الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique et de l'Informatique



Mémoire de fin d'études

Présenté pour l'obtention du Diplôme
De Master en Génie Électrique

Option : Systèmes de télécommunication

THEME

Evaluation Des Protocoles De Routage De Données Dans un Réseau De capteur Sans Fil WSN à Station De Base Mobile

Proposé et dirigé par :

Mr. GUEDMANI Mohamed

Mr. BACHENE Youcef

Préparé et présenté par :

Melle. CHIKER Amel

Melle. KADRI Massaouda

Année Universitaire 2014-2015

Remerciement

Au terme de ce travail, nous tenons a exprimé nos remerciement :

A notre bon dieu que nous a donnée la force, la santé et la volanté pour accomplir ce travail.

Nous tenons à exprimer notre gratitude à nos enseignants de Département Génie Electrique et d'Informatique de l'université DR. Yahia Fares De Medea.

Nous remercions notre promoteur Mr.Guedmani Mohamed pour avoir accepté de nous encadré.

Nous remercions Mr Bachen Youcef et Bakir Otman qui nous ont aidés beaucoup

Nous remercions vont éventuellement a nos famille pour leurs soutient, confiance et patience

Nous tenons spécialement à remercier tous les personnes qui ont aidées, ainsi que aux nombre de jury qui nous ferons l'honneur de juger notre travail

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

- *A mon dieu qui ma donné force volonté et le courage nécessaire*

Pour la réussite dans ce travail

- *A mes parents qui ont sacrifiées pour m'éduquer et contribuer A mes études surtout ma mère*
- *A mes frères azeddine et sa femme hiba ,kamal et redha surtout mes petits neveux wassim et malek .*
- *A ma binôme Massouada et sa familles.*
- *A mes très chères copine mima et zizouna et ses familles*
- *A toutes ma familles mes cousins et mes cousine surtout asma et son fils chouchou ilhem*
- *A tous mes amis :hassiba meriem chafya meriouma sousou yacine hamza…*

et tous les amis de 2eme année master télécom

Amel

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

- *A mon dieu qui ma donné force volonté et le courage nécessaire*

Pour la réussite dans ce travail

- *A mes parents qui ont sacrifiées pour m'éduquer et contribuer A mes études surtout ma mère*

- *A mes frères et ses femmes, mes sœurs et ses maries et surtout mes petits neveux.*

- *A ma binôme Amel et sa familles.*

- *A toutes ma familles mes cousins et mes cousine*

- *A tous mes amis : ahelm hassiba meriem chafya sousou houda meriem hamza….*

et tous les amis de 2eme année master télécom

Massaouda

ملخص

في هذا المشروع نقترح تقنية جديدة لجمع المعلومات لغرض الاستغلال الامثل في RCSF،و على وجه الخصوص الحل المستند إلى مفاهيم هرمية التوجيه LEACH،(LEACH (double saut_multi saut، SEP باستعمال تقنية محطة القاعدة المتنقلة عشوائيا بهدف منح فترة حياة أطول للشبكة و تخفيض نسبة ضياع الطاقة وارتفاع نسبة تدفق المعلومات

الكلمات المفتاحية :شبكة الاستشعار اللاسلكي، بروتوكول التوجيه، استهلاك الطاقة،الاستقرار، الانتقالية ،المعلومات.

Résumé

Dans ce projet nous proposons une nouvelle technique de routage et de collecte d'information à basse consommation d'énergie pour les réseaux de capteurs basé sur l'approche de clustering. Notre technique vise à exploiter le protocole de routage LEACH dans un réseau à station de base mobile pour économiser l'énergie dissipée lors de l'acheminement des données capturées à la station de base.

Les résultats des simulations ont montré que notre technique permet une réduction de la dissipation d'énergie, une durée de vie du réseau plus grande et un perfectionnement du protocole LEACH.

Mots clés : Réseaux de capteurs sans fil, Protocole de routage, Consommation d'énergie, Stabilité, nombre des paquets, Mobilité.

Abstract

In this project, we will introduce a new routing technique and data gathering that allows low energy consumption in the sensors network based on the clustering approach. Our technique intends to exploit the LEACH routing protocol in a mobile base station network in order to economize the energy dispelled during the routing of captured data to the base station.

The simulation results of this project have shown that our technique (Protocol) allows: reduction of energy dissipation, a longer network lifespan and perfection of LEACH protocol.

Keyword: Wireless sensor network, Routing Protocol, Energy consumption, Clustering Techniques, Mobility.

sommaire

Liste des figures ……..… I

Liste des Tableaux ……..II

Liste des acronymes …….....III

Chapitre I : Généralités Sur Les Réseaux De capteurs Sans Fil

I.1. Introduction ……...……..4

I.2. Présentation des réseaux de capteurs ...……...….4

I.2.1. Définition d'un capteur…….4

I.2.2. Définition d'un RCSF ou WSN (Wireless Sensor Network) ……..……..5

I.3. Architecture d'un réseau de capteurs sans fil ...……...6

I.4. Caractéristiques des RCSF……..7

I.4.1 Densité importante des nœuds ……...……...…..…….……...7

I.4.2. Topologie dynamique ...…….....8

I.4.3. Auto organisation ……..8

I.4.4. Scalabilité (passage à l'échelle) ……..….....8

I.5. Contraintes et facteurs de conception de RCSF ……..8

I.5.1. Durée de vie du réseau…… …….……...……...9

I.5.2. Latolérance aux pannes ..……...…….9

I.5.3. Facteur d'échelle…….……...9

I.5.4. Ressources limitées……..……..9

I.5.5. Bande passante limitée……...9

I.5.6. Topologie dynamique……...10

I.5.7. Absence d'adressage fixe des nœuds……...10

I.5.8. Coût de fabrication……...10

I.6. Consommation d'énergie dans les RCSF……10

I.6.1. Energie de capture……11

I.6.2. Energie de traitement……12

I.6.3. Energie de communication……...12
I.6.4. Techniques de minimisation de la consommation d'énergie……...12
I.7. Applications des RCSF……..13
I.8.conclusion…….15

Chapitre II : Routage Hiérarchique Dans les Réseaux De Capteurs Sans Fil

II.1. Introduction …….15
II.2. Routage hiérarchique……..16
II.3. Caractéristiques d'un protocole hiérarchique …….16
II.3.1. L'algorithme de Clustering utilisé ……...…..17
II.3.2. La réélection des Cluster Heads ……...…….…….……17
II.3.3. La nature des clusters générés……..…..…….17
II.3.4. La communication intra-cluster…...…....…….…….....……...……..18
II.3.5. La communication inter-cluster…...……...…….……...18
II.3.6. Le niveau d'agrégation de données…….....…..…..19
II.4. Quelque protocole hiérarchiques.....…….…….....……..……..19
II.4.1. Protocole d'auto-organisation LEACH …….....……...19
II.4.1.1 Le modèle énergétique……...…….....……..……..21
II.4.1.2. Métriques utilisées…….…….....……...22
II.4.1.3. Description de l'algorithme LEACH……...23
II.4.2. technique multi saut……. …….....……24
II.4.2.1. Le modèle énergétique…...…….……..24
II.4.3. technique double saut……..……...……....25
II.4.4. Protocole d'auto-organisation SEP (Stable Election Protocol)..……...25
II.5. Architectures des réseaux de capteurs sans fil……..…...…….....……...……26
II.4.1. Architecture à puits fixe et nœuds capteurs fixes ……...….....28
II.5.2. Architecture à puits statiques et nœuds capteurs mobiles……..28
II.5.3. Architecture à puits mobile et nœuds capteurs mobiles…….28
II.5.4. Architectures à puits mobile et nœuds capteurs fixes……29
II.6. Conclusion…….32

Chapitre III : Evaluation Des Protocoles D'auto-Organisation

III.1.Introduction ……..……..33
III.2. La Simulation dans les réseaux de capteurs sans fil…...…….34
III.2.1. Besoins et limitation……34
III.2.2. Le logiciel MATLAB….……..34
III.3. Les Scénarios de la simulation…….…….....34
III.4. La modélisation du réseau...…….…….…….....35
III.5. Paramètres d'algorithme……..... 36
III.6. Métriques d'évaluation…….....…….....40
III.7. Résultats et analyses des simulations..…….…….40
III.7.1. Réseau Homogène (m=a=0)…….…….....40
III.7.1.1.1. Simulation 1 : LEACH Homogène (à un Seul Saut) …..…….40
III.7.1.1.2. Simulation 2 : LEACH Homogène à Deux Sauts …….....42
III.7.1.1.3. Simulation 3 : LEACH Multi Saut.…….....44
III.7.2. Un Réseau Hétérogène ……..46
III.7.2.1. Simulation 4 : LEACH Hétérogène (à un Seul Saut)……...46
III.7.2.2. Simulation 5: LEACH Hétérogène à Double Saut ……..48
III.7.2.3. Simulation 6: LEACH Hétérogène Multi Saut ……50
III.7.3. Simulation du Protocole SEP…….……..……...……..53
III.8. Conclusion……...…….55

LISTE DES FIGURES

Figure I.1. Architecture d'un nœud de capteur.....5

Figure I.2. Exemple de réseau de capteur.....*6*

Figure 1.3. Architecture de communication d'un RCSF.....*7*

Figure I.4. Consommation d'énergie dans un nœud de capteur.....*11*

Figure I.5. Les techniques de conservation d'énergie *13*

Figure I.6. Quelques domaines d'applications pour les RCSF.....*14*

Figure II.1. Le routage hiérarchique..... ....*17*

Figure II.2. Probabilité optimale..... .....*20*

Figure II.3. Modèle de consommation d'énergie pour la communication.....*22*

Figure II.4. routage hiérarchique basé sur le clustring.....*24*

Figure II.5. Architecture à puits fixe et nœuds capteurs fixes..... .....*27*

Figure II.6. Architecture de réseau de capteurs dédié à la surveillance du volcon.....*27*

Figure II.7. Représentation de l'infrastructure du système Cenwits.....*28*

Figure II.8. Architecture de collecte de données dans ZebeaNet.....*29*

Figure II.9. Schéma d'architecture à puits mobile et nœuds capteurs fixes.....*30*

Figure III.1. La stabilité du réseau avec LEACH homogène *41*

Figure III.2. L'énergie consommée du réseau avec LEACH homogène.....*41*

Figure III.3. Les paquets reçus par la station de base du réseau homogène.....*42*

Figure III.4. La stabilité de réseau avec LEACH double saut homogène *43*

Figure III.5. L'énergie consommée du réseau avec LEACH double saut homogène.....*43*

Figure III.6. Les paquets reçus par la station de base du réseau homogène.... .....*44*

Figure III.7. La stabilité du réseau avec LEACH multi saut homogène... .....*45*

Figure III.8. L'énergie consommée du réseau avec LEACH multi saut homogène.....*45*

Figure III.9. Les paquets reçus par la station de base du réseau homogène.....*46*

Figure III.10. La stabilité du réseau avec LEACH hétérogène.....*47*
Figure III.11. L'énergie consommée du réseau avec LEACH hétérogène.....*47*
Figure III.12. Les paquets reçus par la station de base du réseau hétérogène.....*48*
Figure III.13. La stabilité de réseau avec LEACH double saut hétérogène.....*49*
Figure III.14. L'énergie consommée du réseau avec LEACH double saut hétérogène.....*49*
Figure III.15. Les paquets reçus par la station de base du réseau hétérogène.....*50*
Figure III.16. La stabilité du réseau avec LEACH multi saut hétérogène.....*51*
Figure III.17. L'énergie consommée du réseau avec LEACH multi saut hétérogène.....*51*
Figure III.18. Les paquets reçus par la station de base du réseau hétérogène.....*52*
Figure III.19. La stabilitée..... .....*53*
Figure III.20. L'énergie consommée par rond *54*
Figure III.21. Les paquets de données reçus par la station de base du réseau hétérogène.*54*

liste des tableaux

Tableau II.1. *Tableau comparatif des différentes architectures utilisée.……..31*

Tableau III.1. *Les paramètres des simulations.……..37*

Introduction Générale

Introduction générale

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) sont des réseaux ad hoc généralement constitués d'entités autonomes miniaturisées appelés nœuds capteurs pouvant communiquer entre eux par liaison radio. Les RCSF ont suscité beaucoup d'engouement dans la recherche scientifique en raison notamment des nouveaux problèmes de routage sous forte contrainte de durée de vie du réseau et de faibles capacités des nœuds. Malgré la miniaturisation et la réduction du coût de fabrication, ces capteurs sont généralement dotés de ressources limitées en termes de puissance de transmission, de capacité de traitement et de stockage des données et d'énergie.

La technique des WSNs peut être appliquée dans de nombreux domaines : surveillance des déplacements des véhicules en zone hostile, observation de la vie des espèces rares, surveillance de la structure des infrastructures, optimisation de traitement pour les patients etc.

Le routage est fondamental dans ce type de réseau car il n'existe pas d'infrastructure qui gère les informations échangées entre les différents nœuds du réseau (comme par exemple les routeurs dans les réseaux filaires). En effet, c'est à chaque nœud du réseau de jouer le rôle d'un routeur. Ainsi, tous les nœuds collaborent afin de router une information vers une certaine destination.

Le routage de données dans les réseaux de capteurs sans fil (WSNs) est reconnu comme un domaine de recherche très actif vu les spécificités de ce type de réseau, où la consommation de l'énergie et le passage à l'échelle sont considérés comme les défis majeurs des protocoles de communication proposés.

Le routage hiérarchique des données dans les WSNs, est une classe spécifique des protocoles de routage, elle englobe les solutions qui adoptent une restructuration du réseau physique en un système d'hiérarchie logique, visant l'optimisation de la consommation de l'énergie et le passage à l'échelle. Plusieurs solutions de routage hiérarchiques utilisent la technique du clustering pour minimiser la consommation de l'énergie et permettre un passage à l'échelle ; à titre d'exemples : L'algorithme ou le protocole de routage hiérarchique de clustering et d'auto-organisation LEACH.

Plusieurs solutions de routage hiérarchique et de collecte d'information sont présentées dans la littérature [1] [2] [3]. Chacune d'elle présente une technique différente pour minimiser la consommation de l'énergie sur l'ensemble du réseau. Néanmoins, des améliorations restent à apporter pour achever de meilleures performances. L'objectif a été de concevoir une nouvelle technique aux protocoles de routage hiérarchique qui garantie une meilleure consommation en énergie et un meilleur passage à l'échelle.

La station de base peut être mobile. Autrement dit, nous pouvons imaginer un réseau de capteurs fixes déployé; la collecte des informations pourrait se faire lors du passage automatisé ou aléatoire d'une station de base mobile. Plusieurs choix peuvent être faits. La station peut passer par chaque capteur pour récupérer les informations, il s'agit alors simplement pour le capteur de transmettre ses données lorsqu'il détecte un puits à portée radio avec une faible puissance de transmission.

L'objectif de ce mémoire est de traiter le problème du routage et de collecte de données dans les réseaux de capteurs. Le souci principal est de prolonger la vie du système en économisant l'énergie dépensée par chaque capteur du réseau. Pour cela, nous avons proposé une technique qui adopte les protocoles de routage hiérarchique avec une station de base mobile et voir les performances que peut apporter.

Notre contribution consiste en une technique de collecte de données on considérons la mobilité de la station de base dans le réseau de capteurs sans fils , qui vise la minimisation de la consommation en énergie, le passage à l'échelle, la réduction du délai de livraison de données et la perfection des protocoles de routage hiérarchique.

Ce manuscrit et composé de trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré aux généralités sur les réseaux de capteurs sans fils, les contraintes et les domaines d'application.

Dans le deuxième chapitre nous allons voir les techniques de routage hiérarchique utilisant le clustering à station de base fixe ainsi qu'un état de l'art sur l'architecture des réseaux de capteurs sans fils qui utilisent la mobilité.

Le dernier chapitre présente les scénarios et évaluation des résultats de simulations d'un réseau de capteur qui adopte les protocoles de routage hiérarchique avec station de base

mobile. Et enfin, nous présenterons une conclusion générale qui résume nos contributions et définie nos perspectives de recherches pour nos travaux futures.

Chapitre I
Généralités Sur Les Réseaux De capteurs Sans Fil

I.1. Introduction

Grâce aux avancées technologiques de plusieurs secteurs des technologies de l'information, il devient aujourd'hui envisageable de produire en masse des systèmes d'une taille extrêmement réduite (de quelques centimètres) et embarquant des unités de calcul et de communication sans fil pour un coût réduit. Ayant ces caractéristiques, les nœuds capteurs sont capables de générer et d'échanger des données d'une manière autonome et complètement transparente pour les utilisateurs. Les réseaux de capteurs représentent actuellement un nouveau domaine, en plein développement, émergeant des innovations des technologies de communication. L'objectif de ce chapitre est de faire une description synthétique des réseaux de capteurs, leurs architectures, leurs caractéristiques et contraintes et particulièrement la consommation d'énergie et les différentes sources causant la perte énergétique et les techniques pour minimiser cette perte ainsi que leurs domaines d'applications variés.

I.2. Présentation des réseaux de capteurs

I.2.1. Définition d'un capteur

Un capteur sans fil est un petit dispositif électronique capable de mesurer une valeur physique environnementale (température, lumière, pression, etc.) et de la communiquer à un centre de contrôle via une station de base. Les progrès conjoints de la microélectronique, des technologies de transmission sans fil et des applications logicielles ont permis de produire à coût raisonnable des micro-capteurs de quelques millimètres cubes de volume, susceptibles de fonctionner en réseaux [4]. Un nœud de capteur est composé de quatre unités de base (**voir figure I. 1**):

- ***L'unité d'acquisition*** : elle est généralement composée de deux sous-unités qui sont les capteurs et les convertisseurs analogique-numérique ADCs (Analog- Digital Converter). Les capteurs obtiennent des mesures sur les paramètres environnementaux et les transforment en signaux analogiques. Les ADCs convertissent ces signaux analogiques en signaux numériques.

- ***L'unité de traitement*** *:* composée d'un processeur et d'une mémoire intégrant un système d'exploitation spécifique. 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.

- ***Un module de communication (Transceiver)*** *:* il est composé d'un émetteur/récepteur permettant la communication entre les différents nœuds du réseau via un support de communication radio.
- ***Batterie*** *:* elle alimente les unités que nous avons citées et elle n'est généralement ni rechargeable ni remplaçable. La capacité d'énergie limitée au niveau des capteurs représente la contrainte principale lors de conception de protocoles pour les réseaux de capteurs.

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

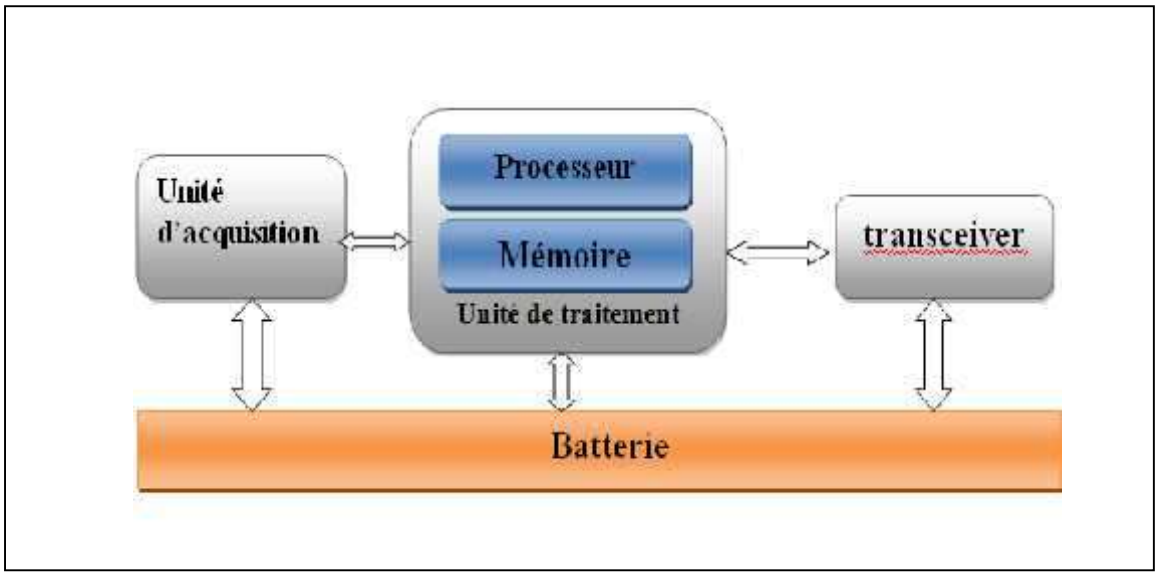


Figure I.1. *Architecture d'un nœud capteur*

I.2.2. Définition d'un RCSF ou WSN (Wireless Sensor Network)

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 [5]. 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 station de base (ou *sink*), connectée avec les autres nœuds par un réseau sans fil est reliée à une alimentation électrique illimité.

