EPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITEYAHIA FARES DE MEDEA



&Faculté de **T**echnologie

Département du **G**énie **E**lectrique

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes de télécommunications

Amélioration des techniques de routage des données dans les réseaux de capteur sans fil

---

Présentés par :

M. ZEMIR Nadir

M. BENMEHAL Abdellah

Proposés et Dirigés par :

M. GUEDMANI Mohamed

Promotion 2022

Remerciements

*En préambule à ce mémoire nous remercions **ALLAH** qui nous a armé de patience et de courage durant ces longues années d'étude.*

*Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères à **M. GUEDMANI Mohamed** pour son aide précieuse à l'élaboration de ce mémoire, ce dernier a toujours été à notre écoute, sa disponibilité pour la réalisation de ce mémoire fut remarquable et nous en sommes reconnaissant.*

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à toutes nos enseignants qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.

Enfin, nous tenons également à remercier nos amis qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci à tous et à tout.

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes chers parents ***Mahi*** *et* ***Salima*** *qui ont sacrifiés leur vie pour mon succès et m'ont encouragé durant tout mon parcours scolaire.*

À mon frères ***Houcine*** *et mes sœurs* ***Hadjer*** *et* ***Adila****.*

À mon premier supporteur ***L.Douaa****.*

MA grand-mère RABI YAHFEDEHA.

À toute la famille ***ZEMIR****.*

À mes amis et frères ***BACHENE AMINE*** *,****SafarBatti Yasser****,* ***Ganif*** ***Riad****,****Aymen,*** ***KHALILI Yacine, RAHOUI Redha****,* ***Achraf*** *et* ***Othman****.*

Sans oublier tous mes enseignants qui ont contribué à ma formation depuis le primaire à ce jour-là, également à tous ceux qui m'ont aidé pour réaliser ce mémoire.

Enfin, à tous ceux que j'aime, et qui m'aiment.

Je voudrais aussi le dédier à Palestine qui reste toujours dans mon cœur.

ZEMIR Nadir.

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes chers parents ***Abdenacer et Nadira*** *qui ont sacrifié leur vie*

Pour mon succès et m'ont encouragé durant tout mon parcours scolaire.

A mon grand-père Abdelkader ***(****Rabbi yarhmou), ainsi que mon*

Grand-père maternel ***Foudel*** *(rabbi yahafdhou)*

A mon frère ***Yassin*** *et ma unique sœur* ***Khadidja****,*

Mes oncles surtout ***Omar*** *.*

À toute la famille ***BENMEHAL.***

À mes amis et frères Kbeilli Mahfoud, Khalfaoui Seifeddine , à mon cher cousin Mohamed.

Sans oublier tous mes enseignants qui ont contribué à ma formation depuis le primaire à ce

Jour, également à tous ceux qui m'ont aidé pour réaliser cette mémoire.

Enfin, à tous ceux que j'aime, et qui m'aiment

BENMEHAL *Abdellah.*

ملخص

تعتبر شبكات الاستشعار اللاسلكية من أسرع التقنيات نمواً في مجال الاتصالات، وهي ذات أهمية كبيرة بسبب التنوع الهائل في مجالات تطبيقاتها، خاصة في السنوات القليلة الماضية. شبكة المستشعرات اللاسلكية هي مجموع عقد الاستشعار من خلال الاتصال اللاسلكي بين هذه العقد، وعدد كبير من التوزيعات العشوائية في منطقة ما، والغرض من ذلك هو إجراء بحث مادي محدد. قد تحتوي هذه العقد على نفس الطاقات أو طاقات مختلفة في بعض الحالات، لكنها كلها محدودة، ومن أجل الحفاظ على أكبر قدر ممكن من تخزين الطاقة هذا حتى تتمكن الشبكة من العمل لفترة أطول، تم اقتراح العديد من الحلول.

ستكون مساهمتنا في إطالة عمر الشبكة من خلال تطوير بروتوكول توجيه لشبكات الاستشعار اللاسلكية التي نضيف إليها تقنيات لتقليل استهلاك الطاقة ، وتظهر نتائج المحاكاة النهائية أن بروتوكولنا أكثر كفاءة وأن النتيجة تطيل عمر الشبكة لفترة أطول الوقت وزيادة النسبة بشكل ملحوظ.

الكلمات المفتاحية

شبكة الاستشعار اللاسلكية، الاتصالات اللاسلكية، عقدة الاستشعار، استهلاك الطاقة، بروتوكول التوجيه.

Résumé

Les réseaux de capteurs sans fil sont considérés comme l'une des technologies à la croissance la plus rapide dans le domaine de la communication, en particulier ces dernières années, ils revêtent une grande importance en raison de la diversité de leurs domaines d'application. Un réseau de capteurs sans fil est un groupe de nœuds de capteurs qui sont connectés les uns aux autres sans fil. Ces nœuds sont déployés en grand nombre au hasard dans une zone, et leur but est de mener des recherches physiques spécifiques. Ces nœuds peuvent parfois avoir des énergies identiques ou différentes, mais ils sont tous finis, et afin de préserver au maximum ces réserves d'énergie pour faire fonctionner le réseau plus longtemps, plusieurs solutions ont été proposées.

Notre contribution à l'extension de la durée de vie du réseau se fera par le développement d'un protocole de routage pour les réseaux de capteurs sans fil dans lequel nous ajoutons des techniques pour réduire la consommation d'énergie, les résultats finaux de la simulation montrent que notre protocole est plus efficace et ses résultats peuvent prolonger la durée de vie du réseau plus longtemps et de manière significative.

Mots clés

Réseau de capteurs sans fils, communication sans fils, nœud capteur, consommation d’énergie, protocole de routage.

Abstract

Wireless sensor networks are considered to be one of the fastest growing technologies in the communication field and have gained great attention due to their wide range of applications, especially in recent years. A wireless sensor network is a group of sensor nodes that are wirelessly connected to each other. These nodes are deployed in large numbers randomly in areas whose targets are specific physics research. These nodes can sometimes have the same or different energies, but they are all finite, and in order to preserve these energy reserves as much as possible so that the network can run longer, several solutions have been proposed.
Our contribution to extending the network lifetime will be to develop routing protocols for wireless sensor networks, in which we add techniques to reduce power consumption, and finally simulation results show that our protocols are more efficient and can be extended. Their result is that the network has a longer lifetime and Significantly.

Keywords

Wireless sensor network, wireless communication, sensor node, power consumption, routing protocol.

Table des matières

Liste des figures.....IV
Liste des tableaux VI
Liste des acronymes.....V
Introduction générale 2
ChapitreI..... 3
I.1Introduction 4
I.2 Définition d'un réseau de capteurs :..... 4
I.3 Architecture d'un réseau de capteurs sans fil :..... 5
I.4Caractéristiques des RCSFs [LEH 09] [ATH 10] :..... 6
I.4.1Densité importante des nœuds : 7
I.4.2 Topologie dynamique :..... 7
I.4.3 Auto organisation :..... 7
I.4.4 Scalabilité (passage à l'échelle) :..... 7
I.5 Composition d'un nœud capteur sans fil : 8
I.5.1 schéma synoptique : 8
I.6 Facteurs et contraintes influents sur la conception et le déploiement de RCSF : 12
I.6.1 Durée de vie du réseau [NGO 16] : 12
I.6.2 Ressources limitées :..... 12
I.6.3 Facteur d'échelle :..... 13
I.6.4 Topologie dynamique :..... 13
I.6.5 Agrégation des données :..... 13
I.6.6 Formes de dissipation d'énergie [ALL 14] : 13
I.6.6.1 Énergie de capture : 14
I.6.6.2 Energie de traitement 14
I.6.6.3 Energie de communication : 14
I.6.7 Module radio :..... 15
I.6.8 Sources de surconsommation d'énergie [ALL 14] :..... 15
I.6.9 Technologies et standards de communication [BOU 08]..... 16
I.7. Les applications des RCSF :..... 17
I.7.1Contrôle de l'environnement :..... 17
I.7.2Militaire : Pour les services de sécurité, la détection de dangers chimiques, etc. 18
I.7.3 Santé :..... 19
I.7.4 Applications industrielles : 20

I.7.5 La sécurité des infrastructures : 20
I.8 Méthodes de placement des nœuds capteurs dans les RCSF 21
I.8.1 Placement aléatoire : 22
I.8.2 Placement déterministe : 22
I.9 Problématiques : 22
I.10 Conclusion : 24
Chapitre II 25
II.1 Introduction 26
II.2 Protocoles de routage dans les RCSF : 26
II.2.1 Routage à plat [MOU 16] 27
II.2.2. Les protocoles géographiques : [BOU 08] 28
II.2.3 Les protocoles hiérarchiques : 29
II.2.3.1Approche à grappe (Cluster-based approach) : 31
II.3Le protocole LEACH :(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 32
II.3.1 Phase de configuration (setup phase) : 34
II.3.2Phase de transmission (steady state phase): 36
II.3.3Avantages et inconvénients du protocole LEACH : 37
II.3.4Le modèle énergétique : 38
II.3.5Modèle de propagation 40
II.3.6Exemples de protocoles d'auto-organisation hiérarchique inspiré de LEACH 40
II.3.6.1 LEACH avancé 41
II.3.6 .2 Le Protocole SEP (Stable Election Protocol) : 41
II.3.6 .3 Protocole Z-SEP (Zonal-Stable Election Protocole) : 42
II.4 Comparaison entre les protocoles LEACH, LEACH avancé, SEP et ZSEP : 44
II.5 Conclusion 47
Chapitre III 48
III-1-Introduction : 49
III-2- Le Protocole SEP 49
III-3- L'organigramme De Protocole SEP 50
III-4- La modélisation et environnement de simulation du système : 53
III-5- Métriques utilisées : 56
III-6-Résultats des simulations et interprétations: 57
III-6-1-1 La Période de stabilité : 57
III-6-1-2- La Consummation d'énergie: 60
III-6-1-3- l'Energie Moyenne Consommé : 61

III-6-1-4- La Transmission de paquets envoyés : 61
III-6-2-1 La Période de stabilité : 62
III-6-2-2 La Période de stabilité : 62
III-6-2-3- La consommation d'Energie 63
III-6-2-4- La Transmission de paquets envoyés : 64
III-6-2-5- l'Energie Moyenne Conssomé : 64
III-6-2-6-Paquets Moyenne Envoyés : 65
III-8- Conclusion : 69
Conclusion générale 71
Perspective 72
Bibliographie 73

Liste des figures

Figure I.1 :Réseau de capteurs sans fil [CHA 08] 5
Figure I.2 :Architecture générale d'un réseau de capteurs sans fils [CHA 08] 6
Figure I.3 : Schéma synoptique d'un nœud capteur [YOU 10]. 8
Figure I.4 : Consommation d'énergie dans un nœud capteur. [BOU 10] 10
Figure I.5 : Diagramme de transition entre les différents états d'activités d'un nœud capteur [NGO 16] 15
Figure I.6: Contrôle de l'environnement [OUA 09]. 18
Figure I.7: Un service militaire utilisant les RCSF [YOU 12]. 19
Figure I.8: Application des RCSF dans le domaine de la médecine [YOU 12]. 20
Figure I.9: Quelques domaines d'application pour les RCSF [YOU 12]. 21
Figure II.10 :Classes de protocoles de routage. [MOU 16] 27
Figure II.11 : Le routage hiérarchique. 30
Figure II.12 : Cluster-basedapproach (approche à grappe). 31
Figure II.13 : Principe de Clusterisation dans LEACH. [BOU 08] 33
Figure II.14 : Les deux phases d'exécution pour le protocole LEACH [AYO 15]. 34
Figure II.15 : La phase d'initialisation (set-up). [BOU 08] 36
Figure II.16 : Répartition du temps dans la phase de transmission. [AYO 15] 37
Figure II.17 : Modèle de radio. 39
Figure II.18 : Architecture de réseau SEP. [SMA 04] 41
Figure II.19 : Architecture de réseau Z-SEP. [GHA] 43
Figure II.20 : Nombre de nœuds morts en fonction de Tours. 44
Figure II.21 : Energie résiduelle en fonction de Tours. 45
Figure II.22 : nombre de messages reçus par la station de base en fonction de Tours. 46
Figure III.23 :L'organigramme De Protocole SEP 52
Figure III.24 : Organigramme de la phase de transmission 54
Figure III.25 : Réseau Hétérogène aléatoirement déployé avec m=0.3 et n=100 57
Figure III.26 : Période de stabilité en fonction de tours. 58
Figure III.27 : Pourcentage d'efficacité de SEPMOD par rapport SEP. 59
Figure III.28 :Energie consommé en fonction de tours. 60
Figure III.29 :Energie moyenne consommé en fonction de tours. 60
Figure III.30 :Nombre de paquet envoyer vers la SB en fonction de tours. 61
Figure III.31 :Nombre de paquet moyenne envoyer vers la SB en fonction de tours. 62

Figure III.32 :Période de stabilité en fonction de tours. 62
Figure III.33 :Pourcentage d'efficacité de SEPMOD par rapport SEP. 63
Figure III.34 : Energie consommé en fonction de tours. 63
Figure III.35 :Nombre de paquet envoyer vers la SB en fonction de tours. 64
Figure III.36 :Energie moyenne consommé en fonction de tours. 64
Figure III.37 :Nombre de paquet moyenne envoyer vers la SB en fonction de tours. 65
Figure III.38 :Nombre des nœuds morts en fonction de tours. 66
Figure III.39 :Energie consommée au point de stabilité. 66
Figure III.40 :Nombre de paquet envoyer vers la SB en fonction de tours. 66
Figure III.41 :Nombre de nœuds en vie en fonction de tours. 67
Figure III.42 :Energie résiduelle en fonction de tours. 67

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Comparaison de quelques plates formes de nœuds capteurs [LOU 15]..... 10

Tableau I.2 : Comparaison entre les trois technologies IEEE802.11, Bluetooth et Zigbee 17

Liste des acronymes

2D Deux dimensions

3D Trois dimensions

ADC Analog to Digital Converter

ADV Advertising

BS Base station

CDMA Code-Division Multiple Access

CH Cluster Head

CSIP Collaborative Signal and Information Processing

CSMA Carrier Sense Multiple Access

DVS Dynamic Voltage Scaling

GEAR Geographic and Energy Aware Routing

GPS Global Positioning System

ID Identity

LEACH Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy

LEACH-Av Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy advanced

m masse

MAC Medium Access Control

MATLAB MATrixLABoratory

MEMS Microsystèmesélectromécaniques

MIT Massachusetts Institute of Technology

NiCd Nickel-cadmium

NIMH Nickel-hydruremétallique

NP NoeudProche

P Pression

RAM Random-Access Memory

RCSF Réseaux decapteurs sans fils

REQ Request

RF Radio Frequency

RX Réception

SEP Stable Election Protocol

SEP-A SEP Améliorer

SN Sensornode

SPIN SensorProtocols for Information via Negotiation

T Température

TDMA Time-Division Multiple Access

TOR Tout Ou Rien

TX Transmission

WSN Wireless Sensor Network.

Z-SEP Zonal-Stable Election Protocol

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Les réseaux de capteurs sans fil (Wireless SensorNetworks; WSN) sont considérés comme un typespécial de réseaux ad hoc, composés d'un grand nombre decapteurs matériellement petits, et placés généralement près des objets auxquels ils s'intéressent dans les environnementsoù ils sont déployés. Ces capteurs sont capables de récolter, traiter et acheminer les données environnementales de larégion surveillée d'une manière autonome, vers des stationsde collecte appelées nœuds puits ou stations de base [AKY 02, AKK 05].

Dans les réseaux de capteurs, la consommation d'énergie estune contrainte très cruciale puisque généralement lescapteurs sont déployés dans des zones inaccessibles. Ainsi, il est difficile voire impossible de remplacer les batteriesaprès leur épuisement. De ce fait, la consommationd'énergie au niveau des capteurs a une grande influence surla durée de vie du réseau en entier. Il est donc impératif demettre en place des protocoles de routage efficaces enénergie, et qui prennent en compte les contraintes imposéespar ces capteurs. La majorité des travaux de recherche menés actuellement se concentrent principalement sur lesmoyens de réduire au minimum l'énergie consommée dans la communication de données de sorte à maximiser la duréede vie du réseau.

Dans ce projet, nous proposons une nouvelle approche deroutage efficace en énergie, en adaptant des techniques declustering pour l'élaborer.Leclustering consiste àpartitionner le réseau en clusters. Les cluster-heads (CHs) sont désignés, soit par élection par lesautres nœuds capteurs [HEI 00, YOU 04], sinon ils sont assignés par uneautorité centralisée [HEI 02] ; nœud puits par exemple. Les CHssélectionnés assurent non seulement la gestion de leursclusters et la collecte de données mais aussi la transmissionde ces données collectées à la station de base.

Dans ce mémoire, notre contribution se concentre sur l'amélioration des protocoles de routage dont le but de traiter le problème de gestion d'énergie afin de maximiser la durée de vie du réseau. Pour cela, nous avons étudié les protocoles de routage hiérarchique et d'auto-organisation comme LEACH et SEP afin d'améliorer ces derniers pour atteindre notre objectif.

Ce mémoire est constitué de trois chapitres essentiels :

Chapitre1 : est consacré aux généralités sur les réseaux de capteur sans fils, leurs domaines d'utilisation et la problématique de ce domaine.

Chapitre 2 : dans ce chapitre on présente les protocoles de clustérisassions et d'auto-organisation qui gèrent la consommation et la répartition de l'énergie dans les WSNs.

Chapitre 3 : Dans ce dernier chapitre on présente notre contribution qui améliore les protocoles de routage hiérarchique et d'auto-organisation dans le but de réduire la consommation d'énergie et prolonger la durée de vie du réseau.

Notre travail sera finalisé par une conclusion générale

ChapitreI

GENERALITES SUR LES RESEAUX DE CAPTEURS SANS FILS

CHAPITRE I :
GENERALITE SUR LES RESEAUX DE CAPTEURS SANS FIL

I.1Introduction

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 donner d'abord une vue générale sur les réseaux de capteurs sans fils, en présentant leurs architectures, domaines d'application et contraintes.

I.2 Définition d'un réseau de capteurs :

Un réseau de capteurs sans fil (RCSF**)** [LEH 06], [KAR 09] est un système distribué de grande échelle mettant en communication un grand nombre d'entités autonomes communément appelées « capteurs sans fil », ou simplement « capteurs ». Ces capteurs forment donc les nœuds du réseau.

Dans un scénario d'application classique, plusieurs nœuds capteurs sont déployés dans un certain environnement pour mesurer certains phénomènes physiques et faire remonter les informations collectées à une station de base, nommée le nœud puit (une porte d'entrée vers le monde extérieur qui fait l'interface entre le réseau de capteurs et l'utilisateur des données). Dans le cas le plus simple, les capteurs seront dans le voisinage direct du puit (un réseau de type étoile à un saut). Cependant, dans le cas d'un réseau à grande échelle, les capteurs ne sont pas tous dans le voisinage du puit et les messages seront acheminés du nœud source vers le puit en transitant par plusieurs nœuds, selon un mode de communication multi-sauts comme l'illustre la Figure I-1.

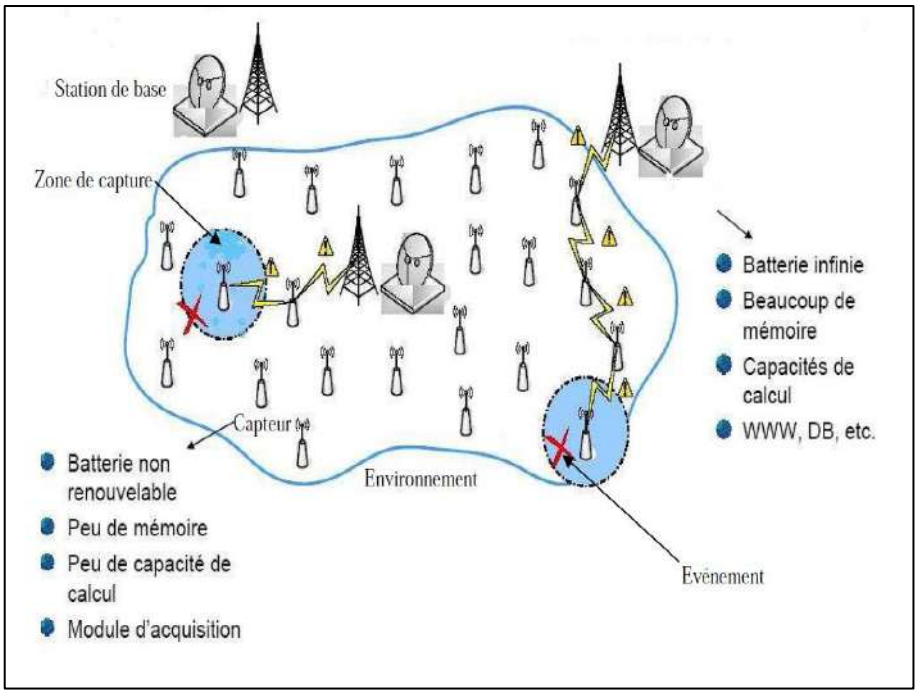


Figure I.1 :Réseau de capteurs sans fil [CHA 08]

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 [*CHA* 08] :

- Nœuds : ceux sont des capteurs, leur type, leur architecture et leur disposition géographique dépendent de l'exigence de l'application en question. Leur énergie est souvent limitée puisqu'ils sont alimentés par des piles.

- Sink (Station de base) : c'est un nœud particulier du réseau. Il est chargé de la collecte des données issues des différents nœuds du réseau. Il doit être toujours actif puisque l'arrivée des informations est aléatoire. C'est pourquoi son énergie doit être illimitée. Dans un réseau de capteur sans fils plus ou moins large et à charge un peu élevée, on peut trouver deux Sinks ou plus pour alléger la charge.

- Centre de traitement des données : c'est le centre vers lequel les données collectées par la station de base sont envoyées. Ce centre a le rôle de

regrouper les données issues des nœuds et les traiter de façon à en extraire l'information utile et exploitable.

Le centre de traitement peut être éloigné du Sink, alors les données doivent être transférées à travers un autre réseau, c'est pourquoi on introduit une passerelle entre le Sink et le réseau de transfert pour adapter le type de données au type du canal (comme c'est illustré dans la Figure I-2.

