

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Télécommunications

Spécialité : Réseaux Mobiles et Services de Télécommunications

Par : Benabdallah Karima

Sujet

Optimisation d'un protocole de routage AODV dans les Réseaux de capteur sans fil

Soutenu publiquement, le 14 / 06 /2017, devant le jury composé de :

M. Hdjila Mourad	MAA	Univ. Tlemcen	Président
M. Moussaoui Djilali	MAA	Univ. Tlemcen	Examineur
M. Kadri Benamar	MCA	Univ. Tlemcen	Encadreur

Année universitaire : 2016-2017

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parent

Mon très cher père pour sa patience et tous ses efforts
A ma mère pour m'avoir épaulé, encouragé à reprendre les
études et motivé dans les moments les plus difficiles

A mon frère : RIDHA pour tous leur encouragements

A mon petit frère : AHMED

A mon encadreur Monsieur KADRI pour
l'excellence de son accompagnement et la confiance qu'il nous a
accordé.

A mes copines: NOURIA, FATIMA, SIHAM, NESRINE,
Et toute personne que je connais et qui me sont chers et tous ceux
qui m'aiment.

Remerciements

En préambule à ce mémoire nous remercions ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'études.

Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères tout d'abord au corps professoral et administratif de la faculté des sciences pour la richesse et la qualité de leurs enseignements et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée ainsi qu'aux personnes qui nous ont apporté leur aide et ont contribué à l'élaboration de ce mémoire et qu'à la réussite de cette formidable année universitaire

Nous tenons à remercier sincèrement "Monsieur B. KADRI " qui, en tant que encadreur de mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer et sans lui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Nous exprimons notre gratitude à Mr HDJILA MOURAD et Mr MOUSSAOUI DILALI d'avoir honoré notre jury de soutenance.

Résumé

Les réseaux de capteurs sans fil permettent de répondre aux besoins de nombreuses applications de surveillance, en raison de leur faible coût, de leur capacité à communiquer sans fil et de leur facilité de déploiement. Les RCSF sont en plein développement, et deviennent de plus en plus répandus. Actuellement, ils constituent un thème de recherche très dynamique. Néanmoins le routage reste une des plus grandes problématiques de ce type de réseau à cause de leurs caractéristiques tel que le changement de topologie et le manque de ressources.

Dans ce mémoire on va étudier le routage dans les RCSF en se concentrant sur le protocole AODV reconnu d'être très efficace et pratique pour les réseaux mobiles. Notre contribution est de modifier ce protocole pour qu'il prend en considération le paradigme de communication qu'est généralement de type plusieurs à un « many-to-one » ou un ensemble de capteurs envoient périodiquement des mesures vers la station de base. Et cela en affectant la tâche de découverte de route à la station de base au lieu de laisser chaque capteur le faire indépendamment.

Les résultats obtenus par la comparaison entre ces deux protocoles, montrent l'efficacité du protocole AODV optimisé proposé pour les RCSF, qui peut assurer une exploitable raisonnable des ressources des capteurs, et il permet d'avoir une consommation d'énergie plus faible.

Mots-clés : réseaux de capteurs sans fil, RCSF, protocole AODV, optimisation AODV

Abstract

Wireless sensor networks can meet the needs of many monitoring applications due to their low cost, wireless communication capability and ease of deployment. The RCSFs are in full development, and are becoming more and more widespread. Currently, they are a very dynamic research theme. Nevertheless, routing remains one of the biggest problems of this type of network because of their characteristic such as the change of topology and the lack of resources.

In this paper we will study the routing in the RCSF by focusing on the recognized AODV protocol to be very efficient and practical for mobile networks. Our contribution is to modify this protocol so that it takes into consideration the communication paradigm that is generally of the several type has a "many-to-one" or a set of sensors send periodically measurements to the base station. And that by affecting the road discovery spot at the base station instead of letting each sensor do it independently.

The results obtained by comparing these two protocols show the effectiveness of the optimized AODV protocol proposed for the RCSF, which can ensure a reasonable exploitation of the sensor resources and allows a lower energy consumption.

Keywords: wireless sensor networks, RCSF, AODV protocol, AODV optimization.

Table des matières

Introduction générale	1
-----------------------------	---

CHAPITRE I :

Généralités sur les réseaux de capteurs sans fils

I.1. Introduction	3
I.2. Réseaux de capteurs sans fil	3
I.2.1. Définition d'un RCSF ou WSN (Wireless Sensor Network).....	3
I.2.2. Fonctionnement d'un réseau de capteurs.....	4
I.2.3. Caractéristique des RCSF.....	4
I.2.4. Applications des RCSF.....	5
I.2.5. Système d'exploitation des réseaux de capteurs sans fil	7
I.2.6. L'architecture d'un réseau de capteurs sans fil	8
I.2.7. Pile protocolaire dans un RCSF	10
I.2.8. Classification des RCSF	13
I.2.9. Types de réseaux de capteurs sans fil	14
I.2.10. Les attaques dans les réseaux de capteurs	15
I.2.11. Les solutions de sécurité pour les réseaux de capteurs.....	16
I.3. Capteur sans fil	17
I.3.1. Définition du capteur	17
I.3.2. Composants d'un capteur sans fil.....	17
I.3.3. Classification des capteurs.....	19
I.3.4. Technologie des capteur	19
I.4. Conclusion	21

Chapitre II :

les protocoles de routage dans les RCSF

II.1. Introduction	22
II.2. Définition de routage	22
II.3. Problématiques de routage dans les réseaux Ad hoc	22
II.4. Protocoles de routages dans les réseaux Ad hoc	23
II.4.1. Protocoles de routage Proactifs	23
II.4.2. Protocoles de routage Réactifs	25
II.4.3. Protocoles de routage Hybrides	28

II.4.4.	Protocoles de routage Géographiques	30
II.4.5.	Avantages et inconvénients des protocoles Géographiques	32
II.5.	Contrainte de routage dans les réseaux de capteur sans fil.....	32
II.5.1.	Capacité réduite des capteurs	32
II.5.2.	La taille du réseau.....	32
II.5.3.	Déploiement des nœuds.....	33
II.5.4.	Tolérance aux pannes	33
II.5.5.	Qualité de service	33
II.5.6.	La consommation d'énergie	33
II.5.7.	Adressage	34
II.5.8.	Application	34
II.6.	Conclusion.....	34

Chapitre III :

Optimisation du protocole AODV pour les RCSF

III.1.	Introduction	35
III.2.	Le protocole AODV	35
III.2.1.	Définition.....	35
III.2.2.	Table de routage et paquets de contrôle	35
III.2.3.	Principe de fonctionnement.....	38
III.2.4.	Avantages et inconvénients d'AODV	42
III.3.	AODV optimisé pour RCSF.....	42
I.3.1.	Découverte des routes.....	43
I.3.2.	Tableau de routage.....	44
I.3.3.	Messages HELLO	44
I.3.4.	Maintenance des routes	44
III.4.	Etude et comparaison entre AODV et AODV optimisé.....	45
III.4.1.	Paramètres de simulation.....	45
III.4.2.	Etude de consommation d'énergie	45
II.	La maintenance.....	48
III.4.3.	Évolutivité	50
III.4.4.	Tolérance aux pannes	50
III.5.	Conclusion.....	51
	Bibliographie	53

Liste des figures

Figure I.1 : exemple d'un réseau de capteur sans fil.....	3
Figure I.2 : Applications des réseaux de capteurs sans fil.....	7
Figure I.3 : architecture de réseau de capteur sans fil plat	9
Figure I.4 : architecture de réseau de capteur sans fil hiérarchique.....	9
Figure I.5 : Pile protocolaire.....	10
Figure I.6 : Composants d'un capteur sans fil.....	18
Figure I.7 : Consommation d'énergie dans un nœud de capteur.....	19
Figure I.8 : Echantillon des capteurs existants.....	20
Figure II.1 : Classification des protocoles de routage ad hoc et capteur.....	23
Figure II.2 : Exemple d'échange DSDV.....	24
Figure II.3: exemple échange OLSR.....	25
Figure II.4: Exemple de découverte DSR.....	26
Figure II.5 : Exemple de protocole AODV.....	27
Figure II.6: Exemple de routage ZRP.....	29
Figure II.7: protocole hybride ZHLS.....	30
Figure II.8 : Routage géographique	30
Figure III.1 : Méthode de construction d'une route.....	40
Figure III.2 : Découverte de route.....	43

Figure III.3 : Variation de la consommation d'énergie pour la recherche de la route l'algorithme AODV et OAODV en fonction du nombre des nœuds.....	48
Figure III.4 : Variation de la consommation d'énergie pour la maintenance dans l'algorithme AODV et OAODV en fonction du nombre des nœuds.....	50

Liste des tableaux

Tableau III.1 : Format de message RREQ.....	36
Tableau III.2 : Format de message RREP.....	37
Tableau III.3 :Format de message RRER.....	38
Tableau III.4 : Nombre de RREQ et RREP émis et reçus pour la recherche d'une seule route (AODV).....	46
Tableau III.5 : Energie consommée émis et reçus pour la recherche de toutes les routes (AODV).....	46
Tableau III.6 : Nombre de RREQ et RREP émis et reçus pour la recherche d'une seule route(AODV).....	47
Tableau III.7 : Energie consommée émis et reçus pour la recherche de toutes les routes (OAODV).....	47
Tableau III.8 :Energie consommée émis et reçus pour la maintenance (AODV).....	49
Tableau III.9 :énergie consommée émis et reçus pour la maintenance (OAODV).....	49

Table des acronymes

AODV	Ad-hocOn-demandDistanceVector
OAODV	optimised Ad-hocOn-demandDistanceVector
RCSF	Réseau de capteur sans fil
WSN	Wireless Sensor Network
SMP	Sensor Management Protocol
UDP	User Datagram Protocol
SMP	Symmetric multiprocessing
MMC	MultiMedia Card
MAC	Media Access Control
SQDDP	Sensor Query and Data Dissemination Protocol
SNEP	Sensor Network Encryption Protocol
DSDV	Dynamic destination Sequenced DistanceVector
WRP	Wireless Routing Protocol
OLSR	Optimized Link State Routing Protocol
HSR	Hierarchical State Routing
ZHLS	Zone Based Hierarchical Link State Routing
SN	Numéro de séquences
MRP	Multipoint Relay
DSR	Dynamic Source Routing

ABR	Associativity Based Routing
LAR	location Area Network
ZRP	Zone Routing Protocol
LSP	Link State Packet
GPS	Global Position System
LEACH	Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy
TDMA	Time-Division Multiple Access
PEGASIS	Power Efficient GATHERing in Sensor Information Systems
GPSR	Greedy Perimeter Stateless Routing
CPU	central processing unit
RREQ	Route Request
RREQ ID	Identifier Route Request
RREP	Route Reply
RERR	Route Error

INTRODUCTION GENERALE

Les réseaux de capteurs sans fil occupent de plus en plus de champs d'applications dans la vie quotidienne allant du contrôle de la température et de l'humidité à l'estimation du niveau des batteries à hydrogène. Ce type de réseaux consiste en un ensemble de nœuds de capteurs sans fil agissant comme des générateurs et des relais à des données en contrôlant un phénomène physique. Au-delà de leur rôle de base, les nœuds de capteurs disposant d'une unité de traitement peuvent être programmés pour effectuer des tâches supplémentaires. Partant de ces définitions, il est possible d'imaginer une infinité d'applications, jusqu'au moment où on se heurte aux différents défis que constitue le développement d'un réseau de capteurs sans fil.

Un RCSF peut contenir plusieurs types de capteurs dont thermique, sismique, magnétique, visuel, infrarouge, acoustique et radar. Il est possible de classer les applications des RCSF en 5 domaines : Militaire, Environnemental, Santé, Domotique, et Industriel. Dépendamment de l'application voulue, un ou plusieurs types de capteurs sont choisis pour le réseau. Le réseau se révèle être le plus important des aspects, car celui-ci définit le protocole de communication qui gèrera la génération des paquets de données, la recherche des routes, la collaboration entre les nœuds dans le routage, la méthode d'accès au canal, la gestion des conflits lorsque ce canal est occupé, et le choix des caractéristiques physiques du signal radio (modulation, fréquence, ...).

À supposer que la partie physique du capteur est prédéfinie, et que l'application du réseau l'est aussi, il reste à établir la procédure de choix d'un protocole de communication adapté à ces contraintes physiques et d'application, ces contraintes concernent la fréquence, la consommation d'énergie, le comportement de chaque nœud dans le réseau en termes d'indépendance de prise de décision et d'auto-organisation du réseau selon la topologie, et des contraintes temporelles en terme de délai. Le choix d'un protocole de routage adapté représente une problématique majeure dans les réseaux de capteurs.

Pour répondre à cette problématique, nous proposons un nouveau protocole de routage adapté au RCSF, basé sur le protocole de routage AODV standard, en lui apportant des modifications et des améliorations, pour lui permettre de répondre aux contraintes physiques de ce type de réseau. Ce nouveau protocole est nommé AODV optimisé ou OAODV.

Dans le premier chapitre, nous verrons les capteurs, leurs composants et leurs classifications, Nous allons discuter également des réseaux de capteurs sans fi, leurs architectures de communication, leurs caractéristiques et leurs domaines d'applications.

Dans le second chapitre, nous allons présenter la classification des protocoles de routage utilisés pour les réseaux Ad hoc, leur fonctionnement, en décrivant aussi les contraintes de routage dans les réseaux de capteur.

Dans le troisième chapitre, nous allons présenter le protocole AODV et AODV optimisé, qui prend en considération le modèle de trafic de RCSF, la nature du milieu et les contraintes de bande passante ... etc. Nous allons également proposée une comparaison entre ces deux protocoles principalement pour la consommation d'énergie.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RESEAUX DE CAPTEURS SANS FILS

I.1. Introduction

Des nombreux systèmes nécessitent de prendre en compte l'environnement. Les progrès de ces dernières années en microélectronique ont permis de fabriquer des capteurs de plus en plus petits, de plus en plus performants et avec des autonomies énergétiques grandissantes. D'autre part, les techniques de réseaux mobiles permettent désormais de s'affranchir des fils et donc de déployer facilement des réseaux de capteurs, dans des endroits même difficiles d'accès.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les capteurs, leurs composants et leurs classifications, Nous allons discuter également des réseaux de capteurs sans fil : leurs architectures de communication, leurs caractéristiques et leurs domaines d'applications...etc.

I.2. Réseaux de capteurs sans fil

I.2.1. Définition d'un RCSF ou WSN (Wireless Sensor Network)

Un réseau de capteur sans fil (Wireless Sensor Network WSN) est un type particulier de réseau ad-hoc défini par un ensemble coopérant des nœuds capteurs dispersés dans une zone géographique appelée zone de captage afin de surveiller un phénomène et récolter ses données d'une manière autonome. Le réseau possède en général un nœud particulier, la station de base, connectée avec les autres nœuds [2].

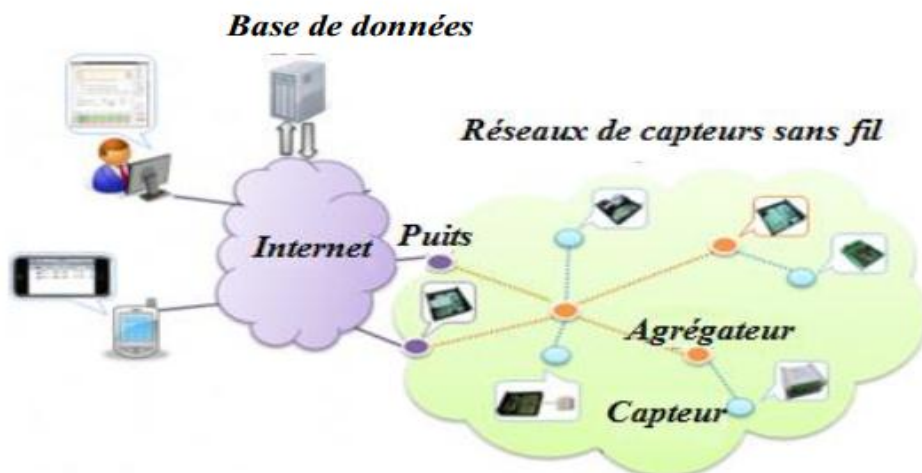


Figure I.1 : exemple d'un réseau de capteur sans fil.

