

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira de Béjaia



Faculté des Sciences Exactes
Département d'Informatique

MÉMOIRE DE FIN DE CYCLE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Professionnel en Informatique

Option : Administration et Sécurité des Réseaux

Thème

Routage avec conservation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil

Réalisé par :

M^{elle} ANKI Drifa

M^{elle} LEBIB Lynda

Soutenue devant le jury composé de :

Président :	M ^r AMAD Mourad	Université de Béjaia.
Examineur :	M ^r BAADACHE Abderrahmane	Université de Béjaia.
Promoteur :	M ^r ALOUI Abdelouhab	Université de Béjaia.

Année Universitaire : 2015/2016

Remerciements

Il nous est particulièrement agréable d'exprimer ici notre reconnaissance envers tous ceux qui ont rendu possible ce travail.

Tout d'abord, nous remercions Dieu le tout-puissant qui nous a donné le courage, la force et la volonté tout au long de notre parcours.

Un grand merci pour nos familles, surtout nos parents qui nous ont épaulés, soutenus et suivis tout au long de ce projet.

A nos chères amis(e)s qui ont toujours été présents et fidèles.

A notre encadreur **Mr. ALOUI Abdelouahab** pour tout le temps qu'il nous a consacré, pour ces précieux conseils et pour tout son aide et son appui durant la réalisation.

Nos remerciements également **Mr. BAADACHE Abderrahmane** de nos avoir aidé pour réaliser notre travaille.

Enfin, nous tenons aussi à remercier également tous les membres de jury pour avoir accepté d'évaluer notre travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A la mémoire de mon père, que dieu l'accueille en son vaste paradis, père même si vous n'êtes plus là votre existence est éternelle dans mon coeur, je ne vous oublierai jamais,

A mes frères Arezki et Mouhand,

A mes soeurs Nassima, Meriem, Zahra et Kahina,

A mes chers ami(e)s ainsi que ma chère binôme Lynda .

ANKI Drifa

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A mes chers parents que j'aime et qui sont la source de la lumière
qui m'éclaire depuis ma naissance,

A mes frères Kassa et Samir,

A mes soeurs Mlika et Souhila,

A mes chers ami(e)s ainsi que ma chère binôme Drifa .

LEBIB Lynda

Table des matières

Table des Matières	iii
Liste des figures	v
Liste des tableaux	vi
Liste des abréviations	vii
Introduction Générale	1
1 Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil	3
1.1 Introduction	3
1.2 Les réseaux de capteurs sans fil	4
1.2.1 Définition d'un capteur	4
1.2.2 Architecture physique d'un capteur sans fil	5
1.2.3 Définition de RCSF	6
1.2.4 Domaines d'application	7
1.2.5 Caractéristiques des RCSFs	10
1.2.6 Contraintes de conception des RCSFs	11
1.2.7 Architecture des réseaux de capteurs	13
1.3 Conclusion	15
2 Routage dans les réseaux de capteur sans fil	16
2.1 Introduction	16
2.2 Définition de routage	16
2.3 Défis de routage dans les réseaux de capteurs sans fil	17
2.4 Métriques de routage	19

2.4.1	Métriques pour la consommation énergétique	19
2.4.2	Nombre de sauts	20
2.4.3	Perte de paquets	20
2.4.4	Délai de bout-en-bout EED	21
2.5	Classes principales des protocoles de routage	21
2.6	Conclusion	27
3	Etude comparative entre les protocoles de routage dans les réseaux de capteur sans fil	28
3.1	Introduction	28
3.2	Les protocoles de routage selon la structure de réseau	29
3.2.1	Le routage plat	29
3.2.2	Le routage hiérarchique	33
3.2.3	Le routage basé sur la localisation	36
3.3	Le tableau donne un petit aperçu sur la classification de quelques protocoles de routage dans les RCSFs	37
3.4	Conclusion	38
4	Simulation et analyse des performances	39
4.1	Introduction	39
4.2	Modèle du réseau	39
4.3	Hypothèses	40
4.4	Solution proposée	40
4.5	La durée de vie du réseau	41
4.6	Demi-vie du réseau	41
4.7	Simulation	42
4.7.1	Paramètre de simulation	42
4.7.2	Métriques de simulation	43
4.8	Résultats de simulation	43
4.8.1	L'énergie résiduelle	44
4.9	Conclusion	46
	Conclusion Générale	47
	Bibliographie	49

Table des figures

1.1	Capteur sans fil.	4
1.2	Architecture d'un RCSFs.	5
1.3	Exemple de représentation d'un réseau de capteurs.	7
1.4	Réseau de capteurs militaire.	8
1.5	Domaine de la sécurité.	8
1.6	Domaine environnementale.	9
1.7	Ensemble de capteurs dans un corps humain.	10
1.8	Pile protocolaire dans les réseaux de capteurs.	14
2.1	Exemple de routage dans un réseau.	17
2.2	Protocole de routage : classification basée sur la méthode d'établissement de routes.	26
3.1	Protocole de routage dans les réseaux de capteur.	29
3.2	le problème d'implosion (A).	30
3.3	Le problème de chevauchement (B).	30
3.4	Protocole SPIN.	31
3.5	Routage hiérarchique basé sur clustering.	33
3.6	Protocole GAF : les états des nœuds dans GAF.	37
4.1	Schéma générale de notre solution.	41
4.2	Déploiement des nœuds dans le réseau.	44
4.3	L'énergie résiduelle.	45
4.4	L'énergie résiduelle.	45

Liste des tableaux

2.1	Classes des protocoles de routage.	21
3.1	Classification et Comparaison des protocoles de routages dans les réseaux de capteurs.	38
4.1	Les paramètres de la simulation.	43

Liste des abréviations

APTEEN	A daptive T hreshold sensitive E nergy E fficient sensor N etwork protocol
CH	C luster H ead
DD	D irected D iffusion
EAR	E avesdrop A nd R egister
ED	E nergie D isponible
EED	E nd-to- E nd D elay
EEPSC	E nergy - E fficient P rotocol with S tatic C lustering
EN	E nergie N écessaire
GAF	G éographic A daptive F idélity
GEAR	G ographic and E nergy A ware R outing
GPS	G lobal P ositioning S ystem
LEACH	L ow - E nergie A daptive C lustering H ierarchy
MAC	M edium A ccess C ontrol
QoS	Q uality o f S ervice
RCSF	R éseaux de C apteurs S ans F il
SAR	S équentiel A ssignement R outing
SB	S tation de B ase
SMACS	S elf-organizing M edium A ccess C ontrol for S ensor networks
SMP	S ensor to M anagement P rotocol
SPIN	S ensor P rotocole for I nformation via N egotiation
TADAP	T ask A ssignement and D ata A vertissement P rotocol
TCP	T ransmission C ontrol P rotocol
TEEN	T hreshold sensitive E nergy E fficient sensor N etwork protocol
UDP-Like	U ser D atagrammes P rotocol L ike
WSN	W ireless S ensor N etwork

Introduction Générale

Les progrès technologiques dans les domaines de la microélectronique, des communications sans fil, couplé aux efforts de miniaturisation et de réduction des coûts de production des composants électroniques, ont permis le développement de nouvelles générations de petits appareils électroniques, autonomes, équipés de capteurs et capables de détecter, de calculer, de stocker et communiquer entre eux sans fil.

Un réseau de capteurs sans fil est un ensemble de nœuds déployés dans le réseau pour mesurer des grandeurs physiques telles que la température, la pression, la vibration, etc. L'information captée est ensuite transmise vers les nœuds intermédiaires (nœuds d'acheminement) jusqu'à elle atteint la station de base. Un tel réseau est utilisé dans plusieurs applications militaires, environnementales, médicales. Selon l'application, les capteurs peuvent être déployés d'une manière déterministe ou aléatoire. Le déploiement déterministe consiste à placer les nœuds capteurs dans des endroits bien déterminés, par contre le déploiement aléatoire consiste à disperser les capteurs dans une zone de capture sans que la position soit prédéfinie.

Dans ce type de réseau, les capteurs sont alimentés par des sources d'énergie relativement faibles, généralement non rechargeables et ils sont déployés dans des zones difficilement accessibles. Ceci rend l'énergie une ressource critique à conserver le maximum possible pour prolonger la durée de vie du réseau de capteurs. A cet égard, plusieurs travaux de recherche se focalisant sur le problème de l'énergie ont été proposés dans la littérature. Ces travaux peuvent être des protocoles MAC. La majorité de ces protocoles essayent de minimiser la consommation d'énergie causée par l'écoute à un canal libre, la surcharge. Bien qu'il ne sont pas suffisamment efficaces, ce qui nous a motivé de travailler sur la problématique de l'énergie afin de proposer une solution qui minimise la consommation d'énergie et prolonge la durée de vie du réseau.

Nous avons proposé une solution qui est l'acheminement piloté par la station de base. L'idée est que les nœuds capteurs percevant une information, la transmettent aux nœuds intermédiaires du premier niveau. Ces derniers testent la condition exigée par la station de base, si elle est vérifiée, ils transmettent aux autres nœuds au niveau supérieur jusqu'à atteindre la station de base, si c'est le cas contraire l'information ne doit pas être transmise. Par simulation, nous avons évalué la performance de notre solution en termes de conservation de l'énergie et la durée de vie du réseau. Les résultats montrent que la solution proposée est efficace et prolonge la durée de vie du réseau le plus longtemps possible.

Notre mémoire est structuré en quatre chapitres. Dans le premier chapitre, nous avons introduit les réseaux de capteurs, en particulier, l'architecture d'un réseau de capteur, ses caractéristiques et les domaines d'application. Le deuxième chapitre présente le routage dans les réseaux de capteurs, en particulier, la classification des protocoles de routage. Le troisième chapitre constitue une étude comparative entre les protocoles de routage. Dans le quatrième chapitre, nous avons détaillé la solution proposée, analyser les résultats de la simulation. Enfin, le mémoire s'achève par une conclusion générale.

Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil

1.1 Introduction

Un réseau de capteurs sans fil (plus connus sous le nom de Wireless Sensor Network (WSN) en anglais) est composé d'un ensemble de terminaux ou ce qu'on appelle des nœuds capteurs qui peuvent communiquer via des liaisons radio, sans infrastructure fixe préalable. Le réseau devra fonctionner de façon autonome, sans intervention humaine.

Les nœuds sont généralement matériellement petits, construits à partir des composants pas chers. Ce type de réseau est composé de centaines ou de milliers d'éléments (capteurs), a pour but la collecte de données de l'environnement, leur traitement et leur transmission vers le monde extérieur.

Les capteurs sont utilisés dans plusieurs domaines d'application : la surveillance environnementale, les opérations militaires, la sécurité, la médecineLes réseaux de capteurs doivent remonter une information détectée au niveau d'un capteur vers un nœud de collecte (un puits).

En effet, la transmission d'information entre les capteurs ne peut être assurée directement entre tout couple de capteurs, vue leur batterie limitée (qui entraîne une limite des puissances de transmissions). De ce fait, le capteur a une durée de vie limitée. L'information est donc transmise de proche en proche.

1.2 Les réseaux de capteurs sans fil

Les réseaux de capteurs sont de plus en plus utilisés dans l'environnement et l'industrie grâce notamment aux derniers développements réalisés dans le domaine des technologies sans-fils (" Wireless "). Depuis quelques années, le besoin d'observer, d'analyser et de contrôler des phénomènes physiques sur des zones étendues est essentiel pour de nombreuses applications environnementales et scientifiques. Cette nouvelle manière d'envisager la métrologie, en détectant un phénomène à différents points disséminés sur un système ou un site, fait émerger de nouvelles problématiques technologiques, par exemple sur l'autonomie énergétique des capteurs, et de nouveaux types d'applications nous permettant de mieux connaître notre environnement et d'anticiper les problèmes de sécurité, de pollution, de risques naturels, de défaillances, de maintenances, ou plus généralement de tous phénomènes non désirés qui pourraient être anticipés.

Cette note de veille adresse un état des lieux des derniers travaux et avancées technologiques autour des réseaux de capteurs appliqués à la métrologie environnementale et les tendances futures en termes de technologies et d'applications.

1.2.1 Définition d'un capteur

Un capteur sans fil (cf. figure 1.1) 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]. Les capteurs sont placés de manière plus ou moins aléatoire (par exemple par lancement depuis un hélicoptère) dans des environnements pouvant être dangereux [2].



FIG. 1.1 – Capteur sans fil.

1.2.2 Architecture physique d'un capteur sans fil

L'architecture physique d'un capteur sans fil illustré dans la figure (cf. figure 1.2) comprend quatre éléments de base : une unité de capture, une unité de traitement, une unité d'émission/réception et une unité de contrôle d'énergie. Néanmoins, d'autres éléments optionnels peuvent être intégrés pour certaines applications spécifiques, à savoir : un système de localisation géographique, un régénérateur d'énergie et un mobilisateur. Chacun de ces éléments sera détaillé dans ce qui suit :

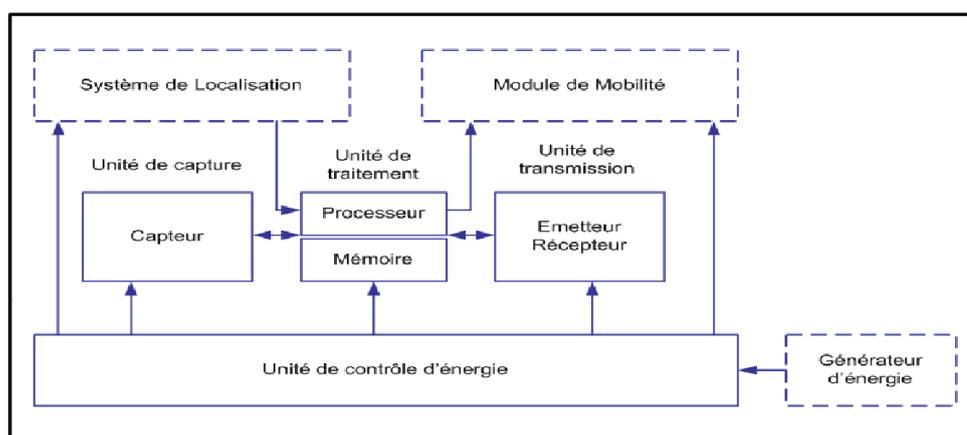


FIG. 1.2 – Architecture d'un RCSFs.

