

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المركز الجامعي بلحاج بوشعيب - عين تموشنت -

Centre Universitaire Belhadj Bouchaib -Ain-Temouchent-

Institut de Technologie

Département de Génie Electrique



Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER en :

Domaine : SCIENCE ET TECHNOLOGIE

Filière : TELECOMMUNICATION

Spécialité : Réseau et Télécommunication

Thème

ETUDE ET SIMULATION DE DIFFERENTES TECHNIQUES DE CLUSTERING DANS LES RESEAUX DE CAPTEURS SANS FIL SOUS-MARINS

Réalisé Par :

- BOUBOSSELA MAJDA
- CHAIB FATIHA

Soutenu en devant le Jury:

Dr R.Yagoub	MAB	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Président
Mr K. Bendimered	MAA	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Examineur
M ^{me} S .SOUIKI	MCB	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciements

Tout d'abord et avant tout, le grand remerciement va ALLAH le tout puissant de nous armés de force et de courage et de patience pour mener à terme ce projet dans de bonnes conditions.

Nous tenons à remercier en premier lieu notre encadrant M^{me} S.SOUIKI pour sa sympathie, sa disponibilité, ses idées, ses conseils et leur encouragement qui nous ont permis de mener à bien ce mémoire.

Nous remercions également les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail.

Nous tenons à remercier aussi nos parents, nos familles et amis.

A tous ceux qui nous avons aidés et encouragés de près ou de loin.

Boubossela Majda

Chaib Fatiha

Dédicaces

Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donné le courage pour achever ce modeste travail

Que je dédie :

À mes chers et respectueux parents, source de vie pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

Puisse dieu vous garder et vous procurer santé et bonheur.

A mes chères sœurs : Lamia, Naima, Zineb, pour leur appui et leur encouragement,

A mes nièces : Sanaa, Hayem, Walaa, Ranime et Roeya.

A mes neveux : Mohammed Amine et Mohammed Mouayed.

A tous mes amis.

A ma chère binôme Fatiha pour son bon cœur.

A toutes personnes qui m'ont encouragé ou aidé dans l'achèvement de ce travail.

Boubossela Majda

Dédicaces

Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donné le courage pour achever ce modeste travail

Que je dédie :

A mes chers et respectueux parents, source de vie pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

Puisse Dieu vous garder et vous procurer santé et bonheur.

A mes chers frères et sœurs pour leur appui et leur encouragement.

A mes nièces : Hafssa, mes deux Meriem et Farah.

A mes neveux : Mohamed, Abd El samad, Mahdi et Wassim.

A mes chères amies : Majda, Hayat, Fatima, Imene et Sihem.

A toutes personnes qui m'ont encouragé ou aidé dans l'achèvement de ce travail.

Chaib Fatiha

Résumé

Les réseaux de capteurs sans fil sous-marins sont devenus un sujet de recherche populaire en raison des défis de la communication sous-marine. Des recherches récentes sur les RCSF-SM ont attiré l'attention des chercheurs pour un certain nombre d'applications. Ils comprennent la prévision des catastrophes et des tremblements de terre, la surveillance de la qualité de l'eau, la surveillance militaire et la navigation sous-marine. Cependant, le milieu aquatique est associé à un certain nombre de limitations et de défis : long délai de trajet multiples, interférence et bruit élevé, faible bande passante et durée de vie limitée de la batterie des nœuds de capteurs. La conception de protocoles de routage pour les RCSF-SM est l'une des solutions prometteuses pour faire face à ces défis. L'objectif de notre projet de fin d'études consiste à l'évaluation des performances du routage basé sur le clustering en termes d'énergie et de durée de vie de réseau. On a proposé un algorithme «multiple hop energy efficient k-medoids based clustering» qui est basé sur la méthode : K-medoids, par la suite une comparaison est réalisé avec les méthodes Fuzzy C-Means et K-Means.

Mots clé: RCSF-SM, Routage, milieu aquatique, Clustering, K-MEDOIDS, FUZZY C-MEANS, K-MEANS.

Abstract

Underwater wireless sensor networks have become a popular research topic due to the challenges of underwater communication. Recent research in underwater wireless sensor networks (UWSNs) has gained the attention of researchers for a number of applications. They include disaster and earthquake prediction, water quality, military surveillance and underwater navigation. However, the aquatic medium is associated with a number of limitations and challenges: long multipath delay, high interference and noise, harsh environment, low bandwidth and limited battery life of the sensor nodes. The design of routing protocols for UWSNs is one of the promising solutions to cope with these challenges. The objective of this work is to evaluate the performance in terms of energy and the lifetime of networks of a protocol Routing based on clustering. We have proposed the algorithm "multiple hop energy efficient based on k-medoids clustering" that is based on the K-medoids method. In the last a comparison have made with Fuzzy C-Means and K-Means methods.

Keywords: UWSNs, Routing, aquatic environment, clustering, K-MEDOIDS, FUZZY C-MEANS, K-MEANS.

ملخص

أصبحت شبكات الاستشعار اللاسلكية تحت الماء موضوع بحث شائع بسبب تحديات الاتصال تحت الماء. اكتسبت الأبحاث الحديثة في شبكات الاستشعار اللاسلكية تحت الماء انتباه الباحثين لعدد من التطبيقات. وهي تشمل التنبؤ بالكوارث و الزلازل و نوعية المياه و المراقبة العسكرية و الملاحة تحت الماء. و مع ذلك، يرتبط الوسط المائي بعدد من القيود و التحديات : التأخير الطويل متعدد المسارات، و التداخل العالي و الضوضاء، و البيئة القاسية، و عرض النطاق الترددي المنخفض، و عمر البطارية المحدود لعقد المستشعر. يعد تصميم بروتوكولات التوجيه الخاصة بشبكات احد الحلول الواعدة للتعامل مع هذه التحديات. الهدف من هذا العمل هو تقييم الأداء من حيث الطاقة و عمر شبكات بروتوكول التوجيه على أساس التجميع. لقد اقترحنا الخوارزمية " Multiple hop energy efficient based on k-medoids clustering " التي تستند على الطريقة K-medoids , وبعد ذلك قمنا بإجراء مقارنة مع الطرق Fuzzy C-Means و K-Means.

الكلمات المفتاحية : شبكة الاستشعار اللاسلكية تحت الماء، التوجيه، الوسط المائي، التجميع.

Table des matières

Sommaire

Liste des figures	ix
Liste des tableaux	xi
Liste des acronymes	xii
Introduction générale.....	1
Chapitre I. Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil sous-marins	4
I. Introduction.....	5
II. Les réseaux de capteurs sans fil.....	5
II.1 Définition.....	5
II.2 Types des réseaux de capteurs sans fil.....	6
II.2.1 Les réseaux de capteurs terrestres.....	6
II.2.2 Les réseaux de capteurs souterrains.....	6
II.2.3 Les réseaux de capteurs sous-marins	7
II.2.4 Les réseaux de capteurs multimédias.....	7
II.2.5 Les réseaux de capteurs mobiles.....	7
II.3 Domaines d'applications des réseaux de capteurs	7
III. Les RCSF-SM	11
III.1 Définition d'un réseau de capteurs sous-marin	11
III.2 Architecture d'un capteur sous-marin	12
IV. Différentes techniques de communication sans fil aquatique	13
IV.1 Communication par onde radio.....	13
IV.2 Communication par l'onde optique.....	13
IV.3 Communication par l'onde acoustique.....	14
IV.4 Comparaison des techniques de communication sans fil aquatique.....	14
V. Les caractéristiques uniques des RCSF-SM acoustiques	15
V.1 Moyens de communication.....	15
V.2 Perte de transmission.....	15
V.3 Multi trajet.....	15
V.4 Étalement Doppler.....	16
VI. Les contraintes dans les réseaux de capteurs acoustiques sous marine.....	16
VII. Applications des RCSF-sous marins.....	16
VIII. Les différentes architectures de communication dans les RCSF-SM.....	18

VIII.1 Réseaux de capteurs à Deux dimensions	19
VIII.2 Réseaux de capteurs sous-marins en trois dimensions	20
VIII.3 Les réseaux de capteurs avec véhicules sous-marins autonomes	21
IX. Différence entre RCSF et RCSF-SM	22
X. Conclusion.....	24
Chapitre II. Le routage dans les réseaux de capteurs sans fil sous-marins.....	25
I. Introduction.....	26
II. Définition.....	26
III. Les défis de routage dans les RCSFs.....	26
III.1 Position de capteur	26
III.2 Consommation d'énergie	27
III.3 Déploiement des nœuds.....	27
III.4 Agrégation des données.....	27
IV. Les défis du routage dans les RCSF-SM.....	27
V. Critères de performances d'un protocole de routage.....	28
VI. Classification des protocoles de routage dans les RCSFs-SM	28
VI.1 La structure du réseau	29
VI.1.1 Routage à plat.....	29
VI.1.2 Routage hiérarchique	29
VI.1.3 Routage avec localisation géographique	29
VI.2 Transmission des données.....	30
VI.2.1 Routage multi-chemin.....	30
VI.2.2 Routage à un seul chemin.....	30
VII. Exemples de protocoles de routage dans les RCSF-SM.....	30
VII.1 Le protocole de routage « MCCP »	30
VII.2 Le protocole de routage « DUCS ».....	31
VII.3 Le protocole de routage « LCAD ».....	32
VII.4 Le protocole de routage « HydroCast »	34
VIII. Comparaison entre les protocoles étudiés	35
IX. Conclusion	36
Chapitre III. Algorithmes proposés & simulation	37
I. Introduction.....	38
II. Algorithme K-means	38
II.1 L'algorithme MH-EKMC.....	39
III. Algorithme FCM (Fuzzy C-Means).....	39

III.1 L'algorithme MH-FEER	40
IV. Algorithme k-médoïds	41
IV.1 L'algorithme proposé MH-EKMD.....	42
V. Evaluation.....	42
V.1 Hypothèses	42
V.2 Modèle d'énergie.....	43
V.3 Simulation et analyse.....	43
V.3.1 Résultat de la simulation.....	44
V.3.2 Comparaison entre les algorithmes.....	51
VI. Conclusion	52
Conclusion générale	53
Références	55

