République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Université Ahmed Draia – Adrar

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences et de la Technologie

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme de Master en commande électrique

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Commande Electrique

Thème

Amélioration de l'efficacité énergétique de RCSF à l'aide d'une approche multi-couche

Préparé par :

Smaili AbdAllah et Khidaoui Mohamed Tayeb

Membres de jury :

Examinateur : Dr Laribi Slimane	Université d'ADRAR
Encadreur : Dr Kaddi Mohammed	Université d'ADRAR
Examinateur : Dr Masmoudi Ramdane	Université d'ADRAR

Année Universitaire 2021/2022

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République algérienne populaire et démocratique

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAYA - ADRAR

BIBLIOTHÈQUE CENTRALE

Service de recherche bibliographique

N°.....B.C/S.R.B//U.A/2022

جامعة أحمد دراية - ادرار

المكتبـــة المركـــزية

مصلحة البحث البيبليوغرافي

الرقم.....م.م/م.ب.ب /ج.أ/2022

شهادة الترخيص بالإيداع

انا الأستاذ(ة): قاضي محمد

المشرف مذكرة الماستر.

الموسومة بـــ : Amélioration de l'efficacité énergétique de RCSF à l'aide d'une approche multi-couche

من إنجاز الطالب(ة): سماعيلي عبد الله

و الطالب(ة): خيضاوي محمد الطيب

كلية : العلوم والتكنولوجيا

القسم : العلوم والتكنولوجيا

التخصص: تحكم كهربائي

تاريخ تقييم / مناقشة: 2022/06

أشهد ان الطلبة قد قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة التقييم / المناقشة، وان المطابقة بين النسخة الورقية والإلكترونية استوفت جميع شروطها.

وبإمكانهم إيداع النسخ الورقية (02) والاليكترونية (PDF).

- امضاء المشرف:

ادرار في : 2022/06/30

مساعد رئيس القسم:

د. بحنوني رمضان

مساعد رئيس قسم العلوم والتكنولوجيا مكلف بالتدريس والتكوين في الدرس بكلية العلوم والتكنولوجيا

ملاحظة :لاتقبل أي شهادة بدون التوقيع والمصادقة.

Résumé :

Les avancées technologiques permettant aujourd'hui l'intégration à faible coût d'objets multi-capteurs hétérogènes communicateurs sans fil, en particulier pour la surveillance dans des environnements considérés comme risques ou non accessibles. Un micro-capteur est muni d'une ressource énergétique pour alimenter tous ses composants. Cependant, en raison de sa taille réduite, la ressource énergétique dont il dispose est limitée et généralement irremplaçable. La prolongation de la durée de vie de chaque capteur devient un objectif en soi, afin de garantir une meilleure durée de vie globale au réseau. La consommation d'énergie peut être minimisée dans toutes les couches de la pile de protocoles. Ce travail présente une approche multicouche pour améliorer l'efficacité énergétique des nœuds capteur dans les RCSF.

Mots clés : Micro-capteur, réseau de capteur sans fil, ressource énergétique, prolongation de la durée de vie, consommation d'énergie, l'efficacité énergétique, multi-couche.

Abstract

Technological advances now allow the low-cost integration of heterogeneous wireless communicator multi-sensor objects, in particular for surveillance in environments considered to be at risk or not accessible. A micro-sensor is equipped with an energy resource to power all its components. However, due to its small size, the energy resource it has is limited and usually irreplaceable. Extending the lifetime of each sensor becomes an objective in itself, in order to guarantee a better overall lifetime for the network. Power consumption can be minimized across all layers of the protocol stack. This work presents a multi-layered approach to improve the energy efficiency of sensor nodes in WSNs.

Keywords : Micro-sensor, wireless sensor network, energy resource, life extension, energy consumption, energy efficiency, multi-layer.

REMERCÎMENT

Avant toutes choses, nous tenons à remercier « **Allah** » le tout Puissant Qui nous a donné patience et persévérance pour achever notre travail.

Je remercie très vivement mon encadreur **Dr. Kaddi Mohammed** pour m'avoir conseillé et encouragé et pour m'avoir fait partager son expérience et ses connaissances.

Nous remercions les membres du jury et tous les enseignants et employée dans le département de sciences de la technologie.

Merci à tous ceux qui ont aidé, de près ou de loin, pour que ce travail.

Enfin, je remercie notre parents et toute notre famille, mes notre pour leur soutien et leurs encouragements.

MERCI À VOUS TOUS.

Dédicace

Je dédie cet humble travail :

À mon père

Rien au monde ne vaut les efforts déployés jour et nuit pour mon éducation et mon bien-être. Ce travail est le fruit de votre combat pour me rendre heureux

À ma chère mère, que Dieu ait pitié d'elle et qu'il lui accorde la paix.

J'ai été élevé et j'ai grandi parmi mes frères, chacun en son nom Parents et proches.

Tous mes professeurs, amis et proches

ABD ALLAH

Dédicace

Je dédie cet humble travail à :

La mère généreuse pour ses soins et son enthousiasme dans mon éducation et mon éducation.

À celui qui a enduré les épreuves et la misère de ma vie à cause de moi, mon cher père.

J'ai été élevé et j'ai grandi parmi mes frères, chacun en son nom Parents et proches.

Tous mes professeurs, amis et proches

MOHAMED TAYEB

Table des matieres

Résumé …….....I

Remerciement ……....II

Dédicace ……...III

Table des matières ……...……..V

Table des figures …….…….…….……....VIII

Liste des tableaux ……..X

Table des acronymes ……XI

INTRODUCTION GENERAL 1

Chapitre1 : Généralites sur les réseaux de capteurs sans fil

1.1 INTRODUCTION 2

1.2 CAPTEURS 2

1.2.1 Définition 2

1.2.2 Types des capteurs 2

1.3 CAPTEURS SANS FIL 3

1.3.1 Définition 3

1.3.2 Types des capteurs sans fil 3

1.4 COMPOSANTS DE CAPTEUR 4

1.4.1 Architecture matérielle 4

1.4.2 Architecture logicielle 5

1.5 RESEAUX DE CAPTEUR SANS FIL 6

1.5.1 Définition 6

1.5.2 Architecture d'un réseau de capteurs sans fil 6

1.6 CARACTERISTIQUES D'UN RCSF 7

1.7 ARCHITECTURE PROTOCOLAIRE 8

1.8 FACTEURS DE CONCEPTION DES RCSF 9

1.8.1 Durée de vie du réseau 9

1.8.2 Limite de communication 9

1.8.3 Coût de production 9

1.8.4 Topologie dynamique 9

1.8.5 Limite le coute du capteur 10

1.8.6 Passage à l'´échelle (Scalabilité) 10

1.8.7 Sécurité physique limitée 10

1.8.8 Environnement 10
1.9 CLASSIFICATION DES RCSF 10
1.10 DOMAINES D'APPLICATION DE RCSF 11
1.10.1 Applications militaires 11
1.10.2 Applications médicales 12
1.10.3 Applications domestiques 12
1.10.4 Applications environnementales 12
1.10.5 Applications commerciales 12
1.11 COMPARAISON ENTRE UN RCSF ET UN RESEAU AD HOC 13
1.12 CONCLUSION 15

Chapitre2 : Économie d'énergie dans les RCSF

2.1 INTRODUCTION 16
2.2 NOTION UTILES SUR LE RESEAU DE CAPTEUR 16
2.2.1 Durée de vie d'un réseau de capteur 16
2.2.2 Durée de vie basée sur la connectivité 16
2.2.3 Durée de vie basée sur la couverture 16
2.3 CONSOMMATION D'ENERGIE D'UN NŒUD CAPTEUR SANS FIL 17
2.3.1 Énergie de capture 17
2.3.2 Énergie de traitement 18
2.3.3 Énergie de communication 18
2.4 FACTEUR ET SOURCES DE SURCONSOMMATION D'ENERGIE 18
2.5.1 Surconsommation d'énergie 18
2.5.2 Facteurs intervenants dans la consommation d'énergie 19
2.5 TECHNIQUES DE CONSERVATION D'ENERGIE DANS LES RCSF 22
2.5.1 Techniques du Duby-cycling 23
2.5.2 Approches orientées donnée 27
2.5.3. Techniques Mobilité 29
2.6 CONCLUSION 29

Chapitre3 : Architecture inter-couches (cross-layer)

3.1INTRODUCTION 30
3.2 CONCEPT INTER-COUCHES (CROSS- LAYER) 30
3.3 IMPORTANCE DE L'APPROCHE INTER-COUCHES (CROSS-LAYER) DANS LES RCSF 30
3.4 TYPES D'ARCHITECTURE CROSS- LAYER 31

3.4.1 Architecture Cross-layer à base de communication directe 31
3.4.2 Architecture Cross-layer à base de communication indirecte 31
3.4.3 Architecture Cross-layer à base de nouvelles abstractions 32
3.5 PROTOCOLES CROSS-LAYER AVEC QDS POUR LES RCSF 33
3.5.1 Protocole QUATTRO 33
3.5.2 Protocole CL-MAC 38
3.5.3 Autres protocoles Cross-layer avec QdS pour les RCSF 43
3.6 CONCLUSION 43

Chapitre 4 : Approche proposée

4.1. INTRODUCTION 43
4.2 DESCRIPTION DE NOTRE APPROCHE 43
4.2.1 MECANISME 44
4.2.2 Phases de notre approche 45
4.3 SIMULATION DE L'APPROCHE PROPOSEE 46
4.3.1 Choix de langage de programmation 46
4.3.2 Modèle du système 47
4.4 RESULTATS DE LA SIMULATION ET ANALYSE 49
4.4.1 Indicateurs de performance 49
4.4.2 Résultats de simulation 49
4.4.3 Analyse de résultats 50
4.5 CONCLUSION 51
CONCLUSION GENERALE 52
BIBLIOGRAPHIE 53

Liste des figures

Figure1. 1 : Exemple d'un nœud capteur. 2
Figure1. 2 : Exemple d'un Nœud capteur MicaZ. 4
Figure1. 3 : Architecture matérielle d'un capteur. 5
Figure1. 4 : Exemple d'un réseau de capteur sans fil. 6
Figure1. 5 : Protocoles de routage à plat. 7
Figure1. 6 : Protocoles de routage hiérarchique. 7
Figure1. 7 : Pile protocolaire. 9
Figure1. 8 : Classification des RCSF selon le type de communication entre nœuds et SB. ... 11
Figure1. 9 : Quelques Domaines principaux d'application de RCSF. 13

Figure2. 1 : Consommation d'énergie en capture, traitement et transmission. 18
Figure2. 2 : L'écoute abusive dans une transmission. 21
Figure2. 3 : Les techniques de conservation d'énergie. 22

Figure3. 1 : Architecture Cross-layer à base de communication directe. 31
Figure3. 2 : Architecture Cross-layer à base de communication indirecte. 32
Figure3. 3 : Architecture à base de nouvelles abstractions. 32
Figure3. 4 : Format de message de découverte de route. 34
Figure3. 5 : Format des messages WPRB et WRSP. 35
Figure3. 6 : La phase de réservation. 36
Figure3. 7 : La phase de collecte des informations sur les interférences des clusters. 37
Figure3. 8 : Interaction entre CL-MAC et la couche réseau. 40
Figure3. 9 : Structure des trames RTS et CTS. 41
Figure3. 10 : Comportement temporel de CL-MAC. 42
Figure3. 11 : Algorithme détaillé qui implémente CL-MAC au sein de chaque nœud capteur. 42

Figure4. 1 : Mécanisme de notre approche. 45
Figure4. 2 : Le modèle de dissipation de l'énergie utilisé. 48
Figure4. 3 : Nombre de nœuds vivants VS Nombre d'itérations. 49
Figure4. 4 : Nombre de CH VS Nombre d'itérations. 50
Figure4. 5 : Nombre de paquets VS Nombre d'itérations. 50

Liste des tableaux

Tableau1. 1 : Comparaison entre un RCSF et un réseau Ad Hoc. 14

Tableau2. 1 : Comparaison entre les techniques d'accès au médium dans les RCSF. 26

Tableau4. 1 : Caractéristiques matérielles. 47

Liste des acronymes

SB	**S**tation de **B**ase.
ADC	**A**nalog to **D**igital **C**onverter.
OS	**O**pen **S**ource.
RCSF	**R**éseaux de **C**apteurs **S**ans **F**il.
WSN	**W**ireless **S**ensor **N**etwork.
MAC	**M**edia **A**ccess **C**ontrol.
GPS	**G**lobal **P**ositioning **S**ystem.
C4ISRT	**C**ommand, **C**ontrol, **C**ommunications, **C**omputing, **I**ntelligence, **S**urveillance, **R**econnaissance et **T**argeting.
QOS	**Q**uality **o**f **s**ervice.
CSF	**C**apteur **S**ans **F**il.
STEM	**S**parse **T**opology And **E**nergy **M**anagement.
TDMA	**T**ime **D**ivision **M**ultiplexing **A**ccess.
LEACH	**L**ow **E**nergy **A**daptive **C**lustering **H**ierarchy.
CSMA	**C**arrier **s**ense **m**ultiple **a**ccess.
LBT	**l**isten **b**efore **t**alk.
S-MAC	**S**ensor **MAC.**
RTS	**R**aques-**T**o-**S**and.
CTS	**C**lear-**T**o-**S**and.
Z-MAC	**Z**ébra **MAC**.
CMOS	**C**omplementary **M**etal **O**xide **S**emi-conducteurs.
QDS	**Q**ualité **d**e **S**ervice.
QUATTRO	**QUA**lity-of-service-capable cluster-based **T**ime-shared **RO**uting-assisted MAC Protocol.
CH	**C**luster **H**ead.
TREnD	**T**imely, **R**eliable, **E**nergyefficient and **D**ynamic.

Introduction général

Les réseaux de capteurs sans fil(RCSF) sont une nouvelle technologie qui a surgit après les grands progrès technologiques concernant le développement des capteurs intelligents, des processeurs puissants et des protocoles de communications sans fil. Ce type de réseau composé de certaines ou de milliers d'éléments, a pour but la collecte de données de l'environnement, leur traitement et leur dissémination vers le monde extérieur. Les réseaux capteur constitués de plusieurs capteurs minuscules ou nœuds ayant une caractéristique essentielle résidant dans l'absence d'infrastructure fixe et ayant une topologie changeante due à la mobilité des capteurs.

Dans de nombreuses applications, on veut recueillir les données de tous les capteurs dans une station spécifique pour le traitement, ou pour l'archivage. Les principaux problèmes dans les réseaux de capteurs sans fil sont le protocole de routage, l'énergie consommée par le nœud. Ces capteurs sont parfois déployés dans des zones hostiles. Il est donc nécessaire d'avoir une stratégie efficace qui prend en considération l'énergie du réseau pour augmenter sa durée de vie en réduisant la perte d'énergie.

L'objectif principal de cette mémoire est de savoir comment améliorer l'efficacité énergétique de RCSF à l'aide d'une approche multi-couche.

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres, selon le plan méthodologique suivant :

- Le premier chapitre présente un aperçu général sur les capteurs et les réseaux de capteurs sans fil.
- Le deuxième chapitre aborde les notions de base relatives à l'économie d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil.
- Dans le troisième chapitre, nous expliquerons l'architecture Inter-couches (Cross-Layer).
- Le chapitre 4 décrit notre approche proposée ainsi que les résultats de simulation obtenus.

Chapitre1 : *Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil*

Sommaire

1.1 Introduction.

1.2 Capteurs.

1.3 Capteurs sans fil.

1.4 Composants de capteur.

1.5 Réseaux de capteur sans fil.

1.6 Caractéristiques d'un RCSF.

1.7 Architecture protocolaire.

1.8 Les facteurs de conception des RCSF.

1.9 Classification des RCSF.

1.10 Domaines d'application de RCSF.

1.11 Comparaison entre un RCSF et un réseau Ad Hoc.

1.12 Conclusion.

1.1 Introduction

Les réseaux de capteurs sans fil se sont considérablement développés ces derniers temps, car ils ont gagné en popularité et sont largement utilisés dans divers domaines, et nous mentionnons en particulier les domaines militaire, médical et environnemental. Il se compose d'un grand nombre de mini-nœuds et est équipé d'un émetteur et d'un récepteur, d'un microprocesseur et d'un capteur de faible puissance, de sorte qu'il peut connecter les réseaux informatiques mondiaux et le monde physique ensemble. Le concept de réseaux de capteurs sans fil a attiré l'attention de nombreux scientifiques, instituts de recherche et commerciaux organisations qui ont présenté une grande quantité de documents de recherche sur ce sujet, et tout cela est dû à l'énorme potentiel et à l'importance de l'utilisation de réseaux de capteurs sans fil.

Dans ce présent chapitre, nous présentons un aperçu général sur les capteurs et les réseaux de capteurs sans fil.

1.2 Capteurs

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].

Figure1. 1 : Exemple d'un nœud capteur.

1.2.2 Types des capteurs

Nous pouvons diviser les capteurs en deux partie [2] :

1.2.2.1 Capteurs actifs : Fonctionnant en générateur, un capteur actif est généralement fondé dans son principe sur un effet physique qui assure la conversion en énergie électrique de la forme d'énergie propre à la grandeur physique à prélever, énergie thermique, mécanique ou de rayonnement.

1.2.2.2 Capteurs passifs : Il s'agit généralement d'impédance dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée. La variation d'impédance résulte :

- Soit d'une variation de dimension du capteur, c'est le principe de fonctionnement d'un grand nombre de capteur de position, potentiomètre, inductance à noyaux mobile, condensateur à armature mobile.
- Soit d'une déformation résultant de force ou de grandeur s'y ramenant, pression accélération (armature de condensateur soumise à une différence de pression, jauge d'extensomètre liée à une structure déformable).

1.3 Capteurs sans fil

1.3.1 Définition

Les capteurs sont des dispositifs de taille extrêmement réduite avec des ressources très limitées, autonomes, capable de traiter des informations et de les transmettre, via les ondes radio, à une autre entité (capteurs, unité de traitements...) sur une distance limitée à quelques mètres [3].

1.3.2 Types des capteurs sans fil

Il existe actuellement un grand nombre de capteurs, avec des fonctionnalités diverses et variées. La plupart des capteurs dépendent de l'application pour laquelle ils ont été conçus (Capteurs aquatiques, sous-terrain, etc.).

Depuis un peu plus de 10 ans, la technologie des capteurs sans fil a beaucoup évoluée. Les modules deviennent de plus en plus petits et les durées de vie prévues augmentent.

Aujourd'hui, le marché de nœuds a été ouvert à l'industrie. Le fournisseur le plus connu est

Cross Bow Inc. avec son offre de capteurs Mica2 et MicaZ [4].

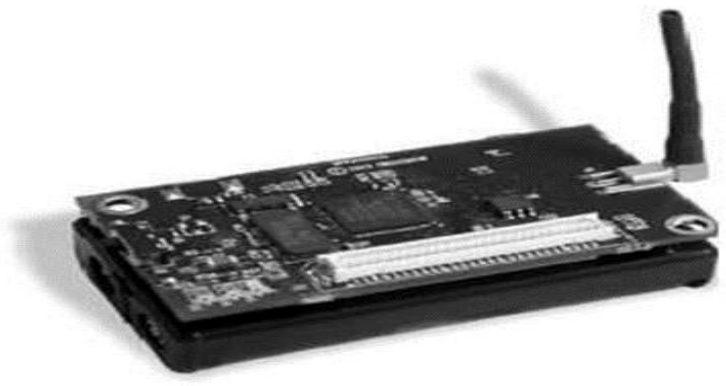


Figure1. 2 : Exemple d'un Nœud capteur MicaZ.

