

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de Technologie
Département d'Electronique et Télécommunication



Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : SCIENCE ET TECHNOLOGIE
Filière : TELECOMMUNICATION
Spécialité : Réseau et Télécommunication
Thème

**Routage basé sur les chaines pour les réseaux de capteurs sans fil
sous-marins**

Présenté Par :

- 1) Habibi Asma
- 2) Hallouz Sarra

Devant le jury composé de :

Dr BOUTKHIL Malika	MAA	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Présidente
Dr BEMMOUSSAT Chems eddine	MCB	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examinateur
Dr. SOUIKI Sihem	MCB	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrante

Année Universitaire 2020/2021

Remerciements

Nos remerciements en premier lieu au DIEU pour nous avoir donné la force de réaliser ce travail.

Nous tenons à remercier tout d'abord Mme Sihem SOUKI, notre encadrante pour son encouragement, son expérience, ses idées, ses conseils et sa sympathie qui m'ont permis de mener à bien cette mémoire.

Nous remercions également tous les membres du jury d'avoir accepté à participer à l'évaluation de notre travail. Enfin, Nous adressons notre sincères remerciements à tous notre proches et amis, qui nous ont toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire.

ASMA & SARRA

Dédicace

Je dédie ce travail :

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie, mon bonheur et la femme que j'adore ; A ma mère qu'Allah ait pitié d'elle.

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde dans son vaste paradis, à toi mon père OKACHA.

A mes sœurs : ASSIA, YASMINA

A mes frères : AMIN, TAHIR

A tous les membres de ma famille

A mon binôme et chère ASMA

A ceux que j'aime beaucoup mes chères copines :

MARWA, YASMINA, FATOM, SALIHA, AMINA, SOUHILA, FOUZIA

Et mon Amie : NASRO

A mes honorables professeurs : KERRICHE MOHAMED, ABDELI WAHAB et DELBAZ MOHAMED

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible,

Je vous dis merci.

SARRA

Dédicace

Je dédie ce travail :

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie, mon bonheur et la femme que j'adore ; A ma mère qu'Allah ait pitié d'elle.

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde dans son vaste paradis, à toi mon père MANSOR.

A mes sœurs : HODA, RACHA et HAWARIA

A mes frères : SIDAHMAD, HAYHEM

A mes petits anges : Mehdi, Ahlam

A tous les membres de ma famille

A mon binôme et chère SARRA

A ceux que j'aime beaucoup mes chères copines :

MARWA, YASMINA, FATOM, SALIHA, AMINA, SOUHILA, FOUZIA

A mes honorables professeurs : KERRICHE MOHAMED, ABDELI WAHAB et DELBAZ MOHAMED

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible,

Je vous dis merci.

ASMA

Résumé

Au cours des dernières années, les réseaux de capteurs sans fil sous-marins (RCSF-SM) sont devenus un domaine actif pour les chercheurs en raison de leur application large et croissante. Cependant, le routage est un problème critique qui doit être pris en compte car il a un impact direct sur les performances de RCSF-SM. Plusieurs protocoles ont été proposés pour résoudre ce problème ainsi que pour réduire la consommation d'énergie et prolonger la durée de vie des nœuds capteurs dans RCSF-SM. Le routage basé sur chaîne est une approche des protocoles de routage qui réduit la consommation d'énergie dans RCSF-SM. Notre algorithme proposé est formé de plusieurs chaînes positionnées en différentes couches, les chaînes sont formées par l'algorithme de colonies de fourmis ACO, une chaîne principale est formée qui permet de transmettre les données au SB, ensuite une évaluation en termes de consommation énergétique et de durée de vie des nœuds a été présentée et discutée.

Mot clé: réseau de capteurs sans fil sous-marins, routage, consommation d'énergie, approche basée sur les chaînes.

Abstract

In recent years, Underwater Wireless Sensor Networks (RCSF-SM) have become an active field for researchers due to their wide and growing application. However, routing is a critical issue that must be taken into account as it has a direct impact on the performance of RCSF-SM. Several protocols have been proposed to solve this problem as well as to reduce power consumption and extend the life of sensor nodes in RCSF-SM. Chain-based routing is an approach to routing protocols that reduces power consumption in RCSF-SM. Our proposed algorithm is formed of several chains positioned in different layers, The chains are formed by the ACO ant colony algorithm, a main chain is formed which allows to transmit the data to the SB, then an evaluation in terms of energy consumption and life of nodes was presented and discussed.

Keyword: underwater wireless sensor network, routing, energy consumption, chain-based approach

التلخيص

في السنوات الأخيرة ، أصبحت شبكات الاستشعار اللاسلكية تحت الماء (RCSF-SM) مجالاً نشطاً للباحثين نظراً لتطبيقها الواسع والمتزايد. ومع ذلك ، فإن التوجيه هو قضية حاسمة يجب أن تؤخذ في الاعتبار حيث أن لها تأثير مباشر على أداء RCSF-SM. تم اقتراح العديد من البروتوكولات لحل هذه المشكلة وكذلك لتقليل استهلاك الطاقة وإطالة عمر عقد الاستشعار في RCSF-SM. التوجيه المستند إلى السلسلة هو أسلوب لبروتوكولات التوجيه يقلل من استهلاك الطاقة في RCSF-SM. تتكون الخوارزمية المقترحة من عدة سلاسل موضوعة في طبقات مختلفة ، وتتكون السلاسل بواسطة خوارزمية مستعمرة النمل ACO ، ويتم تشكيل سلسلة رئيسية تسمح بنقل البيانات إلى SB ، ثم تقييم من حيث استهلاك الطاقة وعمر تم عرض العقد ومناقشتها.

الكلمة المفتاحية: شبكة الاستشعار اللاسلكية تحت الماء ، التوجيه ، استهلاك الطاقة ، النهج القائم على السلسلة.

Table des matières

Liste des figures	X
Liste des tableaux	XI
Liste des acronymes.....	XII
Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur les RCSF et RCSF-SM.....	3
I. Introduction	4
II. Réseau de capteur sans fil terrestre.....	5
II.1 Définition d'un RCSF terrestre.....	5
II.2 Architecture de réseau de capteur sans fil terrestre.....	5
II.3 Types des réseaux de capteurs sans fil	6
II.3.1 Les réseaux de capteurs terrestres	6
II.3.2 Les réseaux de capteurs souterrains.....	6
II.3.3 Les réseaux de capteurs sous-marins	7
II.3.4 Les réseaux de capteurs multimédias.....	7
II.3.5 Les réseaux de capteurs mobiles	7
II.4 Caractéristiques de RCSF	8
II.4.1 Efficacité énergétique	8
II.4.2 Capacités de communication.....	8
II.4.3 Sécurité et confidentialité	8
II.4.4 Détection et traitement distribués	8
II.5 Application de réseau de capteurs sans fil	8
II.5.1 Applications du système de surveillance de l'environnement	8
II.5.2 Applications militaires.....	9
II.5.3 Application sanitaires	9
II.5.4 Applications industrielles	10
II.5.5 Applications urbaines	10
II.6 Contraintes de conception d'un réseau de capteur sans fil	11

II.6.1	Tolérance aux pannes	11
II.6.2	Contrôle de la topologie du réseau	11
II.6.3	Consommation d'énergie	12
II.6.4	Qualité de service (QoS).....	12
II.6.5	Coûts de production.....	12
II.6.6	Contraintes matérielles	12
III.	Vers les réseaux de capteurs sans fil sous-marins.....	12
III.1	Définition d'un RCSF-SM	12
III.2	Les différentes architectures dans les réseaux de capteur sous- marins	13
III.2.1	Réseaux de capteurs sous-marins en une dimension	13
III.2.2	Réseaux de capteurs sous-marins en deux dimensions.....	14
III.2.3	Réseaux de capteurs sous-marins en trois dimensions	14
III.3	Application de réseau de capteur sans fil sous-marins	14
III.3.1	Application Scientifique	14
III.3.2	Applications militaires	15
III.3.2.1	Déploiements	15
III.3.3	Application Industrie.....	16
III.4	Contraintes des RCSF-SM	16
III.4.1	Pertes et limitations de la bande passante.....	16
III.4.2	Phénomène de multi trajets.....	17
III.4.3	Bruit acoustique	17
III.4.4	Consommation d'énergie.....	17
III.4.5	Coût d'un capteur sous-marin.....	17
III.5	Différentes techniques de communication sans fil aquatique.....	18
III.5.1	Communication acoustique	18
III.5.2	Communication optiques	18
III.5.3	Communication radio.....	18
III.6	Comparaison des techniques de communication sans fil aquatique et aérienne	18
III.7	La différence entre les réseaux de capteurs terrestres et sous-marins	21
III.7.1	Taille et coût	21
III.7.2	Puissance	21

III.7.3 Mémoire	21
III.7.4 Méthode de communication.....	21
III.7.5 Mobilité du Nœud	21
III.8 Défis des capteurs sous-marins.....	21
III.8.1 Dommages physiques	21
III.8.2 Alimentation par batterie.....	21
III.8.3 Délais de propagation.....	21
III.8.4 Bande passante limitée	22
III.8.5 Localisation.....	22
IV. Conclusion.....	22
Chapitre II : Routage basé sur les chaînes pour les RCSF-SM	23
I. Introduction	24
II. Routage dans les réseaux de capteurs sans fil sous-marins.....	25
II.1 Définition de routage dans les RCSF-SM	25
II.2 Problèmes de la conception de routage dans les RCSF-SM.....	25
II.2.1 Source d'énergie	25
II.2.2 Méthodes de modulation.....	25
II.2.3 Temps de transmission des messages	26
II.2.4 Bruit sous-marin.....	26
II.2.5 Atténuation du canal.....	26
II.2.6 Bande passante limitée	26
II.3 Les critères de performance des protocoles de routage en RCSF-SM.....	26
II.3.1 Evolutivité.....	26
II.3.2 L'énergie.....	26
II.3.3 Le temps de traitement	27
II.3.4 Le mode de transmission	27
II.3.5 Synchronisation.....	27
II.4 Classification des protocoles de routage dans les réseaux de capteurs sans fil sous marins	27
II.4.1 Routage à plat	27
II.4.2 Routage géographique	27
II.4.3 Routage hiérarchique.....	28

III.	Routage basé sur les chaines pour les réseaux de capteur sans fil terrestres	28
III.1	Définition de Routage basé sur les chaines pour les réseaux de capteurs sans fil terrestres	28
III.2	Les caractéristiques de routage basé sur les chaines pour les réseaux de capteurs sans fil	28
III.3	Les algorithmes de routage basé sur les chaines pour les réseaux des capteurs sans fil.....	29
III.3.1	PEGASIS (Power-Efficient Gathering in Sensor Information System).....	29
III.3.2	CCM (Chain-Cluster based mixed routing).....	30
III.3.3	CRBCC (Chain routing based on coordinates-oriented cluster).....	31
III.3.4	Grid-PEGASIS	31
III.3.5	Chain-based 1	32
III.3.6	Chain-based 2	32
III.3.7	REC+ (A reliable and energy-efficient chain-cluster based routing protocol)	33
III.4	Comparaison entre les algorithmes étudiés	34
IV.	Routage basé sur les chaines pour les réseaux de capteurs sans fil sous-marins	36
IV.1	Routage basé sur les chaines pour RCSF-SM.....	36
IV.2	Les algorithmes basés sur les chaines proposées pour les RCSF-SM	36
IV.2.1	Parametric data aggregative	36
IV.2.2	E-CBCCP (Energy efficient chain based routing protocol)	37
IV.2.3	ME-CBCCP (Minimum Energy Consumption Chain-Based Cluster Coordinator Algorithm).....	37
IV.2.4	VCBR (virtual chain-based routing)	38
IV.2.4.1	Architecture du réseau.....	38
IV.2.4.2	Fonctionnement de VCBR.....	39
IV.2.5	SCBS (single chain based scheme).....	39
IV.2.6	Chain-Based Communication in Cylindrical Underwater Wireless Sensor Networks	40
IV.3	Comparaison entre les algorithmes proposés	41
V.	Conclusion.....	42
	Chapitre III: Résultats et simulations	43
I.	Introduction	44
II.	Description du logiciel Matlab	44
III.	Description de l'algorithme proposé.....	44

III.1	Présentation algorithme ACO.....	44
III.2	Modèle de l'algorithme ACO	46
III.3	Construction de la solution.....	46
IV.	Notre algorithme proposé.....	46
V.	Evaluation	48
V.1	Hypothèses	48
V.2	Modèle énergétique.....	48
VI.	Résultats de simulation	49
VI. 1	Paramètres de simulation	49
VI.2	Évaluation de l'énergie résiduelle	50
VI.3	Évaluation de nombre de nœuds vivants.....	50
VII.	Conclusion.....	51
	Conclusion générale.....	52
	Références.....	55

Liste des figures

Liste des figures

Figure I.1 Architecture deRCSF.....	6
Figure I.2 Les sous-catégorie des applications militaires des RCSF.....	9
Figure I.3 Applications sanitaires des RCSF	10
Figure I.4 Applications sanitaires des RCSF.....	10
Figure I.5 Applications urbaines des RCSF.....	11
Figure I .6 Architecture du réseau de capteur sous-marin.....	13
Figure I.7 Les différentes types de déploiements des capteurs sous-marins.....	16
Figure I.8 Caractéristiques des techniques de communication sans fil aquatique.....	19
Figure II.1 Structure de PEGASIS.....	31
Figure II.2 L’algorithme CCM.....	31
Figure II.3 Protocole routage CRBCC.....	32
Figure II.4 Protocole GRID-PEGASIS.....	33
Figure II .5 Chain-based1 et Chain-based2.....	34
Figure II.6 Protocole REC+.....	34
Figure II.7 Data agrégation.....	37
Figure II.8 Architecture de VCBR.....	39
Figure II.9 Réseau cylindrique.....	41
Figure III.1 Chemin de fourmis.....	45
Figure III.2 Formations des chaines.....	47
Figure III.3 L’énergie résiduelle du réseau en fonction de nombre d’itération.....	50
Figure III.4 Nombre de nœud restant en vie en fonction de nombre d’itération.....	51

Liste des tableaux

TABLEAU I.1 COMPARAISON ENTRE LES SYSTÈMES DE COMMUNICATION SANS FIL DANS L' AIR ET DANS LE MILIEU MARIN.	20
TABLEAU II.1 COMPARAISON ENTRE LES ALGORITHMES	35
TABLEAU II.2 COMPARAISON ENTRE LES ALGORITHMES PROPOSÉE.	42
TABLEAU III.1 PARAMÈTRES DE SIMULATION.....	49

Liste des acronymes

ACO	Ant colony optimization
AUV	Atonomous underwater vehicle
CCM	Chain-Cluster based mixed routing
CH	Cluster head
CRBC	Chain routing based on coordinates-oriented cluster
DSSS	Direct-sequence spread spectrum
E-CBCCP	Energy efficient chain based routing protocol for underwater wireless sensor networks
GPS	Global Positioning System
LEACH	Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy
LL	Long Link
LN	Leader node
ME-CBCCP	Minimum Energy Consumption Chain-Based Cluster Coordinator Algorithm
OFDM	Orthogonal frequency-division multiple access
PEGASIS	Power-Efficient Gathering in Sensor Information System
QoS	Qualité de service
RCSF	Réseau du capteur sans fil
RCSF-SM	Réseau du capteur sans fil sous-marins
RCSFT	Réseau du capteur sans fil terrestre
REC+	Reliable and energy-efficient chain-cluster based routing protocol
RN	Relay node
SB	Station Base
SCBS	Single chain based scheme

TSP	Transport seller problem
VCBR	Virtual chain-based routing
WSN	Wireless Sensor Network

Introduction Générale

Introduction générale

L'évolution technologique dans les domaines de l'électronique et des télécommunications a mené à la création d'équipements miniatures à faible coût, connus sous le nom de capteurs. Ceux-ci peuvent communiquer par ondes hertziennes et collaborer entre eux pour former un réseau de capteurs. Les réseaux de détection radio (RCSF) sont généralement constitués d'un grand nombre de nœuds de capteurs qui sont déployés au hasard dans une zone d'intérêt pour contrôler un tel phénomène. Ces capteurs coopèrent les uns avec les autres et envoient des informations de nœud à nœud en plusieurs sauts et via une connexion radio jusqu'à la fin du processus à la station de base. Le réseau de capteur sans fil est un domaine de recherche couvrant des applications terrestres, mais nous savons que la terre est une planète formée de 70% d'eau. Cela montre l'importance de l'exploration du milieu marin. Les nœuds de capteurs dans les réseaux de capteurs sans fil sous marins RCSF-SM couvrent une zone spécifique de la mer pour détecter certaines caractéristiques et les rapporter au centre de données terrestre près de la surface de l'eau. Lorsque des paquets de données sont transmis à la surface de l'eau, les nœuds capteurs communiquent entre eux pour déterminer et utiliser les meilleurs chemins par rapport à certains critères. Les protocoles de routage RCSF-SM traitent la sélection de ces chemins pour livrer des paquets de données à la destination de surface d'une manière efficace. Récemment, des chercheurs, des scientifiques et des ingénieurs ont utilisé des protocoles de routage pour étudier l'environnement sous-marin pour un certain nombre d'applications. Ils comprennent la surveillance de l'environnement sous-marin à des fins militaires et civiles, la prévision des catastrophes, la détection des fuites et l'exploration sous-marine générale. La conception de protocoles de routage pour les RCSF-SM est l'une des solutions prometteuses pour faire face à ces défis chaque protocole est décrit en fonction de sa stratégie de routage et du problème qu'il aborde et résout.

Le routage peut être divisé en trois types : routage à plat, routage géographique et le routage hiérarchique, la majorité des protocoles d'orientation sont des protocoles hiérarchiques. Ces protocoles sont conçus pour réduire la consommation d'énergie lors de la construction de routes, en particulier dans les grands réseaux. Le routage hiérarchique permet de diviser le réseau en sous-ensembles pour faciliter la gestion du réseau et donc la conservation de l'énergie. Diviser le réseau permet d'organiser le réseau de telle sorte chaque sous ensemble de nœuds.

Parmi les sous catégories du routage hiérarchique nous mentionnons le routage basé sur chaînes dans le milieu aqueux, C'est le thème de notre mémoire de fin d'études. Un routage basé sur chaîne est organisé dans une topologie en chaîne ou l'un des nœuds fonctionnés comme un leader ayant ses propres caractéristiques et protocoles.

