EPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU
FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET DE L'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE

Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de diplôme de Master en INFORMATIQUE

Sous le thème

Les mécanismes de communication efficaces et peu coûteux en énergie pour les réseaux de capteurs sans fil

Proposé et dirigé par :

Mr RAMDANI MOHAMED

Réalisé par :

Amrouni Nadjet
Attouche souhila

Promotion : 2018/2019

REMERCIEMENTS

Nous remercions avant tout le bon dieu qui nous a aidés à réaliser ce modeste travail.

Nos remerciements les plus chaleureux empreints d'une reconnaissance sincères, vont à notre promoteur Mr RAMDANI d'avoir nous proposé et accepté de diriger ce travail et pour ses qualités d'encadrement.

Enfin, nous tenons à remercier de tout cœur tous ceux qui ont contribué de prés ou de loin à la réalisation de ce travail.

Résume

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, alors la problématique de notre projet consiste à étudier les mécanismes de communication qui gèrent efficacement l'énergie.

L'objectif de ce travail consiste à étudier les différents mécanismes de communication dans les réseaux de capteurs sans fil dans le but de réduire la consommation d'énergie en utilisant la stratégie d'arbres de routage optimal qui est appliquée au protocole de routage LEACH.

Nous avons simulé le fonctionnement de notre algorithme dans le système d'exploitation TinyOS en utilisant TOSSIM et l'émulateur Tinyviz puis nous avons comparé les résultats fournis avec le protocole LEACH.

Mots-clés :

Réseaux de capteurs sans fil, Protocole de routage hiérarchique,LEACH,TinyOs,Tossim.

summary

With the advent of new technologies, we have seen the emergence of a new type of network that is the wireless sensor networks, the RCSFs are composed of a large number of sensor nodes in order to collect and transmit data to a destination.

Network sensors generally have low computing, memory and power capabilities.

In this type of network, energy and routing are the biggest constraints, so the problem of our project is to study the communication mechanisms that effectively manage energy.

The objective of this work is to study the different communication mechanisms in wireless sensor networks in order to reduce power consumption by using the optimal routing tree strategy that is applied to the LEACH routing protocol.

We simulated the operation of our algorithm in the TinyOS operating system using TOSSIM and the Tinyviz emulator and then compared the results provided with the LEACH protocol.

Keywords :

Wireless Sensor Networks, Hierarchical Routing Protocol, LEACH, TinyOs, Tossim

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :
Mes parents pour leurs soutiens et encouragements
Mes frères et mes sœurs
Mes tantes, oncles, cousines et cousins
Tous mes amis (es).

SOUHILA

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :
Mes parents pour leurs soutiens et encouragements
Mes tantes, oncles, cousines et cousins
Tous mes amis (es).

NADJET

Table des matières

Table des matières……I
Liste des figures…….....III
Liste des tableaux…….....IV
Introduction générale..... 1
Chapitre I : Généralités sur les réseaux de capteur sans fil
1-Introduction..... 3
2-Les Réseaux de capteur sans Fil..... 3
2.1-Définition..... 3
2.2-Architecture des Réseaux de capteurs..... 3
3-Architecture d'un capteur sans fil..... 4
3-1 Définition d'un nœud capteur..... 4
3-2 Les différentes unités de nœud capteur..... 5
4-Les types des nœuds..... 6
4.1-Les fonctions de nœud capteur..... 6
4.2- Les exemples de capteur sans fil..... 6
5- L'Etat d'un nœud capteur..... 7
6- Les Caractéristiques d'un nœud capteur..... 8
7-Les Caractéristiques des RCSF..... 8
8-Les domaines d'applications des réseaux de capteurs..... 9
9-Les notions fondamentales..... 10
10-L'énergie dans les Réseaux de capteurs sans fil..... 11
11- Contrainte et Facteur de conception dans les RCSFs..... 12
12-Conclusion..... 13
Chapitre II : Les protocoles de communication dans les réseaux de capteur sans fil
1-Introduction..... 14
2- La communication dans RCSFs..... 14
3- Les Types de communication dans les RCSFs..... 15
4-Les Protocole de communication des RCSF..... 15
5-Les Protocoles de routage..... 17
5.1-Les approches de routage dans les réseaux de capteurs..... 17
5.2-La classification des différentes approches de routage..... 17
5.2.1-Classification selon la structure du réseau..... 18
5.2.2-Classification selon les fonctions des protocoles..... 19
5.2.3-Classification selon l'établissement de la route..... 20
5.2.4-Classification selon l'initiateur de communication..... 21

6-Exemple des techniques et protocoles de routages pour les RCSF 21
6.1-Inondation(Flooding) 21
6.2-Gossiping 21
6.3-Diffusion dirigée (Direct Diffusion) 22
6.4-SPIN: Sensor Protocols for Information via Negotiation 22
6.5-GEAR: Geographic and Energy-Aware Routing 23
6.8-LEACH: Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy 23
6.7-PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information System 24
6.8-TEEN 24
6.9-SPEED 25
7-Synthèse des protocoles de routage dans les RCSFs 25
8-Contrainte de routage dans RCSFs 26
9-Conclusion 26
Chapitre III : l'évaluation et la mise en œuvre de la solution
1-Introduction 27
2-Environnement de simulation 27
3-TinyOs 27
4-Notion principales de TinyOS 27
5-NesC 28
6-TOSSIM 28
7-TinyViz 29
8-LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 29
8-1-Algorithme détaillée de LEACH 30
8-2-Implémentation de Leach 33
9 la solution Proposée 36
9-1Routes à consommation minimale d'énergie 36
9-2 Les différentes routes pour le chemin le plus court : 37
9-3 Implémentation de protocole proposé : 39
9-4 :L'algorithme : 39
9-5Simulation et évaluation de performances 40
9-6Résultats de la simulation 40
9-7Interprétations des résultats 41
10-Conclusion 42
Conclusion générale 43
Référence Bibliographiques 44

Liste des Figures :

Figure 1 : L'architecture d'un RCSF…….4

Figure2 : Les composants d'un capteur…….4

Figure3 : Les unités d'un nœud capteur……..…….6

Figure 4 : capteur MicaZ……6

Figure 5 : capteur MIB520…….6

Figure 6 : les différents états d'un capteur…….7

Figure 7 : les types de communications dans le RCSF……..14

Figure 8 : Le Modèle en couche ……....15

Figure 9 : le routage à Plat……...…18

Figure 10 : le routage hiérarchique……..19

Figure 11 : Les Opérations de l'étape d'initialisation de l'algorithme LEACH…….30

Figure 12 : annonce des CH et déclenchement de round…….35

Figure 13 : Construction des clusters et envoi des données…….36

Figure 14 : les routes efficaces en consommation d'énergie……...37

Figure 15 : la comparaison de consommation énergétique dans les deux protocoles……..41

Figure 16 : la consommation d'énergie par nœud sur un échantillon de 7 nœuds…….....42

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification des approches de routage dans les RCSFs……17

Tableau 2 : La synthèse des protocoles de routage…….25

Tableau 3 : Paramètres du contexte de la simulation……..40

Tableau 4 : la comparaison de consommation énergétique dans les deux protocoles……41

Tableau 5 : la consommation d'énergie des CH par rapport aux nœuds membres pour les deux protocoles LEACH et protocole proposé…….42

Liste d'abréviation

RCSF : Réseau capteur sans fil

WSN : Wireless Senor Network

USB : Universel Serial Bus

RAM : Random Access Memory

ADC : Analog to Digital Converter

IP : Internet Protocol

QDS: Qualite de Service

QoS: Qualité of service

DD : Direct Diffusion

SPIN: Sensor Protocols for Information via Negotiation

GEAR: Geographic and Energy-Aware Routing

LEACH: Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy

PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information System

TEEN: Theshold sensitive Energie Efficient sensor Network

SPEED: stateless protocol for real-time communication in sensor network

TDMA: Time Division Multiple Access

CDMA:Carrier Division Multiple Access

MAC-CSMA:Media Access Control-Carrier Sense Multiple Access

REQ: Requéte

OR-Leach: Optimal route du leach

ED: Energie Disponible

CH: Cluster Head

ADV:advertising

Introduction Générale

Introduction générale :

Contexte de travail et problématique :

Ces dernières années, la technologie a connu une grande évolution dans le domaine de l'électronique, mécanique et ainsi dans la communication ; elle a donné naissance à une nouvelle génération de réseaux, intitulés réseaux de capteurs sans fil. Cette nouvelle génération de l'informatique embarquée révolutionne notre façon de vivre, de travailler et d'interagir avec notre entourage .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.

Les capteurs sont alimentés d'une batterie avec une capacité de recharge faible qui provoque l'arrêt du réseau contrairement aux réseaux traditionnels qui se préoccupent de garantir une bonne qualité de service, alors que les RCSFs donnent une importance primordiale aux différents protocoles de communication pour le routage des données et la conservation d'énergie.

Dans les RCSFs, la communication entre ces nœuds capteurs se déroule selon plusieurs approches et protocoles de communication, ce qui permet une transmission des données à l'utilisateur final.

La problématique de notre projet consiste à étudier les mécanismes de communication qui gèrent efficacement l'énergie. Il est clair que l'énergie est la plus grande contrainte pour un RCSF. Il est parfois difficile, voire impossible de remplacer les batteries des nœuds capteurs dans les applications de surveillance environnementale. Donc, la durée de vie du réseau dépend de l'utilisation de la batterie des nœuds capteurs.

L'objectif de notre projet consiste à étudier les différents mécanismes de communication dans les réseaux de capteurs sans fil dans le but à réduire la consommation d'énergie en utilisant la stratégie des arbres de routage optimale qui est appliquée au protocole de routage LEACH, conçu pour les topologies des RCSF hiérarchiques. Ce mémoire s'articule autour de trois chapitres :

- Le premier chapitre décrit l'architecture, composants, fonctionnement, applications des réseaux de capteurs sans fil, contraintes qui influencent la conception des réseaux de capteurs sans fil, ainsi que leurs caractéristiques.-

- Dans le deuxième chapitre, nous présentons les types de communication, les protocoles de routage, et une classification des protocoles de routage dans les RCSFs.

-Dans le troisième chapitre, nous présentons les outils nécessaires pour l'implémentation et la simulation du protocole de communication Leach. Ensuite nous décrivons la mise en œuvre de toutes les structures de données .Nous terminons ce chapitre par une présentation des résultats relevés lors des tests de protocole Leach et la proposition d'une amélioration de Leach. Enfin, nous terminerons avec une conclusion générale.

.

CHAPITRE I

Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil

1-INTRODUCTION :

L'apparition récente des communications sans fils, l'évolution des dispositifs de calcul ainsi que les progrès en infrastructures de communication ont abouti au développement rapide des réseaux sans fil et, à titre d'exemple, les réseaux de capteurs sans fil.

Les réseaux de capteurs sans fil, sont destinés à relever des informations dans des zones auxquelles l'Homme n'a pas toujours accès. Ces capteurs sont autonomes, la durée de vie de leur batterie est limitée , c'est pour cela que le facteur « énergie » est au centre de toutes les préoccupations .

Nous présentons dans ce premier chapitre une vue générale sur les Réseaux de capteurs sans fil, leurs caractéristiques, leurs domaines d'applications ainsi que d'autres notions fondamentales tels que l'énergie, le routage.

2-Les Réseaux de capteurs sans Fil :

2.1-Définition :

Un réseau capteurs sans fil (RCSF) : Un réseau de capteurs sans fil (RCSF ou WSN : Wireless Sensor Network) est composé d'un grand nombre de nœuds distribués sur une zone donnée afin de mesurer une grandeur physique, surveiller un évènement et réagir en cas de besoin en envoyant l'information collectée à un ou plusieurs points de collecte, à l'aide d'une connexion sans fil.

Dans un tel réseau, chaque nœud est un dispositif électronique qui possède une capacité de calcul, de stockage, de communication et d'énergie.

2.2-Architecture des Réseaux de capteurs :

Un réseau de capteurs sans fil est constitué de plusieurs nœuds capteurs, un nœud Sink et un centre de traitement de données.

Nœuds : ce sont des capteurs. Leur type, leur architecture et leur disposition géographique dépendent de l'exigence de l'application ; leur énergie est souvent limitée puisqu'ils sont alimentés par des piles.

Sink : c'est un nœud particulier du réseau ; il est chargé de la collecte des données issues des différents nœuds du réseau ; il doit être toujours actif puisque l'arrivée des informations est aléatoire.

Centre de traitement des données : c'est le centre vers lequel les données collectées par le sink sont envoyées ; son rôle est de regrouper les données issues des nœuds et les traiter de façon à en extraire de l'information utile exploitable.

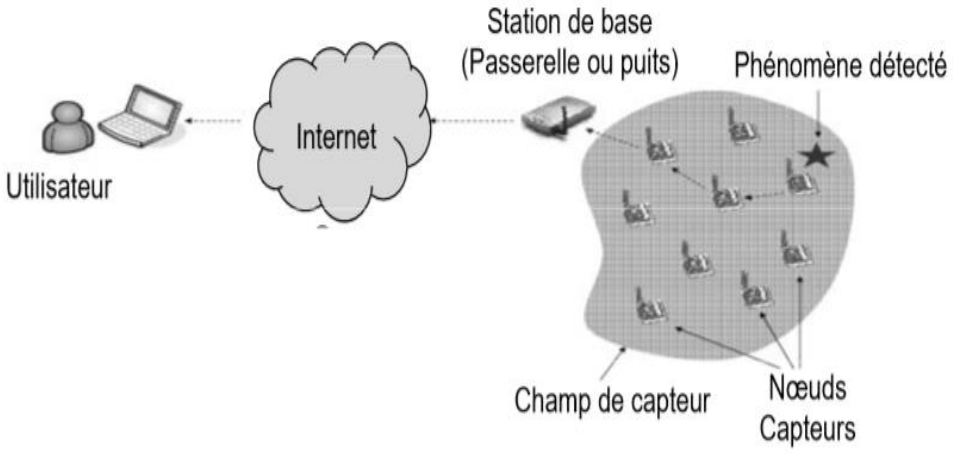


Figure 1 :L'architecture d'un réseau de capteur sans fil [BM10]

3-Architecture d'un capteur sans fil :

3-1 Définition d'un nœud capteur :

Un nœud capteur (dit "mote" en anglais) est un petit dispositif électronique qui permet de collecter les données d'un domaine précis. Il est composé principalement d'**un processeur**, d'une **mémoire**, d' **un émetteur/récepteur radio**,d' **un ensemble de capteurs**, et d'**une pile.** Ces composants sont représentés sur la figure 2 :

Un processeur : est responsable du traitement des données captées.

