الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA
Département du Génie Électrique
et de l'Informatique



Projet de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme
de Master en Génie Électrique
*Option : **Systèmes intelligents et communicants***

THEME

Etude et simulation d'un réseau de collecte de données du trafic routier urbain

Proposé et dirigé par :

Dr. OULD ZMIRLI Mohammed

Préparé et présenté par :

Melle. HAMDADOU Somia

Année Universitaire 2015-2016

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail

Je remercie en premier lieu, dieu le tout puissant, de nous avoir illuminé et ouvertes les portes des savoirs et de nous avoirs donner le courage et la volonté pour bien mener ce travail.

Je tiens à exprimer mon gratitude et mon vif remerciement à mon promoteur : Dr. OULD ZMIRLI Mohammed pour son aide, sa patience, ainsi que sa gentillesse.

Enfin je remercie tous qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail

Merci a tous.

Dédicace

Je dédie le fruit de mes études :

A mes très chers parents qui me poussent verts la réussite et que dieu

Le garde et les protégés pour nous

A mes très chers frères que je leur souhaite une longue vie pleine de bonheur et de réussite

A mes très chères sœurs qui m'entourent toujours d'honneur et de joie

A taus les membres de ma famille

A taus mes amis qui m'aiment
A ma promoteur : Dr. OULD ZMIRLI Mohammed

A toute la promotion : SIC 2016

HAMDADOU SOMIA

Résumé

Résumé :

L'objectif principal de ce travail est de parcourir les solutions existantes pour les protocoles de routage conçus pour les WSN, et évaluer quelques protocoles qui minimisent la consommation d'énergie, à savoir, LEACH, en mode de communication mono saut et multi-sauts, pour la collecte d'informations du trafic urbain de la ville de Médéa.

Mots clés: LEACH, mono saut, multi-sauts, protocole, routage hiérarchique, RCSFs.

Abstract:

The main objective of this work is to browse existing solutions for routing protocols designed for WSN, and evaluate some protocols that minimize energy consumption, ie, LEACH, in mono hop and multi-hop communication modes, to collect information from urban traffic in the city of Medea.

Keywords: hierarchical routing, LEACH, mono-hop, multi-hop, protocol,WSNs.

ملخص :

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تصفح الحلول القائمة على بروتوكولات التوجيه مصممة لWSN، وتقييم بعض البروتوكولات التي تقلل من استهلاك الطاقة، أي LEACH فيوضع الاتصال أحادية ومتعددة القفز لجمع المعلومات عن حركة المرور في مدينة المدية.

الكلمات المفتاحية:

شبكة الاستشعار اللاسلكية، بروتوكول، التوجيه الهرمي، LEACH، LEACH multi-sauts، أحادية القفز، متعددة القفز

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES ……..……...I

LISTE DES TABLEAUX…… ……..……...…II

LISTE DES ACRONYMES……..... ……...III

INTRODUCTION GENERALE……..1

Chapitre I : **Recueil des données de trafic routier par un RCSF**

I.1. Introduction…….. 3

I.2. Collecte des données du trafic routier ……...3

I.3. Besoins liés au recueil de données du trafic routier ……..3

I.3.1. Les besoins en temps différé ……4

I.3.2. Les besoins en temps reel ……..4

I.3.2.1. Surveiller et quantifier le traffic…….……...…….5

I.3.2.2. Informer pour inciter l'usager à modifier son comportement …….....……..……..5

I.3.2.3. Réguler les flux ……..6

I.3.3. Les besoins en données individuelles ……7

I.3.3.1. Besoins permanents ……...8

I.3.3.2. Besoins temporaires ……...8

I.3.3.3. Recherche ……10

I.3.4. Des besoins spécifiques ……11

I.4. Réseau de capteurs sans fil (RCSF)ou WSN (Wireless Sensor Network) ……..11

I.4.1. Histoire des réseaux de capteurs ……...11

I.4.2. Présentation des réseaux de capteurs sans fil ……...12

- Définition d'un capteur ……..……12

I.4.3. Définition d'un RCSF ……...13

I.4.4. Architecture d'un réseau de capteurs sans fil ……...14

I.4.5. Topologies des réseaux de capteurs sans fils ……...15

I.4.5.1. Topologie Hiérarchique ……..15

I.4.6.2. Topologie plate (Flat) 16

I.4.6.3. Topologie basée sur la Localisation ……..16

I.4.7. Caractéristiques des RCSFs ……17

I.4.7.1. Densité importante des nœuds ……..17

I.4.7.2. Topologie dynamique ……...17

I.4.7.3. Auto organisation …….…….18

I.4.7.4. Scalabilité (passage à l'échelle) ……18

I.5. Conclusion ……...18

Chapitre II : **Protocoles de routage hiérarchiques dans les RCSFs**

II.1. Introduction ……19

II.2. Consommation d'énergie dans les RCSFs ……19

II.2.1. Energie de capture ……19

II.2.2. Energie de traitement ……...20

II.2.3. Energie de communication ……...20

II.3. Techniques de minimisation de la consommation d'énergie ……20

II.4. Classification des solutions de routage de données ……...22

II.5. Techniques de clusterisation ……..24

II.6. Avantage d'organiser un réseau en groups ……24

II.7. Modes de communication ……..25

II.7.1. Mode de communication mono-saut ……25

II.7.2. Mode de communication multi-sauts ……...26

II.8. Protocole d'auto-organisation LEACH ……..27

II.8.1. Principe général de fonctionnement du protocole LEACH ……28

II.8.2.La Phase de construction (Set up phase) ……...29

II.8.3.La phase de communication ……...33

II.9. Modélisation du réseau utilize ……...34

II.9.1. Le modèle énergétique ……34

- Acquisition……34
- Communication ……34

II.9.2. Métrique utilisée ……...36

II.10. Conclusion ……...36

SOMMAIRE

Chapitre III : **Résultats de Simulations**

III.1. Introduction ……37

III.2. Construction du réseau de capteurs ……37

III.3. Description de l'algorithme du protocole LEACH ……39

III.4. Organigramme du protocole LEACH ……40

III.5. Résultats de simulations du protocole LEACH ……..42

III.6. Résultats de simulations du protocole Muli-LEACH ……43

III.7. Conclusion ……..48

Liste des figures

Figure I.1: Architecture physique d'un capteur…….....13

Figure I.2: Architecture de communication d'un RCSF…….…….....13

Figure I.3: Architecture générale d'un réseau de capteurs sans fils……..…….....14

Figure I.4: Topologie Hiérarchique……..….....15

Figure I.5: Topologie plate (Flat)…….……16

Figure I.6: Topologie Basée sur la Localisation……..…….….....17

Figure II.1: Les techniques de conservation d'énergie…….……20

Figure II.2: Classification des protocoles de routage pour les RCSFs…….….....23

Figure II.3: Exemple d'une structure des clusters…….…...25

Figure II.4: Réseau hiérarchique mono-saut…….……26

Figure II.5: Réseau hiérarchique multi-saut……..……...27

Figure II.6: Le Protocole d'auto-organisation LEACH…….....28

Figure II.7: Le déroulement du protocole LEACH en cycles……...29

Figure II.8: Probabilité Optimale…….....30

Figure II.9: Répartition du temps et différentes phases dans le cycle de LEACH…….....31

Figure II.10: Méthodes d'accès au médium…….....32

Figure II.11: Opérations de la Phase de construction (Set up) de LEACH…….....32

Figure II.12: Opérations de la phase de communication (Steady-state) de LEACH……....33

Figure II.13: Modèle de consommation d'énergie pour la communication……..35

Figure III.1: Carte routière urbaine de Médéa…….….38

Figure III.2: Répartition des nœuds capteurs dans le réseau routier de la ville de Médéa……38

Figure III.3: Organigramme du protocole LEACH……..41

FigureIII.4:Nombre de nœuds vivants en fonction du nombre de tours…….42

Figure III.5: Nombre de nœuds vivants en fonction du nombre de tours Protocole : Multi-Protocole : Multi-LEACH, Energie initiale E0=0,5 J, sink au milieu (S05)……...44

FigureIII.6:Nombre de nœuds vivants en fonction du nombre de tours…….45

Figure III.7:Nombre de nœuds vivants en fonction du nombre de tours…….....46

Figure III.8: Nombre de nœuds vivants en fonction du nombre de tours……47

Figure III.9: Energie totale résiduelle du réseau en fonction du nombre de tours Energie initiale E0=2,5 J (e25) et Energie initiale E0=0,5 J (e05) …….48

Liste des tableaux

Tableau III. Paramètres du modèle du réseau utilisés en simulations……...39

Liste des acronymes

CDMA : Code Division Multiple Access

CH : Cluster Head

GPS : Global Position System

LEACH : Low Energy Adaptive Clustering Hierarchyest.

QOS : Quality Of Service.

RCSF : Réseau de Capteur Sans Fil.

SB : Station de Base.

TDMA : Time Division Multiple Access.

WSN : Wireless Sensors Network.

Introduction générale

La qualité de l'exploitation d'un réseau routier urbaine dont les services de gestion de trafic ou d'information usagers, dépend grandement de la quantité de capteurs du trafic installés, de la qualité des emplacements retenus et enfin de la fiabilité et de la précision des mesures produites. Le milieu urbain est équipé d'une forte densité de carrefours à feux. Le besoin premier est de percevoir à travers les mesures collectées, la charge du trafic en temps réel, par mesure de remontées de files de véhicules à une centaine de mètres en amont des feux.

Pendant les dernières années, des unités intelligentes, qui communiquent entre eux par onde radio ont été développées. Ces unités ont la possibilité de capter une mesure de l'environnement et la transmettre à ses voisins. Elles forment un réseau de capteurs sans fil.

Ces unités sont dénommées "nœuds" et sont typiquement constituées d'un microcontrôleur, un capteur, une interface radio et une batterie. La batterie est la ressource la plus importante sur le nœud. C'est pour ainsi qu'une faible consommation est désirée.

La batterie limite ainsi la durée de vie du capteur et influe sur le fonctionnement global du réseau. C'est pourquoi, les protocoles permettant d'économiser l'énergie occupent, aujourd'hui, un axe important de recherche dans ce domaine. Comme la problématique principale des WSN est le routage de données vers la station de base avec un moindre coût de consommation d'énergie qui devient une nécessité absolue afin d'étendre la durée de vie; plusieurs solutions de protocoles de routage ont été conçues dans la littérature. Parmi les solutions efficaces les plus adaptées sont celles basées sur l'approche de clustrisation qui consiste à structurer et regrouper les nœuds du réseau en groupe dit cluster ou chaque cluster a un chef appelé ClusterHead ou chef de groupe.

L'objectif principal de notre travail est de s'initier au domaine des réseaux de capteurs sans fil : parcourir les solutions existantes pour les protocoles de routage conçus pour les WSN et évaluer quelques protocoles qui minimisent la consommation d'énergie, à savoir, LEACH en mode de communication mono saut et multi-sauts, pour la collecte d'informations du trafic urbain de la ville de Médéa.

Notre projet est organisé en trois chapitres. Le premier chapitre est consacré à des généralités sur les réseaux de capteurs sans fil, nous allons commencer par définir en premier lieu les réseaux sans fil en général. Nous détaillerons en second lieu les RCSFs, nous verrons les concepts généraux relatifs au domaine de ces réseaux et le recueil des donnes .Le deuxième chapitre est consacré aux techniques qui minimisent la consommation d'énergie dans les RCSFs en utilisant des protocoles d'auto-organisation LEACH, en mode mono saut et multi-sauts. Le troisième chapitre est consacré à l'évaluation des performances de ces protocoles en utilisant le langage Matlab comme outil de simulation.[1]

I.1. Introduction

Les technologies ont considérablement progressé au cours des dernières années dans les domaines des télécommunications, de l'informatique, et de l'électronique, élargissant les perspectives pour les systèmes de transport intelligent. De l'autre côté, 3. Ceci a permis l'apparition d'un nouveau type de réseaux sans fils appelé réseaux de capteurs sans fil (RCSF).De tels capteurs représentent une solution idéale dans le cas de la gestion du trafic routier, ceci en comparaison avec les équipements traditionnels (les boucles électromagnétiques), par leur réactivité, facilité démise en place et nombre de points de mesure, et particulièrement, le coût et le temps d'installation de tels réseaux sont très confortables. Précisons également que les capteurs ont l'avantage d'être petits (comparable à une pièce de monnaie) et peuvent donc s'adapter à de nombreux environnements, à des endroits où les dispositifs classiques ne pourraient parfois pas être installés. De plus, la coordination est possible avec une ou plusieurs stations de base généralement en charge des communications extérieures ou de l'administration du réseau. Enfin, insistons sur les contraintes que représentent les capteurs (énergétiques, sécurité (sans-fil), mémoire et calculs limités, partage du spectre radio) : les modèles établis sur ce type de réseau doivent prendre en compte ces facteurs, tout en maximisant l'efficacité de la solution proposée.

Dans ce chapitre, nous présenterons en premier lieu le système de collecte des données du trafic routier urbain .Dans la partie suivante, nous abordons les réseaux de capteurs sans fil.[1]

I.2. Collecte des données du trafic routier

Le domaine du recueil de données trafic joue un rôle important pour l'exploitation de la route, de nouveaux besoins apparaissent dans les différents domaines, aussi bien en temps réel, en temps différé, en données individuelles ou des besoins plus spécifiques comme la détection de certaines catégories de véhicules (poids lourds, deux-roues motorisées ou non motorisées, piétons...).[1]

I.3. Besoins liés au recueil de données du trafic routier

Les exploitants et les gestionnaires de réseaux routiers ont en charge la gestion du trafic, la sécurité des déplacements avec notamment le maintien de la viabilité et l'information de l'usager. Pour assurer ces missions, la politique de gestion du trafic de chaque gestionnaire routier

peut se décliner en différentes stratégies d'exploitation qui dépendent de la typologie du réseau et de ses caractéristiques (voies rapides urbaines, trafics pendulaires, niveaux de trafic, etc.).

Ces différentes stratégies nécessitent une bonne connaissance du trafic. Selon les objectifs poursuivis, on recense quatre types de besoins en matière de données de trafic. Certains capteurs peuvent couvrir plusieurs champs d'applications à la fois et d'autres sont spécifiquement déployés de façon complémentaire au système global de recueil de données de trafic.[1]

I.3.1. Les besoins en temps différé

Le recueil de données trafic en mode temps différé est la première source d'information de la connaissance de notre réseau routier. Il concerne de nombreux domaines, outre l'exploitation, comme la conception des infrastructures, l'entretien des chaussées, la sécurité routière, l'environnement, les statistiques nationales etc. Il s'agit de l'application la plus courante, les données sont agrégées en séquences horaires ou journalières pour des besoins statistiques. La plupart des gestionnaires ne s'intéressent, dans ce cas, qu'aux débits et à la composition du trafic, débits des véhicules légers et des poids lourds, le plus souvent pour la planification de l'entretien des routes.[1]

I.3.2. Les besoins en temps réel

Le gestionnaire a en charge la gestion du trafic sur son réseau. Il maintient la viabilité de celui-ci et assure la sécurité des usagers. Pour cela, il a besoin de connaître en temps réel l'état du trafic sur chaque axe de son réseau, grâce au recueil de données de trafic. Le recueil de données permet ainsi de réaliser les fonctions nécessaires à l'exploitation.

Les données sont utilisées au fil de l'eau par les gestionnaires et sont généralement fournies par séquences de 6 minutes ou toutes les minutes. La nature des mesures est généralement le débit, la vitesse, la longueur des véhicules et le taux d'occupation de la chaussée. Elles sont destinées aux besoins d'exploitation pour la gestion du trafic routier comme l'affichage des temps de parcours, la détection automatique des congestions ou simplement le renseignement de l'état du trafic. Ici, les capteurs sont déployés en grand nombre afin d'obtenir un maillage dense, ils se doivent donc d'être simples, économiques, ne nécessitant qu'une maintenance réduite et associés à un système de transmission de données performant.[1]

I.3.2.1. Surveiller et quantifier le trafic

a) Surveillance du trafic en situation courante

Grâce au recueil de données de trafic, le gestionnaire peut qualifier l'état du trafic en temps réel et sur tout mesurer son évolution (passage notamment de l'état fluide à l'état saturé puis bouchon) en cohérence avec la situation de trafic qu'il peut visualiser avec une caméra.

Les données de trafic sont aussi utilisées pour calculer en temps réel des indicateurs de trafic (vitesse moyenne, longueur totale des bouchons, indicateur de bouchon, etc.), ce qui permet d'indiquer la situation globale du trafic sur le réseau.

Les stations de recueil de données de trafic peuvent être complétées par des équipements de détection automatique de bouchons, qui permettent de détecter et de localiser les congestions récurrentes ou aléatoires.[1]

b) Surveillance du trafic en zones de chantier

La présence de zones de chantier lors de travaux routiers, perturbe les recueils de données de trafic. Il n'est généralement pas nécessaire de maintenir le recueil du trafic sur ces zones car le gestionnaire routier peut s'appuyer sur les moyens existants en amont et en aval du chantier. Cependant, dans le cas où un chantier durable, de plusieurs mois, se situe dans une zone à haut niveau de service (échangeur, barrière de péage, ouvrage d'art), il est recommandé de maintenir la surveillance du trafic avec un système léger non-intrusif (vidéo ou radar). Ces systèmes de recueil de données de trafic sont mobiles, de préférence sans fils et réutilisables car ils doivent suivre facilement les évolutions du chantier (installations sur remorque ou mât transportable).[1]

I.3.2.2. Informer pour inciter l'usager à modifier son comportement

La diffusion d'informations de trafic (telles que la présence de bouchons, les temps de parcours, etc.), durant le trajet, via des panneaux à messages variables ou des moyens de type « nouvelles technologies» tels Internet ou les systèmes d'information routière embarqués permet d'agir sur le comportement de l'usager, ce qui contribue à améliorer les conditions de trafic et le confort de ces derniers.

La diffusion de la localisation d'un bouchon permet de renseigner l'usager en amont, de lui indiquer un danger immédiat (risque de sur-accident) afin de l'inviter à réduire sa vitesse pour assurer sa sécurité. De même, l'optimisation du trafic peut être mise en œuvre en déclenchant des plans de gestion de trafic, par exemple après détection de saturation, qui va consister à dérouter le

trafic en conseillant à l'usager un itinéraire alternatif utilisant le réseau maillé. Ce conseil (ou cette consigne) sera diffusé par PMV, la radio etc.

Pour préparer son déplacement, l'usager peut aussi consulter les sites internet alimentés avec des données de trafic. Ces sites permettent de connaître les conditions de circulation en temps réel et de localiser les difficultés sur le réseau (accident, travaux, itinéraire conseillé, etc.). Des outils permettent aussi de choisir la meilleure heure pour partir et ainsi minimiser le temps de parcours. Ceci contribue à optimiser le trafic.[1]

I.3.2.3. Réguler les flux

a) Mise en œuvre de mesures de gestion dynamique du trafic

Afin d'être en mesure d'activer des mesures de gestion dynamique du trafic telles que de la régulation de vitesse, d'accès, de l'interdiction dynamique de dépasser pour les véhicules poids lourds, de la gestion dynamique des voies ou autres, il est nécessaire d'obtenir en temps réel les différents paramètres nécessaires au bon fonctionnement de l'algorithme, avec la précision et le taux d'actualisation adéquats. Par exemple, un capteur capable de vérifier la présence du passage de véhicules sur des voies spécifiques permettrait d'aider l'opérateur dans sa prise de décision d'automatisation de l'ouverture d'une voie réservée (par exemple en lieu et place de la bande d'arrêt d'urgence) à la circulation dans le cas de congestions ou d'incidents en section courante.