- **L'unité de capture** : Elle permet de capturer le phénomène observé et de le convertir en suite en signal numérique pour être envoyé à l'unité de traitement [3].
- **L'unité de traitement** : Cette unité est chargée de gérer les procédures de communication qui permettent de faire collaborer un nœud avec les autres nœuds du réseau pour effectuer les tâches assignées. Elle peut aussi analyser les données captées pour alléger la tâche [3].
- **L'unité de transmission** : Cette unité gère la connexion du nœud au réseau en effectuant toutes les émissions et les réceptions de données sur un médium [3].
- **L'unité de contrôle d'énergie** : Elle constitue l'un des systèmes les plus importants. Elle est responsable de répartir l'énergie disponible entre les différentes unités et de réduire les dépenses, par exemple en mettant en veille les composants inactifs [3].
- **Le système de localisation géographique** : Dans plusieurs applications, les tâches de détection et les techniques de routage ont besoin de connaître la localisation géographique d'un nœud. Ainsi, il est commun pour qu'un nœud soit équipé d'un système de localisation géographique. Ce système peut se composer d'un module de

GPS pour un nœud de haut niveau ou bien d'un module de software qui implémente des algorithmes de localisation qui fournissent les informations sur l'emplacement du nœud par des calculs distribués [4].

- **Le mobilisateur :** Un mobilisateur peut parfois être nécessaire pour déplacer un nœud pour accomplir ses tâches. Le support de mobilité exige des ressources énergétiques étendues qui devraient être fournies efficacement. Le mobilisateur peut, également, opérer dans l'interaction étroite avec l'unité de détection et le processeur pour contrôler les mouvements du nœud [4].

- **Le générateur de l'énergie :** Tandis que l'alimentation par batterie, est la plupart du temps, utilisée dans les nœuds, un générateur électrique supplémentaire peut être utilisé pour des applications où une plus longue vie de réseau est essentielle. Pour des applications extérieures, des piles solaires sont utilisées pour générer l'alimentation électrique. De même, des techniques de récupération d'énergie pour l'énergie thermique ou cinétique peuvent également être utilisées [4].

1.2.3 Définition de RCSF

Les réseaux de capteurs sans fil (WSN pour Wireless Sensor Networks) illustrés dans la figure (cf. figure 1.3), sont considérés comme un type spécial de réseaux ad hoc. Cela sous-entend que ces réseaux sont dépourvus d'infrastructure préexistante et d'administration centralisée, où chaque nœud peut communiquer via des interfaces sans fil (généralement en utilisant le support radio) [5]. Les nœuds du réseau consistent en un grand nombre (centaines voire des milliers) de capteurs matériellement petits, construits à partir des composants pas chers pour maintenir un coût de réseau maniable, et placés généralement près des objets auxquels ils s'intéressent dans les environnements où ils sont déployés.

Ces capteurs sont capables de récolter, traiter et d'acheminer les données environnementales de la région surveillée d'une manière autonome, vers une ou plusieurs stations de collecte appelées nœuds puits ou stations de base [6].

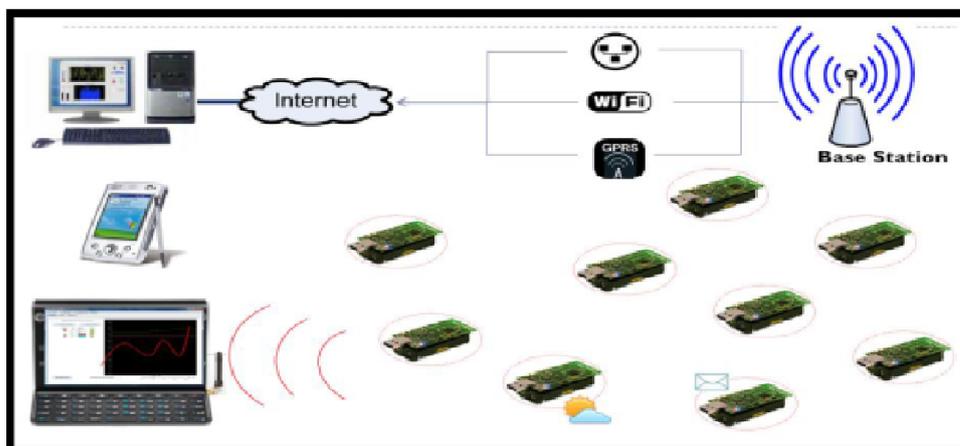


FIG. 1.3 – Exemple de représentation d'un réseau de capteurs.

1.2.4 Domaines d'application

Les réseaux de capteur sans fil ont un champ d'application vaste et diversifié. Ceci est rendu possible par leur coût faible, leur taille réduite, le support de communication sans fil utilisé et la large gamme des types de capteurs disponibles. Un autre avantage est la possibilité de s'auto-organiser et d'établir des communications entre eux sans aucune intervention humaine, notamment dans des zones inaccessibles ou hostiles, ce qui accroît davantage le nombre de domaines ciblés par leur application (environnement, catastrophes naturelles, bâtiments intelligents, santé, l'agriculture, l'industrie...etc.). Nous présentons dans ce qui suit les domaines les plus ciblés par les RCSFs :

- **Domaine militaire** : Le domaine militaire a été un moteur initial pour le développement des RCSFs qui permettent la détection et la collection d'informations sur la position de l'ennemi, la surveillance des zones hostiles (contaminées) et la détection d'agents chimiques et bactériologiques dans l'air [7]. La figure (cf. Figure 1.4) illustre un capteur militaire.



FIG. 1.4 – Réseau de capteurs militaire.

• **Domaine de la sécurité :** Les altérations dans la structure d'un bâtiment, illustré dans la figure (cf. Figure 1.5) suite à un séisme ou à un vieillissement, peuvent être détectées par des capteurs intégrés dans les murs ou dans le béton. Un RCSF de mouvements peut constituer un système d'alarme distribué qui sert à détecter les intrusions sur un large secteur [7].

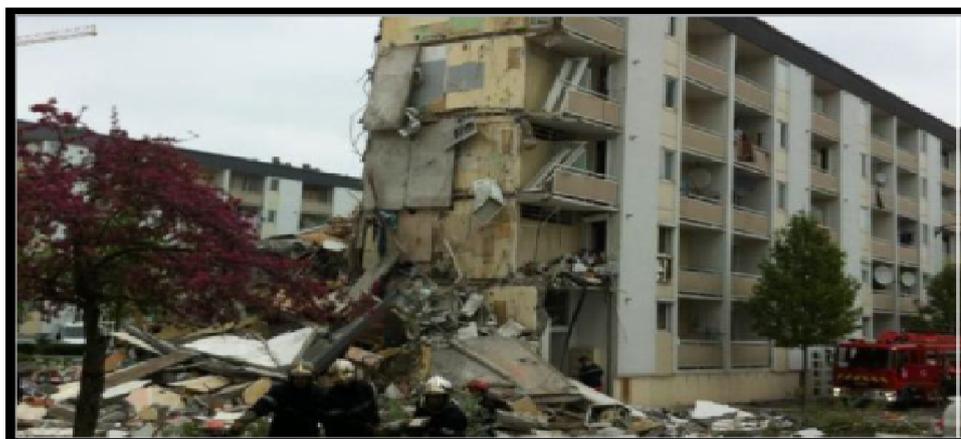


FIG. 1.5 – Domaine de la sécurité.

- **Domaine environnementales** : Des thermo-capteurs dispersés à partir d'un avion sur une forêt peuvent signaler un éventuel début d'incendie, contrôler la qualité de l'air et recueillir des informations diverses sur l'état du milieu naturel illustré dans la figure (cf. Figure 1.6).

Sur les sites industriels, les centrales nucléaires ou dans les pétroliers, des capteurs peuvent être déployés pour détecter des fuites de produits toxiques (gaz, produits chimiques, éléments radioactifs, pétrole).

Des RCSF peuvent détecter la présence humaine. Ainsi, la climatisation peut être déclenchée seulement aux endroits où il y a des personnes présentes. Une telle application permet de réduire la demande mondiale en énergie diminuant du même coup l'émission des gaz à effet de serre. Rien que pour les États-Unis, on estime cette économie à 55 milliards de dollars par an avec une diminution de 35 millions de tonnes des émissions de carbone dans l'air [7].



FIG. 1.6 – Domaine environnementale.

- **Domaine médical** : Cette technologie est de plus en plus utilisée dans le domaine médical en se propageant dans de nombreuses applications : la mesure et l'analyse non intrusives de données physiologiques, la surveillance de la température, la fréquence cardiaque l'oxygénation du sang et le pouls du patient [7]. Un exemple de capteur dans un corps humain illustré dans la figure (cf. Figure 1.7)

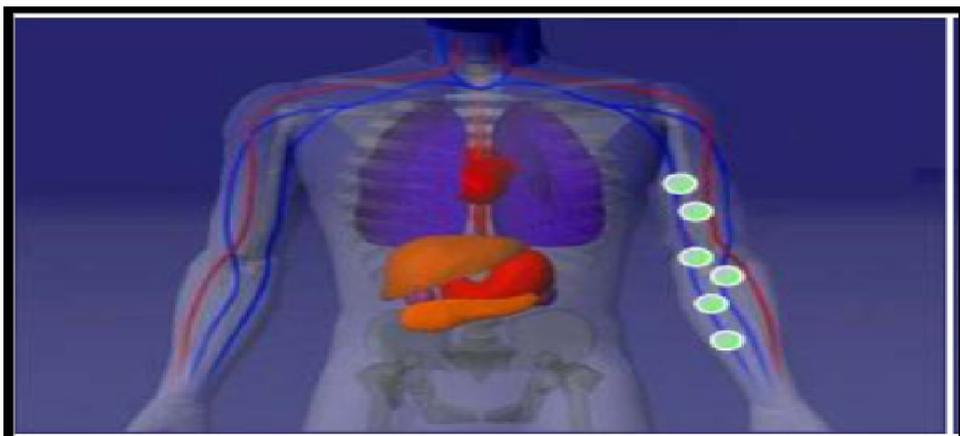


FIG. 1.7 – Ensemble de capteurs dans un corps humain.

1.2.5 Caractéristiques des RCSFs

Un réseau de capteurs présente les caractéristiques suivantes : [8]

1.2.5.1 Absence d'infrastructure

les réseaux Ad-hoc en général, et les réseaux de capteurs en particulier se distinguent des autres réseaux par la propriété d'absence d'infrastructure préexistante et de tout genre d'administration centralisée.

1.2.5.2 Taille importante

Un réseau de capteurs peut contenir des milliers de nœuds capteurs.

1.2.5.3 Interférences

Les liens radio ne sont pas isolés, deux transmissions simultanées sur une même fréquence, ou utilisant des fréquences proches, peuvent interférer.

1.2.5.4 Topologie dynamique

Les capteurs peuvent être attachés à des objets mobiles qui se déplacent d'une façon libre et arbitraire rendant ainsi la topologie du réseau fréquemment changeante.

1.2.5.5 Sécurité physique limitée

Les RCSFs sont plus touchés par le paramètre de sécurité que les réseaux filaires classiques. Cela se justifie par les contraintes et limitations physiques qui font que le contrôle des données transférées doit être minimisé.

1.2.5.6 Bande passante limitée

Une des caractéristiques primordiales des réseaux basés sur la communication sans fil est l'utilisation d'un médium de communication partagé. Ce partage fait que la bande passante réservée à un nœud est limitée.

1.2.5.7 Contrainte d'énergie, de stockage et de calcul

La caractéristique la plus critique dans les réseaux de capteurs est la modestie de ses ressources énergétiques car chaque capteur du réseau possède de faibles ressources en termes d'énergie, de calcul et de stockage. Afin de prolonger la durée de vie du réseau, une minimisation des dépenses énergétique exigée chez chaque nœud.

1.2.6 Contraintes de conception des RCSFs

Les principaux facteurs et contraintes influençant l'architecture des réseaux de capteurs peuvent être résumés comme suit :

1. 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.

2. Le facteur d'échelle (Scalability)

Le nombre de nœuds de capteurs augmente sur un réseau sans fil et ce nombre peut atteindre un million. Un nombre aussi important de nœuds engendre beaucoup de transmissions entre les nœuds et peut imposer des difficultés pour le transfert de données.

3. Les coûts de production

Souvent les réseaux de capteurs sont composés d'un très grand nombre de nœuds. Le prix d'un nœud est critique afin de pouvoir concurrencer un réseau de surveillance traditionnel.

4. L'environnement

Les capteurs sont souvent déployés en masse dans des endroits tels que des champs de bataille, à l'intérieur de grandes machines, au fond d'un océan, dans des champs biologiquement ou chimiquement souillés, Par conséquent, ils doivent pouvoir fonctionner sans surveillance dans des régions géographiques éloignées.

