

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -
Tasdawit Akli Muḥend Ulḥağ - Tubirett -



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة أكلي محمد أولحاج
- البويرة -
كلية العلوم والعلوم التطبيقية

Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées

Mémoire de Master

Présenté au

Département : Génie Électrique

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Réalisé par :

BENDOU DAHBIA

DECHOUCHA AMEL

Thème

Maximisation de la couverture des nano capteurs dans les WSNs

Soutenu le: **03/ 07/2024**

Devant le Jury composé de :

Mr :	Said MOUDACHE	M.A.A	Univ. Bouira	président
	Bilal SAOUD	M.C.A	Univ. Bouira	Encadreur
	Smail MEDJDOUB	M.A.A	Univ. Bouira	Examineur

Dédicaces 1

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail :

Particulièrement à mon cher papa,

Pour son amour inestimable, ces sacrifices, sa confiance, son soutien qu'il a su m'inculquer tout au long de mes études, que dieu le préserve.

A ma chère maman,

Dont le courage dans l'éducation et la prise en charge de ses enfants, sa tendresse et douceur, méritent, incontestablement, ma plus grande gratitude.

A mes sœurs et mes frères,

Je le sais, ma réussite est très importante à leurs yeux, que dieu vous garde pour moi.

A tous mes amis, ma famille, mes proches, mes collègues d'étude et à toute personne qui m'a aidé à réaliser ce travail.

aussi à mes prof de tout mon parcours éducatif

Bendou dahbia.

Dédicaces 2

Je dédie ce mémoire

A mes chers parents ma mère

et mon père

Pour leur patience, leur amour, leur

soutien et leur encouragement.

A mes frères et

sœurs.

A mes amis et

camarades.

Sans oublier tout les professeurs

que ce soit du primaire, moyen, du

secondaire ou de l'enseignement

supérieur.

Amel

Remerciements

Ce travail a été effectué au sein du Département des Sciences et sciences appliquées de l'Université de Bouira.

Je tiens à remercier, en premier lieu, Dr. Bilal Saoud, Directeur de ce mémoire. pour son encadrement de qualité exceptionnelle, sa motivation professionnelle, ses conseils et critiques constructives, ses corrections, sa rigueur, sa gentillesse et sa patience ainsi que pour son temps consacré à la réalisation de ce travail.

Je remercie également tous les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail

Enfin, j'associe à ces remerciements tous ceux qui ont contribué à réaliser ce travail.

Resumé

Les réseaux de nano-capteurs sans fil (WNSNs) sont des ensembles de petits capteurs interconnectés qui communiquent sans fil pour surveiller des environnements ou des systèmes. Leur maximisation implique l'optimisation de plusieurs aspects, notamment l'efficacité énergétique, la couverture, la connectivité et la durée de vie du réseau. Les défis principaux incluent la gestion de l'énergie limitée des capteurs, l'établissement de routes efficaces pour la transmission des données et la gestion des interférences. Les protocoles DEEC, DDEEC et E-DEEC représentent des avancées successives pour améliorer l'efficacité énergétique et prolonger la durée de vie des réseaux de nano-capteurs sans fil. Chacun de ces protocoles introduit des mécanismes spécifiques pour mieux gérer la distribution de l'énergie, chaque itération offrant des améliorations par rapport à la précédente. La sélection d'un protocole dépend des exigences spécifiques de l'application et de l'environnement du réseau.

Table des Matières

Remerciements	I
Resumé	II
Table des matière	III
Liste des Figures	VI
Liste des Tableaux	VII
Listes des Acronymes et Symboles	VIII

Introduction Générale **1**

Chapitre 1 : Présentation du réseau de nano-capteurs sans fil

I.1.Introduction.....	5
I.2. Définition d'un réseau ad hoc.....	5
I.3.Architecture d'un réseau de nano capteurs sans fils.....	6
I.4.Différences entre les réseaux de capteurs et les réseaux Adhoc	7
I.5. nano capteur	8
I.5.1. Définition d'un nano capteur	8
I.5.2 Architecture d'un nano capteur	9
I.5.3.Les types de nano capteurs	11
I.5.3.1.Nano capteurs physiques	11
I.5.3.2.Nano capteurs chimiques	12
I.5.3.3.Nano capteurs électriques et optiques	13
I.5.4. Applications des nano capteurs.....	14
I.6.Conclusion.....	18

Chapitre 2 : Protocoles de routages dans les WSNs.

II. 1. Introduction	20
II .2. Routage	20
II .3. Classification des protocoles de routage dans les RNCSF	21
II .3.1. Selon La structure de réseau (Topologie)	21
II .3.1.1. Les protocoles de routage plat (flat based-routing).....	21
II .3.1.2 Les protocoles de routage hiérarchique	22
II.3.1.3 Les protocoles de routage avec localisation géographique.....	22

II.3.2. Selon le type de protocole	23
II.3.2.1. Protocole de routage basé sur la QoS	23
II.3.2.2. Protocole de routage basé sur la négociation des données	24
II.3.2.3. Protocole de routage multi-chemin	24
II.3.2.4. Protocole de routage basé sur les interrogations	24
II.4. Les protocoles de routage proposés pour les RNCSF	24
II.4.1. Protocoles de routage hiérarchiques	24
II.4.1.1. DEEC	24
II.4.1.1.1. Principe de Base.....	25
II.4.1.1.2. Sélection des Chefs de Cluster	25
II.4.1.1.3. Phases de Fonctionnement	25
II.4.1.1.4. Principales caractéristiques du protocole DEEC.....	26
II.4.1.1.5. Avantages du DEEC dans les WSNs.....	26
II.4.1.2. DDEEC.....	27
II.4.1.2.1. Objectif Principal	27
II.4.1.2.2. Principes de Base.....	27
II.4.1.2.3. Sélection des Chefs de Cluster.....	27
II.4.1.2.4. Cycle de Vie du Réseau.....	27
II.4.1.2.5. L'efficacité énergétique distribuée développée	28
II.4.1.2.6. Adaptation Dynamique	28
II.4.1.2.7. les Avantages du DDEEC.....	28
II.4.1.3. E- DEEC	28
II.4.1.3.1. Clustering hiérarchique	29
II.4.1.3.2. Sélection du chef de cluster	29
II.4.1.3.3. Multiniveau ET hétérogénéité énergétique	29
II.4.1.3.4. Optimisation de la durée de vie du réseau.....	29
II.4.1.3.5. Communication efficace.....	29
II.4.1.3.6. Avantages du protocole E-DEEC.....	29
II.5. Conclusion	30

Chapitre 3 : Evaluation des protocoles de routages dans les WSNs

III. 1. Introduction	32
III .2. Présentation de simulateur "Matlab".....	32
III .3. Modèle radio	32
III .4. Les paramètres de simulation	33
III.5. Evaluation des performances.....	34
III.5.1. Comparaison de nombre des nœuds vivants.....	35

III.5.2. Comparaison de nombre des nœuds mort.....	36
III.5.3. Comparaison de nombre des paquets envoyé vers la station de base	37
III.5.4. Comparaison de nombre de cluster Heads.....	38
III .6.Synthèse.....	38
III .7.Conclusion	41
Conclusion Générale	43
Références	44

Liste des Figures

Figure I .1.exemple d'un réseau ad hoc.....	5
figure I.2.la différence entre l'echange en mode infrastructure et en mode ad-hoc	6
Figure I. 3 .wnsn interdactant avec micro-passerelle	6
Figure I .4 un nano capteur	9
Figure I .5. Architecture des nano capteurs	9
Figure I .6 . Un nano-capteur pour traquer les cellules cancéreuses	12
Figure I .7 : Schéma de principe de l'architecture d'un biocapteur.....	13
Figure I. 8 : surveillance de la santé.....	14
Figure I. 9 : Surveillance environnementale.....	14
Figure I. 10 : un robot Asus a un nano capteur capable de détecter les pesticides dans les produits alimentaires	15
Figure I .11 : le contrôle de la qualité	15
Figure I .12 : Sécurité et défense	16
Figure I.13 : La miniaturisation des composants électroniques et des capteurs industriels	17
Figure I .14 : Surveillance de la santé structurelle.....	17
Figure II.1 : Protocoles de routage pour les RC selon la structure du réseau.....	21
Figure II. 2 : Routage plat.	21
Figure II.3 : Architecture du routage hiérarchique.....	22
Figure II.4 : routage avec localisation géographique.....	23
Figure II. 5 : Protocoles de routage pour les RC selon le type de protocole.	23
Figure III.1 : modèle de consommation d'énergie	33
Figure III.2. : Évolution du nombre des nœuds vivants par rapport nombre de rounds	35
Figure III.3 : Évolution du nombre des nœudsmort par rapport à nombre de rounds.....	36
Figure III.4 : Évolution du nombre des paquets envoyer vers la SB par rapport à nombre de rounds.....	37
Figure III.5 : nombre de cluster heads par rapport à nombre de rounds.....	38

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : Comparaison entre RSCF et A-hoc.....	8
Tableau III. 2 :Les paramètres de simulation.....	34

Listes des Acronymes

WNSN	Wireless Nano-Sensors Network
RNCSF	Réseaux Nano Capteur Sans Fils
CH	Cluster-Head
PDR	Paquet Delivery Ratio
DEEC	Distributed Energy-Efficient Clustering
BS	Base Station
DDEEC	Developed Distributed Energy-Efficient Clustering
E-DEEC	Enhanced Distributed Energy-Efficient Clustering
PDR	Paquet Delivery Ratio
QOS	Qualité Of Service
RRAM	Resistive Random Access Memory
CNTs	Carbon Nanotubes
ZnO	Oxyde de Zinc
GNR	Graphen Nanoribbons
WAN	Wide Area Network
MANET	Mobile Ad Hoc Network
MATLAB	MATrix LABoratory
GPS	Global Position System

Introduction générale

Introduction générale

Les progrès réalisés dans les systèmes micro-électromécaniques d'une part, et dans les technologies de communication sans fil d'autre part, ont donné naissance à des nouveaux appareils exceptionnels appelés nano capteurs. Ces dispositifs combinent les capacités de détection avancées des technologies avec les avantages de la communication sans fil, ouvrant la voie à la création de Réseaux de Nano Capteurs Sans Fil (NWSN - Nano Wireless Sensor Networks).

Les nano capteurs sont caractérisés par leur taille extrêmement réduite, souvent à l'échelle nanométrique, ce qui leur permet d'être intégrés dans des environnements très divers et d'opérer à des niveaux de précision et de sensibilité inégalés. Ils sont capables de détecter et de mesurer des paramètres physiques, [1]-[3]. chimiques ou biologiques avec une grande précision, puis de transmettre ces données à des nœuds de collecte ou à des stations de base via des communications sans fil.

Les applications potentielles des WSNs sont vastes et variées. Dans le domaine médical, ils peuvent être utilisés pour le monitoring en temps réel de paramètres physiologiques chez les patients, permettant des diagnostics précoces et des interventions rapides. En environnement, les nano capteurs peuvent surveiller la qualité de l'air, détecter des polluants ou suivre les changements climatiques avec une précision granulaire [4]-[6]. Dans la sécurité, ils peuvent être déployés pour la détection de substances dangereuses, comme des explosifs ou des agents chimiques, offrant ainsi des solutions avancées pour la protection des infrastructures critiques et la sécurité publique.

Cependant, malgré leur potentiel énorme, les WSNs sont confrontés à des défis significatifs, notamment en ce qui concerne la gestion de l'énergie et la communication efficace. La taille réduite des nano capteurs limite leur capacité de stockage d'énergie, rendant crucial le développement de stratégies optimisées pour prolonger leur durée de vie. Le routage efficace des données dans ces réseaux est également un enjeu clé, car des protocoles de communication inefficaces peuvent rapidement épuiser les ressources énergétiques des capteurs.

Un grand nombre de protocoles de routages ont été proposés dans le but de minimiser la consommation d'énergie dans un réseau de capteurs. Cependant, les protocoles de routages à base de clustering, qui est la technique la plus efficace pour la conservation d'énergie, prouvent leurs efficacités. Dans une architecture basé-cluster, le réseau est partitionné en groupes dont un seul nœud appelé cluster-head (CH) est choisi comme nœud maître, ce nœud reçoit les données des nœuds de son groupe, les agrège et puis les transmet à la station de base (SB). Dans notre travail, nous implémentons trois protocoles à base de clustering (DEEC, DDEC, E-DEEC). Ils se concentrent principalement sur la gestion efficace de l'énergie les protocoles proposé vise à réaliser un choix raisonnable du CH approprié

pour tous les nœuds des nano capteurs. Les résultats de l'implémentation sont discutés dans le chapitre trois. Notre étude nous permet d'évaluer ces protocoles en termes de la gestion de l'énergie et la communication de l'information entre les nœuds et les stations de bases.

Le manuscrit est organisé comme suit :

Le premier chapitre introduit une Présentation du réseau de nano-capteurs sans fil.

Le deuxième chapitre présente les protocoles de routages qui existent afin d'améliorer la durée de vie d'un WSNs.

Dans Le troisième chapitre, l'implémentation des protocoles (DEEC,DDEEC, E-DEEC), évaluations de ces derniers avec les résultats de simulation sont détaillés.

Notre manuscrit est finalise avec une conclusion et quelques perspectives.