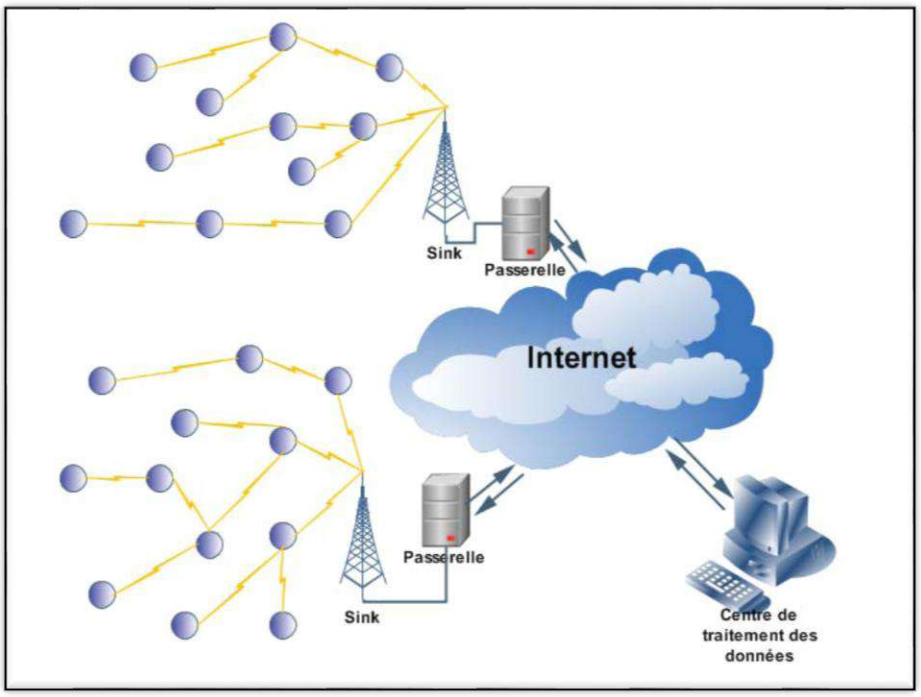


Figure I.2 :Architecture générale d'un réseau de capteurs sans fils [CHA 08]

La Figure I-2représente une architecture générale d'un RCSF où les nœuds capteurs transmettent leurs données vers un nœud Sink. Et puisque le centre de traitement des données est éloigné, les données sont acheminées via Internet, une passerelle est utilisée pour adapter le type des données au canal. La conception d'un réseau de capteurs, est influencée par beaucoup de facteurs, y compris les coûts de production, le passage à l'échelle, et l'environnement.

I.4Caractéristiques desRCSFs [LEH 09] [ATH 10] :

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

I.4.1Densité 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 [BEN 07] :

- 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 [BEN 07].

I.4.4Scalabilité (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 basesoit équipé d'une mémoire importante pour stocker les formations reçues.

I.5 Composition d'un nœud capteur sans fil :

I.5.1 schéma synoptique :

Les capteurs sont des dispositifs de taille extrêmement réduite avec des ressources très limitées, autonomes, capables de traiter des informations et de les transmettre, via les ondes radio, à une autre entité (capteurs, unité de traitements...) sur une distance limitée à quelques mètres [YOU 10].

Les réseaux de capteurs utilisent un très grand nombre de ces capteurs, pour former un réseau sans infrastructure établie. Un capteur analyse son environnement, et propage les données récoltées aux capteurs appartenant à sa zone de couverture. Chaque capteur relayant l'information sur sa propre zone de couverture, le réseau se trouve entièrement couvert.

Un capteur est composé de quatre unités de base (voir Figure I-3)

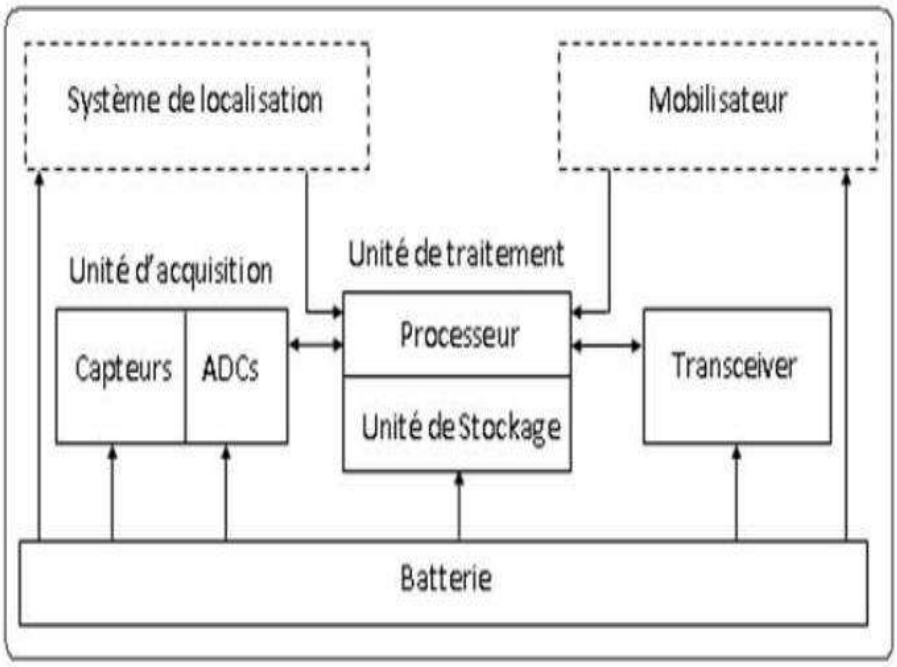


Figure I.3 : Schéma synoptique d'un nœud capteur [YOU 10].

a- L'unité d'acquisitiondes données : 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.

b- L'unité de traitement : l'unité de traitement est composée de deux interfaces, une interface pour l'unité d'acquisition et une interface pour l'unité de transmission. Cette unité est également composée d'un processeur et d'un système d'exploitation spécifique. Elle acquiert les informations en provenance de l'unité d'acquisition et les envoie à l'unité de transmission. Les microcontrôleurs utilisés dans le cadre de réseaux de capteurs sans fil sont à faible consommation d'énergie. Leurs fréquences sont assez faibles, moins de 10 MHz pour une consommation de l'ordre de 1 mW. Une autre caractéristique est la taille de leur mémoire qui est de l'ordre de 10 Ko de RAM pour les données et de 10 Ko de ROM pour les programmes [HOL 05]. Outre le traitement des données, le microcontrôleur commande également toutes les autres unités notamment le système de transmission etgère les procédures et protocoles permettant la communication entre les nœuds.

c- 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. Le système de transmission consomme environ 15 mW et possède une portée de quelques dizaines de mètres.

d- L'unité d'énergie : La gestion de l'énergie est un point primordial dans les réseaux de capteurs. Tout capteur est muni d'une ressource énergétique à durée de vie limitée, et ce, à cause de la taille réduite de la batterie et l'impossibilité de la recharger ou de la changer. Il est à noter que la gestion de l'énergie est un réel problème pour les réseaux de capteurs, et divers travaux tentent d'y remédier**.** De ce fait, l'unité de contrôle d'énergie est sans doute le composantle plus important du capteur. Elle s'occupe de la répartitionde l'énergie au sein du capteur entre les divers modules. Elle permet également quelques fois de réduire la consommation d'énergie en agissant sur les modules inactifs. [DOU 06].

La figure I-4 résume la consommation d'énergie dans les différentes unités d'un capteur.

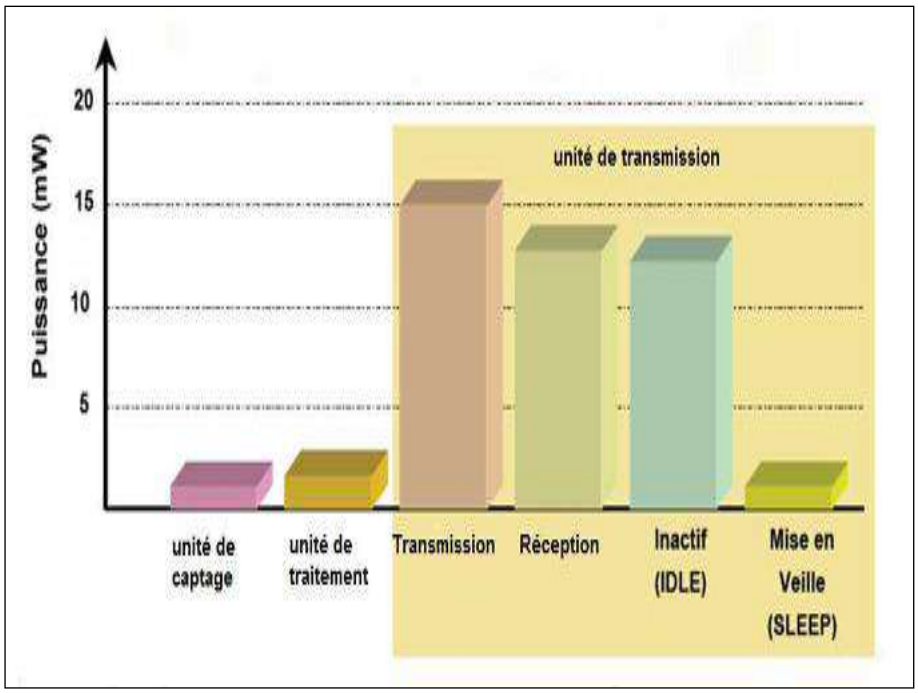


Figure I.4 : Consommation d'énergie dans un nœud capteur. [BOU 10]

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.

Il existe des capteurs qui sont dotés d'autres composants additionnels tels que les systèmes de localisation GPS (Global Position System)et un mobilisateur lui permettant le déplacement.

Tableau I.1 : Comparaison de quelques plates formes de nœuds capteurs [LOU 15].

Type de Nœud	**Telos** 	**Mica2** 	**SunSPOT** 	**Imote2** 

Type de Micro contrôleur	**8 Mhz, 8 bits**	**7.37 Mhz, 8 bits**	**180 Mhz, 32 bits**	**13-416 Mhz, 16 bits**
RAM	**2 Ko**	**4 Ko**	**512 Ko**	**256 Ko**
ROM	**256 Ko**	**512 Ko**	**4 Mo**	**32 Mo**
Bande passante	**250 Kbps**	**38.4 Kbps**	**250 Kbps**	**250 Kbps**
Capacité de la batterie	**Coin cell 1000 mAh**	**2xAA 5700 mAh**	**Rechargeable 750 mAh**	**3xAAA 3750 mAh**
Portée maximale (m)	**100**	**150-300 m**	**100**	**100**
Radio	**Chipcon CC2420 2.4GHz 250 Kbps IEEE 802.15.4**	**Chipcon CC1000 315/433/33/868/91 6 Mhz 38.4 Kbauds**	**Chipcon CC2420 2.4GHz 250 Kbps IEEE 802.15.4**	**Chipcon CC2420 2.4GHz 250 Kbps IEEE 802.15.4**

Système d'exploitation	**TinyOS**	**TinyOS**	**Squawk (Machine virtuelle Java)**	**TinyOS**
Connexion au PC	**Port série**	**Carte de programmation**	**Interface USB**	**Interface USB**

I.6 Facteurs et contraintes influents sur la conception et le déploiement de RCSF :

I.6.1 Durée de vie du réseau [NGO 16] :

Dans notre cas d'étude, nous considérons la durée de vie d'un RCSF comme étant liée à l'activité nodale. Donc la durée de vie du RCSF est définie comme étant la durée pendant laquelle le réseau assure toutes les fonctionnalités du réseau (couverture, connectivite, etc.), c'est-à-dire, la durée de vie RCSF mesure dans ce cas, le temps qui s'écoule entre le début de la mise en service du réseau jusqu'à ce que le premier nœud de celui-ci devienne défaillant, et par la suite ne soit plus fonctionnel. Soit M = {S_1, S2,..., S_N} l'ensemble des nœuds d'un RCSF donné, et soit Si M un nœud capteur donné dont la durée de vie est égale àT_i. Si nous posons T_n la durée de vie du RCSF, alors elle est donnée par :

$$T_n = \min_{Si \in M} T_n$$

I.6.2 Ressources limitées :

Compte tenu de leurs petites tailles et leurs faibles coûts, les nœuds capteurs ont plusieurs limitations telles que des capacités énergétiques de stockage et de traitements limitées, de faibles capacités de détection et de communication. En effet, les rayons de détection et de communication des capteurs varient généralement entre des dizaines de mètres et des centaines de mètres. **[**NGO 16**]**

I.6.3 Facteur d'échelle :

Plusieurs applications des RCSF exigent généralement un déploiement très dense des nœuds capteurs. Ainsi, le nombre de nœuds déployés pour certaines applications peut être supérieur à des milliers. Ce déploiement dense a pour conséquence des surcharges réseaux très importantes. Par conséquent, les protocoles de communication doivent garantir les fonctionnalités du réseau quel que soit l'importance de la charge. **[**NGO 16**]**

I.6.4 Topologie dynamique :

A l'instar des réseaux Ad hoc, les topologies des RCSF sont souvent très dynamiques. Ces changements topologiques sont généralement causés par les contraintes liées à la défaillance des nœuds capteurs, à celles liées à l'environnement de déploiement des capteurs souvent hostile ou inaccessible et aux mobilités possibles des nœuds. **[**NGO 16**]**

I.6.5 Agrégation des données :

L'absence de planification du déploiement souvent dense des nœuds dans les RCSF peut engendrer des topologies de couvertures redondantes. Dans ce cas de figure, plusieurs capteurs voisins peuvent capturer des mesures qui sont très proches (spatialement et temporairement), et les envoyer en même temps à la station de base. Ainsi, cette dernière peut recevoir des données redondantes via plusieurs sources différentes. Plusieurs protocoles de communication (de niveaux MAC et routage) permettent à la station de base ou à des nœuds intermédiaires de faire l'agrégation de données reçues via des sources différentes avant de les envoyer. Ces techniques peuvent ainsi réduire la charge des données transmises et la consommation énergétique dans l'ensemble du réseau. Les techniques d'agrégation sont généralement utilisées dans les architectures centralisées basées sur le clustering. Dans ce cas les CH sont chargées d'agréger si nécessaire les données reçues via leurs nœuds membres avant leurs transmissions à la station de base. **[**NGO 16**]**

I.6.6 Formes de dissipation d'énergie [ALL 14] :

Le but d'un réseau de capteurs est de surveiller une zone, prendre des mesures et de les faire remonter vers un certains nœuds qui sont en mesure de relayer l'information à l'utilisateur final. Pour cela, les capteurs déployés utilisent leur énergie pour réaliser trois

actions principales : la capture, le traitement des données captées et la communication (émission/réception). Dans ce qui suit, nous allons détailler ces trois formes de dissipation d'énergie.

I.6.6.1 Énergie de capture :

La capture est effectuée par les composants d'acquisition qui traduisent les phénomènes physique en signal électrique. La consommation d'énergie du module de détection dépend de la spécificité du capteur. Dans de nombreux cas, elle est négligeable par rapport à l'énergie consommée par les modules de traitement et communication. L'énergie consommée lors de la capture peut être réduite en utilisant des composants à faible consommation d'énergie. Une autre façon de réduire l'énergie consommée lors de la capture consiste à réduire la durée de capture et supprimer les captures jugées redondantes et inutiles.

I.6.6.2 Energie de traitement

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

I.6.6.3 Energie de communication :

L'énergie de communication (réception/émission) représente la plus grande proportion d'énergie totale consommée au niveau d'un nœud capteur. Cette énergie est fonction de la quantité des données à communiquer, la distance de transmission et 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.

I.6.7 Module radio :

Pour assurer la communication entre les éléments du réseau, les capteurs utilisent leurs modules radio. Ce module est le composant qui consomme le plus d'énergie. Il opère dans quatre modes de fonctionnement : actif, émission, réception et sommeil.

- **Mode actif :** le nœud capteur n'est ni en train de recevoir ni de transmettre. Cet état provoque une perte de l'énergie suite à l'écoute inutile du canal de transmission.

- **Mode émission :** la radio transmet un paquet.

- **Mode réception :** la radio reçoit un paquet.

- **Mode Sommeil :** la radio est mise hors tension.

La transition entre ces différents états induit une énergie appelée énergie de transition même si elle est relativement faible par rapport à d'autres formes de dissipation énergétique du capteur. [NGO 16][ALL 14]

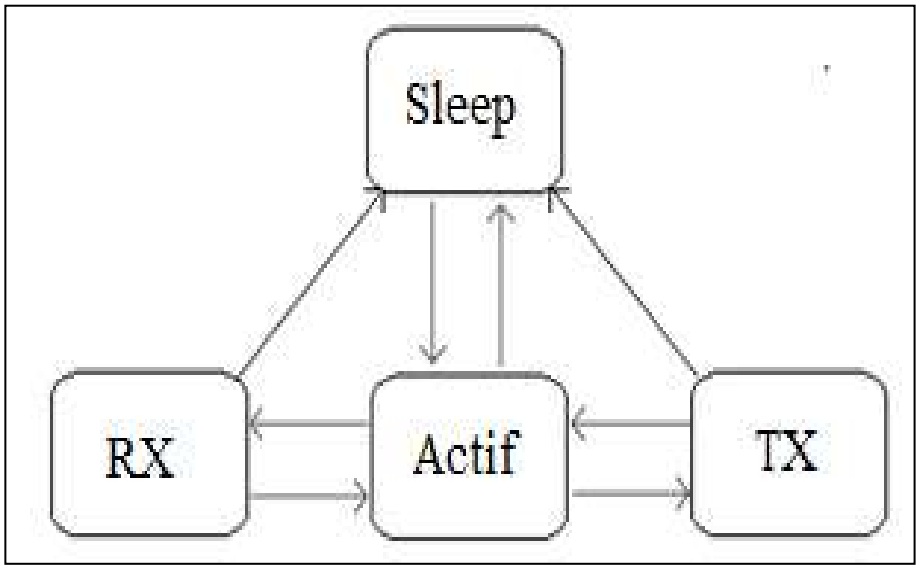


Figure I.5 : Diagramme de transition entre les différents états d'activités d'un nœud capteur [NGO 16]

I.6.8 Sources de surconsommation d'énergie [ALL 14] :

Dans ce qui suit, nous allons présenter les principales causes de consommation d'énergie au niveau de la couche MAC.

- La retransmission : Les nœuds capteurs partagent le même canal de transmission. Par ailleurs, la transmission simultanée des données provenant de plusieurs capteurs peut produire des collisions et ainsi une perte de l'information transmise. L'information perdue doit être retransmise, ce qui consomme davantage l'énergie.

- L'écoute active : L'écoute au canal de communication pour recevoir un éventuel paquet peut engendrer une perte importante de l'énergie des nœuds. Pour éviter ce problème, il faut chavirer les nœuds dans le mode sommeil le plus longtemps possible.

- La sur-écoute (overhearing) : Le phénomène de sur-écoute se produit quand un nœud reçoit des paquets qui ne lui sont pas destinés. La sur-écoute conduit à une perte d'énergie additionnelle à cause de l'implication des autres capteurs dans la réception des données.

- La surcharge (overhead) : Généralement, les protocoles MAC s'échangent de message de contrôle pour assurer les différentes fonctionnalités telles que : la signalisation, la connectivité et l'établissement d'un plan d'accès pour éviter les collisions. Tous ces messages échangés nécessitent une énergie additionnelle. Par exemple, les trames de contrôle RTS/CTS (Request To Send/ Clear To Send) ne véhiculent aucune informations alors que leurs transmission consomme de l'énergie.

- La surémission : il s'agit du phénomène où le nœud capteur envoie les données à un destinataire qui n'est pas prêt à les recevoir. Ces données envoyées inutilement consomment une énergie additionnelle considérable.

- La taille des paquets : La taille des paquets échangés dans le réseau a un effet sur la consommation d'énergie des nœuds émetteurs et récepteurs. Ainsi, la taille des paquets ne doit être ni trop élevée ni trop faible. En effet, si elle est petite, le nombre de paquets de contrôle (acquittement) générés augmente l'overhead. Dans le cas contraire, une grande puissance de transmission est nécessaire pour des paquets de grande taille.

I.6.9 Technologies et standards de communication [BOU 08]

Pour assurer la communication sans fil entre les nœuds d'un réseau de capteur, un certain nombre de modalités de communication peuvent être employées. Par exemple : la radio, la lumière diffusée, le laser...etc.

Parmi les standards les plus aptes à être exploités dans les réseaux de capteurs on retrouve : WIFI (IEEE 802.11), Bluetooth (IEEE802.15.1 and .2), ZigBee (IEEE 802.15.4).

Tableau I.2 : Comparaison entre les trois technologies IEEE802.11, Bluetooth et Zigbee

Technologie	WIFI	Zigbee	Bluetooth
IEEE	802.11a/b/g	802.15.4	802.15.1
Besoins mémoire	1 Mb +	4 - 32 Kb	250 Kb +
Autonomie avec pile	Heures	Années	Jours
Vitesse de transfert	11-54 et + Mb/s	250 KB/s	1 Mb/s
Portée	300 m	100 m	10-100 m

I.7. Les applications des RCSF :

Le déploiement rapide des RCSFs autonomes a faible prix, même sur une très grande échellegéographique, a été la source d'émergence de plusieurs applications différentes en termes des besoins et des caractéristiques. On cite ci-dessous les principaux domaines d'application des RCSFs

I.7.1Contrôle de l'environnement :

Dans ce domaine, les capteurs peuvent être exploités pour détecter les catastrophes naturelles (feux de forêts, tremblements de terre, …), traquer les mouvements des animaux et surveiller les conditions d'environnement qui affectent les récoltes, les stocks et tout autre système d'agriculture

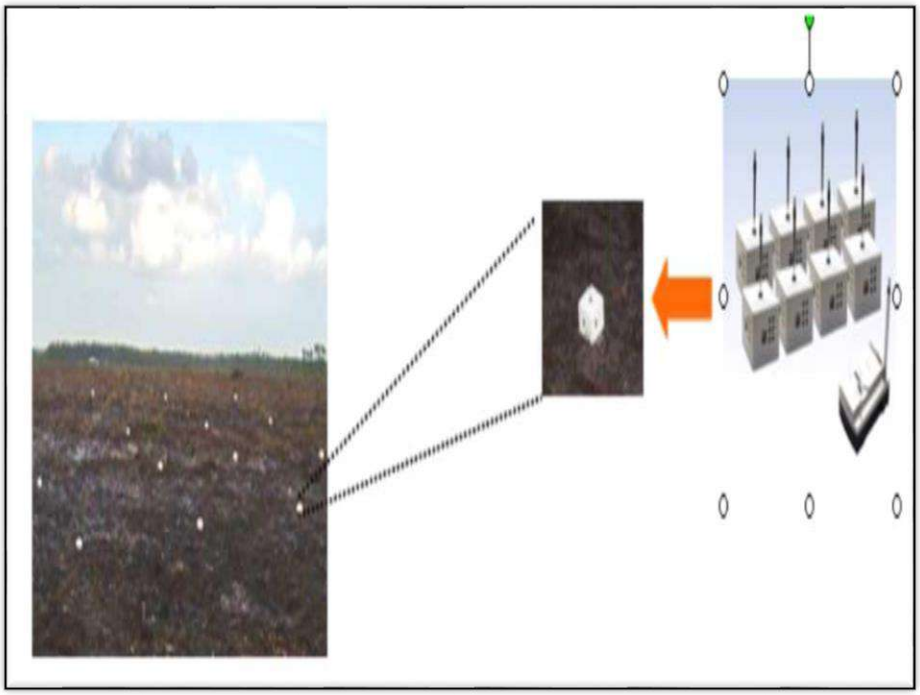


Figure I.6: Contrôle de l'environnement [OUA 09].