5. La topologie de réseau

Le déploiement d'un grand nombre de noeuds nécessite une maintenance de la topologie. Cette maintenance consiste en trois phases : déploiement, post-déploiement (les capteurs peuvent bouger, ne plus fonctionner,...) et redéploiement de noeuds additionnels.

6. Les contraintes matérielles

La principale contrainte matérielle est la taille du capteur. Les autres contraintes sont la consommation d'énergie qui doit être moindre pour que le réseau survive le plus longtemps possible, qu'il s'adapte aux différents environnements (fortes chaleurs, eau,...), qu'il soit autonome et très résistant vu qu'il est souvent déployé dans des environnements hostiles.

7. Les médias de transmission

Dans un réseau de capteurs, les noeuds 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 .

8. La consommation d'énergie

Un capteur, de par sa taille, est limité en énergie (<1.2j). Dans la plupart des cas le remplacement de la batterie est impossible. Ce qui veut dire que la durée de vie d'un capteur dépend grandement de la durée de vie de la batterie. Dans un réseau de capteurs (multi-sauts) chaque noeuds collecte des données et envoie/transmet des valeurs. Le dysfonctionnement de quelques noeuds nécessite un changement de la topologie du réseau et un re-routage des paquets. Toutes ces opérations sont gourmandes en énergie, c'est pour cette raison que les recherches actuelles se concentrent principalement sur les moyens de réduire cette consommation.

1.2.7 Architecture des réseaux de capteurs

Puisque les RCSFs se caractérisent par l'absence d'une infrastructure, les nœuds capteurs la construisent tout en permettant l'interaction avec l'environnement où ils appartiennent et en répondant aux différentes requêtes venant des utilisateurs ou des réseaux externes. Par ailleurs, les nœuds capteurs comme tout autre composant de télécommunication adhèrent à une architecture protocolaire spécifique. La réalisation de cette dernière requiert la mise en œuvre de techniques développées pour les réseaux Ad Hoc. Cependant, de nouveaux problèmes apparaissent engendrés, entre autre, par la sévérité des contraintes dues aux limitations de ressources physiques des RCSFs. C'est pourquoi, il est commandé que la conception des protocoles de communication soit faite d'une manière optimale [9].

1.2.7.1 Architecture protocolaire

La pile protocolaire, illustrée par la figure (cf. Figure 1.8), est utilisée par la station de base ainsi que tous les autres capteurs d'un réseau de capteurs. La pile protocolaire comprend la couche application, la couche transport, la couche réseaux, la couche liaison de données, la couche physique, le plan de gestion des tâches, le plan de gestion de la mobilité et le plan de gestion de l'énergie.

L'environnement est bruyant et les nœuds peuvent être mobiles, le protocole MAC (Media Access Contrôle) de la couche liaison doit connaître l'état de l'énergie résiduelle (énergie restante), doit aussi être capable de réduire au minimum la collision avec l'émission des voisins. La couche physique satisfait les besoins d'une modulation simple mais robuste ainsi que les techniques de transmission et de réception.

En outre, les plans de gestion de l'énergie, la mobilité et des tâches surveillent la puissance, le mouvement et la distribution des tâches (respectivement) entre les nœuds 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 mobile et partager les ressources entre les nœuds capteurs est plus efficace d'utiliser des nœuds capteur pouvant collaborer entre eux. La durée de vie du réseau peut être ainsi prolongée [9].

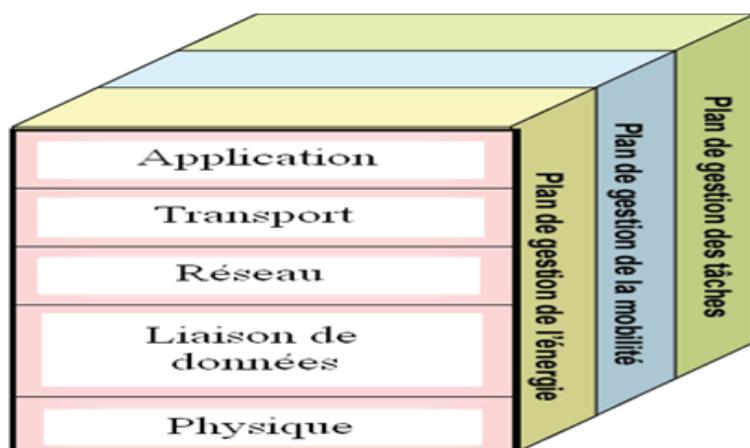


FIG. 1.8 – Pile protocolaire dans les réseaux de capteurs.

1.2.7.2 Couches de la pile protocolaire

- **Couche application**

C'est la couche la plus proche des utilisateurs car elle permet d'assurer l'interface avec les applications. Elle est gérée directement par les logiciels[9].

Parmi les protocoles de la couche application, nous citons : SMP (Sensor Management Protocol) et TADAP (Task Assignment and Data Avertissement Protocol).

- **Couche transport**

Son rôle réside essentiellement dans la vérification du bon acheminement des données et la qualité de transmissions. Dans ce type de réseau la fiabilité de transmission n'est pas une exigence, ce qui implique la tolérance des erreurs et des pertes. Par conséquent, un protocole de transport proche du protocole UDP et appelé UDP-Like (User Datagrammes Protocol Like) est utilisé. Cependant, comme le protocole de transport universel est TCP (Transmission Control Protocol), les RCSFs doivent donc posséder, lors d'une communication avec un réseau externe, une interface TCP-splittings pour vérifier la compatibilité entre ces deux réseaux communicants[9].

- **Couche réseau**

Pour assurer le transport de données, la couche réseau établit des routes entre les nœuds capteurs et le nœud puits. Ensuite elle choisit la route la plus adéquate en matière d'énergie, de transmission et le débit.

Les protocoles de routage conçus pour les RCSFs sont différents selon plusieurs critères comme :

- L'absence d'adressage fixe des nœuds tout en utilisant un adressage basé-attribut.

- L'établissement des communications multi-sauts.

- L'établissement des routes reliant plusieurs sources en une seule destination pour agréger des données similaires, etc.

Parmi ces protocoles, nous citons : LEACH (Low-Energie Adaptive Clustering Hiérarchie) et SAR (Séquentiel Assignment Routing)[9].

- **Couche liaison de données**

Son rôle consiste en l'axe en média physique et la détection et la correction des erreurs intervenue sur la couche physique. Elle permet également de déterminer les liens de communication entre les différents nœuds dans une distance d'un seul saut.

Parmi les protocoles de liaison de données, nous citons : SMACS (Self-organizing Medium Access Control for Sensor networks) et EAR (Eavesdrop And Register)[9].

- **Couche physique**

Elle permet de moduler les données et les acheminer dans le media physique tout en choisissant les bonnes fréquences[9].

- Le plan de gestion d'énergie**

La manière dont les nœuds utilisent leurs énergies, par exemple le nœud doit se mettre en sommeil après la réception d'un message pour éviter la duplication des messages déjà reçus[9].

- Le plan de la gestion de la mobilité**

Détecte et enregistre le mouvement des nœuds, ainsi un nouveau itinéraire au puits ou à l'autre capteur est toujours maintenu[9].

- Le plan de gestion des tâches**

Lors d'une opération de captage dans une région donnée, les nœuds ne doivent pas travailler avec le même rythme[9].

1.3 Conclusion

Nous avons essayé à travers ce chapitre de mettre le point sur l'architecture des RCSFs, ainsi que leurs caractéristiques et les domaines d'applications. Cette mise au point nous a permis de déduire que les protocoles de routage et la dissipation d'énergie jouent un rôle déterminant et crucial dans la conception des RCSFs. Cela nous a mené à faire une étude sur le routage dans les réseaux de capteurs sans fil ce qui est l'intérêt du chapitre qui suit.

Routage dans les réseaux de capteur sans fil

2.1 Introduction

Dans les réseaux de capteurs sans fil, les nœuds sont déployés dans des environnements hostiles, afin de collecter des informations, et de les envoyer vers la station de base, en utilisant des protocoles de routage. En effet, le principale objectif du routage est de trouver un chemin optimal minimisant la consommation d'énergie, augmentant ainsi la durée de vie des réseaux. De ce fait, les protocoles élaborés doivent assurer une consommation minimale d'énergie tout en maintenant le bon fonctionnement des réseaux et sans dégrader ses performances.

Les protocoles dans lesquels on maintient à jour des tables de routage à l'aide d'envois périodiques des paquets ont un coût constant non négligeable. Ce coût constant est particulièrement pénalisant puisque l'on a des trafics très sporadiques : maintenir une table de routage, pour avoir des routes très efficaces, n'est pas intéressant si l'on n'utilise que très rarement ces routes.

Dans ce chapitre, nous allons définir quelque contrainte de routage dans les réseaux de capteur sans fil, les classifications des protocoles de routage et les métriques de mesures de l'efficacité de ces protocoles.

2.2 Définition de routage

Le routage est une méthode d'acheminement des informations à la bonne destination à travers un réseau de connexion de données. Le problème de routage consiste

à déterminer un acheminement optimal des paquets à travers le réseau au sens d'un certain critère de performance. Le problème consiste à trouver l'investissement à moindre coût en capacité est nominales et de réserves qui assure le routage du trac nominal et garantit sa survie en cas de n'importe quelle panne d'arc ou de nœud. La figure (cf. Figure 2.1) illustre un exemple de routage.

Toute conception de protocole de routage doit étudier les problèmes suivants :

1. La minimisation de la charge du réseau.
2. Offrir un support pour pouvoir effectuer des communications multipoints fiables.
3. Assurer un routage optimal.
4. Offrir une bonne qualité concernant le temps de latence suivant la manière de création et de maintenance des routes lors de l'acheminement des données.

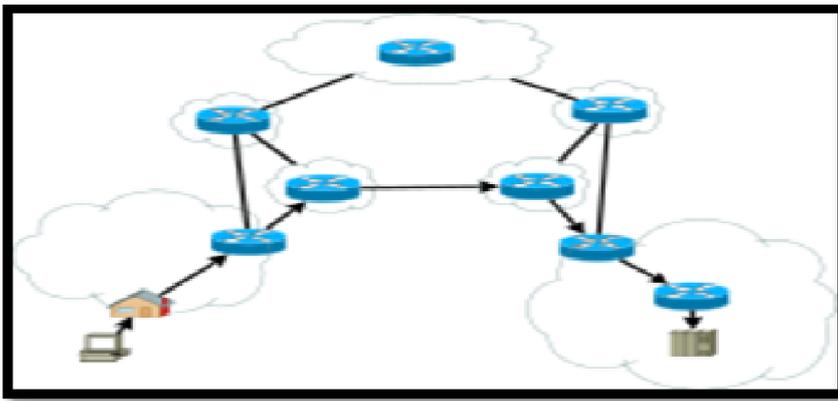


FIG. 2.1 – Exemple de routage dans un réseau.

2.3 Défis de routage dans les réseaux de capteurs sans fil

La tâche de la conception d'un protocole de routage dans les RCSFs nécessite des considérations plus prudentes que les autres réseaux sans fil. Les questions à considérer pour une communication efficace et fiable dans les RCSFs comprennent la topologie du réseau, les méthodes de communication de données, l'hétérogénéité des nœuds et des liens, l'adaptation à la mobilité, l'efficacité énergétique, l'agrégation de données, et la qualité du service [10 ,11].

- **La topologie du réseau**

Le déploiement des nœuds capteurs lors de la formation de RCSF est effectué par deux méthodes, dynamiques et statistiques. Les nœuds sont placés au hasard dans la méthode dynamique tandis que le placement manuel des nœuds sur des emplacements prédéfinis se fait dans la méthode statique. En raison du grand nombre de nœuds dans une petite zone moins de source d'énergie et une puissance d'émission plus faible, la communication multi-hop qui est énergétiquement efficace est faisable. Dans la communication multi-hop, chaque nœud effectue deux opérations, envoie ses propres données et transmet les données des autres nœuds. Le protocole de routage devrait être en mesure de générer les chemins de routages appropriés en cas de défaillance d'un nœud [10,11].

- **Méthodes de communication**

Le protocole de routage devrait être en mesure de fournir une solution adaptée pour une communication fiable utilisée par toutes les méthodes de communication des données. Les techniques de communication de données utilisées par les nœuds capteurs sont 'query driven', 'event driven', 'time driven' et hybrides [10,11].

-**Query driven** : Les nœuds capteurs envoient les données à la SB selon l'exigence de l'application.

-**Time driven** : Le temps de conduite de la communication des données est nécessaire pour l'application qui nécessite une surveillance continue.

-**Event driven** : Les nœuds de capteurs envoient les données lorsqu'un événement spécifique se produit.

-**Hybrides** : Dans certains cas, l'application nécessite la méthode hybride dans laquelle plus d'une technique est utilisée pour faire le suivi adéquat.

- **L'hétérogénéité des nœuds et des liens**

En général, les nœuds utilisés dans les RCSFs sont homogènes, mais de nombreuses applications ont besoin d'utiliser les nœuds hétérogènes. Les capacités de traitement, de la communication, et les ressources de puissance sont les nœuds capteurs homogènes. D'autre part, les nœuds avec des capacités différentes forment un réseau hétérogène. Les protocoles doivent être en mesure de gérer les nœuds hétérogènes. Un exemple courant est l'utilisation de la tête de cluster qui se charge de la communication direct avec la SB [10,11].