Ce mémoire s'articule autour de trois chapitres. Dans le premier chapitre, nous présentons les réseaux de capteurs sans fil sous marins, leurs caractéristiques, applications et leurs limites ou les défis de communication. Le deuxième chapitre est une présentation de routage dans les

réseaux sans fil sous-marins, nous commençons par le routage RCSF terrestre avec une comparaison entre ces protocoles, à la fin nous faisons le point en particulier sur le routage basé sur les chaînes dans RCSF-SM, et nous citons quelques protocoles basés sur chaînes. Dans le troisième chapitre, nous proposons un algorithme qui est formé de plusieurs chaînes multicouches adaptée aux RCSF-SM. La formation des chaînes est basée sur l'heuristique appelé colonies de fourmis (ACO), après nous évaluons l'algorithme proposé selon deux métriques : l'énergie consommé et le nombre de nœuds restant en vie dans le réseau. Finalement, nous finissons par une conclusion générale.

Chapitre I : Généralités sur les RCSF et RCSF-SM

I. Introduction

Les avancées technologiques liées à la miniaturisation et à l'intégration des composants électroniques et à la programmation informatique ont introduit des changements dans le domaine des réseaux sans fil donnant naissance à une nouvelle génération de capteurs de petite taille pouvant fonctionner de manière autonome et interagir selon des protocoles de communication bien établis, c'est le cas des réseaux de capteurs sans fil (RCSF). Ces capteurs disposent de fonctionnalités semblables à celles d'un ordinateur classique avec des composants type microcontrôleur, transducteur/actionneur, émetteur/récepteur radio généralement à portée limitée, le tout fonctionnant autour d'un système d'exploitation dédié [14].

Le réseau de capteur sans fil est un domaine de recherche couvrant des applications terrestres, mais nous savons que la terre est une planète aquatique car plus de 70% de sa surface est recouverte d'eau et la vaste partie inexplorée de l'immensité des océans a attiré l'attention des humains. Pendant de nombreuses décennies, il y a eu un grand intérêt pour la surveillance des environnements aquatiques pour l'exploration scientifique, commerciale et exploratoire ainsi que pour les opérations militaires. Les systèmes de surveillance continue et très précis sont extrêmement importants pour de nombreuses applications, telles que la surveillance des champs pétrolifères, la détection de la pollution et la collecte de données. Ainsi, toutes ces applications importantes nécessitent la création de réseaux de capteurs sans fil sous-marins (RCSF-SM) [25].

II. Réseau de capteur sans fil terrestre

II.1 Définition d'un RCSF terrestre

Un réseau de capteurs sans fil (RCSF ou WSN : Wireless Sensor Network) est un réseau ad hoc qui est composé d'un grand nombre de nœuds distribués sur une zone donnée afin de mesurer une grandeur physique ou surveiller un évènement et de réagir en cas de besoin en envoyant l'information collectée à un ou plusieurs points de collecte, à l'aide d'une connexion sans fil. Dans un tel réseau, chaque nœud est un dispositif électronique qui possède une capacité de calcul, de stockage, de communication et d'énergie [1].

Dans ce type de réseau, les capteurs échangent des informations par exemple sur l'environnement pour construire une vue globale de la région contrôlée, qui est rendue accessible à l'utilisateur externe par un ou plusieurs nœud(s). Les données collectées par ces capteurs sont acheminées directement ou via les autres capteurs de proche en proche à un « point de collecte », appelé station de base (SINK).

Cette dernière peut être connectée à une machine puissante via internet ou par satellite. En outre, l'utilisateur peut adresser ses requêtes aux capteurs en précisant l'information d'intérêt [4].

- **Un capteur** est un organe de prélèvement d'informations qui élabore à partir d'une grandeur physique, une autre grandeur physique de nature différente (souvent électrique). Cette grandeur représentative de la grandeur prélevée est utilisable à des fins de mesure ou de commande [2].

II.2 Architecture de réseau de capteur sans fil terrestre

Un RCSF est composé d'un ensemble de nœuds. Ces nœuds sont organisés en champs «Sensor Fields». Chacun de ces nœuds a la capacité de collecter des données et de les transférer au nœud passerelle (Sink) par l'intermédiaire d'une architecture multi-sauts. La SB transmet ensuite ces données par Internet ou par satellite à l'ordinateur central «Gestionnaire de tâches» pour analyser ces données et prendre des décisions [3].

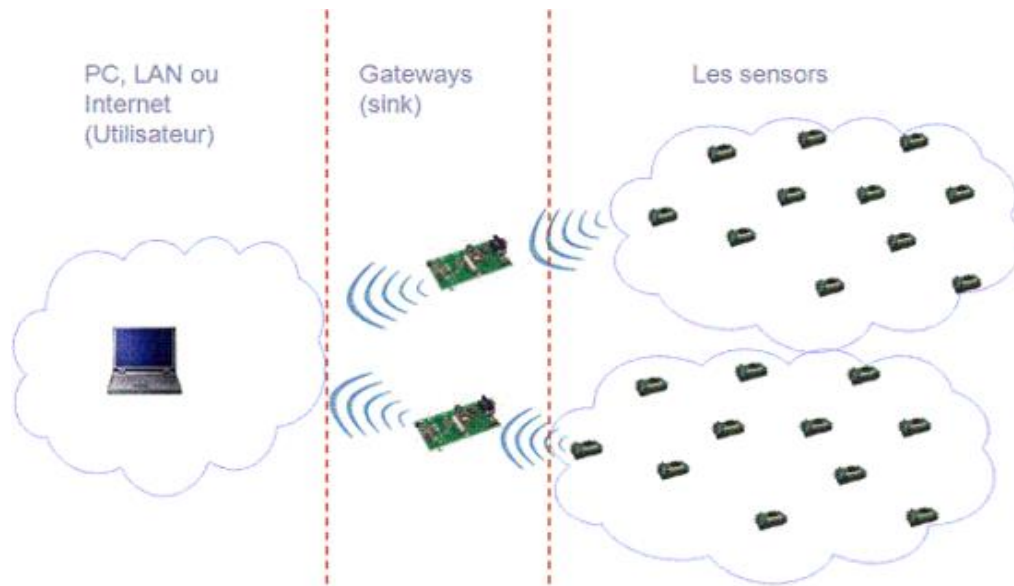


Figure I.1: Architecture de RCSF [3].

II.3 Types des réseaux de capteurs sans fil

Selon l'environnement de déploiement des nœuds capteurs, on peut distinguer différents types de réseaux confrontés à différents défis et limites, tels que les réseaux de capteurs terrestre, sous-marin, souterrain, multimédia et mobile [5].

II.3.1 Les réseaux de capteurs terrestres

Les nœuds terrestres sont déployés dans un environnement dense pour communiquer efficacement les données collectées vers la station de base. La fiabilité de cette communication représente un enjeu très important pour ce type de réseau. Ainsi la limitation en termes d'énergie de capteur est un autre défi, lorsque sa batterie ne peut être rechargeable. Cependant, pour certaines applications, les nœuds capteurs terrestres peuvent être équipés d'une source d'alimentation alternative telle que l'énergie solaire. Dans tous les cas, il est important de minimiser la consommation énergétique des nœuds capteurs. Pour un réseau de capteurs terrestre, l'énergie peut être conservée à travers un acheminement optimal multi-saut des données, une agrégation des données du réseau, en éliminant la redondance des données, en réduisant les délais de transmission et en utilisant les opérations à faible rapport cyclique.

II.3.2 Les réseaux de capteurs souterrains

Les réseaux de capteurs souterrains sont formés d'un ensemble de nœuds enterrés sous sol ou dans une grotte ou une mine utilisés pour observer et contrôler les conditions souterraines. Le coût d'un réseau de capteurs souterrain est plus cher qu'un réseau de capteurs terrestre et cela est dû aux équipements et aux difficultés de déploiement et de maintenance. Les nœuds souterrains sont coûteux parce que les pièces d'équipements appropriés doivent être bien choisies pour garantir une communication fiable à travers le sol, les roches, l'eau et autres

contenus minéraux. Le milieu souterrain rend la communication sans fil conflictuelle en raison des pertes du signal et des niveaux élevés d'atténuation. Contrairement aux réseaux de capteurs terrestres, le déploiement d'un réseau de capteurs souterrain nécessite une planification minutieuse et une considération d'énergie et de coût [6, 7].

II.3.3 Les réseaux de capteurs sous-marins

Les réseaux de capteurs sous-marins sont constitués des nœuds ancrés dans le fond marin ou amarrés aux véhicules autonomes mobiles déployés sous l'eau. A la différence des réseaux de capteurs terrestres, les nœuds capteurs sous-marins sont plus chers et leur déploiement est moins dense. Les véhicules sous-marins autonomes sont utilisés pour l'exploration ou la collecte des données de nœuds capteurs. Comparé à un déploiement dense des nœuds dans un réseau de capteurs terrestre, un déploiement clairsemé de nœuds capteurs est placé sous l'eau. Les communications sans fil sous-marines sont établies par transmission d'ondes acoustiques. Ce moyen de transmission est confronté à plusieurs défis tels que la bande passante limitée, le temps de propagation très élevée. Un autre défi est la défaillance du nœud capteur en raison des conditions environnementales. Les nœuds capteurs sous-marins doivent être capables de s'auto-configurer et de s'adapter à l'environnement dur de l'océan. Les nœuds capteurs sous-marins sont équipés d'une batterie limitée qui ne peut être remplacée ou rechargée. La conservation de l'énergie pour les réseaux de capteurs sous-marins consiste à développer des techniques efficaces de routage et de communication sous-marine [8].

II.3.4 Les réseaux de capteurs multimédias

Les réseaux de capteurs multimédias ont été proposés pour permettre la surveillance et le suivi des événements du type multimédia comme la vidéo, l'audio et l'image. Les réseaux de capteurs multimédias se composent d'un certain nombre de nœuds capteurs à faible coût équipés de caméras et de microphones. Ces nœuds capteurs interconnectent les uns avec les autres via une connexion sans fil pour la restitution, le traitement, la corrélation et la compression de données. Les nœuds capteurs multimédias sont déployés de manière pré planifiée dans l'environnement pour garantir une large couverture. Les défis dans les réseaux de capteurs multimédias comprennent une forte demande de bande passante, une forte consommation d'énergie, une qualité de service (QoS), des techniques de traitement et de compression de données et une conception inter-couche (cross-layer design) [10].

II.3.5 Les réseaux de capteurs mobiles

Les réseaux de capteurs mobiles se composent d'un nombre de nœuds capteurs qui peuvent se déplacer par leurs propres moyens et d'interagir avec l'environnement physique. Comme le cas des nœuds statiques, les nœuds mobiles ont la capacité de collecter, calculer et communiquer. Une différence clé est que les nœuds mobiles ont la possibilité de repositionner et de s'organiser en réseau. Un réseau de capteurs mobiles peut commencer avec un déploiement initial et les nœuds peuvent alors s'étaler pour recueillir des informations. L'information recueillie par un nœud mobile peut être communiquée à un autre nœud mobile se trouvant dans sa couverture radio. Dans un réseau de capteurs statique, les

données peuvent être distribuées à l'aide de routage ou par inondation alors que le routage dynamique est utilisé dans un réseau de capteurs mobiles. Les applications des réseaux de capteurs mobiles incluent la surveillance de l'environnement, le suivi de cible, la recherche, le sauvetage et la surveillance en temps réel des matières dangereuses [9].

II.4 Caractéristiques de RCSF

Le RCSF est actuellement utilisé pour le monde réel pour mesurer de nombreux paramètres. Ainsi, les caractéristiques de RCSF doivent être considérées pour le déploiement du réseau. Les caractéristiques RCSF sont décrits comme suit:

II.4.1 Efficacité énergétique

L'énergie dans les RCSFs est utilisée pour le calcul, la communication et le stockage. Le nœud du capteur consomme plus d'énergie que tout autre nœud pour communication. S'ils manquent d'énergie, ils sont souvent devenir invalides. Donc, le développement des protocoles devrait tenir compte de la consommation électrique.

II.4.2 Capacités de communication

RCSF communique habituellement utilisant des ondes radio sur un canal sans fil. Il a la propriété de communiquer à courte portée. Le canal de communication peut être soit bidirectionnel ou unidirectionnel. Il est difficile d'exécuter RCSF en lignée. Ainsi, le matériel et les logiciels de communication doivent avoir tenir compte de la robustesse, de la sécurité et de la résilience.

II.4.3 Sécurité et confidentialité

Chaque capteur doit avoir des mécanismes de sécurité suffisants pour prévenir l'accès non autorisé, attaques et dommages involontaires des informations à l'intérieur du capteur. En outre, les mécanismes de protection de la vie privée doivent également être inclus.

II.4.4 Détection et traitement distribués

Le grand nombre de capteur est distribué uniformément ou aléatoirement. Chaque RCSF est capable de collecter, trier, traiter, agréger et envoyer les données au SB. Par conséquent, la détection fournit la robustesse du système [13].

II.5 Application de réseau de capteurs sans fil

Au cours des dernières années, le réseau de capteurs sans fil a été appliqué dans divers domaines et principalement dans la surveillance de l'environnement.

II.5.1 Applications du système de surveillance de l'environnement

La surveillance de l'environnement a joué un rôle important dans les applications de réseaux de capteurs sans fil. Il prend de l'ampleur avec le développement de la technologie moderne. En général, les paramètres environnementaux du système tels que la température et l'humidité, la lumière et la pression. Plusieurs études portent sur les applications de la surveillance environnementale. Certains chercheurs étudient le compromis entre les dépenses

de l'outil et la durée de vie du réseau de capteurs pour s'assurer que la tolérance aux pannes est dans les paramètres tridimensionnels. Développer des applications de communication multi-saut, ce qui signifie les données de la température et l'humidité seront transmises au nœud voisin, puis envoyées à l'utilisateur final. L'environnement qui mesure les données des paramètres affiche le résultat à l'aide de Java et les données sont interprétées dans un graphique. Ainsi, il est essentiel de comprendre les exigences de développement d'applications de surveillance.

II.5.2 Applications militaires

Le domaine militaire n'est pas seulement le premier domaine d'activité humaine qui a utilisé RCSF, mais il a également été considéré comme l'impulsion pour lancer des recherches sur le réseau de capteurs. Smart Dust est un effort de recherche précoce, mené à la fin des années 1990 pour développer des nœuds de capteurs, bien que de petite taille, seraient capables de fonctionner.

Plus précisément, les produits chimiques, biologiques, radiologiques, nucléaires, explosifs et toxiques. Des capteurs de matériaux industriels peuvent être utilisés pour détecter la présence de ces matériaux.

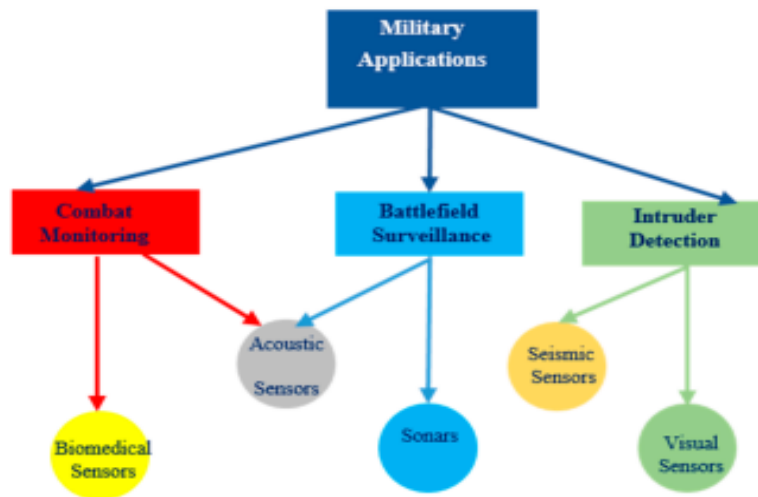


Figure I.2 : les sous-catégories des applications militaires des RCSF et les types de capteurs utilisés.

II.5.3 Application sanitaires

Dans le domaine de la santé, les RCSFs utilisent des capteurs médicaux avancés pour surveiller les patients d'établissement de soins de santé, à l'hôpital ou à domicile, ainsi de fournir un suivi en temps réel des signes vitaux du patient en utilisant du matériel portable.

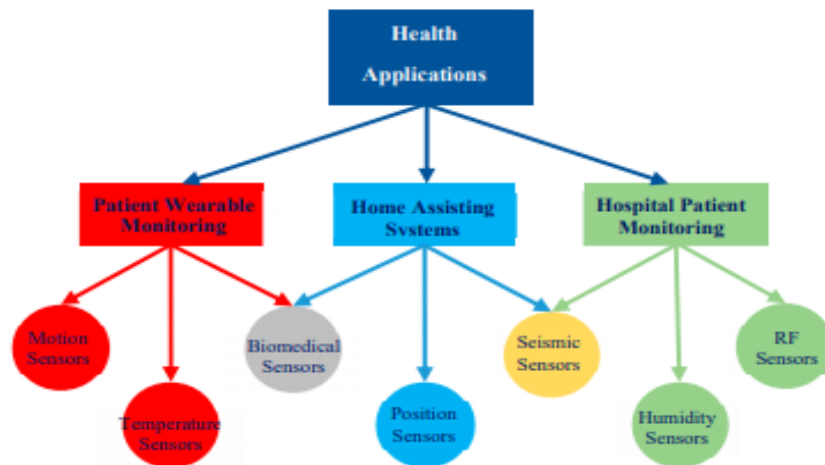


Figure II Applications sanitaires des RCSFs.

II.5.4 Applications industrielles

Les RCSFs peuvent être appliqués dans diverses applications industrielles pour résoudre de nombreux problèmes connexes. Les principales sous-catégories d'applications industrielles des RCSFs sont la logistique, la robotique et La surveillance de l'état des machines.

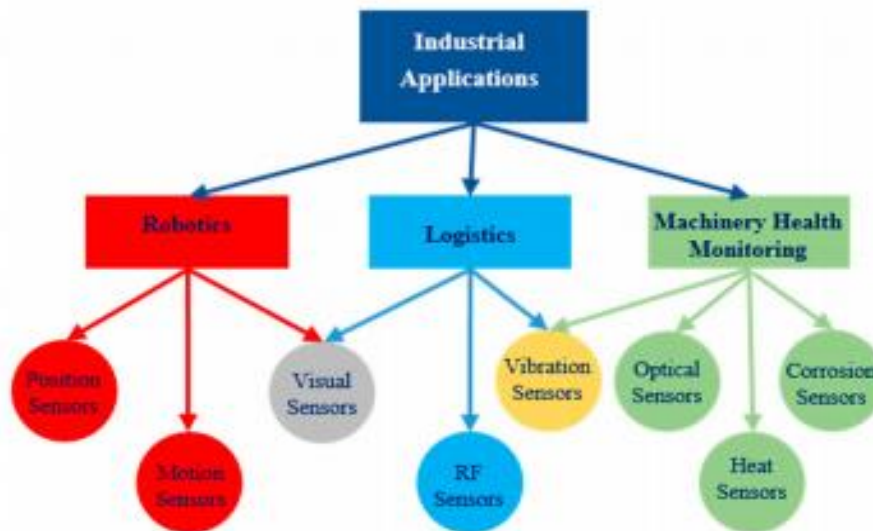


Figure I.4 : Applications industrielles des RCSFs et les types de capteurs utilisés [11].

