REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de Technologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière :.Génie Electrique

Spécialité :.Instrumentation

Contribution à l'amélioration de la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fils (WSN)

Préparé et présenté par :

Mr. Mizane Walid

Proposé et dirigé par :

Mr. Guedmani Mohamed

Année universitaire 2020-2021

Remerciements

***E**n premier lieu, je remercie le Bon Dieu de m'avoir donné la force et le courage pour accomplir ce travail et qui m'a procuré ce succès.*

***J**e tiens à remercier en premier lieu Dr. **Geudmani Mohammed** pour son encadrement et pour l'encouragement et l'intérêt qu'il m'a apporté pour l'accomplissement de ce travail et surtout pour son grande aide et ses qualités humaines.*

***J**'adresse aussi mes très sincères remerciements à Mr. **Salam ABUDURA** de me faire l'honneur de s'intéresser à ce travail.*

***J**'exprime ensuite ma plus profonde gratitude à Dr**. Hamidi Youcef** et Mr. **Bachcen mourad** qui ont accepté d'examiner ce travail malgré leur emploi du temps surchargé.*

***J**e remercie le commandement de la Gendarmerie Nationale qui ma autoriser de continuer mes études en poste graduation.*

***U**n grand merci à mes enseignants, mes amis, ainsi que mes collègues, un chaleureux merci pour Dr. **Mohamed GUEDMANI**, Mr. **Nouari Mouhammed** et Mr. **Diaoui Faycel** pour ses encouragements et pour toute son aide.*

Dédicaces

Je dédie ce mémoire A:

- Mes très chers parents pour les sacrifices et les encouragements qu'ils n'ont cessé de me conférer. que dieu les garder éternellement heureux.
- Ma très chère femme et mes chers enfants que dieu les protèges et les gardes en bonne santé.
- Mes frères et sœurs ainsi que leurs enfants sans exception.
- Mes collègues de ANP et CGN .
- Nos enseignants de poste graduation. Dr Geudmani Mohammed , Dr Hamidi Youcef , Dr Bachen Mourad ,Dr Abou dora Salem ,Dr Geumana Moloud , Dr Triki Zakaria
- Mr Bou djamaa, Mr Nouari Mohammed , Mr Faycel Diaoui

Toutes Mes chère proches

ملخص

أصبحت شبكات الاستشعار اللاسلكية مهمة للغاية لدرجة أنه لا يمكن الاستغناء عنها في السنوات الأخيرة وحاليا، وذلك بفضل التنوع الكبير في مجالات تطبيقها ومساعدتها الكبيرة في مجال الاتصالات ومجالات الذكاء الإصطناعي. يتم نشر هذه المجموعات من عقد الاستشعار بأعداد كبيرة وبشكل عشوائي في منطقة ما. يمكن أن تحتوي هذه العقد في بعض الأحيان على طاقات متساوية أو مختلفة، لكنها كلها محدودة، لذلك يتم اقتراح العديد من الحلول للسماح للشبكة بالعمل لفترة أطول. وبالتالي تحسين أدائها.

ستكون المساهمة في جانب إطالة عمر الشبكة من خلال تحسين أداء بروتوكول التوجيه SEP لشبكات الاستشعار اللاسلكية، حيث تمت إضافة تقنيات معينة لتقليل استهلاك الطاقة وزيادة فترة الاستقرار. أخيرًا، أظهرت نتائج المحاكاة أن البروتوكول المحسن أكثر كفاءة وأن نتائجه تطيل عمر الشبكة لفترة أطول، بنسبة كبيرة.

الكلمات المفتاحية

شبكة الاستشعار اللاسلكية، اتصال لاسلكي، عقدة الاستشعار، استهلاك الطاقة، فترة الاستقرار، بروتوكول التوجيه.

Résumé

Les réseaux de capteurs sans fil sont devenus si importants qu'on ne peut plus s'en passer ces dernières années et actuellement, grâce à la grande diversité de leurs domaines d'application et leur grande aide dans le domaine de la communication et des domaines de l'intelligence artificielle. Ces groupes de nœuds capteurs sont déployés en grand nombre et de manière aléatoire dans une zone. Parfois ces nœuds peuvent avoir des énergies égales ou différentes, mais elles sont toutes limitées, Donc, plusieurs solutions sont suggérées pour permettre au réseau de fonctionner plus longtemps. Et ainsi améliorer ses performances.

Contribuer à prolonger la durée de vie du réseau sera d'améliorer les performances du protocole de routage SEP pour les réseaux de capteurs sans fil, où certaines technologies ont été ajoutées pour réduire la consommation d'énergie et augmente la période de stabilité. Finalement, les résultats de la simulation ont montré que le protocole amélioré est plus efficace et ses résultats prolongent la durée de vie du réseau plus longtemps, avec une proportion importante.

Mots clés

Réseau de capteurs sans fils, communication sans fils, nœud capteur, consommation d'énergie, période de stabilité, protocole de routage.

Abstract

Wireless sensor networks have become so important that they cannot be done without them in recent years and currently, thanks to the great diversity of their fields of application and their great help in the field of communication and fields. of artificial intelligence. These groups of sensor nodes are deployed in large numbers and at random in an area. Sometimes these nodes can have equal or different energies, but they are all limited, so several solutions are suggested to allow the network to run longer. And thus improve its performance.

Helping to extend the life of the network will improve the performance of the SEP routing protocol for wireless sensor networks, where certain technologies have been added to reduce power consumption and increase the period of stability. Finally, the simulation results showed that the improved protocol is more efficient and its results extend the life of the network longer, with a significant proportion.

Keywords

Wireless sensor network, wireless communication, sensor node, power consumption, the period of stability, routing protocol.

Table des matières

Liste des figures……I
Liste des tableaux ……...……III
Liste des acronyme …….....V
Introduction générale……1

Chapitre I : Généralités sur les réseaux de capteurs sans fils

1. Introduction :.....2
2. Définitions des nœuds des capteur sans fils :.....2
3. Architecture d'un réseau de capteurs sans Fils :.....2
4. Topologies des réseaux de capteurs sans fils :.....4
4.1. Topologie plate (Flat):.....4
4.2. Topologie Hiérarchique (Hierarchical) :.....5
5. Caractéristiques des RCSFs :.....6
6. Noeud capteur :.....9
6.1. Unité de capture.....9
6.2. Unité de traitement.....9
6.3. Unité de transmission :.....10
6.4. Unité d'énergie :.....10
7. Composition d'un capteur sans fil :.....11
7.1. Schéma synoptique :.....11
8. Les standards de communication pour les RCSFs :.....13
8.1. Bluetooth.....14
8.2. ZigBee.....14
9.Le système d'exploitation pour RCSF : TinyOS.....16
10. Pile protocolaire :.....17
11. Les applications des RCSF :.....17
11.1 Les applications militaires :.....18
11.2. La santé :.....19
11.3. Le Transport :.....19
11.4. La domotique :.....20
11.5. Applications dans le domaine sportif :.....20
12. Problématiques :.....21
13. Conclusion:.....21

Chapitre II : Protocoles d'auto-organisation des RCSFs

1.Introduction :.....22

2. Facteurs et contraintes de conception de WSN : 22

2.1. Durée de vie : 22

2.2. Consommation d'énergie : 23

3. Protocole de routage : 24

3.1. Définition de routage :.....24

3.2. Quelques protocoles d'auto-organisation :.....24

4. Définition et architecture du protocole LEACH :.....24

4.1. Les caractéristiques de protocole LEACH :.....25

4.2. Principe général de fonctionnement du protocole LEACH : 26

4.2.1. La Phase de construction (configuration)''Set-up'' : 27

4.2.2. Annoncées des Cluster-Head :.....28

5.2.3. Formation des Clusters :.....28

4.2.4. Création de la table TDMA :.....29

4.2.5 Phase de transmission (Steady State Phase):.....30

5. Avantages et inconvénients du protocole LEACH :.....31

5.1 Avantages :.....32

5.2 Inconvénients :.....32

6. Le modèle énergétique :.....33

7. Description du système :.....34

8. Le Protocole SEP (Stable Election Protocol) : 36

8.1 Les avantages : 37

8.2. Consommation pendant la période de stabilité : 38

9. Conclusion : 38

Chapitre III : Evaluation des protocoles LEACH et SEP

1. Introduction :.....39
2. Généralités sur la simulation :.....39
2.1. Définition : 39
2.2. Le langage MATLAB : 39
3. La préparation de la simulation : 40
4. Mesure de Performance : 40
5. Le protocole Clustering LEACH hétérogène :.....41
5.1. L'organigramme de Protocole LEACH Avance : 42
5.2. Instabilité des protocoles hétérogènes :.....44
6. Le déploiement dans le protocole SEP : 46
6.1. Exemple numérique : 46
6.2. L'organigramme De Protocole SEP : 48
7. Résultats de la simulation : 50
7.1. Résultats du protocole LEACH :.....51
7.2. Résultats du protocole SEP : 53
7.3. Amélioration du protocole SEP : 55
7.4. L'énergie consommée et résiduelle des deux protocoles LEACH et SEP : 59
7.4. La stabilité entre les protocoles LEACH et LEACH A et SEP et SEP M : 60
8. Différence entre les deux protocoles LEACH et SEP 62
9. Conclusion : 64
Conclusion Générale 65
Bibliographie.....66

Liste des figures

Figure I.1 Architecture de base du réseau de capteurs sans fils..... 3
Figure I.2 Topologie plate (Flat)..... 4
Figure I.3 Topologie Hiérarchique..... 5
Figure I.4 Schéma synoptique d'un nœud capteur.....10
Figure I.5 Consommation d'énergie dans un nœud capteur.....12
Figure I.6 Les différentes normes sans fil.....13
Figure I.8 Pile protocolaire des RCSF.....16
Figure I.9 Application militaire.....17
Figure I.10 Application de la santé..... 18
Figure I.11 Application du transport..... 18
Figure I.12 Application domotique 19
Figure I.13 Application sportive..... 19
Figure II.1 Architecture de routage hiérarchique LEACH..... 24
Figure II.2 Formation de Clusters dans LEACH..... 25
Figure II.3 Opérations de l'étape d'initialisation..... 26
Figure II.4 Formation dynamique des Clusters..... 27
Figure II.5 Répartition du temps et différentes phases dans le cycle de LEACH..... 28
Figure II.6 TDMA.....29
Figure II.7 CDMA..... 29
Figure II.8 Opérations de la phase de communication (Steady-state) de LEACH..... 30
Figure II. 9 Modèle de radio..... 32
Figure II.10 Architecture de routage de SEP..... 36
Figure III.1 L'organigramme De Protocole LEACH..... 45
Figure III.2 La distribution des nœuds aléatoires sur un champ 100 × 100 m2..... 46
Figure III.3 La représentation du champ de captage après la mort totale des nœuds..... 47
Figure III.4 L'organigramme De Protocole SEP..... 51
Figure III.5 Nœuds mourts des protocoles LEACH et LEACH Avancée..... 53
Figure III.6 Nœuds vivants des protocoles LEACH et LEACH Avancée..... 53
Figure III.7 Energie consommée entre des protocoles LEACH et LEACH Avancée..... 54
Figure III.8 Energie résiduelle entre des protocoles LEACH et LEACH Avancée..... 54
Figure III.9 Paquet envoyé à la BS entre des protocoles LEACH et LEACH Avancée..... 54
Figure III.10 Nœuds vivants de protocoles SEP..... 55
Figure III.11 Nouds mourts de protocole SEP..... 56

Figure III.12 Energie résiduelle de protocole SEP..... 56
Figure III.13 Energie consommée de protocole SEP..... 56
Figure III.14 Paquet envoyé à la BS de protocole SEP..... 57
Figure III.15 Comparaison entre les protocoles SEP Modifiée dans point de stabilité..... 58
Figure III.16 Comparaison entre les protocoles SEP Modifiée le cas de l'énergie consommée.. 58
Figure III.17 L'énergie moyenne consommée par rand..... .59
Figure III.18 la période De stabilité..... 60
Figure III.19 L'énergie moyenne consommée par rand..... 61
Figure III.20 L'énergie résiduelle consommée par rand..... 62
Figure III.21 La période de stabilité..... 63
Figure III.22 La période d'instabilité..... 64

Liste des tableaux

Tableau I.7 Tableau comparatif chiffré entre différents protocoles de communication sans fil.. 14
Tableau II.3.6 Exemples de protocoles d'auto-organisation hiérarchique inspiré de LEACH.... 34
Tableau III.1 Les paramètres utilisés dans nos simulations..... 52
Tableau III.5 L'énergie moyenne consommée par rand pour la probabilité d'élection des CHs pour les nœuds avancés Dans le protocole SEP Modifié..... 59
Tableau III.5 la période De stabilité pour la probabilité d'élection des CHs pour les nœuds avancés dans le protocole SEP Modifié..... 60
Tableau III.5 L'énergie moyenne consommée par rand pour les 4 protocoles..... 61
Tableau III.5 L'énergie moyenne consommée par rand pour les 4 protocoles..... 61
Tableau III.5 La période de stabilité pour les 4 protocoles..... 62
Tableau III.6 La période de stabilité pour les 4 protocoles..... 63
Tableau III.6 Comparaison entre SEP et LEACH..... 65

Liste des acronymes

ADC	Analog to Digital Converters
ADV	Advertising
BSD	Berkeley Software Distribution
CH	Cluster-Head
CDMA	Accès Multiple par répartition en Code
CPU	Central processing unit
CSMA MAC	Carrier-Sense Multiple Access Media Access Control
DVS	Dynamics Voltage Scheduling
GPS	Global Positioning System
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
LEACH	Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy
LEACH A	Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy Avancée
MATLAB	MATrix LABoratory
PDA	Personal digital assistant
RAM	Random-Access Memory
RCSF	Réseau de Capteur Sans Fil
RF	Radio Frequency
ROM	Read-only memory
SEP	Stable Election Protocol
SEP M	Stable Election Protocol Modifié
TDMA	Time-division multiple access
USB	Universal Serial Bus
WPAN	Wireless Personal Area Network
WSN	Wireless Sensor Network

Les récentes avancées technologiques dans le domaine des systèmes micro-électroniques et des communications sans fil ont permis le développement des capteurs. Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) ou WSN (en anglais : Wireless Sensor Networks) sont considérés comme l'une des plus importantes avancées technologiques du 21éme siècle. Un RCSF comprend un grand nombre de nœuds capteurs spatialement répartis pour surveiller, collecter et transmettre de manière coopérative diverses conditions environnementales (température, son, vibrations, pression, mouvements, polluants, etc.) vers une station de base qui sert de passerelle vers d'autres réseaux. Ces caractéristiques ouvrent de grandes opportunités et relèvent d'énormes défis répondant aux exigences d'innombrables secteurs et applications [67].

En raison de contrainte de la miniaturisation, les capteurs sont généralement dotés de ressources très limitées en termes de capacité de calcul, d'espace de stockage de données et l'énergie (généralement une batterie irremplaçable) [65]. Dès lors, l'énergie est la ressource la plus précieuse dans WSN, puisqu'elle influe directement sur la durée de vie des micros capteurs. Tel que ces nœud capteur assure l'acquisition, le traitement de données et les communications, et cette dernière tâche qui est la plus consommatrice d'énergie, étant donné que le routage de donnée est un facteur déterminant dans la gestion économique d'énergie, plusieurs recherches on était effectuée dans le domaine des protocoles de routage.

Dans le premier chapitre, on commence d'abord par définir le réseau de capteur sans fils et son architecture, après on détaille bien le nœud capteur et ses composants ,ensuite on parle de leur types Topologies puis on mentionne quelques caractéristiques caractéristiques et Composition de réseaux de capteurs sans fils ,et puis on se base sur les domaines d'applications de ce type de réseaux, on suite on va parler de les standards de communication pour les réseaux de capteurs sans fils, et à la fin de chapitre, on cite des différents problématiques des réseaux.

On poursuit mémoire dans le deuxième chapitre en se basant sur le côté énergétique et on va décrit les différents protocoles de routage hiérarchique de ce réseau avec description plus au moins détaillée. Nous évoquerons aussi deux protocoles de routage hiérarchique LEACH et SEP qui permettent la minimisation de la consommation d'énergie.

Et finalement, on finit par le dernier chapitre qui constitue le cœur de notre travail de thèse, on présente notre amélioration d'un de protocole de routage SEP avec une comparaison entre ces protocoles est présentée dans le troisième chapitre avec présentation d'une simulation sur MATLAB entre LEACH et LEACH Avancée et SEP et SEP Modifié sous contrainte énergétique dans les réseaux de capteurs sans fils avec description.

1. Introduction :

Compte tenu des développements récents et de la haute technologie, le domaine de la technologie sans fil et électronique est considéré comme l'un des plus importants et des plus répandus en raison de son faible coût et de son efficacité. Ce sont les petits capteurs à faible consommation d'énergie qui ont grandement contribué au développement. Des réseaux de capteurs sans fil.

Les capteurs sans fil ont un domaine d'application très large et varié, par exemple dans les domaines médical, agricole, militaire ou de sécurité. C'est l'une des technologies les plus importantes et les plus influentes qui révolutionnera le monde et révolutionnera notre façon de vivre, ce qui facilitera de nombreuses tâches dans la vie aujourd'hui.

Dans ce chapitre, nous définirons un réseau de capteurs et un nœud de capteurs, et présenterons l'architecture, les caractéristiques, le fonctionnement et les domaines de WSN.

2. Définitions des nœuds des capteur sans fils :

Un RCSF est composé d'appareils à bas prix, autonomes en énergie, capables de surveiller les conditions physiques ou environnementales (température, humidité, bruit, vibration, pression, mouvement, pollution, etc.), d'effectuer certains calculs, et de collaborer pour transmettre leurs données via des liaisons sans fil à un destinataire principal qui se charge de recueillir ces données. Les RCSF comportent une (ou plusieurs) station(s) de base, appelée puits, qui agit comme une passerelle entre les utilisateurs finaux et le RCSF. Un utilisateur final peut récupérer les données nécessaires à partir des informations recueillies par ce puits, puis les analyser afin de prédire ou anticiper certains phénomènes. [1]

3. Architecture d'un réseau de capteurs sans Fils :

Un réseau de capteurs est composé d'un nombre souvent très important de nœuds qui sont, soit posés à un endroit précis, soit dispersés aléatoirement (souvent déployés par voie aérienne à l'aide d'avions ou hélicoptères). Ce dispersement aléatoire des capteurs nécessite que le protocole utilisé pour les réseaux de capteurs possède des algorithmes d'auto organisation [11].

En plus des nombreuses contraintes que peuvent comporter certain environnement hostile, il subsiste une contrainte très importante à savoir l'économie de batterie.

En effet, un réseau de capteurs ne peut survivre si la perte de nœuds est trop importante car ceci provoque des pertes de communication dues à une trop grande distance entre les capteurs. De ce fait il est primordial que la durée de vie des batteries soit la plus longue possible (impossible de retourner changer les batteries).

Cette utilisation liée à l'autonomie des capteurs (1 année maximum pour les technologies actuelles) fait intervenir un paramètre non négligeable qui est le prix. Aucune application ne serait rentable si le rapport heures d'utilisation / prix était trop élevé. Il a donc été nécessaire d'allier technologie et low-cost [11]. Les réseaux de capteurs peuvent être programmés à un grand nombre de fins, telles que le contrôle d'intrusions, le calcul de températures, le calcul de changements climatiques, la surveillance des déplacements d'animaux (avec récepteurs GPS), surveillance de malades [11].

Un réseau de capteur sans fil se constitue principalement de plusieurs nœuds -capteurs, un nœud Sink et un centre de traitement de données.

Nœuds : ce sont des capteurs, qui répondent aux exigences de l'application pour laquelle ils ont été conçus du point de vue de leurs architectures, et de leur dispersion géographique.

Sink ou puits (Station de base) : c'est un nœud important du réseau. Son rôle diffère de celui des autres nœuds du réseau car sa tâche est de collecter les données qui proviennent des autres nœuds du réseau c'est pour cela qu'il doit être toujours actif car la réception des données se fait de manière aléatoire, et pour se fait son énergie doit être illimité.

Centre de traitement des données (Utilisateur) : Toutes les données collectées par le Sink y seront envoyées, ce centre varie grouper toutes les informations et les triées afin de relever celles qui seront exploitable.

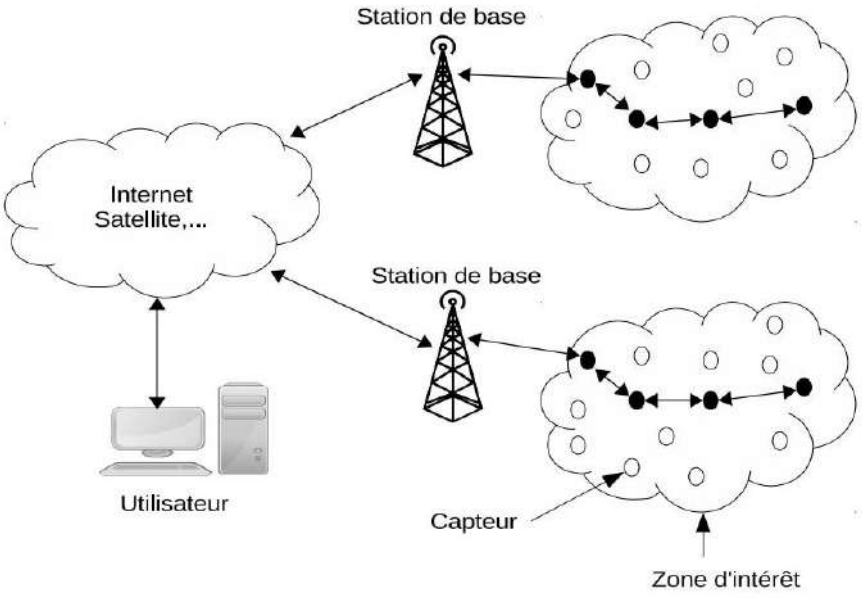


Figure I.1 Architecture de base du réseau de capteurs sans fils

4. Topologies des réseaux de capteurs sans fils :

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

4.1. Topologie plate (Flat):

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

En cas où la destination ne fait pas partie du voisinage de la source, les données seront transmises en utilisant les sauts multiples à travers les nœuds intermédiaires comme c'est illustré dans la Figure I.2. Ce type de réseau représente l'avantage de l'existence de différents chemins

D'une source vers une destination et c'est pour remédier au problème de changement brusque de topologie ou la défaillance d'un nœud intermédiaire [2].