- **L'adaptabilité à la mobilité**

La plupart des RCSFs utilisent des nœuds fixes et des stations de base. Cependant, la mobilité du SINK ou des nœuds peut être une demande d'une application

dans différents scénarios comme le suivi de signe vital d'un patient mobile dans l'hôpital. Le protocole de routage doit gérer correctement la communication pour les nœuds mobiles [10,11].

- **L'efficacité énergétique**

Les protocoles de routage doivent maintenir la connectivité entre les nœuds et la SB avec une consommation d'énergie minimale. Les mises à jour des tables de routages périodiques aident les nœuds pour rafraîchir l'état des nœuds voisins. L'inondation de ces mises à jour peut raccourcir la durée de vie du nœud en raison de l'énergie supplémentaire nécessaire [10,11].

- **L'agrégation de données**

Plusieurs méthodes, telles que la suppression de double exemplaire, sont utilisées dans des protocoles de routage pour l'agrégation de données pour éviter les transmissions redondantes et améliorer l'efficacité énergétique. Ces techniques permettent également de réduire la charge de trafic et d'augmenter le débit [10,11].

- **La qualité de service**

Les algorithmes orientés fiabilité et délai sont utilisés pour les protocoles de routage pour remplir la demande de QoS de différentes applications. Ces protocoles aident à surveiller les zones d'intérêts lors d'une situation critique [10,11].

2.4 Métriques de routage

Cette section étudie les métriques communes utilisées pour mesurer l'efficacité des protocoles de routage. Un calcul de métrique est un algorithme qui traite un coût associé à un certain chemin de routage. Les protocoles de routage permettent aux nœuds de comparer les métriques calculées afin de déterminer les routes optimales à emprunter. Plusieurs métriques peuvent affecter le routage en termes d'énergie, délai, longueur du chemin, etc [12].

2.4.1 Métriques pour la consommation énergétique

Les protocoles de routage utilisent cet ensemble de métriques pour minimiser la consommation d'énergie pendant le routage. L'idée est de calculer l'énergie disponible (ED) pour chaque nœud du réseau et l'énergie nécessaire (EN) pour les transmissions des paquets entre une paire de nœuds. Les routes entre les nœuds et le puits sont établies et chacune d'elles est caractérisée par la somme des ED des

nœuds qui la constituent et par la somme des EN des liaisons qui la construisent. La consommation d'énergie suit plusieurs approches dont on peut citer :

2.4.1.1 Par considération de puissance

La route choisie est celle caractérisée par la somme de l'énergie disponible (ED) la plus élevée.

2.4.1.2 Par considération du coût

La route choisie est celle caractérisée par la plus petite somme de l'énergie nécessaire (EN).

2.4.1.3 Par considération de puissance et du coût

Cette métrique est la combinaison des deux métriques précédentes. La route choisie est celle caractérisée par la plus petite somme des énergies nécessaires (EN) et la plus grande somme des énergies disponibles (ED).

2.4.2 Nombre de sauts

Les protocoles de routage utilisent cette métrique pour minimiser le nombre de sauts pendant le routage. L'idée est de calculer le nombre de nœuds intermédiaires pouvant être traversés lors d'une transmission d'un paquet du nœud source vers le nœud puits. La route choisie est celle qui contient un nombre minimum de nœuds (minimum de sauts) [13].

2.4.3 Perte de paquets

Les protocoles de routage utilisent cette métrique dans le but de minimiser le nombre de paquets de données perdus lors du transfert depuis une source vers une destination pendant le routage [14]. L'idée est de calculer le ratio des paquets perdus et des paquets émis transitant dans le réseau. Autrement dit, on calcule le nombre de paquets perdus sur le nombre de paquets transmis lors d'une transmission. Dans le cas où le taux de perte de paquets est élevé, il est nécessaire de mettre en place des mécanismes qui permettent de minimiser les collisions.

2.4.4 Délai de bout-en-bout EED

L'EED (End-to-End Delay) est le temps moyen nécessaire pour qu'un paquet de données soit acheminé à partir de la source vers la destination [14]. Cette technique est parmi les métriques les plus connues dans les réseaux sans fil. Les protocoles de routage l'utilisent pour minimiser le temps de propagation des paquets de données échangés pendant le routage.

2.5 Classes principales des protocoles de routage

Récemment, les protocoles de routage conçus pour les RCSFs ont été largement étudiés. Les méthodes employées peuvent être classifiées suivant plusieurs critères qui sont illustrés dans le tableau 2.1 :

Type de classification	Classes
Paradigmes de communication	Centré-noeuds
	Centré-données
	Basé-localisation
	Basé-QoS
Topologie de réseaux	Plate
	Hiérarchique
	Géographique
Méthodes d'établissement des routes	Protocoles proactifs
	Protocoles réactifs
	Protocoles hybrides

TAB. 2.1 – Classes des protocoles de routage.

– **Classification basée sur les paradigmes de communication**

Le paradigme de communication est déterminé par les contraintes sous lesquelles les nœuds du réseau sont interrogés. Dans les RCSFs, il peut être classé comme étant centre-nœuds, centré-données, basés-localisation. Il existe également quelques protocoles basés sur la qualité de service, qui tentent de garantir certaines exigences des applications au moment du routage [15].

• **Centré-nœuds**

Ce modèle est utilisé dans les réseaux conventionnels où il est important de connaître les nœuds communicants. Cependant, ce paradigme ne reflète pas la vision des RCSFs quand à leurs applications où la donnée transmise est plus importante que l'émetteur. Néanmoins, le paradigme centré-nœuds n'est pas totalement écarté, car certaines applications nécessitent une interrogation individuelle des nœuds [16].

• **Centré-données**

Ce modèle est utilisé dans les réseaux où il n'existe pas un système d'identification global, et cela dans presque toutes les applications des RCSFs. En effet, il n'est généralement pas possible d'attribuer les identifiants globaux (comme les adresses IP) pour chaque nœud à cause de nombre élevé de capteurs déployés. Ainsi, l'identité de chaque nœud n'est pas aussi importante que les données qui lui sont associées. Ce manque d'identification, avec le déploiement aléatoire des nœuds, font qu'il est difficile de sélectionner un ensemble de nœuds pour être interrogé. Par conséquent, les données sont généralement transmises de chaque nœud avec un taux important de redondances à l'intérieur de la région de déploiement. Ainsi, des protocoles de routage centrés-données ont été proposés pour être en mesure de sélectionner un bon ensemble de nœuds demandés, sans l'utilisation d'identifiants globaux. Ils visent également à utiliser l'agrégation de données pour éviter le gaspillage d'énergie dû aux redondances de données [17].

• **Basé-localisation**

Ce paradigme est utilisé dans les applications où il est plus intéressant d'interroger le système en se basant sur la localisation des nœuds, et où on peut tirer profit des positions des nœuds pour prendre des décisions qui minimisent le nombre de messages transmis pendant le routage. Avant d'envoyer ses données à un nœud destination, le nœud source utilise un mécanisme pour déterminer sa localisation. Il est donc nécessaire de se pencher sur une solution de loca-

lisation géographique dont le degré de précision dépend de l'application visée [18, 19]. Il existe deux techniques de localisation : absolue où on peut utiliser un système GPS (Global Positioning System)[20], où les nœuds sont localisés approximativement suivant la direction ou la durée lors d'une transmission [21].

- **Basé-QoS (qualité de service)**

Les protocoles de routage basés-QoS sont utilisés dans les applications qui ont des exigences temps-réel. Par exemple, dans le domaine de la sécurité, la détection d'intrusion doit être acheminée au plus bref délai vers le nœud puits. Ce type de protocole essaye de répondre à quelques exigences de qualité de service (délais de transmission ou niveau de fiabilité) et doit faire l'équilibre avec la consommation d'énergie [22].

- **Classification basée sur la topologie de réseau**

La topologie détermine l'organisation logique adaptée par les protocoles de routage afin d'exécuter les différentes opérations de découverte de routes et de transmission de données. Elle joue un rôle significatif dans le fonctionnement d'un protocole. La topologie peut être hiérarchique, plate ou géographique [23].

- **La topologie plate**

Dans les réseaux plats, tous les nœuds possèdent le même rôle et collaborent entre eux pour accomplir la tâche de routage. Les réseaux plats permettent une grande tolérance aux pannes. En plus, les protocoles de routage sont généralement simples (ne contiennent pas d'algorithmes complexes) [24].

- **Exemple**

Directed Diffusion est l'un des meilleurs protocoles de routages dans les RSCFs. Proposé en 2000, ce protocole se base sur un modèle publication/souscription pour propager les informations dans le réseau. Il adopte une topologie plate et un routage réactif.

- **Avantages**

- **Scalabilité**

Les réseaux à plat sont scalables du fait que chaque nœud participe également à la tâche de routage et puisque les nœuds ont besoin seulement des informations sur leurs voisins directs.

- **Simplicité**

Les réseaux à plat permettent aux protocoles de routage d'être simples, puisqu'il est possible d'établir le réseau sans overhead ainsi que nous n'avons aucun

besoin d'algorithmes complexes pour faire le choix d'un cluster-head.

- **Inconvénient**

- Points chauds (Hotspots)**

Si les nœuds capteurs sont uniformément distribués dans tout le réseau et il y a un seul nœud puits. Alors, les nœuds au tour de ce dernier épuiseront leurs énergies plus tôt que les autres nœuds, Parce que tout le trafic du réseau passe par les nœuds entourant le nœud puits.

- **La topologie hiérarchique**

Dans les réseaux hiérarchiques, les nœuds ont différent rôle. En effet, certains nœuds sont sélectionnés pour exécuter des fonctions particulières. Une des méthodes les plus utilisées dans cette topologie est le clustering. Il consiste en un partitionnement du réseau en groupes appelés clusters. Un cluster est constitué d'un chef (cluster-head) et de ses membres. Suivant l'application, les membres peuvent être des voisins directs du chef ou pas [25].

- Exemple**

Le protocole LEACH proposé par Heinzelman, A.Chandrasan, et H.Balakrishnan est l'un des protocoles de clustering fondamental efficace en termes de consommation d'énergie adoptant ce type de routage.

- **Avantage**

- L'agrégation de données**

L'avantage du routage hiérarchique est que les données du cluster entier peuvent être combinées par le clusterhead et envoyées vers la destination.

- **Inconvénient**

- Points chauds (Hotspots)**

Les nœuds élus comme des cluster-heads consomment plus d'énergie que les autres nœuds dans le réseau.

- **La topologie géographique**

Avec ce type de routage, les informations de localisation des capteurs : positions géographiques, sont utilisées pour effectuer l'acheminement des données. Plusieurs solutions ont été proposées selon cette approche. Généralement, les méthodes employées supposent que chaque capteur a la connaissance exacte de sa position, soit grâce à la technologie GPS (Global Positioning System) dans le cas où les capteurs sont équipés par des récepteurs GPS de faible énergie et permettant ainsi la communication avec un satellite. Sinon, grâce à des méthodes de localisation basées sur l'estimation de la distance aux autres

nœuds. Dans de telles méthodes, la localisation est assurée par une estimation de la distance séparant deux capteurs, en fonction des propriétés du signal reçu (temps de propagation, atténuation du signal, etc.). Soit en fonction de l'angle d'arrivée du message.

-Exemple

GEAR (Geographic and Energy Aware Routing) est un protocole adoptant ce type de routage.

• **Avantages**

-L'utilisation des GPSs permet d'améliorer la connaissance de la position au centimètre près. Des traitements du signal dans des récepteurs plus sophistiqués permettent d'améliorer la précision de positionnement (résolution de la distance).

-Dans le routage basé sur la localisation géographique, la région de destination est connue et la requête peut être donc dirigée uniquement vers cette région, ce qui éliminera le nombre de transmissions de manière significative.

• **Inconvénients**

-Les nœuds doivent être équipés d'un système de localisation par satellite.

-Le routage basé sur la localisation géographique n'est pas un bon choix pour les applications qui exigent une livraison fiable à des intervalles réguliers des paquets de données.

– **Classification basée sur la méthode d'établissement de routes**

Suivant la manière de création et de maintien des chemins pendant le routage nous distinguons trois catégories des protocoles de routage : protocoles proactifs, réactifs ou hybrides, illustrées dans la figure (cf. Figure 2.2)[26].

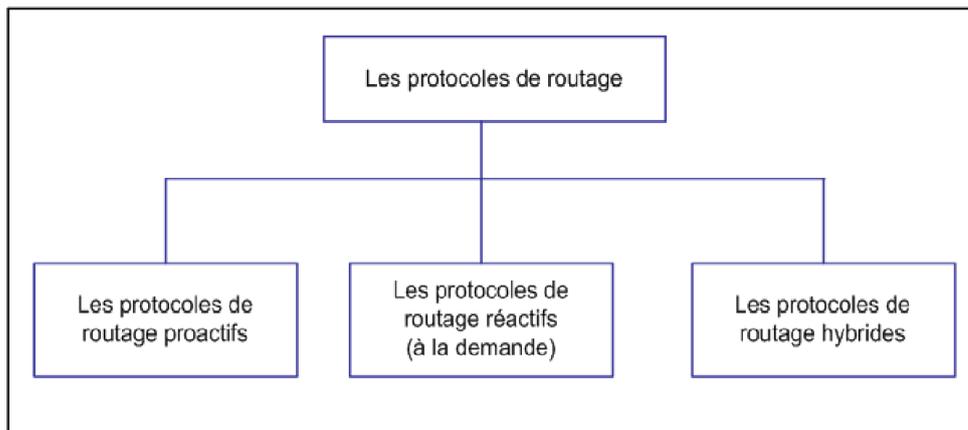


FIG. 2.2 – Protocole de routage : classification basée sur la méthode d'établissement de routes.