I.7.2Militaire :Pour les services de sécurité, la détection de dangers chimiques, etc. ...

Par exemple :

- La surveillance des munitions et des équipements militaires.
- L'évaluation des dommages.
- La connaissance de la position de ses propres soldats.
- Repérage des cibles

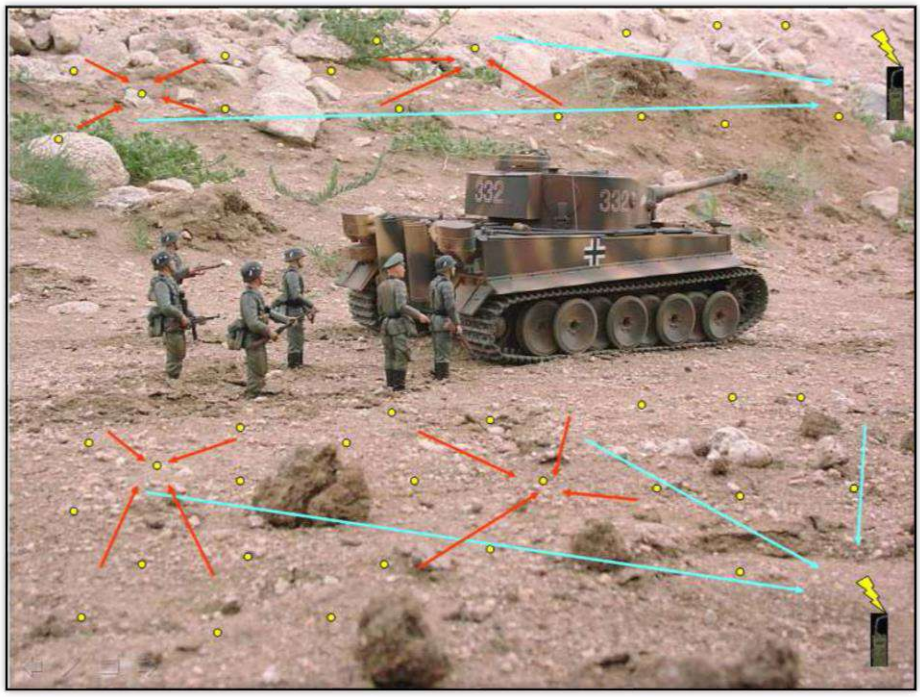


Figure I.7: Un service militaire utilisant les RCSF [YOU 12].

I.7.3 Santé :

Cette technologie consiste en la surveillance de la température, la fréquence cardiaque, l'oxygénation du sang et le pouls du patient,…etc.

- repérage et surveillance des médecins et des patients dans les hôpitaux;
- télésurveillance des données physiologiques humaines.

Par exemple :

On peut placer sur le corps d'un patient des capteurs qui surveille constamment sa température, sa fréquence cardiaque, l'oxygénation du sang et son pouls.

Un émetteur-récepteur transmet les données à une station de base branchée à un ordinateur personnel ou poste des soins infirmier ou même à un assistant numérique.

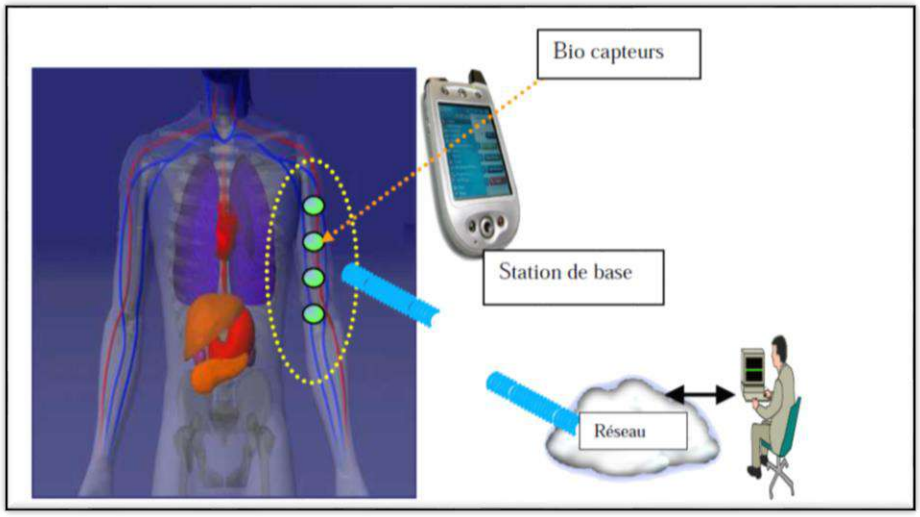


Figure I.8: Application des RCSF dans le domaine de la médecine [YOU 12].

I.7.4 Applications industrielles :

Pour gérer la circulation, la direction d'un objet, la lumière, etc.

Par exemple :

Contrôle de la pollution : On pourrait disperser des capteurs au-dessus d'un emplacement industriel pour détecter et contrôler des fuites de gaz ou de produits chimiques. Ces applications permettraient de donner l'alerte en un temps record et de pouvoir suivre l'évolution de la catastrophe.

I.7.5 La sécurité des infrastructures :

Les RCSF est un candidat prometteur pour assurer la sécurité des bâtis stratégiques contre toute attaque à caractère terroriste. En effet, un réseau de caméras vidéo, capteur

acoustiques ou autres types de capteurs peuvent être déployés facilement autour de ces bâtiments pour détecter toute intrusion en temps record et avec une précision imbattable.

Le grand nombre de capteurs réduit énormément les fausses alertes grâce à une fusion d'informations ; les nouveaux capteurs peuvent également détecter les attaques d'ordre biologique, chimique ou nucléaire [SOH 07].

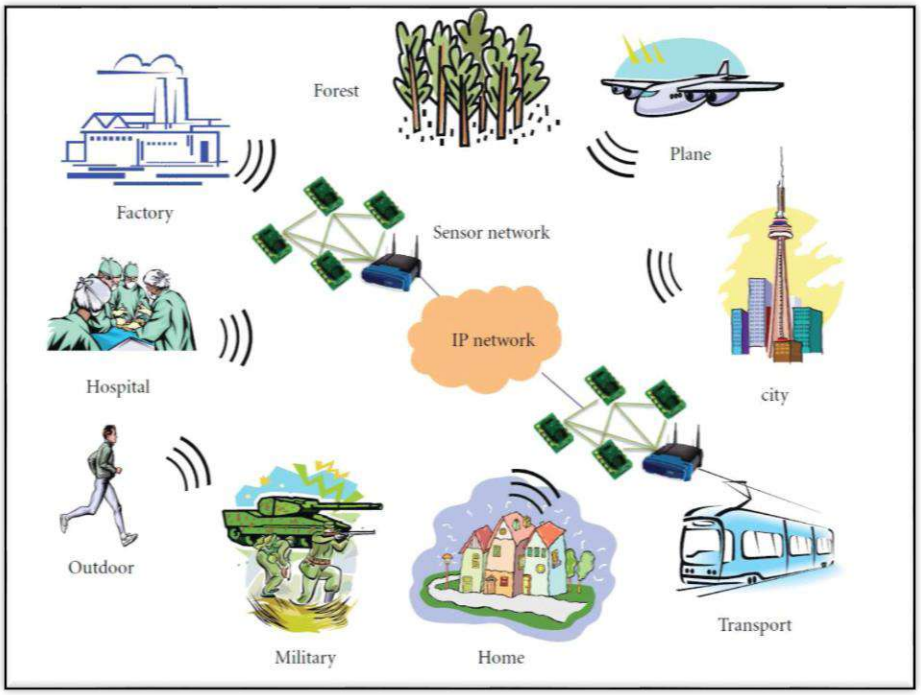


Figure I.9*:* Quelques domaines d'application pour les RCSF [YOU 12].

I.8 Méthodes de placement des nœuds capteurs dans les RCSF

Le placement des nœuds capteurs dans une zone d'intérêt n'est pas obligatoirement déterminé en amont dans la conception et de déploiement d'un RCSF donné. Ainsi, les nœuds peuvent être placés aléatoirement dans la zone d'intérêt ou placés de façon déterministe. Les méthodes de placementdes nœuds dépendent généralement du type d'application et du type d'environnement où ils sontdéployés. Il existe deux méthodes de placement des nœuds dans les RCSF qui sont le placementaléatoire et le placement déterministe.

I.8.1 Placement aléatoire :

La méthode de placement aléatoire est généralement utilisée pour le déploiement de nœuds capteursdans des zones inconnues, difficiles d'accès ou inaccessibles (zone de bataille, montagne, atmosphère, etc.). Dans ce cas, les nœuds peuvent être déployés à l'aide de divers moyens, parexemple via des avions, des bateaux, etc. Cependant, ces méthodes de placement aléatoiresnécessitent généralement des techniques fréquentes de contrôle de la topologie et de reconfigurationdes nœuds dans le but de garantir la stabilité du réseau et d'assurer une transmission efficace desdonnées.

I.8.2 Placement déterministe :

Dans le cas où l'environnement de déploiement des capteurs est accessible ou connu, les nœudspeuvent être placés de façon déterministe. Dans ce cas, les nœuds peuvent être placés à despositions fixes et connues en utilisant un système de coordonnées 2D ou 3D. Cependant, pourbeaucoup d'applications des RCSF qui exigent un déploiement optimal des nœuds dans la zone desurveillance, il est nécessaire d'étudier et de planifier la méthode de déploiement adéquate lors de laconception et le déploiement du RCSF. En effet, la méthode de déploiement influe grandement surla performance d'un RCSF [NGO 16].

I.9 Problématiques :

Pour réaliser des systèmes capables de fournir de telles applications, un certain nombre d'obstacles doivent être levés. Les plus importants sont : [KEC 10]

- **La topologie dynamique :**La mobilité des nœuds, la possibilité d'étendre le réseau par ajout de nouveaux nœuds et la suppression de nœuds défaillants changent fréquemment la topologie des réseaux. Ceci nécessite une maintenance permanente pour assurer le bon fonctionnement des réseaux de capteurs.
- **L'environnement :** Les nœuds capteurs doivent être conçus d'une manière à résister aux différentes et sévères conditions de l'environnement : forte chaleur, pluie,...etc.
- **La consommation d'énergie :**Un capteur, de par sa taille, est limité en énergie. Dans la plupart des cas, le remplacement de la batterie est impossible, ce qui veut

dire que la durée de vie d'un capteur dépend de la durée de vie de sa batterie. Les recherches actuelles se concentrent principalement sur les moyens d'optimiser la consommation d'énergie par les nœuds capteurs.

- **Le routage** : Pour obtenir une consommation énergétique minimale.

Tous ces thèmes sont des domaines de recherche actifs. Dans la suite, nous nous intéresserons plus particulièrement aux problèmes de la gestion et la consommation d'énergie dans le but d'augmenter la durée de vie du réseau par les protocoles d'auto-organisation.

I.10 Conclusion :

La flexibilité, le prix réduit et les caractéristiques rapides de déploiement des réseaux de capteurs offrent des possibilités infinies de développement dans tous les domaines d'application. Ceci nous permet de penser que les réseaux de capteurs feront bientôt partie intégrante de nos vies et satisferont sûrement les plus grands projets.

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.

Dans ce chapitre, nous avons fait un état de l'art sur les RCSF en décrivant leurs fonctionnements, leurs caractéristiques, leurs domaines d'applications. Les architectures et les modèles de communications sont également abordés.

Nous nous intéressons, Dans le deuxième chapitre de ce projet, à la présentation des différents principes et objectifs de l'auto-organisation basé sur laTechniques de clusterisation qui assure le routage des données ,la gestion et la conservation de l'énergie afin de prolonger la durée de vie du réseau.

Chapitre II

ROUTAGE HIERARCHIQUE DANS LES RCSF

CHAPITRE II : LES PROTOCOLES DE CLUSTERISASSIONS ET D'AUTO-ORGANISATION

II.1 Introduction

Les protocoles de routage à plat fonctionnent bien quand le réseau ne comprend pas un grand nombre de nœuds. La structuration d'un réseau est un des outils principaux pour sauvegarder l'énergie dans chaque nœud du réseau, ce qui aboutit à prolonger la vie du système. Une des structures les plus connues est la hiérarchie. La technique de hiérarchisation sert à partitionner le réseau en sous-ensembles afin de faciliter la gestion du réseau surtout le routage, qui se réalise à plusieurs niveaux. Dans ce type de protocoles, la vue du réseau devient locale ; des nœuds spéciaux peuvent avoir des rôles supplémentaires. La littérature comprend plusieurs contributions dans les techniques de hiérarchisation du réseau ainsi que plusieurs d'autres protocoles ont été inspirés de la hiérarchisation telle que LEACH, SEP et ZSEP qui seront détaillés dans cette section.

II.2 Protocoles de routage dans les RCSF :

La section structure du réseau présente trois classes principales de protocoles de routage dédiés aux RCSF, à savoir les protocoles utilisant le routage plat, le routage géographique ou le routage hiérarchique qui sont représenté dans la figure [MOU 16]

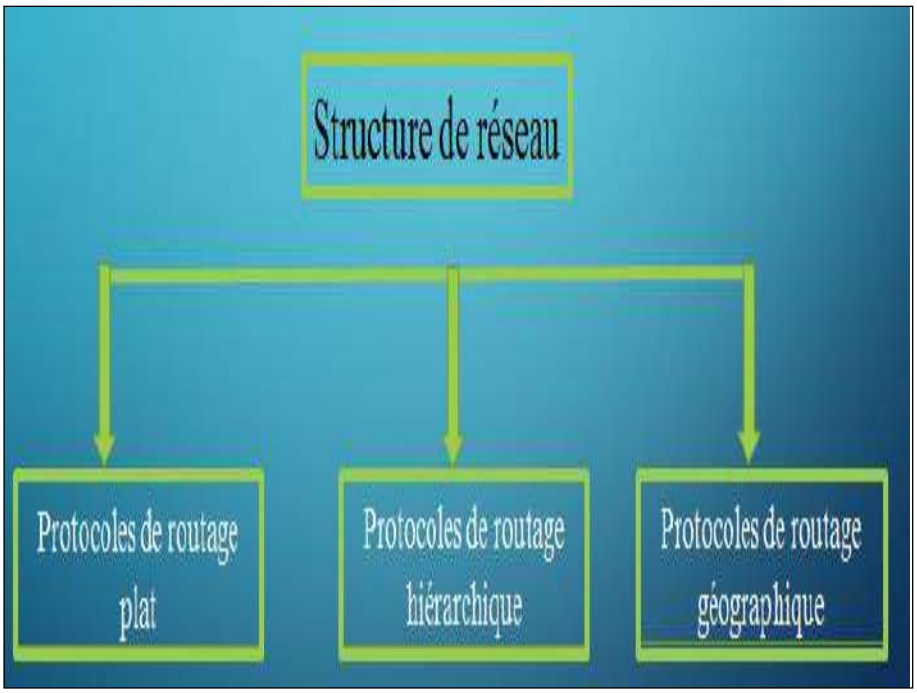


Figure II.10 :Classes de protocoles de routage. [MOU 16]

II.2.1 Routage à plat [MOU 16]

Dans une structure plate du réseau, les nœuds jouent le même rôle et coopèrent ensemble pour réaliser la capture et le routage des données. En raison du grand nombre de nœuds, il n'est pas possible d'assigner un identificateur global à chaque nœud, de ce fait le routage centré donné a vu le jour. Dans ce type de routage, la station de base propage généralement ses requêtes dans tout le réseau, chaque requête possède la forme suivante : « Trouver moi des données qui satisferont certaines condition ». La station de base attend par la suite les données requises auprès des capteurs localisés dans les régions de capture sélectionnées par ces requêtes. On peut citer comme exemple :

- **FLOODING :**

La technique du FLOODING (inondation) est un mécanisme classique où chaque nœud capteur transmis, par diffusion les paquets reçus à ses voisins même si ces derniers ont déjà reçu ces paquets d'une autre source ; les données seront diffusées de la même façon jusqu'à ce que le réseau soit inondé. La technique de FLOODING est une technique réactive qui ne nécessite pas une maintenance couteuse de la topologie du réseau, elle utilise des

algorithmes simples pour la découverte des routes. Cette simplicité mène à un majeur inconvénient qui est la redondance ou la duplication des paquets. Le protocole gaspille de l'énergie, en envoyant des copies du même paquet à un même nœud, ce qui ne réduit en rien la perte de l'énergie.

La technique de FLOODING ne prend pas en compte les ressources d'énergie disponibles. Cependant, la diffusion des messages continue après la réception de ces derniers par la station de base. En effet, seul le nœud destinataire sait qu'il a reçu le message ; il y a donc un gâchis de la bande passante et des dépenses d'énergie inutiles.

II.2.2. Les protocoles géographiques : [BOU 08]

Dans ce type de routage, les nœuds capteurs sont adressés en fonction de leurs localisations. La distance entre les nœuds voisins peut être estimée sur la base des forces entrantes de signal. Des coordonnées relatives des nœuds voisins peuvent être obtenues en échangeant une telle information entre les voisins. Alternativement, la location des nœuds peut être disponible directement en communiquant avec un satellite en utilisant GPS (système de positionnement global).

Dans la plupart des protocoles de routage, l'information sur la localisation des nœuds est nécessaire afin de calculer la distance entre deux nœuds particuliers de sorte que la consommation d'énergie puisse être estimée. On peut mentionner parmi ces protocoles :

- **MECN et SMECN :**

MECN (Minimum energy communication network) utilise le GPS à basse puissance. L'idée principale est de trouver un sous réseau, qui aura moins de nœuds et qui exige moins de puissance pour la transmission entre deux nœuds particuliers quelconques. SMECN (Small MECN) est une extension de MECN. Le sous- réseau construit par SMECN est probablement plus petit (en terme de nombre d'arcs) que celui construit par MECN

- **GAF :**

GAF (Geographic adaptive fidelity) conserve l'énergie par la mise en veille des nœuds inutiles dans le réseau sans affecter le niveau de fidélité du routage. Il forme une grille virtuelle pour le domaine couvert. Chaque nœud emploie sa position indiquée par le GPS

pour s'associer à un point dans la grille virtuelle. Des nœuds liés au même point sur la grille sont considérés équivalents en termes de coût de routage. Une telle équivalence est exploitée en maintenant quelques nœuds, situés dans un secteur particulier de la grille, dans l'état de sommeil afin d'économiser de l'énergie.

- **GEAR** (geographic and energy-aware routing):

L'idée est de restreindre le nombre d'intérêts dans la diffusion dirigée en considérant seulement certaines régions plutôt que d'envoyer les intérêts au réseau tout entier.

Le routage géographique suppose que tous les nœuds connaissent leur position. Une solution basée sur le GPS peut être trop coûteuse, d'autant plus que le nombre de nœuds à équiper est très grand.

II.2.3 Les protocoles hiérarchiques :

Le routage hiérarchique est considéré comme étant l'approche la plus favorable en termes d'efficacité énergétique. Il se base sur le concept (nœud standard – nœud maître) où les nœuds standard acheminent leurs messages à leur maître, lequel les achemine ensuite dans le réseau tout entier via d'autres nœuds maîtres jusqu'à la station de base (sink).

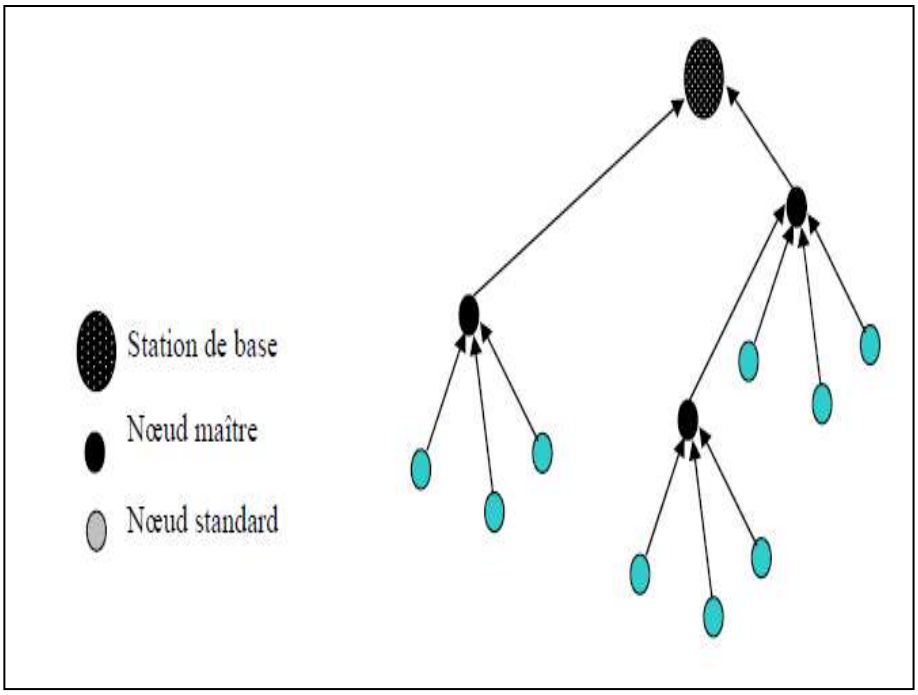


Figure II.11 : Le routage hiérarchique.

Le point fort de ce type de protocoles est l'agrégation et la fusion des données afin de diminuer le nombre de messages transmis au sink, ce qui implique une meilleure économie d'énergie. En fait, deux grandes approches sont dérivées de ce type de protocoles à savoir : chaîne-basedapproach (approche chaînée) et cluster-basedapproach (approche à grappe).