Une mémoire : est responsable de la sauvegarde des données.

Un élément de communication (Lien radio, Interface USB) : permet de transporter les données entre les différents composants (support de communication).

Une alimentation électrique : piles et batteries électriques ; rechargeables (batterie) ou non pile.

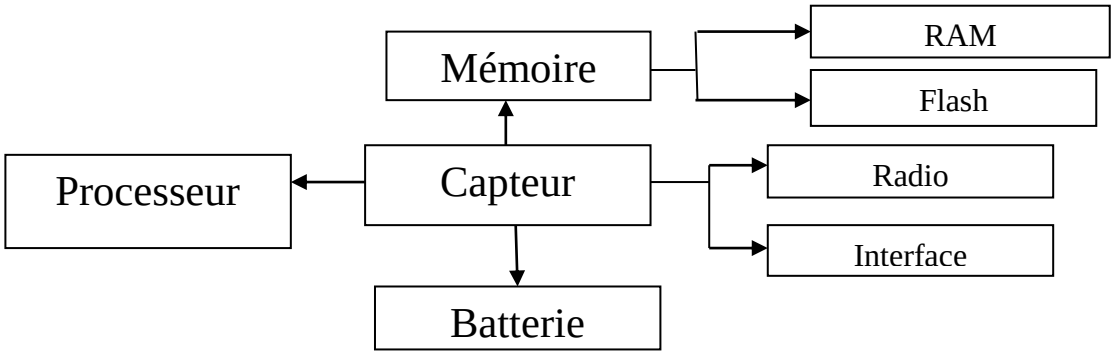


Figure2 : Les composants d'un capteur[BM10]

3-2 les différentes unités du nœud capteur :

Un nœud capteur est composé de quatre unités de base : **l'unité de captage**, **l'unité de traitement**, **l'unité de transmission**, et **l'unité de contrôle d'énergie**. Il peut contenir également, suivant son domaine d'application, des modules supplémentaires tels qu'un système de localisation (GPS), ou bien un système générateur d'énergie (cellule solaire). On peut même trouver des micros capteurs, un peu plus volumineux, dotés d'un système mobilisateur chargé de déplacer le micro-capteur en cas de nécessité.

- **L'unité de capture (capteur+ADC) :**

Elle est composée de deux sous unités : un capteur qui va obtenir des mesures numériques sur les paramètres environnementaux et un convertisseur Analogique/Numérique qui va convertir l'information relevée en signaux numériques et la transmettre à l'unité de traitement.

- **L'unité de traitement (processeur +mémoire) :**

L'unité de traitement comprend un processeur associé généralement à une petite unité de stockage et fonctionne à l'aide d'un système d'exploitation spécialement conçu pour les micros capteurs (TinyOS par exemple). Cette unité est également composée de deux interfaces : une interface pour l'unité de capture et une autre pour l'unité de transmission. Elle acquiert les informations en provenance de l'unité de capture et les envoie à l'unité de transmission.

- **L'unité de transmission (émetteur /récepteur radio) :**

Cette unité sert à effectuer toutes les émissions et réceptions des données via un support de communication radio.

- **L'unité de contrôle d'énergie (Batterie+générateur d'énergie) :**

Un micro-capteur est muni d'une ressource énergétique (généralement une batterie) pour alimenter tous ses composants. L'unité de contrôle d'énergie constitue donc l'un des systèmes les plus importants. Elle est responsable de la répartition d'énergie disponible aux autres modules et de la réduction des dépenses en mettant en veille les composants inactifs par exemple. Cette unité peut aussi gérer des systèmes de rechargement d'énergie à partir de l'environnement observé telles que les cellules solaires, afin d'étendre la durée de vie totale du réseau. Les différentes unités sont représentées sur la figure 3 [SM08].

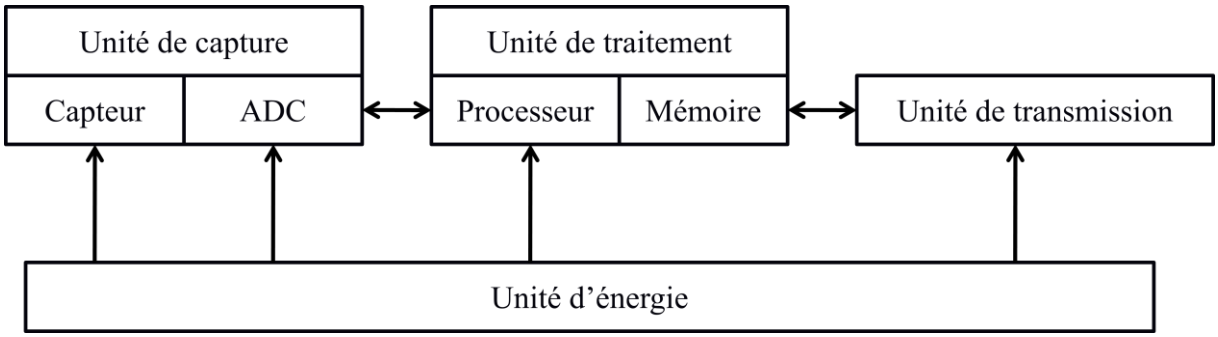


Figure3 : les unités d'un nœud capteur

4-Les types de nœuds :

Dans un réseau capteur sans fil il existe plusieurs types de nœuds : nœud source et sink et intermédiaire.

Un nœud source : est n'importe quelle entité dans le réseau qui peut fournir de l'information, c'est à dire un simple nœud capteur

Un nœud sink est l'entité où les données sont récupérées.

Un **nœud intermédiaire** : est un nœud qui communique entre des nœuds dans un réseau.

4.1-Les fonctions du nœud capteur :

Ces capteurs ont trois fonctions qui sont :

- ✓ Capter des données (de type son, vibration, lumière,...)
- ✓ Calculer des informations à l'aide de ces valeurs collectées
- ✓ Communiquer les informations à travers un réseau de capteurs

4.2- Les exemples de capteur sans fil : Il existe plusieurs modèles comme le MicaZ et le MIB520 de la marque Crossbow .

Figure 4 : capteur MicaZ [RFZ 15]

Figure 5 : capteur MIB520 [RFZ 15]

5- L'Etat de nœud capteur :

Un capteur doit être initialisé avant toute utilisation (état initial), puis il fonctionne selon trois modes :

Mode Actif : il exécute ou transmet un message.

Mode Ecoute (idle) : il est seulement à l'écoute éventuelle d'un message à recevoir.

Mode Veille (sleep) : il se met en veille (en attente).

Il peut être mis en état « stop » si la batterie est vide (déchargée).

Pour passer d'un mode à un autre, le nœud prend un temps d'attente qui est divisé en T1 et T2.

Lorsqu'il est actif, le capteur peut envoyer et recevoir des messages (et seulement recevoir s'il est dans l'état Idle). La transmission des messages connait trois états. Avant toute transmission, le module de communication du capteur (la radio) doit être dans l'état Idle, c'est-à-dire qu'aucune transmission n'est en cours sur le réseau. Le réseau doit être vide de message. Un capteur ne peut pas envoyer et recevoir des messages simultanément. Il fonctionne en half duplex, c'est-à-dire qu'il ne fait qu'une transmission à la fois. La figure suivante représente les différents états d'un capteur :

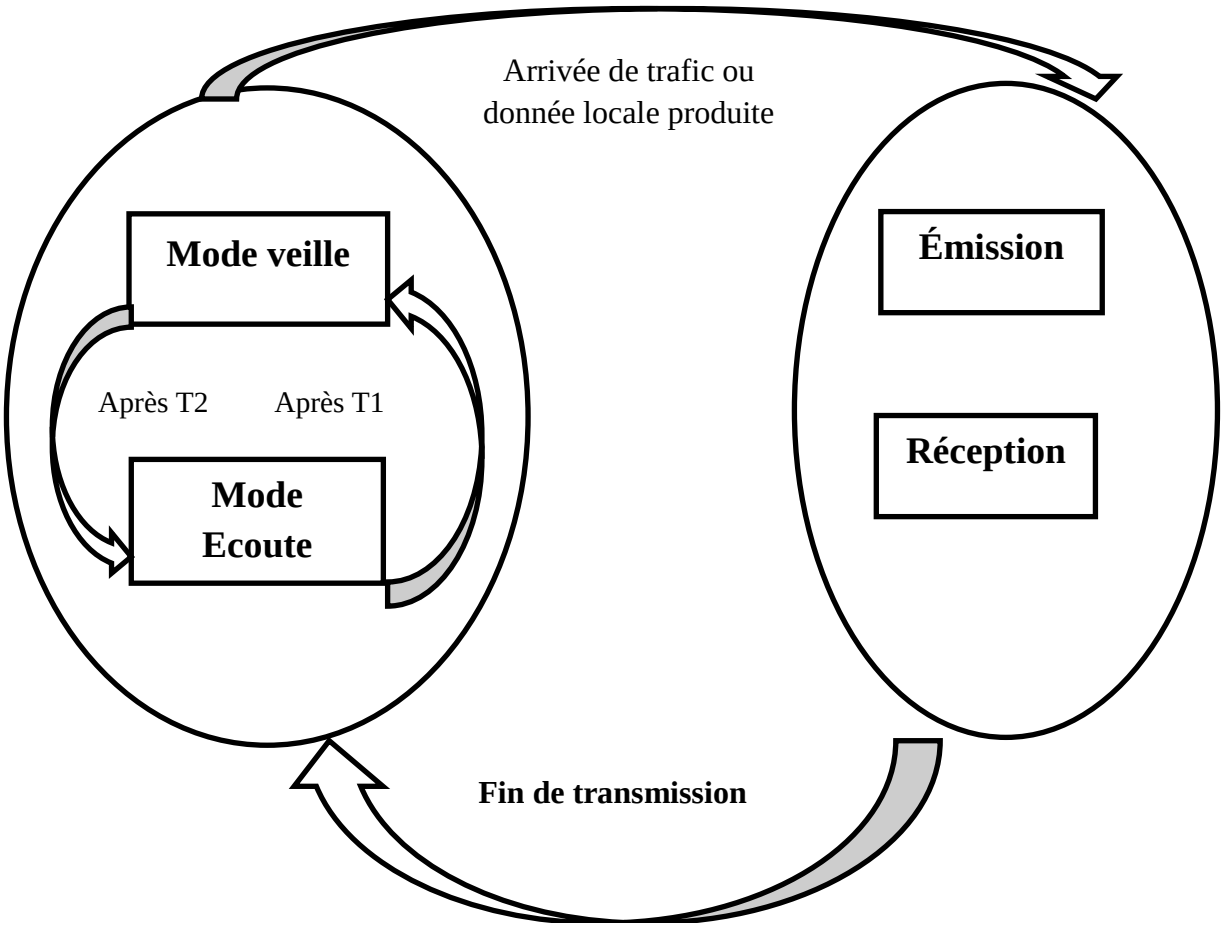


Figure 6 : les différents états d'un capteur

6- Les Caractéristiques d'un nœud capteur :

Les RCSFs présentent des caractéristiques propres au niveau des capteurs du réseau comme **l'énergie**, **la portée de transmission**, ainsi que de **la puissance de stockage** .

- ✓ **L'énergie** :

L'énergie [MB16] est considérée comme la principale et fondamentale contrainte dans les réseaux de capteurs sans fil. Chaque nœud fonctionne grâce a une batterie ayant une capacité limitée dûe a sa petite taille et également non rechargeable. L'utilisation de ces capteurs se fera, dans la plupart des cas dans des environnements dont l'accès est difficile, ce qui ne permettra pas la récupération de celles-ci.

- ✓ **La portée de transmission** :

La capacité de transmission des capteurs est liée au rayonnement des antennes utilisées ; la transmission d'informations ne peut avoir lieu que si la distance entre les nœuds ne dépasse pas un certain seuil. Alors, la consommation d'énergie est proportionnelle à la distance qui sépare les nœuds. Plus celles-ci sont éloignées et plus la consommation sera importante. La topologie de la zone géographique peut également jouer un rôle car des obstacles peuvent s'ajouter aux contraintes de la transmission des données entre les capteurs.

- ✓ **La puissance de stockage et de traitement** :

La puissance de stockage ainsi que la puissance de traitement des données pour un capteur s

7-Les Caractéristiques des RCSF :

Un réseau de capteur sans fil est caractérisé par les facteurs suivants : [KS12]

-**Absence d'infrastructure** : les réseaux de capteurs en particulier se distinguent des autres réseaux par la propriété d'absence d'infrastructure préexistante et de tout genre d'administration centralisée.

-**Taille importante** : Un réseau de capteurs peut contenir des milliers de nœuds.

-**Topologie dynamique** : ces capteurs peuvent être attachés à des objets mobiles qui se déplacent d'une façon libre rendant ainsi la topologie du réseau fréquemment changeante.