Pour mettre en œuvre ces mesures, une densification des équipements, ou des sources de données, est également nécessaire au bon fonctionnement des algorithmes de calculs d'indicateurs. En particulier, la présence de caméras de surveillance est souvent très importante.

Il peut également être noté que les mesures de gestion dynamique du trafic sont difficilement mises en œuvre en zones de chantier, étant donnée la perte de recueil de données à proximité. Néanmoins, c'est notamment dans ce type de situation dégradée qu'une gestion en temps réel est d'autant plus utile.[1]

b) Mesures de contrôle et leurs applications potentielles

Afin d'assurer leur efficacité, la mise en œuvre de mesures de régulation dynamique de trafic nécessite quelquefois un contrôle automatisé du respect de la mesure.

Ainsi, un contrôle automatisé des vitesses permet d'accompagner une mise en œuvre d'une régulation de vitesses. Un contrôle automatisé des poids roulants permet d'accompagner une mise

en œuvre de l'IDPL. La gestion dynamique des voies, notamment la mise en place de voies réservées, peut nécessiter de contrôler le type de véhicules circulant sur ces voies.

Les technologies développées à ces fins peuvent permettre néanmoins d'autres applications que le simple contrôle automatisé. Les systèmes de contrôle du nombre d'occupants dans les véhicules pour la mise en œuvre d'une mesure de voie de covoiturage permettrait d'améliorer les modèles de déplacement de manière non négligeable. Les systèmes de lecture de plaques dans le cadre de la mise en œuvre du contrôle automatisé des vitesses peuvent également être utilisés afin de calculer des temps de parcours (capteurs Vidéo) etc.[1]

I.3.3. Les besoins en données individuelles

Les données individuelles (dites aussi microscopiques) de trafic sont des mesures fines enregistrées au fil de l'eau et stockées véhicule par véhicule. Les paramètres à recueillir sont constitués de la voie de circulation, de l'horodate de passage du véhicule avec une résolution au centième de seconde, de la vitesse, de la longueur, du temps inter véhiculaire et suivant le besoin, de la catégorie et du poids du véhicule. Les capteurs qui fournissent ce type de donnée individuelle doivent être d'une bonne qualité métrologique.

Grâce à ces paramètres de mesure simples mais riches en informations, il est possible de calculer une large gamme d'indicateurs de trafic. Ces indicateurs sont utilisés dans le cadre d'études d'aide à la définition de stratégies d'exploitation (ex : réduction des vitesses, interdiction de dépasser des poids lourds, etc.), de sécurité ou d'études comportementales des usagers sur des points singuliers (passages à niveau, etc.).

Cette méthode de recueil de données trafic nécessite l'utilisation de capteurs présentant d'excellentes performances métrologiques et constantes tout au long de l'année. Le matériel d'enregistrement est doté d'une grande capacité mémoire de stockage des données. En revanche, il n'est pas nécessaire de mettre en œuvre un système puissant de calcul en bord de chaussée car tous les traitements peuvent être réalisés a posteriori à partir des données stockées.

Les exploitations et traitements logiciels réalisés à partir de ces données permettent de fournir des indicateurs, courbes et tableaux de synthèse. Pour exemples, on peut citer notamment les courbes de distributions de vitesses par type de véhicules, par voie de circulation, les graphes de temps inter-véhiculaires tous véhicules, les tableaux d'effectifs de véhicules par catégories, les graphes de proportion de véhicules libres, de pelotons, etc.

Ce mode de recueil, riche de contenu, présente l'avantage d'une part, d'extraire du trafic des populations d'usagers distinctes (véhicules libres, en pelotons, poids lourds, Bus, in fractionnistes vitesse/poids, etc.) et d'autre part des sélectionner des périodes d'observations par type de trafic : heures de pointe, trafic de nuit, trafic saisonnier, etc.

Le recueil et l'exploitation de données individuelles de trafic répond ainsi à de nombreux besoins mais sa mise en œuvre est différente selon s'il s'agit de recueillir des données en permanence ou bien temporairement ou encore s'il s'agit alimenter des bases de données fines de trafic pour le durée d'un projet de recherche (3 à 5 ans).[1]

I.3.3.1. Besoins permanents

Tous les capteurs de trafic mesurent individuellement les grandeurs pour lesquelles ils sont conçus. Pour la plupart d'entre eux, la mesure n'est pas conservée par le système, elle est utilisée, analysée ou agrégée puis effacée et seul l'indicateur final est fourni à l'utilisateur.

Pour des besoins particuliers, les systèmes conservent et stockent les mesures individuelles de trafic horodatées. Dans ce cas, l'intégralité des données individuelles est fournie à l'utilisateur soit pour déterminer des indicateurs complexes a postériori, soit pour des raisons de traçabilité de la mesure. Ces systèmes de mesures sont basés sur différentes technologies (vidéo ou boucles électromagnétiques ou radar, etc)et sont installés de manière permanente en bord de chaussée.

On recense ainsi deux types de besoins permanents :

- les besoins relatifs à l'analyse microscopique du trafic ou à l' « identification » véhicule par véhicule tels que le Contrôle Automatisé Vitesse ou Franchissement, la détection de contre-sens, l'alerte individualisée déclenchant par exemple une « balise » ou un message sur PMV (dépassement de hauteur à l'approche d'un ouvrage ou inter distance en tunnel …)
- les besoins relatifs à un traitement statistique a posteriori.[1]

I.3.3.2. Besoins temporaires

a) Choix et évaluation de mesures de gestion de trafic ou d'aménagement

La méthode de sélection d'une mesure de gestion de trafic est constituée dans un premier temps d'un diagnostic général des problématiques du réseau étudié puis dans un second temps d'une étude trafic spécifique plus poussée permettant, à partir de critères d'éligibilité de déterminer la ou les mesures de régulation du trafic utilisables sur le réseau.

Après un premier choix de la mesure, une évaluation apriori des effets estimés après application de la mesure est à réaliser. On peut identifier deux types d'évaluation a priori : par simulation dynamique à l'aide de logiciels intégrant des modèles microscopiques de trafic ou par des modèles simplifiés, les deux méthodes nécessitant en entrée des données les plus complètes et les plus précises possibles mais tout particulièrement la simulation dynamique. Il est aussi possible d'avoir recours au mode de recueil individuel lorsque les périodes d'agrégation de données de trafic de la station observée ne permettent pas de calculer les indicateurs recherchés (notamment si la périodicité à la minute n'est pas utilisée pour l'exploitation du réseau).

Par ailleurs, les données nécessaires aux évaluations sont extrêmement liées à la mesure que l'on cherche à évaluer. Par défaut, on utilise les données disponibles « temps différé » ou « temps réel », collectés prioritairement par les stations permanentes, déployées sur la section ciblée pour l'évaluation.

Toutefois, il est à noter que ces données sont souvent insuffisantes notamment lorsqu'on cherche à évaluer une mesure de régulation sur des sections à fort trafic. Le recours aux recueils de données de trafic individuelles est souvent nécessaire afin de connaître avec précision :

• la vitesse moyenne par catégorie de véhicules (dans certains cas, on cherche à reconstituer un histogramme de distribution des vitesses par catégorie de véhicules) ;

• les temps inter-véhiculaires moyens (tous véhicules et/ou par catégories) ;

• les matrices Origine-Destination (nécessite également une identification des véhicules).

L'évaluation a posteriori de la mise en place de la mesure nécessitera également une exploitation spécifique afin de comparer les résultats obtenus aux résultats attendus suite à l'évaluation a priori. Des données plus spécifiques peuvent être récupérées, comme le taux d'infraction par exemple.

Par ailleurs, un recueil de données individuelles d'un autre type est nécessaire pour alimenter les logiciels de simulation dynamique afin d'optimiser le paramétrage de l'outil. Ainsi, une mesure de l'agressivité des conducteurs pour modéliser efficacement le comportement aux insertions ou un taux de respect des mesures mises en place serait à réaliser. Ce type de mesures, non mesurable directement, peut être par exemple réalisé à l'aide d'une étude sur les distances inter-véhiculaires.[1]

b) Enquêtes et analyse de comportement des usagers

Le recueil des données individuelles permet également, outre la mise en place de mesures spécifiques, de mesurer le comportement des usagers et son évolution. Les types d'enquêtes les plus connus sont les enquêtes Origine-Destination qui permettent d'alimenter les modèles macroscopiques évaluant les impacts d'aménagement sur le long terme. Il peut être également opportun d'effectuer une étude sur l'acceptabilité par l'usager lors de la mise en place d'un nouvel aménagement, mesure de gestion de trafic, un équipement ou autre.

Tous les projets ou études basés sur le concept « Naturalistic driving » ou conduite naturelle, qui s'intéressent à l'observation et à l'étude des comportements routiers en situation de conduite normale ou naturelle utilisent les technologies du type « véhicules traceurs ». Les véhicules appartenant à une flotte sont équipés de capteurs embarqués qui transmettent leurs données en temps réel ou en temps différé à un frontal d'acquisition. Les mesures issues de quelques véhicules traceurs donnent une image de l'ensemble des véhicules circulant sur le même itinéraire. Ces méthodes de mesures sont largement utilisées pour les applications de suivi de flotte ou par les assurances automobiles. En outre, ces données sont aussi utilisées pour étudier les émissions polluantes des véhicules, les impacts environnementaux, les temps de parcours, la sécurité de l'infrastructure routière. Les besoins temps de parcours en temps réel peuvent être couverts par des données issues de véhicules traceurs grâce à la téléphonie mobile (« Floating Mobile Data » (FMD)) ou aux réseaux embarqués à faible portée (Bluetooth).[1]

I.3.3.3. Recherche

Les données individuelles de trafic sont la matière première pour les équipes de chercheurs afin d'élaborer de nouveaux indicateurs, modèles statistiques ou encore afin de valider des approches théoriques. La recherche en transports est très diverse et chacune de ses branches génère des demandes de données différentes.

A noter que, la plupart du temps, les recueils de données individuelles pour les besoins de la recherche sont réalisés soit par les exploitants qui configurent spécialement des capteurs habituellement collectifs, soit dans le cadre de projets coordonnés et définis par les chercheurs eux-mêmes.

Pour améliorer la disponibilité des données individuelles pour les chercheurs, il n’est pas forcément nécessaire de reconfigurer complètement un réseau de capteurs, il peut être suffisant que les chercheurs aient des rapports de bonne intelligence avec des gestionnaires capables de

configurer leur recueil (à la fois en termes de compétences disponibles et en termes d'espace de stockage et de bande passante de transmission) pour répondre à des demandes spécifiques. De ce point de vue, il n'est probablement pas nécessaire de remplacer tous les capteurs, mais d'assurer une plus grande souplesse dans l'interrogation ainsi qu'une plus grande disponibilité des données.[1]

I.3.4. Des besoins spécifiques :

Le recueil de données trafic nécessite de répondre à de nombreux besoins, aussi bien en temps réel qu'en temps différé. Des besoins émergents sont néanmoins apparus ces dernières années, besoins auxquels ne répondent pas encore nécessairement les systèmes courants commercialisés aujourd'hui par les principaux fabricants de systèmes de recueil de données de trafic. Ces dispositifs spécifiques sont généralement développés de façon à répondre aux caractéristiques très particulières de ces systèmes.

Il s'agit principalement de la détection de véhicules particuliers. Les objectifs sont d'étudier, d'alerter, ou de renseigner la présence sur la chaussée de véhicules particuliers comme les deux roues motorisées (2RM), les véhicules de transports en commun (TC), les véhicules de transports de matières dangereuses (TMD), les vélos etc. Les applications sont multiples en matière de statistiques, de sûreté, de stratégie d'itinéraire ou de péage. Les besoins sont variés pour l'analyse du comportement des usagers (circulation et stationnement), la taxation des véhicules, la caractérisation du réseau (tunnels) ou bien encore pour la supervision des équipements.[1]

I.4. Réseau de capteurs sans fil (RCSF)ou WSN (Wireless Sensor Network)

I.4.1. Histoire des réseaux de capteurs

Dans les années 1990, dans le monde de la recherche, est apparue une idée qui paraissait plutôt un rêve pour cette époque : imaginer un système nerveux central pour la Terre, capable de surveiller en temps réel les événements, ayant comme principaux bénéfices de pouvoir empêcher les accidents et d'économiser l'énergie. (Cette poussière intelligente a mis longtemps à apparaître) dit le professeur Pister, de l'Université de Californie à Berkeley. (J'ai inventé l'expression il y a 14 ans. La poussière vraiment futée a mis le temps, mais elle est finalement arrivée). Aujourd'hui les réseaux de capteurs sont devenus des systèmes pouvant atteindre un

très grand nombre de nœuds, avec une zone de couverture déterminée et déployés d'une manière plus ou moins dense dans un environnement hétérogène dont on mesure ainsi son état global. Les derniers progrès en terme de miniaturisation, ainsi que le remplacement du câblage classique par des technologies de communication radio, ont généré de nouvelles catégories d'applications qui visent de nombreux domaines : l'aéronautique, l'automobile, le médical, l'environnement, etc. De plus, les progrès des communications sans fil permettent aujourd'hui de répondre des exigences peu envisageables auparavant [1].

I.4.2. Présentation des réseaux de capteurs sans fil

- **Définition d'un capteur**

Un capteur est un dispositif équipé de fonctionnalités de sensation avancées. Il mesure ou détecte un événement réel, comme le mouvement, la chaleur ou la lumière et convertit la valeur mesurée dans une représentation analogique ou numérique. Il prélève des informations et élabore à partir d'une grandeur physique (information d'entrée), une autre grandeur physique de nature électrique. Un capteur est composé de 4 unités (voir la ***Figure I.1***) :

- **l'unité d'acquisition :** composée d'un capteur qui obtient des mesures sur les paramètres environnementaux et d'un convertisseur Analogique/Numérique qui convertit l'information relevée et la transmet à l'unité de traitement.
- **l'unité de traitement :** composée d'un processeur et d'une mémoire intégrant un système d'exploitation spécifique (TinyOS, par exemple). Cette unité possède deux interfaces, une interface pour l'unité d'acquisition et une interface pour l'unité de communication. Elle acquiert les informations en provenance de l'unité d'acquisition et les envoie à l'unité de communication. Cette unité est chargée aussi d'exécuter les protocoles de communications qui permettent de faire collaborer le capteur avec d'autres capteurs. Elle peut aussi analyser les données captées.
- **l'unité de communication :** unité responsable de toutes les émissions et réceptions de données via un support de communication radio. Elle peut être de type optique (les capteurs Smart Dust), ou de type radiofréquence (MICA2, par exemple).
- **la batterie :** un capteur est muni d'une batterie pour alimenter tous ses composants. Cependant, à cause de sa taille réduite, la batterie dont il dispose est limitée et généralement irremplaçable. Pour cela, l'énergie est la ressource la plus précieuse puisqu'elle influe directement sur la durée de vie des capteurs.

Il existe des capteurs qui sont dotés d'autres composants additionnels comme le système de positionnement GPS (Global Positioning System) et un mobilisateur lui permettant le déplacement [2].

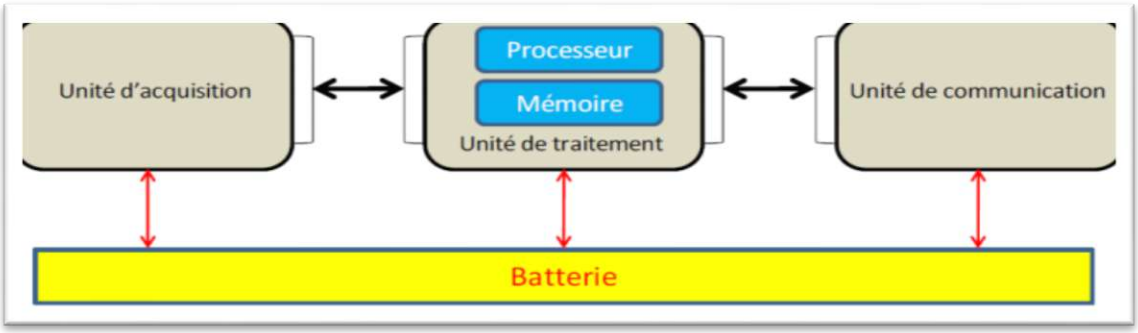
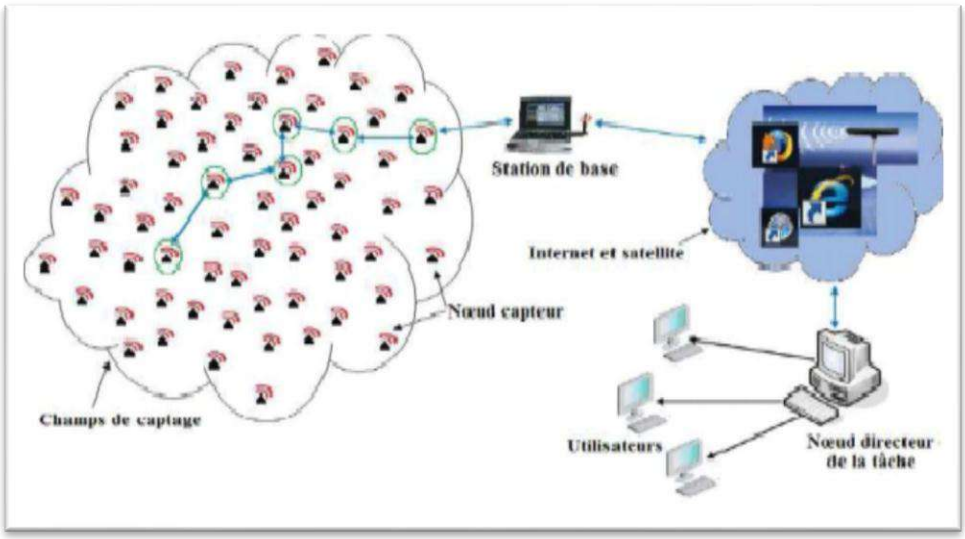


Figure I.1:Architecture physique d'un capteur

I.4.3. Définition d'un RCSF

Un réseau de capteurs sans fil est un type spécial de réseaux ad hoc avec un grand nombre de nœuds qui sont des micro-capteurs capables de recevoir et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome sans intervention humaine [2]. La position de ces nœuds n'est pas obligatoirement prédéterminée, ils peuvent être aléatoirement dispersés dans une zone géographique appelée « champ de captage » correspondant au terrain d'intérêt pour le phénomène capté (par exemple : lâchée de capteurs sur un volcan pour étudier les phénomènes vulcanologiques et leurs évolutions). Le réseau possède en général un nœud particulier, la base (ou *sink*), connectée avec les autres nœuds par un réseau filaire est reliée à une alimentation électrique.