Chapitre I : Présentation du réseau de nano-capteurs sans fil

I.1.Introduction

Progrès récents dans les nanomatériaux et les nanotechnologies ont permis le développement de dispositifs nanométriques minuscules, Composé d'une nano batterie, d'une mémoire, d'une antenne et d'une unité d'actionnement, Les nano machines sont des nano-nœuds entièrement autonomes capables d'exécuter des opérations simples tout en communiquant à court distances. Les nano-nœuds sans fil, capables de Détecter et interagir avec leur environnement, apportera des changements radicaux dans les applications de la vie quotidienne. Cependant, en raison de leur petite taille, de leur énergie et de leur physique (par ex. Les capacités de calcul, de stockage) sont extrêmement limitées. Comme un résultat, des applications intéressantes, utilisant le réseau de communication sans fil de nano capteurs (WNSN), peut exiger des milliers de nano nœuds coopérants. Par exemple, les dispositifs à l'échelle nanométrique, qui fonctionnent à l'échelle nanométrique, pourrait fournir des solutions technologiques très importantes dans divers domaines, y compris la biologie, l'armée, l'agriculture, villes intelligentes, environnement et sécurité alimentaire. Pour Exemple, des nano capteurs pourraient détecter des composés chimiques au niveau atomique ou à l'existence de substances toxiques dans l'air/eau.

I.2. Définition d'un réseau ad hoc

Un réseau ad hoc, appelé généralement MANET, est une collection d'unités mobiles munies d'interfaces de communication sans fil, formant un réseau temporaire sans recourir à aucune infrastructure fixe ou administration centralisée [7]. Dans de tels environnements, Les unités se comportent comme des hôtes et/ou des routeurs [8].

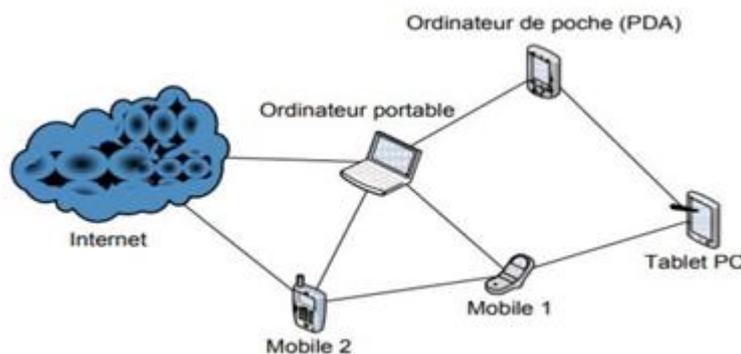


Figure I.1 : exemple d'un réseau ad hoc.

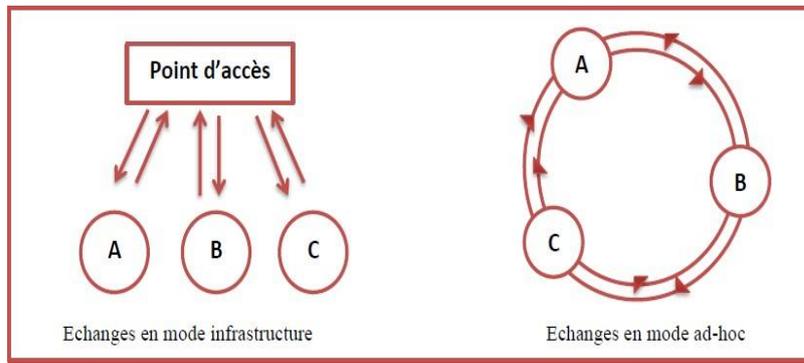


Figure I.2 :la différence entre l'echange en mode infrastructure et en mode ad-hoc.

I.3. Architecture d'un réseau de nano capteurs sans fils

Les nano capteurs individuels possèdent des portées de détection limitées, principalement confinées à leurs nœuds voisins immédiats. Par conséquent, les réseaux sans fil de nano capteur (WNSNs) exigent des zones de couverture plus larges. Les WAN comprennent des nano capteurs interconnectés dispersés pour couvrir des zones étendues, facilitant la détection et la collecte de données dans l'environnement. Ces données sont ensuite transmises à une unité de prise de décision via des micro-dispositifs conventionnels, qui servent d'intermédiaires entre le WNSN et le micro monde [9]. Comme indiqué en [10], un WNSN standard comprend généralement un réseau de nano capteurs, qui peuvent être fixes ou mobiles en fonction des exigences de l'application. Ces nano capteurs sont déployés dans une zone ciblée pour capturer divers événements à proximité.

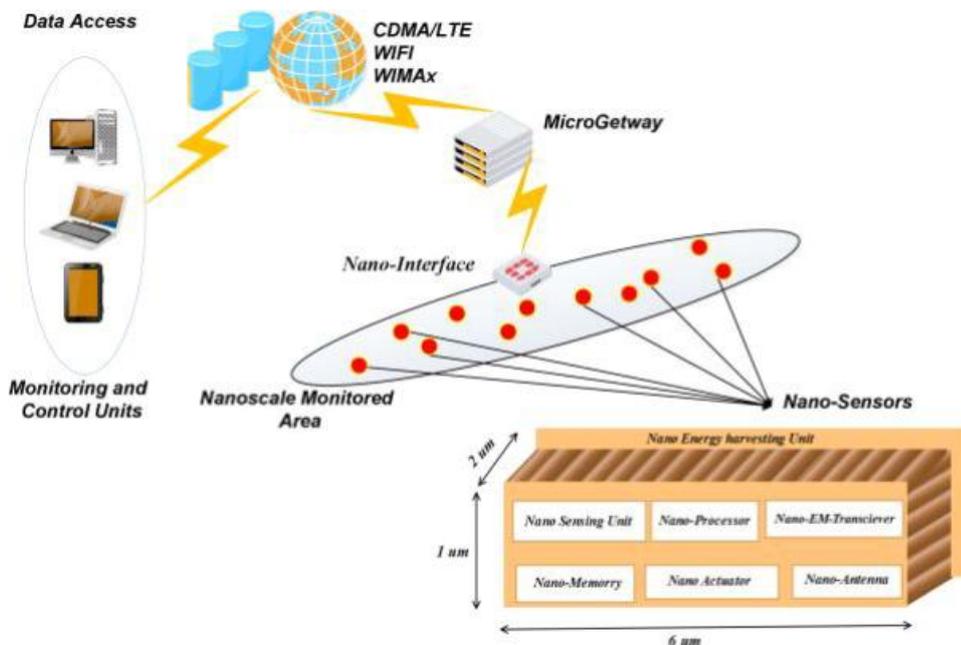


Figure I. 3:wnsn interfacant avec micro-passerelle.

La structure hiérarchique illustrée dans la figure 4 permet aux WAN de s'interfacer avec des micro-passerelles. L'architecture de réseau des WSNs comprend des nano-nœuds, des nano-routeurs et une nano-interface. Les nano-nœuds, caractérisés par leurs capacités de détection sélective, peuvent sonder des régions inaccessibles en détectant des nano-composants. Cependant, en raison de leurs capacités énergétiques et de communication limitée, ils ne peuvent communiquer que sur de courtes distances. Les nano-routeurs, de plus grande taille et possédant des ressources de calcul plus importantes que les nano-nœuds, agrègent les données des nœuds de nano-capteurs et émettent des commandes pour réguler le comportement des nano-nœuds.

L'interface nano-micro sert de pont entre les nano-routeurs et les dispositifs à micro-échelle, agrégeant les informations des nano-routeurs et les transmettant vers ou depuis des dispositifs à micro-échelle. Ces interfaces sont des dispositifs hybrides capables de faciliter la communication entre les mondes nano et micro. Ils sont conçus pour convertir les messages WSN en protocoles réseau traditionnels (par exemple, Wifi, réseaux cellulaires) et vice versa. Les micro-passerelles, équipées de deux émetteurs-récepteurs, communiquent avec les réseaux sans fil dans la bande THz tout en s'interfaçant avec les systèmes de micro-réseaux conventionnels.

I.4. Différences entre les réseaux de capteurs et les réseaux Adhoc

Dans les réseaux ad hoc traditionnels, les tâches qui traitent l'organisation, la gestion, le routage, et de mobilité visent l'optimisation des différents paramètres de qualité de service (QoS) tel que l'efficacité dans le débit et les délais de transmission sous la contrainte de mobilité. Cependant, les réseaux de capteurs englobent un grand nombre de nœuds prospère des sources d'énergie irremplaçable à cause de leur utilisation distante non-assistée dans les environnements hostiles. Ces capteurs communiquent entre eux avec un taux de transmission très faible de l'ordre de 1 à 100kbps. Pour cela, et contrairement aux réseaux Ad hoc classiques, le but principal des techniques utilisées est de prolonger la durée de vie des batteries afin de prévenir les dégradations de connectivité dans le réseau. Enfin, les communications dans les réseaux de capteurs sont, dans la plus part des temps, unidirectionnels à partir des capteurs vers le nœud puits [8].

Réseaux de capteurs sans fil	Réseaux Ad-hoc
Objectif bien ciblé	Objectif général en communication
Nœuds en collaboration	Chaque nœud a son propre objectif
Très grand nombre de nœuds	Peu de nœuds
Energie comme facteur déterminant	Débit majeur
Communication broadcast « one to many »	Communication point à point«any toany»
Les nœuds capteurs n'ayant pas tous un identificateur ID à cause du très grand nombre de senseurs.	Chaque nœud a son propre ID
Les nœuds interagissent avec l'environnement.	Les nœud sinteragissent directement avec l'utilisateur.

Tableau I.1 :Comparaison entre RSCF et A-hoc [11] [12].

I.5. Nano capteur

I.5.1. Définition d'un nano capteur

Les nano capteurs sont de minuscules dispositifs de détection dotés d'au moins une dimension de détection jusqu'à 100 nm. Ils sont cruciaux en nano technologie pour détecter les changements physiques, chimiques et biochimiques dans les cellules, mesurer les matériaux toxiques et surveiller l'environnement industriel. Les matériaux nano structurés tels que les nanotubes de carbone et les nano particules métalliques sont utilisés dans leur fabrication. Les nano capteurs sont utilisés dans divers domaines comme l'industrie, l'environnement, le militaire et l'aérospatiale pour des applications telles que la détection de fuites, le contrôle de la qualité alimentaire, la surveillance de la qualité de l'air et de l'eau, ainsi que l'analyse chimique du sol et de l'atmosphère. Ils peuvent être classés en actifs ou passifs selon leur source d'énergie. [13]

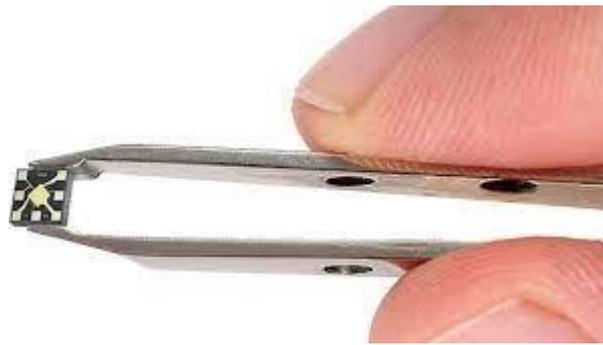


Figure I.4 :un nano capteur.

I.5.2. Architecture d'un nano capteur

Les nano capteurs miniaturisés bénéficieront des progrès extrêmement avancés dans la nano technologie et les nano matériaux, et seront utilisés pour examiner des zones qui étaient autre fois inaccessibles, comme le diagnostic et le traitement des maladies. Selon [10], un nœud nano capteur générique comprend un module de source d'énergie, un actif de communication, un nœud à distance de traitement avec la mémoire nano, et un module pour la détection et l'actionnement .

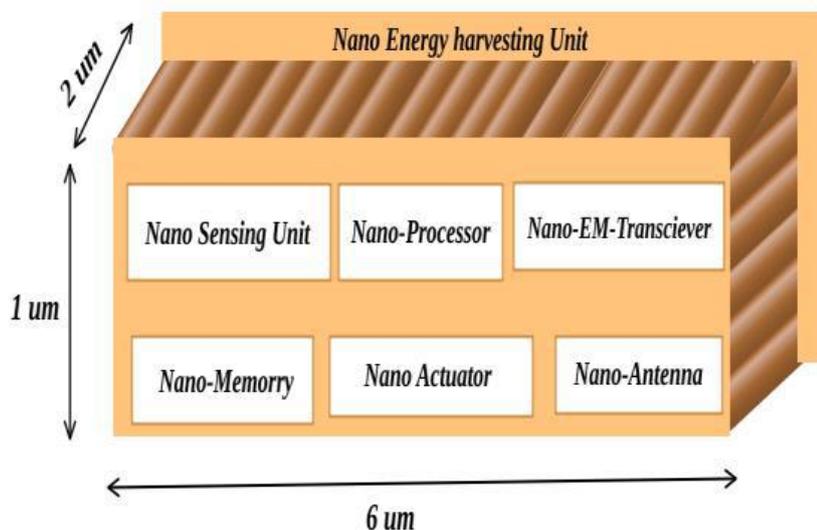


Figure I .5 : Architecture des nano capteurs [10].

- **L'unité de détection**

Grâce à sa sensibilité et sa sélectivité élevées, l'unité de détection peut détecter un événement optique, biologique ou mécanique et transformer la réponse en un signal électrique de sortie. Généralement, graphène GNR et le carbone de nano tube NTC [10]. C'est une entité ces unités sont développées utilisant le nano matériel, tel que le sensible, qui peut détecter de nouvelles collections

d'événements à l'échelle nanométrique, telles que les propriétés des nano matériaux, la concentration de certains éléments chimiques et la présence de bioéléments (par exemple, virus ou bactéries).

La mise au point de nouveaux nano matériaux a énormément accéléré le développement de systèmes de collecte d'énergie nanométrique à grande échelle, avec une densité de puissance élevée, un bon moment pour vivre et des périodes de charge/décharge [14]. Cependant, le nano-capteur peut être distribué dans des zones inaccessibles où il n'est pas possible de recharger. C'est pourquoi on a introduit des approches et des techniques d'auto-puissance. Les systèmes d'alimentation autonomes peuvent convertir une forme d'énergie (c'est-à-dire les énergies mécaniques, thermiques, vibratoires ou hydrauliques) en énergie électrique. On obtient cette conversion en utilisant l'effet nano-piézoélectrique de l'oxyde de zinc (Zno), lequel convertit une énergie mécanique à l'échelle nanométrique en électricité [15]. En [16], les auteurs ont exposé une méthode pour récupérer de l'énergie thermo-électrique en convertissant la chaleur en électricité en utilisant le gradient de température entre deux conducteurs électriques différents.