Liste des figures

Figure I-1 Exemple de réseau de capteurs.....	6
Figure I-2 Applications environnementales.	8
Figure I-3 Réseau de capteur militaire.	8
Figure I-4 Réseau de capteur médical.	9
Figure I-5 Ensemble de capteur dans une maison intelligente.	10
Figure I-6 Domaine agricole.	10
Figure I-7 Un réseau de capteurs sous-marins.	11
Figure I-8 Anatomie du capteur sous-marin.....	12
Figure I-9 Photos des différents capteurs sous marins.	13
Figure I-10 Caractéristiques des techniques de communication sans fil aquatique.	15
Figure I-11 Station de surveillance climatique.....	17
Figure I-12 Image des différentes Application de RCSF aquatique.....	18
Figure I-13 Architecture pour les réseaux de capteurs sous-marins 2D.....	19
Figure I-14 Architecture pour les réseaux de capteurs sous-marins à trois dimensions.....	21
Figure I-15 Les réseaux de capteurs autonomes avec véhicules sous-marins.....	22
Figure II-1 Classification des protocoles de routage dans les RCSFs-SM.....	29
Figure II-2 Exemple de réseau avec DUCS.	32
Figure II-3 Architecture de réseau utilisé dans le protocole de routage LCAD.	34
Figure III-1 Energie consommé dans le MH-FEER.....	45
Figure III-2 Energie consommé dans le MH-EKMC.....	45
Figure III-3 Energie consommé dans le MH-EKMD.....	46
Figure III-4 Energie résiduelle dans le MH-FEER.....	47
Figure III-5 Energie résiduelle dans MH-EKMC.....	47

Figure III-6 Energie résiduelle dans le MH-EKMD.....	48
Figure III-7 La durée de vie du nœud dans le MH-FEER.....	49
Figure III-8 La durée de vie du nœud dans le MH-EKMC.....	50
Figure III-9 La durée de vie du nœud dans le MH-EKMD.....	51

Liste des tableaux

Tableau II-1 La comparaison des protocoles de routage en fonction de leurs caractéristiques.....	35
Tableau III-1 Paramètres de simulation.	44
Tableau III-2 Comparaison entre les algorithmes.	51

Liste des acronymes

AUV	Autonomous Underwater Vehicle
CH	Cluster Head
DBR	Depth Based Routing
DUCS	Distributed Underwater Clustering Scheme
FCM	Fuzzy C-Means
GPS	Global Positioning System
LCAD	Location-Based Clustering Algorithm for Data Gathering
MCCA	Minimum Cost Clustering Algorithm
MCCP	Minimum Cost Clustering Protocol
MH-EKMC	Multiple Hop Energy Efficient K-means Clustering
MH-EKMD	Multiple Hop Energy Efficient K-medoids Clustering
MH-FEER	Multiple Hop Fuzzy based Energy efficient Routing algorithm
QoS	Qualité de Service
RCSF	Réseau de Capteur Sans Fil
RCSF-SM	Réseau de Capteur Sans Fil-Sous Marin
RF	Radio Frequency
SB	Station de Base
UWSN	Underwater Wireless Sensor Network

Introduction générale

Introduction générale

Depuis leur création, les réseaux de communication sans fil ont connu un succès sans cesse croissant au sein des communautés scientifiques et industrielles. De ce constat une nouvelle architecture a vu le jour : les réseaux de capteurs sans fil (RCSF).

Ce type de réseaux est le résultat de la fusion de deux pôles de l'informatique moderne, à savoir : les systèmes embarqué et les communications sans fil. C'est l'un des domaines les plus actifs en recherche et développement car grâce à ses divers avantages, cette technologie a pu s'instaurer comme acteur incontournable dans les architectures réseaux actuelles.

Les réseaux de capteurs sans fil sous-marins (RCSF-SM) offrent une solution prometteuse pour découvrir efficacement l'environnement aqueux à des fins militaires, d'urgences et commerciales. Des véhicules sous-marins sans pilotes ou autonomes, équipés de capteurs sous-marins, sont également envisagés pour des applications dans l'exploration des ressources naturelles sous-marins et la collecte des données scientifiques dans des missions de suivi collaboratif.

L'environnement sous-marin est très différent de celui terrestre et un certain nombre de problèmes doivent être résolus en utilisant des réseaux de capteurs comme technologie efficace pour les systèmes sous-marins. En raison de la forte densité de l'eau salée, les signaux électromagnétiques et optiques ne peuvent pas être transmis sur des longues distances dans l'océan. La communication acoustique peut être utilisée pour surmonter ce problème qui fournit un meilleur moyen de transfert de données dans un tel environnement.

L'utilisation d'une onde acoustique entraîne un long délai de propagation car la vitesse du son dans l'eau est d'environ 1500m/s, ce qui est beaucoup plus lent que la RF dans les réseaux de capteur terrestres. La bande passante disponible est sévèrement limitée (<100 kHz). Les nœuds capteurs sont généralement considérés comme statique, mais les capteurs sous-marins peuvent se déplacer jusqu'à 1 à 3 m/s en raison d'activités sous-marines. La consommation d'énergie est différente car le RCSF-SM nécessite plus de puissance en raison des caractéristiques volatiles de l'environnement sous marin, de plus aucun mécanisme n'est disponible pour recharger la batterie ou être facilement remplacé dans un environnement sous marin. La probabilité de perte des paquets est élevée et dynamique, ce qui entraîne de nombreuses retransmissions et une fiabilité moindre. Le routage est fondamental dans ce type de réseau car il n'existe pas d'infrastructure qui gère les informations échangées entre les différents nœuds du réseau. Il consiste à déterminer un acheminement optimal des paquets et qui assure le trafic nominal et garantit la qualité de service.

L'objectif de ce mémoire est d'analyser les performances du routage basé sur le clustering en utilisant différentes techniques tel que : la méthode K-means, K-medoids et Fuzzy C-Means. Et nous faisons une comparaison entre eux.

Deux métriques seront utilisées pour l'évaluation :

- ✓ L'énergie consommée dans le réseau.
- ✓ La durée de vie du réseau.

La structure de ce manuscrit est organisée en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous présentons les concepts fondamentaux d'un réseau de capteurs sans fil (le principe de fonctionnement et leurs applications dans des différents domaines). Puis nous focalisons notre étude sur les réseaux de capteur sans fil sous marin.

Le deuxième chapitre est consacré pour l'étude du routage dans les RCSF-SM. Nous décrivons aussi les principaux protocoles proposés et leur classification.

Dans le troisième chapitre, nous présentons les résultats d'évaluation des performances de routage basé sur le clustering par la méthode K-means, K-medoids et Fuzzy C-means. Et nous faisons une comparaison entre eux.

Nous terminons ce manuscrit par une conclusion générale qui contient les principales contributions présenté tout au long de ce mémoire.

Chapitre I. Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil sous-marins

I. Introduction

Les développements innovants dans les technologies des communications sans fil et de la microélectronique ont donné naissance aux réseaux de capteurs sans fil (RCSF). Ces derniers sont constitués d'un ensemble de dispositifs miniaturisés, peu coûteux, de faible puissance, et qui peuvent communiquer entre eux via un lien radio, appelés capteurs. Chaque nœud capteur possède différents composants : de captage pour capter des grandeurs physiques telles que (la température, la pression, etc.), de traitement et de communication pour effectuer des calculs simples sur les données et communiquer avec les nœuds voisins. Les données collectées par ces capteurs sont acheminées directement ou via un lien multi-sauts vers un "point de collecte", appelé station de base. Les réseaux de capteurs sont utilisés pour un large éventail d'applications.

Ce type de réseau peut être déployé dans différents environnements (terre, sous-terre, océans), chaque environnement a une influence particulière sur le fonctionnement et les performances des RCSFs. Dans ce mémoire, nous focalisons notre étude de façon générale sur les réseaux de capteurs sans fil et particulièrement sur les réseaux de capteurs sans fil sous-marins (RCSF-SM).

Le réseau de capteurs Sous l'eau se compose d'un nombre variable de capteurs et des véhicules qui sont déployés pour effectuer des tâches de surveillance de collaboration sur une zone donnée. Le réseau sans fil sous-marin est la technologie habilitante pour les applications marines. Les réseaux de capteurs sans fil sous-marins diffèrent principalement dans les moyens de communication utilisés pour la transmission de l'information.

II. Les réseaux de capteurs sans fil

II.1 Définition

Un réseau de capteurs sans fil (Wireless Sensor Network) se compose d'un grand nombre de dispositif très petits nommés nœuds capteurs. Chacun de ces nœuds est capable de surveiller son environnement et de réagir en cas de besoin en envoyant l'information à un ou plusieurs points par une connexion sans fils.

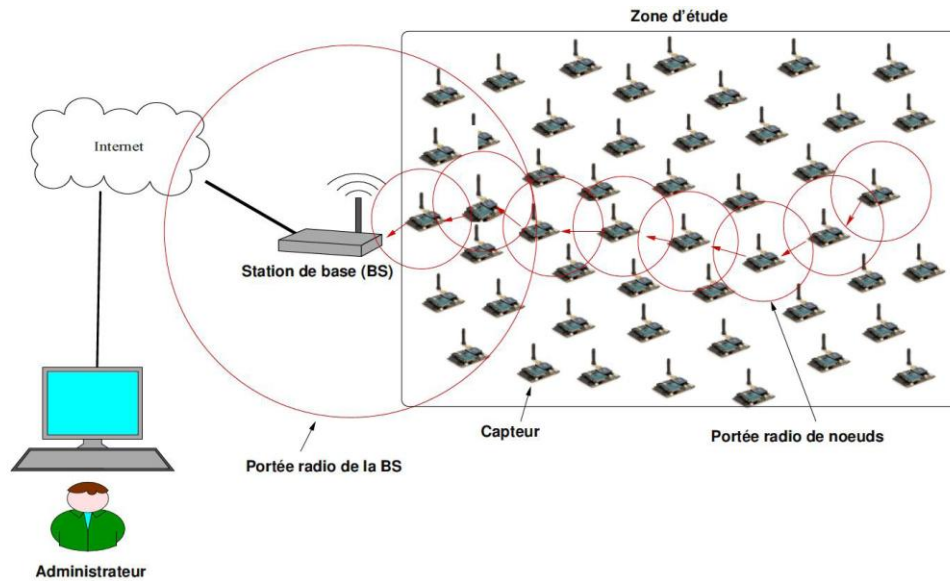


Figure I-1 Exemple de réseau de capteurs.

II.2 Types des réseaux de capteurs sans fil

Les réseaux de capteurs actuels sont déployés sur terre, sous terre et sous l'eau. Selon l'environnement, un réseau de capteurs est confronté à différents défis et contraintes. Il existe plusieurs types de réseaux de capteurs parmi eux : terrestre, souterrain, sous-marin, multimédia et mobile...

II.2.1 Les réseaux de capteurs terrestres

Un RCSF terrestres consiste en un grand nombre de nœuds qui sont déployés dans un environnement dense pour communiquer efficacement les données collectées vers la station de base. Les nœuds capteurs terrestres peuvent être équipés d'une source d'énergies secondaire telle que les cellules solaires. [1]

II.2.2 Les réseaux de capteurs souterrains

Un RCSF souterrain comporte un ensemble de nœuds capteurs qui sont déployés sous terre, dans des caves ou des mines pour contrôler les conditions souterrains.