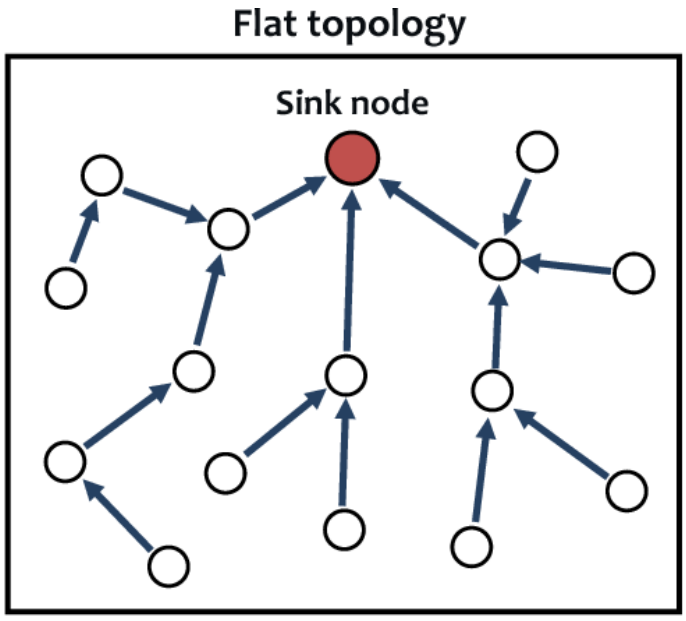


Figure I.2 Topologie plate (Flat)

4.2. Topologie Hiérarchique (Hierarchical) :

Les protocoles à topologie hiérarchique forment des réseaux dans lesquels un nœud central Sink (le niveau supérieur de la hiérarchie) est relié à un ou plusieurs autres nœuds qui appartiennent à un niveau plus bas dans la hiérarchie (deuxième niveau) avec une liaison point à point. Aussi, chacun des nœuds du deuxième niveau aura également un ou plusieurs autres nœuds de niveau plus bas dans la hiérarchie (troisième niveau) reliés à lui avec une liaison point à point. Chaque ensemble de nœuds forme une sorte de motif (Cluster). Le nœud central n'a aucun autre nœud au-dessus de lui dans la hiérarchie sauf le centre de traitement des données ou la passerelle si elle existe. Les nœuds du deuxième niveau jouent le rôle des passerelles entre ceux du troisième niveau et le Sink. Dans ce cas, le routage devient plus simple, puisqu'il s'agit de passer par les passerelles pour atteindre le nœud destination.

Un réseau basé sur une topologie hiérarchique doit avoir au moins trois niveaux dans sa hiérarchie, puisqu'un réseau avec un nœud central Sink et seulement un niveau hiérarchique au-dessous, forme une topologie en étoile [2].

Si les nœuds dans un réseau basé sur la topologie hiérarchique doivent effectuer un tel traitement sur les données transmises entre les nœuds dans le réseau, alors les nœuds qui sont à des niveaux plus élevés dans la hiérarchie doivent effectuer plus de traitement que les nœuds de niveau inférieur.

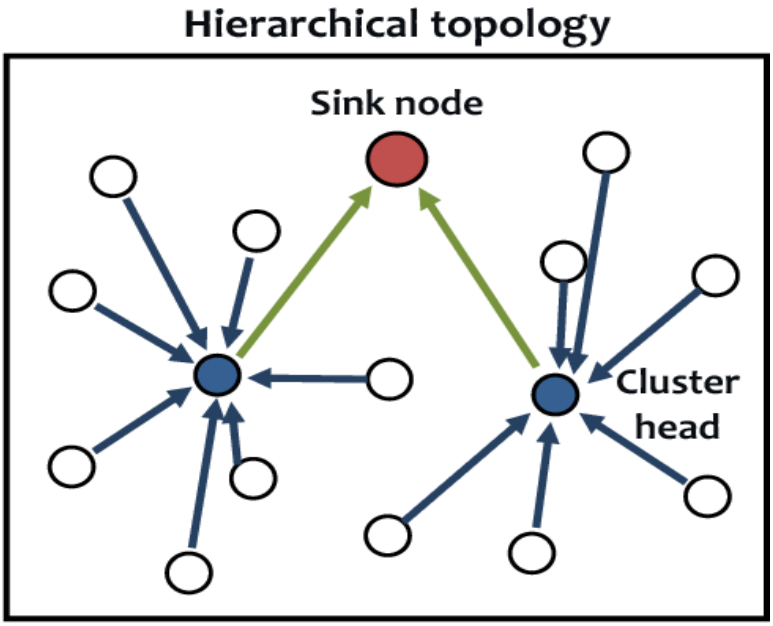


Figure I.3 Topologie Hiérarchique

5. Caractéristiques des RCSFs :

1) L'auto-configuration des nœuds capteurs : Dans un RCSF, les nœuds sont déployés soit d'une manière aléatoire (missile, avion…), soit placés nœud par nœud par un humain ou un robot, et ceci à l'intérieur ou autour du phénomène observé (champ de guerre, surface volcanique, patient malade…) [61] .Ainsi, un nœud capteur doit avoir des capacités d'une part, pour s'auto-configurer dans le réseau, et d'autre part pour collaborer avec les autres nœuds dans le but de reconfigurer dynamiquement le réseau en cas de changement de topologie du réseau [62].

Dans un RCSF, chaque nœud X possède une unité émettrice/réceptrice qui lui permet de communiquer avec les nœuds qui lui sont proches ; En échangeant des informations avec ces derniers, le nœud X pourra alors découvrir ses nœuds voisins et ainsi connaître la méthode de routage qu'il va adopter selon les besoins de l'application [63].

L'auto-configuration apparaît comme une caractéristique nécessaire dans le cas des RCSF étant donné que d'une part, leur déploiement s'effectue d'une manière aléatoire dans la majorité des applications, et d'autre part le nombre des nœuds capteurs est très grand.

2) Taille importante : un réseau de capteurs peut contenir des milliers de nœuds [64].

3) La tolérance aux pannes : Dans le cas de dysfonctionnement d'un nœud (manque d'énergie, interférences avec l'environnement d'observation…) ou aussi en cas d'ajout de nouveaux nœuds capteurs dans le réseau, ce nœud doit continuer à fonctionner normalement sans interruption [61]. Ceci explique le fait qu'un RCSF n'adopte pas de topologie fixe mais plutôt dynamique.

4) Topologie dynamique : les capteurs peuvent être attachés à des objets mobile qui se déplacent d'une façon libre et arbitraire rendant ainsi la topologie du réseau fréquemment changeante [64] .

5) Les types de communication : Il existe différents types de communication utilisée dans les RCSF :

a)Unicast : ce type de communication est utilisé pour échanger des informations entre deux nœuds sur le réseau.

b) Broadcast **:** la station de base ou « Sink » transmet des informations vers tous les nœuds du réseau. Ces informations peuvent être des requêtes de données bien précises (ex : la température dans la région A), des mises à jour de programmes ou des paquets de contrôle… [61].

c) Local Gossip **:** ce type de communication est utilisé par des nœuds situés dans une région bien déterminée qui collaborent ensemble afin d'avoir une meilleure estimation de l'évènement observé et d'éviter l'émission du même message vers le nœud « Sink » ce qui contribue à consommer moins d'énergie

d)Convergecast **:** il est utilisé dans les communications entre un groupe de nœuds et un nœud bien spécifique (qui peut être le « Sink »). L'avantage de ce type de communication est la diminution de contrôle d'entête des paquets (« control overhead ») ce qui économise l'énergie au niveau du nœud récepteur [62].

e) Multicast **:** il permet une communication entre un nœud et un groupe de nœuds. Ce type de communication est utilisé dans les protocoles qui incluent le « clustering » dans Lesquels, le « Clusterhead » s'intéresse à communiquer avec un groupe de nœuds [61].

6) Une architecture « data-centric » : Du fait que le remplacement ou la recharge des batteries des nœuds capteurs est une tâche non pratique et difficile à réaliser, alors il est d'usage normal qu'on trouve des nœuds capteurs redondants (effectuant la même tâche dans la même région) ;

L'importance d'un nœud particulier est, par conséquent, réduite par rapport à l'importance attribuée aux données observées par les nœuds.

Ce type d'architecture diffère des architectures « node-centric » adoptées par les réseaux traditionnels où les nœuds possèdent une place importante (Exemple : un utilisateur qui veut connecter *son laptop* au *serveur web X*) [62] .

7) Une collaboration entre les nœuds : Les contraintes strictes de consommation d'énergie mènent les nœuds capteurs à détecter et traiter les données d'une manière coopérative afin d'éviter le traitement redondant d'une même donnée observée, source de la perte d'énergie

8) Groupement « *clustering* »: Les nœuds qui sont regroupés ensemble dans un cluster seront capables de communiquer facilement les uns avec les autres. Les nœuds sont organisés en une hiérarchie en fonction de leur puissance et de leur proximité [66].

9) Communication multi-saut : Un nœud capteur peut communiquer directement avec ses voisins, c'est-à-dire ceux qui sont à sa portée de communication, et fait office de routeur pour les autres nœuds. On pourrait donc penser que ce mode est plus gourmand en énergie.et de limiter les risques de collisions entre les communications [66].

10) Mobilité : dans un réseau de capteurs mobile les nœuds, la zone d'intérêt, et l'observateur sont mobiles. Comment un nœud peut-il être mobile ? Il peut être attaché à un robot, à un être humain, véhicule, des animaux, etc. L'objectif des réseaux de capteurs mobiles est de recueillir plus d'informations sur un environnement en utilisant moins de nœuds capteurs, et de permettre au réseau d'organiser lui-même ses nœuds. En outre, il devient capable de déplacer ses capteurs dynamiquement selon les changements environnementaux, ce qui le rend adaptable à l'évolution de son environnement [66].

11) Identification : Les nœuds dans un réseau de capteurs sont souvent nommés par leurs attributs [66].

12)Auto organisation : Dans le cas où un réseau comporte un grand nombre de nœuds placés dans des endroits hostiles où la configuration manuelle n'est pas faisable il doit être capable

Des ’auto organiser. Sink nœud est retiré à cause d’un manque d’énergie ou de destruction physique ou inséré, ainsi le réseau doit être capable de se reconfigurer pour continuer sa fonction [5].

6. Noeud capteur :

C'est un nœud à l’intérieur d’un réseau de capteurs qui est capable de réaliser certains traitements, comme la collecte d'informations sensorielles et la communication avec d'autres nœuds connectés sur le réseau. Il est principalement composé d'un processeur, d'une mémoire, d'un émetteur/récepteur radio, et d’une pile (source d'énergie) [03].

Un capteur est composé de quatre composants de base : Unité de capture, unité de traitement, unité d'émission/réception, et une unité d'énergie. Il se peut aussi qu'il existe d'autres composants additionnels dépendant de l'application, par exemple : un générateur d'énergie, un système de localisation, et un mobilisateur.

6.1. Unité de capture

Le capteur est généralement composé de deux sous-unités : le récepteur (l’analyse) et le transducteur (convertissant le signal du récepteur en signal électrique). La fonction principale de l'unité de capture est de capturer ou mesurer les données physiques à partir de l'objet cible. Un dispositif de capture physique qui prélève l'information de l'environnement local, sachant que le capteur à avantage de fournir des signaux analogiques. Le signal analogique correspondant aux évènements observés par le capteur est ensuite transformé en données numériques qui peuvent être utilisées par l'unité de traitements à travers d’un convertisseur analogique/numérique appelé ADC (Analog to Digital Converters) [04].

6.2. Unité de traitement

Cette unité est considérée comme le noyau du capteur sans fil (l'unité principale). Elle a pour responsabilité l’exécution des protocoles de communications ayant un rôle de liaison d’un nœud avec les autres nœuds du réseau. Elle peut aussi analyser les données captées, communiquées au microprocesseur et stockées dans la mémoire [04].

6.3. Unité de transmission :

Les données reçues sont traitées par l'unité de capture et transmises par l'unité de transmission qui effectue toutes les émissions et réceptions des données sur un modem sans fil. Cette unité est généralement capable d'effectuer des communications bidirectionnelles. Concevoir des unités de transmission de type radiofréquence avec une faible consommation d'énergie est un défi car pour qu'un nœud ait une portée de communication suffisamment grande, il est nécessaire d'utiliser un signal puissant et donc une consommation d'énergie plus importante.

Il existe trois schémas de transmission pour les réseaux de capteurs : la communication optique (Laser), l'infrarouge, et la radiofréquence (RF : Radio Fréquence).

Le Laser consomme moins d'énergie que la RF et fournit une haute sécurité, mais il est sensible à la perturbation physique.

L'infrarouge n'a pas besoin d'antennes, mais sa capacité de diffusion est limitée.

La RF est la plus simple à utiliser mais elle exige l'utilisation d'antennes. Plusieurs stratégies de réduction de la consommation d'énergie sont développées, comme la modulation/démodulation et le filtrage. La modulation en amplitude est plus simple par rapport à celle en fréquence, cependant elle est susceptible au bruit [04].

6.4. Unité d'énergie :

La consommation d'énergie est un point très important pour les réseaux de capteurs. Les batteries utilisées sont soit rechargeables ou non. Souvent, dans les environnements sensibles il est impossible de recharger ou changer une batterie, donc avoir une meilleure gestion de la consommation d'énergie est primordial pour augmenter la durée de vie du réseau.
Il existe deux grandes politiques pour conserver la consommation d'énergie. Dans la première, appelée DPM (Dynamics Power Management), les composants inactifs sont mis en veille. Dans ce cas une analyse aléatoire pour prédire les prochains évènements constitue une généralité sur

Les réseaux de capteurs nécessaires. Dans la deuxième, appelé DVS (Dynamics Voltage Scheduling), l'énergie est fournie aux composants selon leur charge de travail. [04].

Les nouveaux capteurs peuvent contenir des générateurs d'énergie renouvelable, par exemple : l'énergie solaire, et l'énergie mécanique (vibration, air...).
Certaines applications ont besoin de connaitre l'emplacement du capteur. Pour cette raison, ce dernier doit être doté d'un système de localisation telle qu'un GPS (Global Positioning System).

7. Composition d'un capteur sans fil :

7.1. 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 [05].

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.

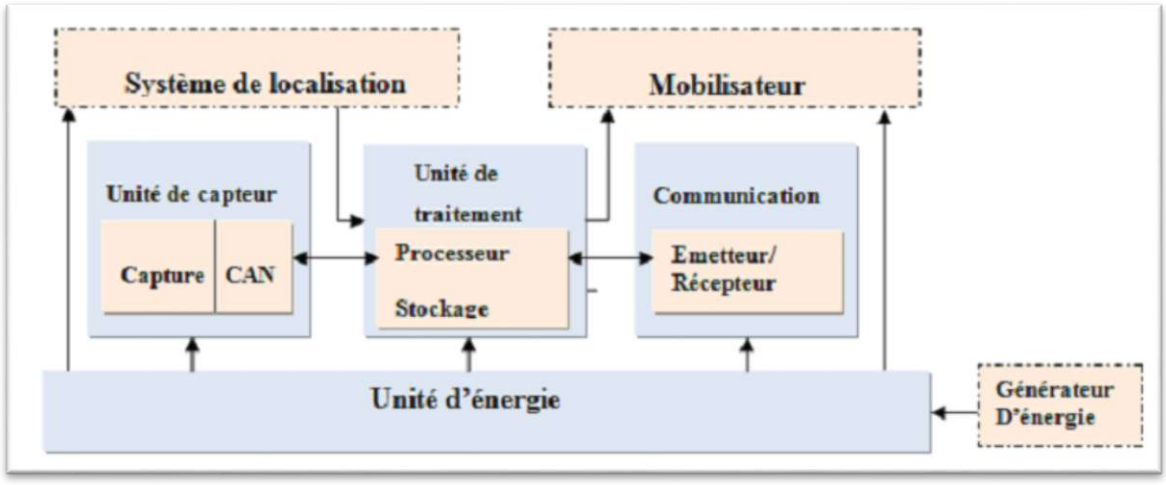


Figure I.4 Schéma synoptique d'un nœud capteur [06]

a- L'unité d'acquisition des 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 [28]. Outre le traitement des données, le microcontrôleur commande également toutes les autres unités notamment le système de transmission et gère 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 composant le plus important du capteur. Elle s'occupe de la répartition de 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 [29].

La figure I.5. Résume la consommation d'énergie dans les différentes unités d'un capteur.

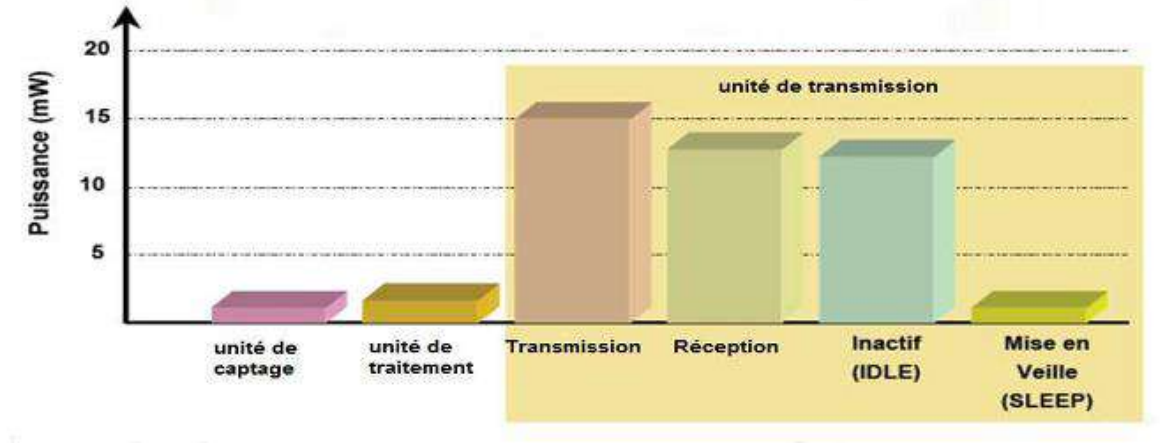


Figure I.5 Consommation d'énergie dans un nœud capteur. [31]

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.

8. Les standards de communication pour les RCSFs :

Il y a une multitude de normes sans fil comme le Wi-Fi (le standard IEEE 802.11) et le WiMax (le standard IEEE 802.16) qui s'adresse au transport des données à haut débit.

Certains dispositifs comme les capteurs n'ont pas besoin d'une largeur de bande très élevée, mais plutôt d'un temps de latence faible ainsi qu'une consommation d'énergie très basse, pour une longue durée de vie sur batterie et un grand nombre de dispositifs. D'où la nécessité de concevoir d'autres normes sans fil capables de répondre à ces exigences. Parmi les standards les plus aptes à être exploités dans les réseaux de capteurs sans fil se retrouvent les standards *Bluetooth* et *ZigBee*, présentés ci-après [07] [08].

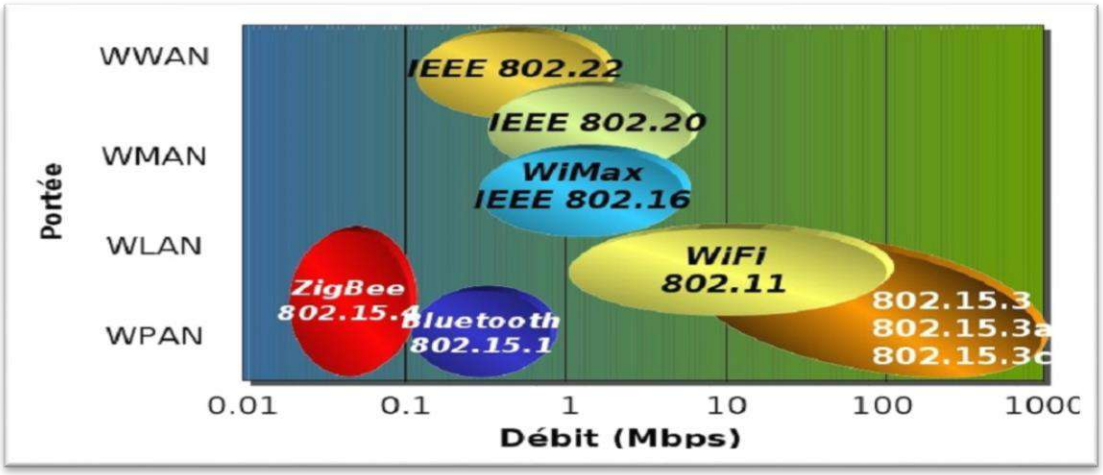


Figure I.6 Les différentes normes sans fil. [09]

8.1. Bluetooth :

Le Bluetooth [10] est un standard de communication sans fil utilisant une technologie radio courte distance destinée à simplifier les connexions entre les appareils électroniques. Il représente l'équivalent de l'USB mais sans fil et sert donc à relier des périphériques avec un ordinateur ou d'autres périphériques (imprimantes, scanners, claviers, souris, téléphones portables, PDA, …). Le succès de la technologie Bluetooth l'a amené à être utilisée dans le cadre des LAN (Local Area Network) sans fil. L'avantage du Bluetooth par rapport au Wi-Fi, qui offre apparemment de meilleures performances, se trouve au niveau de la consommation : en effet, la connexion sans fil est surtout utilisée pour les appareils mobiles, et donc n'étant pas

Directement reliés au secteur. Par conséquent, la technologie Bluetooth a une plus faible consommation que le Wi-Fi. Le second avantage est le prix attractif de cette technologie grâce à son faible coût de réalisation des puces. Cependant, cette faible consommation d'énergie ne répond pas encore à des exigences des capteurs. En plus de cette consommation d'énergie, la technologie Bluetooth soufre d'un problème de passage à l'échelle.

8.2. ZigBee *:*

Beaucoup moins connue que Bluetooth, ZigBee est le nom d'une suite de protocoles de hauts niveaux basée sur le standard IEEE 802.15 [68], [12]. Pour les réseaux personnels sans fil (Wireless Personal Area Network : WPAN). La technologie ZigBee a pour but la

Communication à courte distance telle que le propose déjà la technologie Bluetooth, tout en étant moins chère et plus simple. Les nœuds sont conçus pour fonctionner plusieurs mois (Jusqu'à deux ans) en autonomie complète grâce à une simple pile de 1,5V. Sa très faible consommation électrique et ses coûts de production très bas en font une candidate idéale pour les RCSFs. Le petit débit qu'il offre (250Kbps théorique contre 1Mbps pour Bluetooth), n'est pas vraiment un handicap pour un réseau de capteurs puisque la taille des paquets échangés n'est pas vraiment importante.

Pour montrer l'intérêt du ZigBee dans son aspect économique du point de vue énergétique, voici un tableau comparatif chiffré entre différentes normes de communication sans fil.

	ZigBee	GSM/GPRS	WiFi	Bluetooth
Ressources systèmes	4 Ko – 32 Ko	+ 16 Mo	+ 1 Mo	+ 250 Ko
Durée de vie de la batterie	100 à + 1000 jours	1 à 7 jours	0,5 à 5 jours	1 à 7 jours
Taille du réseau	Illimité (2^{64})	1	32	7
Bande passante	20 à 250 Ko/s	64 à > 128 Ko/s	> 11000 Ko/s	720 Ko/s
Portée	1 à > 100 mètres	> 1000 mètres	1 à 100 mètres	1 à > 10 mètres

Tableau I.7 Tableau comparatif chiffré entre différents protocoles de communication sans fil. [09]

Au vu de ce tableau on comprend qu'on retrouve naturellement ce protocole dans des environnements embarqués où la consommation énergétique est primordiale et où le nombre de membres du réseau est important.

En 2005, une estimation du coût unitaire pour un nœud ZigBee a révélé un prix de 1,10 $ par unité dans le cadre d'une production en très grand nombre. Il faut ajouter le prix du microcontrôleur qui commande le circuit, ce qui augmente légèrement le prix. À titre de comparaison, la technologie Bluetooth, lancée en 1998, annonçait à cette époque un prix unitaire de production compris entre 4 et 6 $, maintenant redescendu à moins de 3 $.

9.Le système d'exploitation pour RCSF : TinyOS

TinyOS est un système d'exploitation open-source conçu pour des réseaux de capteurs sans fil. Il respecte une architecture basée sur une association de composants, réduisant la taille du code nécessaire à sa mise en place. Cela s'inscrit dans le respect des contraintes de mémoires qu'observent les réseaux de capteurs [13].

Pour autant, la bibliothèque de composant de TinyOS est particulièrement complète puisqu'on y retrouve des protocoles réseaux, des pilotes de capteurs et des outils d'acquisition de données. L'ensemble de ces composants peut être utilisé tel quel, il peut aussi être adapté à une application précise.