-**Durée de vie limitée :** c'est l'intervalle de temps qui sépare le déploiement du réseau à l'instant où l'énergie est épuisée car il est impossible de recharger la batterie.

-**Ressources limitées :** les nœuds capteurs ont une taille limitée**,** ce qui rend la capacité du traitement des données limitée.

-Sécurité physique limitée : les contraintes physiques font que le contrôle des données transférées doit être minimisé. De plus, dans les RCSFs, les données transmises sont sensibles aux attaques en raison d'absence d'infrastructures.

-Auto-organisation du réseau : dans un réseau, les nœuds sont placés de façon aléatoire et dans des endroits critiques. Ils sont capables de s'auto-organiser, cela engendre une grande utilisation d'énergie qui doit être reconfigurée afin de continuer sa fonction.

-Contrainte d'énergie (de stockage et de calcul) : tous les services des nœuds doivent respecter la durée de vie du réseau qui se détermine par la durée de vie de la batterie, d' où la nécessité de minimiser les dépenses énergétiques.

8-Les domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fil :

Parmi les domaines où ils sont utilisés, nous citons les domaines: militaire, environnemental, domestique, santé, sécurité, etc. [MB16]

- **Applications militaires** :

Les premières applications des réseaux de capteurs ont été introduites dans le domaine militaire, elles concernent es applications de surveillance : interception des mouvements de l'ennemi, étude des caractéristiques du champ de bataille, détection des attaques nucléaires et chimiques.

- **Applications à la sécurité :**

Les altérations dans la structure d'un bâtiment, suite à un séisme ou au vieillissement, pourraient être détectées par des capteurs intégrés dans les murs ou dans le béton, sans alimentation électrique ou autres connexions filaires, Les capteurs doivent s'activer périodiquement et peuvent ainsi fonctionner durant des années. Un réseau de capteurs de mouvements peut constituer un système d'alarme distribué qui servira à détecter les intrusions sur un large secteur.

Ils permettent aussi la surveillance de voies ferrées pour prévenir des accidents avec des animaux ou des êtres humains

- **Applications environnementales** :

Les réseaux de capteurs sont beaucoup appliqués dans ce domaine pour mesurer des températures, détecter des incendies, surveiller des catastrophes naturelles et détecter des pollutions.

- **Applications médicales :**

Les réseaux de capteurs sans fil servent à la chirurgie dans la détection des cellules cancéreuses, à la localisation des patients et des médecins à l'intérieur d'un hôpital ainsi que pour l'administration des doses précises de médicaments

- **Applications commerciales :**

Des nœuds capteurs peuvent être utilisés pour améliorer les processus de stockage et de livraison. Le réseau peut ainsi être utilisé pour connaitre la position, l'état et la direction d'une marchandise. Un client attendant une marchandise peut alors avoir un avis de livraison en temps réel et connaitre la position des marchandises qu'il a commandées.

- **Application domestique** :

Les nœuds capteurs peuvent intégrer dans des appareils tels que l'aspirateur, micro-onde …etc. Ils peuvent interagir entre eux ou en externe via internet pour permettre à un utilisateur de contrôler les appareils domestiques localement ou à distance. En plaçant des capteurs sur le plafond ou dans le mur, on peut économiser l'énergie en gérant l'éclairage ou le chauffage en fonction de la localisation des personnes et seulement si c'est nécessaire.

9- Notions fondamentales des RCSFs :

- ✓ **notion de routage** :

L'envoi/réception de données dans les RCSFs est représenté comme la plus importante fonctionnalité du réseau, afin d'assurer la meilleure performance du système tels que la durée de vie, le temps d'exécution et la fiabilité.

Le routage est considéré comme une contrainte importante d'adaptation d'une méthode d'acheminement grâce au nombre de capteurs déployés. Il y a beaucoup de travaux qui se basent sur ce concept du routage aux RCSFs, dans le but de satisfaire les aspects suivants : la mobilité, la tolérance aux pannes et à l' acheminement des messages. Il est considéré comme un outil de minimisation d'énergie pour prolonger la durée de vie.

- ✓ **notion de sécurité** :

Les RCSFs sont utilisés dans plusieurs domaines hostiles, où un attaquant profite des failles du réseau comme une vulnérabilité physique (permettant de changer en partie de capteur),

Une vulnérabilité logique (existe dans le programme ou protocole) en utilisant différentes attaques par exemples insertion de boucle infinie, brouillage radio…etc.

- ✓ **notion d'énergie** :

Les RCSFs sont un ensemble de petits dispositifs appelés capteurs, déployés dans des zones sensibles sans contrôle ni surveillance, caractérisés par une unité d'énergie de taille limitée (irremplaçable et non rechargeable) provoquant un épuisement de capteur.

10-L'énergie dans les Réseaux de capteurs sans fil : [DJA08]

- ➢ **La consommation d'énergie :**

Comme les nœuds capteurs sont des composants micro-électroniques, ils ne peuvent être équipés que par des sources limitées d'énergie. Dans certaines applications, ces nœuds ne peuvent pas être dotés de mécanismes de rechargement d'énergie, par conséquent, la durée de vie d'un nœud capteur dépend fortement de la durée de vie de la batterie associée.

Sachant que les réseaux de capteurs sont basés sur la communication multi-sauts, chaque nœud joue à la fois un rôle d'initiateur de données et de routeur également. Le mauvais fonctionnement d'un certain nombre de nœuds entraîne un changement significatif sur la topologie globale du réseau et peut nécessiter un routage de paquets différent et une réorganisation totale du réseau. C'est pour cela que le facteur de consommation d'énergie est d'une importance primordiale dans les réseaux de capteurs. La majorité des travaux de recherche menés actuellement se concentrent sur ce problème afin de concevoir des algorithmes et protocoles spécifiques à ce genre de réseau qui doivent consommer le minimum d'énergie.

Dans les réseaux de capteurs, l'efficacité en consommation d'énergie représente une métrique de performance significative qui influence directement sur la durée de vie du réseau en entier. Pour cela, les concepteurs peuvent, au moment du développement des protocoles, négliger les autres métriques de performance, comme la durée de transmission et le débit, au détriment du facteur de consommation d'énergie.

- ➢ **Phases de consommation d'énergie :**

Détecter les évènements dans l'environnement capté, élaborer un traitement de données local et rapide, et transmettre les résultats à l'utilisateur sont les principales tâches d'un nœud dans un réseau de capteurs. Les étapes de consommation d'énergie par un nœud peuvent être divisées en trois phases : **le captage**, **la communication** et le **traitement de données**.

a-phase de captage : L'énergie consommée au moment du captage varie suivant la nature de l'application. Cette phase consomme moins d'énergie qu'un contrôle d'événement constant. La complexité de l'événement à détecter joue également un rôle crucial pour déterminer la quantité d'énergie consommée.

b-phase de communication : Parmi les trois phases citées auparavant, la phase de communication de données est celle qui consomme la plus grande quantité d'énergie, à cause de la multitude de composants électroniques intégrés au circuit responsable de cette opération. Cette phase implique les deux étapes d'émission et de réception des données. Il est démontré que les communications à courte portée s'effectuent avec une faible puissance de radiation.

c-phase de traitement des données :

Elle dépend du fonctionnement du microprocesseur, elle peut être dissipée de deux façons :

- L'énergie de commutation déterminée par la tension d'alimentation.
- L'énergie de fuite correspondant à l'énergie consommée lorsque le microprocesseur n'effectue aucun traitement.

11- Contrainte et Facteur de conception dans les RCSFs :

Les principaux facteurs et contraintes qui influencent sur l'architecture du réseau de capteur sont résumés comme suit [HN12] :

- ✓ **Tolérance aux fautes :**

C'est la capacité de maintenir les fonctionnalités du réseau en présence des fautes, cette défaillance est produite à cause du mauvais fonctionnement, ce qui peut provoquer aussi une perte d'énergie.

- ✓ **Facteur d'échelle**:

Dans les RCSFs des milliers de nœuds sont utilisés dans n'importe quel domaine d'application. Il faut garantir le bon fonctionnement du réseau si le nombre de nœuds est augmenté.

- ✓ **Coût de production** :

Les réseaux de capteurs sont composés d'un nombre très important de nœuds. Il faut que le coût de fabrication de ces nœuds capteurs et le coût global du réseau ne soient pas supérieurs à celui d'un réseau classique afin de pouvoir justifier son intérêt.

- ✓ **Environnement :**

Les nœuds capteurs doivent être déployés dans un environnement afin de résister aux différentes conditions météorologiques telles que les fortes chaleurs, la pluie, l'humidité.

- ✓ **Média de transmission :**

Dans les RCSFs, les nœuds sont reliés par une architecture sans fil afin de leur permettre de communiquer entre eux dans le monde entier. Par exemple les médias de transmission les plus utilisé sont : Zigbee, Infrarouge, Bluetooth et communication radio.

- ✓ **Connectivité (routage)** :

La connexion dans les réseaux sans fil dépend de l'existence de route, par conséquent, une défaillance du routage peut engendrer la perte des liens, l'isolement des nœuds, et le partitionnement du réseau.

12-Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les généralités sur les réseaux de capteurs sans fil (RCSF). Nous avons parlé de l'architecture, des composants, du fonctionnement, des applications, ainsi que de leurs caractéristiques. Nous avons montré l'importance des réseaux des capteurs sans fil, qui sont en plein développement et deviennent de plus en plus répandus. Actuellement, ils constituent un thème de recherche très dynamique, tiré vers le haut, par leurs utilisations dans divers domaines. En effet, leurs applications sont de plus en plus nombreuses et diversifiées. Cependant la réalisation de ces applications pose de grands défis auxquels il faut répondre ; l'énergie consommée et le routage de ces réseaux est l'un des défis les plus importants à considérer.

Dans le chapitre suivant, nous parlerons des protocoles de communications dans RCSFs.

CHAPITRE II

Les protocoles de communication dans les RCSF

1-Introduction :

Dans les RCSF, nous devons assurer le prélèvement de l'information, le routage et la délivrance des données. Le prélèvement consiste à assurer la couverture de tout point de la zone d'intérêt par, au moins, un capteur. Le routage consiste à établir au moins un chemin entre tout capteur et la station de base alors que la fiabilité de livraison permet d'assurer que les messages arrivent aux destinataires sans erreur.

Dans ce chapitre, nous présentons les types de communication, les protocoles de routage, et une classification des protocoles de routage dans les RCSFs.

2- La communication dans RCSFs :

Le but d'un réseau de capteurs sans fil est la surveillance de l'environnement physique et la transmission des informations capturées. Chaque nœud est équipé d'un ou plusieurs modules de capture, par lesquels les données sont capturées et transportées à travers d'autres nœuds du réseau à la destination finale des données.

En général, deux types de nœuds sont identifiés logiquement : les nœuds qui transmettent leurs propres données capturées (nœuds capteurs), et les nœuds qui transmettent les messages aux autres nœuds (nœuds de relais). Les données capturées sont acheminées depuis les nœuds sources jusqu'aux nœuds destinataires à travers les nœuds intermédiaires, créant ainsi une topologie multi-sauts. Comme illustré dans la figure 7 ci-dessous, cette organisation logique implique **quatre types de communications** [K B 10].

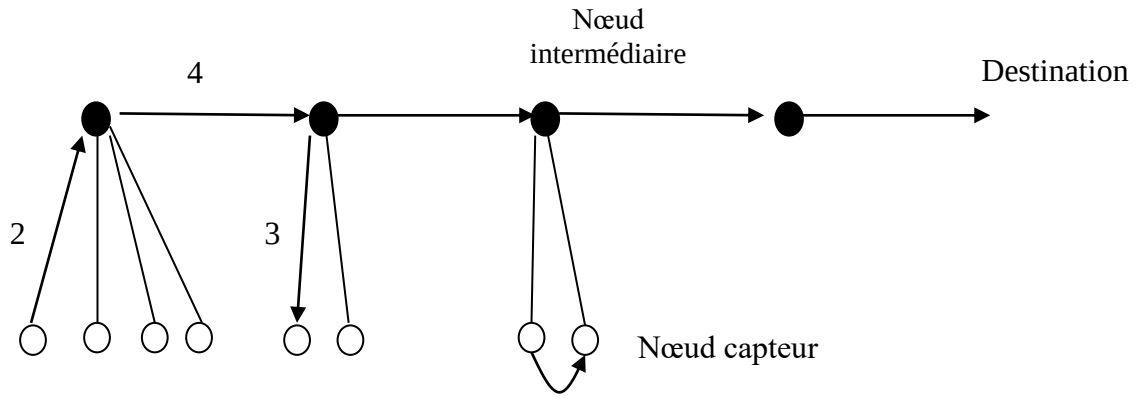


Figure 7 : les types de communications dans le RCSF

3-Les Types de communication dans les RCSFs :

-La communication d'un nœud capteur avec un autre nœud capteur : ce type de communication directe est employé pour des opérations locales, par exemple pendant le processus de "clustering" , ou le processus de création de route.

-La communication d'un nœud capteur avec un nœud intermédiaire : les données capturées sont transmises d'un nœud capteur à un nœud intermédiaire. Ce type de communication est souvent unicast.

-La communication d'un nœud intermédiaire avec un nœud capteur : les requêtes et la signalisation des messages sont souvent multicast. Elles sont diffusées par les nœuds intermédiaires pour atteindre un sous-ensemble des nœuds immédiatement.

-La communication d'un nœud intermédiaire avec un nœud intermédiaire : la communication entre ces nœuds est pour la plupart du temps en mode unicast.