I.2.2. Fonctionnement d'un réseau de capteurs

Les données captées par les nœuds sont acheminées grâce à un routage multi-saut à un nœud considéré comme un "point de collecte" appelé nœud-puits (ou sink). Ce dernier peut être connecté à l'utilisateur du réseau via Internet, un satellite ou un autre système. L'utilisateur peut adresser des requêtes aux autres nœuds du réseau, précisant le type de données requises pour récolter les données environnementales captées par le biais du nœud-puits.

I.2.3. Caractéristique des RCSF

Un réseau de capteurs présente des caractéristiques particulières comparativement aux autres réseaux sans fil, les principales caractéristiques sont :

- a) **Absence d'infrastructure**: Les RCSF appartiennent à la famille des réseaux sans fil sans infrastructure dit ad-hoc, qui se distinguent des autres réseaux mobiles par la propriété d'absence d'infrastructure préexistante et de tout genre d'administration centralisée [5].
- b) **Scalabilité** [1] : Dans les RCSF, les capteurs sont déployés généralement en grand nombre pour garantir la couverture totale de la zone d'intérêt, le réseau doit être capable de fonctionner avec ce grand nombre de nœuds de capteurs tout en permettant l'augmentation de ce nombre et la concentration (densité) des nœuds dans une région.
- c) **Topologie dynamique** [5] : Les capteurs peuvent être attachés à des objets mobiles qui se déplacent d'une façon libre et arbitraire rendant ainsi, la topologie du réseau fréquemment changeante. Ce type de scénario génère une topologie dite dynamique.
- d) **La consommation d'énergie** [1]: un capteur, de par sa taille, est limité en énergie. Dans la plupart des cas, le remplacement et le rechargement de la batterie est impossible à cause du nombre élevé de capteurs déployés ainsi que la difficulté de l'environnement dans lesquels ils peuvent se trouver. La durée de vie d'un capteur dépend grandement de la durée de vie de sa batterie.
- e) **Auto organisation du réseau** : le réseau de capteur comporte un grand nombre de nœuds placés dans la plupart de temps dans des endroits hostiles où la configuration manuelle n'est pas faisable, ce qui nécessite une auto-configuration. Ainsi le réseau

doit être capable de se reconfigurer pour continuer sa fonction dans le cas où un nœud est inséré ou retiré.

- f) **Sécurité physique limitée** : Les RCSF mobiles sont plus touchés par le paramètre de sécurité que les autres réseaux classiques. Cela se justifie par les contraintes et limitations physiques qui font que le contrôle des données transférées doit être minimisé. Les nœuds eux-mêmes sont des points de vulnérabilité du réseau car une attaque peut compromettre un composant laissé sans surveillance.
- g) **La tolérance aux fautes** : la tolérance aux fautes est la capacité de maintenir les fonctionnalités du réseau en présence de fautes. La fiabilité des réseaux de capteurs sans fil est affectée par des défauts qui se produisent à cause de diverses raisons telles que le mauvais fonctionnement du matériel ou à cause d'un manque d'énergie. Ces problèmes n'affectent pas le reste du réseau.
- h) **Les médias de transmission** : dans un réseau de capteurs, les nœuds sont reliés par une architecture sans fil. Pour permettre des opérations sur ces réseaux dans le monde entier, le média de transmission doit être standardisé. On utilise le plus souvent l'infrarouge, le Bluetooth et les communications radio Zig Bee.

1.2.4. Applications des RCSF

La taille de plus en plus réduite des micro-capteurs, le coût de plus en plus faible, la large gamme des types de capteurs disponibles (thermique, optique, vibrations,...) ainsi que le support de communication sans fil utilisé, permettent aux réseaux de capteurs d'envahir plusieurs domaines d'application. Ils permettent aussi d'étendre les applications existantes et de faciliter la conception d'autres systèmes tels que le contrôle et l'automatisation des chaînes de montage, Parmi les domaines où ces réseaux peuvent offrir les meilleures contributions, nous citons.

- **Applications militaires** : Comme dans le cas de plusieurs technologies, le domaine militaire a été un moteur initial pour le développement des réseaux de capteurs. Le déploiement rapide, le coût réduit, l'auto-organisation et la tolérance aux pannes des réseaux de capteurs sont des caractéristiques qui rendent ce type de réseaux un outil appréciable dans un tel domaine. Comme exemple d'application dans ce domaine, on peut penser à un réseau de capteurs déployé sur un endroit stratégique ou difficile d'accès, afin

de surveiller toutes les activités des forces ennemies, ou d'analyser le terrain avant d'y envoyer des troupes (détection d'agents chimiques, biologiques ou de radiations). [6]

- **Applications environnementales** : On peut créer un réseau autonome en dispersant les nœuds dans la nature. Des capteurs peuvent ainsi signaler des événements tels que feux de forêts, tempêtes ou inondations. Ceci permet une intervention beaucoup plus rapide et efficace des secours. [7]
- **Domaine d'agriculture** : Des nœuds peuvent être semés avec des graines dans la terre. On peut ensuite consulter le réseau de capteurs sur l'état du champ (déterminer par exemple les secteurs les plus secs afin de les arroser en priorité) et par conséquent l'arrosage sera efficace et la quantité d'eau sera économisée en particulier dans les pays qui connaissent la sécheresse. On peut aussi imaginer équiper des troupeaux de bétail de capteurs pour connaître en tout temps, leur position ce qui éviterait aux éleveurs d'avoir recours à des chiens de garde. [7]
- **Applications médicales** : On pourrait imaginer que dans le futur, la surveillance des fonctions vitales de l'être humain serait possible grâce à des micro-capteurs qui pourront être avalés ou implantés sous la peau. Actuellement, des micro-caméras qui peuvent être avalées existent. Elles sont capables, sans avoir recours à la chirurgie, de transmettre des images de l'intérieur d'un corps humain avec une autonomie de 24 heures.
- **Applications transportés** : Il est possible d'intégrer des nœuds capteurs au processus de stockage et de livraison. Le réseau ainsi formé, pourra être utilisé pour connaître la position, l'état et la direction d'un paquet ou d'une cargaison. [6]
- **Domaine industriel** : Le suivi des chaînes de production dans une usine, détection des dysfonctionnements de machines, suivi du mouvement des marchandises dans les entrepôts de données, suivi du courrier, des colis expédiés...etc. sont, entre autres, des exemples concrets d'application des RCSF dans le domaine industriel. [8]



Figure I.2 : Applications des réseaux de capteurs sans fil

I.2.5. Système d'exploitation des réseaux de capteurs sans fil

Plusieurs systèmes d'exploitation ont été développés pour répondre aux contraintes particulières des réseaux de capteurs, ils sont les suivants :

a. TinyOS

TinyOS est un système d'exploitation open source conçu pour les capteurs sans fils et développé par Université de Berkeley. Il est basé sur une architecture à base de modules. Les composants sont programmés en NesC, un langage de programmation dérivé du C adapté aux faibles ressources physiques des capteurs. Un certain nombre de plateformes sont directement programmables comme par exemple les tmote ou les MicaZ (ces deux modèles sont compatibles avec ZigBee). TOSSIM est un simulateur de capteurs pour les programmes TinyOS, tout programme en NesC peut être compilé de manière à être exécuté dans TOSSIM, ce qui permet de simuler le comportement d'un ou plusieurs capteurs ainsi de les programmer.

b. Mantis OS

Mantis OS (MOS) est un système d'exploitation multi threading open-source pour les capteurs développés par le MANTIS group à l'université du Colorado en 2005. MOS est développé en C, langage choisi pour son efficacité et sa portabilité. Il supporte les

plateformes de la famille MICA et de la famille Telosb. Il dispose d'un environnement de développement Linux et Windows.

c. Nano-RK

C'est un système d'exploitation temps réel multitâches préemptif. Il supporte le multi-hopping. Il possède une faible empreinte mémoire, Nano-RK utilise 2 kb de RAM et 18 kb de ROM. Nano-RK fournit des APIs pour la gestion d'énergie des capteurs.

d. Lite OS

Lite OS fournit un environnement comparable à Unix adapté aux capteurs en réseau. Lite OS possède un système de gestion des fichiers et des commandes en mode terminal distante semblable au commandes Unix pour gérer les capteurs. Le noyau supporte le chargement dynamique et l'exécution multitâche d'applications. Il est basé sur le langage de programmation orienté objet C++ pour le développement des programmes et permettre leur déploiement sur les capteurs.

e. SOS

SOS est un système d'exploitation open-source pour les réseaux de capteurs développés par le laboratoire réseaux et systèmes embarqués de l'université de Los Angeles, il est basé sur une architecture modulaire. SOS est écrit en langage C, il supporte les plateformes de la famille MICA. Avroa est un simulateur pour les programmes SOS. SOS à l'avantage de posséder une implémentation complète de la topologie en étoile.

En conclusion, TinyOS est le système d'exploitation le plus utilisé pour les réseaux de capteurs sans fils car il a l'avantage par rapport à autre systèmes d'exploitation d'être écrit dans un langage spécifique optimisé pour les capteurs.

I.2.6. L'architecture d'un réseau de capteurs sans fil

Il existe deux types d'architecture pour les réseaux de capteurs sans fil : Les RCSF plats et les RCSF hiérarchiques.

I.2.6.1. Les réseaux de capteurs sans fil plats

Un RCSF plat est un réseau homogène où tous les nœuds ont les mêmes ressources en terme d'énergie, de calcul et de mémoire. Ces protocoles considèrent que tous les nœuds sont identiques, c'est à dire ont les mêmes fonctions à exécuter sauf le nœud de contrôle (*sink*) qui

est chargé de collecter toutes les informations issues des différents nœuds capteurs pour les transmettre vers l'utilisateur final. La décision d'un nœud de router des paquets vers un autre dépendra de sa position et pourra être remise en cause au cours du temps.

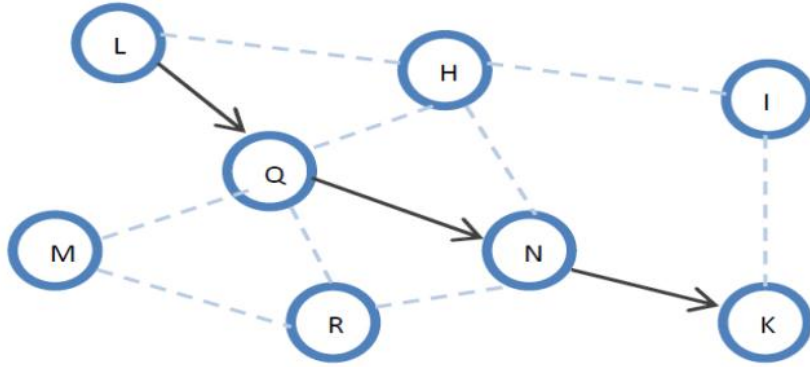


Figure I.3 : architecture de réseau de capteur sans fil plat

I.2.6.2. Les réseaux de capteurs sans fil hiérarchiques

Ces protocoles fonctionnent en confiant des rôles différents aux nœuds du réseau. Certains nœuds sont sélectionnés pour exécuter des fonctions particulières. Un nœud peut être, par exemple, une passerelle pour un ensemble de nœuds. Dans ce cas, le routage devient plus simple, puisqu'il s'agit de passer par les passerelles pour atteindre le nœud destination qui lui est directement attaché.

Un exemple est donné par la figure I.4 : Pour que les paquets générés par le nœud F atteignent le nœud L, ils doivent passer par les passerelles P, S et R.

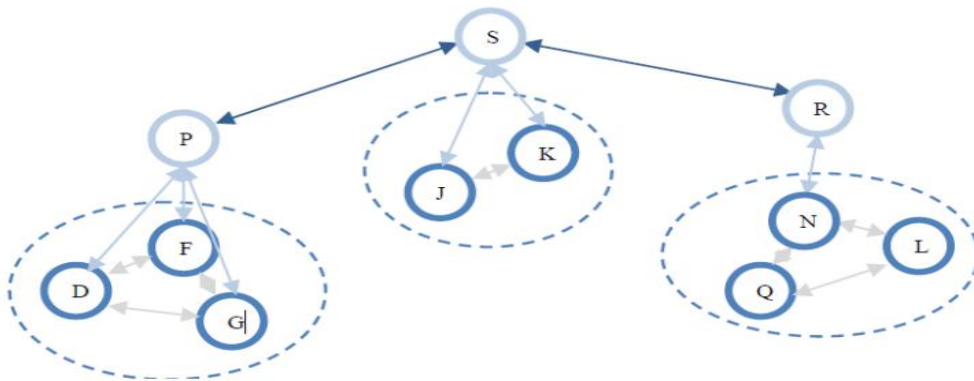


Figure I.4 : architecture de réseau de capteur sans fil hiérarchique.

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

I.2.7. Pile protocolaire dans un RCSF

Une pile de protocoles est une mise en œuvre particulière d'un ensemble de protocoles de communication réseau ou chaque couche s'appuie sur celles qui sont en dessous afin d'y apporter un supplément de fonctionnalité. Dans le domaine des RCSF, aucune pile protocolaire n'a été standardisée. Malgré cette non standardisation, la pile protocolaire proposée par [16] est reprise par la majorité des articles scientifiques traitant la thématique des RCSF. La figure I.5 illustre cette pile protocolaire utilisée par la station de base ainsi que tous les autres capteurs du réseau. La pile comprend la couche physique, la couche liaison de données, la couche réseau, la couche transport, la couche application, le plan de gestion de l'énergie, le plan de gestion de la mobilité et le plan de gestion des tâches. Suivant la fonctionnalité des capteurs, différentes applications peuvent être utilisées et bâties sur la couche application. [16]

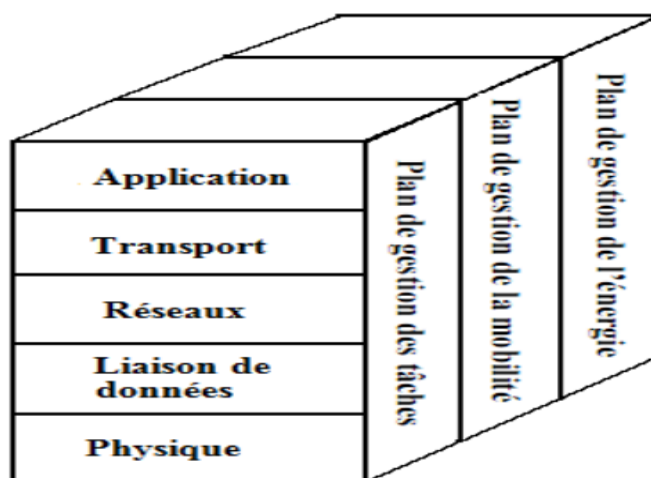


Figure I.5 : pile protocolaire.

I.2.7.1. Couche Physique

Elle est responsable de la modulation/démodulation, le cryptage/décryptage des informations, la détection du signal, sélection de fréquence et la génération de la fréquence porteuse. Au niveau de Cette couche, la consommation d'énergie peut être affectée par l'environnement de l'application, le choix du type de la modulation ou la bande de fréquence utilisée. Il est avantageux en matière d'économie d'énergie que le concepteur de la couche physique choisisse une transmission à multi-sauts plutôt qu'une transmission directe qui nécessite une puissance de transmission très élevée.