En s'appuyant sur un fonctionnement événementiel, TinyOS propose à l'utilisateur une gestion très précise de la consommation du capteur et permet de mieux s'adapter à la nature aléatoire de la communication sans fil entre interfaces physiques.

Disponibilité et sources : TinyOS est un système principalement développé et soutenu par l'université américaine de Berkeley, qui le propose en téléchargement sous la licence BSD et en assure le suivi. Ainsi, l'ensemble des sources sont disponibles pour de nombreuses cibles matérielles [14].

Event-driven : Le fonctionnement d'un système basé sur TinyOS s'appuie sur la gestion des évènements se produisant. Ainsi, l'activation de tâches, leur interruption ou encore la mise en veille du capteur s'effectue à l'apparition d'évènements, ceux-ci ayant la plus forte priorité. Ce fonctionnement évènementiel (event-driven) s'oppose au fonctionnement dit temporel (time-driven) où les actions du système sont gérées par une horloge donnée.

Consommation : TinyOS a été conçu pour réduire au maximum la consommation en énergie du capteur. Ainsi, lorsqu'aucune tâche n'est active, il se met automatiquement en veille.

10. Pile protocolaire :

La pile protocolaire utilisée par la station de base ainsi que tous les autres capteurs du réseau est illustrée par la Figure I-10 [14].

Les RCSF utilisent une architecture de communication en couches, ce sont les cinq premières couches du modèle OSI ; la couche physique, la couche liaison de données, la couche réseau, la couche transport et la couche application. Chaque couche a son propre rôle et ses propres protocoles pour atteindre son objectif.

De plus, cette pile possède trois plans (niveaux) de gestion, le plan de gestion des tâches qui permet de bien affecter les tâches aux nœuds capteurs, le plan de gestion de mobilité qui permet de garder une image sur la localisation des nœuds pendant la phase de routage et le

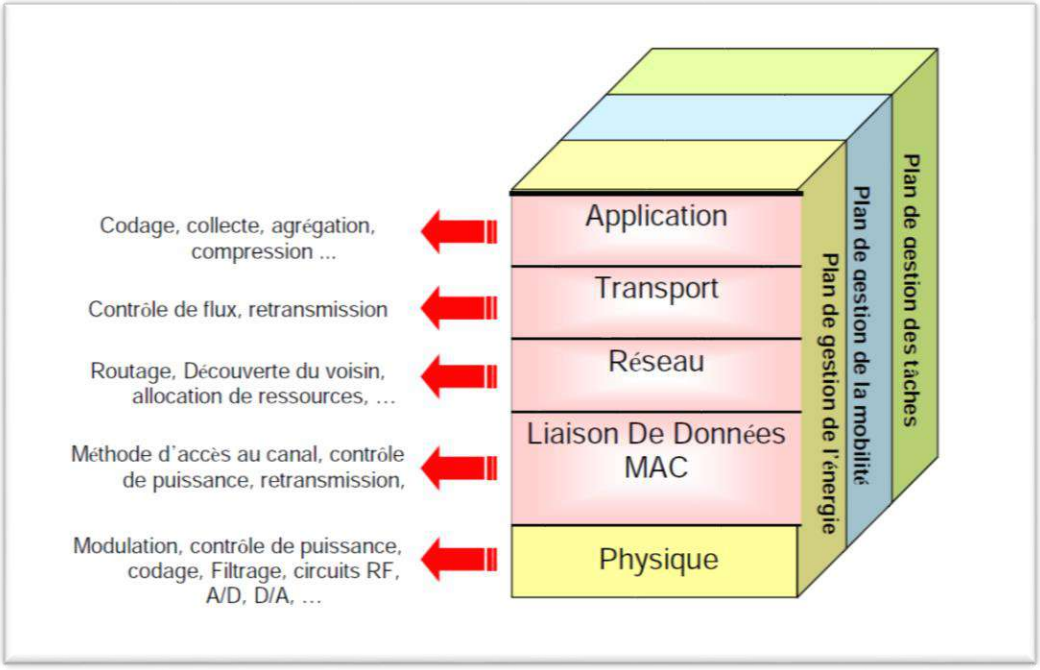


Figure I.8 Pile protocolaire des RCSF [15].

11. Les applications des RCSF :

Les réseaux de capteurs offrent une facilité de déploiement qui représente un avantage d'utilisation dans différents domaines. En plus, les réseaux de capteurs peuvent être constitués de différents types de capteurs tels que thermique, infrarouge, acoustique, magnétique, optique et sismique, pour surveiller une large variété de paramètres physiques.

11.1 Les applications militaires :

Comme dans le cas de plusieurs technologies, le domaine militaire a été un moteur d'origine pour le développement des réseaux de capteurs. Le déploiement rapide, le coût réduit, l'auto-organisation et la tolérance aux pannes des réseaux de capteurs sont des caractéristiques qui rendent ce type de réseaux un outil appréciable dans un tel domaine.
Un réseau de capteurs déployé sur un secteur stratégique ou complexe d'accès, permet par exemple de surveiller l'ensemble des mouvements (amis ou ennemis), ou d'analyser le terrain avant d'y envoyer des troupes (détection d'agents chimiques, biologiques ou de radiations).

Dans le cas de plusieurs technologies, le domaine militaire a été un moteur d'origine pour le développement des réseaux de capteurs. Le déploiement rapide, le coût réduit, l'auto-organisation et la tolérance aux pannes des réseaux de capteurs sont des caractéristiques qui rendent ce type de réseaux un outil appréciable dans un domaine pareil.

Un réseau de capteurs déployé sur un secteur stratégique ou complexe d'accès, permet par exemple de surveiller l'ensemble des mouvements (amis ou ennemis), ou d'analyser le terrain avant d'y envoyer des troupes (détection d'agents chimiques, biologiques ou de radiations) [16].

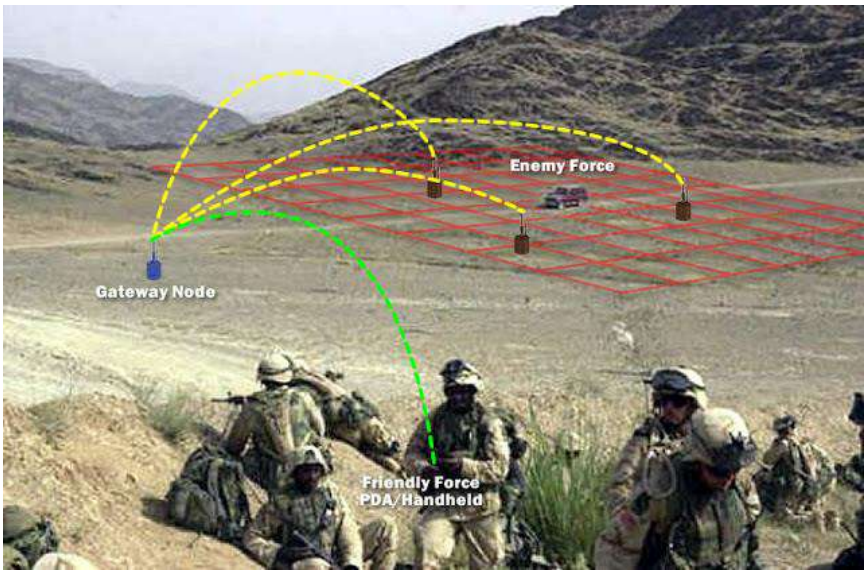


Figure I.9 Application militaire [17]

11.2. La santé :

Parmi les applications dans le domaine de santé, les réseaux de capteurs soutiennent des interfaces pour les personnes handicapées, la surveillance intégrée des patients, les diagnostics et l'administration de médicaments dans les hôpitaux, la télésurveillance des données physiologiques de l'homme, le suivi et la surveillance des médecins ou des patients à l'intérieur d'un hôpital [16].



Figure I.10 Application de la santé [18].

11.3. Le Transport :

Les réseaux de capteurs déployés dans les moyens de transport peuvent donner un mode de transport intelligent puisque les informations sur le trafic en temps réel sont collectées par les réseaux de capteurs afin d'améliorer plus tard des modèles de transport et de signaler une alerte de congestion également des problèmes de circulation aux conducteurs [16].

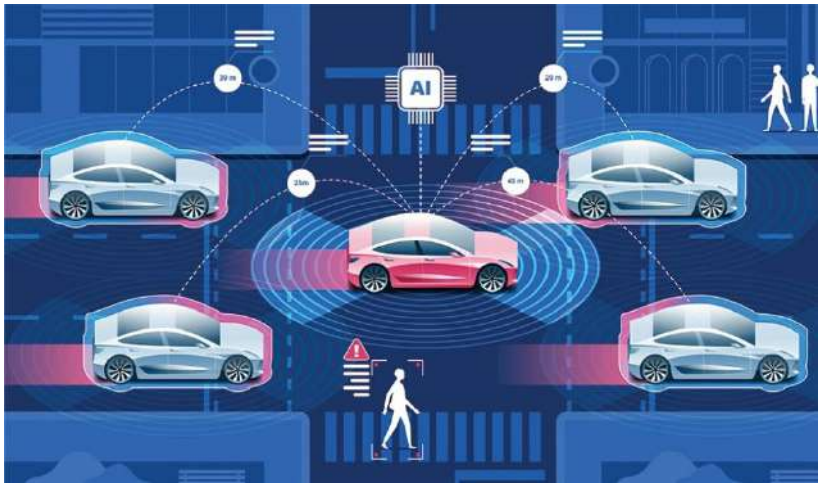


Figure I.11 Application du transport [19].

11.4. La domotique :

Le déploiement des capteurs de mouvements et de température dans les futures maisons dites intelligentes permet d'automatiser plusieurs opérations domestiques telles que la lumière qui s'éteint, la musique qui se met en état d'arrêt lorsque la chambre est vide. La climatisation et le chauffage s'ajustent selon les points multiples de mesure, le déclenchement d'une alarme par le capteur anti-intrusion quand un intrus veut accéder à la maison [16].



Figure I.12 Application domotique [20]

11.5. Applications dans le domaine sportif :

L'évolution des réseaux de capteurs est utilisée de plus en plus dans le domaine sportif, à savoir les systèmes de surveillance, les systèmes de calcul de trajectoires (comme dans le tennis), systèmes de détection d'erreurs d'arbitrage (comme dans le football indiquent si la balle a franchi la ligne de but) [16].



Figure I.13 Application sportive [21].

12. Problématiques :

- **La consommation d'énergie :** Un capteur, de part sa taille, est limitée 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 des données** : Pour obtenir une consommation énergétique minimale.
- **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 sécurité on wsn.**

13. Conclusion:

Les réseaux de capteurs sans fil sont l'une des étapes les plus importantes du développement des technologies de l'information et de la communication. Cette technologie joue un rôle actif dans notre vie quotidienne et au travail du fait de la diversité de ses applications : santé, environnement, industrie et même dans le domaine sportif.

Dans ce premier chapitre, nous présentons les réseaux de capteurs sans fil et leurs architectures de communication. Malgré cela, de nombreux obstacles et limitations compliquent la gestion de ce type de réseau. En fait, les réseaux de capteurs ont une capacité de batterie limitée, ce qui fait de l'optimisation de la consommation d'énergie dans ces réseaux une tâche critique pour prolonger la durée de vie du réseau.

Dans le chapitre suivant, nous découvrirons certaines techniques qui préservent la durée de vie de la batterie et donc la consommation d'énergie et discuterons les différents facteurs qui l'affectent. Où l'aspect efficacité énergétique est important et limitatif, d'où l'importance de modéliser le routage de contrôle et donc la nécessité de définir les protocoles de routage correspondants. Ceci sera traité en **Chapitre II**.

1.Introduction :

La problématique majeure dans les RCSFs est la maitrise de l'énergie consommée par chaque nœud capteur, ce qui nécessite l'optimisation de cette dernière pour allonger la durée de vie du réseau. Cette problématique a été largement étudiée .et plusieurs techniques ont été utilisées afin d'assurer l'efficacité énergétique. Parmi ces dernières la technique d'équilibrage de charge est très avantageuse grâce à sa capacité de partager le trafic sur tous les nœuds. Dans ce chapitre nous allons décrire en premier lieu, les protocoles de routage dans les RCSFs et nous allons citer des exemples. Dans un deuxième lieu, nous présenterons deux protocoles de routage hiérarchique dans les RCSFs qui assurent l'efficacité énergétique [34].

LEACH est le premier protocole de routage basé sur un Cluster implanté. Il est également considéré comme la base des autres protocoles de routage de Cluster. Dans ce chapitre on prendra le protocole LEACH et son extension SEP [33].

2. Facteurs et contraintes de conception de WSN :

2.1. Durée de vie :

C'est le temps entre l'instant de déploiement de nœuds et l'instant où l'énergie du premier nœud s'épuise. Les réseaux devraient fonctionner le plus longtemps possible, selon leurs applications la durée de vie exigée pour un réseau peut varier entre quelques heures jusqu'aux plusieurs années [35].

Il existe différentes définitions pour la durée de vie d'un réseau de capteurs (fondées sur la fonctionnalité désire). Elle peut être définie par la durée jusqu'au moment où le premier nœud meurt. Elle peut également être définie par le temps jusqu'au moment où une proportion de nœud meurt. Si la proportion de nœud dépasse un certain seuil, cela peut avoir comme conséquence le non-couverture de sous-région et/ou le partitionnement du réseau. Les définitions possibles et proposées dans la littérature sont les suivantes :

1. La durée jusqu'à ce que le premier nœud épuise toutes son énergie. [36]
   La durée jusqu'à ce que le premier cluster-head épuise toute son énergie [37]
   La durée jusqu'à ce qu'il reste au plus une certaine fraction β de nœud survivant dans le réseau [38]

2. Demi-vie de réseau : La durée jusqu'à ce que 50% des nœuds épuisent leurs batteries et s'arrêtent de fonctionner ; [36]
3. La durée jusqu'à ce que tous les capteurs épuisent leur énergie ; [39
4. La durée jusqu'à ce que le réseau soit partitionné : apparition de la première division du réseau en deux (ou plus). Cela peut correspondre aussi à la mort du premier nœud (si celui-ci tient une position centrale) ou plus tard si la topologie du réseau est plus robuste ; [36]
5. K-couverture : la durée pendant laquelle la zone d'intérêt est couverte par au moins k nœuds ; [40]

Finalement, nous constatons bien que plusieurs dé f i nitions convergentes puisque certaines d'entre elles ne sont que des relaxations des autres et la majorité suggère que la durée de vie du réseau dépend de la consommation d'énergie de ses nœuds. Toutefois, il peut s'avérer judicieux d'introduire une métrique pour a nerf ou choisir une de ces définitions telle que la f i abilité, la couverture, la robustesse, etc.Ce que l'on peut également constater c'est que la définition m me de la dur e de vie va d pendre de l'application dévolue au r seau de capteurs.

2.2. Consommation d'énergie :

Le but d'un réseau de capteurs est de surveiller une zone, prendre des mesures et de les faire remonter vers un certain nœud qui sont en mesure de relayer l'information à l'utilisateur final, mais le nœud capteur dépend uniquement de sa ressource de batterie, donc l'optimisation d'énergie soit un mécanisme très important pour la batterie du nœud. Il existe donc un besoin de certaines techniques d'optimisation d'énergie [41]. les protocoles efficaces en énergie visent réduire au minimum la consommation d'énergie pendant l'activité du réseau. Toutefois, une quantité considérable d'énergie est consommée par les composants d'un nœud (CPU, radio, etc), même s'ils sont inactifs. Un plan de gestion dédié l'énergie peut alors être utilisée pour éteindre temporairement les composants du nœud lorsqu'ils ne sont pas sollicités.

3. Protocole de routage :

3.1. Définition de routage :

La technique de routage est une méthode d'acheminement des données vers la bonne destination à travers un réseau de connexion donnée. Le problème de routage au sein des RCSFs est assez complexe, cela est dû essentiellement à l'absence d'infrastructure fixe (forêt, mer, etc.), de toute administration centralisée et à d'autres défis qui doivent être vérifiés.

Dans le cadre des RCSFs, les protocoles doivent être efficaces en énergie. Pour cela, il faut s'assurer de trouver un chemin ne consommant pas trop d'énergie et qui ne soit pas trop long également. Avant d'entamer la phase de conception d'une technique de routage efficace en énergie, il est nécessaire d'apporter une étude minutieuse des principaux protocoles de routage utilisés dans les RCSFs [42].

3.2. Quelques protocoles d'auto-organisation :

Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats de simulation des protocoles d'auto-organisation LEACH, LEACH Avancée et SEP, puis proposer et évoluer une approche améliorée du protocole d'auto-organisation LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hiérarchie) et SEP (Stable Election Protocol).

4. Définition et architecture du protocole LEACH :

Le protocole « LEACH » est l'une des premières approches de routage hiérarchique pour les réseaux de capteurs (RCSF) qui était proposé par Heineman et les autres. L'idée est de former des clusters de nœuds de capteurs basés sur les zones où il y a un fort signal reçu. L'utilisation des Clusters-Head locaux comme passerelle pour atteindre la destination. Cela permet d'économiser de l'énergie car les transmissions ne sont effectuées que par les Cluster-Head plutôt que par tous les nœuds de capteurs. La figure ci-dessous représente l'architecture de routage hiérarchique LEACH (**Figure II.1**) [43].

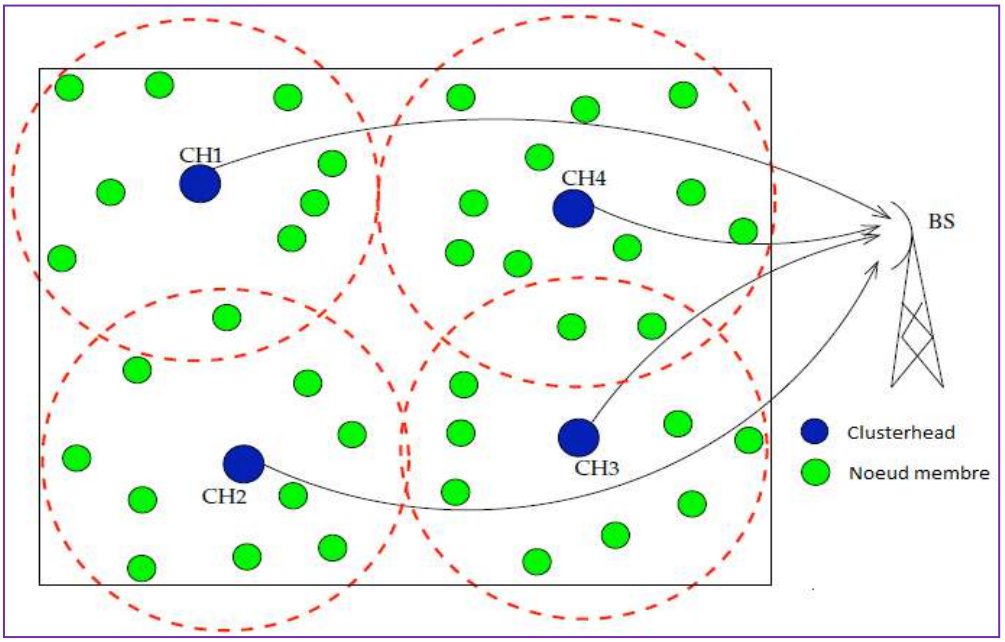


Figure II.1 Architecture de routage hiérarchique LEACH [26]

LEACH est fondé sur deux hypothèses de base :

- La station de base est statique et est placée à la portée de tous les nœuds du réseau.
- Tous les nœuds du réseau sont limités en énergie.

4.1. Les caractéristiques de protocole LEACH :

LEACH inclut les caractéristiques suivantes :

- Auto-configuration, adaptive.
- Formation dynamique de Cluster.
- Contrôle localisé pour le transfert des données.
- Application spécifique pour le traitement des données (Data Procession), comme l'agrégation de données.
- Basse consommation d'énergie pour l'accès media.
- Tous les nœuds sont considérés statiques, et régis par la contrainte de consommation d'énergie.
- Contrôle localisé pour le transfert des données.
- Formation dynamique des clusters.
- La rotation aléatoire des chefs de groupes.
- L'agrégation (fusion) locale des données pour réduire le taux de communications avec la station de base.

4.2. Principe général de fonctionnement du protocole LEACH :

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

LEACH choisit les nœuds Cluster-Head de façon aléatoire et périodique, en fonction de l'état de sa batterie et attribue ce rôle aux différents nœuds pour garantir une consommation équitable d'énergie entre les nœuds parce que le Cluster-Head (CH) consomme plus d'énergie. Dans le but de réduire la quantité d'informations transmises à la station de base. CH est responsable de la création et de la manipulation « TDMA » et envoie des données (les paquets) agrégées des nœuds à la station de base où ces données sont nécessaires en utilisant CDMA (accès multiple par répartition en code). LEACH est exécuté en deux phases : la phase "Set-up" et la phase "Steady-state" suivant la figure II.8 [44].

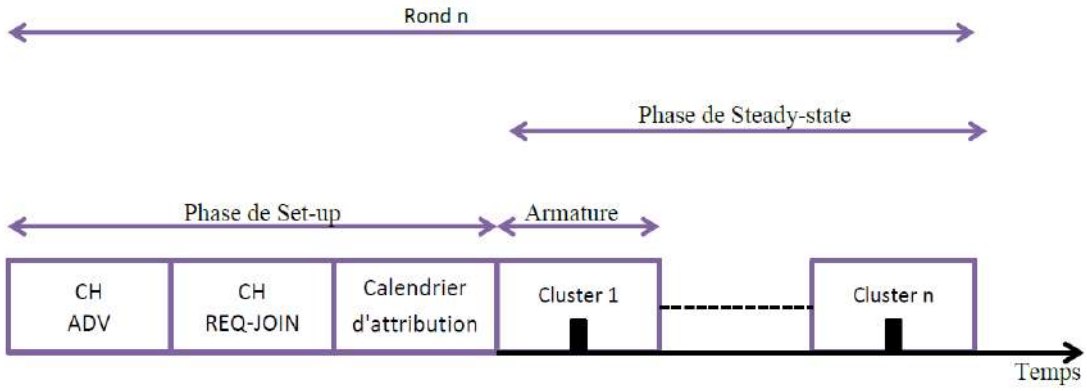


Figure II.2 Formation de Clusters dans LEACH [44].