De même, les nano-transistors basés sur le graphène fournissent un transport d'électrons balistiques qui permet le développement de dispositifs de commutation plus rapides [17], [18]. Récemment, le laboratoire national de Berkeley à l'université de Stanford en Californie a développé le plus petit transistor. C'est un nano transistor de disulfure de molybdène (MoS₂) avec une porte physique de 1 nm [19]. Cependant, la taille nanométrique des nano capteurs limite le nombre total de transistors dans un nano-processeur et la complexité des opérations.

- **L'unité de stockage**

L'unité de stockage est responsable du stockage des données agrégées provenant de l'élément de détection. En raison des restrictions de taille du stockage des nano machines, les données à l'échelle nanométrique sont l'un des problèmes qui font toujours l'objet de recherche et développement. Récemment, des recherches ont annoncé qu'il est possible de stocker des données directement dans le plus petit composant possible. Les mémoires atomiques ont maintenant été introduites en utilisant des nanotubes de carbone. Les chercheurs ont intégré plus d'un million de cellules de mémoire à accès aléatoire (RRAM), ce qui en fait le système nanoélectronique le plus complexe jamais créé avec les nanotechnologies émergentes [20]. Les chercheurs ont également introduit une méthode pour magnétiser des sections de nano file. En produisant un courant, ils peuvent déplacer les sections magnétiques le long du fil, ce qui permet aux données d'être lues par un nano capteur fixe [21].

- **L'entité de nano-antenne**

L'entité de nano-antenne est responsable de permettre la communication entre les nano-dispositifs. Les progrès récents dans les nanomatériaux, tels que les CNTs et les GNRs, ont ouvert la voie à la construction de nano-antennes à base de graphène et d'antennes de nanotubes de carbone pour la communication entre les dispositifs de nano capteur [22] [23]. La taille réduite de nano-antenne peut réaliser les exigences de taille de nano-dispositif et peut rayonner dans la fréquence de fonctionnement élevée dans la bande de Téra hertz. Une nano-antenne de graphène de 1 μm de long peut émettre des ondes électromagnétiques dans la gamme de produits 1 -10 Téra hertz [10] [24].

- **Nano-émetteurs-récepteurs**

Nano-émetteurs-récepteurs sont des nano dispositifs capables de convertir un événement nanométrique de reconnaissance en un phénomène physique mesurable, tel qu'un changement de résistance électrique. Ceux-ci plus tard peuvent rayonner par une nano-antenne aux fréquences de bande de Thz. Un nano-émetteurs-récepteurs plasmique à base de graphène pour la communication sans fil dans la bande Téra hertz a été présenté récemment en [25]. Le système proposé est composé d'un générateur de signaux, qui génère un signal électrique qui doit être transmis, et d'un émetteur plasmique, qui convertit le signal en une onde SPP modulée. L'onde SPP est ensuite rayonnée par une nano-antenne à des fréquences de bande Thz.

- **Nano-actionneurs**

Le rôle principal des nano-actionneurs est de permettre au nano-capteur d'interagir avec les événements environnants. Cette entité reçoit le signal d'entrée de contrôle (généralement sous la forme électrique) et génère un changement dans le nano-système physique en produisant une rétroaction physique, telle que la force, le mouvement, la chaleur. Selon [10], il existe trois types d'actionneurs : physique, biologique et chimique. Le nano-actionneur piézoélectrique est proposé comme l'un des nouveaux actionneurs, capables d'atteindre une résolution de positionnement à l'échelle nanométrique. Ce type d'actionneurs fournira des actions et des processus intelligents et exacts en nano-dimension [26].

I .5.3.Les types de nano capteurs

Les nano capteurs peuvent être regroupés en différentes catégories en fonction de ce qu'ils mesurent et de la nature de leurs signaux de sortie. Les trois principales catégories de mesures sont les mesures physiques, chimiques et biologiques. De plus, une distinction utile peut être faite entre les signaux du capteur électriques et optiques. Voici un aperçu de chaque type :

I .5.3.1.Nano capteurs physiques

Les nano capteurs physiques sont conçus pour détecter les variations dans des grandeurs physiques telles que la température, la vitesse, les forces électriques, etc. Leurs applications sont vastes, allant de la vie quotidienne aux industries. Lorsqu'analysées par un algorithme, ces mesures peuvent indiquer si une chaîne de production fonctionne de manière optimale, ou si un patient est en état de maladie ou s'améliore.

Nano wear Inc., une entreprise spécialisée dans l'utilisation de nano capteurs physiques, conçoit des sous-vêtements portables permettant de détecter les signes précoces d'insuffisance cardiaque chez les patients souffrant de maladies chroniques. Cela se fait en surveillant les changements des signaux électriques du corps. Cette technologie innovante offre la possibilité de détecter et de traiter précocement les problèmes cardiaques, ce qui peut potentiellement sauver des vies et améliorer la qualité de vie des patients.

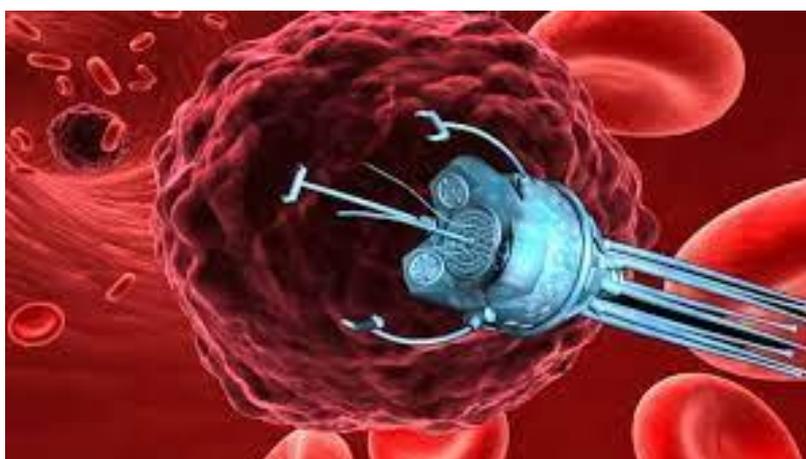


Figure I .6 :Un nano-capteur pour traquer les cellules cancéreuses.

I .5.3.2.Nano capteurs chimiques

Les nano capteurs chimiques sont spécialement conçus pour détecter divers produits chimiques ou propriétés chimiques, comme le pH. Leur utilisation est particulièrement précieuse dans l'analyse de la pollution environnementale et dans le domaine pharmaceutique. Généralement, ces capteurs sont fabriqués à partir de divers nanomatériaux tels que le graphène ou les nanoparticules métalliques, car ces matériaux réagissent à la présence de produits chimiques cibles spécifiques qui doivent être mesurés [27].

Un exemple remarquable de nano capteur chimique est celui utilisé pour détecter le pH d'un liquide. À titre d'exemple, une équipe de recherche a élaboré un capteur qui utilise des brosses de

polymère enduites de nanoparticules d'or. Ce capteur est capable de mesurer le pH en utilisant une méthode spectroscopique [28].

En médecine et dans les soins de santé, les nano biocapteurs jouent un rôle crucial en détectant de manière précise les tumeurs, les agents pathogènes, les toxines et les bios marqueurs. Ils convertissent les réactions moléculaires en signaux électriques ou optiques, offrant ainsi une capacité de ciblage très précise des éléments à mesurer. En réduisant la taille des objets, leur rapport surface-volume augmente, ce qui confère aux nano biocapteurs un avantage significatif par rapport aux biocapteurs de taille plus importante, améliorant ainsi la fréquence de réaction avec les molécules ciblées [29].

Un exemple concret est la start-up taïwanaise Instant Nano Bio capteur Co., Ltd. Ils exploitent une fibre optique revêtue de nanoparticules d'or et d'anticorps pour détecter une gamme variée de composés biologiques [30].

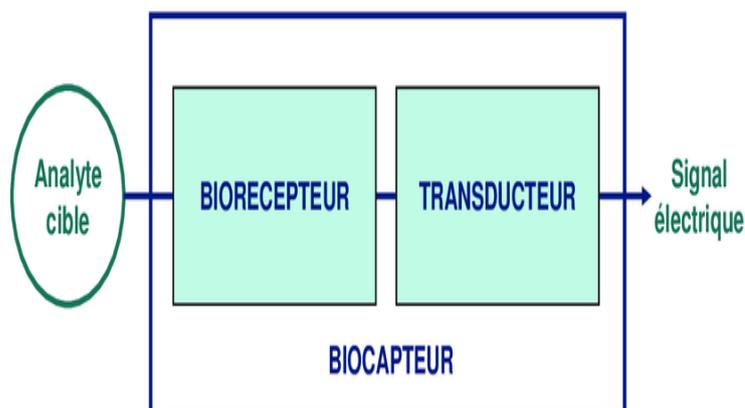


Figure I .7 :Schéma de principe de l'architecture d'un biocapteur.

I .5.3.3.Nano capteurs électriques et optiques

Les nano capteurs peuvent émettre des signaux électriques, comme c'est le cas avec Nano wear Inc., ou optiques, comme avec Instant Nano Bio capteur Co., Ltd. Dans le premier cas, les variations de courant ou de tension sont mesurées, tandis que dans le second cas, les altérations des propriétés de la lumière sont détectées et converties en signaux électriques.

Les nano capteurs optiques présentent parfois l'avantage de moins interagir avec les échantillons, car la lumière de la longueur d'onde appropriée peut se déplacer plus aisément à travers eux que le courant électrique. Cela peut minimiser les perturbations telles que le chauffage indésirable des échantillons.

De nombreux biocapteurs utilisent des signaux optiques, tels que des molécules photoluminescentes biocompatibles, pour des applications *in vivo*, modifiant la lumière émise lors de la détection d'un analyte. De plus, des nano capteurs optiques ont été développés pour détecter diversions, tels que l'oxygène, le Ca^{2+} , le Mg^{2+} , et d'autres [31].

En revanche, une résistance chimique constitue un excellent capteur électrique. Il fonctionne en détectant des molécules spécifiques lorsque qu'un courant est appliqué entre deux électrodes métalliques, puis en observant les changements dans le courant lorsque la molécule cible se lie aux ligands organiques entre les électrodes. Cette méthode offre de vastes possibilités d'ingénierie du capteur pour cibler des molécules spécifiques, car différentes propriétés telles que le type de ligands organiques peuvent être aisément modifiées.

I .5.4. Applications des nano capteurs

Les nano capteurs ont un large éventail d'applications dans divers domaines en raison de leur capacité à détecter et à mesurer des phénomènes à l'échelle nanométrique. Voici quelques-unes des principales applications des nano capteurs :

- **Détection biomédicale** : Les nano capteurs sont utilisés pour détecter les biomolécules, les agents pathogènes et divers paramètres biochimiques dans les diagnostics médicaux, l'administration de médicaments et la surveillance des processus biologiques. Ils permettent la détection précoce des maladies, la médecine personnalisée et la surveillance de la santé en temps réel.



Figure I. 8: surveillance de la santé.

- **Surveillance environnementale** : Les nano capteurs jouent un rôle crucial dans la surveillance environnementale en détectant les polluants, les toxines et d'autres substances

nocives dans l'air, l'eau et le sol. Ils contribuent à assurer la sécurité environnementale, à évaluer les niveaux de pollution et à gérer efficacement les ressources naturelles.



Figure I. 9 : Surveillance environnementale.

- **Sécurité alimentaire :** Les nano capteurs sont utilisés pour l'évaluation de la qualité et de la sécurité des aliments en détectant les contaminants, les agents pathogènes et les indicateurs de détérioration dans les produits alimentaires. Ils permettent des méthodes de détection rapides et sensibles pour assurer la sécurité alimentaire tout au long de la chaîne d'approvisionnement.

Comme un exemple Le capteur Asus s'inspire de la technique SERS mais il est surtout doté d'Intelligence Artificielle et utilise des algorithmes dynamiques ainsi qu'une détection optique innovante qui peut identifier les pesticides, mais également d'autres polluants nocifs présents dans l'eau de rinçage.

Selon le fabricant, cet appareil intelligent peut détecter 70% des pesticides utilisés actuellement aux Etats-Unis... Avec le PureGo, Asus entend aider les consommateurs à se débarrasser des pesticides avant consommation et assurer la sécurité alimentaire.



Figure I. 10 : un robot Asus a un nano capteur capable de détecter les pesticides dans les produits alimentaires.

- **Applications industrielles** : Les nano capteurs trouvent des applications dans les processus industriels tels que la fabrication, le contrôle de la qualité et la caractérisation des matériaux. Ils permettent des mesures précises de paramètres tels que la température, la pression, la déformation et la composition chimique, contribuant à l'optimisation des processus et à l'amélioration de la qualité des produits.



Figure I .11 : le contrôle de la qualité

- **Sécurité et défense** : Les nano capteurs sont utilisés pour la sécurité intérieure, les applications militaires et les systèmes de défense. Ils permettent la détection d'explosifs, d'agents de guerre chimique et de menaces biologiques avec une sensibilité et une spécificité élevées, améliorant les mesures de sécurité et protégeant la sécurité publique.



Figure I .12 : Sécurité et défense.

- **Énergie et durabilité** : Les nano capteurs jouent un rôle dans la production, le stockage et la conservation d'énergie en surveillant l'efficacité énergétique, en détectant les émissions de gaz et en optimisant les systèmes d'énergie renouvelable. Ils contribuent au développement de technologies durables et aident à relever les défis environnementaux.
- **Électronique et optoélectronique** : Les nano sensors sont intégrés dans des dispositifs et des systèmes électroniques pour détecter des paramètres physiques et chimiques, permettant des avancements dans l'électronique, la photonique, et l'optoélectronique. Ils facilitent le développement de capteurs miniaturisés, d'appareils portables et de technologies intelligentes pour diverses applications.