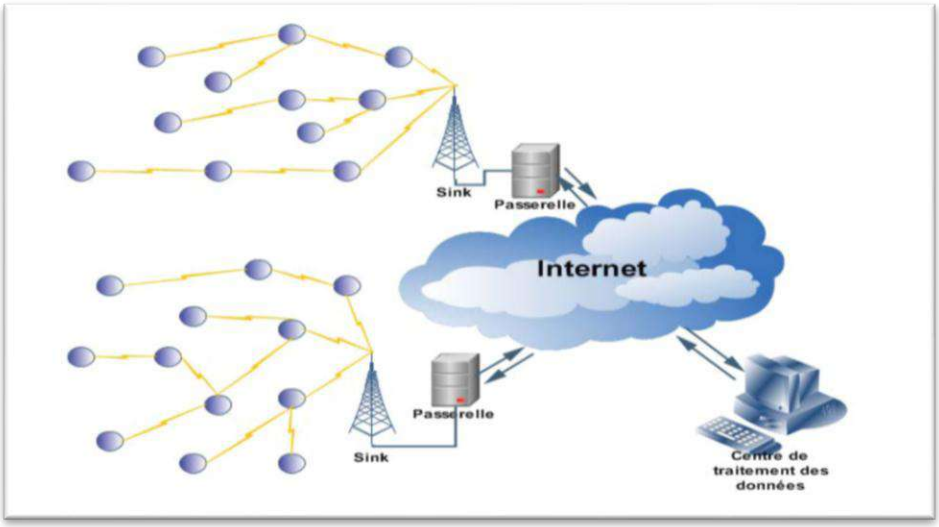
FigureI.2: Architecture de communication d'un RCSF

I.4.4. Architecture d'un réseau de capteurs sans fil:

Un réseau de capteurs est constitué essentiellement de plusieurs nœuds capteurs, un nœud *Sink* (station de base) et un centre de traitement des données [3]:

- *Nœuds* : ceux sont des capteurs, leur type, leur architecture et leur disposition géographique dépendent de l'exigence de l'application en question. Leur énergie est souvent limitée puisqu'ils sont alimentés par des piles.
- *Sink (Station de base) :* c'est un nœud particulier du réseau. Il est chargé de la collecte des données issues des différents nœuds du réseau. Il doit être toujours actif puisque l'arrivée des informations est aléatoire. C'est pourquoi son énergie doit être illimitée. Dans un réseau de capteur sans fils plus ou moins large et à charge un peu élevée, on peut trouver deux *Sink* ou plus pour alléger la charge.
- *Centre de traitement des données :* c'est le centre vers lequel les données collectées par la station de base sont envoyées. Ce centre a le rôle de regrouper les données issues des nœuds et les traiter de façon à en extraire l'information utile et exploitable.

Le centre de traitement peut être éloigné du *Sink*, alors les données doivent être transférées à travers un autre réseau, c'est pourquoi on introduit une passerelle entre le *Sink* et le réseau de transfert pour adapter le type de données au type du canal (comme c'est illustré dans la ***Figure I.3***.



FigureI.3: Architecture générale d'un réseau de capteurs sans fils [3].

I.4.5. Topologies des réseaux de capteurs sans fils

Les topologies des réseaux de capteurs sont déterminées à partir des protocoles de routage utilisés pour l'acheminement des données entre les nœuds et le Puit (*Sink*). Ces protocoles peuvent être Hiérarchique, Plate (Flat) ou Topologie basée sur la localisation.

I.4.5.1. Topologie Hiérarchique

Les protocoles à topologie hiérarchique forment des réseaux dans lesquels un nœud central *Sink* (le niveau supérieur de la hiérarchie) est relié à un ou plusieurs autres nœuds qui appartiennent à un niveau plus bas dans la hiérarchie (deuxième niveau) avec une liaison point à point. Aussi, chacun des nœuds du deuxième niveau aura également un ou plusieurs autres nœuds de niveau plus bas dans la hiérarchie (troisième niveau) reliés à lui avec une liaison point à point. Chaque ensemble de nœuds forme une sorte de motif (Cluster). Le nœud central n'a aucun autre nœud au-dessus de lui dans la hiérarchie sauf le centre de traitement des données ou la passerelle si elle existe. Les nœuds du deuxième niveau jouent le rôle des passerelles entre ceux du troisième niveau et le *Sink*. Dans ce cas, le routage devient plus simple, puisqu'il s'agit de passer par les passerelles pour atteindre le nœud destination. Un réseau basé sur une topologie hiérarchique doit avoir au moins trois niveaux dans sa hiérarchie, puisqu'un réseau avec un nœud central *Sink* et seulement un niveau hiérarchique au-dessous, forme une topologie en étoile [4]. Si les nœuds dans un réseau basé sur la topologie hiérarchique doivent effectuer un tel traitement sur les données transmises entre les nœuds dans le réseau, alors les nœuds qui sont à des niveaux plus élevés dans la hiérarchie doivent effectuer plus de traitement que les nœuds de niveau inférieur. La *Figure I.4* montre que, les informations sont transmises d'un nœud capteur vers le nœud *Sink* (station de base) en passant par le *Cluster-head (chef de groupe)* déjà élu.

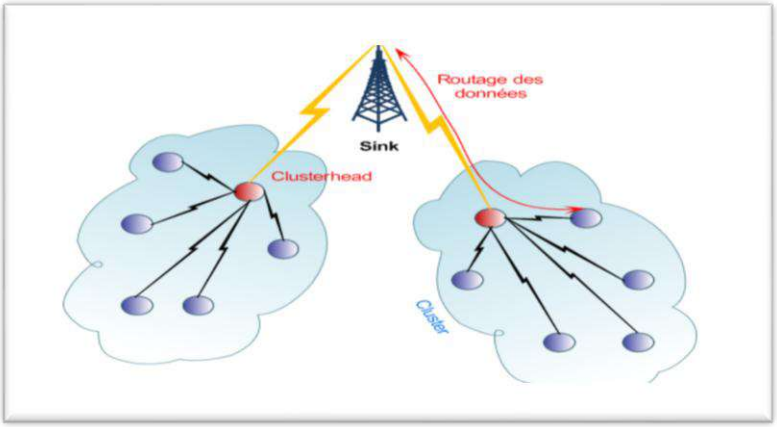


Figure I.4:Topologie Hiérarchique [3].

I.4.5.2. Topologie plate (Flat) :

Les protocoles à topologie plate (*flat*) considèrent que tous les nœuds sont égaux, ont les mêmes fonctions, et peuvent communiquer entre eux sans devoir passer par un nœud particulier ou une passerelle. Seul un nœud particulier, le *Sink*est chargé de la collecte des données issues des différents nœuds capteurs afin de les transmettre vers les centres de traitement.

En cas où la destination ne fait pas partie du voisinage de la source, les données seront transmises en utilisant les sauts multiples à travers les nœuds intermédiaires comme c'est illustré dans la *Figure I-5*. Ce type de réseau représente l'avantage de l'existence de différents chemins d'une source vers une destination et c'est pour remédier au problème de changement brusque de topologie ou la défaillance d'un nœud intermédiaire [4].

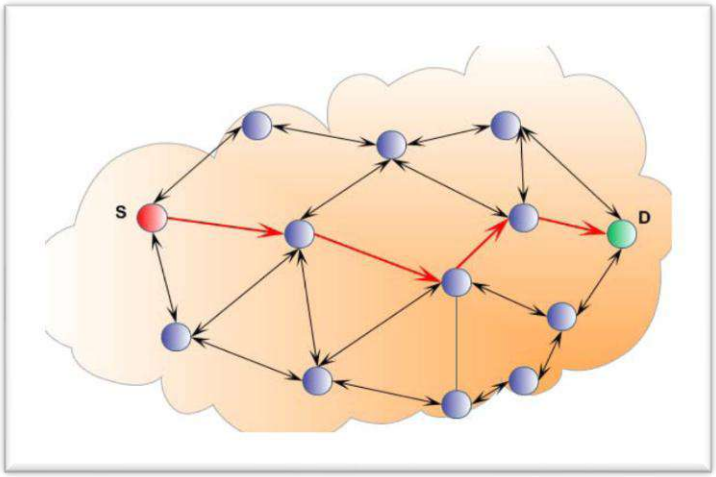


Figure I.5: Topologie plate (Flat) [3].

I.4.5.3. Topologie basée sur la Localisation :

Dans cette topologie le réseau est supposé comme suit :

- Le réseau est partitionné en plusieurs zones de localisation.
- Chaque zone à son identifiant.
- Chaque nœud a un identifiant EUI (End-system Unique Identifier) et enregistre dynamiquement l'identifiant de la zone à laquelle il appartient temporairement.

L'information temporaire de localisation appelée LDA, [5] (*Location Dépendent Address*) qui est un triplé de coordonnées géographiques (longitude, latitude, altitude) obtenues, par exemple, au moyen d'un GPS avec une précision dépendant du type de l'application. Une telle topologie exige l'implémentation d'un algorithme de gestion de localisation qui permet aux

nœuds de déterminer les endroits approximatifs des autres nœuds. Ce type de topologie est mieux adapté aux réseaux avec une forte mobilité.

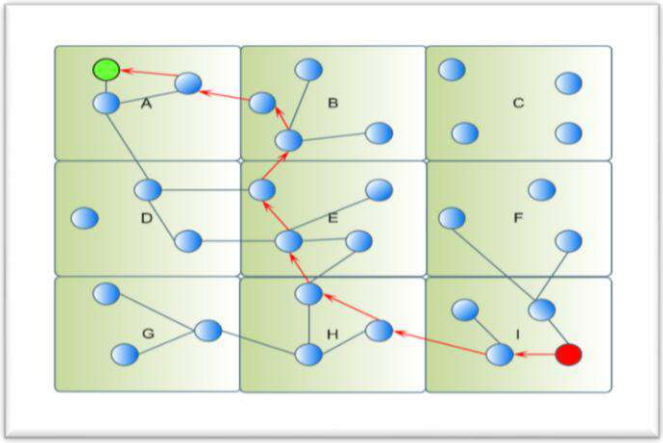


Figure I.6:Topologie Basée sur la Localisation [3].

I.4.6. Caractéristiques des RCSFs [4] [6]

Les principaux caractéristiques des réseaux de capteurs se résument dans ce qui suit :

I.4.6.1. Densité importante des nœuds

Les réseaux de capteurs se composent généralement d'un nombre très important des nœuds pour garantir une couverture totale de la zone surveillée. Ceci engendre un niveau de surveillance élevé et assure une transmission plus fiable des données sur l'état du champ de capteur.

I.4.6.2. Topologie dynamique

La topologie des réseaux de capteurs instable est le résultat des trois facteurs essentiels suivants [7]:

- ***La mobilité des nœuds :*** les nœuds capteurs peuvent être attachés à des objets mobiles qui se déplacent librement et arbitrairement, introduisant ainsi une topologie instable du réseau.
- ***La défaillance des nœuds:*** du fait de l'autonomie énergétique limitée des nœuds, la topologie du réseau n'est pas fixée (les nœuds « morts » sont, d'un point de vue logique, simplement supprimés).

- ***L'ajout de nouveaux nœuds:*** de nouveaux nœuds peuvent facilement être rajoutés. Il suffit de placer un nouveau capteur qui soit dans la portée de communication d'au moins un autre nœud capteur du réseau déjà existant.

I.4.6.3. Auto organisation :

Dans un très grand RCSF, il n'est pas possible ni d'organiser la structure selon une approche centralisée (trop coûteuse en énergie), ni de préserver une structure de communication « à plat » (topologie adaptée aux petits réseaux dans laquelle tous les nœuds ont le même rôle et les mêmes caractéristiques), car plusieurs problématiques sont encore plus critiques avec le passage à l'échelle et la contrainte d'énergie. C'est pour cette raison, que dans les réseaux de capteurs, une stratégie d'auto-organisation doit être définie [7].

I.4.6.4. Scalabilité (passage à l'échelle) :

Les réseaux de capteurs peuvent contenir des centaines voire des milliers de nœuds capteurs. Un nombre aussi important engendre beaucoup de transmissions inter nodales et nécessite que le nœud station de base soit équipé d'une mémoire importante pour stocker les formations reçues.

I.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, de nombreux besoins ont été évoqués, concernant de nombreux facteurs, qu'il est évidemment difficile de tous satisfaire. Les besoins dits « traditionnels » sont globalement satisfaits quand les besoins spécifiques et nouveaux nécessitent encore des améliorations techniques aussi bien sur les performances que sur les fonctionnalités.

Nous avons décrit ensuite les RCSF qui sont apparentés aux réseaux Ad Hoc. Nous avons vu que les RCSF ont de nombreuses applications prometteuses dans pratiquement tous les domaines de la science et l'ingénierie. Ces réseaux présentent un intérêt considérable et une nouvelle étape dans l'évolution des technologies de l'information et de la communication .Nous avons vu qu'ils sont généralement décomposés en deux modes : réseaux avec infrastructure ou centralisés (cellulaires) et réseaux sans infrastructure ou décentralisés (Ad Hoc).

Le routage de données dans un RCSF représente un point très important que nous introduirons dans le chapitre suivant.

II.1. Introduction

Les réseaux de capteurs sans fil sont généralement déployés aléatoirement et en grand nombre dans une zone d'intérêt pour la surveillance d'un événement ou l'acquisition périodique des données environnementales. Ces capteurs s'auto-organisent et collaborent ensemble pour former un réseau de capteurs capables d'envoyer les données collectées à la station de base. Cependant, le déploiement des réseaux de capteurs exige des solutions pour un certain nombre de défis. Ces solutions dépendent des contraintes imposées par les capteurs : petite capacité de stockage, basse capacité de traitement, durée de vie limitée de la batterie et portée radio réduite, ainsi que leur topologie dynamique à cause de la mobilité des capteurs qui peuvent être placés sur des patients, des animaux, ou des véhicules. Ainsi, le traitement de ces défis exige une technique efficace permettant l'économie de l'énergie. L'architecture basée sur la clusterisation est considérée comme une approche prometteuse d'auto-organisation des réseaux de capteurs sans fil même avec un nombre de nœuds très important[8],[9] , le système (le réseau) doit continuer à fonctionner efficacement.

Dans ce chapitre, nous présentons tout d'abord quelques notions et définitions qui sont nécessaires à la présentation de l'auto-organisation des réseaux de capteurs et la consommation d'énergie dans les RCSFs, on termine par une description sur les protocoles d'auto-organisation LEACH et le LEACH Multi-sauts.

II.2. Consommation d'énergie dans les RCSFs

L'énergie consommée par un nœud capteur est due essentiellement aux opérations suivantes : la capture, le traitement et la communication de données [9][10].

II.2.1. Energie de capture

L'énergie de capture est dissipée pour accomplir les tâches suivantes : échantillonnage, traitement de signal, conversion analogique/numérique et activation de la sonde du capture. En général, l'énergie de capture représente un faible pourcentage de l'énergie totale consommé par un nœud.

II.2.2. Energie de traitement

L'énergie de traitement se divise en deux parties : 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.

II.2.3. Energie de communication

L'énergie de communication se décline en deux parties : l'énergie de réception et l'énergie de l'émission. 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. L'énergie de communication représente la portion la plus grande de l'énergie consommée par un nœud capteur.

II.3. Techniques de minimisation de la consommation d'énergie

Après la description des principales causes de consommation d'énergie dans les RCSFs, nous présentons dans ce qui suit les différentes techniques utilisées pour minimiser cette consommation. Ces techniques sont appliquées soit au niveau de la couche liaison (sous couche MAC) ou au niveau de la couche réseau. Le schéma suivant (***Figure II.1***) donne un aperçu global de ces mécanismes.

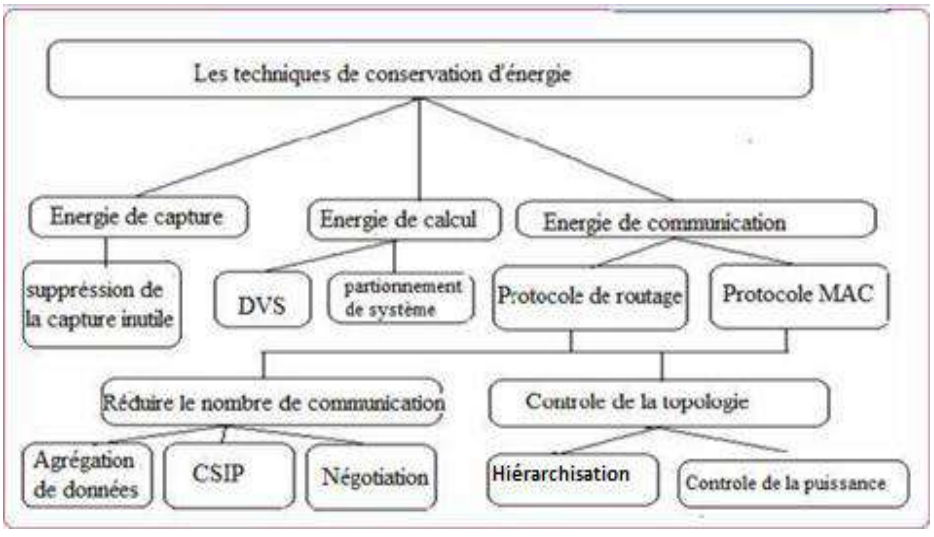


Figure II.1:Les techniques de conservation d'énergie.

L'énergie de capteur peut être économisée soit au niveau de capture, niveau de traitement ou au niveau de communication.

1. La seule solution apportée pour la minimisation de la consommation d'énergie au niveau de la capture consiste à réduire les durées de captures[10].
2. L'énergie de calcul peut être optimisée en utilisant deux techniques :
   - L'approche DVS (*Dynamique Voltage Scaling*) [9], consiste à ajuster de manière adaptative la tension d'alimentation et la fréquence de microprocesseur pour économiser la puissance de calcul sans dégradation des performances.
   - L'approche de partitionnement de système, consiste à transférer un calcul prohibitif en temps de calcul vers une station de base qui n'a pas de contraintes énergétiques et qui possède une grande capacité de calcul. [10]
   - La minimisation de la consommation d'énergie pendant la communication est étroitement liée aux protocoles développés pour la couche réseau et la sous couche MAC. Ces protocoles se basent sur plusieurs techniques : agrégation de données, négociation et CSIP (*Collaborative Signal and Information Processing*). Cette dernière technique est une discipline qui combine entre plusieurs domaines [9] : la communication et le calcul à basse puissance, traitement de signal, algorithmes distribués et tolérance aux fautes, systèmes adaptatifs et théorie de fusion des capteurs et des décisions. Ces techniques ont le but réduire le nombre d'émission/ réception des messages.[10]

Par contre, le contrôle de la topologie permet l'ajustement de la puissance de transmission et le regroupement des nœuds capteurs (hiérarchisation).

- Le contrôle de la puissance de transmission n'a pas seulement un effet sur la durée de vie de la batterie d'un nœud capteur, mais aussi sur la capacité de charge du trafic qui est caractérisée par le nombre de paquets transmis avec succès vers une destination. En outre, il influe sur la connectivité et la gestion de la densité (le nombre de nœuds voisins). Ainsi, il peut conserver l'énergie à deux niveaux : explicitement par l'application de puissances faibles d'émissions et implicitement en réduisant la

contention avec d'autres nœuds transmetteurs. Le module de contrôle de la puissance est souvent intégré dans des protocoles de la couche réseau ou MAC.