4.2.1. La Phase de construction (configuration)''Set-up'' :

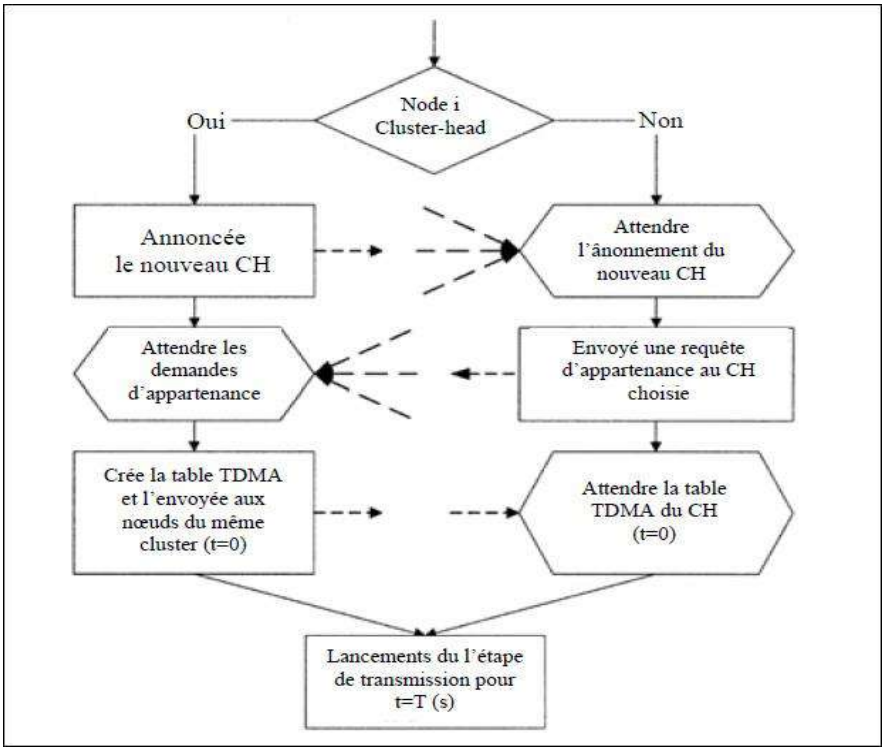


Figure II.3 Opérations de l'étape d'initialisation [45]

La première phase est la construction des clusters en choisissant les chefs (CHs) et en établissant la politique d'accès au media au sein de chaque groupe. Durant cette phase, chaque nœud **n** choisit un nombre aléatoire compris entre 0 et 1. Si ce nombre est inférieur à un seuil T(n), le nœud **n** devient Cluster-heads. T (n) est défini comme suit [58] :

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

Avec :

p: le pourcentage des CHs sur le réseau (donné par la courbe de la **Figure II.3**)

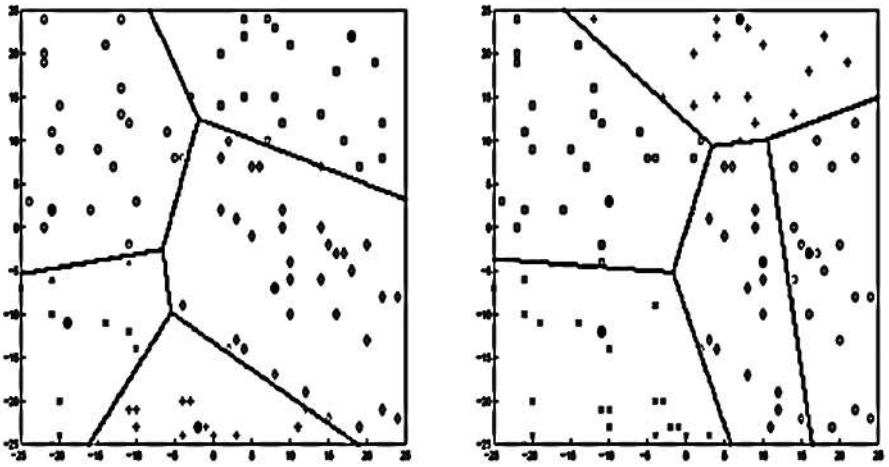
r : est le numéro de la période courante.

G : l'ensemble des nœuds n'ayant pas été sélectionnés cluster-head durant les *(1/p)* dernières périodes.

4.2.2. Annoncées des Cluster-Head :

Chaque nœud qui s'est élu cluster-head émet un message de notification (ADV Avertissent message) à tous ces voisins. Ce dernier est un petit message qui contient l'identifiant (ID) du nœud et un en-tête qui distingue ce message comme une annonce que ce message doit être diffusé pour atteindre tous les nœuds dans le réseau tout en utilisant le protocole CSMA MAC protocole (Carrier-Sense Multiple Access Media Access Control). [46]

À travers cette Figure II.9, nous expliquons que le protocole LEACH utilise la rotation randomisée à des chefs de groupe pour distribuer équitablement la charge d'énergie entre les nœuds capteurs dans le réseau.



Clusters au temps t Clusters au temps t+d

Figure II.4 Formation dynamique des Clusters [44].

5.2.3. Formation des Clusters :

Les nœuds qui récoltent les messages de notification, décident leur appartenance à un Cluster. La décision est basée sur l'amplitude du signal reçu : le Cluster-Head ayant le signal le plus fort est choisi (i.e. le plus proche). En cas d'égalité, un chef aléatoire est désigné. Chaque membre informe son chef de sa décision tout en envoyant une demande d'appartenance (JOIN - REQ) de même en utilisant le protocole CSMA MAC. Ce message détermine l'identifiant ID du nœud, l'ID du CH et l'entête (header) [46].

4.2.4. Création de la table TDMA :

Après la réception de tous les messages des nœuds voulons être inclus dans le Cluster, le nœud (CH) est considéré comme un centre de contrôle local pour coordonner les transmissions de données dans un Cluster, Il va créer un programme TDMA (Time division multiplexe d'accès) et assigne à chaque nœud un slot de temps quand il peut transmettre. Ce programme est émis à tous les nœuds dans le Cluster [47].

LEACH utilise la technique de multiplexage temporal TDMA comme méthode d'accès au medium. Chaque nœud utilise la totalité de la bande passante allouée par le système de transmission durant son slot de temps. Cette technique permet de minimiser les collisions en allouant à chaque nœud un temps alloué pour transmettre ses données vers son CH. Ceci garantit l'absence de collision durant la transmission des messages de données et permet aussi l'arrêt du nœud à tout moment, sauf s'il y a une décision de transmettre les données par le nœud, donc réduction de l'énergie consommée. En cas où chaque CH choisit aléatoirement un code dans une liste de codes de propagation CDMA, il transmet aux nœuds appartenant à son Cluster afin de l'utiliser pour leurs transmissions, Ceci afin de minimiser les interférences entre les messages des CHs les plus Proches [47].

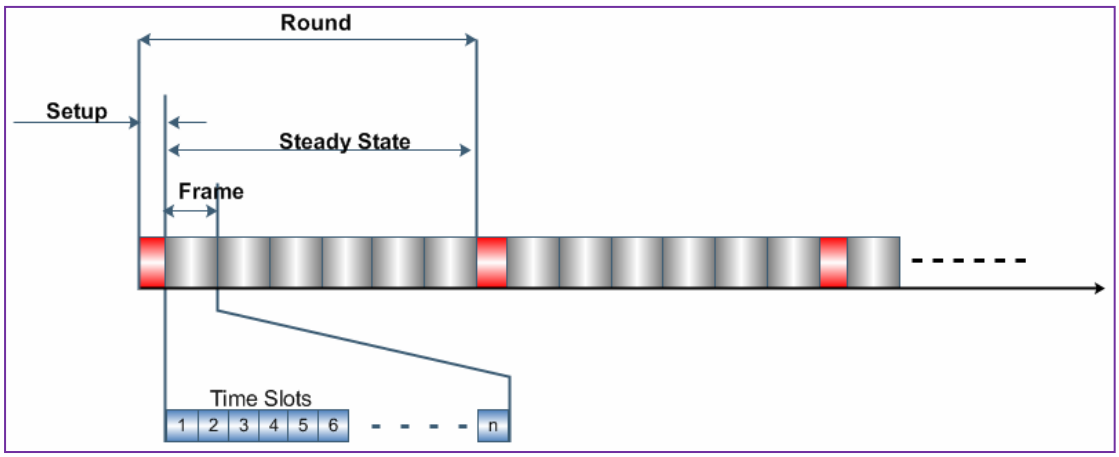


Figure II.5 Répartition du temps et différentes phases dans le cycle de LEACH [26]

La figure ci-dessus illustre la répartition du temps effectuée par LEACH : le Round "*cycle*", les phases *Setup* et *Steady-State*, la répartition en trames et en *Time Slots*.

Encore Chaque CH choisit aléatoirement un code dans une liste de codes de propagation **CDMA** (Code Division Multiple Access), il transmet aux nœuds appartenant à son cluster afin

de l'utiliser pour leurs transmissions, Ceci afin de minimiser les interférences entre les messages des CHs les plus proches.

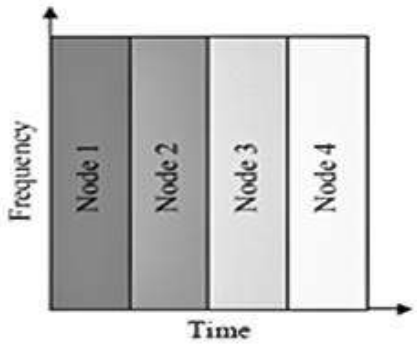


Figure II.6 TDMA

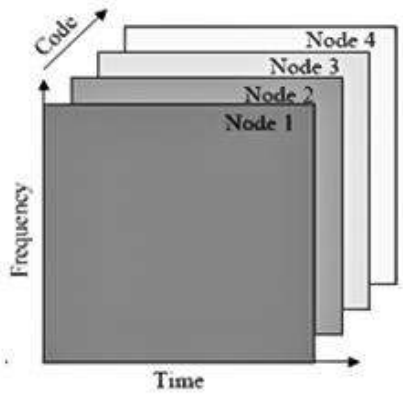


Figure II.7 CDMA

4.2.5 Phase de transmission (Steady State Phase):

Pendant cette phase, les nœuds capteurs peuvent commencer à envoyer leurs données captées au Cluster-Head pendant leurs propres slots. Cela leur permet d'éteindre leur interface de communication en dehors de leurs slots réservés, afin d'économiser leur énergie. Le Cluster-Head agrège les données reçues avant de les transmettre au collecteur (Sink). Cette communication, entre un Cluster-Head et le collecteur se fait d'une manière directe. Après la phase de communication qui dure un certain temps, recommence alors la phase de construction.

Enfin les CHs ont pour mission d'assurer les fonctions les plus coûteuses en énergie, à savoir la communication avec le nœud puits qui est supposé éloigné, ainsi que tous les traitements de données (agrégation, fusion et transmission de données) afin de réduire la quantité des données transmises. Par sa fonction, le Cluster-Head consomme plus l'énergie par rapport aux autres nœuds du réseau. Le Cluster-Head coordonne le fonctionnement des nœuds membres de son Cluster et agrège leurs données, de ce fait, il dissipe plus l'énergie créant un déséquilibre de la distribution de l'énergie sur le réseau. Pour pallier ce problème, une rotation de Cluster-Head est organisée au sein du Cluster ou bien au sein du réseau entier. La rotation est effectuée périodiquement, alors ce dispositif permet d'économiser l'énergie puisque les transmissions sont uniquement assurées par les CHs plutôt que par tous les nœuds du réseau. Par conséquent, LEACH réalise une réduction significative de la dissipation d'énergie [47].

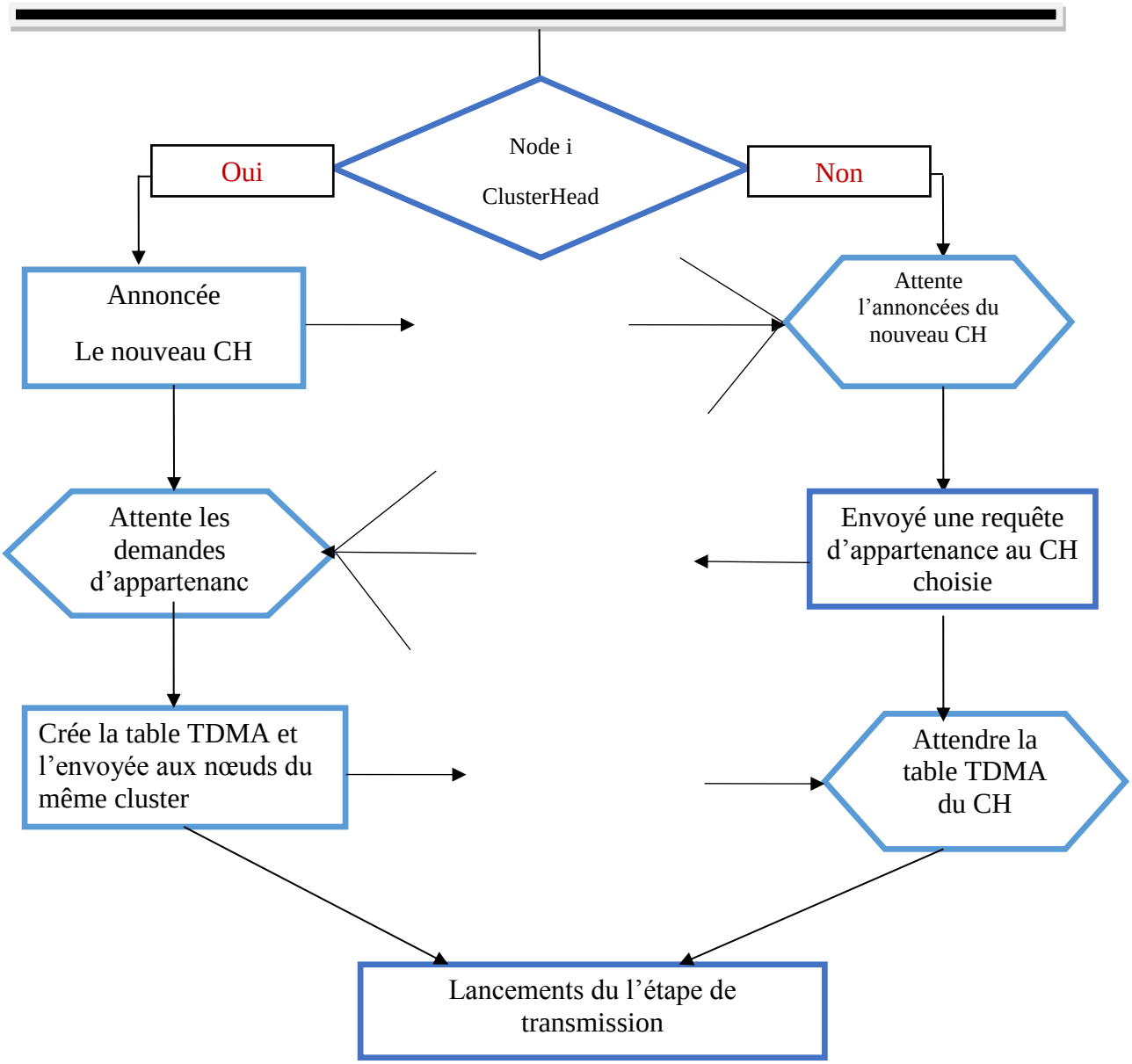


Figure II.8 Opérations de la phase de communication (Steady-state) de LEACH [48]

5. Avantages et inconvénients du protocole LEACH :

Bien que LEACH économise la consommation d'énergie comparé à la transmission directe, grâce à l'agrégation de données, un nombre d'inconvénients restent plus ou moins apparents.

Dans ce qui suit, nous citerons quelques avantages et inconvénients du protocole LEACH.

5.1 Avantages :

Parmi les avantages du protocole LEACH [49, 50] :

- Il fournit la scalabilité (évolutivité) dans le réseau en limitant la plupart des communications à l'intérieur des déférents groupes (clusters) du réseau.
- Les cluster-heads (CH) agrègent ou fusionnent les informations rassemblées par les nœuds capteurs, ce qui aide à limiter le trafic produit dans le réseau. Ainsi, un réseau à grande échelle sans surcharge de trafic peut être déployé et une meilleure topologie préservant l'énergie peut être réalisée en comparaison à la topologie plate.
- La propriété de distributivité du rôle de CH entre les membres d'un cluster.
- Il ne requiert pas d'information sur la localisation des nœuds capteurs dans le réseau afin de former les groupes.

5.2 Inconvénients :

Le protocole LEACH présente les inconvénients suivants [51, 52] :

- Il s'appuie significativement sur les CHs plutôt que sur les nœuds membres du cluster pour communiquer avec la station de base. De ce fait, il encourt des problèmes de robustesse comme la défaillance des CHs.
- Les CHs ne sont pas uniformément distribués dans le cluster, ce qui signifie que les CHs peuvent se situer sur les bords du cluster. Par conséquent, certains nœuds n'auront pas de CH dans leurs voisinages.
- Il n'y a pas de communication intergroupe dans le réseau car les CHs communiquent directement avec la station de base. Ce processus nécessite une grande gamme de puissance de transmission dans le réseau. C'est pour cela que LEACH n'est pas le mieux adapté pour les réseaux de grande envergure qui requièrent une communication à un seul saut avec la station de base.
- Les CHs les plus éloignés de la station de base meurent rapidement par rapport à ceux qui sont proches de la station.
- On pourra ne pas avoir des CH durant un round si les nombres aléatoires générés par tous les nœuds du réseau sont supérieurs à la probabilité T(n).

6. Le modèle énergétique :

Le modèle d'énergie du protocole LEACH est le 1er modèle de la couche radio comme il est illustré par **la figure II.9**, ce modèle prend en considération que le WSN doit avoir les propriétés suivantes :

- Nœud capteur ne peut pas se déplacer après le déploiement.
- Chaque nœud de capteur ayant le même type, de même énergie.
- La station base est en dehors du réseau de capteurs sans fil

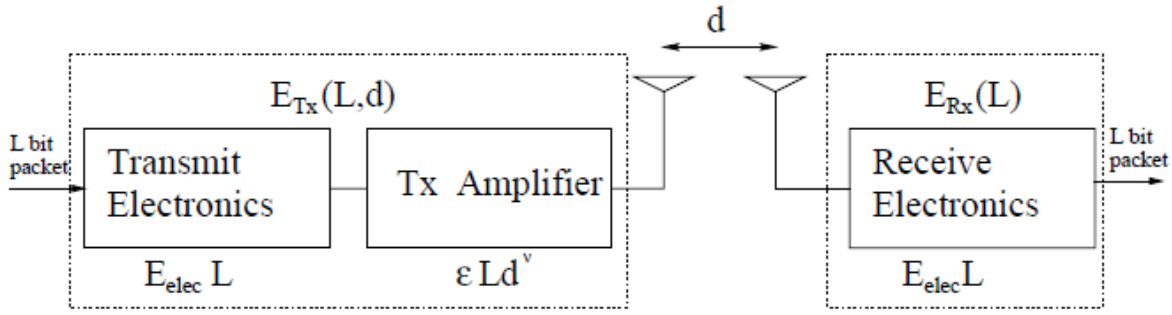


Figure II. 9 Modèle de radio.

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

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

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

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

Avec **:**

Eelec : est la consommation d'énergie du circuit de transmission et de réception d'un bit.

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

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

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

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

7. Description du système :

Notre système représenté sur une zone carré de longueur L (surface de déploiement L*L) comportant une station de base qui recevra des données capturées et de N de nœuds capteurs déployés aléatoirement sur cette zone Ce réseau est caractérisé par :

Homogène : un réseau homogène est constitué par un seul type de nœuds (nœuds normaux)

Hétérogène : un réseau hétérogène est constitué par deux types de nœuds à des caractéristiques techniques semblables [26].

- 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 **E0**
- L'énergie initiale d'un nœud avancé est égale à **E0 (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.

Le tableau suivant résume l'ensemble des paramètres utilisés pour les simulations :

Les Parameters	**Les Valeurs**
Le nombre des nœuds	n = 100
Surface de Déploiement (L*L)	100 * 100 (m^2)
La position de la station de base	X=50, Y=50
Energie initiale des nœuds normaux (en joules)	E_0 = 0.5 J
La probabilité optimale en fonction de nombre de nœuds.	= $0.1P_{opt}$
Consommation d'énergie du circuit de l'émission (transmission d'un bit)	ETX=50*1e-9 joules
Consommation d'énergie du circuit de réception (transmission d'un bit)	ERX=50*1e-9joules
Facteur d'amplification du signal pour une distance d'émission inferieure à la distance seuil do	=10*1e-12ε_{fs}
Facteur d'amplification du signal pour une distance d'émission supérieure à la distance seuil do	=0.0013*1e-12ε_{mp}
Fraction des nœuds avancé **m**	0.3
Facture supplémentaire d'énergie **a**	2
Le nombre des rounds 'tours' (**r**max)	6000

Tableau II.1 Exemples de protocoles d'auto-organisation hiérarchique inspiré de LEACH

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

8. Le Protocole SEP (Stable Election Protocol) :

Dans [54] 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) [55]. Ce protocole est similaire à LEACH, 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.

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

Les cluster-heads de grappes (clusters) sont sélectionnés périodiquement en se basant sur l'énergie résiduelle initiale du nœud, et comme le réseau hétérogène est composé de deux types de nœuds :

m*n nœuds avancés à énergie initiale est égale à $\mathbf{E_0\ (1+a),}$

(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 [57], SEP utilise deux pourcentages des cluster-heads sur le réseau [54], [53] :

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

Un pourcentage pour les nœuds normaux $\boldsymbol{P_{NOR},}$

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

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

La probabilité optimale $\mathbf{P_{Opt}}$ donnée par la courbe de la figure II-7-

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

La figure suivante représente l'architecture de SEP :

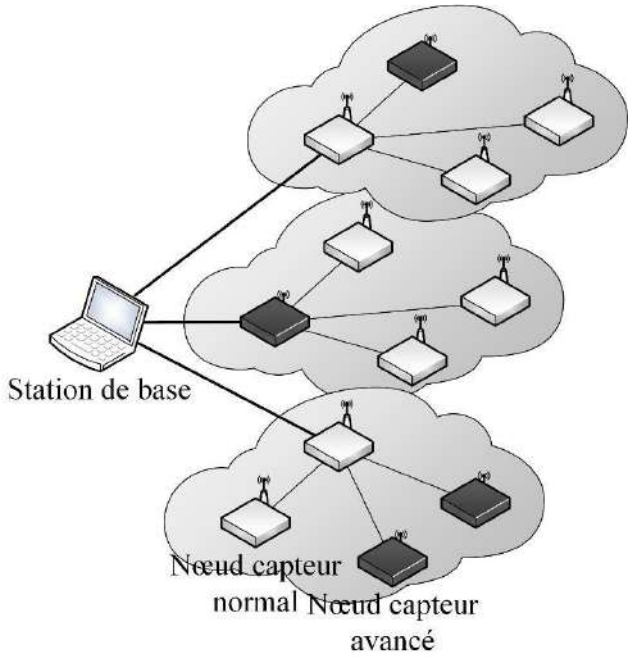


Figure II.10 Architecture de routage de SEP [60]

8.1 Les avantages :

- Notre protocole SEP étend avec succès la région stable.

- En raison de la stabilité étendue, le débit de SEP est plus élevé.

- On observe que les performances de SEP sont proches de celles d'une limite supérieure idéale

- SEP est plus résilient que LEACH en consommant judicieusement l'énergie supplémentaire des nœuds avancés

- donne une région de stabilité plus longue pour des valeurs plus élevées d'énergie supplémentaire.

- SEP est léger et évolutif pour les grands et petits réseaux (ce n'est pas une solution basée sur le GPS).

-Le problème du maintien d'une énergie bien répartie - Contraintes de

8.2. Consommation pendant la période de stabilité :

Si le même seuil est défini pour les niveaux normaux et avancés à la différence que chaque nœud normal ∈ G devient une Cluster Head une fois tous les $\frac{1}{\text{Popt}}(1 + \alpha \cdot m)$ rounds par époque, chaque nœud avancé ∈ G devient une Cluster Head (1 + α) toutes les $\frac{1}{\text{Popt}}(1 + \alpha \cdot m)$ rounds par époque. Il n'y a pas alors à garantir le nombre des Cluster Head par round, par époque et sera $n \times P_{opt}$. La raison en est qu'il existe un nombre important de cas où ce nombre ne peut pas être maintenu par round par époque avec probabilité 1. Un pire scénario pourrait être le suivant : Supposons que chaque nœud normal devienne un Cluster Head une fois dans le premier $\frac{1}{\text{Popt}}(1 + \alpha \cdot m)$ round de l'époque pour maintenir les contraintes de consommation l'énergie bien réparties. Tous les nœuds restants (nœuds avancés) doivent devenir des chefs de groupes avec probabilité 1 pour le prochain $\frac{1}{\text{Popt}}(1 + \alpha \cdot m)$ rounds de l'époque. Cependant le seuil T (s) augmente avec le nombre de rounds dans chaque époque et devient égal à 1 seulement au dernier round (lorsque tous les nœuds restants deviennent des Cluster Head avec probabilité 1.) Donc, la contrainte ci-dessus des Cluster Head
($n \times P_{opt}$) à chaque round est violée. Dans la section suivante, nous introduisons SEP où l'énergie supplémentaire des nœuds avancés doit être dépensée dans des sous-périodes de l'époque d'origine.

9. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous apprenons les protocoles de routage hiérarchique basés sur « Clustering ». Le choix d'étude se porte d'abord sur le protocole « LEACH », considéré comme le premier protocole de routage basé sur un Cluster pour les RCSF, et qui partitionne les nœuds en Clusters. Il est également considéré comme la base des autres protocoles de routage de Cluster.

Comme extension au « LEACH », notre étude s'intéresse au protocole « LEACH Avancée » et « SEP » : basé sur des probabilités électorales pondérées de chaque nœud pour devenir un Cluster Head en fonction de l'énergie restante dans chaque nœud. Cela nous amène à entamer une étude comparative et une étude de « LEACH » , « LEACH Avancée » et « SEP » par simulation (**Chapitre III).**

1. Introduction :

Dans ce présent chapitre nous allons comparer par simulation les deux protocoles LEACH et LEACH Avancée, SEP et SEP Modifie. Nous commençons par justifier le choix du simulateur qui sera utilisé et présentons les résultats de la simulation LEACH / SEP sur MATLAB, il s'ensuit les relevés des résultats et des graphes avec interprétation ainsi qu'une étude comparative entre les protocoles. En dernier, le tout sera clôturé par une conclusion.

2. Généralités sur la simulation :

De nos jours, la simulation connaît un essor considérable grâce à l'intérêt que présentent les modèles informatiques des systèmes simulés.

2.1. Définition :

La simulation consiste à la modélisation informatique d'un système quelconque en offrant une représentation de toutes les entités de ce système. Leurs comportements propres, ainsi que leurs interactions. Elle met à la disposition de l'utilisateur un environnement d'expérimentation dont on peut faire varier les paramètres.

Grâce aux progrès réalisés dans le domaine du développement et des techniques de programmation, nous disposons aujourd'hui d'un langage de programmation très puissant. Il devient ainsi possible de réaliser un simulateur dans un environnement de programmation existant.

2.2. Le langage MATLAB :

MATLAB (MATrix LABoratory) est un langage de programmation simulé par un environnement de développement du même nom, il est utilisé à des fins de calcul numérique. Développé par la société The Math Works, MATLAB permet de manipuler des matrices, d'afficher des courbes et des données, de mettre en œuvre des algorithmes, de créer des interfaces utilisateurs, et peut s'interfacer avec d'autres langages comme le C qui est un langage très puissant en calcul. Une interface en ligne de commande est un des éléments du bureau MATLAB qui permet d'exécuter des commandes simples. Des séquences de commandes peuvent être sauvegardées dans un fichier texte typiquement avec l'éditeur MATLAB, sous la forme d'un « script » ou encapsulé dans une fonction [30].

3. La préparation de la simulation :

Nous étudions l'impact de l'hétérogénéité des nœuds en termes d'énergie, dans les réseaux de capteurs sans fil qui sont groupés hiérarchiquement. Dans ces réseaux, certains des nœuds peuvent devenir chefs de groupe, agréger les données des membres du cluster et les transmettre à Sink. Nous supposons qu'un pourcentage des nœuds capteurs est équipé d'une énergie d'supplémentaire ressource. C'est une source d'hétérogénéité qui peut résulter à partir du réglage initial ou à mesure que le fonctionnement du réseau évolue. Nous supposons également que les capteurs sont aléatoires (uniformément) distribués et ne sont pas mobiles, les coordonnées de Sink et les dimensions du champ du capteur sont connues. Nous montrons que le comportement de tels réseaux de capteurs devient très instable une fois que le premier nœud meurt, en particulier en présence de nœuds hétérogènes. Les protocoles de Clustering classiques supposent que tous les nœuds sont équipés de la même quantité d'énergie. La conséquence est qu'ils ne peuvent pas profiter pleinement de la présence hétérogénéité des nœuds. Nous proposons que le protocole SEP est un protocole hétérogène qui prolonge l'intervalle temporel avant la mort du premier nœud (période de stabilité). Ce qui est crucial pour de nombreuses applications où le round du réseau de capteurs doit être fiable. Le protocole SEP est basé sur les probabilités électorales pondérées de chaque nœud pour devenir chef de cluster en fonction de l'énergie restante. Nous démontrons par simulation que le protocole SEP prolonge toujours la période de stabilité par rapport au protocole LEACH.

4. Mesure de Performance :

Nous définissons ici les mesures que nous utilisons dans ce mémoire pour évaluer les performances des protocoles de Clustering.

• Période de stabilité : C'est l'intervalle de temps entre le début de fonctionnement du réseau jusqu'à la mort du premier nœud capteur.

• La période d'instabilité : C'est l'intervalle de temps entre le début de la mort du premier nœud capteur jusqu'à la mort du dernier nœud capteur.

• Energie moyenne consomme par rand : C'est la valeur de l'énergie au point de stabilité qui est divisé sur la valeur de tour dans le point de stabilité

• Energie résiduelle consomme par rand : C'est la valeur de l'énergie au point de stabilité qui est divisé sur la valeur de tour dans le point de stabilité

•Nombre des paquets : nous mesurons le nombre de paquets envoyés sur le réseau par les chefs de groupe á Sink à chaque round. D'un autre côté, il y a un compromis entre la fiabilité et la durée de vie du système jusqu'à la mort du dernier nœud. Il nous reste encore des

Observations sur le champ du capteur, même si ce dernier peut ne pas être fiable. Le manque de fiabilité des commentaires provient du fait qu'il n'y a aucune garantie qui ait au moins un Cluster Head par round lors des derniers rounds de l'opération.

Dans notre modèle, l'absence Cluster Head dans une zone empêche tout rapport sur cette zone à Sink. Il n'est y pas de paquets envoyés vers la station de base parce qu'il n'y a aucune transmission entre Cluster Head et le Sink.

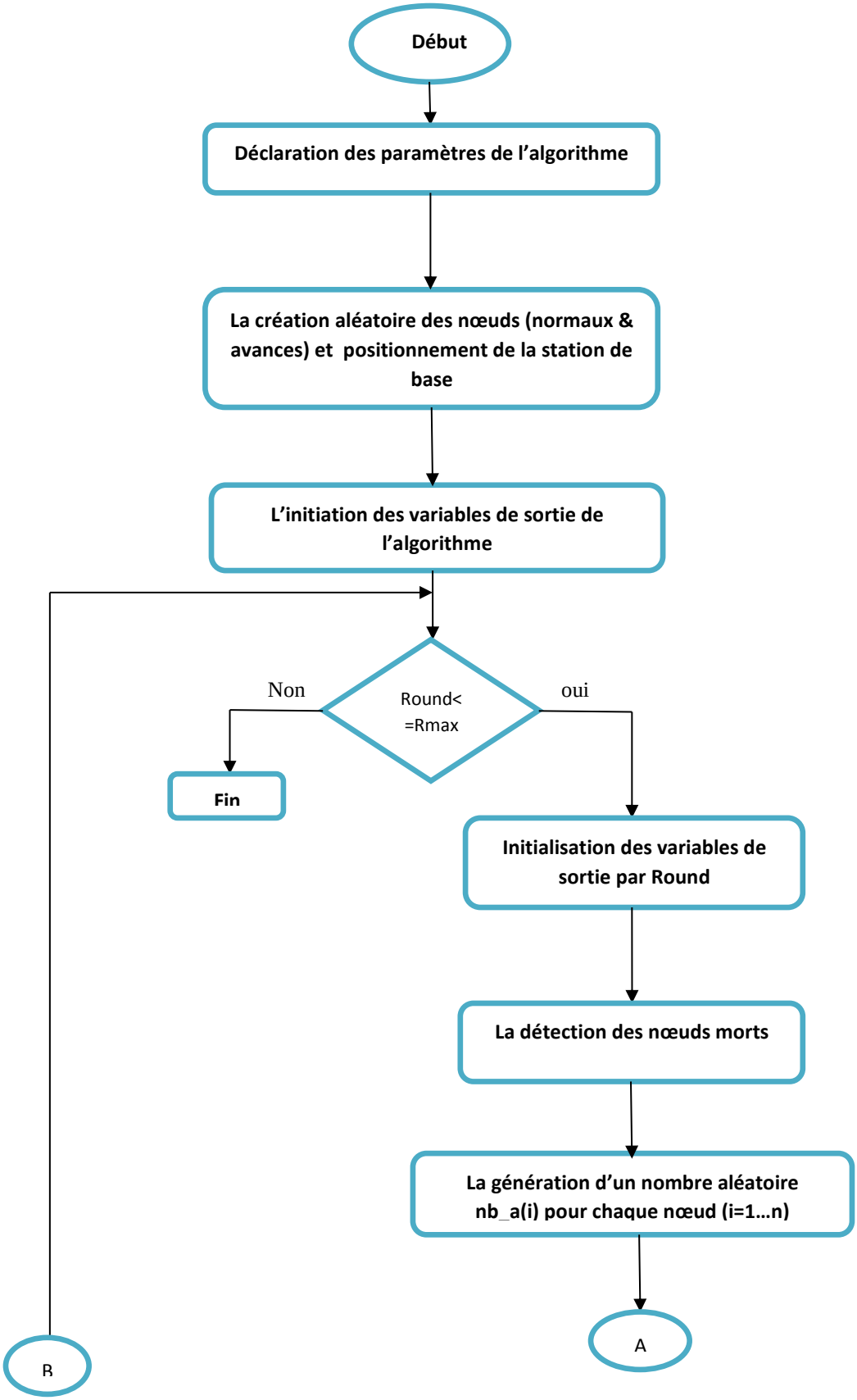
5. Le protocole Clustering LEACH hétérogène :

La version originale de LEACH ne prend pas en compte l'hétérogénéité des nœuds en termes d'énergie initiale, par conséquent la consommation des ressources énergétiques du réseau de capteurs n'est pas optimisée en présence d'une telle hétérogénéité. La raison en est que LEACH ne dépend que de la densité spatiale du réseau de capteurs. On utilise LEACH en présence d'hétérogénéité en supposant que les nœuds normaux et avancés sont répartis uniformément dans l'espace.

Dans le cas homogène, chaque nœud est équipé de la même énergie que celle d'un nœud normal, il faut s'attendre à ce que le premier nœud meurt en moyenne dans un tour qui est proche de la ronde. En outre, nous attendons à ce que le premier nœud mort soit un nœud normal. Par ailleurs on prévoit aussi que lors des rounds suivants, la probabilité d'une mort d'un nœud normal soit supérieure à celle d'un nœud avancé. Pendant les derniers rounds, seuls les nœuds avancés seraient vivants [22].

Par la suite, nous démontrons comment le protocole Clustering LEACH hétérogène n'est pas parvenu à maintenir la stabilité du système, à cause de l'hétérogénéité des nœuds. Cela entraine la motivation d'un autre protocole qui donnera à son tour de bons résultats que le SEP et dont l'impact est supérieur au protocole LEACH.

5.1. L'organigramme de Protocole LEACH Avance :



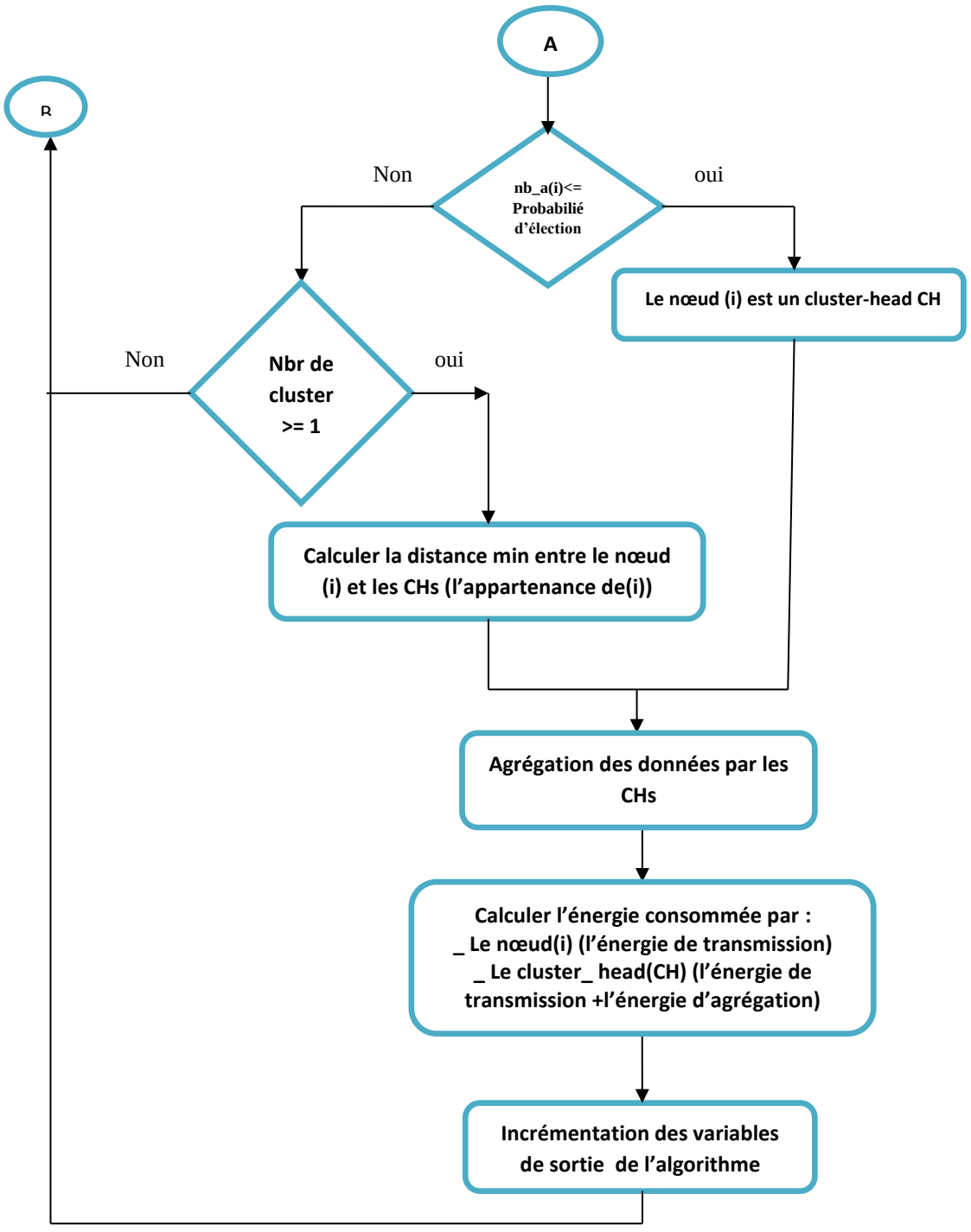


Figure III.1 L'organigramme De Protocole LEACH [26]

5.2. Instabilité des protocoles hétérogènes :

Dans cette section, nous discutons de l'instabilité des protocoles hétérogènes, tels que LEACH une fois que certains nœuds meurent. Dans ce cas, le processus de construction optimale des clusters échoue puisque la densité spatiale s'écarte de l'uniforme supposé (distribution des nœuds sur le champ du capteur).

Supposons un capteur hétérogène dans un champ de 100 m × 100 m, comme le montre dans la Figure III.1. Pour ce paramètre, à partir de l'équation (2) la probabilité optimale en fonction de nombre de nœuds est égale k_{opt} = 0.1. Notons avec ◦ un nœud normal, avec **+** un nœud avancé avec ·, un nœud mort avec ∗, un cluster Head avec ‘’ **Carré’’** Sink.
A un certain moment, le premier nœud meurt. Après ce point, le nombre des capteurs diminue lorsque les nœuds meurent au hasard, voir Figure III.2. La réduction du nombre des nœuds introduit alors une instabilité dans le réseau de capteurs et le processus d'élection des chefs devient peu fiable. Ceci est dû au fait que la valeur de P_{opt} n'est pas optimale quand le nombre des capteurs dans le réseau est constant et égal au nombre initiale (n) des capteurs. Lorsque le nombre des nœuds commence à diminuer, le nombre de chefs de groupe élus par round devient instable (plus faible que prévu) et, par conséquent, rien ne garantit un nombre constant de Cluster Head (égal à n × P_{opt}) qui sera élu par round par époque car il y a moins de nœuds vivants. Donc l'échantillonnage (détection) du champ est inférieur aux nœuds prévus.

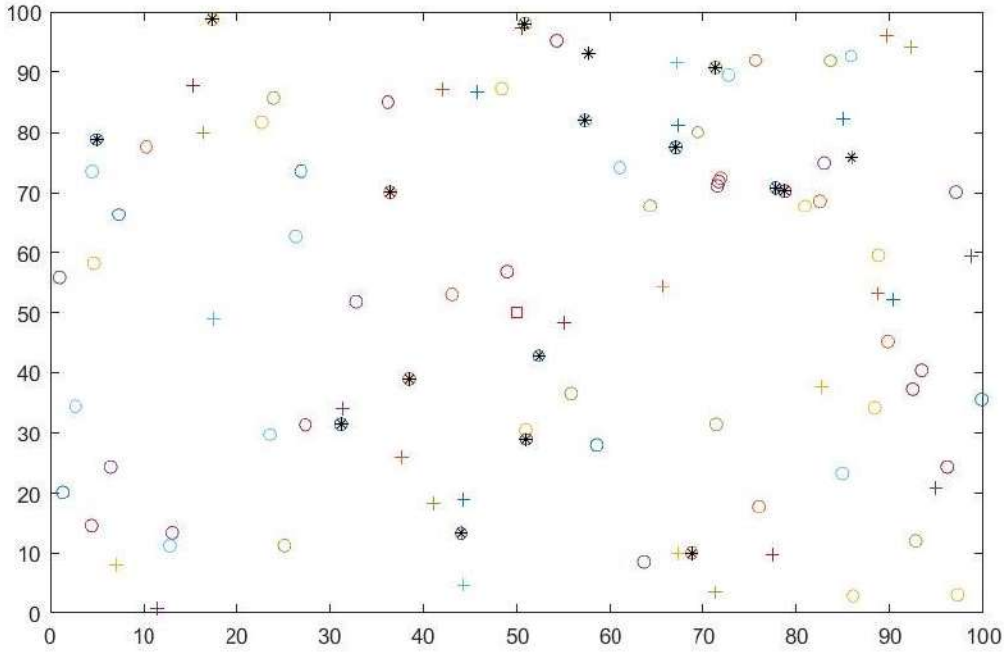


Figure III.2 La distribution des nœuds aléatoires sur un champ 100 × 100 m^2.

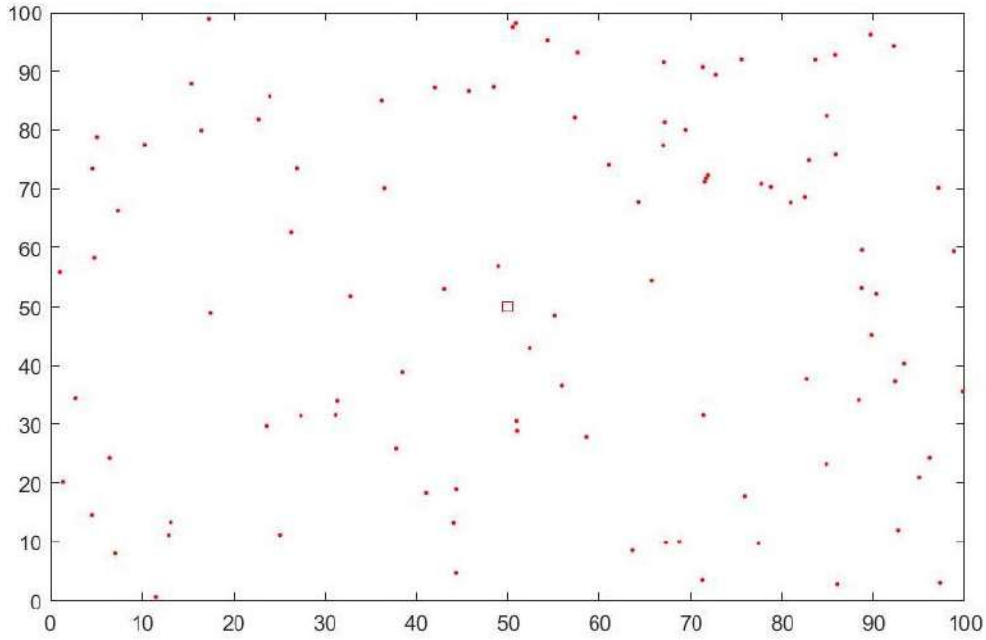


Figure III.3 La représentation du champ de captage après la mort totale des nœuds.

La seule garantie est qu'il y aura au moins un Cluster Head par époque (cf. équation (II.1)). Dans un seul round par époque, tous les nœuds vivants rendront leur rapport au Sink (Cela suppose que chaque nœud vivant est dans une portée de communication d'un cluster Head). L'impact (qualité) de ces rapports dépend fortement de l'application. Pour certaines d'entre elles, même ce minimum de signalement est une rétroaction précieuse, pour d'autres non. Clairement un rapport minimal se traduit par une sous-utilisation importante des ressources et de la bande passante d'application.

Le round du point de stabilité (le premier nœud meurt) du LEACH dans le cas homogène est court, autrement dit le premier nœud meurt dans un temps réduit. Après la mort du premier nœud, tous les nœuds restants pourraient mourir en moyenne dans un nombre petit de rounds. Ceci est dû à l'instabilité de la consommation d'énergie. Si l'espace de la densité du réseau de capteurs est grande, la probabilité d'un grand nombre de nœuds élus en tant que chefs de cluster est importante tant que la population des nœuds n'a pas régressé d'une manière significative. Dans ce que nous avons vu un le processus de regroupement (détection) reste relativement fiable. On peut remarquer la même chose même si la densité spatiale est faible. Le P_{opt} reste grand cependant. D'un autre côté, LEACH dans le cas des nœuds hétérogènes présentent une grande région instable. La raison en est que, bien que tous les nœuds avancés soient alimentés de presque la même énergie, l'élection des chefs de groupe demeure instable. Par conséquent, dans la plupart du temps, les Clusters Head n'ont pas été élus. Ces nœuds avancés sont inactifs.

Dans la section suivante, nous présentons ce nouveau protocole SEP hétérogène dans le but d'augmenter le point de la stabilité et de diminuer la région instable afin d'améliorer la qualité de la rétroaction des réseaux de capteurs sans fil [16].