Afin de transmettre des données à partir des nœuds capteurs souterrains jusqu'à la station de base, des nœuds sinks additionnels seront situés à la surface. Ces nœuds capteurs coûtent plus cher que les capteurs terrestres car ils nécessitent les équipements appropriés pour assurer une communication fiable à travers la terre, les rochers et l'eau. La communication sans fils est un challenge dans de tels environnements à cause de la forte atténuation et perte du signal. [2][3]

II.2.3 Les réseaux de capteurs sous-marins

Un RCSF sous-marins se compose de capteurs déployés sous l'eau.

Les nœuds capteurs sous-marins sont plus chers et leur déploiement est moins dense. Les véhicules sous-marins autonomes sont utilisés pour explorer ou récupérer les données capturées. Les communications sans fils aquatique utilisent des ondes acoustiques, qui présentent différentes contraintes telles qu'une bande passante limitée, un délai de propagation plus long, une haute latence et des problèmes d'affaiblissement du signal. [4][5]

II.2.4 Les réseaux de capteurs multimédias

Il s'agit d'un ensemble de nœuds capteurs à faible coût équipés de caméras ou de microphones, déployés de manière pré planifiée pour garantir une couverture. Les dispositifs de capteurs multimédias sont capables de stocker, traiter et de récupérer des données multimédias telles que la vidéo, l'audio et l'image. Ils doivent faire face à différents challenges tels qu'un fort demande de bande passante, une grande consommation d'énergie, une garantie de QoS et des techniques de traitements et de compression des données.

Il est nécessaire alors de développer des techniques de transmission qui supportent une bande passante assez élevées et une faible consommation d'énergies pour la délivrance fiable de contenu multimédia tel qu'un streaming vidéo. [6]

II.2.5 Les réseaux de capteurs mobiles

Un RCSF mobile se compose de nœuds capteurs mobiles, qui peuvent se déplacer et interagir avec un environnement physique. Les nœuds peuvent se repositionner et s'auto-organiser dans le réseau de plus de leur capacité de capturer, traiter et de communiquer. Les RCSF mobiles doivent faire face à plusieurs challenges tels que le déploiement, la gestion de la mobilité, la localisation avec mobilité, le control et la navigation des nœuds mobiles, le maintien de la couverture et de la connectivité et la minimisation de la consommation d'énergies dans la locomotion. [7]

II.3 Domaines d'applications des réseaux de capteurs

Les RCSFs disposent d'un très large ensemble d'applications dans plusieurs domaines, parmi lesquels, on peut noter les applications suivantes :

- **Applications environnementales**

La surveillance de l'environnement est un domaine où les réseaux de capteurs sans fil sont largement utilisés. L'application classique est la détection des désastres tels que les feux de forêts. Dans une telle application, plusieurs capteurs sont déployés afin d'alerter les secours, d'évaluer les risques et de prendre les mesures nécessaires. Des capteurs peuvent également être déployés sur un

terrain à des fins agricoles ou pour la surveillance des environnements hostiles tels que les volcans ou les régions toxiques. [15]



Figure I-2 Applications environnementales.

- **Le domaine militaire**

Les RCSFs permettent la détection des mouvements ennemis ou bien de tracer leurs mouvements sur un champ de bataille, la surveillance des zones hostiles (contaminées) et la détection d'agents chimiques et bactériologiques dans l'air. [15]



Figure I-3 Réseau de capteur militaire.

- **Le domaine médical**

Les RCSFs existent déjà dans le monde médical, ils permettent par exemple la surveillance de l'état de santé des patients (des personnes âgées ou handicapées...etc.) qu'ils soient au sein de l'établissement ou même ailleurs. [15]

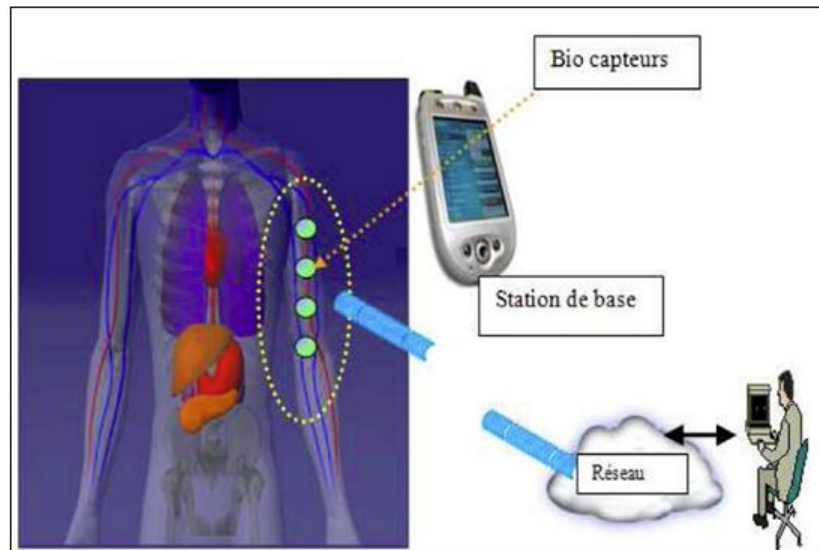


Figure I-4 Réseau de capteur médical.

- **Le domaine domestique**

Avec le développement technologique, les capteurs peuvent être embarqués dans des appareils, tels que les aspirateurs, les fours à micro-ondes, les réfrigérateurs, les magnétoscopes, etc. Ces capteurs embarqués peuvent interagir entre eux et avec un réseau externe via Internet pour permettre à un utilisateur de contrôler les appareils domestiques localement ou à distance. [8]



Figure I-5 Ensemble de capteur dans une maison intelligente.

- **Le domaine agricole**

Dans le monde de l'agriculture, on utilise les capteurs pour réagir convenablement aux changements climatiques par exemple le processus d'irrigation lors de la détection de zones sèches dans un champ agricole. [15]



Figure I-6 Domaine agricole.

- **Le domaine industriel**

Les industriels s'intéressent aux potentialités des capteurs pour diminuer les coûts du contrôle et de la maintenance des produits, de la gestion de l'inventaire, de la télésurveillance après vente, ...etc. [10]

- **Le domaine commercial**

Des nœuds capteurs peuvent être utilisés pour améliorer les processus de stockage et de livraison. Le réseau peut ainsi être utilisé pour connaître la position, l'état et la direction d'une marchandise. Un client attendant une marchandise peut alors avoir un avis de livraison en temps réel et connaître la position des marchandises qu'il a commandées. [9]

III. Les RCSF-SM

III.1 Définition d'un réseau de capteurs sous-marin

Le réseau de capteurs sous-marins ou UWSN (Under water Wireless Sensor Network) se compose d'un nombre de nœuds capteurs et des véhicules déployés sous l'eau. Chaque nœud est capable d'échanger des messages entre les nœuds du réseau, et de relayer des messages vers d'autres nœuds pour atteindre une station de base, il peut avoir un ou plusieurs capteurs qui enregistrent des données environnementales qui devraient être transmises aux nœuds spéciaux, généralement des plates-formes ou des bouées à la surface. Les capteurs sous-marins peuvent mesurer différentes grandeurs telles que la qualité d'eau et étudier ses caractéristiques, la température, la densité, la salinité, l'acidité, les produits chimiques, la conductivité, le pH, l'oxygène, l'hydrogène... [11][12]

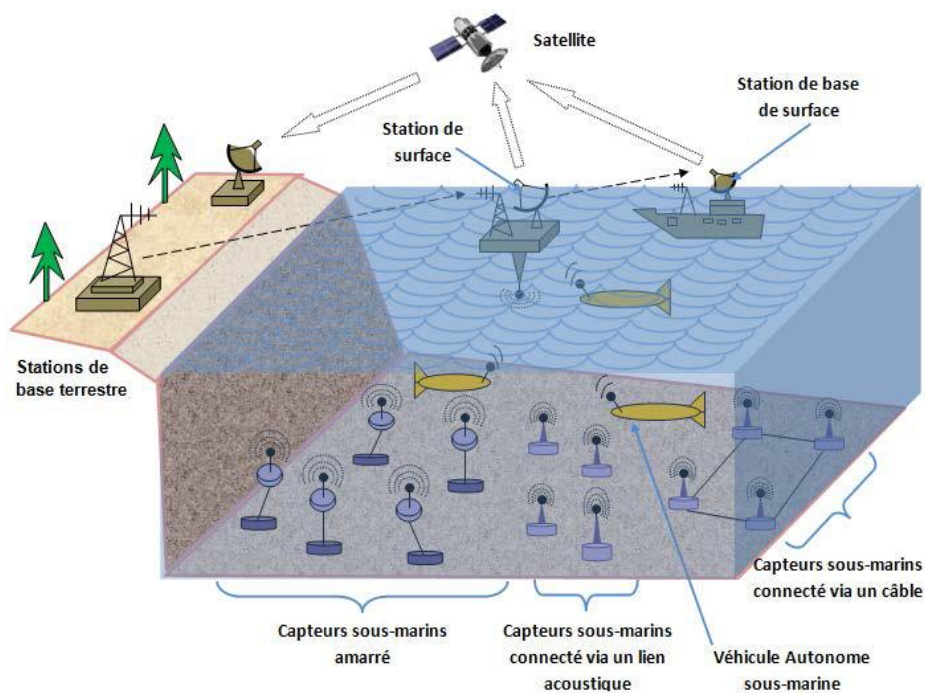


Figure I-7 Un réseau de capteurs sous-marins.

III.2 Architecture d'un capteur sous-marin

Un nœud capteur est composé principalement d'un processeur, d'une mémoire, d'une unité de capture, d'une pile d'énergie, et d'un modem acoustique. L'architecture interne typique d'un capteur sous-marin est montrée dans la figure I-8. [13]

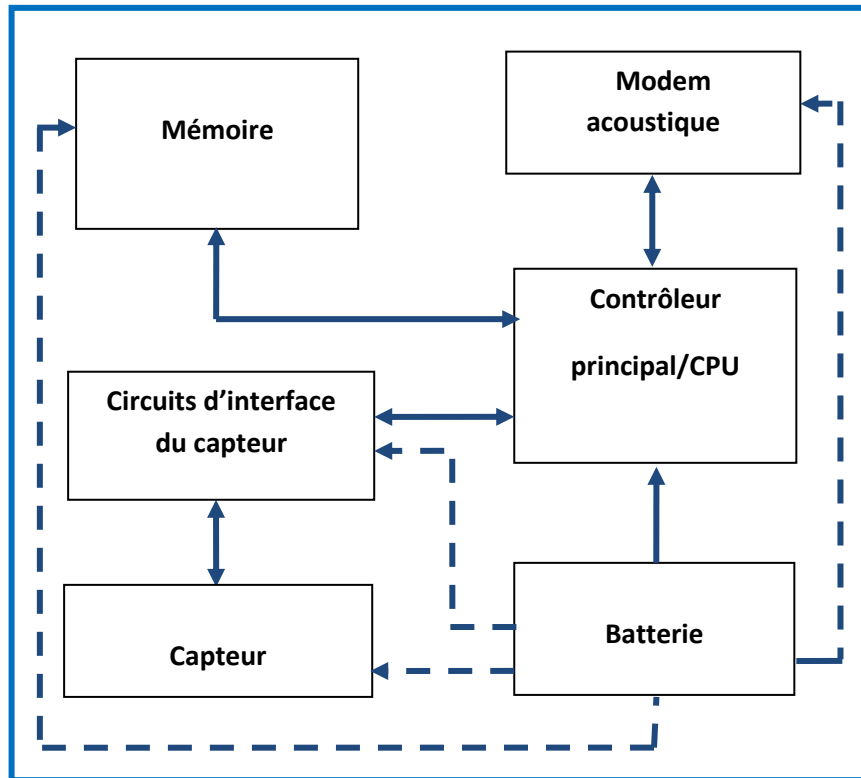


Figure I-8 Anatomie du capteur sous-marin.