- La hiérarchisation consiste à organiser le réseau en structure à plusieurs niveaux. C'est le cas, par exemple, des algorithmes de groupement (clustering), qui organisent le réseau en groupes (clusters) avec des leaders de groupe (cluster-heads) et des nœuds membres.
- Une autre solution proposée dans, profite de la densité élevée des capteurs déployés pour se permettre d'endormir certains d'entre eux, afin que tous les capteurs ne soient pas actifs en même temps [9].

II.4. Classification des solutions de routage de données

Le routage sur les WSNs est un domaine très exploré par les chercheurs vu les caractéristiques spécifiques de ce nouveau type de réseaux; l'énergie et la puissance de calcul limitées des capteurs exigent une nouvelle génération de protocoles différente de celle des réseaux filaires et des réseaux ad hoc sans fil. Cette différence s'explique par le fait que:

1. l'impossibilité d'avoir un adressage global avec des tables de routage comme les réseaux basés sur l'IP, vu le nombre important et la densité de déploiement des capteurs.
2. la communication est plus importante dans un seul sens: plusieurs capteurs envoient leurs données vers le puits (Sink).
3. les données transmises sont souvent très corrélées ce qui nécessite une exploitation spécifique pour optimiser la consommation de l'énergie et la bande passante.
4. les capteurs sont limités en matière d'énergie, puissance de calcul et capacité de stockage; ce qui requière une gestion efficace des ressources.

Pour répondre à ses exigences, beaucoup de solutions de routage ont été proposées; néanmoins, elles peuvent être regroupées selon plusieurs classifications, selon plusieurs critères à savoir, la topologie du réseau, les opérations supportées et la destination des paquets transmis. La topologie (structure) du réseau adopté, subdivise les solutions du routage en trois(03) catégories principales: protocoles à topologie plate, protocoles hiérarchiques, protocoles géographique (location-based).

En plus, si les opérations supportées sont prisent en charge, les solutions peuvent être classées en: basée multi-chemins (multipath-based), basée requêtes (query-based), basée négociation (negociation-based), basée sur les qualités du service (Qos-based) et basée sur la

cohérence du traitement des données (coherent-based): Un traitement non-coherent de données signifie que chaque noeud agrège ses données avant la transmission, par contre, un traitement cohérent signifie que les données sont transmises vers des nœuds spécifique dits « aggregator » pour les opérations d'agrégation.

Le dernier critère de classification, qui est la destination des paquets transmis, distingue les solutions proposées en : communication « unicast », ou la destination du message est un et un seul nœud, communication « multicast », ou les destinataires du message sont un sous ensemble définie du réseau et la communication en « broadcast » ou le message est destiné à l'ensemble du réseau**.**

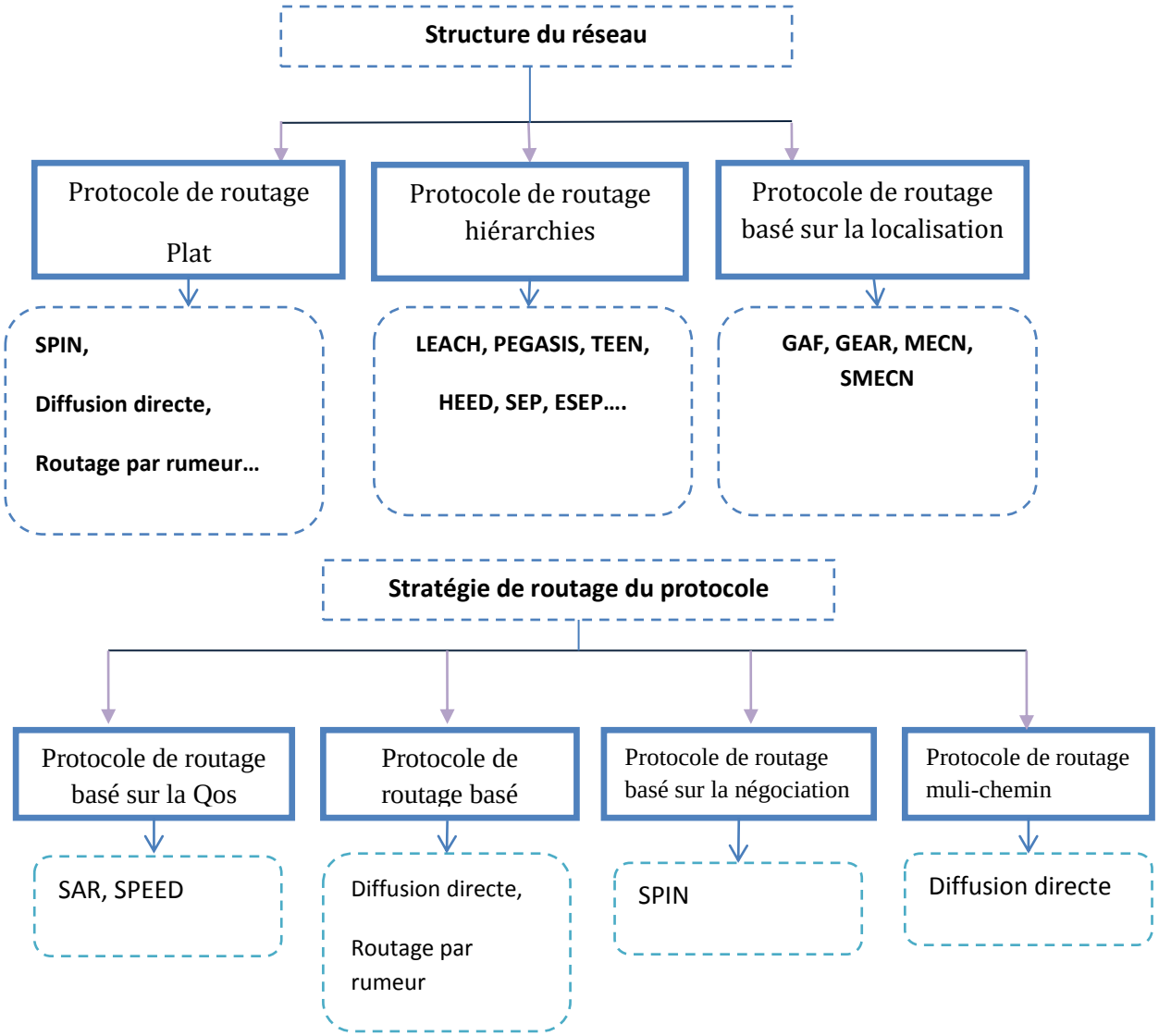


Figure II.2: Classification des protocoles de routage pour les RCSFs [14].

II.5. Techniques de clusterisation

La clusterisation consiste à diviser le réseau en un ensemble de groupe de nœuds géographiquement proches [3][4]. Elle présente alors une solution intéressante pour simplifier et optimiser les fonctions et les services du réseau. En particulier, elle permet au protocole de routage de fonctionner plus efficacement en réduisant le trafic de contrôle dans le réseau et en simplifiant le processus d'aiguillage des données.

Plusieurs algorithmes de clusterisation ont été proposés et évalués. Ces algorithmes ont des caractéristiques différentes et sont conçus pour satisfaire certains objectifs selon le contexte dans lequel la clusterisation est déployée (auto-organisation, routage, sécurité, conservation de l'énergie, etc.).

II.6. Avantage d'organiser un réseau en groupes

Le concept de groupe nous permet de définir un groupe d'entités comme une seule entité virtuelle, et cela permet d'attribuer le même nom à chaque membre d'un groupe particulier, et de communiquer avec eux en utilisant la même adresse.

Dans un système distribué en général, la communication entre les nœuds, le transfert d'objets ou de processus, la prise de décisions sont des problèmes qui ne peuvent pas être résolus pour tous les nœuds. Pour remédier à ces problèmes, on a recourt à la formation de sous-ensembles d'entités appelés groupes, (clusters) [7]. Ces groupes sont composés de membres. Dans chaque groupe, un des membres joue un rôle particulier, et est appelé « cluster head » ou « chef de groupe ». Il est responsable de la communication entre les différents membres ou niveaux en recevant l'information et en la renvoyant aux autres membres, et en supervisant l'organisation interne du groupe.

Dans un cluster, on retrouve généralement trois types de nœuds comme le montre la ***Figure II.3*** : « cluster-head », nœuds « passerelles » et nœuds « ordinaires » dite aussi membre. Dans chaque cluster, un nœud est élu comme chef de groupe, appelé cluster-head, qui possède des fonctions supplémentaires (routage, accès au médium, etc.). Une passerelle est un nœud non-cluster-head qui possède des liens inter-clusters et peut donc accéder à des clusters voisins et acheminer les données entre eux, tandis qu'un nœud ordinaire est un nœud non-cluster-head qui ne possède pas des liens avec les autres clusters

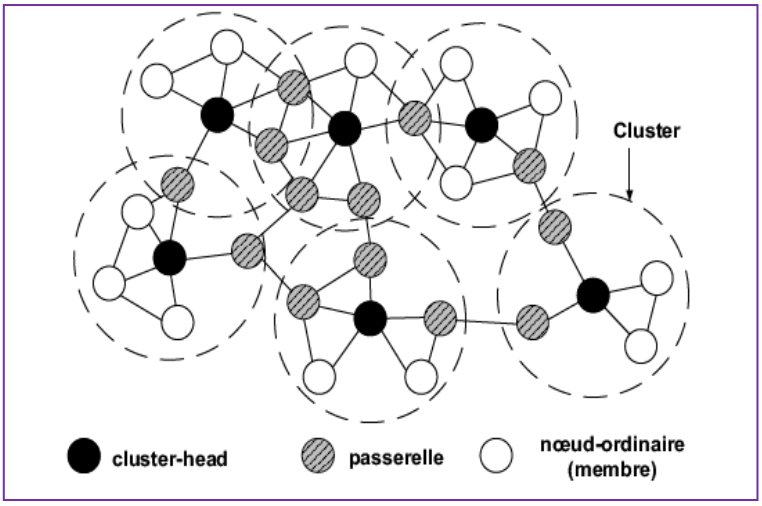


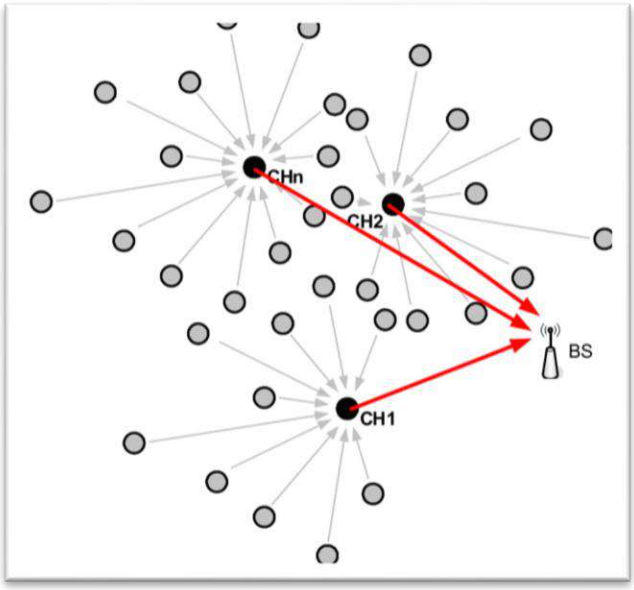
Figure II.3:Exemple d'une structure des clusters [12]

II.7. Modes de communication

II.7.1. Mode de communication mono-saut

Lorsque les nœuds communiquent directement avec le BS sans relayer leurs paquets, il est considéré comme un seul saut. La conception du technique mono-saut peut varier dans différentes topologies des réseaux. Dans le cas d'une conception d'un protocole hiérarchique dont chaque membre envoie ses données à son chef et les chefs effectuent l'agrégation des données avant de transmettre les données raffinées à la BS. Un exemple de ce protocole est le protocole LEACH. D'autre part, une conception du protocole peut complètement adopter une architecture en couches, où chaque nœud est tenu d'envoyer ses données directement à la BS. L'un des protocoles qui utilisent cette approche est le protocole de transmission directe. Dans cette approche, chaque nœud transmet directement à la station de base. Si le BS est loin des nœuds, transmission directe, il faudra grande énergie de transmission, puisque la distance sera suffisamment grande. Cette méthode n'est pas très efficace, car l'énergie des nœuds est consommée rapidement et la durée de vie globale du système est réduite. Cependant, si la BS se trouve dans la région de détection, c'est à dire à l'emplacement central, la performance peut être optimale car la BS est le seul point de réception de données et l'énergie d'agrégation de données est minimisée sur l'énergie totale du réseau [16].

La ***Figure II.4*** illustre le mode de communication mono-saut pour un RCSFs organisée clusters.



FigureII.4:Réseau hiérarchique mono-saut

II.7.2. Mode de communication multi-sauts

Plusieurs auteurs ont proposé d'utiliser le routage multi-sauts pour relayer les données à la BS. Un des premiers travaux est la transmission énergétique minimale(MTE) [16]. Les auteurs ont estimé qu'un paquet avec une distance de transmission de plus de $2*\rho^{-½}$(ρ est la densité dans la zone intermédiaire), doit être acheminé par le biais d'un nœud intermédiaire.

Le but de cette technique est d'utiliser la route avec une consommation d'énergie minimale. Mais comme les auteurs soulignent, la minimisation de l'énergie en multi-sauts est seulement l'un des critères. Comme indiqué dans, d'autres critères pour un réseau multi-sauts peuvent comprendre la puissance disponible maximale, le minimum de sauts.

Le but de ces conceptions de protocoles modifiés exploite l'approche de l'énergie minimale basée sur l'estimation de la distance. Cette méthode est similaire à l'idée utilisée dans le protocole LEACH, dans le sens que l'énergie est estimée en fonction de la distance, si ce n'est que cette méthode exploite en outre les ressources énergétiques autour de la station de base en transmettant des paquets vers des nœuds de plus près à la BS. Similaire au mode mono-saut, le multi-sautpeut être classé comme un technique inter-cluster et/ou à intra-cluster. On trouve dans la littérature, une proposition d'une communication multi-sauts inter-cluster comme une amélioration du protocole LEACH (***Figure II.5)***. Le déploiement d'un mode multi-sauts peut être

souhaitable si seulement le réseau est assez grand pour compenser l'énergie de l'agrégation des chefs de groupes.

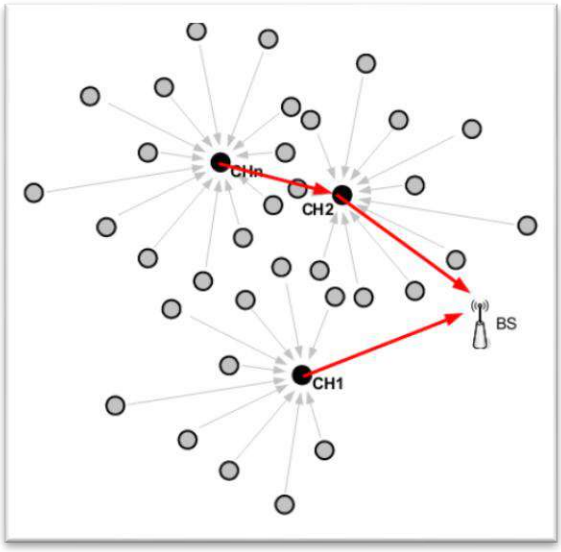


Figure II.5:Réseau hiérarchique multi-saut

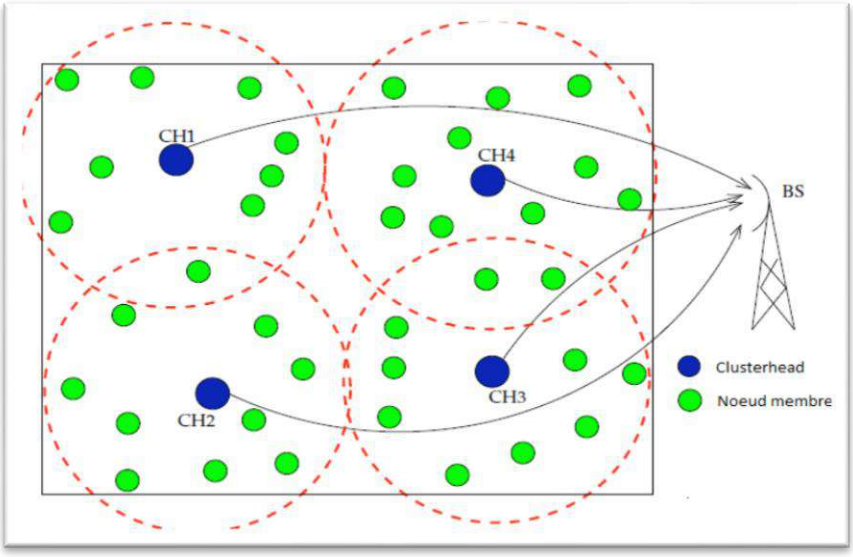
II.8. Protocole d'auto-organisation LEACH

LEACH **(**Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy),[12][13]est le premier et le plus populaire des algorithmes d'auto-organisation hérarchique avec une efficacité énergétique, qui a été proposé pour les réseaux de capteurs sans fil[8], basé sur le clustering adaptatif ou dynamique, qui utilise la rotation randomisée des chefs des clusters (clusters-head) pour distribuer équitablement la charge d'énergie entre les nœuds capteurs. Dans le réseau utilisant le protocole LEACH, les clusters sont formés par l'utilisation d'un algorithme hiérarchique (à deux niveaux) distribué (***Figure II.6***), où les nœuds sont autonomes c.-à-d. qu'ils prennent leurs décisions sans contrôle centralisé. Tous les traitements de données telles que la fusion et l'agrégation se déroulent localement au cluster.

Comme avantages de LEACH, nous citons une réduction d'un facteur 7 de la dissipation d'énergie comparativement avec la communication directe [14][15].LEACH est fondé sur deux hypothèses de base: la station de base est statique et est placée à la portée de tous les nœuds du réseau, et tous les nœuds du réseau sont limités en énergie.

Les caractéristiques principales de l'algorithme LEACH se résument en :

- ✓ Tous les nœuds sont considérés statiques, et régis par la contrainte de consommation d'énergie.
- ✓ Formation dynamique des clusters.
- ✓ La rotation aléatoire des chefs de groupes.
- ✓ L'agrégation (fusion) des données pour réduire le taux de communications avec la station de base.

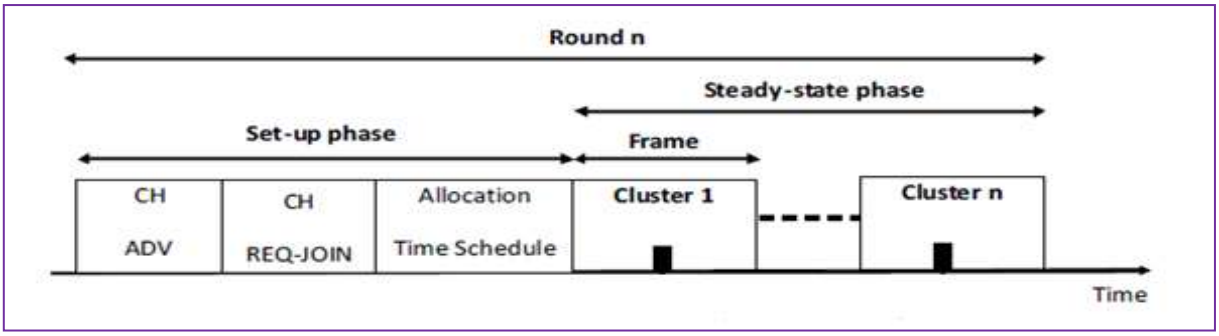


FigureII.6: Le Protocole d'auto-organisation LEACH [13][16].

