

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N° Réf :.....

Centre Universitaire
Abdelhafid Boussouf Mila

Institut des Sciences et Technologie

Département de Mathématiques et Informatique

Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de Master

En : Informatique

Spécialité : Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication
(STIC)

Thème

**Conservation d'énergie dans les
réseaux de capteurs sans fil**

Préparé par : Benosmane Ayoub

Latrache Samah

Soutenue devant le jury

- Talai Meriem (MAA)
- Deffas Zineb (MAA)
- Afri Faiza (MAA)

C.U.Abdelhafid Boussouf
C.U.Abdelhafid Boussouf
C.U.Abdelhafid Boussouf

Président
Encadreur
Examineur

Année Universitaire : 2020/2021

REMERCIEMENT

Je tiens remercier mon dieu au d'abord puis moi-même puis tout le monde.

Résumé

Durant les dernières années, un nouveau domaine de recherche s'est créé pour offrir des solutions économiquement intéressantes et facilement déplorables à la surveillance à distance et au traitement des données dans les environnements complexes, c'est les réseaux de capteurs sans fil.

La consommation d'énergie est considérée parmi les majeures contraintes dans les réseaux de capteurs et la source de beaucoup de défis scientifiques et techniques.

Dans ce travail, nous avons traité le problème de la maximisation de la durée de vie en conservant l'énergie. Nous avons utilisé une nouvelle technique qui est le protocole LEACH optimisé. Cette dernière englobe deux techniques qui sont le cycle de service et le clustering puis donne des améliorations sur la méthode d'élection, et nous avons utilisé l'outil de MATLAB pour faire la simulation.

Abstract

In recent years, a new field of research has been created to offer cost-effective and easily deplorable solutions to remote monitoring and data processing in complex environments: wireless sensor networks.

Energy consumption is considered among the major constraints in sensor networks and the source of many scientific and technical challenges.

In this work, we addressed the issue of maximizing life by conserving energy. We used a new technique which is the optimized LEACH protocol. The latter includes two techniques which are the service cycle and clustering and then gives improvements on the election method, and we used the MATLAB tool to do the simulation.

المخلص

في السنوات الأخيرة، تم إنشاء مجال جديد من البحوث لتقديم حلول فعالة من حيث التكلفة وسهلة الاستنكار للرصد عن بعد ومعالجة البيانات في بيئات معقدة: شبكات الاستشعار اللاسلكية.

ويعتبر استهلاك الطاقة من بين القيود الرئيسية في شبكات الاستشعار ومصدر العديد من التحديات العلمية والتقنية.

وفي هذا العمل، تناولنا مسألة إطالة عمر الشبكة بالحفاظ على الطاقة. و قمنا باستخدام تقنية جديدة وهي بروتوكول LEACH المحسن. وتشمل هذه الأخيرة تقنيتين هما دورة الخدمة والتجميع ثم قدمنا تحسينات فيما يخص طريقة الانتخاب واستخدمنا أداة MATLAB لإجراء المحاكاة.

Sommaire:

Remerciement	I
Résumé	II
Introduction générale	1
Chapitre1: Réseaux de capteurs sans fil	
1.1 Introduction.....	3
1.2 Les capteurs sans fil.....	3
1.2.1 Définition.....	3
1.2.2 Les différents types de capteurs.....	4
1.2.3 Architecture d'un capteur.....	5
1.3 Les réseaux de capteurs sans fil.....	6
1.3.1 Applications des réseaux de capteurs sans fil	7
1.3.2 Principaux défis de conception	10
1.3.3 Topologies des réseaux	13
1.4 Conclusion	15
Chapitre2 : La consommation d'énergie	
2.1 Introduction	16
2.2 Notion de durée de vie d'un réseau	16
2.3 Formes de dissipations d'énergie	18
2.3.1 Le microcontrôleur unité (MCU)	18
2.3.2 Le radio	18
2.3.3 Les capteurs	19
2.4 Causes de surconsommation d' 'energie	20
2.4.1 Collisions et Retransmissions	20
2.4.2 "Overmitting" ou envoi infructueux	20
2.4.3 Ecoute à vide ou "idle listening"	21
2.4.4 Ecoute abusive ou "overhearing"	21
2.4.5 Overhead des paquets de contrôle	21
2.5 Mécanismes de conservation de l'énergie	22
2.5.1 Mode d'économie d'énergie	22
2.5.2 Traitement local	22
2.5.3 Organisation des échanges	22

2.5.4	Limitation des accusés de réception	23
2.5.5	Répartition de la consommation d'énergie	23
2.6	Conclusion	24
Chapitre3 : Techniques de conservation d'énergie existantes		
3.1	Introduction	25
3.2	Approches générales en matière d'économie d'énergie	26
3.2.1	Cycle de services	26
3.2.2	Protocoles MAC écoénergétiques pour RCSF	30
3.3	Approches fondées sur des données	40
3.3.1	Méthodes de prévision des données et traitement en réseau	41
3.4	Conclusion	45
Chapitre4 : Solution améliorée et les résultats de simulation		
4.1	Introduction	46
4.2	solution améliorée.....	46
4.3	Principe de fonctionnement.....	47
4.3.1	Phase d'annonce et création de clusters	47
4.3.2	Phase d'ordonnancement	48
4.3.3	Phase de transmission	48
4.4	Outil de simulation	49
4.4.1	Origines	49
4.5	Les résultats	51
4.6	Extrait du code source	52
4.7	Conclusion	57
Conclusion Générale		58
Bibliographie.....		VIII

Liste des figures:

Figure 1.1 : Un capteur idéal pour mesurer la température et humidité.....	4
Figure 1.2 : L Architecture d'un capteur	5
Figure 1.3 : Topologie de déploiement différente.....	6
Figure 2.1 : A gauche - Transmissions directes. Au centre - Transmission saut par saut. À droite - Hiérarchisation en clusters.....	24
Figure 3.1 : Écoute et sommeil périodiques.....	31
Figure 3.2 : Enquête sur les paquets CTS et RTS.....	32
Figure 3.3 : Schéma de protocole T-MAC de base avec temps actif adaptatif.....	33
Figure 3.4 : Comparaison entre S-MAC et T-MAC.....	34
Figure 3.5 : Une transmission peut se terminer à l'heure prévue du sommeil ou de l'écoute.....	35
Figure 3.6 : Organisation des créneaux horaires.....	36
Figure 3.7 : Structure d'A-MAC.....	38
Figure 3.8 : Structure de Wise-MAC.....	39
Figure 4.1 : Environnement de travail MATLAB.....	50
Figure 4.2 : Le réseau des capteurs sans fil.....	51
Figure 4.3 : Les nœuds opérationnels par les tours.....	51
Figure 4.4 : Les nœuds opérationnels par transmissions.....	52
Figure 4.5 : Le quantum d'énergie consommé par chaque transmission.....	53
Figure 4.6 : Pseudo-code de la création de réseau de capteur sans fils.....	54
Figure 4.7 : Pseudo-code de la configuration de réseau de capteur sans fil.....	55
Figure 4.8 : Pseudo-code de l'état stable.....	56

Table des acronymes

ADC Analog to Digital Converter.

A-MAC Advertisement-based MAC

APTEEN Adaptive TEEN

AR Régression Automatique

ARM Atlantique Régulation Mesure

ARMA Atlantique Régulation Mesure Automatique

B-MAC Berkeley MAC

BS Base Station

CH Cluster Head

CSMA Carrier Sense Multiple Access

CSMA/CA CSMA with Collision Avoidance

DARPA Defense Advanced Research Projects Agency

DEE-MAC MAC économe en énergie dynamique

DRAND Distributed Randomized TDMA

ECN Explicit Contention Notification

GAF Geographic Random Forwarding

GPS Géographique position système

HCL High Contention Level

LEACH Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy

LCL Low Contention Level

LWIM Micros capteurs intégrés sans fil

MAC Media Access Control

MANET Mobile Ad-hoc Networks

MATLAB Laboratoire Matriciel

MCU Micro Controller Unit

MEMS Micro Electro Mechanical Systems

NM Nœud Membre

PDF Fonction De Densité De Probabilité.

PEGASIS Power-Efficient GATHERing in Sensor Information Systems

PTW Pipelined Tone Wakeup

RCSF Réseau de Capteur Sans Fil

RS Reception Schedules

RTS/CTS Request To Send, Clear To Send

S-MAC Sensor MAC

SensIT Sensor Information Technology

STEM Science, Technologie, Ingénierie et Mathématiques

T-MAC Timeout MAC

TECN Time Explicit Contention Notification

TEEN Threshold sensitive Energy Efficient Sensor Network

TDMA Time Division Multiple Access

TRAMA Trafic Adaptive Medium Access

U-MAC Utilization-MAC

μMAC MAC économe en énergie

UV Ultra Violet

WINS Wireless Integrated Networked Sensors

Z-MAC Zebra MAC

Introduction générale :

Les réseaux de capteurs sont parmi les fameuses inventions de ces dernières années. Grâce aux récentes avancées technologiques dans le domaine des communications sans fil, il y a eu le développement de minuscules systèmes, appelés nœuds de capteurs, qui sont autonomes, équipés de capteurs et capables de communiquer entre eux sans fil, selon leur structure électronique, ils peuvent détecter des signaux mécaniques, acoustiques, électriques, photoniques, électromagnétiques, vibratoires, etc.

Cette nouvelle technologie qui ne cesse de développer promet de révolutionner notre façon de vivre, de travailler et d'interagir avec l'environnement physique qui nous entoure. Aujourd'hui, des nœuds de capteurs minuscules et bons marchés peuvent être facilement éparpillés sur des routes, des structures, des murs ou des corps humain.

Néanmoins, beaucoup de problèmes restent encore à régler et beaucoup de solutions proposées dans la recherche demeurent encore à améliorer, telles que les solutions proposées aux problèmes d'optimisation de l'énergie dépensée, de routage des données, d'auto-organisation en cas de perte de nœuds, agrégation des données, etc.

La consommation énergétique est considérée parmi les majeurs soucis et la contrainte clef dans les réseaux de capteurs, c'est dans cette optique que s'inscrivent les travaux présentés dans ce manuscrit.

Dans ce mémoire, nous commençons par une introduction aux réseaux de capteurs sans fil, la conception, les caractéristiques, et leurs applications dans les différents domaines et principaux défis de conception.

Dans le deuxième chapitre, nous avons évoqué quelques notions sur la durée de vie des capteurs sans fil, puis nous avons cité les différentes formes de dissipation d'énergie durant l'activité des nœuds, les causes de surconsommation de l'énergie et puis les mécanismes de conservation de l'énergie.

Le chapitre trois étudie les différentes techniques de conservations d'énergie existantes, qui sont divisés en deux parties : la première partie est une approche générale en matière d'économie d'énergie et la deuxième est une approche fondée sur des données.

Dans le quatrième chapitre, nous avons traité particulièrement une solution proposée basée sur le protocole hiérarchiques appelée LEACH Amélioré en utilisant le simulateur

MATLAB et a la fin en montrant que ce protocole est diminué la consommation d'énergie dans les réseaux des capteurs sans fil.

Chapitre 1

1.1 Introduction:

Grâce au progrès immense et sans égale dans le domaine technique, une nouvelle architecture a vu le jour, c'est les réseaux de capteurs sans fils. Ce type de réseaux résulte d'une fusion de deux pôles de l'informatique moderne : les systèmes embarqués et les communications sans fils.

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) sont pratiquement composés d'un ensemble d'unités de traitement embarquées, appelées "nœuds de capteur : motes", communiquant via des liens sans fils, leur but général est la collecte d'un ensemble de paramètres de l'environnement entourant, faire le traitement et les transmettre vers le monde d'extérieur.

Ces réseaux sont employés dans divers domaines d'applications telles que la médecine, la sécurité, la surveillance environnementale etc.

Grâce à ce potentiel riche en applications, les RCSF ont su se démarquer de leur origine

MANET et attirer de grandes firmes à travers le monde, tels que IBM, Sun, Intel et Philips.

En parallèle, des perspectives d'amélioration et des recherches sont en cours pour régler de multiples contraintes liées aux RCSF telles que la durée de vie du réseau (assuré la connectivité et la couverture), la sécurité, la défaillance des nœuds de capteurs (des cassures, des pannes physiques etc.).

1.2 Les Capteurs sans fil:

1.2.1 Définition:

Un capteur est un petit appareil autonome capable d'effectuer des mesures simples sur son environnement immédiat, comme la température, la vibration, la pression, etc. Chaque capteur assure trois fonctions principales : la collecte, le traitement et la communication de l'information vers un ou plusieurs points de collecte appelés station de base (SB) [1].

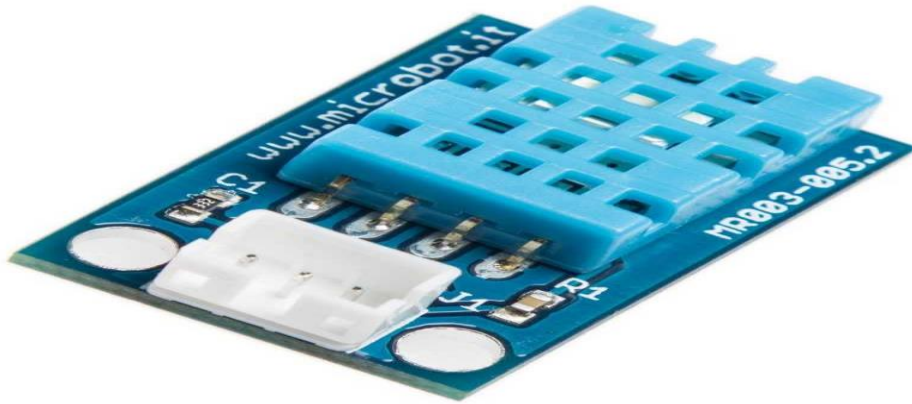


Figure 1.1 : Un capteur idéal pour mesurer la température et humidité. [1]

1.2.2 Les différents types de capteur :

Voici quelques exemples des différents types de capteurs :

- Dans un thermomètre à mercure en verre, la grandeur mesurée est la température. En fonction de cette donnée, le mercure liquide contenu dans le thermomètre se dilate et se contracte, son niveau augmentant et diminuant en conséquence le long du tube gradué, lisible par l'utilisateur.
- La sonde à oxygène du système antipollution d'un véhicule détecte le rapport carburant/oxygène, généralement au moyen d'une réaction chimique qui génère une tension. Un calculateur dans le moteur lit la tension et, si le mélange n'est pas optimal, rétablit l'équilibre.
- Les capteurs de mouvement dans divers dispositifs dont les éclairages de sécurité domestique, les portes automatiques et les équipements de salle de bain diffusent généralement de l'énergie, par exemple des micro-ondes, des ondes ultrasoniques ou des faisceaux de lumière et détectent toute interruption de ce flux lorsque quelque chose ou quelqu'un coupe sa trajectoire.
- Un capteur photosensible, ou photo détecteur, détecte la présence de lumière visible, de rayonnement infrarouge et/ou d'ultraviolets (UV).

1.2.3 Architecture d'un capteur:

L'évolution de l'architecture des capteurs est un des facteurs qui a permis l'essor de solutions à base de réseaux de capteurs. En effet les capteurs des générations précédentes avaient une architecture qui se limitait au capteur proprement dit (dispositif capable de mesurer une grandeur physique) et une unité d'alimentation (batterie, piles, etc.).

Les capteurs actuels ont su évoluer pour ajouter les fonctionnalités de traitement de l'information et de la communication de cette information. La figure 1 est l'illustration la plus générale de l'architecture d'un capteur.



Figure : 1.2 Architecture d'un capteur. [2]

- **L'unité de traitement** : c'est l'unité principale du capteur, généralement un processeur couplé à une mémoire vive. Son rôle est de contrôler le bon fonctionnement des autres unités. Sur certains capteurs elle peut embarquer un système d'exploitation pour faire fonctionner le capteur. Elle peut aussi être couplée à une unité de stockage, qui servira par exemple à y enregistrer les informations transmises par l'unité de capture.
- **L'unité de capture** : elle permet la capture des données, c'est à dire la mesure des grandeurs physiques ou analogiques et leur conversion en données numériques. Elle est composée du capteur lui-même et de l'ADC (Analog to Digital Converter).

Le capteur est chargé de récupérer les signaux analogiques qu'il transmet à l'ADC qui a pour rôle de transformer et de communiquer les données analogiques en données numériques compréhensibles pour l'unité de traitement.

- **L'unité de communication** : elle a pour fonction de transmettre et recevoir l'information. Elle est équipée d'un couple émetteur/récepteur. Elle permet la communication au sein du réseau, dans le cas qui nous intéresse par radiofréquence (ondes radios). Il existe cependant d'autres possibilités de transmission (optique, infrarouge, etc. . .).
- **L'unité d'alimentation** : élément primordial de l'architecture du capteur, c'est elle qui fournit en énergie toutes les autres unités. Elle correspond le plus souvent à une batterie ou une pile alimentant le capteur, dont les ressources limitées en font une problématique propre à ce type de réseau. La réalisation récente d'unité d'alimentation à base de panneaux solaires tente d'apporter une solution pour prolonger sa durée de vie [2], [3].

1.3 Les réseaux de capteurs sans fil:

Les progrès technologiques récents nous permettent d'envisager un avenir où un grand nombre de faible puissance, les dispositifs de capteur peu coûteux sont étroitement intégrés dans le environnement physique, fonctionnant ensemble dans un réseau sans fil. La les applications de ces réseaux de capteurs sans fil s'étendent largement : habitat écologique surveillance, surveillance de la santé des structures, détection des contaminants dans l'environnement, le contrôle des processus industriels et le suivi des cibles militaires, entre autres.

Un rapport du Conseil national de recherches des États-Unis intitulé Embedded Everywhere note que l'utilisation de tels réseaux dans l'ensemble de la société « pourrait bien éclipser la révolution de l'information » [4]. Les réseaux de capteurs sans fil ponts entre le monde virtuel de la technologie de l'information et monde. Ils représentent un changement fondamental de paradigme.les communications personnelles aux communications inter-périphériques autonomes.

Ils promettent de nouvelles capacités sans précédent pour observer et comprendre à grande échelle, phénomènes du monde réel à une résolution spatio-temporelle fine. En conséquence, sans

fil réseaux de capteurs ont également le potentiel d'engendrer de nouvelles découvertes scientifiques progrès.

Alors que la notion de mise en réseau des capteurs distribués et leur utilisation dans et les applications industrielles remontent au moins aux années 1970, les premiers systèmes ont été principalement filaires et à petite échelle. Ce n'est que dans les années 1990 – lorsque les technologies sans fil et la conception du VLSI à faible puissance est devenue possible – les chercheurs ont commencé envisager et étudier des réseaux de capteurs sans fil embarqués à grande échelle pour applications de détection dense.