1.4 Composants de capteur

1.4.1 Architecture matérielle

Un capteur est un élément qui effectue trois principales tâches : il prélève des données sur le terrain, il effectue si nécessaire un traitement des données et enfin il communique avec les autres nœuds. Pour remplir ces fonctions, un nœud possède quatre unités de base [5] :

1.4.1.1 Unité captage (Sensing unit)

Elle est composée d'un dispositif de capture physique qui prélève l'environnement local et un convertisseur analogique/numérique appelé ADC (Analog to Digital Converter) qui va convertir l'information relevée et la transmettre à l'unité de traitement.

1.4.1.2 Unité de traitement (Processing unit)

Elle est composée de deux interfaces, une interface pour l'unité d'acquisition et une autre pour l'unité de transmission. Cette unité est également composée d'un processeur et d'une mémoire. Elle acquiert les informations en provenance de l'unité d'acquisition et les stocke en mémoire ou les envoie à l'unité de transmission.

1.4.1.3 Unité de communication (Transceiver unit)

Elle est composée d'un émetteur/récepteur (module radio) pour assurer toutes les émissions et réceptions de données.

1.4.1.4 Unité d'énergie (Power unit)

Elle est responsable de la gestion de l'énergie et de l'alimentation de tous les composants du capteur. Elle consiste, généralement, en une batterie qui est limitée et irremplaçable, ce qui a rendu l'énergie comme principale contrainte pour un capteur.

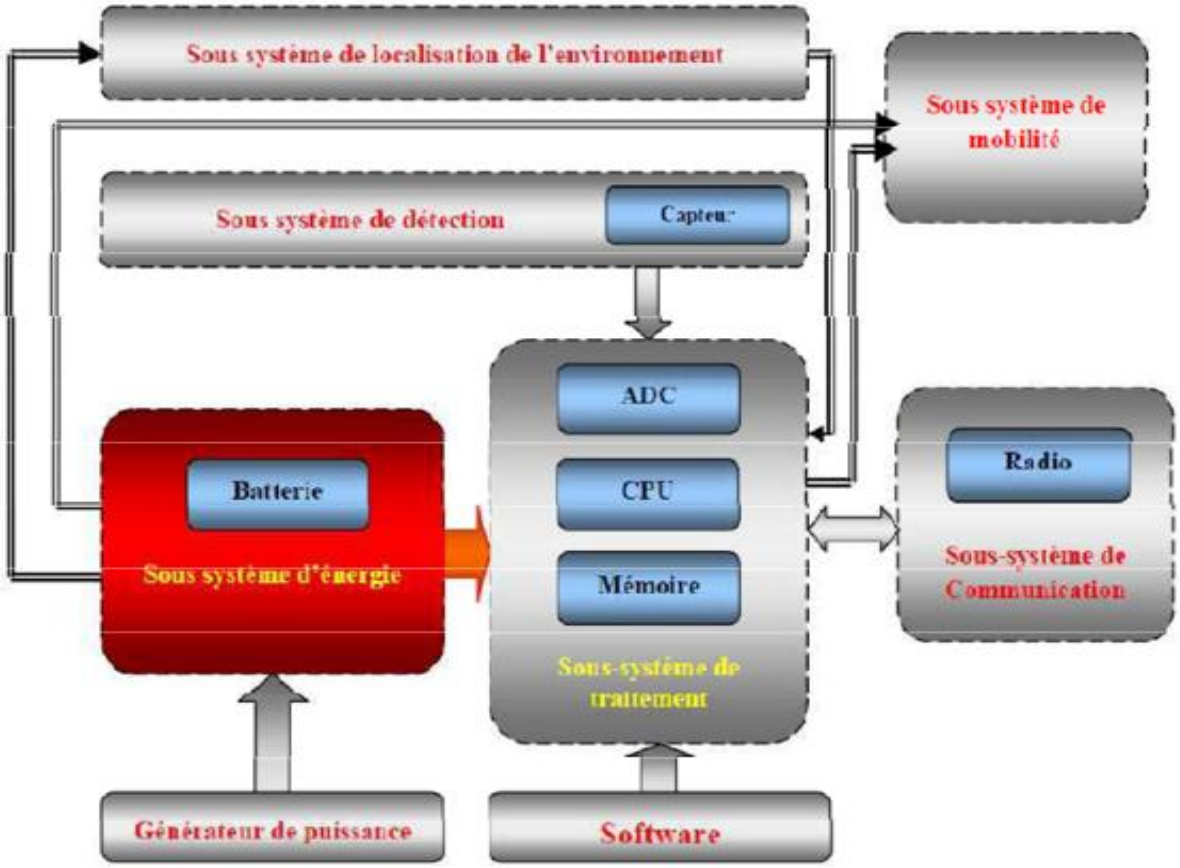


Figure1. 3 : Architecture matérielle d'un capteur.

1.4.2 Architecture logicielle

Un capteur est généralement géré par un mini système d'exploitation, pour supporter les différentes opérations des nœuds. Ces systèmes d'exploitation utilisent une architecture basée sur les composants du capteur. Cela permet une implémentation et une innovation rapide et un code source de taille réduite [6].

Nous citons comme exemple de systèmes d'exploitation : Mote, Mote2, TinyOS, ZigBee et SOS. TinyOS est l'un des systèmes d'exploitation destiné aux réseaux de capteurs sans fils. Il est intégré, modulaire, destiné aux réseaux de capteurs miniatures. Cette plate-forme logicielle ouverte et une série d'outils développés par l'Université de Berkeley est enrichie par une multitude d'utilisateurs. En effet, TinyOS est le plus répandu des OS (Open Source) pour les réseaux de capteurs sans-fils. Il est utilisé dans les plus grands projets de recherches sur le sujet.

Cet OS est capable d'intégrer très rapidement les innovations en relation avec l'avancement des applications et des réseaux eux même tout en minimisant la taille du code source en raison des problèmes inhérents de mémoire dans les réseaux de capteurs. La librairie TinyOS comprend les protocoles réseaux, les services de distribution, les pilotes de périphériques

(drivers) pour capteurs et les outils d'acquisition de données. TinyOS est a une grande partie écrite en C mais on peut très facilement créer des applications personnalisées en langages C, NesC et Java [6].

1.5 Réseaux de capteur sans fil

1.5.1 Définition

Un réseau de capteurs sans fil (RCSF) ou Wireless Sensor Network (WSN) est un réseau informatique composé de petits dispositifs autonomes, axés ou dispersés aléatoirement dans une zone d'intérêt , utilisant des capteurs coopérant pour surveiller des conditions environnementales ou physiques, comme la température, le son, les vibrations, la pression, le mouvement, etc.[7].

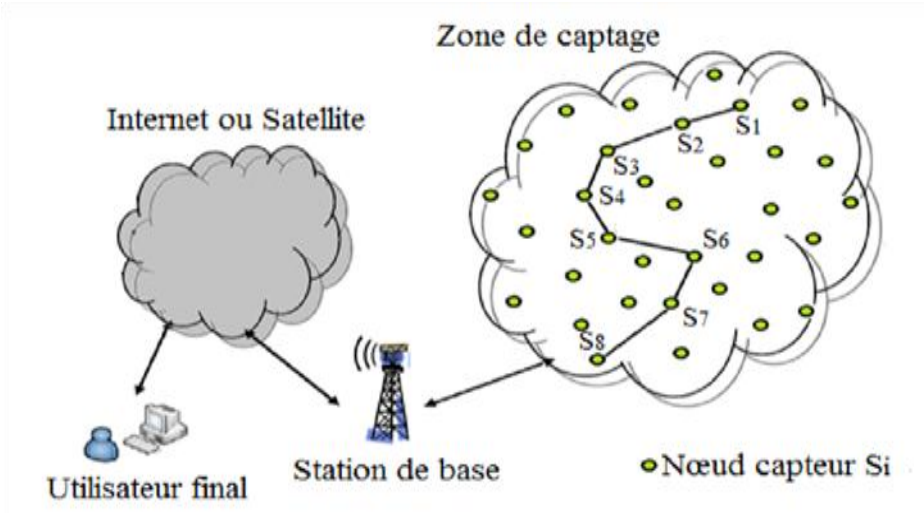


Figure1. 4 : Exemple d'un réseau de capteur sans fil.

1.5.2 Architecture d'un réseau de capteurs sans fil

Il existe deux types d'architecture pour les réseaux de capteurs sans fil : Les RCSF plats et les RCSF hiérarchiques [8].

1.5.2.1 RCSF plats

Un RCSF plat est un réseau homogène où tous les nœuds ont les mêmes ressources en terme d'énergie, de calcul et de mémoire. Cette architecture est utilisée pour des réseaux ayant un déploiement massif des nœuds (plusieurs nœuds capteurs / m2) et un mode de communication sans fil en multi-sauts (c'est-à-dire que l'information envoyée par un nœud récolteur doit transiter par plusieurs nœuds intermédiaires avant d'atteindre sa destination finale sur le réseau et sans aucun traitement supplémentaire sur la donnée transportée). Ces

deux conditions rendent le passage à l'échelle très critique et la consommation d'énergie pour le routage des informations énorme.

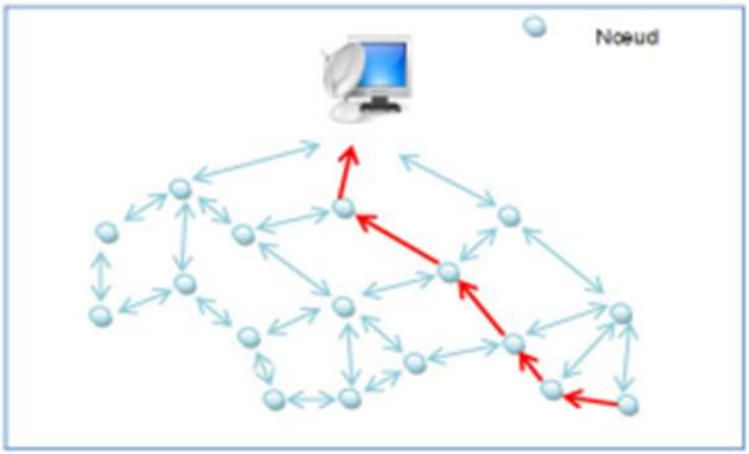


Figure1. 5 : Protocoles de routage à plat.

1.5.2.2 RCSF hiérarchiques

Contrairement au type d'architecture présenté ci-dessus, un RCSF hiérarchique est un réseau où tous les nœuds ne possèdent pas les mêmes rôles et par conséquent les mêmes ressources. En effet, l'introduction d'un certain nombre de nœuds puissants permet de décharger une grande partie des nœuds ordinaires de plusieurs taches du réseau. Ainsi, les tâches complexes et gourmandes en ressources sont exécutées par les nœuds intégrés et les tâches de base (comme la capture) sont assumées par les nœuds ordinaires.

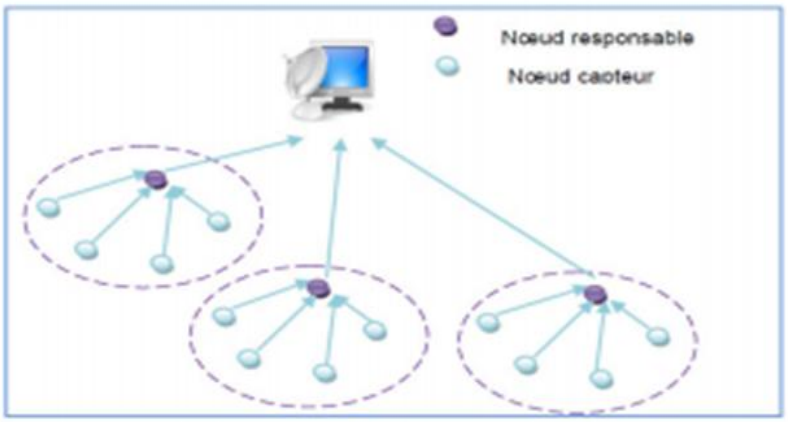


Figure1. 6 : Protocoles de routage hiérarchique.

1.6 Caractéristiques d'un RCSF

Un réseau de capteurs sans fil possède plusieurs caractéristiques [9] dont :

- Ressources limitées des capteurs en calcul, en mémoire et en énergie.
- Durée de vie limitée.
- Mode de communication direct ou en multi-sauts.

- Densité importante des capteurs qui peuvent atteindre des dizaines de millions pour certaines applications.
- Possibilité de découper le réseau en clusters et d'utiliser les capteurs comme calculateurs ou des agrégateurs.
- La coopération entre les nœuds capteurs pour les taches complexes.
- Absence d'un identifiant global pour les capteurs.
- Deux modes de fonctionnement : « Un à plusieurs » où la station de base diffuse des informations aux différents capteurs ; et « Plusieurs à un » où les nœuds capteurs diffusent des informations à la station de base.

1.7 Architecture protocolaire

La pile protocoles utilisée par le puits (Sink) ainsi que par tous les nœuds capteurs est donnée dans la fig. I.7. Cette pile de protocoles combine routage et gestion d'énergie et intègre les données avec les protocoles réseau. Elle communique de manière efficace (en termes d'énergie) à travers le support sans fil et favorise les efforts de coopération entre les nœuds capteurs. La pile protocoles comprend une couche application, une couche transporte, une couche réseau, une couche liaison de donnée, une couche physique, un plan de gestion d'énergie, un plan de gestion de mobilité et un plan de gestion des tâches. Selon les tâches de détection, différentes types de logiciels d'application peuvent être construits et utilisés dans la couche application. La couche transport contribue au maintien du flux de données si l'application du réseau de capteurs l'exige. La couche réseau s'occupe de l'acheminement des données fournies par la couche transport. Comme l'environnement est sujet au bruit et que les nœuds capteurs peuvent être mobiles, le protocole MAC doit tenir compte de la consommation d'énergie et doit être en mesure de réduire les collisions entre les nœuds voisins lors d'une diffusion par exemple. La couche physique répond aux besoins d'une modulation simple mais robuste, et de techniques de transmission et de réception.

En outre, les plans de gestion d'énergie, de mobilité et des tâches entre surveillent et gèrent la consommation d'énergie, les mouvements et la réparation des tâches entre les nœuds capteurs. Ces plans aident les nœuds capteurs à coordonner les tâches de détection et à réduire l'ensemble de la consommation d'énergie [10].

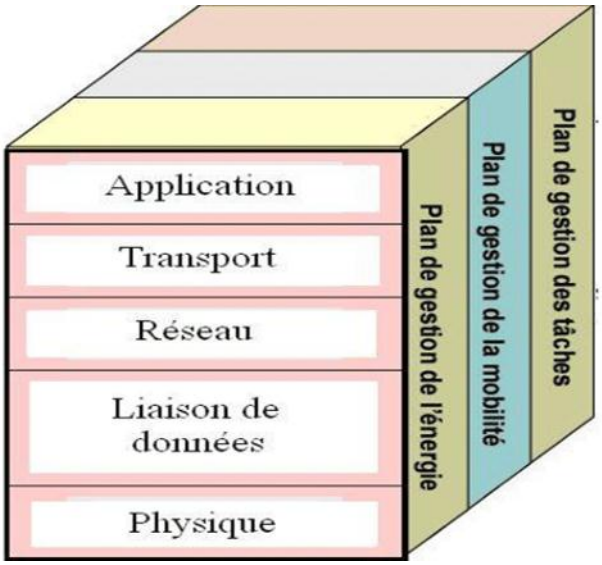


Figure1. 7 : Pile protocolaire.

1.8 Facteurs de conception des RCSF

La conception d'un réseau de capteur sans fil engendre beaucoup de contraintes :

1.8.1 Durée de vie du réseau

C'est l'intervalle de temps qui sépare l'instant de déploiement du réseau de l'instant où l'´énergie du premier nœud s'´épuise. Selon l'application, la durée de vie exigée pour un réseau peut varier entre quelques heures et plusieurs années [9].

1.8.2 Limite de communication

Les capteurs opérants `a bas débits au temps de transfert les données entre les capteurs pour minimiser l'énergie consomment. Un débit réduit n'est pas handicapèrent pour le réseau [11].

1.8.3 Coût de production

Le coût d'un simple nœud est important pour la mise en point du coût globale du réseau Si le coût du réseau de capteur sans fil est plus cher qu'un réseau classique alors cette nouvelle technologie ne serait pas rentable en conséquence, le cout de chaque nœud doit être le plus bas possible, par exemple le prix d'un seul capteur ne doit pas atteindre 1$ [12, 9].

1.8.4 Topologie dynamique

La topologie des réseaux de capteurs peut changer au cours du temps pour les raisons suivantes [9] :

- Les nœuds capteurs peuvent être déployés dans des environnements hostiles (champ de bataille par exemple), la défaillance d'un nœud capteur est, donc très probable.
- Un nœud capteur peut devenir non opérationnel `à cause de l'expiration de son énergie.
- Dans certaines applications, les nœuds capteurs et les stations de base sont mobiles.

1.8.5 Limite le coute du capteur

Les couts des capteurs actuellement sont beaucoup élevés. Il est relatif au nombre de fonctionnalité qu'il désert .par exemple, si on veut ajouter le système GPS (Global Positioning System), un mobilisateur ou un système qui génère l'énergie selon les applications, le cout de chaque unité s'ajoute au cout globale de capteur [10].

1.8.6 Passage à l'´échelle (Scalabilité)

Le nombre de capteur peut être varié de quelque entité a plusieurs donc le réseau doivent pouvoir l'organise a une grande ´échelle quel que soit le nombre. Les protocoles de RCSF doivent être capables de fonctionner et d'adapter selon le nombre des nœuds [10].

1.8.7 Sécurité physique limitée

Les réseaux de capteurs sans-fil sont plus touchés par le paramètre de sécurité que les réseaux filaires classiques. Cela se justifie par les contraintes et limitations physiques qui font que le contrôle des données transférées doit être minimisé [9].

1.8.8 Environnement

Les RCSF sont souvent déployés dans des milieux hostiles, par conséquent ils doivent être conçus d'une manière à résister aux sévères conditions de l'environnement [9].

1.9 Classification des RCSF

Il existe plusieurs critères pour classifier les réseaux de capteurs [12, 13,14]. En effet, pour chaque type d'application, ces réseaux ont des caractéristiques différentes. Ils se distinguent par le mode d'acquisition et de livraison des données au puits, la distance entre les nœuds capteurs et le puits, le modèle de mobilité dans le réseau, les capacités des nœuds du réseau, etc.

Dans la classification des RCSF selon le type de communication entre nœuds et SB, on distingue deux sous types : multi-saut et un seul saut.

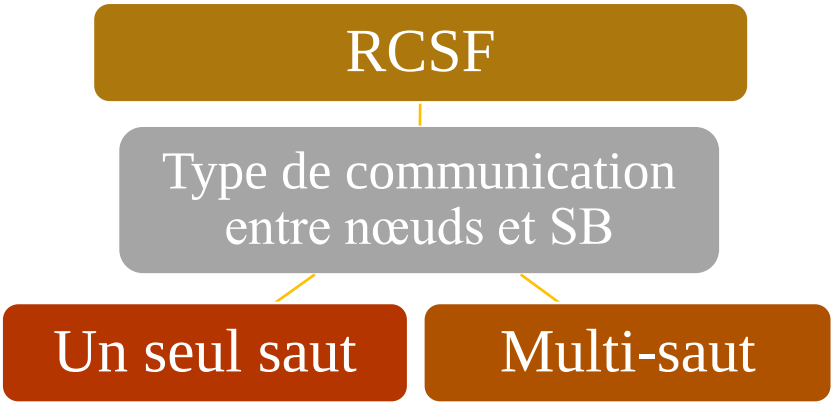


Figure1. 8 : Classification des RCSF selon le type de communication entre nœuds et SB.