- **Protocoles proactifs**

Ces protocoles de routage 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. Chaque nœud du réseau maintient une table de routage pour toutes les destinations indépendamment de l'utilité des routes. Les protocoles proactifs sont adaptés aux applications qui nécessitent un prélèvement périodique des données. Et par conséquent, les capteurs peuvent se mettre en veille pendant les périodes d'inactivité, et n'enclencher leur dispositif de capture qu'à des instants particuliers.

- **Protocoles réactifs**

Ces protocoles (dits aussi, les protocoles de routage à la demande) créent et maintiennent des routes selon les besoins. Lorsque le réseau a besoin d'une route, une procédure de découverte de route est lancée. Ce type de protocole est pratique pour des applications à temps réel où les capteurs doivent réagir immédiatement à des changements soudains des valeurs captées. En effet, un prélèvement périodique des données aurait été inadapté pour ce type de scénarios.

- **Protocoles hybrides**

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

2.6 Conclusion

Le routage dans les réseaux de capteurs est un problème complexe. Ceci est dû, d'une part, à ces protocoles qui peuvent varier suivant les différentes approches de routage, et d'autre part, les solutions de routage proposées dans le cas des réseaux ad hoc ne sont pas applicables directement dans les réseaux de capteurs. Bien que l'objectif principal reste le même, c'est-à-dire : trouver la façon la plus simple d'acheminer les paquets de données d'une source vers une destination, le routage dans les réseaux de capteurs tolère une certaine négligence des paramètres de QoS en ne tenant compte que de la minimisation de la consommation d'énergie. Les recherches modernes ont mené à des nouveaux protocoles conçus spécialement pour les RCSFs. Cependant, la conception de ces protocoles de routage doit prendre en considération les caractéristiques de ce type de réseaux ainsi que les exigences des applications pour lesquelles ces réseaux sont destinés.

Ce chapitre a donné une vue globale sur les techniques de routage dans les réseaux de capteur sans fil et qui ont comme objectif commun le prolongement de la durée de vie de réseau. De façon générale, les techniques de routage sont classifiées selon la topologie du réseau, l'établissement de la route, ou les paradigmes de communications.

Dans le chapitre suivant, nous citons quelques protocoles de routage ainsi faire une étude comparative entre eux selon la structure de réseau.

Etude comparative entre les protocoles de routage dans les réseaux de capteur sans fil

3.1 Introduction

La conception des protocoles de routage spécifique aux réseaux de capteur a attiré une grande part d'intention des chercheurs dans le domaine. Ces protocoles peuvent varier suivant leurs applications et l'architecture du réseau déployé.

En général, le routage dans les RCSFs peut être divisé en trois types, suivant la structure du réseau, soit en routage plat, ou en routage hiérarchique, ou bien en routage basé sur la localisation. Dans le routage plat, tous les nœuds ont typiquement les mêmes rôles ou fonctionnalités. Cependant, dans le routage hiérarchique, les nœuds joueront différents rôle dans les réseaux. Dans le routage basé sur la localisation, les positions des nœuds de capteurs sont exploitées pour router les données dans le réseau.

Un protocole de routage est considéré adaptatif si certains paramètres du système peuvent être contrôlés afin de s'adapter aux conditions existantes du réseau et à l'énergie disponible.

En plus de cela, les protocoles de routage peuvent être classés selon la façon dont la source trouve son itinéraire jusqu'à la destination, en trois catégorie, à savoir, les protocoles proactifs, réactifs ou hybrides. Dans les protocoles proactifs, tous les itinéraires son calculés sans qu'ils ne soient vraiment nécessaires, alors que dans les protocoles réactifs, les itinéraires sont calculés sur demande. Les protocoles hybrides emploient une combinaison de ces deux concepts.

La figure (cf. Figure 3.1) représente un ensemble des protocoles de routage selon

la structure de réseau.

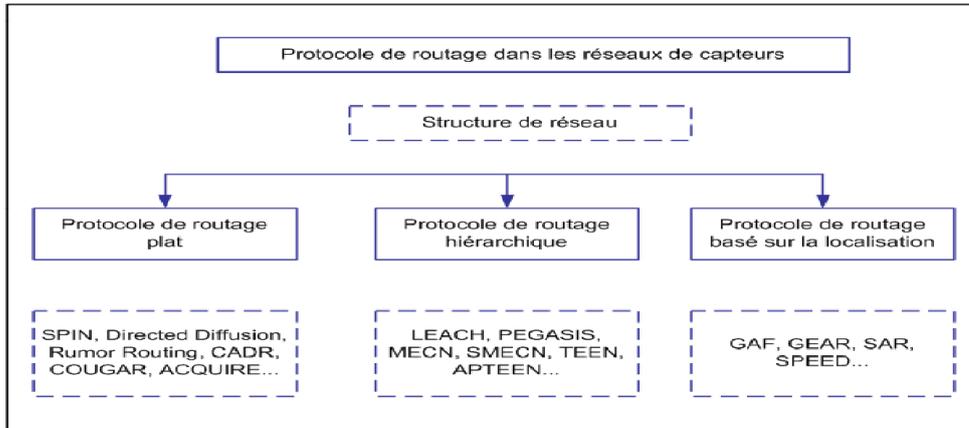


FIG. 3.1 – Protocole de routage dans les réseaux de capteur.

Au cours de cette partie, nous étudierons les protocoles de routage selon la structure du réseau, ainsi les différents protocoles de routage appartenant aux réseaux de capteurs sans fil et nous ferons une comparaison entre ces protocoles.

3.2 Les protocoles de routage selon la structure de réseau

3.2.1 Le routage plat

- **Flooding**

Dans le protocole Flooding [27] (appelé aussi l'inondation), chaque nœud reçoit les messages (sous forme d'un paquet de donnée), ensuite il le diffuse dans le réseau. Ainsi ce protocole consiste à transmettre tous les nouveaux paquets reçus. Ce protocole n'a pas besoin ni de maintenir une table de routage, ni de découvrir son voisinage et maintenir une topologie bien précise. Par contre, ce protocole contient deux inconvénients majeurs qui sont le problème de duplication des paquets (le problème d'implosion) et le problème de chevauchement, les deux figures (cf. Figure 3.2) et (cf. Figure 3.3) montrent ça.

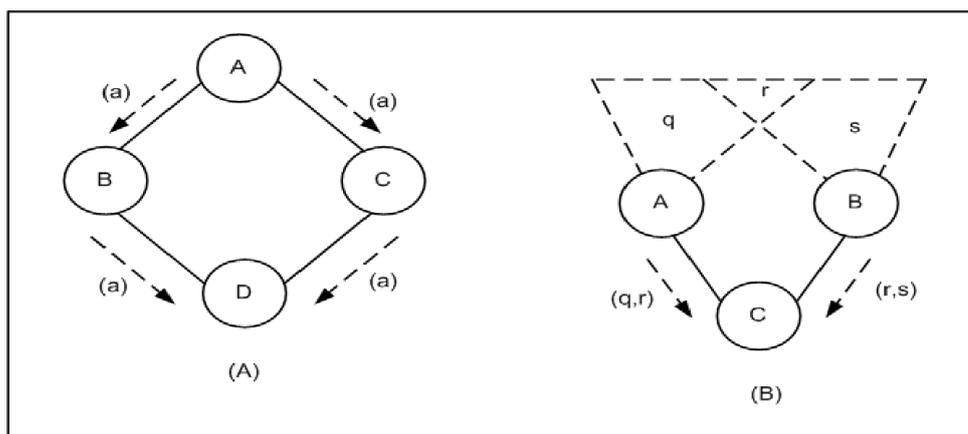


FIG. 3.2 – le problème d’implosion (A).

FIG. 3.3 – Le problème de chevauchement (B).

Les avantages

Simple

La table de routage n’est pas requise.

Le délai de transmission est petit.

Les inconvénients

L’implosion : Il est apparu des messages dupliqués sont envoyés au même nœud.

Ignorance de ressource des nœuds : Ce protocole ne prend pas en compte les ressources d’énergie disponibles.

le chevauchement : Deux nœuds observant la même région sont stimulés en même temps, leurs nœuds voisins recevront des messages dupliqués.

• GOSSIPING [27]

Dans cette démarche, un nœud ne diffuse pas les messages reçus à tous ses voisins, mais il les transmet à un seul sélectionné aléatoirement.

Les avantages

Evitement de problème d’implosion.

Les inconvénients

Le temps de propagation des données est élevé.

• SPIN (Sensor Protocole for Information via Negotiation) [28]

Dans ce protocole, les données réelles ne seront transmises que si une demande explicite est formulée. Il utilise 3 types de messages :

ADV : Il contient le descripteur (méta-DATA) de la donnée réelle DATA à envoyer.

REQ : Pour solliciter l'envoi des données requises.

DATA : Pour transmettre les données réelles sollicitées.

La figure (cf. figure 3.4) illustre le protocole SPIN en 6 étapes : Donc pour étape 1, le noeud A annonce ses données au noeud B. Dans l'étape 2, le noeud B répond à A par un message REQ on lui demandant les données dont il en a besoin.

De même pour les étapes 3 et 4, après la réception des données demandées, le noeud B diffuse un message d'annonce à ses voisins, et comme le montre les étapes 5 et 6, seuls les noeuds intéressés par la donnée annoncée qui envoient à leur tour des requêtes au noeud B et auront une copie.

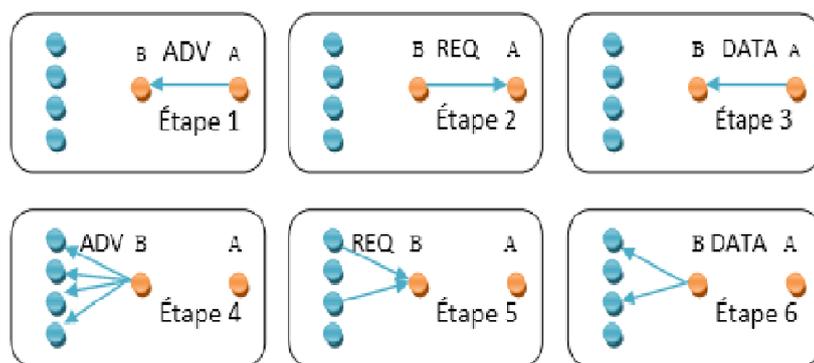


FIG. 3.4 – Protocole SPIN.

Les avantages

Chaque nœud n'a besoin de connaître que ses voisins immédiats.

Les changements de la topologie n'affectent pas les performances du protocole.

La réduction des données redondantes économise l'énergie en comparant à la technique de Flooding.

Les inconvénients

SPIN ne peut garantir un acheminement fiable de donnée vers la destination particulièrement dans le cas où les nœuds intermédiaires ne sont pas intéressés par les données.

- **DD (Directed Diffusion) [29]**

Dans ce protocole les données et les intérêts sont décrites par des paires (attribut-valeur).

Intérêt= type de données requises + taux transmission vers le SINK.

Donnée= type de phénomène capté, sa position géographique, sa durée, etc.

Chaque nœud maintient un cache d'intérêts, où chaque entrée de ce cache possède plusieurs champs, notamment :

Une estampille : Le temps de dernière réception de l'intérêt.

Des gradients : Chacun d'eux peut être vu comme étant un lien de réponse avec un voisin à partir duquel l'intérêt a été reçu. Il est caractérisé par le débit, la durée et la date d'expiration.

La durée de vie de l'intérêt :

Le protocole DD fonctionne comme suit :

1. SINK réclame d'abord les données requises par l'envoi d'un intérêt initial (qui exige un taux de transmission faible) vers les capteurs concernés à travers ses voisins.

2. Lorsqu'un nœud intérêt vérifie s'il existe une entrée correspondants dans son cache. Dans ce cas il met à jour l'estampille et la durée de vie de l'intérêt, sinon il crée une nouvelle entrée avec un gradient vers le voisin a partir duquel l'intérêt a été reçu.

3. Lorsqu'un nœud génère(ou reçoit) un message de donnée, il recherche l'entrée d'intérêt correspondante, Une fois trouvée il envoie le message à tous les voisins pour lesquels il possède un gradient, et ceci avec le plus grand gradient(taux de transmission), et ajoute les données à un cache contenant les données récemment transmises afin d'éviter les retransmissions redondantes, et par conséquent les boucles.

4. Lorsque le SINK reçoit le premier message de données, il renforce l'un de ses voisins, en lui envoyant le même intérêt avec un taux de transmission supérieur aux taux initial.

5. Quand le nœud voisin reçoit l'intérêt de renforcement à partir de SINK, il renforce l'un des ses voisin s'il trouve que le nouveau taux de transmission est supérieur à tous ceux spécifiés par les autres gradients de l'entrée.

Les avantages

Optimisation considérable en termes de consommation d'énergie et délai de transmission par l'utilisation de cache de donnée, et d'agrégation.

La mise en cache de plusieurs routes permet de palier à la défaillance d'un chemin.

Les inconvénients

L'inondation des intérêts conduit à une dissipation importante d'énergie.

La performance de DD est sensible : Au critère de choix utilisé pour le renforcement des chemins.

La distinction entre les différents nœuds source d'événement, quand plusieurs sont impliqués pour le même intérêt.

La densité élevée des capteurs.