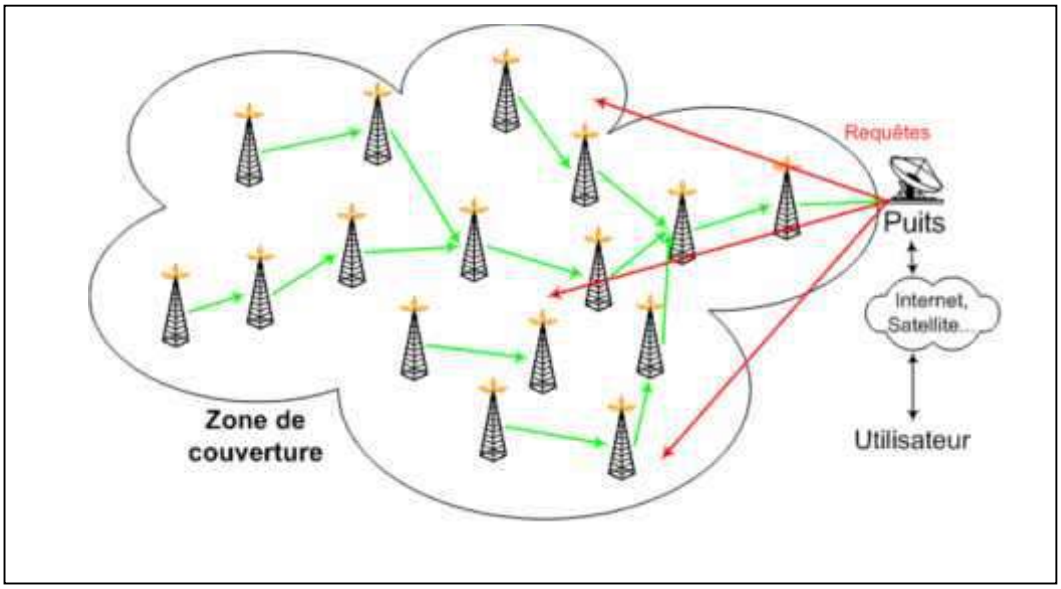


Figure I.2. *Exemple de réseau de capture*

I.3. 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 [6]:

- ***Noeuds* :** ceux sont des nœuds de 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

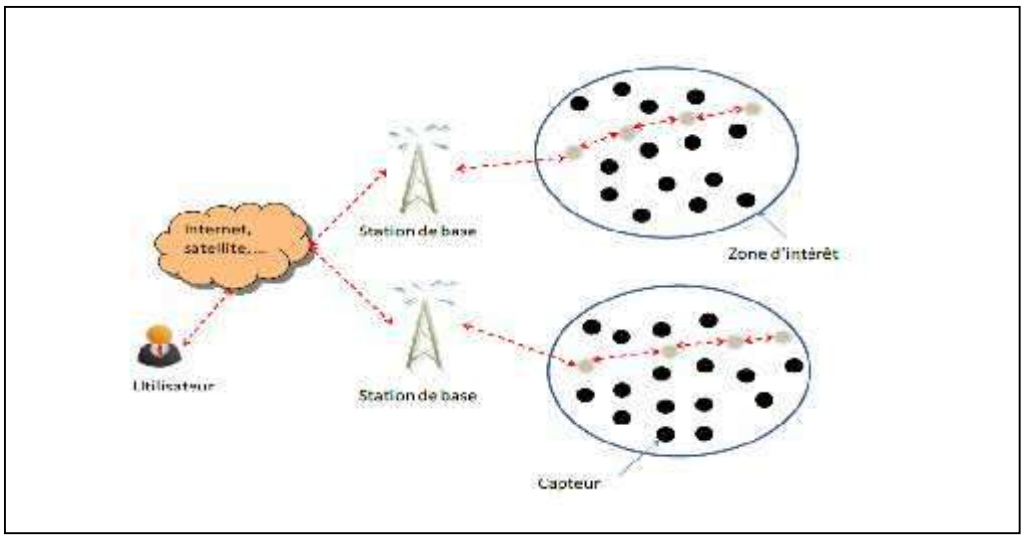


Figure I.3. *Architecture de communication d'un RCSF*

I .4. Caractéristiques des RCSF

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

I.4.1. 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.4.2.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.4.3. 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.4.4. 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 informations reçues.

I.5. Contraintes et facteurs de conception de RCSF

La conception et la réalisation des RCSF sont influencées par plusieurs paramètres. Ces facteurs servent comme directives pour le développement des algorithmes et protocoles utilisés dans les RCSF.

I.5.1. Durée de vie du réseau

L'énergie est une très rare ressource qui doit être géré de façon judicieuse afin d'étendre la durée de vie du réseau, cette dernière c'est l'intervalle de temps qui sépare l'instant de déploiement du réseau de l'instant où l'énergie du premier nœud s'épuise. Selon l'application, la durée de vie exigée pour un réseau peut varier entre quelques heures et plusieurs années.

I.5.2. La tolérance aux pannes

La défaillance ou le blocage des nœuds dans un réseau de capteurs peut être engendrés par plusieurs causes, notamment l'épuisement d'énergie, l'endommagement physique, ou les interférences liées à l'environnement.

La propriété de tolérance aux pannes est définie par l'habilité du réseau à maintenir ses fonctionnalités sans interruptions provoquées par la panne des capteurs. Elle vise donc à minimiser l'influence de ces pannes sur la tâche globale du réseau.

I.5.3. Facteur d'échelle

Le nombre de nœuds déployés pour une application peut atteindre des milliers. Dans ce cas, le réseau doit fonctionner avec des densités de capteurs très grandes. Un nombre aussi important de nœuds engendre beaucoup de transmissions inter nodales et nécessite que la station de base soit équipée de mémoire suffisante pour stocker les informations reçues.

I.5.4. Ressources limitées

En plus de l'énergie, les nœuds capteurs ont aussi une capacité de traitement et de mémoire limitée. En effet, les industriels veulent mettre en œuvre des capteurs simples, petits et peu coûteux qui peuvent être achetés en masse.

I.5.5. Bande passante limitée

Afin de minimiser l'énergie consommée lors de transfert de données entre les nœuds, les capteurs opèrent à bas débit. Typiquement, le débit utilisé est de quelques dizaines de Kb/s. Un débit de transmission réduit n'est pas handicapant pour un réseau de capteurs où les fréquences de transmission ne sont pas importantes.

I.5.6. Topologie dynamique

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

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

I.5.7. Absence d'adressage fixe des nœuds

Les nœuds dans les réseaux sans fil classiques sont identifiés par des adresses IP. Cependant, cette notion n'existe pas dans les RCSF. Ces derniers utilisent un adressage basé sur l'attribut du phénomène capté, on parle donc de l'adressage basé-attribut. En effet, les requêtes des utilisateurs ne sont pas généralement destinées à un seul nœud, mais plutôt, à un ensemble de nœuds identifiés par un attribut. Par exemple, identifier un ensemble de nœuds par « les nœuds qui captent le volume du CO2 dépassant 0,0375 % dans l'atmosphère».

I.5.8. Coût de fabrication

Le coût de production d'un seul micro-capteur est très important pour l'évaluation du coût global du réseau, si ce dernier est supérieur à celui nécessaire pour le déploiement des capteurs classiques, l'utilisation de cette nouvelle technologie ne serait pas financièrement justifiée. Par conséquent, réduire le coût de production jusqu'à moins de 1$ par nœud est un objectif important pour la faisabilité de la solution des réseaux de capteurs sans fil [8].

I.6. Consommation d'énergie dans les RCSF

La première étape dans la conception de système énergétique de capteurs consiste à analyser les caractéristiques de consommation d'énergie d'un nœud de capteur sans fil. Cette analyse systématique de l'énergie d'un nœud capteur est extrêmement importante pour identifier les problèmes dans le système énergétique pour permettre une optimisation efficace.

L'énergie consommée par un capteur est principalement due aux opérations suivantes : la détection, le traitement et la communication [9].

Un capteur peut par exemple éteindre son interface de réception dès qu'il reçoit un message d'un nœud voisin afin d'éviter la réception des messages dupliqués. De plus, quand un nœud possède un niveau d'énergie faible, il peut diffuser un message aux autres capteurs pour ne pas participer aux tâches de routage, et conserver l'énergie restante aux fonctionnalités de captage [10].

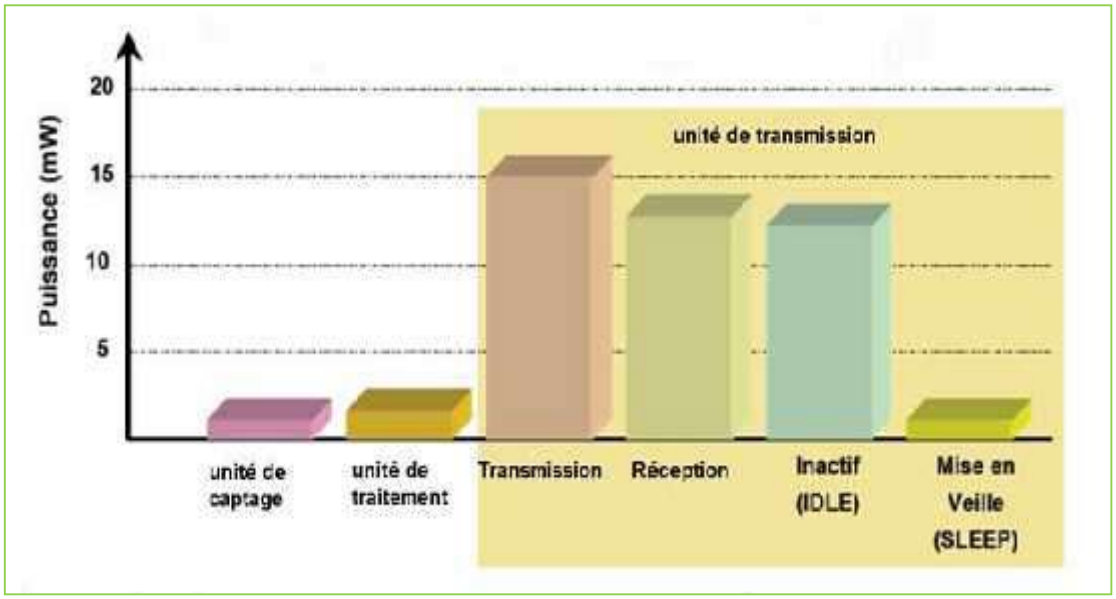


Figure I.4. *Consommation d'énergie dans un nœud capteur*

On remarque que l'unité de transmission est très gourmande en consommation d'énergie. En effet la transmission d'un seul bit sur une distance de 100m consomme approximativement la même énergie que l'exécution de 3000 instructions. Toutefois, la mise en veille de la radio réduit de manière significative cette consommation.

I.6.1. Energie de capture

Les sources de consommation d'énergie des nœuds pour les opérations de détection ou de capture sont : l'échantillonnage, la conversion analogique-numérique, le traitement de signal et l'activation de la sonde de capture.

I.6.2. Energie de traitement

L'énergie de traitement est composée de deux sortes d'énergie, l'énergie de commutation et l'énergie de fuite. L'énergie de commutation est déterminée par la tension d'alimentation et la capacité totale commutée au niveau logiciel (en exécutant un logiciel).
Par contre, l'énergie de fuite cor répond 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.

I.6.3. Energie de communication

L'énergie de communication se décline en trois parties : l'énergie de réception, l'énergie de l'émission et l'énergie en état de veille. 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. Notons que l'énergie de communication représente la portion la plus grande de l'énergie consommée par un nœud capteur.

I.6.4. Techniques de minimisation de la consommation d'énergie

Dans les réseaux ad hoc, la consommation de l'énergie a été considérée comme un facteur déterminant mais pas primordial car les ressources d'énergie peuvent être remplacées par l'utilisateur. Ces réseaux se focalisent plus sur la QoS (Quality of Service) que sur la consommation de l'énergie. Par contre, dans les réseaux de capteurs, la consommation d'énergie est très importante puisque généralement les capteurs sont déployés dans des zones inaccessibles. Ainsi, il est difficile voire impossible de remplacer les batteries après leur épuisement. De ce fait, la consommation d'énergie au niveau des capteurs a une grande influence sur la durée de vie du réseau.

Après la description des principales causes de consommation d'énergie dans les RCSF, 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 soit au niveau de la couche réseau. Le schéma suivant donne un aperçu global de ces mécanismes :

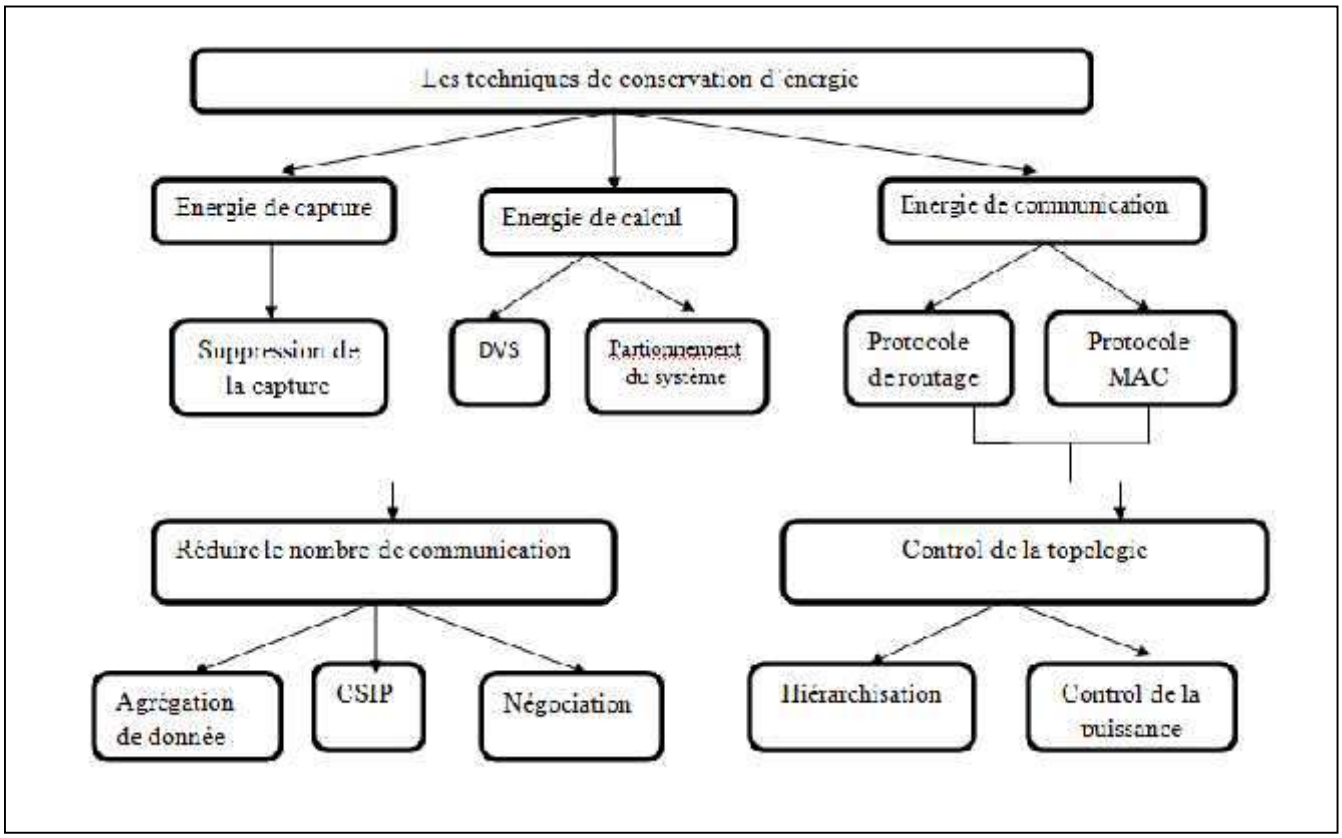


Figure I.5. *Les techniques de conservation d'énergie.*

I.7.Applications des RCSF

Le domaine d'applications des RCSF est très varié. Ces réseaux sont présents dans le domaine militaire, sécurité civile, médical, transport, environnemental,…etc

- **Applications militaires :** Les RCSF permettent la détection des mouvements ennemis sur un champ de bataille ou bien de tracer leurs mouvements. De façon analogue, ils peuvent permettre la détection d'intrusion ou de cambriolage dans le domaine de la sécurité civile.

- **Applications environnementales :** Les réseaux de capteurs permettent la détection des incendies, la surveillance des catastrophes naturelles, la détection des pollutions et le suivi des écosystèmes.

- **Applications agricoles :** Les capteurs peuvent être semés avec les graines. Ainsi, les zones sèches seront facilement identifiées et l'irrigation sera donc plus efficace et économique.

- **Applications médicales :** Les RCSF permettent par exemple la surveillance de l'état de santé des patients qu'ils soient au sein de l'établissement ou même ailleurs, et ce en permanence.

- **Applications de transport :** Les RCSF permettent la surveillance des réseaux ferroviaires.

- **Applications domestiques :** En plaçant, sur le plafond ou dans le mur, des capteurs, on peut économiser l'énergie en gérant l'éclairage ou le chauffage en fonction de la localisation des personnes. [11]

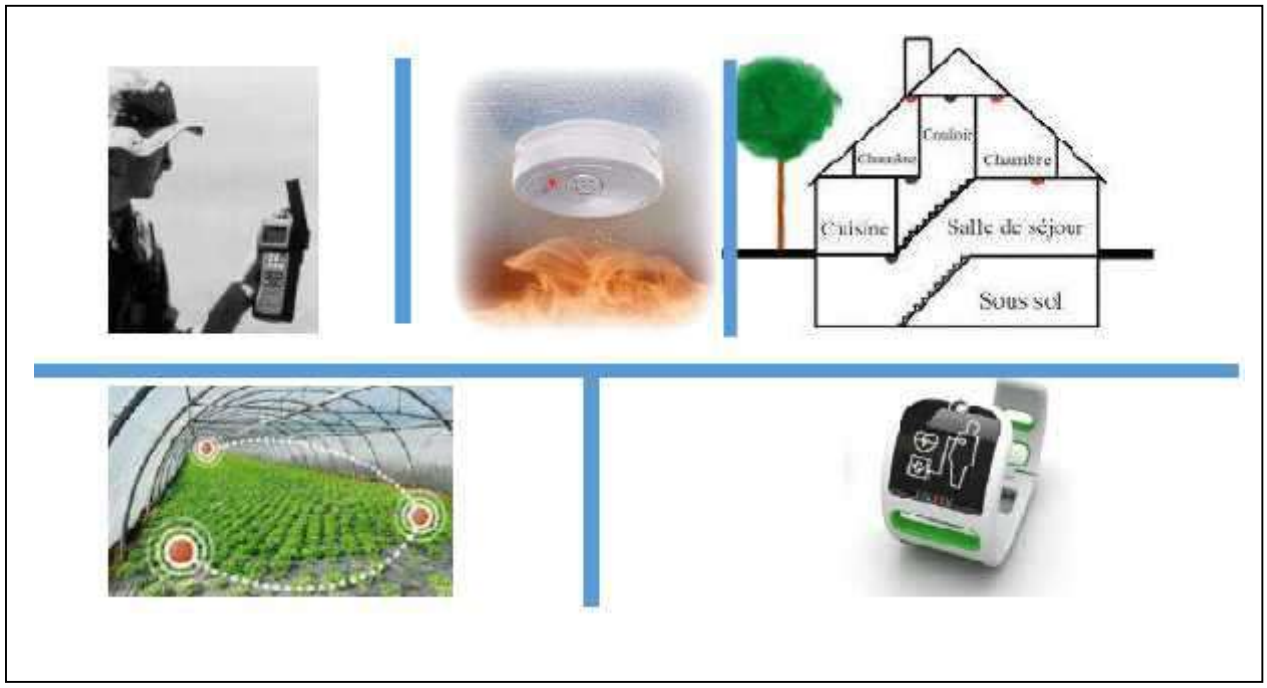


Figure I.6. *Quelques domaines d'application pour les RCSF*

I.8.conclusion

Les réseaux de capteurs sans fil présentent un intérêt considérable et une nouvelle étape dans l'évolution des technologies de l'information et de la communication. Cette nouvelle technologie suscite un intérêt croissant étant donné la diversité de ces applications : santé, environnement, industrie militaire etc...