Dans cette classification, on distingue les réseaux multi-sauts (multi-hop WSN) des réseaux à un seul saut (Single-hop WSN). Dans un réseau de capteur à un simple saut, les nœuds capteurs sont dans le voisinage immédiat du puits. Ils envoient alors leurs données captées directement au puits sans passer par aucun autre nœud intermédiaire. Dans le réseau de capteur multi-sauts, à distance entre les quelques nœuds capteurs et le puits dépasse leur portée maximale. Pour envoyer leurs données au puits, ils doivent le faire par l'intermédiaire d'autres nœuds. Ce type de réseau a une large gamme d'application mais est difficile à mettre en œuvre [14].

1.10 Domaines d'application de RCSF

L'intérêt des réseaux de capteurs est réellement vu à travers l'éventail très large des domaines d'application. Les applications des réseaux de capteurs peuvent être classées en cinq familles [15].

1.10.1 Applications militaires

Les RCSF peuvent être considérés comme une partie intégrale des systèmes C4ISRT (Command, Control, Communications, Computing, Intelligence, Surveillance, Reconnaissance et Targeting). Nous pouvons citer parmi les applications militaires :

- La surveillance du champ de bataille.
- Examen des forces et terrains de l'ennemi.
- Estimation des dégâts de la bataille.
- Détection et reconnaissance des attaques nucléaires, biologiques et chimiques [16].

1.10.2 Applications médicales

La surveillance des fonctions vitales de l'être humain serait possible grâce à des micro-capteurs qui pourront être avalées ou implantés sous la peau. Actuellement, des micro- caméras qui peuvent être avalées existent. Elles sont capables, sans avoir recours à la chirurgie, de transmettre des images de l'intérieur d'un corps humain. L'utilisation des réseaux de capteur dans le domaine de la médecine pourrait apporter une surveillance permanente des patients et une possibilité de collecter des informations physiologiques de meilleure qualité, facilitant ainsi le diagnostic de quelques maladies [17].

1.10.3 Applications domestiques

Comme la technologie progresse, les nœuds capteurs intelligentes et actionneurs peuvent être embarqués dans des dispositifs, comme l'aspirateur, micro-onde, réfrigérateurs. Ces capteurs dans les dispositifs domestiques peuvent interagir entre eux et avec un réseau externe par internet ou satellite. Ils permettent à l'utilisateur final de gérer les dispositifs domestiques localement ou à distance plus facilement [16].

1.10.4 Applications environnementales

Les réseaux de capteurs peuvent être utilisés dans les champs agricoles, sur les sites industriels, dans les centrales nucléaires, dans les pétroliers, dans les forêts ou pour la surveillance de l'environnement marin.

1.10.5 Applications commerciales

Pour les entreprises, les réseaux de capteur permettront de suivre le procédé de production à partir des matières premières jusqu'au produit final livré [16].

Figure1. 9 : Quelques Domaines principaux d'application de RCSF.

1.11 Comparaison entre un RCSF et un réseau Ad Hoc

Un réseau de capteurs sans fil (RCSF) est un réseau Ad Hoc particulier. Les deux types de réseau ont plusieurs points communs et plusieurs divergences. Les points communs essentiels se résument en :

- Fonctionnement sans infrastructure fixe.
- Utilisation de support sans fil pour les communications.
- Le médium utilisé pour l'échange des informations est l'air.
- Les communications sont vulnérables aux problèmes d'interférences.
- L'emploi de protocoles de routage multi-sauts.
- Les protocoles d'accès au médium sont typiquement en mode half-duplex.

Les points de divergences sont également multiples [18] :

- Le nombre de nœuds formant un RCSF est beaucoup plus supérieur au nombre de nœuds formant un réseau Ad Hoc.
- La densité de déploiement est importante dans les réseaux de capteurs que dans les réseaux Ad Hoc.
- La mobilité est faible dans les RCSF contrairement aux réseaux Ad Hoc.
- Le risque de tomber en panne dans les RCSF est plus important que dans les réseaux Ad Hoc.
- Changement fréquent de la topologie du réseau de capteurs par rapport aux réseaux Ad Hoc.

- Le type de communication est généralement en broadcaste (un-à-plusieurs ou plusieurs-à-un) dans les RCSF et en point-à-point dans les réseaux Ad Hoc.
- Les capacités en calcul, mémoire et énergie sont trop faibles dans les RCSF contrairement aux réseaux Ad Hoc.
- Les entités d'un réseau de capteurs sans fil sont souvent inaccessibles par les humains.
- Les entités d'un réseau Ad Hoc sont directement accessibles.

Le tableau illustre les convergences et les divergences entre un RCSF et un réseau Ad Hoc :

Tableau1. 1 : Comparaison entre un RCSF et un réseau Ad Hoc.

Réseau / propriété	RCSF	Ad Hoc
Infrastructure	Sans infra structure fixe	
Support de communication	Sans fil	
Médium	Air	
Problèmes d'interférences	Vulnérables aux problèmes d'interférences	
Routage	Envoi dire ct, Multi-sauts	
Accès au médium	Half -duplex	
Nombre de nœuds	Plusieurs centaines de milliers	Une dizaine
Densité de déploiement	Importante	Moyenne
Mobilité	Faible	Forte
Pannes	Fréquent	Rare
Topologie du réseau	Changements fréquents	Fixe
Type de communication	Broadcaste	Point-à-point
Capacités en ressources	Trop faible	Aucune limitation
Accessibilité	Inaccessible	Facilement accessible

1.12 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné des généralités sur les capteurs (définition - structure - types etc…) et fait un tour d'horizon du réseau RCSF. Ainsi, nous pouvons dire que le sujet des réseaux de capteurs a pris de l'importance et est un sujet de recherche relativement récent et pour tenter de résoudre tous les problèmes qui se sont posés dans ce contexte.

Chapitre2 : *Économie d'énergie dans les RCSF*

Sommaire

2.1 Introduction.

2.2 Notion utiles sur le réseau de capteurs.

2.3 Consommation d'énergie d'un nœud capteur sans fil.

2.4 Facteurs et sources de surconsommation d'énergie.

2.5 Techniques de conservation de l'énergie dans RCSF.

2.6 Conclusion.

2.1 Introduction

La limitation d’énergie dans les capteurs sans fil, et les environnements hostiles dans lesquels ils pourraient être déployés, sont des facteurs qui rendent ce type de réseaux très vulnérables. Ainsi, la perte de connexions sans fils peut être due à une extinction d’un capteur suit à un épuisement de sa batterie.

Dans ce chapitre nous étudierons la durée de vie des réseaux de capteurs, l’ensemble des facteurs et contraintes qui influent non seulement sur les techniques d’optimisation de la durée de vie, les différentes sources d’énergies et nous présenterons aussi une technique de conservations d’énergie.

2.2 Notion utiles sur le réseau de capteur

2.2.1 Durée de vie d'un réseau de capteur

La durée de vie d'un réseau est considérée comme la mesure la plus importante pour L'évaluation des réseaux de capteurs. Dans un environnement aux ressources limitées, la consommation énergétique de chaque nœud capteur doit être envisagée. Un réseau ne peut accomplir son objectif que tant qu'il est « en vie », mais pas au-delà. La durée de vie prévue est critique dans tout déploiement de capteurs.

Il existe plusieurs définitions de cette notion dans la littérature. Dans cette section, nous en résumons les définitions les plus courantes. Nous en distinguons trois catégories principales qui sont détaillées ci-dessous.

2.2.2 Durée de vie basée sur la connectivité

Dans [19], la connectivité dans un réseau de capteurs est définie par le pourcentage de nœuds qui ont des chemins vers la station de base(SB). Ainsi, la durée de vie du réseau est la durée pendant laquelle un pourcentage donné de nœuds possèdent un chemin vers la SB. Plusieurs travaux ont associé la métrique de couverture à celle de connectivité. Par exemple, [20] définit la durée de vie du réseau par la période jusqu'à ce que la couverture ou la connectivité du réseau devienne inférieure à un seuil prédéfini. Dans ce cas, la couverture est mesurée en termes de α_ couverture. La connectivité est mesurée en termes de taux de messages délivrés au Sink.

2.2.3 Durée de vie basée sur la couverture

La couverture dans les RCSF est souvent considérée comme étant une mesure de performance très importante. Elle reflète la façon dont une zone donnée est surveillée

(contrôlée), c'est-à-dire comment chaque point de la zone de surveillance est observée et suivie par l'ensemble des nœuds capteurs [20]. Ainsi, la notion de couverture dans les RCSF peut être vue comme une mesure de la qualité de service (QoS). Néanmoins , ce paramètre en 'est pas suffisant pour la définition de la durée de vie puisqu'il n'est jamais garanti que les données mesurées soient transmises au nœud collecteur [19].Parmi les définitions de Durée de vie dans la littérature :

K_ couverture : la durée pendant laquelle la zone d'intérêt est couverte par au moins k nœuds [21].

100 %_ couverture

- La durée pendant laquelle chaque cible est couverte par au moins un nœud [22 ,23].
- La durée pendant laquelle l'ensemble de la zone est couverte par au moins un nœud [24,25].

α _ couverture

- La durée cumulée, au bout de laquelle au moins une portion de la région est couverte par au moins un nœud [26].
- La durée pendant laquelle la couverture tombe en-dessous d'un seuil prédéfinir
- La durée de fonctionnement continu du système avant que la couverture ou la proportion de paquets reçus tombent en-dessous d'un seuil prédéfini [27].

2.3 Consommation d'énergie d'un nœud capteur sans fil

La première étape dans la conception de système énergétique de capteurs consiste à analyser les caractéristiques de consommation d'énergie d'un nœud de CSF. Cette analyse systématique de l'énergie d'un nœud capteur est extrêmement importante pour identifier les problèmes dans le système énergétique pour permettre une optimisation efficace. L'énergie consommée par un capteur est principalement dû aux opérations suivantes : la détection, le traitement et la communication [28].

2.3.1 Énergie de capture

Un capteur peut être équipé par multiples senseurs (humidité, la chaleur, les mouvements, la position,…). De ce fait les sources de consommation d'énergie pour les opérations de détection ou de capture sont : l'échantillonnage, la conversion analogique numérique, le traitement de signal et l'activation de la sonde de capture [29].

2.3.2 Énergie de traitement

L'énergie de traitement est composée de deux sortes d'énergie : l'énergie de commutation et l'énergie de fuite. L'énergie de commutation est déterminée par la tension d'alimentation et la capacité totale commutée au niveau logiciel (en exécutant un logiciel). Par contre, l'énergie de fuite correspond à l'énergie consommée lorsque l'unité de calcul n'effectue aucun traitement. En général, l'énergie de traitement est faible par rapport à celle nécessaire pour la communication.

2.3.3 Énergie de communication

L'énergie de communication (réception/émission) représente la plus grande proportion D'énergie totale consommée au niveau d'un nœud capteur. Cette énergie est déterminée par la Quantité des données à communiquer et la distance de transmission, ainsi que par les propriétés physiques du module radio. L'émission d'un signal est caractérisée par sa Puissance ; quand la puissance d'émission est élevée, le signal aura une grande portée et l'énergie consommée sera plus élevée.

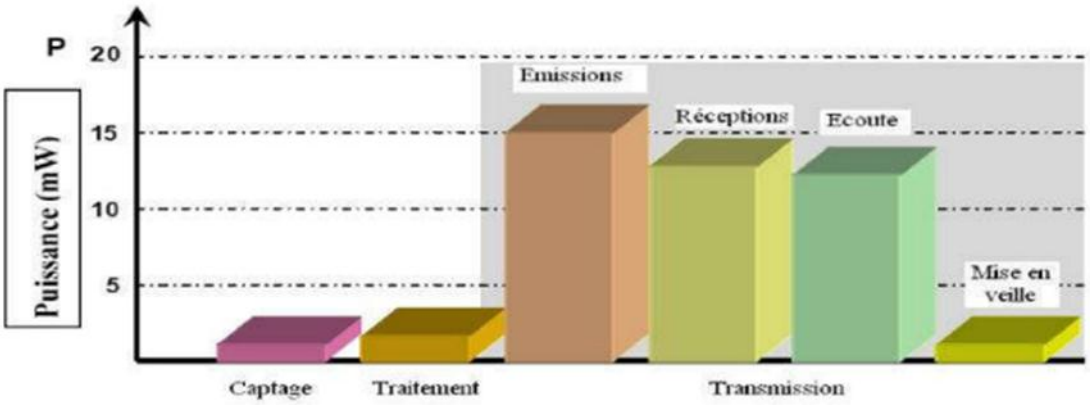


Figure2. 1 : Consommation d'énergie en capture, traitement et transmission.

2.4 Facteur et Sources de surconsommation d'énergie

2.5.1 Surconsommation d'énergie

Nous appelons surconsommation d'énergie toute consommation inutile que l'on peut éviter an de conserver l'énergie d'un noud-capteur. Les sources de cette surconsommation sont nombreuses, elles peuvent être engendrées lors de la détection lorsque celle-ci est mal gérée (par exemple par une fréquence d'échantillonnage est mal contrôlée) [30]. La surconsommation concerne également la partie communication. En eet, cette dernière est sujette à plusieurs phénomènes qui surconsomment de l'énergie surtout au niveau MAC où se

déroule le contrôle d'accès au support sans l. Certains de ces phénomènes sont les causes majeures de la perte d'énergie et ont été recensés dans [31, 32] :

- **Collisions :** elles sont la première source de perte d'énergie. Quand deux trames Sont émises en même temps et se heurtent, elles deviennent inexploitables et doivent être abandonnées. Les retransmettre par la suite, consomme de l'énergie. Tous les protocoles MAC essayent à leur manière d'éviter les collisions. Les collisions concernent plutôt les protocoles MAC avec contention.
- **Écoute à vide (idèle listening) :** un noud dans l'état idèle est prêt à recevoir un paquet4 mais il n'est pas actuellement en train de recevoir quoi que ce soit. ceci est coûteux et inutile dans le cas des réseaux à faible charge de trac. plusieurs types de radios présentent un coût en énergie indicatif pour le mode idèle. éteindre la radio est une solution, mais le coût de la transition entre les modes consomme également de l'énergie, la fréquence de cette transition doit alors rester raisonnable.
- **Écoute abusive (overhearing) :** cette situation se présente quand un noud reçoit des paquets qui ne lui sont pas destinés. le coût de l'écoute abusive peut être un facteur dominant de la perte d'énergie quand la charge de trac est élevée et la densité des nouds grande, particulièrement dans les réseaux mostly-on.
- **Overmitting :** un noud envoie des données et le noud destinataire n'est pas prêt à les recevoir.
- **Overhead des paquets de contrôle :** l'envoi, la réception, et l'écoute des paquets de contrôle consomment de l'énergie. comme les paquets de contrôle ne transportent pas directement des données, ils réduisent également le débit utile effectif.

2.5.2 Facteurs intervenants dans la consommation d'énergie

La consommation d'énergie dépend de plusieurs facteurs qui sont expliqués ci-dessous :

2.5.2.1 Routage des données

Le routage des données peut avoir un impact sur la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs multi-sauts. L'acheminement des paquets d'une source à une destination se fait à travers des nœuds intermédiaires. Ainsi, un nœud capteur consomme de l'énergie soit pour transmettre ou relayer les données des autres nœuds. Dans ce sens, une mauvaise politique de routage peut avoir des conséquences graves sur la durée de vie du réseau.

2.5.2.2 État du module radio

Le module radio est le composant du nœud capteur qui consomme le plus d'énergie, puisque c'est lui qui assure la communication entre les nœuds. On distingue quatre états des composants radio (transmetteur et récepteur) : actif, réception, transmission et sommeil [33].

- **État actif :** la radio est allumée, mais elle n'est pas employée. En d'autres termes, le nœud Capteur n'est ni en train de recevoir ni de transmettre. Cet état provoque une perte de l'énergie Suite à l'écoute inutile du canal de transmission.
- **État sommeil :** la radio est mise hors tension.
- **État transmission :** la radio transmet un paquet.
- **État réception :** la radio reçoit un paquet.

Il est aussi à noter que le passage fréquent de l'état actif à l'état sommeil peut avoir comme Conséquence une consommation d'énergie plus importante que de laisser le module radio en Mode actif. Ceci est dû à la puissance nécessaire pour la mise sous tension du module radio. Cette énergie est appelée l'énergie de transition. Il est ainsi souhaitable d'arrêter Complètement la radio plutôt que de transiter dans le mode sommeil. Le changement d'état du module radio doit être géré par un protocole de la couche MAC.

2.5.2.3 Accès au medium de transmission

La couche MAC à un rôle très important pour la minimisation de l'énergie consommée. Un Protocole MAC économe en énergie essaie d'utiliser le moins souvent possible le module Radio. Les modules radio peuvent avoir plusieurs niveaux de consommation quand ils ne sont Pas en mode émission ou réception, moins le nœud consomme moins il est réactif, c'est pour Cela que les différents états existent pour assurer une flexibilité selon le degré de réactivité Demandé par la couche MAC. L'utilisation inutile du module provient de six sources Essentielles : la retransmission, l'écoute passive, l'écoute abusive, la surcharge, la surémission et la taille des paquets [34].

❖ **Retransmission**

Les nœuds capteurs utilisent généralement une seule antenne radio, cependant ils Partagent le même canal de transmission. La transmission simultanée des paquets par les Nœuds voisins peut engendrer des collisions. Ainsi une quantité des données transmises sera Perdu. La retransmission de ses données perdues générera une perte significative de l'énergie.

❖ **Écoute passive (idèle listening)**

L'écoute passive du canal radio dans l'attente d'une éventuelle réception (le mode idèle décrit précédemment) engendre une perte importante des capacités des nœuds en termes d'énergie. Ceci est couteux et inutile dans le cas des réseaux à faible charge de trafic. De ce

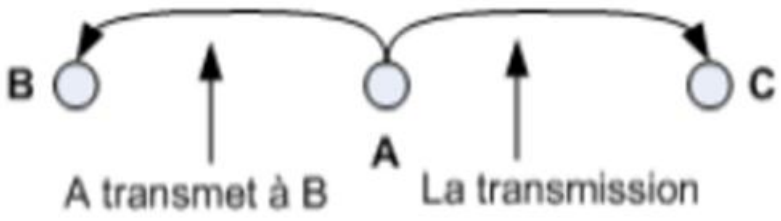


Figure2. 2 : L'écoute abusive dans une transmission.

fait, basculer les nœuds capteurs en mode sommeil est une solution mais la transition entre les modes consomme également de l'énergie. Pour cette raison la fréquence de transition entre modes doit rester raisonnable.

❖ **Écoute abusive (overhearing)**

L'écoute abusive se produit quand un nœud reçoit des paquets qui ne lui sont pas destinés Figure 2.2. Le coût de l'écoute abusive peut être important dans le cas d'un réseau dense et avec une charge de trafic importante.

Plusieurs protocoles de la couche MAC, utilisent les paquets de contrôle pour maintenir une Bonne communication entre les nœuds (signalisation, connectivité, établissement de plan D'accès et évitement de collisions). L'échange de paquets nécessite une énergie additionnelle. Par ailleurs, comme ces paquets ne transportent pas directement des données, ils réduisent Également le débit utile effectif.