II.2.3.1Approche à grappe (Cluster-basedapproach) :

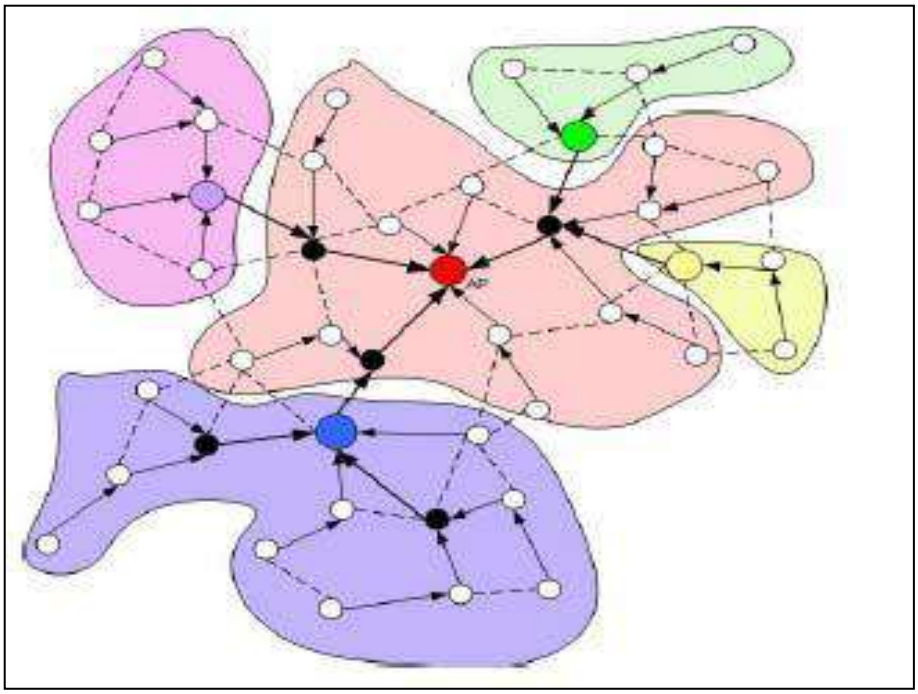


Figure II.12 : Cluster-basedapproach (approche à grappe).

Elle consiste, de façon similaire aux réseaux téléphoniques cellulaires, à partitionner le réseau en groupes (clusters) où dans chacun d'entre eux, un seul capteur est sélectionné comme leader (Cluster Head) pour jouer le rôle spécial de point de transfert. D'ailleurs, chaque CH créé un plan de transmission pour les capteurs dans la grappe, ce qui permet aux antennes radio de chaque nœud non-CH d'être éteintes toutes les fois, excepté pendant son temps de transmission. Les nœuds dont l'énergie est la plus élevée peuvent être employés dans le traitement et l'envoie d'informations tandis que ceux de basse énergie peuvent être employés dans la collection de données.

L'agrégation des capteurs en grappes permet de réduire la complexité des algorithmes de routage, d'optimiser la ressource médium en la faisant gérer localement par un chef de grappe, de faciliter l'agrégation des données, de simplifier la gestion du réseau, en particulier l'affectation d'adresses, d'optimiser les dépenses d'énergie, et enfin de rendre le réseau plus évolutif (scalable). Le clustering permet aux nœuds d'effectuer des communications sur de petites distances avec leurs CHs.

La rotation des CHs s'avère également un facteur important pour l'organisation des réseaux de capteurs. Puisque la BS (station de base ou sink) est généralement loin du

champ des capteurs, les CHs diffusent une quantité plus importante d'énergie pour la transmission de données à la BS. Par conséquent, les CHs mourront rapidement si le même nœud fonctionne continuellement comme un CH. Ainsi, pour ne pas puiser la puissance de batterie d'un capteur simple, les algorithmes de groupement (clustering) étudiés jusqu'ici présentent la rotation de CHs parmi les capteurs.

II.3Le protocole LEACH :(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)

LEACH est un protocole auto-organisateur basé sur le clustering adaptatif. Il a été l'un des premiers protocoles hiérarchiques à base de cluster. Le principe de LEACH consiste à diviser le réseau en deux niveaux : les Cluster Head (CH) et les nœuds membres ou générales (GN) [SAB 12].

Le protocole LEACH utilise la rotation randomisée pour la sélection des CH, pour une répartition uniforme de la charge énergétique entre tous les nœuds du réseau.

LEACH est fondé sur deux hypothèses de base :

• Tous les nœuds du réseau sont homogènes et limités en énergie.

• La station de base est fixe et est placée loin des capteurs,

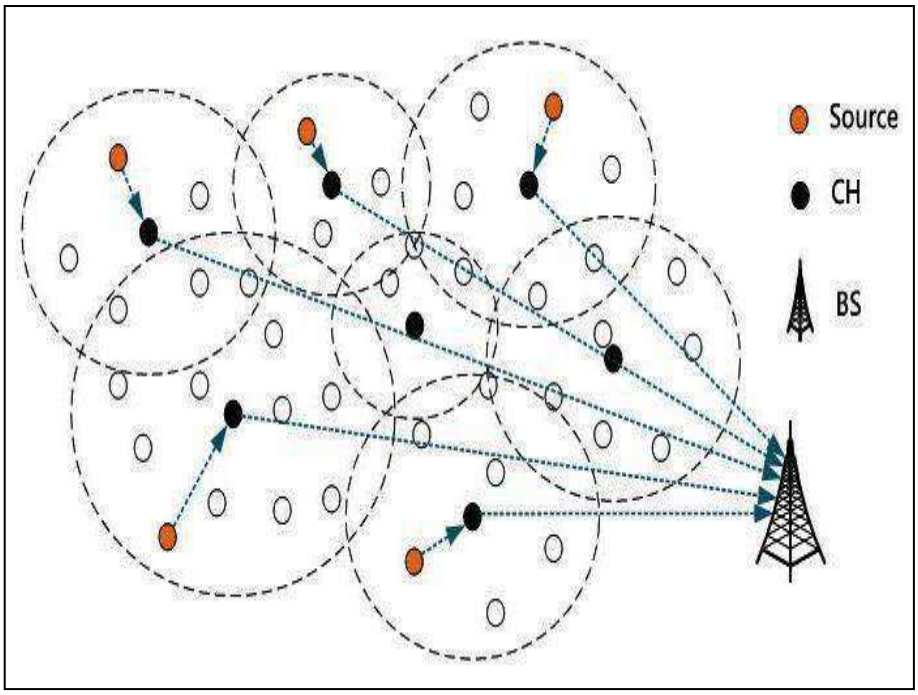


Figure II.13 : Principe de Clusterisation dans LEACH. [BOU 08]

LEACH est basé sur un algorithme de clustering distribué. C'est un protocole conçu pourle routage dans les réseaux de capteurs homogènes où les capteurs ont les mêmes caractéristiques et les mêmes capacités. Dans LEACH, les cluster-heads sont choisis aléatoirement etcommuniquent directement avec la station de base ce qui permet de minimiser la consommation et réduire la quantité d'informations envoyées à la station de base.

Le protocole s'exécute en plusieurs cycles (ou rounds). Chaque round est composé de deuxphases : la phase de configuration ou d'initialisation (setup phase) et la phase de transmission (steady state phase). Le round est composé de plusieurs frames, ces derniers à ses tours son composées de slots [OUA 09].

Setup phase ou La phase de transmission est plus longue et consomme plus d'énergie parrapport au la phase de configuration (set-up phase). La figure suivante montre les deux phasesd'exécution d'un round pour le protocole LEACH :

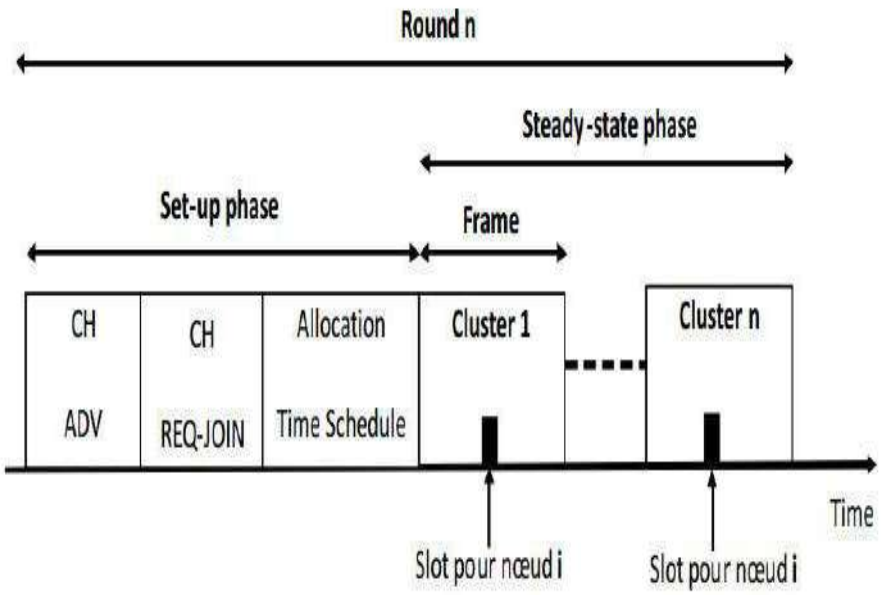


Figure II.14 : Les deux phases d'exécution pour le protocole LEACH [AYO 15].

II.3.1 Phase de configuration (setup phase) :

Lors de la première phase, les clusters sont formés et les CHs sont sélectionnées. Cettesélection se base sur deux paramètres significatifs : le cycle (round) actuelle et le nombre des CHs désiré où chaque nœud prend une valeur aléatoire entre 0 et 1. Si la valeur choisie est inférieure seuil au *T(n)*, le nœud devientCH.

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

Avec :

• ***P :*** pourcentage désiré de CHs.

• n : numéro de nœuds donné.

• ***r :*** round actuelle.

• ***G :*** ensemble des nœuds qui n'ayant pas été sélectionné comme CH durant les (1/P) derniers rounds.

Chaque CH élu diffuse un message d'avertissement (ADV-CH) sur le réseau pour annoncer lesnouveauCHs. Chaque nœud (GN) non-CH et après avoir reçu les messages d'avertissement choisi le cluster ou le CH approprié (le plus proche) afin de le rejoindre. Cette sélection se base sur laforce de signal des messages reçus (RSSI). Par la suite, chaque nœud non-CH informe le CH ducluster choisi par l'envoie d'une requête d'appartenance (JOIN-REQ) [AYO 15].

Après la réception des messages de joindre de tous les membres du cluster, le CH créerune suite temporelle (table TDMA), afin d'allouer à chaque nœud membre du cluster le slot detemps approprié quand il peut transmettre.

La technique de multiplexage utilisé dans LEACH pour l'accès au medium est le : TDMA.

Le principe de cette technique consiste à allouer la totalité de la bande passante au nœud pendantun slot time donné. Chaque CH joue le rôle du coordinateur pour contrôler les transmissions desmembres grâce à l'envoie préalable du table TDMA aux membres du leur cluster. Donc cela, permet que chaque membre du cluster connaisse leur slot de temps qu'il va occuper, et de passera l'état dormi (*sleep)* pendant les slots inactifs... La figure 6 illustre un diagramme qui résume lapremière phase de l'algorithme :

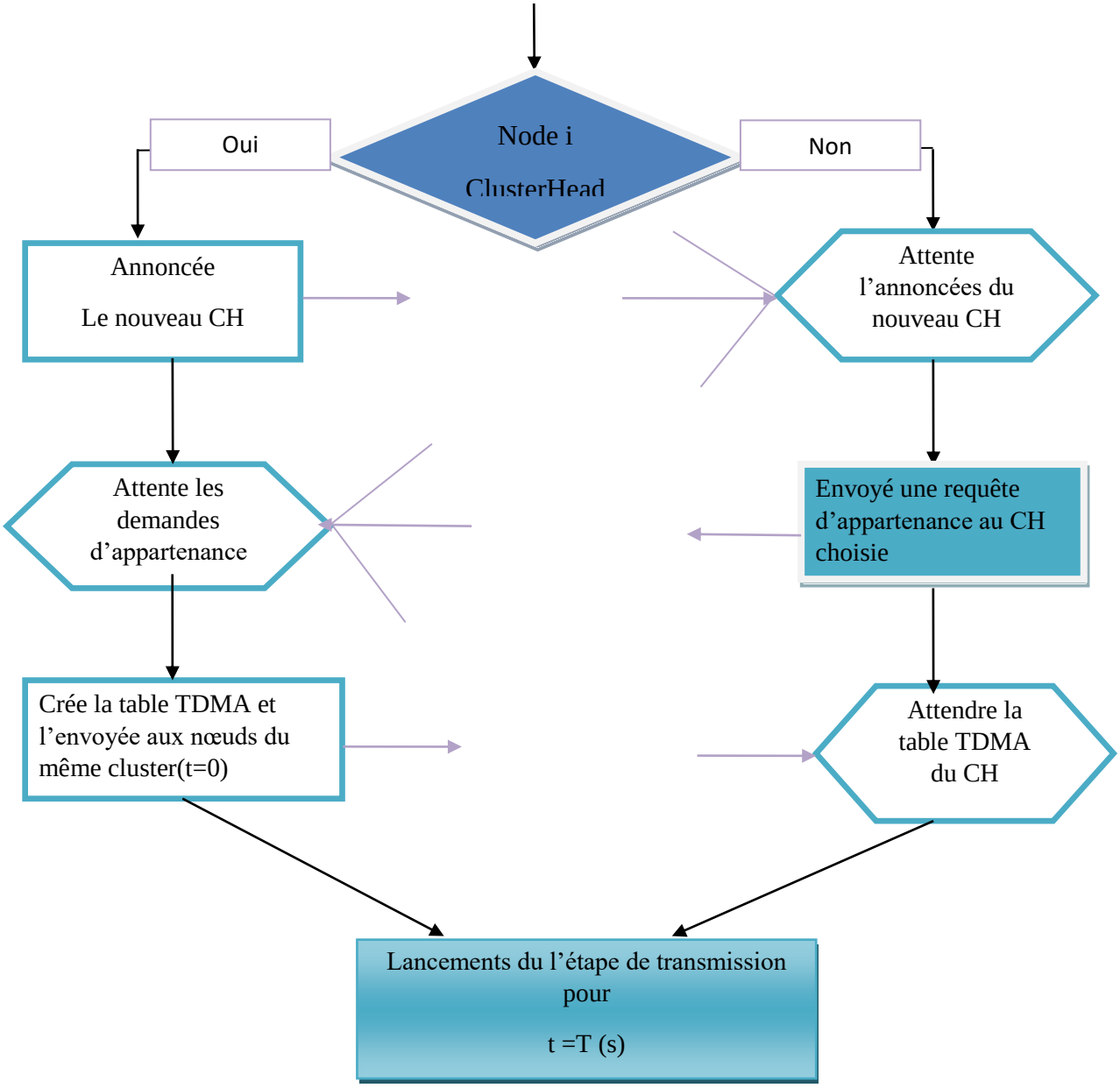


Figure II.15 : La phase d'initialisation (set-up). [BOU 08]

II.3.2Phase de transmission (steady state phase):

Chaque nœud membre (non-CH) dans le cluster transmit les données collectées à son CH. Et après le CH effectuer une opération d'agrégation puis une autre opération de compression de toutes cesdonnées afin de l'envoyer à la station de base (BS). La durée de la deuxième phase est plus longue que celle de la première phase afin de réduire au minimum les problèmes d'oveheading.

Après un intervalle de temps donné, une rotation randomisée du rôle du CH est conduite de sorte que la dissipation uniforme d'énergie dans le réseau de capteurs soit obtenue. Les auteurssont trouvés, en se basant sur leur modèle de simulation, que seulement 5% des nœuds ont besoin d'agir comme CH. [SAB 12]

LEACH utilise la technique de multiplexage CDMA pour que les CH envoient les donnéesà la station de base, où la communication inter-cluster aura lieu. La communication peut êtredirecte (un seul saut) ou indirecte (multi-sauts).

Un nouveau round aura lieu après la fin de cette phase, Ce processus est répété jusqu'à ceque tous les nœuds du réseau soient élus CH, une seule fois, tout au long des roundsprécédents. Dans ce cas, le round est réinitialisé à 0.

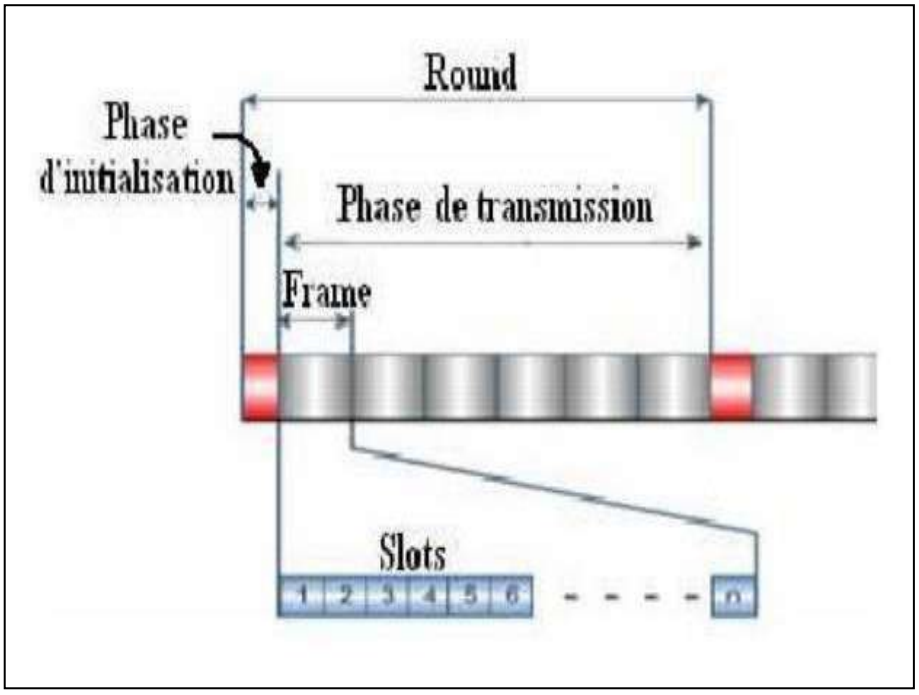


Figure II.16 : Répartition du temps dans la phase de transmission. [AYO 15]

La figure 6 illustre un diagramme qui résume lapremière phase de l'algorithme :

II.3.3Avantages et inconvénients du protocole LEACH :

Avantage :

- Puisque chaque nœud transmet des données durant son slot, le taux de collision estdiminué.
- Lorsqu'un nœud n'est pas dans son slot, il éteint sa radio pour conserver son énergie.
- L'auto-configuration des clusters se fait indépendamment de la station de base (algorithmedistribué).
- Les données sont fusionnées pour réduire la quantité d'informations transmise vers lastation de base.
- La consommation d'énergie est partagée sur l'ensemble des nœuds prolongeant ainsi ladurée de vie du réseau.
- L'utilisation des techniques TDMA/CDMA permet d'avoir une hiérarchie et deréaliser des clusterings sur plusieurs niveaux.

Inconvénients :

- L'apparition des nœuds isolés. Un nœud isolé est un nœud qui ne se trouve pas dans latable TDMA (ne possède pas une tranche de temps (*slot time)* pour envoyer leur donnée àla station de base). Pour cela ce nœud isolé doit transmettre leurs données directement àla station de base. Cette transmission directe exige une forte consommation d'énergie qui conduite à la diminution de la durée de vide du réseau.
- Les CHs les plus éloignés de la station de base meurent rapidement par rapport à ceuxqui sont proches de la station.
- L'idée de formation des clusters augmente le nombre de messages échangés entre lesnœuds, qui peuvent diminuer le gain dans la consommation d'énergie.
- Les nœuds les plus éloignés du CH meurent rapidement par rapport à ceux plusproches.

II.3.4Le modèle énergétique :

Le modèle d'énergie du protocole LEACH est le modèle initial du radio comme il est illustré par la figure III.1, ce modèle prend en considération que le WSN doit avoir les propriétés suivantes :

1- Nœud capteur ne peut pas se déplacer après le déploiement.

2- Nœud de capteur ayant le même type, de même énergie.

3- La base est en dehors du réseau de capteurs sans fil

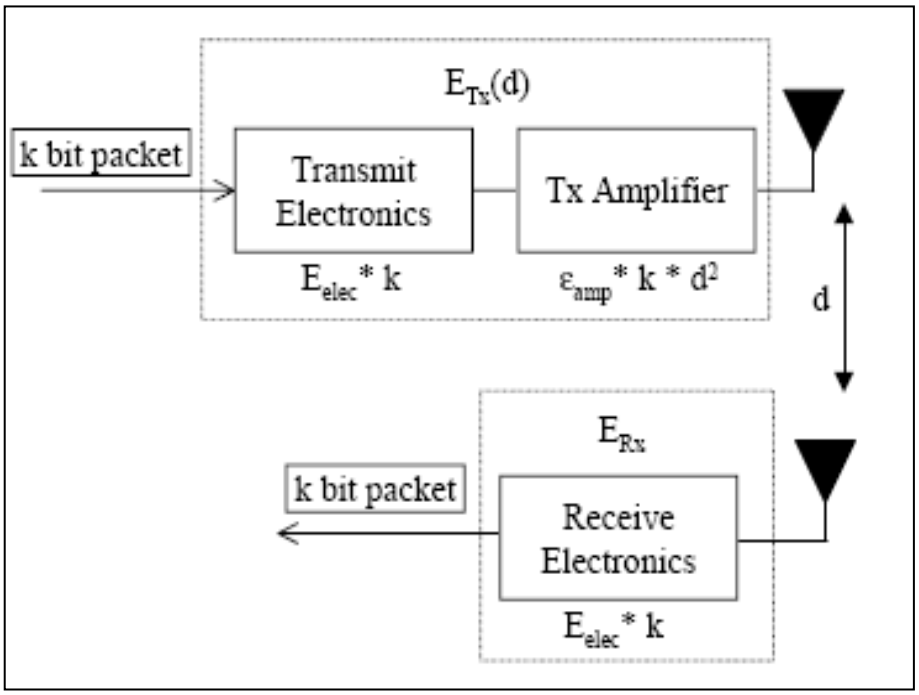


Figure II.17 : Modèle de radio.

L'énergie consommée pour transmettre un message de taille **k (bit)** sur une distance **d(m)** est:

$$E_{TX}(k,d) = \begin{cases} E_{elec} * k + \varepsilon_{FS} * k * d^2 & \text{Si } d <= d0 \\ E_{elect} * k + \varepsilon_{AMP} * k * d^4 & \text{Si } d > d0 \end{cases}$$

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

$$E_{RX}(k,d) = E_{elect} * k.$$

Avec **:**

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

ε_{FS} : est le facteur d'amplification du signal pourune distance d'émission inferieur ou égale à la distance seuil d0.