6. Le déploiement dans le protocole SEP :

Comme mentionné précédemment, l'hétérogénéité de l'énergie des nœuds peut résulter du fonctionnement normal du réseau. Par exemple, les nœuds pourraient avec le temps, dépenser différentes quantités d'énergie dues aux caractéristiques de communication radio ou les événements aléatoires tels que des défaillances de liaison à court terme ou des caractéristiques morphologiques du terrain (par exemple, un terrain inégal). Pour faire face à ces hétérogénéités, notre protocole SEP pourrait être déclenché chaque fois qu'un certain seuil d'énergie est dépassé par un ou plusieurs nœuds. Les chefs ne faisant pas partie du cluster pourraient périodiquement joindre leurs énergies aux messages qu'ils envoient pendant la prise de contact processus avec leurs chefs de groupe et pourraient envoyer ces informations à Sink [24]

Le Sink peut vérifier l'hétérogénéité sur le terrain en examinant si un ou un certain nombre de nœuds atteignent ce seuil d'énergie. Si c'est le cas, le Sink pourrait diffuser aux Cluster Head dans ce round les valeurs de P_{nrm} et P_{adv} à leur tour. Les Cluster Head diffusent ces valeurs aux nœuds de leurs groupes en fonction de l'énergie au cours du processus de négociation. Si certains des nœuds déjà utilisés n'ont pas été programmés avec cette capacité, un protocole de transport fiable, tel que celui proposé dans [23], pourrait être utilisé pour programmer de tels capteurs. L'évaluation des frais généraux d'un tel déploiement SEP est un sujet de notre travail en cours.

6.1. Exemple numérique :

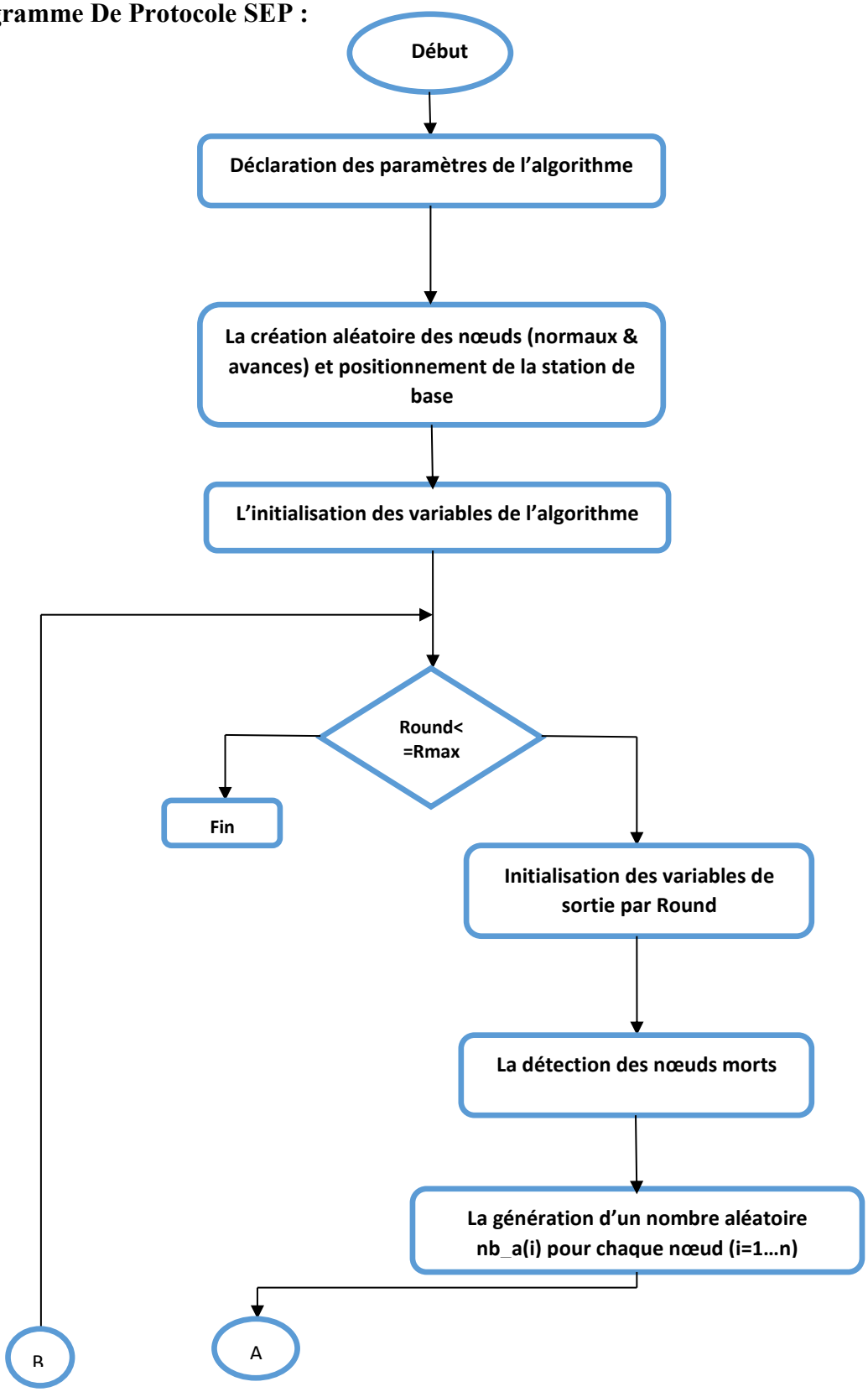
Supposons que (m =0,3) c'est-à-dire 30% des nœuds sont des nœuds avancés (m =0,3) alimentés d'énergie plus que les autres nœuds normaux. Dans le premier cas nous prenons ($\alpha = 1$) c'est-à-dire l'énergie des nœuds avancés est double de celle des nœuds normaux. On considère la population d'un réseau de capteurs dans un champ de 100m × 100m de 100 nœuds. P_{opt} Ce paramètre est approximativement égal à $P_{opt} = 0,1$, C'est-à-dire que 10 nœuds doivent devenir des Cluster Head par round.

Si nous considérons un scénario homogène où chaque nœud a une énergie initiale égale à l'énergie d'un nœud normal, alors l'époque serait égale a $\frac{1}{\text{Popt}}$ = 10 rounds. Dans notre cas hétérogène, l'époque hétérogène étendue est égale à $\frac{1+\alpha\cdot m}{\text{Popt}} = \frac{1}{\text{Pnrm}}$ =13 rounds, et chaque sous époque est égale à $\frac{1}{\text{Popt}}\left(\frac{1+\alpha\cdot m}{1+\alpha}\right)$ = 6.5 rounds.

En moyenne, $n \cdot (1 - m) \times P_{nrm}$ = 5.384. En simplifiant on a 5 nœuds normaux qui deviennent Cluster Head par round, et chacun d'eux sera un Cluster Head exactement tous les 13 tours (une époque hétérogène). De plus, $n \cdot m \times P_{adv}$ = 4.614 par simplification cela donne 5 nœuds avancés devenant cluster Head par round. Le nombre total de capteurs qui deviennent des Clusters Head (à la fois normaux et avancées) est égal à 10, soit le nombre souhaité. Chaque capteur avancé devient un Cluster Head exactement une fois dans chaque sous-époque et devient également un Cluster Head (1 + α) fois par époque hétérogène, c'est-à-dire que chaque nœud avancé devient un Cluster Head 6.5 fois dans une époque hétérogène.

Dans le deuxième cas nous prenons (α = 2) c'est-à-dire l'énergie des nœuds avancés est triple de celle des nœuds normaux. Les autres paramètres ne changent pas comme (P_{opt} et m) en même champ, l'époque de scénario homogène serait égale a $\frac{1}{\text{Popt}}$ = 10 rounds. L'époque hétérogène étendue est égal à $\frac{1+\alpha\cdot m}{\text{Popt}} = \frac{1}{\text{Pnrm}}$ =16 rounds, et chaque sous époque est égal à $\frac{1}{\text{Popt}}\left(\frac{1+\alpha\cdot m}{1+\alpha}\right)$ = 5.3 rounds. En moyenne, $n \cdot (1 - m) \times P_{nrm}$ = 4.375. En simplifiant on a 4 nœuds normaux deviennent Cluster Head par round, et chacun d'eux devient un Cluster Head exactement une fois en 16 tours (une hétérogène époque). En plus, $n \cdot m \times P_{adv}$ = 6.921 par simplification cela donne 7 avancé les nœuds deviennent Cluster Head par round. Chaque nœud avancé devient un Cluster Head 5.3 fois dans une époque hétérogène.

6.2. L'organigramme De Protocole SEP :



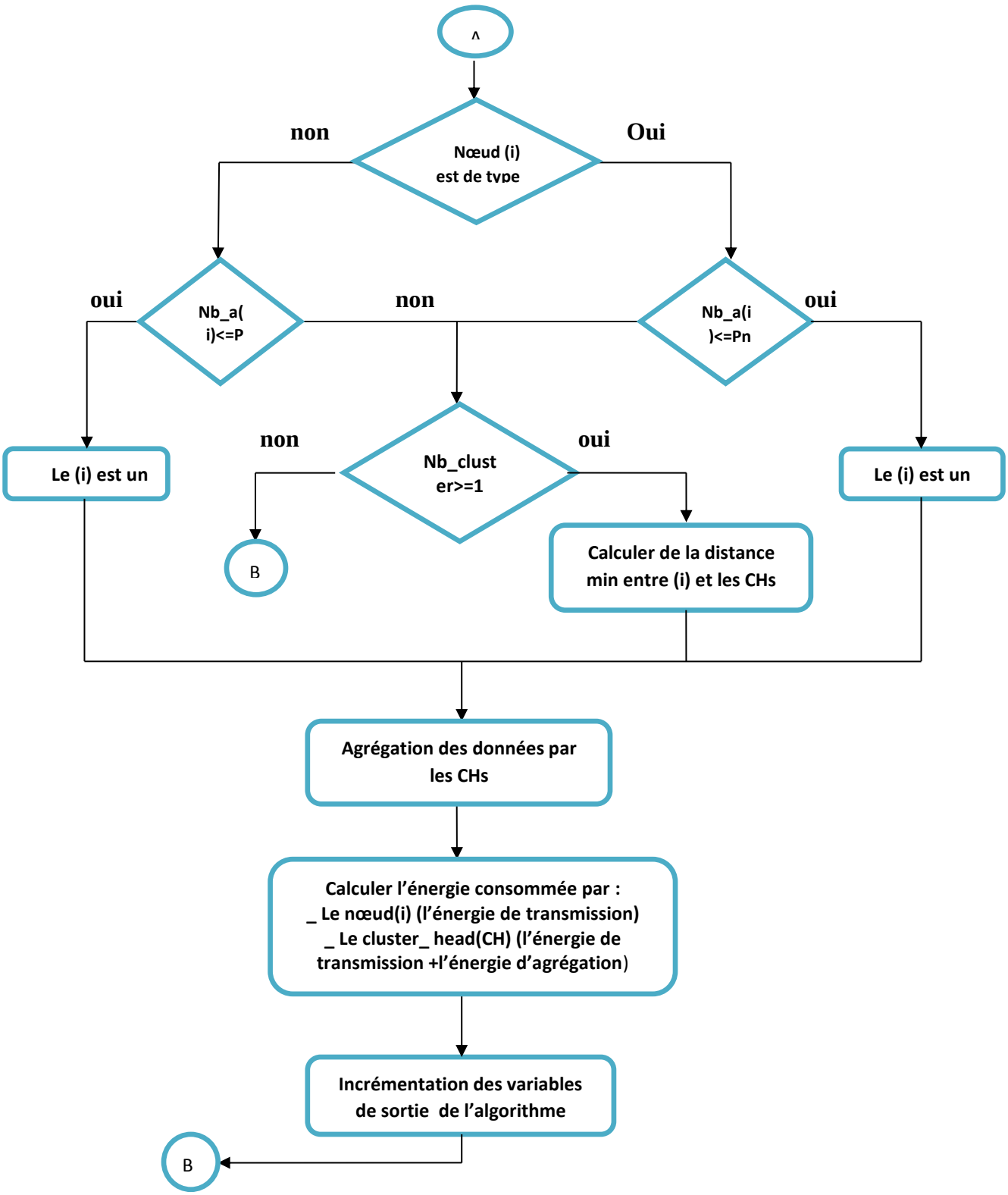


Figure III.4 L'organigramme De Protocole SEP [26]

7. Résultats de la simulation :

Nous simulons un réseau de capteurs sans fil en cluster dans un champ de dimension 100m × 100m. Le nombre total de capteurs n = 100. Les nœuds normaux et avancés sont répartis de façon aléatoire sur le terrain. Cela signifie que les coordonnées horizontales et verticales de chaque capteur sont sélectionnées au hasard entre 0 et la valeur maximale de la dimension. Sink est au centre. L'énergie initiale d'un nœud normal est définie à E0 = 0,5 Joules — Bien que cette valeur soit arbitraire pour le but de cette étude, cela n'affecte pas le comportement de notre Protocole SEP. Les caractéristiques radios utilisées dans nos simulations sont résumées dans le Tableau III.1, le nombre de paquets envoyés sur le réseau par les chefs de groupe vers Sink dans chaque round est défini sur 4000 bits.

Tableau III.1 Les paramètres utilisés dans nos simulations.

Les Parameters	**Les Valeurs**	**Variation**
Le nombre des nœuds	n = 100	
Surface de Déploiement (L*L)	100 * 100 (m^2)	
La position de la station de base	X=50, Y=50	
Energie initiale des nœuds normaux (en joules)	E_0 = 0.5 J	
La probabilité optimale en fonction de nombre de nœuds.	= $0.1P_{opt}$	
Consommation d'énergie du circuit de l'émission (transmission d'un bit)	ETX=50*1e-9 joules	
Consommation d'énergie du circuit de réception (transmission d'un bit)	ERX=50*1e-9joules	
Facteur d'amplification du signal pour une distance d'émission inferieure à la distance seuil do	=10*1e-12ε_{fs}	
Facteur d'amplification du signal pour une distance d'émission supérieure à la distance seuil do	=0.0013*1e-12ε_{mp}	
Fraction des nœuds avancé **m**	0.3	0.2
Facture supplémentaire d'énergie **a**	2	
La probabilité d'être CH(**P**)	0	0.05/0.06/0.07 /0.08/ 0.09 /0.1.
Le nombre des rounds 'tours' (**r**max)	8000	

7.1. Résultats du protocole LEACH :

Les résultats de nos simulations LEACH sont illustrés dans la Figure III.5/III.6/III.7/III.8/III.9, pour m = 0.3 et α = 2 on observe que LEACH profite de la présence d'hétérogénéité (pour les nœuds avancés), car le premier nœud meurt après un nombre de rounds plus élevé (c'est-à-dire que la période de stabilité est plus longue) par rapport au cas homogène (m = α = 0). La durée de vie du réseau est augmentée, mais comme nous le montrerons plus tard, cela ne signifie pas que les nœuds transmettent (le débit peut être faible).

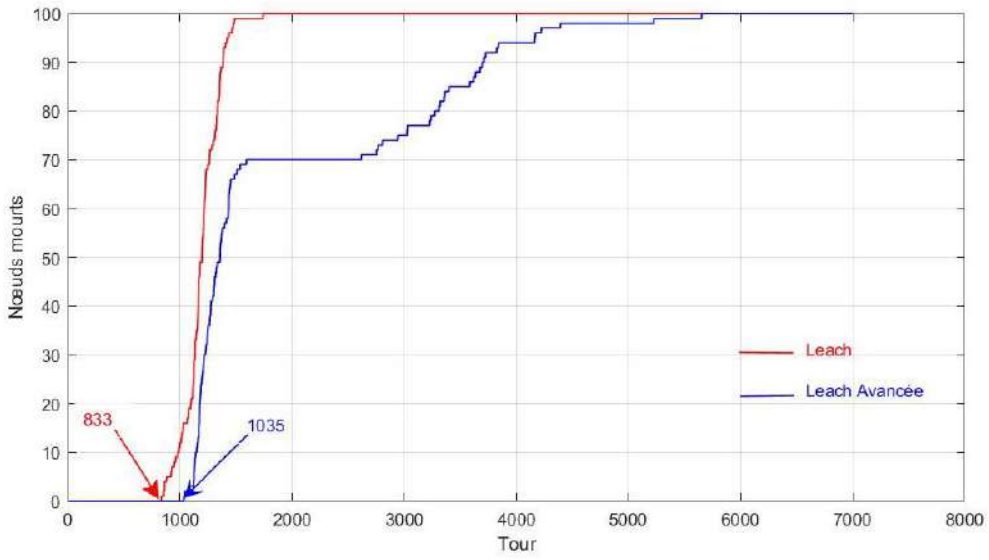


Figure III.5 Nœuds mourts des protocoles LEACH et LEACH Avancée.

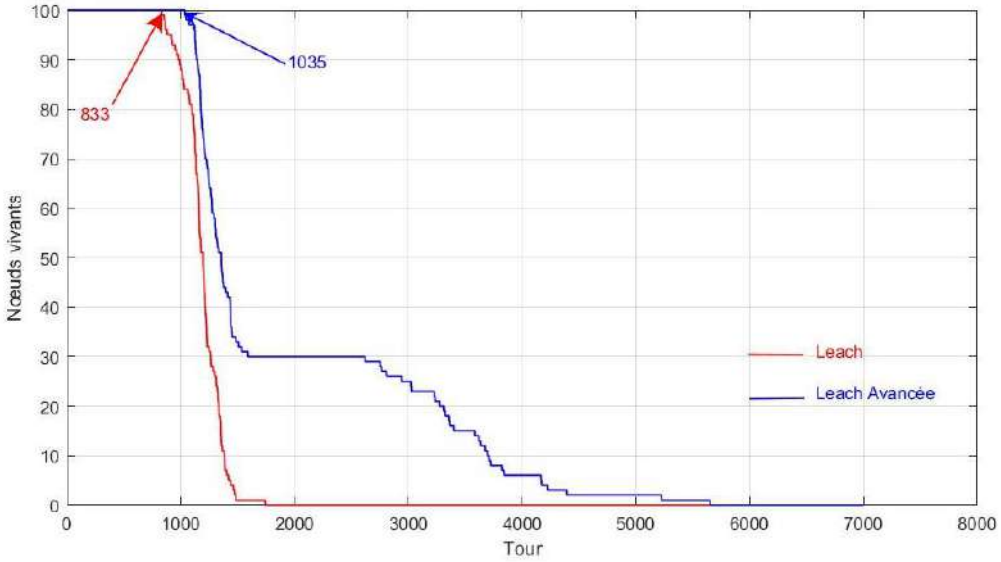


Figure III.6 Nœuds vivants des protocoles LEACH et LEACH Avancée.

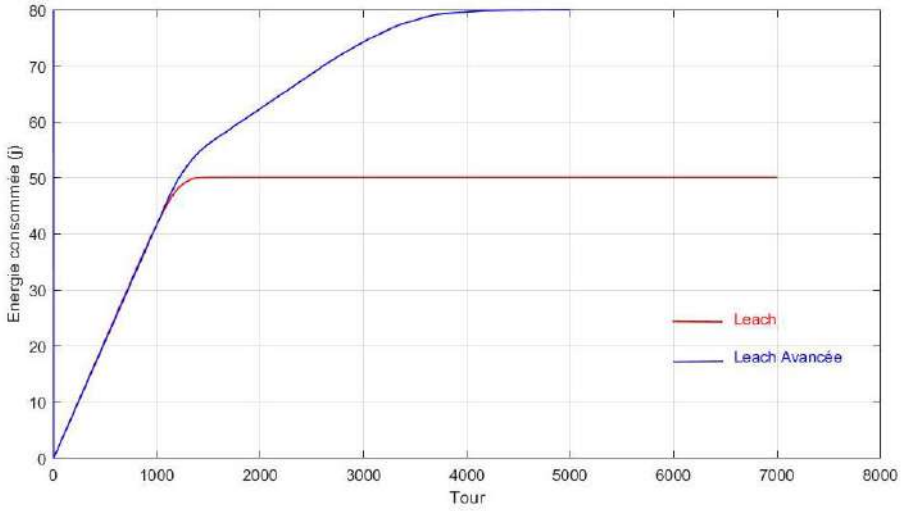


Figure III.7 Energie consommée entre des protocoles LEACH et LEACH Avancée.

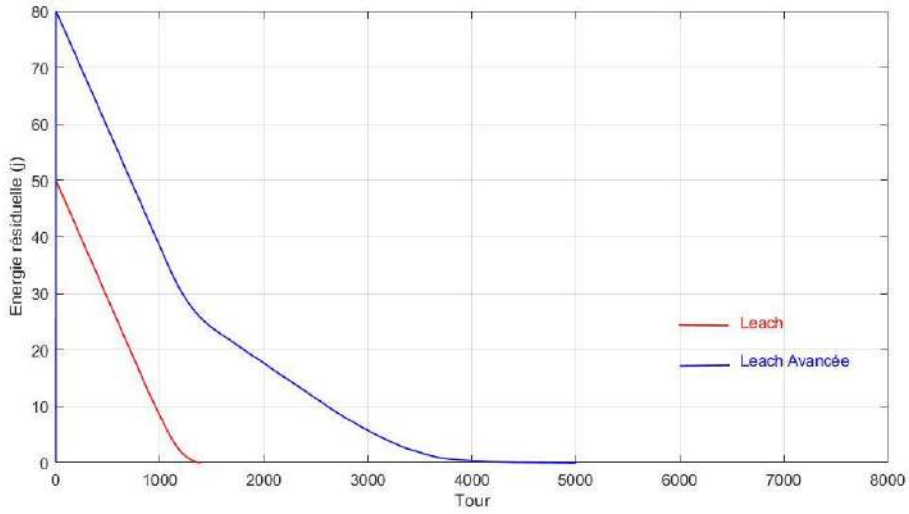


Figure III.8 Energie résiduelle entre des protocoles LEACH et LEACH Avancée.

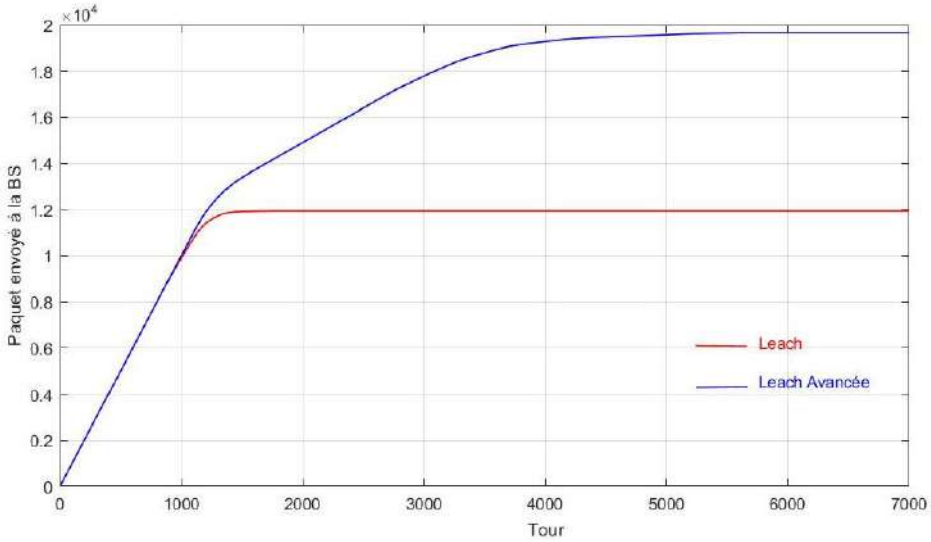


Figure III.9 Paquet envoyé à la BS entre des protocoles LEACH et LEACH Avancée.

7.2. Résultats du protocole SEP :

Dans cette sous-section, nous comparons les performances de notre protocole SEP à LEACH dans le même cadre hétérogène. LEACH où l'énergie initiale supplémentaire des nœuds avancés est uniformément répartie sur tous les nœuds du champ du capteur. Dans ce dernier paramètre, le LEACH ne tire pas pleinement parti de l'hétérogénéité (énergie supplémentaire). Dans les deux scénarios précédents du protocole LEACH (m = 0.3 et α = 2), le premier nœud meurt presque au même round. Les performances des protocoles SEP et LEACH sont comparées dans le même cadre hétérogène, le même cas de m et α. L'énergie initiale supplémentaire des nœuds avancés est uniformément répartie sur tous les nœuds dans le champ du capteur, nous observons que le SEP profite pleinement de l'hétérogénéité (énergie extra des nœuds avancés) .