II.5.5 Applications urbaines

Les RCSFs sont en effet un outil pour mesurer les caractéristiques spatiales et temporelles de tout phénomène au sein d'un environnement urbain, fournissant un nombre illimité d'applications. Les applications les plus populaires des RCSFs dans le domaine urbain sont liées aux maisons intelligentes, les villes intelligentes, les systèmes de transport, et surveillance de la santé structural [11].

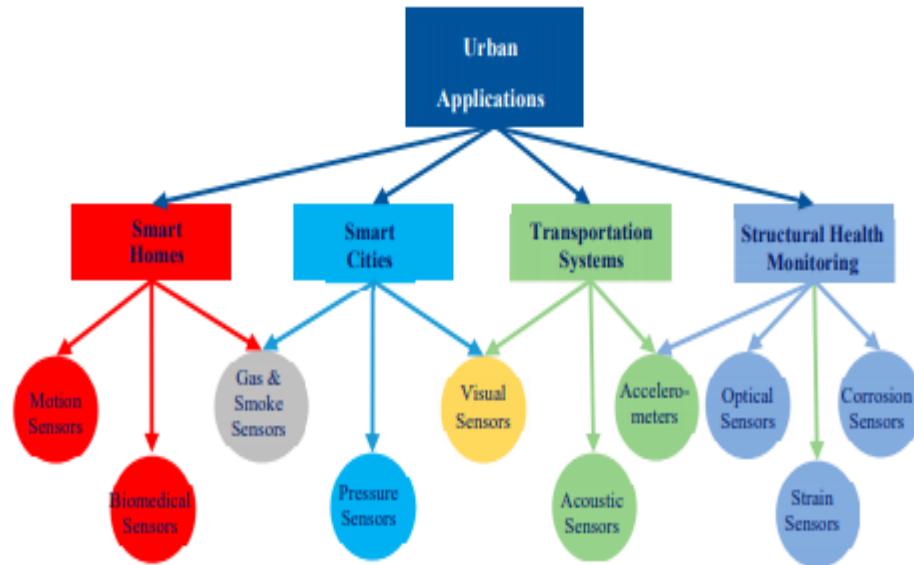


Figure I.5: Applications urbaines des RCSFs [11].

II.6 Contraintes de conception d'un réseau de capteur sans fil

Les principaux facteurs et contraintes influençant l'architecture des réseaux de capteurs peuvent être résumés comme suit:

II.6.1 Tolérance aux pannes

Certains capteurs peuvent tomber en panne ou être bloqués en raison d'un manque de production d'électricité, d'un problème de transmission ou d'une interférence environnementale. Dans le cas de panne tout le réseau peut s'adapter en changeant sa connectivité à l'aide de protocoles de routage efficaces pour modifier la configuration globale du réseau.

II.6.2 Contrôle de la topologie du réseau

Pour couvrir l'ensemble de l'environnement du réseau de capteurs et de la topologie du réseau. Il affecte bon nombre de ses propriétés telles que la latence, la capacité, le routage et le traitement des données.

II.6.3 Consommation d'énergie

Le capteur sans fil est un dispositif micro-électronique qui nécessite une source d'alimentation limitée (0,5 Ah 1,2 V). La durée de vie d'un réseau de capteurs est fortement dépendante de sa batterie. D'où la puissance, la conservation et la gestion de l'énergie sont des questions importantes dans les RCSFs surtout lorsqu'aucune régénération de puissance n'est possible dans certains scénarios d'applications. Par conséquent, divers protocoles de routage efficaces doivent être utilisés afin de gérer la consommation d'énergie.

II.6.4 Qualité de service (QoS)

QoS Offre un meilleur service trafic réseau sélectionné sur diverses technologies. Le réseau de capteurs doit faire le compromis entre la qualité des données et consommation d'énergie. En particulier, le réseau doit satisfaire certaines mesures de QoS comme la latence des données, l'énergie, bande passante, taux d'erreur, etc., Ainsi, la conception du protocole devrait tenir compte des paramètres QoS des applications spécifiques.

II.6.5 Coûts de production

Les réseaux de capteurs se composent d'un énorme nombre de capteur, le coût d'un seul capteur est très important pour justifier le coût global des réseaux. Si le coût est élevé, l'adoption et la diffusion de la technologie des capteurs sera interdit et donc le coût de chaque capteur doit être maintenu faible.

II.6.6 Contraintes matérielles

Un capteur est composé d'une unité de capture, unité de traitement, unité de communication et unité de puissance. Le matériel devrait être en mesure de fonctionner avec des densités élevées [12].

III. Vers les réseaux de capteurs sans fil sous-marins**III.1 Définition d'un RCSF-SM**

Le réseau RCSF-SM est un réseau utilisé pour effectuer des tâches de surveillance dans une zone spécifique équipé de capteurs intelligents et de véhicules configurés pour communiquer avec des connexions sans fil. La SB recueille des émetteurs-récepteurs qui peuvent surveiller les signaux audio entrants des nœuds sous-marins. L'émetteur et le récepteur peuvent transmettre et recevoir des signaux de radiofréquence à longue portée pour la communication. Les données collectées localement ou connectées à un autre réseau sont utilisées dans un but précis [15].

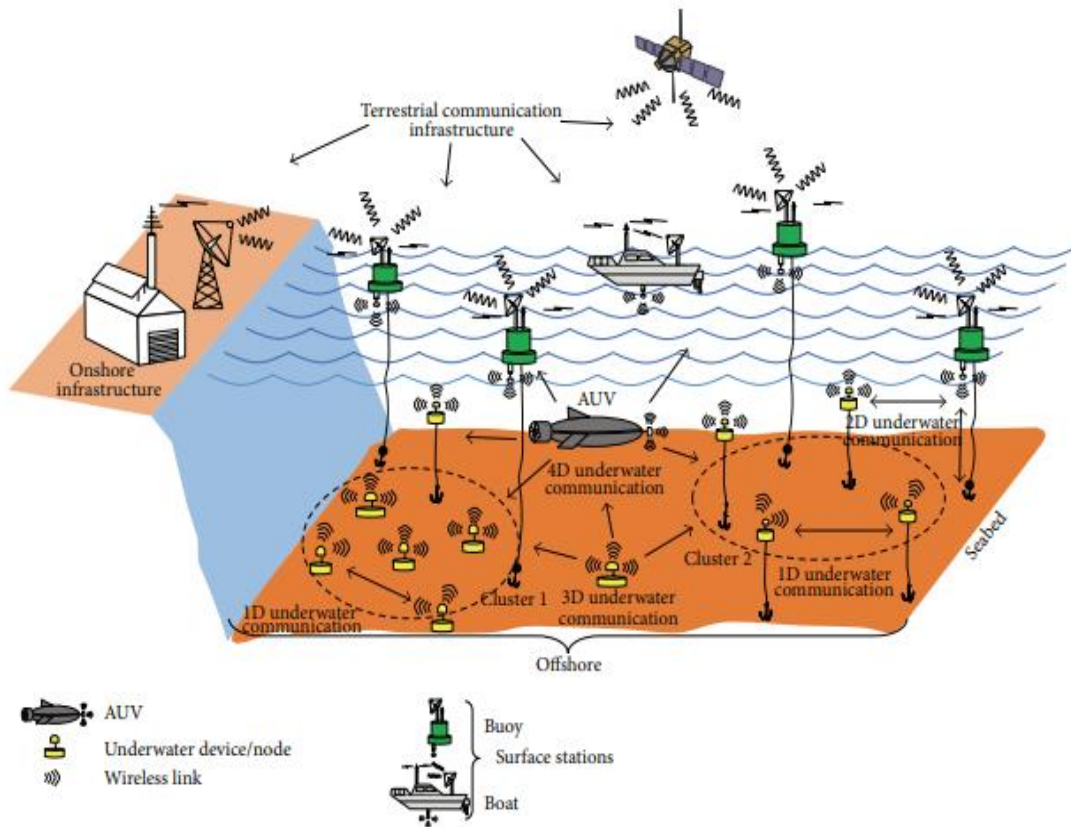


Figure I.6: Architecture du réseau de capteur sous-marin [15].

Les réseaux de capteurs sans fil sous-marins comprennent des nœuds qui peuvent être déployés à la surface et sous l'eau. Tous les nœuds doivent communiquer et échanger des informations avec d'autres nœuds du même réseau et avec la station de base. Les systèmes de transmission de données à l'aide de supports acoustiques, électromagnétiques ou optiques. Parmi ces types de médias, la communication acoustique est la méthode la plus populaire et largement utilisée en raison de ses caractéristiques d'atténuation dans l'eau. Le facteur de faible transmission est dérivé de l'absorption et de la conversion de l'énergie thermique dans l'eau. Pendant ce temps, les signaux acoustiques fonctionnent à basse fréquence, ce qui leur permet d'être transmis et reçus sur de longues distances [15].

III.2 Les différentes architectures dans les réseaux de capteur sous-marins

III.2.1 Réseaux de capteurs sous-marins en une dimension

La conception d'architecture RCSF-SM unidimensionnelle (1D) fait allusion à un système où les capteurs sont transportés de manière autonome. Chaque concentrateur de capteurs est un système solitaire, chargé de détecter, de préparer, et transmettre les données à la station distante. Un hub dans ce type d'ingénierie peut être un flotteur d'écumage, qui peut détecter les propriétés submergées, ou il peut être transporté submergé pour une période spécifique à détecter les données et après cette bouée vers la surface pour transmettre les données.

détectées à la station distante. Il peut s'agir d'un véhicule immergé autonome (AUV) qui se déplace à l'intérieur de l'eau, détecte ou rassemble les propriétés submergées, et le transfère des données à la station distante. Dans l'architecture RCSF-SM (1D) les nœuds peuvent transmettre en utilisant la correspondance acoustique, radiofréquence (RF) ou optique [16].

III.2.2 Réseaux de capteurs sous-marins en deux dimensions

Les ancrages océaniques profonds sont utilisés pour la collecte de nœuds de capteurs dans une architecture de réseau de capteurs sous-marins bidimensionnelle. Les nœuds sous-marins ancrés utilisent des liens acoustiques pour communiquer entre eux ou avec des puits sous-marins. Les puits sous-marins sont chargés de collecter les données des capteurs océaniques profonds et de les fournir aux stations de commande, en utilisant des stations de surface. À cet effet, ils sont fournis en compagnie d'émetteurs-récepteurs acoustiques horizontaux et verticaux. Le but des émetteurs-récepteurs horizontaux est de communiquer avec le nœud de capteur, de collecter des données ou de leur fournir des commandes, bien que l'émetteur-récepteur vertical soit utilisé pour envoyer des données à la station de commande. Parce que l'océan peut être aussi profond que 10 km, l'émetteur-récepteur vertical doit avoir une portée suffisante. La station de surface équipée d'émetteurs-récepteurs acoustiques a la capacité de gérer la communication parallèle. Il est également équipé d'émetteurs de radiofréquence à portée étendue, pour communiquer avec l'évier marin.

III.2.3 Réseaux de capteurs sous-marins en trois dimensions

Une nouvelle architecture connue sous le nom de réseaux sous-marins 3D. Les nœuds de capteurs flottent à différentes profondeurs pour surveiller une activité spécifique dans les réseaux sous-marins 3D. La solution traditionnelle pour les réseaux de capteurs 3D sous-marins est l'utilisation de bouées de surface qui facilitent le déploiement de ce type de réseau. Mais cette solution est sujette aux intempéries et aux modifications. De plus, les ennemis peuvent être facilement détectés et désactivés dans le scénario d'une opération militaire. Dans l'architecture de réseau de capteurs 3D sous-marins, le fond océanique est utilisé pour les nœuds de capteurs installés. La profondeur de ces nœuds est contrôlée à l'aide de fils qui sont attachés à ces ancrages [17].

III.3 Application de réseau de capteur sans fil sous-marins

La technologie RCSF-SM peut remplacer les approches traditionnelles en offrant une surveillance en temps réel, un système marin pour contrôler les appareils sous-marins à distance et des dispositifs avancés pour l'enregistrement des données. Habituellement, les applications se divisent en trois catégories : scientifique, industrielle, militaire et de sécurité [19].

III.3.1 Application Scientifique

Une large gamme d'applications pour les réseaux de capteurs sans fil sous-marins dans le domaine scientifique est classée comme surveillance environnementale, échantillonnage océanique. La demande de surveillance environnementale sert à surveiller la quantité de pollution, notamment les produits chimiques et biologiques qui se déposent sur le fond marin

et pour effectuer l'observation de la qualité de l'eau. De plus, des poissons robotisés ont été utilisés pour mesurer les niveaux d'oxygène dans l'eau ainsi que pour la surveillance de la pression et de la température. Une demande d'échantillonnage des océans présentés sur la surveillance d'une grande zone côtière pour étudier les phénomènes océaniques en appliquant des véhicules(AUV) à plusieurs endroits [18].

III.3.2 Applications militaires

Les applications militaires sont principalement déployées pour détecter et repérer les obstacles ou les cibles, qui sont la fonction principale des systèmes sonar, particulièrement pour les applications militaires de chasse sous-marins et de mines, mais aussi de pêche [19].

III.3.2.1 Déploiements

La mobilité et la densité sont deux paramètres qui diffèrent selon les types de réseaux de capteurs. Ici, nous nous concentrons sur les réseaux sous-marins, bien qu'il y ait beaucoup de travail dans les observatoires de câbles sous-marins, du système de surveillance sonore des réseaux militaires dans les années 1950, à la récente initiative des observatoires océaniques. Les réseaux sous-marins sont souvent statiques: bouées ancrées ou au fond marin. Alternativement, les réseaux sous-marins semi-mobiles peuvent être suspendus des bouées qui sont déployées par un navire et utilisées temporairement, mais qui sont ensuite laissées pendant des heures ou des jours. Les topologies de ces réseaux sont statiques pour de longues durées, permettre l'ingénierie de la topologie du réseau pour promouvoir la connectivité. Cependant, la connectivité du réseau peut encore changer en raison du mouvement à petite échelle, vagues de surface ou lorsque la batterie est alimentée, les déploiements statiques peuvent être contraint. Les réseaux sous-marins peuvent également être mobiles, avec des capteurs attachés aux AUV. La mobilité est utile pour maximiser la couverture du capteur avec un matériel limité, mais il pose des défis pour la localisation [20].

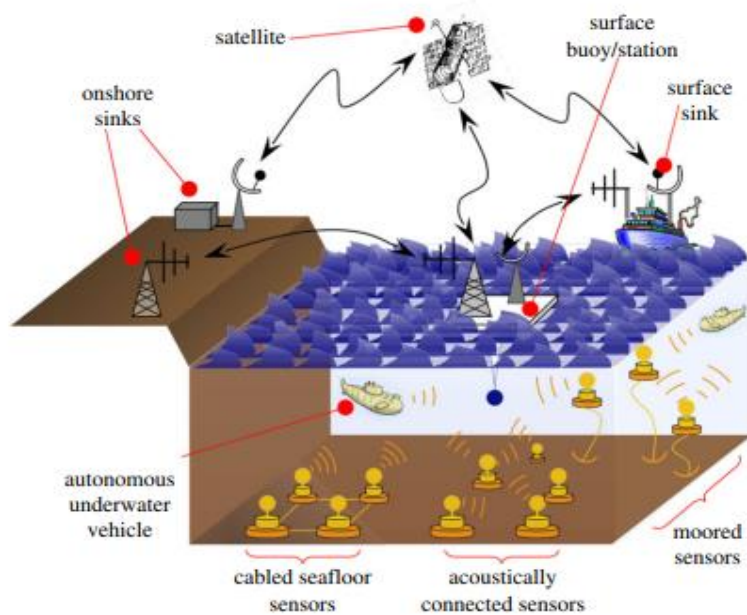


Figure I.7 : Les différents types de déploiements des capteurs sous marins [20].

III.3.3 Application Industrielle

Les applications industrielles dans les RCSF ont un impact significatif sur la facilitation des activités commerciales. RCSF-SM a le potentiel de surveiller les applications de surveillance des oléoducs et des gazoducs sous-marins. Les auteurs ont conçu un prototype pour la surveillance du pétrole et du gaz dans les pipelines sous-marins. Le système était élaboré pour fournir des rapports statistiques sur la santé des pipelines qui relient de grandes régions. Les auteurs ont également conçu un système sous-marin de surveillance des oléoducs et des gazoducs qui exigent la commande d'un composant d'actionnement. La pisciculture est l'une des productions les plus exigeantes en ressources [21]. Les auteurs ont développé un système de surveillance RCSF-SM basé sur Zigbee pour les grandes exploitations et peut être consulté à distance par l'utilisateur intéressé. De plus, le système a la capacité de surveiller les fermes piscicoles en fonction de l'oxygène dissous, des valeurs de pH, de la température, du niveau d'eau et des paramètres d'humidité.

III.4 Contraintes des RCSF-SM

III.4.1 Pertes et limitations de la bande passante

Il existe deux types de pertes qui dégradent la puissance [22] de l'onde acoustique au cours de sa propagation, à savoir les pertes par divergence géométrique et les pertes par absorption [23]. Ces dernières dépendent de la fréquence de transmission et de la salinité du milieu. La présence des sédiments, des bulles d'air, des micro-organismes et d'autres matières mélangées à l'eau participent aussi dans l'augmentation des pertes par absorption. Dans ces

conditions, la portée de transmission peut être réduite à quelques mètres. Dans les applications pratiques, les systèmes acoustiques opèrent à des fréquences inférieures à 30 kHz, car au-delà de cette limite l'effet de l'absorption devient extrêmement excessif [24]. Le choix de la fréquence d'émission du signal influe fortement sur les pertes de transmission en milieu aquatique.

III.4.2 Phénomène de multi trajets

Dans les systèmes de communication sans fil aquatique, la vitesse de propagation est en fonction des caractéristiques du canal, du temps et de la position de l'émetteur et du récepteur ce qui engendre une variation du chemin de propagation. Il en résulte alors une multitude de signaux à la réception via des trajets multiples. La propagation multi-trajets peut être responsable d'une importante dégradation du signal de communication acoustique puisqu'elle cause d'énorme interférence inter- symboles à la réception.