I.2.7.2. Couche liaison de données

Cette couche est composée de deux sous-couches : la sous-couche LLC et la sous-couche MAC. La première permet de détecter les erreurs des données binaires issues de la couche physique. Tandis que la sous-couche MAC gère les stratégies d'allocation du canal et de mise en veille de l'émetteur-récepteur. Elle influence considérablement la consommation énergétique globale.

I.2.7.3. Couche réseau

La couche réseau gère les échanges et les interconnexions à travers un RCSF. Elle gère entre autre l'adressage et l'acheminement des données. Le routage dans les RCSF emploie souvent le multi-saut du nœud émetteur au nœud < Sink > ; vu les spécificités de ce type de réseaux. Ainsi, les protocoles de routage classiques des réseaux ad hoc sont inappropriés pour les RCSF à cause des contraintes d'énergie et de scalabilité [10]. Les métriques considérées dans l'optimisation des couts des chemins dans les RCSF sont :

- Le temps d'acheminement des paquets.
- L'énergie nécessaire pour transmettre le paquet.
- L'énergie disponible dans chaque nœud capteur.

Concernant l'adressage dans les RCSF, celui le plus utilisé est l'adressage géographique, c'est-à-dire que chaque nœud capteur est identifié dans le réseau par sa position géographique. D'ailleurs, ce type d'adressage est employé notamment dans les applications de surveillance.

I.2.7.4. Couche Transport

Cette couche intervient dans la communication entre deux RCSF ou entre un RCSF et Internet.

Le protocole UDP reste le plus utilisé entre un nœud émetteur et le nœud < Sink >. Entre autre, l'emploi du protocole TCP est évité vu la taille limitée des mémoires des nœuds capteurs qui ne leur permet pas d'enregistrer de grandes quantités d'informations pour la gestion des communications. En plus, les communications entre l'utilisateur(le gestionnaire) et le nœud < Sink > peuvent être gérées par TCP ou UDP via Internet ou satellite.

I.2.7.5. Couche application

Dans cette couche, plusieurs protocoles ont été proposés dans la littérature :

- SMP ou (*Sensor Management Protocol*) permet à l'utilisateur d'exécuter des tâches administratives liées à la configuration du RCSF, la mise en marche/fermeture des nœuds, la synchronisation entre les nœuds, déplacement des nœuds capteurs.
- SQDDP ou (*Sensor Query and Data Dissemination Protocol*) permet à l'utilisateur d'interroger le réseau en se basant sur la localisation des nœuds.

I.2.7.6. Plans de gestion

Le plan de gestion d'énergie gère la manière dont le nœud utilise son énergie. Par exemple, si le nœud capteur est de faible énergie, il pourra informer les nœuds voisins par multicast qu'il ne pourra pas participer dans le routage des paquets.

Le plan de gestion de la mobilité détecte les mouvements des nœuds et indique leurs placements. De cette manière, chaque nœud peut connaître les nœuds qui lui sont voisins (il pourra alors balancer ses tâches vers un autre nœud au cas où il manque d'énergie). Il doit aussi maintenir à n'importe quel instant la route séparant le nœud mobile du nœud <Sink>.

Le plan de gestion des tâches assure un ordonnancement des tâches de capture dans une région bien déterminée tout en évitant la redondance des tâches de capture à un même instant, et ceci dans le but d'économiser de l'énergie sur le réseau.

L'intérêt de ces trois plans réside dans le fait qu'ils assurent une gestion optimale de la consommation d'énergie, de la mobilité et des tâches au niveau de chaque nœud capteur. Ces plans de gestion sont nécessaires, de sorte que les nœuds capteurs puissent fonctionner ensemble d'une manière efficace pour préserver l'énergie, router des données dans un réseau de capteurs et partager les ressources entre les nœuds capteurs. Du point de vue global, il est plus efficace d'utiliser des nœuds capteurs pouvant collaborer entre eux. La durée de vie du réseau peut être ainsi prolongée.

I.2.8. Classification des RCSF

En fonction des exigences imposées par chaque type d'application, il existe plusieurs critères pour classer les réseaux de capteurs. En effet, pour chaque type d'application, ces réseaux ont des caractéristiques différentes. Ils se distinguent par le mode d'acquisition et de livraison des données au puits, la distance entre les nœuds capteurs et le puits, le modèle de mobilité dans le réseau, les capacités des nœuds du réseau, etc. [17]

1. Selon le mode d'acquisition et de livraison des données au puits

Le modèle d'acquisition et de livraison des données au puits (Sink) dépend de l'application et de ses exigences pour ce type de réseaux. Il peut être :

- ✓ Continu (time-driven).
- ✓ Événementiel (event-driven).
- ✓ A base de requête (query-driven).
- ✓ Hybride.

2. Selon la distance entre les nœuds capteurs et le puits

Dans ce cas, on distingue les réseaux à un seul saut (Single-hop WSN) des réseaux à multi-sauts (multi-hop WSN). Dans un réseau de capteur à un simple saut, les nœuds capteurs communiquent directement avec le puits. Ils envoient alors leurs données captées directement au puits sans passer par aucun autre nœud intermédiaire. Dans le cas où la distance entre quelques nœuds capteurs et le puits dépasse leur portée maximale, ces nœuds doivent utiliser d'autres nœuds intermédiaires pour envoyer leurs données au puits. Dans ce cas on dit qu'on a un réseau à multi-sauts. Ce type de réseau a une large gamme d'application mais est difficile à mettre en œuvre.

3. Selon le modèle de mobilité dans le réseau

L'intérêt de la mobilité dans les RCSF est multiple dans la mesure où les capteurs mobiles peuvent permettre d'étendre la couverture d'un réseau ou encore obtenir des résultats plus précis. La classification selon le modèle de mobilité consiste en une combinaison entre la mobilité des nœuds capteurs et celle du puits. Par cette combinaison, nous pouvons distinguer deux grandes catégories de réseaux : réseaux statiques et réseaux dynamiques ou mobiles. On peut par exemple avoir un réseau constitué d'un ensemble de nœuds capteurs mobiles et d'un puits fixe. Le but de tels réseaux est la plupart du temps l'exploration de zones inaccessibles ou dangereuses.

4. Selon les capacités des nœuds du réseau

Dans cette classification, on distingue les réseaux homogènes des hétérogènes. Dans un réseau de capteurs homogène, tous les nœuds du réseau sont identiques en termes d'énergie et de complexité du matériel. Il est évident que les nœuds leaders des clusters sont surchargés avec des tâches supplémentaires et nécessaires, comme l'agrégation des données et la coordination du protocole de routage, par conséquent, leur durée de vie expire avant celle de ses autres nœuds. Pour cela les nœuds tournent le rôle du leader du cluster périodiquement entre elles. Dans le cas d'un réseau de capteurs hétérogène il y a quelques nœuds sophistiqués qui ont plus de capacité de traitement et de communication que les nœuds normaux. Cela améliore l'efficacité énergétique et prolonge la vie de réseau.

I.2.9. Types de réseaux de capteurs sans fil

✓ Réseaux de poursuite

Ces réseaux sont généralement développés par l'armée, ils peuvent servir à surveiller toutes les activités d'une zone stratégique ou d'accès difficile, ainsi on pourra détecter des agents chimiques, biologiques ou des radiations avant des troupes. On peut aussi penser à des capteurs embarqués sur les soldats pour faciliter leur guidage et le contrôle de leur position depuis la base.

✓ Réseaux de collection des données d'environnement

Les nœuds de ce type de réseau peuvent avoir plusieurs fonctionnalités et différents types de capteurs. Ce type de réseau nécessite généralement un flux de

données faible, une durée de vie importante ; il sert à la collecte périodique des données environnementales puis leur transmission vers la station de base.

✓ Réseaux de surveillance et sécurité

La différence entre ce réseau et le réseau de collection d'environnement est que les nœuds ne transmettent pas l'ensemble des données collectées mais seulement les rapports concernant une violation de la sécurité. Ce sont en général des nœuds fixes qui contrôlent d'une façon continue la détection d'une anomalie dans le fonctionnement d'un système. Ainsi les altérations dans la structure d'un bâtiment, suite à un séisme, pourraient être détectées par des capteurs intégrés dans les murs ou dans le béton, sans alimentation électrique ou autres connexions filaires.

I.2.10. Les attaques dans les réseaux de capteurs

Il existe plusieurs attaques de sécurité possibles dans les réseaux de capteurs, on cite quelque uns : [18]

➤ Ecoute passive du réseau

L'attaquant, qui dispose d'un équipement puissant (vitesse de calcul, espace de stockage, ressource en énergie, etc.), collecte les informations échangées dans le réseau de capteurs si elles ne sont pas chiffrées.

➤ Compromission du nœud

En compromettant un nœud, l'attaquant peut récupérer les informations incluses : programme, clés cryptographiques a démontré que la compromission d'un capteur de type mica2 peut se faire en moins d'une minute.

➤ La panne d'un nœud

La panne d'un nœud peut affecter le fonctionnement du réseau, surtout quand ce nœud est un chef de grappe. Alors le protocole de routage doit être robuste pour annuler l'effet d'une telle panne en construisant des chemins de routage alternatifs.

➤ La corruption de message

Quand le contenu d'un message est modifié par un attaquant, il compromet l'intégrité du message.

I.2.11. Les solutions de sécurité pour les réseaux de capteurs

Les exigences de sécurité, dans les réseaux de capteurs, dépendent de la nature de l'application. Les applications militaires sont très exigeante en sécurité, voire non tolérante à ce niveau ; car le réseau est une épée à double tranches, et peut devenir une arme ennemie. Mais dans des applications de surveillance de l'environnement, par exemple, la sécurité n'est pas très exigeante. L'application d'un simple mécanisme demeure suffisante pour protéger le réseau des attaques primaires. [20]

L'application des solutions de sécurité doit être accompagnée d'un mécanisme de gestion des clés. On verra, d'abord, les mécanismes de gestion des clés et ensuite les deux plus importantes solutions de sécurité proposées dans la littérature.

1) Les protocoles de distribution des clés

Les protocoles de distribution de clés traditionnels ne sont pas adaptés aux réseaux de capteurs sans fil, qui ont des ressources limitées et aussi pour le manque d'informations sur la topologie du réseau et sur les voisins. Plusieurs adaptations ont été proposées dans la littérature à ces protocoles. Les trois classes essentielles sont :

- ❖ **Clé globale** : est une clé symétrique partagée par tous les nœuds, ce qui permet de minimiser l'espace de stockage utilisé par la sécurité et de résister aux attaques de déni de service, car le calcul de MACs est rapide. Mais cette solution ne tolère pas la compromission de nœuds. Un nœud compromis par un attaquant signifie la destruction totale du mécanisme de sécurité.
- ❖ **Clé de pair** : est une clé unique partagée entre deux nœuds. Cette solution résiste aux compromissions de nœuds et assure l'authentification entre les paires (*node-tonode authentication*).
- ❖ **Clé publique** : Ce mécanisme de gestion de clés est le plus utilisé dans les réseaux traditionnels mais il est difficilement envisageable dans les réseaux de capteurs sans fil, car il est gourmand en terme de ressources et temps de calcul, et ce, malgré les travaux réalisées dans la littérature.

2) Les protocoles de sécurité

Plusieurs propositions ont vu le jour, mais jusqu'à nos jours il n'y a pas une solution qui fait le compromis attendu par les utilisateurs entre sécurité, consommation en énergie et temps de calcul. C'est pourquoi ce domaine est encore en exploration par les chercheurs. Dans ce qui suit, on verra de plus près les deux solutions *TinySec* et *SNEP*. [19]

✓ **TinySec**

La solution de sécurité qui a été proposée dans TinyOS 1.x est TinySec. Elle se présente comme une couche de sécurité au niveau liaison de données. TinySec utilise une clé de groupe commune, initialement chargée dans tous les capteurs du réseau avant leur déploiement.

✓ **SNEP : Sensor Network Encryption Protocol**

SNEP est un protocole de sécurité pour les réseaux de capteurs qui utilise un algorithme de chiffrement.

I.3. Capteur sans fil

I.3.1. Définition du capteur

Un capteur sans fil est un petit dispositif électronique capable de mesurer une valeur physique environnementale (température, lumière, pression, etc.) et de la communiquer à un centre de contrôle via une station de base [1].

Un nœud capteur sans fil est un composant physique, de petite taille, capable d'accomplir trois tâches complémentaires :

- le relevé d'une grandeur physique.
- le traitement de l'information.
- la communication avec d'autres nœuds capteurs.

I.3.2. Composants d'un capteur sans fil

Un capteur est composé de 4 unités :

- **L'unité d'acquisition** : elle est généralement composée de deux sous-unités, un capteur qui permet d'obtenir des mesures sur les paramètres environnementaux

et un convertisseur Analogique/Numérique qui convertit l'information relevée et la transmet à l'unité de traitement.

- **L'unité de traitement** : composé de processeur et d'une mémoire intégrant un système d'exploitation spécifique (TinyOS, par exemple), et de deux interfaces, une avec l'unité d'acquisition et l'autre avec le module de transmission. Ce moule est considéré comme la partie la plus importante d'un nœud de capteur. En effet, il reçoit des données auprès du capteur, traite ces données, et décide quand et où l'envoyer. Il assure aussi le relais des données reçues à partir d'autres nœuds de capteurs.
- **Un module de communication (Transceiver)** : il est composé d'un émetteur/récepteur permettant la communication entre les différents nœuds du réseau via un support de communication radio.
- **L'unité d'énergie** : un capteur est muni d'une batterie pour alimenter tous ses composants.

Cependant, à cause de sa taille réduite, la batterie dont il dispose est limitée et généralement irremplaçable. Pour cela, l'énergie est la ressource la plus précieuse puisqu'elle influe directement sur la durée de vie des capteurs.

Il existe des capteurs qui sont dotés d'autres composants additionnels tels que les systèmes de localisation GPS (Global Position System).

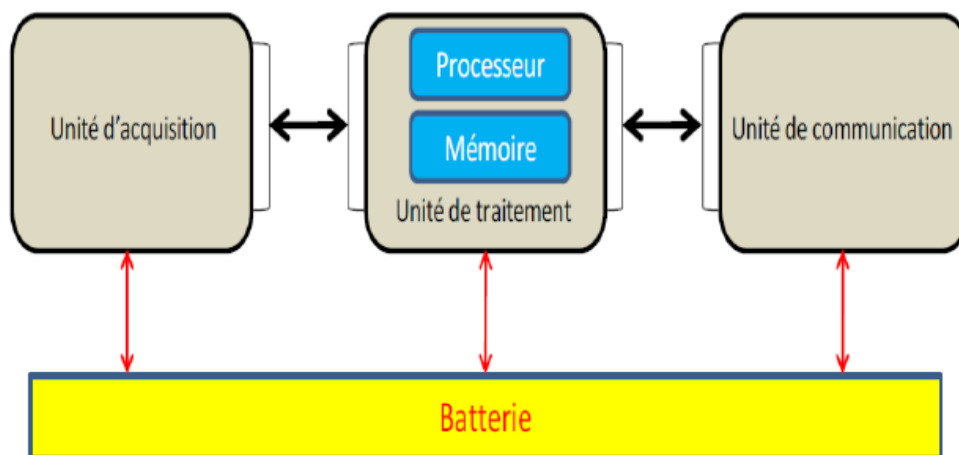


Figure I.6 : Composants d'un capteur sans fil.