Cependant, la réalisation des réseaux de capteurs doit satisfaire quelques contraintes parmi lesquelles on peut citer : la consommation d'énergie, le changement de topologie, la densité importante des nœuds réseaux... Ces contraintes exigent qu'une auto-organisation des réseaux de capteurs soit mise au point. Pour maîtriser l'effet de ces facteurs sur la consommation énergétique, la communauté de recherche est en train de développer et de raffiner plusieurs techniques de conservation d'énergie.

Nous nous intéressons, Dans le deuxième chapitre, à la présentation des protocoles de routage hiérarchique dans les réseaux de capteurs sans fil à station de base statique et les techniques de clusterisation qui permet d'économiser l'énergie totale consommé par le réseau et d'augmenter la durée de vie ainsi que la performance d'autres facteurs comme les paquets de messages reçu par la station de base et la stabilité du réseau de capteur**.**

Chapitre II

Routage Hiérarchique dans les Réseaux De Capteurs Sans Fil

II.1. Introduction

L'objet de ce chapitre est l'étude des protocoles de routage hiérarchique adopté par les réseaux de capteurs sans fil à station de base fixe.

Pour améliorer les réseaux de capteurs sans fil et garantir plus d'économie en énergie, la hiérarchisation virtuelle des réseaux peut être adoptée. Cela consiste à regrouper les nœuds en groupes dits « Clusters » où chaque cluster est représenté par un seul nœud appelé « Cluster Head ». Nous pouvons distinguer deux types de sélection de cette hiérarchisation: le premier est physique, où le choix du représentant est basé sur les capacités physique du capteur (plus de mémoire, plus de capacité de stockage,…etc.); dans ce cas, on parle d'un réseau de capteurs hétérogènes. Dans le deuxième type, des capteurs physiquement identiques sont utilisés, et le choix du Cluster Head se base sur plusieurs critères; à savoir, l'identifiant, la distance au puits, l'énergie résiduelle,…etc.

II.2. Routage hiérarchique

Les méthodes de routage hiérarchique ont des avantages spéciaux liés au passage à l'échelle et à l'efficacité dans la communication. Par exemple, elles sont utilisées pour exécuter un routage avec économie d'énergie dans les RCSF. Dans une architecture hiérarchique, des nœuds à grande énergie peuvent être employés pour traiter et envoyer l'information, alors que des nœuds à énergie réduite peuvent assurer la capture à proximité de la cible. La création des clusters et l'assignation des tâches spéciales aux têtes de clusters peuvent considérablement renforcer le passage à l'échelle, l'augmentation de la durée de vie et l'efficacité énergétique du système global. Le routage hiérarchique est une manière efficace de réduire la consommation énergétique dans un cluster en exécutant l'agrégation et la fusion de données afin de diminuer le nombre de messages transmis à la station de base. [12]

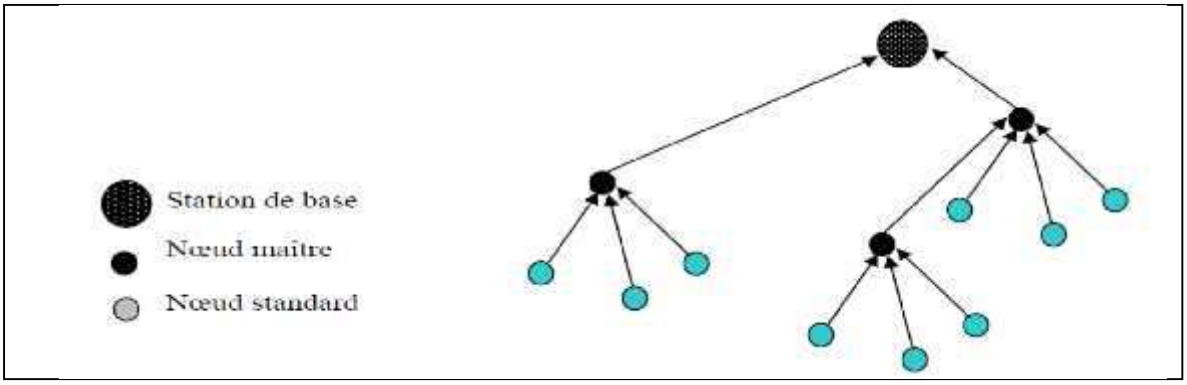


Figure II.1. *Le routage hiérarchique*

II.3. Caractéristiques d'un protocole hiérarchique

Un protocole de routage hiérarchique doit spécifier plusieurs tâches que nous pouvons classer selon:

II.3.1. L'algorithme de Clustering utilisé

Plusieurs algorithmes sont proposés dans la littérature, un classement en trois types de ces algorithmes est proposé dans [13] en se basant sur le type d'algorithme de contrôle exécuté:

- **Centralisé :** l'algorithme exécuté sur le nœud qui a une vue globale du réseau, généralement, au niveau du puits. Ce type d'algorithme est peu utilisé à cause de l'overhead généré suite aux transmissions exécutées pour pouvoir garder la vue globale du réseau et la dynamique de la topologie qui fait que cette vue soit très variable. La vue obtenue par un nœud peut ne plus être valide à l'instant où le nœud la récupère à cause des pannes et des imprévisibles de déconnexions.
- **Distribué :** l'algorithme est exécuté en coopération au niveau de chaque nœud du réseau. La synchronisation des tâches de contrôle est obtenue en échangeant des messages de contrôle. Ce type d'algorithmes minimise la communication relative à la sauvegarde de la vue globale du réseau, car chaque nœud décide, indépendamment des autres, de son rôle et fait connaitre sa décision par l'envoi de message. Cependant, l'efficacité de ces algorithmes dépend de la taille et du nombre de ces messages de synchronisation.
- **Géographique:** l'algorithme de la tâche de contrôle à exécuter par un nœud dépend de sa position géographique.

II.3.2. La réélection des Cluster Heads

Par sa fonction, le nœud Cluster Head consomme plus d'énergie par rapport aux autres nœuds du réseau. Le Cluster Head coordonne le fonctionnement des nœuds membres de son cluster et agrège leurs données, de ce fait, il dissipe plus d'énergie créant un déséquilibre de la distribution de l'énergie sur le réseau. Pour palier à ce problème, une rotation de ce rôle de Cluster Head est organisée au sein du cluster ou bien au sein du réseau entier. La rotation est effectuée périodiquement ou bien en fonction de la consommation de l'énergie du nœud Cluster Head [13].

II.3.3. La nature des clusters générés

Les algorithmes de Clustering utilisés peuvent générer deux types de cluster: des clusters disjoints et des clusters interconnectés (Overlapped). Dans le premier type, un nœud ne peut appartenir qu'à un et un seul cluster à la fois (le cas le plus fréquent); sauf que pour des applications spécifiques telles que le routage inter-cluster, la localisation et la synchronisation des nœuds; les clusters interconnectés sont utilisés. Ce type de Clustering permet aux nœuds d'appartenir à un ou plusieurs clusters à la fois.

II.3.4. La communication intra-cluster

La communication entre le nœud Cluster Head et les autres nœuds membres du cluster peut se faire, soit en un seul saut soit ou en plusieurs sauts. Dans le cas d'une communication direct (en un saut), les paquets de données sont envoyés directement au ClusterHead. Cela suppose que les nœuds membres sont capables d'atteindre le CH en utilisant une transmission assez puissante pour une bonne réception de données. Ce type de communication engendre une consommation importante d'énergie si la distance entre le CH et les nœuds est grande. Pour réduire la consommation de l'énergie, une communication en plusieurs sauts de petites distances est utilisée, dans ce cas chaque membre du cluster envoie ses données au plus proche membre de son cluster jusqu'à l'aboutissement au CH. Des communications de type « Unicast» sont souvent utilisées pour réduire le nombre de collisions. On trouve aussi des techniques employées au niveau MAC pour garantir un accès équitable et sans erreurs, à savoir, CDMA (Code Division Multiple Access) en utilisant un code pour chaque cluster, TDMA (Time Division Multiple Access) en allouant pour chaque nœud du cluster un temps spécifique (dit Frame) pour envoyer ses données, ou bien, FDMA (Frequency Division Multiple Access) où

chaque nœud utilise une fréquence spécifique pour l'envoi de données[14].

II.3.5. La communication inter-cluster

Les Cluster Heads communiquent avec la (les) station(s) de base soit directement, soit en deux ou plusieurs sauts via des nœuds appelés généralement des « Nœuds Gateway ». Ces nœuds peuvent être des CH ou bien des nœuds membres d'un cluster. L'utilisation de la communication en multi-sauts permet de réduire la consommation d'énergie et d'augmenter la scalability du réseau.

II.3.6. Le niveau d'agrégation de données

Selon le type des capteurs utilisés, l'agrégation de données peut se faire à chaque nœud du réseau ou bien uniquement au niveau des Cluster Heads. L'agrégation des données permet de réduire la taille des données échangées entre les nœuds, et par conséquence réduire l'énergie dépensée. Plusieurs techniques d'agrégation sont utilisées à savoir des fonctions élémentaires comme la somme, la moyenne, l'écart type,…etc. ou bien des fonctions plus complexes spécifiques aux applications utilisées.

II.4. Quelque protocole hiérarchique

Plusieurs protocoles hiérarchiques sont décrits dans la littérature (LEACH ,SEP, PEGASIS, DEEC…), nous allons nous interresser au plus référencés ; le protocole de routage hiérarchique et d'auto-organisation (LEACH):

II.4.1. Protocole d'auto-organisation LEACH

Le protocole LEACH est le plus populaire des protocoles de routage hiérarchique, il utilise un algorithme distribué ou chaque nœud décide d'une manière autonome s'il sera Cluster Head ou non en calculant aléatoirement une probabilité ***pu*** et en le comparant a un seuil ***T(u)***; puis, il informe son voisinage de sa décision. Chaque nœud non Cluster Head décide du cluster à joindre en utilisant un minimum d'énergie de transmission.

L'algorithme se déroule en plusieurs ronds et pour chaque rond, une rotation du rôle du Cluster Head est initie selon la probabilité ≪ *pu* ≫ choisie et comparée à la formule suivante du seuil: [12]

$$T(u)=\begin{cases}\dfrac{P}{1-P\left[r*m\quad\left(\frac{1}{P}\right)\right]} & S\ n\in G\\ 0 & S\end{cases} \qquad \textbf{(II.1)}$$

Ou :

p: le pourcentage des CHs sur le réseau (généralement 5%);

r: numéro du round en cours;

G: l'ensemble des nœuds qui n'était pas CH dans les (1/***p***) rounds précédentes;

La figure II.2 represente le pourcentage (Probabilité) d'étre un cluster- head en fonction de nombre de nœuds d'un réseau de capteurs déployés sur une surface carrée de 100*100 (m).

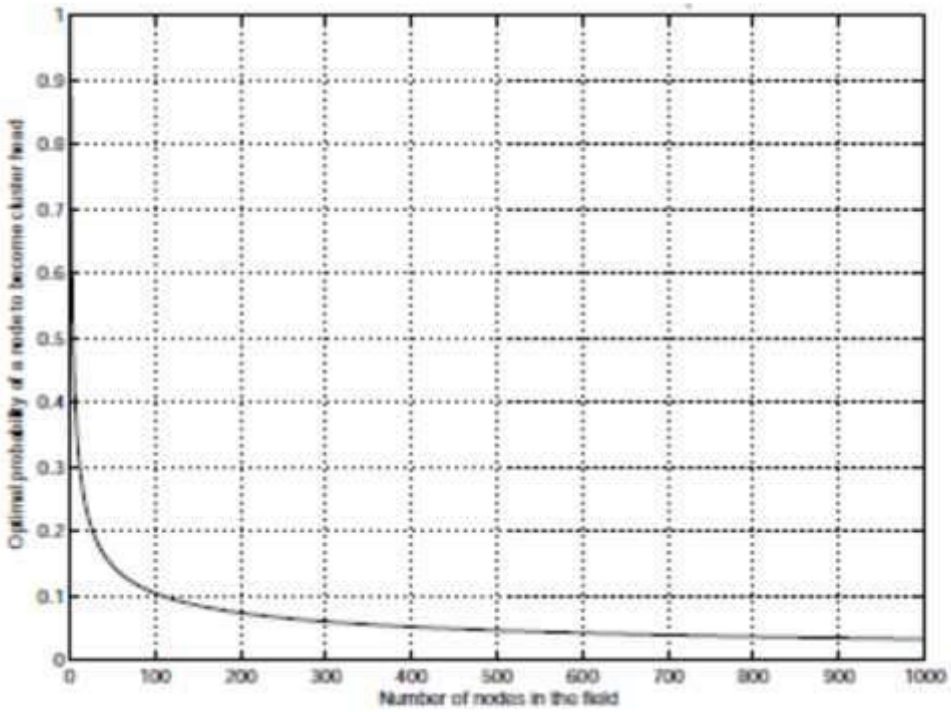


Figure II.2. *Probabilité Optimale*

II.4.1.1 Le modèle énergétique

Un capteur utilise son énergie pour réaliser trois actions principales : l'acquisition, la communication et le traitement des données [15].

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

$$E_T(K,d) = \begin{cases} E_e * K + \varepsilon_f * K * d^2 & si\ d \le d_0 \\ E_e * K + \varepsilon_0 * K * d^4 & si \end{cases} \qquad (II.2)$$

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

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

$$E_R(K) = E_e * K \qquad (II.3)$$

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.

$$d_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon_{fs}}{\varepsilon_0}}$$

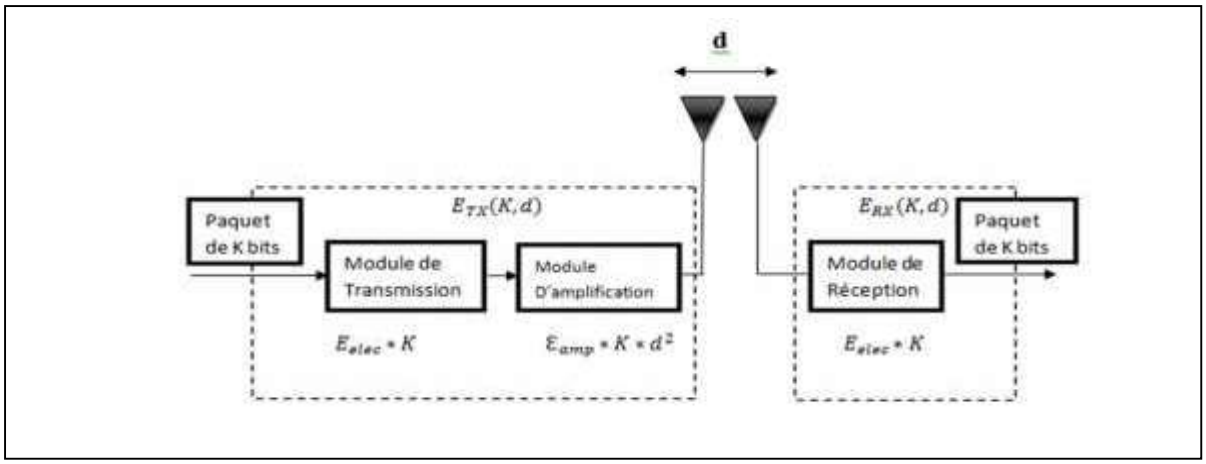


Figure II.3. *Modèle de consommation d'énergie pour la communication*

Traitement des données : L'énergie consommée pour les opérations de calculs est beaucoup plus faible que l'énergie de communication. Un exemple est cité dans, 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.4.1.2.Métriques utilisées

Pour analyser les performances du protocole de routage hiérarchique LEACH, les métriques suivantes sont optées:

Période de stabilité: C'est la durée jusqu'à la mort du premier nœud du réseau.

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.

La quantité d'information : C'est la quantité des données (messages) reçus par la station de base. [7]

II.4.1.3.Description de l'algorithme LEACH

Chaque cluster-head alloue une durée bien déterminé à un voisinage pour établir un lien de communication, d'où ces nœuds peuvent alors passer en mode endormi pendant le reste du temps. Une fois que les clusters sont fixés, ces derniers sont appelés à consommer beaucoup d'énergie, ce qui va engendrer la mort de ces nœuds. Pour éviter ce grave problème, LEACH utilise la notion de cycles (Rond). Au début de chaque cycle, chaque nœud doit décider s'il doit être sélectionné comme un cluster en se basant sur un facteur probabiliste et sur le fait qu'il n'était pas cluster-head dans les cycles antérieurs, ou bien il doit joindre un cluster. Ainsi ce protocole dynamique permet de réduire énormément la perte d'énergie causée par un statique clustering et permet alors d'étendre la durée de vie de chaque nœud.

L'objectif de protocole LEACH est d'optimiser la consommation d'énergie afin d'assurer une durée de vie plus longue du réseau d'une part et d'autre part il répartit la charge entre les nœuds de telle sorte que la différence entre la mort du premier et du dernier soit réduite.

LEACH est considéré comme étant le premier protocole de routage hiérarchique basé sur les clusters.

L'idée est de former des clusters de nœuds capteurs en se basant sur la puissance du signal reçu et d'employer le cluster-head local comme routeur vers la station de base. Cela économiserait de l'énergie puisque seul les cluster-head s'effectueront une transmission vers le puits. Le nombre optimal de cluster-heads dans un réseau de capteurs est de 5% par rapport au nombre total de nœuds. Tous les processus de données tel que la fusion et l'agrégation sont locaux aux clusters.

Le cluster-head est élu périodiquement en fonction de son niveau d'énergie pour équilibrer la consommation d'énergie des nœuds.

LEACH est totalement distribué et n'a besoin d'aucune connaissance globale du réseau. Cependant il utilise un routage à saut unique où chaque nœud peut transmettre directement au cluster-head Mais il n'est pas applicable aux réseaux qui sont déployés sur une grande surface .

De plus, le clustering dynamique ajoute une grande sur charge comme le changement des cluster-heads ce qui peut diminuer le gain en énergie. [12]

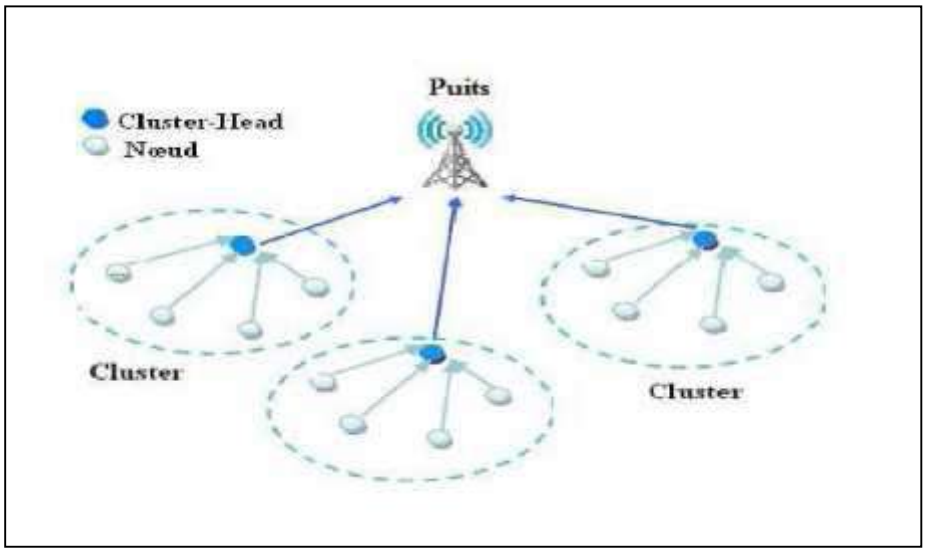


Figure II.4. *Routage hiérarchique basé sur le clustering*

II.4.2. technique multi saut

Plusieurs auteurs ont proposé d'utiliser le routage multi-sauts pour relayer les données à la station de base. Un des premiers travaux est la transmission énergétique minimale [14]. Les auteurs ont estimé qu'un paquet avec une distance de transmission de plus de 2*ρ – ½ (ρ est la densité dans la zone intermédiaire), doit être acheminé par le biais d'un nœud intermédiaire.

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-saut peut 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.