❖ **Surémission (Overemitting)**

Le phénomène de surémission est produit quand des nœuds envoient des messages à des Destinations qui ne sont pas prêtes à les recevoir, en effet ces messages sont considérés Inutiles et consomment d'avantage de l'énergie.

❖ **Taille des paquets**

La taille des paquets à un effet sur la consommation d'énergie. En effet, si la taille des paquets est réduite, le nombre de paquets de contrôle échangés augmente ce qui génèrera un

overhead. Dans le cas contraire, une taille grande des paquets nécessite l'utilisation d'une grande puissance de transmission.

2.2.2.4 Modèle de propagation radio

Le modèle de propagation représente une estimation de la puissance moyenne reçue du signal radio à une distance donnée d'un émetteur. La propagation du signal radio est généralement soumise à différents phénomènes : la réflexion, la diffraction et la dispersion par divers objets. Généralement, la puissance du signal reçue est de l'ordre de (1 /d "), où d est la distance entre l'émetteur et le récepteur, n un exposant de perte d'un chemin (Exemple : n=2 dans le vide, de 4 à 6 dans un immeuble) [35].

2.5 Techniques de conservation d'énergie dans les RCSF

Nous distinguons trois techniques de conservation d'énergie : Data-cycling, approches orientées données et la mobilité. Nous détaillerons dans ce qui suit chaque classe de techniques :

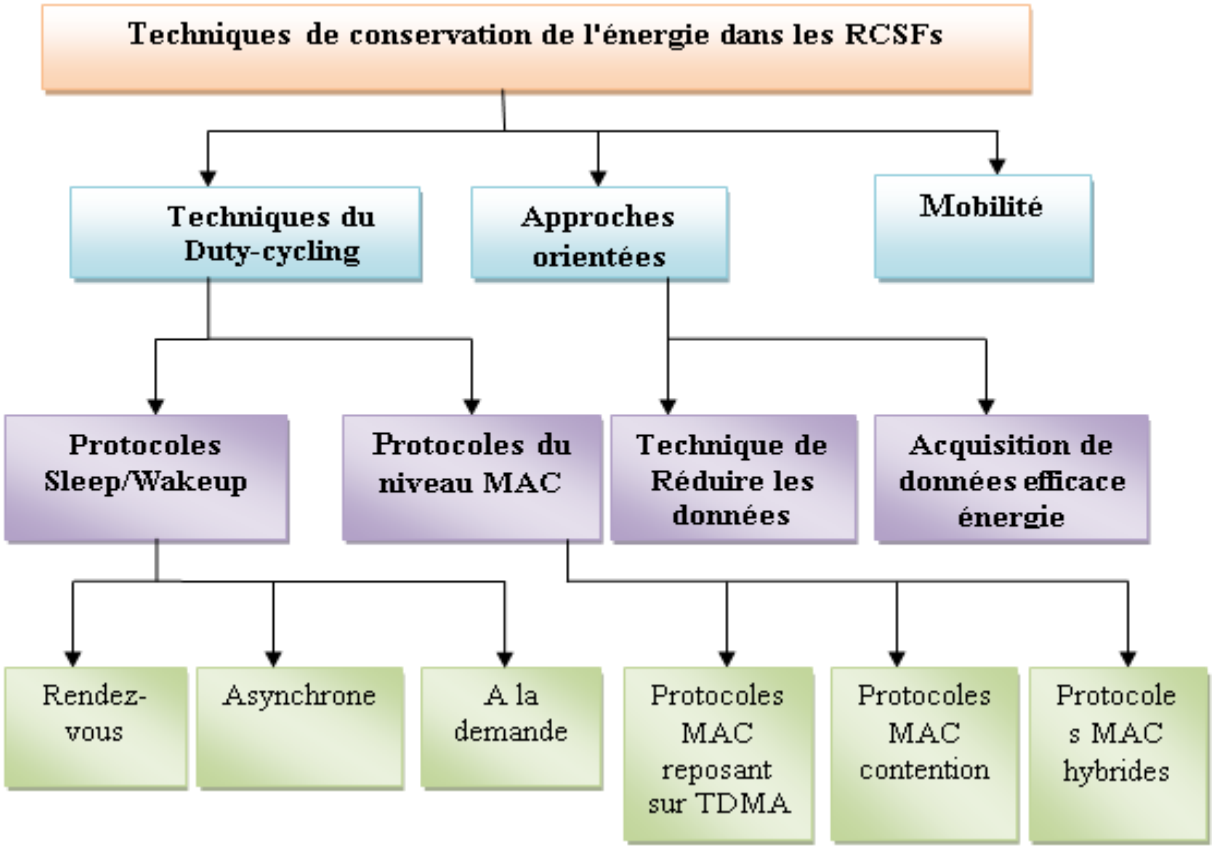


Figure2. 3 : Les techniques de conservation d'énergie.

2.5.1 Techniques du Duby-cycling

Cette technique est principalement utilisée dans l'activité réseau. Le moyen le plus Efficace pour conserver l'énergie est de mettre la radio de l'émetteur en mode veille (low-Power) à chaque fois que la communication n'est pas nécessaire. Idéalement, la radio doit être Éteinte dès qu'il n'y a plus de données à envoyer et ou à recevoir, et devrait être prête dès Qu'un nouveau paquet de données doit être envoyé ou reçu. Ainsi, les nœuds alternent entre Périodes actives et sommeil en fonction de l'activité du réseau Ce comportement est Généralement dénommé Duty-cycling. Un Duty-cycle est dénommé.

Comme étant la fraction de temps où les nœuds sont actifs. Comme les nœuds –capteurs effectuent des tâches en coopération, ils doivent coordonner leurs dates de sommeil et de réveil. Un algorithme d'ordonnancement Sommeil/Réveil accompagne donc tout plan de Duty-cycling.

Il s'agit généralement d'un algorithme distribué reposant sur les dates Auxquelles des nœuds décident de passer entre l'état actif et l'état sommeil. Il permet aux Nœuds voisins d'être actifs en même temps, ce qui rend possible l'échange de paquets, même si les nœuds sont un faible dut-cycle (i.e., ils dorment la plupart du temps) [36].

Le dut cycline peut être réalisé à travers deux approches différentes et Complémentaires : le contrôle de topologie et la gestion d'énergie.

2.5.1.1 Protocole de contrôle de topologie

Le contrôle de la topologie consiste à trouver le meilleur sous-ensemble de nœuds qui fournissent la connectivité réseau. L'idée de base du contrôle de la topologie est d'exploiter la redondance du réseau pour prolonger son cycle de vie le plus longtemps possible. Cela double ou triple généralement la durée de vie par rapport à un réseau où tous les nœuds sont actifs en même temps.

2.5.1.2 Protocoles de gestion d'énergie

Les protocoles de gestion d'énergie se divisent en protocoles sleep//wakeup et d'autres Intégrés au niveau MAC Le schéma suivant donne un aperçu global de ces mécanismes :

A. Protocoles Sleep/Wakeup

Comme mentionné précédemment, un régime sleep/wakeup peut être défini pour un Composant donné (i.e. le module Radio) du nœud -capteur. On peut relever les principaux Plans sleep/wakeup implantés sous forme de protocoles indépendants au-dessus du protocole MAC (i.e. au niveau de la couche réseau ou de la couche application). Dans le document [37],

les protocoles sleep/wakeup sont divisés en trois grandes catégories : à la demande, rendez-vous programmés, régimes asynchrones.

❖Les protocoles à la demande utilisent l'approche la plus intuitive pour la gestion D'énergie. L'idée de base est qu'un nœud devrait se réveiller seulement quand un autre nœud Veut communiquer avec lui. Le problème principal associé aux régimes à la demande est de Savoir comment informer un nœud en sommeil qu'un autre nœud est disposé à communiquer Avec lui. À cet effet, ces systèmes utilisent généralement plusieurs radios avec différents Compromis entre énergie et performances (i.e. une radio à faible débit et à faible Consommation pour la signalisation, et une radio à 'haut 'débit mais à plus forte Consommation pour la communication de données). Le protocole STEM (Sparse Topology And Energy Management) [38], par exemple, utilise deux radios ;

❖Une autre solution consiste à utiliser une approche de rendez-vous programmés. L'idée est que chaque nœud doit se réveiller en même temps que ses voisins. Typiquement, Les nœud se réveillent suivant un ordonnancement de réveil et restent actifs pendant un court intervalle de temps pour communiquer avec leurs voisins. Ensuite, ils se rendorment jusqu'au prochain rendez-vous

❖Enfin, un protocole sleep/wakeup asynchrone peut être utilisé. Avec les protocoles Asynchrones, un nœud peut se réveiller quand il veut et tant qu'il est capable de communiquer avec ses voisins. Ce but est atteint par des propriétés impliquées dans le régime sleep/wakeup, Aucun échange d'informations n'est alors nécessaire entre les nœuds. Quelques régimes sleep/wakeup asynchrones sont proposés dans [39].

B.Protocoles du niveau MAC

Plusieurs protocoles MAC pour les RCSF ont été proposés, et de nombreux états de L'art et introductions aux protocoles MAC sont disponibles dans la littérature (par exemple, [40, 41]). Nous nous concentrons principalement sur les questions de gestion d'énergie Plutôt que sur les méthodes d'accès au canal.la plupart d'entre eux mettent en œuvre un régime avec un faible duty-cycle pour gérer la consommation d'énergie. Nous avons recensés Les protocoles MAC les plus communs en les classant en trois catégories : les protocoles fondés sur TDMA (Time Division Multiplexing Access.), les protocoles utilisant la contention et les protocoles hybrides.

- **Protocoles MAC reposant sur TDMA**

Dans les protocoles MAC fondés sur la méthode TDMA [42,43] le temps est Divisé en trames (périodiques) et chaque trame se compose d'un certain nombre de slots de temps. À chaque nœud est attribué un ou plusieurs slots par trame, selon un certain algorithme

d'ordonnancement. Il utilise ces slots pour l'émission/réception de paquets de/vers d'autres nœuds. Dans de nombreux cas, les nœuds sont regroupés pour former des clusters avec un Clusterhead qui est chargé d'attribuer les slots de temps pour les nœuds de son cluster (par Exemple, Bluetooth [44], LEACH [42], et Energy-avare TDMA-based MAC [40]).

- **Protocoles MAC avec contention**

Les protocoles avec contention sont les plus populaires et représentent la majorité des protocoles MAC proposés pour les RCSF. Ils assurent le duty-cycle par une intégration étroite des fonctionnalités d'accès au canal avec un régime sleep/wakeup. La seule différence est que, dans ce cas, l'algorithme sleep/wakeup n'est pas un protocole indépendant. Parmi les protocoles MAC avec contention les plus populaires, nous citons :

1) Accès multiple avec écoute de la porteuse (CSMA : Carrier sense multiple access) Or LBT (listen before talk)

L'accès multiple avec écoute de la porteuse est introduit en 1975 par Klein rock et Tobago [45]. Il existe deux versions de CSMA : non-persistent CSMA et p-persistent CSMA. Dans la première version, un nœud désirant transmettre un message, écoute le canal pour déterminer s'il est occupé. Dans ce cas, le nœud attend un temps aléatoire appelé back off avant de tenter la retransmission. Quand le canal devient libre, le nœud transmet le message Immédiatement. Dans p-persistent CSMA, quand un nœud écoute et trouve que le canal est occupé, il continue à écouter jusqu'à ce que le canal soit libre. A ce stade, le nœud envoie un message avec une probabilité p et retarde la transmission avec une probabilité 1-p. l'écoute régulière du canal empêche les nœuds capteurs utiliser CSMA sans modification car l'unité de communication consomme de l'énergie aussi rapidement. De plus, CSMA n'évite pas complètement les collisions mais réalise une utilisation de canal entre 50 et 80% [46].

2) S-MAC (Sensor MAC)

Est un protocole similaire au protocole 802.11. Il Utilise la méthode d'accès au médium CSMA/CA RTS/CTS (Raques-To-Sand, Clear-To-Sand) qui permet d'éviter les collisions et le problème du nœud caché. Ce protocole est conçu Pour assurer une méthode d'accès économe en énergie pour les RCSF. Pour ce faire, les nœuds se mettent en mode sommeil pendant une certaine durée et se réveillent pour écouter Le Médium pendant une autre durée. Les nœuds échangent leur calendrier de périodes d'écoute en le diffusant à leurs voisins à un saut. Ainsi, chaque nœud connaitre calendrier de Ses Voisins et sait quand il faut se réveiller pour communiquer avec un nœud asa portée. Plusieurs nœuds peuvent avoir le même intervalle de temps comme période d'écoute. Pour Maintenir une synchronisation des horloges, les nœuds émetteurs envoient des messages de Synchronisation SYNC au début de

la période d'écoute de leurs voisins. S-MAC est particulièrement conçu pour les systèmes d'alerte dans lesquels les applications ont de Longues périodes d'inactivité et peuvent tolérer la latence. Donc, son but est de maximiser la durée de vie du réseau en dépit des autres critères de performances. Le tableau suivant représente une comparaison entre les techniques d'accès au médium dans les RCSF :

Tableau2. 1 : Comparaison entre les techniques d'accès au médium dans les RCSF.

	Avantage	**Inconvénient**
TDMA	- économie de consommation d'énergie - l'élection aléatoire de l'émetteur peut entraîner des collisions (pas de collisions).	-Complexes dans mise en œuvre. -Problèmes d'adaptation dans le cas de variations temporelles du canal.
S-MAC	- l'économie de consommation d'énergie grâce aux séquences périodiques « sleep ». - SMAC est un protocole assez simple à implémenter. - facilite l'adaptation aux changements de topologies (par rapport à TDMA et TRAMA).	Dans le cas où deux nœuds voisins possèdent des séquences d'état (listen/sleep) différentes, cela peut entraîner une grande consommation d'énergie dûe à l'idèle listening et à (l'overhearing ?).
CSMA	- elle impose à un émetteur de s'assurer que le canal est libre avant d'émettre.	L'utilisation de CSMA oblige les nœuds d'être éveillés pour l'écoute du médium ce qui accroît leurs consommations d'énergie.

•Protocoles MAC hybrides

L'idée de base des protocoles MAC hybrides (changement du comportement du protocole entre TDMA et CSMA en fonction du niveau de contention) n'est pas nouvelle. Concernant les RCSF, Zébra MAC (Z-MAC) [47] est l'un des protocoles les plus intéressants. Afin de définir le schéma principal du contrôle de transmission, Z-MAC

commence par une phase préliminaire de configuration. Chaque nœud construit une liste de voisins à deux sauts par le biais du processus de découverte de voisins. Puis, un algorithme distribué d'attribution des slots est appliqué pour faire en sorte que deux nœuds dans un voisinage à deux sauts ne soient pas affectés au même slot. Par conséquent, on est assuré qu'une transmission d'un nœud avec un de ses voisins à un saut n'interfère pas avec les transmissions.

2.5.2 Approches orientées donnée

Généralement, les plans Duty-cycling ne tiennent pas compte des données prélevées par les nouds. Par conséquent, des approches orientées données peuvent être utiles pour améliorer l'efficacité en énergie. En fait, la détection (ou prélèvement de données) affecte la consommation d'énergie de deux manières :

- Des échantillons inutiles : les données échantillonnées ont souvent de fortes Corrélations spatiales et/ou temporelle [47], il est donc inutile de communiquer les informations redondantes à la SB. Un échantillonnage inutile implique une consommation D'énergie à son tour inutile. en effet, même si le coût de l'échantillonnage est négligeable, Cela induit aussi des communications tout le long du chemin qu'emprunte le message.
- La consommation électrique du module de détection : réduire la communication Ne suffit pas lorsque le capteur est lui-même très consommateur. des techniques orientées données sont conçues pour réduire la quantité d'échantillonnage de données en garantissant un niveau de précision acceptable dans la détection pour l'application.

2.5.2.1 Technique de Réduire les données

Réduire les données en termes de volume ou de nombre de paquets, dans les réseaux peut avoir un impact majeur sur la consommation d'énergie due à la communication. Parmi les méthodes de réductions de données, nous trouvons le In-network processing qui consiste réalisé de l'agrégation de données (par exemple, calculer la moyenne de certaines valeurs) au niveau des nœuds intermédiaires entre la source et le Sink. Ainsi, la quantité de données est réduite tout en parcourant le réseau vers le Sink. Une agrégation de données appropriée est spécifique à l'application. Un état de l'art sur les techniques In-network processing est présenté dans le document [47].

La compression de données peut être appliquée également pour réduire la quantité d'informations transmises par les nœuds sources. Ce régime implique l'encodage

d'informations au niveau des nœuds qui engendrent des données, et le décodage au niveau du Sink. Il existe différentes méthodes de compressions de données citées dans [48].

2.5.2.2 Acquisition de données efficace en énergie

De nombreuses applications émergeantes ont d'applications a de réelles contraintes Dues à la détection. Ceci va à l'encontre de l'hypothèse générale selon laquelle la détection N'est pas significative d'un point de vue consommation d'énergie. En fait, la consommation D'énergie du module de détection peut, non seulement être significative, mais encore Supérieure à la consommation d'énergie de la radio ou même plus grande que la Consommation d'énergie du reste du nœud-capteur [49]. Cela peut être dû à différents facteurs

▪**Transducteur gourmand en énergie :** Certains capteurs nécessitent intrinsèquement une puissance élevée pour effectuer leurs tâches d'échantillonnage. Par exemple, les capteurs d'image CMOS (Complementary Metal Oxide Semi-conducteurs) et même les capteurs multimédias nécessitent généralement beaucoup d'énergie. Les captures chimiques ou biologiques peuvent également être énergivores.

▪**Convertisseurs A/D gourmands :** Les capteurs tels que les capteurs acoustiques et sismiques nécessitent souvent des convertisseurs A/D haute vitesse et haute résolution. La consommation électrique du convertisseur représente la plus grande partie de la consommation électrique du sous-système de détection

▪**Capteur actifs :** Une autre classe de capteurs peut obtenir des données du phénomène perçu par l'utilisation de transducteurs actifs (par exemple, sonar, radar ou laser). Dans ce cas, les capteurs doivent envoyer un signal de sondage afin d'obtenir des informations sur la grandeur observée, comme dans [50].

▪**Temps d'acquisition long :** Le temps d'acquisition peut être de l'ordre de plusieurs centaines de millisecondes, voire de quelques secondes. Par conséquent, l'énergie consommée Par le sous-système de détection peut être élevé, même si la consommation d'énergie du Détecteur reste modérée.

Dans ce cas, réduire les communications peut s'avérer insuffisant, mais les stratégies de conservation d'énergie doivent réellement réduire le nombre d'acquisitions (échantillons de données). Il faudrait également préciser que les techniques d'acquisition de données efficaces en énergie ne visent pas exclusivement à réduire la consommation d'énergie du module de détection. En réduisant les données prélevées par des nœuds sources, elles diminuent aussi le nombre de communications. En fait, beaucoup de techniques d'acquisition de données

efficaces en énergie ont été conçues pour réduire au minimum l'énergie consommée par la radio, en supposant que la consommation de la radio est négligeable.

2.5.3. Techniques Mobilité

Au-delà du duty cycling et des approches orientées données, la mobilité des nœuds, Lorsque cela est possible, peut être une solution efficace pour réduire la consommation d'énergie. En effet, dans un réseau de capteurs statiques, les paquets en provenance des nœuds Traversent le réseau vers le Sink en suivant des chemins multi-sauts. Lorsque le Sink est lui Même statique, quelques chemins peuvent être plus chargés que d'autres, en fonction de la Topologie du réseau et les taux de génération de paquets au niveau des nœuds sources. Généralement, les nœuds proches du Sink sont chargés de transférer un plus grand Nombre de paquets et donc verront leur niveau de batteries s'épuiser rapidement. Cela se Produira même si des techniques de conservation d'énergie, comme listées ci-dessus, sont mises en place.