La figure I.7 résume la consommation d'énergie dans les différentes unités d'un capteur :

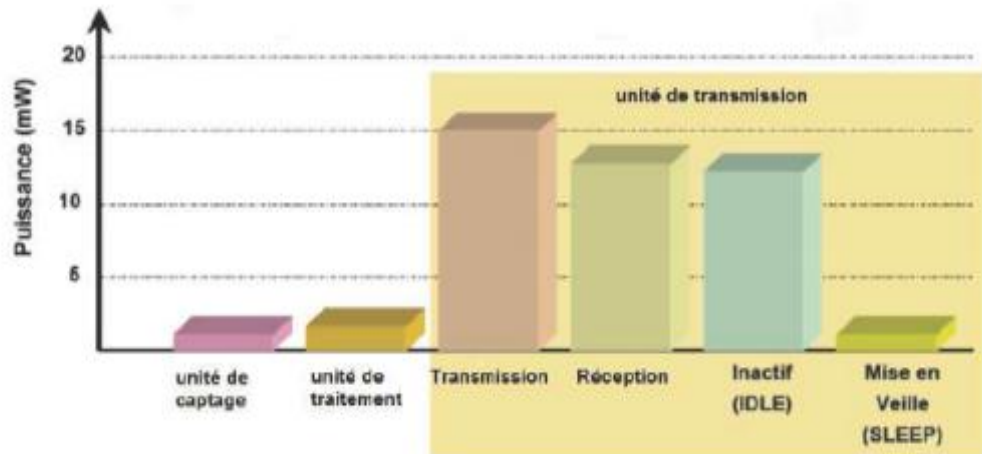


Figure I.7 : consommation d'énergie dans un nœud de capteur.

I.3.3. Classification des capteurs

Les capteurs peuvent être classifiés selon l'apport énergétique en :

a) **Capteurs actifs** : Ce type de capteurs est constitué d'un ou plusieurs transducteurs alimentés tels que les chronomètres mécaniques. Ce sont des capteurs que l'on pourrait modéliser par des générateurs comme les systèmes photovoltaïques et électromagnétiques. D'où ils génèrent soit un courant, soit une tension en fonction de l'intensité du phénomène physique mesuré.

b) **Capteurs passifs** : Ces capteurs n'ont pas besoin d'apport d'énergie extérieure pour fonctionner. Ils sont modélisables par une impédance. Ainsi une variation du phénomène physique mesuré engendre une variation de l'impédance.

I.3.4. Technologie des capteur

Il existe dans le monde plusieurs fabricants des capteurs. Nous citerons Crossbow, Cisco, Dalsa, EuroTherm, Shockfish SA, et Sens2B. Parmi ces capteurs, il existe quelques-uns qui sont capables de varier la puissance du signal émis afin d'élargir/réduire le rayon de communication et en conséquence la zone de communication. Figure I.8 montre des exemples des capteurs intelligents.

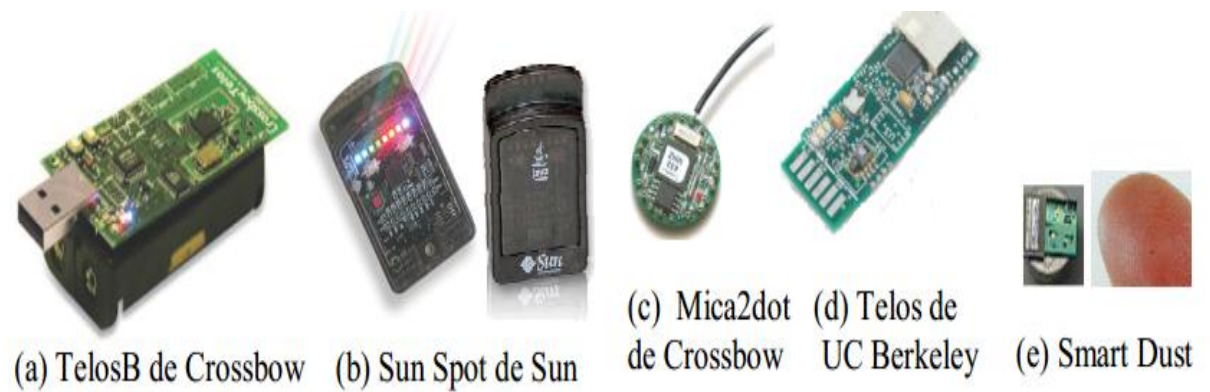


Figure I.8 : Echantillon des capteurs existants.

En effet, suivant le type d'application il ya plusieurs catégories de capteurs différents qui varient en fonction de la taille, de la capacité de calcul, de la la taille de mémoire et de la bande passante .suivant les caractéristique des capteurs, la taille du réseau, des protocoles de communication, on distingue quatre types principaux de plateformes :

- ✓ Plateforme de capteurs miniaturisés : plateforme dédiée aux capteurs de taille (quelque 3 mm) et de faible bande passante ($<50\text{kb}_\text{ps}$).
- ✓ Plateforme de capteurs généraux : plateforme développée pour capter et router des informations du monde ambiant. Quelques plateforme de cette famille ont été développés et la plus récente est basé sur MicaZ , un capteur de taille $\sim 10\text{ cm}^3$ avec les protocoles de communication IEEE 802.15.
- ✓ Plateforme de capteurs à haute bande passante : ces plateformes ont pour but de transporter de gros volumes de données captées (vidéo, son, vibration).
- ✓ Plateforme de passerelles : ces dispositifs servent à transporter les informations envoyées par le réseau de capteur vers un réseau traditionnel (Ethernet, 802.11).

I.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit sur les capteurs, leurs composants et leurs classifications, ainsi que des réseaux de capteurs sans fil, leurs architectures, leurs caractéristiques et leurs domaines d'applications.

Nous constatons que les réseaux des capteurs possèdent un large domaine d'application, leurs propres caractéristiques et propres contraintes.

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter les protocoles de routages dans les réseaux de capteurs sans fil.

CHAPITRE II : LES PROTOCOLES DE ROUTAGE DANS LES RCSF

II.1. Introduction

Dans les RCSF, les capteurs sont déployés en grand nombre pour surveiller un tel phénomène et faire remonter l'information à un centre de contrôle distant. Pour atteindre cette finalité, les capteurs ont la capacité de communiquer et collaborer entre eux pour acheminer l'information collectée à la station de base en garantissant sa fiabilité et en empruntant le plus court chemin entre le nœud qui a détecté ce phénomène et la station de base. Cette opération est basée sur le processus de routage.

Ces dernières années plusieurs protocoles de routage pour les réseaux ad hoc ont été développés, ces protocoles essayent de maximiser les performances en minimisant le délai de livraison des paquets, l'utilisation de la bande passante et la consommation d'énergie.

Dans ce chapitre nous allons présenter la classification des protocoles de routage utilisés pour les réseaux Ad hoc, leur fonctionnement, en décrivant aussi les contraintes de routage dans les réseaux de capteur.

II.2. Définition de routage

Le routage est un processus qui permet de sélectionner des chemins dans un réseau pour transmettre des données depuis un expéditeur jusqu'à un ou plusieurs destinataires. On parle de routage dans différents domaines : réseaux téléphoniques et réseaux de transports.

Le routage est le mécanisme par lequel des chemins sont sélectionnés dans un réseau pour acheminer les données d'un expéditeur jusqu'à un ou plusieurs destinataires. Sa performance est importante dans les réseaux décentralisés, c'est-à-dire où l'information n'est pas distribuée par une seule source, mais échangée entre des agents indépendants.

Le terme routage désigne l'ensemble des mécanismes mis en œuvre dans un réseau pour déterminer les routes qui vont acheminer les paquets d'un terminal émetteur à un terminal récepteur.

II.3. Problématiques de routage dans les réseaux Ad hoc

Dans le but d'assurer la connectivité du réseau, malgré l'absence d'infrastructure fixe et la mobilité des stations, chaque nœud est susceptible d'être mis à contribution pour participer

au routage et pour retransmettre les paquets d'un nœud qui n'est pas en mesure d'atteindre sa destination, tout nœud joue ainsi le rôle de station et de routeur.

Le fait que la taille d'un réseau ad hoc peut être énorme, souligne que la gestion de routage de l'environnement doit être complètement différente des approches utilisées dans le routage classique. Le problème qui se pose dans le contexte des réseaux ad hoc c'est l'adaptation de la méthode d'acheminement utilisée avec le grand nombre d'unités existant dans un environnement caractérisé par de modestes capacités de calcul et de sauvegarde.

II.4. Protocoles de routages dans les réseaux Ad hoc

Les protocoles de routage dans les réseaux Ad-hoc sont fondés sur quatre principes fondamentaux à savoir, l'inondation, le vecteur de distance, le routage à la source et l'état de lien. Deux grandes catégories de protocoles se sont formées à partir de la normalisation de MANET. Les protocoles de routage proactifs qui établissent les routes à l'avance et les protocoles de routage réactifs qui cherchent les routes à la demande.

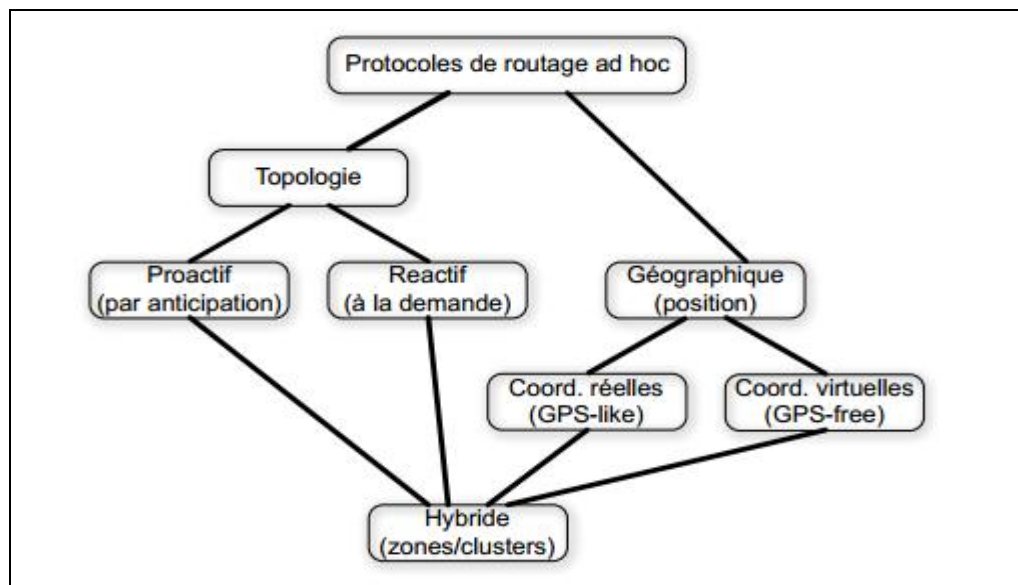


Figure II.1 : Classification des protocoles de routage ad hoc et capteur.

II.4.1. Protocoles de routage Proactifs

Les protocoles de routage proactifs essaient de maintenir les meilleurs chemins existants vers toutes les destinations possibles au niveau de chaque nœud du réseau. Les routes sont sauvegardées même si elles ne sont pas utilisées. La sauvegarde permanente des chemins de routage permet le maintien à jour d'une table de routage dans chaque nœud, ceci est assurée

par un échange continu des messages de mise à jour des chemins, ce qui induit un contrôle excessif surtout dans le cas des réseaux de grande taille.

Deux principales méthodes sont utilisées dans ce type de routage, la méthode Etat de Lien ("Link State") et la méthode du Vecteur de Distance ("Distance Vector"). [10]

Les protocoles basés sur ce principe sont : DSDV, WRP, OLSR, FSR, HSR, ZHLS.

II.4.1.1. Le Protocoles DSDV

L’algorithme DSDV (Dynamic destination Sequenced DistanceVector) a été conçu spécialement pour les réseaux mobiles. Chaque station mobile maintient une table de routage qui contient toutes les destinations possibles, le nombre des sauts pour atteindre la destination, le numéro de séquences (SN) qui correspond à un nœud de destination, permettant de distinguer les nouvelles routes des anciennes et d’éviter la formation de boucles de routage. Les mises à jour des tables sont transmises périodiquement à travers le réseau afin de maintenir la consistance des informations ce qui génère un trafic important qu’il faut limiter. Pour cela, deux types de paquets de mise à jour sont utilisés : les "fulls dump", contenant toutes les informations et des paquets plus petits, ne contenant que les informations ayant changé depuis le dernier "full dump". [10]

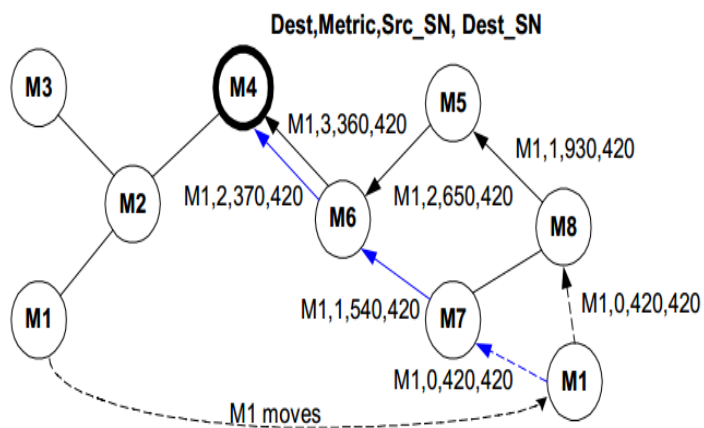


Table de routage de M4 :

Avant déplacement de M1			
Destination	NextHop	Metric	Dest_SN
M1	M2	2	410
M2	M2	1	780
M3	M2	2	250

Après déplacement de M1			
Destination	NextHop	Metric	Dest_SN
M1	M6	3	420
M2	M2	1	780
M3	M2	2	260

Figure II.2 : Exemple d’échange DSDV

II.4.1.2. Le Protocoles OLSR

OLSR est un protocole proactif basé sur un algorithme de type « états des liens ». Pour éviter l'inondation classique (flooding) sur ce type d'algorithme, le protocole prévoit l'élection de nœud spécifique les MPR (Multipoint Relay) sont chargé de transmettre les informations de topologie.

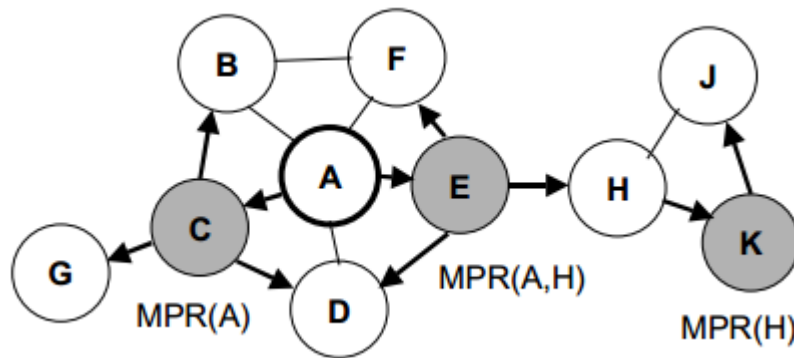


Figure II.3 : exemple échange OLSR.

OLSR présente l'avantage de réduire la taille des messages de contrôle, car seuls les liens aux MPR sont déclarés. En plus, l'inondation est limitée par l'utilisation des MPR.

II.4.1.3. Avantages et les inconvénients des protocoles proactifs

Avec un protocole proactif, les routes sont disponibles immédiatement, ainsi l'avantage d'un tel protocole est le gain de temps lors d'une demande de route. Le problème est que, les changements de routes peuvent être plus fréquents que la demande de la route et le trafic induit par les messages de contrôle et de mise à jour des tables de routage peut être important et partiellement inutile, ce qui gaspille la capacité du réseau. De plus la taille des tables de routage croît linéairement en fonction du nombre de nœud.

II.4.2. Protocoles de routage Réactifs

Les protocoles de routage réactifs (dits aussi : protocoles de routage à la demande), représentent les protocoles les plus récents proposés dans le but d'assurer le service du routage dans les réseaux sans fil.