3.2.2 Le routage hiérarchique

L'objectif du routage est de maintenir efficacement la consommation d'énergie de nœuds de capteur en les impliquant dans la communication multi-hop au sein d'un cluster et en effectuant l'agrégation et la fusion des données afin de diminuer le nombre de message transmis à la destination. La formation de clusters est généralement fondée sur la réserve d'énergie des capteurs et sur les capteurs qui sont à proximité de cluster-head. LEACH(Low Energy Adaptation Clustering Hierarchical) est l'une de premières approches de routage pour les réseaux de capteurs. L'idée proposée par LEACH a été une inspiration pour de nombreux protocoles de routage hiérarchique, bien que certains protocoles aient été développés de manière indépendante.

- **LEACH(Low -Energy Adaptive Clustering Hierarchy)**

Est l'un des Protocoles les plus populaires pour les réseaux de capteurs sans fil. Son principe est de former des zones communes de calcul et de traitement en se basant sur la puissance du signal et le niveau d'énergie des nœuds capteurs. Chaque zone est dirigée par un chef de zone, jouant le rôle d'agrégateur et de routeur, en effectuant des traitements sur les données reçues de son cluster et leur expédition vers la prochaine destination. Ce rôle de chef de zone est échangé entre les nœuds d'un cluster afin de répartir équitablement la consommation d'énergie entre eux [30][31]. La figure (cf. Figure 3.5) illustre le routage hiérarchique.

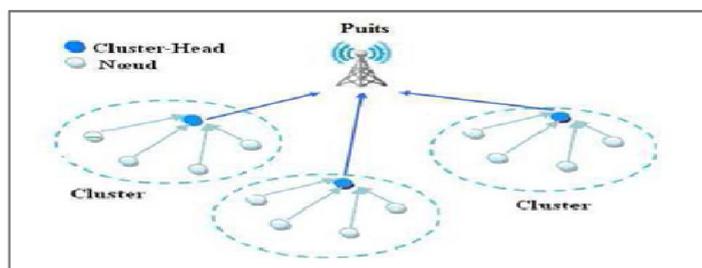


FIG. 3.5 – Routage hiérarchique basé sur clustering.

Fonctionnement

Le protocole LEACH se déroule en rounds. Chaque round se compose de deux phases : Phase de construction et phase de communication. La phase de construction consiste à définir les clusters et élire les clusters Head (CHs), la phase de communication est responsable de la transmission des données captés. Les deux phases doivent être exécutées en même temps par les nœuds du réseau afin de garantir un meilleur fonctionnement du protocole.

Le protocole LEACH est conçu pour des applications time-driven. Son utilisation dans des applications événement-driven est inapproprié car il emploie le Schedule TDMA et par conséquent un mode de transmission proactif [30][31].

Caractéristiques

Economie d'énergie, minimisation du nombre de messages circulant sur le réseau.

• TEEN et APTEEN

Les protocoles Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol (TEEN)[32] Adaptive Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol (APTEEN)[33] conviennent pour les applications critiques. Dans les deux protocoles, le facteur clé est la valeur de l'attribut mesuré. La caractéristique supplémentaire d'APTEEN est la capacité de changer la périodicité et les paramètres de TEEN en fonction des besoins des utilisateurs et des applications.

APTEEN est une extension de TEEN qui fait à la fois la collection des captures périodique de données et qui réagit aux événements critiques. Quand la station de base forme des clusters, les clusters head diffusent les attributs, les valeurs des seuils, ainsi que le Calendrier de transmission à tous les nœuds. Le cluster-head effectue également l'agrégation de données afin d'économiser l'énergie.

Fonctionnement

Le protocole TEEN favorise le mode réactif pour le transfert de données et son complément APTEEN introduit le mode proactif en modifiant au besoin les messages émis par le chef de zone. La majorité des comportements de TEEN et APTEEN sont semblables aux comportements du protocole LEACH, sauf que dans les deux premiers protocoles cités, on ne transmet pas de Schedule TDMA mais un message contenant des informations sur la tâche demandée au capteur, la valeur critique après laquelle les membres doivent envoyer des rapports de données et la valeur de seuil représentant un changement minimal obligeant les nœuds à envoyer le nouveau rapport de données. De plus, les nœuds qui exécutent les commandes d'APTEEN doivent respecter un délai maximum toléré entre deux émissions de rapport. Ce délai

garantie un comportement proactif et permet aux applications time-driven d'envoyer des informations périodiques sur leurs environnements. Pour cela, le protocole AP-TEEN peut être employé pour des applications événement-driven et time-driven [32][33].

Caractéristiques

Répondre aux applications événement-driven et time-driven en introduisant un mode de transmission réactif nécessaire aux applications critique et un mode de transmission proactif favorable aux applications périodiques.

• PEGASIS et Hierarchical PEGASIS

Dans [34], ont proposé une version améliorée de LEACH appelée PEGASIS. L'idée principale de PEGASIS est de former une chaîne entre les nœuds de sorte que chaque nœud communique à un voisin proche. Les données collectées sont transmises d'un nœud à un autre qui les agrège jusqu'à ce qu'elles arrivent à un nœud particulier qui les transmet à la station de base. Les nœuds qui transmettent les données à la station de base, sont choisis tour à tour selon une politique round-robin dans le but de réduire l'énergie moyenne dépensée par un nœud durant une période (round). Contrairement à LEACH, PEGASIS évite la formation des clusters et procure à un seul nœud dans la chaîne l'envoi de données à la station de base. D'ailleurs, PEGASIS suppose que les nœuds sont capables de modifier leur puissance de transmission.

Fonctionnement

Le principe est d'organiser le réseau sous forme d'arbre hiérarchique où les nœuds collecteurs sont considérés comme des feuilles et la station de base comme la racine. Les données captées transitent d'une feuille à la racine par des nœuds intermédiaire formant une chaîne. A la réception d'un paquet de donnée, le nœud intermédiaire procède à son traitement avant son expédition vers son voisin direct de la chaîne. Le dernier nœuds dans la chaîne transmet les données fusionnées à la station de base.

Caractéristiques

Economie d'énergie, répartition équitable des tâches et des ressources.

• EEPSC(Energy -Efficient Protocol with Static Clustering)

EEPSC est un protocole statique hiérarchique basé sur le regroupement, ce qui élimine les frais généraux de regroupement dynamique et engage des nœuds de capteurs de haute puissance pour les tâches consommatrices d'énergies, prolonge la durée de vie de réseau. Dans chaque niveau, EEPSC choisit le nœud de capteur avec un maximum d'énergie pour qu'il soit un cluster-Head [35].

Fonctionnement

La station de base diffuse des messages pour construire des niveaux, ensuite elle sélectionne le nœud qui a le maximum d'énergie pour chaque niveau, et l'élit comme un cluster-Head, par l'utilisation du schéma de regroupement statique [35].

Caractéristiques

Economie d'énergie par le schéma de regroupement statique.

3.2.3 Le routage basé sur la localisation

• GEAR (Geographic and Energy Aware Routing)

Le protocole de routage GEAR (Geographic and Energy Aware Routing)

A été suggéré par Y. Yu, D. Estrin. Il consiste à utiliser l'information géographique lors de la diffusion des requêtes aux régions cibles car les requêtes contiennent souvent des données géographiques. L'idée est de restreindre le nombre de données dans la diffusion dirigée en Prenant en considération uniquement une certaine région, plutôt que d'envoyer les données à L'ensemble de réseau.

Avec le protocole GEAR, chaque nœud maintient le coût pour atteindre la destination en passant par ses voisins. Ce coût est divisé en deux parties : un coût estimé et un coût d'apprentissage. Le coût estimé est une combinaison de l'énergie résiduelle et de la distance Jusqu'à destination. Le coût d'apprentissage est un raffinement du coût estimé qu'un nœud dépense pour le routage autour des trous dans le réseau. Un trou se forme quand un nœud n'a pas de voisin proche par lequel il peut atteindre la région cible. S'il n'y a pas de trous, le coût estimé est égal au coût d'apprentissage. Le coût d'apprentissage se propage d'un saut à chaque fois qu'un paquet atteint la destination [36].

Les avantages

GEAR améliore la quantité d'énergie nécessaire pour l'établissement des routes.

GEAR présente également de meilleures performances en termes de perte de paquets.

GEAR réduit les nombres des intérêts émis.

• GAF (Géographic Adaptive Fidelity)

GAF (Geographic Adaptive Fidelity) est un protocole de routage basé sur la localisation des nœuds. Il est conçu principalement pour les réseaux mobiles ad hoc, mais peut être applicable aux réseaux de capteurs. La localisation des nœuds dans GAF pourrait être fournie à l'aide d'un GPS ou d'autres techniques de localisation. Il consiste à former des grilles virtuelles de la zone concernée en partitionnant cette

zone où les nœuds sont déployés en de petites zones telles que, pour deux grilles adjacentes, G_x et G_y , tous les nœuds de G_x peuvent communiquer avec tous les nœuds G_y . Ainsi, ce système de partitionnement GAF assure la fidélité du routage car il existe au moins un chemin entre un nœud et la station de base.

GAF peut augmenter considérablement la durée de vie du réseau. En effet, un seul nœud dans chaque grille reste à l'état actif en faisant passer les autres nœuds de la grille à l'état de sommeil pour une certaine période de temps tout en assurant la fidélité du routage. Cependant, dans certains environnements où les nœuds sont fortement mobiles, la fidélité du routage pourrait être réduite si un nœud actif quitte la grille. Ainsi, le nombre de données perdues sera important [37].

Le protocole de GAF est illustré dans la figure (cf. Figure 3.6).

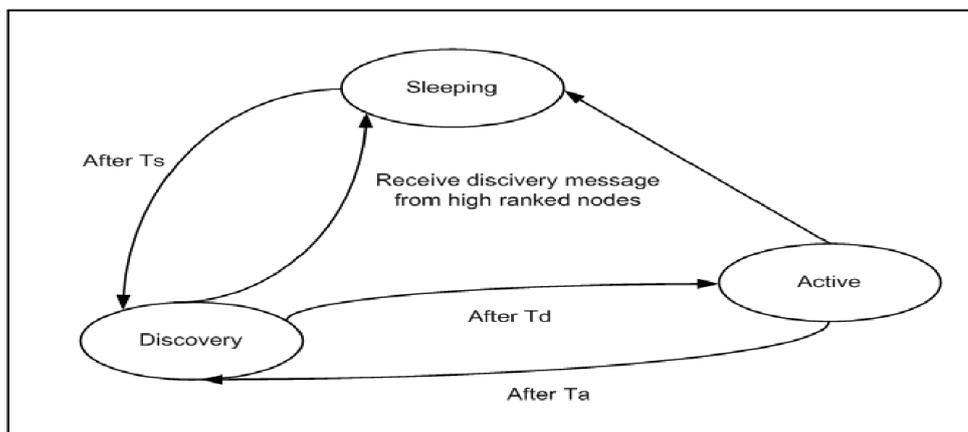


FIG. 3.6 – Protocole GAF : les états des nœuds dans GAF.

Les avantages

La durée de vie du réseau augmente avec l'augmentation de nombre de nœuds.

GAF gère la mobilité en incluant dans les messages de découvertes le temps estimé durant lequel il comprend rester dans la zone. Les nœuds voisins ajustent alors leur temps de veille T_v .

3.3 Le tableau donne un petit aperçu sur la classification de quelques protocoles de routage dans les RCSFs

Les protocoles	Classification	Mobilité	Basé sur la négociation	Agrégation des données	Utilisation d'énergies
LEACH	Hiérarchique	Station de base	Non	Oui	Max
PECASSIS	Hiérarchique	Station de base	Non	Non	Max
TEEN ET AP-TEEN	Hiérarchique	Station de base	Non	Oui	Max
GAF	basé sur la localisation	Limitée	Non	Non	Limitée
GEAR	basé sur la localisation	Limitée	Non	Non	Limitée
SPIN	Plat	Possible	Oui	Oui	Limitée
GOSSIPING	Plat	Limitée	Non	Non	Min

TAB. 3.1 – Classification et Comparaison des protocoles de routages dans les réseaux de capteurs.

3.4 Conclusion

Ces dernières années, le routage dans les réseaux de capteurs sans fil a fait l'objet de nombreuses études. Les véritables performances d'une méthode par rapport à une autre ne sont pas encor très évidentes, tant à cette recherche nous semble encor jeune. Dans ce chapitre nous avons présenté une étude comparative entre les protocoles de routage dans les réseaux de capteurs sans fil. D'une façon générale, les techniques de routage sont classifiées, en se basant sur la structure de réseaux, en trois catégories : les protocoles sont classifiés selon les hiérarchiques et basé sur la localisation, et le routage plats.

Le prochain chapitre sera consacré sur des hypothèses et la solution proposée ainsi les résultats de la simulation de notre solution.

Simulation et analyse des performances

4.1 Introduction

Un réseau de capteur est ensemble de nœuds capteurs déployés généralement dans des zones difficilement accessible pour prélever des mesures physiques telles que : la température, la pression, etc. Ces grandeurs physiques sont envoyées à la station de base à travers les nœuds intermédiaires (nœuds d'acheminement). Le problème posé dans le réseau de capteur est la conservation d'énergie. En effet ; les contraintes imposées par les capteurs sont : la petite capacité de stockage, les ressources d'énergie limitées (batterie) généralement non rechargeable, de ce fait ; les nœuds utilisent leurs énergies d'une manière efficace afin de prolonger leur durée de vie. En général, la portion la plus importante de l'énergie d'un nœud est consommée dans les activités de transmissions (émission/ réception).

Plusieurs solutions sont proposées dans la littérature et qui se basent sur l'énergie dans les réseaux de capteurs. La plus part de ces solutions se focalisent sur la couche MAC pour minimiser les collisions et l'écoute à un canal libre. Dans notre travail, nous proposons un protocole de routage pour préserver l'énergie des nœuds capteurs et prolonger la durée de vie du réseau. Dans ce chapitre, nous allons d'abord présenter le modèle du réseau, en suite, nous détaillons la solution proposée et enfin, une analyse sur les résultats de la simulation.