Des nœuds collecteurs mobiles, connus sous le nom de Data Mules [50], permettent de réduire la consommation d'énergie. En effet, il s'agit d'appareils mobiles dont nous pouvons contrôler le mouvement pour fournir une alternative à la collecte classique des données à partir des nœuds capteurs dispersés dans l'espace. Les data mules circulent dans la zone de supervision et entrent en communication avec chaque nœuds quand il se trouve à sa proximité. Ainsi les nœuds statiques attendront le passage du data mule pour lui transférer leurs données. Ce dernier se chargera du routage des données vers le Sink. En conséquence, les nœuds capteurs statiques peuvent économiser l'énergie grâce la réduction de la longueur des chemins de routage, de la contention et des overheads de diffusion.

2.6 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les principales approches d'économie d'énergie dans les RCSF, l'axe des techniques de conservation d'énergie vise à réduire le duty-cycle des nœuds. Ils doivent intégrer des mécanismes qui permettent aux utilisateurs de prolonge la Durée de vie du réseau en entier, car chaque nœud est alimenté par une source d'énergie limitée et généralement irremplaçable. Alors, les réseaux de capteurs doivent donner de l'importance à la conservation d'énergie.

Chapitre3 : *Architecture inter-couches (cross-layer)*

Sommaire

3.1 Introduction.

3.2 Concept Inter-Couches (Cross- Layer).

3.3 Importance de l'approche inter-couches (Cross-Layer) dans les RCSF.

3.4 Types d'architecture Cross-Layer.

3.5 Protocoles Cross-layer avec QdS pour les RCSF.

3.6 Conclusion.

3.1Introduction

Dans ce chapitre nous aborderons l'architecture inter-couches, et nous allons essayer de présenter la chose la plus importante que nous ayons à ce sujet, en commençant par un concept de inter-couches (cross-layer) on passe par des types, et nous le scellons avec des protocoles.

3.2 Concept inter-couches (Cross- Layer)

Le concept Cross-Layer à été proposé en premier lieu pour les réseaux sans fil basés sur une architecture TCP/P. Il à été introduit pour combler essentiellement la perte de performance générée par l'utilisation de l'architecture TCP/IP, conçue spécialement pour les réseaux filaires. En effet, il y a une interdépendance étroite entre les couches protocolaires des réseaux sans fil. L'application de la conception Cross-Layer peut aider exploiter cette interdépendance, et favoriser l'adaptabilité de celle-ci sur la base désinformations échangées. Cependant, un tel processus de conception doit être soigneusement coordonné, puisqu'il est difficile de caractériser les interactions entre les différentes couches de protocoles. De plus, l'optimisation conjointe des couches peut conduire à des algorithmes complexes, qui engendreront en conséquence des problèmes démise en œuvre, de débogage, de mise à jour et de standardisation. En effet, il n'existe pas de standard pour la normalisation de la modélisation protocolaire et la méthodologie d'échanges entre les couches. Cependant, plusieurs plans de gestion ont été proposés afin de faciliter la conception des protocoles Cross-Layer. [51]

3.3 Importance de l'approche inter-couches (Cross-Layer) dans les RCSF

Les exigences rigoureuses des réseaux de capteurs poussent de plus en plus vers la conception des solutions sous une architecture inter-couches. En effet, afin d'atteindre les performances souhaitées sous multiples contraintes (QdS, énergie, distorsion, sécurité, ...), les protocoles et les algorithmes des couches MAC, réseau, transport et application sont amenés à fonctionner d'une manière encore plus interactive. Dans un tel contexte, chaque couche est consciente de l'importance des données en cours de traitement pour l'ensemble du système. Les approches basées sur le concept du Cross-layer permettent généralement d'obtenir de meilleures performances par rapport aux approches qui respectent la notion d'abstraction des couches définie dans le modèle OSI [52]. Cependant, ces approches sont généralement plus complexes à mettre en œuvre et sont généralement moins compatibles avec les protocoles et

normes existants et peuvent être, ainsi difficilement réutilisable. Cela donne naissance à un compromis entre performance et interopérabilité.

3.4 Types d'architecture Cross- Layer

Il est possible de classifier les possibilités d'architectures Cross-Layer en trois catégories : Architecture Cross-layer à base de communication directe, architecture Cross-layer à base de communication indirecte et architecture Cross-layer à base de nouvelles abstractions [53].

3.4.1 Architecture Cross-layer à base de communication directe

La conception Cross-Layer à base de communication directe consiste à permettre la communication directe (sans intermédiaire) entre les protocoles au niveau des couches adjacentes et non adjacentes. Ainsi, les protocoles mono couche proposés pour les architectures en couches doivent être redéfinis, et de nouvelles routines sont à intégrer. Cette redéfinition permet de pouvoir manipuler les données Cross-Layer échangées entre les différentes couches.

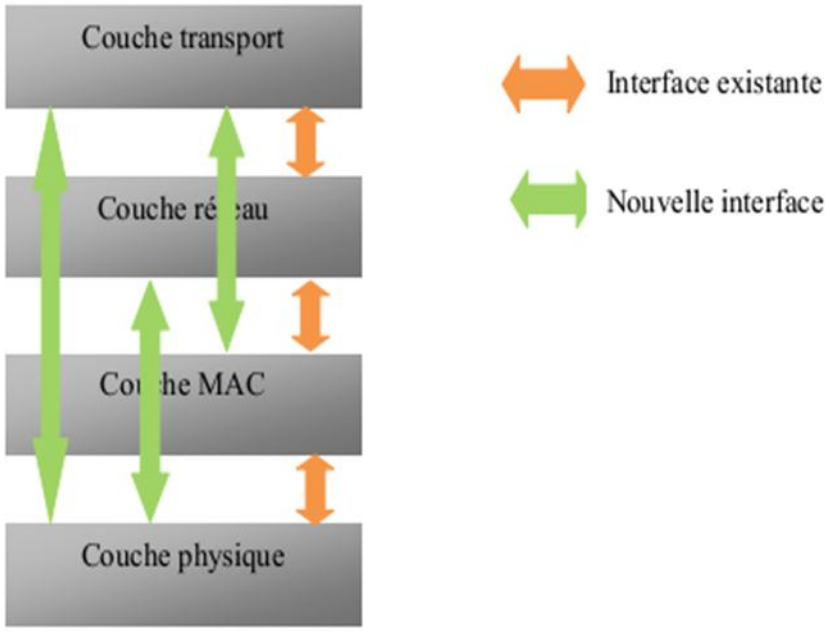


Figure3. 1 : Architecture Cross-layer à base de communication directe.

3.4.2 Architecture Cross-layer à base de communication indirecte

Une deuxième catégorie permet les interactions inter-couches via une entité intermédiaire commune Cette architecture permet de conserver le fonctionnement normal de la pile protocolaire, d'où une compatibilité avec l'architecture classique en couches. Cela permet

donc de maintenir tous les avantages inhérents à une architecture modulaire en couches isolées, tels que la robustesse ou la facilité d'évolutivité. De plus, cette méthode permet une évolution continue de l'entité cross layer, par ajout ou suppression de protocoles [54,55].

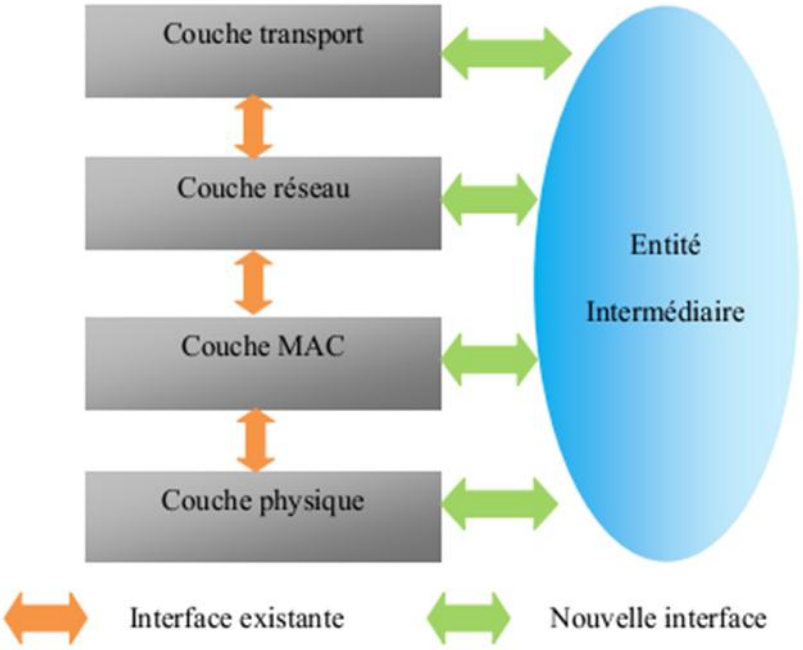


Figure3. 2 : Architecture Cross-layer à base de communication indirecte.

3.4.3 Architecture Cross-layer à base de nouvelles abstractions

Une troisième catégorie s'abstrait complètement du modèle en couche elle est donc bien plus flexible mais elle viole complètement les préceptes du modèle en couches. Dans cette approche le concept d'architecture en couches est totalement abandonné, puisque plusieurs couches peuvent être couplées ensembles afin de construire une sorte de super couche, qui peut gérer différentes tâches dans le réseau. Cette nouvelle approche Cross-layer permet d'offrir une forte flexibilité avec un minimum de problèmes [53].

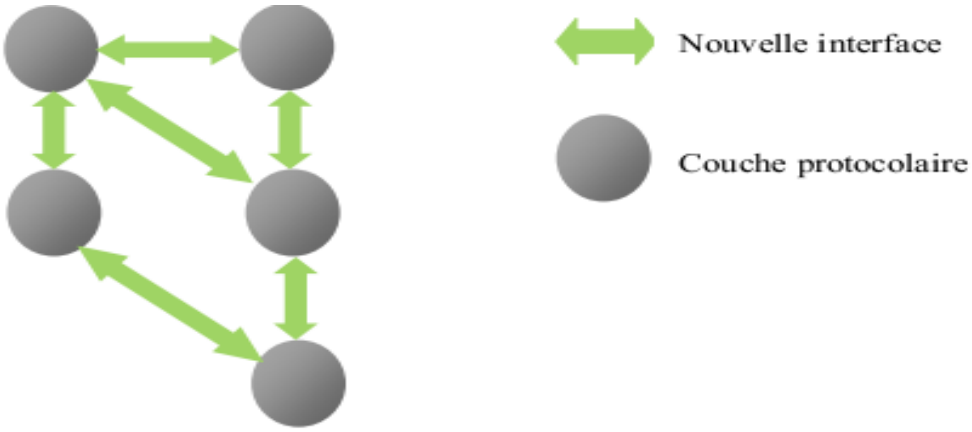


Figure3. 3 : Architecture à base de nouvelles abstractions.

3.5 Protocoles Cross-layer avec QdS pour les RCSF

Les RCSF restent un cas particulier de réseaux, parce que leur fiabilité implique non seulement la simple livraison de données, mais aussi leur capacité de détecter les informations à transmettre (des paramètres physiques par exemple). Pour accomplir ces tâches, il existe un fort besoin de coopération entre les différentes couches (physique, réseau, etc.) ainsi qu'une bonne couverture de la zone surveillée.

Dans cette section, on s'intéresse aux protocoles Cross-Layer qui proposent des améliorations afin d'assurer une meilleur QdS.

Certains travaux de recherche ayant adopté le concept Cross-layer afin d'améliorer les performances du réseau de capteur sans fil de bout en bout pour répondre aux besoins de QdS des applications [56].

3.5.1 Protocole QUATTRO

Le protocole QUATTRO (QUAlity-of-service-capable cluster-based Time-shared ROuting-assisted MAC Protocol) [57, 58] combine les fonctionnalités des protocoles de routage et des protocoles MAC. Il se base sur les fonctions suivantes :

1. Découverte de route et l'attribution d'une valeur pour chaque route.
2. Sélection de la route et réservation des ressources le long du chemin.
3. Formation des clusters et collecte des informations sur les interférences des clusters.
4. L'assignement de la fenêtre de contention pour chaque cluster pour éviter les interférences.
5. La reconfiguration

La clé pour garantir les exigences de qualité de service est la sélection de la route satisfaisante les ressources nécessaires. L'utilisation des mécanismes d'évitement de collisions et la meilleure utilisation des états des nœuds capteurs permettent de garantir de la QdS et d'économiser l'énergie.

3.5.1.1 Découverte de route

La première étape du protocole QUATTRO est la découverte d'un ensemble de routes entre chaque nœud capteur et le nœud Sink et l'affectation d'une valeur de pondération à chacune de ces routes. Cette procédure consiste en quatre phases brièvement expliquées :

L'algorithme fonctionne en utilisant les informations de mise à jour diffusées périodiquement par le nœud Sink appelées : RPRI dont le but de permettre à chaque nœud de

découvrir la route primaire vers le Sink. Le format de ce message est présenté dans la figure

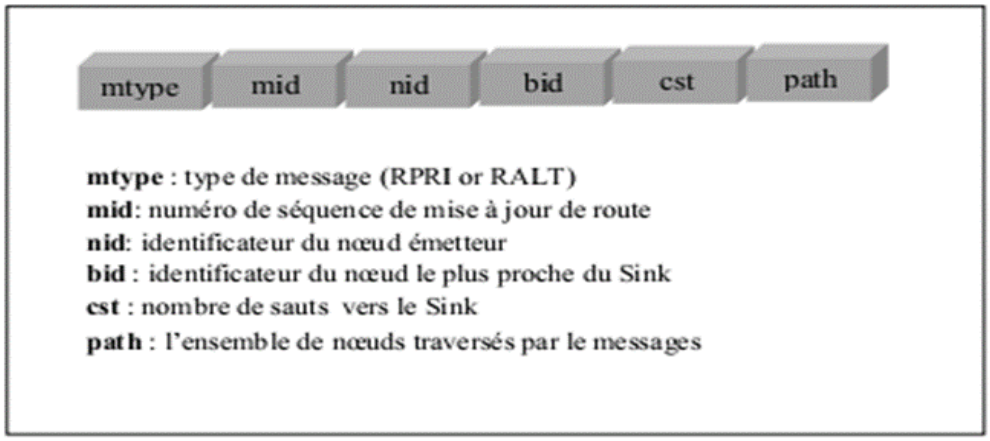


Figure3. 4 : Format de message de découverte de route.

3.4.

Lorsqu'un nœud reçoit un message de mis à jour pour la première fois, il marque le nœud émetteur du message comme étant un nœud père et rediffuse le message. Cela se poursuit de Manière récursive jusqu'à la réception du message par tous les nœuds du réseau.

La deuxième phase consiste à transmettre un nouveau message de type : RALT ce message est généré par chaque nœud capteur pour informer ces voisins de l'ensemble des routes alternatives découvertes.

Dans la troisième phase, chaque nœud capteur enverra un message WPRB à travers chacune des routes découvertes. Lorsqu'un nœud capteur reçoit un de ces messages, il incrémentera le compteur du nombre de routes (num_routes) et retransmettra le message. Le nœud Sink quand il reçoit le message automatiquement il va mettre à jour table des routes.

Finalement, le nœud Sink envoie comme réponse un message WRSP à travers toutes les routes stockées dans la table de routage. La figure 3.5 montre le format des messages WPRB et WRSP. A la réception du message WRSP, le nœud va le retransmettre après avoir modifié le champ énergie du goulot d'étranglement avec sa propre valeur. De même, si la valeur de ce champ est supérieure à l'énergie restante, elle sera mise à son énergie disponible.

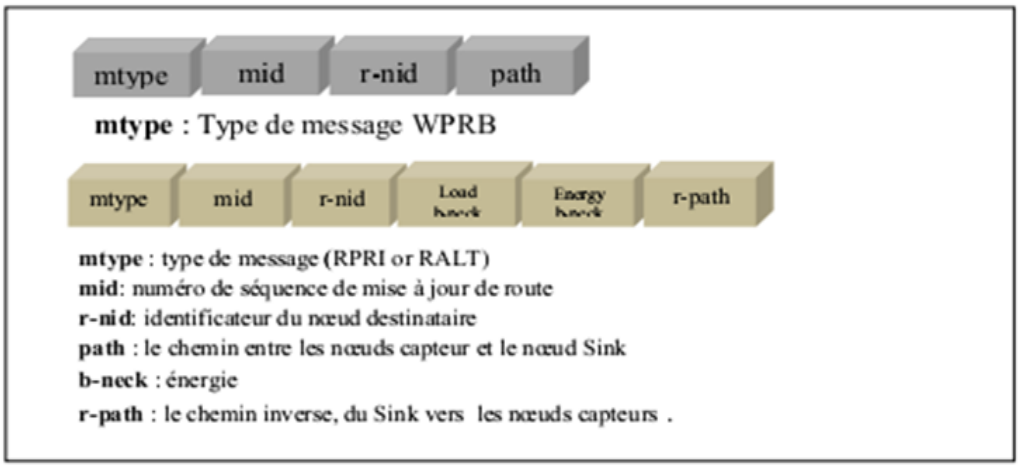


Figure3. 5 : Format des messages WPRB et WRSP.

3.5.1.2 Sélection de la route et réservation des ressources

La deuxième étape est la réservation des ressources le long du chemin. Les routes sont réservées lien par lien. Lorsqu'un lien est réservé avec succès les nœuds deviennent des membres d'un cluster et le nœud qui accepte à transmettre le trafic devient le CH. Avant de commencer le processus de réservation le nœud Sink diffuse un message RSINT pour indiquer qu'il est temps pour commencer la phase de réservation. A la réception de ce message par les nœuds voisins, ils répondent à leurs tours par un message RSINT au Sink.

La gestion de la bande passante sera comme suite. Tous les nœuds commencent avec une bande passante disponible égale à R (le taux de données réel transmises à travers le canal sans fil), cette valeur dépend de la couche physique et de la politique d'accès au support.

La Figure 3.6 montre une description du processus de réservation. En effet, un ensemble de messages de contrôles est utilisé afin de mettre en place la réservation de la bande passante : RSRQ, RSRP, et le message RSACK. Le message RSRQ peut être généré pour établir ou pour annuler une réservation. Le message, RSRP est utilisé pour envoyer une réponse positive ou négative. Enfin, le message RSACK est envoyé afin de confirmer la bonne réception de la réponse.

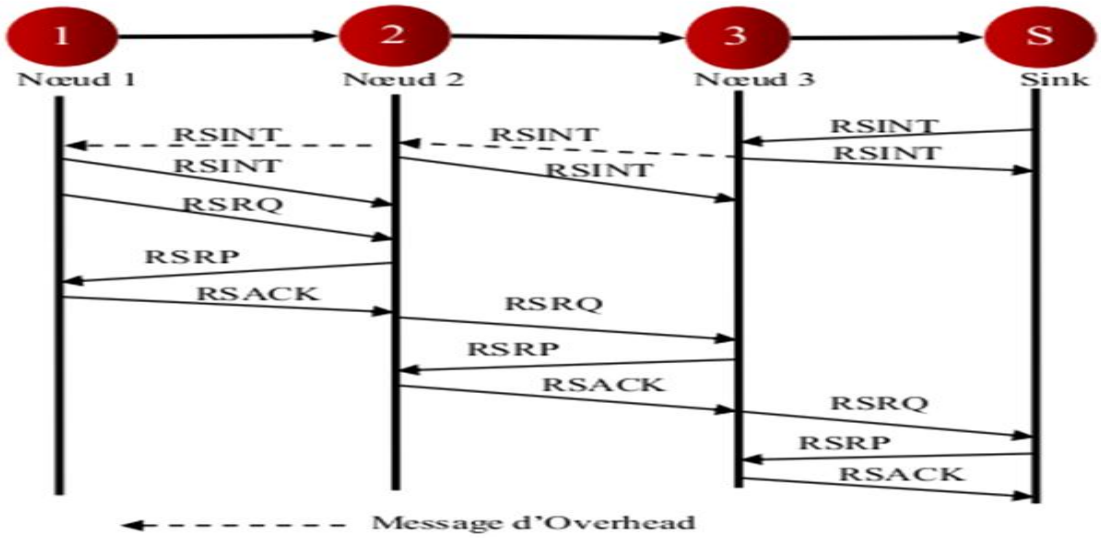


Figure3. 6 : La phase de réservation.