Ces protocoles se basent sur la découverte et le maintien des routes. Suite à un besoin, une procédure de découverte globale de routes est lancée. Ce processus s'arrête une fois la route trouvée ou toutes les possibilités sont examinées. Dès que la communication est établie, cette route est maintenue jusqu'à ce que la destination devienne inaccessible ou jusqu'à ce que la route ne soit plus désirée. Parmi les protocoles basés sur ce principe on cite : DSR, AODV, ABR, LAR ...etc. [11]

II.4.2.1. Le Protocoles DSR

DSR (Dynamic Source Routing) est basé sur l'utilisation du technique "routage à la source" c'est-à-dire c'est à la source de déterminer la séquence complète des nœuds selon lesquelles, les paquets de données seront envoyés. Les nœuds n'ont pas besoin de tables de routage. Les deux opérations de base de DSR sont : la découverte de routes (route discovery) et la maintenance de routes (route maintenance). La découverte de routes se fait par diffusion d'un paquet requête de route pour identifier la cible. En cas de réussite, le nœud initiateur reçoit un paquet réponse de route qui liste la séquence de nœuds à travers lesquels la destination peut être atteinte. Dès que la destination est localisée, une copie de ce chemin est envoyée dans un paquet réponse de route à l'initiateur. De cette manière, la requête de route est propagée dans le réseau, jusqu'à ce qu'elle atteigne la destination qui va répondre à la source.

Afin de réduire le coût et la fréquence de la découverte de routes, chaque nœud garde trace des chemins trouvés à l'aide des paquets de réponses. Ces chemins sont utilisés jusqu'à ce qu'ils soient invalides. Le protocole DSR n'intègre pas l'opération de découverte de routes avec celle de la maintenance, comme le fait les protocoles de routage conventionnels et évite le problème de boucle de routage.

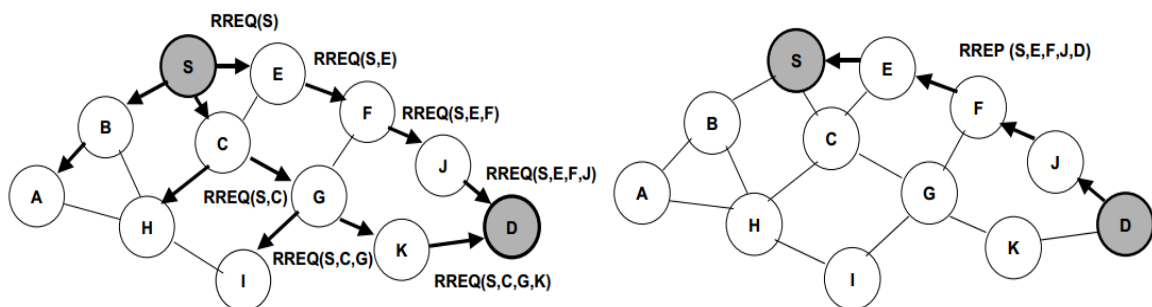


Figure II.4 : Exemple de découverte DSR

II.4.2.2. Protocoles de routage Réactifs AODV

L'AODV (Ad-hocOn-demandDistanceVector) est considéré comme la combinaison de DSR et de DSDV. Il combine les mécanismes de découverte et de maintenance de routes de DSR en y associant le numéro de séquence (pour le maintien de la consistance des informations de routage) et les mises à jour périodiques de DSDV. La découverte de route se fait par diffusion du message RREQ (Route Request). AODV utilise le numéro de séquence pour éviter les boucles et être sûr d'utiliser les routes les plus récentes (les plus fraîches). Quand un nœud de transit envoie le paquet de la requête à un voisin, il sauvegarde aussi l'identificateur du nœud dans la table de routage à partir duquel la première copie de la requête est reçue. Cette information est utilisée pour construire le chemin inverse. Si un nœud reçoit plusieurs copies d'un même RREQ, seule la première est conservée.

Une fois que le message atteint la destination, elle retransmet un message RREP (Route Reply) vers la source par le chemin inverse. Etant donné que le RREP est envoyé par le même chemin que le RREQ. AODV ne supporte que des liens symétriques. Le protocole de routage AODV n'assure pas l'utilisation du meilleur chemin existant entre la source et la destination mais il ne présente pas de boucle de routage et évite le problème «counting to infinity » de Bellman-Ford, ce qui offre une convergence rapide quand la topologie du réseau change.

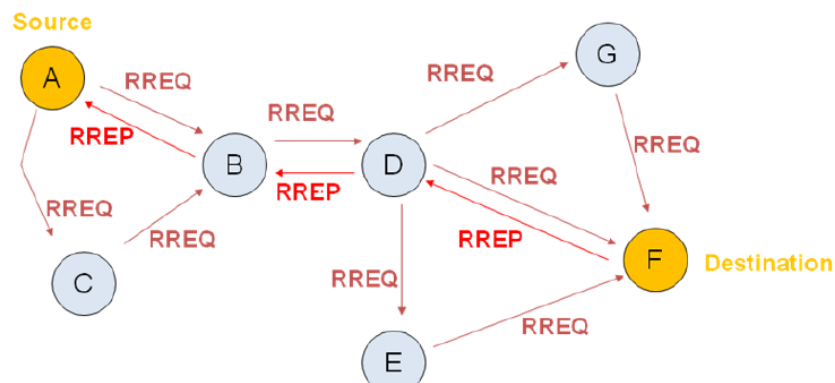


Figure II.5 : exemple de protocole AODV.

II.4.2.3. Avantages et les inconvénients des protocoles réactifs

A l'opposé des protocoles proactifs, dans les protocoles réactifs aucun message de contrôle ne change le réseau pour des routes inutilisées ce qui permet de préserver les ressources du réseau (bande passante). Mais la mise en place d'une route par inondation peut être coûteuse, Et provoque des délais importants avant l'ouverture de la route et les retards

dépassent bien souvent les délais moyens admis par les logiciels, ce qui provoque une erreur et impossibilité de se connecter alors que le nœud est là et la route existe.

II.4.3. Protocoles de routage Hybrides

C'est une combinaison des deux concepts de routage proactif et réactif. Des tables de routage sont stockées sur les nœuds capteurs de façon à établir des routes sur leur voisinage proche (généralement en deux sauts maximums). Au-delà de leur voisinage, le routage devient réactif et des procédures de recherche de routes sont lancées. Cette approche combine les avantages des deux autres approches proactive et réactive et réduit considérablement la taille des tables de routage ainsi que les délais d'établissement de routes.

II.4.3.1. Le Protocoles ZRP

Le protocole ZRP (Zone Routing Protocol) est un exemple de protocole hybride, à mi-chemin entre les deux familles de protocoles. Ainsi, chaque nœud maintient une table de routage dont les données sont régulièrement émises en diffusion pour tous les nœuds qui lui sont distants de moins qu'une valeur d prédéfinie (routage proactif dans cette zone). Pour atteindre tout autre nœud qui n'apparaîtrait pas dans sa table de routage (donc distant de plus de la distance d), un nœud a recours à un protocole de routage de type réactif similaire au protocole DSR. Ce type de protocole fournit un assez bon compromis en termes de diffusion pour les mises à jour. Cette tentative pour cumuler les qualités des deux approches, bien que notable, se place en intermédiaire plus qu'en solution, parce qu'elle est moins efficace en forte mobilité ou avec beaucoup de stations que les algorithmes de routage de base. [12]

Il combine à la fois :

- Une approche proactive à l'intérieur d'une zone restreinte, qui permet de mettre à jour l'état du réseau et de maintenir des routes qu'il y ait ou non des paquets de données circulent.
- Une approche réactive entre les zones restreintes, qui ne détermine une route entre des nœuds périphériques que si le besoin de transmettre des paquets de données apparaît

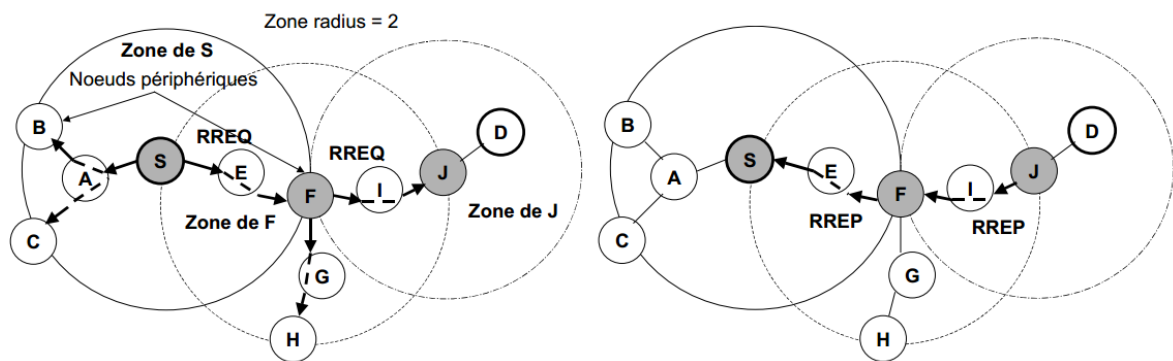


Figure II.6 : Exemple de routage ZRP

II.4.3.2. Le Protocoles ZHLS

Le protocole ZHLS est basé sur la décomposition d'un réseau en zones. Contrairement à la plupart des protocoles dit hiérarchiques, il n'y a pas ici de représentant pour chaque zone. La topologie d'un réseau est ainsi partagée en deux niveaux :

- ✓ Un niveau nœud indique la façon dont les nœuds d'une zone sont connectés entre eux physiquement. Un lien virtuel peut exister entre deux zones s'il existe au moins un nœud d'une autre zone.
- ✓ Un niveau zone qui renseigne sur le schéma de connexion des différentes zones.

Ces niveaux différents entraînent donc deux différents types de liens : les liens inter-nœuds et les liens interzones. Le réseau est donc décomposé comme l'illustre la figure. Il résulte de cette décomposition un routage interzone et un routage intra-zone qui est permise par l'adressage mis en place et qui consiste en un identifiant de zone, un identifiant de nœuds et l'utilisation de LSP (Link State Packet) qui renseignent sur l'état des liens. Il est alors également possible de distinguer deux classes de LSP : la classe des LSP orientés nœuds pour lesquels un nœud donné contient des informations sur son voisin et celle des LSP orientés zones qui sont, quant à elles, échangées de manière globale. Ainsi chaque nœud du réseau possède une connaissance complète concernant les nœuds de sa propre zone et seulement une connaissance partielle du reste des nœuds. Les nœuds déterminent leur position physique en utilisant le GPS. La carte de zone est établie pendant la phase de composition du réseau.

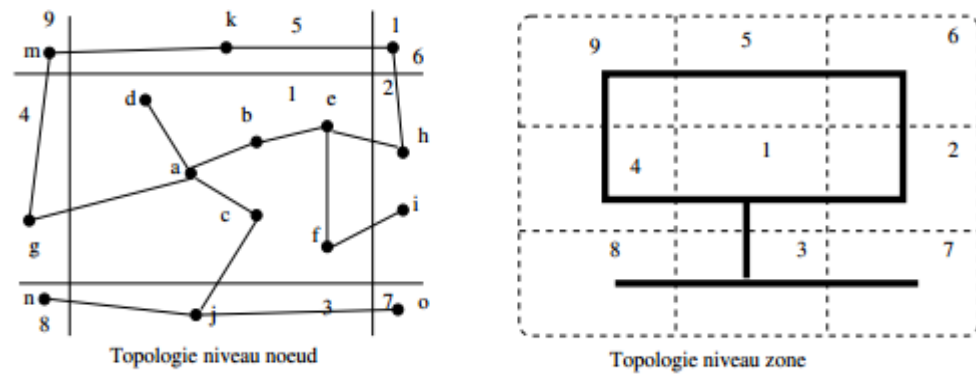


Figure II.7 : protocole hybride ZHLS

II.4.3.3. Avantages et les inconvénients des protocoles hybrides

Le protocole hybride est un protocole qui se veut comme une solution mettant en commun les avantages des deux approches précédentes en utilisant une notion de découpe du réseau.

Cependant, il rassemble toujours quelques inconvénients des deux approches proactives et réactives.

II.4.4. Protocoles de routage Géographiques

L'idée des protocoles de routage géographique est d'utiliser des informations géographiques pour acheminer les paquets. Pour simplifier la présentation, nous supposons que tous les nœuds connaissent leur position et que ceux-ci connaissent également la position de tous les autres nœuds du réseau. Avec ces hypothèses, il est facile de concevoir qu'un nœud peut facilement choisir parmi ses voisins un relais pour acheminer un paquet dont il connaît la destination finale et donc aussi sa position. Il est très simple d'envisager des critères de sélection parmi ces voisins, donnons quelques exemples parmi les heuristiques les plus classiques.

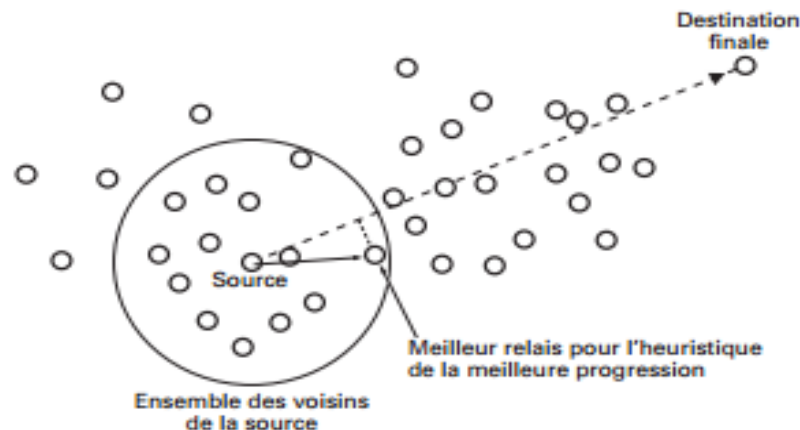


Figure II.8 : Routage géographique.

II.4.4.1. Protocoles de routage Géographiques hiérarchique

a. LEACH

LEACH est l'un des algorithmes de routage hiérarchique le plus populaire pour les réseaux de capteurs. 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 clusters-Head locaux comme passerelle pour atteindre la destination. Cela permet d'économiser de l'énergie car les transmissions ne sont effectuées que par les cluster-Head plutôt que par tous les nœuds de capteurs [1]. LEACH suppose que chaque nœud du réseau peut communiquer directement avec le puits, alors que, les nœuds non-Cluster Head ne peuvent communiquer qu'avec leurs Cluster Head choisis, en utilisant la technique TDMA instaurée par ce dernier. Cette technique permet de minimiser les collisions en allouant à chaque nœud un temps privé pour transmettre ses données vers son CH. LEACH préconise, également, une agrégation de données au niveau des CHs pour plus de conservation d'énergie. [13]

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

PEGASIS est une amélioration du protocole LEACH. Au lieu de former plusieurs clusters, PEGASIS forme des chaînes de nœuds de sorte que chaque nœuds transmet et reçoit des nœuds voisins appartenant à la chaîne. Un seul nœud est choisi, parmi cette chaîne, pour transmettre au cluster. Ce nœud est nommé (leader node). Les données recueillies se déplacent d'un nœud à un autre, et seront agrégées puis envoyées au cluster par le nœud leader. Dans le PEGASIS hiérarchique les nœuds construisent une chaîne qui forme un arbre hiérarchique. Chaque nœud leader, choisi dans un niveau particulier, transmet des données aux nœuds du niveau supérieur de la hiérarchie jusqu'à atteindre la station de base cluster [1].

II.4.4.2. Protocoles de routage Géographiques non hiérarchique

a. GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing)

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

Ce protocole de routage géographique se base sur le fait que tous les nœuds connaissent leur position, par exemple, grâce à un équipement GPS (Global Positioning System) ou encore par un système de positionnement distribué [15]

II.4.5. Avantages et inconvénients des protocoles Géographiques

Les majors avantages des protocoles géographiques c'est de connaître la position des nœuds et limitation du trafic par contre leur inconvénients sont l'utilisation d'un GPS et Ressources CPU et mémoire.