ε_{Amp} : estle facteur d'amplification du signal pour une distance supérieure à d0.

$$d_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon_{FS}}{\varepsilon_{amp}}}$$

(Cette distance seuil d_0 est nommée encore dans quelques références $d_{\text{cross over}}$ (Cross over distance))

II.3.5Modèle de propagation

Dans les simulations, nous allons utiliser le modèle de propagation **TwoRayGround**. Ce modèle considère qu'il existe un chemin direct entre l'émetteur (appelé Direct Path) et le récepteur et un chemin de réflexion de la terre (appelé GroundReflectionPath). [**PHA09**] Ce modèle utilise la formule suivante pour calculer la puissance du paquet reçu :

$$\mathrm{Pr(d)} = \frac{\mathrm{Pt} * \mathrm{Gt} * \mathrm{Gr} * (\mathrm{ht2} * \mathrm{hr2})}{\mathrm{d}^4 * \mathrm{L}}$$

Dans cette formule

$P_r(d)$ est la puissance du paquet reçu à la distance *d*

P_t est la puissance du paquet envoyé- la puissance à l'émetteur

G_t et G_r sont le gain de l'antenne d'émission et celui de récepteur correspondant

h_t et h_r : sont le haut de l'antenne d'émission et de récepteur correspondant.

L est la perte qui égal à 1

d : est la distance entre récepteur et émetteur

II.3.6Exemples de protocoles d'auto-organisation hiérarchique inspiré de LEACH

Plusieurs protocoles ont été inspirés du protocole LEACH citons par exemple le protocole LEACH avancé, SEP et ZSEP.

II.3.6.1 LEACH avancé

Le protocole LEACH avancé est le même que le protocole LAECH, il est conçu pour les réseaux hétérogènes où le réseau est composé de deux types de nœuds : **m*n** nœuds avancés à énergie initiale est égale à $\mathbf{E_0}$ **(1+a),(1-m)*n** nœuds normaux à énergie initiale est égale à $\mathbf{E_0}$**.** [REH 13]

II.3.6 .2 Le Protocole SEP (Stable Election Protocol) :

SEP est un algorithmeefficace en consommation d'énergie pour les réseaux de capteurs hétérogène (composé de nœuds normaux et de nœuds avancés)basé sur les groupes (cluster). Ce protocole est similaire à LEACH avancé ou hétérogène, dans lequel 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.

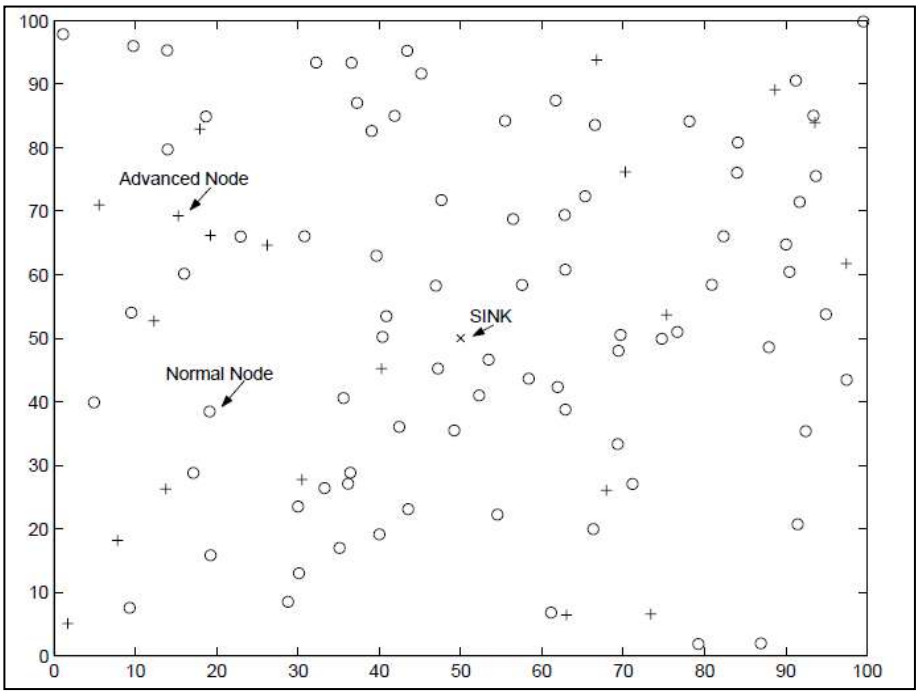


Figure II.18 : Architecture de réseau SEP. [SMA 04]

Les cluster-Head 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-Head (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-Head 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 $\mathbf{E_0}$ **(1+a),**

(1-m)*n nœuds normaux à énergie initiale est égale à $\mathbf{E_0}$**.[REH 13]**

SEP utilise la même stratégie que LEACH pour l'organisation de réseau, mais adopte une approche différente pour l'élection des cluster-Head. Durant cette étape, SEP utilise deux pourcentages des cluster-Head sur le réseau [23] :

Un pourcentage pour les nœuds avancés $\boldsymbol{P_{ADV}}$

*Un pourcentage pour les nœuds normaux PNOR***,**

Avec : $\mathbf{P_{norm}}$ **=POpt / (1+a*m)**

$$\mathbf{P_{adv}=P_{opt}\ *(1+a)\ /\ (1+a*m)}$$

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**(**$\mathbf{P_{norm}<P_{adv}}$**).**

II.3.6 .3 Protocole Z-SEP (Zonal-Stable Election Protocole) :

C'est un réseau hybride dans lequel certains nœuds transmettent des données directement à la BS et d'autres nœuds transmettent des données à la BS par l'intermédiaire de CH. Dans ce réseau, les nœuds sont divisés sur troiszones : zone 0, zone de tête 1 et zone de tête 2, avec deux niveaux d'énergie pour les nœuds normaux et les nœuds avancés sur n nœuds normaux. Les nœuds avancés se situent loin de la station de base et sont répartis de manière égale dans les deux zones de tête. Les nœuds normaux se trouvent à proximité de la station de base, comme indiqué dans la figure ci-dessous. [GHA 14]

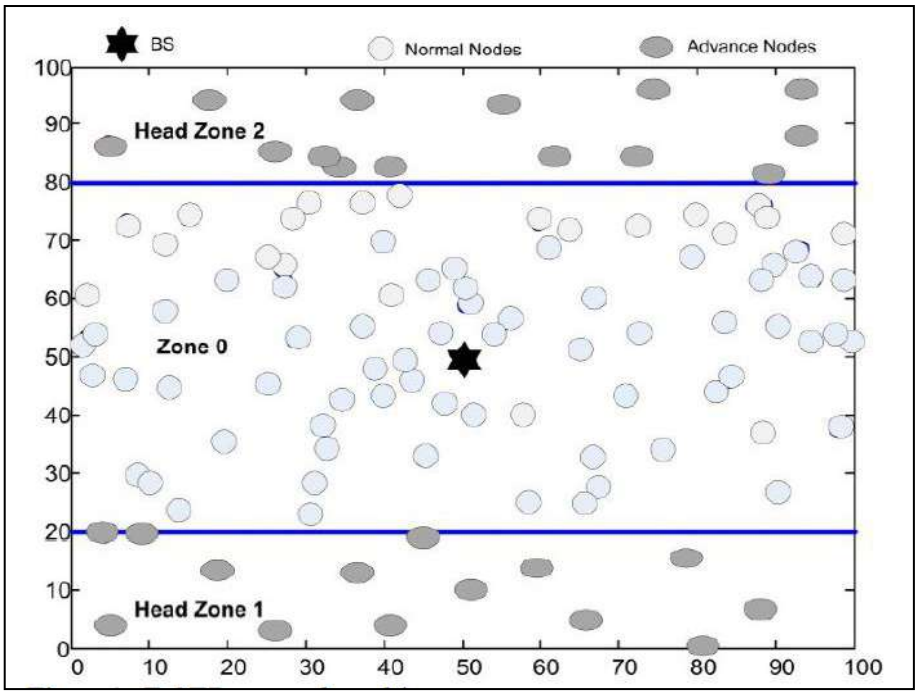


Figure II.19 : Architecture de réseau Z-SEP. [GHA]

Il consiste à partitionner le réseau hétérogène en trois zones sur la base des niveaux d'énergie et coordonnée Y de domaine de réseau voir l'exemple de la figure

- Les nœuds normaux sont déployés aléatoirement dans la zone Z0 comprise entre 20<Y<=80.
- La moitié des nœuds avancés sont déployés de manière aléatoire dans la zone Z1, se trouvant entre 0<Y<=20.
- La moitié des nœuds avancés sont déployés de manière aléatoire dans la zone Z2, située entre 80<Y<=100.

La raison derrière ce type de déploiement des nœuds est que les nœuds avancés sont déployés dans les coins ou bien les endroits les plus éloignés dans le réseau afin d'utiliser leur énergie supplémentaire pour la communication avec la station de base.

Le protocole Z-SEPutilise deux techniques pour transmettre des données à la station de base :

- Communication directe : les nœuds dans la zone Z0 envoient leurs données directement à la station de base.

- Transmission par les nœuds CHs : les nœuds dans les zones Z1 et Z2 transmettent leurs données à la station de base à travers l'algorithme de clustering utilisé par le protocole LEACH. [FAI 12]

II.4 Comparaison entre les protocoles LEACH, LEACH avancé, SEP et ZSEP :

Nous présentons dans cette section une comparaison entre les trois protocoles vus dans la littérature, ces résultats sont obtenus par une simulation sous MATLAB qui nous offre les courbes de stabilité, l'énergie totale consommée par les nœuds du réseau et le nombre des paquets de données envoyés à la station de base.

Ces résultats montrent clairement que les recherches sur l'amélioration du protocole de clustérisassions et d'auto-organisation LEACH ont apporté des performances très remarquables d'un protocole à l'autre en ce qui concerne la prolongation de durée de vie et la réduction de la consommation de l'énergie totale de réseaux.

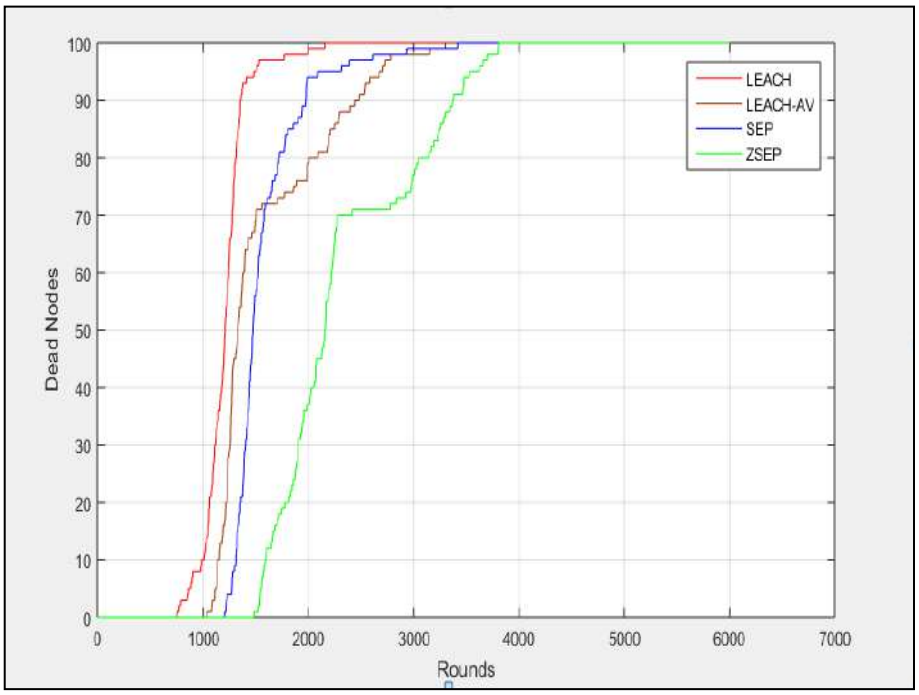


Figure II.20 : Nombre de nœuds morts en fonction de Tours.

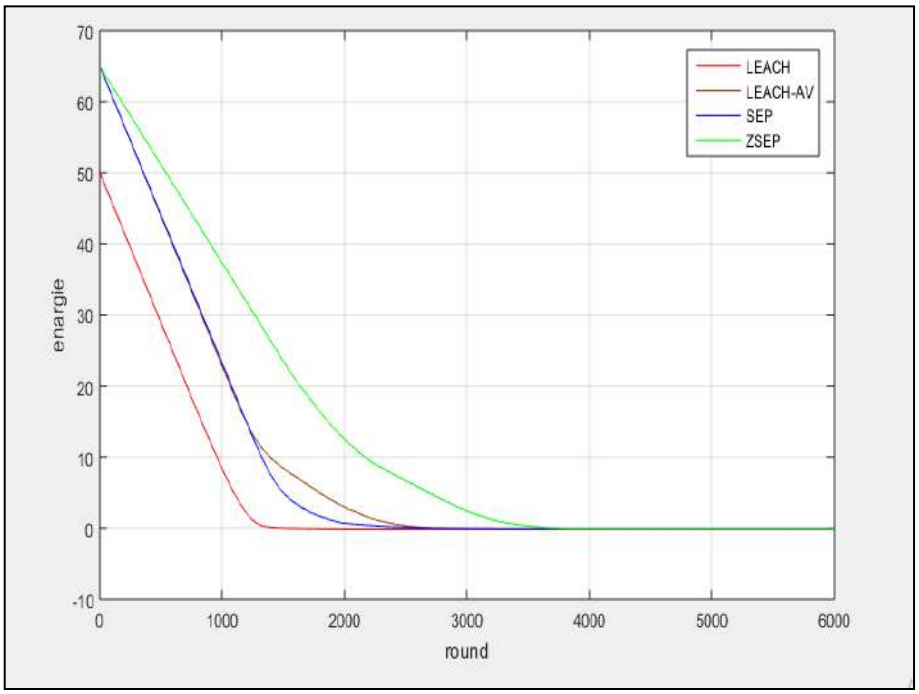


Figure II.21 : Energie résiduelle en fonction de Tours.

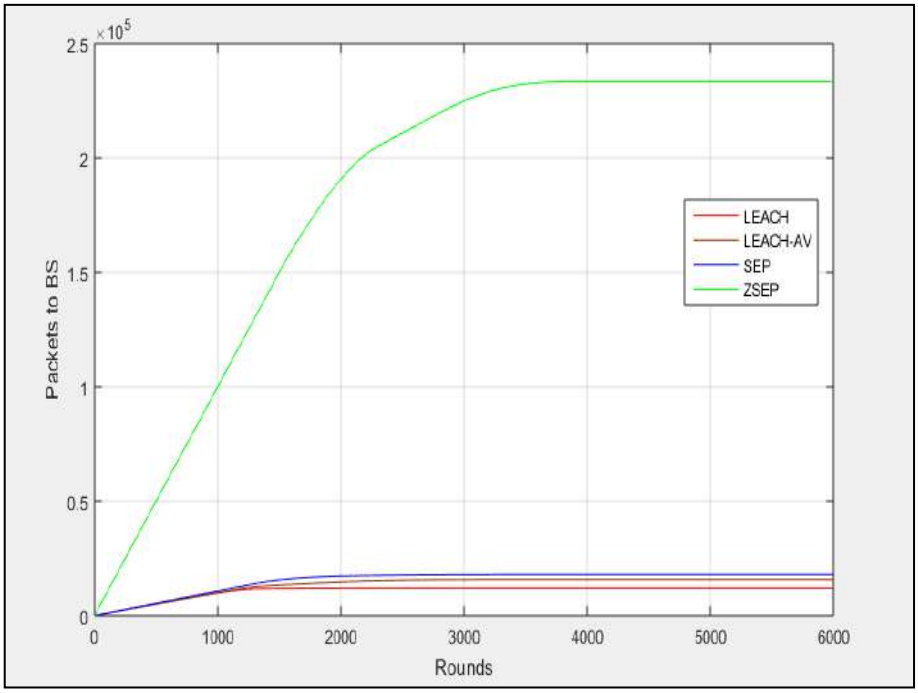


Figure II.22 : nombre de messages reçus par la station de base en fonction de Tours.

II.5 Conclusion

Le routage hiérarchique est un type particulier de routage de données dans les WSNs, Il vise à rendre les protocoles plus favorables au passage à l'échelle tout 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.

Plusieurs protocoles inspirés de LEACH comme SEP et ZSEP qui ont comme objectif de minimiser la consommation d'énergie et prolonger la durée de vie du réseau afin d'optimiser mieux les ressources des nœuds capteurs.

Notre contribution a pour objectif d'améliorer encore mieux les performances de ces protocoles en cherchant des techniques de déploiement des nœuds capteurs sur le champ de captage et une autre technique de répartition et de gestion de l'énergie sur l'ensemble des capteurs afin d'atteindre notre objectif

Chapitre III

NOTRE AMELIORATION DANS LE PROTOCOLE DE ROUTAGE SEP

CHAPITRE III :
NOTRE AMELIORATION DANS LE PROTOCOLE DE ROUTAGE SEP

III-1-Introduction :

Les réseaux de capteurs sans fil sont différents des autres réseaux sans fil car ils ont en général les spécificités suivantes : une grande densité, faible débit, faible capacité d'énergie et un environnement inaccessible. Ces deux dernières spécificités ont fait de l'énergie une contrainte très importante puisque les batteries des capteurs ne sont pas généralement rechargeables. Pour prolonger la durée de vie d'un réseau de capteur sans fil tout en assurant les trois tâches principales d'un nœud capteur : capture, traitement et l'envoi des données, il faut bien conserver l'énergie des nœuds capteurs. Parmi ces trois tâches, l'envoi des données ou la communication est la tâche qui consomme la plus grande partie de l'énergie. Ceci a motivé des travaux de recherche à se focaliser sur l'auto-organisation des RCSF.

Dans ce cadre,nous nous intéressons à étudié un algorithme d'auto-organisation basé sur l'approche de clusterisation, dans lequel la contrainte énergie est utilisée pour former les clusters et l'élection des cluster-heads se fait périodiquement dans le but de distribuer équitablement la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs et donc obtenir une longue durée de vie du réseau.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats des simulations des protocoles d'auto-organisation LEACH, SEP, et SEPMOD .

III-2- Le Protocole SEP(Stable Election Protocol) :

Dans [ADE 09] les auteurs proposent l'algorithme 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). Ce protocole est similaire à LEACH, dans le quel les cluster-heads des 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 des groupes élus demeurent ainsi pour une période de temps appelée « round, tour ». 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 d'être, il annonce sa décision à tous ses nœuds voisins.

Les autres nœuds qui décident de ne pas être un cluster-head de clusters, se joignent à l'un des cluster-head élus après avoir reçu leurs décisions.

Les cluster-heads des groupes (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 $\mathbf{E_0}$ **(1+a),**

(1-m)*n nœuds normaux à énergie initiale est égale à $\mathbf{E_0}$**,**

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, SEP utilise deux probabilités des cluster-heads sur le réseau :

Une probabilité pour les nœuds avancés P_{ADV} ,

Une probabilité pour les nœuds normaux P_{NOR} ,

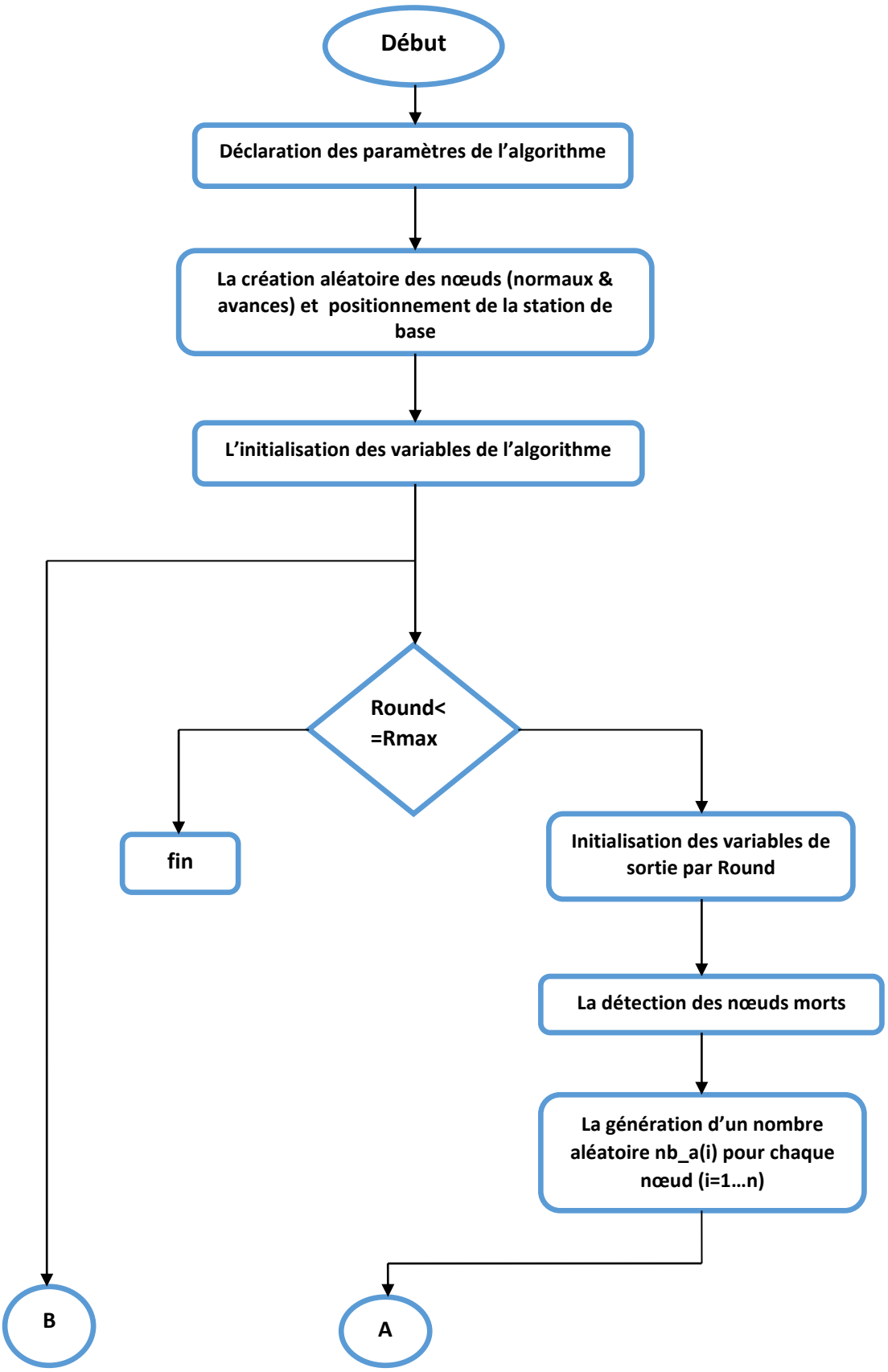
Avec : $\mathbf{P_{NOR} = P_{Opt} / (1+a*m),}$

$\mathbf{P_{ADV} = P_{Opt} *(1+a) / (1+a*m),}$

La probabilité optimale $\mathbf{P_{Opt}}$ donnée par la courbe de la figure II-7-(page 45).