II.4.2.1. Le modèle énergétique

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

$$E_T = \beta(E_e \cdot K + \varepsilon_f \cdot K \cdot d^2) \quad \text{si } d \le d_0 \qquad \textit{(II.4)}$$

β: Le nombre de cluster head

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

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

$$E_R(K) = n(E_e \quad \square K) \qquad \textit{(II.5)}$$

n : le nombre de nœud

II.4.3. technique double saut

Ce technique adoptant le protocole LEACH permet aux CH de transmettre les données en deux saut vers la station de base en outre un rayon de connectivité R autour de la BS, et choisit un chemin optimal qui utilise moins d'énergie pour la transmission. Cette technique est un cas particulier du technique multi-saut. (n=2) [17].

II.4.4 Protocole d'auto-organisation SEP (Stable Election Protocol)

Dans [18] les auteurs proposent SEP comme un nouveau protocole d'auto-organisation efficace en consommation d'énergie pour les réseaux de capteurs hétérogène (composé de nœuds normaux et de nœuds avancés).

SEP est un algorithme basé sur les groupes (cluster) [19]. Ce protocole est similaire à LEACH, dans le quel les cluster-heads de clusters élus collectent les données à partir de tous les nœuds capteurs appartenant à leur groupe, agrègent les données rassemblées par des procédures de fusion, et transmettent ces données directement à la station de base.

Les cluster-heads de groupes élus demeurent ainsi pour une période de temps appelée tour « round ». Au début de chaque tour, chaque nœud détermine la possibilité d'être un cluster-herd (chef) de cluster pendant la période en cour, s'il décide de l'être, il annonce sa décision à tous ses nœuds voisins. Les autres nœuds qui décident de ne pas être un cluster-head de cluster, se joignent à l'un des cluster-head élus après avoir reçu leur décision.

Les cluster-heads de grappes (clusters) sont sélectionnés périodiquement en se basant sur l'énergie résiduelle initiale du nœud, et comme le réseau hétérogène est composé de deux types de nœuds : **m*n** nœuds avancés à énergie initiale est égale à E_0 **(1+a),**

(1-m)*n nœuds normaux à énergie initiale est égale à E_0, **SEP** utilise la même stratégie que LEACH pour l'organisation de réseau, mais adopte une approche différente pour l'élection

des cluster-heads. Durant cette étape [20], SEP utilise deux pourcentages des cluster-heads sur le réseau [21]:

Un pourcentage pour les nœuds avancés P_{ADV}

Un pourcentage pour les nœuds normaux P_{NOR},

Avec : $P_{NOR} = P_{Opt} / (1+a*m)$ *(II.6)*

$$P_{ADV} = P_{Opt} *(1+a) / (1+a*m) \quad (II.7)$$

Donc l'objectif visé par le protocole SEP est : Les nœuds avec une grande énergie résiduelle à plus de chance de s'élire cluster-head **($P_{NOR} < P_{ADV}$).**

II.5. Architectures des réseaux de capteurs sans fil

II.5.1. *Architecture à puits fixe et nœuds capteurs fixes*

Dans cette architecture classique (Figure II.5.) les nœuds capteurs et le puits sont fixes. Les données captées sont relayées au puits fixe.

Ce type d'architecture est caractérisé par une forte densité afin d'avoir toujours au moins un chemin entre deux nœuds quelconques du réseau. Cette forme de collecte de données centralisée peut raccourcir la durée de vie de réseau. En effet, il a été démontré dans les travaux ultérieurs [22], que l'architecture à puits ou/et collecteur fixe pose le problème de l'épuisement d'énergie des nœuds relais voisins du collecteur fixe. Le relayage de données à un puits fixe peut causer une consommation d'énergie non uniforme sur l'ensemble du réseau. Et on peut avoir une surcharge au niveau des nœuds relais voisins du puits fixe et former ainsi, un goulot de congestion critique.

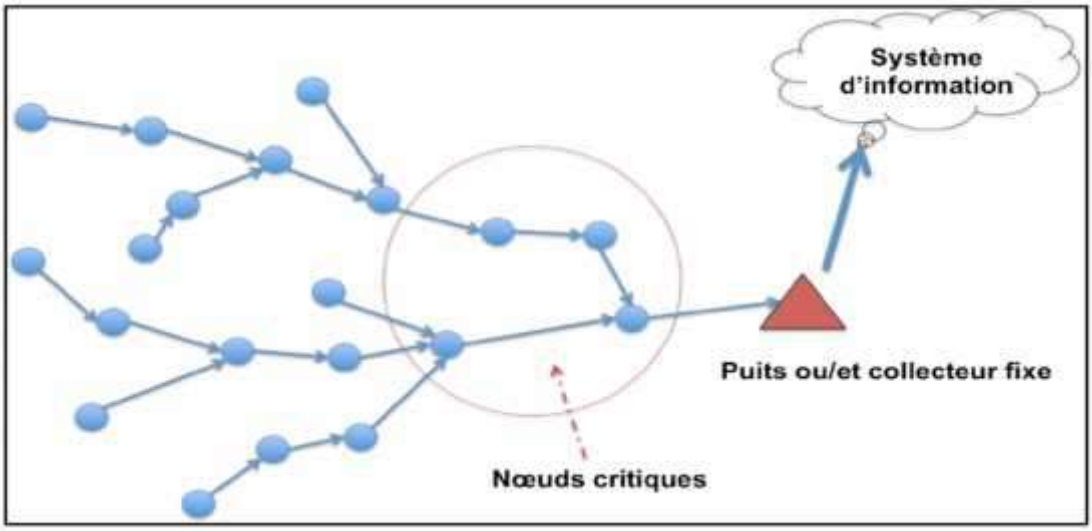


Figure II.5. *Architecture à puits fixe et nœuds capteurs fixes*

Comme type d'application environnementale utilisant ce type d'architecture, nous citons le projet :

Projet VOLCANO: Ce projet interdisciplinaire a mis en évidence le potentiel de l'exploitation des réseaux de capteurs dans la compréhension de l'activité volcanique à la surveillance des éruptions des volcans qui sont actifs et dangereux.

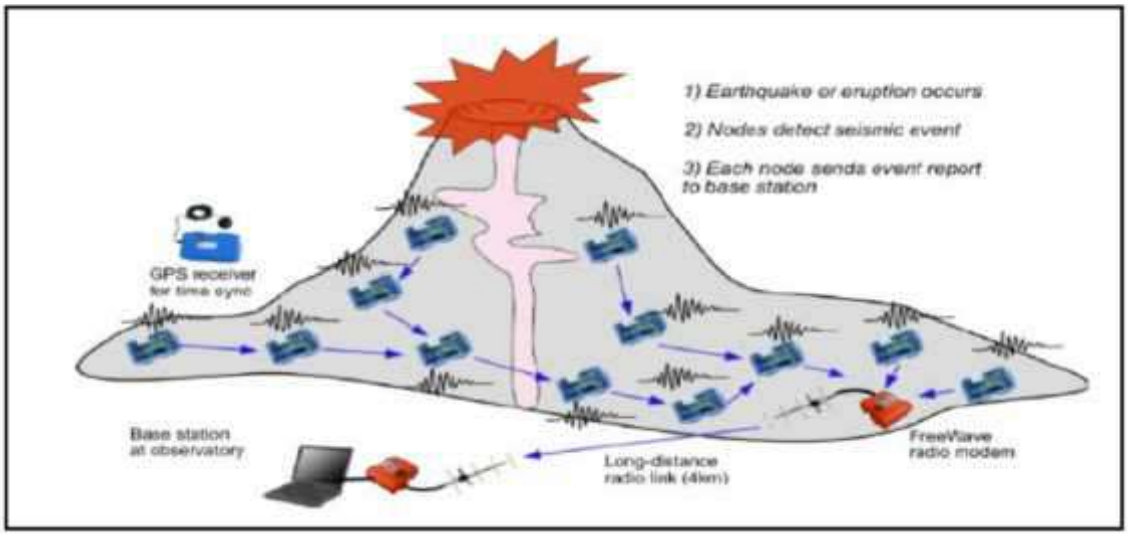


Figure II.6. *Architecture du réseau de capteurs dédié à la surveillance du volcan*

II.5.2. Architecture à puits statiques et nœuds capteurs mobiles

Dans ces dernières années, la mobilité des nœuds capteurs a été prise en compte par la communauté scientifique [22], Et une architecture dense n'est plus nécessaire pour assurer une totale couverture de captage de la zone à surveiller et une meilleure connectivité du réseau.

Comme exemple de projets utilisant ce type d'architecture où les nœuds capteurs bougent tandis que le puits est fixe, nous citons le projet CENWITS.

A travers ce projet, les auteurs ont développé un système d'assistance pour des secouristes dont l'objectif est de simplifier la localisation de randonneurs ou d'alpinistes. Ce système appelé CenWits (Figure II.8) est basé sur l'utilisation de capteurs portés par les randonneurs. Les capteurs enregistrent localement à intervalles de temps réguliers la position GPS de chacun des randonneurs.

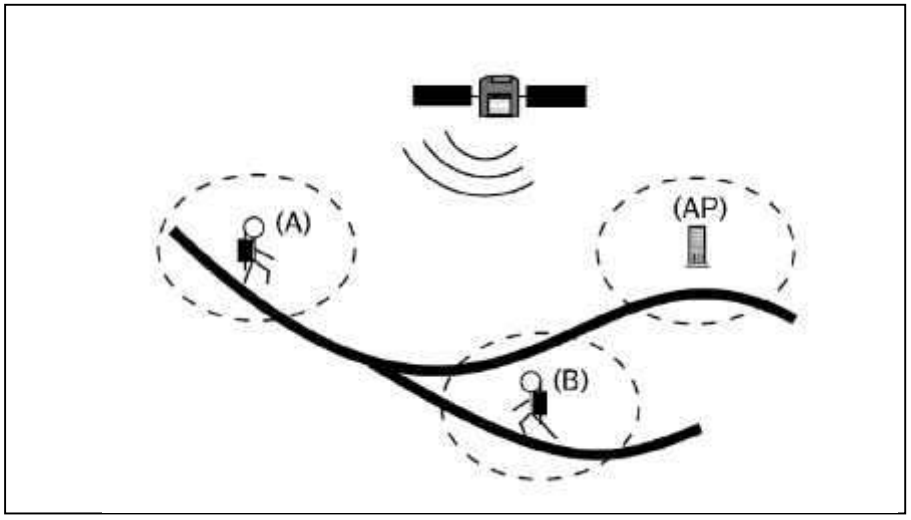


Figure II.7. *Représentation de l'infrastructure du système Cenwits*

II.5.3. Architecture à puits mobile et nœuds capteurs mobiles

Dans ce type d'architecture, la mobilité est considérée aussi bien au niveau du puits collecteur de données qu'au niveau des nœuds capteurs déployés sur la zone d'intérêt.

Comme type d'applications environnementales utilisant ce type d'architecture nous trouvons le projet de suivi des zèbres (ZebraNet) [22].

L'objectif de ce projet est de déployer des capteurs sur des Zèbres de la réserve de Sweet waters à MPALA en plein centre du Kenya.

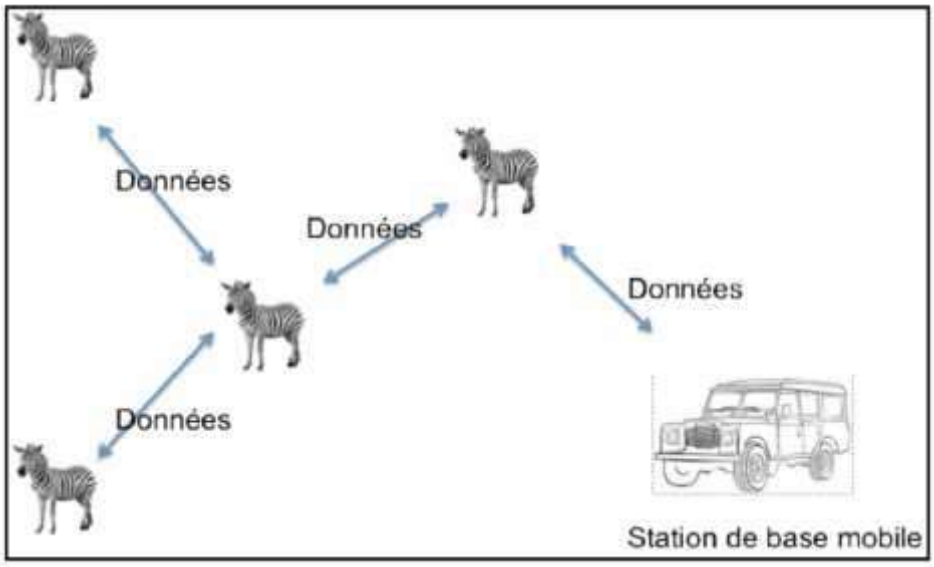


Figure II.8. *Architecture de collecte de données dans ZebraNet.*

II.5.4. Architectures à puits mobile et nœuds capteurs fixes

Ce type d'architecture représente une solution intéressante qui est l'utilisation d'agents mobiles omniprésents qui se déplacent d'une manière aléatoire ou contrôlée pour rassembler des données lorsqu'ils se rapprochent des nœuds capteurs fixes. Dans la littérature, ces agents mobiles sont appelés des MULEs (Mobile Ubiquitous LAN Extensions), ou puits mobiles ou encore collecteurs de données mobiles. Les éléments mobiles peuvent être des robots, des humains, des animaux ou des véhicules. Ces éléments mobiles forment une couche de transport de paquets intermédiaire entre les points d'accès et les nœuds capteurs fixes déployés. Ils transportent les informations récoltées jusqu'à un relai ou un centre de traitement de données. Leur mobilité prévisible peut être utilisée pour l'économie d'énergie. Le temps de passage de l'élément mobile peut être fixé selon un calendrier de visite prévu. Ainsi, les nœuds capteurs ne passent en mode de transmission de données que lors du contact de l'élément mobile.

- une couche composée de points d'accès chargés de récupérer les données portées par les éléments mobiles et les transmettre à la plateforme de traitement de données. Le positionnement des points d'accès peut être fait selon les besoins en connectivité et en économie d'énergie.
- une couche représentant les éléments mobiles dont la mobilité peut être contrôlée, prévisible ou non. Ils assurent la connectivité du réseau et lui offre souplesse et évolutivité à moindre coût.
- une couche contenant les nœuds capteurs fixes destinés à mesurer les valeurs physiques des phénomènes à observer.

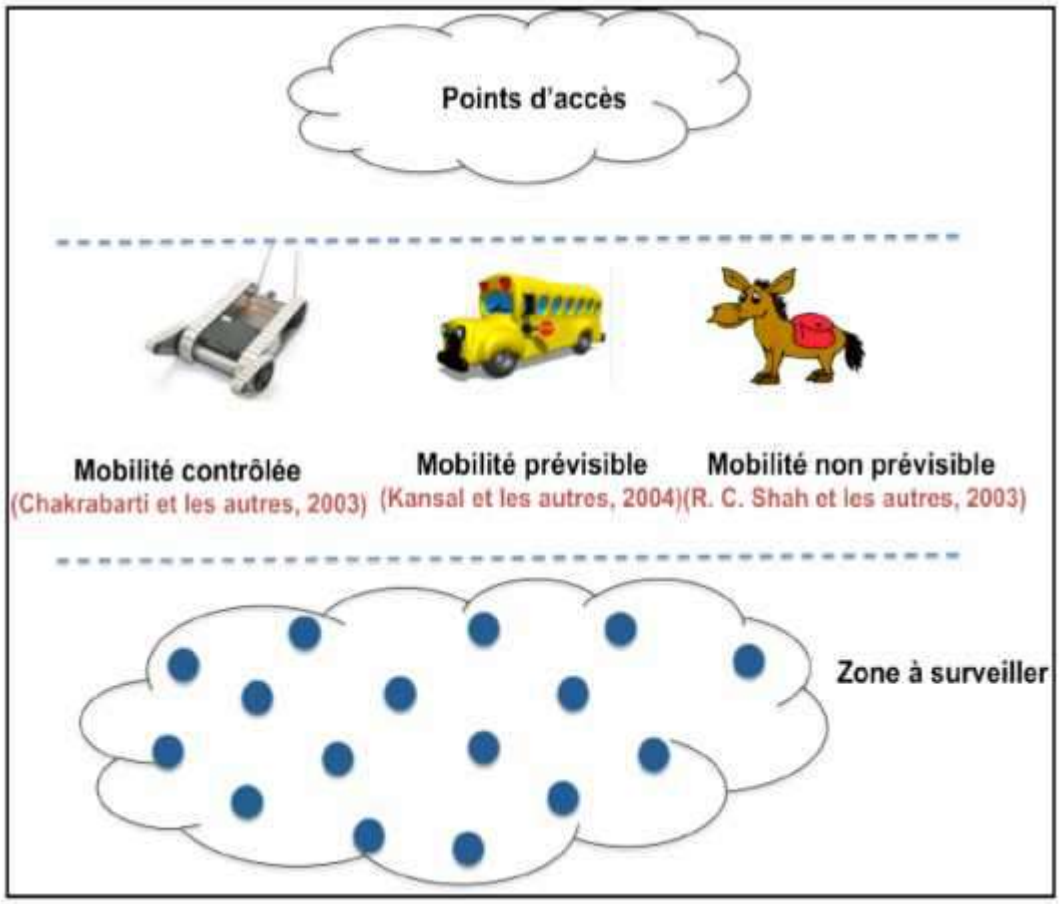


Figure II.9. *Schéma d'architecture à puits mobile et nœuds capteurs fixes*

Tableau II.1. *Tableau comparatif des différentes architectures utilisées*

Type d'architecture	Avantages	Inconvénients
A puits statique et nœuds capteur statique (Werner-Allen et al, 2006) (Padhy et al, 2005) (Mainwarning et al, 2002).	Facile à mettre en œuvre Protocoles de routage simples.	Pas d'équilibrage de charges, (Problèmes de nœuds goulots d'étranglement en voisinage du puits) Perte d'énergie a la retransmission des données.
A puits statique et nœuds capteurs mobiles (Handcock et al ., 2009) (Huang et al.,2005).	Communication a I-saut. Pas de problème de connectivite du réseau. Pas de pertes énergie du à la retransmission de donnée.	Risques d'isolement de puits, les nœuds mobiles doivent convergées vers le puits pour faire le transfère de donnée. Difficulté d'optimisation de déploiement des puits
A puits mobiles et nœuds capteur statiques (Shah et al., 2005) (Chakrabarti et al., 2003).	Equilibrage de charge Résout le problème de connectivité du réseau Transfert de données à 1- saut Pas de pertes d'énergie du à la retransmission des données	Problème liés a la gestion de mobilité (aléatoire, contrôlée prédictible) Temps de visite, durée de contact. Problème de synchronisation entre plusieurs puits mobiles.
A puits mobiles et nœuds capteurs mobiles (Juang et al., 2002).	Déploiement aléatoire Gain en consommation l'équilibrage de charge énergétique. Optimisation du routage diminution de délai le bout en bout	Problème liés à la gestion de mobilité (aléatoire, contrôlée, prédictible) du puits mobiles Temps de visite, durée de contact.

II.6. Conclusion

Le routage hiérarchique est un type particulier de routage de données dans les WSNs, Il vise à rendre les protocoles plus favorables en restant plus économique en consommation d'énergie.

Le Clustering est la technique la plus utilisée par les protocoles hiérarchiques. Il consiste à regrouper les nœuds dans des clusters avec un seul représentant qui permet l'agrégation de données de son cluster et le routage de ces informations vers la station de base.

LEACH adopte une agrégation de données au niveau des CHs pour réduire la taille des données transmises à la station de base, et par conséquent, il permet de consommer moins d'énergie.

Les chercheurs proposent différentes architectures des réseaux de capteurs sans fil qui améliorent aux mieux ces performances. Dans le chapitre suivant on adopte les protocoles de routage hiérarchique appliqués sur les réseaux de capteurs à station de base fixe et on considère l'***Architectures à puits mobile et nœuds capteurs fixes*** cité au paragraphe **(II.5.4.)** et par simulation on montre quelles performances peuvent être apportées au réseau de capteur on appliquant cette technique.

Chapitre III

Evaluation Des Protocoles D'auto-Organisation

III.1. Introduction

Le routage hiérarchique des données dans les RCSF, est une classe spécifique des protocoles de routage, elle englobe les solutions qui adoptent une restructuration du réseau physique en un système d'hiérarchie logique, visant l'optimisation de la consommation de l'énergie et d'augmenter la durée de vie du réseau; à titre d'exemples :le protocole de clustering et de routage de données LEACH.