Il se compose d'un contrôleur principal/CPU qui est interfacé avec un instrument océanographique ou un capteur à travers un circuit d'interface.

Le contrôleur reçoit les données du capteur et il stocke dans la mémoire embarquée, processus, les traiter et l'envoyer à d'autres dispositifs de réseau en contrôlant le modem acoustique. Les circuits électroniques sont généralement montés sur un châssis protégé par un boîtier en PVC.

Il existe plusieurs capteurs pour des mesures sous l'eau, tels que des capteurs de sulfure hydro thermique, des capteurs silicates, des capteurs volta métriques spectrophotométrie. [14]



Figure I-9 Photos des différents capteurs sous marins.

IV. Différentes techniques de communication sans fil aquatique

Dans la communication sans fil aquatique on a trois techniques de transmission par ondes radio, par ondes optiques ou par ondes acoustiques.

IV.1 Communication par onde radio

Les normes de transmission sans fil des ondes radio atteignent le domaine des gigahertz dans l'espace libre, citons l'exemple des normes: Wi-Fi, Bluetooth, Home RF qui opèrent dans la bande ISM (2.4 GHz et 5 GHz).

Cependant, L'atténuation pour les hautes fréquences dans l'eau s'avère extrêmement élevée. Par exemple, l'atténuation dans le cas de la norme Bluetooth (de 2.4GHz) arrive à 1695 dB/mètre dans la mer et à 189 dB/mètre dans l'eau fraîche. Tout en supposant une moyenne de conductivité de $4 \Omega^{-1}/m$ dans l'eau de mer et de $0.05 \Omega^{-1}/m$ dans l'eau fraîche.

Ainsi, les rayonnements électromagnétiques ne pénètrent pas le milieu marin au-delà de quelques dizaines de mètres dans le meilleur des cas : Lambda (λ) du bleu (la mer) est la longueur d'onde la moins rapidement absorbée dans l'eau du spectre lumineux (d'où la planète bleue).

Pour les très basses fréquences (30 à 300 Hz), l'atténuation est réduite, mais la propagation de l'onde électromagnétique sur de longues distances nécessite alors des antennes d'émission-réception de grande taille et des puissances d'émission élevées. [16]

IV.2 Communication par l'onde optique

La lumière visible, l'infrarouge et le laser sont des ondes optiques les plus utilisés parmi les moyens de communication. En milieu marin L'utilisation de ce genre d'ondes, ne pose pas le problème d'atténuation du signal, mais le principal inconvénient de la propagation de la lumière dans l'eau c'est le phénomène de la dispersion. Ce phénomène pose un problème qui exige les nœuds en émission une

précision élevée de visée [17], ce qui est impossible à garantir, parce que les capteurs sont souvent mobile dans le milieu optique et les positions relatives de l'un par rapport à l'autre ne sont pas figées. [18]

IV.3 Communication par l'onde acoustique

Contrairement à la communication sans fil dans l'air qui est basée sur les ondes électromagnétiques. Les systèmes de communication aquatique sans fil utilisent l'onde acoustique comme principale support physique de transmission de l'information dans l'eau, l'onde acoustique dans le milieu marin présente les meilleures performances [19] [20]. En effet, les océans sont presque opaques à la lumière et aux ondes radioélectriques et visibles aux ondes sonores.

En effet, dans les communications sous-marines les ondes acoustiques sont vastement utilisées pour: commande, poursuite et localisation des sous-marins, ainsi que la communication avec les côtes. La technologie employée consiste à délivrer les données numériques via un modem utilisant les ondes acoustiques. [21]

IV.4 Comparaison des techniques de communication sans fil aquatique

La transmission sans fil des signaux sous l'eau n'est pas basée que sur l'onde acoustique, l'un de ces techniques est caractérisés par ces positives et négatives points .L'onde radio est spécifiées par sa propagation à différentes distance, sa basse fréquence (30-300 Hz), elle impose des grandes antennes et une puissance d'antenne étendu. D'autre part, les ondes optiques sont capables de transmettre l'information sous l'eau car elles ne subissent pas une grande atténuation à faible distance, mais leur coté négative est le phénomène de dispersion. Ainsi, les signaux optiques exigent la haute précision pour les faisceaux laser à la transmission .Aussi les ondes optiques sont caractérisés par une faible porté .En conséquent, malgré que la technologie laser est parfaite mais la meilleur solution de communication sous-marine est l'onde acoustique dans les dur conditions. La figure I-10 récapitule les caractéristiques de chacune de ces techniques de communication sans fil pour des applications aquatiques. [22]

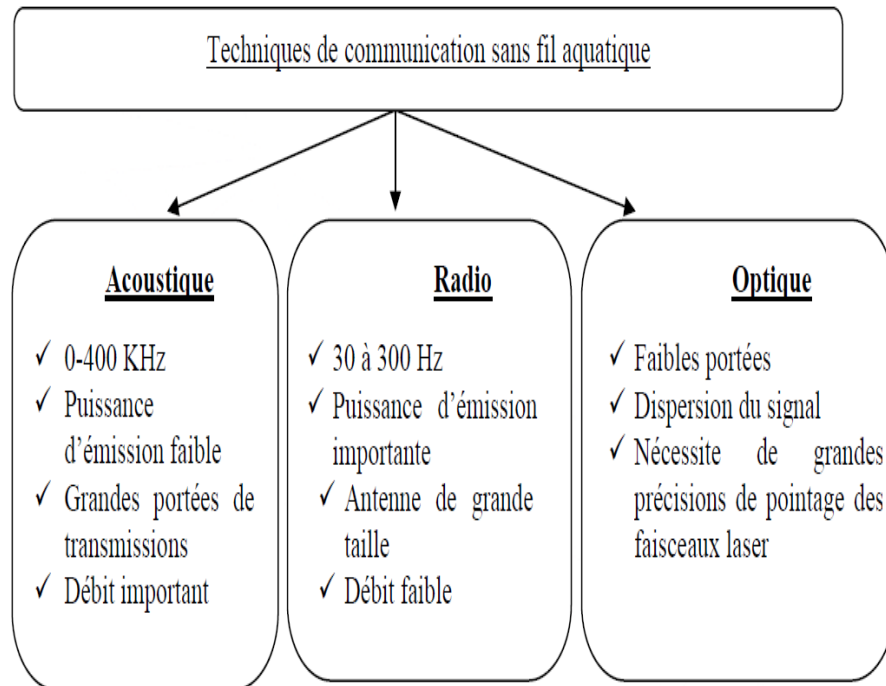


Figure I-10 Caractéristiques des techniques de communication sans fil aquatique.

V. Les caractéristiques uniques des RCSF-SM acoustiques

V.1 Moyens de communication

Le système de communication sous-marine implique la transmission de l'information on utilise : les ondes acoustiques, ondes électromagnétiques ou optiques. Chacune des techniques ont leurs propres avantages et limites. La communication acoustique est la technique la plus polyvalente et largement utilisé dans le réseau de capteurs sous-marins en raison de la faible atténuation dans l'eau. [23]

V.2 Perte de transmission

La perte de transmission est causée par deux facteurs, la propagation géométrique et l'atténuation. La propagation géométrique se renvoie à la propagation de l'énergie sonore en raison de l'élargissement des ondes. Elle augmente avec la distance de propagation et indépendante de la fréquence.

L'atténuation est principalement provoquée par l'absorption due à la conversion de l'énergie acoustique en chaleur, et elle augmente avec la distance et la fréquence. [23]

V.3 Multi trajet

La propagation par trajets multiples peut être responsable d'une grave dégradation du signal de communication acoustique, car elle génère des interférences entre symboles. La géométrie de la

propagation par trajets multiples dépend de la configuration de la liaison. Canaux verticaux sont caractérisés par une faible dispersion de temps, tandis que les canaux horizontaux peuvent avoir des longs écarts de multi-trajets. La mesure de l'étalement est une forte fonction de la profondeur et la distance entre l'émetteur et le récepteur. [23]

V.4 Étalement Doppler

La propagation de fréquence Doppler provoque une dégradation de la performance des communications numériques. L'étalement Doppler génère deux effets: une translation de fréquence simple et un étalement de fréquences continue, ce qui constitue un signal non décalé. Alors que le premier est facilement compensé au niveau du récepteur, l'effet de ce dernier est plus difficile à compenser. [24]

VI. Les contraintes dans les réseaux de capteurs acoustiques sous marine

Les défis majeurs dans la conception des réseaux acoustiques sous-marins sont [14] :

- La chaîne sous-marine est gravement compromise, notamment en raison de multiples trajets.
- Capteurs sous-marins sont sujets à des pannes à cause de l'encrassement et la corrosion.
- Puissance de la batterie est limitée et généralement ne peuvent pas être rechargées, aussi parce que l'énergie solaire ne peut pas être exploité.
- La bande passante disponible est très limitée.
- Le délai de propagation dans le canal aquatique est de cinq ordres de grandeur plus élevée que dans la Fréquence Radio (RF) chaînes hertziennes.
- Le taux d'erreur binaire élevé et les pertes temporaires de connectivité (zones d'ombre) sont expérimentés.

VII. Applications des RCSF-sous marins

VII.1 Application scientifique

Les applications scientifiques peuvent observer l'environnement depuis les procédures géologiques sur le fond marin jusqu'à la surface d'eau (température, salinité, teneur en oxygène, teneur en bactéries et autres polluants, matières dissoutes). Dénombrement ou imagerie de la vie animale (micro-organismes, poissons ou mammifères).

VII.2 Surveillance de l'environnement

Les réseaux de capteurs sous-marins permettent le suivi de différents types de pollution (chimique, biologique et nucléaire), la surveillance des courants marins et les vents, les prévisions météo, la détection des changements climatiques, la compréhension et la prévision de l'effet des activités humaines sur les écosystèmes marins. [22]



Figure I-11 Station de surveillance climatique.