4-Les Protocole de communication des RCSF :

a/Modèle en couche :

C'est la pile de protocoles employée par le puits et les autres nœuds capteurs .Cette pile de protocoles combine la gestion de la puissance et de routage, intégre les données avec les protocoles de gestion du réseau, communique la puissance efficacement a travers le média sans fil, et favorise les efforts coopératifs des nœuds de capteurs. Elle comprend la couche d' application , la couche de transport , couche de réseau, la couche de liaison des données, la couche physique, le plan de gestion de puissance, le plan de gestion de mobilité et le plan de gestion des tâches. Elles sont représentées sur la figure8 [BM10].

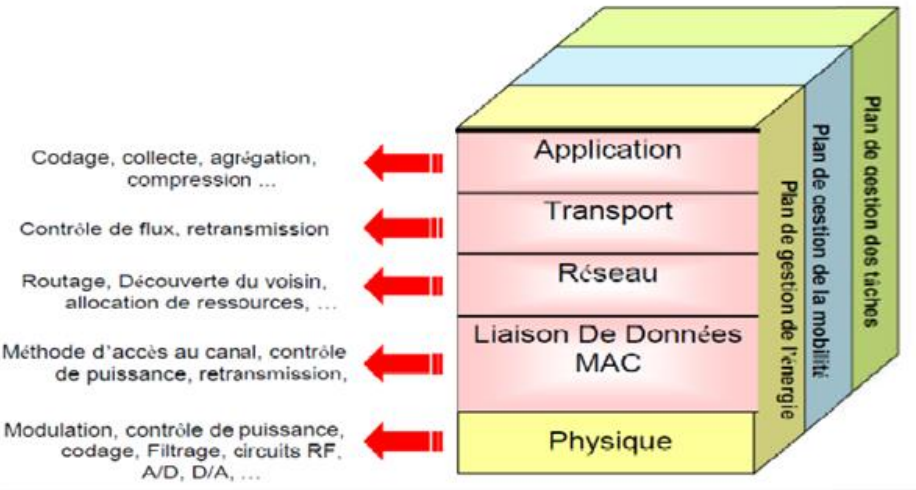


Figure 8 : Le Modèle en couche [BM10]

- **Couche physique** : cette couche permet de spécifier des caractéristiques matérielles, des fréquences porteuses.
- **Couche liaison** : assure la liaison point à point et multipoint dans un réseau de communication. Elle est aussi responsable du multiplexage des données, du contrôle d'erreurs, de l'accès au media de transmission.
- **Couche réseau** : sert à trouver une route pour une transmission fiable des données captées par les nœuds vers le puits "sink" en optimisant l'utilisation de l'énergie.
- **Couche transport** : chargée du transport des données, de leur découpage en paquets, du contrôle de flux, de la conservation de l'ordre des paquets et de la gestion des éventuelles erreurs de transmission.
- **Couche application** : assure l'interface avec les applications. Il s'agit donc du niveau le plus proche des utilisateurs, géré directement par les logiciels.

b/La technologie ZigBee et la norme IEEE 802.15.4 :

ZigBee : ZigBee est un protocole de haut niveau permettant la communication par de petites radios, à consommation réduite, basée sur le standard IEEE 802.15.4 pour le réseau à dimension personnel.

Cette technologie à pour but la communication de courte distance déjà proposée par la technologie Bluetooth. Elle est moins chère et plus simple. A titre d'exemple, les nœuds ZigBee classiques nécessitent environ 10% de code nécessaire à la mise en œuvre de nœuds Bluetooth ou de réseaux sans fil, et les nœuds ZigBee les plus élémentaires peuvent ainsi descendre jusqu'à 2%.

La spécification initiale de ZigBee propose un protocole lent dont le rayon d'action est relativement faible, mais dont la fiabilité est assez élevée, le prix de revient reste faible et la consommation est considérablement réduite.

La norme IEEE 802.15.4 :

C'est une norme qui décrit la couche basse d'un RCSF personnel à basse consommation énergétique, elle définit deux types d'entités qui sont :

RDF=Reduced Function Devices : les nœuds ont des fonctionnalités réduites et très économes en énergie pouvant être connectées à des capteurs ou à des actionnaires.

FFD=Full Function Devices : cette norme a pour but de router et coordonner, entre autres, la formation de topologie du réseau.

La norme IEEE 802.15.4 définit deux sortes de topologies :

La topologie en étoile : les nœuds de cette dernière communiquent via un nœud intermédiaire (coordonnateur).

La topologie pair à pair : la communication dans cette dernière se fait au multi-saut.

5-Les Protocoles de routage :

5.1-Les approches de routage dans les réseaux de capteurs :

Dans un réseau de capteurs, les nœuds sont déployés d'une manière dense dans un champ de captage proche ou à l'intérieur du phénomène capté. Pour permettre la communication dans le réseau déployé, des protocoles de routage dédiés basés sur la communication multi sauts sont nécessaires entre les nœuds capteurs et le nœud puits du réseau. Le principe de fonctionnement de chaque protocole diffère suivant la philosophie de l'approche à laquelle il appartient. Ces approches peuvent être distinguées comme suit : **la structure du réseau**, **les fonctions des protocoles**, **l'établissement de route** et **l'initiateur de communication.**

5.2-La classification des différentes approches de routage :

Le tableau ci-dessous montre la classification de différentes approches de routage selon les critères suivants : la structure du réseau, les fonctions des protocoles, l'établissement de routes et l'initiateur de communication.

Selon la structure du réseau	A Plat
	Hiérarchique
	Localisation Géographique
Selon les fonctions des protocoles	Routage Basé Sur La Qualité De Service
	Routage Basé Sur Le Contrôle De Flux
	Routage Basé Sur Multi-Chemins
	Routage Basé Sur La Négociation
Selon l'établissement de route	Proactif
	Réactif
	Hybride
Selon l'initiateur de communication	Source
	Destination

Tableau 1 : Classification des approches de routage dans les RCSFs

5.2.1-Classification selon la structure du réseau :

Les protocoles de routage basés sur la structure du réseau peuvent être classés en trois catégories : **protocoles à plat**, **protocoles hiérarchiques** et **protocoles basés sur la localisation géographique**. [MA17]

- **Routage à plat :**

La première catégorie des protocoles de routage est celle des protocoles de routage à plat multi-sauts dont les protocoles sont basés sur le principe des protocoles centrés- données "data-centric protocols" où tous les nœuds ont le même rôle et ils collaborent entre eux pour accomplir la tâche de routage. En raison du grand nombre de tels nœuds, il n'est pas faisable d'affecter un identificateur global à chaque nœud. Alors un système de dénomination par attribut (attribut values) est nécessaire pour spécifier les propriétés des données. Le routage à plat est présenté par la figure suivante :

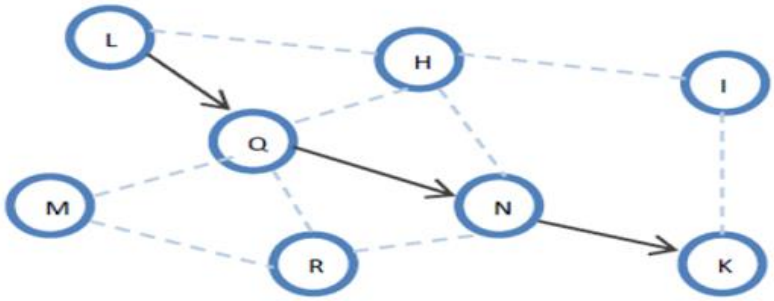


Figure 9 : le routage à Plat [MA17]

- **Routage hiérarchique** :

Les protocoles du routage hiérarchique sont chargés généralement d'établir des cluster-heads et de définir la manière dans laquelle les nœuds décident quel cluster-head rejoindre.

Le but principal du routage hiérarchique est de maintenir l'efficacité de consommation d'énergie des nœuds capteurs en les impliquant dans la communication multi-sauts avec un cluster particulier et en performant l'agrégation de données afin de diminuer le nombre de messages transmis à la destination. La formation des clusters est typiquement basée sur l'énergie réservée dans les nœuds capteurs et de la proximité de ceux-ci au cluster-head. Le principe est présenté par la figure 10 :

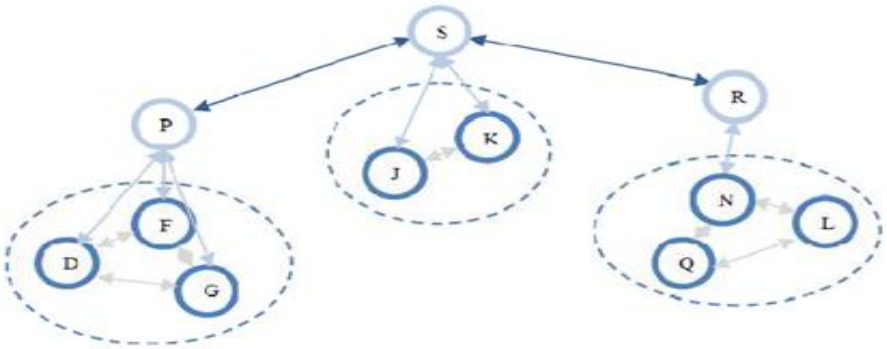


Figure 10 : le routage hiérarchique [MA17]

- **Routage basé sur la localisation géographique** :

La plupart des protocoles de routage dans les réseaux de capteurs nécessitent la localisation des nœuds capteurs. En général, ces informations sont nécessaires pour calculer la distance entre deux nœuds particuliers de sorte que la consommation d'énergie puisse être estimée.

Puisque il n'y a aucun système d'adressage pour les nœuds dans les réseaux de capteurs (comme les adresses IP) et comme ils sont déployés dans une région d'une manière aléatoire, l'information de localisation de ces nœuds peut être utilisée dans le routage des données d'une manière efficace en termes d'énergie. Par exemple, si la région à sentir est connue, en utilisant la localisation des nœuds capteurs pour diffuser la requête seulement à cette région particulière, alors il est facile d'éliminer le nombre de transmissions de manière significative.

5.2.2-Classification selon les fonctions des protocoles :

Les protocoles de routage peuvent être classifiés selon leurs fonctionnalités en quatre catégories : routage basé sur la **Qualité de Service** "QdS" (Quality of Service "QoS" based routing), **routage basé sur le flux de données** dans le réseau (Network flow based routing), **routage basé sur des multi-chemins** (Multi-path based routing), et **routage basé sur la négociation** (Negociation based routing).

- **Routage basé sur la Qualité de Service** :

Dans les protocoles de routage basés sur la QdS, le réseau doit s'équilibrer entre la consommation d'énergie et la qualité de données. En particulier, le réseau doit satisfaire une certaine métrique de QdS, par exemple : largeur de la bande passante

- **Routage basé sur le flux de données dans le réseau** :

Dans cette approche, la phase d'établissement de routes est modélisée et résolue comme un problème de demande de flux de données où le flot représente la route que les paquets prennent, et la demande représente le taux auquel les paquets sont produits par les différents nœuds.

- **Routage basé sur multi-chemins** :

Dans cette sous-section, les protocoles de routage utilisent des chemins multiples plutôt qu'un chemin simple afin d'augmenter la performance du réseau. La tolérance aux fautes d'un protocole est mesurée par la probabilité qu'un chemin alternatif existe entre une source et une destination quand le chemin primaire est défaillant. Ceci peut être augmenté en maintenant les chemins multiples entre la source et la destination aux dépens d'une consommation d'énergie et d'une génération du trafic. Ces chemins alternatifs sont maintenus par l'envoi périodique des messages. Par conséquent, la fiabilité du réseau peut être augmentée en maintenant les chemins alternatifs les plus récents.

- **Routage basé sur la négociation :**

Ces protocoles utilisent des descripteurs de données de niveau élevé afin d'éliminer les transmissions de données redondantes par la négociation. Cette dernière est utilisée aussi pour prendre les décisions de communication en se basant sur les ressources disponibles.

5.2.3-Classification selon l'établissement de la route :

Suivant la manière de création et de maintenance de routes lors de l'acheminement des données, les protocoles de routage peuvent être séparés en trois catégories : **les protocoles proactifs**, **les protocoles réactifs** et **les protocoles hybrides**.

- **Protocoles proactifs** :

Les protocoles de routage proactifs essaient de maintenir les meilleurs chemins existants vers toutes les destinations possibles (qui peuvent représenter l'ensemble de tous les nœuds du réseau) au niveau de chaque nœud du réseau.

- **Protocoles réactifs :**

Les protocoles de routage réactifs (dit aussi, les protocoles de routage à la demande) créent et maintiennent des routes selon les besoins. Lorsque le réseau a besoin d'une route, une procédure de découverte de route est lancée.

- **Protocoles hybrides** :

Les protocoles hybrides combinent les deux idées des protocoles proactifs et réactifs. Ils utilisent un protocole proactif pour apprendre le proche voisinage (par exemple le voisinage à deux ou à trois sauts), ainsi, ils disposent des routes immédiatement dans le voisinage. Au delà de la zone de voisinage, le protocole hybride fait appel à un protocole réactif pour chercher des routes.

5.2.4-Classification selon l'initiateur de communication :

La communication dans un réseau de capteurs peut être lancée par les nœuds sources ou par les nœuds destinataires.

- **Communication lancée par la source** :

Dans les protocoles de communication lancée par la source, les nœuds envoient des données à la destination quand ils les ont capturées. Ces protocoles utilisent les données rapportées avec **time-driven** ou avec **event-driven**. Ceci signifie que les données sont envoyées à certains intervalles ou quand les nœuds capturent certains évènements.

- **Communication lancée par la destination :**

Les protocoles de communication lancés par la destination utilisent les données rapportées avec query-driven, et dans ce cas, les nœuds répondent aux requêtes envoyées par la destination ou un autre nœud différent. C'est-à-dire propager les requêtes à tous les nœuds d'une région topologique et attendre la réception des données du nœud capteur concerné dans cette région.