Peut-être l'un des premiers efforts de recherche en ce sens a-t-il été Projet de micros capteurs intégrés sans fil (LWIM) à l'UCLA financé par DARPA [5]. Le projet LWIM s'est concentré sur le développement de dispositifs à faible puissance l'électronique afin de permettre de grands réseaux de capteurs sans fil denses. Ce projet a été remplacé par le projet WINS (Wireless Integrated Networked Sensors) quelques années plus tard, dans laquelle des chercheurs de l'UCLA ont collaboré avec Rockwell Science Center pour développer certains des premiers dispositifs de capteurs sans fil. D'autres les projets dans ce domaine, qui ont débuté vers 1999-2000, étaient également à plusieurs endroits, y compris le MIT, Berkeley et l'USC. Des chercheurs de Berkeley ont mis au point un réseau de capteurs sans fil intégrés dispositifs appelés motes, qui ont été rendus publics commercialement, avec TinyOS, un système d'exploitation embarqué associé qui facilite l'utilisation de ces dispositifs [6].

La disponibilité de ces dispositifs comme un facilement programmable, entièrement fonctionnel, plate-forme relativement peu coûteuse pour l'expérimentation, et le déploiement réel a joué un rôle important dans la révolution des réseaux de capteurs sans fil en cours.

1.3.1 Applications des réseaux de capteurs sans fil :

Les différentes applications envisagées de RCSF sont encore très en cours recherche et développement, tant dans le milieu universitaire et le milieu industrielle, Nous décrivons brièvement quelques applications de différents domaines pour donner une idée de la vaste portée de ce domaine :

- **Surveillance de l'habitat écologique** : Les chercheurs mènent traditionnellement des études scientifiques sur les habitats écologiques (animaux, plantes, micro-organismes) dans le cadre d'activités pratiques sur le terrain. Une des grandes préoccupations de ces études est ce qu'on appelle parfois l'« effet observateur », c'est-à-dire que la présence même et les activités potentiellement intrusives des chercheurs sur le terrain peuvent influencer sur le comportement des organismes dans l'habitat surveillé et, par conséquent, fausser les résultats observés. Les réseaux de capteurs sans fil sans surveillance promettent une approche plus propre et à distance de la surveillance de l'habitat. De plus, les réseaux de capteurs, en raison de leur densité spatio-temporelle potentiellement importante, peuvent fournir des données expérimentales d'une richesse sans précédent.

L'un des premiers déploiements expérimentaux de réseaux de capteurs sans fil était pour la surveillance de l'habitat, sur l'île Great Duck, dans le Maine [7]. Une équipe de chercheurs du laboratoire de recherche Intel à Berkeley, Université de Californie à Berkeley, et le Collège de l'Atlantique à Bar Harbor ont déployé des nœuds de capteurs sans fil dans et autour des terriers de l'océanité orageux de Leach, un oiseau qui forme une grande colonie sur cette île pendant la saison de reproduction. Les données transmises par le réseau sensoriel ont été mises à disposition sur le Web, via une station de base sur l'île connectée à une liaison de communication par satellite.

- **Surveillance militaire et suivi des cibles** : Comme pour de nombreuses autres technologies de l'information, les réseaux de capteurs sans fil sont principalement issus de la recherche militaire. Les réseaux de capteurs sans surveillance sont envisagés comme l'ingrédient clé de la transition vers des systèmes de guerre centrés sur les réseaux. Ils peuvent être rapidement déployés pour la surveillance et servir à fournir des renseignements sur le champ de bataille concernant l'emplacement, le nombre, le mouvement et l'identité des troupes et des véhicules, ainsi que pour la détection des armes chimiques, biologiques et nucléaires.

Une grande partie de l'impulsion pour la recherche et le développement à croissance rapide réseaux de capteurs sans fil a été fourni par plusieurs programmes financé par la Defense Advanced Research Projects Agency des États-Unis (DARPA), notamment grâce à un programme appelé Sensor Information Technology (SensIT) [8] de 1999 à 2002. En

effet, de nombreux chercheurs américains de premier plan et les entrepreneurs dans le domaine des réseaux de capteurs sans fil ont été et sont financés par ces programmes de la DARPA.

- **Surveillance structurale et sismique :** une autre catégorie d'applications pour les capteurs de surveillance de l'état des structures civiles [9]. les bâtiments, les ponts et les routes; même les aéronefs.

À l'heure actuelle, la santé de ces structures est principalement surveillée au moyen de contrôles manuels et visuels inspections ou occasionnellement au moyen de technologies coûteuses et chronophages, comme les rayons X et les ultrasons. Techniques de détection en réseau sans surveillance peut automatiser le processus, en fournissant des informations riches et d'autres dommages structurels. Les chercheurs envisagent de déployer ces capteurs se concentrent sur la structure – soit littéralement matériaux de construction tels que le béton, ou sur la surface. Ces réseaux de capteurs ont le potentiel de surveiller l'usure à long terme des structures ainsi que leur état après des événements destructeurs, comme des tremblements de terre ou des explosions. Une vision futuriste particulièrement convaincante pour l'utilisation des réseaux de capteurs implique le développement de structures contrôlables, qui contiennent des actionneurs qui réagissent aux informations du capteur en temps réel pour effectuer une « annulation d'écho » sur ondes sismiques de telle sorte que la structure ne soit affectée par aucune perturbation externe.

- **Détection en réseau industrielle et commerciale :** dans l'industrie manufacturière les installations, les capteurs et les actionneurs sont utilisés pour la surveillance et le contrôle des processus. Par exemple, dans une usine de traitement chimique en plusieurs étapes, il peut y avoir des capteurs placés à différents points du processus afin de contrôler la température, la concentration chimique, la pression, etc. L'information provenant de ces la surveillance peut être utilisée pour modifier les contrôles du processus, comme le rajustement du montant d'un ingrédient particulier ou de changer les réglages de chaleur. L'avantage clé de créer des réseaux sans fil de capteurs dans ces environnements est qu'il peut améliorer considérablement le coût et la flexibilité avec l'installation, l'entretien et la mise à niveau de systèmes câblés [10].

Comme la promesse commerciale des réseaux intégrés sans fil, il convient de noter qu'il y a déjà plusieurs entreprises développant et commercialisant ces produits, et il y a une volonté claire et continue de développer des technologies connexes les normes, comme la norme IEEE 802.15.4 [11], et l'industrie collaborative des efforts tels que l'Alliance Zigbee [12].

1.3.2 Principaux défis de conception :

Les réseaux de capteurs sans fil sont intéressants du point de vue de l'ingénierie, car ils présentent un certain nombre de défis sérieux qui ne peuvent pas être abordés adéquatement par les technologies existantes :

- **Durée de vie prolongée :** Comme mentionné ci-dessus, les nœuds WSN seront généralement sévèrement limités en énergie en raison des limites des batteries. Une batterie alcaline typique, par exemple, fournit environ 50 watt-heures d'énergie; cela peut se traduire par moins d'un mois de fonctionnement continu pour chaque nœud en mode actif complet. Compte tenu des dépenses et de l'impossibilité potentielle de surveiller et de remplacer les batteries pour un grand réseau, des durées de vie beaucoup plus longues sont souhaitées. En pratique, il sera nécessaire dans de nombreuses applications de garantir qu'un réseau de capteurs sans fil sans surveillance puisse rester opérationnel sans remplacement pendant plusieurs années. Les améliorations matérielles dans la conception des batteries et les techniques de récupération d'énergie n'offriront que des solutions partielles. C'est la raison pour laquelle la plupart des conceptions de protocoles dans les réseaux de capteurs sans fil sont explicitement conçues avec l'efficacité énergétique comme objectif principal. Naturellement, cet objectif doit être équilibré par rapport à un certain nombre d'autres préoccupations.
- **Réactivité :** Une solution simple pour prolonger la durée de vie du réseau consiste à fonctionner les nœuds de façon cyclique avec commutation périodique entre le sommeil et modes de réveil. Alors que la synchronisation de ces horaires de sommeil est difficile en soi, une préoccupation plus grande est que les périodes de sommeil arbitrairement longues peuvent réduire la réactivité et l'efficacité des capteurs. Dans les applications où il est essentiel que certains événements dans l'environnement soient détectés et signalés; rapidement, la latence induite par les horaires de sommeil doit être maintenue dans limites, même en présence de congestion du réseau.

- **Robustesse** : La vision des réseaux de capteurs sans fil est d'offrir une vaste gamme de services. une couverture à grains fins. Cela motive l'utilisation d'un grand nombre de dispositifs peu coûteux. Cependant, les dispositifs peu coûteux peuvent souvent être peu fiables et sujettes aux défaillances. Les taux de défaillance des capteurs sont déployés dans des environnements difficiles ou hostiles. Protocole conception doit donc avoir des mécanismes intégrés pour assurer la robustesse. Il est important pour s'assurer que la performance globale du système n'est pas sensible. De plus, il est souvent souhaitable que le rendement du système se dégrade aussi gracieusement que possible par rapport au composant échecs.
- **Synergie** : Les progrès technologiques de type loi de Moore ont assuré que l'appareil capacités en termes de puissance de traitement, mémoire, stockage, émetteur-récepteur radio, la performance, et même la précision de la coût. Toutefois, si des considérations économiques dictent que le coût par nœud être réduit drastiquement de centaines de dollars à moins de quelques cents, il est possible que les capacités des nœuds individuels resteront limitées dans une certaine mesure. Le défi consiste donc à concevoir des protocoles synergiques, qui garantissent que le système dans son ensemble est plus capable que la somme des capacités de chacune de ses composantes. Les protocoles doivent une utilisation collaborative efficace du stockage, du calcul et de la communication ressources.
- **Évolutivité** : Pour de nombreuses applications envisagées, la combinaison de la granularité fine La détection et la grande zone de couverture impliquent que les réseaux de capteurs sans fil ont le potentiel d'être à très grande échelle (des dizaines de milliers, voire des millions de nœuds à long terme). Les protocoles devront être largement distribués, impliquant une communication localisée, et les réseaux de capteurs devront utiliser des architectures hiérarchiques afin de fournir une telle évolutivité. Cependant, les visions d'un grand nombre de nœuds resteront non réalisées dans la pratique jusqu'à ce que certains problèmes fondamentaux, tels que la gestion des défaillances et la reprogrammation in situ, soient abordés même dans de petits environnements impliquant des dizaines à des centaines de nœuds. Il y a aussi des limites fondamentales au débit et à la capacité qui ont une incidence sur l'évolutivité des performances du réseau.
- **Hétérogénéité** : Il y aura une hétérogénéité des capacités des dispositifs (avec respect du calcul, de la communication et de la détection) dans des contextes réalistes. Cette

hétérogénéité peut avoir un certain nombre de conséquences importantes sur la conception. Par exemple, la présence d'un petit nombre de dispositifs avec un grand nombre de dispositifs de faible capacité peut dicter une architecture de réseau à deux niveaux, basée sur des grappes, et la présence de plusieurs modalités de détection nécessitent des techniques de fusion de capteurs pertinentes. Une clé défi consiste souvent à déterminer la bonne combinaison de dispositifs hétérogènes capacités pour une application donnée.

- **La figuration de soi** : En raison de leur échelle et de la nature de leurs applications, les réseaux de capteurs sans fil sont intrinsèquement des systèmes distribués sans surveillance. Le fonctionnement autonome du réseau est donc un défi de conception clé. Dès le départ, les nœuds d'un réseau de capteurs sans fil doivent pouvoir pour configurer leur propre topologie réseau ; localiser, synchroniser et étalonner coordonner la communication entre les nœuds et déterminer les autres paramètres de fonctionnement importants.
- **Auto-optimisation et adaptation** : Traditionnellement, la plupart des systèmes d'ingénierie sont optimisés a priori pour fonctionner efficacement face aux attentes ou bien modélisés conditions de fonctionnement. Dans les réseaux de capteurs sans fil, il peut souvent une incertitude importante quant aux conditions d'exploitation avant le déploiement. Dans de telles conditions, il est important qu'il y ait des mécanismes intégrés pour apprendre de façon autonome à partir de mesures de capteurs et de réseaux temps et d'utiliser cet apprentissage pour améliorer continuellement le rendement. Aussi, en plus d'être incertain a priori, l'environnement dans lequel le réseau de capteurs fonctionne peut changer radicalement au fil du temps. protocoles RCSF devraient également être en mesure s'adapter à une telle dynamique environnementale en ligne.
- **Conception systématique** : Comme nous le verrons, les réseaux de capteurs sans fil peuvent souvent être très spécifiques à la demande. Il y a un compromis difficile entre (a) ad hoc approches étroitement applicables qui exploitent les caractéristiques propres à l'application pour offrir des gains de performance et (b) plus flexibles, faciles à généraliser méthodologies de conception qui sacrifient un certain rendement. Tandis que le rendement l'optimisation est très important, étant réseaux de capteurs sans fil, méthodologies de conception systématiques, permettant réutilisation, modularité et adaptation aux considérations.

- **Vie privée et sécurité :** La grande échelle, la prévalence et la sensibilité des informations collectées par les réseaux de capteurs sans fil (ainsi que leur potentiel déploiement dans des endroits hostiles) donner lieu au défi clé final d'assurer la vie privée et la sécurité. [13]

1.3.3 Topologies des réseaux :

Le réseau de communication peut être configuré en plusieurs topologies différentes, comme le montre la figure 1.3. Nous décrivons ces topologies ci-dessous :

- **Étoile à transit unique :**

La topologie la plus simple de RCSF est l'étoile simple-hop montrée dans la figure 1.3. (a). Chaque nœud dans cette topologie communique ses mesures directement à la passerelle. Dans la mesure du possible, cette approche peut considérablement simplifier la conception, car la mise en réseau préoccupations sont réduites au minimum. Cependant, la limitation de cette topologie est sa faible évolutivité et les propriétés de robustesse. Par exemple, dans zones, les nœuds qui sont éloignés de la passerelle auront la mauvaise qualité des liens sans fil.

- **Maillage et grille multi-sauts :**

Pour les grandes zones et les réseaux, le routage multi-hop est nécessaire. Selon la façon dont ils sont placés, les nœuds pourraient former un graphique de maillage arbitraire comme dans la figure 1.3. (b) ou ils pourraient former un graphique de communication plus structuré comme la grille 2D structure illustrée à la figure 1.3. (c).

- **Groupe hiérarchique à deux niveaux :**

L'architecture peut-être la plus convaincante pour RCSF est une architecture de déploiement où plusieurs nœuds de chaque région locale relèvent de différents chefs de groupe [14]. Il y a un certain nombre de façons dont une telle architecture hiérarchique peut être mise en œuvre. Cette approche devient particulièrement attrayante lorsque les nœuds tête-cluster sont plus puissants en termes de computation/communication [15,16]. L'avantage du cluster-based hiérarchique

approche est qu'il décompose naturellement un grand réseau en zones dans lesquelles le traitement et l'agrégation des données peuvent être effectués localement.

Dans chaque grappe, il pourrait y avoir une communication à sauts simples ou à sauts multiples. Une fois que les données atteignent une tête de grappe, elles sont acheminées par le deuxième palier. Réseau formé par des clusters-heads vers un autre cluster-head ou une passerelle.

Le réseau de deuxième niveau peut utiliser une radio à bande passante plus élevée ou il pourrait même être un réseau câblé si les nœuds de deuxième niveau peuvent tous être connectés au réseau câblé. Le réseau câblé pour le deuxième volet est relativement des environnements de type bâtiment, mais pas pour des déploiements aléatoires dans des endroits éloignés.

Dans les déploiements aléatoires, il peut n'y avoir aucun chef de groupe désigné; ceux-ci peuvent être déterminées par un processus d'auto-élection.

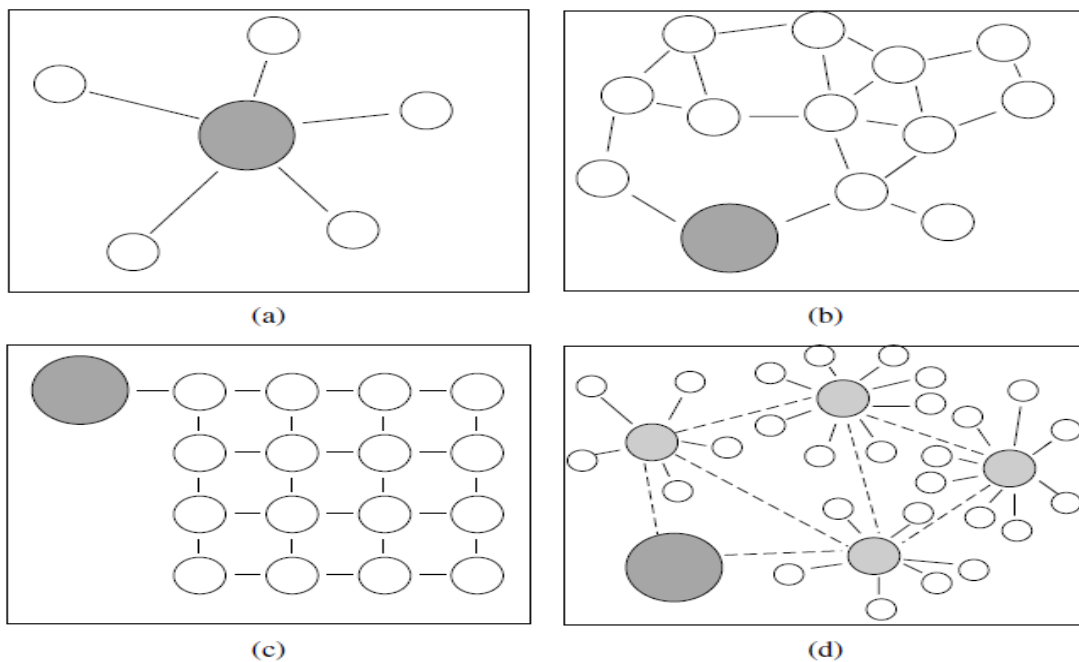


Figure 1.3: Topologie de déploiement différente. [15][16]

1.4 Conclusion:

Un réseau de capteurs est constitué de plusieurs nœuds qui se chargent de récolter et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome vers un site donné. Il se caractérise par une grande flexibilité et tolérance aux fautes, un prix réduit et des moyens rapides de déploiement du réseau.

Actuellement, on peut utiliser les réseaux de capteurs dans plusieurs milieux tels que la maison intelligente, le milieu hospitalier, le milieu industriel, le milieu militaire etc.

La recherche continue pour le perfectionnement des futurs réseaux de capteurs. En effet, de nombreux travaux sont effectués pour résoudre les trois difficultés majeures auxquelles sont confrontés les capteurs: L'énergie et la durée de vie des batteries notamment dans les réseaux denses, la puissance d'émission et la capacité de stockage et de calcul.

Dans ce chapitre, nous avons donné une vision générale sur les RCSF et dans la suite, nous verrons les mécanismes de conservation d'énergie.

Chapitre 2

2.1 Introduction:

Le capteur est conçu pour fonctionner pendant des mois, voire des années. Par conséquent, la capacité énergétique du capteur doit être utilisée efficacement pour maximiser la durée de vie du réseau. Veuillez noter qu'une fois qu'un nœud capteur a épuisé son énergie, il est considéré comme défectueux. Par conséquent, la possibilité de perdre la connexion réseau est élevée.