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 **($P_{NOR} < P_{ADV}$).**

III-3- L'organigramme De Protocole SEP


Début
Déclaration des paramètres de l'algorithme
La création aléatoire des nœuds (normaux & avances) et positionnement de la station de base
L'initialisation des variables de l'algorithme
Round< =Rmax
fin
Initialisation des variables de sortie par Round
La détection des nœuds morts
La génération d'un nombre aléatoire nb_a(i) pour chaque nœud (i=1…n)
B
A

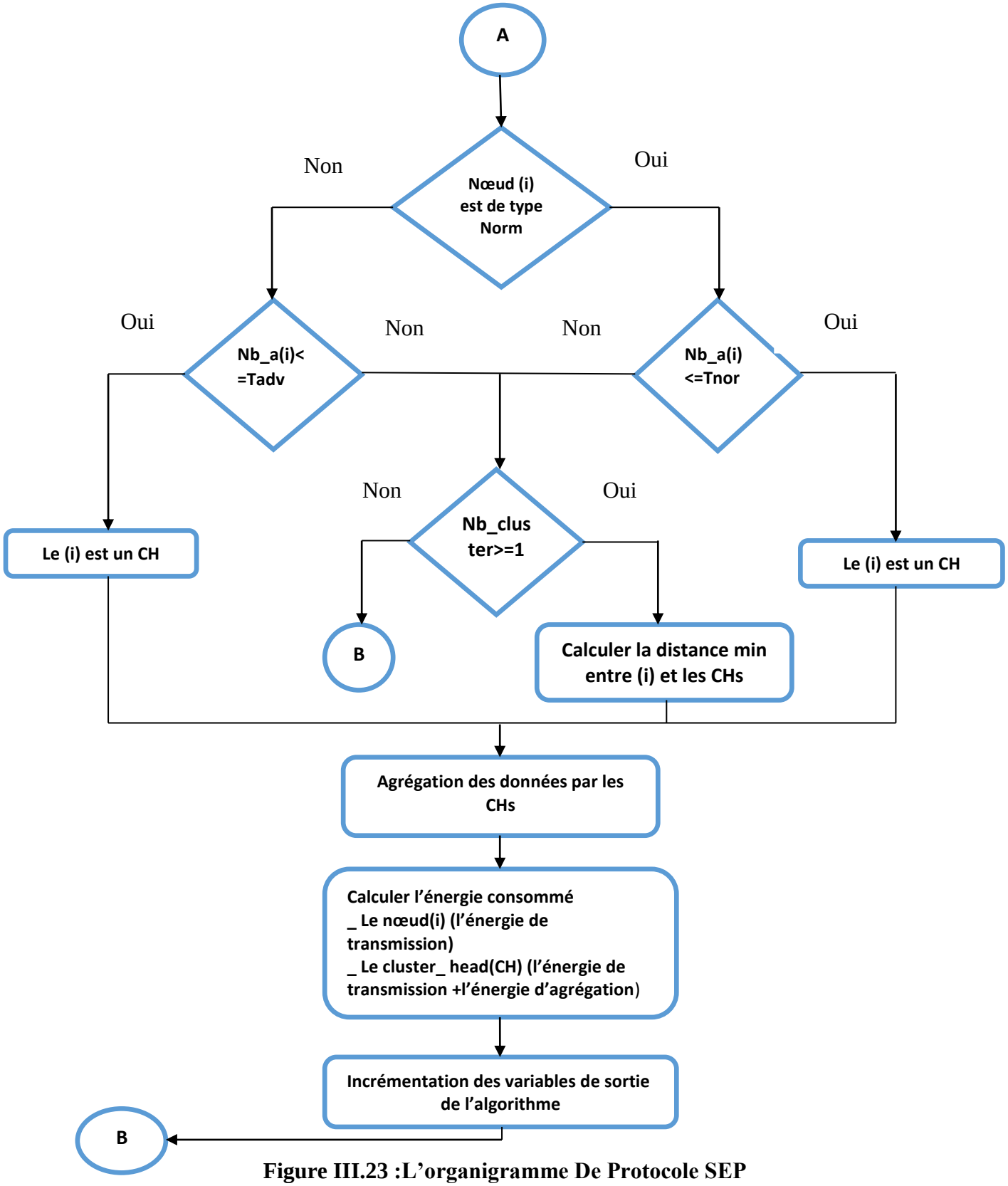


Figure III.23 :L'organigramme De Protocole SEP

III-4- La modélisation et environnement de simulation du système :

Les nœuds capteurs seront groupés dans des cercles virtuels de rayon R qui vont être considérer comme des éléments qui représente une même zone du champ de captage ,alors, ces derniers vont fonctionner et envoyer leurs données captés à tour de rôle par tour pour éviter la redondance des messages d'une même zone du champ, cet technique va réduire le nombre des transmissions qui consomme la majeur partie de l'énergie stoker dans la batterie.

avant la transmission du message, chaque capteur va inspecter la distance entre sa position et son CH et celle de la station de base. Le message sera envoyé au plus proche afin de réduire les distance entre un nœud émetteur et un nœud récepteur et par conséquent la réduction de la consommation d'énergie .

ces deux techniques vont contribuer à la minimisation de la consommation d'énergie qui ce traduit par une prolongation de la durée de vie du réseau.

Les résultats des simulations ont validé notre proposition et montrent que le Protocol SEPMOD à beaucoup améliorer les performances du réseau de capteur , du point de vu consommation de l'énergie et la duré de vie du réseau.

ces hypothèses seront expliqués par un algorithme et un organigramme suivants :

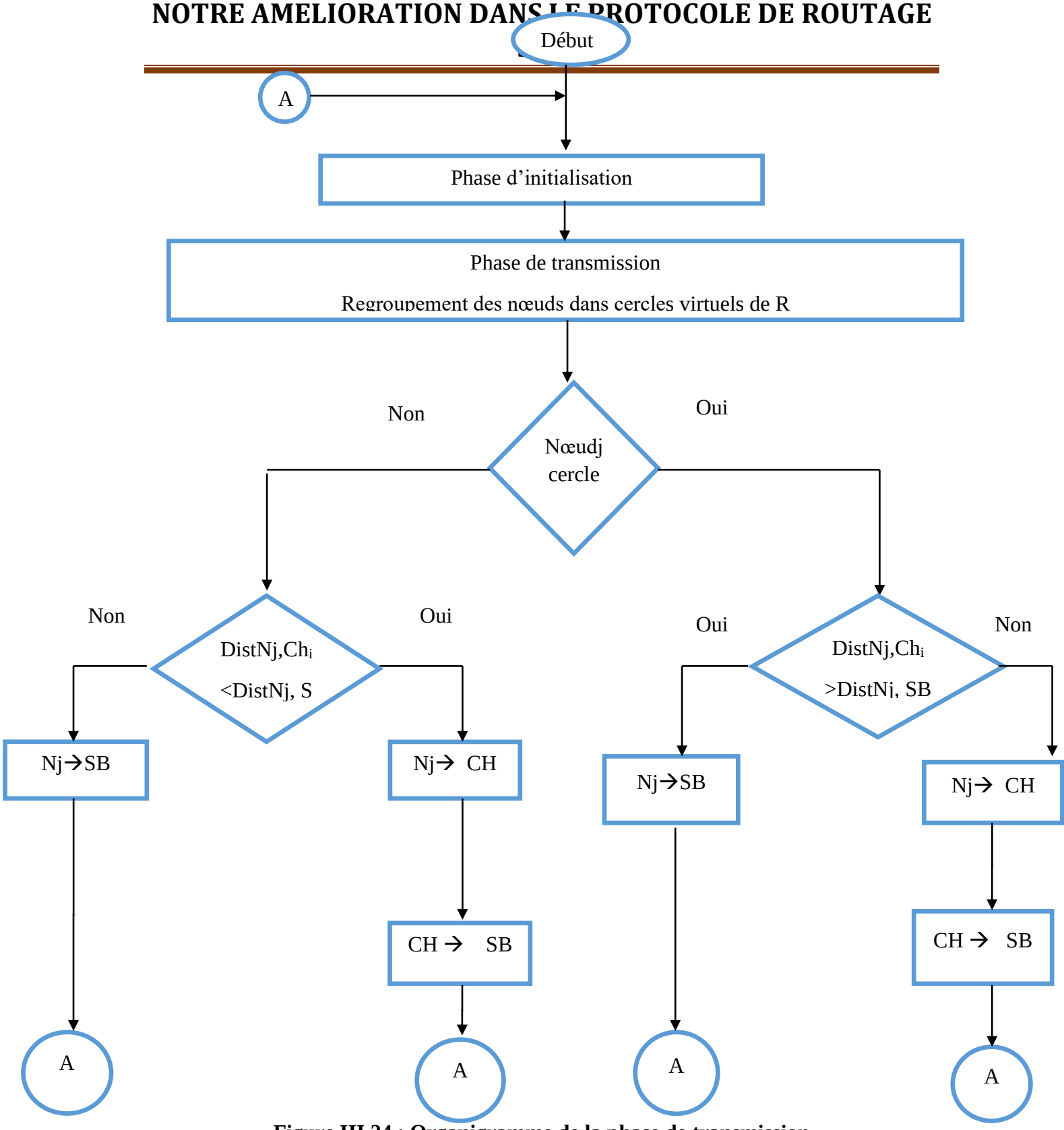


Figure III.24 : Organigramme de la phase de transmission

L'évaluation et le développement de protocole d'auto-organisation SEPMOD est réalisée sur un réseau de capteurs sans fil de **n** nœuds déployés aléatoirement sur une zone carrée de longueur **L** (surface de déploiement : **L*L**). Ce réseau est caractérisé par :

- **Hétérogène :** unréseau hétérogène est constitué par deux types de nœuds à des caractéristiques techniques semblables [SMA 04].
  - Le 1er type : constitué par **m*n** nœuds appelés nœuds avancés (Advanced ondes).
  - Le 2eme type : constitué par **(1-m)*n** nœuds appelés nœuds normaux.

Avec **n** : Le nombre total des nœuds du réseau ;
m : La fraction (Pourcentage) des nœuds avancés

L'énergie initiale :

- L'énergie initiale d'un nœud normal est égale à $\mathbf{E_0}$
- L'énergie initiale d'un nœud avancé est égale à $\mathbf{E_0\ (1+a)}$

Avec **a** : Le facteur supplémentaire d'énergie entre un nœud normal et nœud avancé

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

- **Statique:** les nœuds et la station de base sont immobiles durant toutes les simulations.

Et avec les hypothèses de départ suivantes :

- La station de base couvre toute la zone de captage.
- La distance, séparant deux nœuds, peut être calculée selon la formule qui donne la distance entre deux points dans un espace euclidien ou bien selon la force du signal reçu(ou **RSSI**). En **annexe** vous trouverez une explication détaillée sur cette métrique d'estimation.
- Les nœuds du réseau ne disposent d'aucun dispositif de géo-localisation.
- Tous les nœuds sont considérés comme source de données avec un prélèvement et une dissémination périodique.

Le ***Tableau - I -*** résume l'ensemble des paramètres utilisés pour les simulations :

Paramètres	Valeur	Variation
Le nombre des nœuds Total (**n**)	100	
Surface de Déploiement (L*L)	100*100	
L'énergie initiale des capteurs $\mathbf{E_0}$	0.5J	
Fraction des nœuds avancé **m*a**	0.1	0.1**,** 0.2**,** 0.3**,** 0.4 ,0.5, 0.6, 0.7 0.8, 0.9
La position de la station de base	X=50, Y=50	
La taille des messages de donnée	4000 bits	
Le cout de transmission d'un bit	50 nJ/bit	
Le cout de réception d'un bit	50 nJ/bit	
Le cout d'agrégation d'un paquet	5 nJ/bit	
La probabilité d'être CH(**P**)	0.1	
Le nombre des rounds 'tours' (**r** max)	5500	

III-5- Métriques utilisées :

Pour analyser les performances de protocole d'auto-organisation LEACH, nous avons opté pour les métriques suivantes :

- ***Période de stabilité*** [SMA 04] : C'est la durée jusqu'à la mort du premier nœud du réseau.

- ***L'Energie*** [SMA 04]: c'est la consommation des nœuds dans la transmission .

- ***La durée de vie de réseau [LEH 09]*** **:** 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.

III-6-Résultats des simulations et interprétations:

Dans ce qui suit, nous présentons puis analysons les résultats des simulations obtenus.

III-6-1-1 La Période de stabilité :

Nous avons effectué plusieurs simulations en variant les paramètres caractéristiques d'hétérogénéité de réseau **m** variables et **a=1** :

- ***Un réseau Hétérogène :***

*Par exemple pour m=0.3 et a=1 le réseau à un nombre des nœuds avancés est égal à 30% des nœuds total du réseau. Ces nœuds ont une énergie initiale doublée (E_i= $\mathbf{E_0}$(1+a)=2$\mathbf{E_0}$**)** voir la ***Figure III-3-***

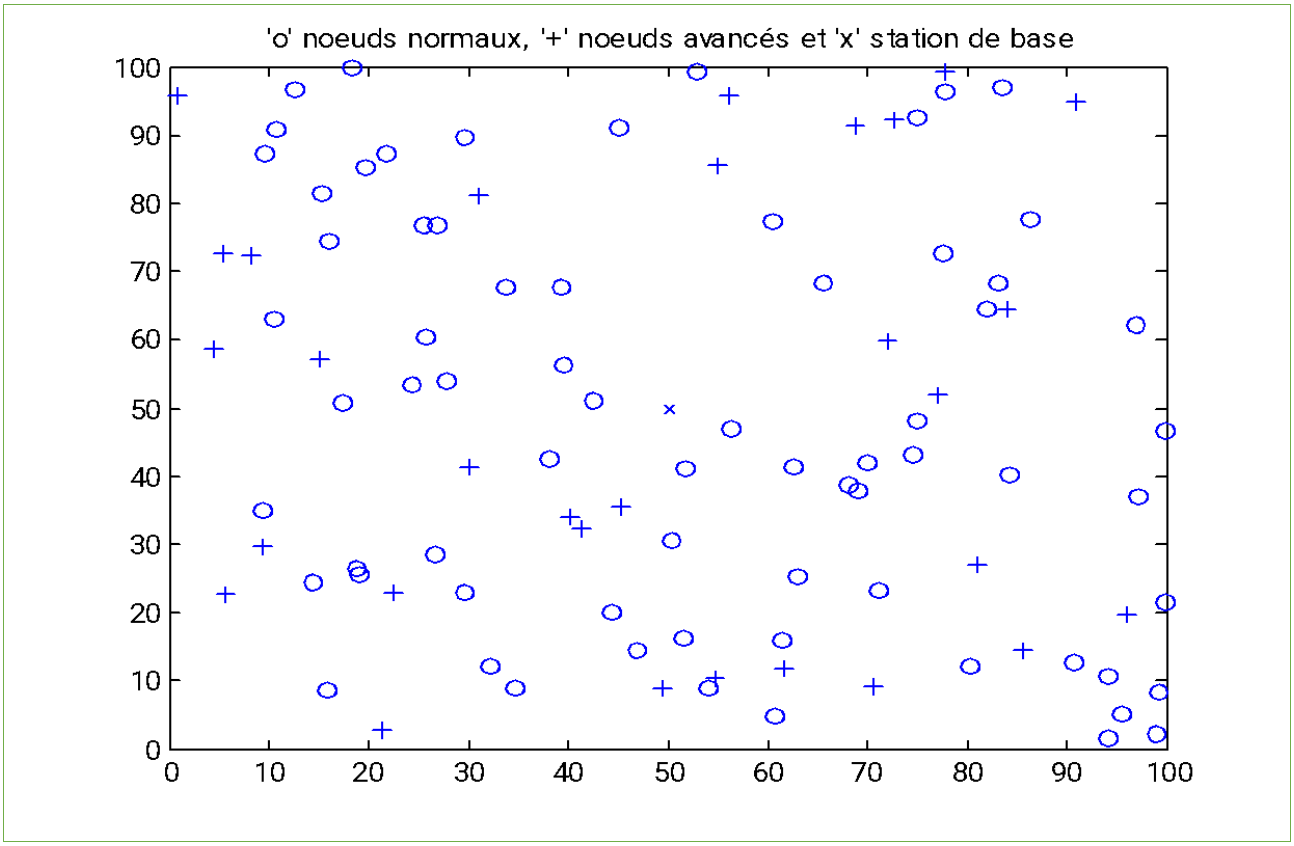


Figure III.25 : Réseau Hétérogène aléatoirement déployé avec m=0.3 et n=100

Les résultats obtenus en termes de périodes de stabilité sont représentés par la ***Figure III-3***-suivante :

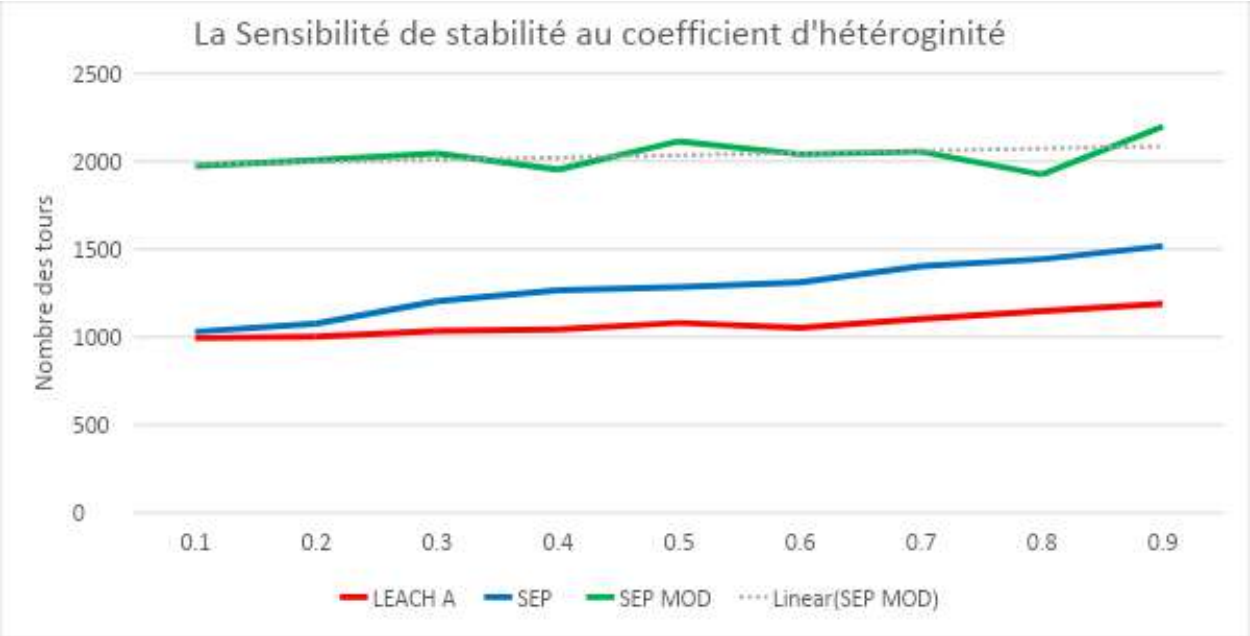


Figure III.26 : Période de stabilité en fonction de tours.

La ***Figure III-4*** **-** Montre clairement que la limitation des transmissions et la réduction des distances de transmission ont amélioré la durée de vie est la stabilité du réseau et le point de stabilité est presque constant pour n'importe valeur du coefficient d'hétérogénéité et il est montré par la courbe de linéarité.

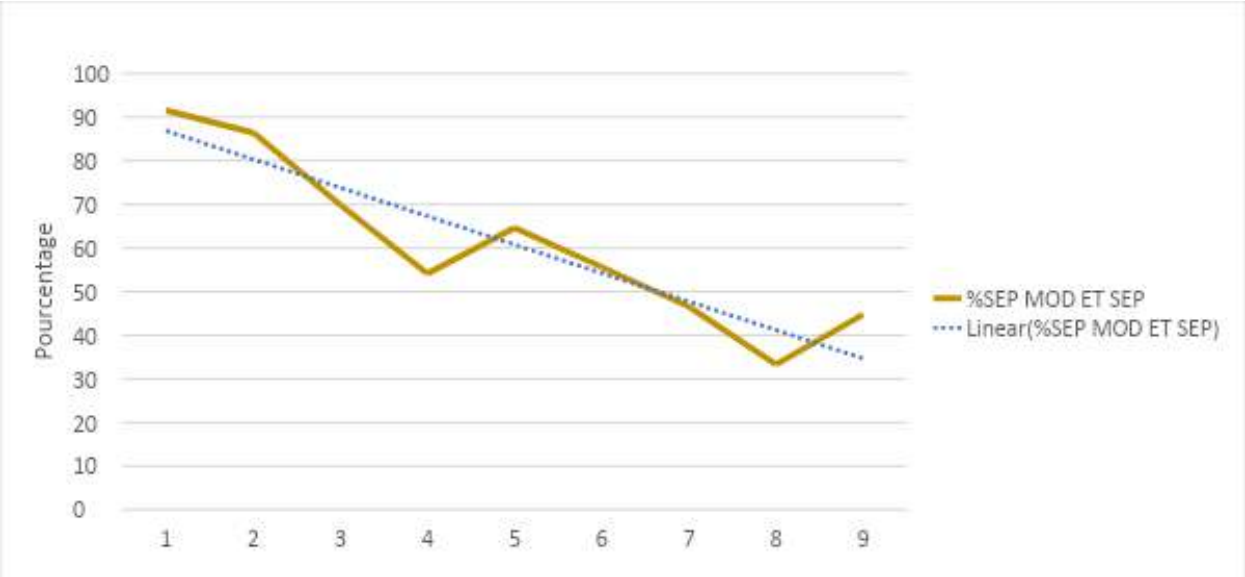


Figure III.27 : Pourcentage d'efficacité de SEPMOD par rapport SEP.

Sur le graphe de la ***Figure III-5-*** nous remarquons que le protocole SEPMOD possède une période de stabilité meilleur par rapport LEACH A et SEP avec un pourcentage de %%%% .