III.4.3 Bruit acoustique

La capacité de détection d'un signal ne dépend pas uniquement de l'amplitude du signal, mais aussi du bruit qui le perturbe. Par conséquent, les sources de bruit doivent être connues. Les bruits acoustiques dans l'océan sont très divers, du bruit ambiant lié à l'hydrodynamique aux bruits des phénomènes sismiques et biologiques, jusqu'aux bruits d'origine humaine. À basses fréquences (0.1-10 Hz), le bruit ambiant est principalement dû aux tremblements de terre, éruptions volcaniques sous-marines, tempêtes, turbulence d'eau et mouvement des vagues. Dans la bande de fréquences (10, 100 Hz), ce bruit est causé par le trafic des navires, alors que pour des fréquences comprises entre 100 Hz et 50 kHz, les sources des bruits sont le vent et les bulles d'air. À hautes fréquences ($f > 100$ kHz), ce sont les phénomènes d'agitations thermiques moléculaires qui dominent. Ce bruit peut être décrit par un spectre continu, comme étant un bruit gaussien contrairement au bruit d'origine humaine qui est causé par la machinerie (pompes, centrales électriques..) et les activités marines [26].

III.4.4 Consommation d'énergie

La difficulté de profiter de l'énergie solaire en milieu aquatique fait partie des principaux challenges à surmonter. En effet, la limitation en puissance des systèmes aquatiques et les difficultés rencontrées lors du changement des batteries incitent à rechercher des solutions qui réduisent la consommation d'énergie.

III.4.5 Coût d'un capteur sous-marin

Contrairement aux réseaux de capteurs sans fil terrestres, où l'expérimentation est relativement accessible et abordable, le matériel sous-marin est coûteux, le déploiement de ses nœuds est de plus en plus coûteux, le déploiement dans des mers profondes peut facilement coûter des dizaines de milliers de dollars par jour, donc des solutions alternatives sont importantes. Il est également nécessaire de faire des essais reproductibles, rapides et contrôlés sur une large gamme de conditions [27].

III.5 Différentes techniques de communication sans fil aquatique**III.5.1 Communication acoustique**

Du fait des bonnes propriétés de propagation du son dans l'eau, les ondes acoustiques permettent de communiquer en milieu sous-marin sur de longues distances (plusieurs km). Cependant, la bande spectrale utilisable par les ondes acoustiques est limitée en fonction de la fréquence et de la distance de transmission considérée, ainsi les débits atteignables par ce vecteur de communication sont limités par le produit débit-distance maximum qui est de l'ordre de $40 \text{ kbit/s} \times \text{km}$. De façon générale, nous pouvons distinguer 5 types de communications acoustiques sous-marines selon la distance de transmission : très longue distance, longue distance, moyenne distance, courte distance, et très courte distance [40].

III.5.2 Communication optiques

La qualité de l'eau joue un rôle dans la communication sous-marin. En conséquence, l'applicabilité de la communication dépend fortement des environnements. Utiliser la même analogie avec les ondes électromagnétiques, nous disons que la communication optique fonctionne dans le environnement limitée.

Jusqu'à présent, il y a peu d'activité commerciale sur la communication optique sous-marine, aucun modem optique commercial n'est disponible et les récents intérêts dans les réseaux de capteurs sous-marins et les observatoires marins terrestres ont suscité un grand intérêt pour les communications sur l'eau [28].

III.5.3 Communication radio

Ce type de communication appelé aussi radiocommunication s'effectue à l'aide d'ondes électromagnétiques. Ces ondes constituent une propagation d'énergie se manifestant sous la forme d'un champ électrique couplé à un champ magnétique. L'information se transmet alors grâce à une modulation constante des propriétés de l'onde, soit son amplitude, sa fréquence, sa phase ou la largeur d'une impulsion. Dans l'eau, les ondes électromagnétiques sont fortement atténuées à cause du caractère dissipatif lié à la forte conductivité de l'eau de mer. En effet, des ondes supérieures à 1 MHz ne pénétreront l'eau de mer que sur quelques dizaines de centimètres. Par conséquent, les communications radios sont utilisées sur de courtes distances de l'ordre de quelques millimètres à quelques mètres pour un débit entre 10 Mbit/s et 100 bit/s. La communication à grande distance est possible mais à très basse fréquence, nécessitant des antennes de grande dimension et une puissance de transmission élevée [40].

III.6 Comparaison des techniques de communication sans fil aquatique et aérienne

Les ondes acoustiques ne sont pas les seuls moyens pour la transmission sans fil des signaux sous l'eau. Cependant, les ondes radio peuvent se propager dans l'eau pour différentes distances mais à basse fréquence (30 à 300 Hz) et exigent de grandes antennes et une énorme

puissance d'émission. Dans le même contexte, les ondes optiques sont susceptibles de transmettre l'information sous l'eau puisqu'elles ne subissent pas une grande atténuation à faible distance, mais elles sont affectées par le phénomène de dispersion et par conséquent la transmission des signaux optiques exige la haute précision pour pointer les faisceaux laser [29]. Aussi la communication optique sous-marine est caractérisée par une faible portée de transmission. Bien que la technologie laser soit encore parfaite pour les usages pratiques, les ondes acoustiques restent la meilleure solution pour communiquer sous l'eau dans des mauvaises conditions[30].

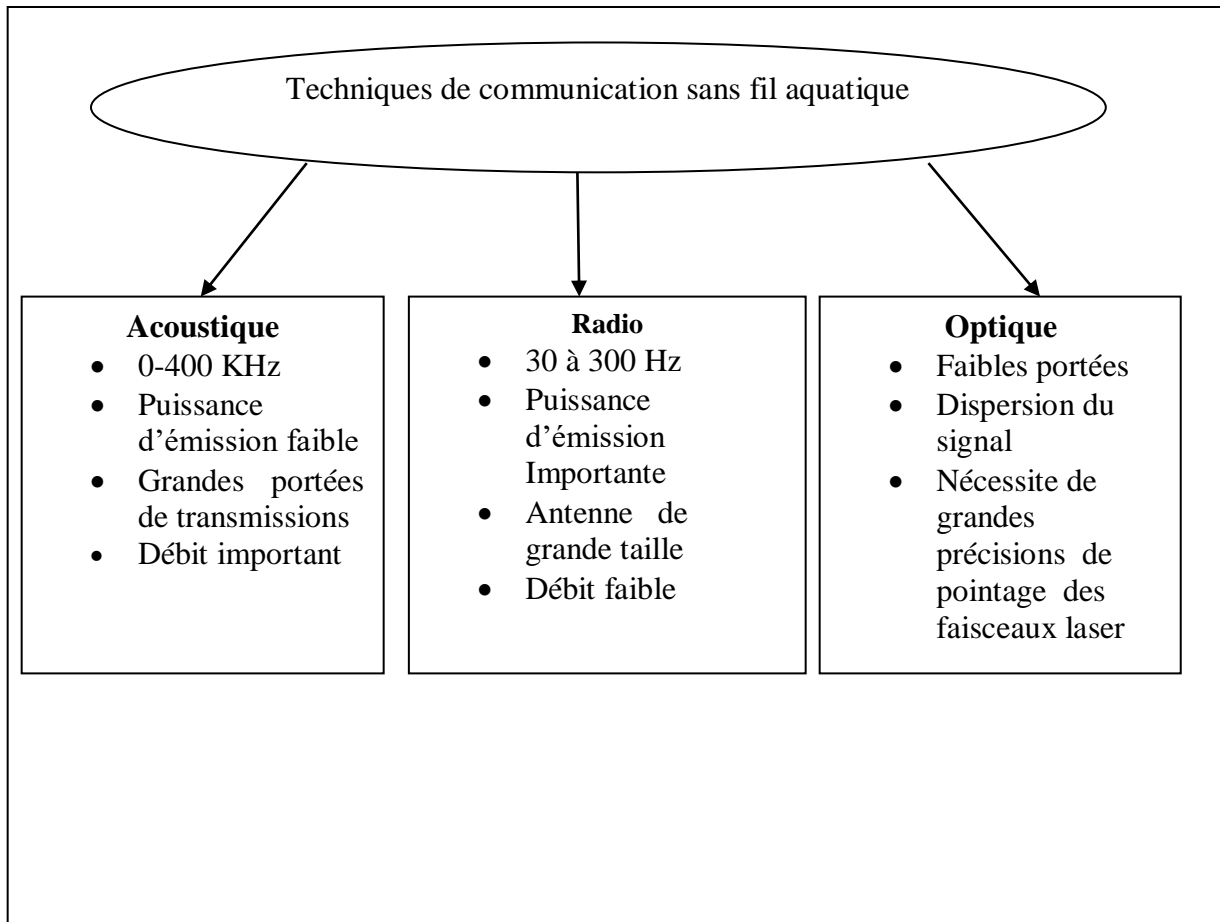


Figure III: Caractéristiques des techniques de communication sans fil

Les différences principales entre un système de communication sans fil sous-marin et aérien peuvent être résumées comme indiqué au tableau I.1.

	Acoustique	Dans l'air	
		Radio	Optique
Type d'onde	Acoustique	Electromagnétique	Optique
Vitesse de propagation	1500ms ⁻¹	3.10 ⁸ ms ⁻¹	3. 10 ⁸ ms ⁻¹
Bande de fréquence	0-40 KHZ	20 KHZ-300 KHZ	193.10 ¹² -435.10 ¹²
Cout de récupération des systèmes de communications	Importants	Faible	
Complexité de récepteur	Plus complexe pour limiter l'effet du canal aquatique (effet de multi trajet et évanouissement)	Moins complexe que le récepteur aquatique	N'est pas complexe (pas de multi trajet et d'évanouissement)
Type de modulation	M-PSK ; M-FSK	M-QAM ; M-PSK ; M-FSK	
Débit	Faible (capacité de lien acoustique faible)	Important (jusqu'a 10Gbits pour une liaison optique)	
Délais de propagation	Elevé	Faible	
Portée de transmission	Importante	Importante	Moyenne
Transducteur	Piézoélectrique	Électromagnétique	Opto-électrique

Tableau I.1 : Comparaison entre les systèmes de communication sans fil dans l'air et dans le milieu marin.

III.7 La différence entre les réseaux de capteurs terrestres et sous-marins

Voici les différences entre les deux technologies de communication :

III.7.1 Taille et coût

Dans le réseau sous-marin les nœuds de capteurs terrestres sont peu coûteux en raison de la plus petite taille, les capteurs sous-marins sont coûteux.

III.7.2 Puissance

La puissance requise dans la communication acoustique sous-marine est plus élevée que celle de la communication terrestre en raison de la plus grande distance et du traitement du signal plus complexe nécessaire au récepteur. Un meilleur traitement du signal est requis sous l'eau en raison des conditions de canal complexes. Dans les réseaux sous-marins, une plus grande consommation d'énergie est nécessaire et, par conséquent, la capacité de la batterie est plus élevée.

III.7.3 Mémoire

Les nœuds de capteurs terrestres ont une capacité de stockage très limitée. Les nœuds de capteurs sous-marins nécessitent plus de capture de données en raison des besoins de canaux intermittents [31].

III.7.4 Méthode de communication

Les réseaux de capteurs terrestres utilisent des ondes électromagnétiques mais dans les réseaux sous-marins, en utilisent des ondes acoustiques.

III.7.5 Mobilité du Nœud

La mobilité des nœuds de réseaux terrestre peut être prédite alors que dans les réseaux sous-marins la prédiction de la mobilité du nœud est difficile, en raison de la densité et la variation de débit de l'eau [32].

III.8 Défis des capteurs sous-marins**III.8.1 Dommages physiques**

RCSF-SM est plus cher et doit donc être physiquement protégé des salissures, de la corrosion et des animaux marins etc.

III.8.2 Alimentation par batterie

La durée de vie de RCSF-SM est beaucoup plus courte par rapport à RCSF.

III.8.3 Délais de propagation

Afin de transmettre les données le réseau choisit le chemin optimal, les capteurs de RCSF-SM a besoin de plus d'énergie pour transmettre les données à de très grande distance afin qu'il opte pour choisir d'envoyer au nœud le plus proche ce qui conduit à un maximum de sauts ce qui augmente le temps nécessaire pour atteindre destination.

III.8.4 Bande passante limitée

La bande passante est le débit binaire disponible. RCSF-SM ont une bande passante très réduite en raison de l'utilisation de signaux acoustiques.

III.8.5 Localisation

Si la position du nœud change ou si le nœud est à un mauvais point, toute la connexion de données RCSF-SM a des effets, la fiabilité et la sécurité sont les principaux problèmes [33].

IV. Conclusion

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

Dans ce chapitre, nous présentons les principes des RCSF et RCSF sous-marin nous avons décrit leurs différentes caractéristiques et domaines de recherches. Ainsi que, leur Différentes techniques de communication à savoir la communication acoustique, communication optique et radio après on finit par les défis de capteur sous-marins.

Dans le chapitre suivant nous allons aborder un état de l'art sur le routage basé sur les chaînes pour les RCSF et RCSF-SM.

Chapitre II : Routage basé sur les chaînes pour les RCSF-SM

I. Introduction

Avec les avancées récentes dans les dispositifs et technologies de capteurs sous-marins, les réseaux de capteurs sans fil sous-marins (RCSF-SM) permettent une variété d'applications telles que l'exploration et la surveillance sous-marines, la prévention des catastrophes, la surveillance et la reconnaissance militaires. Cependant, ces types de réseaux sont confrontés à un certain nombre de défis induits par la nature de l'environnement sous-marin et son influence sur les supports physiques. Par conséquent, de nouveaux protocoles de routage sont proposés spécifiquement pour ces réseaux afin d'atténuer ces défis [36].

Routage d'information pour les RCSF-SM est d'une importance primordiale. En raison que les protocoles de routage identifient les chemins à partir du fond jusqu'à la surface de l'eau pour assurer les performances du réseau conformément aux paramètres. Plus précisément, les défis associés au milieu sous-marin et lors du transfert de paquets sont pris en compte par ces protocoles pour atteindre les performances optimales du réseau en fonction des objectifs. Par exemple, ces protocoles font face à la puissance limitée de la batterie, au bruit et aux interférences sévères, aux zones d'ombre, aux mouvements des nœuds de capteurs avec les courants d'eau, à la livraison fiable de paquets de données dans des conditions de canal défavorables et à un délai de propagation élevé [37].

Ce chapitre présente une revue sur le routage pour les RCSF-SM.

II. Routage dans les réseaux de capteurs sans fil sous-marins

II.1 Définition de routage dans les RCSF-SM

Le protocole de routage est un processus permettant de sélectionner le chemin approprié pour que les données voyagent de la source à la destination. Le processus rencontre plusieurs difficultés lors de la sélection de l'itinéraire, qui dépend du type de réseau, des caractéristiques du canal et des mesures de performance [38].

La conception du protocole de routage dans un environnement sous-marin est une tâche complexe, car dans un environnement sous-marin, la topologie statique n'est pas valide en raison du mouvement continu de l'eau. La conception de la topologie dynamique est la meilleure solution en milieu sous-marin; cependant, la topologie dynamique est également confrontée aux problèmes graves dus au courant d'eau et à la bande passante limitée du canal acoustique [39].

II.2 Problèmes de la conception de routage dans les RCSF-SM

La conception et la réalisation des réseaux de capteurs sans fil sont influencées par plusieurs paramètres et problèmes qui peuvent menacer le bon fonctionnement d'un protocole de routage dans les réseaux de capteurs sous-marins lequel :

II.2.1 Source d'énergie

Les nœuds sans fil sous-marins autonomes sont plus ou moins exclusivement alimentés par des batteries. Par conséquent, il est important que l'énergie soit conservée autant que possible en utilisant une technologie de modem acoustique sous-marin économe en énergie. En raison de ces défis, le modem sans fil sous-marins est conçu pour être un modem à haute efficacité énergétique et en même temps pour fournir une liaison sans fil sous-marine très robuste.

II.2.2 Méthodes de modulation

Le choix de la modulation correcte pour une communication sous-marine est la clé du succès. Le spectre étalé à séquence directe (DSSS) est la méthode de modulation la plus éprouvée pour la communication sans fil sous-marine qui peut fournir une liaison robuste même dans des conditions très difficiles. Contrairement aux communications terrestres sans fil, l'environnement sous-marin peut changer très rapidement en raison de facteurs environnementaux tels que le vent, la température, les courants sous-marins, le bruit, etc. Par conséquent, une liaison de communication robuste est une considération clé qui doit être prise en compte. La signalisation DSSS est parfaitement adaptée car cette méthode de modulation résiste à des niveaux élevés de réflexions et de bruit. Récemment, des méthodes de modulation OFDM ainsi que des méthodes de modulation de fréquence balayée ont été essayées avec un certain succès. Ces dernières méthodes de modulation aboutissent cependant à des algorithmes de récepteur très complexes qui ont un impact sur la durée de vie de la batterie.

II.2.3 Temps de transmission des messages

En raison de la vitesse du son inférieure à la vitesse de la lumière de plusieurs ordres de grandeur, le temps de transit des paquets dans une communication sans fil sous-marines est un autre défi majeur. Cela peut conduire à des collisions de paquets et abaisser ainsi les débits transmission du réseau.

II.2.4 Bruit sous-marin

En général, le bruit sous-marin s'ajoute aux données souhaitées à transmettre et dégrade la qualité des communications. Pour y remédier, les protocoles de routage doivent sélectionner les chemins les moins affectés par le bruit. Le bruit ambiant sous-marin est constitué de quatre composantes: le bruit de (navigation, vague, thermique et de turbulence).

II.2.5 Atténuation du canal

L'atténuation dans les communications sous-marines est le résultat de la perte d'absorption et de la perte d'étalement. Ceci, en effet, diminue la force des signaux désirés au fur et à mesure que le processus de routage se poursuit. En conséquence, il devient difficile d'extraire les données du signal reçu à la destination finale.

II.2.6 Bande passante limitée

Le milieu sous-marin dur ne permet qu'à des fréquences spécifiques du spectre acoustique de véhiculer des informations. Cela limite la bande passante disponible, ce qui à son tour impose des restrictions à la conception des systèmes acoustiques. Par conséquent, les protocoles de routage doivent prendre en compte la gamme limitée de fréquences disponibles pour sélectionner les chemins de routage et transmettre les paquets de données à la destination finale. La convergence (plage de transmission) d'une application sous-marine est inversement proportionnelle à sa bande passante [41].