L'indicateur le plus important pour évaluer les capteurs de réseau est peut-être la durée de vie du réseau. Bien entendu, dans un environnement aux ressources limitées, la consommation de toute ressource limitée doit être prise en compte. Cependant, la durée de vie du réseau de consommation d'énergie occupe une place particulière. Utilisé pour l'utilité des réseaux de capteurs. Le réseau ne peut pas Tant qu'il est considéré comme "vivant", mais pas après. C'est donc un indicateur Pour l'utilité maximale que le réseau de capteurs peut fournir. Si l'analyse est effectuée avant le déploiement réel, la durée de vie estimée du réseau peut également être aidée à justifier le coût de déploiement. Dans le contexte de la disponibilité et de la sécurité du réseau, la durée de vie est également considérée comme un paramètre de base. [17]

2.2 Notion de durée de vie d'un réseau :

La durée de vie du réseau dépend fortement de la durée de vie des nœuds individuels qui composent le réseau. Ce fait ne dépend pas de la façon dont le cycle de vie du réseau est défini.

Par conséquent, si la durée de vie d'un seul nœud ne peut pas être prédite avec précision, l'indice de durée de vie du réseau dérivé peut dévier de manière incontrôlable. Par conséquent, il devrait être clair qu'une modélisation précise et cohérente des nœuds individuels est très importante.

La durée de vie d'un nœud capteur dépend principalement de deux facteurs : la quantité d'énergie consommée par le temps et la quantité d'énergie disponible pour son utilisation. Après discussion par Akyildiz et al. [2002b] Au cours des activités de détection, de communication et de traitement des données, les nœuds capteurs consomment une quantité importante d'énergie.

Le réseau de capteurs se compose de nombreux nœuds. Dans un tel réseau, les nœuds communiquent pour former un réseau auto-organisé, de sorte que les données de capteurs collectées peuvent être transmises à des puits désignés.

La durée de vie du réseau de capteurs a différentes définitions (basées sur la fonctionnalité requise). Elle peut être définie par la durée jusqu'au moment où le premier nœud meurt.

Elle peut aussi être définie par le temps, jusqu'au moment où certains nœuds meurent.

Si la proportion de nœuds morts dépasse un certain seuil, cela peut entraîner la non-couverture des sous-régions et/ou des partitions réseau. Les définitions possibles proposées dans la littérature sont les suivantes [18] :

- La durée jusqu'à ce que le premier nœud épuise toute son énergie.
- Demi-vie du réseau : la durée jusqu'à ce que 50% des nœuds épuisent leurs batteries et s'arrêtent de fonctionner.
- La durée jusqu'à ce que tous les capteurs épuisent leur énergie.
- La durée jusqu'à ce que le réseau soit partitionné : apparition de la première division du réseau en deux (ou plus). Cela peut correspondre aussi à la mort du premier nœud
- (si celui-ci tient une position centrale) ou plus tard si la topologie du réseau est plus robuste.
- k-couverture : la durée pendant laquelle la zone d'intérêt est couverte par au moins k nœuds.
- 100%-couverture :
 - La durée pendant laquelle chaque cible est couverte par au moins un nœud.
 - La durée pendant laquelle l'ensemble de la zone est couvert par au moins un nœud.
- α -couverture :
 - La durée cumulée, au bout de laquelle au moins une portion de la région est couverte par au moins un nœud.
 - La durée pendant laquelle la couverture tombe en-dessous d'un seuil prédéfini.
- La durée pendant laquelle un pourcentage donné de nœuds possèdent un chemin vers la station de base.
- La durée jusqu'à la perte de la connectivité ou de la couverture.
- La durée pendant laquelle le réseau satisfait continuellement les besoins de l'application.

Évidemment, ces définitions sont convergentes, car certaines d'entre elles sont simplement molles dans d'autres définitions, et la plupart indiquent que la durée de vie du réseau dépend de la consommation d'énergie de ses nœuds.

2.3 Formes de dissipation d'énergie :

Les nœuds capteurs sont alimentés par des batteries et fonctionnent donc avec un budget énergétique extrêmement économique. De plus, ils doivent avoir une durée de vie de plusieurs mois à plusieurs années, car pour les réseaux avec des milliers de nœuds d'intégration physiques, le remplacement de la batterie n'est pas une option. [19]

Afin de concevoir des solutions d'économie d'énergie, il est très important d'analyser d'abord les différents facteurs qui conduisent à la dissipation d'énergie des nœuds capteurs.

Cette dissipation d'énergie s'effectue généralement selon plusieurs modes [19] :

2.3.1 Le microcontrôleur unité (MCU) : est responsable de la commande des capteurs et l'exécution des protocoles de communication et des algorithmes de traitement du signal sur les données de capteurs collectées. De plus, UCM prend généralement en charge divers modes de fonctionnement, notamment : les modes actif, inactif 'Idle' et veille à des fins de gestion de l'alimentation. La caractéristique de chaque mode est la consommation d'énergie. Par exemple, le ARM consomme 50 mW de puissance en mode 'Idle', et seulement 0.16mW en le mode Veille. Cependant, le passage Les surcharges de puissance et de retard sont impliquées entre les modes de fonctionnement. Par conséquent, le niveau des modes de consommation, les coûts de changement et la durée La consommation du MCU dans chaque mode a un impact significatif sur la consommation électrique totale (autonomie de la batterie) du nœud de capteur.

2.3.2 La radio : du nœud de capteur réalise une communication sans fil avec les nœuds voisins et le monde extérieur. Certains facteurs affectant les caractéristiques de consommation radio, y compris le type de schéma de modulation utilisé, le débit de données, la puissance d'émission (déterminée par la distance de transmission) et le cycle d'utilisation.

Généralement, la radio peut fonctionner dans quatre modes de fonctionnement différents : émission, réception, inactive et veille. Une observation importante pour la plupart des radios est de fonctionner en mode 'Idle' conduit à une consommation d'énergie importante et élevée, presque égale à la puissance consommée en mode réception. Il est donc important d'arrêter complètement la radio ne passe pas en mode 'Idle' lorsqu'elle n'envoie ou ne reçoit pas de données.

Un autre facteur d'influence. Étant donné que le mode de fonctionnement de la radio a changé, les activités transitoires dans les équipements radio électroniques peuvent entraîner des Puissance dissipée. Par exemple, lorsque la radio passe du mode veille au mode émission pour transmettre Paquets de données, consomment beaucoup d'énergie pour démarrer l'émetteur lui-même.

2.3.3 Les capteurs : convertissent les phénomènes physiques en phénomènes électriques et peuvent être classés comme analogiques ou numériques selon le type de sortie qu'ils produisent. Il existe une variété de capteurs qui peuvent mesurer température, intensité lumineuse, son, champ magnétique, image...etc. il y a beaucoup de sources de consommation d'énergie dans le capteur, y compris échantillonnages de signaux et conversion de signaux physiques en signaux électriques, conditionnement des signaux analog-to-digital conversion. En revanche, les capteurs passifs (température, séisme, etc.) consomment généralement très peu d'énergie par rapport aux autres composants des capteurs de nœuds. Veuillez noter que les capteurs actifs tels que le sonar et les capteurs d'image peuvent également être utilisés. Peut consommer beaucoup d'énergie.

De plus, il existe d'autres formes de dissipation d'énergie, telles que la lecture et l'écriture de la mémoire. Un autre aspect important est l'autodécharge de la batterie. En effet, ce dernier se déchargera tout seul et perdra de la capacité avec le temps. Cependant, des expériences ont montré que c'est la transmission de données Le plus énergivore. Le coût de transmission d'un bit d'information est à peu près le même que le coût de calcul de mille opérations. La consommation du module de détection dépend du type spécifique de nœud de capteur. [18]

2.4 Causes de surconsommation d'énergie:

L'efficacité énergétique est l'un des enjeux les plus importants réseaux de capteurs sans fil. Quelle que soit la manière dont la couche réseau est considérée (MAC, réseau ou application), concevoir un protocole d'économie d'énergie, Le facteur de consommation excessive d'énergie doit toujours être pris en compte. Ces Les facteurs suivants sont les principales raisons de la perte d'énergie du RCSF [20] :

2.4.1 Collisions et Retransmissions:

Un réseau de capteurs sans fil avec un grand nombre de nœuds peut commencer à transmettre des données en même temps. Si deux nœuds essaient d'utiliser le même support ou canal partagé pour transmettre exactement au même moment, les paquets de données des deux nœuds peuvent interférer les uns avec les autres, entraînant des dommages aux paquets de données. Par conséquent, un grand nombre de collisions graves peuvent se produire dans ces systèmes.

Cela déclenche la transmission de paquets de données redondants car les paquets de données endommagés doivent être retransmis. Autre. Les raisons possibles des conflits de trames incluent des problèmes de terminaux cachés, le réveil simultané des nœuds et la charge de trafic sur le réseau est trop importante. Cependant, les collisions de paquets de données, le temps et les efforts consacrés à la transmission et à la réception de paquets de données retransmis dans un réseau sans fil, réduisent à leur tour le débit du réseau et la durée de vie globale, et augmente également la latence de transmission. [21]

2.4.2 “Overmitting” ou envoi infructueux :

L'overmitting se produit lorsqu'un nœud source émet des données et que le nœud destinataire n'est pas prêt à les recevoir. Si le nœud émetteur est en attente d'un acquittement, il retransmet alors le même paquet plusieurs fois provoquant ainsi une consommation d'énergie du fait qu'il soit resté en mode transmission et en attente de réception de l'éventuel acquittement. [20]

2.4.3 Ecoute à vide ou “idle listening” :

Le nœud sans fil peut être inactif pendant une longue période. Cela se produit parce que le nœud ne connaît pas le temps exact pour recevoir les données envoyées par d'autres nœuds, il met donc la radio en mode réception pour continuer à écouter le canal afin de toujours recevoir des paquets de données. Ceci est un problème grave conduisant à une dissipation continue de l'énergie par le sous-système de communication lorsqu'il y a aucune activité de réception ou de transmission. Cela a un impact majeur sur le coût énergétique total (Le coût exact de l'écoute à vide dépend du matériel radio et du mode de fonctionnement) et la durée de vie du nœud. [21]

2.4.4 Ecoute abusive ou “overhearing” :

Une autre cause fréquente de surconsommation d'énergie est l'écoute abusive, ou “overhearing”, qui se produit lorsque les nœuds capteurs reçoivent, traitent et transmettent des images de données envoyées par leurs voisins, même si elles ne sont pas pertinentes et ont été reçues, telles que des messages d'inondation. Le nœud envoie un message de données à tous ses nœuds voisins, et ces nœuds reçoivent, traitent et transmettent à tous ses voisins à tour de rôle pour s'assurer que tous les nœuds du réseau reçoivent le message. De telles diffusions et autres paquets de données redondants. La réception et la transmission de tels excès de données inutiles entraîneront une forte consommation d'énergie de l'unité de communication, réduisant ainsi de manière permanente la durée de vie de la batterie. [21]

2.4.5 Overhead des paquets de contrôle :

Pour fonctionner, un protocole réseau a toujours besoin de paquets de contrôle et d'entêtes pour encapsuler les données applicatives. L'envoi, la réception et l'écoute des paquets de contrôle consomment de l'énergie et de la bande passante réduisant ainsi le débit effectif et la durée de vie du réseau. On parle alors d'overhead des paquets de contrôle. [20]

2.5 Mécanismes de conservation de l'énergie:

Afin, de contrôler la radio et éviter ou réduire la perte d'énergie due aux sources ci-dessus, l'énergie doit être utilisée avec parcimonie et Les protocoles et applications de réseau de capteurs doivent comporter des mécanismes de sauvegarde de l'énergie. On introduise dans ce paragraphe certains mécanismes de base [18] :

2.5.1 Mode d'économie d'énergie :

Ce mode est possible quelle que soit la couche MAC adoptée. Cela consiste à éteindre le module de communication dès que possible. Par exemple, des protocoles MAC fondés sur la méthode TDMA (Time Division Multiple Access) offrent une solution implicite puisqu'un nœud n'échange des messages que dans les intervalles de temps qui lui sont attribués. Il peut alors garder sa radio éteinte durant les autres slots. Comme nous l'avons souligné précédemment, il faut toutefois veiller à ce que le gain d'énergie obtenu en mettant en veille le module radio ne soit pas inférieur au surcoût engendré par le redémarrage de ce module.

2.5.2 Traitement local :

L'idée de cette technique est que la source peut se censurer. Ainsi une programmation événementielle semble bien adaptée aux réseaux de capteurs. Seuls les changements significatifs de l'environnement devrait provoquer un envoi de paquets le réseau. Dans le même état d'esprit, une grande collaboration est attendue entre les capteurs d'une même région en raison de leur forte densité et dans la mesure où les observations ne varient presque pas entre des voisins très proches. Ainsi les données pourront être confrontées localement et agrégées au sein d'un seul et unique message. Cette stratégie de traitement local permet de réduire sensiblement le trafic.

2.5.3 Organisation des échanges :

Ce procédé revient à limiter les problèmes de retransmission dus aux collisions. La solution extrême consiste à utiliser la technique d'accès au médium TDMA. Les collisions sont ainsi fortement réduites. Cette solution présente l'inconvénient d'être peu flexible et de demander une synchronisation fine des capteurs. Des solutions intermédiaires ont vu le jour, par exemple S-MAC (Sensor MAC) qui est une méthode d'accès au canal de type CSMA-CA avec le mécanisme RTS/CTS (Request to Send, Clear to Send) qui permet d'éviter les collisions et le

problème de la station cachée. La principale innovation, apportée par ce protocole, est d'avoir un mécanisme de mise en veille distribué sur chaque nœud du réseau dans le but de réduire la consommation d'énergie. La principale difficulté de S-MAC est également de synchroniser les nœuds entre eux pour que la communication soit toujours possible.

2.5.4 Limitation des accusés de réception :

L'acquittement systématique est mal adapté à des réseaux denses : il provoque une surcharge du réseau et donc des collisions et des interférences avec les données utiles échangées dans le réseau. Les acquittements par *_piggy-backing_* seront à privilégier.

2.5.5 Répartition de la consommation d'énergie :

La formation de clusters permet d'envisager des réseaux comportant un très grand nombre de capteurs. Elle favorise une meilleure répartition de la consommation d'énergie. En effet, dans le cas d'une transmission directe vers l'observateur figure 2.1 (a), les capteurs éloignés vont plus rapidement manquer d'énergie et les autres nœuds peuvent être sujets au phénomène d'*overhearing* dans le cas des réseaux *_Mostly-On_*. Au contraire, dans le cas d'une transmission par saut figure 2.1(b), les nœuds proches de l'observateur vont être vite en rupture de batterie car ils seront plus sollicités pour relayer les messages des autres. La solution consiste à hiérarchiser les échanges en divisant la zone d'observation en clusters figure 2.1(c). Un *_clusterhead_* est élu pour chaque cluster. Il s'occupe de récupérer les informations auprès des capteurs de son cluster et de les transmettre directement à l'observateur. En changeant régulièrement de *clusterhead*, on obtient un réseau dans lequel aucun capteur n'est prédisposé à arriver en rupture de batterie avant les autres. Mettre en place des clusters va également permettre de cloisonner le réseau et ceci dans l'objectif de réduire les interférences. On améliore ainsi la qualité du lien radio et par conséquent, on limite les retransmissions liées aux reprises sur erreur.

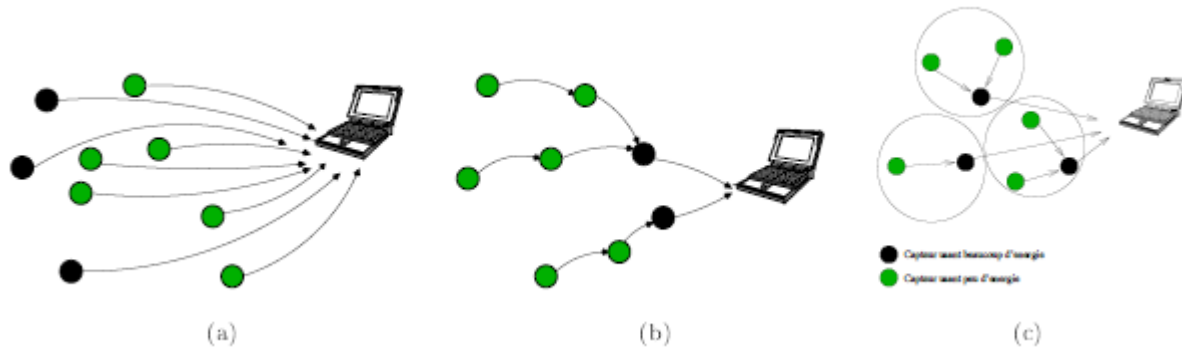


Figure 2.1 : À gauche - Transmissions directes. Au centre - Transmission saut par saut. À droite - Hiérarchisation en clusters. [18]

2.6 Conclusion:

Ainsi, minimiser la consommation d'énergie de chaque micro-capteur permettra d'accroître la durée de vie globale du réseau. Même si derrière la notion de durée de vie se cachent différentes définitions plus ou moins adaptées au contexte spécifique de leurs applications respectives. Pour atteindre cet objectif d'efficacité énergétique, il est essentiel de penser aussi à limiter les effets des causes fréquentes de surconsommation d'énergie. Dans la prochaine partie nous conjuguerons cela avec un panorama des techniques de conservation d'énergie proposées dans la littérature afin de prolonger la durée de vie des réseaux de capteurs.

Chapitre 3

3.1 Introduction :

Les progrès récents en matière de systèmes micro-électromécaniques (MEMS), de faible puissance et d'électronique numérique hautement intégrée ont conduit au développement de micro capteurs [22,23]. Un réseau de capteurs sans fil se compose de nœuds de capteurs déployés sur une zone géographique pour surveiller des phénomènes physiques tels que la température, l'humidité, les vibrations, les événements sismiques, et ainsi de suite [24].

Typiquement, un nœud de capteur est un dispositif minuscule qui comprend trois composants de base : un sous-système de détection pour l'acquisition de données à partir de l'environnement physique environnant, un sous-système de traitement pour le traitement et le stockage des données locales, et aussi un sous-système de communication sans fil pour la transmission de données. De plus, une source d'alimentation fournit l'énergie nécessaire à l'appareil pour effectuer les tâches programmées. Cette source d'alimentation se compose souvent d'une batterie avec un budget énergétique limité. Le développement du réseau de capteurs sans fil était à l'origine motivé par des applications militaires comme la surveillance des champs de bataille.

Cependant, les RCSF sont maintenant utilisés dans de nombreux les domaines d'application civils, y compris la surveillance de l'environnement et de l'habitat en raison de diverses limites découlant de leur nature peu coûteuse, de leur taille limitée, de leur poids et de la méthode de déploiement ad hoc; chaque capteur a une énergie limitée. De plus, il pourrait être gênant de recharger la batterie, car les nœuds peuvent être déployés dans un environnement hostile ou peu pratique. Au niveau de la couche réseau, l'intention est de trouver des moyens pour la mise en place d'itinéraires éconergétiques et le relais fiable des données depuis les nœuds capteurs jusqu'à l'évier, afin de maximiser la durée de vie du réseau. Les principales différences entre le réseau de capteurs sans fil et les capteurs réseau sans fil traditionnels sont très sensibles à la consommation d'énergie. De plus, les performances des applications réseau de capteurs dépendent fortement de la durée de vie du réseau [25]. Nous adoptons comme définition de vie commune l'heure, quand le premier capteur meurt. Cette définition de durée de vie, proposée en [26], est largement utilisée dans le domaine de la recherche sur les réseaux de capteurs. Une autre définition de durée de vie qui a été utilisée est le moment auquel un certain pourcentage de nœuds totaux s'épuise en énergie.