Plusieurs solutions de routage hiérarchique sont présentées dans la littérature, chacune d'elle présente une technique différente pour minimiser la consommation de l'énergie sur l'ensemble du réseau. Néanmoins, des améliorations restent à apporter pour achever de meilleures performances.

L'objectif a été de concevoir une nouvelle technique aux protocoles de routage hiérarchique qui garantie une meilleure consommation en énergie.

La station de base peut être mobile. Autrement dit, nous pouvons imaginer un réseau de capteurs fixes déployé; la collecte des informations pourrait se faire lors du passage aléatoire d'une station de base mobile. Plusieurs choix peuvent être faits. La station peut passer par chaque capteur pour récupérer les informations, il s'agit alors simplement pour le capteur de transmettre ses données lorsqu'il détecte un puits à portée radio.

Les protocoles de routage hiérarchique vie au chapitre 2 utilisent généralement une station de base fixe située au centre du réseau de capteur et considèrent que c'est la position optimale qui apporte de meilleures performances au réseau de capteur. Les chercheurs proposent différentes architectures des réseaux de capteurs sans fil qui améliorent aux mieux ces performances.

On adopte les protocoles de routage hiérarchique et on les applique sur un réseau de capteur à station de base mobile et nœuds fixe. (**II.5.4. *Architectures à puits mobile et nœuds capteurs fixes) et voir par simulation sous MATLAB les performances que peut apporter cette technique.***

III.2. La Simulation dans les réseaux de capteurs sans fil

III.2.1. Besoins et limitation

A cause du coût élevé et de la complexité liée au déploiement et à la maintenance d'un réseau de capteurs par exemple pour le teste des différents solutions d'implémentation sur des plateformes réelles et sur des réseaux de centaines et milliers de nœuds n'est souvent pas possible pour des raisons de temps, de coût, de logistique, etc. Ceci explique pourquoi de plus en plus d'intérêt est accordé aux outils de simulations pour les WSN.

D'une manière générale, pour tester le bon fonctionnement d'un processus et évaluer ses performances, on utilise trois méthodes d'évaluation : la méthode analytique, la méthode par simulation et la méthode par mesure sur un système réel existant. Ces trois méthodes diffèrent par le coût, la durée et l'exactitude des résultats [22].

En ce qui concerne la méthode de simulation, il s'agit d'implanter un modèle du système à l'aide d'un programme de simulation adéquat. C'est une technique largement utilisée pour l'évaluation des performances. Elle présente l'avantage par rapport aux méthodes analytiques de traduire d'une manière plus réaliste le comportement du système à évaluer. On recourt généralement à la simulation pour évaluer un nouveau système ou bien pour des raisons de coûts d'évaluation par des mesures réelles. En plus, la simulation permet de visualiser les résultats sous forme de graphes faciles à analyser et à interpréter. Et c'est pour ces raisons que nous avons décidé d'utiliser la simulation pour tester le bon fonctionnement et évaluer les performances de notre algorithme de clustering avec station de base mobile et reste à choisir quel simulateur utiliser?

III.2.2. Le Logiciel MATLAB

Nous avons choisi le logiciel Matlab qui est le plus populaire des simulateurs dans le domaine académique. Sa force réside dans son code ouvert qui a permit aux chercheurs d'évaluer, à chaque fois, leurs contributions pour faire améliorer la recherche sur ce thème.

III.3. Les Scénarios de la simulation

Les simulations ont été réalisées avec une station de base mobile à trajectoire aléatoire et des nœuds de capteurs fixe, cette technique a été appliquée on adoptant les

protocoles de routages hiérarchiques de données afin de voir l'impacte de la mobilité sur la stabilité et la consommation d'énergie du réseau complet. Cette mobilité peut être imposée par la nature de l'application déployée, ou pour améliorer les performances du réseau en termes de connectivité, densité, durée de vie du réseau, etc.

III.4. La modélisation du réseau

L'évaluation des protocoles de routage de données ce fait sur un réseau à station de base mobile sur une trajectoire aléatoire et 100 nœuds fixe déployés sur une zone carré de surface (100*100) m^2.

Ce réseau est considéré:

- ✓ ***Homogène:*** Tous les nœuds du réseau sont semblable, en ce qui concerne, les caractéristiques techniques et l'énergie initiale (E0).

- ✓ ***Non uniforme:*** Les nœuds du réseau sont déployés d'une manière aléatoire sur la zone de captage.

- ✓ ***Statique:*** Les nœuds sont immobiles durant toutes les simulations. Et avec les hypothèses suivantes:

- Le rayon de transmission est supposé fixe et semblable pour tous les nœuds du réseau;
- La consommation de l'énergie lors de l'envoi et la réception d'un message est la même;
- La distance, séparant deux nœuds, peut être calculée selon la force du signal reçu;
- Les nœuds du réseau ne disposent d'aucun dispositif de géo-localisation;
- Tous les nœuds sont considérés comme sources de données avec un prélèvement et une dissémination périodique.

- ✓ ***Mobilité :*** La station de base est mobile sur une trajectoire aléatoire durant toute la durée de simulation et pour tous les protocoles.
- ✓ ***Hétérogénéité:*** un réseau hétérogène est constitué par deux types de nœuds à des caractéristiques techniques semblables.
  - Le 1er type : constitué par m*n nœuds appelés nœuds avancés (Advanced nodes).
  - 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*:**

- L'énergie initiale d'un nœud normal est égale à E_0.
- 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.

III.5. Paramètres d'algorithme

Pour l'analyse des résultats, nous avons adopté les Paramètres utilisé pour le protocole LEACH. Le tableau suivant résume l'ensemble des paramètres utilisés pour les simulations.

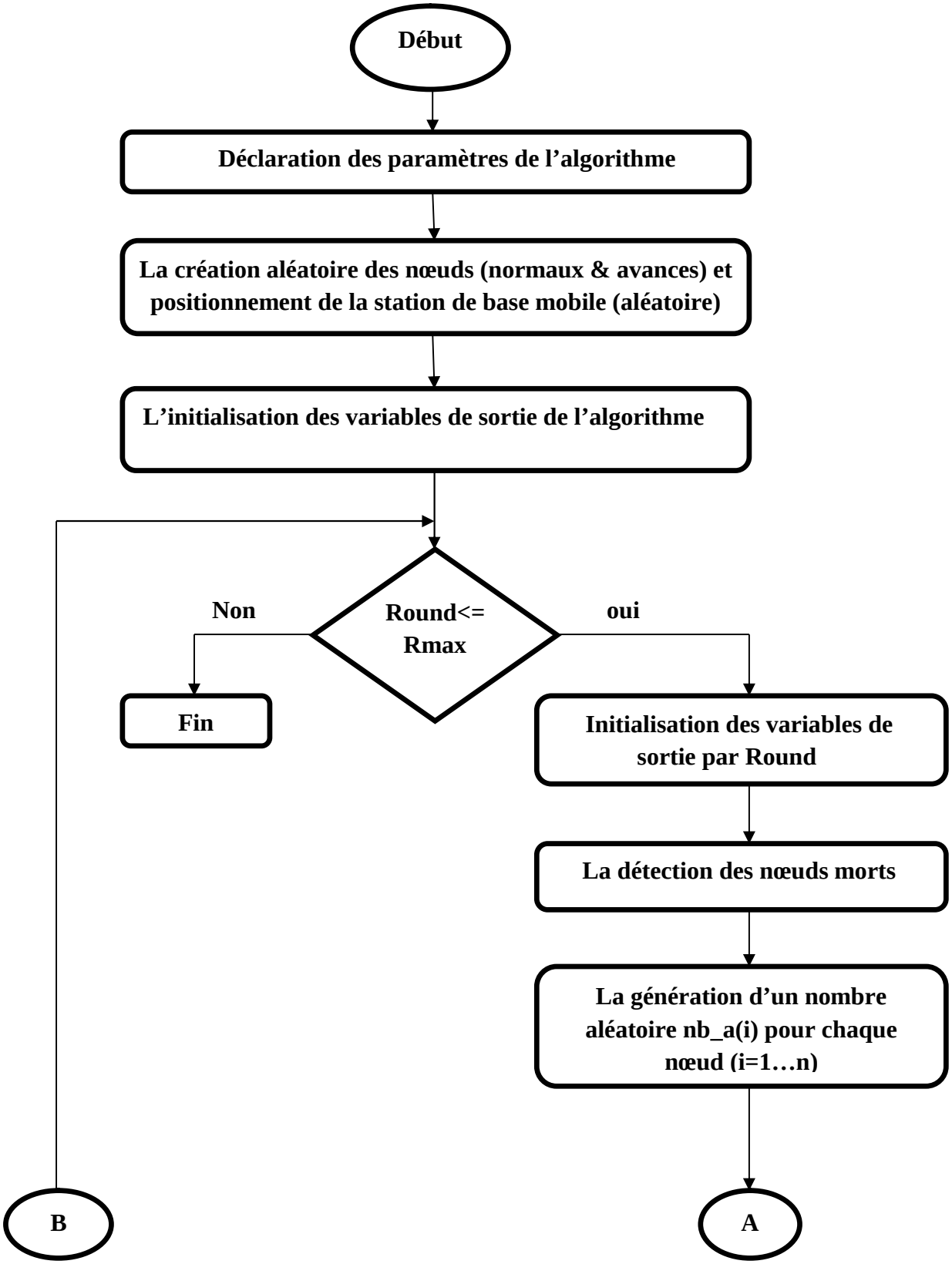
Tableau III.1. *Les paramètres des simulations [14]*

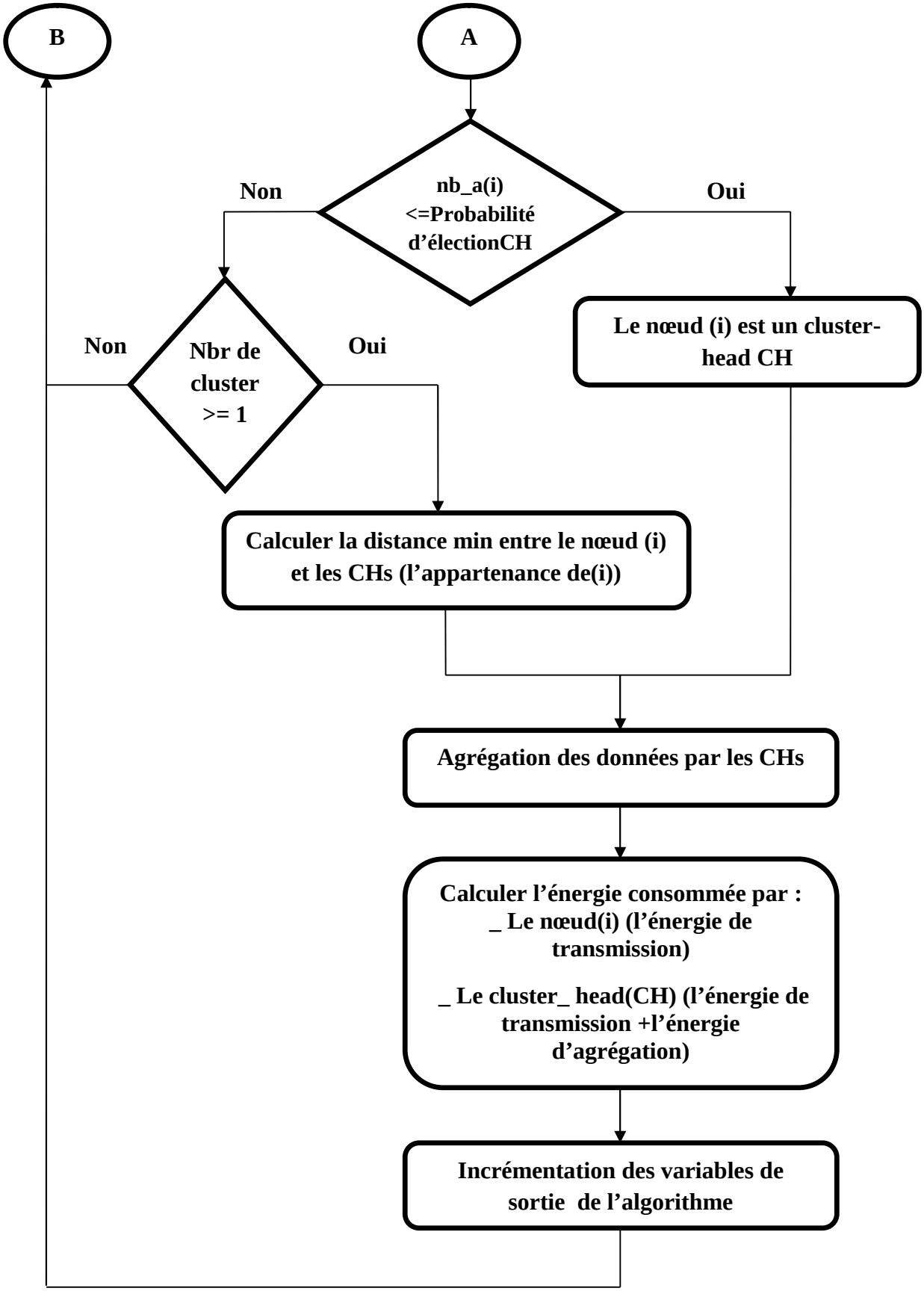
Les paramètres	Les valeurs
Le nombre des nœuds Totale (N)	100
Surface (L*L, L longueur du réseau)	100x100m^2
Le nombre de saut (K)	1, 2 ou plusieurs
L'énergie initiale pour un nœud	0.5 J
La position de la station de base	Mobile sur une trajectoire aléatoire
La taille des messages de données	4000 bit
L'énergie consommée pour la transmission « ETX »	50 nJ/bit
L'énergie consommée pour la réception « ERX »	50 nJ/bit
le facteur d'amplification du signal (Efs) pour « d<=d0 »	10 pJ/bit
le facteur d'amplification du signal(Emp) pour « d>d0 »	0.0013 pJ/bit
distance seuil (d_0)	87.705801930702930 m
L'énergie d'agréation (EDA)	5 nJ
l'énergie totale de system(E)	50 J
Le nombre des rounds 'tours' (r max)	2000 rounds
Valeur pour Les nœuds avancés (m,a)	m=20%, a=1
La probabilité d'être CH (P)	10%

III.5.1. Les Variables de sortie de l'algorithme

- La période de stabilité du réseau.
- Nombre de messages reçu par la station de base par tour.
- L'énergie consommée par tour.

III.5.2. L'organigramme De Protocole hiérarchique à station de base mobile




B
A
nb_a(i) <=Probabilité d'électionCH
Non
Oui
Le nœud (i) est un cluster-head CH
Non
Nbr de cluster >= 1
Oui
Calculer la distance min entre le nœud (i) et les CHs (l'appartenance de(i))
Agrégation des données par les CHs
Calculer l'énergie consommée par :
_ Le nœud(i) (l'énergie de transmission)
_ Le cluster_ head(CH) (l'énergie de transmission +l'énergie d'agrégation)
Incrémentation des variables de sortie de l'algorithme

III.6. Métriques d'évaluation

L'objectif des simulations faites est d'évaluer et analyser les protocoles de routage hiérarchique appliqué sur un réseau de capteur sans fil à station de base mobile sur une trajectoire aléatoire selon trois métriques : la stabilité du réseau, la consommation d'énergie totale par rond ou bien les coûts des communications ainsi que le nombre des paquets de données envoyés par les chefs de groupe à la station de base mobile.

- ✓ ***Stabilité du réseau :*** C'est la durée jusqu'à la mort du premier nœud du réseau.
- ✓ ***Cout des communications :*** C'est l'énergie totale consommée par tous les capteurs.
- ✓ ***Paquets reçu par la station de base mobile: (quantité d'information) :***C'est la quantité de données (messages) reçus par la station de base.

III.7. Résultats et analyses des simulations

Le but de ces simulations est de voir l'influence de la mobilité de la station de base sur les performances des différents protocoles de routage qui ont été déjà adopté par des réseaux de capteurs à station de base fixe.

Les résultats de simulation seront présentés par des courbes qui montrent l'évolution de la stabilité, l'énergie totale consommé par rond et la quantité des paquets de données envoyées à la station de base. Ces résultats seront comparés avec celles obtenu avec une station de base fixe située au centre du réseau de capteur.

Les simulations ont été faites pour un réseau homogène et hétérogène.

III.7.1 Réseau Homogène (m=a=0)

Tous les nœuds du réseau sont semblables en ce qui concerne les caractéristiques techniques et l'énergie initiale (**E_0).**

III.7.1.1. Simulation 1 : LEACH Homogène (à un Seul Saut)

La simulation du protocole LEACH homogène avec une station de base fixe et mobile nous a donnée les résultats suivants :

- **Stabilité.**

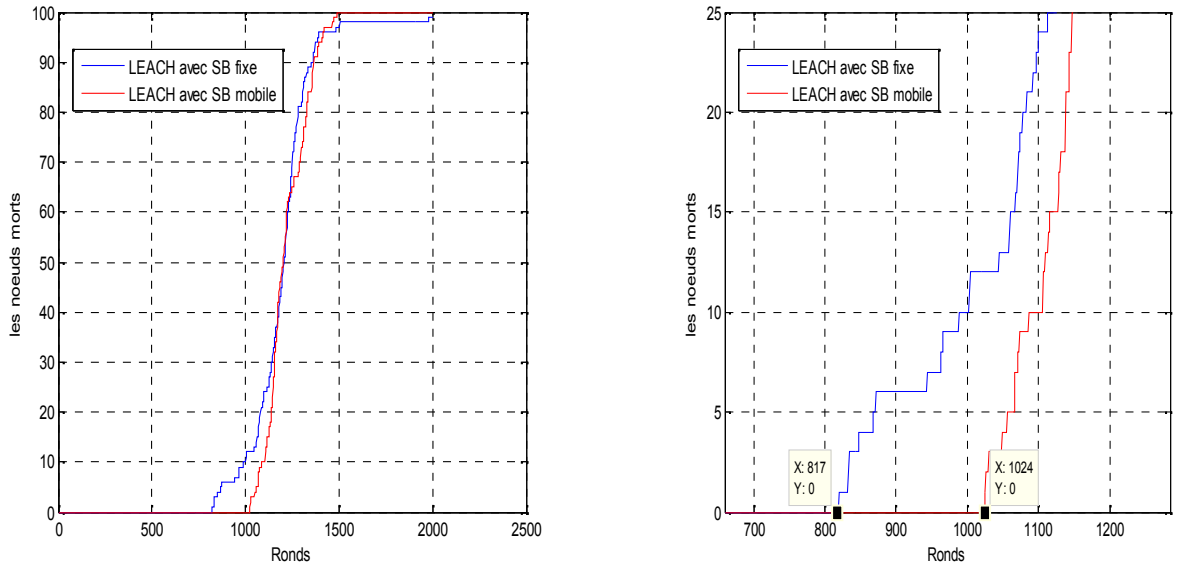


Figure III.1. *La stabilité du réseau avec LEACH homogène*

La figure III.1 montre que la mobilité de la station de base sur une trajectoire aléatoire a amélioré la stabilité du réseau de 207 ronds par rapport au protocole LEACH avec station de base fixe.

- **L'énergie.**

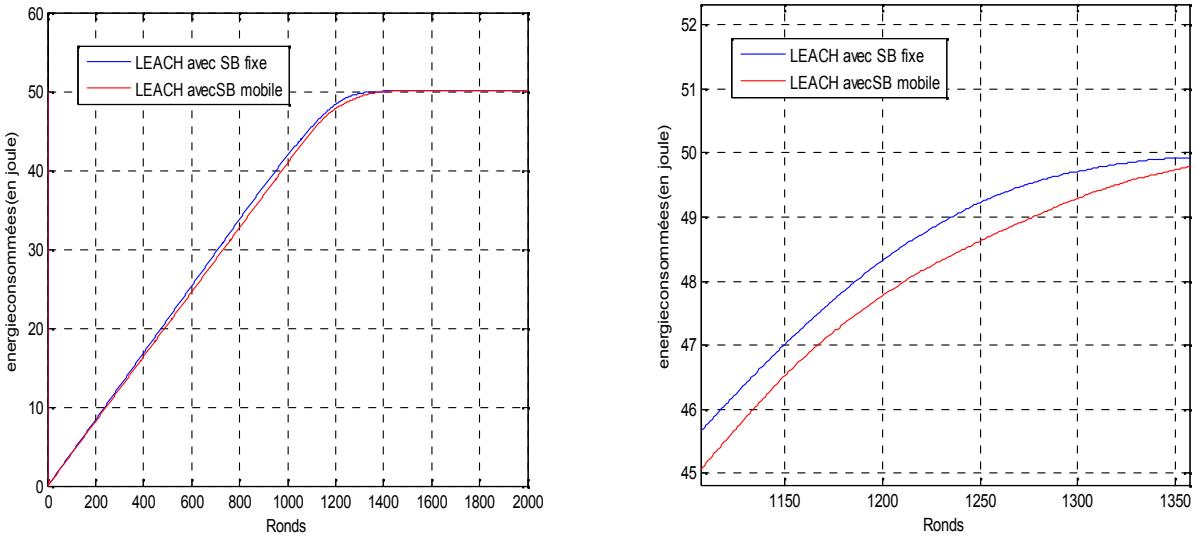


Figure III.2. *L'énergie consommée du réseau avec LEACH homogène*

La figure III.2 montre que la mobilité de la station de base aléatoire diminue la consommation d'énergie totale par rond.

