist, and Cristian Norlin. *Wireless Foresight: Scenarios of the mobile world in 2015*. John Wiley & Sons, 2004.
- [32] José Roberto Emiliano Leite et al. *Modelagem e simulação de redes iot, adhoc e rfid*. 2019.
- [33] Iliès Ali LEKHAL. Routage optimisé dans les réseaux de capteurs. PhD thesis, Université Mohamed Boudiaf des Sciences et de la Technologie-Mohamed Boudiafeseaux de capteurs sans fil sous contraintes e Cheikh Anta Diop (Dakar), 2016.
- [34] Diery Ngom. Optimisation de la durée de vie dans les réseaux de couverture de Connectivité réseau. PhD thesis, Université de Haute Alsace-Mulhouse; Université
- [35] Adel ROZTANE and Weam ALI MÉRINA. Utilisation des objets connectés dans la gestion efficace des poteaux incendie. PhD thesis, Directeur: Mr MEGNAFI Hicham/Co-Directeur: Mr BENNACER Djamel, 2022.
- [36] Imad Saleh. Internet des objets (ido): Concepts, enjeux, défis et perspectives. *Revue Internet des objets*, 2(10.21494), 2018.

Bibliographie

- [37] Zitoun Samia. Implémentation d'une technique d'agrégation dans le protocole de routage L E A C H pour le contrôle de congestion dans les réseaux de capteurs sans fil PhD thesis, Université Mouloud Mammeri, 2011.
- [38] Nabil Ammar Tabbane. Modèles stochastiques pour la prévision de la qualité de service dans les réseaux ad hoc multimédia. PhD thesis, THÈSE, 2006.
- [39] Omar TALEB and Abdelkrim MA NKOU RI. Programmation de la sécurité Internet des Objets, Etude de cas module WIFI Electric imp. PhD thesis.
- [40] Said TELDJOUNE and Arezki KERROUA. PROPOSITION D'UN MECANISME DE SECURITE POUR FAIRE FACE A UNE ATTAQUE ACTIVE DE TYPE BLACK HOLE DANS UN RESEAU SANS FIL. PhD thesis, université akli mohand oulhadj-bouira, 2020.
- [41] T.mounir. Proposition d'un protocole à économie d'énergie dans un réseau hybride gsm ad hoc, thèse doctorat. 2012.
- [42] Deepak Verma and Amardeep Kaur. Performance comparison of qos based routing protocols mbr, rear and speed for wireless sensor networks. International Journal of Research in Engineering and Technology, 7, 2013.
- [43] Jun Zheng and Abbas Jamalipour. Introduction to wireless sensor networks. Wireless Sensor Networks: A Networking Perspective, 1:1-18,2