Cette définition est en fait assez semblable à celle que nous utilisons ici. Dans un réseau bien conçu, les capteurs d'une certaine zone présentent des comportements similaires pour atteindre l'équilibre énergétique. En d'autres termes, lorsqu'un capteur meurt, on peut s'attendre à ce que les voisins de ce nœud manquent d'énergie très bientôt, car ils devront prendre les responsabilités de ce capteur et nous nous attendons à ce que la durée de vie de plusieurs mois soit de plusieurs années. Ainsi, l'économie d'énergie est cruciale dans la conception de la durée de vie sans fil

3.2 Approches générales en matière d'économie d'énergie :

Sur la base de ce qui précède et de la panne de courant, plusieurs approches doivent être exploitées, même simultanément, pour réduire la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil. À un niveau très général, nous identifions deux principales techniques habilitantes à savoir : le cycle de service et les approches fondées sur les données. Le cycle de service est principalement axé sur le sous-système réseau. L'opération la plus efficace pour économiser l'énergie consiste à mettre l'émetteur-récepteur radio en mode veille (faible puissance) chaque fois que la communication n'est pas nécessaire. Idéalement, la radio devrait être éteinte dès qu'il n'y a plus de données à envoyer/recevoir et devrait être reprise dès qu'un nouveau paquet de données est prêt. De cette façon, les nœuds alternent entre les périodes actives et de sommeil en fonction d'activité du réseau. Le cycle de service est défini comme la fraction des nœuds de temps qui sont actifs pendant leur durée de vie. Des approches fondées sur des données peuvent être utilisées pour améliorer encore plus l'efficacité énergétique qui sera décrite en détail dans les sections suivantes [27]:

3.2.1 Cycle de service :

Normalement, un capteur radio dispose de 4 modes de fonctionnement : transmission, réception, écoute au ralenti et sommeil. Les mesures ont montré que la plus grande consommation d'énergie est due à la transmission et que, dans la plupart des cas, la consommation d'énergie en mode inactif est à peu près similaire au mode de réception. Au contraire, la consommation d'énergie en mode veille est beaucoup plus faible.

Le duty-cycling peut être réalisé par deux approches différentes et complémentaires. D'un côté, il est possible d'exploiter la redondance des nœuds qui est typique des réseaux de capteurs et de sélectionner de manière adaptative seulement un sous-ensemble minimum de nœuds pour rester actif afin de maintenir la connectivité. Dans certaines applications (par exemple, la détection d'événements), les événements sont généralement rares et donc les

nœuds de capteurs passent la majorité de leur temps dans la période d'inactivité, ce qui réduit la durée de vie et l'utilité des réseaux de capteurs. Nœuds qui ne sont pas actuellement nécessaires pour assurer la connectivité peut aller dormir et économiser de l'énergie. Trouver le sous-ensemble optimal de nœuds qui garantissent la connectivité est appelé contrôle topologique.

Par contre, les nœuds actifs (c.-à-d. les nœuds sélectionnés par le protocole de contrôle topologique) n'ont pas besoin de maintenir leur radio allumée en continu. Ils peuvent éteindre la radio (c.-à-d. la mettre en mode veille de faible puissance) lorsqu'il n'y a pas d'activité réseau, alternant ainsi entre les périodes de sommeil et de réveil. Tout au long de l'exercice, nous désignerons la gestion de la puissance comme le cycle de service opéré sur des nœuds actifs. Par conséquent, le contrôle topologique et la gestion de la puissance sont des techniques complémentaires qui mettent en œuvre le duty-cycling avec une granularité différente. Les protocoles de gestion de l'alimentation peuvent être mis en œuvre soit en tant que protocoles de veille/réveil indépendants exécutés en haut d'un protocole MAC.

Plusieurs critères peuvent également être utilisés pour décider quels nœuds activer/désactiver et quand. À cet égard, les protocoles de contrôle topologique peuvent être classés dans les deux catégories suivantes : les protocoles basés sur l'emplacement définissent le nœud à activer et quand. Basé sur l'emplacement des nœuds de capteurs qui est supposé être connu comme une fidélité adaptative géographique (GAF) [28], Geographic Random Forwarding (GeRaF) [29,30]. (Protocoles basés sur la connectivité, activez/désactivez dynamiquement les nœuds de capteurs de sorte que la connectivité réseau ou la détection complète couverture sont remplies). Les protocoles à la demande tels que Span [31] sont un protocole basé sur la connectivité qui sélectionne de manière adaptative les « coordinateurs » de tous les nœuds du réseau et les topologies des réseaux de capteurs d'auto-configuration adaptative (ASCENT) [32]; les protocoles de contrôle topologique basés sur l'emplacement exigent distinctement que les nœuds des capteurs reconnaissent leur position. Ceci est généralement réalisé en fournissant des capteurs avec une unité GPS. Les protocoles sur demande adoptent l'approche la plus intuitive de la gestion de la puissance. L'idée de base est qu'un nœud ne devrait se réveiller que lorsqu'un autre nœud veut communiquer avec lui.

Le principal problème associé aux schémas à la demande est de savoir comment informer le nœud dormant que d'autres nœuds sont disposés à communiquer avec lui. À cette fin, de tels systèmes utilisent généralement plusieurs radios avec différents compromis

énergie/performance (c.-à-d. une radio de faible et de faible puissance pour la signalisation et une radio à haut débit mais plus gourmande en puissance pour la communication de données).

Une solution alternative consiste à utiliser une approche de rendez-vous programmé. L'idée de base derrière les plans de rendez-vous programmés est que chaque nœud devrait se réveiller en même temps que ses voisins.

Typiquement, les nœuds se réveillent selon un calendrier de réveil et restent actifs pendant un court intervalle de temps pour communiquer avec leurs voisins. Ensuite, ils se couchent jusqu'au prochain rendez-vous.

Enfin, un protocole de sommeil/réveil asynchrone peut être utilisé. Avec de tels protocoles, un nœud peut se réveiller quand il le veut et être toujours capable de communiquer avec ses voisins. Cet objectif est atteint par les propriétés implicites dans le schéma de sommeil/réveil, donc aucun échange d'informations explicite n'est nécessaire entre les nœuds.

Les schémas On demande sont basés sur l'idée qu'un nœud doit être réveillé juste quand il doit recevoir un paquet d'un nœud voisin. Cela minimise la consommation d'énergie. Les systèmes particulièrement compatibles pour les applications de réseau de capteurs avec un cycle de fonctionnement très faible (par exemple, détection d'incendie, surveillance des pannes de machines et, plus généralement, tous les scénarios basés sur des événements).

Par conséquent, brièvement plusieurs critères peuvent être utilisés pour décider quels nœuds à activer/désactiver et quand. Ainsi, les protocoles de contrôle de topologie peuvent être classés dans les deux catégories suivantes : le premier emplacement piloté ; la décision concernant le nœud à allumer, et quand, est basée sur l'emplacement des nœuds de capteur qui est supposé être connu [28].

Deuxièmement, les nœuds de capteurs pilotés par la connectivité sont activés/désactivés de manière dynamique afin de garantir connectivité réseau [33, 34], la mise en œuvre de tels schémas nécessite généralement deux canaux différents : un canal de données pour la communication normale des données et un canal de réveil pour éveiller les nœuds si nécessaire.

La topologie clairsemée et la gestion de l'énergie (STEM) [35] utilisent deux radios différentes pour les transmissions de signaux de réveil et de paquets de données, respectivement. La radio de réveil n'est pas une radio de faible puissance (pour éviter les

problèmes associés aux différentes plages de transmission). Par conséquent, un schéma de cycle de service asynchrone est également utilisé sur la radio de réveil.

Chaque nœud allume périodiquement sa radio de réveil pour la tactique chaque durée de T. Lorsqu'un nœud source doit communiquer avec un nœud voisin (cible), il envoie un flux de balises périodiques sur le canal de réveil. Dès que le nœud cible reçoit une balise, il renvoie un signal de réveil et allume sa radio de données. En plus de l'approche basée sur les balises ci-dessus, appelée STEM-B [36], les auteurs proposent une variante (appelée STEM-T) qui utilise une tonalité de réveil au lieu d'une balise. La principale différence est que dans STEM-T tous les nœuds du voisinage de l'initiateur sont réveillés. STEM-B et STEM-T peuvent être utilisés en combinaison avec les protocoles de contrôle topologique. Pour parvenir à un compromis entre l'économie d'énergie et la latence d'éveil, il propose un schéma de Pipelined Tone Wakeup (PTW).

Tout comme STEM, PTW [37] s'appuie sur deux canaux différents pour transmettre des signaux de réveil et des données de paquets, et utilise une tonalité de réveil pour éveiller les nœuds voisins. Par conséquent, n'importe quel nœud dans le voisinage du nœud source sera réveillé. Les plans de rendez-vous programmés exigent que tous les nœuds voisins se réveillent simultanément.

Typiquement, les nœuds se réveillent périodiquement pour vérifier les communications potentielles puis, ils retournent dormir jusqu'au prochain rendez-vous. L'avantage majeur de ces schémas est que lorsqu'un nœud est éveillé, il est garanti que tous ses voisins sont également éveillés. Cela permet d'envoyer des messages à tous les voisins [38].

D'un autre côté, les plans de rendez-vous programmés nécessitent que les nœuds soient synchronisés afin de se réveiller en même temps. La gestion de l'énergie avec un nœud dormant a été étudiée en profondeur dans les RCSF. Les schémas de gestion de l'énergie existants peuvent être classés en trois classes :

La première classe comprend divers protocoles TDMA, comme TRAMA [39] et DRAND. Cependant, un nœud dans les réseaux TDMA doit attendre son créneau horaire pour transmettre lequel ce protocole est inefficace pour les applications avec des exigences de délai serrées et variables.

La seconde classe comprend des protocoles de cyclage synchrone, tels que S-MAC et T-MAC, décrits ci-dessous. Le principal problème avec ces protocoles est que les horaires de

sommeil des nœuds doivent être fréquemment synchronisés, ce qui peut entraîner des pertes d'énergie et des retards de communication supplémentaires.

La troisième classe de schémas de gestion de l'énergie consiste en des protocoles asynchrones de sondage de canal, tels que B-MAC et X-MAC [40]; nœuds dans ces protocoles se réveillent périodiquement pour sonder le canal pour les activités qui sont décrites en détail dans les sections suivantes.

Un protocole de contrôle d'accès moyen (MAC) contrôle directement le module de communication, de sorte que le protocole MAC a un effet important sur la consommation d'énergie des nœuds. Selon les cinq principales sources de déchets énergétiques, les chercheurs ont proposé différents types de protocoles MAC pour améliorer l'efficacité énergétique et prolonger la durée de vie du réseau. Un bon protocole MAC pour les réseaux de capteurs sans fil devrait avoir les attributs suivants. Le premier attribut pour prolonger la durée de vie du réseau est l'efficacité énergétique.

3.2.2 Protocoles MAC éconergétiques pour RCSF :

Un large éventail de protocoles MAC éconergétiques est décrit brièvement, qui sont classés en protocoles MAC hybrides, croisés et basés sur les litiges, basés sur la TDMA, selon la politique d'accès aux canaux. Ensuite, leurs avantages et leurs inconvénients sont brièvement résumés. Les protocoles MAC à contention, qui sont principalement basés sur le Carrier Sense Multiple Access (CSMA) ou le Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA), ne nécessitent aucune coordination entre les nœuds accédant au canal.

L'idée de base est quand un nœud a besoin d'envoyer des données qu'il rivalisera pour le canal sans fil. Les nœuds en collision se retireront pour une durée aléatoire de temps avant de tenter à nouveau d'accéder au canal. Les protocoles MAC typiques basés sur les contentions sont S-MAC (Sensor-MAC), T-MAC (Timeout-MAC) [29] et U-MAC (Utilization-MAC). TDMA Based MAC Protocols Contrairement aux protocoles MAC basés sur les litiges, la technique TDMA basée sur la programmation offre un schéma sans collision inhérent en assignant un créneau horaire unique pour chaque nœud pour envoyer ou recevoir des données.

Le premier avantage de TDMA est que les interférences entre les liaisons sans fil adjacentes peuvent être évitées. Ainsi, les déchets d'énergie provenant des collisions de paquets sont diminués.

Deuxièmement, TDMA peut résoudre le problème de terminal caché sans message supplémentaire car les nœuds voisins émettent à différents intervalles de temps. Les principaux protocoles MAC basés sur TDMA comprennent μ MAC (MAC économe en énergie), DEE-MAC (MAC économe en énergie dynamique), MAC de rechange (affectation périodique de fente pour MAC de réception). Outre les protocoles MAC hybrides basés sur les litiges, les protocoles MAC basés sur TDMA et certains protocoles MAC hybrides ont été récemment proposés qui présentent les avantages des protocoles MAC basés sur les litiges et MAC basés sur TDMA.

Tous ces protocoles divisent le canal d'accès en deux parties. Les paquets de contrôle sont transmis dans le canal d'accès aléatoire, tandis que les paquets de données sont transmis dans le canal d'accès programmé.

Par rapport aux protocoles MAC basés sur les litiges et aux protocoles MAC basés sur TDMA, les protocoles hybrides peuvent obtenir des économies d'énergie plus élevées et offrir une meilleure évolutivité et flexibilité. En détail, les protocoles MAC hybrides comprennent Z-MAC (Zebra MAC), A-MAC (Advertisement-based MAC) et IEEE 802.15.4. [41]

* S-MAC :

Il y a deux états dans une période : l'état actif et l'état de sommeil. S-MAC [42] adopte un mécanisme efficace pour résoudre les problèmes de gaspillage d'énergie, c'est-à-dire l'écoute périodique et le sommeil. Lorsqu'un nœud est inactif, il est plus susceptible d'être endormi au lieu d'écouter continuellement le canal. S-MAC réduit le temps d'écoute en laissant le nœud passer en mode veille périodique.

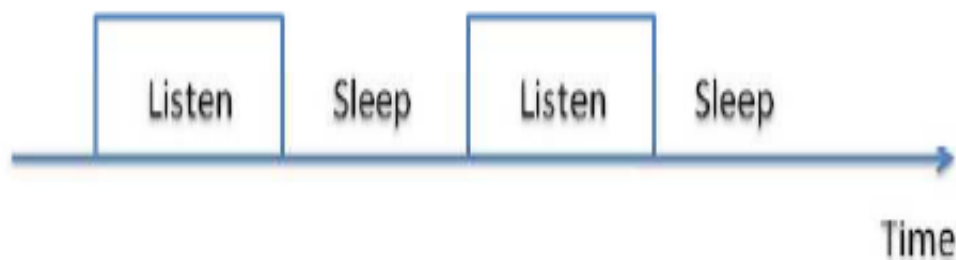


Figure 3.1 : Écoute et sommeil périodiques. [42]

Afin de rendre S-MAC robuste aux erreurs de synchronisation, deux techniques peuvent être utilisées. Tout d'abord, tous les horodatages échangés sont relatifs plutôt qu'absolus. Deuxièmement, la période d'écoute est beaucoup plus longue que l'erreur d'horloge ou la dérive par rapport aux schémas TDMA avec des intervalles de temps très courts. S-MAC nécessite une synchronisation beaucoup plus lâche entre les nœuds voisins.

Ce protocole est résumé comme suit : le but principal de S-MAC est de réduire la consommation d'énergie, y compris trois composants principaux : situation se réveiller et dormir est le périodique c.-à-d. sommeil périodique et écouter, ce protocole évite la collision et l'ouïe signifiant que dans ce protocole, les nœuds s'endorment après avoir entendu un paquet RTS ou CTS et le champ de durée dans chaque paquet transmis indique la durée de la transmission restante et la communication entre les expéditeurs est le message transmis qui est illustré à la figure 3.2.

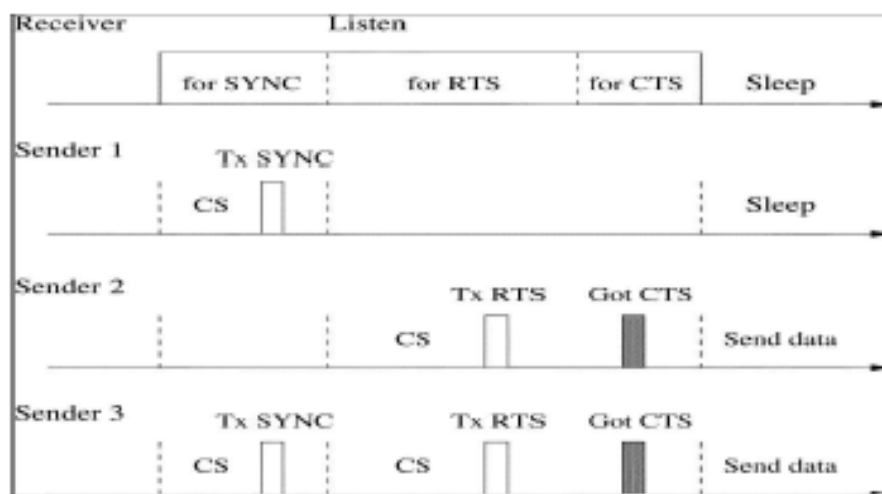


Figure 3.2 : Enquête sur les paquets CTS et RTS. [42]

Comme vous le voyez, le schéma écoute/veille nécessite une synchronisation entre les nœuds voisins et la mise à jour des programmes est effectuée en envoyant un paquet SYNC. Le résultat de cette enquête est que le gaspillage d'énergie causé par l'écoute inactive est réduit par les horaires de sommeil et les périodes de sommeil et d'écoute sont prédéfinies et constantes ce qui diminue l'efficacité de l'algorithme sous charge de trafic variable.

Avantages du protocole MAC de capteur : le gaspillage d'énergie causé par l'écoute inactive est réduit par les programmes de sommeil et en second lieu par la simplicité de l'implémentation, la synchronisation mondiale du temps peut être évitée avec les annonces de calendrier de sommeil

Inconvénients du protocole MAC de capteur : Cycle de service fixe S-MAC, c.-à-d. temps d'activité fixe. Il n'est pas optimal

- a) Si le taux de message est moins d'énergie est encore gaspillée dans l'écoute au ralenti.
- b) Les périodes de sommeil et d'écoute sont prédéfinies et constantes, ce qui diminue l'efficacité de l'algorithme sous charge de trafic variable.
- c) Un long intervalle d'écoute coûte cher - tout le monde reste éveillé sauf si quelqu'un transmet.
- d) Les frais généraux de synchronisation du temps, même lorsque le réseau est inactif et
- e) Les RAE/SEC et Frais généraux ACK lors de l'envoi de données.

* T-MAC :

T-MAC [43] est une extension du protocole précédent qui ajuste de manière adaptative les périodes de sommeil et de veille en fonction du flux de trafic estimé pour augmenter les économies d'énergie et réduire les délais. Le T-MAC réduit également le temps d'inactivité des capteurs par rapport au S-MAC. Il est donc plus économe en énergie que le S-MAC.