La région instable du SEP est plus courte que celle du LEACH parce que dans le SEP les nœuds avancés suivent le processus de mort des nœuds normaux. Nos observations sur la performance du SEP valent également pour des réseaux à plus petite échelle, où la distance entre un grand pourcentage de capteurs et la station de base est moins de d_0.

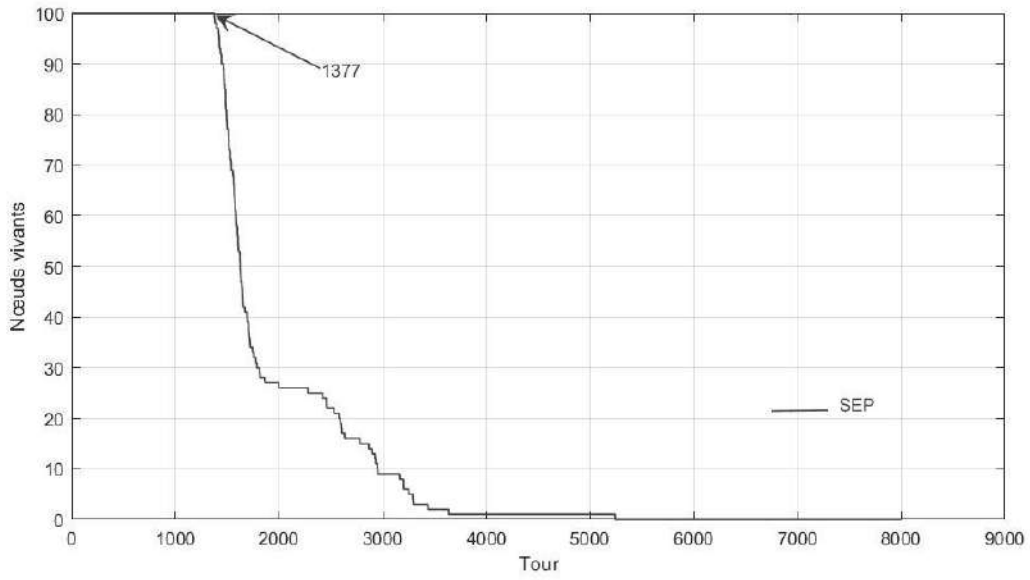


Figure III.10 Nœuds vivants de protocoles SEP.

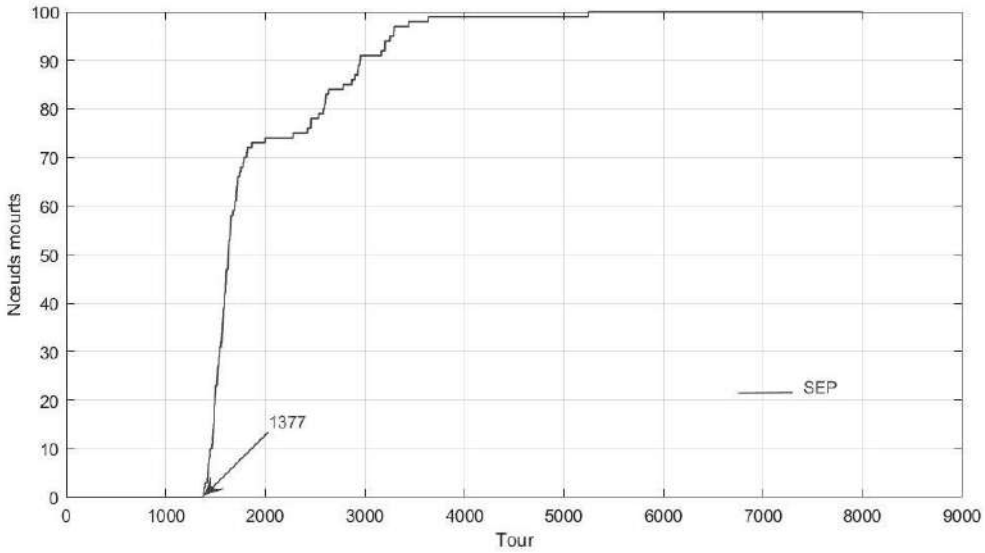


Figure III.11 Nouds mourts de protocole SEP.

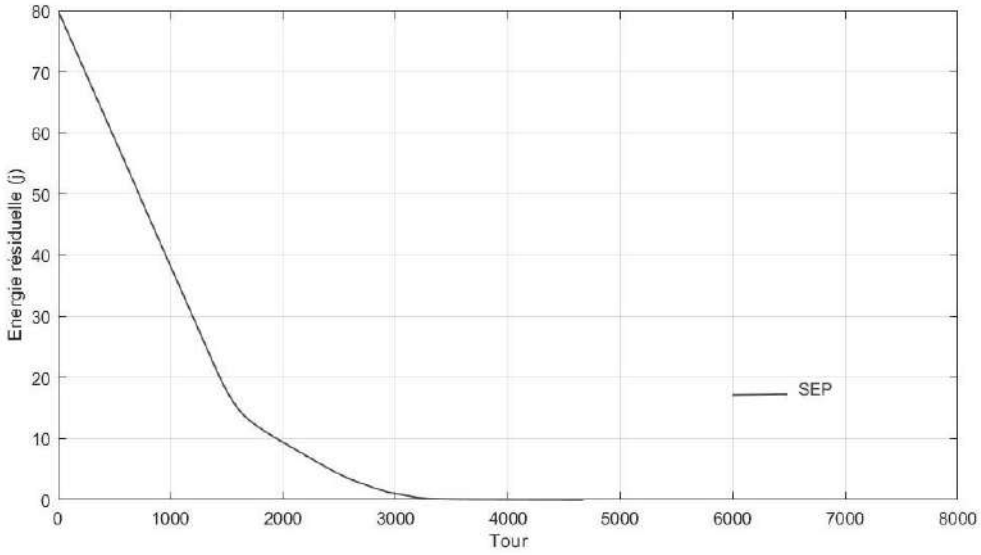


Figure III.12 Energie résiduelle de protocole SEP.

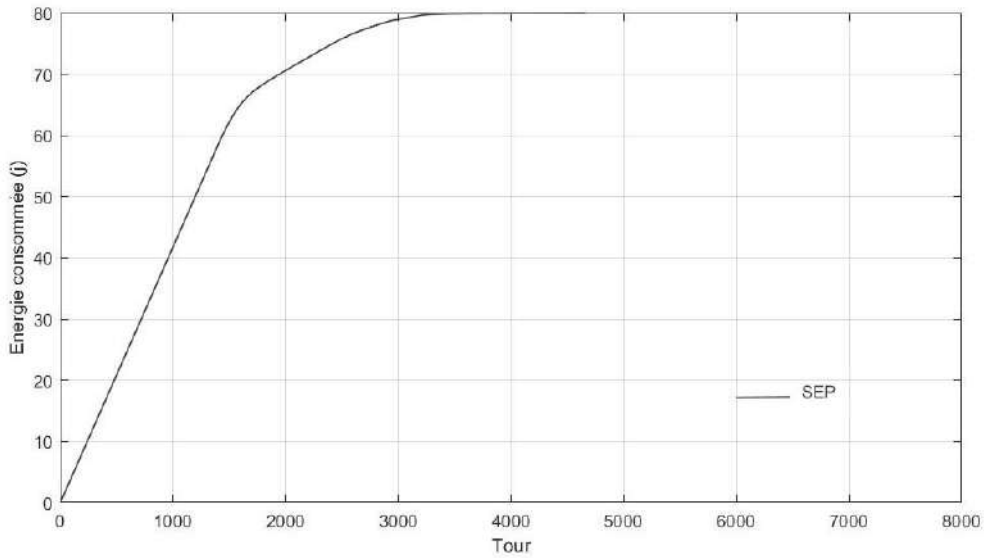


Figure III.13 Energie consommée de protocole SEP.

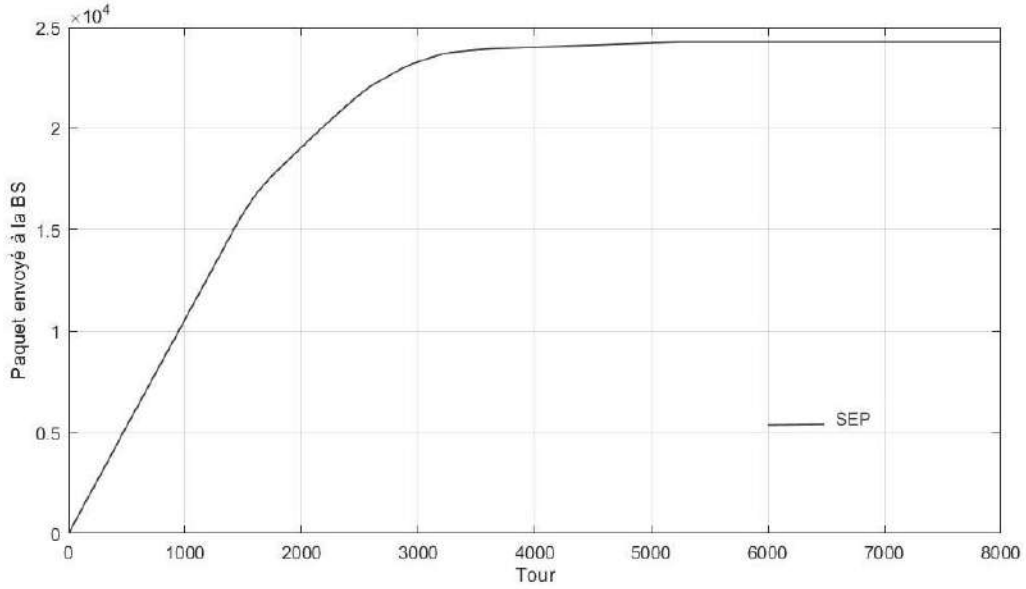


Figure III.14 Paquet envoyé à la BS de protocole SEP.

7.3. Amélioration du protocole SEP :

Dans cette section, nous allons augmenter les performances de notre protocole SEP. La valeur de probabilité de sélection des CH pour les nœuds normaux et avancés sera modifiée de manière séquentielle sur tous les nœuds du domaine du capteur. Dans 6 scénarios pour le protocole SEP Modifié.

On va augmenter le coefficient de La valeur de probabilité de sélection des CH pour les nœuds avancés et on va fixer La valeur de probabilité de sélection des CH pour les nœuds normaux.

Et on va voir la variation de la stabilité et la consommation d'énergie dans la simulation graphiquement pour les 6 cas.

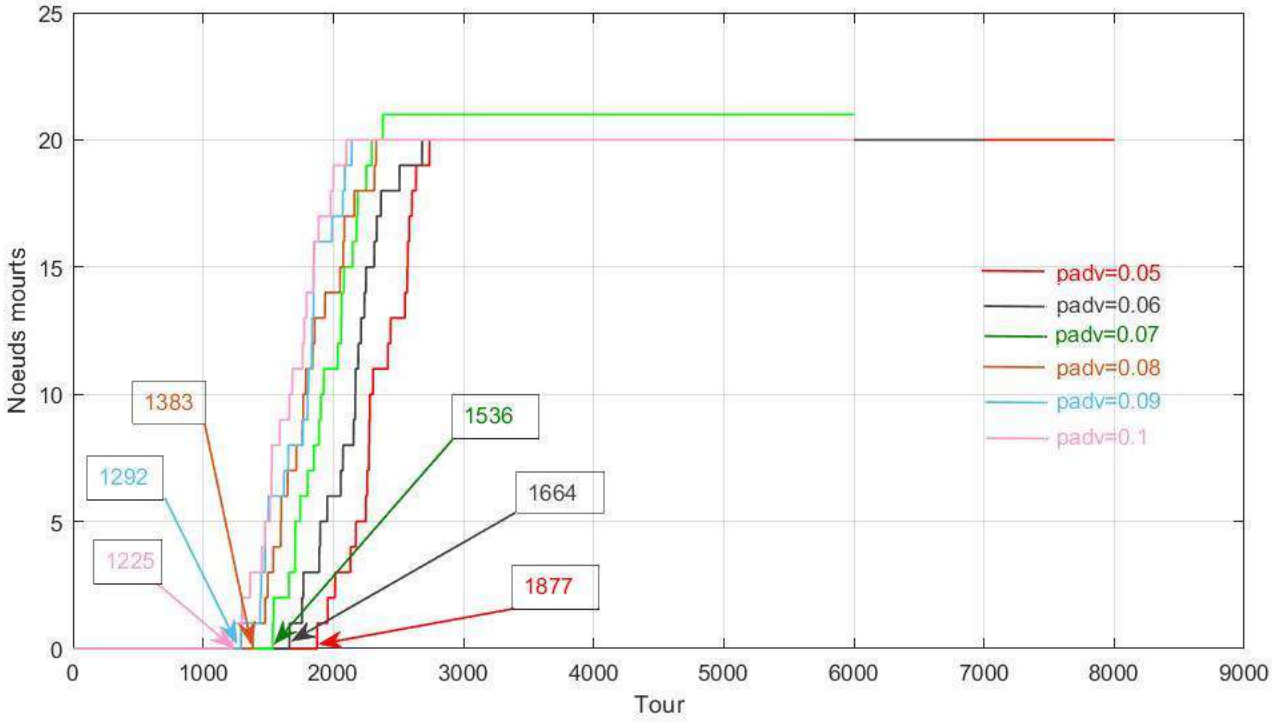


Figure III.15 Comparaison entre les protocoles SEP Modifiée dans point de stabilité.

On voir que la stabilité est augment quand on réduit La valeur de probabilité de sélection des CHs pour les nœuds avancés à la padv=0.05, la valeur de point de stabilité est 1877 et le meilleur par rapport Les autre valeurs dans le champ dans (Figure **III.15)**

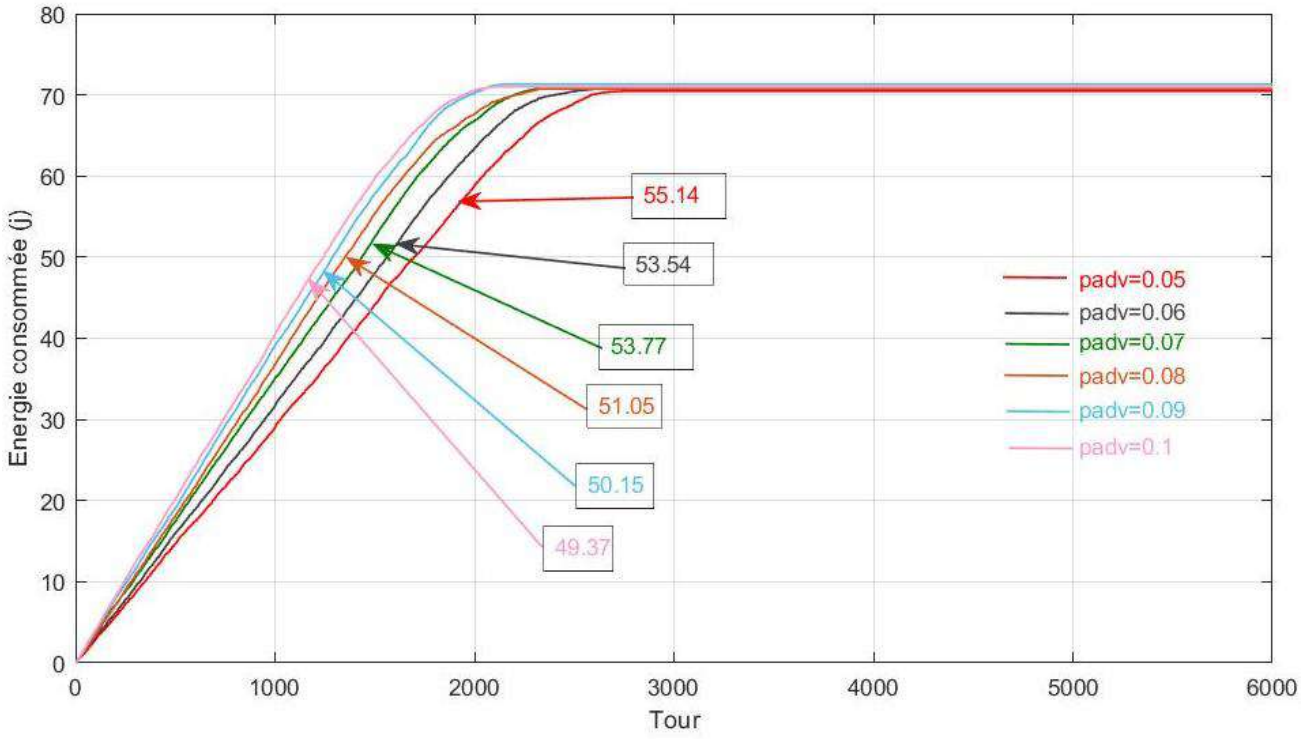


Figure III.16 Comparaison entre les protocoles SEP Modifiée le cas de l'énergie consommée.

On voir que l'énergie consommée est augment quand on réduit La valeur de probabilité de sélection des CH pour les nœuds avancés a la padv=0.05, la valeur de point de l'énergie consommée est 55.14 et le meilleur par rapport Les autre valeurs dans le champs dans (Figure **III.16).**

Remarque ;

On remarque le protocole sep modifie et plus stable dans la durée de vie des nœuds de capteurs et élevé, et la consommation d'énergie plus économe par rapport les autres protocoles quid nous avons étudiée.

Tableau III.2 L'énergi**e** moyenne consommée par rand pour la probabilité d'élection des CHs pour les nœuds avancés Dans le protocole SEP Modifié.

Probabilité d'élection des CHs pour les nœuds avancés SEP	Energie moyenne consommée par rand
0.05	0.0293
0.06	0.0321
0.07	0.035
0.08	0.0369
0.09	0.0388
0.1	0.0403

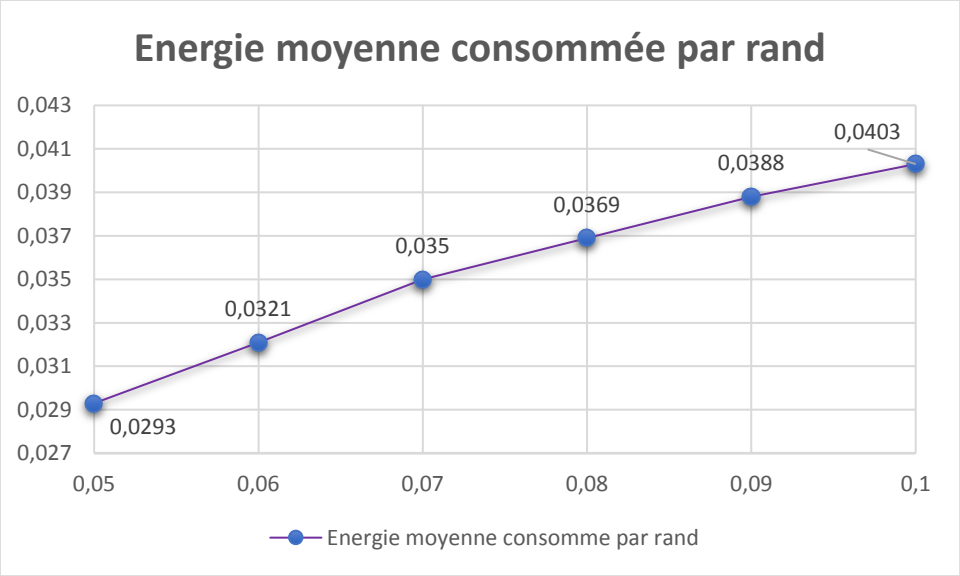


Figure III.17 L'énergie moyenne consommée par rand.

Tableau III.3 la période De stabilité pour la probabilité d'élection des CHs pour les nœuds avancés Dans le protocole SEP Modifié.

Probabilité d'élection des CHs pour les nœuds avancés SEP	Période de stabilité
0.05	1877
0.06	1664
0.07	1536
0.08	1383
0.09	1292
0.1	1225

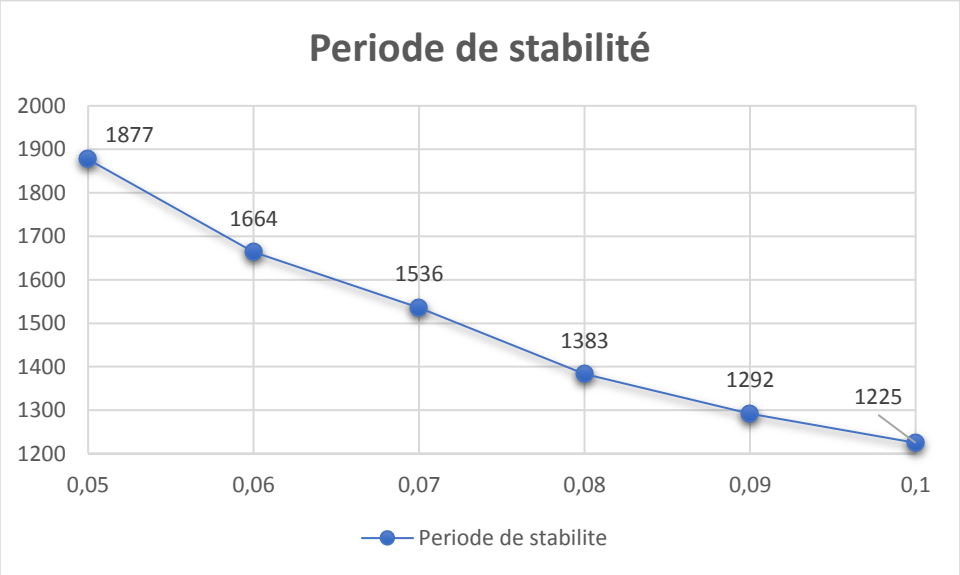


Figure III.18 la période De stabilité.

7.4. L'énergie consommée et résiduelle des deux protocoles LEACH et SEP :

Tableau III.4 L'énergie moyenne consommée par rand pour les 4 protocoles

	LEACH	LEACH Avancée	SEP	SEP Modifié
Energie moyenne consomme par rand	0.042	0.0416	0.0417	0.0293

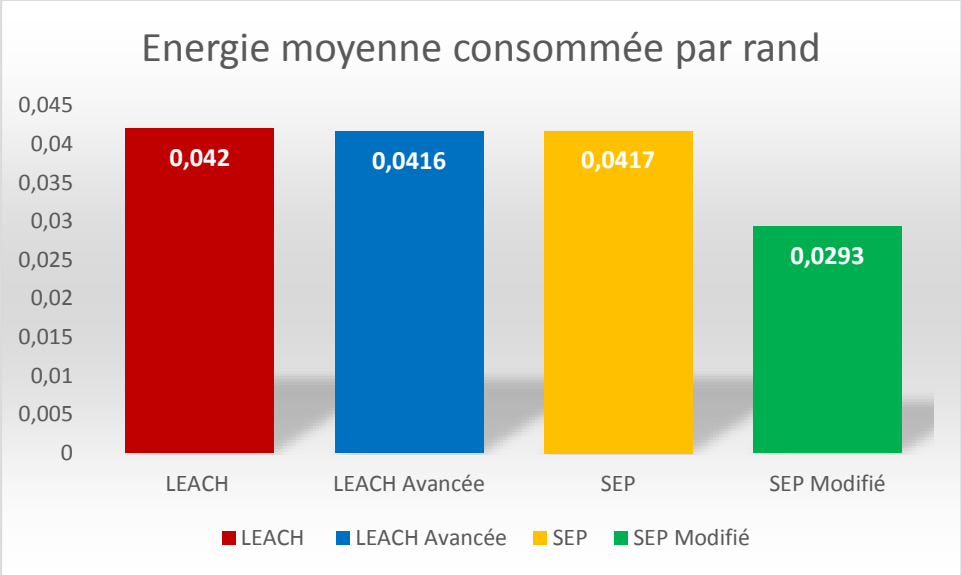


Figure III.19 L'énergie moyenne consommée par rand.