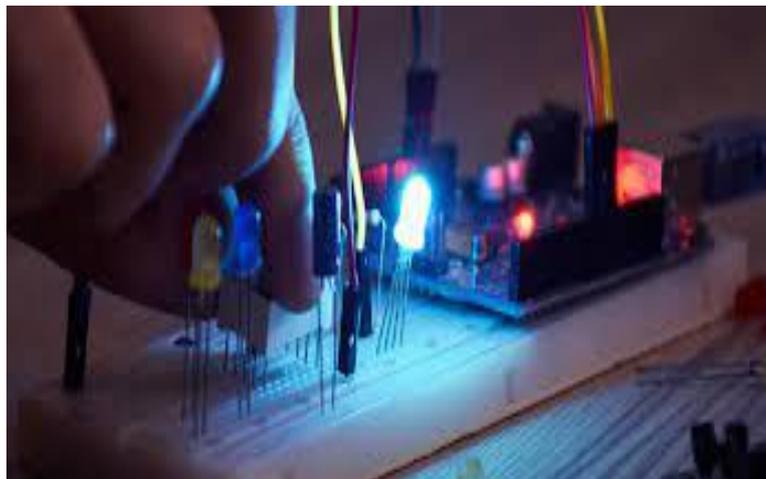


Figure I.1. La miniaturisation des composants électroniques et des capteurs industriels.

- **Surveillance de la santé structurelle** : Des nanosensors sont employés pour la surveillance de la santé structurelle dans le génie civil, l'aérospatiale, et les industries automobiles. Ils détectent les changements dans l'intégrité structurelle, la fatigue et la déformation, fournissant des avertissements précoces de défaillances potentielles et assurant la sécurité et la fiabilité des infrastructures et des véhicules.



Figure I .14. Surveillance de la santé structurelle.

I .6.Conclusion

Les nano-capteurs sans fil ont transformé les approches classiques pour résoudre un large éventail de problèmes, en particulier dans les domaines de la santé, de l'environnement intelligent, de l'agriculture et de la sécurité alimentaire. Leur flexibilité et leur large éventail d'applications suscitent de plus en plus d'intérêt de la part de la communauté de la recherche. Ils ont le potentiel de déclencher la prochaine révolution dans la nanotechnologie de l'information. Nous avons concentré sur les paradigmes de réseaux de nano capteurs sans fil. L'architecture, les domaines d'application ont été présentés.

Chapitre II : Protocoles de routages dans les WSNs.

II. 1. Introduction

La consommation d'énergie est très importante dans les réseaux de capteurs, car ils sont généralement installés dans des zones inaccessibles. Ainsi, il est difficile voire impossible de remplacer les batteries après leur épuisement. De ce fait, la Consommation d'énergie au niveau des capteurs a une grande influence sur la durée de vie du réseau et plusieurs travaux se concentrent à la conservation d'énergie dans la communication en concevant des protocoles de routage.

Le routage est un élément clé dans les réseaux de capteurs sans fil (RNCSF) pour acheminer les données entre les nœuds et la station de base. Le routage est utilisé afin de créer des trajets entre les nœuds et la station de base, tout en respectant les contraintes de consommation d'énergie et de temps de transmission.

Ce chapitre présente une vue concentrée sur les protocoles de routage dans les RNCSF. Nous allons commencer par la définition de routage puis une généralité sur la classification de ces protocoles et ces types existants. Ensuite, nous allons donner quelques exemples sur les protocoles de routages.

II .2. Routage

Sur la base des résultats des chercheurs dans [32-37], on remarque que la majorité des protocoles de routage dans les RCSF sont des protocoles basé sur la notion de cluster (hiérarchiques) quel que soit leur type proactif, réactif ou hybride, ces protocoles sont les meilleurs en terme d'énergie, durée de vie de réseau ...etc.

L'objectif fondamental du routage hiérarchique [38-39] est de réduire la consommation d'énergie lors de l'établissement de routes, afin de diminuer le nombre de messages transmis à la destination, le RCSF construit une communication multi-sauts au sein d'un cluster et effectue le concept d'agrégation et la fusion des données. En réalité, la plupart des formations de clusters reposent sur la réserve d'énergie des capteurs et sur les capteurs proches du cluster-head.

La technique de clusterisation (hiérarchique) permet de regrouper le réseau en sous-ensemble dit cluster pour préserver l'énergie et faciliter la gestion du réseau où chaque cluster a un super nœud appelé Cluster-Head (CH), dont le choix du cluster-head se base généralement sur les trois critères, à savoir l'identification, l'énergie résiduelle et la distance vers la station de base. Chaque cluster-head a la responsabilité de gérer un cluster et de communiquer avec d'autres clusters.

II .3. Classification des protocoles de routage dans les RNCSEF

Les protocoles de routage dans les réseaux peuvent être classés selon deux concepts :

- La structure de réseau.
- Le type de protocole.

II .3.1. Selon La structure de réseau (Topologie)

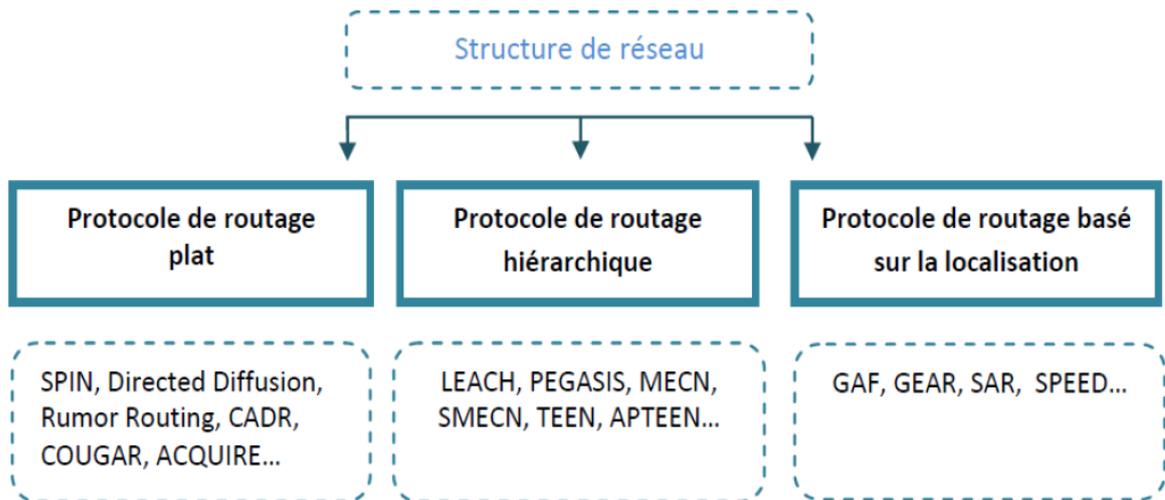


Figure II.1 :Protocoles de routage pour les RC selon la structure du réseau[40].

II .3.1.1. Les protocoles de routage plat (flat based-routing)

Ces protocoles considèrent que tous les nœuds sont identiques, c'est à dire ont les mêmes Fonctions à exécuter sauf le nœud de contrôle (sink) qui est chargé de collecter toutes les informations issues des différents nœuds capteurs pour les transmettre vers l'utilisateur final. Le choix d'un nœud de déplacer des paquets vers un autre est influencé par sa position et pourra être remis en cause au cours du temps.

[41]

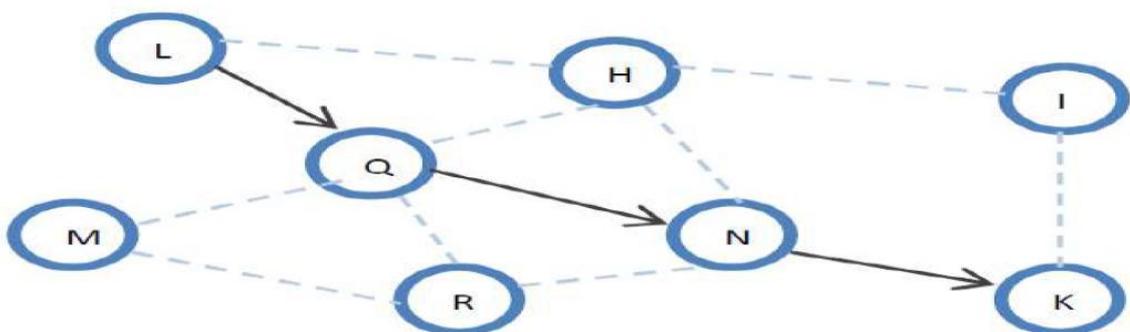


Figure II. 2 :Routage plat[41].

II .3.1.2. Les protocoles de routage hiérarchique

Le routage hiérarchique repose en grande partie sur les nœuds passerelles. Les nœuds habituels savent que s'il n'y a pas de destinataire dans leur voisinage direct, il suffit d'envoyer la requête à la passerelle qui la prendra en charge [42]. À son tour, elle transmettra cette requête vers le nœud ciblé. Ce type de routage présente de nombreux avantages pour les réseaux dont leurs nœuds sont sédentaires et disposent de suffisamment d'énergie.

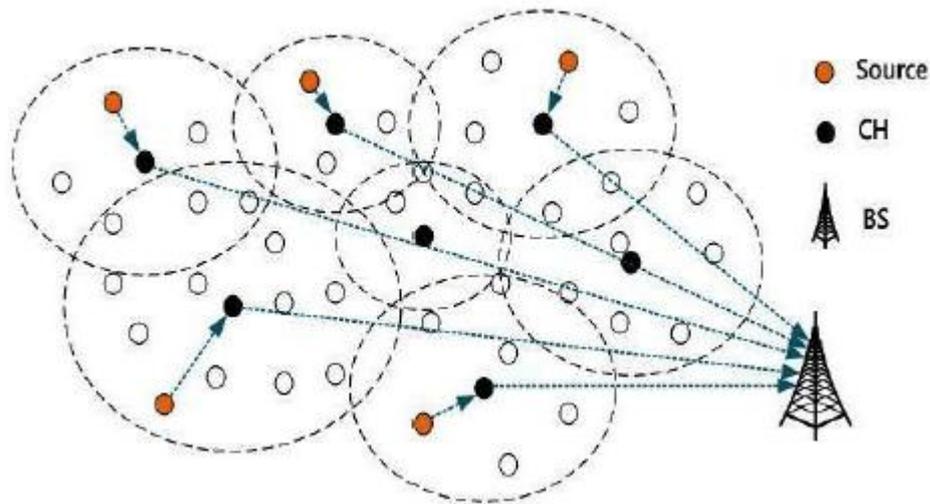


Figure II.3 : Architecture du routage hiérarchique.

II.3.1.3. Les protocoles de routage avec localisation géographique

Un routage est dit géographique lorsque les décisions de routage sont basées sur la position des nœuds. Les pré-requis pour effectuer un routage géographique dans un réseau ad hoc sont [43] :

Tous les nœuds possèdent un moyen de localisation, soit un système natif comme le GPS (Global Position System), soit un système logiciel comme un protocole de localisation.

Un nœud source connaît toujours la position du nœud destinataire. Pour ce faire, soit tous les nœuds connaissent les positions initiales de tous les nœuds, soit un service de localisation doit être utilisé [51].

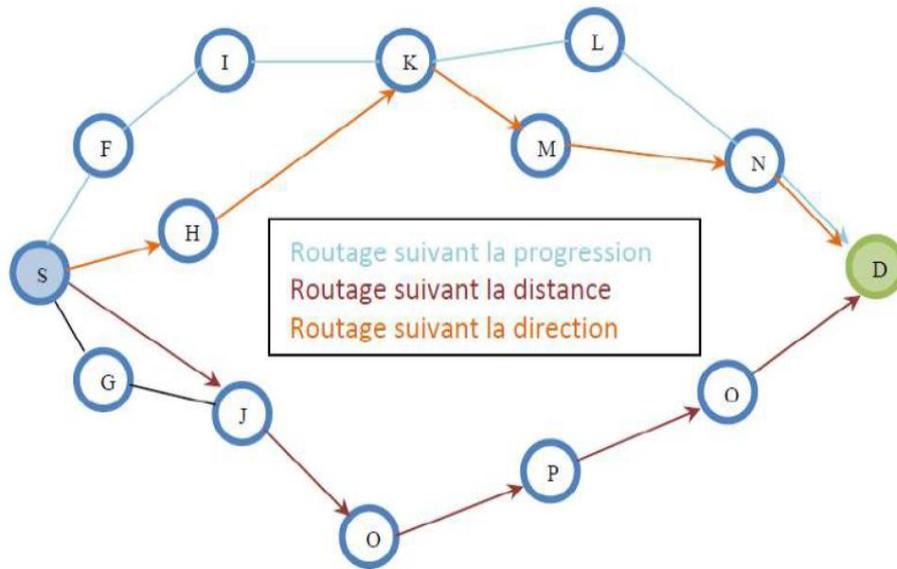


Figure II.4 :routage avec localisation géographique.