6-Exemples des techniques et protocoles de routages pour les RCSF :

6.1-Inondation(Flooding) :

Le Flooding ou inondation en français est une technique classique pour le routage dans les RCSFs. Dans cette approche, chaque nœud reçoit un paquet et l'envoie à tous ses voisins.
Ce processus ne se termine que si le paquet est arrivé à destination ou si le nombre maximum de sauts est atteint. Ce protocole n'a nul besoin ni de maintenir une table de routage, ni de découvrir son voisinage et maintenir une topologie bien précise.

6.2-Gossiping :

Gossiping est une version modifiée du Flooding, dans laquelle un nœud ne diffuse pas les messages reçus à tous ses voisins, mais il les transmet à un seul nœud, sélectionné aléatoirement.

Cette technique évite le problème d'implosion en ayant une seule copie de message au niveau de chaque nœud, mais elle génère un retard dans la propagation des messages dans tout le réseau.

6.3-Diffusion dirigée (Direct Diffusion) :

Le protocole de diffusion dirigée proposé est un protocole important dans le routage à plat dans les RCSFs. L'idée de base vise à répandre des données aux nœuds capteurs en utilisant un schéma de nommage pour les données.

6.4-SPIN: Sensor Protocols for Information via Negotiation: [TCA &BCA 16]

SPIN repose sur un modèle de négociation. Il présente de nombreuses similitudes par rapport à la diffusion dirigée. Il est efficace dans la réduction des données redondantes et économise l'énergie, par rapport aux méthodes de diffusion traditionnelles telles que l'inondation, pour pallier aux problèmes de ces méthodes, SPIN adopte deux principes :

- **La négociation** : SPIN précède l'émission d'une donnée par sa description, en utilisant la notion de métadonnées. Le récepteur aura le choix par la suite d'accepter la donnée ou non.
- **L'adaptation aux ressources** : d'une manière continue, les nœuds contrôlent leur niveau d'énergie. Le protocole SPIN accommode son exécution suivant l'énergie restante du capteur, et modifie en conséquence le comportement du nœud.
- **Routage par rumeur : Rumor Routing :** Le routage par rumeur est principalement destiné pour des applications où le routage géographique n'est pas faisable. Le principe est que le nœud origine d'un événement envoie ce dernier à un des ses voisins au hasard tel que chaque nœud qui le reçoit fait de même. Chaque nœud qui reçoit l'événement connaît le nœud d'origine de cet événement et le chemin qu'il a parcouru et en garde trace. On diffuse de la même façon les demandes. Quand une demande arrive sur un nœud on regarde si l'on a, sur ce nœud, une trace de l'événement qu'elle demande. Si c'est le cas on sait d'où vient l'événement et nous avons le chemin pour atteindre son nœud d'origine.

6.5-GEAR: Geographic and Energy-Aware Routing: [TCA16 ,BCA16]

Le protocole de routage GEAR consiste à utiliser l'information géographique lors de la diffusion des requêtes aux régions cibles car les requêtes contiennent souvent des données géographiques.

L'idée est de restreindre le nombre de données dans la diffusion dirigée en prenant en considération uniquement une certaine région, plutôt que d'envoyer les données à l'ensemble du réseau.

6.8-LEACH: Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy : [KS 12]

LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) est un protocole de routage hiérarchique, employant un procédé de clustering qui divise le réseau en deux niveaux : **les cluster-heads** et **les nœuds membres**. Le protocole se déroule en rounds. Chaque round se compose de deux phases : **construction et communication**

Phase de construction

Le but de cette phase est la construction des clusters en choisissant les chefs et en établissant la politique d'accès au média au sein de chaque groupe. Cette phase commence par la prise de décision locale pour devenir cluster-head. Chaque nœud n choisit un nombre aléatoire, si ce nombre est inférieur à une valeur T (n), le nœud devient cluster-head. T (n) est défini comme suit :

$$T(n) = \begin{cases} \dfrac{p}{1 - P \times \left(r \bmod \frac{1}{p}\right)} & si\ n \in G \\ 0 & sinon \end{cases}$$

avec :

P : pourcentage désiré de cluster-heads pendant un round.

r : numéro du round.

G : l'ensemble des nœuds qui n'ont pas été élus cluster-heads pendant les 1/P rounds précédents. Par la suite, chaque nœud qui s'est élu cluster-head émet un message de notification. Les nœuds membres récoltent les messages de notification, et décident leur appartenance à un cluster. La décision est basée sur l'amplitude du signal reçu : le cluster-head ayant le signal le plus fort est choisi (i.e. le plus proche). En cas d'égalité, un chef aléatoire est choisi. Chaque membre informe son chef de sa décision.

Phase de communication

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 au collecteur (sink).

Cette communication, entre un cluster-head et le collecteur, se fait d'une manière directe ; le cluster-head adapte son émetteur radio afin d'atteindre directement le collecteur. Le protocole Leach sera présenté en détail dans le chapitre 3.

6.7-PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information System [DJA08]

PEGASIS est une version améliorée de LEACH. Le but de PEGASIS est de former une chaîne entre les nœuds de sorte que chaque nœud communique uniquement avec ses voisins les plus proches. Les données collectées sont transmises d'un nœud à un autre qui les agrège jusqu'à ce qu'elles arrivent à un nœud particulier (leader) qui les transmet à la station de base. Les nœuds qui transmettent les données à la station de base, sont choisis tour à tour selon une politique round-robin dans le but de réduire l'énergie moyenne dépensée par un nœud durant une période (round).Dans ce protocole, au lieu de former des clusters, PEGASIS procure à un seul nœud dans la chaîne l'envoi de données à la station de base.

6.8-TEEN : [DJA08]

TEEN est un protocole de routage basé sur les clusters, Son comportement est très semblable au protocole LEACH. Ce dernier est destiné aux applications time-driven (orienté temps). Dans ce type d'application, la donnée est propagée d'une manière périodique. Ce genre de protocole est inadapté pour les applications event-driven (orienté événements), où un comportement réactif est nécessaire pour le bon fonctionnement du système. TEEN a été développé pour améliorer LEACH afin de répondre aux exigences des applications event-driven.

TEEN est conçu pour être sensible à des changements soudains des attributs tels que la température. Il utilise la même stratégie que LEACH pour l'étape de formation des clusters, mais adopte une approche différente pour la phase de transmission des données. Durant cette étape, il utilise deux paramètres définis par l'utilisateur appelé hard threshold (ht) et soft threshold (st) et ceci, pour pouvoir déterminer le besoin de transmission de la donnée captée vers la station de base. Si la valeur captée excède ht pour la première fois, elle est stockée dans une variable et transmise durant le temps alloué par le chef du cluster au nœud concerné. Si la valeur captée dépasse, par la suite, la valeur stockée par une magnitude st, le nœud

décide de la transmettre et stocke cette nouvelle valeur dans son cache pour les comparaisons ultérieures.

6.9-SPEED : [DJA08]

Speed permet d'assurer certaines métriques de qualité de service lors du routage de données dans les RCSFs. Ils ont ajouté une métrique supplémentaire par rapport à GEAR : le délai. Ce protocole exige que chaque nœud maintienne des informations sur ses voisins. Il procède par un routage géographique pour sélectionner les nœuds de prochains sauts jusqu'à l'arrivée à la destination finale(le nœud puit).

SPEED assure une vitesse de livraison des paquets constante, que nous notons Setspeed. Ceci permet de garantir des délais de livraison de bout en bout acceptables ; Ces délais peuvent être estimés en divisant la distance séparant le nœud source du puit par la vitesse setspeed.

7-Synthèse des protocoles de routage dans les RCSFs :

Nous avons cité quelques protocoles de routage utilisés dans les réseaux de capteurs sans fil, le tableau suivant récapitule les différentes classes associées à chaque protocole ; il indique ces derniers selon leur appartenance à une ou plusieurs classes.

Lors de la classification de ces protocoles selon les approches de routage, nous remarquons que ces protocoles peuvent appartenir au plus d'une catégorie.

Classification / Protocoles	Structure de réseau	Etablissement de la route	Initiateur de la communication
Flooding	A plat	Réactif	Source
Gosping	A plat	Réactif	Source
SPIN	A plat	Proactif	Source
Direct diffusion	A plat	Multi-chemins/ Négociation	Destination
Rumor Routing	A plat	Réactif	Source
Gear	Localisation	Réactif	Destination
Speed	Localisation/A plat	Hybride	Source
Leach	Hiérarchique	Proactif	Source
Teen	Hiérarchique	Réactif	Destination
PEGASIS	Hiérarchique	Hybride	Source

Tableau 2 : La synthèse des protocoles de routage

8-Contrainte de routage dans RCSFs

- ✓ **Absence d'adressage global** : difficile d'établir l'adresse suite au grand nombre de nœuds.
- ✓ **Réseau source multiple/destination unique** : dans les RCSFs les applications exigent une transmission de données mesurées de la source à la destination.
- ✓ **Données redondantes** : les nœuds de capteurs peuvent capter les mêmes données.
- ✓ **Gestion de ressources** : les noeuds capteurs permettent de gérer soigneusement la ressource de taille limitée .
- ✓ **Contrainte d'énergie** : les nœuds capteurs doivent conserver l'énergie de la batterie pour prolonger la durée de vie du réseau.
- ✓ **Tolérance aux fautes** : elle permet de maintenir les fonctionnalités sans interruption, suite à des erreurs intervenues du capteur, elle cause le dysfonctionnement du réseau.

9-Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté un aperçu sur les protocoles de communication dans les RCSF ainsi que leurs classifications selon l'approche de routage.

De ce fait, il est nécessaire de concevoir un protocole de routage performant qui augmente la durée de vie d'un réseau de capteurs sans fil. Dans le chapitre suivant ; nous allons mettre en œuvre le protocole Leach et nous proposons une solution qui minimise la consommation d'énergie et maintient la durée de vie du réseau.

CHAPITRE III

L'évaluation et la mise en oeuvre de la solution

1-Introduction :

L'objectif de notre travail est la mise en œuvre d'une solution qui permet de réduire le nombre de communications, minimiser la consommation d'énergie et maintenir la durée de vie du réseau. Dans ce chapitre nous présentons les outils nécessaires pour l'implémentation du protocole hiérarchique Leach et le protocole OR-Leach. Nous décrivons notre solution proposée et présentons les résultats relevés lors des tests de simulation.

2-Environnement de simulation :

Nous présenterons les outils utilisés pour la mise en œuvre du protocole Leach.

Nous commencerons tout d'abord par TinyOS, le système d'exploitation conçu pour les dispositifs à ressources limitées, en particulier, les RCSF. Nous décrirons ensuite le langage de programmation NesC avec lequel les codes du protocole sont programmés. Nous terminerons cette partie par la présentation d'un simulateur des RCSF TOSSIM qui offre deux mécanismes permettant d'émuler le réseau : l'interface graphique TinyViz pour visualiser le déroulement de la simulation, et le simulateur PowerTossim pour simuler et évaluer la consommation d'énergie.

- **3-TinyOs :** [SK12]

Suite aux différents problèmes vécus par les réseaux de capteurs (problèmes énergétiques et de mémoire), l'université de Berkeley a développé alors un système d'exploitation minime destiné pour ces réseaux intitulé TinyOs . Ce dernier a l'avantage de permettre une programmation simple et puissante tout en gardant la portabilité de code pour les nombreuses plateformes supportées. Il est utilisé par plus de 500 universités et centres de recherche dans le monde. Il respecte une architecture basée sur une association de composants et utilise une programmation entièrement réalisée en langage NesC.

4-Notion principales de TinyOS :

TinyOs est construit autour des différents concepts décrits ci-dessous.

- Les composants sont constitués de :
  - **Frame** : c'est un espace mémoire de taille fixe permettant au composant de stocker les variables globales et les données qu'il utilise. Il n'en existe qu'un seul par composant.
  - **Tâches** : elles contiennent l'implémentation des fonctions. Elles sont décomposées en deux catégories : les commandes et les événements.
- **Les interfaces** : elles représentent le descriptif des fonctions définies dans les tâches.

5-NesC : [SK12]

NesC est un langage de programmation orienté aux composants syntaxiquement proches du langage C. Il est conçu par la réalisation des systèmes embarqués et distribués, en particulier, les RCSF.

Il existe trois types de fichiers sources des applications NesC : les fichiers interfaces, les fichiers configurations et modules qui constituent les composants.

- Une configuration définit les composants et/ou les interfaces utilisés par l'application déployée sur le capteur. Elle définit aussi la description des liaisons entre eux.
- Un module constitue la brique élémentaire du code et implémente une ou plusieurs interfaces.
- Une interface définit d'une manière abstraite les interactions entre deux composants. Elle définit un fichier décrivant les commandes et les évènements proposés par le composant qui les implémente. Une commande doit être implémentée par le fournisseur de l'interface et un évènement doit être implémenté par l'utilisateur de l'interface.

On distingue les modules et les configurations dans le but de permettre aux concepteurs d'un système de construire des applications rapidement et efficacement. Par exemple, un concepteur peut fournir uniquement une configuration qui relie un ensemble de modules qu'il ne développe pas lui même. De plus, un autre développeur peut fournir une librairie de modules qui peuvent être utilisés dans la construction d'autres applications.

6-TOSSIM : [SK12]

Avant la mise en place, le déploiement d'un RCSF nécessite une phase de simulation afin de s'assurer du bon fonctionnement de tous les protocoles de communication qu'il utilise.

En effet, pour de grands réseaux, le nombre de capteurs peut atteindre plusieurs milliers et entraine donc un coût financier relativement important.

Ainsi, il faut réduire au maximum les erreurs de la conception. Malgré cela, il reste des facteurs réels qui ne peuvent être pris en compte par la simulation, tels que les contraintes physiques (perturbations électromagnétiques, inondations, etc.).Pour arriver à simuler le comportement des capteurs au sein d'un RCSF, un outil très puissant a été développé et proposé pour TinyOs sous le nom TOSSIM. Le principal but est de créer une simulation très proche de ce qui se passe dans les RCSF dans le monde réel. Une économie d'effort et une préservation du matériel sont possibles grâce à cet outil.