On remarque que dans le protocole sep modifié l'énergie moyenne consommée par rand et très faible par rapport les autres protocoles dans (la Figure III.19 et le Tableau III.4) qui signifier que le protocole sep modifié aider les énergies de capteur pour un durée de vie important.

Tableau III.5 L'énergie moyenne consommée par rand pour les 4 protocoles

	LEACH	LEACH Avancée	SEP	SEP Modifié
Energie résiduelle consomme par rand	0.0179	0.0356	0.0163	0.0299

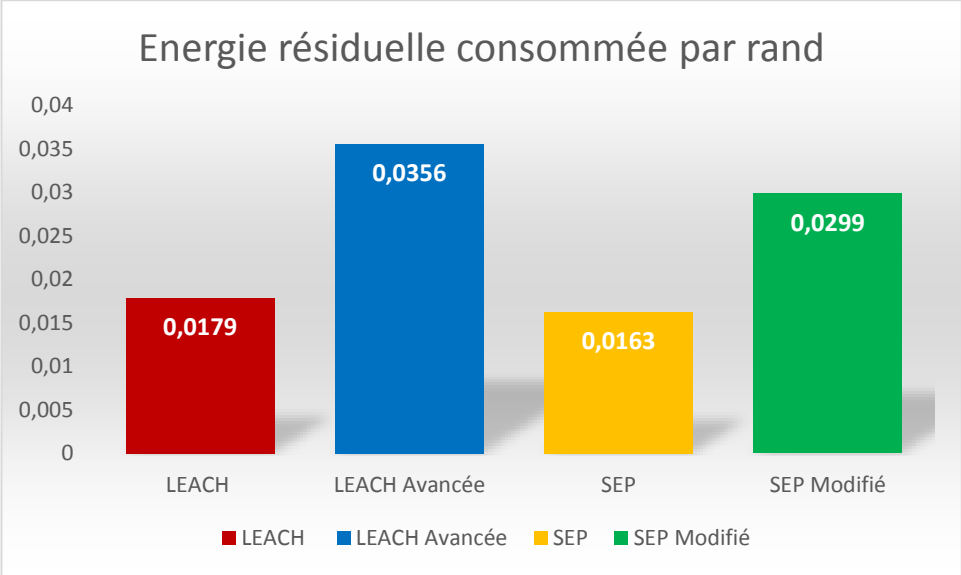


Figure III.20 L'énergie résiduelle consommée par rand.

On remarque que dans le protocole sep modifié l'énergie résiduelle consommée par rand et très faible par rapport les autres protocole (la Figure III.20 et le Tableau III.5) qui signifier que le protocole sep modifié aider les énergie de capteur pour un durée de vie important.

7.4. La stabilité entre les protocoles LEACH et LEACH A et SEP et SEP M :

Tableau III.6 La période de stabilité pour les 4 protocoles

	LEACH	LEACH Avancée	SEP	SEP Modifié
La période de stabilité	833	1034	1377	1877

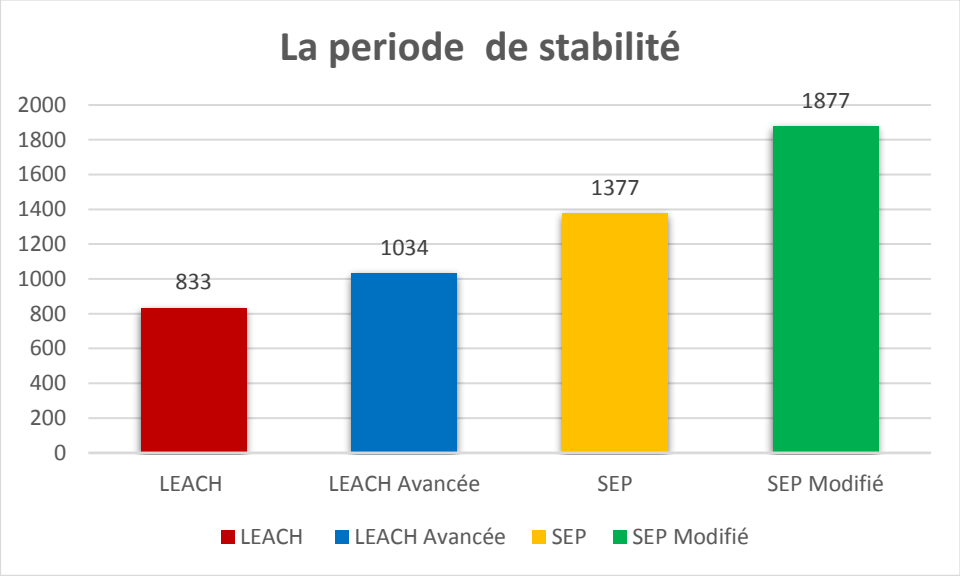


Figure III.21 La période de stabilité.

On remarque que dans la période de stabile dans le protocole sep modifié est très élevée par rapport les autres protocole (la Figure III.21 et le Tableau III.6) qui signifier que le protocole sep modifié aider les capteurs pour résister aux différentes conditions de l'environnement une durée de vie important.

7.4. L'instabilité entre les protocoles LEACH et LEACH A et SEP et SEP M :

Tableau III.7 La période de stabilité pour les 4 protocoles

	LEACH	LEACH Avancée	SEP	SEP Modifié
La période d'instabilité	910	4618	3866	863

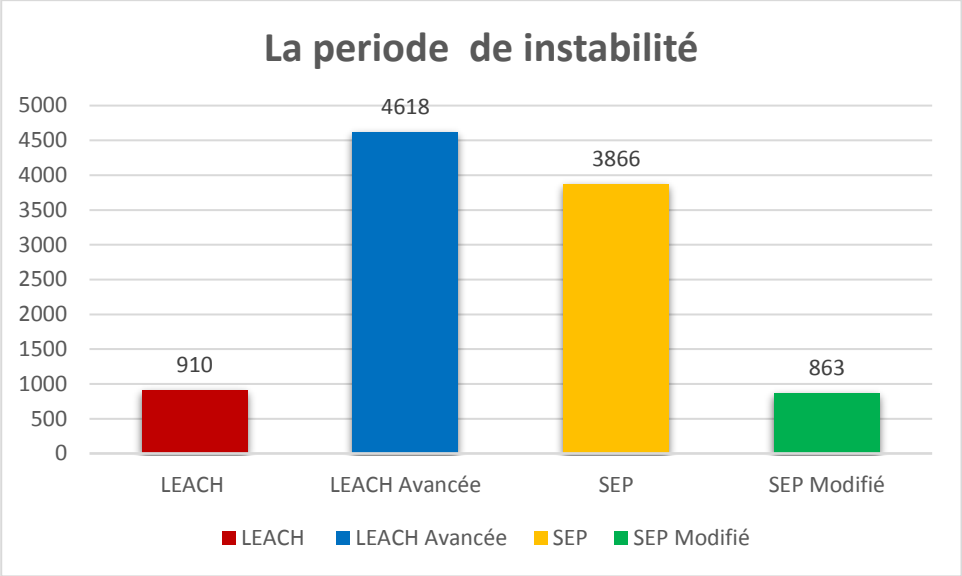


Figure III.22 La période d'instabilité.

On remarque que dans la période d'instabilité dans le protocole sep modifié est très faible par rapport les autres protocole (la Figure III.22 et le Tableau III.7).

8. Différence entre les deux protocoles LEACH et SEP

Dans les sous-sections ci-après la simulation du protocole LEACH et le protocole SEP, en présence d'hétérogénéité dans l'énergie initiale des nœuds nous évaluons le comportement des deux protocoles en termes de mesures de performance. Résumons tout d'abord nos observations générales :

• Dans un réseau de capteurs sans fil avec des nœuds hétérogènes, LEACH passe instantanément à un fonctionnement instable juste après la mort du premier nœud en raison de sa sensibilité à une telle hétérogénéité.

• Notre protocole SEP étend avec succès la période de stabilité tout en étant conscient de l'hétérogénéité avec attribution des probabilités d'élection des chefs de groupe équilibrée par la relative énergie initiale des nœuds.

• Les performances du SEP sont proches de celles d'une borne supérieure idéale obtenue, en distribuant l'énergie supplémentaire des nœuds avancés uniformément sur tous nœuds dans le champ du capteur.

• SEP est plus souple que LEACH pour la consommation globale d'énergie supplémentaire des nœuds avancés, SEP donne aussi une période de stabilité plus longue pour des valeurs plus élevées d'énergie supplémentaire.

À partir de nos simulations, nous avons observé également les éléments suivants :

1. La période de stabilité du SEP a été prolongée par rapport à LEACH dans des environnements hétérogènes (Figure III.21).

2. LEACH est assez robuste en présence d'hétérogène et assure une meilleure répartition d'énergie qu'en milieu homogène (Figure III.7).

3. L'énergie résiduelle étant plus faible dans SEP que dans LEACH pour les nœuds avancés et les nœuds normaux (Figure III.20).

Tableau III.8 Comparaison entre SEP et LEACH.

LEACH	SEP
- LEACH ne profite pas pleinement de l'énergie supplémentaire des nœuds avancés. - Les nœuds normaux meurent très vite. - Processus d'élection devenant instable rapidement. - Le nombre des paquets reçus vers la station de base est faible [27]	- SEP tire pleinement parti de l'énergie supplémentaire des nœuds avancés. - Les nœuds avancés suivent le processus de mort des nœuds normaux. - Les chefs de groupe choisis-en fonction de l'énergie des nœuds par rapport à celle des autres.

Pour résumer nos simulations, nous avons obtenu une période de stabilité prolongée, une consommation d'énergie totale du réseau. Idéalement, les nœuds avancés deviennent chefs de groupe plus que les nœuds intermédiaires et normaux. Les nœuds intermédiaires jouent le rôle de Cluster Head plus fréquemment que les nœuds normaux.

9. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats des simulations des protocoles d'auto-organisation : LEACH, LEACH Avancée, SEP et SEP Modifié. Ainsi les résultats d'amélioration du protocole d'auto-organisation SEP, dans les réseaux sans fil homogène et hétérogène, en se focalisant sur la durée de la région de stabilité, la durée de vie du réseau, et l'énergie consomme et résiduelle dans le réseau.

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

- nous avons réduit La valeur de probabilité de sélection des CHs pour les nœuds avancés.
- prenenat 20% comme des noudes avancée.

Les résultats des simulations effectuées montrent clairement que notre amélioration de protocole SEP. permet de meilleures prestations par rapport au protocole standard LEACH, en ce qui concerne la région de stabilité, la durée de vie du réseau, et l'énergie consomme et résiduelle dans le réseau.

Les réseaux de capteurs sont très importants car ils interviennent dans tous les domaines techniques et appliqués, où ils sont devenus une pierre de sécurité. Ils font partie des technologies qui se sont imposées et ne peuvent être abandonnées, qui ont commencé à changer le monde et la façon dont nous vivre et travaille.

La batterie du nœud de capteur joue le rôle important qui lui permet de durer le plus longtemps possible et de maintenir la période de stabilité, elle n'est généralement pas remplaçable ni rechargeable. Elle est également très petite, elle économise donc une quantité d'énergie très limitée. Cela limite le la durée de vie du capteur et affecte le fonctionnement global du réseau. Par conséquent, la consommation d'énergie était le sujet principal de WSN afin de prolonger la durée de vie du réseau et d'améliorer ses performances.

Les protocoles de routage hiérarchique sont l'une des technologies d'économie d'énergie les plus utilisées et les plus évolutives, et il existe aujourd'hui des recherches approfondies dans ce domaine pour améliorer et augmenter leur efficacité.

Par conséquent, nous avons pris les protocoles de routage LEACH et LEACH Avancée et nous avons choisi le protocole SEP qui est l'un des meilleurs protocoles et nous l'avons amélioré, et après avoir simulé SEP nous sommes arrivés au protocole SEP Modifié qui nous a donné des résultats très impressionnants dans la période de stabilité et la réduction de la quantité d'énergie consommée, nous avons comparé les résultats et suivi notre amélioration ce qui a conduit à une durée plus longue et une réduction considérable de la consommation d'énergie.

[1] M. Adrien VANDENBOSSCHE et M. Benoit HILT « Réseaux de capteurs sans fil étendus dédiés aux collectes de données environnementales » Université blaise pascal-clermont II 2016.

[2] LEHSAINI Mohamed, « Diffusion et couverture basées sur le clustering dans les Réseaux », Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté Besançon ,2009.

[03] F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam & E. Cayirci – « Wireless sensor networks: a survey », IEEE Communications Magazine 40 (2002), no. 8, p. 102–114.

[04] International Journal of Application and Innovation in Engineering & Management, Vol. 3, Issue 3, March 2014.

[05] YOUSEF Yaser « Routage pour la Gestion de l'Energie dans les Réseaux de

Capteurs Sans Fil », Thèse de Doctorat, université de HAUTE ALSACE, 2010.

[06] Yasser Romdhane, « évaluation des performances des protocoles S-MAC et directed diffusion dans les réseaux de capteurs », rapport de projet de fin d'étude, école supérieure des communications de Tunis, 2007.

[07] Nabil OUAZENE, « Pour une QoS au niveau de la Couche MAC dans les

Réseaux Sans Fil », mémoire de magister, Université Hadj Lakhdar Batna ,2009.

[08] Kazem SOHRABY, Daniel MINOLI, Taieb ZNATI, « wireless sensor networks: Technology, Protocols, and Applications », John Wiley & Sons, Inc, 2007.

[09] Cédric Bastien ; « Développement d'un outil permettant le suivi d'un objet

Mobile » ; Rapport de projet de fin d'étude ; ISA-SERTR. 2008.

[10] Gérard Chalhoub « MaCARI : Une méthode d'accès d´déterministe et ´économe en énergie pour les réseaux de capteurs sans fil », Thèse de Doctorat université blaise pascal, 1988.

[11] Y. Challal, « Réseaux de Capteurs Sans Fils », Support de cour, 2008

[12] Bilel NEFZI « Qualité de service temps réel dans les Protocoles IEEE 802.15.4

Et ZigBee et leurs améliorations », mémoire de magister, Université Henri

Poincaré Nancy I, 2007

[13] Yacine CHALLAL, « Les réseaux de capteurs sans fil », cours, université

Compiègne, France, 2008.

[14] Samir ATHMANI, « Protocole de sécurité Pour les Réseaux de capteurs Sans

Fil » mémoire de magister, Université Hadj Lakhder - Batna, 2010.

[15] BOUDJAADAR Amina, « Plateforme Basée Agents Pour l'Aide à la Conception et la Simulation des Réseaux de Capteurs Sans Fil », mémoire de magister, université 20 aout 55 de skikda, BOUDJAADAR Amina, 2010.

[16] A. Makhoul, « Réseaux de capteurs : localisation, couverture et fusion de données », Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'Université de Franche-Comté, novembre 2008.

[22] Talwandi Sabo, District Bathinda, Punjab, India, International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 3, Issue 3, Improved Cluster Head Selection Using Enhanced LEACH Protocol Nikita Sehgal, Gurwinder Kaur Department of Electronics and Communication Engineering Yadavindra College of Engineering (YCoE) Punjabi University Guru Kashi Campus, September 2013.

[23] F. Theoleyre, « Une auto-organisation et ses applications pour les réseaux ad hoc et hybrids ». Thèse de Doctorat, 2006.

[24] Ana-Belen Garcia-Hernando, Jose-Fernan Martinez-Ortega, Juan-Manuel Lopez- Navarro, Aggeliki Prayati, and Luis Redondo-López, Problem Solving for Wireless Sensor Networks, Series: Computer Communications and Networks, ISBN-10: 1848002025, ISBN-13: 978-1848002029, Springer, 2008.

[26] MAHMODI Brahim « Développement et évaluation de fonctionnalités d'auto-organisation Pour les réseaux de capteurs sans fil ». Mémoire de magister, UNIVERSITE Dr YAHIA FARES DE MEDEA, Janvier 2014

[27] W. R. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, «Energyefficient communication protocol for wireless microsensor networks». in Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS-33), January 2000.

[28] K. Holger and Andreas Willig. « Protocols and Architectures for Wireless

Sensor Networks. Wiley, 2005.

[29] Doufène, N et H Hadjammar. « Routage dans les réseaux de capteurs : optimisation du protocole Directed Diffusion. » Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état. Institut National de formation en Informatique, 2006.

[31] Bouabdellah Kechar, « problématique de la consommation de l'énergie

Dans les réseaux de capteurs sans fil », LIUPA, université d'Oran, Octobre 2007.

33] Mr. Ramoul Khaled Mr. Ben Ykhlef Souhil « Contribution à l'amélioration de la stabilité des réseaux de capteur sans fil (WSNs) », Mémoire de fin d'études de Master, UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA, 2019-2020.

[34] GUETTAF Dihia, HADJAL Lydia. « Amélioration et simulation du protocole de routage AORP dans les réseaux de capteurs sans fil», Mémoire fin de cycle, En vue de l'obtention du diplôme de Master Professionnel en informatique, Promotion 2015-2016.

[35] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, «An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks», IEEE Trans. Wirel. Commun., vol. 1, no. 4, pp. 660–670, 2002, doi: 10.1109/TWC.2002.804190.

[36] K. Holger and Andreas Willing. «Protocols and Architectures for Wirless Sensor Networks». Wiley,2005

[37] Stanislava Soro and Wandi B. Heinzelman. «Prolonging the lifetime of wireless sensor networks via unequal clustering». In Proceedings of 19th IEEE International Parallel andDistributed Processing Symposium (IPDPS'05), Denver, Colorado, USA, April 2005

[38] Keith Hellman and Michael Colagrosso. «Investigating a wireless sensor network optimal lifetime solution for linear topologies». Journal of Interconnection Networks, 7(1) :91 99, 2006

[39] Sameer Tilak, Nael B. Abu-Ghazaleh, and Wendi Heinzelman. «A taxonomy of wireless micro-sensor network models. SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Re- view», 6(2) :28 36, 2002.

[40] Wei Mo, Daji Qiao, and Zhengdao Wang. «Mostly-sleeping wireless sensor networks: Connectivity, k-coverage, and alpha-lifetime. In Proceedings of the the 43rd Annual AllertonConference on Communication, Control, and Computing», Monticello, IL, USA, 2005.

[41] V. S. and A. Pughat, «Energy-Efficient Wireless Sensor Networks». Boca Raton : Taylor & Francis Group, LLC, 2018.

[42] GUETTAF Dihia, HADJAL Lydia. « Amélioration et simulation du protocole de routage AORP dans les réseaux de capteurs sans fil », Mémoire fin de cycle, En vue de l'obtention du diplôme de Master Professionnel en informatique, Promotion 2015-2016.

[43] BOUCHELAGHEM Siham, GHEBBI Sofian, HAMANI Mounir, « Le protocole LEACH pour les réseaux de capteur sans fil », Université Abderrahmane Mira Bejaia, Faculté des sciences exactes, Département d'informatique.

[44] W. R. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, «Energyefficient communication protocol for wireless microsensor networks», in Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS-33), January 2000.

[45] D. E. Boubiche, « Protocole de routage pour les réseaux de capteurs sans fil », Mémoire de magistère, Université de l'Hadj Lakhdar, Batna, Algérie, 2008.

[46] W. Heinzelman, A.P. Chandrakasan and H. Balakrishnan, «An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks», In IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 1, No. 4, pp. 660-670. June (2002).

[47] Sachin Mujumdar, « Prioritized Geographical Routing in Sensor Networks », Thèse, Université Vanderbilt, Mai 2004.

[48] BOUBICHE Djallel Eddine, « Protocole de routage pour les réseaux de capteurs sans fil », mémoire de magister, Université Hadj Lakhder - Batna, 2008.

[49] Ravneet Kaur, Deepika Sharma and Navdeep Kaur, «Comparative Analysis of Leach and Its Descendant Protocols in Wireless Sensor Network», International Journal of P2P Network Trends and Technology, Vol. 3, Issue 1, 2013, pp. 51-55.

[50] Ali Norouzi1, Abdul Halim Zaim, «An Integrative Comparison of Energy E_cient Routing Protocols in Wireless Sensor Network, Scienti_c Research of Wireless Sensor Network», Vol. 4, 2012, pp. 65-67.

[51] Parminder Kaur1, Mrs. Mamta Katiyar, «The Energy-E_cient Hierarchical Routing Protocols for WSN: A Review, International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering», Vol. 2, Issue 11, November 2012, pp. 194-199.

[52] J. Gnanambigai, Dr. N. Rengarajan, K. Anbukkarasi, «Leach and Its Descendant Protocols: A Survey, International Journal of Communication and Computer Technologies», Vol. 01, No.3, Issue 02, September 2012, pp. 15-21.

[53] 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)

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

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

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

[58] Hania AOUDIA, Youcef TOUATI, Arab ALI-CHERIF et Patrich GREUSSAY, « Approche de routage hiérarchique basée sur un mécanisme de clustering dans les réseaux de capteurs sans fil », Manuscrit auteur, publié dans 9ème édition de la conférence MajecSTIC, université de Lille, 2012.

[60] M. ABDALLAH ELHADJ Ibrahim, M. BACHENE MohamedAmine, « AMELIORATION DE LA STABILITEDES RESEAUX DE CAPTEURS SANS FILS », Projet de Fin de Cycle, UNIVERSITE DE MEDEA, 2020.

[61] Akyildiz I., Su W., Sankarsubramaniam Y., Cayirci E., «A Survey on Sensor Networks», Georgia Institute of Technology, IEEE Communications Magazine, Aout 2002.

[62] Holger K., Willig A., « A short survey of wireless sensor networks », Technical university Berlin, Telecommunication Networks Group, Octobre 2003.

[63] Culler D., Estrin D., Srivastava M, « Overview of sensor networks », University of California, Berkeley, IEEE Computer Society, Aout 2004.

[66] Abdallah Makhoul, « Réseaux de capteurs : localisation, couverture et fusion de données », Université de Franche-comté. 2008.

[64] Kamal Beydoun, « Wireless Sensor Network Infrastructure: Construction and Evaluation», University of Franche-Comté, January 2009.

[65] P. Kuila and P. K. Jana, « Clustering and routing algorithms for wireless sensor networks: Energy efficiency approaches », CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business, 2018.

[67] Oussama Benzaid, Ishak Bouyahia, « surveillance de trafic routier urbain par un réseau de capteur sans fil », Mémoire de Master en Génie électrique, Option Système Intelligents et Communicants, Université de Médéa, Juin 2015.

[68] George F. Riley «Using the Georgia Tech Network Simulator», Georgia Institute of Technology, 2000.

Web graphie

[17] http://spiroprojects.com/blog/cat-view-more.php?blogname=What-is-Wireless-Sensor-Network-(WSN)?&id=139

[18] https://healthcare-in-europe.com/en/news/apple-watch-health-studies-to-benefit-from-new-smartwatch-app.html

[19] https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=1110

[20] https://www.allteksystemsla.com/security.html

[21] https://www.francetvinfo.fr/sports/foot/nouvelles-technologies-le-mondial-2014-deja-dans-l-histoire_1692881.html

[30] https://fr.wikipedia.org/wiki/MATLAB