II.8.1. Principe général de fonctionnement du protocole LEACH

LEACH emploie la technique de clustering qui divise le réseau en deux niveaux: les Cluster-Heads (CHs) et les nœuds membres. La vie du réseau est alors segmentée en cycles (rondes ou tours) caractérisées par un choix de cluster-heads de clusters, pour chacun de ces cycles, les cluster-heads sont sélectionnés aléatoirement parmi les capteurs qui n'ont pas été auparavant élu cluster-heads.

Donc, le protocole se déroule en cycles. Chaque cycle se compose de deux phases: la phase de construction (*Set up phase*) et la phase de communication (*Steady-state phase*) [17].



FigureII.7:Le déroulement du protocole LEACH en cycles [18].

II.8.2.La Phase de construction (Set up phase)

Election des Cluster-heads

Cette phase commence par la construction des clusters en choisissant les chefs(CHs) et en établissant la politique d'accès au media au sein de chaque groupe. Durant cette phase, chaque nœud **n** choisit un nombre aléatoire compris entre 0 et 1. Si ce nombre est inférieur à un seuil T(n), le nœud **n** devient Cluster-heads. T(n) est défini comme suit[3][4][19] :

$$T(n) = \begin{cases} p/[1 - p\left(r \bmod \left(\frac{1}{p}\right)\right] & Si\ n \in G \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$$

Tel que :

- ***p*** : le pourcentage des CHs sur le réseau (donné par la courbe de la ***Figure II.8***)
- ***r :***est le numéro du cycle courant.
- ***G :*** l'ensemble des nœuds n'ayant pas été sélectionnés cluster-head durant les (*1/p)* derniers cycles.

La ***Figure II.8***représente le pourcentage ou la probabilité d'être un cluster-head en fonction de nombre de nœuds d'un réseau de capteurs déployés sur une surface carrée de 100*100(m^2).

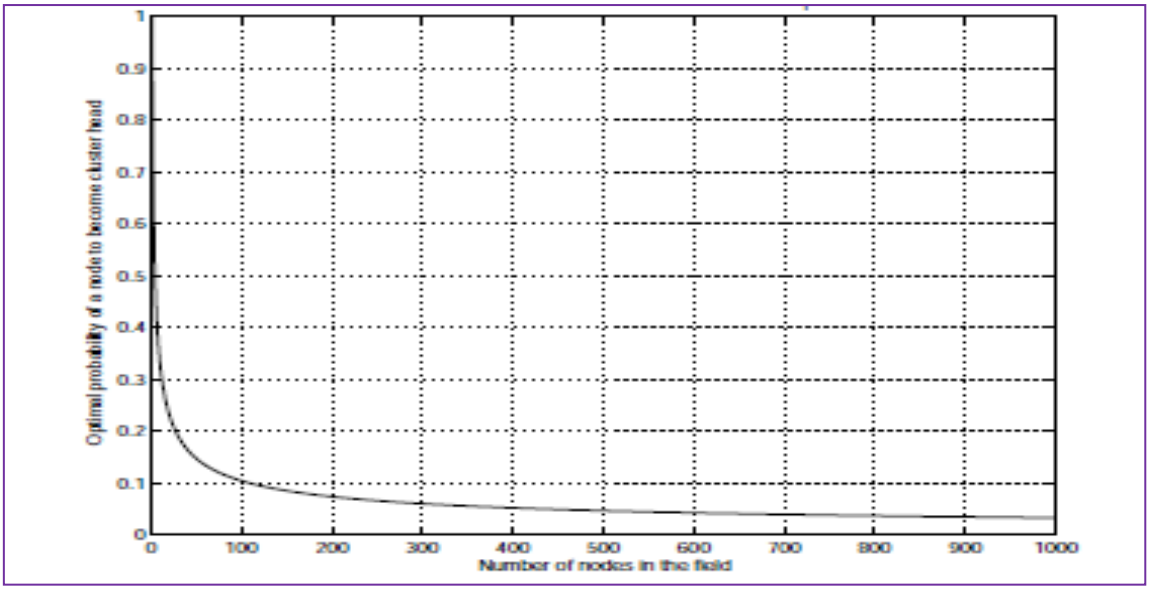


Figure II.8: Probabilité Optimale [12][14].

Annoncées des Cluster-heads

Par la suite, chaque nœud qui s'est élu cluster-head émet un message de notification (ADV Advertisment message) à tous ces voisins. Ce dernier est un petit message qui contient l'identifiant(ID) du nœud et un en-tête qui distingue ce message comme une annonce que ce message doit être diffusé pour atteindre tous les nœuds dans le réseau.

Formation des clusters

Les nœuds qui récoltent les messages de notification, décident leur appartenance à un cluster. La décision est basée sur l'amplitude du signal reçu, le cluster-head ayant le signal le plus fort est choisi (i.e. le plus proche).En cas d'égalité, un chef aléatoire est choisi. Chaque membre informe son chef de sa décision tout en lui envoyant une demande d'appartenance (JOIN-REQ). Ce message consisté de l'identifiant ID du nœud et l'identifiant ID cluster-head et l'entête (header).

Création de la table TDMA

La création d'un modèle de communication intra-cluster sans collision est la dernière étape liée à la phase de clustering. Dans le bit d'éviter la collision entre les nœuds de même cluster, l'algorithme d'auto-organisation LEACH utilise la méthode de multiplexage temporel (**TDMA** : Time Division Multiplexed Access) comme méthode d'accès au médium[20]. Chaque nœud utilise la totalité de la bande passante allouée par le système de transmission durant son

slots de temps. En fait, chaque CH agit comme un centre de commande local pour coordonner les transmissions de données dans son cluster. Il crée un modèle de communication en se basant sur TDMA, ensuite il transmet ce modèle aux nœuds de son cluster. Etant donné que chaque nœud connait d'avance le slot de temps qu'il va occuper, il est alors permis de passer à l'état *endormi* durant les slots inactifs. Ainsi, la perte d'énergie due aux états de sur-écoute (overhearing) et d'écoute- passive (idle) est évitée.

Le fonctionnement du protocole est basé sur des cycles ou Ronds (*Round*) : chaque cycle est constitué de deux phases : la phase *Setup* et la phase *Steady-state*. Pendant la phase *Setup* les nœuds exécutent l'algorithme d'élection de Cluster-heads et les clusters sont formés. La phase *Steady-state* est la phase du fonctionnement ordinaire du réseau, elle est subdivisée en trames (frame). La trame, à son tour, est subdivisée en *TimeSlots*. La longueur de la trame est variable d'un cluster à l'autre selon le nombre des nœuds du cluster.

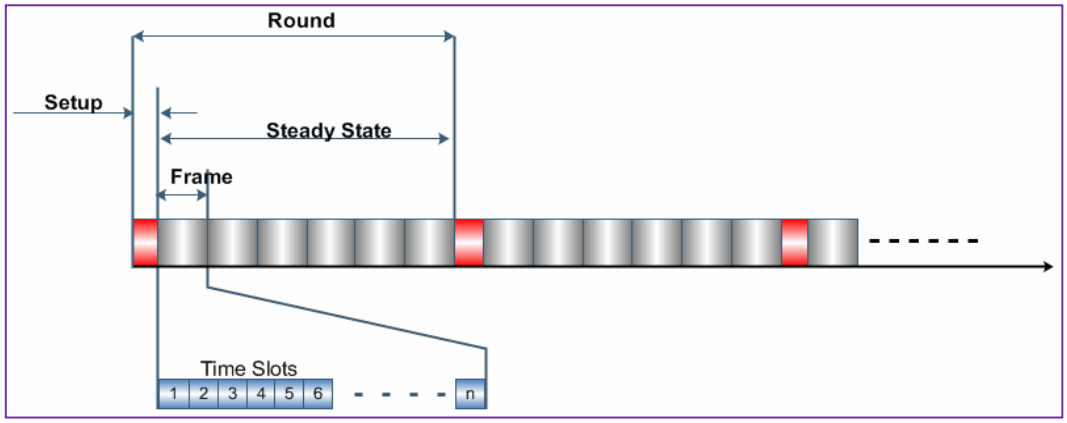
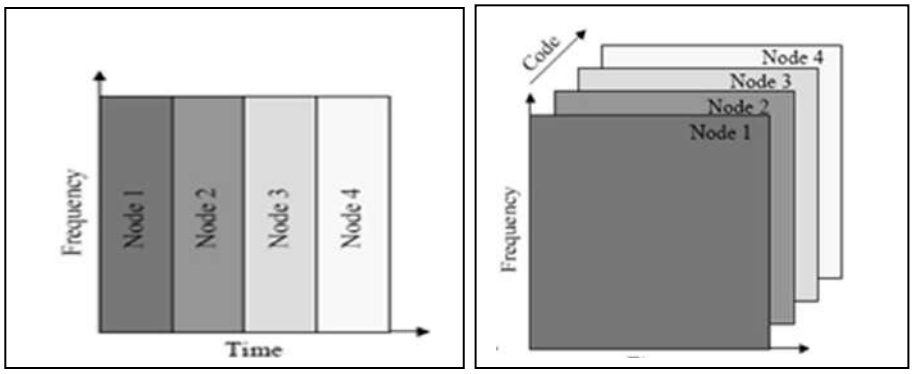


Figure II.9 : Répartition du temps et différentes phases dans le cycle de LEACH

La ***Figure II.9*** illustre la répartition du temps effectuée par LEACH : le Round "*cycle*", les phases *Setup* et *Steady-State*, la répartition en trames et en *TimeSlots*.

Encore Chaque CH choisit aléatoirement un code dans une liste de codes de propagation **CDMA** (Code Division Multiple Access), il transmet aux nœuds appartenant à son cluster afin de l'utiliser pour leurs transmissions, Ceci afin de minimiser les interférences entre les messages des CHs les plus proches.



TDMA **CDMA**

FigureII.10:Méthodes d'accès au médium

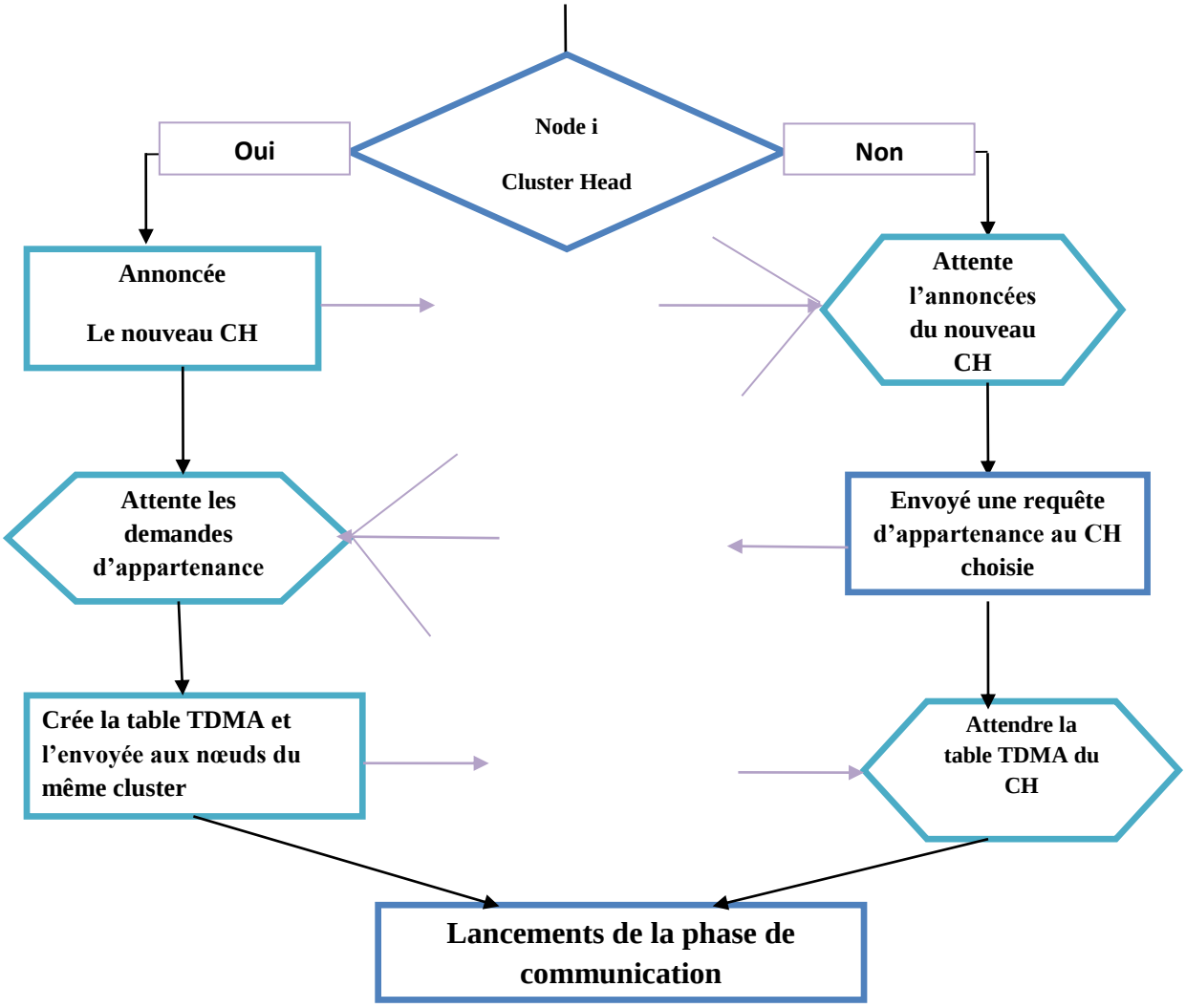


Figure II.11:Opérations de la Phase de construction (Set up) de LEACH [17]

II.8.3.La phase de communication

Pendant cette phase, les nœuds capteurs peuvent commencer à envoyer leurs données captées au cluster-head pendant leurs propres slots. Cela leur permet d'éteindre leur interface de communication en dehors de leurs slots réservés, afin d'économiser leur énergie. Le cluster-head agrège les données reçues avant de les transmettre au collecteur (Station de base).Cette communication, entre un cluster-head et le collecteur, se fait d'une manière directe, et toutes les communications membre-chef se font avec le code CDMA. Après une certaine période de temps, un nouveau round est initié, et de nouveaux clusters sont établis.

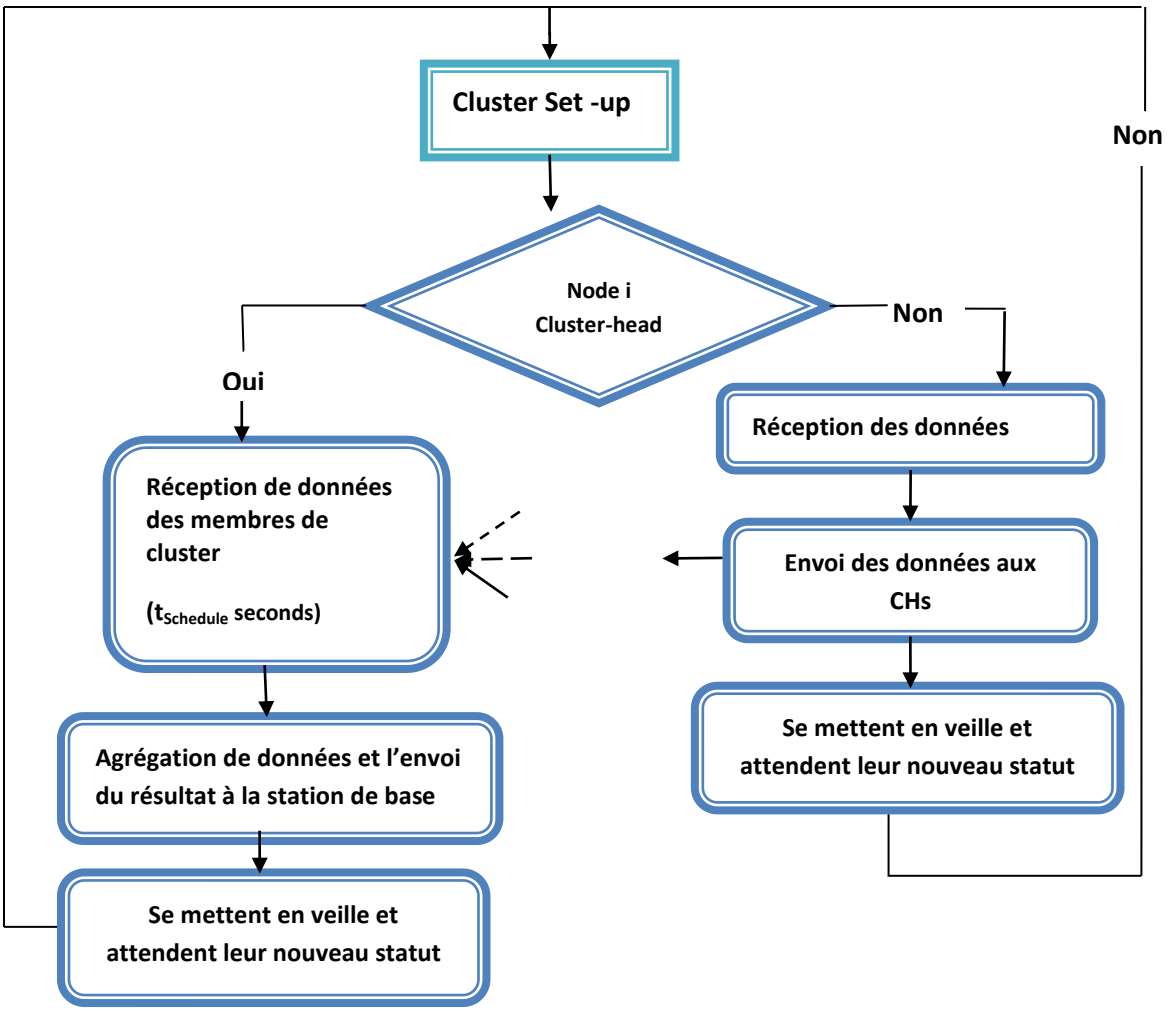


Figure II.12:Opérations de la phase de communication (Steady-state) de LEACH [17]

II.9. Modélisation du réseau utilisé

Le modèle du réseau est un réseau de capteurs sans fil de **n** nœuds déployés aléatoirement sur une zone carrée de longueur **L** (surface de déploiement : **L*L**). Ce réseau est soit :

a) **Homogène :** constitué par un seul type de nœuds (nœuds normaux).

b) **Hétérogène:** constitué par deux types de nœuds ayant des caractéristiques techniques semblables [14].

- Le 1er type : constitué par m*n nœuds appelés nœuds avancés (Advanced ondes).
- Le 2eme type : constitué par (1-m)*n nœuds appelés nœuds normaux.