II.5. Contrainte de routage dans les réseaux de capteur sans fil

Trouver un chemin entre un nœud source et sa destination se heurte à un certain nombre de difficultés dues à l'obligation d'optimiser la consommation d'énergie, respecter les capacités faibles des nœuds capteurs et assurer une qualité de services offerts. Ces difficultés sont causées par le support de communication sans fil utilisé, la taille du réseau, le déploiement, souvent aléatoire des nœuds, la dynamité du réseau, du passage à l'échelle...etc. [6] [8]

II.5.1. Capacité réduite des capteurs

Les capacités réduites des capteurs en calcul, en mémoire et en énergie empêchent le développement de mécanismes complexes, volumineux et complets qui s'exécutent sur des processeurs puissants et qui nécessitent des tailles mémoire importantes. De même, l'une des recommandations majeures à prendre en compte est de répartir équitablement l'énergie consommée lors de la découverte et la maintenance des routes. De plus, l'agrégation de données, le contrôle de la puissance du signal sont, entre autres, des techniques de conservation d'énergie appliquées par un protocole de routage lors de la transmission de données entre les différentes entités du réseau, utilisant une architecture de communication adéquate.

II.5.2. La taille du réseau

Le nombre de nœuds d'un réseau de capteurs sans fil est souvent important et sa topologie change fréquemment avec la défaillance ou l'ajout de certains nœuds capteurs. Ce changement de topologie provoque une maintenance et une mise à jour régulière des schémas de gestion de routes, deux opérations gourmandes en énergie. Ainsi, la réorganisation du réseau et la mise à jour des tables de routage, ou parfois le changement de l'approche de

routage utilisée selon les nouvelles données, implique la participation d'un grand nombre de nœuds capteurs, ce qui est difficile à gérer par les protocoles de routage.

II.5.3. Déploiement des nœuds

Les nœuds d'un RCSF peuvent être déployés d'une manière sélective ou aléatoire. Dans un environnement de déploiement sélectif où les nœuds capteurs sont placés à la main, les protocoles de routage peuvent utiliser directement les informations pré-chargées sur les capteurs avant leur déploiement sur la zone de captage. On parle alors de routage prédéterminé. Ce genre de déploiement ne pose pas trop de problèmes aux protocoles de routage car les informations sur l'emplacement des capteurs sont statiques et les mises à jour des tables de routage s'effectuent d'une manière déterministe. Cependant, les informations sur les positions des capteurs dispersés aléatoirement sur une zone à surveiller sont difficiles à connaître ou à prévoir et l'emplacement des capteurs est quasi inconnu. Dans ce cas, on procède alors à la définition de nouveaux mécanismes chargés de la découverte des routes

II.5.4. Tolérance aux pannes

Un nœud participant à l'acheminement de données sur un réseau de capteurs est susceptible de tomber en panne suite à l'épuisement de ses réserves d'énergie, à une défection matérielle, à une compromission...etc. ce qui ne doit pas altérer le fonctionnement du protocole de routage. Un mécanisme de gestion et de prise en charge de pannes doit être prévu et mis en place.

II.5.5. Qualité de service

Un protocole de routage doit veiller au respect des délais d'acheminement et à préserver l'intégrité des données émises car un message, une donnée ou une information arrivant après un certain délai ne serait peut-être plus utilisable surtout dans des applications temps réel.

II.5.6. La consommation d'énergie

La consommation d'énergie est la métrique la plus importante dans l'évaluation de la durée de vie des capteurs et des performances d'un réseau de capteurs sans fil. La source d'énergie des capteurs, conçus pour fonctionner durant des mois et même des années et alimentés par des batteries de capacité limitée, doit être utilisée de façon optimale pour toute tâche effectuée, notamment la communication et l'échange d'informations, entre les entités du

réseau. Plusieurs métriques et techniques sont utilisées par les protocoles de routage afin d'optimiser les sources de consommation d'énergie au niveau de la couche réseau.

II.5.7. Adressage

Les mécanismes d'adressage facilitent la communication entre les voisins. Cependant, lorsque le nombre de nœuds est important, l'information nécessite une communication multi hop (plusieurs intermédiaires). Ceci provoque un phénomène de saturation dû à la juxtaposition des adresses des intermédiaires. Les protocoles de routage doivent donc supporter des mécanismes de prévention contre la saturation (Overhead) où l'adresse de chaque nœud n'est pas requise.

II.5.8. Application

Le type de la couche d'application influence directement le choix du protocole de routage. Dans les applications de contrôle d'un processus quelconque, les capteurs transmettent des informations à la destination de façon périodique, ce qui nécessite généralement des routes statiques. Dans les applications basées sur les événements, le capteur est souvent en mode veille. À l'arrivée du premier événement, une route doit être établie pour délivrer l'information.

II.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons évoqué la problématique de routage dans les réseaux Ad Hoc, et les différents protocoles de routage utilisés. Nous avons présenté aussi les contraintes de routage dans les réseaux de capteur sans fil.

Les progrès dans les réseaux de capteurs sans fil ont mené à de nouvelles solutions pour le routage de données dans ce type de réseaux en respectant les contraintes de routage cités supra.

CHAPITRE III : OPTIMISATION DU PROTOCOLE AODV POUR LES RCSF

III.1. Introduction

Le routage dans les réseaux sans fil classiques reste une tâche difficile en raison du paradigme ad hoc de ces réseaux ainsi que de la nature du support utilisé ; Néanmoins dans les RCSF, il devient plus difficile en raison des contraintes des capteurs et de la nature de l'environnement qui est imprévisible et hostile.

Dans ce chapitre nous allons présenter le protocole AODV et AODV adapté, qui prend en considération le modèle de trafic de RCSF, la nature du milieu et les contraintes de bande passante ... etc.

III.2. Le protocole AODV

III.2.1. Définition

AODV (Ad hoc On demand Distance Vector) est un protocole de routage conçu par Charles E.Perkins et Elizabeth M. Royer. C'est un protocole basé sur le principe des vecteurs de distance et appartient à la famille des protocoles réactifs. Il représente essentiellement une amélioration de l'algorithme proactif DSDV mais réduit le nombre de diffusions de messages en ne calculant les routes que sur demande (AODV). Ce protocole utilise les deux mécanismes "découverte de route" et "maintenance de route", en plus du routage "nœud par nœud ", le principe des numéros de séquence et l'échange périodique du DSDV.

AODV utilise le principe des numéros de séquence afin de maintenir la consistance des informations de routage. A cause de la mobilité des nœuds dans les réseaux mobiles ad hoc, les routes changent fréquemment ce qui fait que les routes maintenues par certains nœuds, deviennent invalides. Les numéros de séquence permettent d'utiliser les routes les plus nouvelles ou autrement dit les plus fraîches. [1]

III.2.2. Table de routage et paquets de contrôle

AODV maintient les chemins d'une façon distribuée en gardant une table de routage, au niveau de chaque nœud de transit appartenant au chemin cherché. Une entrée de la table de routage contient essentiellement

- L'adresse IP de la destination.
- Le nœud suivant.
- La distance en nombre de nœud.
- Le numéro de séquence destination qui garantit qu'aucune boucle ne peut se former.
- Liste des voisins actifs.
- Le temps d'expiration de l'entrée de la table.
- Un tampon de requête afin qu'une seule réponse soit envoyée par requête.

A chaque utilisation d'une entrée, son temps d'expiration est remis à jour. Si une nouvelle route est nécessaire, ou si une route disparaît, la mise à jour de ces tables s'effectue par l'échange de trois types de messages entre les nœuds :

- RREQ (Route Request) : Message de demande de route.
- RREP (Route Reply) : Message de réponse à un RREQ.
- RERR (Route Error) : Message qui signale la perte d'une route.

Le format des paquets est donné ci-dessous :

- **RREQ**: contient essentiellement les champs suivants : [6]

Type	J	R	G	D	U	Reserved	Hop Count
RREQ ID							
Destination IP Address							
Destination Séquence Number							
Originator IP Address							
Originator Séquence Number							

Tableau III.1 : Format de message RREQ.

- Type (8 bits): ce champ indique le type de paquet, dans ce cas il prend la valeur 1
- Flags (drapeaux) (5 bits) : ce champ contient cinq flags (J, R, G, D, U).
- Reserved (11 bits): initialisé à la valeur 0 et ignoré à la réception du message.

- Hop Count (8 bits): il contient le nombre de sauts parcourus par RREQ.
 - RREQ ID: il identifie la requête parmi les requêtes envoyées par la même source.
 - Destination IP Address : l'adresse IP de destination pour laquelle une route est désirée.
 - Destination Séquence Number : Le dernier numéro de séquence reçu dans le passé pour n'importe quelle route vers la destination.
 - Originator IP Adress : l'adresse IP de la source de la requête.
 - Originator Sequence Number : Le nombre de séquence courant de la source contenue dans la table de routage de ce noeud.
- **RREP**: contient essentiellement les champs suivants : [6]

Type	R	A	Reserved	Hop Count
Destination IP Address				
Destination Séquence Number				
Originator IP Address				
Lifetime				

Tableau III.2 : Format de message RREP.

- Type (8 bits): ce champ indique le type de paquet, dans ce cas il prend la valeur 2.
- Flags (drapeaux) (2 bits)
- Préfix Sz (5 bits): si la valeur de ce champs est différente de zéro, ce dernier indique que le noeud prochain peut être utilisé pour chaque noeud demandant cette destination et qui possède la même valeur de Prefix Sz.
- Hop Count (8 bits): il contient le nombre de sauts entre la source jusqu'à la destination.
- Destination IP Address : l'adresse IP de la destination du paquet RREQ.
- Destination Sequence Number : le numéro de séquence de la destination associé à cette route.
- Originator IP Adress : l'adresse IP du noeud qui crée la requête.

- Lifetime : le temps pour lequel chaque noeud qui reçoit RREP considère que la route est valide.
 - **RERR** : Un message d'erreur de route contient essentiellement les champs suivants: [6]

Type	N	Reserved	DectCount
Type N Reserved DectCount			
Type N Reserved DectCount			

Tableau III.3 : Format de message RERR.

- Type (8 bits): la valeur de ce champ prend 3 dans le message RERR.
- Flag (1 bits): il contient un drapeau(N: No delete flag), celui-ci est indicatif lorsqu'un noeud est capable de réparer le lien, et informe les noeuds suivants qu'ils ne doivent pas supprimer le chemin.
- Reserved (15 bits): initialisé à la valeur 0 et ignoré à la réception du message.
- Dest Count (8 bits): il indique le nombre de destinations inaccessibles incluses dans ce message. Ce champ doit être supérieur ou égal à un.
- Unreachable Destination IP Address : l'adresse IP des destinations inaccessibles pour la raison de cassure de lien.
- Unreachable Destination Sequence Number : le nombre de séquence de la liste des destinations inaccessibles qui se trouve dans le champ Unreachable
- Destination IP Address.

III.2.3. Principe de fonctionnement [2]

a) Numéros de séquences

Dans AODV, chaque nœud maintient une table qui contient une entrée pour chaque destination accessible. Pour éviter le problème du comptage à l'infini, AODV utilise les numéros de séquences dans les tables de routage en plus de la distance. Chaque nœud possède un numéro de séquence, et il est le seul habilité à l'incrémenter. Ce numéro personnel est incrémenté dans les cas suivants :

- ✓ Avant d'entreprendre un processus de recherche de route, le noeud incrémente son numéro.
- ✓ Avant de répondre à un message RREQ par un message RREP, le numéro de séquence doit être remplacé par la valeur maximale entre son numéro de séquence actuel et celui contenu dans le message RREQ.

Afin de garantir la création de route sans boucles, La mise à jour de la table de routage dans l'AODV ne s'effectue que dans les cas suivants :

- ✓ Le numéro de séquence du paquet de contrôle est strictement supérieur au numéro de séquence présent dans la table.
- ✓ Les numéros de séquence (de la table et du paquet) sont égaux mais, la distance en nombre de sauts du paquet plus 1 est inférieure à la distance actuelle dans la table de routage.
- ✓ Le numéro de séquence pour cette destination est inconnu.

b) Découverte d'une route

Un nœud diffuse une requête de route (RREQ) pour connaître la route vers une certaine destination si celle-ci n'est pas connue au préalable, ou si le chemin existant vers la destination a expiré sa durée de vie ou il est devenu défaillant.

Le champ numéro de séquence de destination du paquet RREQ, contient la dernière valeur connue du numéro de séquence, copiée de la table de routage. Si le numéro de séquence n'est pas connu, la valeur nulle sera prise par défaut. Le numéro de séquence source du paquet RREQ contient la valeur du numéro de séquence du nœud source.

Après la diffusion du RREQ, la source attend le paquet réponse de route (RREP). Si ce dernier n'est pas reçu durant une certaine période (appelée RREP_WAIT_TIME), la source peut rediffuser une nouvelle requête RREQ.

Quand un nœud de transit (intermédiaire) envoie le paquet de la requête à un voisin, il sauvegarde aussi l'identificateur du nœud à partir duquel la première copie de la requête est reçue.

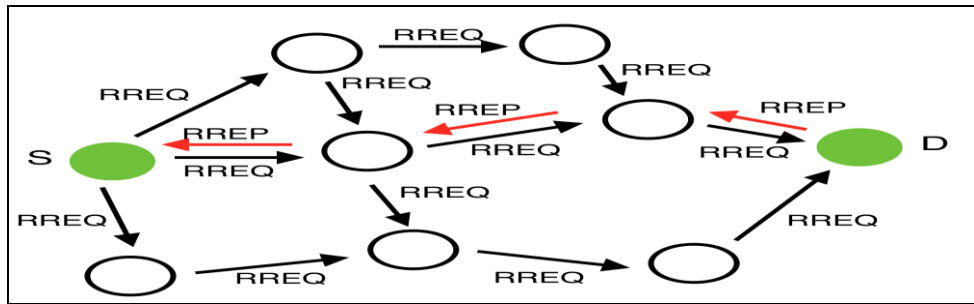


Figure III.1 : Méthode de construction d'une route

Cette information est utilisée pour construire le chemin inverse, qui sera traversé par le paquet réponse de route de manière unicast. Puisque le paquet RREP va être envoyé à la source, les nœuds appartenant au chemin de retour vont modifier leurs tables de routage suivant le chemin contenu dans le paquet de réponse (temps d'expiration, numéro de séquence et prochain saut).

Afin de limiter le coût dans le réseau, AODV propose d'étendre la recherche progressivement. Initialement, la requête est diffusée à un nombre de sauts limité. Si la source ne reçoit aucune réponse après un délai d'attente déterminé, elle retransmet un autre message de recherche en augmentant le nombre maximum de sauts. En cas de non réponse, cette procédure est répétée un nombre maximum de fois avant de déclarer que cette destination est injoignable. A chaque nouvelle diffusion, le champ Broadcast ID du paquet RREQ est incrémenté pour identifier une requête de route particulière associée à une adresse source.

Si la requête RREQ est rediffusée à un certain nombre de fois (RREQ_RETRIES) sans la réception de réponse, un message d'erreur est délivré à l'application. La destination renvoie un message RREP, ce message peut donc être acheminé vers la source. Chaque nœud traversé incrémentera le nombre de sauts. Et ajoutera une entrée à sa table pour la destination. Une réponse adéquate peut aussi être donnée par un nœud situé entre la source et la destination. Dans ce cas l'obtention de routes bidirectionnelles est néanmoins possible grâce au drapeau "Gratuitous RREP". Le nœud intermédiaire enverra alors en plus un RREP vers la destination. Les nœuds entre le nœud intermédiaire et la destination ajouteront donc à leur table une entrée vers la source du RREQ. Cette disposition permettra à la destination d'envoyer directement des paquets à la source sans devoir procéder à la recherche d'une route.

c) Maintenance des routes

Afin de maintenir des routes consistantes, une transmission périodique du message "HELLO « est effectuée. Si trois messages " HELLO " ne sont pas reçus consécutivement à partir d'un nœud voisin, le lien en question est considéré défaillant. Les défaillances des liens sont, généralement, dues à la mobilité du réseau ad hoc. Les mouvements des nœuds qui ne participent pas dans le chemin actif, n'affectent pas la consistance des données de routage. Quand un lien, reliant un nœud p avec le nœud qui le suit dans le chemin de routage, devient défaillant, le nœud p diffuse un paquet UNSOLICITED RREP, avec une valeur de numéro de séquence égale à l'ancienne valeur du paquet RREP incrémentée d'une, et une valeur infinie de la distance. Le paquet UNSOLICITED RREP est diffusé aux voisins actifs, jusqu'à ce qu'il arrive à la source. Une fois le paquet est reçu, la source peut initier le processus de la découverte de routes.