- **La quantité de données reçues par la station de base.**

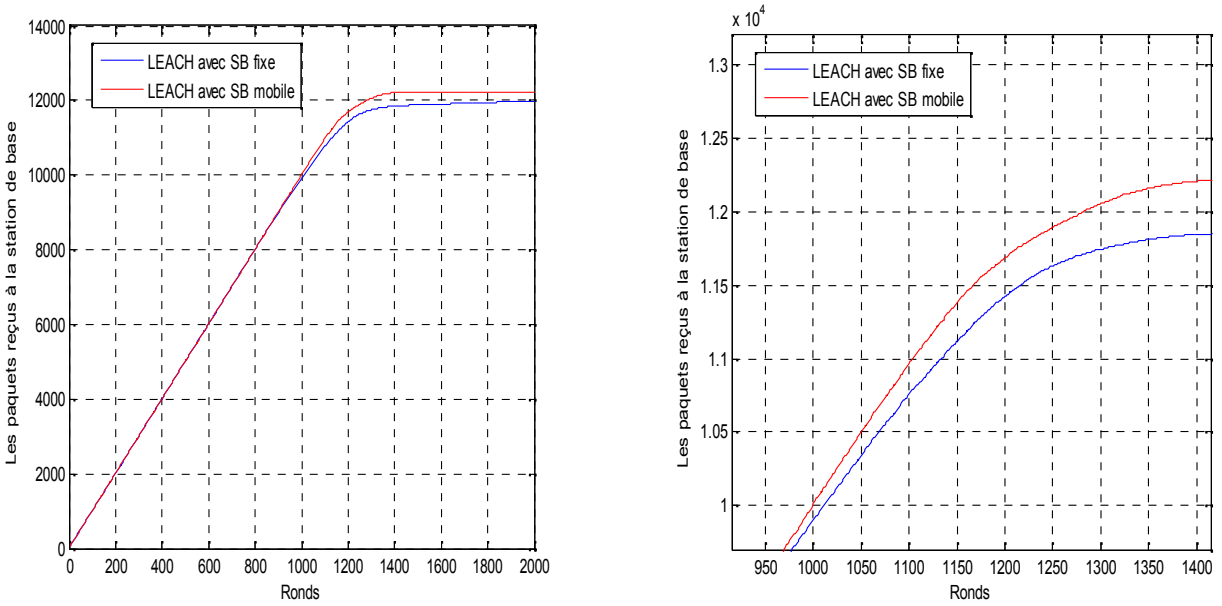


Figure III.3.*Les paquets reçus par la station de base du réseau homogène*

La figure III.3. montre aussi que la mobilité de la station de base augmente le nombre de paquets de données reçus par la station de base mobile.

- **Interprétation A :** La mobilité aléatoire de la station de base augmente les performances d'un réseau de capteur adoptant le protocole LEACH homogène ; car dans cette situation la station de base qui a une énergie illimité va visiter les CHs et collecte les messages lorsqu'elle sera à porté radio de ces derniers avec une faible puissance ($d<d_0$**).**

III.7.1.2. Simulation 2 : LEACH Homogène à Deux Sauts

Dans cette simulation les CHs effectues les communications à deux sauts vers la station de base.

- **Stabilité.**

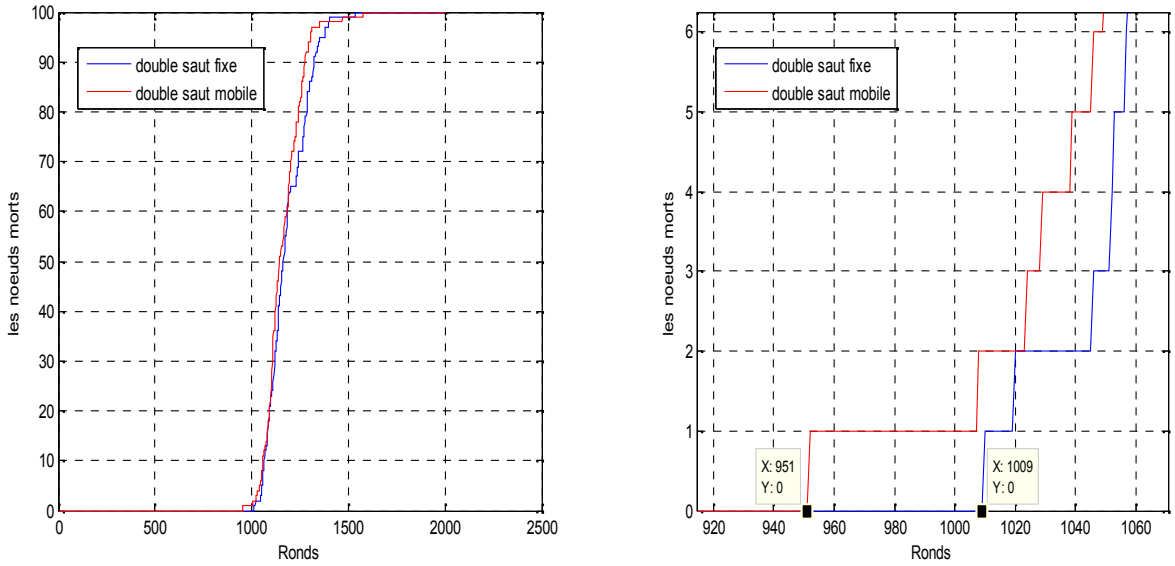


Figure III.4. *La stabilité du réseau avec LEACH double saut homogène*

La figure III.4. montre que la mobilité de la station de base diminue la stabilité du réseau de 58 ronds.

- **L'énergie.**

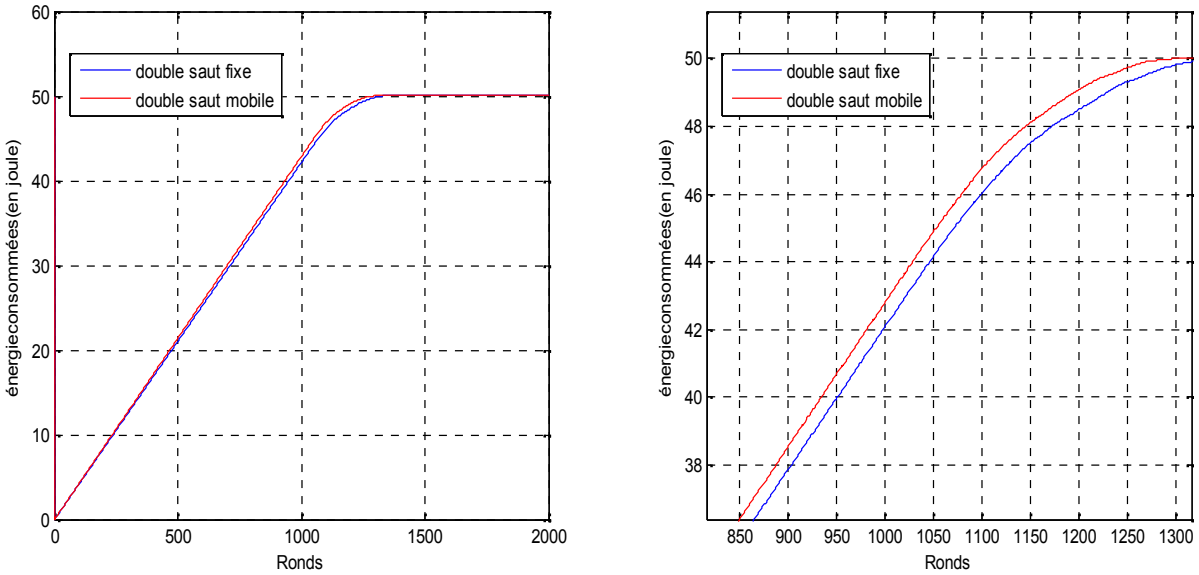


Figure III.5. *L'énergie consommée du réseau avec LEACH double saut homogène*

La figure III.5. montre que la mobilité de la station de base augmente la consommation d'énergie totale par rond.

- **La quantité de données reçues par la station de base.**

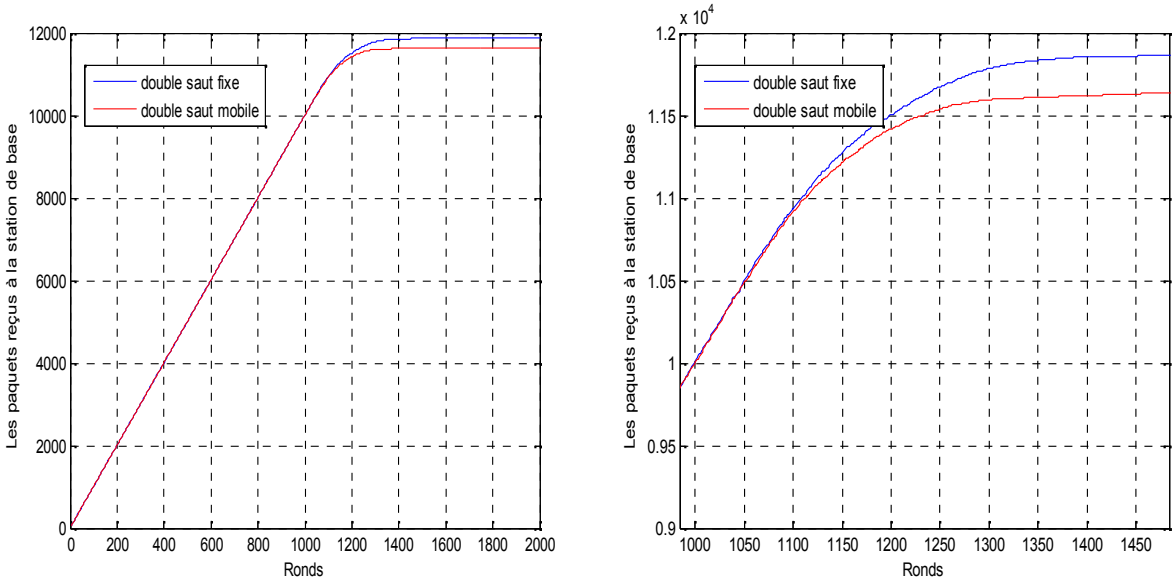


Figure III.6. *Les paquets reçus par la station de base du réseau homogène*

La figure III.6. montre aussi que la mobilité de la station de base diminue le nombre de paquets de données reçus par la station de base mobile.

- **Interprétation B :** La mobilité de la station de base sur un réseau de capteur adoptant le protocole LEACH homogène à deux sauts démunie les performances du réseau de capteur. Dans un réseau de capteur à station de base fixe situé au milieu du champ de captage les CHs se trouvent toujours à deux sauts de la station de base et transmettre leurs messages vers cette dernière avec une faible puissance ($d < d_0$), par contre, si la station de base est mobile, à un moment donné les CHs peuvent se trouver loin de la station de base (plus de deux sauts) et seront obligés de transmettre leurs messages avec une puissance importante qui corresponde à une distance ($d > d_0$). C'est pour cette raison que le réseau perdre ces performances.

III .7.1.3. Simulation 3 : LEACH Multi Saut.

Dans cette simulation les CHs effectues les communications à plusieurs sauts vers la station de base.

- **Stabilité.**

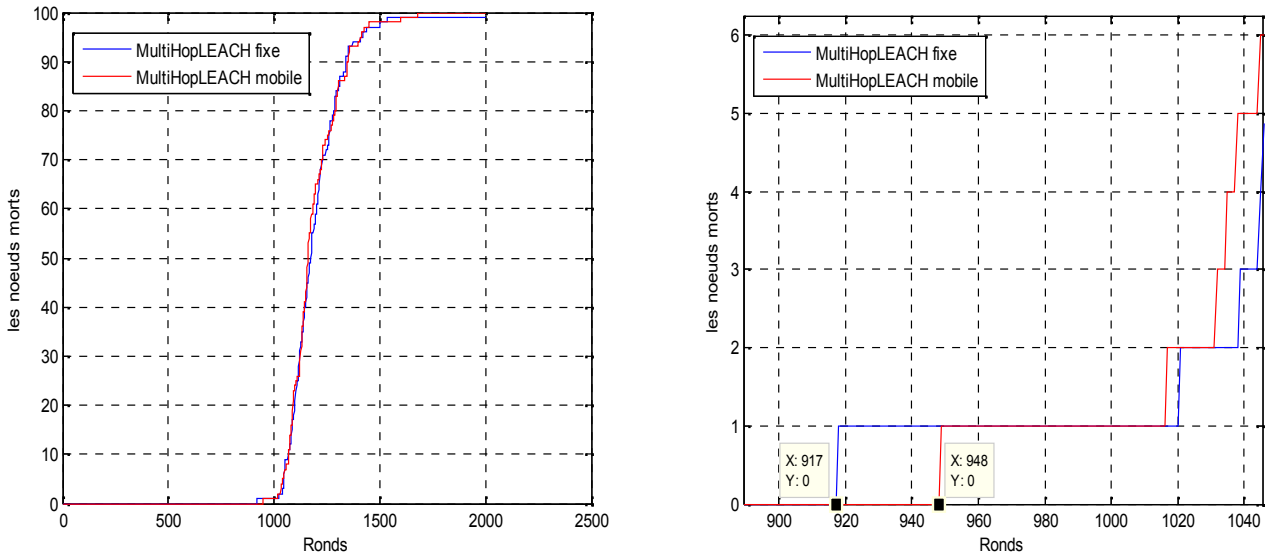


Figure III.7. *La stabilité du réseau avec LEACH multi saut homogène*

La figure III.7. montre que la mobilité de la station de base. Augmente la stabilité du réseau de 31 ronds par rapport à la technique Multi saut fixe.

- **L'énergie.**

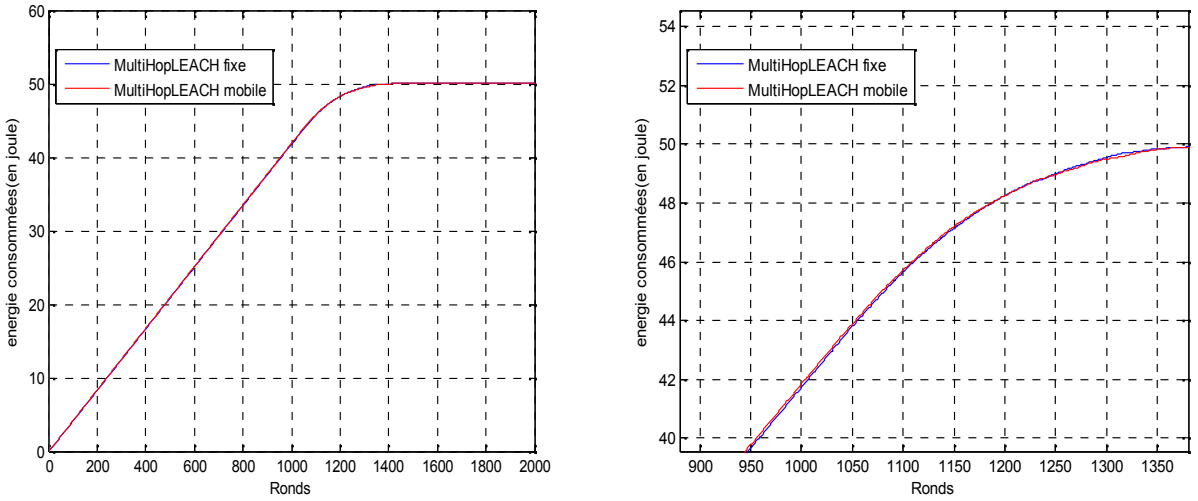


Figure III.8. *l'énergie consommée du réseau avec LEACH multi saut homogène*

La figure III.8. montre que la mobilité aléatoire de la station de base n'avait aucune influence sur la consommation d'énergie totale par rond.

- **La quantité de données reçues par la station de base.**

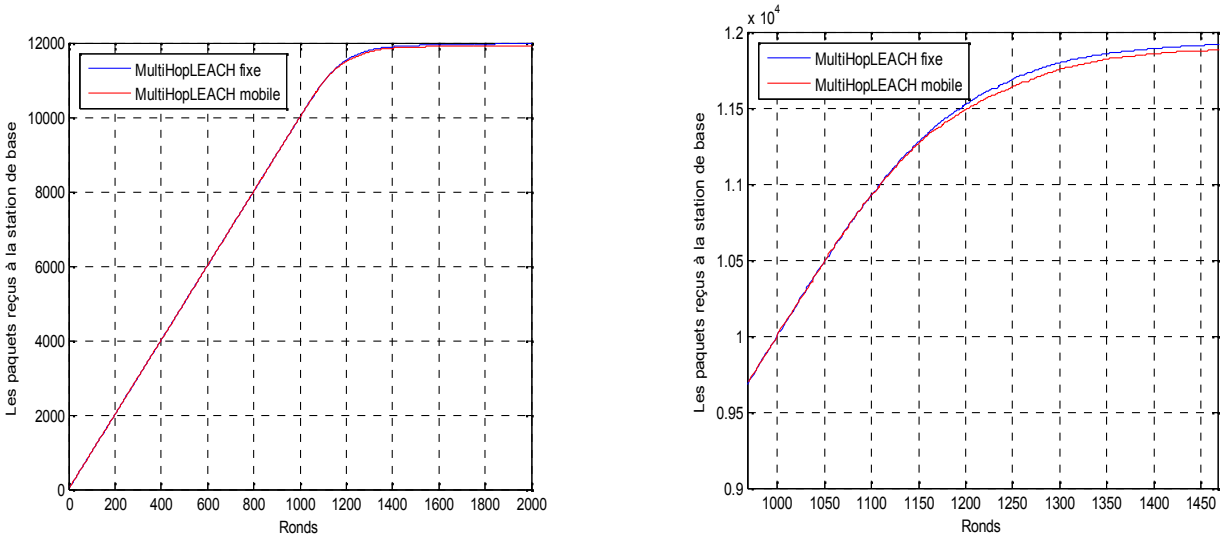


Figure III.9. *Les paquets reçus par la station de base du réseau homogène*

La figure III.9. montre que la mobilité de la station de base diminue le nombre de paquets de données reçus.

- **Interprétation C :** La mobilité de la station de base augmente la stabilité du réseau mais elle n'a presque aucune influence sur la consommation d'énergie et les paquets reçus par la station de base, car dans cette situation la position de la station de base n'a aucune influence sur le réseau, puisque le transfert des données à partir des CHs ce fait à plusieurs sauts avec une faible puissance ($d < d_0$) même si la station de base est mobile et se trouve à n'importe quel milieu du champ ou bien à n'importe quel point du réseau mais elle apporte une meilleure stabilité pour le réseau. Donc on peut dire que la mobilité augmente les performances d'un réseau adoptant le protocole LEACH homogène multi-saut.

III.7.2. Un Réseau Hétérogène

Par exemple pour m=0.2 et a=1 le réseau à un nombre des nœuds avancés est égal à 20% des nœuds total du réseau. Ces nœuds ont une énergie initiale doublée ($E_i = E_0(1+a) = 2E_0$).