II.3 Les critères de performance des protocoles de routage en RCSF-SM

La performance des protocoles de routage dédiés à l'environnement aquatique peuvent être mesuré par les critères suivants :

II.3. 1 Evolutivité

L'évolutivité est un facteur important dans les réseaux de capteurs sans fil sous marins. Une zone de réseau n'est pas toujours statique, elle change selon les besoins des utilisateurs. Tous les nœuds dans le domaine du réseau doivent être évolutifs ou être en mesure de s'adapter aux changements dans la structure du réseau en fonction de l'utilisateur.

II.3.2 L'énergie

Chaque nœud utilise son énergie pour des activités telles que la détection, le traitement, le stockage et la transmission. Un nœud dans le réseau doit savoir combien d'énergie sera utilisée pour effectuer une nouvelle tâche à laquelle il est soumis. L'énergie consommée peut varier selon le type de fonctionnalité ou l'activité qu'il a à accomplir. En plus, l'énergie est considérée

comme une ressource précieuse pour les réseaux de capteurs vu que ces derniers présentent une autonomie d'énergie.

II.3.3 Le temps de traitement

Il se réfère au temps pris par le nœud dans le réseau pour assurer l'ensemble des opérations commençant par la détection, le traitement des données ou le stockage de données, la transmission ou la réception sur le réseau.

II.3.4 Le mode de transmission

La transmission de données par les nœuds vers la destination ou la station de base se fait selon deux schémas : routage à un seul saut ou à multi saut.

II.3.5 Synchronisation

Dans les communications entre les nœuds d'un RCSF-SM, les capteurs écoutent en permanence les transmissions et consomment de l'énergie s'ils ne sont pas synchronisés les uns des autres. Pour cela, un nœud doit avoir la même notion de temps pour se mettre en veille et se réveiller que ses voisins [42].

II.4 Classification des protocoles de routage dans les réseaux de capteurs sans fil sous marins

Selon l'architecture de réseau les protocoles de routage sont également classés en plusieurs catégories. Certains nœuds sont homogène alors que certains se composent de nœuds hétérogènes, nous pouvons classer les protocoles, sur trois types : les protocoles basé sur une topologie plate, les protocoles basé sur une topologie hiérarchique et géographique [43].

II.4.1 Routage à plat

Dans cette catégorie, si un nœud doit transmettre des données, il cherche d'abord une route valide vers la station de base, puis transmet les données. Dans ce type de routage chaque paquet entrant est envoyé sur chaque ligne sortante sauf celle sur laquelle il est arrivé. Un grand nombre de paquets en double est généré. Il est bon seulement pour les petits réseaux et offre une grande fiabilité [44].

II.4.2 Routage géographique

Le routage géographique est basé sur les informations d'emplacement des nœuds, ce type de routage est très prometteur pour la transmission de paquets dans les réseaux de capteurs sans fil, en particulier dans les environnements hostiles, car il n'ajoute pas toute une charge dans la conception du réseau bien que le processus de localisation lui-même dans ce type de routage est une source intrinsèque d'erreurs de communication, donc une amélioration importante sur l'information géographique peut apporter un rendement efficace sur l'acheminement.

Les protocoles de routage géographique existants adoptent différentes politiques pour sélectionner le prochain saut. Cependant, ces politiques ne peuvent pas être appliquées directement aux RCSF mobiles. Tous les protocoles de routage géographique sont proposés pour

des réseaux bidimensionnels, les protocoles de routage géographique ne prennent pas en considération le critère fiabilité des données, ils adoptent souvent une seule voie d'acheminement [45].

II.4.3 Routage hiérarchique

Les protocoles hiérarchiques fonctionnent généralement sous forme de clusters. Les nœuds ne sont pas tous au même niveau, ils sont de type différent et n'ont pas les mêmes capacités. Un cluster est composé de plusieurs nœuds avec un chef qui est chargé de la transmission des messages générés par son cluster aux autres chefs de clusters pour atteindre la destination finale. Le chef peut être soit un nœud possédant des capacités accrues, ou bien se faisant le changer à tour de rôle en fonction du nombre de voisins et du niveau d'énergie résiduelle. On retrouve notamment le protocole LEACH, qui choisit aléatoirement les cluster-Head (chef de groupes) et attribue ce rôle aux différents nœuds selon la politique de gestion Round-Robin pour garantir une dissipation équitable d'énergie entre les nœuds [46].

Il existe d'autres formes de routage hiérarchique, ils peuvent être modélisés aussi sous forme des chaînes et des arbres. Dans la section suivante le routage basé sur les chaînes dans les réseaux des capteurs sans fil terrestre et les réseaux des capteurs sans fil sous-marins sera notre objet d'état de l'art.

III. Routage basé sur les chaînes pour les réseaux de capteur sans fil terrestres

III.1 Définition de Routage basé sur les chaînes pour les réseaux de capteurs sans fil terrestres

Les protocoles de routage sont utilisés pour réduire l'utilisation du contrôle et augmenter la durée de vie des nœuds du réseau dans un RCSF. Les performances du réseau de capteurs sans fil sont influencées par de nombreux aspects. Il s'agit de la quantité d'énergie consommée, fréquence, collecte de données, redondance de l'information, capacité déplacement, chemins multiples, délais de transmission, la perte des paquets.

Les protocoles basés sur les chaînes sont organisés dans une topologie où l'un des nœuds fonctionne comme un Leader son rôle est de transmettre à la station de base, les capteurs dans chaque chaîne transmettent leurs données à leur propre leader (tête de chaîne). Chaque nœud est situé dans un emplacement en 2 dimensions avec des coordonnées (x, y) d'une manière uniforme. Un capteur peut transmettre des données seulement à ses deux nœuds voisins les plus proches dans la même chaîne [47].

III.2 Les caractéristiques de routage basé sur les chaînes pour les réseaux de capteurs sans fil

Il existe de nombreuses caractéristiques communes pour les protocoles de routage hiérarchique basés sur les chaînes.

- ✓ Le type de connexion dans l'intra-connexion est multi-saut, sur l'interconnexion un simple ou multi saut est utilisé jusqu'à atteindre la station de base.
- ✓ La durée de vie du réseau est extensible avec une faible puissance de consommation.
- ✓ La structure du réseau en chaîne souffre des problèmes de délai causé par les longues liaisons (LL) et les données redondantes (répétition des transmissions de données).
- ✓ L'énergie résiduelle n'est pas prise en compte lorsque l'on sélectionne le leader dans certains protocoles, tandis que d'autres le considèrent comme condition de sélection du nœud leader.
- ✓ La station de base est stationnaire et il n'existe qu'une seule station de base dans tous les protocoles.
- ✓ le routage basé sur les chaînes peut réduire la consommation d'énergie lorsque les nœuds envoient des données uniquement à son voisin le plus proche.
- ✓ Distributions de la consommation énergétique dans les protocoles de routage chaîne en raison de la faible énergie consommé par bit [48].

III.3 Les algorithmes de routage basé sur les chaînes pour les réseaux des capteurs sans fil

Plusieurs algorithmes basés sur les chaînes ont été développés pour les RCSF, dans cette partie on va étudier quelques protocoles tels que PEGASIS, CCM, CBRC, REC+, GRID-PEGASIS.

III.3.1 PEGASIS (Power-Efficient Gathering in Sensor Information System)

PEGASIS est un protocole de routage basé sur les chaînes. Il permet d'économiser l'énergie par rapport au protocole LEACH [49]. PEGASIS est une version améliorée de LEACH, l'objectif de PEGASIS est que tous les nœuds capteurs communiquent entre eux dans leur voisinage et que tous les nœuds peuvent devenir un cluster Head. Il sélectionne un cluster-Head pour communiquer avec la station de base à chaque itération. Le fonctionnement de base de PEGASIS est divisé en deux phases :

Phase1: construction de la chaîne : La chaîne peut être construite en utilisant l'algorithme « Greedy » à partir du nœud le plus éloigné de la station de base.

Phase2: Collecte de données et transmission à la station de base : n'importe quel nœud présent dans un réseau peut être sélectionné au hasard comme chef de groupe pour communiquer avec la station de base. Lorsque le nœud est à faible batterie, une nouvelle chaîne est formée en contournant le nœud capteur mort [61].

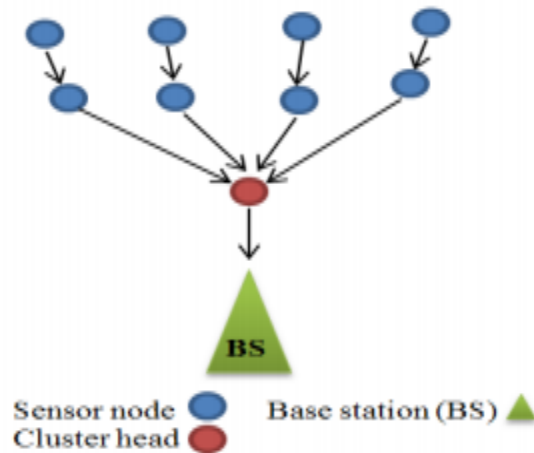


Figure II.1: Structure de PEGASIS [49].

III.3.2 CCM (Chain-Cluster based mixed routing)

CCM est un algorithme de routage hiérarchique inspiré de LEACH et PEGASIS. Initialement, l'algorithme divise principalement un RCSF en certain nombre de chaînes et fonctionne en deux phases. Dans la première phase, les nœuds capteurs de chaque chaîne transmettent des données à leur propre chef de chaîne (Leader) en parallèle, en utilisant un protocole de routage de chaîne amélioré. Dans la deuxième phase, tous les chefs de chaîne sont groupés en tant que cluster de manière auto-organisée, où ils transmettent des données fusionnées après l'élection d'un cluster Head utilisant un routage basé sur le clustering.

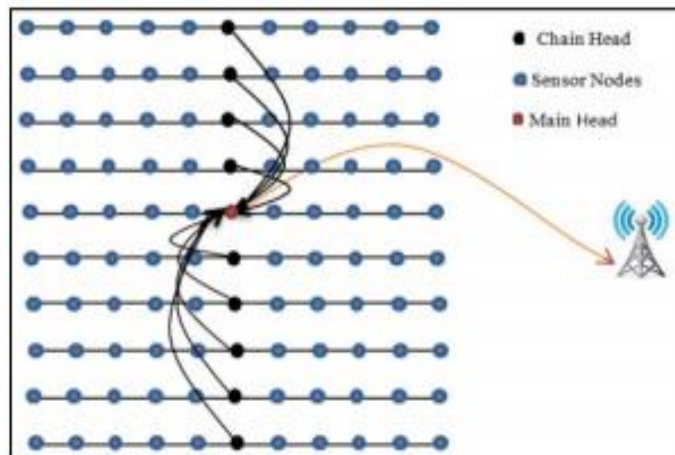


Figure II.2: l'algorithme CCM [50].

III.3.3 CRBCC (Chain routing based on coordinates-oriented cluster)

CRBCC a divisé la topologie du réseau en plusieurs groupe coordinateur « Y » avec un nombre approximativement égal de nœuds puis il a utilisé l'algorithme du recuit simulé au lieu de l'algorithme « Greedy » dans PEGASIS pour construire l'intra-connexion entre les nœuds de la chaîne dans chaque cluster. Chaque chaîne après va élire un leader dans un groupe de coordinateur X et ces leaders vont construire la chaîne principale. Le leader de la chaîne principale est sélectionné d'une manière aléatoire, et la transmission de données se fait directement à la station de base [51].

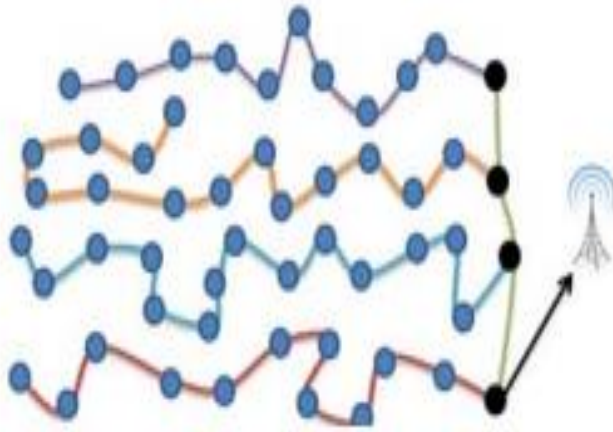


Figure II.3 : Protocole routage CRBCC [51].

Le protocole CRBCC réduit le délai de livraison des données à la SB [51].

III.3.4 Grid-PEGASIS

Le protocole de routage Grid-PEGASIS divise la zone d'intérêt en petites grilles virtuelles. Chaque grille possède un identifiant unique. Chaque nœud trouve son association avec un Grid ID. Une chaîne est formé dans chaque grille avec les nœuds associés au la grille. Ensuite, les données de chaque grille sont transmises au SB en utilisant un mode multi-sauts. Le nœud leader de chaque chaîne transmet les données au nœud d'extrémité de l'autre chaîne de la grille suivante. Ici. Les distances de communication sont encore minimisées. Mais, l'inconvénient de la technique est que le nœud ayant la responsabilité d'envoyer des données est sélectionné aléatoirement ce qui peut dégrader les performances du réseau [52].

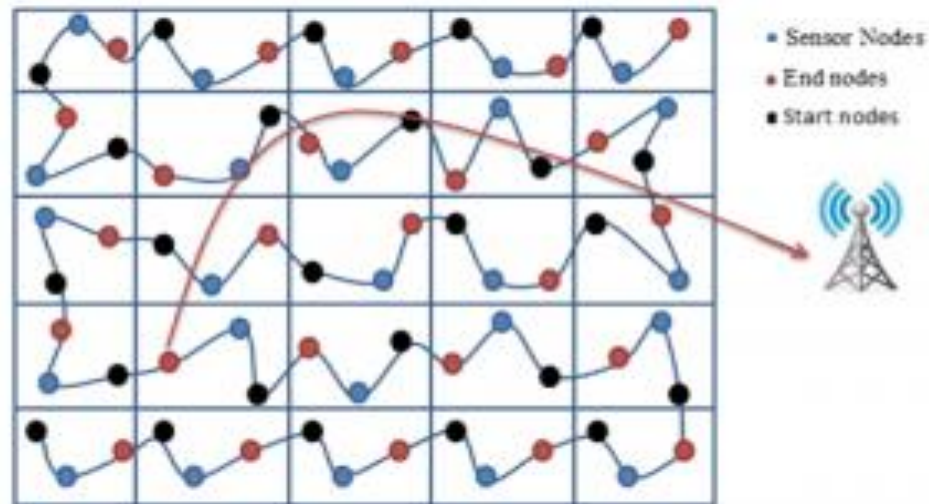


Figure II.4: Protocol Grid-PEGASIS [52].

III.3.5 Chain-based 1

Le protocole de routage Chain-Based1 divise le réseau en bandes de taille égale dans la direction de la station de base. La chaîne est construite entre tous les nœuds de la bande en utilisant l'approche de l'algorithme « greedy ». Le nœud d'extrémité de chaque chaîne le plus proche du SB (nœud de terminaison) est responsable de la transmission des données vers la SB. La chaîne est mise à jour si l'un de ses nœuds devient mort. Les nœuds proches de la station de base dans chaque chaîne meurent rapidement car ils consomment beaucoup plus d'énergie pour la transmission directe des données au SB et rendent le réseau instable [52].

III.3.6 Chain-based 2

Un autre algorithme Chain-based2 est proposé, qui représente une amélioration par rapport à Chain-based1, son objectif est de réduire le nombre de transmissions directes vers le BS. Une chaîne principale est construite entre les nœuds de terminaison des chaînes. Le nœud de terminaison avec l'énergie la plus élevée est sélectionnée comme nœud leader de la chaîne principale et est chargé de transmettre les données au BS. Les deux algorithmes ne sont pas évolutifs [51].

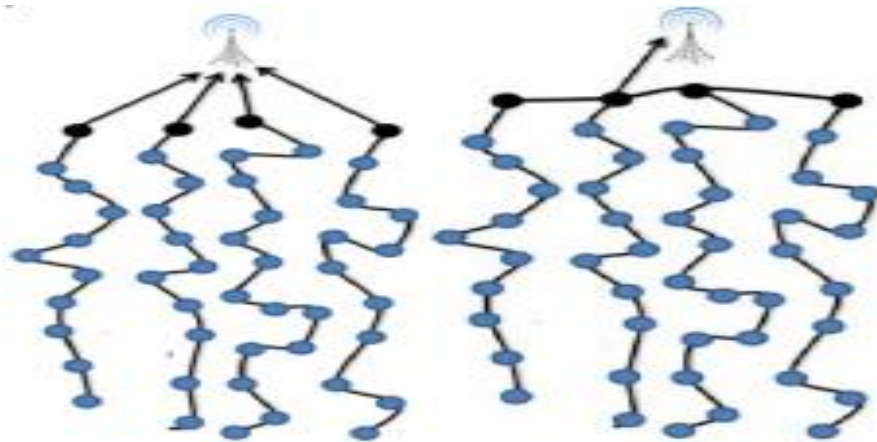


Figure II.5: Chain-based1 et Chain-based2.

III.3.7 REC+ (A reliable and energy-efficient chain-cluster based routing protocol)

Le protocole REC+ vise à réaliser le maximum de fiabilité dans un réseau multi-saut en calculant la meilleure position pour le CH, la forme, et la taille appropriées du cluster. REC+ est le premier protocole qui considère la fiabilité de la transmission, l'efficacité énergétique et le délai intra cluster pour construire le cluster et sélectionner le cluster Head. Le fonctionnement de REC+ est divisé en trois phases:

Premièrement la phase de formation des clusters, dans cette phase REC+ suppose que la SB possède toutes les informations sur les nœuds en termes de position et énergie, ensuite la SB va diviser les nœuds dans le réseau en plusieurs clusters selon le coordonnateur Y.

Deuxièmement la phase de la sélection du Cluster Head et la formation de la chaîne du cluster, contrairement à d'autres algorithmes, REC+ choisit le nœud leader dans la chaîne d'abord puis assigne ses membres [51].

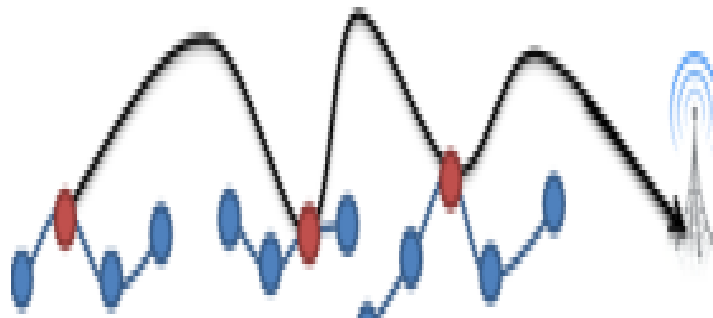


Figure II.6: Protocol REC+ [51].