III-6-1-2- La Consummation d'énergie:

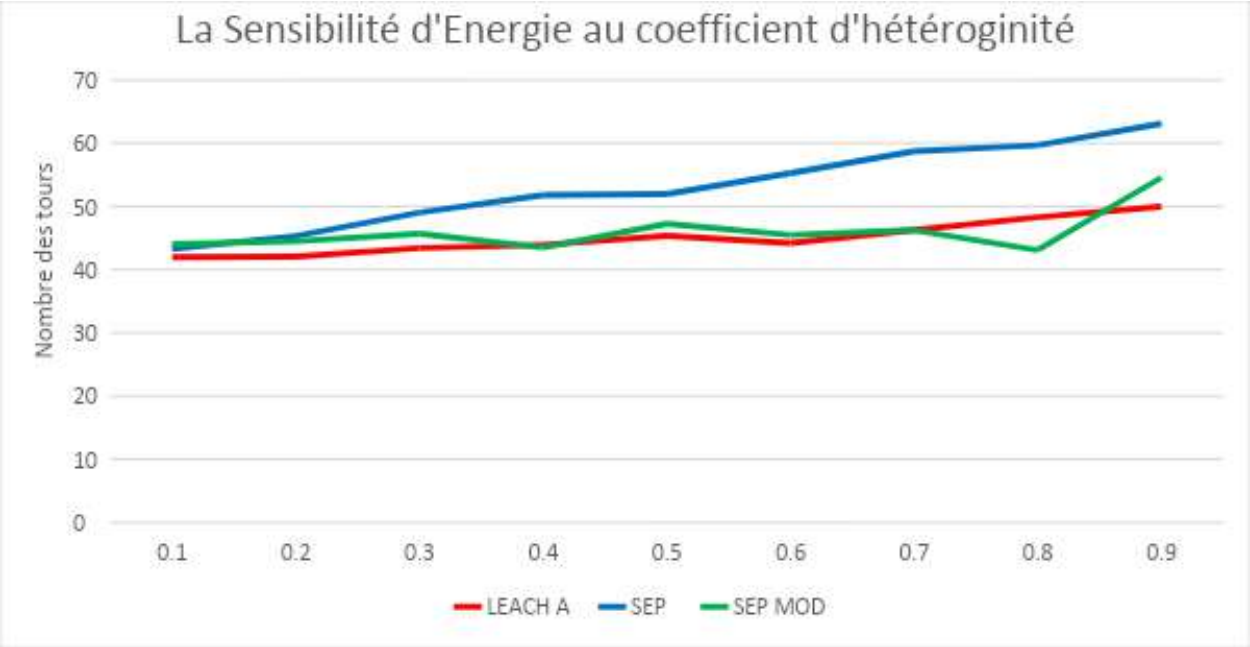


Figure III.28 :Energie consommé en fonction de tours.

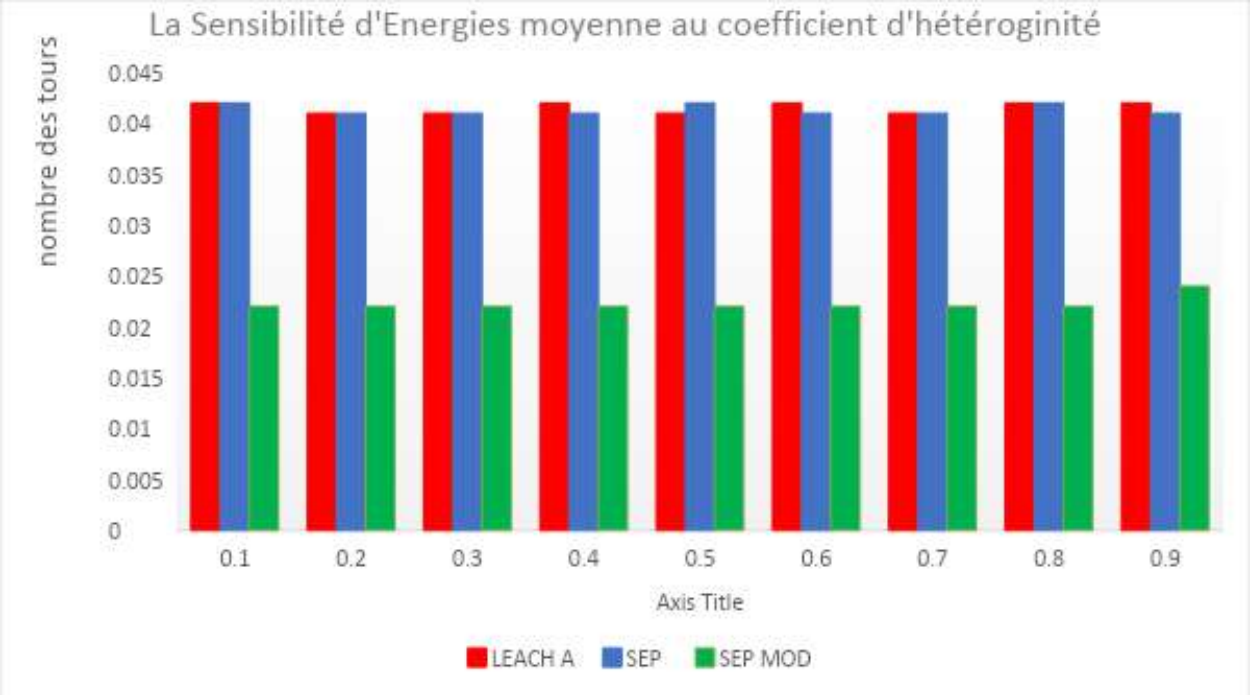


Figure III.29 :Energie moyenne consommé en fonction de tours.

III-6-1-3- l'Energie Moyenne Consommé :

La consommation d'énergie a été réduit environ de la moitié par le protocole SEPMOD d'une manière très significative comme montré sur la ***Figure III-7-***

III-6-1-4- La Transmission de paquets envoyés :

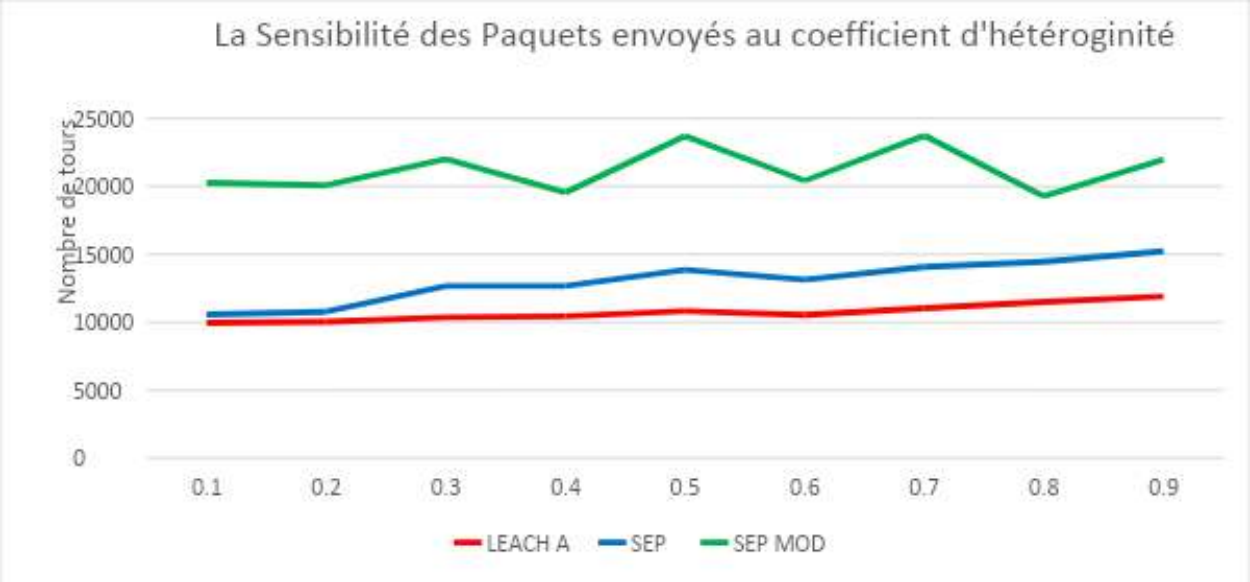


Figure III.30 :Nombre de paquet envoyer vers la SB en fonction de tours.

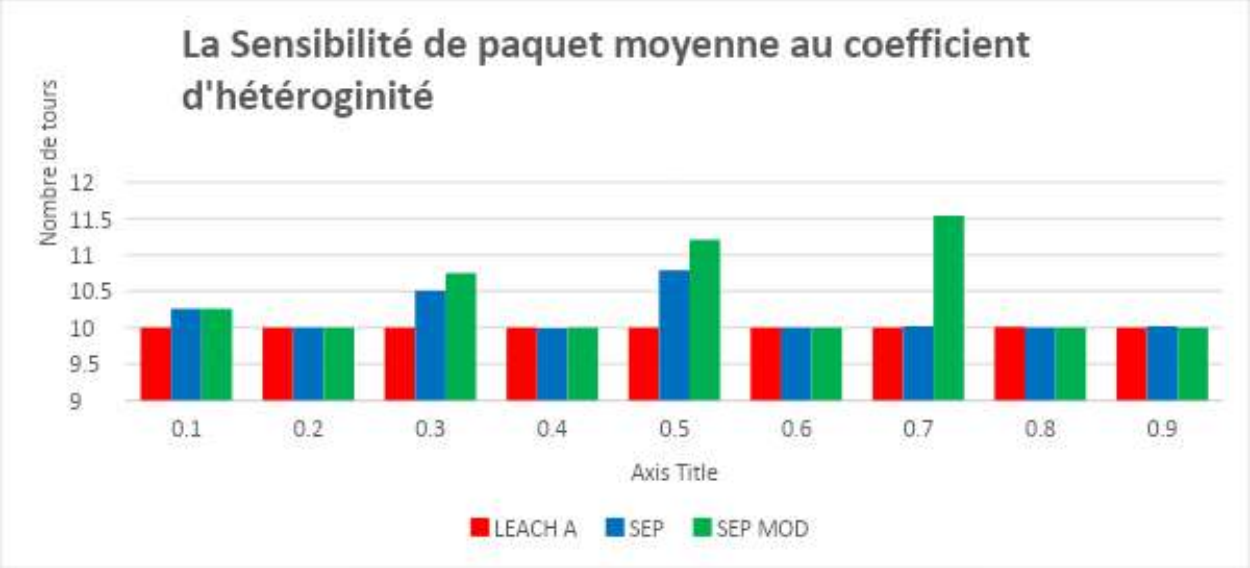


Figure III.31 :Nombre de paquet moyenne envoyer vers la SB en fonction de tours.

Par notre contribution la quantité des paquets de données envoyées à la station de base est conservé et par fois il est très important par rapport aux protocole LEACH et SEP ce qui donne plus d'informations à la station de base afin d'avoir une couverture totale sur le réseau avec un faible cout énergétique.

III-6-2-1 La Période de stabilité :

Nous avons effectué des simulations en variant les paramètres d'hétérogénéité du réseau **m** variables et **a=2** (L'énergie initiale des nœuds avancés est triplet) et avec le même environnement des simulation.
Les résultats des simulations des paramètres d'évaluation seront représentées par les figures suivantes.

III-6-2-2 La Période de stabilité :

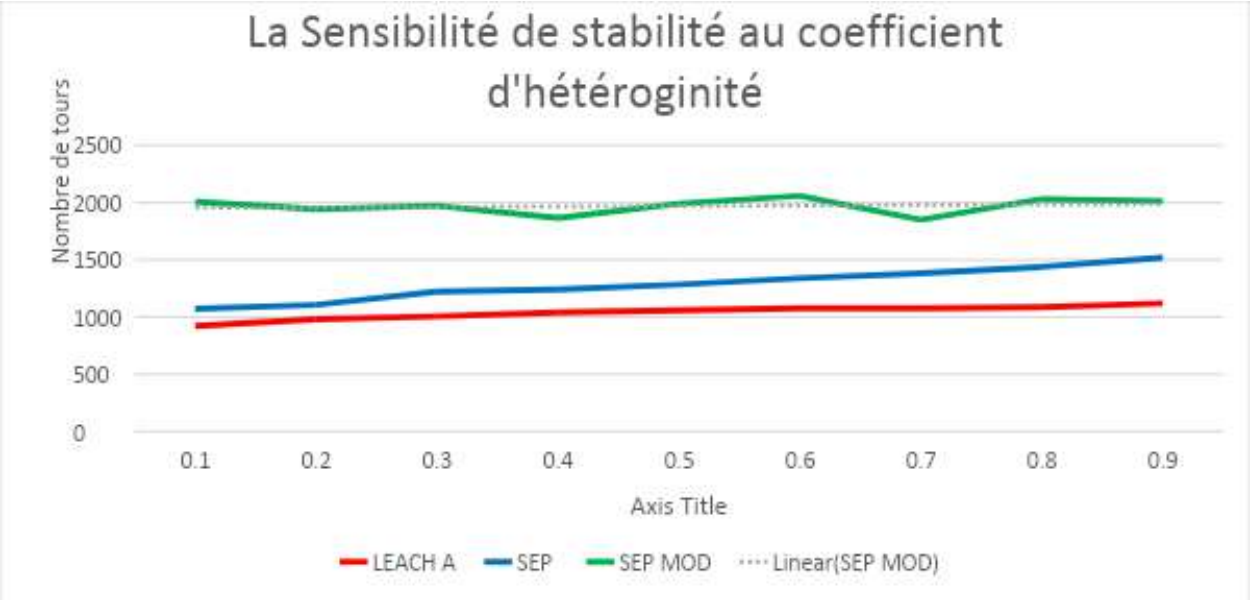


Figure III.32 :Période de stabilité en fonction de tours.

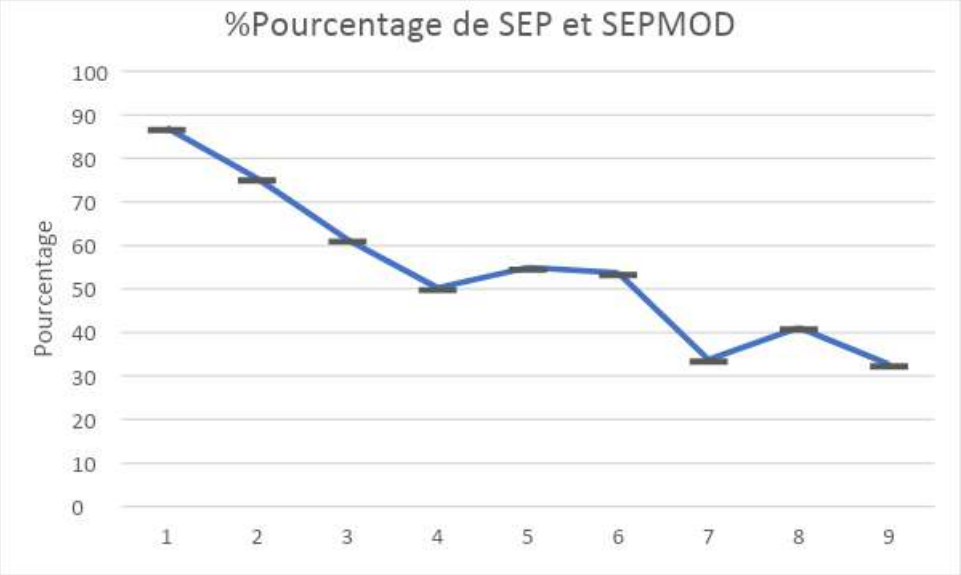


Figure III.33 :Pourcentage d'efficacité de SEPMOD par rapport SEP.

III-6-2-3- La consommation d'Energie

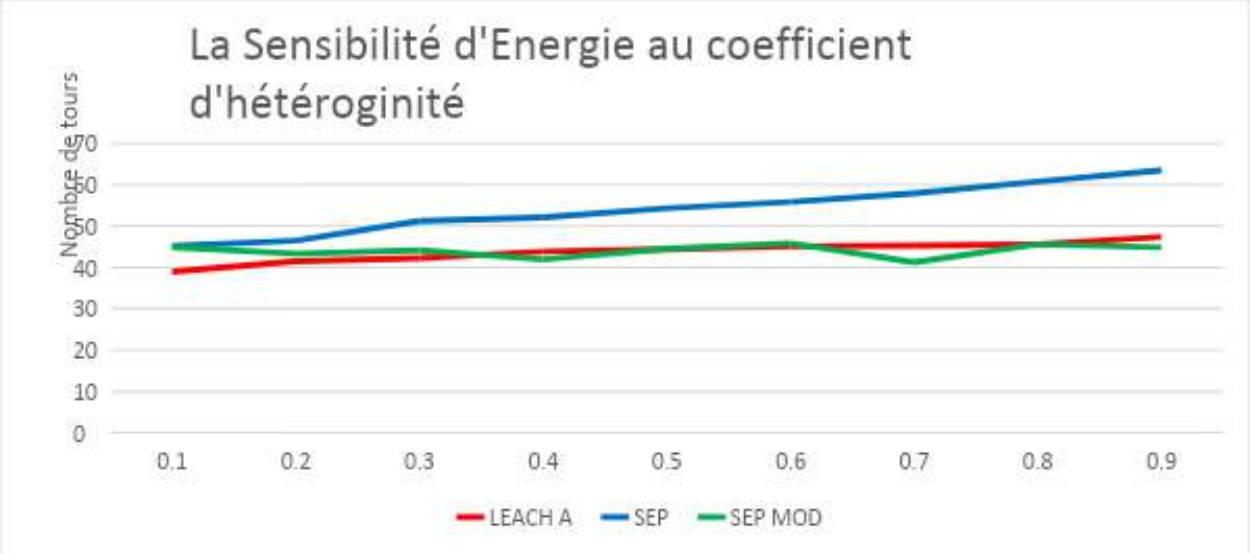


Figure III.34 : Energie consommé en fonction de tours.

III-6-2-4- La Transmission de paquets envoyés :

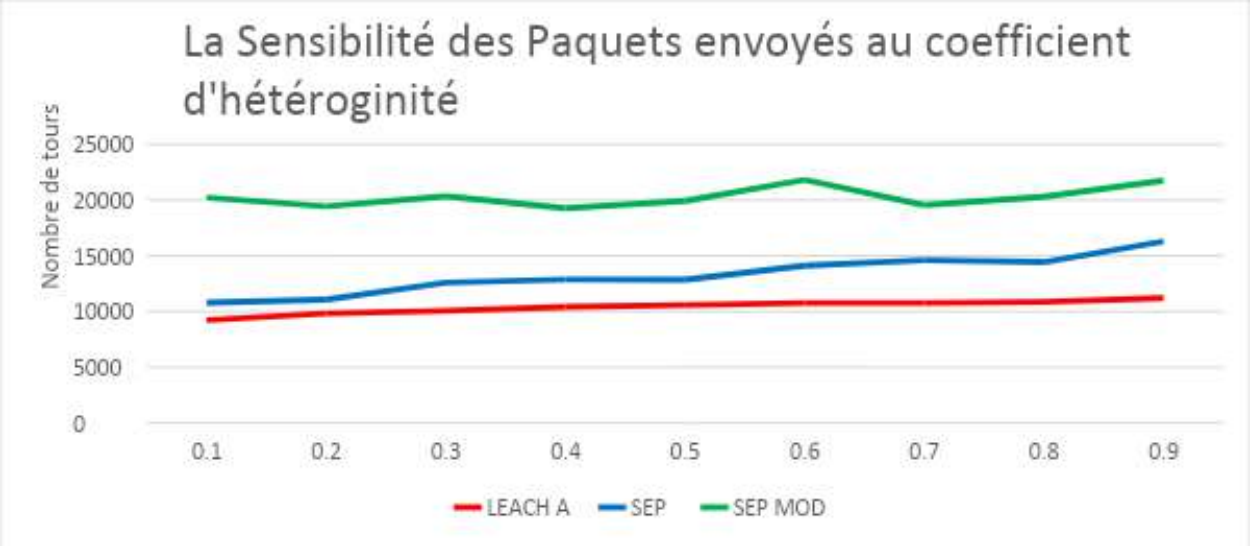


Figure III.35 :Nombre de paquet envoyer vers la SB en fonction de tours.

III-6-2-5- l'Energie Moyenne Conssomé :

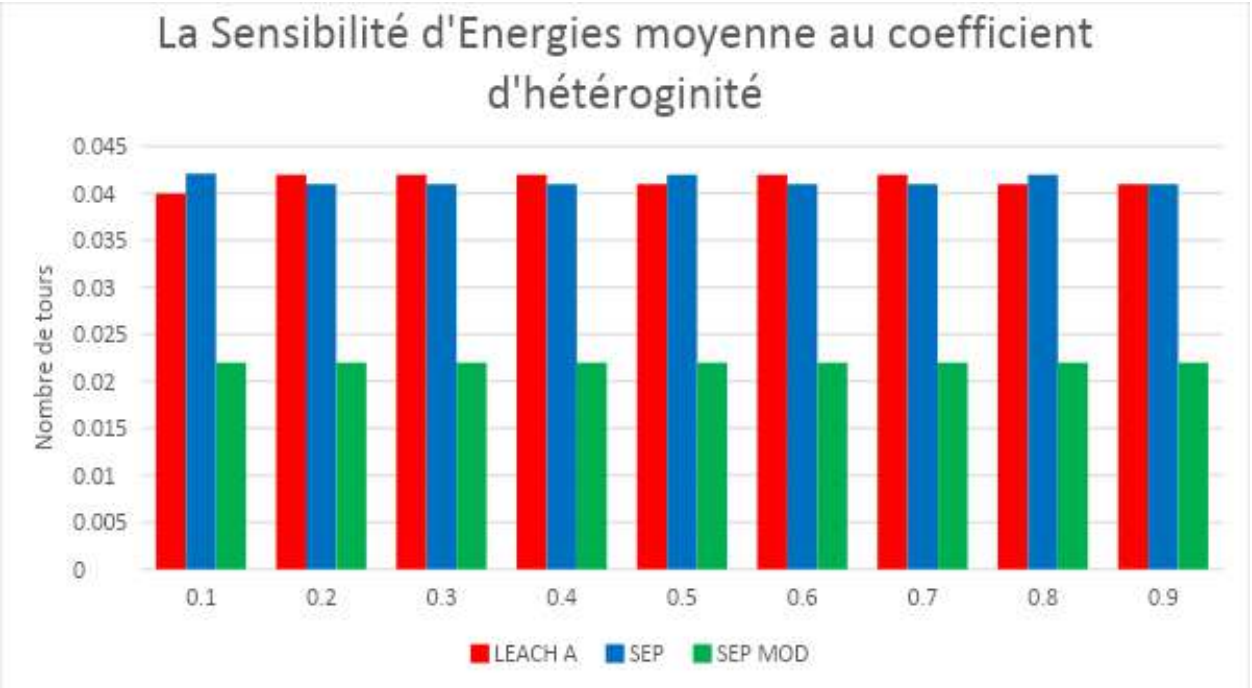


Figure III.36 :Energie moyenne consommé en fonction de tours.