Pour une compréhension moins complexe de l'activité du réseau, TOSSIM peut être utilisé avec une interface graphique TinyViz. Cette dernière est équipée de plusieurs API plugins qui permettent d'ajouter plusieurs fonctions à notre simulateur comme par exemple suivre la dépense d'énergie en utilisant un autre simulateur qui est PowerTOSSIM.

7-TinyViz : [SK12]

TinyViz est une interface graphique, elle permet de donner un aperçu des capteurs à tout instant ainsi que des divers messages qu'ils émettent.

Elle détermine un délai entre chaque itération des capteurs afin de permettre une analyse pas à pas du bon déroulement des actions en activant différents modes comme Radio, CPU, etc.

Nous allons détailler un peu ce que fait chaque bouton présent dans l'interface :

- **ON/OFF** : met en marche ou éteint un capteur.
- **Delay** : permet de sélectionner la durée au bout de la quelle se déclenche le timer.
- **Play** : permet de lancer la simulation ou de la mettre en pause.
- **Grilles** : permet d'avoir une grille pour situer les capteurs en espace.
- **Clear** : efface tous les messages qui transitent entre les capteurs.
- **Arrêt** : met fin à la simulation.

8-LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy): [KS12] &[DJA08]

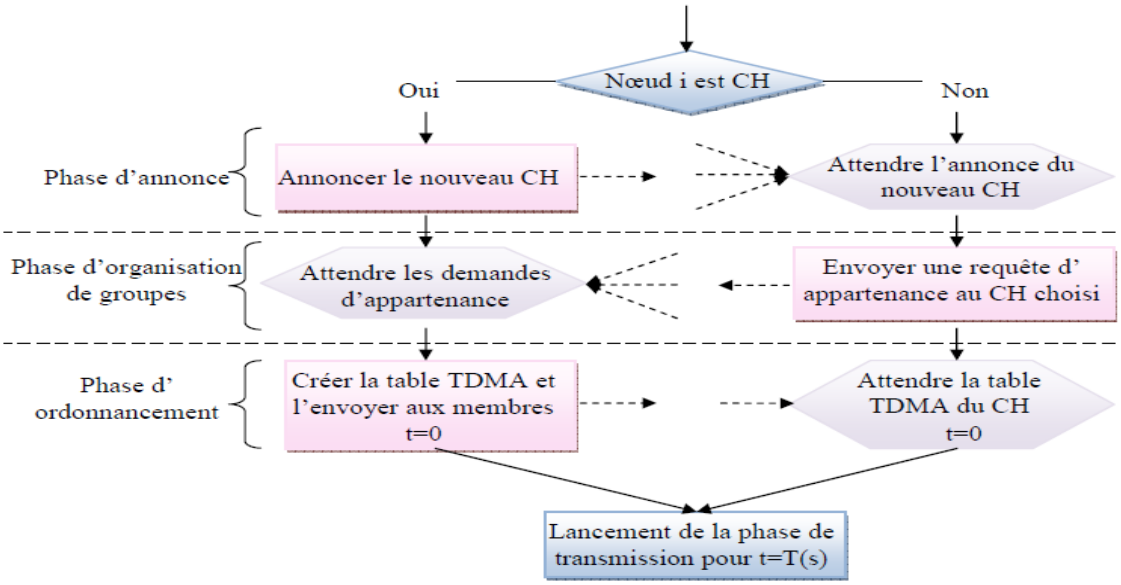
LEACH est un protocole de routage destiné aux RCSF. Son principal avantage est de minimiser la consommation énergétique des éléments du réseau. C'est un protocole hiérarchique, car le réseau est divisé en clusters, et chaque cluster possède un nœud 'maître' appelé cluster-head. Ce dernier prend en charge la gestion de son cluster. Il est élu périodiquement parmi les nœuds formant le cluster, en fonction de l'état de sa batterie. Ce protocole permet ainsi la structuration du réseau de manière hiérarchique dans le but est d'économiser l'énergie des capteurs .LEACH est fondé sur deux hypothèses de base :

- ✓ Coordination et contrôle localisés pour l'initialisation et le traitement au niveau des clusters.
- ✓ Rotation randomisée des clusterheads pour que ces derniers n'épuisent pas leurs batteries rapidement.
- ✓ Agrégation des données par les clusterheads. Les CHs agrègent les données envoyés par les nœuds membres appartenant à leurs clusters correspondants, et envoient le paquet résultant de cette opération d'agrégation à la station de base.

8-1-Algorithme détaillé de LEACH :

L'algorithme se déroule en rounds (tours) qui ont approximativement le même intervalle de temps déterminé au préalable. Chaque round commence par une phase d'initialisation suivie d'une phase de transmission.

Phase d'initialisation : la phase d'initialisation est composée de 3 sous phases: d'annonce, d'organisation des groupes et enfin d'ordonnancement. Ces phases seront détaillée ci-dessous



Phase d'annonce :

Avant de lancer cette phase, on désire avoir un certain nombre de CH. Ce nombre, que l'on note K, est fixe et il est inchangé durant tous les rounds. On estime que le pourcentage optimal du nombre de CH désirés devrait être de 5% à 15% du nombre total de nœuds. Si ce pourcentage n'est pas respecté, cela mènera à une grande dissipation d'énergie dans le réseau. En effet, si le nombre de CH est très élevé, on aura un nombre important de nœuds (CH) qui se consacrent aux tâches très coûteuses en ressources énergétiques. Ainsi, on aura une dissipation d'énergie considérable dans le réseau. De plus, si le nombre de CH est très petit, ces derniers vont gérer des groupes de grandes tailles. Ainsi, ces CH s'épuiseront rapidement à cause du travail important qui leur est demandé. Cette phase commence par l'annonce du nouveau round par le nœud puits, et par la prise de décision locale d'un nœud pour devenir CH avec une certaine probabilité Pi(t) au début du round r+1 qui commence à l'instant t. Chaque nœud i génère un nombre aléatoire entre 0 et 1. Si ce nombre est inférieur à Pi(t), le nœud deviendra CH durant le round r+1. Pi(t) est calculé , en fonction de K et de round r

$$\mathbf{Nombre(CH)} = \sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{N}} \mathbf{Pi(t)} = \mathbf{K}$$

Où N est le nombre total de nœuds dans le réseau. Si on a N nœuds et K CH, alors, il faudra **N/K** rounds durant lesquels un nœud doit être élu seulement une seule fois autant que CH avant que le round soit réinitialisé à 0. Donc la probabilité de devenir CH pour chaque nœud i est :

$$\mathbf{Pi(t)} \frac{\textbf{le nombre de CH désirés}}{\textbf{Le nombre de noeuds qui n'ontpas encore été élus CH durant les r rounds précédents}}$$

$$\mathbf{Pi(t)} = \begin{cases} \dfrac{\mathbf{K}}{\mathbf{N - k * (r \bmod N/K)}} & \mathbf{: Ci(t) = 1} \\ \mathbf{1} & \mathbf{: Ci(t) = 0} \end{cases} \qquad (1)$$

Où Ci(t) égal à 0 si le nœud i a déjà été CH durant l'un des (r **mod** N/K) rounds précédents, et, il est égal à 1 dans le cas contraire. Donc, seuls les nœuds qui n'ont pas encore été CH, ont vraisemblablement une énergie résiduelle suffisante que les autres et ils pourront être choisis. Le terme $\sum_{i=1}^{N} Ci(t)$ représente le nombre total des nœuds éligibles d'être CH à l'instant t. Il est égal à :

$$\mathbf{\sum_{i=1}^{N} Ci(t) = N - K * (r \bmod N/K)} \qquad (2)$$

Utilisant l'équation (1) et (2), le nombre CH par round est :

$$\mathbf{Nombre\ (CH) = \sum_{i=1}^{N} Pi(t) * Ci(t) = \left(N - K * (r \bmod N/K)\right) * \left(\frac{K}{N - K * (r \bmod N/k)}\right) = K}$$

La probabilité Pi(t) est basée sur la supposition que tous les nœuds sont initialement homogènes et commencent avec la même quantité résiduelle d'énergie et meurent approximativement en même temps. Cependant, ceci pourrait être le cas juste après le déploiement, mais il n'est pas réellement valable après un certain temps. Alors, si l'énergie des nœuds diffère, il sera plus pratique que la probabilité Pi(t) soit en rapport avec l'énergie restante au niveau de chaque nœud. Cette probabilité sera donc égale à :

$$\boldsymbol{Pi(t) = \frac{Ei(t)}{Etotal(t)} K} \qquad \mathbf{(3)}$$

Où Ei(t) est l'énergie résiduelle relative à chaque nœud i. Utilisant cette probabilité, le nœud avec une plus grande ressource d'énergie a une plus grande chance de devenir CH. Ainsi, le nombre de nœuds souhaités pour être CH dans chaque round est:

$$Nombre\ (CH) = \sum_{i=1}^{N} Pi(t) * Ci(t) = \left(\frac{E1(t)}{Etotal(t)} + \frac{E2(t)}{Etotal(t)} + \cdots \frac{En(t)}{Etotal(t)}\right) K = K$$

Les équations (2) et (3) seront égales si les nœuds commencent avec la même énergie. De plus, en utilisant l'équation (3), les nœuds requièrent des informations sur toute l'énergie disponible dans le réseau.

Phase d'organisation de groupes

Après qu'un nœud soit élu CH, il doit informer les autres nœuds non-CH de son nouveau rang dans le round courant. Pour cela, un message d'avertissement ADV contenant l'identificateur du CH est diffusé à tous les nœuds non-CH en utilisant le protocole MAC CSMA pour éviter les collisions entre les CH.

La diffusion permet de s'assurer que tous les nœuds non-CH ont reçu le message. Par ailleurs, elle permet de garantir que les nœuds appartiennent au CH qui requière le minimum d'énergie pour la communication. La décision est basée donc sur l'amplitude du signal reçu; le CH ayant le signal le plus fort (i.e. le plus proche) sera choisi. En cas d'égalité des signaux, les nœuds non-CH choisissent aléatoirement leur CH

Chaque membre informe son CH de sa décision. Une fois que le CH ait reçu la demande, il lui envoie un message d'acquittement Joins- REQ.

Phase d'ordonnancement

Après la formation des groupes, chaque CH agit comme un centre de commande local pour coordonner les transmissions des données au sein de son groupe. Il crée un ordonnanceur (schedule) TDMA et assigne à chaque nœud membre un slot de temps durant lequel il peut transmettre ses données. L'ensemble des slots assignés aux nœuds d'un groupe est appelé frame. La durée de chaque frame diffère selon le nombre de membres du groupe.

Par ailleurs, afin de minimiser les interférences entre les transmissions dans des groupes adjacents, chaque CH choisit aléatoirement un code dans une liste de codes de propagation CDMA. Il le transmet par la suite à ses membres afin de l'utiliser pour leurs transmissions

Phase de transmission

Cette phase est plus longue que la phase précédente. Elle permet la collecte de données captées. En utilisant l'ordonnanceur TDMA, les membres émettent leurs données captées pendant leurs propres slots. Cela leur permet d'éteindre leurs interfaces de communication en dehors de leurs slots afin d'économiser leur énergie. Ces données sont ensuite agrégées par les CH qui les fusionnent et les compressent, et envoient le résultat final au nœud puits.

Après un certain temps prédéterminé, le réseau va passer à un nouveau round. Ce processus est répété jusqu'à ce que tous les nœuds du réseau soient élus CH, une seule fois, tout au long des rounds précédents. Dans ce cas, le round est réinitialisé à 0

8-2-Implémentation de Leach :

Structure des données :

Les paquets Tinyos sont d'organisé dans une structure appelé TOS_Msg , elle contient le Champ « int_8 (TOSH_DATA_LENGTH) » de différentes paquets selon le rang de nœud (puit ,clusterhead ou membre).

a) Nœud puit

```
Typedef struct puit
  Uint_t16 ID     //l'identificateur de nœud puit d'où tos_adress_local =0
  Uint_8 round  //le round courant
 float probability   //la probability de nœud devient cluster head
 Uint8_t depth     //la puissance du  signal  de CH dans le réseau
}puit ;
```

b)Le nœud cluster head

```
Typedef struct cluster _head
  Unit16_t   ID_CH       //identificateur de cluster head
Unit16_t   ID_membre   //identificateur de nœud membre
Unit8_t   data_ agrég     //la donnée agrégé à envoyer au nœud puit
Uint16_t   slot _ATT       //le slot attribué de  chaque membre
Uint16_t   freq          // fréquence avec laquelle un membre envoi la donnée
}cluster head ;
```

c)Le nœud membre

```
Typedef struct membre
  Unit16_t   ID_membre    //identificateur de nœud membre
Unit16_t   ID_CH         //identificateur de CH auxquelles est appartient le nœud membre
Unit8_t   temp    //la température capté
}membre ;
```

Evènement et commande

Nous citons les principaux évènements utilisés pour l'implémentation de LEACH :

Evénement	**Sortie**	**Fonction**
LEACH_ReceiveMsg_receive(TOS_MsgPtrrpmsg)	TOS_MsgPtr	Réception de round
ANNONCE_ReiceiveMsg_receive(TOS_MsgPtrrpmsg)	TOS_MsgPtr	Annonce du CH
ORGANISATION_ ReiceiveMsg_receive(TOS_MsgPtrrpmsg)	TOS_MsgPtr	Formation de groupe
SLOT_ ReiceiveMsg_receive(TOS_MsgPtrrpmsg)	TOS_MsgPtr	Réception des slots
AGGREGATION_ ReiceiveMsg_receive(TOS_MsgPtrrpmsg)	TOS_MsgPtr	Réception du puits des résultats d'agrégation
RegReplayTimer.fired()	Result_t	Relai des

		annonces du round
RoundTimer.fired()	Result_t	Envoi du nouveau round par le nœud puits

Déroulement :

Dans cette partie , nous expliquerons le déroulement de l'algorithme Leach en faisant appel à tinyviz .Un fichier de configuration est crée pour permettre à l'interface de se lancer avec des paramètres spécifiés , cette dernière représente : le nombre et l'emplacement des capteurs , la durée de simulation et les plugins activés au début de chaque simulation, comme Debug message .A propos des capteurs d'écran nous nous limiterons à visualiser les capteurs tout au long du fonctionnement de l'algorithme .Annonce de CH et déclenchement de round : suite aux différentes étapes de Leach, des transmissions broadcast sont repérées dans un cercle bleu. Le nœud puits envoie un broadcast aux nœuds voisins pour l'annonce du cycle (round). Ces derniers prennent le relai et envoient eux- mêmes des transmissions broadcast à leurs nœuds voisins.