VII.3 La navigation assistée

Les capteurs sous-marins peuvent être utilisés aussi pour identifier les dangers sur le fond marin, localiser les roches dangereuses dans les eaux peu profondes, les positions d'amarrage, la localisation des épaves immergées. [22]

VII.4 Explorations sous-marines

Les réseaux de capteurs sous-marins peuvent aider à détecter les réservoirs de pétrole sous-marins, la détermination des routes pour la pose de câbles sous-marins, et l'exploration des minéraux précieux. En outre, ils peuvent être utilisés pour l'archéologie sous-marine et la recherche des épaves. [12]

VII.5 Militaire

Les réseaux de capteurs sous-marins sont utilisés pour aider les applications militaires. Ces systèmes prennent l'aide de différents capteurs déployés pour la détection des différents aspects des applications

militaires, tels que des caméras, des sonars d'imagerie, et des détecteurs de métaux intégrés avec AUV sont utilisés pour aider à trouver des mines sous-marines, des ports sécurisés, de surveiller et suivi. [23]

VII.6 Détection des catastrophes

Les réseaux de capteurs sous-marins ont la capacité de mesurer l'activité sismique à distance et cela permet de fournir des alertes au tsunami pour les zones côtières, et aussi d'étudier les effets des tremblements de mer. [25]

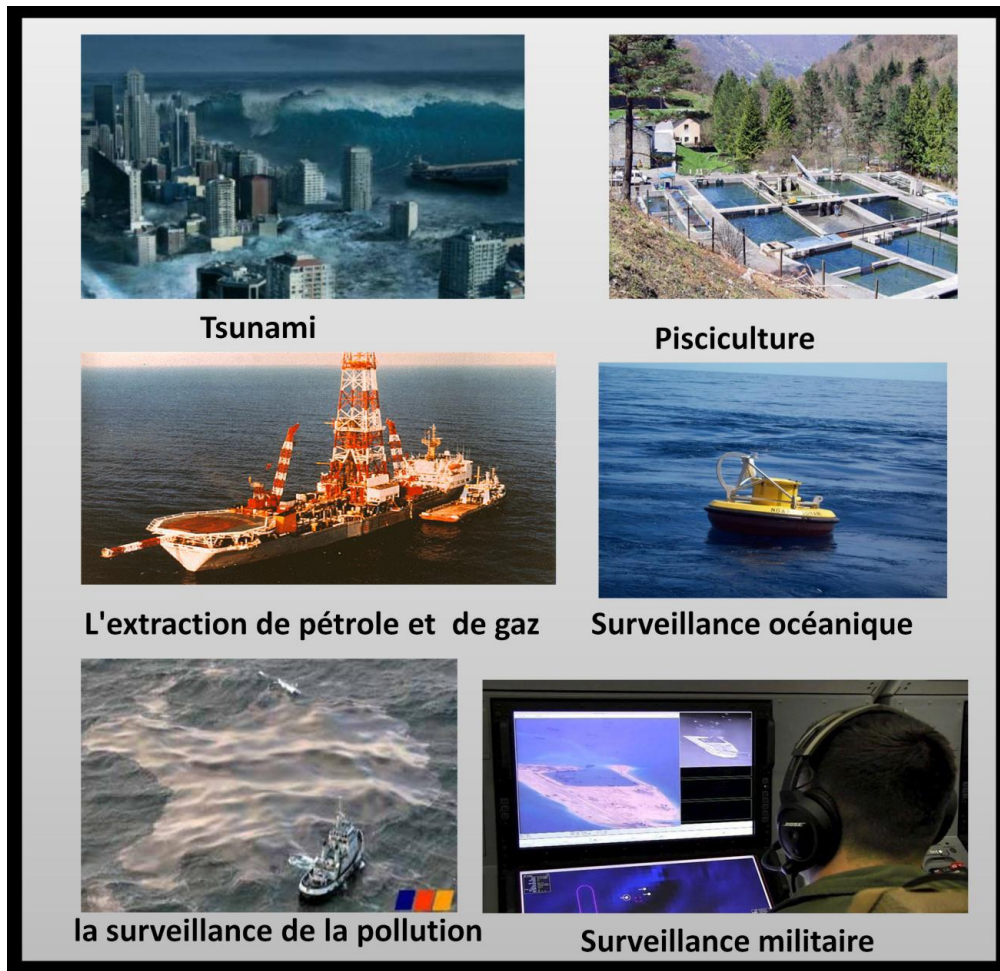


Figure I-12 Image des différentes Application de RCSF aquatique.

VIII. Les différentes architectures de communication dans les RCSF-SM

VIII.1 Réseaux de capteurs à Deux dimensions

Les réseaux de capteurs sous-marins bidimensionnels (2D) ont une architecture montrée dans la Figure I-13. Qui se renvoie à un réseau dans lequel un groupe des nœuds capteurs sont déployées sous l'eau. Chaque groupe a une tête de cluster « cluster head » également appelé nœud ancre. Les clusters sont fixés comme ancrées au fond sous-marin.

Chaque membre du cluster rassemble les données sous-marines et la communique au cluster head. Le cluster head rassemble les informations / données de tous ses nœuds membres et les transmet à la station de la surface. En réseaux de capteurs aquatiques bidimensionnels la communication est effectuée en deux dimensions; où chaque membre du cluster communique avec son cluster head avec un lien de communication horizontale tandis que le cluster head communique avec la station de la surface avec un lien de communication verticale. En réseaux de capteurs à deux dimensions, la communication (acoustique, optique, et RF) peut être utilisée en fonction du type d'application et la nature de l'environnement sous-marin. En réseau bidimensionnel, la communication acoustique est préférable entre le cluster head sous-marin et la station de la surface en raison généralement de la distance élevés entre eux. [26]

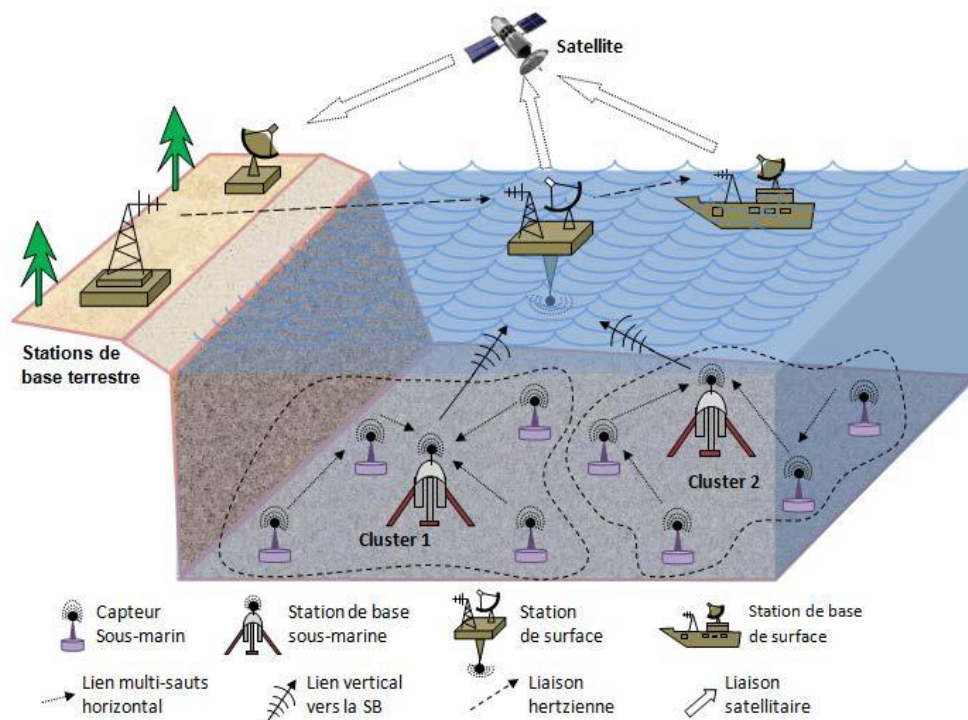


Figure I-13 Architecture pour les réseaux de capteurs sous-marins 2D.

VIII.2 Réseaux de capteurs sous-marins en trois dimensions

Les réseaux de capteurs sous-marins en trois dimensions (3D) sont utilisés pour détecter et observer des phénomènes ne pouvant pas être correctement observés à l'aide des nœuds ancrés sur le fond océanique. Dans ce cas, le prélèvement coopératif de l'environnement marin en 3D est nécessaire. [22] Les réseaux sous-marins en trois dimensions sont représentés dans la Figure I-14, dans cette architecture les capteurs flottent à différentes profondeurs afin d'observer un phénomène donné.

Une solution possible serait de fixer chaque nœud à une bouée de surface, au moyen de fils dont la longueur peut être réglée de manière à ajuster la profondeur de chaque nœud de capteur. Cependant, cette solution permette un déploiement facile et rapide du réseau de capteurs, de multiples bouées flottantes peuvent entraver les navires naviguant sur la surface, ou ils peuvent être facilement détectés et désactivés par les ennemis dans les milieux militaires.

En outre, les bouées flottantes sont vulnérables aux intempéries et les vols. Pour ces raisons, une approche différente est proposée pour ancrer des dispositifs capteurs au fond de l'océan.

Dans cette architecture, chaque capteur est fixé au fond de la mer et muni d'un flotteur qui peut être gonflé par une pompe. La bouée pousse le capteur vers la surface de l'océan. La profondeur du capteur peut alors être réglée en ajustant la longueur du fil qui relie le capteur à l'ancrage, au moyen d'un moteur à commande électronique qui se trouve sur le capteur. Un défi à relever dans une telle architecture est l'effet des courants océaniques sur le mécanisme qui permet de régler la profondeur des capteurs.

De nombreux défis restent posés avec une telle architecture, et doivent être résolus afin de permettre le suivi 3D, y compris :

- **Portée de couverture**

Les capteurs doivent régler leurs profondeurs en collaboration afin de parvenir à une couverture 3D de l'océan, en fonction de leurs portées de détection. Par conséquent, il est possible d'obtenir un échantillonnage du phénomène souhaité à toutes les profondeurs.