La troisième phase dans REC+ est la phase stable, dans cette étape chaque nœud détectera les données et les enverra à son voisin, ce nœud fusionne les données voisines avec ses données puis il les envoie au CH [51].

III.4 Comparaison entre les algorithmes étudiés

Protocole	Auteurs / Année	Routage intra/inter Cluster	critères de mesure de performance	Outils	Avantage	Inconvénient
PEGASIS	Lindsey, et al. (2002)	Multiples Sauts / Simple Saut	Nombre de nœuds morts	C simulation	<ol style="list-style-type: none"> 1. Réduction la surcharge de clustering par la méthode basée chaîne. 2. Réduire la consommation d'énergie. 3. Réduire la quantité de transfert de données vers SB. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. suppose que tous les nœuds peuvent être directement connectés à SB. 2. Il ne convient pas au déploiement déterministe.
CCM	Tang, et coll. (2010)	Multiple-sauts / Multiple-sauts	Énergie Retard	CYGNES	<ol style="list-style-type: none"> 1. Faible surcharge sur le réseau. 2. Faible délai dans la partie cluster. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Conservé plus d'énergie dans la partie cluster. 2. Utilisation de la sélection CH séquentielle. 3. Utilisation de l'énergie résiduelle uniquement pour sélectionner le leader.
CRBCC	Zheng, et coll. (2009)	Multiple-sauts / Multiple-sauts	Consommation d'énergie Retard	Non précisé	<ol style="list-style-type: none"> 1. Réduire le délai de livraison des données des nœuds à la SB. 2. Minimise la consommation d'énergie dans l'agrégation de 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Élection du leader de la chaîne au ces nœuds épuiseront son énergie plus rapidement que les autres. 2. Sélectionné au

					données.	hasard le leader.
REC+	Zahra, et coll. (2013)	Multiple-sauts / Multiple-sauts	Énergie Retard	Java JDK6	1. Utilisation du seuil de remorquage pour créer un cluster et sélectionner le CH. 2. utiliser un nœud de relais pour réduire la puissance entre les CH.	1. Cout élevés. 2. Cela suppose que tous les nœuds peuvent être connectés directement à la SB. Ce n'est pas toujours applicable dans les réseaux pratiques.
Chain Based1 Chain based2	Hadjila, et coll. (2013)	Multiples Sauts / Simple Saut Multiples Sauts / Multiples Sauts	Consommation d'énergie Nombre de nœuds actifs	MATLAB	1. Utilisation du concept multi-chaîne pour réduire les délais et les données redondantes. 2. Économie d'énergie des nœuds. 3. Prolongez la durée de vie du réseau.	1. Le déploiement aléatoire ne garantit pas une répartition uniforme des nœuds. 2. Multi CH sans moyen adaptatif de faire pivoter le rôle du CH durée de vie réduite.
Grille-PEAGAS IS	Yung et coll. 2010	Multiple-sauts / Multiple-sauts	Durée de vie du réseau	Non précisé	1. Éviter les longs liens de saut suivant sur certains nœuds avec PEGASIS.	1. Construction d'une chaîne unique. 2. Les retards et les données redondantes ne peuvent pas être évités. 3. La méthode n'est pas expliquée. 4. Choisir CH au hasard.

Tableau III.1: Comparaison entre les algorithmes [51].

IV. Routage basé sur les chaînes pour les réseaux de capteurs sans fil sous-marins

IV.1 Routage basé sur les chaînes pour RCSF-SM

Le routage basé sur les chaînes a pour objectif d'optimiser la durée de vie de RCSF-SM. Chaque chaîne a un nœud leader, qui est le nœud le plus proche de la SB. Le nœud initial de chaque chaîne transmet les données à son nœud dans sa chaîne respective, où les données sont agrégées et transférées au nœud le plus proche. De même, le processus sera répété jusqu'à ce que le dernier nœud soit rencontré, qui fusionne ensuite et envoie les données directement à la SB. Un régime amélioré est également proposé, qui consiste à former une chaîne principale regroupant les nœuds leaders. Un nœud de cette chaîne principale collecte, agrège et transmet les données à la SB [53].

IV.2 Les algorithmes basés sur les chaînes proposées pour les RCSF-SM

Dans cette partie nous allons présenter quelques protocoles proposés pour les RCSF-SM:

IV.2.1 Parametric data aggregative

Le routage d'agrégation de données vise à transmettre les données récapitulatives détectées (sans perdre la signification et la précision des données) de manière convergente vers le point d'accès (station de base). Cela permet de réduire le taux de transmission et, par conséquent, la consommation des ressources du réseau. Le routage d'agrégation de données comporte deux schémas: client/serveur et agent mobile. Le client/serveur permet aux nœuds intermédiaires de collecter et d'agréger les paquets de données transférés de la région de l'événement vers la station de base, tandis que les agents mobiles sont acheminés dans tout le réseau pour capturer et collecter les données dans ce dernier. En d'autres termes, les agents mobiles doivent migrer à travers les chemins pour capturer et agréger des échantillons de données aux nœuds sources, et les envoyer à la station de base [54].

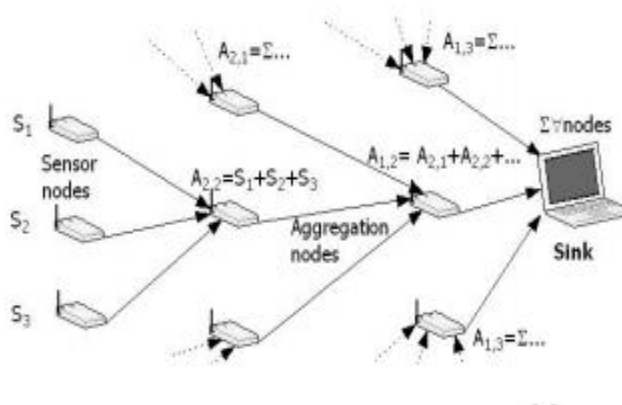


Figure II.7: data agrégation [55].

Ce travail présente un routage d'agrégation sur le réseau sous marins qui incluent plusieurs paramètres à savoir : la distance, l'énergie. Une station de base est également définie à une extrémité du réseau. Le travail est sur le point de définir un chemin optimisé qui démarre à partir du nœud le plus éloigné de la station de base et après avoir couvert tous les nœuds du réseau, transfère les données agrégées à la station de base. Ils proposaient que tous les nœuds soient en mouvement flottant, La station de base se trouve à une extrémité du réseau en absence du GPS, aussi le maintien des informations de localisation est de façon périodique.

Chaque nœud peut recevoir et de transmettre à ses voisins proches, ainsi il peut être le leader pour la transmission au SB à tour de rôle. Les nœuds seront organisés pour former une chaîne qui peut être réalisée par des nœuds de capteurs eux-mêmes. Lorsqu'un nœud meurt, la chaîne est reconstruite avec la même manière de contourner le nœud mort. Les nœuds se relaient et nous utiliserons le numéro de nœud I mode N (N représente le nombre de nœuds) à transmettre au SB.

L'objectif principal de l'agrégation des données est de réduire le trafic réseau et d'économiser l'énergie sur la communication [55].

IV.2.2 E-CBCCP (Energy efficient chain based routing protocol)

Pour explorer le vaste océan, l'internet des objets sous-marins est devenu la zone la plus attrayante de recherche. Des objets intelligents sous-marins sont déployés pour faciliter la découverte des régions inexplorées des océans. E-CBCCP une méthodologie d'efficacité énergétique, le réseau est divisé en sous-régions et chaque sous-région est considérée comme un groupe. Dans chaque sous-région, un leader est responsable de la collecte et de la transmission des données à la sous-région supérieure suivante où les données sont reçues par le coordonnateur de grappes. E-CBCCP permet le stockage de données au niveau du leader pour éviter la transmission des mêmes paquets de données. Si les paquets de données nouvellement reçus sont trouvés identiques, alors un paquet de contrôle est envoyé pour informer les nœuds capteurs de la situation actuelle plutôt que de transmettre des paquets de données. Lorsque l'état de surveillance est stable, il n'est pas obligatoire de les transmettre [56].

IV.2.3 ME-CBCCP (Minimum Energy Consumption Chain-Based Cluster Coordinator Algorithm)

Dans ME-CBCCP, les données détectées sont transmises à la station de base (SB) (comme dans certains application : surveillance de l'environnement, surveillance des frontières, etc.). Certains applications évitent les changements mineurs dans les données jusqu'à un certain point. Lorsque le changement de la valeur est très trivial puis un paquet de contrôle (plus petit que le paquet de données) peut être envoyé au réseau de relais (RN). Ce système aidera à réduire le volume de transmission de données.

Le protocole ME-CBCCP se base sur une communication éco-énergétique entre les nœuds relais, les coordonnateurs de grappes et les nœuds normaux. Éviter les paquets de contrôle et les paquets de données dans les RCSF-SM rend ce protocole adapté aux applications de

l'environnement sous-marin. Cette stratégie améliore l'efficacité énergétique lorsque l'environnement surveillé est stable [57].

IV.2.4 VCBR (virtual chain-based routing)

Dans les RCSF-SM, la répartition inégale des nœuds et la topologie du réseau dynamique peut créer des trous vides et une forte probabilité de collision en raison des interférences du canal dans les réseaux denses. Pour éviter le problème des trous vides et réduire la probabilité de collision, le protocole de routage basé sur la chaîne virtuelle (VCBR) a été proposé. Dans VCBR, il y'a des chaînes virtuelles entre les nœuds et les stations de base pour éviter les trous vides.

VCBR minimise également la probabilité de collision qui est due à l'interférence de canal dans le réseau. Le protocole proposé VCBR, introduit un mécanisme pour transférer les paquets de données grâce à la meilleure chaîne virtuelle appropriée pour gérer les ressources énergétiques des nœuds de capteurs efficacement pendant la communication des données. La chaîne virtuelle la plus courte entre le nœud source et la destination est calculée en fonction des informations de localisation des capteurs.

IV.2.4.1 Architecture du réseau

Dans VCBR, l'architecture utilisée de réseau à plusieurs liaisons qui contient le numéro des nœuds. Les stations de base sont statiques et placés à la surface de l'eau. Les stations de base sont équipées de modems acoustiques et radio.

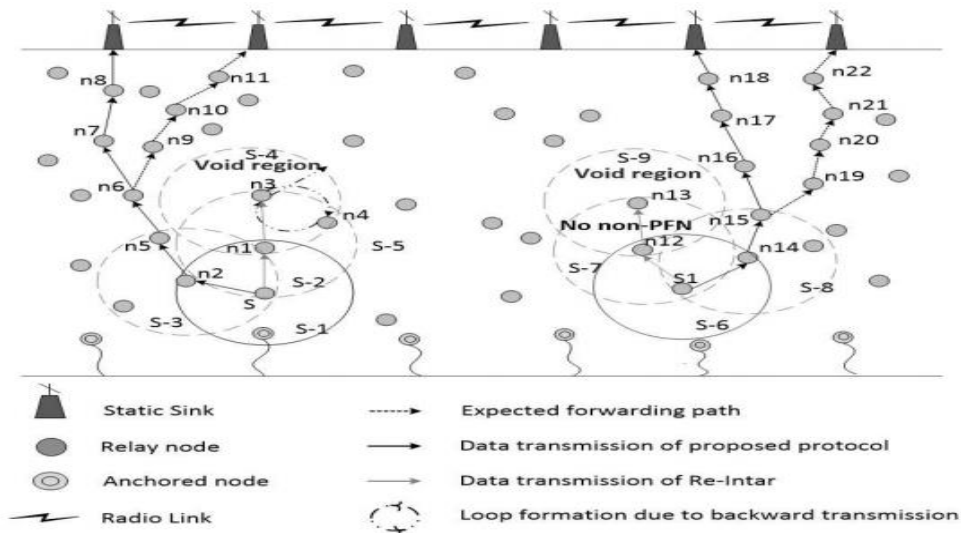


Figure II.8 : Architecture de VCBR [58].

IV.2.4.2 Fonctionnement de VCBR

Le protocole VCBR fonctionne en deux phases : phase de configuration du réseau et phase de transmission des données

a) Phase de configuration du réseau

Cette phase est subdivisée en deux phases : recherche des voisins et la formation de la chaîne.

a.1) Recherche des voisins

Chaque nœud identifie son voisin puis calcule son nombre de sauts, la distance de SB est trouvée son lien. Les nœuds de capteur qui se trouvent à une distance minimale de l'un SB (nœuds dans la plage des puits) et ces nœuds ont une connexion directe aux SB.

a.2) Formation de la chaîne virtuelle

Chaque nœud de capteur génère un paquet de contrôle et l'envoie vers les BS. Le paquet de contrôle comprend l'identifiant unique de chaque nœud de capteur. Si l'un SB reçoit le paquet de contrôle dans un intervalle de temps, il envoie un accusé de réception vers ce nœud et forme une chaîne virtuelle de ce nœud à SB, Si un nœud ne reçoit pas l'accusé de réception de SB dans un intervalle de temps spécifique, il sera envoyé à nouveau le paquet de contrôle vers les SB [58].

b) Phase de transmission des données

Le nœud source sélectionne un nœud parmi ses voisins s'il a l'un de ses liens vers le puits ou valeur de l'indicateur .Le nœud expéditeur puis sélectionnez le nœud de transitaire suivant à et crée une chaîne virtuelle du nœud source aux récepteurs. Lorsque le réseau est dense, il existe une possibilité de formation de chaînes multiples du nœud source aux puits, la sélection de la chaîne pour la transmission des données [58].

IV.2.5 SCBS (single chain based scheme)

Dans le schéma de routage à chaîne unique (SCBS), où une chaîne unique est implémentée en examinant le schéma du routage de SCBS dans lequel SB est placé sur une surface et une seule chaîne est créée à partir du nœud le plus éloigné dans une zone cylindrique. De cette façon, les chemins optimaux locaux sont établis et les données sont transmises du nœud le plus éloigné. Cependant, il existe une pénurie dans le SCBS qui dégrade les performances du réseau car il n'y a pas un mécanisme d'équilibrage énergétique entre les nœuds capteurs. Cela crée des inégalités de charge de transmission de données sur les nœuds qui provoque un problème du voisin distant qui affecte la durée de vie du réseau et le débit du réseau.

En raison de la participation fréquente des nœuds dans la SCBS, la distribution de la charge de transmission des données augmente qui peut causer un déséquilibre en termes de consommation énergétique [59].

IV.2.6 Chain-Based Communication in Cylindrical Underwater Wireless Sensor Networks 1-Chain, 2-Chain et 4-Chain

La conception appropriée du réseau est très importante pour les réseaux de capteurs sans fil sous-marins (RCSF-SM). Ces réseaux peuvent être de différentes formes, c'est-à-dire rectangulaire, cylindrique ou carrée [61].

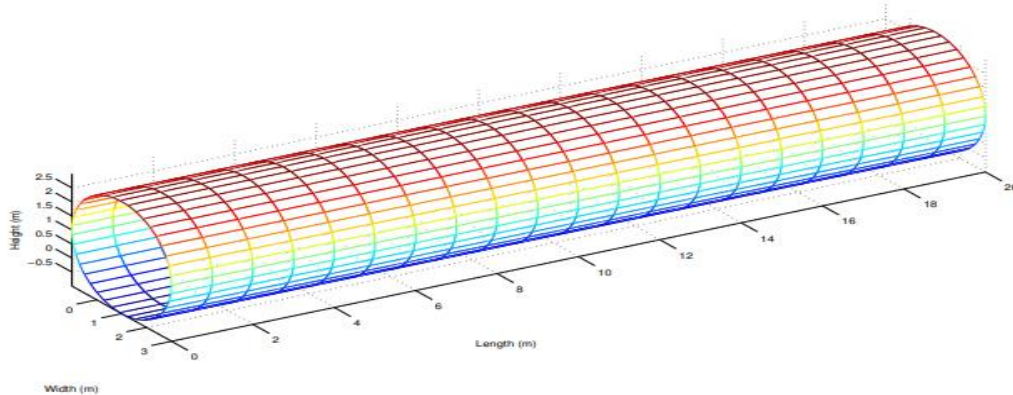


Figure II.9: Réseau cylindrique [60].

Dans [60], les schémas de routage sont basés sur 4 chaînes, 2 chaînes et une seule chaîne pour les réseaux cylindriques (c'est-à-dire un réseau avec une forme cylindrique) sont proposées pour améliorer la durée de vie et le débit du réseau. Les protocoles se composent de deux principales phases à savoir, une phase d'initialisation et une phase d'exploitation du protocole. Dans la phase d'initialisation, les nœuds diffusent leurs informations de localisation à utiliser pour former des chaînes et des chemins optimaux. Dans la phase d'exploitation du protocole, les chaînes sont formées sur la base des informations de localisation à partir du nœud le plus éloigné. Un chemin optimal local entre les nœuds de chaque chaîne est construit. Ensuite, chaque chaîne est connectée au nœud le plus proche dans la chaîne suivante formant un chemin optimal global. Enfin, les paquets de données sont transmis via le chemin optimal global. Les résultats de ces algorithmes montrent que le schéma de routage à 4 chaînes fonctionne mieux que ses homologues. Cependant, le protocole proposé n'est pas vraiment adaptée aux réseaux mobiles sous-marins car les nœuds changent continuellement de position. Où, les informations de localisation doivent être rediffusées afin de reconstruire les chaînes et le chemin optimal. Cela se traduit par des coûts supplémentaires et draine l'énergie [35].

IV.3 Comparaison entre les algorithmes proposés

Algorithme	Auteur / Année	Outils	critères de mesure de performance	Mobilité des nœuds	Efficacité énergétique	Seul / Multiple SB	Principe de fonctionnement
Parametric data aggregative	Aarti et all. (2013)	Non précisé	Nombre des nœuds mort	Mobile	Faible	Seul	1-Construire un chemin d'agrégation sur le réseau. 2- Réduire le trafic réseau et économiser l'énergie consommée
E-CBCCP	Shalli Ran et all. (2017)	Matlab	Consommation d'énergie	Mobile	Faible	Multiple	1-Permet le stockage des données au leader. 2-Eviter la transmission des paquets de données redondants.
ME-CBCCP	Jyoteesh Malhotra et all. (2017)	Matlab	Consommation d'énergie	Mobile	Faible	Seul	1-Propose une communication éco énergétique entre les nœuds relais. 2-Éviter les paquets de contrôle.
VCBR	Hira Ahmad (2017)	/	probabilité de collision	Statique	moyenne	Multiple	1-Eviter le problème des trous vide et réduire la probabilité de collision. 2-Gérer les ressources énergétiques des

							nœuds de capteurs efficacement pendant la communication des données.
SCBS	Muhammad Zain-UI-Abidin et al. (2016)	Simulation	La durée de vie du réseau le débit	Mobile	Haute	Seul	1-Contribue à l'équilibrage énergétique des nœuds de capteurs.
4-Chain-Based /2-Chain Based/1-Chain-Based	Nadeem Javaid et al. (2015)	Simulation	Dure de vie du réseau	Mobile	Haute	Seul	1-Améliore la durée de vie du réseau.