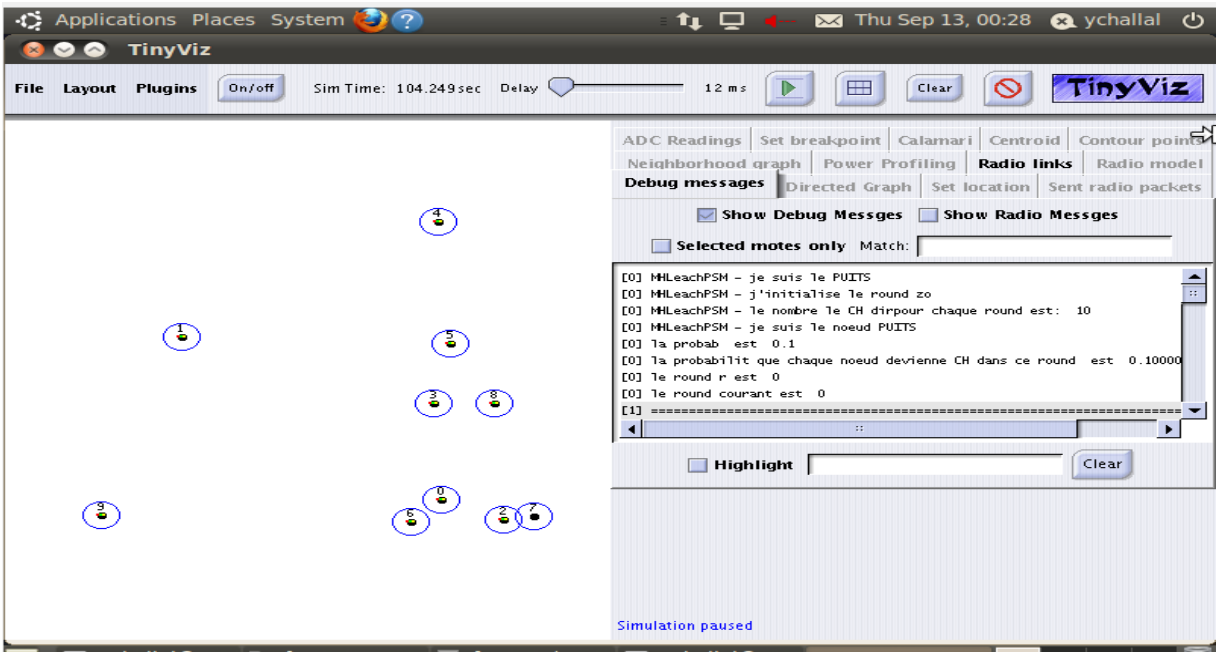


Figure 12 : annonce des CH et déclenchement de round

1- Construction des clusters et envoi données : la transmission se fait en unicast durant les différentes étapes de Leach , en premier lieu les nœuds non CH répond à l'annonce de CH le plus proche puis second étapes ,chaque nœud capte les donnée dans notre cas il s'agit de température et attend le début de son slot.

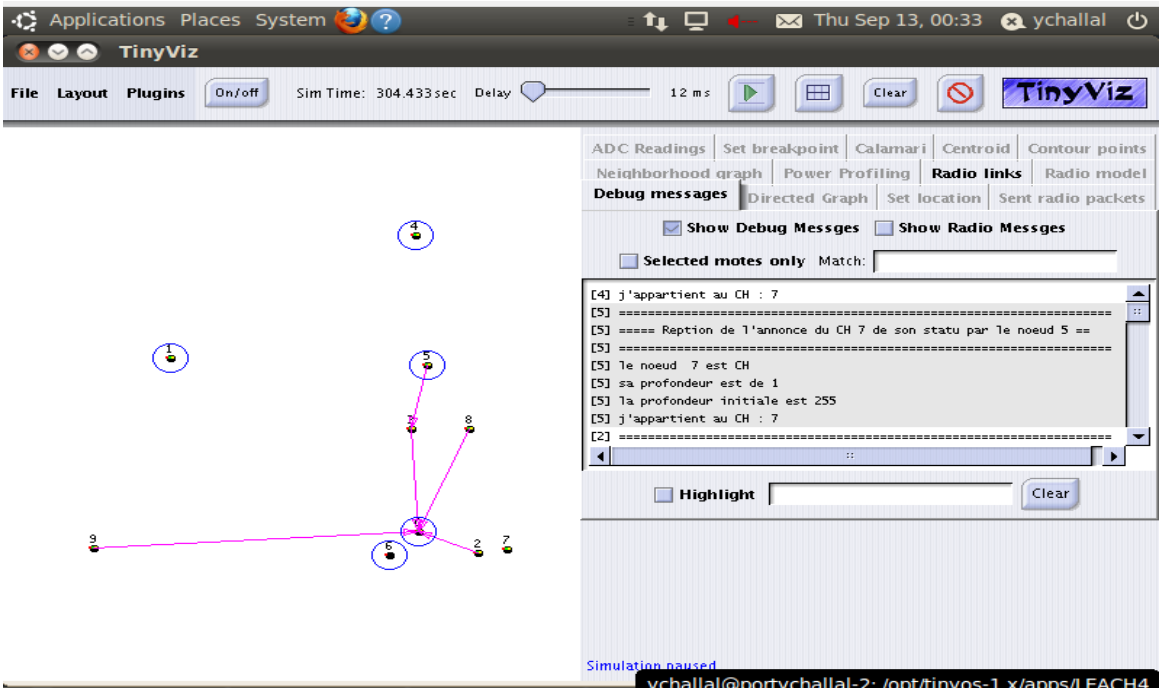


Figure 13 : Construction des clusters et envoi des données

9- Solution proposée :

Dans notre cas, nous avons proposé une stratégie de routage qui consiste à améliorer la transmission des données entre les nœuds (cluster Head) et le nœud puits (station de base) de telle sorte qu'il emprunte le chemin le plus court pour réduire le nombre de communications.

En effet, nous avons opté pour améliorer la transmission des données dans le protocole Leach, d'où nous avons choisi l'arbre de routage optimal. Ce dernier permet de trouver le chemin le plus court.

Dans ce qui suit, nous décrirons la stratégie utilisée :

9-1Routes à consommation minimale d'énergie:

Au moment du routage, le choix de la route à consommation d'énergie minimale peut suivre quatre approches. Afin de décrire chacune d'elles, nous utiliserons la figure 14 où le nœud T sera considéré comme nœud capteur source qui surveille le phénomène. Chaque nœud intermédiaire est caractérisé par la valeur (ED) qui désigne l'énergie disponible au

niveau du nœud, et chaque liaison entre deux nœuds est caractérisée par l'énergie (αi) nécessaire pour transmettre un paquet de données entre les deux extrémités.

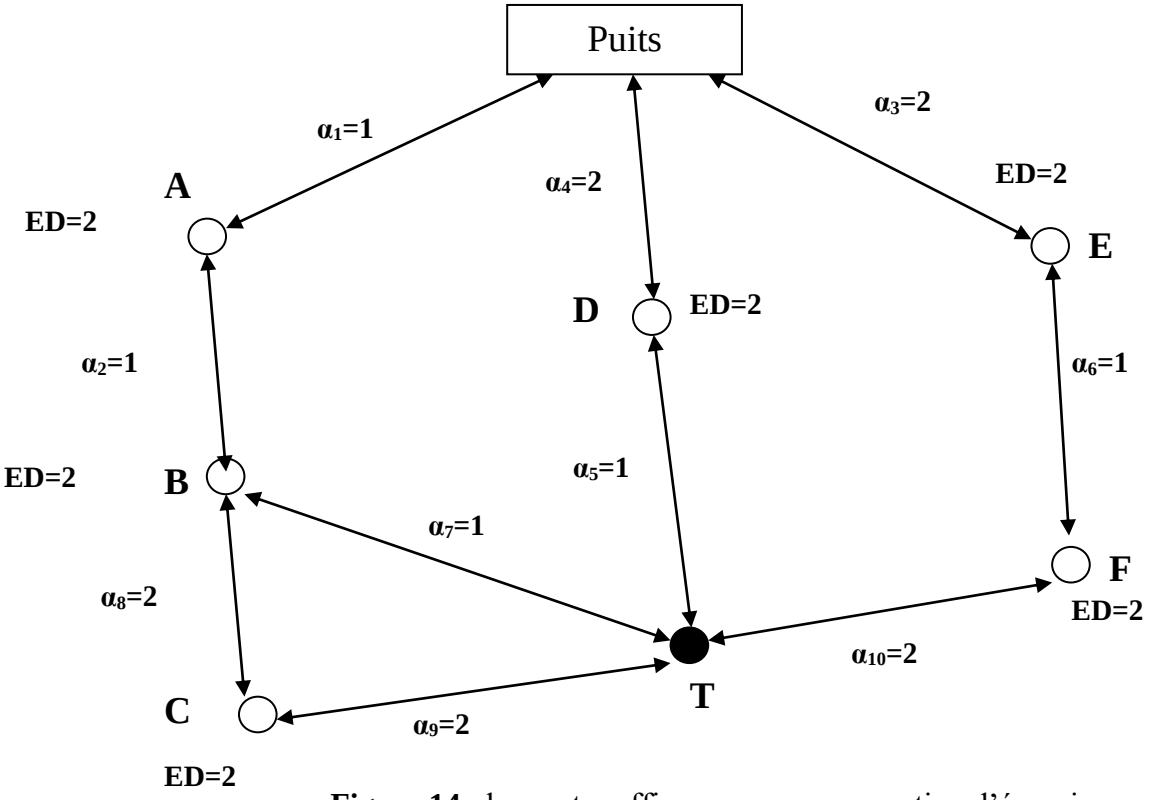


Figure 14 : les routes efficaces en consommation d'énergie

Pour transmettre un paquet du nœud T au nœud puits, 4 routes sont possibles :

***Route 1** : **T-B-A-Puits**, avec l'énergie totale disponible ED = 4 et l'énergie totale nécessaire pour transmission d'un paquet α=3.

***Route 2** : **T-C-B-A-puits**, avec l'énergie totale disponible ED = 6 et l'énergie totale nécessaire α=6.

***Route 3** : **T-D-Puits**, avec l'énergie totale disponible ED= 2 et l'énergie totale nécessaire α=3

***Route 4** : **T-F-E-Puits**, avec l'énergie totale disponible ED = 4 et l'énergie totale nécessaire α=5.

Les différentes routes empruntées pour atteindre le chemin le plus court:

9-2 Les différentes routes pour le chemin le plus court :

1. Route à énergie disponible maximale (ED)

La première approche pour le choix des routes efficaces en consommation d'énergie consiste à prendre celle qui contient les nœuds possédant, ensemble, un maximum d'énergie

totale disponible. Cette quantité est égale à la somme des énergies (ED) de chaque nœud appartenant à cette route.

En se basant sur cette approche, la route 2 est sélectionnée dans l'exemple de la figure 14, mais nous remarquons, tout de suite, que cette route contient les nœuds de la route 1 en plus du nœud C, alors cette route ne peut pas être la plus efficace en consommation d'énergie même si elle possède le maximum d'énergie totale disponible.

Par conséquent, il est important, dans un algorithme de routage, de ne jamais considérer comme alternatives les routes qui peuvent être dérivées par extension de celles allant du nœud capteur vers le nœud puits. L'élimination de la route 2 mène alors à choisir la route 1 comme route efficace en consommation d'énergie suivant la première approche.

2. Route à énergie de transmission minimum

Cette approche consiste à choisir la route qui consomme le minimum d'énergie pour transmettre un paquet entre le nœud capteur et le nœud puits. Suivant l'exemple, la route 1 est celle qui consomme le minimum d'énergie.

3. Route à nombre de sauts minimum

La route sélectionnée est celle qui traverse un nombre minimum de nœuds intermédiaires pour atteindre le nœud puits. Dans le cas de l'exemple de la figure 14, la route 4 est celle qui est la plus efficace suivant ce schéma de sélection.

4. Route à nœud ayant le maximum des minimums des énergies disponibles ED

Cette approche favorise la route dans la quelle l'énergie disponible minimum traversée est plus grande que toutes les autres énergies disponibles minimums des autres routes. Dans la Figure 14, la route 3 est celle qui est favorable pour cette approche, la route 1 vient après.

La stratégie de ce schéma de sélection évite l'utilisation du nœud qui a une faible énergie disponible pour lui assurer une durée de vie plus longue.

En conclusion, nous estimons la deuxième approche est la meilleure.