AODV maintient les adresses des voisins à travers lesquels les paquets destinés à un certain nœud arrivent. Un voisin est considéré actif, pour une destination donnée, s'il dé livre au moins un paquet de données sans dépasser une certaine période (appelée active timeout période). Une entrée de la table du routage est active, si elle est utilisée par un voisin actif. Le chemin reliant la source et la destination en passant par les entrées actives des tables de routage, est dit un chemin actif. Dans le cas de défaillances de liens, toutes les entrées des tables de routage participantes dans le chemin actif et qui sont concernées par la défaillance sont supprimées. Cela est accompli par la diffusion d'un message d'erreur entre les nœuds actifs.

La maintenance peut être résumée dans les trois points suivants :

- ✓ Des messages HELLO périodiques pour détecter les coupures de liens.
- ✓ Si la source se déplace, la procédure de détermination de route peut être ré initié.
- ✓ Si un nœud intermédiaire ou la destination se déplacent, un RREP spécial est émis au nœud source (reconstruisant la route au passage).

d) Gestion de la connectivité locale

Lorsqu'un nœud reçoit un paquet en Broadcast, il met à jour ses informations de connectivité locale pour s'assurer qu'elles incluent ce voisin. Si aucun paquet n'est émis aux voisins actifs pendant le dernier hello_interval, un nœud va envoyer un hello (RREP non sollicité) contenant :

- ✓ son identité.
- ✓ son numéro de séquence (non modifié pour les hello).
- ✓ time to live de 1 pour ne pas être retransmis.
- ✓ liste des nœuds pour lesquels il a reçu un hello.

III.2.4. Avantages et inconvénients d'AODV

Des études comparatives montrent que le protocole AODV semble convenir à des réseaux à forte mobilité et semble performant dans les réseaux de faible densité [16].

Parmi les inconvénients du protocole de routage AODV, est le fait qu'il n'assure pas l'utilisation du meilleur chemin existant entre la source et la destination. Cependant, des évaluations de performances récentes ont montré qu'il n'y a pas de grandes différences (en terme d'optimisation) entre les chemins utilisés par le protocole AODV et ceux utilisés par les protocoles basés sur les algorithmes de recherche des plus courts chemins.

L'avantage de ce protocole est qu'il ne présente pas de boucle de routage et évite le problème du "comptage à l'infini" de Bellman Ford. Il est aussi possible d'introduire la qualité de service dans AODV par l'ajout d'un champ dans les paquets de contrôle RREQ, RREP. Ce champ peut être associé au paramètre délai ou au paramètre bande passante. À la réception d'un message RREQ, chaque mobile vérifie qu'il est en mesure d'honorer le service demandé, avant de retransmettre le message

III.3. AODV optimisé pour RCSF

Dans le protocole de routage AODV conventionnelles, les routes sont établies et maintenues sur la demande du nœud source en diffusant un RREQ afin de découvrir toutes les routes possibles vers une destination donnée, ce mécanisme est très pratique pour le réseau ad hoc mobile composé de dispositifs sans fil ayant plus de ressources comparées à des réseaux de capteurs, aussi le modèle de trafic dans un réseau MANET est très souvent d'un nœud vers un autre nœud, contrairement dans les réseaux de capteurs dont le modèle de trafic est de type plusieurs nœud vers un nœud.

Les spécifications de l'AODV conventionnel doit être redéfinies et optimisées pour les réseaux de capteurs, en tenant compte des caractéristiques suivantes :

- Le modèle de trafic des réseaux de capteurs qui est de type plusieurs vers un.
- Les contraintes des capteurs telles que la mémoire et la puissance de calcul.
- Les contraintes de bande passante.

- Le nombre de nœuds du réseau

I.3.1. Découverte des routes

En prenant en considération le modèle de trafic dans les réseaux de captures de type plusieurs à un, la diffusion fréquente sur le réseau des requêtes RREQ pour établir un chemin avec la station de base engendre une surcharge de ce réseau et une dégradation de ses performances particulièrement pour un réseau à grande échelle composé de centaines de milliers de capteurs.

Pour surmonter cette lacune, une solution a été proposée permettant d'affecter la tâche de découverte de l'itinéraire par la station de base, qui lance périodiquement une requête RREQ sur le réseau destinée à informer chaque capteur sur le réseau de son emplacement. La requête RREQ est reçue et rediffusée par chaque capteur sur le réseau, pendant cette période chaque capteur met à jour sa table de routage et ajoute de nouvelles routes à sa table de routage. Toutes les entrées dans les tables de routage conduisent à la station de base qui est très approprié pour les réseaux de capteurs, puisque seul le chemin vers la station de base est enregistré dans les tables de routage.

Lors de la réception d'une requête RREQ, un capteur vérifie s'il a déjà traité cette requête RREQ en utilisant le numéro de séquence tel que le AODV conventionnel, si le RREQ est reçu pour la première fois, les capteurs récupèrent de cette RREQ le prochain saut pour atteindre la station de base, ils incrémentent le numéro des sauts dans le RREQ et le rediffusent. Si le RREQ est déjà traité, elle sera ignorée.

Après la diffusion de la RREQ, le capteur attend un délai prédéfini pour éviter le blocage du réseau et renvoie un RREP. [4]

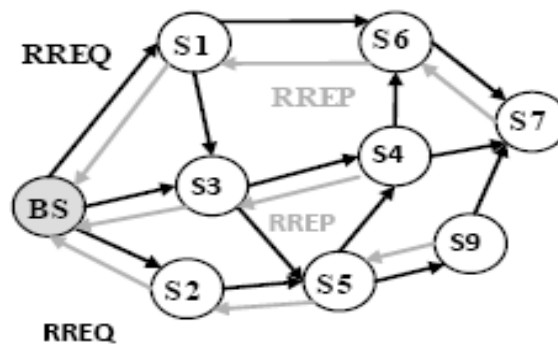


Figure III.2 : découvert de route.

I.3.2. Table de routage

Bien que dans RCSF, le modèle de trafic est sous la forme de plusieurs à un, dans lequel un ensemble de capteurs envoie périodiquement des mesures environnementales à la station de base, chaque capteur sur le réseau a besoin d'une route vers la station de base, ce qui signifie que la table de routage ne contiendra qu'une ou deux entrées ayant comme destination finale l'identifiant de la station de base. Par conséquent, le protocole OADV optimisé conserve la même structure de la table de routage définie dans le protocole AODV conventionnel, cependant seules les entrées de la station de base sont conservées dans la table de routage, ce qui minimise considérablement la taille de l'espace mémoire occupé par la table de routage. Cet aspect est souhaité dans les RCSF, puisque la mémoire des capteurs n'est pas suffisante pour enregistrer de grosses tables de routage. [4]

I.3.3. Messages HELLO

En raison des contraintes de la bande passante ainsi que le nombre croissant des nœuds dans les RCSF, la diffusion du Messages HELLO engendre le sur-chargement du réseau et l'épuisement de la puissance des batteries des capteurs donc. Dans le protocole OAODV, les messages HELLO ne sont pas utilisés, la connectivité Entre les capteurs est garantie en utilisant la requête RREQ envoyée périodiquement par la station de base et qui garantit la mise à jour des tables de routage. [4]

I.3.4. Maintenance des routes

La maintenance des routes est traitée de la même manière que le protocole AODV conventionnel, le nœud qui détecte la défaillance de la route envoie un message RERR à la source qui attend la rediffusion du prochain RREQ par la station de base afin d'obtenir une nouvelle route. Un capteur attend un nouveau RREQ à partir de la station de base plutôt que de lancer son propre RREQ. La période de diffusion de la requête RREQ est fixée par l'administrateur du réseau en fonction de la stabilité des nœuds et l'environnement de déploiement.

III.4. Etude et comparaison entre AODV et AODV optimisé

III.4.1. Paramètres de simulation

Afin de mieux étudier les deux algorithmes de routage et de comparais les performances de chacun, nous avons choisi les paramètres suivants :

Nous avons choisis un nombre de capteur varié $N \times N$ déployés sous une architecture, de telles sortes que chaque nœud ne peut recevoir le signal radio que depuis ses voisins.

Nous avons supposé l'envoi de l'information (ex : température) est périodique et la durée est la même pour les deux algorithmes (AODV et AODV optimisé).

Nous avons supposé que la période d'envoi des messages Hello utilisés pour l'algorithme AODV est la même utilisé pour l'envoi des requêtes RREQ pour l'algorithme AODV optimisé.

III.4.2. Etude de consommation d'énergie

L'énergie est considérée comme la principale et fondamentale contrainte dans les réseaux de capteurs sans fil. Elle est utilisée pour la concrétisation des différentes opérations dans les RCSF comme la découverte des routes, la maintenance et le chiffrement. La problématique relative à la Consommation énergétique doit être prise en compte dans toute conception du réseau de capteur sans fil.

I. Recherche de la route

a) Algorithme AODV

Lorsqu'un nœud de réseau souhaite envoyer des données, il consulte sa table de routage, si la route vers la station de base n'est pas trouvée, il procède à la recherche de la route par l'envoi d'une RREQ. Cette requête est retransmit par chaque nœud de réseau, on trouve donc :

- ✓ Le nombre de fois de transmission de RREQ, $N_{\text{Send-RREQ}} = N$, tel que N est le nombre des nœuds.
- ✓ Le nombre de fois de réception de RREQ, $N_{\text{recv-RREQ}} = N-1$, On supposant que les nœuds reçoivent seulement la première RREQ (tous les nœuds de réseau reçoivent les requêtes RREQ, sauf le nœud générateur de cette requête).

De ce qui précède, on remplit le tableau suivant en fonction du nombre des nœuds :

Nœuds	RREQ-send	RREQ-receive	RREP-reçus
9	9	8	18
16	16	15	40
25	25	24	76
36	36	35	126
49	49	48	197
64	64	63	288
81	81	80	405
100	100	99	550

Tableau III.4 : nombre de RREQ et RREP émis et reçus pour la recherche d'une seule route (AODV).

Pour la recherche de tous les routes vers la station de base, on multiplier le nombre de RREQ émis par le nombre des nœuds (sauf la station de base). $NT_{\text{Send-RREQ}} = N*(N-1)$ Et l'énergie totale $ET_{\text{Send-RREQ}} = NT_{\text{Send-RREQ}} * E (I_{\text{Send-RREQ}})$. Tel que $E (I_{\text{Send-RREQ}}) = 414.4$ est l'énergie consommé par un nœud lors d'émission de RREQ;

Le nombre de fois de réception de RREQ effectuée pour la recherche de tous les routes vers la station de base est $NT_{\text{recv-RREQ}} = (N-1)*(N-1)$. ET l'énergie totale $ET_{\text{recv-RREQ}} = NT_{\text{recv-RREQ}} * E (I_{\text{recvRREQ}})$. Tel que $E (I_{\text{recvRREQ}}) = 200.2$ est l'énergie consommé par un nœud lors de la réception de RREQ ;

Le nombre de fois de réception de RREP effectuée pour la recherche de tous les routes est $NT_{\text{RREP_recv}} = N_{\text{RREP_recv}} * (N-1)$. ET l'énergie totale $ET_{\text{RREP_recv}} = NT_{\text{RREP_recv}} * E (I_{\text{RREP_recv}})$. Tel que $E (I_{\text{RREP_recv}}) = 200.2$ est l'énergie consommé par un nœud lors de la réception de RREQ.

N° Nœud	ET RREQ_send	ET RREQ_recv	ET RREP_recv	E Total
9	29 836,80	12 812,80	28 828,80	71 478,40
16	99 456,00	45 045,00	120 120,00	264 621,00
25	248 640,00	115 315,20	365 164,80	729 120,00
36	522 144,00	245 245,00	882 882,00	1 650 271,00
49	974 668,80	461 260,80	1 893 091,20	3 329 020,80
64	1 670 860,80	794 593,80	3 632 428,80	6 097 883,40
81	2 685 312,00	1 281 280,00	6 486 480,00	10 453 072,00
100	4 102 560,00	1 962 160,20	10 900 890,00	16 965 610,20

Tableau III.5 : énergie consommée émis et reçus pour la recherche de toutes les routes (AODV).

b) Algorithme AODV Optimisé

Pour cette algorithme, la recherche de la route est basée sur l'envoi périodique de la requête RREQ de la station de base vers les nœuds de réseau, on conclut que :

Le nombre de fois de transmission de RREQ est $N_{\text{Send-RREQ}} = N$, tel que N est le nombre des nœuds.

- ✓ Le nombre de fois de réception de RREQ, $N_{\text{recv-RREQ}} = N-1$. (tous les nœuds de réseau reçoivent les requêtes RREQ, sauf le nœud générateur de cette requête).
- ✓ Le nombre de fois de réception de RREQ, $N_{\text{recv-RREQ}} = N-1$, On supposant que les nœuds ignorent les RREQ retransmis par les nœuds et reçoivent seulement celle de la station de base.
- ✓ Le nombre de RREP est nul.

Nœuds	RREQ_send	RREQ_recv	RREP_reçus
9	9	8	0
16	16	15	0
25	25	24	0
36	36	35	0
49	49	48	0
64	64	63	0
81	81	80	0
100	100	99	0

Tableau III.6 : nombre de RREQ et RREP émis et reçus pour la recherche d'une seule route (AODV).

Sachant que la recherche de tous les route est effectuée seulement par l'envoi d'une seule RREQ de la station de base, l'énergie total est calculée par la multiplication des nombre des requetés cités dans le tableau précédent par l'énergie nécessaire pour une seule requête, comme le montre le tableau suivant :

N° Nœud	ET RREQ_send	ET RREQ_recv	ET RREP_recv	E Total
9	3 729,60	1 601,60	0	5 331,20
16	6 630,40	3 003,00	0	9 633,40
25	10 360,00	4 804,80	0	15 164,80
36	14 918,40	7 007,00	0	21 925,40
49	20 305,60	9 609,60	0	29 915,20
64	26 521,60	12 612,60	0	39 134,20
81	33 566,40	16 016,00	0	49 582,40
100	41 440,00	19 819,80	0	61 259,80

Tableau III.7 : énergie consommée émis et reçus pour la recherche de toutes les routes (OAODV).

Par l'exploitation des résultats obtenus précédemment, on trace la variation de la consommation d'énergie pour l'algorithme AODV et OAODV en fonction du nombre des nœuds.