- **Couverture de communication**

Les capteurs doivent être en mesure de relayer l'information à la station de surface par l'intermédiaire des chemins multi-sauts. Ainsi, les dispositifs de réseau devraient connaître leurs profondeurs de telle sorte que la topologie de réseau est connectée en permanence, c'est à dire, au moins un trajet de chaque capteur à la station de surface existe toujours. [14]

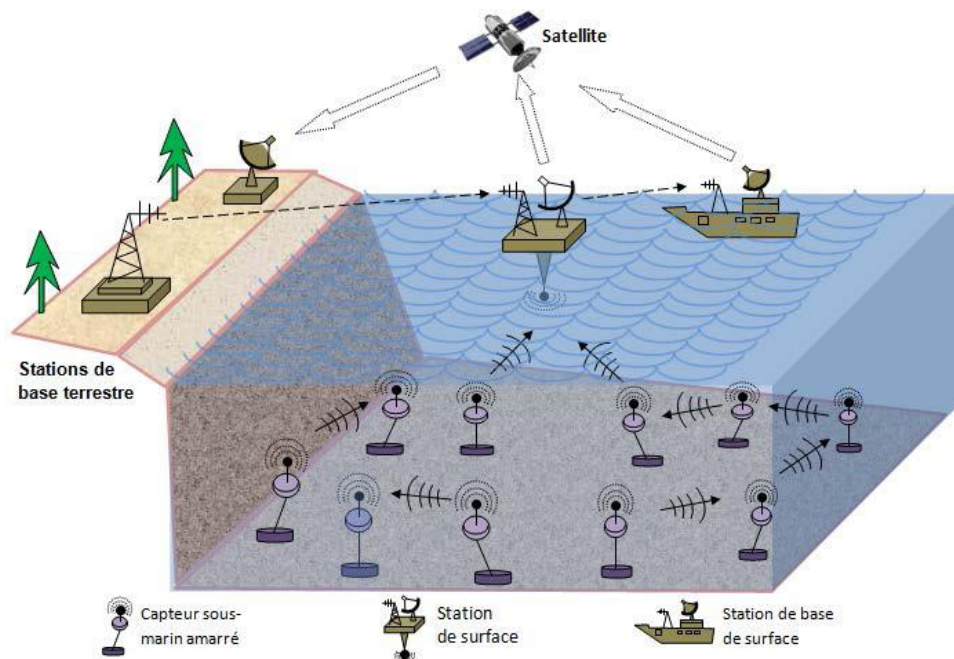


Figure I-14 Architecture pour les réseaux de capteurs sous-marins à trois dimensions.

VIII.3 Les réseaux de capteurs avec véhicules sous-marins autonomes

L'architecture des réseaux de capteurs sous-marins en quatre dimensions (4D) est conçue par la combinaison des capteurs aquatiques fixe et mobile.

Les AUVs peuvent fonctionner sans attaches, câbles, ou télécommande, et donc ils ont une multitude d'applications en océanographie, la surveillance environnementale et l'étude des ressources sous-marines. Les travaux expérimentaux ont montré la faisabilité relativement peu coûteuse des AUVs sous-marins (Figure I-15) équipés de plusieurs capteurs sous-marins pouvant atteindre n'importe quelle profondeur dans l'océan. Par conséquent, ils peuvent être utilisés pour renforcer les capacités des réseaux de capteurs sous-marins.

L'intégration et l'amélioration des réseaux de capteurs statiques avec AUV est un domaine de recherche encore inexploité qui nécessite de nouveaux algorithmes de coordination de réseaux tels que:

1. Échantillonnage adaptatif :

Cette méthode consiste des stratégies de contrôle afin de commander les véhicules mobiles à des endroits où leurs données seront les plus utiles. Cette approche est également connue sous le nom d'échantillonnage adaptatif et a été proposé à des missions de surveillance innovantes. Par exemple, la

densité des nœuds peut être augmentée de manière adaptative dans une zone donnée quand une fréquence d'échantillonnage élevée est nécessaire pour un phénomène surveillé.

2. Auto-configuration :

Cela comprend les procédures de contrôle pour détecter automatiquement les trous de connectivité en raison de défaillances de nœuds ou l'atténuation du canal et demander l'intervention d'un AUV. En outre, un AUV peut être utilisé pour l'installation et l'entretien de l'infrastructure de réseau de capteurs ou le déploiement de nouveaux capteurs. Il peut également être utilisé en tant que nœud relais temporaire pour rétablir la connexion.

Les systèmes d'énergie solaire permettront d'augmenter la durée de vie des AUVs, c'est à dire, il n'est pas nécessaire de les récupérer et les recharger sur une base quotidienne. Par conséquent, les AUVs alimentés par l'énergie solaire peuvent obtenir des informations en continu pendant des périodes de temps de l'ordre de plusieurs mois. [14][27]

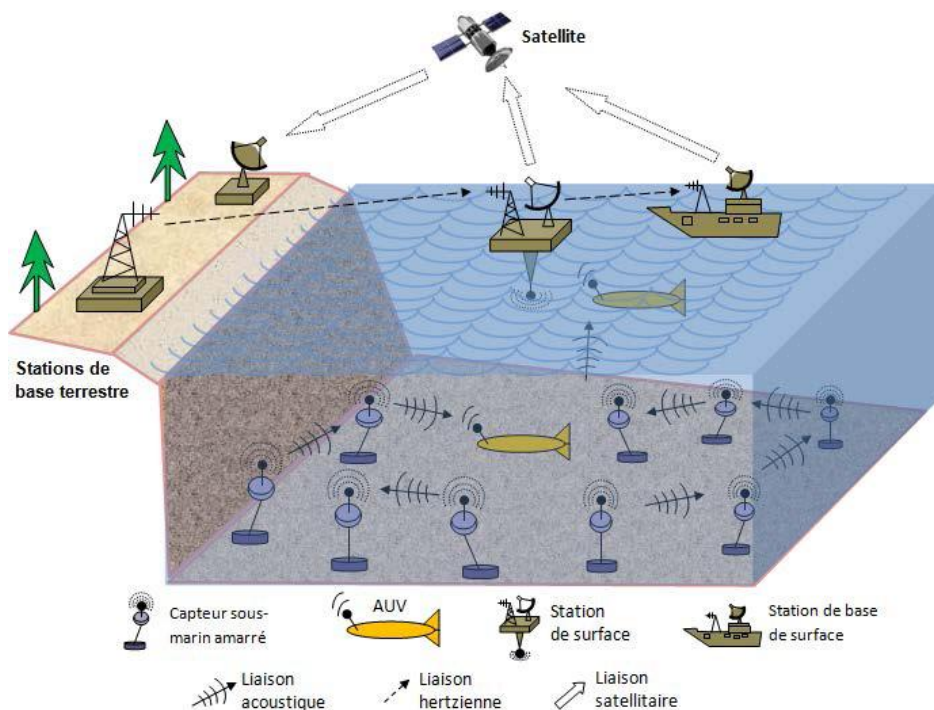


Figure I-15 Les réseaux de capteurs autonomes avec véhicules sous-marins.

IX. Différence entre RCSF et RCSF-SM

Entre les réseaux de capteurs terrestres et réseaux de capteurs sous-marins, il existe plusieurs points de divergences entre eux, ces différences sont résumées dans les points suivants : [26]

- **Méthode de communication** : Les réseaux de capteurs terrestres utilisent des ondes électromagnétiques, mais dans les réseaux sous-marins, en raison des caractéristiques suivantes (grand délais, longue distance de communication) du réseau, la communication est invoquée dans les moyens physiques tels que les sons acoustiques pour transmettre le signal. Les réseaux traditionnels qui utilisent les RF pourraient ne pas fonctionner de manière efficace dans les réseaux sous-marins.
- **Protocoles** : En raison de la dynamique des réseaux distincts, les protocoles de communication dans les réseaux terrestres ne sont pas adaptés à l'environnement sous-marin. La faible bande passante et la latence importante entraînent des défis en termes de fiabilité de transfert de données et le contrôle de congestion du trafic.
- **Coût** : Les équipements des réseaux de capteurs terrestres ne sont pas cher en raison de l'avancement de la technologie, mais les capteurs sous-marins sont des dispositifs coûteux. Cela est dû à la protection supplémentaire requise pour l'environnement sous-marin et à l'utilisation des émetteurs-récepteurs plus complexes.
- **Déploiement** : Les réseaux terrestres sont densément déployés, alors que dans les réseaux sous-marins le déploiement est moins dense en raison des défis impliqués dans le déploiement lui-même et le coût aussi impliqué des équipements.
- **Puissance** : La puissance nécessaire pour les communications sous-marines est supérieure à celle des communications radio terrestres en raison des distances plus longues et du traitement plus complexe des signaux au niveau des récepteurs.
- **Mémoire** : Les capteurs sous-marins ont besoin d'avoir une grande capacité de stockage par rapport aux capteurs terrestres comme le canal sous-marin est intermittent.
- **Corrélation spatiale** : Les lectures prises par les réseaux des capteurs terrestres sont souvent corrélées, mais ce n'est pas le cas dans les réseaux sous-marins puisque la distance est plus grande entre les capteurs.

X. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié les RCSFs en générale et en cas particulier les RCSF-SMs, nous avons définis le réseau capteur sans fil : son architecture, ses types, et ses domaines d'applications.

Ensuite nous avons détaillé les RCSF-SMs : ces domaines d'applications, ces caractéristiques, son fonctionnement et ses architectures, ces techniques de communication et ces contraintes.

En finira par une petite comparaison entre les RCSF et les RCSF-SM.

Dans le deuxième chapitre on va présenter les différentes techniques de routage dans les RCSF-SM.

Chapitre II. Le routage dans les réseaux de capteurs sans fil sous-marins

I. Introduction

L'environnement sous-marin est très différent de l'environnement terrestre et un certain nombre de problèmes ont été abordés tout en utilisant les réseaux de capteurs comme une technologie efficace pour les systèmes sous-marins. En raison de l'eau salée très dense, les signaux électromagnétiques et optiques ne peuvent pas être transmis pendant longues distances dans l'océan en raison de la diffusion, de l'atténuation élevée de l'effet d'absorption. Les protocoles de routage qui nécessitent une bande passante plus élevée entraînent de grands retards de bout en bout et ne sont pas convenables à ces environnements. Certains des défis de la communication sous-marine sont le délai de propagation, taux d'erreur binaire élevé et bande passante limitée.

Actuellement, de nombreux protocoles de routage ont été proposés dans le but de trouver le chemin efficace et fiable entre la source et la destination.

Dans ce chapitre nous allons présenter une petite définition de routage, les problèmes de routage pour les RCSF en général et les défis de routage dans le milieu sous marin. Puis la classification des protocoles. Et puis nous donnons quelques exemples sur les protocoles proposés.

II. Définition

Le routage est une méthode d'acheminement des informations à partir du nœud source vers la bonne destination à travers un réseau de connexion donnée, il consiste à assurer une stratégie qui garantit, à n'importe quel moment, un établissement de routes qui soient correctes et efficaces entre n'importe quelle paire de nœud appartenant au réseau, ce qui assure l'échange des messages d'une manière continue. [23]

III. Les défis de routage dans les RCSFs

Le routage dans le réseau de capteur sans fil a toujours été un problème, principalement en raison de plusieurs facteurs à partir des conditions de déploiement hostiles, d'une topologie de réseau qui change à plusieurs reprises, de pannes de réseau, de ressources contraintes à chaque nœud de capteur à la conception des problèmes de protocoles de routage.