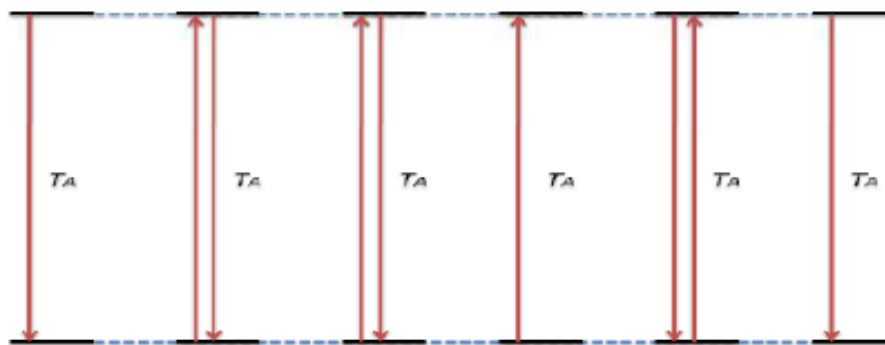


Figure 3.3 : Schéma de protocole T-MAC de base avec temps actif adaptatif. [43]

Ce protocole a proposé d'améliorer les résultats médiocres du protocole S-MAC sous charge de trafic variable qui se termine par la période d'écoute lorsqu'aucun événement d'activation ne s'est produit pour un seuil de temps T_A

Réduire l'écoute au ralenti en transmettant tous les messages en rafales de longueur variable, et dormir entre les rafales et la fin de l'avantage ce type de MAC est temps sur rien entendre.

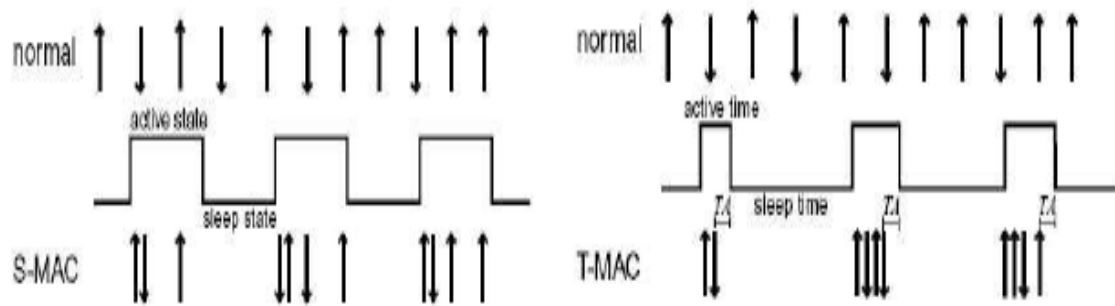


Figure 3.4 : Comparaison entre S-MAC et T-MAC. [43]

On peut dire que T-MAC donne de meilleurs résultats sous une charge variable et souffre d'un problème de sommeil précoce, nœud s'endort quand un voisin a encore des messages pour elle.

* U-MAC :

U-MAC [44] présente une solution pour améliorer les performances en matière de consommation d'énergie pour diverses applications de réseau de capteurs sans fil. Dans U-MAC, une transmission peut se terminer à une heure d'écoute programmée comme « **a** » ou une heure de sommeil programmée comme « **b** », qui est illustrée à la figure 3.5.

Si une transmission se termine à l'heure de sommeil programmée **b**, le nœud continuera d'écouter jusqu'à la prochaine heure de sommeil programmée **d**, pour qu'entre **b** et la prochaine heure d'écoute programmée **c**, l'énergie soit gaspillée.

U-MAC est basé sur le protocole S-MAC et apporte trois améliorations principales au S-MAC : différents cycles d'utilisation, réglage basé sur l'utilisation du cycle d'utilisation et sommeil sélectif après transmission. Les différents cycles de service sont assignés à différents nœuds, qui échangent ensuite leurs horaires et se synchronisent avec les voisins dans une période fixe.

De plus, l'heure du prochain sommeil d'un nœud est intégrée dans les paquets ACK. Il évite la retransmission inutile de RTS causée par les calendriers de mise à jour manquants des voisins.

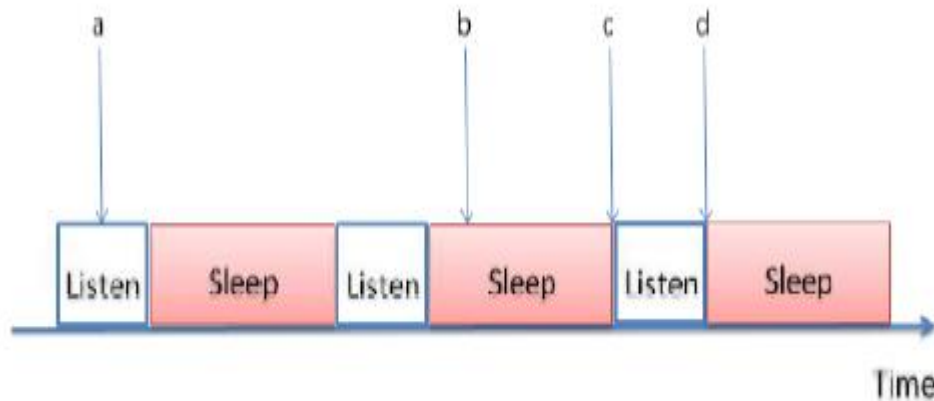


Figure 3.5 : Une transmission peut se terminer à l'heure prévue du sommeil ou de l'écoute. [44]

* μ MAC :

Le μ MAC [45] est proposé pour obtenir des rapports de sommeil élevés tout en préservant la latence et la fiabilité du message à un niveau acceptable. Le μ MAC suppose un canal à fente unique comme indiqué dans la figure 3.6.

Le fonctionnement du protocole alterne entre une période sans contention et une période sans contention. La période de contention est utilisée pour construire une topologie de réseau et pour initialiser les sous-canaux de transmission.

Le μ MAC différencie deux classes de sous-canaux : le trafic général et les rapports de capteurs. Dans le protocole μ MAC, la période de litige entraîne des frais généraux importants et doit avoir lieu fréquemment.

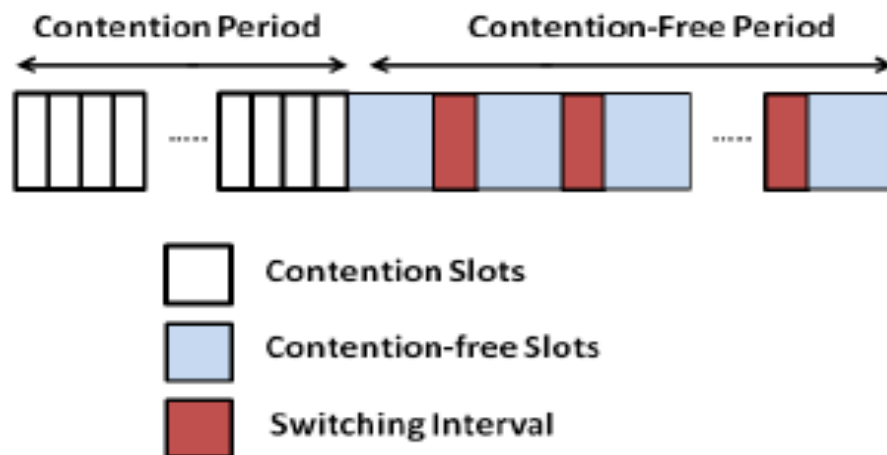


Figure 3.6 : Organisation des créneaux horaires. [45]

* SPARE-MAC :

SPARE -MAC est un protocole MAC basé sur TDMA pour la diffusion de données dans les WSNs. L'idée de base de SPARE MAC est d'économiser de l'énergie en limitant l'impact de l'écoute au ralenti et de la surveillance du trafic.

Pour atteindre cet objectif, SPARE MAC utilise une solution de programmation distribuée, qui assigne des ressources radio spécifiques (c.-à-d., créneaux horaires) à chaque nœud de capteur pour la réception, appelée Reception Schedules (RS), et diffuse l'information du RS assigné aux nœuds voisins. Un nœud émetteur peut donc devenir actif en correspondance avec le RS de son récepteur. [41,46].

* Z-MAC :

L'un des protocoles hybrides les plus intéressants est Z-MAC [47]. Afin de définir le schéma de commande de la transmission principale, Z-MAC lance une phase de configuration préliminaire. Au moyen du processus de découverte voisin chaque nœud construit une liste de deux-hop voisins. Ensuite, un algorithme d'affectation des emplacements distribués est appliqué pour s'assurer que deux nœuds du voisinage à deux sauts ne sont pas attribués au même emplacement.

Par conséquent, il est garanti qu'aucune transmission d'un nœud à un de ses voisins à un seul saut n'interfère avec une transmission de ses voisins à deux sauts. L'échange d'images locales a pour but de déterminer la période.

Z-MAC n'utilise pas une image globale égale pour tous les nœuds du réseau. Il serait très difficile et coûteux de s'adapter à un changement de topologie. Au lieu de cela, Z-MAC permet à chaque nœud de maintenir sa propre période locale qui dépend du nombre de voisins et évite tout conflit avec ses voisins en conflit.

L'assignation des emplacements locaux et la période de chaque nœud sont ensuite transmises à ses voisins à deux sauts. Ainsi n'importe quel nœud a l'information de fente et de cadre au sujet de n'importe quels voisins de deux-hop et tous synchronisent à un emplacement de référence commun. À ce stade, la phase de configuration est terminée et les nœuds sont prêts pour l'accès aux canaux, régulés par la procédure de contrôle de transmission.

Les nœuds peuvent être dans l'un des modes suivants : Niveau de contention faible (LCL) et Niveau de contention élevé (HCL). Un nœud se trouve dans le LCL à moins qu'il n'ait reçu une notification de contestation explicite (ECN) au cours de la dernière période TECN. Les ECN sont envoyés par des nœuds lorsqu'ils sont très controversés. Dans HCL seuls les propriétaires de la fente actuelle et leurs voisins d'un-hop sont autorisés à rivaliser pour accéder à la chaîne. Dans LCL n'importe quel nœud (propriétaires et non propriétaires) peut rivaliser pour transmettre dans n'importe quelle fente.

Cependant, les propriétaires ont la priorité sur les non-propriétaires. Ainsi, Z-MAC peut utiliser le canal haut même sous faible contention parce qu'un nœud peut transmettre dès que le canal est disponible simplement Z-MAC utilise les techniques TDMA et CSMA.

Dans le Z-MAC, le CSMA est considéré comme le schéma MAC de base et le TDMA est utilisé pour améliorer la résolution des litiges. Z-MAC utilise le concept de slot propriétaire. Un nœud a un accès garanti à son emplacement propriétaire (style TDMA) et un accès basé sur les litiges à d'autres emplacements (style CSMA). De cette façon, les collisions et les consommations d'énergie sont réduites.

Il y a deux composants de base dans Z-MAC. L'un est appelé la découverte voisine et l'attribution de fente, et l'autre est appelé le cadrage local et la synchronisation.

* A-MAC :

Afin de fournir des services de transmission sans collision, sans surdité et peu d'écoute au ralenti, A-MAC est proposé récemment, qui est conçu pour les applications de surveillance et de surveillance à long terme. Dans de telles applications, les nœuds sont généralement vigilants et inactifs pendant longtemps jusqu'à ce que quelque chose soit détecté.

Dans A-MAC, une latence supplémentaire sera introduite à un niveau acceptable, tandis que la durée de vie d'un réseau est considérablement prolongée. La caractéristique principale d'A-MAC est que les nœuds sont notifiés à l'avance quand ils deviendront les récepteurs des paquets. Un nœud n'est actif que lorsqu'il est l'expéditeur ou le récepteur, pendant un autre temps il se met en veille. Avec cette méthode, le gaspillage d'énergie est évité sur la surdité et l'écoute au ralenti.

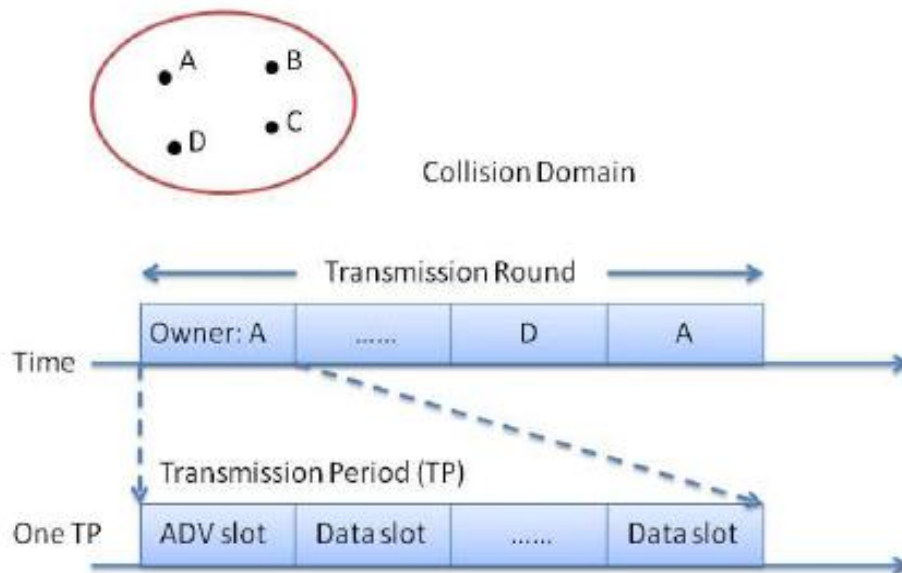


Figure 3.7 : Structure d'A-MAC. [47]

* Wise -MAC :

Dans ce protocole [48], tous les nœuds sont définis comme ayant deux canaux de communication : le canal de données utilise TDMA et le canal de contrôle utilise CSMA, l'échantillonnage de préambule utilisé pour réduire le temps d'écoute au repos. Les nœuds d'échantillonnage ont une période moyenne pour voir si des données sont sur le point d'arriver, comme le montre la figure 3.8.

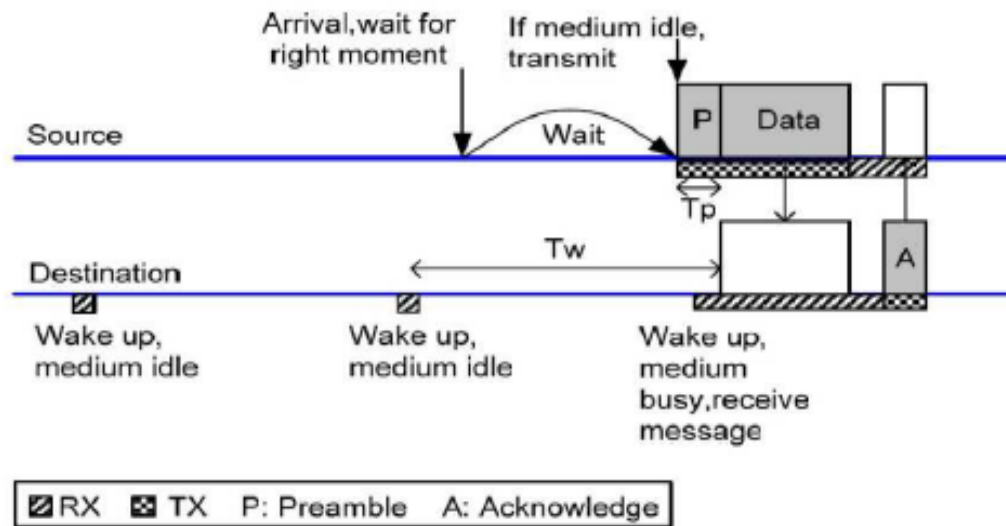


Figure 3.8 : Structure de Wise-MAC. [48]

Ce protocole a plusieurs caractéristiques que nous décrivons brièvement : Dans un premier temps, le réglage de la longueur du préambule est dynamique qui provoque les meilleures performances. Deuxièmement, conflit, quand un nœud commence à envoyer le préambule à un nœud qui reçoit déjà la transmission d'un autre nœud où l'expéditeur du préambule n'est pas dans la plage ; un autre problème dans ce protocole est un problème de terminal caché.

* DEE-MAC :

DEE-MAC [49] est une approche pour réduire la consommation d'énergie, qui permet aux nœuds d'écoute inactifs de s'endormir en utilisant la synchronisation effectuée à la tête du cluster. Notez ici que le schéma MAC basé sur la division de temps à accès multiple (TDMA) est considéré comme un choix naturel pour les réseaux de capteurs car les radios peuvent être éteintes pendant les temps d'inactivité afin d'économiser l'énergie. De plus, le groupement est une technique distribuée prometteuse utilisée dans les RCSF à grande échelle.

Les solutions de regroupement peuvent être combinées à des systèmes fondés sur la TDMA pour réduire le coût de l'écoute au repos. Le fonctionnement du DEE-MAC est divisé en tours, comme dans le système LEACH [50]. Une ronde est la durée entre un nœud diffuse son intérêt pour l'événement et reçoit la réponse de l'événement. Chaque cycle comprend une formation en grappes et des phases de transmission.

En d'autres termes, les opérations DEE-MAC comprennent ces deux phases. Chacun des cycles comprend une phase de formation de grappes et une phase de transmission. Dans la

phase de formation du cluster, un nœud décide de devenir la tête du cluster en fonction de sa puissance restante.

Le nœud ayant le niveau de puissance le plus élevé est élu en tant que tête du cluster. Chaque nouveau cycle introduit la formation d'un autre cluster avec différents groupes de nœuds en fonction du niveau de puissance du nœud actuel et des changements de structure du réseau. Après l'élection réussie de la tête du groupe, le système entre dans la phase de transmission.

Cette phase comprend un certain nombre de sessions et chacune de ces sessions comprend une période de contention et une période de transmission des données. Pour la période de la dispute, chacun des nœuds garde sa radio allumée, et indique l'intérêt d'envoyer un paquet à la tête du cluster. Après cette période, la tête du cluster sait lequel des nœuds a des données à transmettre. La tête de cluster construit un programme TDMA qui est diffusé à tous les nœuds. Chacun des nœuds est assigné avec un slot de données dans chaque session. Basé sur l'horaire diffusé, chacun des nœuds, ayant une donnée à recevoir ou à envoyer, est réveillé.

Les systèmes de regroupement et de TDMA constituent une solution rationnelle pour réduire le coût de l'écoute inactive dans les réseaux de capteurs sans fil à grande échelle. Toutefois, le DEEMAC est destiné aux applications axées sur les événements. Une amélioration supplémentaire de l'efficacité énergétique peut être obtenue en analysant la possibilité d'erreur dans un paquet pendant la période de litige, et en employant la communication inter-grappes par des nœuds au lieu de seulement par les têtes de grappe.

3.3 Approches fondées sur des données :

Des approches fondées sur les données peuvent être utilisées pour améliorer encore plus l'efficacité énergétique. En fait, les données détectent les impacts sur la consommation d'énergie des nœuds de capteurs de deux façons : Échantillons inutiles. Les données échantillonnées présentent généralement de fortes corrélations spatiales et/ou temporelles [51].

Par conséquent, il n'est pas nécessaire de communiquer les informations redondantes à l'évier, ce qui entraîne une diminution de la consommation d'énergie du sous-système de détection. Réduire la communication n'est pas suffisant lorsque le capteur lui-même a faim de puissance. Dans le premier cas, des échantillons inutiles entraînent une consommation d'énergie inutile, même si les coûts d'échantillonnage sont négligeables, ils entraînent des communications inutiles. La deuxième question se pose lorsque la consommation du sous-système de détection n'est pas négligeable.