4.2 Modèle du réseau

Comme nous avons déjà vu dans le premier chapitre, les réseaux de capteur sans fil, ce modèle de réseau contient une station de base et un ensemble des nœuds. La

connexion se fait entre deux couples de nœuds. Chaque nœud est capable de recevoir et transmettre les informations capturé par les nœuds capteurs.

4.3 Hypothèses

Notre approche repose sur les hypothèses suivantes :

- Distribution aléatoire des nœuds sur la zone de déploiement.
- **En distingue deux catégories des nœuds :**

Les nœuds de capteurs captent l'information et transmettent aux nœuds intermédiaires.

Les nœuds intermédiaires (les nœuds d'acheminement) permettent de transporter l'information à la station de base.

- La mort d'un capteur est due à l'épuisement de son énergie.
- Les nœuds de capteurs sont fixes.
- Chaque nœud possède un identifiant unique.
- La station de base est vue comme une ressource illimitée.
- L'énergie initiale doit être identique pour chaque type de nœuds.

4.4 Solution proposée

Acheminement piloté par la station de base.

- La station de base va mettre une condition à transmettre aux nœuds d'acheminement (intermédiaires).

- L'ensemble des capteurs loin captent l'information et ils l'envoient aux nœuds intermédiaires qui sont proche de lui, après l'information est transmise à la station de base.

Comme dans notre cas de simulation, la station de base génère un nombre aléatoire, par exemple 30 comme une valeur de température. Elle distribue cette condition aux nœuds intermédiaire. Ces derniers vont tester si l'information transmise par les nœuds capteurs ne dépasse pas cette valeur, les nœuds d'acheminement ne transmettent pas cette information, donc ils ne consomment pas d'énergie de transmission, sinon ils transmettent aux nœuds voisins jusqu'à ce qu'elle arrive à la station de base.

Le schéma de notre solution est :

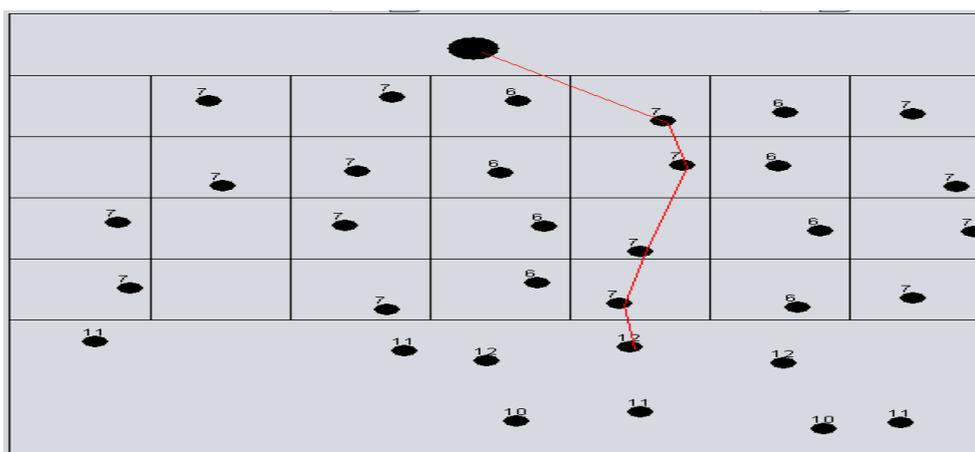


FIG. 4.1 – Schéma générale de notre solution.

4.5 La durée de vie du réseau

La principale contrainte dans les réseaux de capteur sans fil est la consommation d'énergie. Cette dernière a une grande influence sur la durée de vie du réseau. De fait que ce réseau a des nœuds capteurs avec des batteries limitées et non rechargeables, la plupart des approches repose sur ce point, afin de réduire la consommation d'énergie et augmenté la durée de vie du réseau.

D'après [38], Il existe de différentes définitions pour la durée de vie d'un réseau de capteurs (fondées sur la fonctionnalité désirée). Elle peut être définie par la durée jusqu'au moment où une proposition de nœuds meurt. Si la proposition de nœuds morts dépasse un certain seuil, cela peut avoir comme conséquence la non-couverture de sous-régions et / ou l'actionnement du réseau. Nous citons quelques définitions possibles proposées dans la littérature :

- La durée jusqu'à ce que le premier nœud épuise toute son énergie.
- La durée jusqu'à ce qu'il reste au plus une fraction ou une certaine de nœuds survivants dans le réseau.

4.6 Demi-vie du réseau

- La durée jusqu'à ce que 50% des nœuds épuisent leurs batteries et s'arrêtent de fonctionner.

- **La durée jusqu' que le réseau soit partitionné :**

Apparition de la première division du réseau en deux. Cela peut correspondre aussi à la mort du premier nœud (celui-ci tient une position centrale) ou plus tard

si la topologie du réseau est plus robuste.

4.7 Simulation

Pour valider notre solution, nous avons effectué une série de simulation avec JAVA sous l'environnement de développement netbeans a été utilisée pour simuler notre protocole de routage avec conservation d'énergie que nous avons proposé. Dans ce qui suit, nous allons énumérer les paramètres de simulation et citer les différentes métriques mesurées, ensuite, nous allons analyser et discuter les résultats de la simulation.

4.7.1 Paramètre de simulation

Le tableau 4.1 regroupe les différents paramètres utilisés dans la simulation.

Paramètre	Valeur
La surface du réseau (m*m)	(100*100)
Localisation de la station de base	(280,0)
Nombre de nœuds intermédiaires	24
Nombre de nœuds capteurs	9
Distance entre deux capteurs	/
Etans (énergie consommée durant transmission)	1 j

TAB. 4.1 – Les paramètres de la simulation.

4.7.2 Métriques de simulation

Afin de montrer l'efficacité de notre solution, nous avons considéré les métriques suivantes :

- **Energie résiduelle** : représente la quantité d'énergie restante de chaque nœud dans le réseau, elle est exprimée par la différence entre l'énergie initiale et l'énergie consommée par un capteur. L'énergie d'un capteur est mise à jour par l'affectation suivante :

$$E_g = \sum(E_i)$$

$$E_{\text{cons}} = E_{\text{trans}}$$

$$E_{\text{rest}} = E_i - E_{\text{cons}}$$

E_g : l'énergie globale.

E_i : l'énergie initiale.

E_{cons} : l'énergie consommée.

E_{trans} : l'énergie de transmission.

E_{rest} : l'énergie restante.

La distance entre les différents nœuds n'est pas fixe du fait que ces nœuds sont distribués d'une manière aléatoire dans la zone de déploiement.

- **Durée de vie** : représente la durée de vie du réseau.

4.8 Résultats de simulation

Notre modèle de simulation est une interface découpé en niveau dans le nombre de zone sont fixé à 28 et les nœuds intermédiaires varient entre 0 à 24, et le nombre de nœuds capteurs varient entre 0 et 9, les nœuds sont déployé aléatoirement dans les zones et leurs position est fixe durant la période de simulation.

La figure 4.2 illustre le déploiement des différents nœuds dans le réseau.

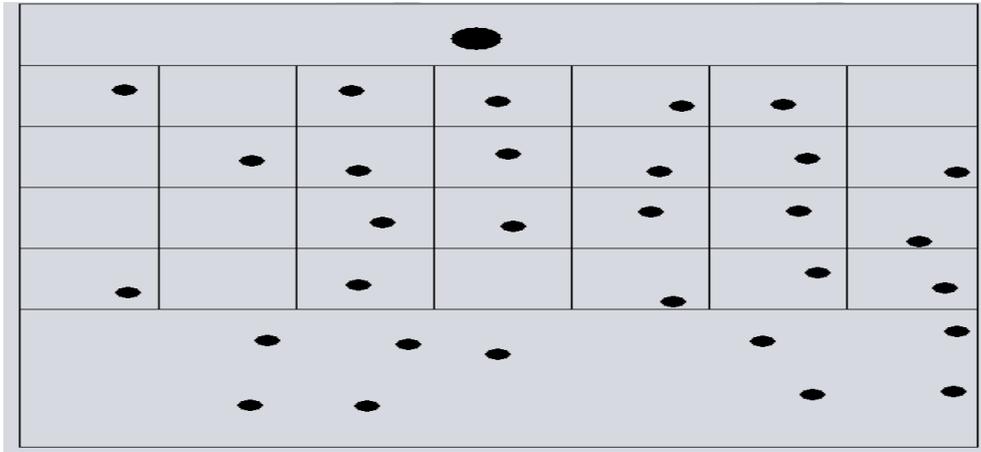


FIG. 4.2 – Déploiement des nœuds dans le réseau.

4.8.1 L'énergie résiduelle

$E_{\text{résiduelle}} = \sum (\text{énergie nœud capteur} * \text{nombre de nœud capteur} + \text{énergie nœud intermédiaire} * \text{nombre de nœud intermédiaire}) / \text{calibre}$.

Par exemple : $E_{\text{résiduelle}} = (10 * 24 + 20 * 8) / 2 = 100 \%$ c'est le cas d'exemple suivant :

L'énergie résiduelle a base de la température

Dans notre solution, nous avons choisi la température comme paramètre principale à mesurer. On distingue deux cas : la valeur de la température ne dépasse pas 30 degré et la valeur qui dépasse 30 degré.

• La température ne dépasse pas 30 degré

La figure suivante illustre l'estimation de l'énergie résiduelle du réseau en fonction du nombre d'événements produit dans le réseau. Nous observons dans le graphe une diminution du niveau de l'énergie du réseau à chaque fois que le nombre d'événements augmente.

Nous remarquons également que ce protocole consomme environ 40% de l'énergie quand le nombre d'évènements atteint 80 et l'énergie résiduelle du réseau se maintient à 60%. A ce stade, les nœuds capteurs ont absorbé leur énergie intégralement ce qui a causé leur disparition.

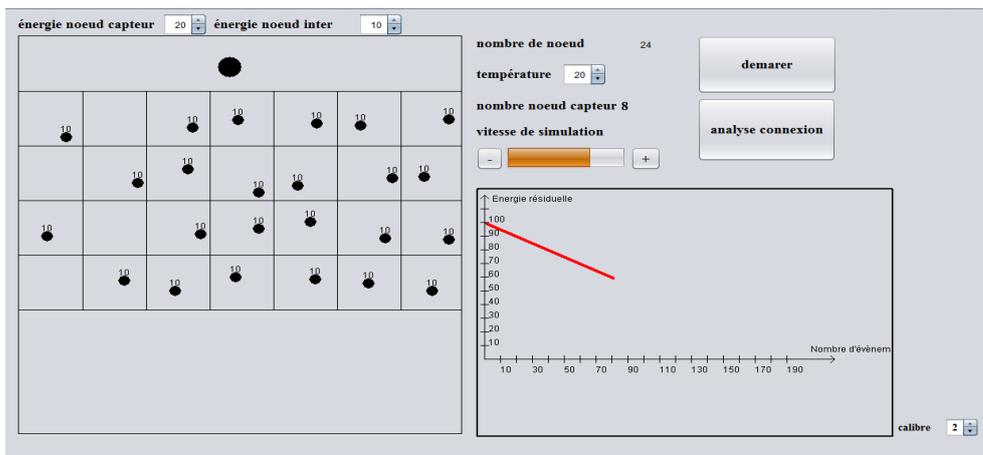


FIG. 4.3 – L'énergie résiduelle.

- **La température dépasse 30 degré**

Dans le cas où la température excède 30 degré, le nœud intermédiaire envoie l'information au nœud le plus près se trouvant au niveau supérieur, celui-ci transmet l'information en appliquant la même procédure jusqu'à ce qu'elle atteigne la station de base. Ce cheminement de l'information nécessite une forte consommation d'énergie par les différents nœuds intermédiaires. La figure (cf. Figure 4.4) montre l'évolution du niveau d'énergie des nœuds d'une manière dégressive.

Nous remarquons qu'à chaque fois le nombre d'événement augmente, l'énergie résiduelle diminue jusqu'à ce qu'elle atteigne un seuil de 35%. A ce niveau, le nombre d'événements produit se maintient 80, cette stagnation est due à la disparition des nœuds intermédiaires une fois qu'ils ont consommé toute leur énergie.

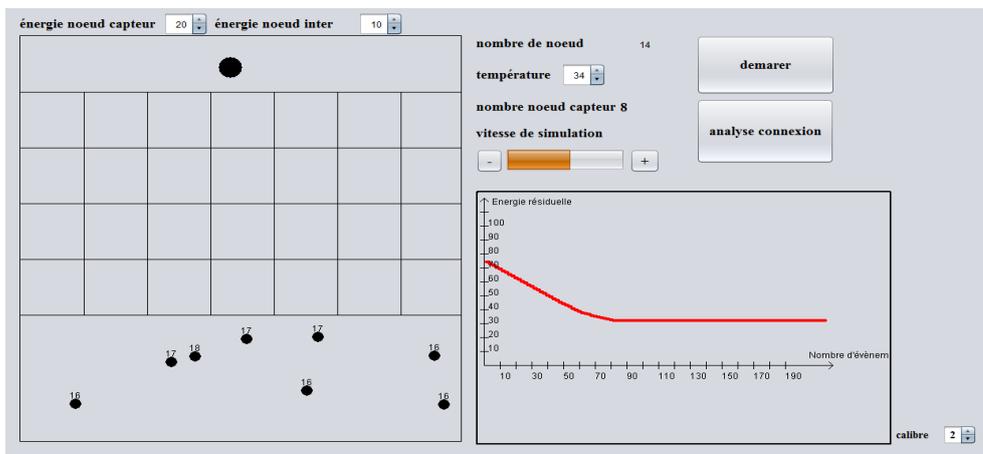


FIG. 4.4 – L'énergie résiduelle.