III.7.2.1. Simulation 4 : LEACH Hétérogène (à un Seul Saut)

La simulation du protocole LEACH hétérogène avec une station de base fixe et mobile nous a donnée les résultats suivants :

- **Stabilité.**

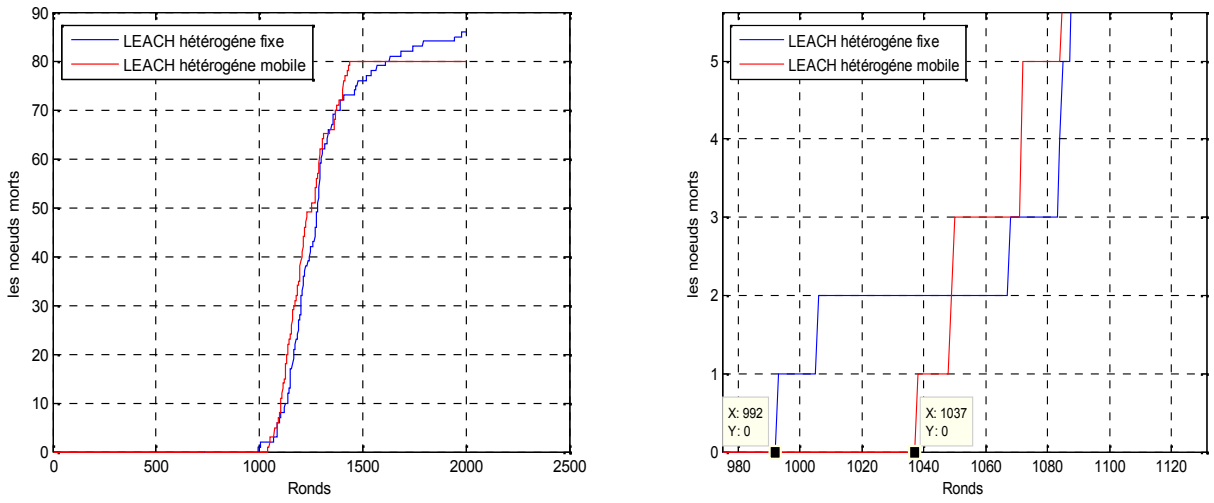


Figure III.10. *La stabilité du réseau avec LEACH hétérogène*

La figure III.10 Montre que le protocole LEACH hétérogène avec station de base mobile augmente la stabilité du réseau avec 45 ronds.

- **L'énergie.**

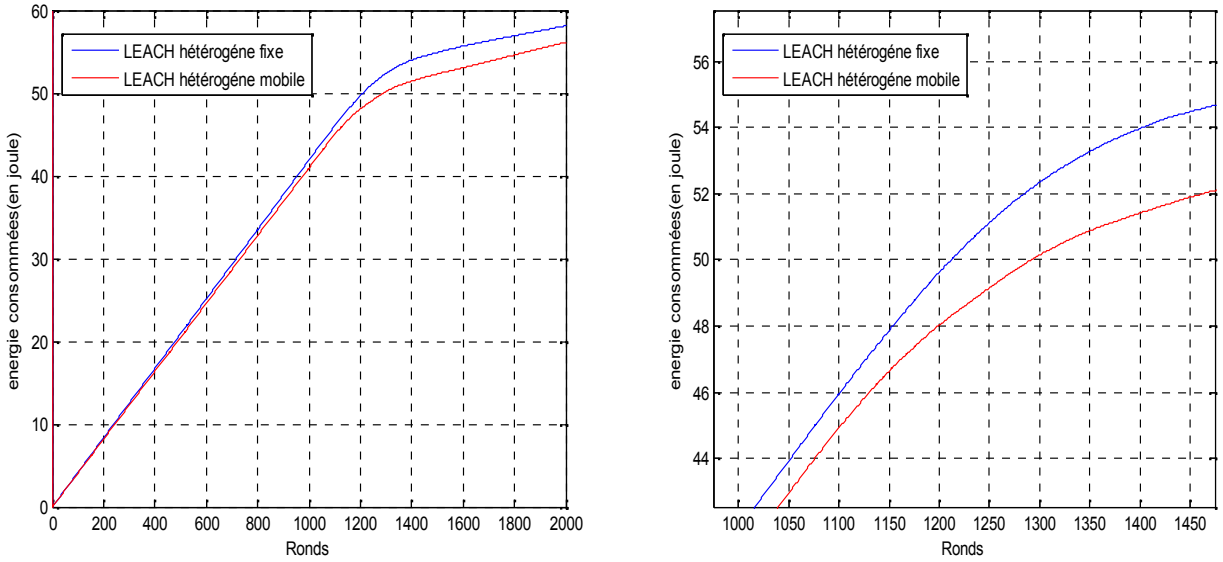


Figure III.11. *L'énergie consommée du réseau avec LEACH hétérogène*

La figure III.11. montre que la mobilité de la station de base dans un réseau hétérogène diminue la consommation d'énergie.

➢ La quantité de données reçues par la station de base.

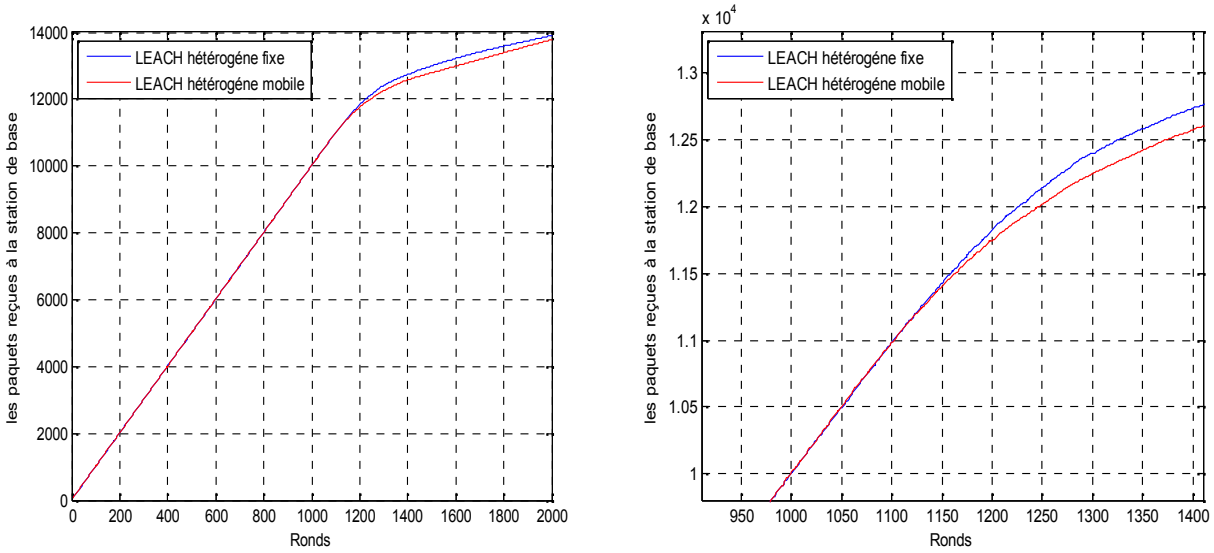


Figure III.12. *Les paquets reçus par la station de base du réseau hétérogène*

La figure III.12 montre que la mobilité de la station de base dans un réseau hétérogène diminue le nombre de paquets de données reçus.

❖ **Interprétation D :** La mobilité de la station de base dans un réseau hétérogène augmente la stabilité par rapport à un réseau à station de base fixe et elle est plus importante par rapport à un réseau homogène à station de base mobile. On remarque la différence de stabilité entre un réseau hétérogène et un réseau homogène à station de base mobile est de 13 ronds plus, l'hétérogénéité augmente la stabilité d'un réseau à station de base mobile.

III.7.2 .2. Simulation 5: LEACH Hétérogène à Double Saut

Dans cette partie, on va présenter les résultats obtenus en utilisant le mode de communication à deux sauts appliqué sur le protocole LEACH hétérogène (m=0.2 et a=1).

- **Stabilité.**

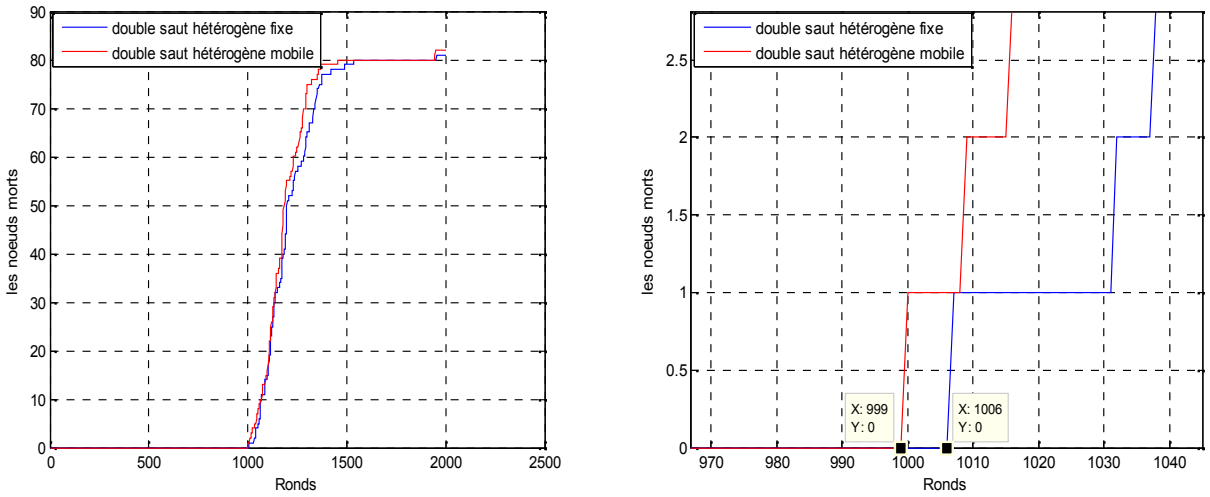


Figure III.13. *La stabilité du réseau avec LEACH à double saut hétérogène*

La figure III.13 montre que la mobilité de la station de base diminue la stabilité du réseau de7 ronds par rapport au fixe.

- **L'énergie.**

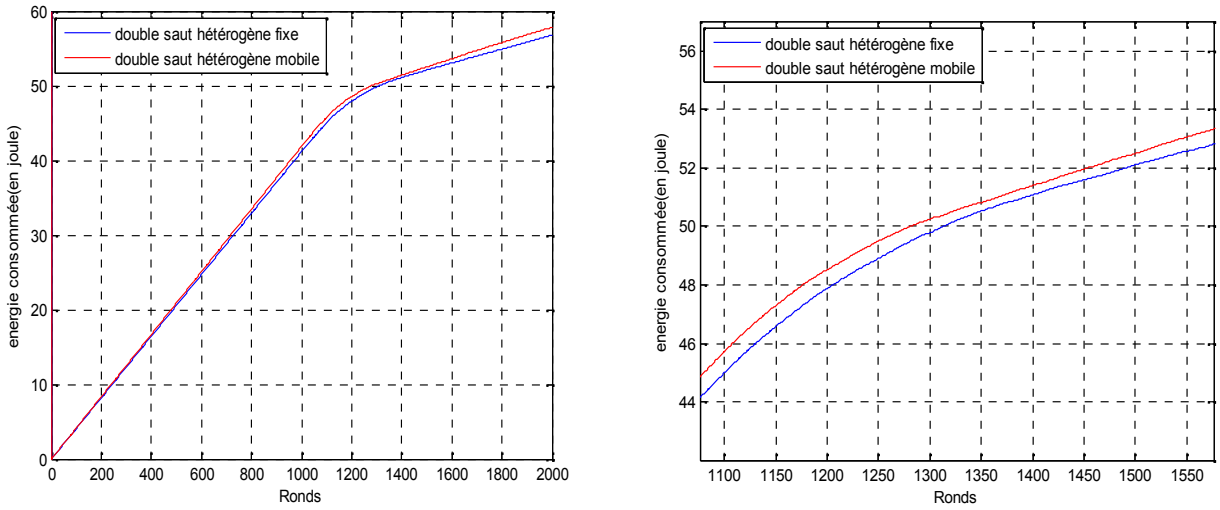


Figure III.14. *l'énergie consommée du réseau avec LEACH à double saut hétérogène*

La figure III.14 montre que la mobilité de la station de base augmente la consommation d'énergie.

- **La quantité de données reçues par la station de base.**

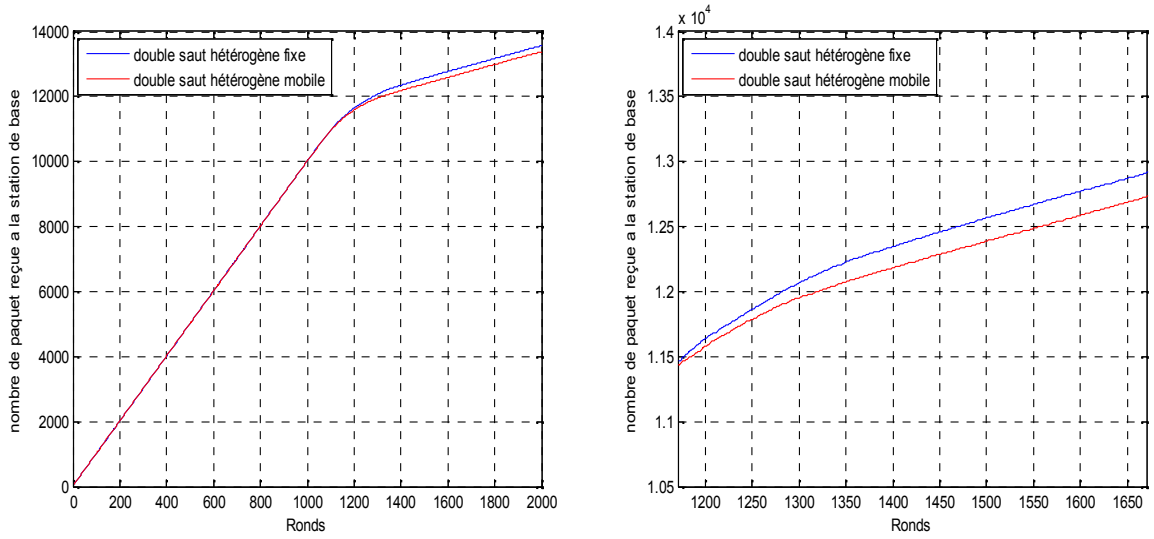


Figure III.15. *Les paquets reçus par la station de base du réseau hétérogène*

La figure III.15 montre aussi que la mobilité de la station de base diminue le nombre de paquets de données reçus.

- **Interprétation E:** Ces résultats montrent que la mobilité dans un réseau de capteur hétérogène à deux sauts n'apporte pas de performances au réseau mais elle les démunie à cause des phénomènes cité en interprétation B dans le cas d'un réseau de capteur homogène à deux sauts.

III.7.2.3. Simulation 6: LEACH Hétérogène Multi Saut

Dans cette partie, on va présenter les résultats obtenus en utilisant le mode de communication Multi-saut appliqué sur le protocole LEACH hétérogène (m=0.2 et a=1).

- **Stabilité.**

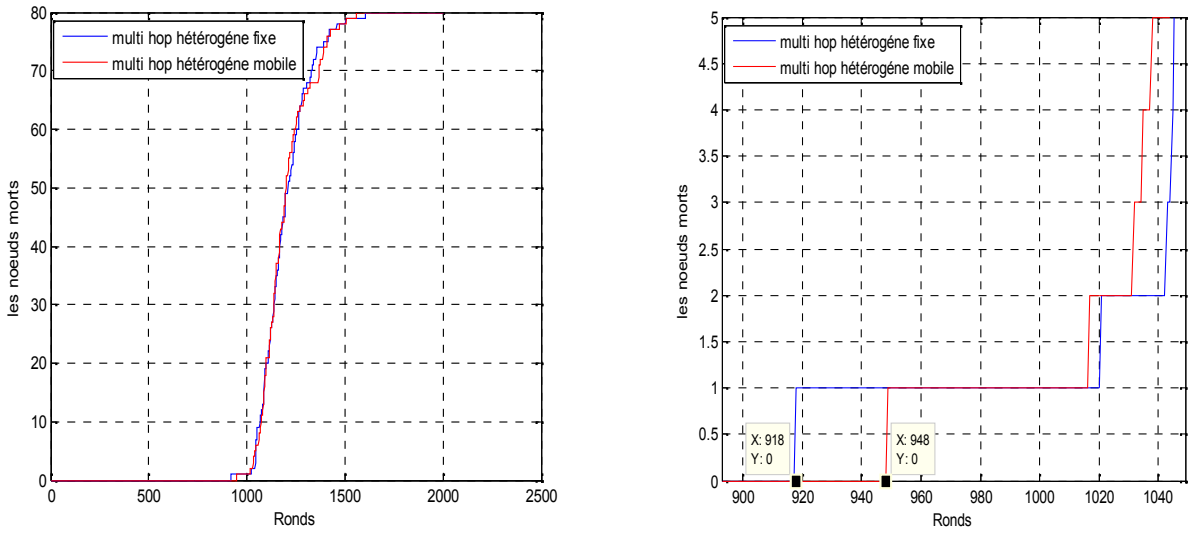
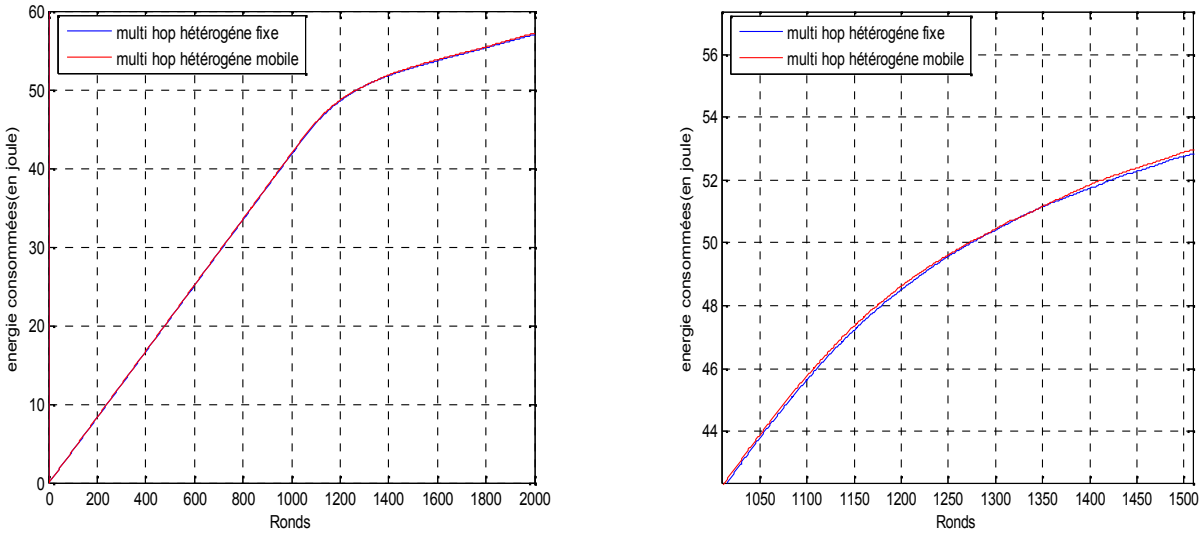


Figure III.16. *La stabilité du réseau avec LEACH à multi saut hétérogène*

La figure III.16**.** Montre la mobilité augmente la stabilité du réseau de 30 ronds.

- **L'énergie.**



FigureIII.17. *L'énergie consommée du réseau avec LEACH à multi saut hétérogène*

La figure III.17. montre que la mobilité de la station de base n'a aucune influence sur la consommation d'énergie.

➢ La quantité de données reçues par la station de base.

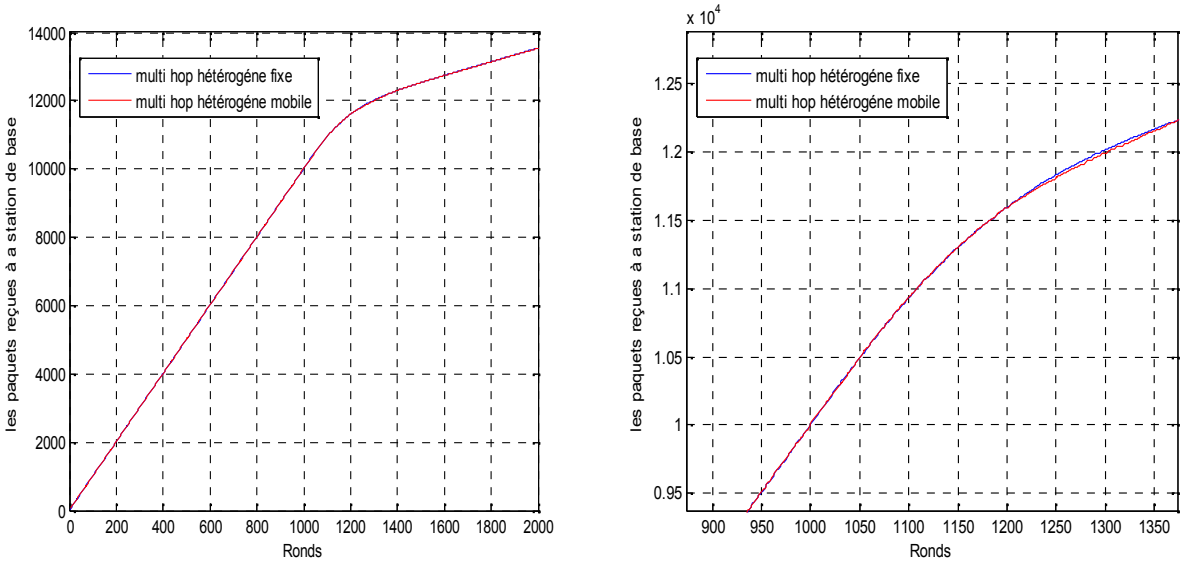


Figure III.18. *Les paquets reçus par la station de base du réseau hétérogène*

.