3.5.1.3 Collecte des informations sur les interférences

Les informations relatives aux interférences entre des clusters voisins doivent être collectées pour permettre l'ordonnancement des temps de réveilles des différents clusters afin éviter les chevauchements. Pour ce faire, à la fin de la phase de réservation de la route, le nœud Sink diffuse un message CISTART (start of cluster-interference information collection) qui sera diffusé sur le réseau. Les nœuds feuilles doivent être les premiers qui commencent la collecte des informations d'interférences des clusters. Chacun de ces nœuds doit envoyer un message CIINFO à son CH qui contient la liste des clusters interférents. Quand le CH reçoit le

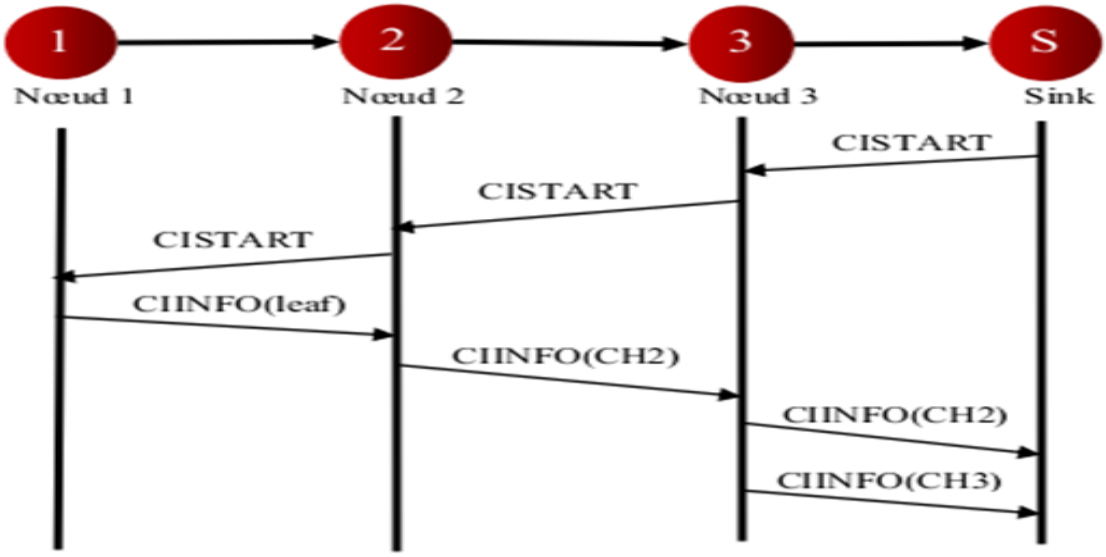


Figure3. 7 : La phase de collecte des informations sur les interférences des clusters.

message CIINFO de l'un de ses membres il mettra à jour la liste des clusters interférents détectés.

3.5.1.4 Affectation de la fenêtre de contention

En se basant sur les informations collectées dans la phase précédente, le nœud Sink aura suffisamment d'informations pour assigner des fenêtres d'activités aux différents clusters de telle manière qu'ils n'interfèrent pas les uns avec les autres.

3.5.1.5 Reconfiguration

Le cluster Head (CH) peut consommer plus d'énergie parce qu'il doit être en réveille pendant deux fenêtres d'activités non seulement pour envoyer ses propres données collectées, mais en outre il doit transmettre celles des membres du cluster. Par conséquent, il faut faire une redistribution efficace de la consommation d'énergie.

3.5.2 Protocole CL-MAC

Le protocole CL-MAC proposé fait partie de la classe des protocoles MAC basés sur le principe d'inter-couches par interaction de couches adjacentes. Il permet d'éliminer les principales causes de gaspillage d'énergie et de diminuer sensiblement la latence en présence d'applications particulières sensibles au délai de délivrance de donnée de bout en bout et pour lesquelles le protocole proposé peut être candidat potentiel. Les applications sensibles au délai, lorsqu'un évènement anormal aura lieu, existent en pratique : monitoring environnemental (par exemple la détection de feu de forêt [59] choisie ici comme un exemple typique, détection d'intrus), assistance de personnes âgées ou handicapées et surveillance à distance de la santé d'édifices publiques, surveillance à l'aide de capteurs vidéo d'une infrastructure importante. Dans ces applications, l'évènement détecté est considéré comme un message urgent qui devait être transmit rapidement au Sink pour une intervention urgente Afin de répondre à ces exigences, il est nécessaire de réduire considérablement au niveau MAC lorsqu'il s'agit de transmettre ce type de donnée urgente depuis une source vers le Sink.

La couche MAC assure l'accès au medium selon un calendrier Veille/Reveil (sleep/Aveakup) adaptatif et les nœuds sont localement et périodiquement synchronisés comme c'est le cas du protocole Z-MAC. Les nœuds capteurs du réseau sont déployés aléatoirement dans une surface géométrique de forme linéaire ou sous forme de grille. La phase de synchronisation des nœuds suit celle du déploiement.

3.5.2.1 Couche CL-MAC

Chaque nœud établit une liste de voisinage contenant des informations relatives à ses voisins (identificateur, position, calendrier) et une table de routage maintenue par un agent de la couche réseau adjacente. Le protocole de routage utilisé est basé sur l'approche de Greedy, connue sous nom de routage à base de position ou deocalisation. Dans cette approche, la décision de relayage des paquets est prise en tenant compte des nœuds voisins candidats et la position de la destination finale. Le schéma de routage de Greedy basé sur la distance, proposé par Finn [60], a été adopté pour l'étude du protocole CL-MAC. Dans cette approche, le nœud choisi pour le prochain saut, dans le mécanisme de routage, est le nœud voisin le plus proche de la destination finale(le Sink dans notre cas).

La Figure 3.8 montre que le protocole CL-MAC opère au niveau MAC. Un nœud qui l'implémente peut transmettre deux types de trafic mono destinataire : un trafic sensible au délai généré localement (le nœud qui implémente CL-MAC agit en tant que nœud source) ou un trafic sensible au délai reçu de l'un de ses voisins (le nœud qui implémente CL-MAC agit

dans ce cas en tant que nœud ralais). Lorsqu'un nœud source agit en tant que relais et en même temps il désire transmettre un trafic urgent, les deux trafics générés au sein su nœud seront donc transmis vers le Sink.

CL-MAC exploite les informations de routage à travers l'approche inter-couches appliquée selon la stratégie par interaction. Dans cette stratégie, CL-MAC interagit avec la couche réseau en utilisant un mécanisme simple de type « Get/Store » employant une mémoire de stockage commune dédiée à stocker les informations de routage à un instant donné (voir Figure 3.8). Ce mécanisme permet à l'agent de routage d'écrire «Store » dans la mémoire commune l'information sur le prochain saut à lequel le nœud actuel appartenant au chemin urgent doit lui relayer le paquet. Cette information de routage peut être lue « Ger» et exploitée par CL-MAC pour gérer l’accès au médium (plus exactement, réserver un chemin urgent d’une durée déterminée pour favoriser l’accélération des transmissions multi-sauts successives qui suivent).

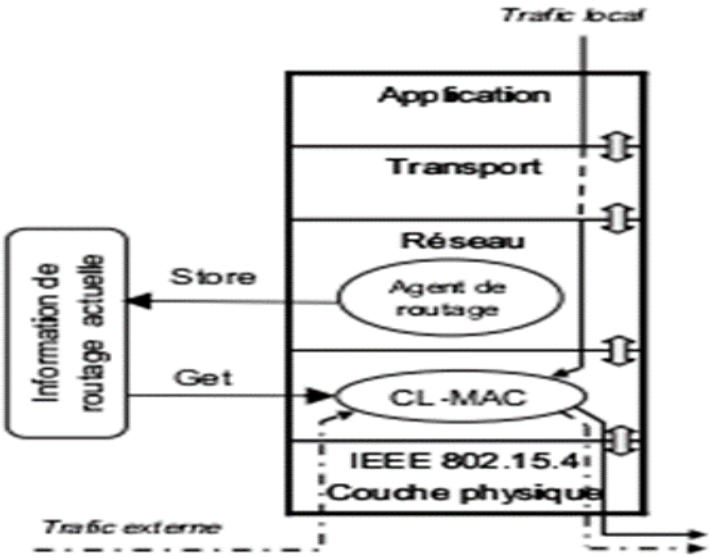


Figure3. 8 : Interaction entre CL-MAC et la couche réseau.

3.5.2.2 Nouvelles structures de données pour RTS et CTS

Afin de maintenir une certaine compatibilité avec le standard IEEE 802.11 une légère modification est apportée à la structure des trames RTS et CTS de la couche MAC. La figure 3.9 illustre les nouvelles structures proposées pour les messages RTC et CTS. Le nouveau champ ajouté au message RTS est le champ. 'Next_Node_Adress', obtenu à l'aide de l'agent de routage de l'émetteur et désigne l'adresse du prochain nœud dans le chemin de routage auquel les paquets doivent être transmis. Les nouveaux champs du message CTS sont

"Next_Node_Adress" et "Sender_Adress". Le champ 'Next Node_Adress" a la même signification que celui du message RTS, mais dans ce cas il est déterminé par l'agent de routage du récepteur du message CTS. Le champ "Sender_Adress" permet à un nœud capteur de prendre la décision d'ignorer ou non un message CTS, selon que son adresse est spécifiée ou non en tant qu'adresse d'un nœud prédécesseur. Si le nœud ignore le message CTS cela voudrait dire qu'il a déjà reçu un message CTS et qui l'a relayé à un autre nœud du voisinage, qui lui va le retransmettre à nouveau. Le seul cas où il l'accepte est le cas où il le reçoit pour la première fois [61,62]

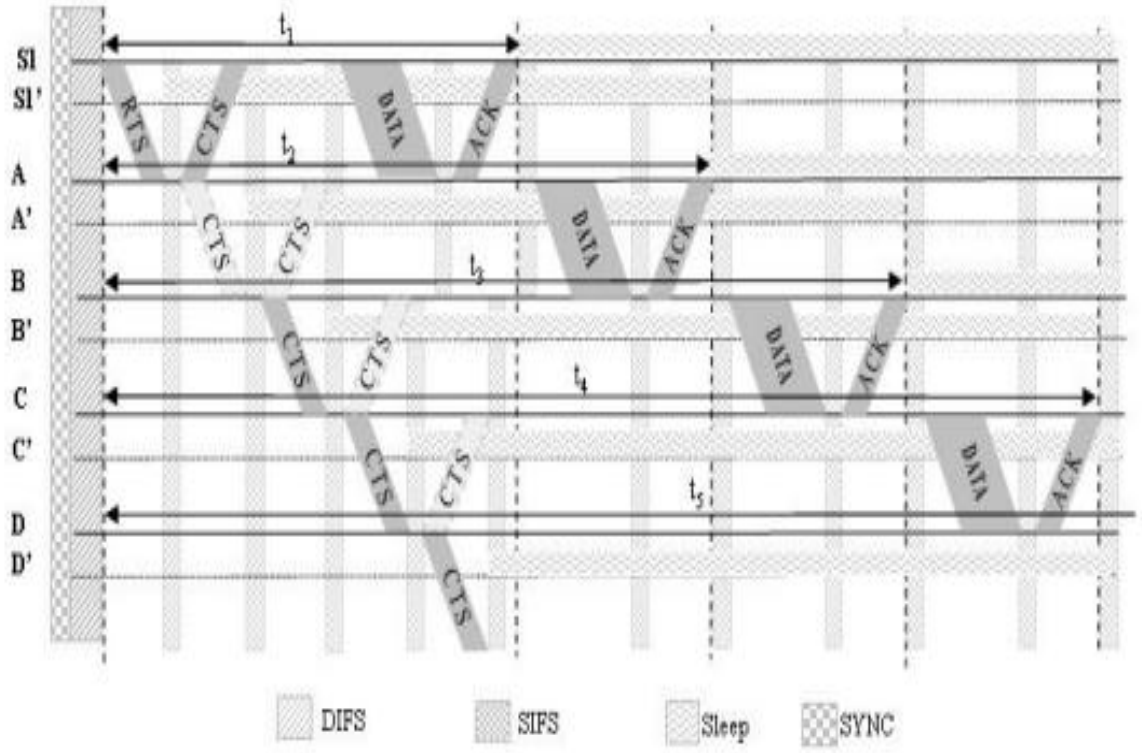
Le changement de "Sender Adress * à 'Previous Adress" est effectué par le récepteur du message CTS. Afin de permettre à CL-MAC de fonctionner correctement, l'adresse du Sink est supposée être connue au niveau de chaque nœud capteur du réseau dans le cas d'un RCSF.

RTS	Contrôle de trame	délai	Adresse Précèdent	Adresse suivant	Adresse émetteur	CRC
CTS	Contrôle de trame	délai	Adresse précèdent	Adresse suivant	Adresse émetteur	CRC

Figure3. 9 : Structure des trames RTS et CTS.

3.5.2.3 L'algorithme de CL-MAC

La Figure 3.10 présente le comportement temporel de CL-MAC correspondant au chemin de routage (S1-A-B-C-D-E-F-Sink) illustré le transfert des données suit un chemin unidirectionnel depuis la source (S1) jusqu'au Sink. Ce nœud (S1) transmet dans un premier lieu un message de contrôle RTS au nœud du prochain saut (Soit A). Lorsque ce paquet est bien reçu par (A), ce dernier répond par un paquet de contrôle CTS à l'émetteur (S1). Tous les voisins de l'émetteur et ceux du récepteurs éteignent leurs transcrives pour économiser de l'énergie à l'exception du nœud du prochain saut du récepteur qui laisse son transceiver allumé, donc en activité.



La figure 3.11 montre l'algorithme détaillé qui permet à CL-MAC d'être mis en œuvre à chaque nœud du réseau. En cas d'urgence du trafic, le protocole force tous les nœuds voisins qui ne font pas partie du chemin de routage à passer en mode veille.

```
1.  Entrée : Table; // table de routage
2.  Début
3.  Construire la liste des voisins (Liste);
4.  Synchroniser les horloges;
5.  Construire la table de routage(Table); // En récupérant des infos générées par l'agent de routage
6.  Etiquel : Nav := 0;
7.  Etat := Réveil; //WakeUp
8.  Répéter
9.  Si existe des données à transmettre ET (état = Réveil) Alors
10.     Si canal est libre Alors
11.         Si autres noeuds désirent accéder au médilum Alors
12.             Procédure-Backoff-pour-résolution-contention ;
13.         FinSi
14.         Destination := Lire-destination-de-Table(Table);
15.         Envoyer RTS à la Destination;
16.         Etat := Attente-pour-CTS;
17.     Sinon
18.         Se mettre en mode veille (Sleep) et se réveiller au prochain cycle (frame) ;
19.         Aller à Etiquel;
```

Figure3. 10 : Comportement temporel de CL-MAC.

```
24.     Si (message→destination = ID) Alors // ID du noeud récepteur du paquet
25.         Case Type (message) Of
26.         'RTS' : Construire-et-transmettre(CTS);
27.                 Etat :=Attente-pour-DATA;
28.         'DATA' : Construire-et-transmettre-à-la-source(ACK);
29.                 Reconstruire-et-transmettre-DATA-auprochain- saut(DATA);
30.                 Etat := Attente-pour-ACK;
31.         'ACK' : Se mettre en mode veille ;
32.                 Aller à Etiqu1;
33.         'CTS' : Si (Etat = Attente-pour-CTS) Alors
34.                 Transmettre(DATA); Etat := Attente-pour-ACK;
35.             Sinon Si Etat ≠Attente-pour-DATA Alors
36.                 Reconstruire-et-transmettre (CTS);
37.                 Etat := Attente-pour-DATA;
38.             FinSi
39.         FinSi
40.         FinCaseOf
41.         Sion
42.             Nav := message→durée;
43.             Se mettre en mode veille; Aller à Etiquel;
44.         FinSi
45.     Sinon // cas où le canal est libre
46.         Se mettre en mode veille et se réveiller au prochain cycle ;
47.         Aller à Etique1;
48.     FinSi
49. FinSi
50. Jusqu'à ce que (Niveau-batterie < seuil) ;
51. Fin CL-MAC
```

Figure3. 11 : Algorithme détaillé qui implémente CL-MAC au sein de chaque nœud capteur.

3.5.3 Autres protocoles Cross-layer avec QdS pour les RCSF

Le protocole TREnD « Timely, Reliable, Energyefficient and Dynamic » [63,64] est proposé pour les applications de contrôle industriel utilisant les RCSF. Les auteurs soutiennent l'approche basée sur les interactions complexes entre des protocoles de différentes couches du modèle OSI pour atteindre le maximum d'efficacité. Le protocole TREnD permet la collaboration entre l'algorithme de routage, la couche MAC, et le contrôle de l'alimentation pour satisfaire la fiabilité et la latence désirées. Ceci est obtenu grâce à un processus d'optimisation avec un objectif de minimiser la consommation d'énergie. Dans ce protocole, le mécanisme de routage est divisé en routage statique pour manipuler les communications inter-clusters, et le routage dynamique, pour gérer les communications inter-nœuds. Le protocole de routage est associé à une couche MAC hybride TDMA/CSMA-CA.

Les recherches proposées dans [65] présentent une architecture inter-couches (Cross-Layer) qui combines les performances des deux couches (MAC et réseau) afin d'optimiser la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil. Les nœuds capteurs génèrent un RTS contient également les informations de destination finale et un CTS contenant l'adresse du nœud émetteur, de telle sorte, lorsque le temporisateur NAV du nœud expire seulement ce nœud se réveille et les autres reste en mode sommeil, ce qui mène à une efficacité énergétique.

Dans [66,67] les auteurs ont proposé une unité de contrôle Cross-Layer (XLCU) pour fournir de la QoS dans les RCMSF. Ils ont pris en compte le transfert géographique pour contrôler les flux et les exigences de bout-en-bout de la QdS. De plus, le XLCU contrôle l'ordonnancement et l'assignement de la durée de l'impulsion radio UWB (TH-IR-UWB), pour éviter les collisions. Cette solution présente des meilleures performances en termes d'augmentation du débit et de la fiabilité et la réduction du délai de bout-en-bout.

Le protocole CREC (A cross- layer, reliable and efficient communication Protocol) [68] implémente les fonctionnalités des trois fondamentaux paradigmes de communication qui sont : l'accès au support, le routage efficace et le contrôle de congestion. Cette solution permet d'améliorer les performances du réseau, d'économiser l'énergie et de réduire le délai de bout-en-bout.