Tableau II.2: Comparaison entre les algorithmes proposés.

V. Conclusion

On a divisé ce chapitre en trois parties, première partie on a parlé sur le routage dans les RCSF-SM qui est basé sur la sélection du meilleur chemin pour que les données voyagent de la source à la destination, nous avons décrit les problèmes de conception d'un protocole de routage, ainsi que les classifications de routage existantes. Deuxièmement, nous avons parlé sur le routage basé sur chaîne dans les RCSF terrestre avec une comparaison entre ces algorithmes.

Le dernier volet de notre étude à travers ce chapitre a été consacré au routage basé sur les chaînes dans les RCSF-SM.

Chapitre III: Résultats et simulations

I. Introduction

Le principe du routage hiérarchique basé sur les chaînes a été largement utilisé dans les RCSF-SM grâce à l'avantage majeur de ce type d'architecture qui est le prolongement de la durée de vie du réseau de capteurs et de réduire la consommation d'énergie [61]. L'extension de la durée de vie du réseau et la consommation d'énergie sont des problèmes très difficiles qui doivent être pris en compte lors du routage des données dans les réseaux de capteurs sans fil en général et en particulier dans RCSF-SM [62]. Ou à cette fin, nous proposons une chaîne multicouche basée sur l'algorithme ACO pour optimiser la consommation d'énergie et prolonger la durée de vie d'un RCSF-SM. Ceci a été validé par une étude par le logiciel Matlab et en finira avec une conclusion.

II. Description du logiciel Matlab

Nous avons choisi MATLAB (MATrix LABoratory), comme un environnement d'implémentation pour notre protocole. MATLAB est un langage de calcul scientifique de haut niveau et un environnement interactif pour le développement des applications, la visualisation et l'analyse de données, ou encore le calcul numérique. Nous utilisons MATLAB®15.0 pour résoudre des problèmes de calcul scientifique plus rapidement. Le langage MATLAB met à la disposition du développeur les opérations vectorielles et matricielles, fondamentales pour les problèmes d'ingénierie et scientifiques. Il permet un développement et une exécution rapide à l'égard de langage MATLAB nous pouvons programmer et tester des algorithmes plus rapidement qu'avec les langages traditionnels, car il n'est pas nécessaire d'effectuer les tâches de programmation de bas niveau, comme la déclaration des variables, la spécification des types de données et l'allocation de la mémoire.

Les IHM (Interface Homme Machine), sont appelés GUI (Graphique User Interfaces) dans MATLAB. Elles permettent à des objets graphique (buttons, menus, cases à cocher, ...) d'interagir avec un programme informatique [63].

III. Description de l'algorithme proposé

III.1 Présentation algorithme ACO

ACO est une classe d'algorithmes, appelé Ant System, était initialement proposé par Coloni, Dorigo et Maniezzo. L'idée principale inspirée par le comportement des fourmis réelles, d'une manière simplifiée, les fourmis commencent par se déplacer au hasard. Puis, lorsqu'elles ont trouvé de la nourriture, elles retournent vers leur colonie, en marquant leur chemin à l'aide de phéromone. Si d'autres fourmis rencontrent ce chemin, il y a de fortes chances qu'elles arrêtent leurs déplacements aléatoires et qu'elles rejoignent le chemin marqué, en renforçant le marquage à leur retour, s'il mène bien vers de la nourriture. Dans le même temps, le chemin le plus court

Sera davantage parcouru, et donc plus renforcé et plus attractif, on parle de rétroaction positive. En considérant que la phéromone s'évapore, les chemins les moins renforcés finissent par disparaître, ce qui amène toutes les fourmis à suivre ce chemin le plus court. L'algorithme de colonies de fourmis a été à l'origine principalement utilisé pour produire des solutions quasi-optimales au problème du voyageur de commerce, puis, plus généralement, aux problèmes d'optimisation combinatoire. On observe, depuis ses débuts, que son emploi se généralise à plusieurs domaines, depuis l'optimisation continue jusqu'à la classification, ou encore le traitement d'image [64].

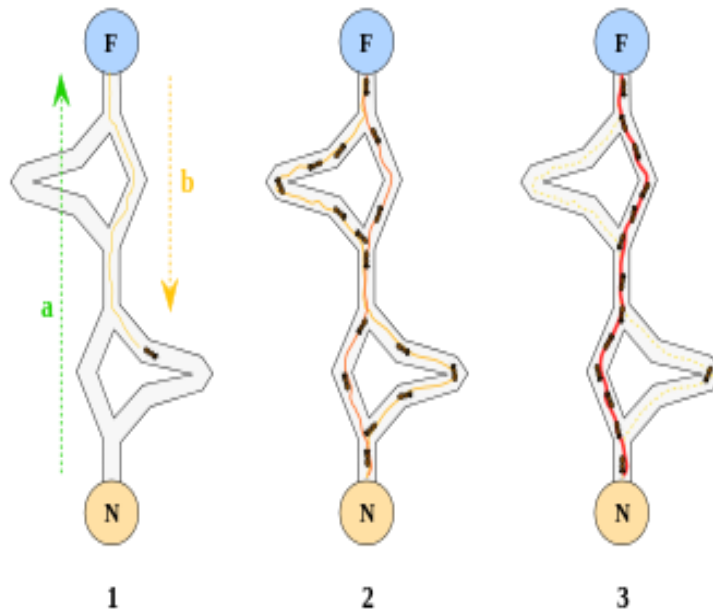


Figure III.1: Chemin des fourmis [65].

- 1) la première fourmi trouve la source de nourriture (F), via un chemin quelconque (a), puis revient au nid (N) en laissant derrière elle une piste de phéromone (b).
- 2) les fourmis empruntent indifféremment les quatre chemins possibles, mais le renforcement de la piste rend plus attractif le chemin le plus court.
- 3) les fourmis empruntent le chemin le plus court, les portions longues des autres chemins perdent leur piste de phéromones [65].

III.2 Modèle de l'algorithme ACO

Initialiser les pistes de phéromones ;

```
while critère de fin non rencontré do
  For chaque fourmi do
    Construction de la solution en utilisant la piste de phéromones
    Mettre à jour les pistes :
      – Evaporation ;
      – Renforcement ;
  End
End
```

Sortie : meilleure solution trouvée ou un ensemble de solutions.

III.3 Construction de la solution

La construction de solutions se fait selon une règle de transition d'état probabiliste. Les fourmis artificielles peuvent être considérées comme des procédures stochastiques qui construisent une solution d'une manière probabiliste en ajoutant des parties de solution pour les parties existantes jusqu'à ce qu'une solution complète soit obtenue. Le problème d'optimisation cible peut être vu comme un graphe de décision (ou graphe de construction) où une fourmi va construire un chemin. Habituellement, ce processus itératif prend en compte:

- Les pistes de phéromones: En effet, les pistes de phéromones mémorisent les caractéristiques des "bonnes" solutions générées, qui guideront les fourmis à construire de nouvelles solutions. Les pistes de phéromones changent de façon dynamique lors de la recherche afin de refléter les connaissances acquises. Elles représentent la mémoire de l'ensemble du processus de recherche des fourmis.
- L'information heuristique du problème dépendant: Une information du problème spécifique donne plus d'indices pour les fourmis dans leurs décisions pour construire des solutions.

IV. Notre algorithme proposé

Le principe de l'approche proposée est décomposé en trois phases :

Phase 01 : Création du réseau et formation des chaînes

L'expérimentation de notre simulation est établie sur 100 nœuds répartis aléatoirement sur une surface en trois dimensions de $100 \times 100 \times 100 \text{ m}^3$. La zone de déploiement est divisée en un nombre prédéfini de niveaux que l'on suppose égal à 5% du total nombre de nœuds. La procédure de formation des chaînes de nœuds capteurs est la plus importante étape dans l'implémentation de notre algorithme proposé, À chaque niveau, une chaîne ouverte la plus courte qui relie tous les nœuds de chaque niveau est formée à l'aide de l'algorithme ACO.

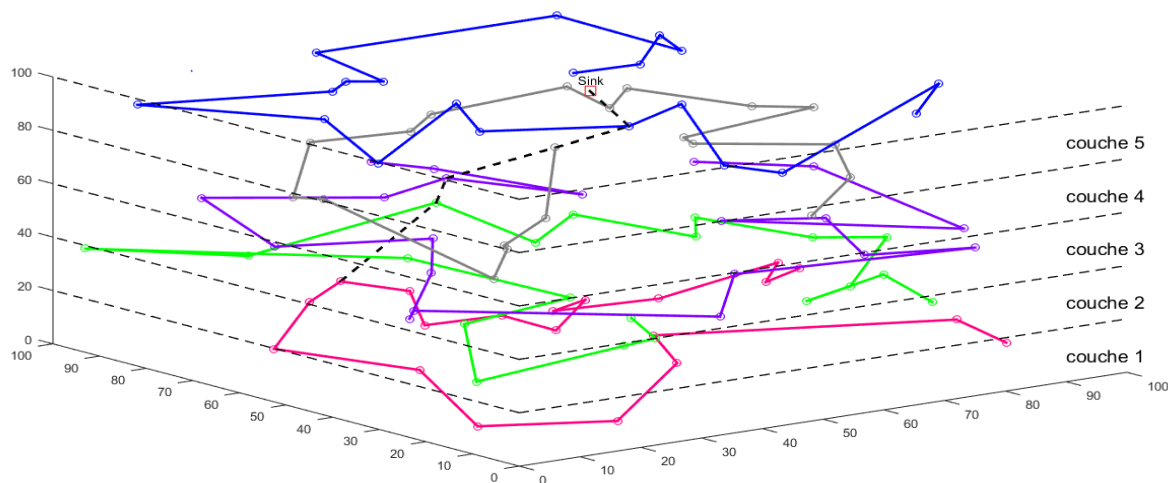


Figure III.2: Formation des chaînes.

La figure illustre les principes de fonctionnement de notre algorithme où les cinq lignes continues représentent les chaînes locales reliant les nœuds à chaque niveau tandis que la ligne pointillée relie les nœuds leaders et le puits.

Phase 02 : Sélection du nœud leader

Une fois que toutes les chaînes sont formées, nous procédons à l'élection des nœuds leaders. Au départ, on part de la chaîne la plus proche de la station de base où le nœud le plus proche est élu comme nœud leader. Le nœud leader dans la chaîne immédiatement suivante est choisi en fonction de la proximité du nœud leader précédent et ce processus sera répété pour tous les niveaux restants. Cela se fait uniquement dans la phase initiale car au début tous les nœuds ont la même quantité d'énergie. Ensuite, la rotation des nœuds leader est réalisée en fonction de l'énergie résiduelle des nœuds. Ainsi, une chaîne globale est formée en connectant des nœuds leaders avec la station de base.

Phase 03 : Transmission des données

Après la formation des chaînes et la sélection des leaders, les capteurs commencent la collection des données pour les transmettre à la station de base. Le mécanisme du passage de jeton est adopté pour initier la transmission de données comme il est utilisé dans le protocole PEGASIS. Chaque nœud d'extrémité de la chaîne commence la transmission au nœud suivant le long de la chaîne inférieure. Le nœud de la prochaine position reçoit les données et les fusionne avec les siennes, ensuite les envoie à un autre voisin dans la chaîne. De cette manière les données se propagent du nœud le plus éloigné de la chaîne jusqu'au leader. Ensuite, la même approche de transmission de données est utilisée dans la chaîne globale.

V. Evaluation

Nous avons étudiés les différents paramètres comme l'énergie consommée des nœuds et leur effet sur la performance de notre algorithme à travers de nombreuses simulations numériques sous Matlab. Ensuite, le modèle énergétique est présenté, enfin, les résultats de la simulation sont présentés et discutés.

v.1 Hypothèses

-Les nœuds capteurs et la station de base sont supposés stationnaires une fois qu'ils sont déployés dans l'environnement.

- La station de base est située hors de la zone des nœuds capteurs.
- Le réseau de capteurs sans fil comprend des nœuds capteurs homogènes.
- Initialement, tous les nœuds capteurs ont la même quantité d'énergie.
- La station de base n'est pas limitée en termes d'énergie, de mémoire et de puissance de calcul.
- Chaque nœud capteur peut fonctionner soit en mode de détection pour contrôler les paramètres de l'environnement et les transmettre à la station de base, soit en mode leader pour recueillir les données, les compresser et les transmettre à la station de base

V.2 Modèle énergétique

Nous utilisons un modèle d'énergie similaire à celui utilisé dans [66], qui a été proposé particulièrement pour les réseaux acoustiques sous-marins. En se basant sur ce modèle, pour obtenir un niveau de puissance (P_0) au niveau d'un récepteur situé à une distance d d'un émetteur, l'énergie de transmission $E_{tx}(d)$ est formulée par l'équation III.1 :

$$E_{tx}(d) = P_0 \cdot d^2 \cdot 10^{\alpha(f)/10} \quad (\text{III.1})$$

Où $\alpha (f)$, mesurée en (dB / m), représente le coefficient d'absorption moyen. Ce coefficient dépend d'un intervalle de fréquence d'intérêt sous des conditions spécifiques de température de l'eau et de la salinité, $\alpha (f)$ est donnée par l'équation suivante :

$$\alpha(f) = 0.11 (10^{-3}f^2 / 1+f^2) + 44 (10^{-3}f^2 / 4100+f^2) + 2.75 \times 10^{-7}f^2 + 3 \times 10^{-6} \quad (\text{III.2})$$

Où f est la fréquence porteuse pour la transmission en kHz. L'énergie de réception est supposée égale à 1 / 3 de l'énergie de transmission.

VI. Résultats de simulation

VI.1 Paramètres de simulation

L'algorithme proposé est testé sur un réseau de 100 nœuds. Les nœuds capteurs sont déployés aléatoirement dans une zone de $(100 \times 100 \times 100) \text{ m}^3$; la station de base est située au point de coordonnées $(50, 50, 50) \text{ m}$; elle est donc au moins à 50 m de distance du nœud capteur le plus proche. L'énergie initiale de chaque nœud capteur est égale à 10 Joules. Notre modèle de simulation utilise les paramètres résumés dans le tableau ci-dessous :

Paramètre	Valeur
La surface du réseau	$(100*100*100) \text{ m}^3$
Coordonnées de la station de Base	$(50, 50, 50) \text{ m}$
Nombre de nœud	100
L'énergie initiale de nœud	10 j

Tableau III.1: Paramètres de simulation.

Dans ce travail, deux métriques sont utilisées pour analyser les performances de l'algorithme proposé, à savoir la consommation d'énergie totale et le nombre de nœuds vivants.

- La consommation d'énergie total (ET) est traduite par la somme des énergies consommées par tous les nœuds de capteurs formant le réseau.

$$E(i)_{\text{consommé}} = E(i)_{\text{initial}} - E(i)_{\text{résiduelle}} \quad (\text{III.3})$$

$$E(i)_{\text{résiduelle}} = E(i)_{\text{initial}} - E(i)_{\text{consommé}} \quad (\text{III.4})$$

$$ET_{\text{consommé}} = \sum_{i=1}^N E(i)_{\text{consommé}} \quad (\text{III.5})$$

- Le nombre de nœuds vivants correspond au nombre des nœuds où l'énergie est différente de 0 au cours de l'itération (r).

VI.2 Évaluation de l'énergie résiduelle

La figure III.3 illustre l'énergie restante dans le réseau et le nombre d'itération dans le système. On voit que l'énergie restante diminue lorsque le nombre d'itérations augmente. Cela est dû à la présence de la chaîne principale, ce qui réduit la longueur transmission des nœuds leaders (derniers nœuds) à la station de base. Par conséquent, il apporte beaucoup d'amélioration de la conservation d'énergie.

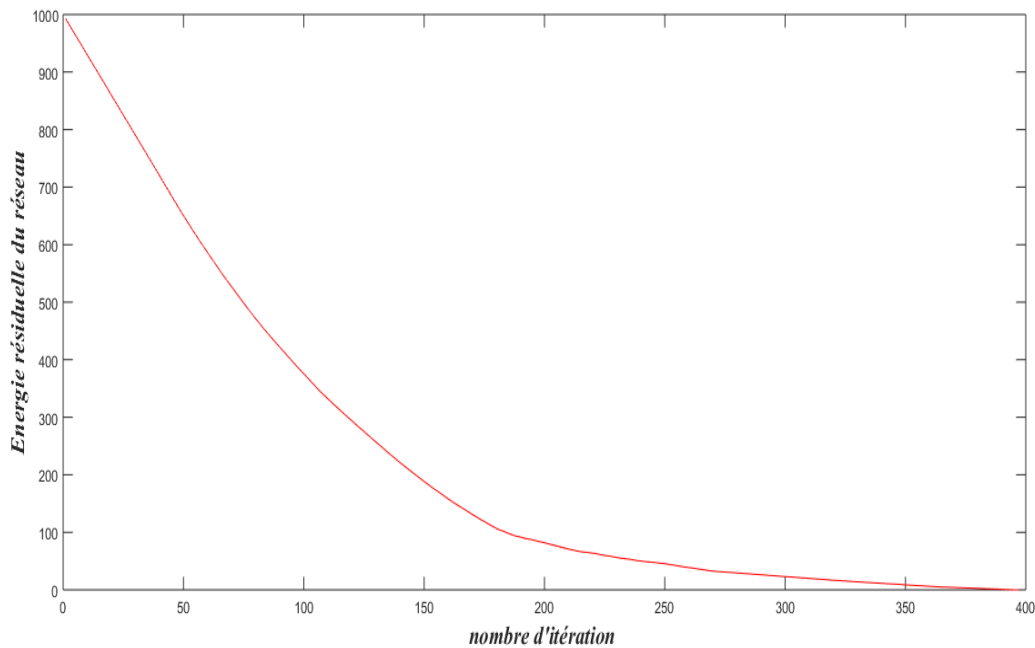


Figure III.3 : L'énergie résiduelle du réseau en fonction de nombre d'itération.

VI.3 Évaluation de nombre de nœuds vivants

La figure III.4 illustre le nombre total des nœuds actifs dans le réseau qui indique leur durée de vie. On remarque que le nombre des nœuds vivants diminue avec l'évolution des itérations lorsque les capteurs sont déployés dans le réseau, le premier nœud est mort à l'itération 50, et le dernier nœud à l'itération à 395 .D'où, nous pouvons constater que, en termes d'optimisation de la durée de vie du réseau, notre algorithme est toujours plus performant à la durée de vie du réseau.