La figure III.18. montre la mobilité de la station de base n'a aucune influence sur la quantité de paquets reçu par la station de base.

❖ **Interprétation F :** La mobilité de la station de base dans un réseau hétérogène à multi-saut améliore la stabilité du réseau mais n'a aucune influence sur la consommation de l'énergie et la quantité des paquets de données reçu par la station de base à cause des phénomènes cité en interprétation C (cas du réseau homogène à multi-saut).Donc on peut dire que la mobilité augmente les performances d'un réseau adoptant le protocole LEACH hétérogène multi-saut.

Les résultats des simulations montrent que la mobilité aléatoire de la station de base augmente les performances d'un réseau de capteur sans fil adoptant un protocole de routage hiérarchique mis à part quelques situations (dual saut).

Pour le protocole LEACH à un seule saut la mobilité a apporté une meilleure performance par rapport aux protocoles LEACH à plusieurs sauts et ces résultats seront confirmés et valider par d'autres exemples de protocoles à un seul saut.

III.7.3. Simulation du Protocole SEP

Pour confirmer les résultats des simulations trouvés et prouver que l'architecture à station de base mobile et nœuds fixe apporte des performances à un réseau de capteur sans fil adoptant un protocole de routage hiérarchique, on applique cette technique avec d'autre protocole de référence qui est plus utilisé dans les réseaux de capteurs sans fil tel que le protocole SEP.

Les figures suivantes montrent les résultats de simulation d'un réseau de capteur sans fil à station de base mobile adoptant le protocole SEP et comparés avec celles à station de base fixe.

- **Stabilité.**

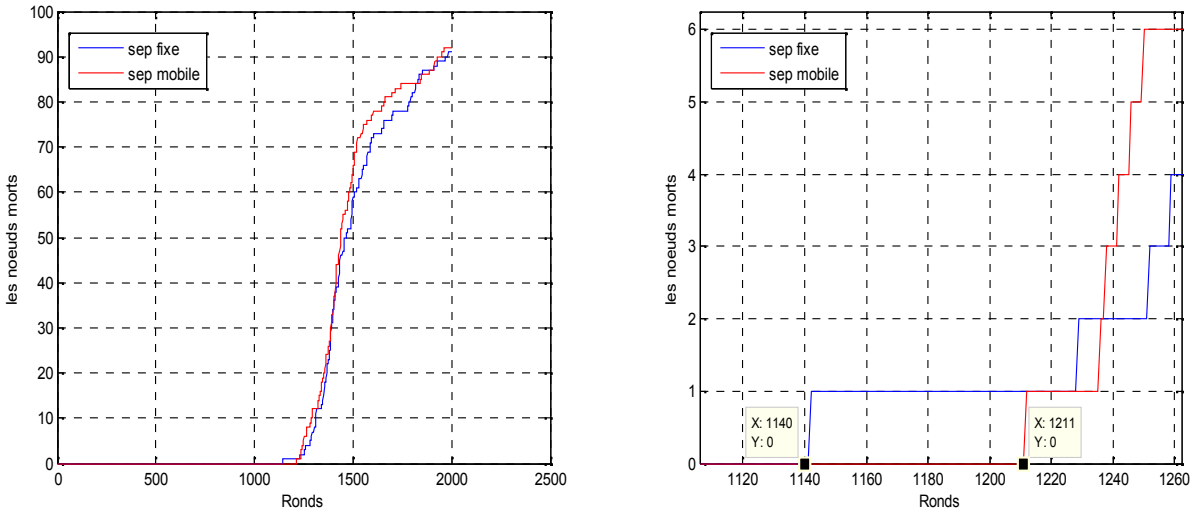


Figure III.19. *La stabilité*

La figure III.19 Montre que la mobilité de la station de base augmentée la stabilité de 71 ronds par rapport au fixe.

➢ L'énergie.

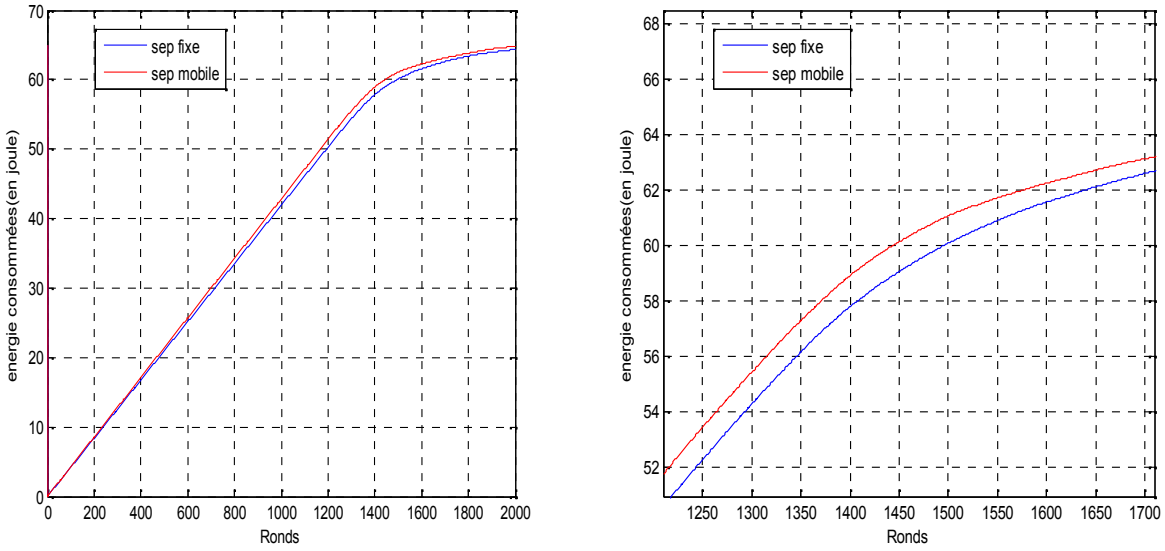


Figure III.20. *l'énergie consommée par ronds*

➢ La quantité de données reçues par la station de base.

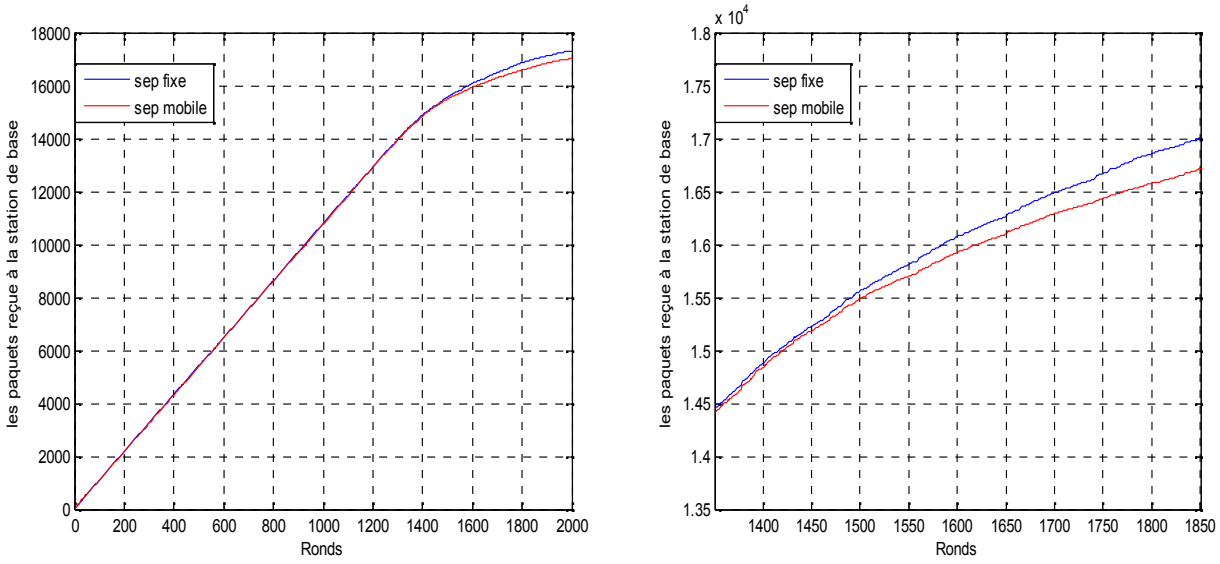


Figure III.21. *Les paquets de données reçus par la station de base*

❖ **Interprétation :** La mobilité aléatoire de la station de base augmente les performances d'un réseau hétérogène (SEP).

Ce dernier résultat de simulation avec le protocole SEP a confirmé les résultats précédent et donne une crédibilité à la technique de l'architecture des réseaux à station de base mobile et nœuds capteurs fixe.

III.9.Conclusion

la mobilité aléatoire de la station de base apporte de meilleure performances aux réseaux de capteurs homogènes et hétérogènes adoptant les protocoles de routage hiérarchique à un seul saut et à multi-sauts , car dans cette situation c'est la station de base qui visite les CHs pour collecter les données lorsqu'elle sera à porté radio de ces derniers et par la suite transmettent leurs messages généralement avec une faible puissance (d<d0).Seulement pour les protocoles à deux sauts , ici la mobilité diminue les performances du réseau à cause des phénomène cités à l'interprétation B.

Les résultats des simulations ont été confirmés par la simulation de protocole de référence (SEP) qui est plus utilisé dans les réseaux de capteurs sans fil et qui ont prouvé l'efficacité de la technique de l'architecture des réseaux à station de base mobile et nœuds capteurs fixe et donne une crédibilité à cette dernière à être utilisé dans les applications où on peut considérer et utiliser une station de base mobile où Les éléments mobiles peuvent être des robots, des êtres humains, des animaux comme par exemple dans les forets dans le cas de suivis des traces des animaux rares , dans les prisons pour la surveillance des prisonniers, dans les crèches, les champs de bataille et même dans les application du trafic routière et de suivi des véhicules de transport de marchandise etc.

Cette architecture présente l'avantage de relaxer la contrainte de forte densité pour assurer une connectivité suffisante du réseau de capteurs sans fil déployé sur une large zone de captage. Ainsi, une architecture clairsemée de réseau de capteurs sans fil devient une option faisable permettant, ainsi, d'éviter les problèmes de collision et de pertes de messages induits par l'utilisation d'un réseau dense.

Les éléments mobiles, lors de leur visite des nœuds capteurs fixes du réseau, peuvent établir des connexions à un nombre de sauts réduit voire même à un simple-saut ce qui permettra de réduire les collisions et la perte de messages.

Un autre avantage apporté par l'utilisation des éléments mobiles dans le réseau réside dans le fait d'éliminer l'épuisement prématuré d'énergie des nœuds proches du puits. Les éléments mobiles peuvent aider à résoudre ce problème en allant collecter dans différentes zones du réseau, tout en assurant un équilibrage de charge énergétique plus au moins uniforme, même dans le cas d'une architecture dense du réseau.

Conclusion Générale

conclusion générale et perspectives

Bien que les protocoles de routage de données dans les réseaux de capteurs sans fil à station de base fixe augmentent les performances du réseau, le routage hiérarchique basé sur le clustering est le protocole de référence qui est utilisé par les chercheurs pour réduire la consommation d'énergie, ce dernier est utilisé on considère la mobilité dans un réseau de capteur où la station de base doit visiter les chefs de clusters.

La technique de dissémination et de collecte des données avec puits mobile augmente la fréquence de ses visites aux chefs de groupes. Ce type d'architecture représente une solution intéressante qui est l'utilisation d'agents mobiles omniprésents qui se déplacent d'une manière aléatoire pour rassembler des données lorsqu'ils se rapprochent des nœuds capteurs fixes. Contraire des réseaux statiques où Cette forme de collecte de données centralisée peut raccourcir la durée de vie de réseau. L'architecture à puits ou/et collecteur fixe pose le problème de l'épuisement d'énergie des nœuds relais voisins du collecteur fixe. Le rélayage de données à un puits fixe peut causer une consommation d'énergie non uniforme sur l'ensemble du réseau et on peut avoir une surcharge au niveau des nœuds relais voisins du puits fixe et former ainsi, un goulot de congestion critique. Cette architecture présente l'avantage de relaxer pour assurer une connectivité suffisante du réseau de capteurs sans fil déployé sur une large zone de captage. Ainsi, une architecture clairsemée de réseau de capteurs sans fil devient une option faisable permettant, ainsi, d'éviter les problèmes de collision et de pertes de messages induits par l'utilisation d'un réseau dense.

Les éléments mobiles, lors de leur visite des nœuds capteurs fixes du réseau, peuvent établir des connexions à un nombre de sauts réduit voire même à un simple-saut ce qui permettra de réduire les collisions et la perte de messages.

Un autre avantage apporté par l'utilisation des éléments mobiles dans le réseau réside dans le fait d'éliminer l'épuisement prématuré d'énergie des nœuds proches du puits. Les éléments mobiles peuvent aider à résoudre ce problème en allant collecter dans différentes zones du réseau, tout en assurant un équilibrage de charge énergétique plus au moins uniforme, même dans le cas d'une architecture dense du réseau.

Tous ces paramètres nous ont encouragés à imaginer un réseau de capteur à station de base mobile et adoptant les protocoles de routage hiérarchique pour contribuer à l'évolution des performances des réseaux de capteurs sans fil.

Les résultats de simulation obtenus confirment cette imagination et montre que l'architecture d'un réseau à station de base mobile et nœuds fixes donne de meilleures performances aux protocoles de routage hiérarchique.

Si la station de base mobile est loin des CHs cette dernière impose aux chefs de clusters loin d'elle d'envoyer les messages avec un facteur d'amplification du signale Emp pour « d>d0 » Ce qui augmente la consommation d'énergie du réseau et par la suite une perte de stabilité et réduction de la durée de vie.

Pour résoudre ce problème on propose une nouvelle technique qui rend la station de base toujours à porté radio des nœuds CHs fixe. La solution proposée est la suivante :

Dans la phase d'initialisation et au début de chaque rond, La station de base a une information globale sur la position de chaque nœud du réseau, alors on peut proposer un algorithme de calcul du barycentre G de la station de base par apport aux chefs des clusters du réseau et par la suite et au début de chaque rond cette dernière se déplace au point de coordonnées G, et comme ça en assure la proximité de la SB des CHs dans le champ de captage globale et ces derniers envoient les messages collectés des membres du cluster avec un facteur d'amplification du signale Emp pour « d<d0 » Ce qui réduit plus la consommation d'énergie du réseau. En plus si les clusters Head n'envoient les messages qu'aux moments du passage de la station de base par ces derniers la réduction de la consommation d'énergie sera plus meilleur et la durée de vie du réseau sera prolongée. Mais dans ce cas la collecte des messages par la station de base ne sera pas périodique ce qui provoque l'absence d'information à chaque rond. En plus cette technique exige aux nœuds CHs d'avoir une unité de stockage importante ce qui n'est pas le cas pour les réseaux de capteurs homogènes, donc la meilleurs solution et d'utiliser la technique d'envoie des messages d'une façon périodique par les CHs à deux sauts ou multi sauts avec celle de calcul du barycentre de la station de base par rapport aux CHs.

Cette proposition peut être sujet de recherche pour la promotion de l'année prochaine.

Bibliographie

bibliographie

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

[2] O. YOUNIS, S. FAHMY, ***«HEED: A hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks»***, IEEE Transactions on Mobil Computing, vol. 3, no. 4, pp.366-379, *2004*.

[3] Qi YANG, Yuxiang ZHUANG, Hui LI, ***«A Multi-hop Cluster Based Routing Protocol for Wireless Sensor Networks»***, Journal of Convergence Information Technology, Volume 6, Number 3, *Mars 2011*.

[4] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci. **«A Survey on Sensor Networks »**. IEEE Communications Magazine, August 2002.

[5] *SAHRAOUI belkheyr*, **« Etude d'un protocole de routage basé sur les colonies de Fourmis dans les réseaux de capteurs sans fil »**, Mémoire de magister, Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen 2012.

[6] CHALLAL Yacine, **« Réseaux de Capteurs Sans Fils »,** Cours, Systèmes Intelligents pour le Transport, Université de Technologie de Compiègne, France 2008.

[7] *BENAOUDA Nacera, H. Guyennet, A. Hammad, A. H. Benaouda et M. Mostefai* **« Modélisation par les groupes d'un réseau sans fil »**, Conférence, Laboratoire d'informatique de Franche-Comté Besançon 2007.

[8] Leboukh Aboubakre. Saidi Madani Amine. **«La Localisation dans les Réseaux de Capteurs Sans Fil : Cas d'un Milieu Fermé**». Mémoire de Master en Génie électrique et informatique. Université Dr. Yahia Fares de Médéa. *juin **2013.***

[9] YOUSEF Yaser.« **Routage pour la Gestion de l'Energie dans les Réseaux de Capteurs Sans Fil »** Thèse de Doctorat, Spécialité INFORMATIQUE. UNIVERSITE DE HAUTE ALSACE Faculté des Sciences et Techniques.07/2010.

[10] Mlle. Bouchenafa Soumia ***«Etude et simulation des protocoles de routage dans WSN»*** mémoire de Master en Génie électrique et informatique .Université Dr. Yahia Fares de Médéa.*juin.2013*.

[11] MAAROUF Samia,OUADAH Souhila « **Implémentation et évaluation des schémas de routage sur une plateforme réelle de réseaux de capteurs sans fil »** Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique. Université Abou Bakr Belkaid. Tlemcen. Année universitaire 2013-2014.

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

[13] Luis Javier Garya VILLALBA, Ana Lucila Sandoval OROZCO, Alicia Triviño CABRERA, Cludia Jacy Barenco ABBAS, ***«Routing Protocols in Wireless Sensor Networks»***, Sensors ,*2009*.

[14] Boularas Soufiane, Dehbine youcef. « **ROUTAGE HIERARCHIQUE SUR LES RESEAUX DE CAPTEURS SANS FIL** » mémoire de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de Master en Génie électrique. **Juin 2014.**

[15] Bachene Elyes – Oukrif Mohamed. « **Evaluation des technique de gestion de l'énergie dans les réseaux de capteur son fil** » Projet de Fin d'Etudes pour l'obtention du diplôme de Master en Génie Electrique. Université Dr. YAHIA FARES De MEDEA Faculté des Sciences et de la Technologie Département du Génie Electrique et de l'Informatique. 2013/2014

[16] *MATTA.I, Smaragadakis.G, & Besteavoros,* **« SEP: A stable election protocol for clustered heterogeneous wireless sensor network »,** Boston University Computer Science Department, 2004

[17] Femi A. Aderohunmu « **Energy Management Techniques in Wireless Sensor Networks: Protocol Design and Evaluation»,** Master of Applied Science in Telecommunication at the University of Otago, Dunedin, New Zealand. March 2010.

[18] Smaragdakis, G., Matta, I., & Bestavros, A, « **SEP: A stable election protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks** ». Boston University Computer Science Department, 2004.

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

[20] Qing, L., Zhu, Q., & Wang, M. « **Design of a distributed energy-efficient clustering algorithm for heterogeneous wireless sensor networks** », Computer communications, 29(12), 2230-2237, 2006.

[21]O. Rehman,N.Javaid, B.Manzoor, A.Hafeez, A.Iqbal, M.Ishfaq, « **Energy Consumption Rate based Stable Election Protocol (ECRSEP) for WSNs,** » International Workshop on Body Area Sensor Networks (BASNet-2013).

[22] Said HARCHI, «***Un protocole de session dans les réseaux de capteurs sans fils***. **»** Thèse pour obtenir le diplôme de DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE LORRAINE En Automatique, Traitement du Signal et des Images, Génie Informatique. *décembre 2013*.