3.6 Conclusion

Nous avons résumé les concepts liés à cross-layer en mentionnant les types d'architecture, ainsi que les protocoles les plus importants, et l'importance de l'approche Cross-Layer dans les RCSF.

Chapitre 4 : *Approche proposée*

Sommaire

4.1 Introduction.

4.2 Description de notre approche.

4.3 Simulation de l'approche proposée.

4.4 Résultats de la simulation et analyse.

4.5 Conclusion.

4.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous décrivons et expliquons notre approche proposée. Les résultats de simulation obtenus sont présentés. A la fin de ce chapitre, nous comparons les résultats obtenus par apport le protocole LEACH pour tester l'efficacité énergétique de notre approche.

4.2 Description de notre approche

La consommation d'énergie peut être minimisée dans toutes les couches de la pile de protocoles. Plusieurs solutions au niveau de la couche MAC et surtout réseau ont été proposé afin d'économiser l'énergie. Il existe dans la littérature plusieurs solutions et protocoles inter-couche pour bénéficier les avantages de deux ou trois couches et pour obtenir de bonnes performances en termes de durée de vie du réseau. Dans la couche réseau, le routage hiérarchique est considéré comme l'approche la plus favorable en termes d'efficacité énergétique tandis que les différentes variantes de protocole MAC sont les plus utilisés dans la couche MAC de la pile protocolaire.

Nous pouvons remarquer d'après la littérature que les trois principales raisons de la consommation d'énergie sont la surcharge de synchronisation, les collisions et le maintien de l'antenne allumée pendant une plus longue période. Dans notre solution proposée, nous relevons ces trois défis avec une approche efficace en termes d'énergie.

D'après la littérature, nous pouvons remarquer aussi les problèmes de déploiement des nœuds suivants :

- La plupart des nœuds de capteurs se chevauchent ou sont placés à proximité les uns des autres pendant le déploiement.
- Les nœuds superposés et proches ont les mêmes données détectées.
- Il n'est pas nécessaire d'envoyer deux fois les mêmes données détectées à la station de base car l'envoi des mêmes données deux fois à la station de base pose les problèmes suivants : la perte d'énergie, la diminution de la période de stabilité et la durée de vie du RCSF et la génération des frais généraux supplémentaires sur la station de base.

Notre approche suggéré aborde tous ces problèmes afin d'améliorer l'efficacité énergétique du réseau.

Pour minimiser la consommation d'énergie et pour améliorer la période de stabilité du réseau et la durée de vie du réseau, nous proposons les hypothèses suivantes :

- Le concept d'appariement est introduit.

- Les nœuds de capteurs de la même application et à une distance minimale entre eux formeront une paire pour la détection et la communication des données c-a-d un seul nœud détecte l'événement et l'autre passe en mode veille.
- La technique de sélection des CH est améliorée.
- La sélection de CH est basée sur l'énergie résiduelle des nœuds.
- Le CH de l'itération en cours prédire le CH de la prochaine itération.

4.2.1 Mécanisme

Le mécanisme de notre approche est :

- Les nœuds de capteurs sont censés être équipés d'un système de positionnement global (GPS).
- Les capteurs mesurent leur position par GPS.
- Les nœuds transmettent leurs informations de localisation au puits.
- A la première itération, les clusters sont formés par le même mécanisme décrit par le protocole LEACH.
- Les nœuds qui sont à distance minimale les uns des autres dans leur plage de transmission intra-cluster et du même type d'application sont couplés en paire par la Récupérer les informations d'appariement de diffusion à tous les nœuds du réseau.
- Les nœuds prennent conscience de leur nœud couplé.
- Selon le schéma proposé, les nœuds basculent entre les modes « Veille » et « Réveil » au cours d'un seul intervalle de communication.
- Initialement nœud dans une paire, passez en mode réveil également appelé mode actif si sa distance au puits est inférieure à son nœud couplé.
- Le nœud en mode actif recueillera les données de l'environnement et transmettra les données aux CH.
- Pendant cette période, l'émetteur-récepteur du nœud couplé restera éteint et passera en mode veille.
- Au tour suivant, les nœuds en mode actif passent en mode veille et les nœuds en mode veille passent en mode actif.
- La consommation d'énergie est minimisée car les nœuds en mode veille économisent leur énergie en ne communiquant pas avec les CH.
- Les nœuds non appariés restent en mode actif pour chaque itération jusqu'à ce que leurs ressources énergétiques soient épuisées.

La figure suivante montre certains points de ce mécanisme.

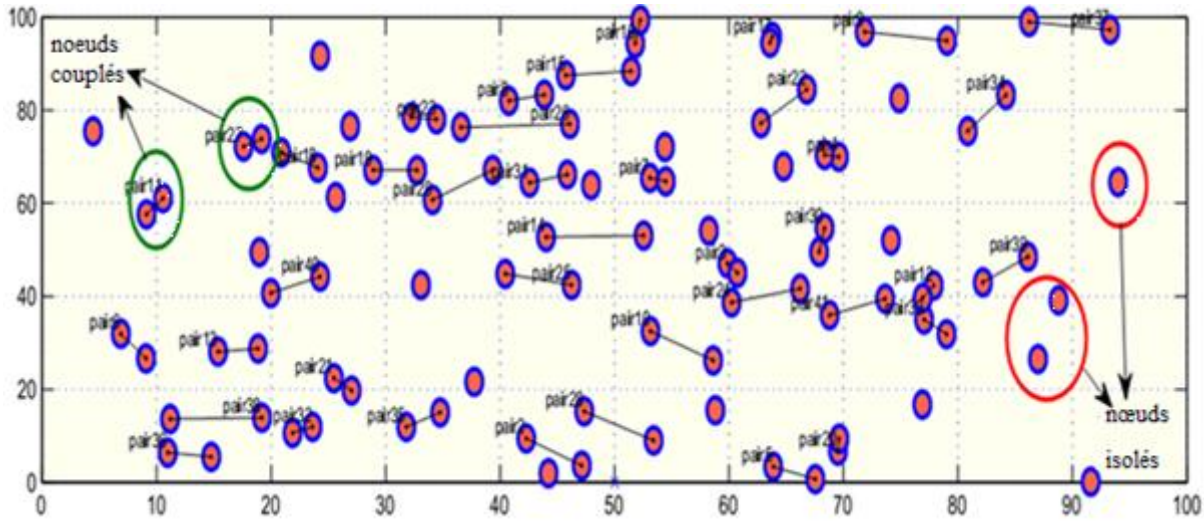


Figure4. 1 : Mécanisme de notre approche.

4.2.2 Phases de notre approche

Notre approche comporte deux phases : phase de sélection des CH et la phase de transmission.

4.2.2.1 Phase de sélection des CH

La phase de sélection CH passe par les sous phases suivantes :

- Initialement, à la première itération, les CH sont sélectionnés par le même mécanisme décrit par LEACH.
- La sélection des CH après la première itération est basée sur l'énergie résiduelle de chaque nœud.
- Les nœuds en mode actif participent au processus d'élection des CH.
- Au début de l'itération, les nœuds transmettent également leurs informations énergétiques à CH.
- CH calcule l'énergie résiduelle de chaque nœud du cluster et sa distance à chaque nœud et sélectionne CH pour la prochaine itération à venir.

4.2.2.2 Phase de transmission

Lorsque le nœud a été sélectionné comme CH, il diffuse un message sur l'ensemble du réseau. Seuls les nœuds en mode actif entendent les messages diffusés à partir de différents CH. Ils sélectionnent leurs CH sur la base de l'indication de l'intensité du signal reçu (RSSI). Les nœuds en mode actif transmettent leurs données détectées au CH pendant leurs temps

TDMA attribués. Les nœuds en mode veille ne participent pas à la transmission de données et économisent leur énergie en éteignant leur émetteur-récepteur.

L'algorithme suivant illustre la configuration du mode nœud par l'utilisation des avantages de la couche MAC.

Algorithme de configuration du mode nœud.

Algorithme 1 : Phase de configuration du mode nœud

```
1 : if (node = = coupled) then
2 :     if (node_ mode= =active && CCH_FLAG= =1) then
3 :         node_mode = active ;
4 :     else if (node_mode = = active && CCH_FLAG==0) then
5 :         node_mode = sleep ;
6 :     else if (node_mode = = sleep && voisin _CCH_FLAG= =1) then
7 :         node_mode = sleep ;
8 :     else if (node_mode = = sleep && voisin_CCH_FLAG = =0) then
9 :       node_mode = active ;
10 :    end if ;
11 :    else if (node = = coupled && node_voisin==dead) then
12 :    node_ mode = active ;
13 :    else
14 :      node_ mode = active ;
15 :    end if ;
```

4.3 Simulation de l'approche proposée

4.3.1 Choix de langage de programmation

Pour simuler notre approche proposée, nous avons choisi le langage de programmation MATLAB pour plusieurs raisons :

- MATLAB est un langage de haut niveau pour l'informatique scientifique et technique.
- Le succès actuel de MATLAB vient de sa simplicité de prise en main et d'utilisation.
- Il existe des boîtes à outils (toolbox) très utiles dans certains domaines comme l'optimisation, le traitement du signal et de l'image, l'apprentissage (réseaux de neurones. . .), l'automatique (Simulink), etc.
- Logiciel MATLAB est de plus très utilisé dans le monde industriel et dans le monde universitaire.
- MATLAB possède un environnement de développement pour la gestion du code, des fichiers et des fichiers de données.
- Il existe des fonctions graphiques permettant de visualiser les données graphiques 2D et 3D.

Les caractéristiques de la machine utilisée dans la simulation sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau4. 1 : Caractéristiques matérielles.

Matériel	Caractéristique
Processeur	Intel(R) Core(TM) i5-4200M CPU @ 1.60GHz
Mémoire (RAM)	4.00 GO
Système d'exploitation	Microsoft Windows 7 Home 64 bits

4.3.2 Modèle du système

La simulation de notre approche proposée est effectuée sur un réseau de capteurs sans fil qui présente les caractéristiques suivantes :

4.3.2.1 Modèle de réseau

- Les capteurs sont distribués dans un espace à deux dimensions.
- La localisation des nœuds doit être connue par un mécanisme de détection de position automatique.
- L'énergie initiale est homogène pour tous les nœuds.
- La station de base n'est pas limitée en termes d'énergie, de puissance de calcul et de mémoire.
- Les liens entre deux nœuds sont symétriques.
- Les capteurs sont fixes et homogènes en termes de la capacité de traitement et de communication.
- La fusion de données est utilisée pour diminuer la taille des données envoyées.

4.3.2.2 Modèle de dissipation de l'énergie

L'énergie du nœud est modifiée après chaque opération de transmission et de réception de données. Pour calculer l'énergie consommée, nous avons utilisé un modèle simple de propagation de signal utilisé dans [69].

Selon la distance entre l'émetteur et le récepteur, le coût pour transmettre un message de L bits à une distance d et le coût pour recevoir un message de L bits sont calculés comme ci-dessous:

- Pour envoyer un paquet de L bits sur une distance de d mètres, le capteur consomme :

$$ETX(L, d) = \begin{cases} L*Eelec(L, d) + L*\varepsilon_{fs}*d^2, & d<d_0 \\ L*Eelec(L, d) + L*\varepsilon_{mp}*d^4, & d\geq d_0 \end{cases} \quad (4.1)$$

- Pour recevoir un paquet de L bits, le capteur consomme :

$$ERX(L)=L*Eelec \quad (4.2)$$

Où

Eelec (L, d) : L'énergie suffisante pour transmettre ou recevoir un seul bit.

L : La taille d'un message.

ε_{fs}: L'énergie pour l'amplification des signaux émis pour transmettre un bit dans un modèle à espace libre.

ε_{mp}: L'énergie pour l'amplification des signaux émis pour transmettre un bit dans un modèle à propagation par trajets multiples.

d : La distance entre l'émetteur et le récepteur.

d_0 : Le seuil.

La distance d_0 est donnée par :

$$d_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon_{fs}}{\varepsilon_{mp}}} \quad (4.3)$$

La figure 4.2 suivante montre le modèle de dissipation de l'énergie utilisé par notre approche proposée.

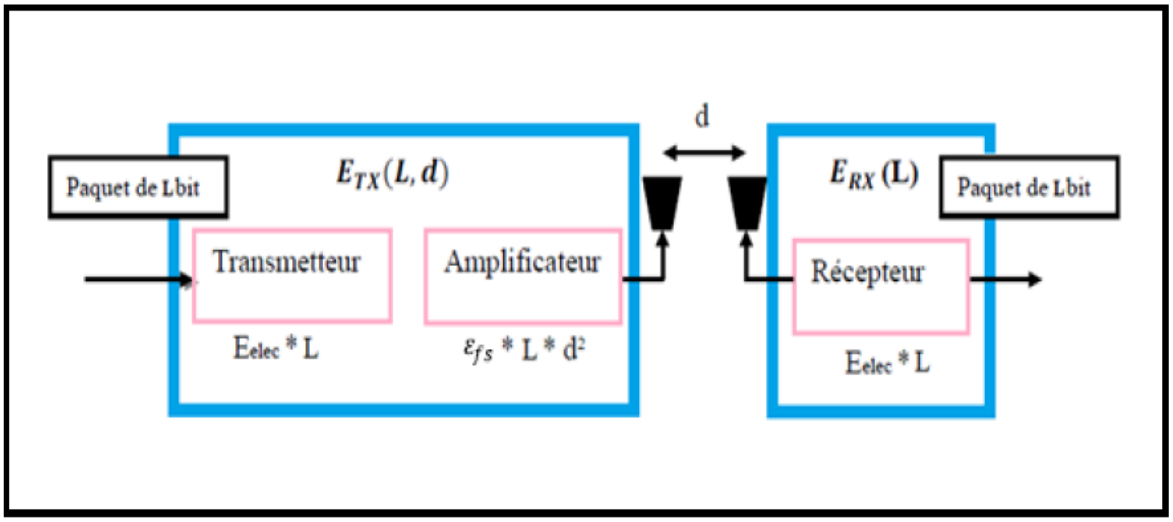


Figure4. 2 : Le modèle de dissipation de l'énergie utilisé.

4.4 Résultats de la simulation et analyse

4.4.1 Indicateurs de performance

Pour évaluer la performance de notre approche proposée, nous avons choisi les indicateurs de performance suivants :

- Période de stabilité : C'est la durée du fonctionnement du réseau depuis le début jusqu'à la mort du premier nœud.
- Durée de vie du réseau : la durée de vie du réseau est la durée depuis le début jusqu'à ce que le dernier nœud soit actif.
- Période d'instabilité : c'est la durée du fonctionnement du réseau depuis la mort du premier nœud jusqu'à la mort du plus petit nœud.
- Nombre de CH : Il indique le nombre de clusters générés par tour.
- Paquet vers BS : c'est le taux de livraison réussie de données à BS à partir de CH.

4.4.2 Résultats de simulation

Les résultats de simulation obtenus ci-dessous représentent la moyenne de 10 simulations exécutées par les mêmes paramètres de simulation.

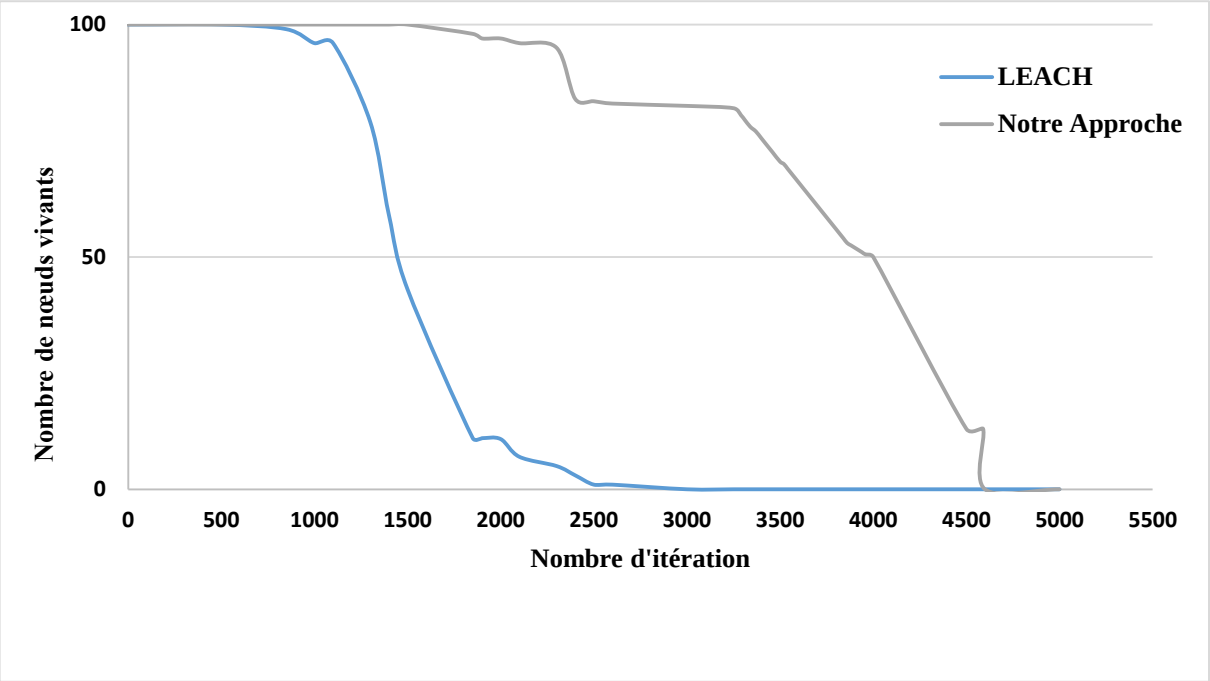


Figure4. 3 : Nombre de nœuds vivants VS Nombre d'itérations.

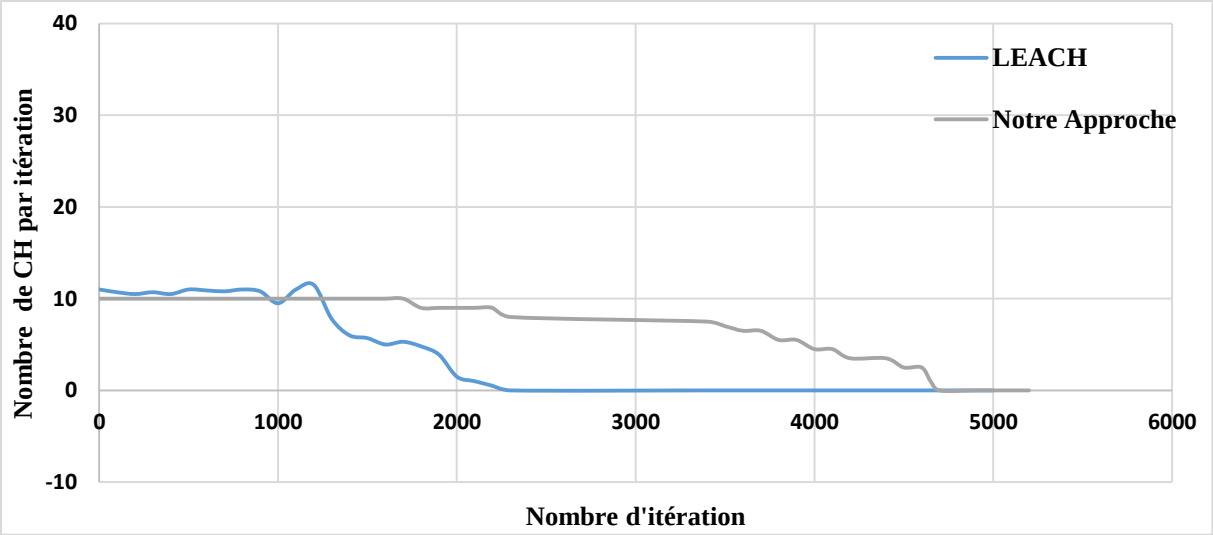


Figure4. 4 : Nombre de CH VS Nombre d'itérations.