III.1 Position de capteur

Parmi les défis qui sont confrontés les protocoles de routage consistent à gérer les emplacements des capteurs. La plus part des protocoles proposés supposent que les capteurs sont soit équipé de récepteur de system de positionnement global(GPS) ou utilisent une technique de localisation. [29]

III.2 Consommation d'énergie

L'objectif principal des protocoles de routage est livraison efficace d'informations entre les nœuds de capteur et le puits. Ainsi, la consommation d'énergie peut être une préoccupation majeure dans la conception du protocole de routage dans les RCSF. Les raisons de la consommation d'énergie doivent être soigneusement étudiées et de nouvelles métriques de routage écoénergétiques développées pour les RCSF. [28]

III.3 Déploiement des nœuds

Le déploiement des capteurs planifié ou aléatoire affecte les performances du routage. Pour la majorité des applications les nœuds sont déployés aléatoirement et avec une grande densité sur des milieux inaccessibles, si le déploiement n'est pas uniforme il rend la tâche de routage trop difficile. [29]

III.4 Agrégation des données

Puisque les capteurs peuvent générer des données redondantes, des paquets similaires peuvent être agrégés afin de réduire le nombre de transmission des paquets. L'agrégation des données a le but d'économiser l'énergie et l'optimisation du transfert de données. [29]

IV. Les défis du routage dans les RCSF-SM

- Les RCSF-SM sont par nature des RCSF mobiles. Lorsqu'il y a des courants d'eau, les capteurs RCSF-SM peuvent se déplacer et souffrir de changements de topologie de réseau dynamique. Il est difficile de faire face aux changements dynamiques des réseaux sous-marins.
- Les capteurs doivent avoir des capacités plus importantes pour la mise en cache des données sous marines.
- Par rapport aux communications radio dans les RCSF-Terrestre, les communications acoustiques dans les RCSF-SM utilisent une bande passante étroite. En raison de la bande passante étroite, le débit de transmission dans les RCSF-SM est généralement très faible (environ 10 kbps). Par conséquent, l'utilisation de la bande passante est une préoccupation importante pour les RCSF-SM.
- Des techniques de transfert de données fiables sont nécessaires, tout en évitant la transmission traditionnelle des paquets d'accusé de réception, car cela entraînera une surcharge de routage.
- Le canal sous-marin présente plusieurs altérations, notamment en raison des trajets multiples.
- Les courants sous-marins peuvent modifier la position relative des capteurs et provoquer également. [30][31]

V. Critères de performances d'un protocole de routage

On dit qu'un protocole de routage est efficace s'il répond aux propriétés suivantes : [22]

- **Mobilité des nœuds** : Un nœud capteur peut devenir mobile et changer sa position selon les besoins de l'utilisateur, car sa position sur la zone de captage n'est pas toujours constante. Des traitements spécifiques pour la maintenance des liens et la mise à jour des informations de routage sont à prévoir lors de la conception d'un protocole de routage.
- **Extensibilité** : Il supporte le passage à l'échelle sans présenter des goulots d'étranglement.
- **Consommation de la bande passante** : La consommation de la bande passante est optimisée par la minimisation du nombre de messages redondants.
- **Sécurité des échanges** : Le routage est l'un des mécanismes les plus essentiels dans les réseaux de capteurs sous-marins. L'insécurité des mécanismes de routage peut non seulement nuire aux performances des capteurs sous-marins, mais aussi le rendre vulnérable à de nombreuses attaques de sécurité, telles que la modification, l'interception et la fabrication de l'information.
- **Consommation énergétique** : Le facteur le plus important à prendre en considération est l'énergie consommée dans les réseaux de capteurs lors de la détection et de la transmission des données, sa conservation est indispensable pour garantir une longue durée de vie aux réseaux puisqu'il est généralement impossible de recharger les batteries des capteurs.
- **Latence** : C'est le temps pris par un nœud capteur pour effectuer des opérations de calcul sur les données récoltées ou reçues. Ce temps doit être raisonnable pour ne pas causer des retards de transmission d'informations pour des applications critiques et à temps réel.

VI. Classification des protocoles de routage dans les RCSFs-SM

Dans les RCSF-SM les protocoles de routages peuvent être classés en plusieurs catégories, et la classification se compose en deux classes : architecture de réseaux et transmission des données. La Figure II.1 présente une classification détaillée des protocoles de routage dans les RCSFs-SM.

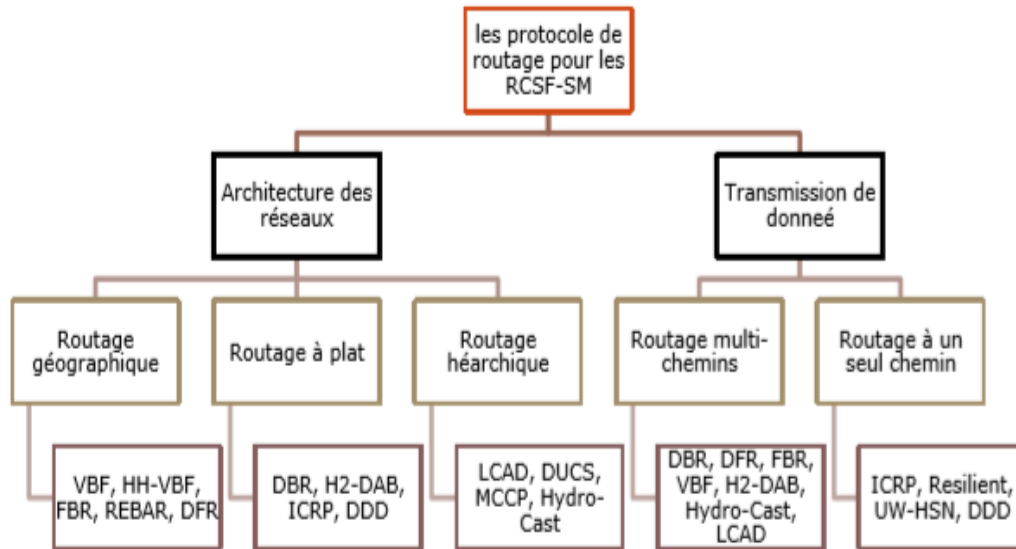


Figure II-1 Classification des protocoles de routage dans les RCSFs-SM.

VI.1 La structure du réseau

VI.1.1 Routage à plat

Ces protocoles considèrent que tous les nœuds sont identiques, c'est à dire ont les mêmes fonctions à exécuter sauf le nœud de contrôle qui est chargé de collecter toutes les informations issues des différents nœuds capteurs pour les transmettre vers l'utilisateur final. La décision d'un nœud de router des paquets vers un autre dépendra de sa position et pourra être remise en cause au cours du temps.

VI.1.2 Routage hiérarchique

Ces protocoles fonctionnent en confiant des rôles différents aux nœuds du réseau. Certains nœuds sont sélectionnés pour exécuter des fonctions particulières. Un nœud peut être, par exemple, une passerelle pour un ensemble de nœuds. Dans ce cas, le routage devient plus simple, puisqu'il s'agit de passer par les passerelles pour atteindre le nœud destination qui lui est directement attaché. L'avantage est la réduction des coûts en communication et en énergie en minimisant le nombre de messages circulant sur le réseau, étant donné que les CHs appliquent des fonctions d'agrégat sur les données du cluster ce qui permet de les combiner. L'inconvénient concerne la taille du réseau. Quand la taille du réseau augmente, le processus d'élection du Cluster Head devient critique et gourmand en ressources.

VI.1.3 Routage avec localisation géographique

Un routage est dit géographique lorsque les décisions de routage sont basées sur la position des nœuds.

VI.2 Transmission des données

VI.2.1 Routage multi-chemin

Il se base sur l'adoption de plus qu'un chemin menant vers la destination, et ce, pour avoir des chemins de secours si jamais le chemin principal serait rompu.

VI.2.2 Routage à un seul chemin

Le routage à voie unique consiste à découvrir les routes par la suite un seul meilleur chemin sera sélectionné pour chaque destination. [22]

VII. Exemples de protocoles de routage dans les RCSF-SM

VII.1 Le protocole de routage « MCCP »

MCCP (Minimum Cost Clustering Protocol) est un protocole qui se base sur le principe du «Clustering ». MCCP exploite la méthodologie de base de cluster dans laquelle le cluster est formé en utilisant ces trois paramètres : [32]

- 1) L'énergie totale nécessaire pour envoyer les données de membre du cluster au cluster-head.
- 2) L'énergie restante des membres du cluster et de son cluster-head.
- 3) position de la station de base et le cluster-head.

Les protocoles MCCP (Minimum Cost Clustering Protocol) utilise une méthodologie centralisée pour choisir le cluster-head. Le MCCP est un développement de l'algorithme MCCA (Minimum Cost Clustering Algorithm), dans lequel l'approche distribuée est utilisée pour sélectionner le cluster-head.

Par cette approche, tous les nœuds sont candidats pour les membres du cluster ainsi que pour le cluster-head. Des ensembles voisins et des ensembles non voisins sont construits par chaque candidat afin de former le cluster-head.

Le cluster-head particulier calcule son cout moyen et le diffuse à tous les membres associés à l'ID de cluster-head dans une plage de deux sauts. Touts les nœuds membres du cluster comparent leurs couts de cluster-head de réception.

Le membre du cluster devient cluster-head, si son cout est inférieur au cout de cluster-head. Il invite un message à tous les autres nœuds du cluster pour devenir ses membres, sinon le message de jointure est envoyé à un cluster-head spécifique.

Enfin, un calendrier TDMA (Time-Division Multiple Access) est défini par le cluster désigné et transmis aux membres du cluster.

MCCP présente de nombreux avantages, car il évite la formation de hot-spots autour de la station de base en générant plusieurs cluster-head, ce qui contribue à équilibrer la charge de trafic. Ainsi, le nombre de membres du cluster dépend de l'emplacement du cluster-Head et de la station de base, ce qui signifie que les clusters les plus proches de la station de base auront moins de membres de cluster. En outre, il a la capacité d'équilibrer la charge de trafic en regroupant périodiquement les nœuds de capteur. Cependant, la période de re-Clustering du réseau est définie dans la plage de jours ou de mois. Pour les environnements sous-marins, les nœuds sont en mouvements continus.

VII.2 Le protocole de routage « DUCS »

DUCS (Distributed Underwater Clustering Scheme) [33] est un protocole adaptatif auto-organisé où les clusters sont formés à l'aide d'un algorithme distribué. Dans DUCS, les nœuds s'organisent en grappe locales et un nœud est sélectionné comme tête de cluster (cluster-head) pour chaque cluster.