9-3Implémentation du protocole proposé :

La solution implémentée permet de diminuer le nombre de communications. Le nœud source (T) surveille les requêtes d'envoi des données en traversant le chemin le plus court, afin d'économiser l'énergie. Pour cela, nous avons l'énergie disponible (ED) de chaque nœud, l'énergie de transmission (α) de paquets entre les nœuds. L'information empreinte la route où les nœuds intermédiaires ont une énergie disponible (ED) maximale et l'énergie de transmission (α) minimale. Le nœud (T) surveille tous les chemins allant jusqu'au puits, puis calcule le total ED et (α) ; le total ED doit être maximal et le total (α) doit être minimal.

9-4-L'algorithme proposée :

```
Entrée:
uint8_t  N=100 // nombre de noeud
uint8_t  ed=216000 W/S; //énergie disponible dans tous les  noeud ( calculer par la formule V*A*t)
uint8_t  et=random; ; //énergie transmission entre  chaque noeud;
sortie:      bool cheminop;  uint8_t  i,j,S,T;
S(i)=0;
T(j)=0
// calcule la somme des énergie disponible dans tous les noeud
            for i=1 to N do
          S(i)=S(i)+ed(i);
// calcule la somme des énergie de transsmission entre chaque laison de noeud
         for j=1 to N do
           T(j)=T(j)+et(j);
          if ((T(j)<et) && (S(i)>ed))
                                    cheminop=true;
                                   res=(i,j);
      else     for i=1 to N do              S(i)=S(i)+ed(i);
               for j=1 to N do               T(j)=T(j)+et(j);
```

9-4Simulation et évaluation de performances :

Pour évaluer les performances du protocole proposé, nous avons procédé à le comparer au protocole de routage LEACH.

➢**Métrique à évaluer :**

Pour pouvoir comparer les performances du protocole OR-LEACH avec celles de LEACH, il est nécessaire de mesurer la différence de consommation d'énergie.

➢**Consommation énergétique :**

Nous nous sommes intéressés essentiellement à la consommation d'énergie des nœuds puisqu'elle constitue un paramètre essentiel pour la détermination de la durée de vie d'un réseau de capteur sans fil.

➢**Paramétrage de la simulation :**

Avant de lancer les simulations, nous devons ajuster certains paramètres qui sont présentés par le tableau.

Paramètres du contexte de la simulation		
Nombre de nœuds du réseau	7	
Délai de la simulation	400 s	les résultats de la simulation durant l'état transitoire
Nombre d'itération	5	les résultats que nous allons présenter sont une moyenne de 5 simulations pour un même scénario
Taille de paquet de données	29octets	c'est le paquet de transmission de TinyOS

Tableau 3 : Paramètres du contexte de la simulation

9-5Résultats de la simulation :

➢**Consommation énergétique dans Leach et dans OR-Leach :**

On va présenter les résultats des tests effectués sur des réseaux de tailles différentes pendant une même durée de 400 secondes afin d'évaluer la variation de la consommation d'énergie en fonction de la taille du réseau

Nombre de nœud	7	20	40
La consommation énergétique dans Leach	25,299	25,897	26,998
La consommation énergétique dans le OR-Leach(Protocole proposé)	21.249	21.265	20.832

Tableau4 : la comparaison de consommation énergétique dans les deux protocoles

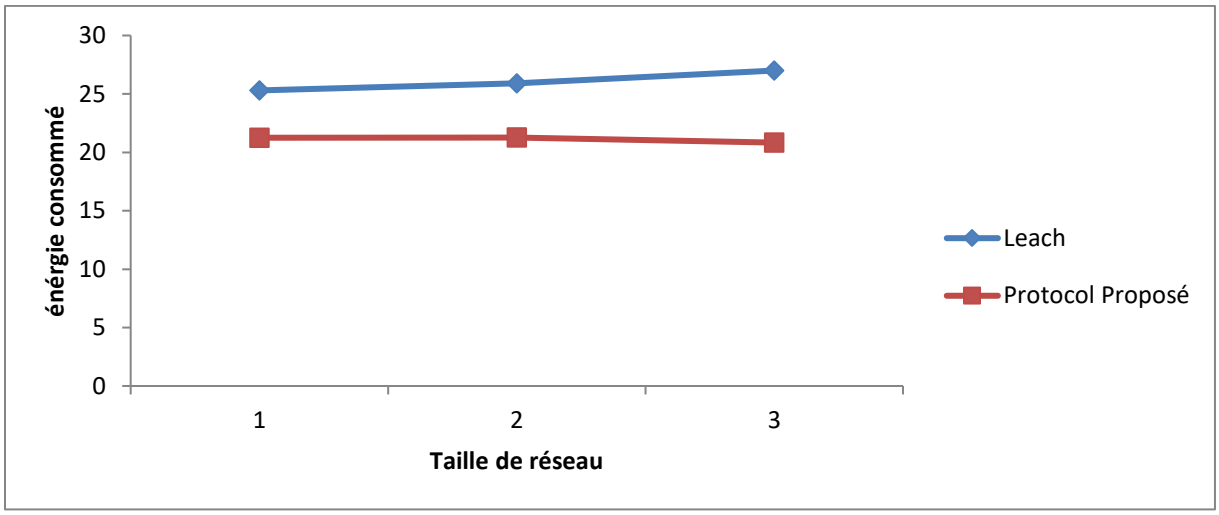


Figure 15: la comparaison de consommation énergétique dans les deux protocoles

Selon le graphe, nous constatons que la consommation énergétique dans le protocole leach est plus élevée que le protocole OR-Leach.

9-6Interprétations des résultats :

Dans cette partie, nous évaluons la métrique citée et nous la comparons pour les deux protocoles Leach et OR-Leach.

➢**Consommation énergétique :**

Pour avoir les tests en consommation d'énergie, nous avons eu recours au fichier « trace » généré par le simulateur PowerTOSSIM.

➢**Consommation d'énergie par nœud sur un échantillon de 7 nœuds**

Dans ce test, nous avons mesuré le taux de consommation d'énergie des CH par rapport aux nœuds membres pour les deux protocoles LEACH et OR-Leach.

	Leach	**OR-Leach**
Consommation énergétique des MBR (joules)	15.50	13.22
Consommation énergétique des CH (joules)	19.54	15.23

Tableau 5 : la consommation d'énergie des CH par rapport aux nœuds membres pour Les deux protocoles LEACH et Protocole Proposé(OR-Leach)

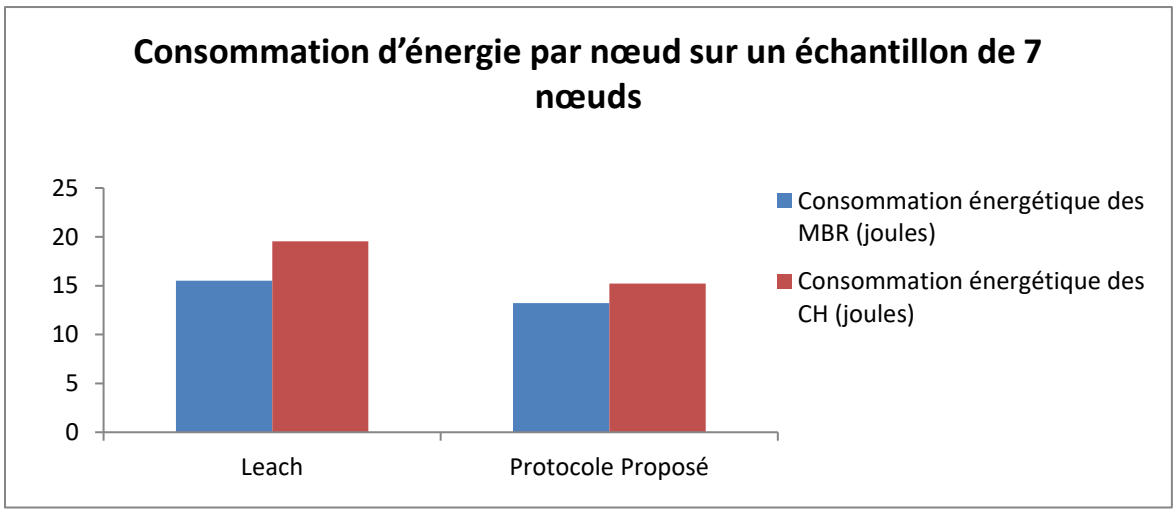


Figure 16 : Consommation d'énergie par nœud sur un échantillon de 7 nœuds

10-Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons commencé avec l'analyse des contraintes dans RCSF ; qui consiste à trouver une solution qui réduit le nombre de communications et consomme le moins d'énergie et nous l'avons comparé au protocole LEACH

Par la suite, nous avons présenté l'implémentation ainsi que l'évaluation des deux protocoles LEACH et OR-LEACH. Par ailleurs, nous avons constaté que les tests de performances effectués sur la consommation d'énergie, ont montré que le protocole OR-LEACH répond bien aux critères souhaités.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Les réseaux de capteurs suscitent un grand intérêt dans le domaine de la recherche. En effet, plusieurs travaux ont été proposés afin d'améliorer leurs performances. L'objectif de notre travail consiste à traiter la problématique de l'économie d'énergie et l'amélioration de la durée de vie des réseaux de capteurs. Ce problème est causé par le fait que les réseaux de capteurs sont déployés dans des environnements inaccessibles et que leurs batteries à faible puissance ne peuvent pas être rechargées.

Dans ce mémoire, nous avons réalisé une étude sur le routage efficace qui permet de diminuer le nombre de communications dans les réseaux de capteurs sans fil.
Plusieurs protocoles ont été présentés et plusieurs classifications ont été établies. Nous étions intéressés très particulièrement par les protocoles hiérarchiques pour la gestion du réseau d'une manière à minimiser l'énergie consommée.

L'approche clustérisée permet de partitionner le réseau en zones. Pour atteindre cet objectif, nous avons proposé une amélioration du protocole hiérarchique de routage LEACH basé sur une topologie structurée en clusters. Notre proposition est la stratégie d'arbre de routage optimal qui trouve le plus court chemin.

Afin de valider les améliorations apportées par notre protocole en termes de prolongement de la durée vie du réseau, nous avons simulé le fonctionnement de notre algorithme dans le système d'exploitation TinyOS en utilisant TOSSIM et l'émulateur Tinyviz puis on a comparé les résultats fournis avec le protocole LEACH.

Les résultats fournis par notre implémentation du protocole OR-LEACH offrent la minimisation d'énergie dans les nœuds du réseau.

Enfin, comme perspectives, nous envisageons d'améliorer les performances de notre protocole proposé, OR-Leach, et l'implémenter sur des capteurs réels.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques :

[BD09] :Berrachedi Amel, Diarbakirli Amina, Thèse d'ingéniorat « Sécurisation du protocole de routage hiérarchique LEACH dans les réseaux de capteurs sans fil » , Ecole nationale Supérieure d'Informatique (E.S.I) Oued-Smar, Alger en 2009 .

[BM10] :Bouaissa aboubakr &Messous Mohamed ;mémoire d'ingénieur d'état en informatique « supervision de l'opération d'irrigation des arbres fruitiers à l'aide des réseaux de capteurs sans fil »,université Saad Dahlab ,Blida en 2010.

[BM16] : Bouallegue Mehdi ;thèse de doctorat « protocole de communication de l'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil »,université de Bretagne Loire, en 2016.

[CHA] : Challal Yacine ,Hatem Bettahar et Abdelmadjid Bouabdallah, cours 1 «les réseaux de capteurs (WSN:Wireless Sensor Network),université de technologie de compiègne ,France.

[CLY08] : Challal Yacine « Réseau de capteur sans fils » livre, version 1

[DJA08] : Djallel Eddine Boubiche, Mémoire de magistère, «Protocole de routage pour les réseaux de capteurs sans fil», Université de l'Hadj Lakhdar, Batna, en 2008.

[H.S08] :H.Alatrista &S.Aliaga : « Implémentation de protocole sur une plateforme de réseaux de capteurs sans fils, université de Monpellier II,en 2008.

[HD06] : Hamdani Dima, Mémoire doctorat « détection et diagnostic des fautes dans les systèmes à base de réseau de capteur sans fil » , l'université de Grenoble en 2006 .

[HN12] : Houache Noureddine ,Mémoire de magistère « conception et implémentation d'un système de surveillance des feux de forets basé sur les RCSFs »,de l'université d'Oran en 2012 .

[KB10] :Kechar Bouabdellah ;thèse de doctorat « problématique de la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil »,université d'oran en 2010.

[MA17] : Matmoura Achour ;mémoire de master « étude d'un module d'économie d'énergie pour les réseaux de capteur sans fil » ,université Docteur Moulay Tahar de Saida en 2017.

[MS08] :Moad Sofiane : « la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans Fils » IFSIC de Rennes1 en 2007/2008

[OAD06] : Oudjaout Abedlraouf : « la sécurité et la fiabilité du routage dans les RCSF,USTHB,Algérie, en 2006

[RFZ15] : Remmas Fatima Zohra ; mémoire de master « evaluation de leach dans un environnement fortement bruité » , université aboubakr belkaid Telemcen en 2015.

[SK12] :Salemi Kenza, Mémoire master « optimisation d'énergie dans les réseaux sans fil application protocole Leach » de l'université Mouloud Mammeri de TIZI OUZOU en 2012.

[SS10] : Séverine Sentille Rapport de projet sur les réseaux de capteur sans fil de l'université Pau et des pays l'Adour en 2010 .

[TCA16,BCA16] : Tahar Chaouch Amel, Benmoumene Abdellah Mahfoudh,Mémoire de Master, « Analyse par simulation des performances d'un réseau de capteurs sans fil », Université Djilali Bounaama Khemis Miliana, en 2016.

[YGB10] : Yong, Aguilar Andres, Gonzalez Andres, Barroux Mickael Thèse d'ingéniorat, « agrégation de données dans les réseaux de capteurs », Université de technologie Compiègne, en 2010.