Avec : n : Le nombre total des nœuds du réseau ;

m : La fraction (Pourcentage) des nœuds avancés

L'énergie initiale d'un nœud normal est égale à E_0 et l'énergie initiale d'un nœud avancé est égale à E_0 (1+a), avec a le facteur supplémentaire d'énergie entre un nœud normal et nœud avancé. Le réseau et non uniforme, dont les nœuds du réseau sont déployés d'une manière aléatoire sur la zone de captage, et il est statique: les nœuds et la station de base sont immobiles durant toutes les simulations.

Et avec les hypothèses de départ suivantes :

- ✓ La station de base couvre toute la zone de captage.
- ✓ La distance, séparant deux nœuds.
- ✓ Les nœuds du réseau ne disposent d'aucun dispositif de géolocalisation.
- ✓ Tous les nœuds sont considérés comme source de données avec un prélèvement et une dissémination périodique.

II.9.1. Le modèle énergétique

Un capteur utilise son énergie pour réaliser trois actions principales : l'acquisition, la communication et le traitement des données [14][21].

- Acquisition : L'énergie consommée pour effectuer l'acquisition n'est pas très importante. Néanmoins, elle varie en fonction du phénomène et du type de surveillance effectuée.
- Communication : Les communications consomment beaucoup plus d'énergie que les autres taches. Elles couvrent les communications en émission et en réception. La figure II-7 présente le modèle d'antenne et les règles de consommation d'énergie associées utilisé par le protocole LEACH [4].

Pour transmettre un message de *k bits* sur une distance de *d mètres*, l'émetteur consomme :

$$ETX(k,d) = \begin{cases} Eelec * k + \varepsilon_{fs} * k * d^2 & \text{si } d <= d_0 \\ Eelec * k + \varepsilon_{tr} * k * d^4 & \text{si non} \end{cases}$$

Pour recevoir un message de k bits, le récepteur consomme :

- L'énergie consommée pour recevoir un message de taille *k (bits)* est :

$E_{RX}(k) = E_{elec} * k$

Avec :

E_{elec} : C'est la consommation d'énergie du circuit de transmission et de réception d'un bit.

k : taille d'un message.

d : Distance entre l'émetteur et le récepteur.

ε_{fs} : est le facteur d'amplification du signal pour une distance d'émission inferieur ou égale à la distance seuil d_0.

ε_{tr} : est le facteur d'amplification du signal pour une distance d'émission supérieure ou égale à la distance seuil $d_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon_{fs}}{\varepsilon_{tr}}}$

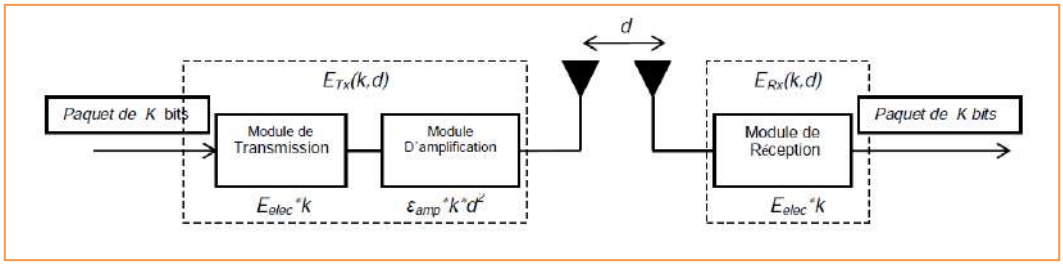


Figure II.13 : Modèle de consommation d'énergie pour la communication [21].

- **Traitement des données** : L'énergie consommée pour les opérations de calculs est beaucoup plus faible que l'énergie de consommation. L'énergie nécessaire pour transmettre 1Kb sur une distance de 100 mètre est approximativement équivalente à l'énergie nécessaire pour exécuter 3 millions d'instruction avec une vitesse de 100 millions d'instruction par seconde. Ce niveau peut être dépassé en fonction des circuits installés dans les nœuds.

II.9.2. Métrique utilisée

Pour analyser les performances de protocole d'auto-organisation LEACH, nous avons opté pour la durée de vie de réseau. Le problème de conservation d'énergie et de prolongement de la durée de vie dans les réseaux de capteurs tout en assurant une couverture entière de la zone d'intérêt est principalement contraint au taux de capteurs vivants dans le réseau. Dans la plupart des applications, la durée de vie du réseau suit la métrique LND (Last Node Dies) c. à. d. Le temps qui s'écoule jusqu'à la mort du dernier nœud du réseau. Cependant, cette métrique ne devrait pas être utilisée dans certaines applications critiques telles que les applications de détection et de surveillance d'intrusion, dans lesquelles le taux de couverture de la zone d'intérêt devrait être assez élevé. Ainsi, pour que le réseau accomplisse ses missions pour lesquelles il a été déployé avec succès, nous exigeons souvent que le taux de capteurs vivants soit supérieur à une certaine valeur seuil noté α-coverage. α-coverage représente le taux nécessaire de capteurs vivants pour garantir la couverture totale de la zone d'intérêt. Nous considérons que lorsque le taux de capteurs vivants descend sous le seuil α-coverage, le réseau deviendra dysfonctionnel.

II.10. Conclusion

Le routage des données sur les WSNs est considéré par la communauté des chercheurs comme un domaine qui relève un certain nombre de challenges. Sa spécificité relève de la nature physique du réseau caractérisée par plusieurs contraintes relatives à sa composante principale qui est les capteurs. Un capteur est un composant fragile à cause de sa limitation en énergie.

Par la suite, nous avons isolé les principales causes de la surconsommation de l'énergie. Nous avons constaté que la communication est la fonction la plus gourmande en énergie sur le réseau.

Enfin, nous avons exposé les différentes classifications des solutions qui traitent le routage sur les WSNs et nous avons détaillé celle qui est la plus répandue dans la littérature (le protocole LEACH).

III.1. Introduction

La surveillance du trafic routier peut promouvoir la planification urbaine et encourage une meilleure utilisation des transports publics. Une collecte d'informations efficace est une partie importante constituant un système de surveillance. Dans ce chapitre, on présente les résultats de simulation d'un système de collecte d'informations de trafic routier urbain de la ville de Médéa, basé sur un réseau de capteurs sans fil.

Après avoir étudié quelques techniques et protocoles de routage dans le chapitre précédent. On a vu que lorsque la taille du réseau devient importante, sa gestion devient plus difficile. La structuration est un des outils principaux pour sauvegarder l'énergie dans chaque nœud du réseau, ce qui aboutit à prolonger la vie du système.

Une des structures les plus connues est la hiérarchie. Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats de simulations réalisés des protocoles hiérarchiques suivants :

1. LEACH standard (mode de communication mono-saut),
2. LEACH en mode de communication multi-sauts (Multi-LEACH).

III.2. Construction du réseau de capteurs

Une carte routière urbaine réelle de la ville de Médéa (figure III.1.) a été utilisée pour construire le réseau de capteurs utilisé par différentes simulations sous Matlab. Cette carte est obtenue du site http://www.Openstreetmap.org/.

Nous avons choisi un réseau composé de 341 nœuds au total sur plusieurs routes principales de la zone urbaine comme le montre la figure III.2.

Les 49 nœuds en rouge sont des nœuds placés dans les intersections de routes. Ils ont une énergie illimitée (alimentées par réseau électrique), tandis que les autres en bleu sont des nœuds normaux autonomes à énergie limitée.

Ce choix a été fixé dont le but d'augmenter la durée de vie du réseau en utilisant un nombre réduit de nœuds dans une large zone couverte (4,5 Km x 3 Km).

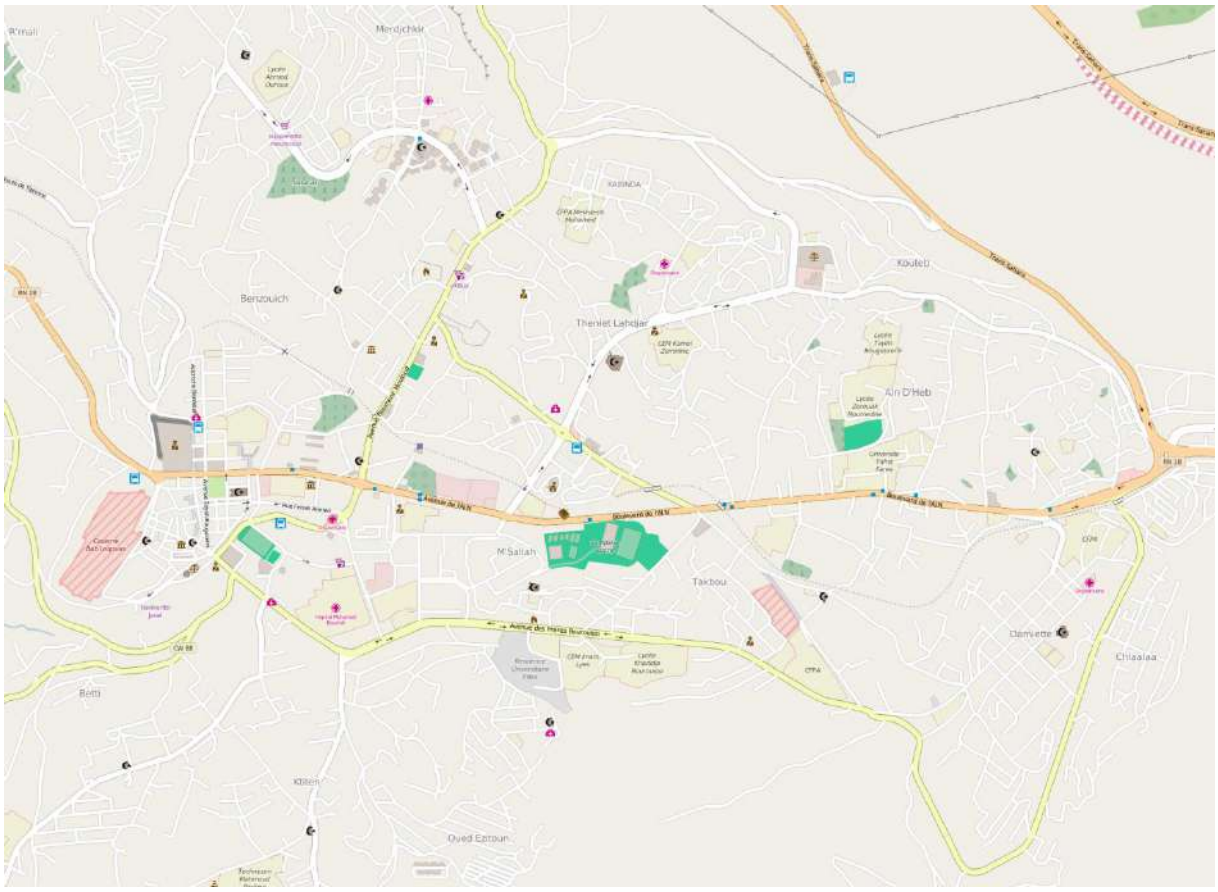


Figure III.1:Carte routière urbaine de Médéa [21]

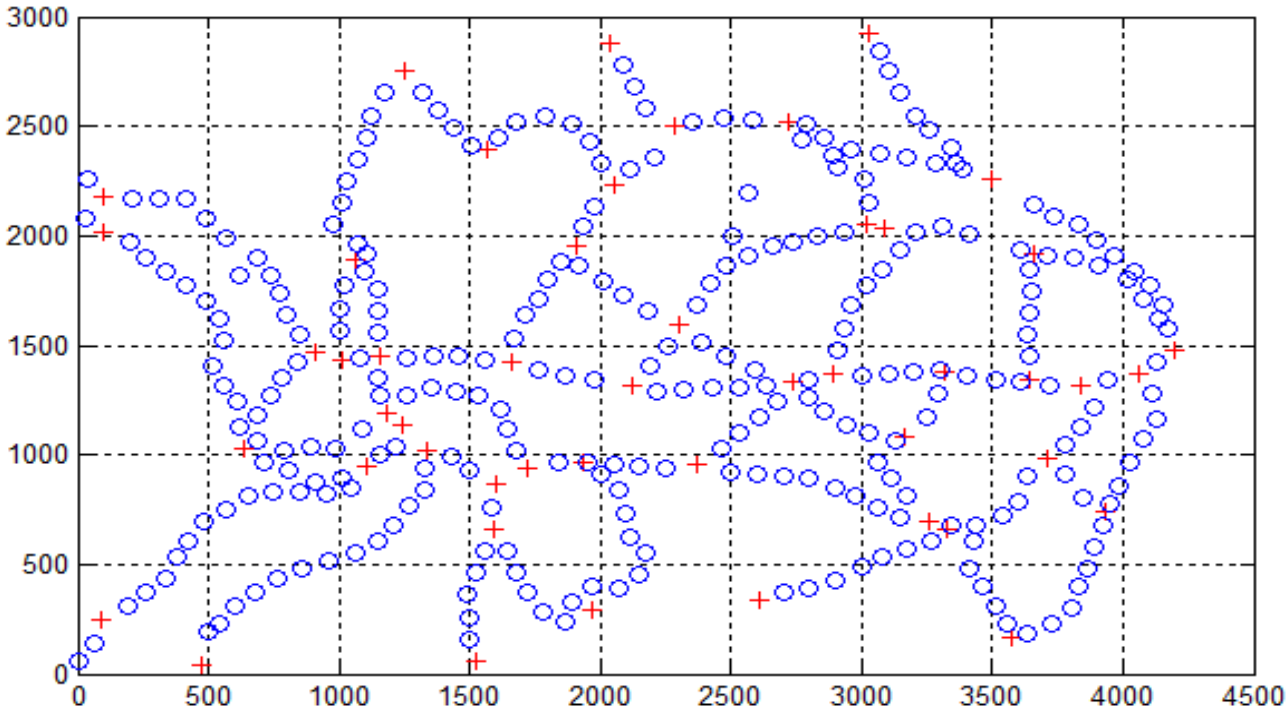


Figure III.2: Répartition des nœuds capteurs dans le réseau routier de la ville de Médéa

III.3. Description de l'algorithme du protocole LEACH

Les paramètres d'entré de l'algorithme sont:

- *Zone de captage* : La surface de déploiement des nœuds capteurs.
- Nombre total de nœuds (nœuds normaux et nœuds avancés).
- L'énergie initiale des nœuds, et position de la station de base.
- Les facteurs d'amplification du signal pour l'émission.
- Eelec: La consommation d'énergie par l'électronique du circuit / bit.
- EDA : C'est l'énergie consommée pour l'agrégation de données / bit.
- Probabilité d'élection des chefs de groupes (CHs).

Les variables de sortie de l'algorithme sont :

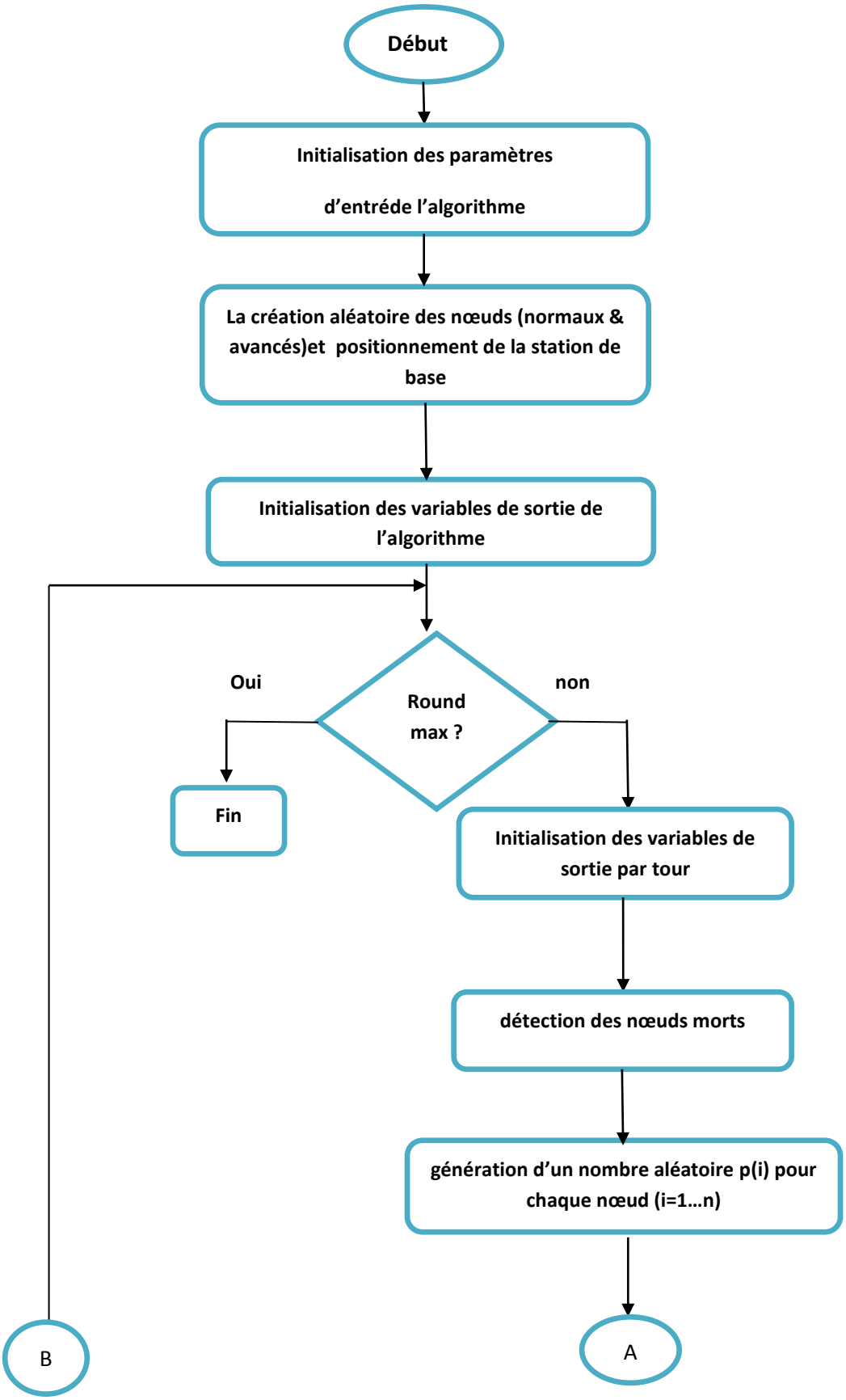
- La période de stabilité du réseau.
- Nombre de nœuds morts par tour, et par types de nœuds.
- Nombre de messages réceptionnés par la station de base par tour.
- Nombre de messages réceptionnés par les chefs de groupes par tour.
- Energie totale du réseau par tour.

Le tableau III.1 résume l'ensemble des paramètres utilisés en simulations.