II.3.2. Selon le type de protocole

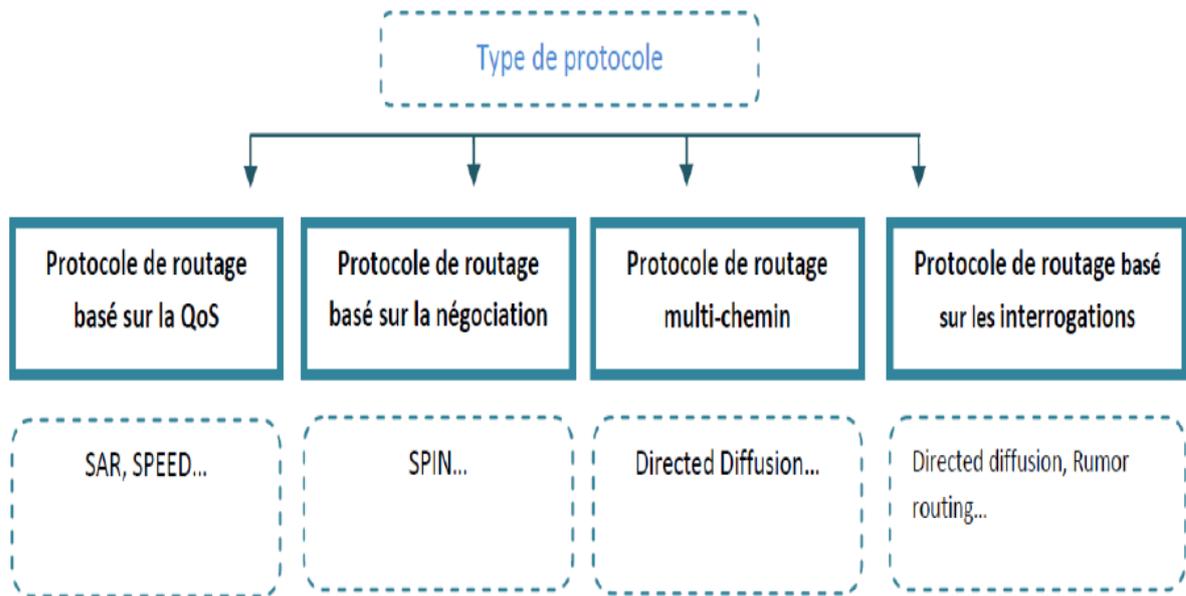


Figure II. 5 :Protocoles de routage pour les RC selon le type de protocole[40].

II.3.2.1. Protocole de routage basé sur la QoS

Ce type de protocoles tend à satisfaire certaines métriques, pendant la transmission des données vers la destination finale. Parmi ces métriques, nous citons : le délai de bout en bout, la gigue, PDR (Paquet Delivery Ratio), énergie consommée. [41]

II.3.2.2. Protocole de routage basé sur la négociation des données

En détectant le même phénomène, les nœuds capteurs inondent le réseau par les mêmes paquets de données. Ce problème de redondance peut être résolu en employant des protocoles de routage basés sur la négociation. En effet, avant de transmettre, les nœuds capteurs négocient.

II.3.2.3. Protocole de routage multi-chemin

Il se base sur l'adoption de plus qu'un chemin menant vers la destination, et ce, pour avoir des chemins de secours si jamais le chemin principal serait rompu. [42] entre eux leurs données en échangeant des paquets de signalisation spéciales, appelés METADATA. Ces paquets permettent de vérifier si les nœuds voisins disposent des mêmes données à transmettre. Cette procédure garantit que seules les informations utiles seront transmises et élimine la redondance des données. [40]

II.3.2.4. Protocole de routage basé sur les interrogations

La collecte des informations sur l'état de l'environnement est initiée par des interrogations envoyées par le nœud « Sink » [44].

II.4. Les protocoles de routage proposé pour les RNCSF

II.4.1. Protocoles de routage hiérarchiques

II.4.1.1. DEEC

Le protocole DEEC (Distributed Energy-Efficient Clustering) est un protocole de routage important conçu pour les réseaux de capteurs sans fil (WNSNs), visant notamment à améliorer l'efficacité énergétique. Dans le contexte des réseaux de nano-capteurs sans fil (WNSNs), qui sont un sous-ensemble de WNSNs mais fonctionne à une échelle nanométrique, Le protocole DEEC peut être adapté pour répondre à des défis spécifiques tels que les contraintes énergétiques et la nécessité d'une communication efficace en raison de la taille extrêmement réduite des capteurs et de leurs ressources énergétiques limitées.

Le clustering est la base de ce protocole, et la probabilité de sélection des têtes de cluster est basée sur le rapport entre les résidus. L'énergie de chaque nœud et énergie moyenne du réseau. Le nombre rond de l'époque de rotation pour chaque nœud est différent selon son énergie initiale et résiduelle.

DEEC adapte l'époque de rotation de chaque nœud à son énergie. Les nœuds à haute énergie initiale et résiduelle auront plus de chances d'être les têtes de cluster que les nœuds à faible énergie. ainsi, DEEC peut prolonger la durée de vie du réseau, en particulier la période de stabilité, par un

clustering conscient hétérogène algorithmique [45]. Ce choix pénalise toujours les nœuds avancés, surtout lorsque leur énergie résiduelle s'épuise et dans cette situation, les nœuds avancés meurent plus rapidement que les autres.

II.4.1.1.1. Principe de Base

Le protocole DEEC repose sur une stratégie de clustering où les nœuds du réseau sont regroupés en clusters, chaque cluster ayant un chef (cluster head) qui est responsable de la communication avec la station de base (BS - Base Station). Le rôle de chef de cluster consiste à équilibrer la consommation d'énergie parmi les nœuds de manière rotative.

II.4.1.1.2. Sélection des Chefs de Cluster

La sélection des chefs de cluster dans DEEC est basée sur la probabilité et sur l'énergie résiduelle des nœuds. Les nœuds ayant une énergie résiduelle plus élevée ont une plus grande probabilité d'être sélectionnés comme chefs de cluster. Voici comment cela fonctionne :

Probabilité de Sélection : La probabilité de devenir chef de cluster est proportionnelle à l'énergie résiduelle du nœud par rapport à l'énergie moyenne des nœuds du réseau. Cela permet aux nœuds avec plus d'énergie de porter une charge de communication plus lourde.

Le Cycle de rotation met en place des rôles de chef de cluster pour éviter que les nœuds avec moins d'énergie ne soient constamment surchargés.

Voici une formule couramment utilisée pour calculer cette probabilité :

$$P_i = E_i / E_{max} \quad P_i = E_{max} * E_i$$

où :

- P_i : est la probabilité que le nœud i soit sélectionné comme chef de cluster.
- E_i : est l'énergie résiduelle du nœud i .
- E_{max} : est l'énergie maximale initiale d'un nœud

II.4.1.1.3. Phases de Fonctionnement

Le protocole DEEC fonctionne en plusieurs phases :

✓ Phase de Setup (Configuration)

- Annonce de Candidature : Les nœuds calculent leur probabilité de devenir chef de cluster et diffusent leur intention.

- Formation des Clusters : Les nœuds rejoignent le cluster du chef de cluster le plus proche ou le plus approprié en fonction de la force du signal reçu.

- ✓ **Phase de Transmission Stable (Steady-State)**

- Agrégation de Données : Les nœuds capteurs collectent les données et les envoient à leur chef de cluster.

- Transmission à la Station de Base : Les chefs de cluster agrègent les données reçues des membres du cluster et transmettent les données agrégées à la station de base. Cela diminue la charge de communication directe des nœuds individuels vers la station de base, ce qui permet d'économiser de l'énergie.

- ✓ **Phase de Réinitialisation (Reconfiguration)**

Après plusieurs rounds, une nouvelle sélection des chefs de cluster est réalisée pour équilibrer la consommation d'énergie.

II.4.1.1.4. Principales caractéristiques du protocole DEEC

- Efficacité énergétique : DEEC est conçu pour équilibrer la consommation d'énergie à travers le réseau en faisant pivoter le rôle de la tête de cluster parmi les nœuds en fonction de leur énergie résiduelle et de l'énergie moyenne du réseau.

- Formation de grappes : Les nœuds ayant une énergie résiduelle plus élevée sont plus susceptibles de devenir des têtes de grappes. Cette sélection dynamique aide à répartir uniformément la charge énergétique, empêchant l'épuisement précoce des nœuds.

- Agrégation de données : Les têtes de cluster agrègent les données de leurs nœuds membres avant de les transmettre à la de base station. Cela réduit le nombre de transmissions, économisant l'énergie.

- L'évolutivité et l'adaptabilité de DEEC aux réseaux de différentes tailles le rendent adapté à divers scénarios de déploiement dans les réseaux sans fil.

II.4.1.1.5. Avantages du DEEC dans les WSNs

- Durée de vie prolongée du réseau : En répartissant uniformément la charge énergétique, DEEC aide à prolonger la durée de vie globale du réseau, ce qui est essentiel pour les réseaux sans fil où le remplacement ou la recharge des batteries pourrait ne pas être possible.

- Fiabilité améliorée : La sélection dynamique des têtes de cluster basée sur les niveaux d'énergie garantit que les opérations du réseau restent fiables, même lorsque les nœuds individuels épuisent leurs ressources énergétiques.

- **Adaptabilité** : La capacité du DEEC à s'adapter aux niveaux d'énergie des nœuds individuels en fait un choix robuste pour les environnements dynamiques et limités en ressources typiques des WSNs.

Le protocole DEEC peut être modifié pour créer une solution de routage plus efficace pour les réseaux de nano-capteurs sans fil, qui répond aux défis de leur fonctionnement à l'échelle nanométrique et de leurs limitations énergétiques extrêmes.

II.4.1.2. DDEEC

DDEEC (Developed Distributed Energy-Efficient Clustering), permet d'équilibrer la sélection de la tête de cluster sur tout le réseau. Donc, les nœuds avancés sont largement sollicités pour être sélectionnés comme chefs de groupe pour les premiers tours de transmission, et lorsque leur énergie diminue raisonnablement, ces nœuds auront la même élection de tête de cluster Probabilité, à l'instar des nœuds normaux.

II.4.1.2.1. Objectif principal

Le principal objectif du DDEEC est de prolonger la durée de vie du réseau en minimisant la consommation d'énergie et en équilibrant la charge énergétique entre les nœuds du réseau.

II.4.1.2.2. Principes de base

Le protocole DDEEC est basé sur le clustering, où les nœuds sont regroupés en clusters et un nœud parmi eux est sélectionné comme chef de cluster (Cluster Head, CH). Les chefs de cluster collectent les données des nœuds membres et les transmettent à la station de base. Cela diminue le nombre de transmissions directes vers la station de base, ce qui permet d'économiser de l'énergie.

II.4.1.2.3. Sélection des Chefs de Cluster

La sélection des chefs de cluster dans DDEEC repose sur deux critères principaux :

- **Distance** : La distance entre les nœuds et la station de base.
- **Énergie Résiduelle** : L'énergie restante des nœuds. Si les nœuds ont une énergie résiduelle plus élevée et sont plus proches de la station de base, ils ont une probabilité plus élevée d'être choisis comme chefs de cluster.

II.4.1.2.4. Cycle de vie du réseau

Le fonctionnement du DDEEC peut être divisé en plusieurs étapes cycliques :

✓ Phase de configuration

- Annonce des Candidatures : Chaque nœud calcule sa probabilité de devenir chef de cluster en fonction de son énergie résiduelle et de sa distance à la station de base.

- Élection des Chefs de Cluster : Les nœuds avec les probabilités les plus élevées sont élus chefs de cluster.

✓ Phase de formation des clusters

- Annonce des Chefs de Cluster : Les chefs de cluster élus diffusent leur statut à l'ensemble du réseau.

- Rejoindre un Cluster : Les nœuds ordinaires choisissent le chef de cluster le plus proche ou celui avec le signal le plus fort et envoient une demande pour rejoindre son cluster.

✓ Phase de Communication

- Collecte de Données : Les nœuds membres du cluster collectent des données et les envoient au chef de cluster. Le chef de cluster regroupe les données reçues et les envoie à la station de base.

II.4.1.2. 5. L'efficacité énergétique distribuée développée

Gestion de l'énergie : DDEEC ajuste dynamiquement la probabilité de sélection des chefs de cluster en fonction de l'énergie résiduelle des nœuds. Préserver l'énergie des nœuds avec une faible énergie les rend moins enclins à être sélectionnés.

II.4.1.2.6. Adaptation dynamique

Le protocole s'adapte aux changements dans le réseau, tels que la diminution de l'énergie des nœuds et l'ajout ou la perte de nœuds. Cela assure une performance optimale du réseau pendant toute sa durée de vie.

II.4.1.2.7. les Avantages du DDEEC

- Équilibrage de la Charge Énergétique : Réduit la surcharge énergétique des nœuds individuels.

- Prolongation de la durée de vie : Optimise l'utilisation de l'énergie, augmentant ainsi la durée de vie du réseau.
- Adaptabilité : Peut être utilisé sur des réseaux de différentes tailles et densités.

II.4.1.3.E- DEEC

Notre E-DEEC suit le pensées de DEEC et ajoute un autre type de nœud appelés super nœuds pour augmenter l'hétérogénéité.

Nous proposons E-DEEC pour trois types de nœuds pour prolonger la durée de vie et stabilité du réseau. Par conséquent, il augmente L'hétérogénéité du réseau et le niveau d'énergie sont tous deux significatifs.

II.4.1.3.1. Clustering hiérarchique

E-DEEC utilise une approche hiérarchique pour organiser les capteurs en clusters. Chaque cluster a un chef de cluster (CH, Cluster Head) qui collecte les données des nœuds membres et les transmet à la station de base (BS, Base Station).

II.4.1.3.2. Sélection du chef de cluster

La sélection des chefs de cluster dans E-DEEC est basée sur l'énergie résiduelle des nœuds et leur distance par rapport aux autres nœuds. Les nœuds avec plus d'énergie ont une probabilité plus élevée de devenir chefs de cluster.

E-DEEC ajuste dynamiquement la probabilité qu'un nœud devienne chef de cluster en fonction de son énergie résiduelle, ce qui aide à équilibrer la consommation d'énergie dans tout le réseau.

II.4.1.3.3. Multiniveau et hétérogénéité énergétique

E-DEEC prend en compte l'hétérogénéité énergétique des nœuds (différences dans les niveaux d'énergie initiale des nœuds) en introduisant des niveaux d'énergie différents pour les nœuds. Cela permet une meilleure gestion de l'énergie, où les nœuds avec plus d'énergie participent plus activement en tant que chefs de cluster.

II.4.1.3.4. Optimisation de la durée de vie du réseau

En équilibrant la charge énergétique et en adaptant dynamiquement la sélection des chefs de cluster, E-DEEC prolonge la durée de vie du réseau. Cela est crucial pour les applications de réseaux de capteurs où le remplacement fréquent des batteries est impraticable [49][50].