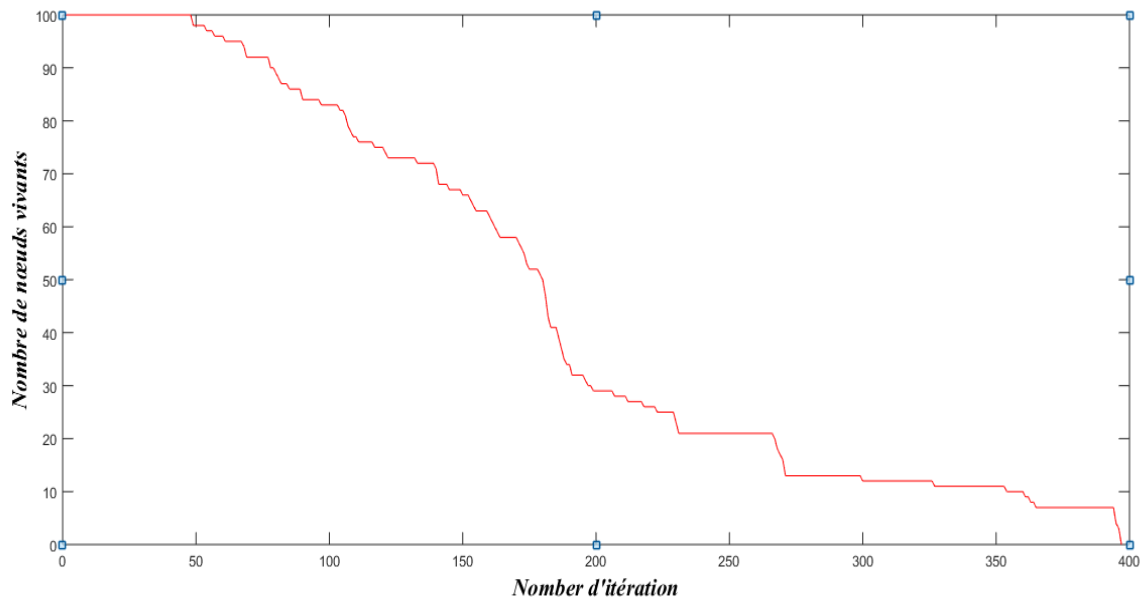


Figure III.4 : Nombre de nœuds restant en vie en fonction de nombre d'itération.

VII. Conclusion

Dans ce chapitre, nous présentons un algorithme de routage basé sur des chaînes en exploitant l'algorithme ACO pour leur construction dans les différentes échelles. Les simulations effectuées montrent l'évolutivité et l'efficacité de l'algorithme proposé qui atteint une meilleure consommation énergétique dans les réseaux en prolongeant ainsi la durée de vie.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les réseaux de capteurs sans fil sous-marins deviennent de plus en plus populaires à la vie quotidienne en raison de leur rôle important dans différentes applications, telles que la détection de pollution et la surveillance sous-marine. Les réseaux de capteurs sans fil sous-marins sont confrontés à des conditions uniques. Par conséquent, des protocoles de routage particuliers sont nécessaires pour acheminer les paquets d'une source à une destination.

À l'heure actuelle, les protocoles de routage pour les réseaux de capteurs sous-marins sont un sujet brûlant qui a beaucoup attiré l'attention de la communauté des chercheurs.

Dans ce mémoire nous nous sommes intéressés aux protocoles de routage qui sont basé sur les chaines pour les RCSF-SM. Une étude comparative entre plusieurs protocoles de ce type de routage a été présenté ainsi leurs avantages et inconvénients sont discutés.

Nous avons implémenté et simulé le fonctionnement d'un algorithme multicouche en utilisant l'algorithme ACO pour la formation des chaines. Les simulations ont montré des bons résultats, une consommation énergétique très réduite par conséquent, une prolongation remarquable de la durée de vie des réseaux.

Perspectives

Les réseaux de capteurs sans fil sous-marins constituent un domaine de recherche très vaste. Ils ont de nombreuses perspectives d'application dans des domaines très variés. IL reste encore de nombreux problèmes à résoudre dans ce domaine afin de pouvoir les utiliser dans des conditions réelles. Nous pouvons proposer comme perspectives de continuité à ce travail les points suivants:

- Utiliser d'autres algorithmes heuristiques pour la construction des chaines.
- Utiliser des techniques d'agrégation de données, L'agrégation de données vise à réduire la quantité de données à transmettre en les synthétisant ou en les compressant avant la transmission.
- Intégrer l'effet de la mobilité des nœuds pour l'algorithme proposé.

Références

Références

- [1] Linneyr Beatrys Rui , A. F. Loureiro , MANNA. “A Management Architecture for Wireless Sensor Networks, IEEE Communications Magazine”. (Volume: 41, Issue: 2, Feb.2003).
- [2]http://www.mytopschool.net/mysti2d/activites/polynesie2/ETT/C044/32/Capteurs_index.html?Introduction.html .AVRIL 2021 Bibliography.
- [3] https://moodle.utc.fr/file.php/498/SupportWeb/co/Module_RCSF.html.AVRIL 2021.
- [4] K Deborah, Estrin Ramesh ,Govindan ,John Heidemann ,Satish Kumar . “Next Century Challenges: Scalable Coordination in Sensor Networks”.
- [5] Neelam Srivastava. “Challenges of Next-Generation Wireless Sensor Networks and its impact on Society JOURNAL OF TELECOMMUNICATIONS”. VOLUME 1, ISSUE 1, FEB 2010.
- [6] Ian F. Akyildiz , Erich P. Stuntebeck. “Wireless underground sensor networks: Research challenges”.November 2006 Ad Hoc Networks 4(6):669-686.
- [7] Mo Li, Yunhao Liu. “ Underground Structure Monitoring with Wireless Sensor Networks”.
- [8] I. F. Akyildiz , D. Pompili, and T. Melodia. “Challenges for efficient communication in underwater acoustic sensor networks”. ACM SIGBED Review Juillet 2004.
- [9] Ian F. Akyildiz, Tommaso Melodia, Kaushik R. “A survey on wireless multimedia sensor networks”. 14 March 2007, Pages 921-960.
- [10] Mariam Alnuaimi, Farag Sallabi, Khaled Shuaib. “A survey of Wireless Multimedia Sensor Networks challenges and solutions “.
- [11] Dionisis Kandris, Christos Nakas , Dimitrios Vomvas , and Grigorios Koulouras. “Applications of Wireless Sensor Networks: An Up-to- Date Survey”. 31 December.
- [12] O.Deepa, Dr. A. Senthilkumar. “Wireless Sensor Networks: Application,Architecture, Design issues and Research Challenges”.Proceedings of the UGC Sponsored National Conference on Advanced Networking and Applications, 27th March 2015.
- [13] Muhammad R Ahmed , Xu H uang, Dharmandra SharmA, and Hongyan Cui. “Wireless Sensor Network: Characteristics and Architectures” .International Journal of Information and Communication Engineering Vol:6, No:12, 2012.
- [14] Youcef touati,arab ali-chérif,boubakar daachi . “Gestion énergétique dans les réseaux de capteurs sans fils”.

- [15] Emad Felemban, Faisal Karim Shaikh, Umair Mujtaba Qureshi, Adil A. Sheikh, and Saad Bin Qaisar . “Underwater Sensor Network Applications:A Comprehensive Survey”. International Journal of Distributed Sensor Networks Volume 2015, Article ID 896832, 14 pages.
- [16] Sarvesh Kumar, Bersha Kumar , Harshita Chawla. “Security Challenges and Application for Underwater Wireless Sensor Network. 2018, Pages 15–21.
- [17] Khalid Mahmood Awan, Peer Azmat Shah , Khalid Iqbal, Saira Gillani, Waqas Ahmad, and Yunyoung Nam. “Smart Antennas and Intelligent Sensors Based Systems: Enabling Technologies and Applications”. Article ID 6470359.
- [18] Salmah Fattah, Khalid Mahmood Awan,Peer Azmat Shah, Khalid Iqbal, Saira Gillani, Waqas Ahmad, and Yunyoung Nam, Abdullah Gani, Ismail Ahmedy , Mohd Yamani Idna Idris , and Ibrahim Abaker Targio Hashem. “Underwater Wireless Sensor Networks: A Review of Recent Issues and Challenges.” Published: 21 September 2020.
- [19] Chaima Zidi HAL. “Energy E-cient Underwater Acoustic Sensor Networks 2020”. Thèse de doctorat en Informatique et Réseaux.
- [20] JOHN HEIDEMANN¹, Milica Stojanovic and Michele zorz phil ,Trans. “Underwater sensor networks: applications, advances and challenges”.
- [21] Salmah Fattah, Abdullah , Ismail Ahmedy , Mohd Yamani Idna Idris , and Ibrahim Abaker Targio Hashem. “A Survey on Underwater Wireless Sensor Networks: Requirements, Taxonomy, Recent Advances, and Open Research Challenges” .Published: 21 September 2020.
- [22]I.F. Akyildiz, D. Pompili, T. Melodia.“Challenges for efficient communication in underwater acoustic sensor networks”. Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332, 2005.
- [23] N. Nasri, G. Zaïbi, A. Kachouri, M. Abdellaoui, M. Samet. “Étude de l’architecture d’un réseau de communication Aquatique Sans Fils”, JS-EABA 2007 5èmes Journées Scientifiques de Borj el Amri, mai 2007.
- [24] N. Nasri, A. Kachouri, L. Andrieux.,M. Samet. “Design Considerations For Wireless Underwater Communication Transceiver”, IEEE.ICSCS08, 2008.
- [25] Muhammad Ayaz CIS , Azween Abdullah. “ Underwater Wireless Sensor Networks: Routing Issues and Future Challenges”. December 14–16, 2009, Kuala Lumpur, Malaysia. Copyright 2009 ACM 78-1-60558-659-5/09/0012.
- [26] M. Stojanovic. “Underwater Acoustic Communication”. For the Wiley Encyclopaedia of Electrical and Electronics Engineering, 1997.

- [27] J. Heidemann, M. Stojanovic and M. Zorzi. “Underwater sensor networks: applications, advances and challenges”.Royal Society, Philos Transact A Math Phys Eng Sci, pp.158-75, 2012.
- [28] Alok Ranjan, Ashish Ranjan. “Underwater Wireless Communication Network Advance in Electronic and Electric Engineering ISSN 2231-1297”. Volume 3, Number 1 (2013), pp. 41-46.
- [29] L. Brekhovskikh, Y. Lysanov. “Fundamentals of Oceans Acoustics”, Springer, New York 2001.
- [30] Nejah NASRI. “Laboratoire Toulousainde Technologieetd’Ingénierie des Systèmes”. DOCTORAT de L’UNIVERSITE de TOULOUSE.
- [31] SOUIKI Sihem. DOCTORAT Spécialité : “Systèmes et Réseaux de Télécommunications” A L’UNIVERSITE DE TLEMCEN FACULTE DE TECHNOLOGIE DEPARTEMENT DE TELECOMMUNICATIONS. 28 Novembre 2015.
- [32]<https://www.rfwireless-world.com/Terminology/terrestrial-sensor-network-vs-underwater-sensor-network.html> 11/05/2021 13:56 Bibliography.
- [33] Ian F. Akyildiz, Dario Pompili, Tommaso Melodia. “Challenges For Efficient Communication In UnderwaterAcousticSensor Networks”. Broadband & Wireless Networking LaboratorySchool Of Electrical& Computer Engineering Georgia Institute Of Technology,Atlanta.
- [34] Kotari Salini¹, and M.B Mukesh Krishnan²IOP. “Improvisation of underwater wireless sensor network’s efficiency for secure communication”.
- [35] Faiza A. Al-Salti, Nasser M, Al-Zeidi, Khaled Day, Bassel Arafeh , and Abderezak Touzene . “An Overview Survey of Recent Routing Protocols for Underwater Wireless Sensor Networks”. Journal for Science, 2018, 23(2), 95-110.
- [36] Adil Khan,Mukhtaj Khan ,Sheeraz Ahmed ,Mohd Amiruddin Abd Rahman ,Mushtaq Khan . “Energy harvesting based routing protocol for underwater sensor networks”. Publié: 17 juillet 2019.
- [37] Amitabha DasHung,Keng PungFrancis, Bu Sung LeeLawrence ,Wai Choong Wong. “NETWORKING 2008 Ad Hoc and Sensor Networks, Wireless Networks, Next Generation Internet: 7th International IFIP-TC6 Networking Conference Singapore, May 5-9, 2008, Proceedings”.
- [38] Noman Shabbir, Syed Rizwan, Hassan Soumis . “Routing Protocols for Wireless Sensor Networks (WSNs)”.Publication: 4 octobre 2017.

- [39] Mukhtia rAhmeda ,Mazleena Salleha, M.IbrahimChanna .“ Routing protocol based on protocol operation for underwater sensor wireless network: a survey”. Volume 19, Issue 1, March 2018, Pages 57-62 ON 09/07/2017.
- [40] Chrustophe Bernard.”Comminucation multipoint pour les réseaux acoustique sous-marins”.Thèse présentée est soutenue à Brest, 19/10/2020.
- [41] Anwar Khan, Ihsan Ali, Abdullah Ghani , Nawsher Khan , Mohammed Alsaqer , Atiq Ur Rahman , et Hasan Mahmood. “Routing Protocols for Underwater Wireless Sensor Networks: Taxonomy, Research Challenges, Routing Strategies and Future Directions”. Publié le 18 mai 2018.
- [42] Mlle KEBIR Bahia, Mlle RAHMOUNI Samia. “Amélioration des performances du protocole de routage RPL” ; Master Réseaux et Systèmes Distribués, Mémoire de fin d’études Pour l’obtention du diplôme de master en informatique Option: Réseaux et Système Distribués (R.S.D) Soutenue le 04 juillet 2017 VU ON MAI 2021-05-17.
- [43]. Rajashree.V.Biradar, V.C .Patil, Dr. S. R. Sawant, Dr. R. R. Mudholkar. “CLASSIFICATION AND COMPARISON OF ROUTING PROTOCOLS IN WIRELESS SENSOR NETWORKS”. Volume 4 PAGE 705.
- [44] <https://www.geeksforgeeks.org/difference-between-hierarchical-and-flat-routing-protocol/> 20/05/2021 14 :05 Bibliography.
- [45] Sihem Souiki , Maghnia Feham , Mohamed Feham , Nabila Labraoui. “GEOGRAPHIC ROUTING PROTOCOLS FOR UNDERWATER WIRELESS SENSOR NETWORKS: A SURVEY”.Vol. 6, No. 1, February 2014.
- [46]W.B. Heinzelman, A.P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan. “An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks”.660–670, October 2002.
- [47] Feilong Tang , Ilsun You , Song Guo , Minyi Guo ,Yonggong Ma. “A chain-cluster based routing algorithm for wireless sensor networks”.22 April 2010.
- [48] Haydar Abdulameer Marhoon , M. Mahmuddin , Shahrudin Awang Nor. “Chain-based routing protocols in wireless sensor networks: A survey”. February 2015.
- [49] Suman Bana, Silki Baghla . “An Energy Efficient Cluster Based Routing Algorithms for WIRELESS SENSOR NETW”.Volume 6 Issue No. 7.
- [50] Samia A. Ali. “Network Protocols and Algorithms”. Vol. 4, No. 3: July 1, 2012.
- [51] Hang Wan, Michael David, William Derigent. “A Holonic Manufacturing Approach applied to communicate concrete: concept and first development”.

- [52] Haydar Abdulameer Marhoon, M. Mahmuddin , Shahrudin Awang . “Chain-based routing protocols in wireless sensor networks: A survey”. VOL 10, NO. 3, FEBRUARY 2015.
- [53] Ahmed M. Khedr a,d , Ahmed Aziz b,e , Walid Osamy. “Successors of PEGASIS protocol: A comprehensive survey”. 13 January 2020 .
- [54] Saeid Pourroostaei ,Ardakani. “Data Aggregation Routing Protocols in Wireless Sensor Networks: A Taxonomy”.
- [55] Aarti1, Sanjiv Kumar Tomar. “A Parametric Chain based Routing Approach for Underwater Sensor Network”.volume 4 Issue 5–May 2013.
- [56] Shalli Rani, Jyoteesh Malhotra, Rajneesh Talwar, Syed Hassan Ahmed. “Energy Efficient Chain-Based Routing Protocol for Underwater Wireless Sensor Networks”.
- [57] Nadeem Javaid. “Energy efficient virtual chain based routing protocol for underwater Wireless sensor networks”. August 2017.
- [58] Muhammad Zain-ul-Abidin, Muhammad Awais Khan, Nadeem Javaid, Malik Khizar, Zahoor Ali Khan, Umar Qasim. “Advanced Information Networking and Applications Workshops Enhanced Single Chain-Based Scheme in Cylindrical Underwater Wireless Sensor Networks”.
- [59] Nadeem Javaid , Mohsin Raza Jafri, Zahoor Ali Khan, Nabil Alrajeh, Muhammad Imran and Athanasios Vasilakos . “Article Chain-Based Communication in Cylindrical Underwater Wireless Sensor Networks”. Sensors 2015, 15, 3625-3649.
- [60] Brijbhushan, Sakshi Anand. “A Survey- Wireless Sensor Networks Routing Protocols”. Volume 4, Issue 2, February 2015.
- [61]S. Lindsey, S. Raghavendra. “Data Gathering Algorithms in Sensor Networks Using Energy Metrics”.IEEE Transactions on parallel and distributed systems, Vol.13, No.9, 2002.
- [62]Sihem Souiki, Sidi Mohammed Hadj Irid, Mourad Hadjila.” An energy aware scheme for layered chain in underwater wireless sensor networks using genetic algorithm”. Vol. 11, No. 5, October 2021, pp. 4272~4280.
- [63]V. Kawadia and P. R. Kumar."Power Control and Clustering in Ad Hoc Networks", IEEEINFOCOM. (2003).
- [64] Walid Tfaily. THÈSE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ PARIS 12-VAL DE MARNE UFR de Sciences et Technologie le 13 décembre 2007.

[65] https://fr.wikipedia.org/wiki/Algorithme_de_colonies_de_fourmis. Bibliography.

[66] Pu, L. Cheng, and Z. Jun. “Distributed minimum-cost clustering protocol for underwater sensor networks (UWSNs)”. 2007/ IEEE International Conference on Communications, Glasgow, UK, 2007, pp. 3510-3515.