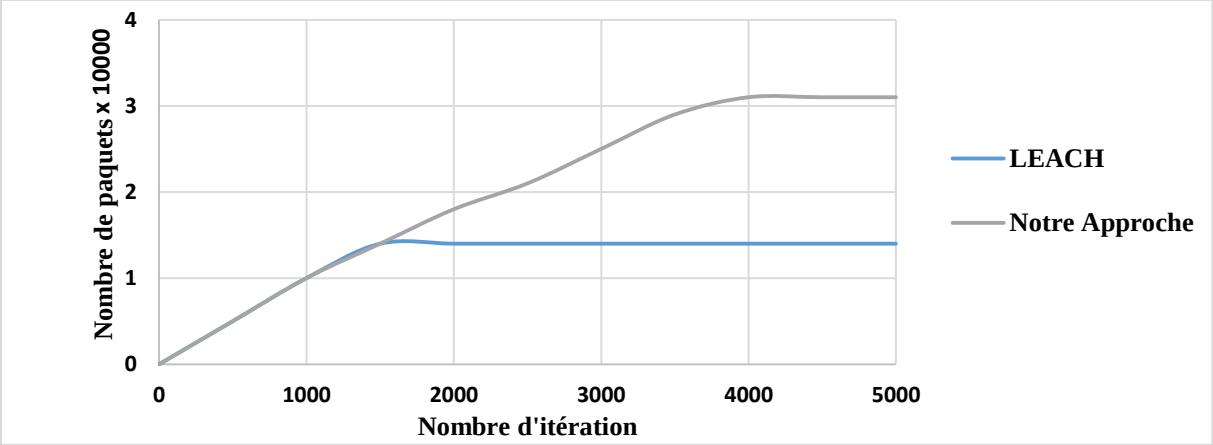


Figure4. 5 : Nombre de paquets VS Nombre d'itérations.

4.4.3 Analyse de résultats

D'après les résultats de simulation obtenus, nous pouvons déduire les remarques suivantes :

- Dans notre approche proposée le premier nœud meurt vers 1800 itérations.
- La période de stabilité de l'approche proposée est presque 120 % supérieure à LEACH.
- Notre approche proposée augmente la durée de vie globale du réseau par rapport au protocole LEACH.
- LEACH est plus d'incertitude dans la sélection des CH.
- Dans le protocole LEACH, un nombre aléatoire de CH est sélectionné à chaque itération, mais notre approche a contrôlé la sélection des CH.
- Notre algorithme de sélection de CH est efficace. Cela permet une transmission de débit de données meilleure et constante vers SB.

- Notre approche a une politique de veille pour les nœuds.
- Moins de données sont transmises à la station de base lors des itérations de départ en raison du mode veille de certains nœuds. Mais après 4000 itérations, notre approche a un débit de données plus élevé.

4.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit et simulé notre approche qui est une approche multicouche pour améliorer l'efficacité énergétique des nœuds de capteurs dans RCSF. Les résultats de la simulation montrent l'efficacité énergétique de notre approche en fournissant le protocole LEACH. Ceci est dû à l'utilisation de la technique inter-couches qui bénéficie des avantages des deux couches réseau et MAC.

Conclusion générale

Les réseaux de capteurs constituent un axe de recherche très fertile et peuvent être appliqués dans plusieurs domaines différents. Cependant, il reste encore de nombreux problèmes à résoudre dans ce domaine afin de pouvoir les utiliser dans les conditions réelles. L'un des problèmes qu'on peut rencontrer dans ce genre de réseau est la consommation d'énergie. C'est pour cela que la conservation de l'énergie de ces capteurs constitue un problème de recherche ouvert.

Dans notre travail, nous nous sommes intéressés au problème de l'énergie et du routage dans les réseaux de capteurs sans fil. Nous avons présenté leur principaux protocoles de routage et nous avons présenté les protocoles basés sur plusieurs approche : le clustering, la position géographique des nœuds, etc.…Parmi ces protocoles, nous nous sommes intéressés plus précisément à ceux qui traitent du problème de la consommation d'énergie. Nous pourrons ainsi utiliser des bribes de ces protocoles pour ainsi parvenir à trouver un protocole servant comme modèle à l'optimisation de l'énergie pour les RCSF. Nous en avons conclu que la gamme de transmission et un nombre différent de nœud de capteur en tant que paramètre de système affecte la consommation d'énergie globale et le rendement du RCSF.

Nous avons décrit et simulé notre approche à l'aide de simulateur crée en langage MATLAB. Afin de valider la performance de notre contribution, nous avons la comparé les résultats de simulation obtenus avec le protocole LEACH qui est le protocole de routage le plus populaire dans le RCSF. Nous avons choisi le nombre de nœuds vivants, le nombre de CH et le nombre de paquets par itération comme métrique d'évaluation pour tester la performance de notre contribution proposée. Les résultats de la simulation montrent que approche proposée minimise la consommation d'énergie grâce au mécanisme veille-sommeil. Les résultats de la simulation montrent aussi une amélioration significative de toutes les mesures de performance par rapport au protocole de routage LEACH.

Dans nos travaux futurs, nous envisagerons d'intégrer la mobilité des nœuds capteurs et de la station de base dans le réseau et comparerons notre approche avec d'autres protocoles de routage existant dans la littérature.

Bibliographie

[1]:T.lemlouma, «Le Routage dans les Réseaux Mobiles Ad Hoc». Master Recherche. univ-tebessa.

[2]: Harrouz Abdelkader, “support du matière: mesure de capture”, 3éme Année licence ETT, 2017.

[3]:SAHRAOUI Belkheyr; La Géo-localisation dans les Réseaux de Capteurs sans Fil; Mémoire de fin d’études; Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen, 2010-2011.

[4]:KAZI TANI Chahrazad, BENHADDOUCHE Wiam, “Implémentation et test d’un protocole de prévention de l’attaque Clone dans un réseau de capteurs sans fil”, Master en Informatique, Option: Réseaux et systèmes distribués (R.S.D), 2014.

[5]:D. Bein and A.K. Datta. "a self-stabilizing directed diffusion protocol for sensor networks". In International Conference on Parallel Processing Workshops, 2004.

[6]: Aurélie Bunel, « Les Réseaux de Capteurs Sans Fil », mars 2007.

[7]:J. Joy Winston and B. Paramasivan, A Survey on Connectivity Maintenance and Preserving Coverage for Wireless Sensor Networks, International Journal of Research and Reviews in Wireless Sensor Networks (IJRRWSN), Vol. 1, No. 2, ISSN : 2047-0037, pp.1118, June 2011.

[8]:I. Chlamtac, I. Carreras, H Woesner, “From internets to bionets :biological kinetic service oriented networks”. The case study of Bionetic Sensor networks. CREATE-NET Research Consortium, Trento, Italy. 2005.

[9]:I.F. Akyildiz, W.S. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, “Wireless Sensor Network: A Survey”. Computer networks, Vol. 38, pp. 393-422. 2002.

[10]: Rahim Kacimi, “techniques de conservation d’énergie pour les réseaux de capteurs sans fil ”, thèse de doctorat en réseaux et télécommunication, université de Toulouse, Septembre 2009.

[11]:YACINE Younes, « Minimisation d’énergie dans un réseau de capteurs »,Option ‘Système informatique’, 2012.

[12]:H. Karl et A. Willig, “Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks”, John Wiley & Sons, 2005.

[13]:YOUSSEF BENABBASSI, « application de la redondance pour la surveillance réseaux de capteurs sans »,Diplôme de Doctorat, université d’Oran,2014

[14]: Shio Kumar Singh et al, “Applications, Classifications, and Selections of Energy-Efficient Routing Protocols for Wireless Sensor Networks”, INTERNATIONAL JOURNAL

OF ADVANCED ENGINEERING SCIENCES AND TECHNOLOGIES (IJAEST), Vol No. 1, Issue No. 2, p85 – 95

[15]:J.Deng, Y.S.Han, W.B.Heinzelman and P.K.Varshney, “Scheduling Sleeping Nodes in High Density Cluster-based Sensor Networks”, mobile Networks and Applications, vol.10, pp.825-835, 2005.

[16]:T.Nieberg, S.Dulman, P.Havinga, L.V.Hoesel, J.Wu, “Collaborative Algorithms for Communication in Wireless Sensor Networks”, Ambient Intelligence: Impact on Embedded Systems Design, Kluwer Academic publishers, 2003.

[17]:M.E.KHANOUCHE, “Le traitement du problème de la couverture dans les réseaux de capteurs sans fil”, thèse, faculté des sciences exactes universités A.MIRA-BEJAIA, 2008.

[18]:C. Perkins, “Ad Hoc Networks”. Addison-Wesley, Reading, MA. 2000.

[19]: Mihaela Cardei, My T Thai, Yingshu Li, and Weili Wu. Energy-e-cient target coverage in wireless sensor networks. In INFOCOM 2005. 24 th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings IEEE, volume 3, pages 19761984. IEEE, 2005.

[20]: Benyuan Liu, Peter Brass, Olivier Dousse, Philippe Nain, and Don Towsley. Mobility improves coverage of sensor networks. In Proceedings of the 6th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing, pages 300308. ACM, 2005.

[21]: Kui Wu, Yong GAO, Fulu Li, and Yang Xiao. Lightweight deployment aware scheduling for wireless sensor networks. Mobile networks and applications, 10(6) :837852, 2005.

[22]: Honghai Zhang and Jennifer C Hou. On the upper bound of α-lifetime for large sensor networks. ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN), 1(2) :272300, 2005.

[23]: Wei Mo, Daji Qiao, and Zhengdao Wang. Mostly-sleeping wireless sensor networks : connectivity, k-coverage, and alpha-lifetime. In Proceedings of the 43rd Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing, 2005.

[24]: Isabel Dietrich and Falko Dressler. On the lifetime of wireless sensor networks. ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN), 5(1) :5, 2009.

[25]: Douglas M Blough and Paolo Santi. Investigating upper bounds on network lifetime extension for cell-based energy conservation techniques in stationary ad hoc networks. In Proceedings of the 8th annual international conference on Mobile computing and networking, pages 183192. ACM, 2002.

[26]: Bogdan C rbunar, Ananth Grama, Jan Vitek, and Octavian C rbunar. Redundancy and coverage detection in sensor networks. ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN), 2(1) :94128, 2006.

[27]: Guoliang Xing, Xiaorui Wang, Yuanfang Zhang, Chen yang Lu, Robert Pless, and Christopher Gill. Integrated coverage and connectivity con- guration for energy conservation in sensor networks. ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN), 1(1) :3672, 2005.

[28]:V.Raghunathan, C.Schurgers, S.Park and M.B.Srivastava, "Energy Aware Wireless Micro sensor Networks", IEEE Signal Processing Magazine, Vol.19, No.2, March 2002,

[29]:W.R.Heinzelman, A.Chandrakasan and H.Balakrishnan,"Energy-efficient Communication Protocol for Wirelesse Micro sensor Networks", the proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences, January 2000.

[30]: Cesare Alippi, Giuseppe Anastasi, Cristian Galperti, Francesca Mancini, and Manuel Roveri. Adaptive sampling for energy conservation in wireless sensor networks for snow monitoring applications. In Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS'07), Pisa, Italy, October 2007.

[31]: Mahmood Ali, Annette Böhm, and Magnus Jonsson. Wireless sensor networks for surveillance applications - A comparative survey of MAC protocols. In Proceedings of the 4th International Conference on Wireless and Mobile Communications (ICWMC '08), pages 399403, Washington, DC, USA, 2008. IEEE Computer Society.

[32]: K. Holger and Andreas Willig. Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks. Wiley, 2005.

[33]:M. YOUNIS, T. NADEEM, «Energy efficient MAC protocols for wireless sensor networks», Rapport technique, Mryland Baltimore pays University, USA, 2004.

[34]:M. Ilyas and I. Mahgoub. Handbook of sensor networks Compact wireless and wired Sensing Systems, ISBN 08493196864. CRC PRESS LLS, USA, 2005.

[35]:H. NAMGOOG, D. LEE, D. NAM, «Energy efficient topology for wireless micro sensor networks», ACM, PE-WASUN, October 2005.

[36]: Giuseppe Anastasi, Marco Conti, Mario Di Francesco, and Andrea Passarella. Energy conservation in wireless sensor networks : A survey. Ad Hoc Networks, 7(3) :537568, 2009.

[37]: Ya R Faizulkhakov. Time synchronization methods for wireless sensor networks : A survey. Programming and Computer Software, 33(4) :214 226, 2007.

[38]: Fikret Sivrikaya and Bulent Yener. Time synchronization in sensor networks : a survey. Network, IEEE, 18(4) :4550, 2004.

[39]: Curt Schurgers, Vlasios Tsiatsis, and Mani B Srivastava. Stem Topology management for energy e-cient sensor networks. In Aerospace Conference Proceedings, 2002. IEEE, volume 3, pages 31099. IEEE, 2002.

[40]: Liker Demirkol, Cem Ersoy, and Fatih Alagoz. Mac protocols for wireless sensor networks : a survey. Communications Magazine, IEEE, 44(4) :115121, 2006

[41]: Koen Langendoen. Medium access control in wireless sensor networks. Medium access control in wireless networks, 2 :535560, and 2008.

[42]: Qi Han, Sharad Mehrotra, and Nalini Venkatasubramanian. Energy ef- cient data collection in distributed sensor environments. In Distributed Computing Systems, 2004. Proceedings. 24th International Conference on, pages 590597. IEEE, 2004.

[43]: Rajesh Yadav, Shirshu Varma, N Malaviya, et al. A survey of Mac protocols for wireless sensor networks. UbiCC journal, 4(3) :827833, 2009. (Cité en page 22.)

[44]: Jaap C Haartsen. The Bluetooth radio system. Personal Communications, IEEE, 7(1) :2836, 2000.

[45]: Joseph Polastre, Jason Hill, and David Culler. Versatile low power media access for wireless sensor networks. In Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems, pages 95107. ACM, 2004.

[46]: Wei Ye, John Heidemann, and Deborah Estrin. Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks. Networking, IEEE/ACM Transactions on, 12(3) :493506, 2004.

[47]: Injong Rhee, Ajit Warrier, Mahesh Aia, Jeongki Min, and Mihail L Sichitiu. Z-Mac : a hybrid Mac for wireless sensor networks. IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), 16(3) :511524, 2008.

[48]: David Chu, Amol Deshpande, Joseph M Hellerstein, and Wei Hong. Approximate data collection in sensor networks using probabilistic models. In Data Engineering, 2006. ICDE'06. Proceedings of the 22nd International Conference on,. IEEE, 2006.

[49]: Cesare Alippi, Giuseppe Anastasi, Cristian Galperti, Francesca Mancini, and Manuel Roveri. Adaptive sampling for energy conservation in wireless sensor networks for snow monitoring applications. In Mobile Adhoc and Sensor Systems, 2007. MASS 2007. IEEE Internatonal Conference on, IEEE, 2007.

[50]: Ryo Sugihara and Rajesh K Gupta. Path planning of data mules in sensor networks. ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN), 8(1) :1, 2011.

[51]: Dr DOUGA Yassine Amélioration de la performance de TCP dans les réseaux mobiles ad hoc Université d'Oran, Algéria.2016.

[52]: Bae, S.Y., Sung-Keun Lee and Kyoung-Wook Park. (2013) ‘Cross-Layer QoSArchitecture with Multipath Routing in Wireless Multimedia Sensor Networks’, International journal of smart home, May 2013,

[53]:NIVOR, F. (2009) ‘Architecture de Communication pour les Applications Multimédia Interactives dans les Réseaux Sans Fil’, Doctorat de l’université de Toulouse.

[54]:V. Srivastava and M. Motani, “Cross-layer design: a survey and the road ahead”, IEEECommunications Magazine, December 2005.

[55]: Nasser Sedaghati-Mokhtari, Mahdi NazmBojnordi, Nasser Yazdani, "Cross-Layer Design: A New Paradigm", Proc In International Symposium on Communications andInformation Technologies (ISCIT 06), On page(s): 183188, Bangkok, Sept 2006.

[56]: Loua zani, A. (2015) ‘ Sécurisation d’un protocole inter-couches pour les réseaux LR-WPAN’, thèse de doctorat, université d’Oran.

[57]: Ruiz, J., Gallardo, JR., Villasenor-Gonzalez, L., Makrakis, D., Mouftah, HT. (2009) ‘QUATTRO: QoS-capable Cross-layer MAC Protocol for Wireless Sensor Networks’, Proceedings of the 28th IEEE Conference on Global Telecommunications, Honolulu, USA, November 30 – December 4, 2009.

[58]: Ruiz, J., Gallardo J.R., Makrakis, D., Villasenor-Gonzalez, L. and Mouftah, H.T. (2011) ‘Cross-layer medium access control protocol with quality-of-service guarantees for wireless sensor networks’ EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. Vol. 2011,

[59]:S. Byungrak, H. Yong-sork, K. Jung-Gyu, “A design and implementation of forest-fires surveillance system based on wireless sensor networks for south Korea mountains”, International Journal of Computer Science and Network Security (LCSNS), 2006.

[60]:G. G. Finn, “Routing and addressing in large metropolitan-seale intemetworks”, ISI Research Report, ISU/RR-87-180, 1987

[61]:B.Kechar, ‘Problématique de la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil’, Thèse de doctorat d’état, Juin 2010, Université d’Oran, Algéria.

[62]:A. Louazani, “Protocole de contrôle d'accès au médium à efficacité énergétique pour les réseaux de capteurs sans fil”, Mémoire de Magister en Informatique, Centre universitaire Mustapha Stambouli, Mascara, Algérie, juin 2008.

[63]: El Gholami, K. (2015) ‘La gestion de la qualité de service temps-réel dans les réseaux de capteurs sans fil’, université blaise pascal - Clermont II, thèse en cotutelle avec l’université chouaib doukkali - El Jadida, 29 May 2015.

[64]: Marco, P.Di. Park, P., Fischione, C. and Johansson, K.H. (2010) 'TREnD: a timely, reliable, energy-efficient and dynamic WSN protocol for control applications', IEEE International Conference on communications (ICC'2010)

[65]: Changsu Suh, Young-Bae KO, and Dong-Min Son. (2006) 'An Energy Efficient Cross-Layer MAC Protocol for Wireless Sensor Networks', APWeb'06 Proceedings of the 2006 international conference on advanced web and network technologies, and applications .

[66]: Melodia, T. and Akyildiz, IF. (2010) 'Cross-layer QoS-aware communication for ultra wide band wireless multimedia sensor networks', IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 28, No. 5, pp.653–63.

[67]: Mendes, L.D.P. and Rodrigues J.J.P.C. (2010) 'A survey on cross-layer solutions for wireless sensor networks', journal of Network Computer Applications, Vol. 2010.

[68]: Fang, W.W., Liu, Z. and Liu, F. (2012) 'a cross-layer protocol for reliable and efficient communication in wireless sensor networks', International Journal of Innovative Computing, Information and Control ICIC. Vol.8, No.10 (B).

[69] :W.B. Heinzelman, A.P. Chandrakasan, H. Balakrishnan, An application specific protocol architecture for wireless microsensor networks, IEEE Trans. Wirel.Commun. vol. 1, no 4, pp. 660-670, 2002.