II.4.1.3.5. Communication efficace

Le protocole minimise la communication directe à longue distance en relayant les données à travers les chefs de cluster, réduisant ainsi la consommation d'énergie liée à la transmission des données.

II.4.1.3.6. Avantages du protocole E-DEEC

- Efficacité énergétique améliorée : Réduit la consommation d'énergie globale du réseau en équilibrant la charge entre les nœuds.
- Adaptabilité : Capable de s'adapter à l'hétérogénéité énergétique des nœuds, ce qui est commun dans les réseaux de capteurs.
- Prolongation de la durée de vie du réseau : En prolongeant la durée de vie de chaque nœud, le protocole prolonge également la durée de vie du réseau dans son ensemble.
- Scalabilité : Convient aux réseaux de capteurs de grande échelle en raison de sa structure hiérarchique et de son approche de clustering dynamique.

II.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la problématique de routage dans les NRCSF. Ensuite, le routage à base de clustering a été illustré. Les protocoles de routages à base du clustering ont été considérés comme des solutions efficaces dans le cadre de la bonne gestion de l'énergie au niveau des capteurs. Dans ce chapitre nous avons illustré quelques protocoles de routages avec leurs avantages et inconvénients.

Chapitre III : Evaluation des protocoles de routages dans lesNWSNs

III. 1. Introduction

La durabilité des réseaux de nano capteurs dépend principalement d'une gestion efficace de l'énergie. Pour maximiser la durée de vie globale du réseau, il est nécessaire de concevoir chaque nœud de manière à optimiser l'utilisation de ses ressources énergétiques. Au fil des décennies, plusieurs protocoles de routage économes en énergie ont été développés spécifiquement pour les réseaux de nano capteurs. L'objectif principal de ces protocoles est de trouver des itinéraires à faible consommation d'énergie, optimisant ainsi la durée de vie du réseau. Pour atteindre cet objectif, diverses stratégies ont été employées dans le développement de ces protocoles, conduisant à des chemins efficaces.

Dans ce chapitre, nous présenterons et analyserons les résultats de simulation et d'expérimentations obtenus lors de la mise en œuvre de trois protocoles de routage, à savoir DEEC, DDEEC et E_DEEC. L'objectif est de démontrer l'efficacité de ces protocoles en termes de consommation d'énergie et de durée de vie du réseau.

III .2. Présentation de simulateur “Matlab”

Dans le cadre de la présente étude, nous avons choisi d'utiliser le langage de programmation MATLAB pour appliquer notre approche. Développé par la société The MathWorks, MATLAB a été spécifiquement conçu pour répondre aux exigences des problèmes scientifiques et techniques. En tant que langage basé sur les matrices, MATLAB combine les domaines des mathématiques, de la modélisation graphique et de la programmation [46]. Il offre une vaste bibliothèque de fonctions intégrées et pré-écrites, caractérisées par des notations simples mais puissantes, qui permettent d'effectuer de nombreuses tâches de calcul courantes. Ces fonctions peuvent être intégrées dans différents langages de programmation et MATLAB facilite leur accessibilité en les regroupant dans un environnement unifié. Pour nos simulations, nous utiliserons MATLAB online

III .3. Modèle radio

Dans notre mémoire, nous prenons comme hypothèse le modèle radio de consommation d'énergie proposé par (*Heinzelman et al*) [47], qui couvre à la fois les communications en émission et en réception, où l'onde radio se dissipe à raison de : $E_{elec} = 50 \text{ nJ/bit}$ (en mode émission ou réception).

Lors de notre simulation des protocoles qui va suivre, le modèle précédemment cité et dont les caractéristiques sont à venir, est pris en considération. Ainsi, les énergies nécessaires pour émettre ET_x (s, d) et recevoir ER_x (s) des messages sont données par :

Pour émettre un message de s bits vers un récepteur loin de d mètres, l'émetteur consomme :

$$ETx(s, d) = ETxelec(s) + ETxamp(s, d) \dots \text{(III.1)}$$

$$(k, d) = (Eelec * k) + (Eamp * s * d^2) \dots \text{(III.2)}$$

Pour recevoir un message de s bit, le récepteur consomme :

$$ERx(s) = ERxelec(s) \dots \text{(III.3)}$$

$$ERx(s) = Eelec * s \dots \text{(III.4)}$$

Eelec et *Eamp* font référence respectivement à "énergie de transmission électronique et d'amplification Avec *Eelec* = $50 * 10^{-9} \text{J/bit}$ (comme indiqué précédemment)

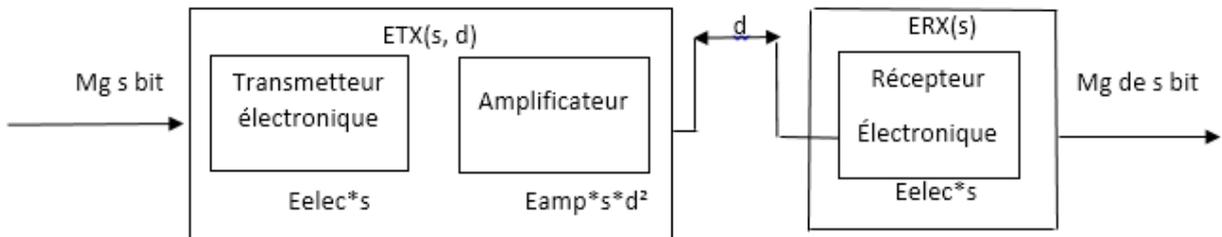


Figure III.1 : modèle de consommation d'énergie.

III .4. Les paramètres de simulation

Dans le cadre de cette simulation, un réseau constitué de 100 nœuds est utilisé de manière aléatoire. Chaque message de données est composé de 4000 bits. Les valeurs des énergies de transmission et de réception sont préétablies à 50 nJ/bit, tandis que l'énergie associée au modèle de propagation en espace libre est de 10 pJ/bit/m² pour les distances inférieures à 87 m et de 0.0013 pJ/bit/m⁴ pour les distances supérieures à 87 m. Par ailleurs, l'énergie nécessaire pour l'agrégation des données est fixée à 5 nJ/bit/signal. En ce qui concerne l'énergie initiale attribuée à chaque nœud utilisé dans la simulation, elle est établie à 0,5 Joule.

Les paramètres de simulation sont exposés de manière détaillée dans le tableau suivant

Notation	Description	Valeur
M	La surface de la zone surveillée	100*100m ²
L	La taille du paquet de données	4000 Bits
N	Le nombre de noeud capteur	100
<i>E</i> 0	L'Énergie initiale	0.5 J
Sink.x, Sink.y	L'emplacement de la station de base	(50,50)
<i>EDA</i>	Le Data agrégation Énergie	5*10 ⁻⁹ J/bit
P	La probabilité du cluster head	0.05
<i>εfs</i>	La modèle de propagation en espace libre	10 pJ/bit/m ²
<i>εmp</i>	Le modèle de propagation multipath	0.0013 pJ/bit/m ⁴
<i>D</i> 0	La distance limite	87 m
<i>R</i> max	Le round Max	4000

Tableau III. 2:Les paramètres de simulation.

III.5. Evaluation des performances

Dans cette section nous allons présenter les résultats de simulation afin d'évaluer quelques protocoles de routage dans le cadre des RNCSFs. DEEC, DDEEC et E_DEEC ont été choisis. Ces protocoles ont été sélectionnés parce que sont des protocoles à base de clustering. Le clustering a été considéré comme une technique efficace dans le domaine de routage. Afin d'évaluer ces protocoles de routage nous avons choisi quelques métriques de test, qui sont nombre des nœuds vivant, nombre des nœuds morts, nombre de paquets envoyés vers la station de base et nombre de cluster (groupes).

III.5.1. Comparaison de nombre des nœuds vivant

Concernant la durée de vie du réseau, qui a été estimé en termes de nombre des nœuds vivant, pour les protocoles DEEC, DDEEC et E_DEEC. La figure suivante représente le nombre des nœuds vivant pour chaque round de simulation.

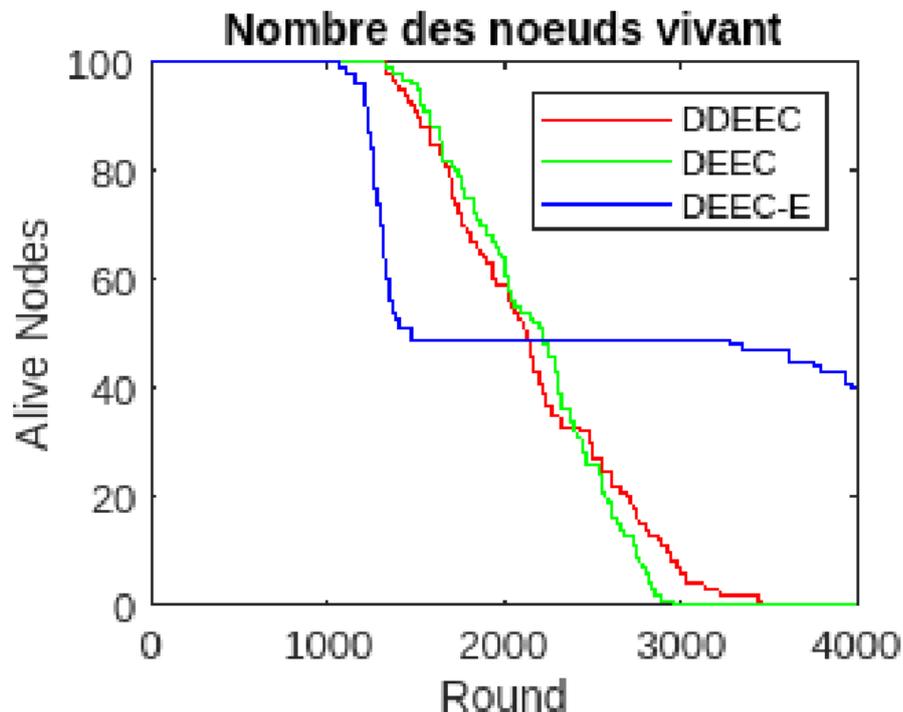


Figure III.2. : Évolution du nombre des nœuds vivants par rapport nombre de rounds.

Nous remarquons que le nombre des nœuds vivant du protocole DEEC commence a diminué à 1391 rounds et arrive au nulle à 2893 rounds. Le protocole DDEEC commence a perdu des nœuds

à 1391 rounds et arrive au nulle à 3489 rounds. Par contre, le protocole DEEC_E commence à diminuer à 1019 rounds mais il se stabilise après 1640 rounds puis commence à se diminuer une autre fois à 3280 rounds.

III.5.2. Comparaison de nombre des nœuds mort

Le nombre de nœuds mort dans chaque round de simulation a été considéré dans notre étude. Cette métrique nous permet de valider aussi les résultats de la section précédente. La figure suivante montre le nombre de nœuds mort pour chaque protocole.

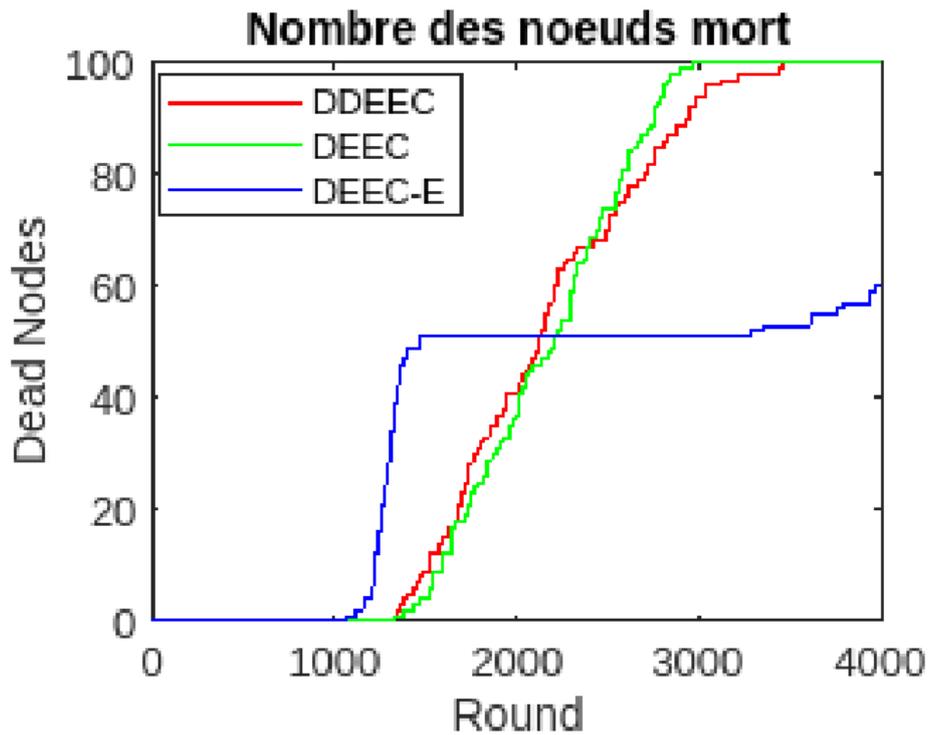


Figure III.3 : Évolution du nombre des nœuds mort par rapport à nombre de rounds.

On remarque dans cette figure que le nombre des nœuds mort des protocoles DEEC, DDEEC commence à augmenter rapidement dans le round 1327. Le nombre des nœuds mort de protocole DEEC arrive au maximum dans le round 2892 et le protocole DDEEC dans le rond 3472. Mais le nombre des nœuds mort du protocole DEEC_E commence à augmenter dans le round 1162 et se stabilise à 48 nœuds morts puis il augmente une autre fois (round 3521). Cela signifie que le nombre des nœuds mort des protocoles DEEC, DDEEC est plus élevé que le nombre des nœuds mort de protocole DEEC_E.