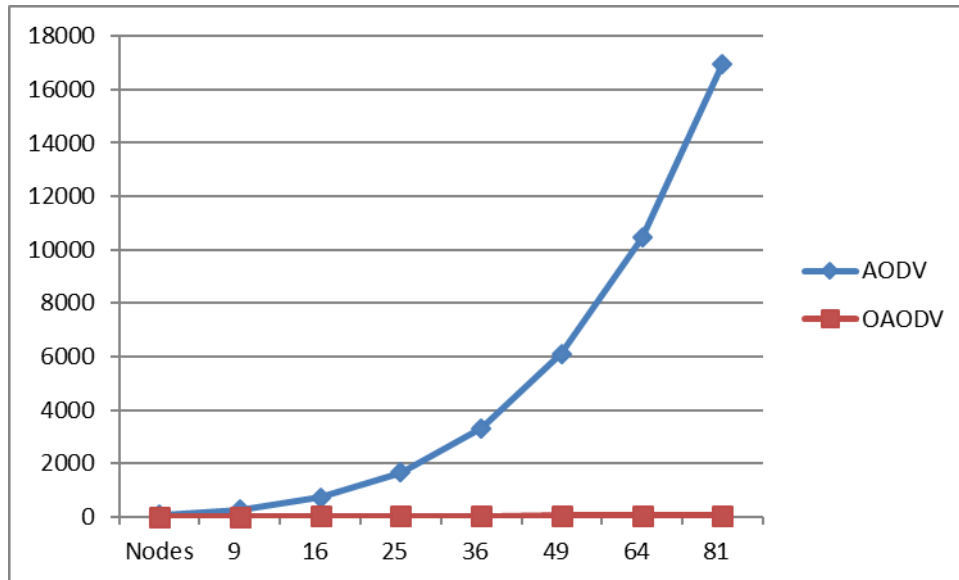


Figure III.3 : Variation de la consommation d'énergie pour la recherche de la route l'algorithme AODV et OAODV en fonction du nombre des nœuds.

c) Comparaison sur l'énergie consommée pour la recherche de la route

On exploitant les deux graphes ci-dessus, on peut conclure que :

- ✓ L'augmentation de l'énergie consommée est proportionnelle à l'augmentation du nombre de nœuds, mis la variation pour le protocole AODV est très considérable.
- ✓ L'énergie consommée pour le protocole AODV est plus importante par rapport au protocole AODV optimisé. ceci est dû principalement au nombre important des RREQ nécessaires pour l'établissement des routes dans le protocole AODV ainsi que l'utilisation de requêtes RREP, contrairement au protocole AODV optimisé.

II. La maintenance

a) Algorithme AODV

Dans cet algorithme, tous les nœuds envoient périodiquement des messages Hello, vers leurs voisins, on trouve donc :

- Nombre total des messages Hello envoyé $N_{\text{send_Hello}} = N$.
- Nombre total des messages Hello reçu $N_{\text{recv_Hello}} = N*8$ (chaque nœuds reçoit les messages Hello envoyés de ses 8 voisins).
- L'énergie consommée pour la maintenance $E_{\text{Hello}} = E_{\text{send_Hello}} + E_{\text{recv_Hello}}$,
 $E_{\text{Hello}} = N*236.8 + N*8*114.4$;

Nœuds	Hello_send	Hello_recv	Energie
9	9	72	10 368,00
16	16	128	18 432,00
25	25	200	28 800,00
36	36	288	41 472,00
49	49	392	56 448,00
64	64	512	73 728,00
81	81	648	93 312,00
100	100	800	115 200,00

Tableau III.8 : énergie consommée émis et reçus pour la maintenance (AODV).

b) AODV optimisé

Dans l'algorithme AODV optimisé, la maintenance est effectuée à chaque envoi de la RREQ par la station de base, le calcul est similaire à celui effectué dans la session relative au calcul de la consommation d'énergie pour la recherche de la route. On obtient donc :

N° Nœud	ET RREQ_send	ET RREQ_recv	ET RREP_recv	E Total
9	3 729,60	1 601,60	0	5 331,20
16	6 630,40	3 003,00	0	9 633,40
25	10 360,00	4 804,80	0	15 164,80
36	14 918,40	7 007,00	0	21 925,40
49	20 305,60	9 609,60	0	29 915,20
64	26 521,60	12 612,60	0	39 134,20
81	33 566,40	16 016,00	0	49 582,40
100	41 440,00	19 819,80	0	61 259,80

Tableau III. 9 : énergie consommée émis et reçus pour la maintenance (OAODV).

Par l'exploitation des résultats obtenus précédemment, on trace la variation de la consommation d'énergie pour la maintenance dans l'algorithme AODV et OAODV en fonction du nombre des nœuds.

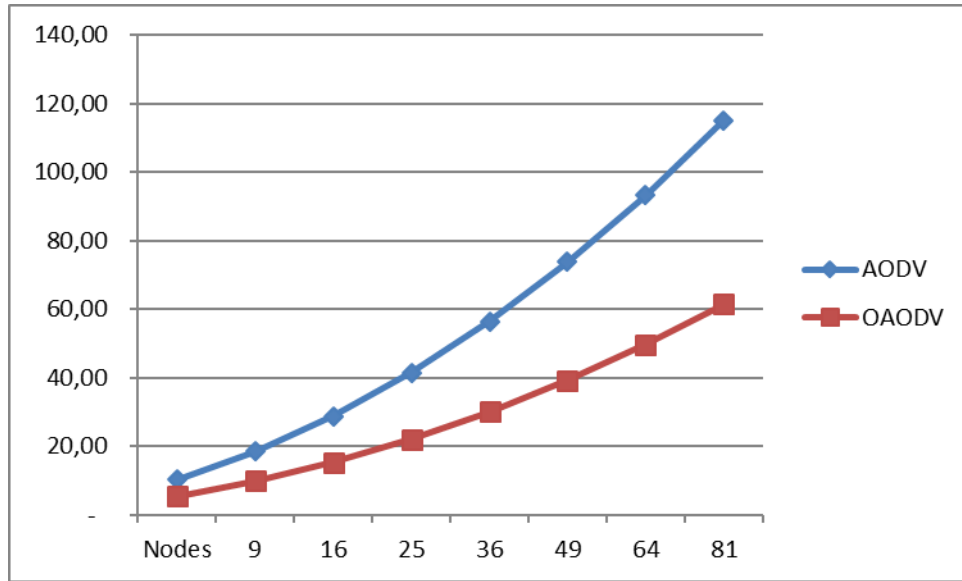


Figure III.4 : Variation de la consommation d'énergie pour la maintenance dans l'algorithme AODV et OAODV en fonction du nombre des nœuds.

d) Comparaison sur l'énergie consommée pour la maintenance

On exploitant les deux graphes ci-dessus, on peut conclure que :

- ✓ L'augmentation de l'énergie consommée pour la maintenance des routes est proportionnelle à l'augmentation du nombre de nœuds, mis la variation pour le protocole AODV est très considérable.
- ✓ L'énergie consommée pour la maintenance est plus importante dans protocole AODV par rapport au protocole AODV optimisé.

III.4.3. Évolutivité

Sachant que la taille des réseaux RCSF est importante est variable en même temps (peut aller jusqu'à milliers de capteurs), et en exploitants la caractéristiques de l'algorithme AODV optimisé qui consiste à l'enregistrement des routes qui mènent seulement vers la station de base, on déduit que AODVO permet une meilleur évolutivité (scalabilité), puisque il permet de construire des tables de routage au niveau des nœuds caractérisées par une petite taille et une faible variation.

III.4.4. Tolérance aux pannes

Ce critère traite l'aspect de la maintenance des routes et le changement de la topologie. Sachant que l'AODV utilise les messages Hello pour la maintenance, le protocole AODV optimisé utilise les requêtes RREQ envoyés périodiquement pour maintenir les routes déjà

enregistrés dans les tables de routages des différents nœuds, on informant aussi ces nœuds, sur les changements apportés sur la topologie.

III.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le fonctionnement du protocole AODV, ses avantages et ses inconvénients, nous avons ensuite exposé le protocole AODV optimisé proposé, tout en montrant son fonctionnement et ses caractéristiques. En fin nous avons procédé à une comparaison entre les deux protocoles pour différents critères, principalement la consommation d'énergie pour la découverte des routes et la maintenance.

Conclusion générale

Les réseaux de capteurs sont composés d'un très grand nombre de dispositifs de communication ultra petits, autonomes avec des ressources de calcul et d'énergie limitées. Ils sont actuellement considérés comme l'une des technologies qui bouleverse notre façon de vivre, grâce à leur utilisation dans différents domaines d'application.

Cependant, les réseaux de capteurs sans fil rencontrent plusieurs problèmes qui affectent leur bon fonctionnement dû à leurs caractéristiques ; tels que les limitations de batterie, le type de communication, les environnements hostiles où sont déployés les capteurs ou encore leur faible coût.

Dans ce mémoire nous avons proposé un protocole de routage adapté à ce genre de réseaux afin d'acheminer les données récoltées vers la station de base. Le facteur le plus important qui a été pris en considération c'est la consommation des ressources, où ces dernières sont considérées comme une ressource critique. Alors l'algorithme proposé assure aussi une garantie de grande vie de réseau. L'algorithme proposé a été mise en place en apportant des modifications et des améliorations sur le protocole AODV.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté les capteurs, leurs composants et leurs classifications, Nous avons discuté également des réseaux de capteurs sans fi, leurs architectures de communication, leurs caractéristiques et leurs domaines d'applications.

Par la suite, nous avons introduire la classification des protocoles de routage utilisés pour les réseaux Ad hoc, leur fonctionnement, en décrivant aussi les contraintes de routage dans les réseaux de capteur.

Dans le troisième chapitre, nous avons présenté le protocole AODV et AODV optimisé, qui prend en considération le modèle de trafic de RCSF, la nature du milieu et les contraintes de bande passante ... etc.

Les résultats obtenus par la comparaison entre ces deux protocoles, montrent l'efficacité du protocole AODV optimisé proposé pour les RCSF, qui peut assurer une garantie de grande vie de réseau et une exploitable raisonnable des ressources des capteurs, et il permet d'avoir une consommation d'énergie plus faible.

Enfin, comme perspectives nous envisageons d'implémenter le protocole de routage AODV optimisé sur des capteurs réels, et développé une solution de sécurité adaptés aux RCSF.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Yaser Yousef, Routage pour la gestion de l'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil, Thèse de Doctorat Spécialité informatique, université de haute alsace, 2010.
- [2] MOHAMMED BELBACHIR , Stratégie de tolérance aux pannes pour un routage efficace dans les réseaux de capteurs ,Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique ,Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen,2014.
- [3] Mr SAHRAOUI belkheyr, Etude d'un protocole de routage basé sur les colonies de Fourmis dans les réseaux de capteurs sans fil, Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique ,Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen,2012-2013.
- [4] BENAMAR KADRI, MOHAMMED FEHAM, ABDELLAH MHAMMED Secured and Optimized AODV for Wireless Sensor Networks, International Journal of Information Technology and Computer Science(IJITCS), Mai 2013.
- [5] ABDESSELAM Abdelhalim, BELOUATEK Mohammed Conception d'un algorithme de routage basé sur l'heuristique du recuit simulé pour les réseaux de capteurs à grande échelle , Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique ,Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen,2012-2013.
- [6] BENINE Safa, 'le routage multi-chemin dans les réseaux de capteurs sans fil'. Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique , Université Echahide Hamma Lakhdar El-oued,2014-2015.
- [7] HADJ ADDA Asmaa, BENALLAL Wafaa, 'Mise en place d'un schéma de routage pour la tolérance aux pannes dans les RCSF'. Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique ,Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen,2014-2015.
- [8] RAMDANI MOHAMED, ' Problèmes De Sécurité Dans Les Réseaux De Capteurs Avec Prise En Charge De L'énergie'. Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de Magister en Informatique, Université de SAAD DAHLAB DE BLIDA ,2012-2013.
- [9] Mr SAHRAOUI belkheyr, Etude d'un protocole de routage basé sur les colonies de Fourmis dans les réseaux de capteurs sans fil, Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique ,Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen,2012-2013

- [10] E.M Royer and C-K Toh. "A review of current routing protocols for ad-hoc mobile wireless networks". IEEE Personal Communications, Apr. 1999.
- [11] C. E. Perkins, E. E. Royer, S. R. Das, and M. K. Marina, "Performance comparison of two on-demand routing protocols for ad hoc networks," In IEEE Personal Communications, Feb 2001, vol. 8, pp. 16–28.
- [12] Z.Haas et M. Pearlman, "The performance of query control schemes for the Zone Routing Protocol", IEEE selected area in communication , Août 1998.
- [13] Khaled BOUCHAKOUR, Routage hiérarchique sur les réseaux de capteurs sans fil: Protocole khlch (K-hop Layered Clustering Hierarchy), Memoirre Présenté pour l'obtention d'un diplôme de magister en informatique, Ecole Nationale Supérieure de l'Informatique (ESI),2012.
- [14] YUCEF ZIANI, Etude comparative de méthodes de routage dans les Réseaux de capteurs sans fil pour le domaine Résidentiel, mémoire présenté à l'université du Québec à trois-rivières, juin 2013.
- [15] K.Beydoun . « Conception d'un protocole de routage hiérarchique pour les réseaux de capteurs »Thèse de doctorat, Spécialité :Informatique, l'u.f.r des sciences et techniques de l'université de Franche-Comté,2009.
- [16] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarsubramaniam, E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks", IEEE Communications Magazine, pp. 102-114, August 2002.
- [17] S. K. Singh, M. P. Singh, D. K. Singh, "Applications, Classifications, and Selections of Energy-Efficient Routing Protocols for Wireless Sensor Networks", International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies, Vol. 1, No. 2, pp. 85-95,2010.
- [18] M. SAXENA, "Security in Wireless Sensor Networks: A Layer based Classification", Purdue University. 2007.
- [19] D. Djenouri, L. Khelladi, A. N. Badache, "A Survey of Security Issues in Mobile Ad Hoc and Sensor Networks, Communications Surveys & Tutorials". IEEE 7, No. 4, pp. 2–28. 2005.
- [20] RAMDANI MOHAMED, Problèmes de sécurité dans les Réseaux de capteurs avec prise en charge de l'énergie, mémoire de magister, université de saad dahlab de Blida, Novembre 2013.

Résumé

Les réseaux de capteurs sans fil permettent de répondre aux besoins de nombreuses applications de surveillance, en raison de leur faible coût, de leur capacité à communiquer sans fil et de leur facilité de déploiement. Les RCSF sont en plein développement, et deviennent de plus en plus répandus. Actuellement, ils constituent un thème de recherche très dynamique. Néanmoins le routage reste une des plus grandes problématiques de ce type de réseau à cause de leurs caractéristiques tel que le changement de topologie et le manque de ressources.

Dans ce mémoire on va étudier le routage dans les RCSF en se concentrant sur le protocole AODV reconnu d'être très efficace et pratique pour les réseaux mobiles. Notre contribution est de modifier ce protocole pour qu'il prend en considération le paradigme de communication qu'est généralement de type plusieurs à un « many-to-one » ou un ensemble de capteurs envoient périodiquement des mesures vers la station de base. Et cela en affectant la tâche de découverte de route à la station de base au lieu de laisser chaque capteur le faire indépendamment. Les résultats obtenus par la comparaison entre ces deux protocoles, montrent l'efficacité du protocole AODV optimisé proposé pour les RCSF, qui peut assurer une exploitation raisonnable des ressources des capteurs, et il permet d'avoir une consommation d'énergie plus faible.

Mots-clés : réseaux de capteurs sans fil, RCSF, protocole AODV, optimisation AODV

Abstract

Wireless sensor networks can meet the needs of many monitoring applications due to their low cost, wireless communication capability and ease of deployment. The RCSFs are in full development, and are becoming more and more widespread. Currently, they are a very dynamic research theme. Nevertheless, routing remains one of the biggest problems of this type of network because of their characteristic such as the change of topology and the lack of resources.

In this paper we will study the routing in the RCSF by focusing on the recognized AODV protocol to be very efficient and practical for mobile networks. Our contribution is to modify this protocol so that it takes into consideration the communication paradigm that is generally of the several type has a "many-to-one" or a set of sensors send periodically measurements to the base station. And that by affecting the route discovery spot at the base station instead of letting each sensor do it independently. The results obtained by comparing these two protocols show the effectiveness of the optimized AODV protocol proposed for the RCSF, which can ensure a reasonable exploitation of the sensor resources and allows a lower energy consumption.

Keywords: wireless sensor networks, RCSF, AODV protocol, AODV optimization.