Les approches fondées sur les données peuvent être divisées en plans de réduction des données pour traiter le cas des échantillons inutiles, tandis que les plans d'acquisition de données éconergétiques visent principalement à réduire l'énergie dépensée par le sous-système de détection.

La réduction des données peut être divisée en traitement en réseau et prédiction des données qui seront ensuite décrites en détail dans ces sections. Le traitement en réseau consiste en effectuant l'agrégation des données (p. ex., calcul de la moyenne de certaines valeurs) à des nœuds intermédiaires entre les sources et le puits. De cette façon, la quantité de données est réduite en traversant le réseau vers l'évier.

La prédiction des données consiste à construire une abstraction d'un phénomène détecté, par exemple un modèle décrivant l'évolution des données. Le modèle peut prédire les valeurs détectées par les nœuds de capteur à l'intérieur de certaines limites d'erreur et résider à la fois sur les capteurs et à l'évier. Si la précision requise est satisfaite, les requêtes émises par les utilisateurs peuvent être évaluées à l'évier à travers le modèle sans avoir besoin d'obtenir les données exactes des nœuds.

3.3.1 Méthodes de prévision des données et traitement en réseau :

Les techniques de prévision de données construisent un modèle décrivant le phénomène détecté, de sorte que les requêtes peuvent être répondues en utilisant le modèle au lieu des données réellement détectées.

Il y a deux exemples d'un modèle dans le réseau, l'un résidant à l'évier et l'autre aux nœuds source de sorte qu'il y a autant de paires de modèles que de sources. De nombreux systèmes d'interrogation de réseaux de capteurs, tels que TinyDB et Cougar, sont développés par une société de recherche sur les bases de données.

À côté des systèmes mentionnés, de nombreuses études ont étudié des techniques de traitement des requêtes dans les réseaux de capteurs. Les protocoles de routage éconergétiques, les techniques de traitement des requêtes en réseau, le traitement approximatif des requêtes de données, les techniques d'adaptation des stratégies et l'optimisation des plans au fil du temps font partie de ces techniques.

La plupart de ces études sont concentrées sur l'optimisation et l'exécution d'une seule requête à long terme. Cette méthode devrait détecter quand partager des données partielles entre

différentes requêtes et comment les informations redondantes devraient être éliminées à travers le chemin.

Une méthode d'encodage appropriée est également utilisée pour envoyer le volume minimal de données à la station de base [50].

Une approche est un modèle formel pour les optimisations de requêtes multiples dans les réseaux de capteurs pour la première fois. Les requêtes arrivées ne sont pas envoyées immédiatement aux nœuds ; au lieu de cela, l'optimiseur de requête dans la station de base met en lots ceux avec le même opérateur d'agrégation dans un seul groupe et optimise chaque groupe indépendamment. L'idée principale de cette approche est d'utiliser une réduction linéaire et une méthode combinatoire pour réduire le nombre de régions nécessaires à l'exécution des requêtes. Muller à [53,54] a considéré l'optimisation des requêtes multiples comme un problème de réécriture et de fusion des requêtes.

L'idée de cette approche est de partager le réseau de capteurs entre plusieurs requêtes. Ce modèle contient une unité de traitement dans la station de base qui fusionne toutes les requêtes pour construire une requête réseau. La requête utilisateur doit être un sous-ensemble de la requête réseau.

En d'autres termes, la requête réseau doit couvrir toutes les requêtes utilisateur. En outre, la fréquence d'échantillonnage de la requête réseau doit être le plus grand déviant commun de toutes les fréquences d'échantillonnage des requêtes utilisateur. La requête réseau est injectée dans le réseau et les nœuds renvoient le résultat réseau à la station de base. Ensuite, le résultat correspondant de chaque utilisateur est extrait pour être livré.

Le principal avantage de cette méthode est que chaque nœud du réseau appartient juste à un arbre de routage unique et il n'y a aucune possibilité d'avoir plusieurs parents ou chemins pour propager les résultats. Une autre approche consiste à diviser les requêtes en deux classes : backbone et non-backbone [54]. Les requêtes backbone sont propagées de la manière normale et doivent partager leurs résultats partiels avec les requêtes de l'ensemble non-backbone.

L'objectif principal de cet algorithme est de déterminer l'arborescence et le nombre de ses membres de manière à minimiser le nombre total de messages transmis dans le réseau. Afin de résoudre ce problème, le problème est mappé à un problème Max-Cut. ayant un ensemble de requêtes, un graphique est formé que chacun des sommets représente une requête et le

poids de chaque bord montre le nombre de messages réduits en effet de partager les résultats partiels des deux requêtes correspondantes. Selon le graphique obtenu, un algorithme heuristique est utilisé pour la sélection de la colonne vertébrale afin de choisir la meilleure coupe des requêtes de la colonne vertébrale.

TAMPA [55] est un algorithme de recherche tabou pour l'optimisation de requêtes multiples qui cherche l'ordre optimal de fusion des requêtes. Les techniques de prédiction de données appartenant à la première classe dérivent à la première caractérisation stochastique du phénomène, notamment en termes de probabilités et de propriétés statistiques.

Deux approches principales de ce genre sont les suivantes. D'une part, il est possible pour mapper les données dans un processus aléatoire décrit en termes de fonction de densité de probabilité (PDF). La prévision des données est ensuite obtenue en combinant les PDF calculés avec les échantillons observés. La solution Ken [56] illustre bien cette approche.

Le schéma général est le même déjà introduit au début de la section actuelle, probablement il y a un certain nombre de modèles, et chacun est reproduit à la source et le puits. Dans ce cas, le modèle de base est probabiliste, c'est-à-dire qu'après une phase de formation, une fonction de densité de probabilité (PDF) référée à un ensemble d'attributs est obtenue.

Lorsque le modèle n'est plus considéré comme valide, le nœud source le met à jour et transmet un certain nombre d'échantillons à l'évier, de sorte que l'instance correspondante peut également être mise à jour. Deuxièmement, la prédiction des séries chronologiques est une méthode typique pour représenter les modèles de moyenne mobile des séries chronologiques (MA), de régression automatique (AR) ou de moyenne mobile régressive automatique (ARMA).

Ces modèles sont assez simples, mais ils peuvent être utilisés dans de nombreux cas pratiques avec une bonne précision. Des modèles plus sophistiqués ont également été développés (comme ARIMA et GARCH), mais leur complexité ne les rend pas compatibles avec les réseaux de capteurs sans fil.

Enfin, les approches algorithmiques et plusieurs autres modèles qui ont été proposés pour la prévision des données dans les réseaux de capteurs sans fil ont été utilisés. Le facteur commun qu'ils partagent est l'approche algorithmique utilisée pour obtenir des prédictions, à partir d'une caractérisation heuristique ou comportementale des phénomènes détectés. Dans ce qui suit, nous discutons des approches les plus importantes de ce genre.

L'approche adoptée par les techniques stochastiques sont générales et solides et fournissent également des moyens d'effectuer des opérations de haut niveau comme l'agrégation. Le principal inconvénient de ces techniques est leur coût de calcul élevé qui peut devenir trop lourd pour les dispositifs de capteur de courant off. Finalement, les approches stochastiques semblent être plus commodes quand un certain nombre de capteurs puissants (p. ex., nœuds de porte des étoiles dans un réseau de capteurs sans fil hétérogène) sont disponibles.

Les améliorations possibles dans cette direction pourraient se concentrer sur la dérivation de modèles distribués simplifiés pour obtenir le compromis souhaité entre le calcul et la fidélité. Au contraire, les techniques de prévision de séries chronologiques peuvent fournir une précision satisfaisante même lorsqu'on utilise des modèles simples (c.-à-d. AR/MA de faible ordre).

À cette fin, leur mise en œuvre dans les dispositifs de capteur est simple et léger. De plus, la plupart des techniques avancées comme [57] n'exigent pas l'échange de toutes les données détectées jusqu'à ce qu'un modèle soit disponible. De plus, ils permettent de détecter les valeurs aberrantes et incohérences de modèle. Cependant, un type spécifique de modèle est utilisé qui est réellement approprié pour représenter le phénomène d'intérêt. Cela nécessiterait la phase de validation a priori, qui peut ne pas être toujours réalisable.

Une orientation intéressante implique l'adoption d'une approche multi-modèle. Comme ce type de technique n'a pas été pleinement exploré, il est possible de poursuivre la recherche et de l'améliorer. Enfin, les techniques algorithmiques doivent être considérées au cas par cas, car elles ont tendance à être plus spécifiques à l'application.

À cette fin, une orientation de recherche se concentrerait sur l'évaluation de l'efficacité d'une solution spécifique pour une certaine catégorie d'applications dans des scénarios réels, afin qu'il puisse être considéré comme une référence pour une étude plus approfondie et des améliorations possibles.

3.4 Conclusion :

L'énergie est l'une des ressources les plus critiques. La plupart des travaux dans les littératures sur le routage RCSF ont souligné les économies d'énergie comme un objectif d'optimisation important.

Cependant, la simple économie d'énergie ne suffit pas à prolonger efficacement la durée de vie du réseau. L'épuisement inégal de l'énergie entraîne souvent une partition du réseau et un faible taux de couverture qui détériorent les performances. Les économies d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil ont attiré beaucoup d'attention au cours des dernières années et ont introduit des défis uniques par rapport aux réseaux filaires traditionnels.

Des recherches approfondies ont été menées pour remédier à ces limites en élaborant des programmes qui peuvent améliorer l'efficacité des ressources. Dans ce document, nous avons résumé certains résultats de recherche qui ont été présentés dans la littérature sur les méthodes d'économie d'énergie dans les réseaux de capteurs. Bien que beaucoup de ces techniques d'économie d'énergie semblent prometteuses, il y a encore de nombreux défis qui doivent être résolus dans les réseaux de capteurs. Par conséquent, d'autres recherches sont nécessaires pour traiter ce genre de situations.

Chapitre 4

4.1 Introduction :

Après avoir abordé les méthodes de conservation de l'énergie dans RCSF, nous allons maintenant présenter l'un des moyens clairement et efficacement éprouvés dans lequel le protocole hiérarchique LEACH qui aide à économiser l'énergie et s'adapte à la faible énergie dans ces capteurs. Comme nous avons mentionné dans le chapitre précédent (DEE-MAC).

4.2. Solution améliorée:

Dans ce travail, on s'intéresse particulièrement à la classe des protocoles hiérarchiques. Le protocole LEACH [58,59] est l'un des premiers protocoles à être proposé et étudié. Il consiste à partitionner le réseau en zones et clusters de façon distribuée, des nœuds CH sont constitués puis utilisés comme relais pour atteindre la destination en optimisant la consommation d'énergie. Basé sur le même principe de fonctionnement, le protocole réalise une meilleure distribution des clusters.

Des CHs sont ainsi sélectionnés périodiquement sur la base de l'énergie résiduelle du nœud et du coût de communication entre les différents clusters. Les CHs correspondants allouent à chacun de leurs membres des temps de traitement différents afin de gérer les conflits lors de la transmission des données. Ils disposent de tâches de mise en veille et de réveil leurs permettant de gérer au mieux leurs ressources.

Contrairement à LEACH qui manipule des clusters, PEGASIS ou Power-Efficient GATHERing in Sensor Information Systems [60] est un protocole basé sur la formation des chaînes de nœuds assurant la liaison entre voisin, i.e., nœud-à-nœud. La communication avec la station de base (SB) est assurée par un nœud représentatif d'une chaîne déjà présélectionnée. Une procédure d'agrégation des informations est mise en œuvre au niveau des nœuds représentatifs afin de faciliter l'acheminement des données vers la destination [60].

Ce protocole atteint rapidement ses limites de fonctionnement dans le cadre des réseaux fortement denses. TEEN et APTEEN respectivement Threshold sensitive Energy Efficient Sensor Network et Adaptive TEEN sont des protocoles utilisant des modèles hiérarchiques conçus pour des applications critiques dont le traitement des données sensibles dépendent fortement du temps [62, 63]. Dans le cadre de ces protocoles, une fois les clusters constitués, les CHs associés transmettent aux nœuds les attributs, les valeurs des seuils, ainsi que le calendrier de transmission.

L'objectif de ce travail de recherche est de proposer puis d'étudier une méthodologie de routage hiérarchique LEACH Amélioré, basée sur un mécanisme de classification du réseau

en un ensemble de clusters constitués de nœuds capteurs représentés par un CH choisi selon un processus sélectif pour l'optimisation des ressources.

Nous avons implémenté une fonction de performance minimisant à la fois la consommation énergétique et les délais d'acheminement d'information bout en bout. Pour tester l'efficacité et montrer les performances et les améliorations de la solution, nous avons réalisé une simulation sur MATLAB et étudie les résultats.

Le présent chapitre est structuré comme suit : dans le paragraphe 2, nous présentons le principe de fonctionnement. Afin d'évaluer ses performances, dans le paragraphe 3, nous réalisons une simulation sur MATLAB de ce protocole. Dans le 4ème paragraphe, nous représentant les résultats de simulation.

4.3 Principe de fonctionnement :

Le protocole de routage hiérarchique proposé est un protocole qui se base sur le partitionnement dynamique du réseau en un ensemble de clusters. Il doit assurer un fonctionnement optimal du réseau par minimisation de la consommation des ressources en termes d'énergie et des délais d'acheminement de l'information.

Nous avons amélioré ce protocole pour optimise la politique d'élection de cluster-head par prendre la distance entre le nœud et la station de base en compte et l'énergie restant

L'implémentation du protocole passe par trois phases de fonctionnement: une phase d'annonce et de création des clusters, une phase d'ordonnancement et une phase de transmission.

4.3.1 Phase d'annonce et création de clusters :

Durant cette phase, la SB annonce le déroulement d'un nouveau round. Les différents nœuds s'auto-élisent pour être des CHs selon une probabilité dite d'élection et un pourcentage établi d'avance de sélection des CHs [5% à 15%]. Cette élection peut-être décrite comme suite :

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

P : le pourcentage des nœuds désirant être CH

r : le round courant

G : l'ensemble des nœuds n'étant pas des CHs durant les dernières $(1/P)$ itérations.

n : aléatoire comprise dans l'intervalle [0,1] attribuée à un nœud.

Si cette dernière est inférieure à un seuil $T(n)$, et la distance entre ce nœud et la station de base est parmi les plus courts, le nœud se déclare CH puis informe ses voisins de son élection. Ainsi, un message d'avertissement contenant son identifiant en tant que CH est diffusé via un protocole MAC CSMA/CA permettant d'éviter de probables collisions et interférences entre les CHs adjacents.

On calcule la distance par l'équation suivant :

$$d(A, B) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

d : est la distance entre A et B.

Les nœuds décident d'appartenir à des CHs en tenant compte de l'amplitude du signal reçu. Ainsi, le CH ayant diffusé un signal de plus grande amplitude aura une probabilité plus importante d'être choisi par rapport à d'autres CHs. En cas d'égalité, le choix d'appartenance à un CH se fait aléatoirement. Cela passe par l'envoi du nœud d'un paquet d'affiliation au CH choisi, ce dernier renvoi un message d'acquittement pour la confirmation.

4.3.2 Phase d'ordonnement :

Une fois les clusters formés, chaque CH passe d'un rôle de simple nœud membre (NM) à un rôle de centre de coordination pour la transmission d'informations au sein de son groupe.

En se basant sur la méthode d'ordonnement de tâche, il met en œuvre le protocole MAC TDMA et assigne à chacun de ses NMs, un intervalle de temps pendant lequel le nœud peut communiquer ses informations. L'ensemble de ces intervalles de temps constituent un Frame, dont la durée diffère selon le nombre de nœuds du cluster.

4.3.3 Phase de transmission :

C'est une phase de collecte d'information permettant de se prononcer sur les performances et la robustesse du protocole. En se basant sur la méthode TDMA pour l'accès à la couche MAC, les NMs communiquent leurs données vers les CHs correspondant pendant un laps de temps prédéfini.

Les données perçues au niveau de chaque CH sont agrégées puis transmises directement vers la SB. En dehors de l'intervalle de temps alloué pour la transmission, chaque nœud a la possibilité de se mettre en veille pour économiser ses ressources.

Dans ce protocole, le traitement des données au niveau de chaque cluster se fait localement et le rôle de chaque CH est de coordonner les échanges avec les autres NMs. Le réseau possède la capacité de s'auto-réorganiser lors de la phase d'élection des CHs.

Chaque nœud a la possibilité d'être le CH et vis versa, chaque CH peut redevenir un simple NM pouvant appartenir à un cluster. L'élection d'un CH se base sur des critères énergétiques. Plus le nœud possède une énergie importante plus il peut devenir CH. Une fois que ce dernier est élu, il communique avec l'ensemble des NMs selon un protocole d'accès à la couche MAC type TDMA.

Il réalise entre autre des fonctions d'agrégation des données issues des NMs optimisant ainsi les délais de traitement donc de la consommation d'énergie. Contrairement aux NMs, les CHs sont en activité permanente puisqu'ils communiquent soit avec l'ensemble des nœuds appartenant à leurs clusters soit ils échangent des données avec la SB.

4.4 Outil de simulation :

MATLAB (une abréviation de "laboratoire matriciel") est un langage de programmation propriétaire multi-paramètres et un environnement informatique numérique développé par MathWorks. MATLAB permet des manipulations matricielles, le traçage de fonctions et de données, la mise en œuvre d'algorithmes, la création d'interfaces utilisateur et l'interfaçage avec des programmes écrits dans d'autres langues.

Bien que MATLAB soit principalement destiné à l'informatique numérique, une boîte à outils optionnelle utilise le moteur symbolique MuPAD permettant d'accéder à des capacités informatiques symboliques. Un progiciel supplémentaire, Simulink, ajoute la simulation graphique multi-domaines et la conception basée sur des modèles pour les systèmes dynamiques et embarqués.

En 2020, MATLAB comptait plus de 4 millions d'utilisateurs dans le monde. Les utilisateurs de MATLAB proviennent de divers horizons en ingénierie, en sciences et en économie.

4.4.1 Origines :

MATLAB a été inventé par le mathématicien et programmeur informatique Cleve Moler. L'idée de MATLAB était basée sur sa thèse de doctorat des années 1960. Moler est devenu professeur de mathématiques à l'Université du Nouveau-Mexique et a commencé à développer MATLAB pour ses étudiants comme un passe-temps.

Il a développé la programmation initiale en algèbre linéaire de MATLAB en 1967 avec son ancien directeur de thèse, George Forsythe. Il a été suivi du code Fortran pour les équations linéaires en 1971.

Au début (avant la version 1.0) MATLAB "n'était pas un langage de programmation; c'était une simple calculatrice interactive de matrice. Il n'y avait pas de programmes, pas de boîtes à outils, pas de graphiques. Et pas d'OED ni de TFF. »

La première version de MATLAB a été achevée à la fin des années 1970. Le logiciel a été dévoilé au public pour la première fois en février 1979 à la Naval Postgraduate School en Californie. Les premières versions de MATLAB étaient des calculatrices matricielles simples comportant 71 fonctions prédéfinies.

À l'époque, MATLAB était distribué gratuitement aux universités. Moler laissait des copies dans les universités qu'il visitait et le logiciel se développait dans les départements de mathématiques des campus universitaires.