III.5.3. Comparaison de nombre des paquets envoyé vers la station de base

Dans un RNCSF les données seront routées vers la station de base. Le nombre de paquets envoyés vers la station de base a été estimé pour chaque protocole suivant les rounds de simulations. La figure suivante montre ce résultat en fonction de nombre de rounds pour chaque protocole de routage.

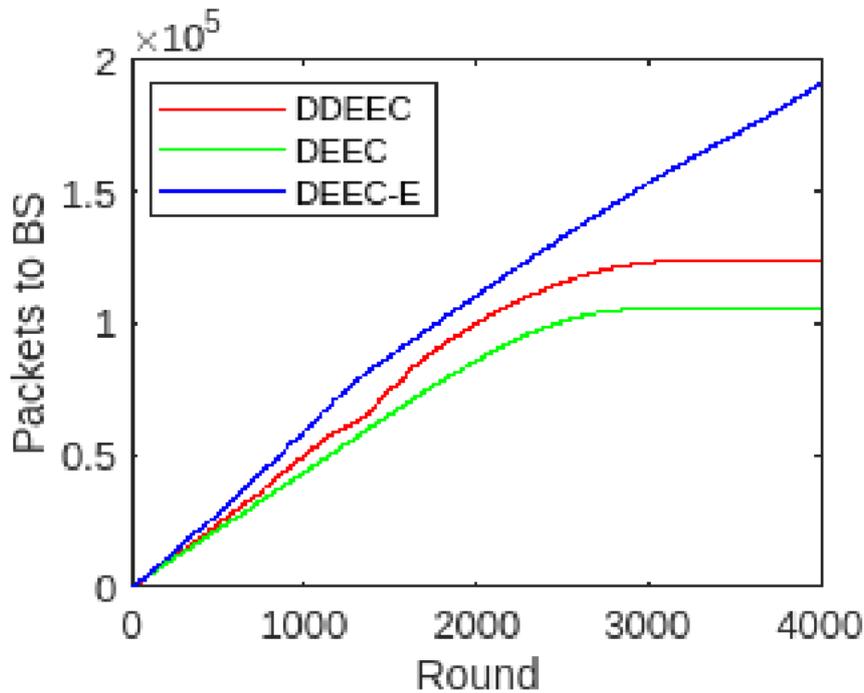


Figure III.4 : Évolution du nombre des paquets envoyer vers la SB par rapport à nombre de rounds.

On observe dans cette figure que la quantité de paquets envoyer vers la station de base de protocole DEEC_E est plus grande que celle des autre protocoles, en remarque que le graphe de protocole DEEC_E continu a augmenté en 4000 round le nombre de paquets arrive a 1.9×10^5

Par contre le graphe de protocole DEEC augment un peux puis il stabilise a 1×10^5 en round 2534, et le graphe de protocole DDEEC aussi augment puis il stabilise a 1.2×10^5 en round 3115

III.5.4. Comparaison de nombre de cluster Heads

La figure suivante montre le nombre de cluster heads par round pour chaque protocole.

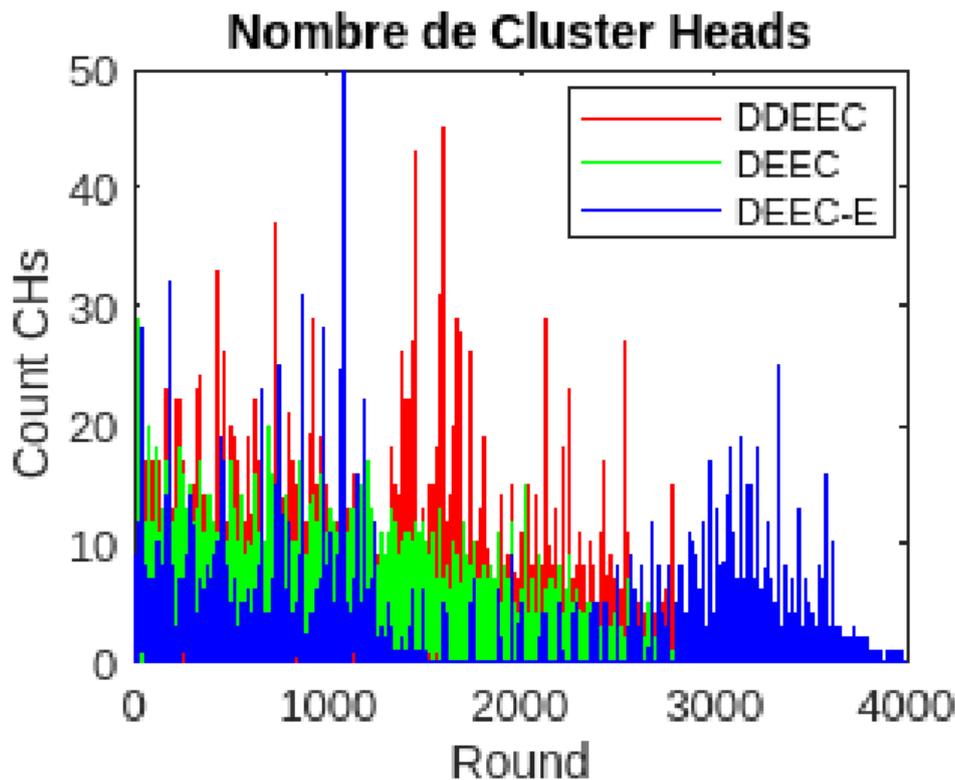


Figure III.5 : nombre de cluster heads par rapport à nombre de rounds.

On remarque que le nombre de cluster heads de protocole DEEC_E est plus grand que celle des autres protocoles DEEC,DDEEC

On voit que le nombre de cluster head de Protocol DEEC_E en round 1080 arrive à 50 cluster heads, et le nombre des cluster heads de protocole DDEEC en round 1600 arrive à 45 cluster heads, et le protocole DEEC a moins de cluster heads en round 40 arrive à 28 cluster heads

III .6.Synthèse

Plusieurs raisons expliquent pourquoi E-DEEC peut avoir une durée de vie de réseau plus longue que DEEC et DDEEC :

- **Gestion de l'énergie améliorée**

E-DEEC intègre des mécanismes plus sophistiqués pour la gestion de l'énergie des nœuds. Il utilise des critères plus précis pour la sélection des chefs de cluster (CH, Cluster Heads), tenant compte non

seulement de l'énergie résiduelle des nœuds mais aussi d'autres paramètres contextuels comme la distance aux autres nœuds et la densité du cluster.

- **Sélection adaptative des chefs de cluster**

E-DEEC ajuste de manière dynamique la probabilité de sélection des CH en fonction de l'énergie résiduelle et de l'énergie initiale des nœuds. Cela permet d'équilibrer la charge de travail entre les nœuds et d'éviter que les nœuds à faible énergie soient fréquemment choisis comme CH, ce qui prolongerait la durée de vie des nœuds les plus faibles.

- **Robustesse et adaptabilité**

E-DEEC est conçu pour être plus adaptable aux changements dynamiques dans le réseau, comme la variation des niveaux d'énergie des nœuds et les modifications de la topologie du réseau. Cela augmente sa robustesse et son efficacité énergétique globales.

Le nombre de nœuds morts dans les protocoles DEEC et DDEEC peut être plus élevé que dans le protocole DEEC_E en raison des différences dans la gestion de l'énergie et des stratégies de clustering utilisées par chaque protocole.

- **Stratégies de clustering**

DEEC et DDEEC : Ils peuvent avoir des méthodes de sélection des clustersheads qui, bien que basées sur l'énergie, ne sont pas toujours optimales pour la répartition uniforme des charges de travail et de la consommation d'énergie.

DEEC_E : Il peut intégrer des stratégies de clustering plus avancées, comme l'adaptation dynamique en fonction de la consommation réelle et les prédictions de consommation d'énergie, assurant ainsi que les clustersheads ne sont pas surchargés et que les rôles sont mieux distribués.

- **Algorithmes et optimisations spécifiques**

DEEC_E : Il pourrait inclure des optimisations supplémentaires comme l'agrégation de données améliorée, la transmission multi-sauts optimisée, ou des techniques d'économie d'énergie spécifiques qui réduisent la consommation totale d'énergie et prolongent la durée de vie des nœuds.

DEEC et DDEEC : Ils peuvent manquer de ces optimisations, ce qui entraîne une consommation d'énergie plus élevée et donc une mortalité plus rapide des nœuds.

La différence principale qui explique pourquoi le nombre de paquets envoyés vers la station de base est plus élevé dans DEEC_E par rapport à DEEC et DDEEC peut être attribuée à plusieurs facteurs:

- **Optimisation des Clusters**

DEEC_E utilise des stratégies de clustering plus efficaces qui optimisent la formation et la gestion des clusters. Une meilleure formation des clusters conduit à une communication intra-cluster et inter-cluster plus efficace, augmentant le nombre total de paquets transmis à la station de base.

- **Equilibrage de la Charge**

Le protocole DEEC_E met en œuvre des techniques d'équilibrage de charge avancées, réduisant l'épuisement rapide des nœuds énergétiques. En répartissant uniformément la charge énergétique, plus de nœuds peuvent contribuer à la transmission de données sur une période prolongée.

- **Transmission de Données Plus Fréquente**

Les améliorations dans DEEC_E peuvent permettre des fréquences de transmission de données plus élevées grâce à des techniques de conservation d'énergie. Ainsi, les nœuds peuvent envoyer des paquets plus souvent vers la station de base.

- **Réduction des Pertes de Paquets**

DEEC_E peut inclure des mécanismes pour réduire les pertes de paquets en améliorant la fiabilité des transmissions. Moins de pertes se traduisent par un nombre total de paquets envoyés plus élevé.

Pour comprendre pourquoi le nombre de chefs de cluster (cluster heads) dans le protocole DEEC_E est plus élevé que dans les protocoles DEEC et DDEEC, il est important de considérer les différences spécifiques dans les mécanismes de sélection des chefs de cluster de ces protocoles. Voici quelques points clés :

- **Sélection basée sur l'énergie résiduelle**

DEEC : Utilise l'énergie résiduelle des nœuds pour déterminer la probabilité de chaque nœud de devenir un chef de cluster. Les nœuds avec plus d'énergie sont plus susceptibles d'être sélectionnés comme chefs de cluster.

DDEEC : Améliore DEEC en ajustant dynamiquement les probabilités en fonction de l'énergie résiduelle, ce qui peut réduire le nombre total de chefs de cluster pour prolonger la durée de vie du réseau.

DEEC_E: Peut utiliser une approche différente ou ajustée pour la sélection des chefs de cluster, potentiellement en augmentant la fréquence de sélection pour certains nœuds ou en réduisant les seuils d'énergie requis, ce qui pourrait augmenter le nombre total de chefs de cluster.

- **Objectifs de conception spécifiques**

DEEC_E pourrait être conçu avec l'objectif d'augmenter la couverture et la robustesse du réseau en augmentant le nombre de chefs de cluster. Plus de chefs de cluster peuvent réduire la distance de communication pour les nœuds membres, ce qui peut réduire la consommation d'énergie individuelle même si cela augmente le nombre total de chefs de cluster.

- **Algorithmes et paramètres ajustés**

DEEC_E pourrait incorporer des ajustements spécifiques dans les algorithmes de sélection, tels que des seuils d'énergie plus bas pour la sélection ou des mécanismes supplémentaires qui favorisent une rotation plus fréquente des chefs de cluster, augmentant ainsi leur nombre.

III .7.Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre une étude comparative entre trois protocoles DEEC, DDEEC, E_DEEC de routage. Afin d'évaluer ces protocoles de routage nous avons utilisé le simulateur MATLAB. L'objectif principal de notre étude est trouver le meilleur protocole de routage et comprendre le comportement de ces protocoles de routage. Un autre but de notre étude est de prouver l'efficacité de la technique de clustering et aussi d'étudier l'impact de nombre de cluster (chef de cluster) sur la consommation d'énergie.

Nous avons sélectionné quelques métriques de test. Les résultats de simulation prouvent l'efficacité de la technique de clustering dans les protocoles de routage. E_DEEC a réussi à prolonger la durée de vie du réseau en conservant une quantité significative d'énergie jusqu'à la fin de la simulation.

Conclusion générale

Conclusion générale

La maximisation de la durée de vie des réseaux de nano capteurs sans fil (RNCSF) constitue un domaine de recherche crucial dans le domaine des technologies de l'information et de la communication. Ces réseaux jouent un rôle essentiel dans la surveillance et la collecte de données dans des environnements difficiles d'accès ou dangereux pour les humains, tels que les zones de catastrophes naturelles ou les environnements industriels. Cependant, leur utilisation est restreinte par la quantité limitée d'énergie disponible pour alimenter les capteurs. Ainsi, l'optimisation de la consommation d'énergie représente un défi majeur dans le développement de ces réseaux.

Le but de notre étude est de trouver le protocole de routage qui maximise la durée de vie d'un RNCSF. Dans le premier chapitre nous avons concentré sur les paradigmes de réseaux de RNCSF. L'architecture et les domaines d'application ont été présentés. Plusieurs protocoles ont été proposés à base de différentes techniques. Parmi ces techniques on trouve des protocoles de routages à base du clustering. Dans le deuxième chapitre nous avons illustré quelques protocoles de routages avec leurs avantages et inconvénients. Dans le cadre de notre étude nous avons choisi quelques protocoles de routages afin de les évaluer. Ensuite, nous avons sélectionné quelques métriques de test. La simulation et les résultats de notre étude ont été illustrés dans le troisième chapitre.

Nous avons constaté qu'il est difficile de trouver un protocole de routage robuste. Le choix de protocole de routage a une relation étroite avec le type de l'application. En plus, les paramètres de l'environnement doivent être pris en considération aussi. La technique de clustering a prouvé son efficacité dans notre étude.