4.9 Conclusion

Plusieurs protocoles ont été développés dans les réseaux de capteurs sans fil dans le but de minimiser leur consommation d'énergie. Dans ce chapitre, nous avons proposées un protocole de routage pour minimiser la consommation d'énergie et augmenter la durée de vie du réseau.

D'après les résultats de la simulation, nous concluons que le protocole que nous avons exposée dans le chapitre présent permet de réduire l'énergie consommé au niveau des nœuds intermédiaires et augmente la durée de vie du réseau.

Conclusion Générale

Les réseaux de capteurs sans fil ont connu au cours de ces dernières années un grand élan aussi bien dans l'industrie que dans le milieu universitaire. Cela est principalement attribuable à l'ampleur sans précédent des possibilités qu'offre cette technologie. Les réseaux de capteur sans fil sont utilisés dans de nombreux Domain tels que l'industrie, le bâtiment, l'écologie (contrôle des polluants, du climat et des désastres), le domaine médical ou bien encore le militaire. C'est une technologie en plein essor et qui a de très nombreux débouchés.

La vie d'un réseau de capteurs dépend de la durée de vie des nœuds qui le composent cette durée dépend, à son tour, de la qualité d'énergie que contiennent les batteries qui ne sont ni remplaçables ni rechargeables, dans la quasi-totalité des cas.

Dans notre travail, nous sommes intéressés à la problématique de la conservation de l'énergie durant l'acheminement des données vers la station de base. Avant de proposer notre solution à ce problème, nous avons étudié plusieurs protocoles de routage appartenant à différentes catégories afin de s'inspirer de leurs techniques. Dans un réseau de capteurs. Dans ce dernier, les nœuds capteurs sont alimentés par des batteries à faible capacité, généralement non rechargeables car les nœuds capteurs sont déployés dans des zones difficilement accessibles. Afin de prolonger la durée de vie du réseau de capteurs en minimisant la consommation d'énergie, plusieurs solutions ont été proposées. La majorité de ces solutions essaient d'éviter les différentes causes de perte d'énergie. Généralement, ces solutions ne sont pas suffisamment optimales ce qui laisse l'énergie dans un réseau de capteur un problème de recherche ouvert.

Les résultats de simulation sont très favorables pour notre protocole d'une manière de conservation d'énergie, il montre aussi certains nœuds gardent une quantité d'énergie résiduelle.

Ce travail nous a permis de familiariser avec Netbeans, qui est actuellement est très utiliser pour la création des interfaces de nombreux simulateurs informatiques.

Nous nous sommes concentrés dans ce travail sur la conservation des énergies dans réseau de capteur sans fil, dont l'objective est de fournir une approche minimiser l'énergie résiduelle.

En guise de perspective, nous envisageons de poursuivre notre travail de comparer notre protocole de routage avec des travaux de référence en terme de certain métrique telle que la dures de vie .En plus, nous comptons d'améliorer d'avantage notre protocole pour le rendre plus scalable.

Bibliographie

- [1] Lehsaini Mohamed, "Diffusion et couverture basées sur le clustering dans les réseaux de capteurs : application à la domotique", Thèse de Doctorat en Informatique, Université A.B Tlemcen Faculté des Sciences pour l'Ingénieur ET Université de Franche-Comté U.F.R Sciences et Techniques École Doctorale SPIM, 2009.

- [2] Isabelle Augé-Blum, "Proposition et validation formelle d'un protocole MAC temps réel pour réseaux de capteurs linéaires sans fils", Mémoire de Master Recherche Informatique Spécialité Réseaux, Télécommunications et Services, Université de Lyon, 2004/2005.

- [3] Z.Bouzidi and A.Benameur, "mise en place d'un réseau de capteur sans fil pour l'irrigation intelligente", Master's thesis, Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique, Juillet, 2012.

- [4] I.F. Akyildiz, W.Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, " Wireless sensor networks : a survey", computer networks, vol 38,pp.393-422, March, 2002.

- [5] Meldjem Sara, Khalfi Chahinez, Merabtine Nour-Houda, Hadj Rabah Karima, "Les réseaux de capteurs", Université des sciences et de la Technologie Houari Boumediene Faculté d'électronique et d'informatique, 2013/2014.

- [6] F. Zhao, "Collaborative signal and information processing : an information directed approach", University Logan, USA, 2003.

- [7] K. Akkaya and M. Younis, "A survey on routing protocols for wireless sensor networks. Ad Hoc Networks", Elsevier Journal of Ad Hoc Networks, 2005.
- [8] Berrachedi Amel, Diarbakirli Amina, "Sécurisation du protocole de routage hiérarchique LEACH dans les réseaux de capteurs sans fil", Ecole nationale Supérieure d'Informatique (E.S.I) Oued-Smart, Alger, 2008 /2009.
- [9] Seltana Abbas, "Implémentation d'une application orientée surveillance pour les réseaux de capteurs", Université Abou Bakr Belkaid- Tlemcen Faculté des Sciences Département d'Informatique, 2011 /2012.
- [10] Yousef Yaser, "Routage pour la Gestion de l'Energie dans les Réseaux de Capteurs Sans Fil", Thèse de Doctorat, Spécialité Informatique, Faculté des Sciences et Techniques, Université de haute alsace, 08/07/2010.
- [11] Bouabdellah Kechar, "Problématique de la consommation de l'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil", Séminaire LIUPPA, Université de Pau et des Pays de l'Adour, 14 Octobre 2007.
- [12] L. Li and J.Y. Halpern, "Minimum-Energy Mobile Wireless Networks Revisited, in Proceedings of the IEEE", Finland, June 2001.
- [13] J.N. Al-Karaki et A.E. Kamal, "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks : a Survey", In IEEE Wireless Communications, Volume 11, Issue 6, On pages 6-28, ISSN : 1536-284, December 2004.
- [14] Prométhée Spathis, Serge Fdida, Yosra Barouni, "Modèle générique pour le routage orienté contenu", Document scientifique, hal-00260342, Laboratoire d'informatique de Paris 6, Université Pierre et Marie Curie, Mars 2008.
- [15] Lyes Khelladi, Nadjib Badache "Les réseaux de capteurs : état de l'art ", Rapport de recherche, Algérie, Février 2004.
- [16] Hani Hadjammar, Naouel Doufene, "Routage dans les réseaux de capteurs : optimisation du protocole Directed Diffusion", Projet de fin d'étude, Institut

- National de formation en Informatique INI, Algérie, 2006.
- [17] Yasmina Khalfaoui, "Routage dans les réseaux de capteur sans fils", Projet de fin d'étude, Centre universitaire Mustapha Stambouli, Mascara, 2006.
- [18] Garcia Luna Aceves, Soumya Roy, "Node-Centric Hybrid Routing for Ad Hoc Networks ", mobiwac, International Mobility and Wireless Access Workshop (MobiWac'02),Page63,University of California at Santa Cruz, 2002.
- [19] Lyes Khelladi, Nadjib Badache, "Improving Directed Diffusion With Power-Aware Topology Control For Adaptation to High Density", LOCALGOS'08 workshop, in conjunction with The 4th IEEE/ACM International Conference on Distributed Computing In Sensor System (DCOSS 2008), Algeria, 2008.
- [20] Abdelmadjid Bouabdallah, Hatem Betthahar, Yacine Challal, "Les Réseaux de capteurs (WSN : Wireless Sensor Networks)", Cours, Université de Technologie de Compiègne, France, 2008.
- [21] Abdallah Makhoul, Ahmed Mostefaoui, Jacques Bahi, "A Mobile Beacon Based Approach for Sensor Network Localization", Third IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, Page 44, Washington DC, USA, 2007.
- [22] Cedric Richard, Hichem Snoussi, Mehdi Essoloh, "Localisation distribuée dans les réseaux de capteurs sans fil par résolution d'un problème quadratique", Revue, éditée par : GRETSI, Groupe d'Etudes du Traitement du Signal et des Images, Université de Technologie de Troyes, Septembre 2007.
- [23] Imad Mahgoub, Mohammad Ilyas, "Sensor Network Protoco ", Hardcover Book, ISBN : 0849370361,page 248, USA, 27 Janvier 2006.
- [24] Eya Dhib, "Routage avec QoS temps réel dans les réseaux de capteurs", Projet fin d'étude ingénierie de réseaux, Ecole Supérieure des Communications de Tunis, 2007.

- [25] Ahmed Kamal, Jamal Al-Karaki, "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks : A Survey", IEEE Wireless communications, Page (s) : 6-28, Iowa State University, USA, 2004.
- [26] Jamal N. Al-karaki, Ahmed E. Kamal, "Routing techniques in wireless sensor networks : a survey", dep. Of electrical and computer engineering, Iowa State University.
- [27] K.Akkaya and M.Younis,A suery on routing protocols for wirless sensor networks,Ad Hoc Networks,Vol .3(3),pp.325-349,2005.
- [28] W.Heinzelman,J.Kulik,and H.Balakrishnan "Adaptive protocols for infromation dissemination in wireless sensor networks ,in procceding of the 5 Annul" ACM/IEEE International Conference on mobilie Compiting and Networking (MobiCom '99),Seattle,W A ,1999.
- [29] B.Krishnamachari,D.Estrin,and S.Wicker,"Modeling Data Centric Routing in Wireless Sensor Networks", Proceedings of IEEE INFOCOM, New York,NU,pp.1-11,June 2002.
- [30] W.R Heinzelman,A Chandrakasan , and H. Balakrishnan "Energy-Efficient Communication Proctocol ForWireless Microsensor Netxorks,Massachusetts" Institute of Technology, Cambridge,MA 02139 ,Procceedings of the 33rd Hawaii Internationnal Conference on Systeme Science-2000.
- [31] W.B Heinzelman " An Application-Specific Protocol Archetecture For Wireless Microsensor Networks",Member IEEE,Anantha P.Chandrakasan,Senior Member,IEEE,and Hari Balakrishnan ,Member,IEEE,IEEE tranctions on wireless communications,vol.1,no,4, October 2002.
- [32] N.Wang and H.Zhu.An Energy Efficient Algrithm Based on LEACH Protocol College of InformationEngineering ,Zheng Zhou University ,Zhengzhou,China,2012 International Conference on Computer Science and Electronics Engineering.

- [33] F.Liu,College of science,Huazhong Agriculture University Wuhan,China,20 II Internatinal Conference on Computer Science and Network Technology.
- [34] L.Ding "The Improvement of LEACH Protocol in WSN",College of science ,Huazhong Agriclural University Wuhan,China,20 II International Conference on Computer Science and Network Technology.
- [35] A.S.Zahmati, B. Abolhassani, A .B. Shirazi,and A,S .Bakhtiari,World Academy of Science ,Engineering and Technollogy,International Journal of Computer,Electrical,Automation,Control and Information Engineering Vol :1,No :4,2007.
- [36] Y.Yu,R.Govindan,and D.Estrin "Geographical and Energy-Aware Routing : A Recursive Data Dssemination Protocol For Wireless Snesor Network",CLA Computer Science Department Technical Report,UCLA-CDS TR-01-0023,May 2001.
- [37] Y.XU,J.Heidemann,and D.Estrin "Geographiy-informed energy conservation for ad-hoc routing", Proceedings of thee 7 Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking(MobiCom'01),Rome,Italy,pp.70-84,July 2001.
- [38] Kacimi Rahim, "Techniques de conservation d'énergie pour les réseaux de capteurs sans fils", Thèse de Doctorat Réseaux et Télécommunications, Institut National Polytechnique de Toulouse, Le 28 Septembre 2009.

Résumé

Un réseau de capteurs est un ensemble de nœuds déployés dans une zone de capture pour prélever des grandeurs physiques telles que la température, l'humidité, la pression, etc. Les nœuds capteurs sont alimentés par des batteries généralement non rechargeables et à capacité limitée. Ceci rend l'énergie une ressource critique à conserver pour prolonger la durée de vie du réseau.

L'objectif de ce mémoire est la conservation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil. Nous avons proposé un nouveau protocole d'acheminement piloté par la station de base dont les nœuds capteurs transmettent une notification de température aux nœuds intermédiaires. Ces derniers vont tester si la température transmise par les nœuds capteurs ne dépasse pas la valeur limitée par la station de base, et donc ils n'acheminent pas cette information, sinon ils la transmettent aux nœuds voisins jusqu'à ce qu'elle arrive à la station de base.

Mots-clés : Réseau de capteurs, Conservation d'énergie, Protocole de routage, Simulation au temps réelle.

Abstract

A sensor network is a set of nodes deployed in a capture zone for taking physical values such as temperature, humidity, pressure, etc. The sensor nodes are usually powered by irreplaceable batteries with limited capacity. This makes the energy a critical resource to preserve in order to extend the lifetime of network.

The objective of this paper is energy conservation in wireless sensor networks. We proposed a new routing protocol driven by the base station which the sensor nodes notify the temperature to base station by intermediate nodes. These range will test if the temperature transmitted by the sensor nodes does not exceed the value limited by base station. If this occur, then the routing nodes do not transmit this information, otherwise they shall communicate to neighboring nodes until this information arrives at the base station.

Keywords : Sensor networks, Energy conservation, Routing protocol.