Tableau III.1.Paramètres du modèle du réseau utilisés en simulations

Paramètres	Valeur
Le nombre des nœuds Total (n)	341
Surface de Déploiement (L*L)	4500 m x 3000 m
L'énergie initiale des capteurs E_0	0.5 J / 2,5 J
La position de la station de base	X=2250m , Y=1500 m
La taille des messages de donnée	1024 bits
Le cout de transmission d'un paquet	50 nJ/bit
Le cout de réception d'un paquet	50 nJ/bit
Le cout d'agrégation d'un paquet	5 nJ/bit
La probabilité d'être CH (P)	0.2 / 0.4 / 0.6 / 0.8 / 1

III.4. Organigramme du protocole LEACH



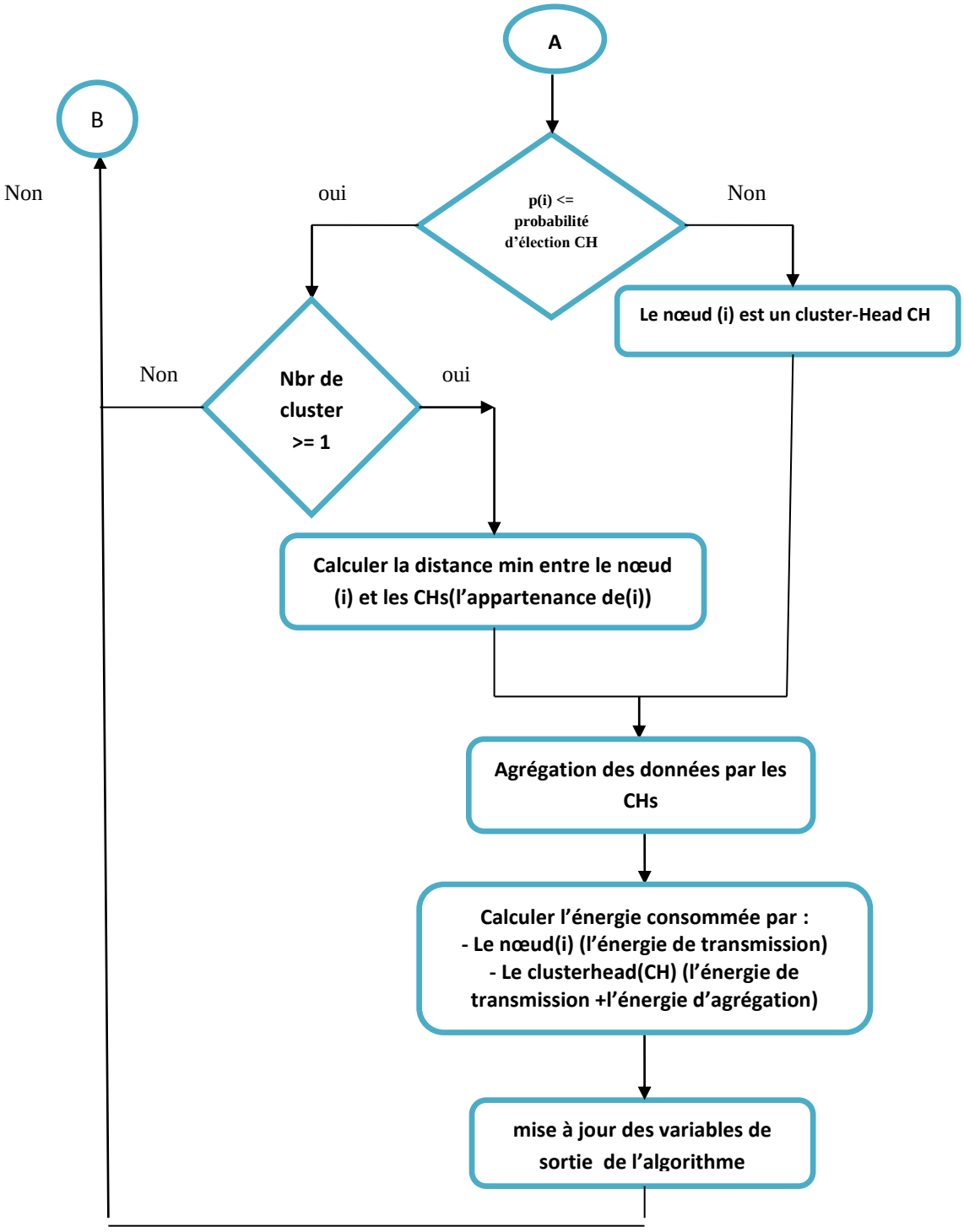


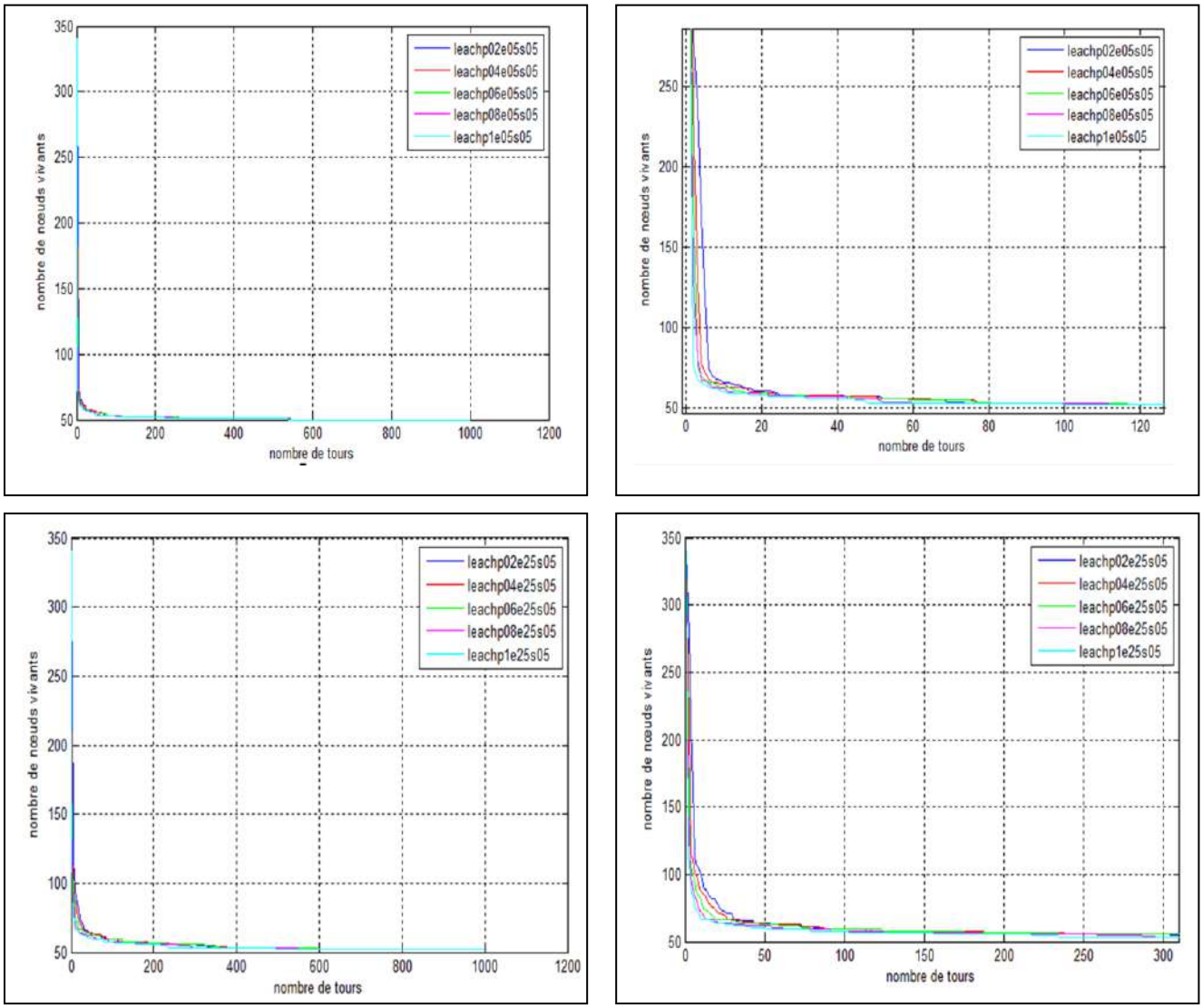
Figure III.3:Organigramme du protocole LEACH

III.5. Résultats de simulations du protocole LEACH

Dans cette partie, nous avons réalisé plusieurs simulations en variant les deux paramètres :

1) la probabilité d'élection des chefs de groupes p (0,2, 0,4, 0,6, 0,8 et 1).
2) l'énergie initiale E_0 (0,5 J et 2,5 J).

Ces paramètres ont été varié en raison de la faible densité des nœuds (341 nœuds / 13,5Km^2). Le sink est positionné au centre (x=2250m et y=1500m ou s05 sur les figures). La figure III.4 montre les résultats des simulations. On remarque que la période de stabilité est de quelques tours. Et dans tous les cas, tous les nœuds autonomes sont morts après 1000 tours. En plus, on peut noter une légère amélioration en augmentant l'énergie initiale E_0. En revanche, l'augmentation de la probabilité p (plus de clusters) dégrade un peu la durée de vie du réseau car en mode mono saut les chefs de groupes envoient directement leurs données au sink.



FigureIII.4:Nombre de nœuds vivants en fonction du nombre de tours

III.6. Résultats de simulations du protocole Muli-LEACH

Dans cette partie, on va présenter les résultats obtenus en utilisant le mode de communication multi-saut appliqué sur le protocole LEACH.

Pour mieux évaluer les performances du mode de communication multi-saut, on a opté pour la variation de la probabilité d'élection des chefs de groupes p (0,2, 0,4, 0,6, 0,8 et 1), l'énergie initiale E_0 (0,5 J et 2,5 J) et le changement de la position de la station de base verticalement, c'est-à-dire (x=2250m et y=900m : S03), (x=2250m et y=1500m : S05) et (x=2250m et y=2100m : S07).

La figure III.5 représente les résultats de simulations pour E_0=0,5 J, la station de base au milieu (s05) et en changeant la probabilité p de 0.2 jusqu'à 1. On remarque que la meilleure performance est celle pour une probabilité p=1 (200 nœuds encore vivants après 4500 tours). Ce résultat est justifié par le fait que dans le cas d'un réseau à faible densité, si on prend p=1 tous les nœuds sont des chefs de groupes et s'ils envoient leurs données en mode multi-sauts, ils économisent leur énergie.

La figure III.6 représente les résultats de simulations pour E_0=0,5 J, probabilité p de 0.2 jusqu'à 1 et la station de base qui déplace du bas (s03), au milieu (s05) ou en haut (s07). On remarque que le changement de la position de la station de base n'a pas beaucoup influencé sur la durée de vie du réseau. Ce qui laisse un choix libre de la position du sink dans la ville.

Ensuite, on a augmenté l'énergie initiale (E_0=2,5 J), en supposant qu'on pourra utiliser des nœuds de capteurs ayant plus d'autonomie d'énergie. La figure III.7 montre des meilleures performances et surtout dans le cas ou p=1 où aucun nœud est morte après 5000 tours.

Enfin, on a revérifie l'impact de la position du sink, les différentes simulations (figure III.8) montrent des légères améliorations. Donc, on a une souplesse dans le choix de la position de la station de base.

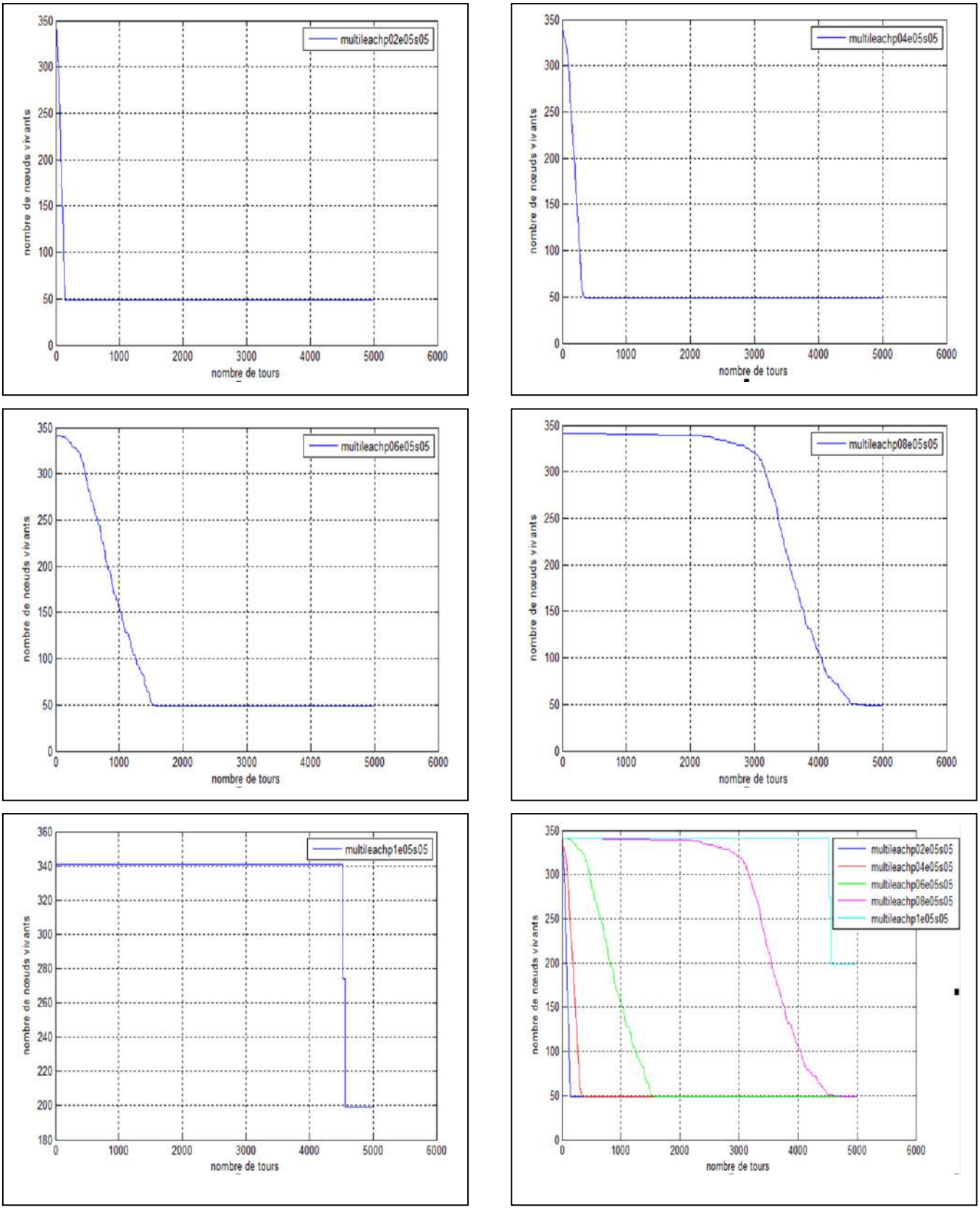
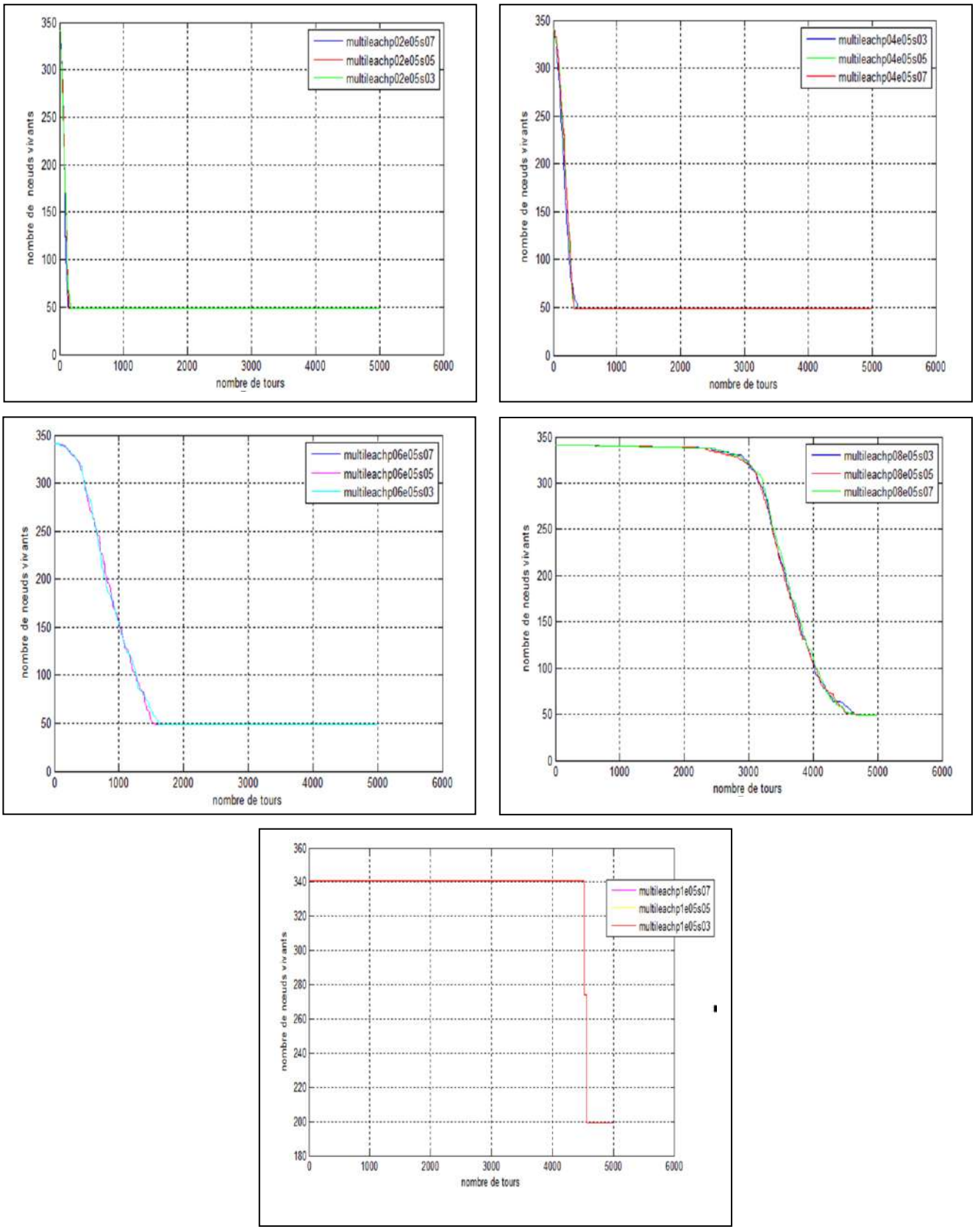


Figure III.5: Nombre de nœuds vivants en fonction du nombre de tours Protocole : Multi-LEACH, Energie initiale E0=0,5 J, sink au milieu (S05)