Dans les années 1980, Cleve Moler rencontre John N. Little. Ils ont décidé de reprogrammer MATLAB en C et de le commercialiser pour les ordinateurs de bureau d'IBM qui remplaçaient les ordinateurs centraux à l'époque. John Little et le programmeur Steve Bangert ont reprogrammé MATLAB en C, créé le langage de programmation MATLAB et développé des fonctionnalités pour les boîtes à outils.

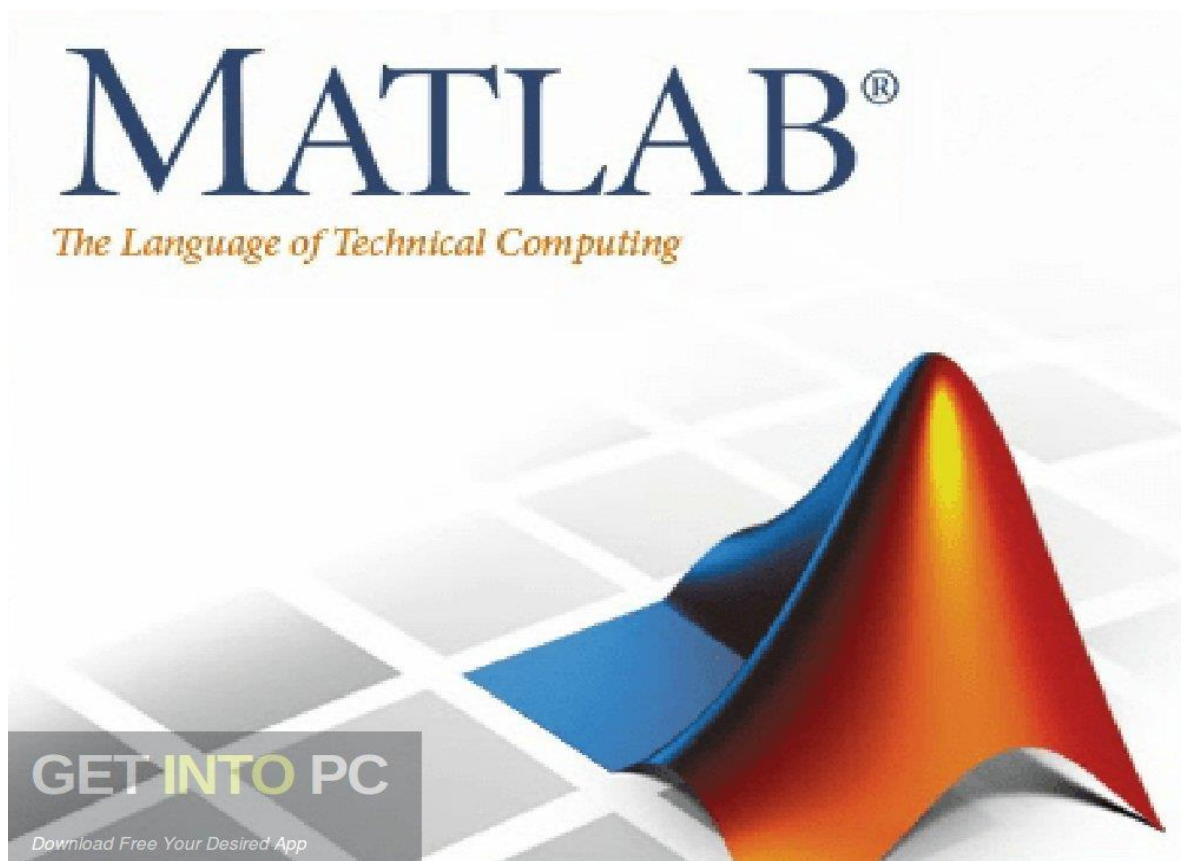


Figure 4.1 : environnement de travail MATLAB.

4.5 Les résultats :

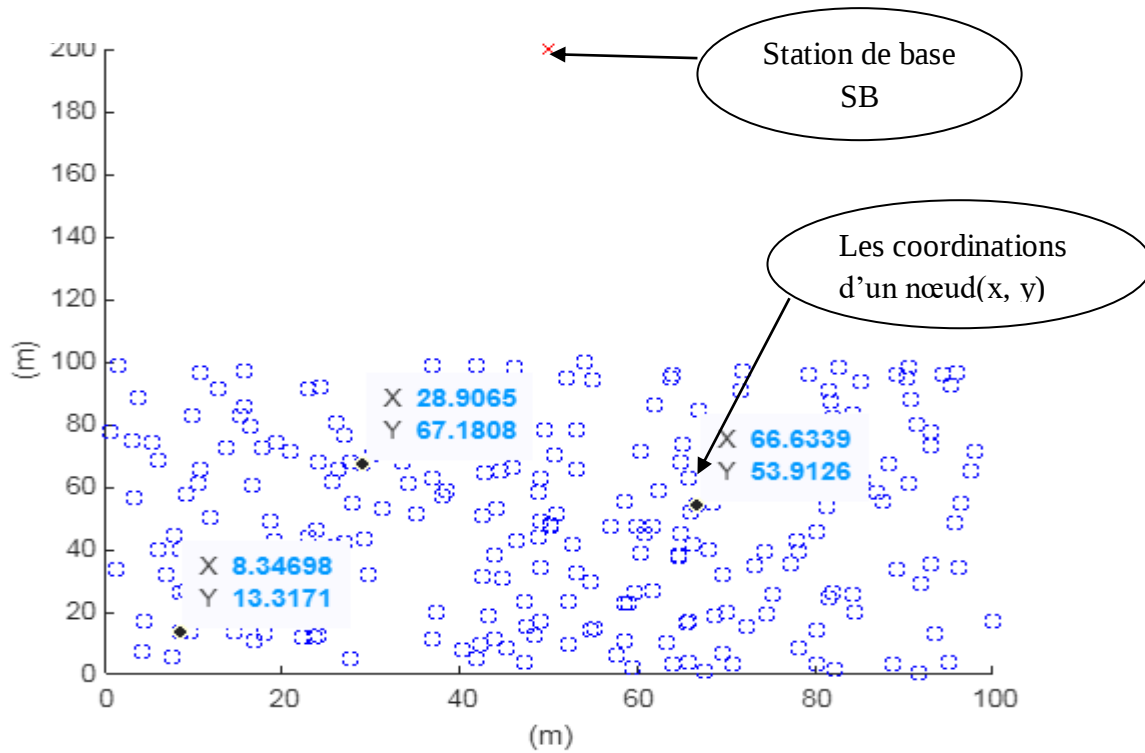


Figure 4.2 : Le réseau des capteurs sans fil.

- Ce graphe représente les nœuds avant le regroupement dans des clusters, La distributions des nœuds a été aléatoire, Chaque nœud a des coordonnes (x, y) pour localisé et facilité le regroupement.

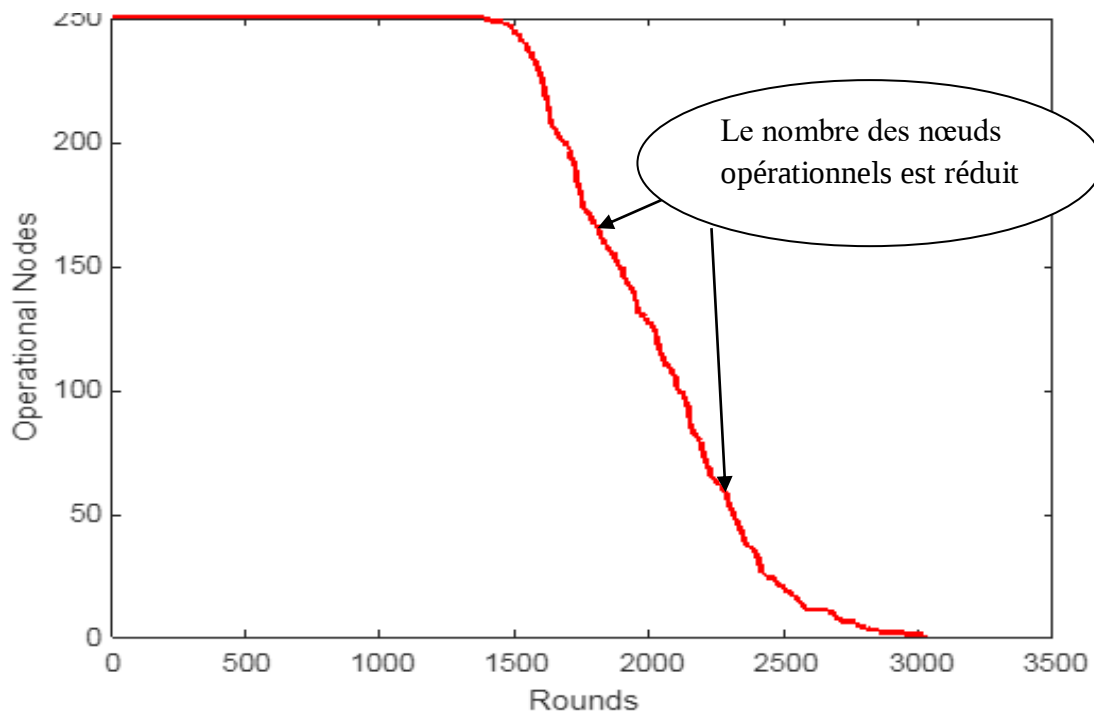


Figure 4.3 : les nœuds opérationnels par tours.

- Ce graphe affiche les nœuds opérationnels par les tours. On remarque que le nombre des nœuds opérationnelles est réduit pendant le croisement des tours, qui prouve que la consommation d'énergie diminue puisque les nœuds va transmettent les informations vers le cluster head puis mettre en veille.

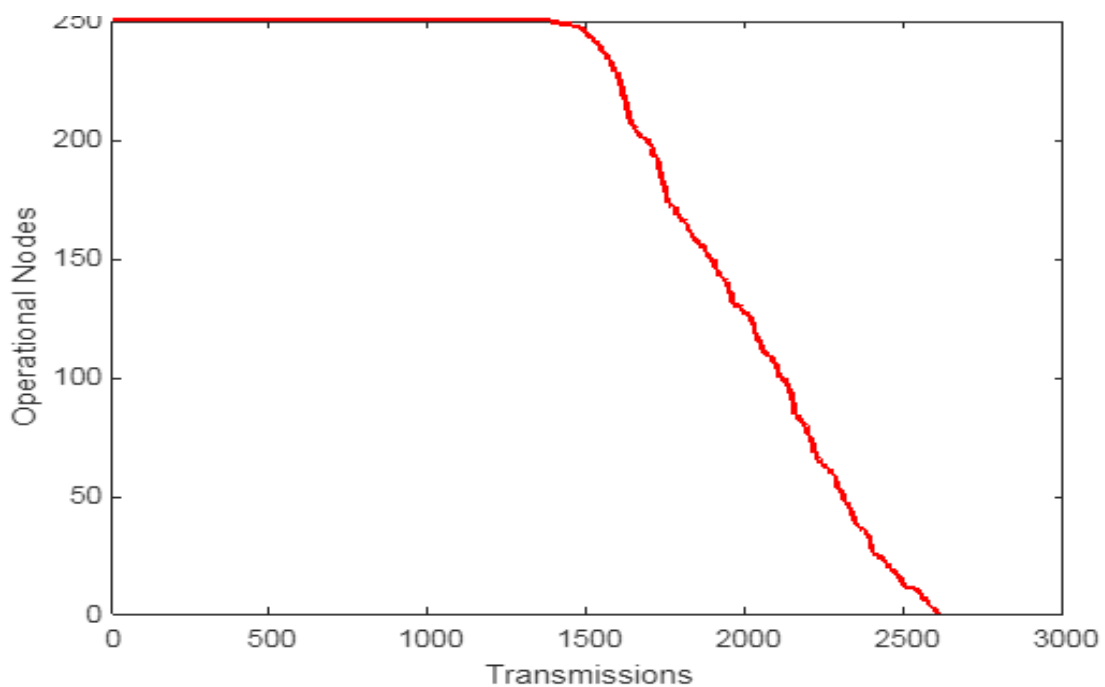


Figure 4.4 : les nœuds opérationnels par transmissions.

- La même chose pour ce graphe, le nombre des nœuds opérationnels diminue pendant l'avancement de l'opération de transmission des informations puisque les nœuds membres transmettent les informations vers le nœud cluster head voisin.

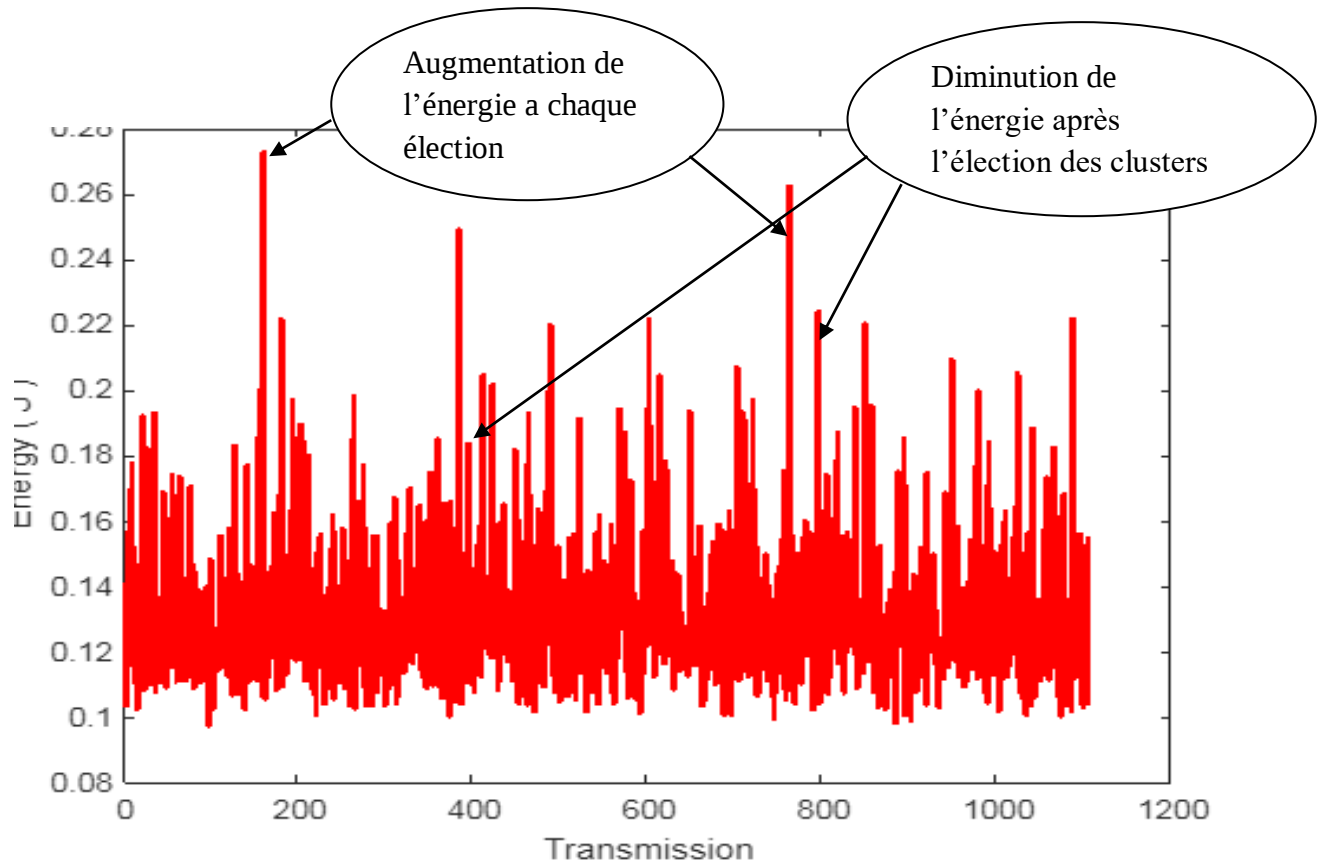
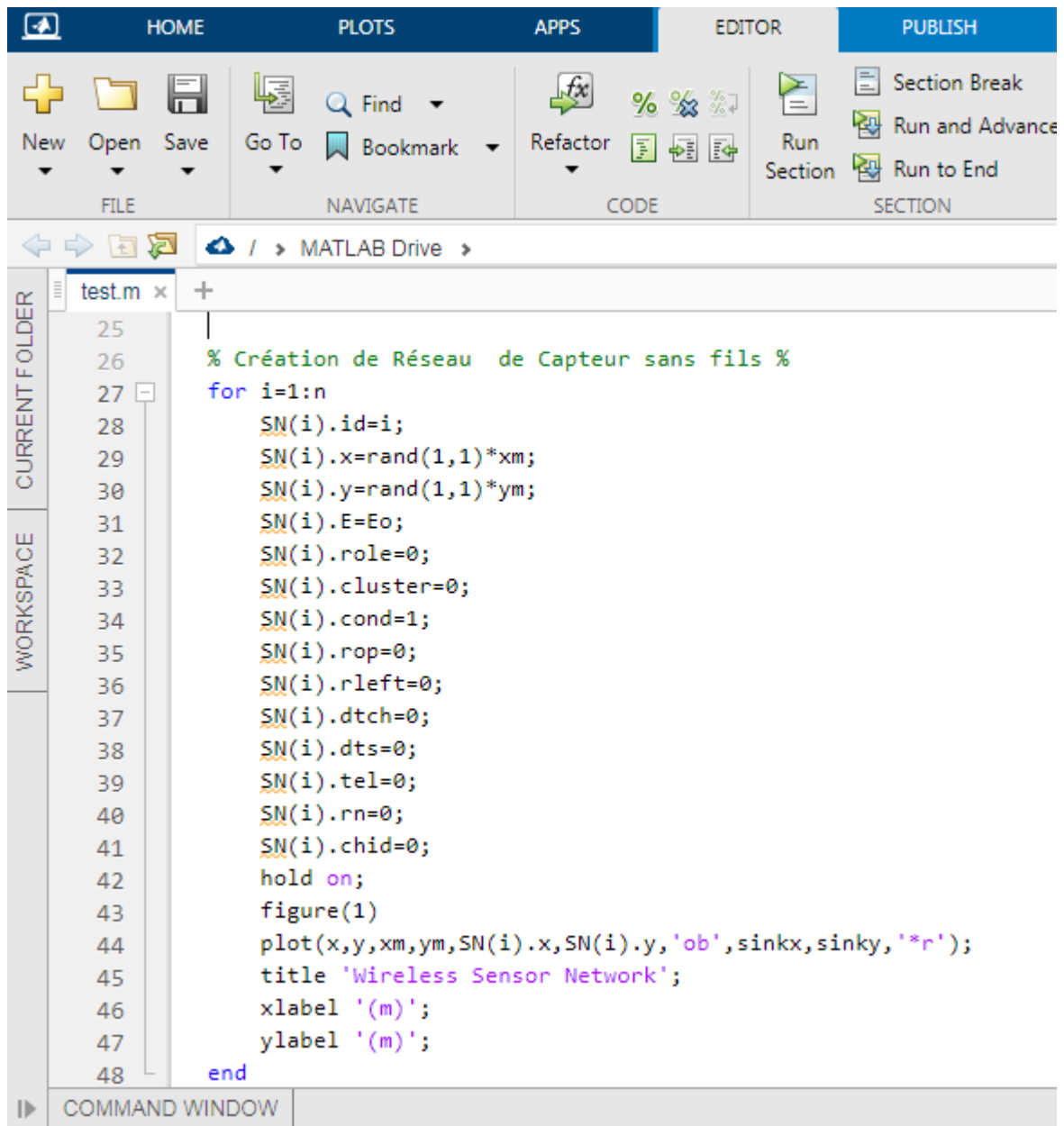


Figure 4.5 : Le quantum d'énergie consommé par chaque transmission.