Enfin, l'optimisation de la durée de vie des réseaux capteurs sans fil est un enjeu crucial dans le domaine des technologies de l'information et de la communication. Les variantes du protocole DEEC, ont démontré leur efficacité pour maximiser la durée de vie des réseaux en optimisant la consommation d'énergie. Cependant, il reste encore des opportunités de recherche pour développer de nouvelles techniques et protocoles afin d'améliorer davantage les performances des réseaux de nano capteurs sans fil et de répondre aux besoins spécifiques des différentes applications.

Références bibliographiques

- [1] Akkaya, K., & Younis, M. (2005). A survey on routing protocols for wireless sensor networks. *Ad hoc networks*, 3(3), 325-349.
- [2] Akyildiz, I. F., & Jornet, J. M. (2010). Electromagnetic wireless nanosensor networks. *Nano Communication Networks*, 1(1), 3-19.
- [3] Akyildiz, I. F., & Jornet, J. M. (2010). Electromagnetic wireless nanosensor networks. *Nano Communication Networks*, 1(1), 3-19.
- [4] Akyildiz, I. F., & Jornet, J. M. (2010). The internet of nano-things. *IEEE Wireless Communications*, 17(6), 58-63.
- [5] Al-Karaki, J. N., & Kamal, A. E. (2004). Routing techniques in wireless sensor networks: a survey. *IEEE wireless communications*, 11(6), 6-28.
- [6] ALOUI, I. (2016). Une approche agent mobile pour les réseaux de capteurs (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- [7] Amira, B. (2015). Prolongation de la Durée de vie des batteries dans les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) (Doctoral dissertation, Université Badji Mokhtar).
- [8] Amira, B. (2015). Prolongation de la Durée de vie des batteries dans les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) (Doctoral dissertation, Université Badji Mokhtar).
- [9] Aseri, T. C. (2014, March). Comparison of routing protocols in wireless sensor network using mobile sink-A survey. In *2014 Recent Advances in Engineering and Computational Sciences (RAECS)* (pp. 1-4). IEEE.
- [10] Asmatulu, R., Nguyen, P., & Asmatulu, E. (2013). Nanotechnology safety in the automotive industry. In *Nanotechnologysafety* (pp. 57-72). Elsevier.
- [11] Badache, N., Djenouri, D., Derhab, A., & Lemlouma, T. (2002). Les protocoles de routage dans les réseaux mobiles Ad Hoc. *Revue RIST*, 12(2), 77-112.
- [12] Balaconis, M. K., & Clark, H. A. (2012). Biodegradable optode-based nanosensors for in vivo monitoring. *Analytical chemistry*, 84(13), 5787-5793.
- [13] Benjaminsen, R. V. (2012). Design and application of optical nanosensors for pH imaging in cell compartments. Technical University of Denmark.

-
- [14] Bhattacharyya, D., Kim, T. H., & Pal, S. (2010). A comparative study of wireless sensor networks and their routing protocols. *sensors*, 10(12), 10506-10523.
- [15] BILAL, S., & ABDELOUAHAB, M. (2017). AN IMPROVED AODV PROTOCOL TO PREDICT RUPTURED ROUTES IN AD HOC NETWORK. *Asian Journal of Mathematics and Computer Research*, 21(4), 167-178.
- [16] Chahrazad, K. T., & BENHADDOUCHE, W. (2014). Implémentation et test d'un protocole de prévention de l'attaque Clone dans un réseau de capteurs sans fil. Master en Informatique, Option: Réseaux et systèmes distribués (RSD).
- [17] Chakraborty, S., & Khan, A. K. (2013, September). Evaluation of wireless sensor network routing protocols with respect to power efficiency. In 2013 5th International Conference and Computational Intelligence and Communication Networks (pp. 123-128). IEEE.
- [18]. Desai, S. B., Madhvapathy, S. R., Sachid, A. B., Llinas, J. P., Wang, Q., Ahn, G. H., ... & Javey, A. (2016). MoS₂ transistors with 1-nanometer gate lengths. *Science*, 354(6308), 99-102.
- [19] Diallo, C. (2010). Techniques d'amélioration du routage et de la formation des clusters multi-sauts dans les réseaux de capteurs sans fil (Doctoral dissertation, Institut National des Télécommunications).
- [20] Dragoman, M., Muller, A. A., Dragoman, D., Coccetti, F., & Plana, A. R. (2010). Terahertz antenna based on graphene. *Journal of Applied Physics*, 107(10).
- [21] Elbhiri, B., Saadane, R., & Aboutajdine, D. (2010, September). Developed Distributed Energy-Efficient Clustering (DDEEC) for heterogeneous wireless sensor networks. In 2010 5th International symposium on I/V communications and mobile network (pp. 1-4). iee.
- [22] Ermakov, V. N., Kruchinin, S. P., & Fujiwara, A. (2008). Electronic nanosensors based on nanotransistor with bistabilitybehaviour. In *Electron Transport in Nanosystems* (pp. 341-349). Springer Netherlands.
- [23] FOUAD, B. C., IMENE, A., & Chahrazad, T. Planification d'itinéraires de protocole LEACH à l'aide de l'algorithme GRASP.
- [24] FOUAD, B. C., IMENE, A., & Chahrazad, T. Planification d'itinéraires de protocole LEACH à l'aide de l'algorithme GRASP.

-
- [25] Gul, H. T., Saeed, S., Khan, F. Z. A., &Manzoor, S. A. (2014). Potential of nanotechnology in agriculture and crop protection: A. *ApplSci Bus Econ*, 1(2), 23-28.
- [26] Heinzelman, W. B., Chandrakasan, A. P., &Balakrishnan, H. (2002). An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks. *IEEE Transactions on wireless communications*, 1(4), 660-670.
- [27]. <http://www.instantnano.com/>
- [28] Huang, Z., Zheng, Y., Li, J., Cheng, Y., Wang, J., Zhou, Z. K., & Chen, L. (2023). High-resolution metalens imaging polarimetry. *Nano Letters*, 23(23), 10991-10997.
- [29] Jornet, J. M., &Akyildiz, I. F. (2014, April). Graphene-based plasmonicnano-transceiver for terahertz band communication. In *The 8th European conference on antennas and propagation (EuCAP 2014)* (pp. 492-496). IEEE.
- [30] Khelladi, L., &Badache, N. (2004). Les réseaux de capteurs: état de l'art. *Rapport de recherche*, Algérie.
- [31] Koksall, C. E., Ekici, E., &Rajan, S. (2010). Design and analysis of systems based on RF receivers with multiple carbon nanotube antennas. *Nano Communication Networks*, 1(3), 160-172.
- [32] Llatser, I., Kremers, C., Cabellos-Aparicio, A., Jornet, J. M., Alarcón, E., &Chigrin, D. N. (2012). Graphene-based nano-patch antenna for terahertz radiation. *Photonics and Nanostructures-Fundamentals and Applications*, 10(4), 353-358.
- [33] Manjeshwar, A., & Agrawal, D. P. (2002, April). APTEEN: A hybrid protocol for efficient routing and comprehensive information retrieval in wireless sensor networks. In *Parallel and distributed processing symposium, international* (Vol. 3, pp. 0195b-0195b). IEEE Computer Society.
- [34] Mazeika, D., Vasiljev, P., Borodinas, S., Bareikis, R., & Yang, Y. (2018). Small size piezoelectric impact drive actuator with rectangular bimorphs. *Sensors and Actuators A: Physical*, 280, 76-84.
- [35] Mishra, D. K., Dey, N., Deora, B. S., & Joshi, A. (2020). *ICT for Competitive Strategies. Blockchain in Agile Software Development*, Boca Raton, 4.
- [36] Mohammed, H., Corte-León, H., Ivanov, Y. P., Lopatin, S., Moreno, J. A., Chuvilin, A., ...&Kosel, J. (2018). Current controlled magnetization switching in cylindrical nanowires for high-density 3d memory applications. *arXiv preprint arXiv:1804.06616*.
-

[37] Ovsthus, K., & Kristensen, L. M. (2014). An industrial perspective on wireless sensor networks—A survey of requirements, protocols, and challenges. *IEEE communications surveys & tutorials*, 16(3), 1391-1412.

[38] Ozkan, S. A., & Shah, A. (Eds.). (2019). *New developments in nanosensors for pharmaceutical analysis*. Academic Press.

[39] Parvin, S., & Rahim, M. S. (2008). Routing protocols for wireless sensor networks: a comparative study. In *International Conference on Electronics, Computer and Communication* (pp. 891-894).

[40] Saoud, B. (2022). Wireless Sensor network LifetimeImprovingBased on WhaleOptimizationAlgorithm. *Adhoc&Sensor Wireless Networks*, 54.

[41] Saoud, B., Boucif, M., & Daas, M. (2022). Wireless Sensor Network LifetimeImprovingBased on RoutingProtocols. In *Computer Networks, Big Data and IoT: Proceedings of ICCBI 2021* (pp. 339-348). Singapore: Springer Nature Singapore.

[42] Saoud, B., Shayea, I., Azmi, M. H., & El-Saleh, A. A. (2023). New scheme of WSN routing to ensure data communication between sensor nodes based on energy warning. *Alexandria Engineering Journal*, 80, 397-407.

[43] Schwierz, F. (2010). Graphene transistors. *Nature nanotechnology*, 5(7), 487-496.

[44] Sebald, G., Guyomar, D., & Agbossou, A. (2009). On thermoelectric and pyroelectric energy harvesting. *Smart Materials and Structures*, 18(12), 125006.

[45] Shulaker, M. M., Hills, G., Park, R. S., Howe, R. T., Saraswat, K., Wong, H. S. P., & Mitra, S. (2017). Three-dimensional integration of nanotechnologies for computing and data storage on a single chip. *Nature*, 547(7661), 74-78.

[46] Solaimuthu, A., Vijayan, A. N., Murali, P., & Korrapati, P. S. (2020). Nano-biosensors and their relevance in tissue engineering. *Current opinion in biomedical engineering*, 13, 84-93.

[47] Sotoudeh, A., & Amirmazlaghani, M. (2018). Graphene-based field effect diode. *Superlattices and Microstructures*, 120, 828-836.

[48] Tokareva, I., Minko, S., Fendler, J. H., & Hutter, E. (2004). Nanosensors based on responsive polymer brushes and gold nanoparticle enhanced transmission surface plasmon resonance spectroscopy. *Journal of the American Chemical Society*, 126(49), 15950-15951.

[49] Wahab, A. W., Karim, A., La Nafie, N., Satrimafitrah, P., & Sutapa, I. W. (2019, June). Production of the nanoparticles using leaf of *Muntingiacalabura* L. as bioreductor and potential as a blood sugar nanosensor. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1242, No. 1, p. 012004). IOP Publishing.

[50] Wang, Z. L. (2018). Nanogenerators, self-powered systems, blue energy, piezotronics and piezo-phototronics—a recall on the original thoughts for coining these fields. *Nano Energy*, 54, 477-483.

[51] ZENGUILA, C., SBAI, Z., & KADDI, M. (2020). Simulation d'un protocole écoénergétique dans le réseau de capteurs sans fil (RCSF) (Doctoral dissertation, universite Ahmed Draia-ADRAR).

شبكات أجهزة الاستشعار النانوية اللاسلكية (WNSNs) عبارة عن مجموعات من أجهزة الاستشعار الصغيرة المترابطة التي تتواصل لاسلكيًا لمراقبة البيئات أو الأنظمة. ويتضمن تعظيمها تحسين العديد من الجوانب، بما في ذلك كفاءة استخدام الطاقة والتغطية والاتصال وعمر الشبكة. وتشمل التحديات الرئيسية إدارة طاقة الاستشعار المحدودة، وإنشاء طرق فعالة لنقل البيانات، والتعامل مع التداخل. تمثل بروتوكولات DEEC و DDEEC و E-DEEC تطورات متتالية لتحسين كفاءة الطاقة وإطالة عمر شبكات الاستشعار النانوية اللاسلكية. يقدم كل بروتوكول من هذه البروتوكولات آليات محددة لإدارة توزيع الطاقة بشكل أفضل، حيث يقدم كل تكرار تحسينات مقارنة بالبروتوكول السابق. يعتمد اختيار البروتوكول على متطلبات التطبيق المحددة وبيئة الشبكة.

الكلمات المفتاحية: شبكات, الاستشعار, لنانوية, بروتوكولات.

Résumé

Les réseaux de nano-capteurs sans fil (WNSNs) sont des ensembles de petits capteurs interconnectés qui communiquent sans fil pour surveiller des environnements ou des systèmes. Leur maximisation implique l'optimisation de plusieurs aspects, notamment l'efficacité énergétique, la couverture, la connectivité et la durée de vie du réseau. Les défis principaux incluent la gestion de l'énergie limitée des capteurs, l'établissement de routes efficaces pour la transmission des données et la gestion des interférences. Les protocoles DEEC, DDEEC et E-DEEC représentent des avancées successives pour améliorer l'efficacité énergétique et prolonger la durée de vie des réseaux de nano-capteurs sans fil. Chacun de ces protocoles introduit des mécanismes spécifiques pour mieux gérer la distribution de l'énergie, chaque itération offrant des améliorations par rapport à la précédente. La sélection d'un protocole dépend des exigences spécifiques de l'application et de l'environnement du réseau.

Mots clés : capteurs, maximisation, l'optimisation, protocoles.

Abstract

Wireless nanosensor networks (WNSNs) are collections of small interconnected sensors that communicate wirelessly to monitor environments or systems. Their maximization involves optimizing several aspects, including energy efficiency, coverage, connectivity and network lifetime. Key challenges include managing limited sensor energy, establishing efficient routes for data transmission, and dealing with interference. The DEEC, DDEEC and E-DEEC protocols represent successive advances to improve energy efficiency and extend the lifespan of wireless nano-sensor networks. Each of these protocols introduces specific mechanisms to better manage energy distribution, with each iteration offering improvements over the previous one. The selection of a protocol depends on the specific application requirements and network environment.

Keywords: WNSNs, maximization, optimizing, protocols, energy.