FigureIII.6:Nombre de nœuds vivants en fonction du nombre de tours

Energie initiale E0=0,5 J et variation de la position du sink

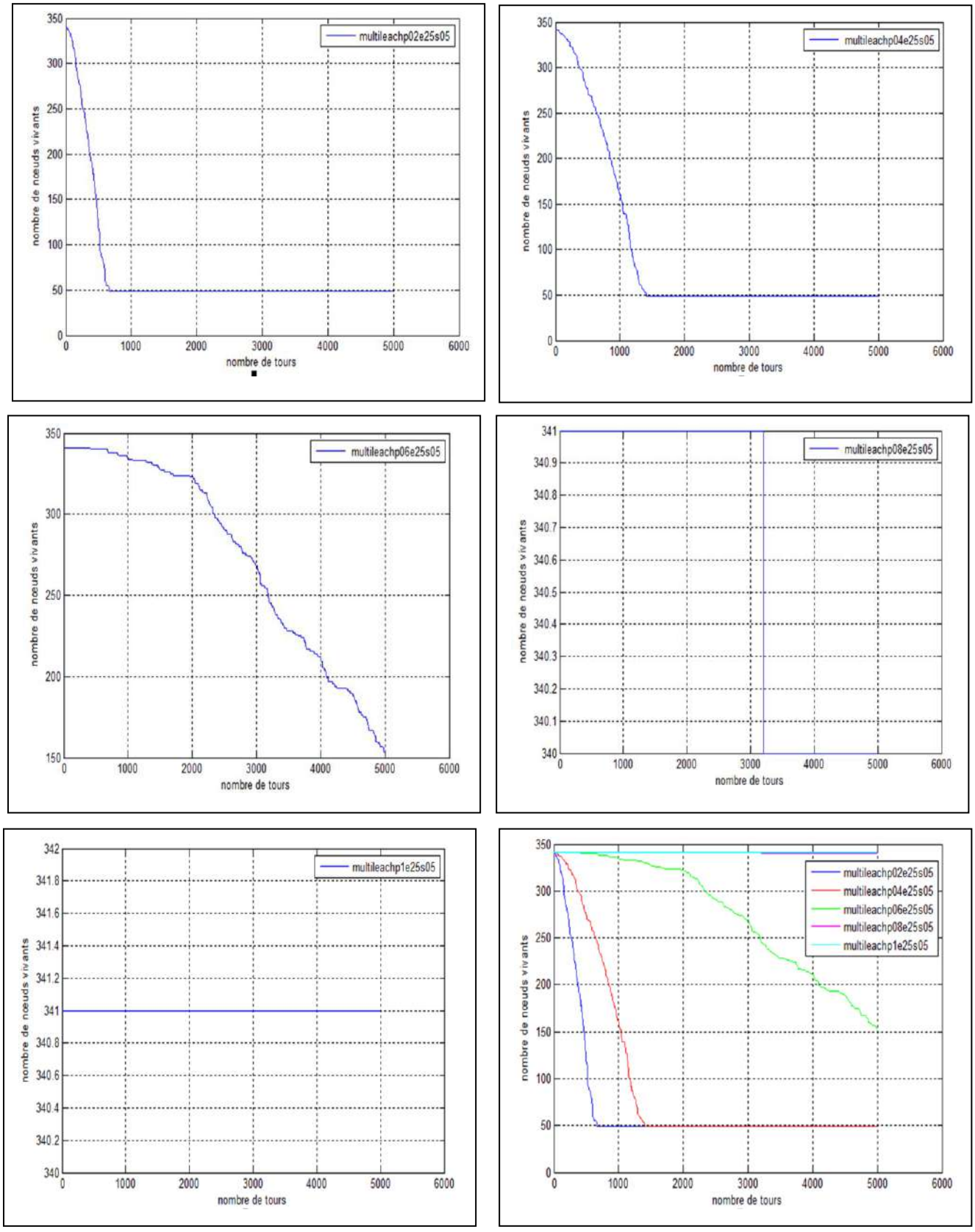
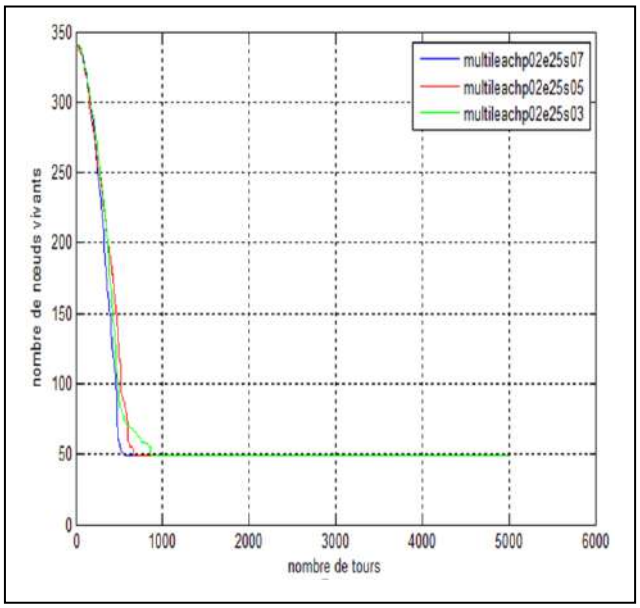
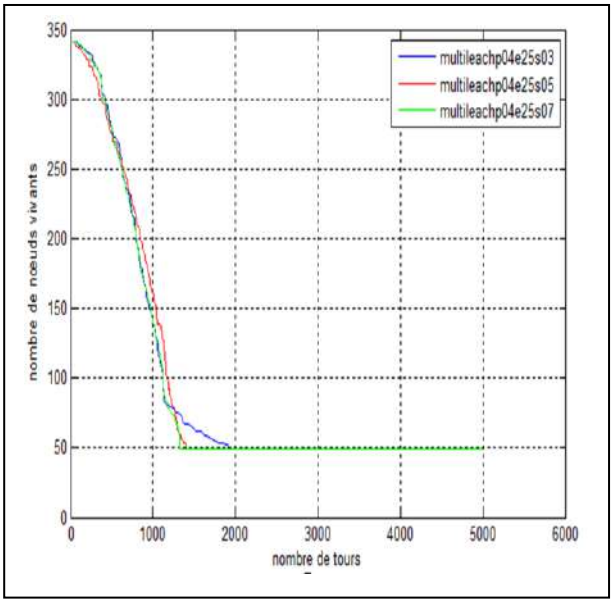
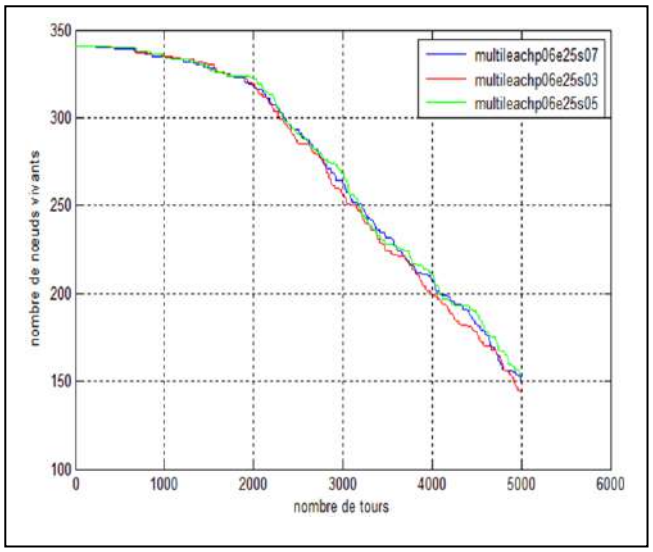


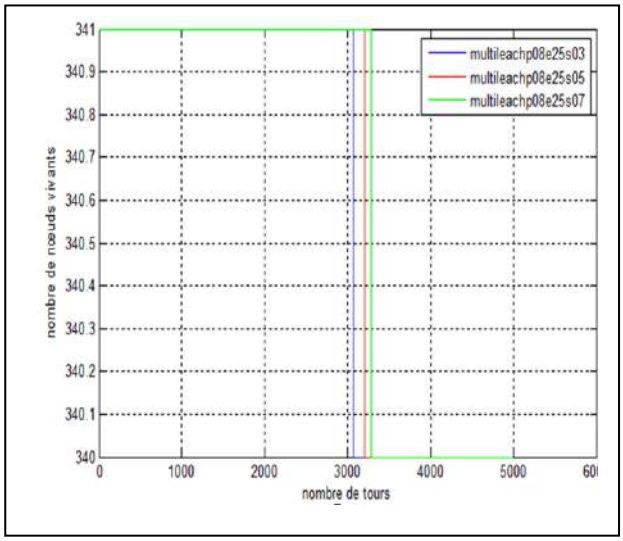
Figure III.7:Nombre de nœuds vivants en fonction du nombre de tours

Protocole : Multi-LEACH, Energie initiale E0=2,5 J, sink au milieu(S05)









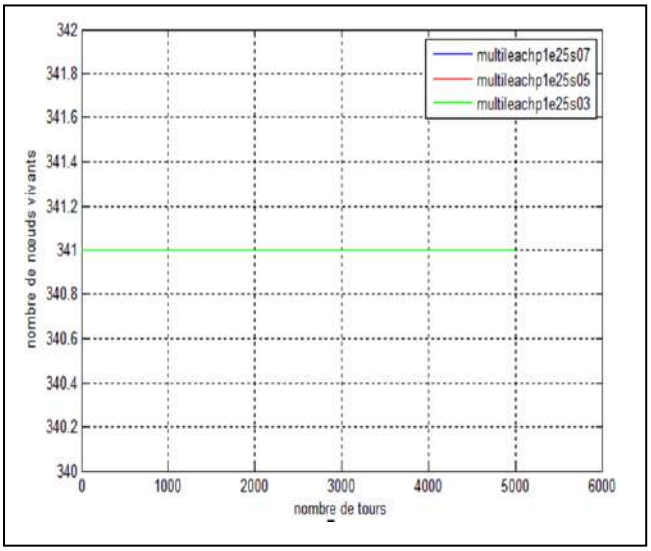


Figure III.8: Nombre de nœuds vivants en fonction du nombre de tours

Energie initiale E0=2,5 J et variation de la position du sink

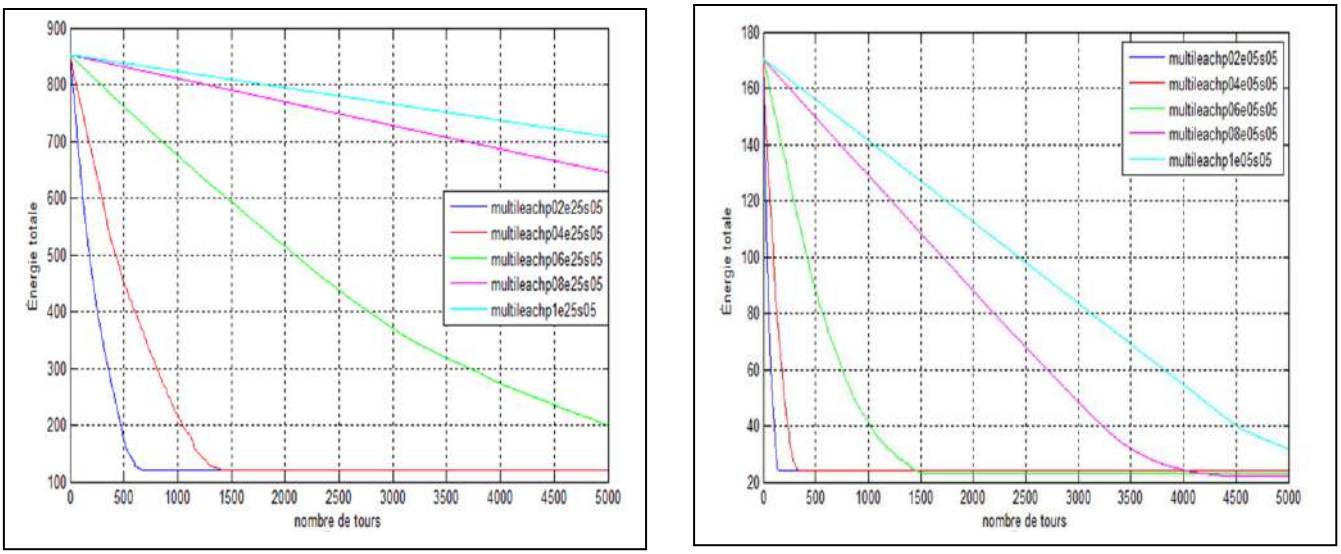


Figure III.9:Energie totale en fonction du nombre de tours

Energie initiale E0=2,5 J et Energie initiale E0=0,5 J

Finalement, on conclue la partie des simulations par une comparaison vis-à-vis une deuxième métrique qui est l'énergie totale résiduelle du réseau. La figure III.9 représente les courbes de cette métrique en deux cas de l'énergie initiale E_0=2,5 J et E_0=2,5, la probabilité d'élection varie de 0,2 jusqu'à 1, et la station de base est positionnée au centre (s05).

On peut noter de cette figure que le protocole Multi-LEACH conserve plus d'énergie totale du réseau dans le cas où on prend un maximum de clusters, c'est-à-dire tous les nœuds fonctionnent comme des chefs de groupes communicants en mode multi-saut.

III.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats des simulations des protocoles: LEACH, LEACH multi-saut, pour les réseaux de capteurs sans fil hétérogène. On a focalisé les simulations sur la durée de la durée de vie du réseau. Ce réseau est déployé au niveau du réseau routier urbain de la ville de Médéa pour la collecte des informations du trafic routier.

Conclusion Générale

Le domaine de la circulation routière, est l'objet d'innovations permanentes, tant sur le plan de la conception de modèles que sur le plan technologique. Les moyens de recueil de données de trafic ont ainsi bénéficié de cette dynamique. Cependant, dans le cadre de l'exploitation de trafic, un système de recueil de données, aussi évolué soit-il, ne permet pas de fournir les indicateurs nécessaires aux missions d'exploitation et d'information des usagers.

Nous avons essayé de faire le tour sur les réseaux de capteurs sans fil. Nous avons commencé par présenter les généralités qui entourent le domaine des WSN, puis nous avons focalisé notre étude sur la fonctionnalité clé de ces réseaux qui est le routage de données à partir des nœuds sources vers une station de base, qui s'occupe des traitements spécifiques aux applications supportées. Nous avons montré la particularité de ce type de routage imposée par les caractéristiques physiques des réseaux de capteurs sans fil.

Ensuite, nous avons présenté les différentes solutions de routage existantes selon une classification par rapport à la topologie du réseau utilisée et selon le mode de fonctionnent du protocole. Nous avons focalisé, par la suite, notre étude sur la classe des protocoles de routage hiérarchiques qui garantit une optimisation de la consommation en énergie ou l'organisation du réseau de capteurs en groupes, dits clusters, permet une distribution de la consommation de l'énergie sur le réseau et une spécification des tâches selon le type de nœud (les ClusterHeads (CHs) se chargent de la dissémination et de l'agrégation des données vers la station de base alors que les autres nœuds se chargent de la collection de données et la dissémination locale vers les CHs.

Nous avons effectué des simulations sous Matlab sur un réseau routier de la ville de Médéa. Nous avons comparé les protocoles LEACH et LEACH Multi-saut. Et, comme perspectives nous envisageons d'étudier d'autres protocoles hiérarchiques et essayer de l'évaluer avec plus de métriques, de proposer un nouvel algorithme qui combine les avantages des protocoles analysés dans ce projet, et ceci dans le but de réduire leurs inconvénients et fournir des meilleures performances du réseau.

Bibliographie

[1] Djebbas Soumia«**Etude et simulation d'un système de collecte d'informations du trafic routier urbain basé sur un RCSF» ,** Mémoire de magister UNIVERSITÉ DR. YAHIA FARÈS DE MÉDÉA

[2] SAHRAOUI BELKHEY « **Etude d'un protocole de Routage basé sur les colonies de Fourmis dans les réseaux de capteurs sans fil » ,** Mémoire de magister ,Université Abdou Bakr Belkaid-Tlemcen 2012

[3] CHALLAL YACINE « **Réseaux de Capteurs sans Fils »** cours ,système Intelligents pour le transport , Université de Technologie de Compiègne , France 2008

[4] LEHSAINI MOHAMMED « **Diffusion et couverture basés sur le clustering dans les Réseaux de capteurs : application à la domotique »** Thèse de Doctorat , Université de Franche-Comté Besançon 2009

[5] YOUSEF YASE « **Routage pour la gestion de l'Energie dans les Réseaux de capteurs sans Fil »** Thèse de Doctorat, Université de HAUTE ALSACE 2010

[6] ATHMANI Samir « **protocole de sécurité pour les réseaux de capteurs sans fil »** Mémoire de Magistère **,** université Hadj Lakhder –Batna, juillet 2010.

[7] BEAOUDA Nacera ,H.Guynnet, A.Hammad, A. H. Benaouda et Mostefi « **Modélisation par les groupes d'un réseau sans fil »** conférence ,laboratoire d'informatique de franche –comté Besançon 2007

[8] J.N ALKaraki et A.E.Kamal « **Routing Techenique in Wirless Sensor Network :Asuvey** »,Magazine :IEEE communication vol 11,N° 6p6-28 Dec 2004

[9] GUIZANI Badreddine « **Algorithme de cautérisation et protocoles de routage dans les Réseaux ad hoc** » Thése de Doctorat ,Universite de haute Alsace,2010

[10] YOUSSEF Yasser « **Routage pour la gestion de l'energie dans les Réseaux de capteurs sans fil** » Thèse de Doctorat, Université de HAUTE ALSACE

[11] FEMI A .Aderhunu « **energy management technique in Wireless sensor networks : protocol Design ana Evaluation** » MASTER of applied science in Télécommunication ;at the University og Otago, Duned, new zeland ,March 2010.

[12] W.R. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan «**Energy-efficient communication protocol for wireless micro sensor network** »,IEEE Hawaii international Conference on System Sciences, 2000.

[13] W.R. Heinzelman, A.P. Chandrakasan,and H. Balakrishnan«**An pplication-specific protocol architecture for wireless micro sensor networks**» IEEE Transactions on wireless communications,vol..1,no. 4,pp.660670,October 2002.

[14] MATTA ,Smaragadakis G &Besteavoros « **sep :Astable élection Protocol for clustered heterogenous wireless netewor** » Boston University Computer Science Département 2004

[15] BOUJAADAR Amina « **plat forme basée Agents pour l'aide à la conception et la simulation des Réseaux de Capteurs Sans Fil** », Mémoire de Magister, université 20 aout 55 de Skikda, BOUDJAADAR Amina .

[16] Yacine Younes « **Minimisation d'énergie dans un réseau de Capteurs »,** Mémoire de magistère, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, septembre 2012

[17] Boubiche Djallel Eddine « **Protocole de routage pour les réseaux de capteurs sans fil**» mémoire de magistère en Informatique. Université de l'Hadj Lakhdar-Batna Faculté des sciences de l'ingénieur.2008

[18] Beydoun Kamel « **Conception d'un protocole de routage hiérarchique Pour les réseaux de capteurs.»** Thèse pour l'obtention d'un grade de Docteur de l'université de franche- comté en informatique .décembre 2009.

[19] Hania AOUDIA, Youcef TOUATI, Arab ALI-CHERIF et Patrick GREUSSAY, «**Approche de routage hiérarchique base sur un mécanisme de clustering dans les réseaux de capteurs sans fil»,**Manuscrit auteur, publié dans 9ème edition de la conférence Majecstic, université de Lille, 2012.

[20] MOUSSAOUI Omar « **Routage hiérarchique basé sur le clustering** » Thèse de Doctorat ,université de Cergy-pontiose 2006

[21] Aderohunmu, F. A. ,&Deng, J.D , « **An Enhanced Stable Election Protocl SEP)for Clustered Heterogeneous WSN**» ,(No.2009/07),Discussion Paper series.2009.