- Ce graph affiche le quantum d'énergie consommé par chaque transmission, on remarque que la consommation est élevée dans chaque démarrage de transmission (200, 400, 600) car on a 100 nœuds donc il ya 200 transmission (aller et retour). Après le démarrage, le protocole de clustering est déclenché et la consommation d'énergie est diminuée jusqu'à le démarrage suivant.

4.6 Extrait du code source :



```
25  
26 % Création de Réseau de Capteur sans fils %  
27 for i=1:n  
28     SN(i).id=i;  
29     SN(i).x=rand(1,1)*xm;  
30     SN(i).y=rand(1,1)*ym;  
31     SN(i).E=Eo;  
32     SN(i).role=0;  
33     SN(i).cluster=0;  
34     SN(i).cond=1;  
35     SN(i).rop=0;  
36     SN(i).rleft=0;  
37     SN(i).dtch=0;  
38     SN(i).dts=0;  
39     SN(i).tel=0;  
40     SN(i).rn=0;  
41     SN(i).chid=0;  
42     hold on;  
43     figure(1)  
44     plot(x,y,xm,ym,SN(i).x,SN(i).y,'ob',sinkx,sinky,'*r');  
45     title 'Wireless Sensor Network';  
46     xlabel '(m)';  
47     ylabel '(m)';  
48 end
```

Figure 4.6 : Pseudo-code de la création de réseau de capteur sans fils.

```

49 % Phase de configuration %
50 while operating_nodes>0
51     rnd
52     t=(p/(1-p*(mod(rnd,1/p))));
53     tleft=mod(rnd,1/p);
54     CLheads=0;
55     energy=0;
56     for i=1:n
57         SN(i).cluster=0;
58         SN(i).role=0;
59         SN(i).chid=0;
60         if SN(i).rleft>0
61             SN(i).rleft=SN(i).rleft-1;
62         end
63         if (SN(i).E>0) && (SN(i).rleft==0)
64             generate=rand;
65             if generate< t
66                 SN(i).role=1;
67                 SN(i).rn=rnd;
68                 SN(i).tel=SN(i).tel + 1;
69                 SN(i).rleft=1/p-tleft;
70                 SN(i).dts=sqrt((sinkx-SN(i).x)^2 + (sinky-SN(i).y)^2);
71                 CLheads=CLheads+1;
72                 SN(i).cluster=CLheads;

```

Figure 4.7 : Pseudo-code de la configuration de réseau de capteur sans fil.

```

96 % phase d'état stable %
97 for i=1:n
98     if (SN(i).cond==1) && (SN(i).role==0) && (CLheads>0)
99         if SN(i).E>0
100             ETx= Eelec*k + Eamp * k * SN(i).dtch^2;
101             SN(i).E=SN(i).E - ETx;
102             energy=energy+ETx;
103
104             if SN(SN(i).chid).E>0 && SN(SN(i).chid).cond==1 && SN(SN(i)
105             ERx=(Eelec+EDA)*k;
106             energy=energy+ERx;
107             SN(SN(i).chid).E=SN(SN(i).chid).E - ERx;
108             if SN(SN(i).chid).E<=0
109                 SN(SN(i).chid).cond=0;
110                 SN(SN(i).chid).rop=rnd;
111                 dead_nodes=dead_nodes +1;
112                 operating_nodes= operating_nodes - 1
113             end
114         end
115     end
116
117
118     if SN(i).E<=0
119         dead_nodes=dead_nodes +1;

```

COMMAND WINDOW 7 occurrences of "dead_nodes" found

Figure 4.8 : Pseudo-code de l'état stable.

4.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons décrit LEACH, un protocole de routage basé sur le regroupement qui minimise la consommation d'énergie mondiale en distribuant la charge à tous les nœuds à différents moments.

LEACH surpasse les algorithmes de clustering statique en exigeant que les nœuds se portent volontaires pour être des clusters head à haute énergie et en adaptant les clusters correspondantes en fonction des nœuds qui choisissent d'être des clusters head à un moment donné. À des moments différents, chaque nœud a la charge d'obtenir des données des nœuds du groupe, de fusionner les données pour obtenir un signal agrégé et de transmettre ce signal agrégé à la station de base.

LEACH est entièrement distribué, ne nécessitant aucune information de contrôle de la station de base, et les nœuds n'ont pas besoin de connaître le réseau mondial pour que LEACH fonctionne.

La distribution de l'énergie entre les nœuds du réseau est efficace pour réduire la dissipation d'énergie d'un point de vue global et améliorer la durée de vie du système. Plus précisément, nos simulations montrent que : LEACH Amélioré réduit l'énergie de communication de près de 1/3 par rapport à la transmission directe et à l'acheminement minimal de l'énergie de transmission.

Conclusion générale :

Avec d'énormes progrès dans les communications et les réseaux, la dépendance au sans fil est devenue inévitable, et cela s'applique au domaine du RCSF, qui est ce qui nous pousse à faire face au plus grand obstacle dans ce domaine : maintenir l'énergie le plus longtemps possible.

Pour y faire face, nous avons d'abord entrepris notre travail pour faire connaître ce domaine, d'abord aux capteurs, à leurs types et composants, aux réseaux de capteurs sans fil, à leurs types, à leurs domaines d'utilisation, leurs applications, et les difficultés qu'ils rencontrent pour refléter la réalité et se retrouver avec l'ingénierie différente de ces réseaux.

La consommation d'énergie de ces réseaux est liée à la durée de vie du réseau et à plusieurs autres facteurs qui nous empêchent de nous attaquer aux formes de consommation d'énergie dans les réseaux afin de faciliter la tentative d'aborder le problème de plusieurs façons.

Nous avons examiné plusieurs façons et techniques pour préserver l'énergie le plus longtemps possible, comme le duty-cycling. et modifiant les méthodes de routage de toutes sortes

Et comme le protocole LEACH Amélioré que nous avons suivi, nous l'avons amélioré en termes d'ajout d'une Sink qui compile l'information avant de l'envoyer et change la méthode de vote pour sélectionner une tête de cluster qui a donné son efficacité à préserver l'énergie plus longtemps.

L'étude des moyens de conserver et de développer l'énergie joue un rôle très sensible dans notre vie quotidienne, c'est pourquoi nous cherchons plus et essayons d'obtenir de meilleurs résultats à chaque fois. C'est ce que les résultats de notre simulation MATLAB nous ont donné.

Des résultats plus satisfaisants peuvent être obtenus si la recherche et le développement dans ce domaine se poursuivent en utilisant la même approche pour exploiter les techniques disponibles et essayer de les améliorer ou d'aboutir à de nouvelles idées. Un petit résultat serait plus de progrès dans la région et une économie de ressources.

Bibliographie:

- **[1]** I.F. Akyildiz, W. S. Sankarasubramaniam, E. Cayirci: Wireless Sensor Networks: A Survey. Computer networks, 2002, 38, pp.393-422.
- **[2]** Kris Lin, Jennifer Yu, Jason Hsu, Sadaf Zahedi, David Lee, Jonathan Friedman, Aman Kansal, Vijay Raghunathan, and Mani Srivastava. Heliomote: enabling long-lived sensor networks through solar energy harvesting. In SenSys '05: Proceedings of the 3rd international conference on Embedded networked sensor systems, pages 309_309, New York, NY, USA, 2005. ACM.
- **[3]** Thiemo Voigt, Hartmut Ritter, and Jochen Schiller. Utilizing solar power in wireless sensor networks. Local Computer Networks, Annual IEEE Conference on, 0:416, 2003.
- **[4]** D. Estrin et al., "Embedded, Everywhere: A Research Agenda for Networked Systems of Embedded Computers," A National Research Council Report, National Academy Press, 2001.
- **[5]** W. J. Kaiser, K. Bult, A. Burstein, D. Chang, et al., "Wireless Integrated Microsensors," Technical Digest of the 1996 Solid State Sensor and Actuator Workshop, June 1996.
- **[6]** J. Hill, R. Szewczyk, A. Woo, D. Culler, S. Hollar, and K. Pister, "System Architecture Directions for Networked Sensors," Proceedings of the 9th International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems (ASPLOS), November 2000.
- **[7]** A. Mainwaring, J. Polastre, R. Szewczyk, D. Culler, and J. Anderson, "Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring," Proceedings of the First ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA), Atlanta, Georgia, September 2002.
- **[8]** D. Bhaskar Krishnamachari - Networking Wireless Sensors, Cambridge University Press, 2006.
- **[9]** N. Xu, S. Rangwala, K. Chintalapudi, D. Ganesan, A. Broad, R. Govindan, and D. Estrin, "A Wireless Sensor Network for Structural Monitoring," Proceedings of ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys), November 2004.
- **[10]** W. Manges, "It's Time for Sensors to Go Wireless," Sensors Magazine, April 1999.

- **[11]** IEEE 802.15.4, IEEE Standard for Information Technology-Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANS), 2000
- **[12]** The Zigbee Alliance, online at <http://www.zigbee.org>.
- **[13]** D.Bhaskar Krishnamachari - Networking Wireless Sensors ,Cambridge University Press, 2006, 6-9.
- **[14]** W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, “Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks,” Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), January 2000.
- **[15]** W. Hu, C.-T. Chou, S. Jha, and N. Bulusu, “Deploying Long-Lived and Cost-Effective Hybrid Sensor Networks,” Proceedings of the First Workshop on Broadband Advanced Sensor Networks (BaseNets), October 2004.
- **[16]** J.-J. Lee, B. Krishnamachari and C.-C. J. Kuo, “Impact of Heterogeneous Deployment On Lifetime Sensing Coverage in Sensor Networks,” First IEEE International Conference on Sensor and Ad hoc Communications and Networks (SECON), October 2004.
- **[17]** Isabel Dietrich and Falko Dressler. On the lifetime of wireless sensor networks. ACM Transactions on Sensor Networks, 5(1) :1_39, 2009.
- **[18]** Rahim KACIMI, Techniques de conservation d'énergie pour les réseaux de capteurs sans fil, thèse de doctorat, *l'Université Toulouse*, l'Institut National Polytechnique de Toulouse, Septembre 2009.
- **[19]** Vijay Raghunathan, Curt Schurgers, Sung Park, and Mani B. Srivastava. Energy-aware Wireless microsensor networks. IEEE Signal Processing Magazine, 19(2):40_50, Marc 2002.
- **[20]** Ibrahima DIANE, Optimisation de la consommation d'énergie par la prise en compte de la redondance de mesure dans les réseaux de capteurs, thèse de doctorat, L'Universit Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier) ,07 /2014.
- **[21]** Antar Abdul-Qawy , Srinivasulu Tadisetty „Major Energy Dissipation Sources in the IoT-based Wireless Networks“,“International Journal of Electronics, Electrical and Computational System“,IJECS ISSN 2348-117X Volume 6, Issue 9 ,September 2017.

- **[22]** F.Akyildiz, W.Su, Y.Sankarasubramaniam and E. Cayirci, "Wireless Sensor Networks: A Survey", Computer Networks ,Vol 38, 2002.
- **[23]** M.Dong, K.Yung, W. Kaiser, "Low Power Signal Processing Architectures for Network Microsensors", International Symposium on Low Power Electronics and Design, 1997.
- **[24]** M. Ilyas and I. Mahgoub "Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems," Proceedings of the CRC Press, 2005.
- **[25]** M.Ilyas, I.Mahgoub, "Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems", in: Proceedings of the CRC Press, London, Washington, D.C, 2005.
- **[26]** J.Chang, L.Tassiulas, "Energy conserving routing in wireless ad hoc networks", Nineteenth International Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, 2000.
- **[27]** M. Medidi, Y.Zhou, "Extending lifetime with differential duty cycles in wireless sensor Networks", *Globecom07*, 2007.
- **[28]** Y. Xu, J. Heidemann, D. Estrin, "Geography-informed energy conservation for ad hoc", ACM MobiCom, 2001.
- **[29]** M.Zorzi, R.R. Rao, "Geographic Random Forwarding (GeRaF) for Ad Hoc and Sensor Networks: Energy and Latency Performance", IEEE Transactions Mobile Computing, 2003.
- **[30]** P.Casari, A. Marcucci, M. Nati, C. Petrioli, M. Zorzi, "A detailed simulation study of geographic random forwarding (GeRaF) in wireless sensor networks", Proc. of Military Communications Conference 2005, Vol. 1. International Journal of Computer Science & Engineering Survey (IJCSES) Vol.3, No.1, February 2012.
- **[31]** B.Chen, K.Jamieson, H.Balakrishnan, R. Morris, "Span: an energyefficient coordination algorithm for topology maintenance in ad hoc wireless networks", ACM Wireless Networks, 2002.
- **[32]** A.Cerpa, D.Estrin, " ASCENT: Adaptive Self-Configuring sensor Networks Topologies", IEEE TRANSACTIONS ON MOBILE COMPUTING, VOL.3, 2004.
- **[33]** A.Cerpa, D.Estrin, "Ascent: Adaptive Self-Configuring Sensor Network Topologies", IEEE INFOCOM 2002.
- **[34]** B.Chen, K.Jamieson, H.Balakrishnan, R.Morris. "Span: An Energy-Efficient

Coordination Algorithmmm for Topology Maintenance in Ad Hoc Wireless Networks”,
ACM Wireless Networks, Vol. 8, N.5, 2002.

- **[35]** C. Schurgers,V.Tsiatsis,M.B.Srivastava,"STEM: topology management for energy efficient sensor networks", IEEE Aerospace Conference", 2002.
- **[36]** T. Armstrong, "Wake-up Based Power Management in Multi-hop Wireless Networks," Technical Report, University of Toronto 2005, [http: //www .eecg .toronto .edu/ trevor/Wakeup/survey.pdf](http://www.eecg.toronto.edu/trevor/Wakeup/survey.pdf).
- **[37]** X.Yang,N.Vaidya,"A Wakeup Scheme for Sensor Networks : Achieving Balance between Energy Saving and End-to-end Delay",the IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium, pp.19-26, 2004.
- **[38]** G.Anastasi,M.Coti,M.Francesco,A.Passarella, "Energy conservation in wireless sensor networks: A survey", Elsevier, Ad Hoc Network ,2009.
- **[39]** V.Rajendran,K.Obracza,J.J.Garcia-Luna Aceves,"Energy-efficient, Collision-free Medium Access Control for Wireless Sensor Networks",ACM SenSys 2003, November 2003.
- **[40]** J. Polastre, J. Hill, D. Culler, "Versatile Low Power Media Access for Sensor Networks", the Second ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys), 2004.
- **[41]** I.Demirkol,C.Ersoy,F.Alagöz, "MAC Protocols for Wireless Sensor Networks: A Survey", IEEE Communications Magazine, April,2006.
- **[42]** W. Ye,J.Heidemann,D.Estrin,"Medium Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vo.12, Issue: 3, pp. 493-506, 2004.
- **[43]** T. V. Dam and K. Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks",The First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, November 2003.
- **[44]** S.H.Yang, H.W.Tseng, E.H.K.Wu and G. H.Chen, "Utilization Based Duty Cycle Tuning MA Protocol for Wireless Sensor Networks",IEEE Communications Society subject matter experts for publication in the IEEE GLOBECOM ,2005.

- **[45]** L.Campelli,A.Capone,M.Cesana,"A Receiver Oriented MAC Protocol for Wireless Sensor Networks",Mobile Adhoc and Sensor Systems,IEEE Internatonal Conference ,2007.
- **[46]** A.Bachir, Mischa Dohler,T.Wattheyne,K.Leung, "MAC Essentials for Wireless Sensor Networks",IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, VOL. 12, 2010.
- **[47]** I.Rhee, A.Warrier, M.Aia et al,"Z-MAC: a Hybrid MAC for Wireless Sensor Networks", IEEE/ACM Transactions, pp.511 – 524,2008.
- **[48]** A.El-Hoiydi,J.Decotignie,"Low power downlink mac protocols for infrastructure wireless sensor networks",ACM Mobile Networks and Applications,pp.675–690,2005.
- **[49]** S.Cho, K.Kanuri, J.Cho,J.Lee,S.-D.June,"Dynamic Energy Efficient TDMA-based MAC Protocol for Wireless Sensor Networks",Autonomic and Autonomous Systems and International Conference on Networking and Services,pp.48 – 48, 2005.
- **[50]** M.C.Vuran,O.B.Akan,I.F.Akyildiz,"Spatio-temporal correlation: theory and applications for wireless sensor networks", Computer Networks Journal,2004 .
- **[51]** E.Fasolo,M.Rossi, J.Widmer, M. Zorzi,"In-network aggregation techniques for wireless sensor networks: a survey", IEEE Wireless Communications, 2007.
- **[52]** R.Muller,G.Alonso,"Efficient Sharing of Sensor Networks," in Mobile Adhoc and Sensor ,IEEE International Conference, Vancouver, pp. 109-118, 2006.
- **[53]** R Muller,G. Alonso,"Shared queries in sensor networks for multiuser support," Department of Computer Science, ETH Zurich,2006.
- **[54]** H. y' Yang, W.-C. Peng, and C.-H. Lo,"Optimizing Multiple InNetwork Aggregate Queries in Wireless Sensor Networks",12th International Conference on Database Systems for Advanced Application , 2007.
- **[55]** M.Tang,J.Cao,N. K. Chilamkurti, "TAMPA: Tabu Search-Based Multiple Queries Optimization for Wireless Sensor Networks," in IEEE Wireless Communications,2007.
- **[56]** D.Chu,A.Deshpande,J.M.Hellerstein,W.Hong,"Approximate data collection in sensor networks using probabilistic models",22nd International Conference on Data Engineering ,2007.
- **[57]** D.Tulone, S. Madden, "PAQ: time series forecasting for approximate query answering in sensor networks", 3rd European Conference on Wireless Sensor Networks

, 2008.

- **[58]** Culler D, Estrin D, and Srivastava M. Overview of sensor networks. IEEE Computer Society, 37(8) :41–49, 2004..
- **[59]** Heinzelman W, Chandrakasan A, and Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. In Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, 2:3005–3014, 2000.
- **[60]** Tang Y, Zhou M.T, and Zhang X. Overview of routing protocols in wireless sensor networks. Journal of Software, 7(3):410–421, 2006.
- **[61]** Fan X and Son Y. Improvement on leach protocol of wireless sensor network. International Conference on Sensor Technologies and Applications, pages 260–264, 2007.
- **[62]** Bhattacharyya D, Kim T, and Pal S. A comparative study of wireless sensor networks and their routing protocols. Sensors 2010, 10(12) :10506–10523, 2010.
- **[63]** Bani-Yassein M, Al zoubi A, Khamayseh Y, and Mardini W. Improvement on leach protocol of wireless sensor network (vleach). International Journal of Digital Content Technology and its Applications, 3(2):132–136, 2009.