III-6-2-6-Paquets Moyenne Envoyés :

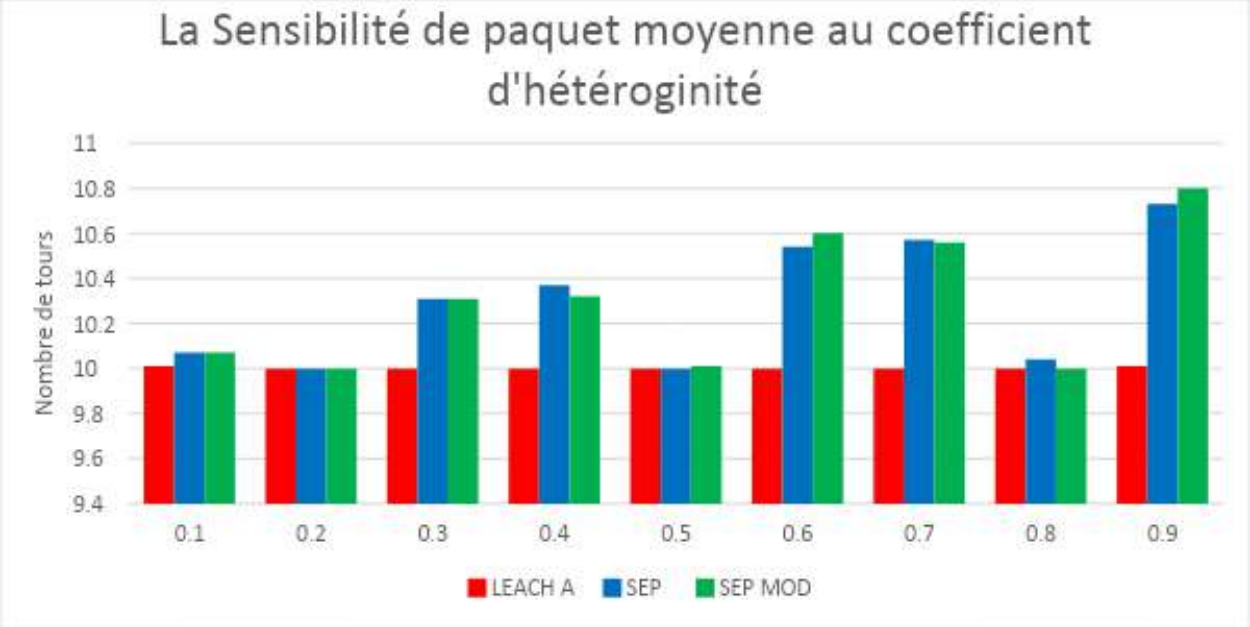


Figure III.37 :Nombre de paquet moyenne envoyer vers la SB en fonction de tours.

On remarque que les résultats sont les mêmes que pour a=1

III-7-Résultat de Simulation par MATLAB du protocole SEPMOD pour m*a=1:

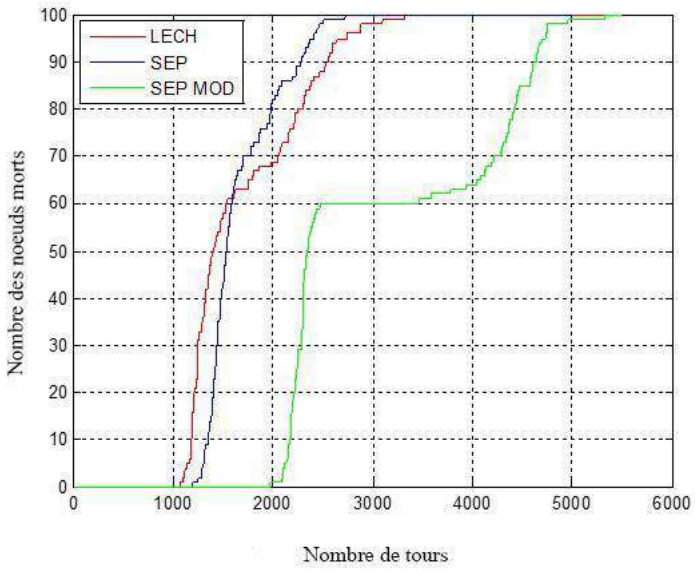


Figure III.38 :Nombre des nœuds morts en fonction de tours.

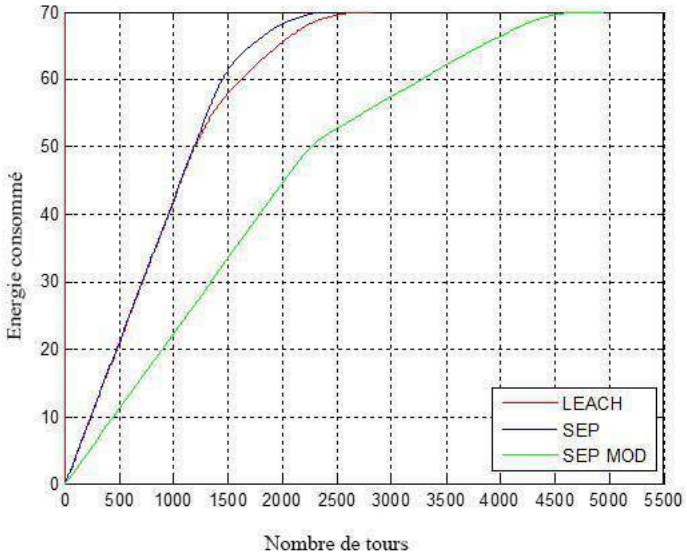


Figure III.39 :Energie consommée au point de stabilité.

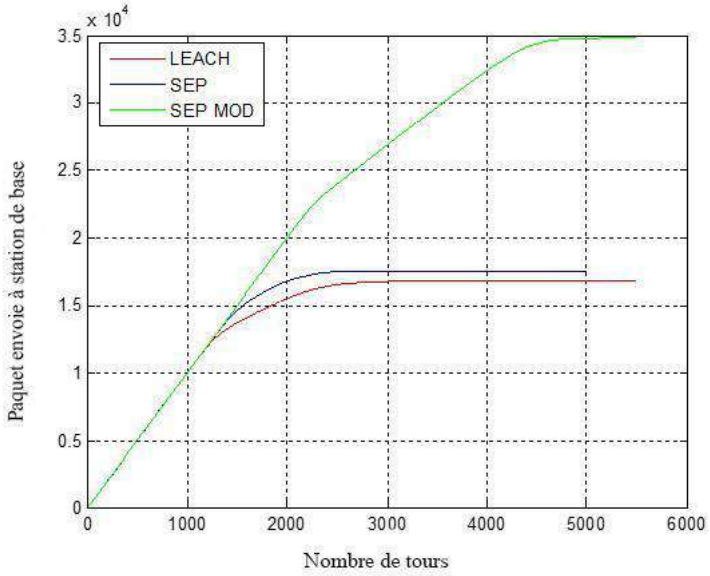


Figure III.40 :Nombre de paquet envoyer vers la SB en fonction de tours.

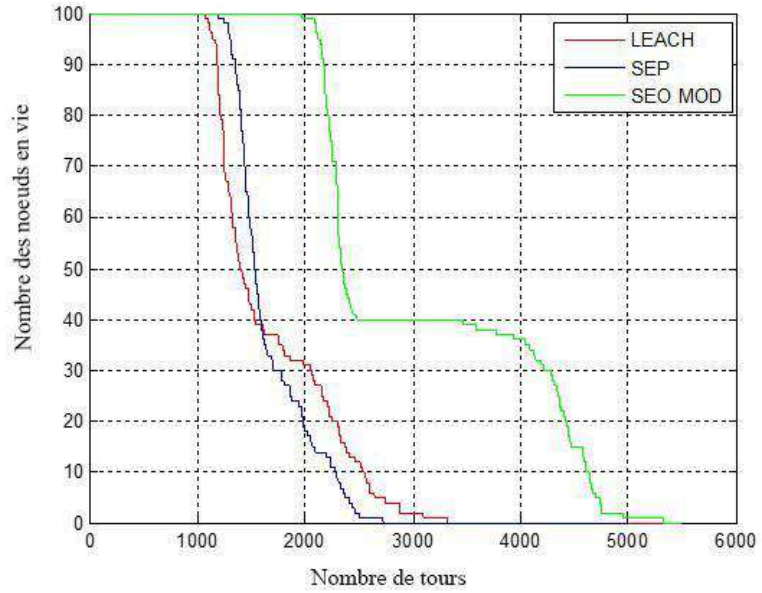


Figure III.41 :Nombre de nœuds en vie en fonction de tours.

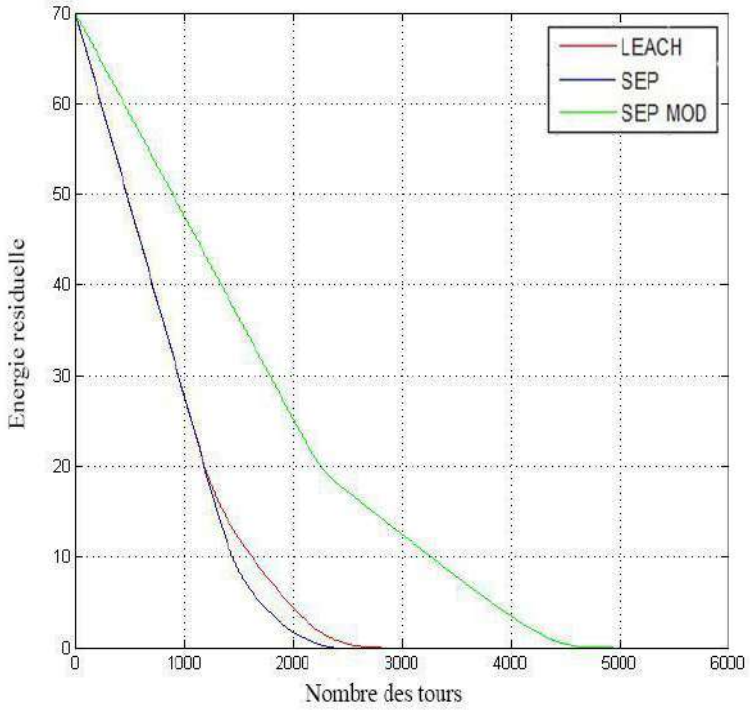


Figure III.42 :Energie résiduelle en fonction de tours.

Tableau - II - Comparaison de la durée de vie :

a=1,m=0.4	Stabilité	zone d'instabilité	durée de vie
LEACH	1076	1648	2724
SEP	1096	2225	3321
SEPMOD	1969	3355	5324

III-8- Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats des simulations des protocoles d'auto-organisation : LEACH, SEP et SEPMOD. dans les réseaux sans fil hétérogène, en se focalisant sur la durée du région de stabilité, la durée de vie du réseau, l'énergie consommé et la quantité d'information reçu par la station de base.

Nous avons proposé une amélioration du protocole SEP le SEPMOD qui s'est basé sur :

- L'utilisation de la station de base comme un nœud colleteur des données à partir des nœuds capteurs (comme un CHs) lorsque cette dernière est proche d'un nœuds capteur par rapport à son CHs .
- A chaque tour, un seul nœud est chargé de transmettre les données de l'environnement limité par un cercle virtuel qui représente l'événement d'une même zone du champ de captage.
- Les résultats des simulations effectuées montrent clairement que notre amélioration de protocole LEACH, permet de meilleures performance par rapport au protocole standard LEACH,et SEP en ce qui concerne la région de stabilité, la durée de vie du réseau, la consommation d'énergie et la quantité d'information reçu par la station de base.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Conclusion Générale :

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSFs), représentent une amélioration significative par rapport aux capteurs traditionnels. L'étendue des applications des réseaux de capteurs est vaste, on les retrouve dans plusieurs domaines (militaire, santé, sécurité, environnement, etc…). Les réseaux de capteurs permettent à l'utilisateur une meilleure compréhension de l'environnement. De nos jours, les réseaux de capteurs font partie intégrante de notre vie.

L'utilisation des réseaux de capteurs sans fil présente l'intérêt de ne pas nécessiter d'infrastructure. Par exemple, dans des applications de surveillance environnementale après un accident, un grand nombre de capteurs, peuvent être déployés rapidement et aléatoirement sur des étendues géographiques. L'utilisation des batteries par les nœuds capteurs est une contrainte critique, dans les réseaux de captures, car il est difficile de changer ou de recharger les batteries de capteurs. Pour cela, les algorithmes et les protocoles de communication pour les réseaux de capteurs doivent minimiser la consommation d'énergie. Pour une utilisation efficace de l'énergie et de la capacité du réseau, plusieurs recherches se sont focalisées sur l'auto-organisation (organisation hiérarchique), dans les réseaux de capteurs.

Dans ce travail, nous avons étudié la problématique d'auto-organisation dans les réseaux de capteurs sans fil, plus précisément nous avons basé notre étude sur le protocole d'auto-organisation SEP (Stable Election Protocol), en se focalisant sur les métriques suivantes : L'optimisation des ressources en termes de consommation d'énergie (la durée de vie du réseau), la région de stabilité du réseau, et la quantité d'information reçue par la station de base.

Nous avons proposé une amélioration sur l'approche d'auto-organisation hiérarchique SEP, qui se base sur un mécanisme de répartition du réseau en un ensemble de groupes. Ce dernier est constitué de nœuds capteurs, qui sont représentés par un chef de groupe CH choisi selon une probabilité dite d'élection des CHs. Pour distribuer équitablement la charge d'énergie entre les nœuds capteurs du réseau, l'approche d'auto-organisation SEP, utilise la rotation randomisée des chefs de groupes CHs. Ainsi pour minimiser la consommation d'énergie des nœuds, qui sont proches à la station de base, nous avons utilisé la technique de la communication directe avec la station de base, elle est supposée comme un nœud d'agrégation, puis qu'elle est dotée de ressources supérieurs (en termes d'énergie et capacité de calcul). Et dans le cas d'absence des chefs de groupes, le nœud capteur communiquera directement avec la station de base, pour assurer une couverture meilleure de la zone d'intérêt.

Les résultats de simulation ont montré que le protocole SEPMOD améliore les performances du réseau en termes de période de stabilité, de consommation énergétique, et de quantité d'information.

Toutefois, cet effort ne peut être considéré que comme un début pour un travail plusprofond qui aurait comme objectif l'auto-organisation dans les RCSFs pour une optimisation plus poussée pour augmenter la durée devie, la durée de stabilité du réseau, et enfin de compte leurs efficacités et leurs rentabilités.

Perspectives :

Afin de continuer dans le même cadre de ce travail, nous proposons de développer notre approche d'auto-organisation pour:

- *Traiterle problème de passage à l'échelle (Scalability) :* La plupart des protocoles d'auto-organisation hiérarchique dans les réseaux de capteurs sans fil utilisent des algorithmes de clusterisation à ***un saut***, des chefs de groupes (cluster heads) à la station de base. Ce la devient impossible quand l'étendue du réseau augmente. Pour remédier à ce problème, nous proposons deux solutions à développer :

    - Algorithme d'auto-organisation hiérarchique à plusieurs sauts(multi-sauts) pour les grands réseaux de capteurs.
    - Auto-organisation hiérarchique avec puits multiples de réseaux de capteurs sans fil de grande taille.

- *Assurer un fonctionnement optimal du réseau par minimisation de la consommation des ressources en termes d'énergie* : Pour résoudre ce problème, nous proposonsd'ajouter de nouvelles règles (l'énergie résiduelle de nœud capteur), pour l'élection des CH (Plus le nœud possède une énergie importante plus il peut devenir CH).

BIBLIOGRAPHIE

[AKK 05]	K. Akkaya and M.Younis, « A survey on routing protocols for wireless Sensor network » Elsevier Ad Hoc Network Journal, vol.3, no.3, pp. 325-349, May, 2005.
[AKY 02]	I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirici, « Asurvay on sensor networks », Commun. ACM, pp. 102–114, Aout.2002.
[ALL 14]	AllouacheDjedjiga&Azamoum Karima, « Optimisation de la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil »,73p mémoire de Master en Informatique, l'Université A.MIRA-BEJAIA, 2014
[ATH 10]	Samir ATHMANI, « Protocole de sécurité Pour les Réseaux de capteurs Sans Fil ».96p, mémoire de magister, Université Hadj Lakhder- Batna, 2010.
[AYO 15]	AYOUB Med Seghir& CHERABI Salim « Proposition d'un algorithme de routage hiérarchique dans les réseaux de capteurs sans fil »72p Mémoire de Master en Recherche Opérationnelle Université A. Mira de Béjaia 2015.
[BOU 08]	BOUBICHE Djallel Eddine, « Protocole de routage pour les réseaux de capteurs sans fil », mémoire de magister, Université Hadj Lakhder- Batna, 2008.
[BOU 10]	BOUDJAADAR Amina, « Plateforme Basée Agents Pour l'Aide à la conception et la Simulation des Réseaux de Capteurs Sans Fil »,memoire de magister, universite 20 aout 55 de skikda,BOUDJAADAR Amina, 2010.
[CHA 08]	Yacine CHALLAL, « Les réseaux de capteurs sans fil », cours, Université de Technologie de Compiègne Heudiasyc, UMR CNRS 6599 BP 20529, 60205, COMPIEGNE CEDEX, France, 2008.
[FAI 12]	S. Faisal, N. Javaid, A. Javaid, M. A. Khan, S. H. Bouk, Z. A. Khan, « Z-SEP: Zonal-Stable Election Protocol for Wireless Sensor Networks », COMSATS Institute of Information Technology, Islamabad, Pakistan, 2012.
[GHA 14]	G.Chandini, Rajavali Guntur, K. W. Rajesh Guntur « Energy Efficient Zonal Stable Election Protocol for WSNs » Department of Electronics and Communication Engineering.,SriSivani College Of Engineering, Srikakulam, A.P, India 2014
[HEI 00]	W. Heinzelman, A. Chandrakasan and H.Balakrishnan, « Energy efficient communication protocols for wireless micro sensor networks », in: Proceedings of the 33rd Hawaiian International Conference on Systems Science,10 pp. vol.2, Janvier 2000.
[HEI 02]	W. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, « Anapplication-specific protocol architecture for wireless microsensornetworks » in IEEE Transactions,on Wireless Communications, VOL. 1, NO. 4,pp.660-

	670Octobre. 2002.
[HOL 05]	Holger Karl and Andreas Willig « Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks ». John Wiley& Sons, Ltd. 2005 .507p. ISBN: 0-470-09510-5
[KAR 09]	Karel Heurtefeux « PROTOCOLES LOCALISÉS POUR RÉSEAUX DE CAPTEURS » 143p Thèse de Doctorat, Ecole doctorale, Informatique et Mathématiques de Lyon, 2009.
[KEC 10]	KECHAR Bouabdellah, » Problématique de la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil », 152p, thèse doctorat en d'informatique université d'Oran ,2010.
[LEH 09]	LEHSAINI Mohamed, « Diffusion et couverture basées sur le clustering dans les Réseaux », 222 p.Thèse de Doctorat en Informatique, Université de Franche-Comté Besançon ,2009.
[LEH 14]	Lahcene DEHNI , Younès BENNANI , Francine KRIEF « Une nouvelle approche de routage dans les réseaux de capteurs pourl'optimisation de la consommation d'énergie », article, + LAboratoire Bordelais de Recherche en InformatiqueUMR 5800 du CNRS, Université Bordeaux 1 ,2014
[LOU 15]	LOUAZANI Ahmed « Sécurisation d'un protocole Inter-Couches pour les Réseaux LR-WPAN » 129p,thèse de doctorat , universiteahmedbenbellaoran , 2015
[MAH 14]	MAHMOUDI Brahim, « Développement et évaluation de fonctionnalités d'auto-organisationPour les réseaux de capteurs sans fil »87p, ***mémoire de Magister , faculté de technologie –UniversitéYahiaFares de Médéa*** 2014.
[MOU 16]	MOUSSAOUI Adel, BELLAL Juba « Routage Hiérarchique avec Optimisation de Consommation d'Energie dans les Réseaux de Capteurs Sans-Fil. »78p. Master Professionnelle En Informatique Université A/Mira de Béjaia (2016)
[NGO 16]	NGOM Diery, « Optimisation de la durée de vie dans les réseaux de capteurs sans fil sous contraintes de couverture et de connectivité »,129p Thèse de Doctorat en Informatique, l'Université de Haute Alsace (France) ,2016
[OUA 09]	Nabil OUAZENE, «Pour une QoS au niveau de la Couche MAC dans les Réseaux Sans Fil »95p, mémoire de magister EN INFORMATIQUE, Université Hadj Lakhdar Batna ,2009.
[REH 13]	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)pp 932 – 937.Procedia Computer Science 19 (2013)
[SAB 12]	B. A. Sabarish, M. S. M. Guru, M. A. Dhivya, K. S. Naveen, and S. Vaishnavi, « A survey on clustering protocols in wireless sensor networks » International Journal of Advances in Computing and Information technology, vol. 1, no. 2, 2012

[SMA 04]	Smaragdakis, G., Matta, I., &Bestavros, A, « SEP: A stable election protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks ». Boston University Computer Science Department, 2004
[SOH 07]	Kazem SOHRABY, Daniel MINOLI, Taieb ZNATI, « wireless sensor networks:Technology, Protocols, and Applications », canada John Wiley & Sons, Inc, 2007.326p.ISBN 978-0-471-74300-2.
[YOU 04]	O. Younis and S. Fahmy, « HEED: a hybrid, energy-efficient, distributed clustering aproach for ad hoc sensor networks », EEE Trans. Mob. Comp., vol. 3, no. 4, pp. 366–379, 2004.
[YOU 10]	YOUSEF Yaser « Routage pour la Gestion de l'Energie dans les Réseaux deCapteurs Sans Fil »140p, Thèse de Doctorat, en Informatique, université de HAUTE ALSACE, 2010.
[YOU 12]	YACINE YOUNES, « Minimisation d'énergie dans un réseau de capteurs »84p memoire de magister en informatique, université MOULOUD MAMMERI de tizi-ouzou, 2012.