Tous les nœuds principaux non-cluster transmettent leur données à leur cluster-head via un seul saut, le cluster-head reçoit des données de tous les membres du cluster, effectue le traitement du signal sur les données et les transmettent vers la station de base en utilisant le routage multi-saut.

Les nœuds proches les uns des autres des données car elles surveillent les phénomènes à l'aide de techniques d'agrégation, les données non redondantes efficaces peuvent être extraites par le cluster-head et envoyées à la station de base. Ainsi, l'énergie est économisée.

Les chefs de Grappe ou cluster-head sont responsables de la coordination entre les nœuds et leurs clusters (coordination intra-cluster) et la communication entre eux (communication inter-cluster).

Ce protocole fonctionne en deux phases: dans la première phase appelée (phase setup), qui consiste à la formation des clusters et la sélection du cluster-head et les nœuds membres du cluster. Chaque nœud a la probabilité de devenir un cluster-head, un nœud calcule son énergie résiduelle et sur la base de ce calcul, la probabilité d'un nœud de devenir un cluster-head est déterminée.

La probabilité d'un nœud à devenir un cluster-head réside au sein d'un certain seuil pour que ce nœud s'annonce comme cluster-head. Par conséquent, les nœuds non cluster-head envoient un message « join-request » au cluster-head le plus proche.

Lors de la réception des messages join-request, le cluster-head enregistre ces voisins et calcule un ordonnancement de transmission. Cet ordonnancement est basé sur le délai de propagation entre le cluster-head et les membres du cluster. Et pour la deuxième phase (phase steady), représente la transmission des données.

Malgré que DUCS est simple et économe en énergie, mais il a un problème de performances. En premier degré, les mouvements de nœud en raison de courants d'eau peuvent influencer sur la structure des clusters, ce qui diminue la durée de vie de réseau.

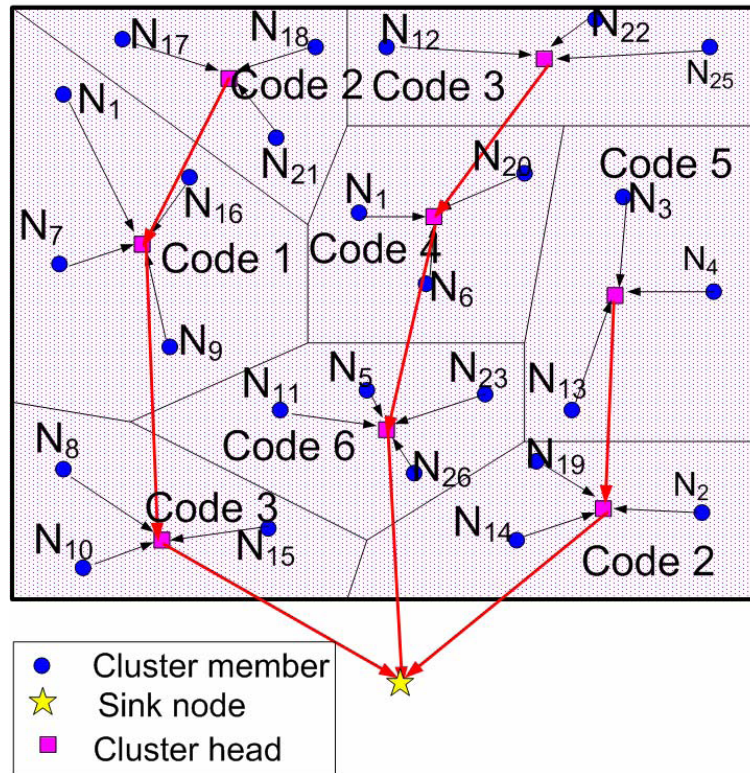


Figure II-2 Exemple de réseau avec DUCS.

VII.3 Le protocole de routage « LCAD »

La phase de transmission des données est la principale source de consommation d'énergie pour un nœud de capteur. La dissipation d'énergie pendant la transmission des données est proportionnelle à la distance entre l'émetteur et le récepteur. L'approche multi-saut est utilisée fréquemment durant la transmission. Un autre problème avec cette technique est que les nœuds de capteurs autour de la station de base traitent un grand nombre de paquets de données, qui drainent rapidement leur énergie.

Afin de résoudre ces deux problèmes le protocole de routage appelé LCAD (Location-Based Clustering Algorithm for Data Gathering) [34], a été proposé basé sur le clustering pour les réseaux de capteurs sous-marins tridimensionnels. Ici, les nœuds de capteurs sont déployés dans toute la zone d'intérêt à des profondeurs relatives les uns des autres. A chaque niveau, ces capteurs sont organisés en clusters avec plusieurs chefs de cluster. Ils proposent un algorithme pour la sélection de chef de cluster à chaque cluster en fonction de la position du nœud dans le réseau. Les liens acoustiques horizontaux sont utilisés pour la communication intra-cluster. Concernant l'énergie, la longueur de cette liaison

acoustique horizontale est limitée à un maximum de 500 m comme il a été montré dans que les performances de liaison acoustique peuvent être optimales, à cette distance de communication [35]. Dans l'architecture proposée, l'ensemble du réseau est divisé en plusieurs grilles à trois dimensions, où chaque grille à une dimension d'environ 30x40x500m (figure II-3). L'ensemble du processus de communication se déroule en trois phases:

- (i) la phase de mise, où le cluster head est sélectionné.
- (ii) la phase de collecte de données, où les données sont envoyées au cluster head par les nœuds du même cluster.
- (iii) et la phase de transmission, où les données recueillies par les clusters heads sont transmises à la station de base à l'aide des Véhicules sous-marins autonomes (AUVs).

Certains nœuds capteurs dans chaque groupe disposent de ressources supplémentaires, comme la mémoire et l'énergie, et ces nœuds peuvent être qualifiés comme cluster head. Ayant plusieurs CH cela augmente non seulement la fiabilité, mais aussi l'équilibrage de charge dans le réseau. Ces nœuds CHs sont situés approximativement au centre de la grille, ce qui permet de communiquer avec un nombre maximum de nœuds de capteurs ordinaires. Ces grilles sont organisées comme les cellules d'un réseau téléphonique cellulaire.

Les AUVs sont utilisées pour collecter des paquets de données à partir du cluster head au lieu de chaque nœud de capteur dans le réseau. Comme il a été prouvé que la liaison acoustique n'est pas suggérée pour les distances de plus de 500 m, le nombre requis dans chaque niveau dépend des profondeurs moyennes des océans. Pour des meilleurs résultats, ils préconisent un déploiement dense de capteurs dans les niveaux inférieurs et de la distribution clairsemée dans les niveaux supérieurs.

Néanmoins, le protocole proposé semble avoir de sérieux problèmes de performance. La performance de LCAD dépend de la structure de la grille. Pour les réseaux de capteurs terrestres, ce type de structure est facilement possible. Toutefois, pour les environnements sous-marins où les mouvements des nœuds sont fréquents, l'hypothèse d'une telle structure de grille n'est pas si simple. Pour l'analyse de la performance, le protocole LCAD a été évalué en termes de durée de vie du réseau.

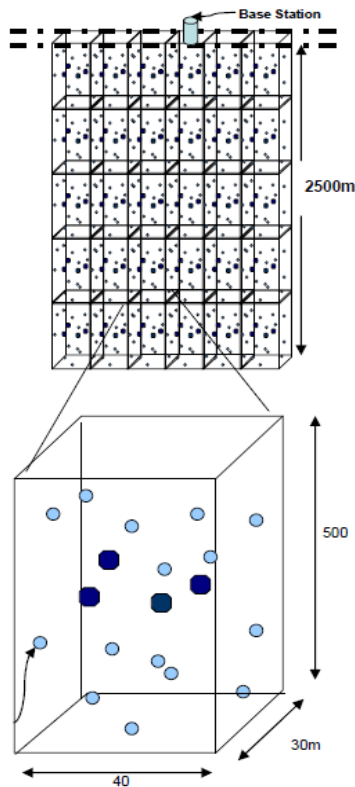


Figure II-3 Architecture de réseau utilisé dans le protocole de routage LCAD.

VII.4 Le protocole de routage « HydroCast »

Pour les RCSF-SM, le routage géographique est préférable en raison de sa nature sans état.

Cependant, le routage géographique nécessite une localisation distribuée des nœuds de capteurs mobiles, qui non seulement peut être coûteux en termes d'énergie, mais peut également mettre du temps à converger. Afin de fournir une alternative de routage géographique, HydroCast (Pressure Routing for Underwater Sensor Networks), [36] un protocole de routage basé sur la pression hydraulique qui permet de rapporter des données de capteur à temps critique aux bouées acoustiques au niveau de la mer par multi-sauts acoustiques est sans état et accomplit sa tâche sans nécessiter une localisation distribuée coûteuse. Il utilise n'importe quel routage de coulée en exploitant les niveaux de pression mesurés afin de transmettre les paquets de données vers les bouées de surface. [35]

L'idée de base d'HydroCast est similaire au protocole DBR (Depth Based Routing) où les décisions de routage sont prises après avoir comparé [36] les informations locales de pression ou de profondeur, de sorte que les paquets de données sont transmis avec parcimonie vers un nœud avec le niveau de pression le plus bas parmi les nœuds voisins. DBR est confronté à un grave problème de maximum local lorsqu'un nœud de transfert de données ne peut pas trouver le saut suivant avec une profondeur inférieure parmi ses nœuds voisins. Dans de telles régions vides, il ne fournit aucune solution pour

gérer une telle situation. En mode HydroCast, chaque nœud maximal local maintient une route de récupération vers un nœud voisin avec une profondeur plus élevée que lui-même. Après une ou plusieurs transmissions via des maximaux locaux, un paquet de données peut être acheminé hors de la région vide. Le problème des régions vides qui existaient dans DBR a été résolu avec succès par l'HydroCast.

VIII. Comparaison entre les protocoles étudiés

Ce Tableau donne une comparaison entre les protocoles présentés dans ce chapitre :

Protocole	Taux de livraison	Efficacité énergétique	Efficacité de Délai	Efficacité de la bande passante	Fiabilité	Efficacité de mobilité
MCCP	Faible	Haute	Faible	Moyen	Moyen	Faible
DUCS	Moyen	Moyen	Faible	Moyen	Faible	Moyen
LCAD	Moyen	Moyen	Faible	Moyen	Faible	Faible
HydroCast	Haute	Moyen	Haute	Moyen	Moyen	Moyen

Tableau II-1 La comparaison des protocoles de routage en fonction de leurs caractéristiques.

IX. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu de l'état de l'art des protocoles de routage dans un réseau de capteur sans fil sous-marin. Le routage pour les RCSF-SM est une question importante, qui attire une attention significative de la part des chercheurs. La conception de tout protocole de routage dépend des objectifs et des exigences de l'application, ainsi que leur pertinence, qui dépendent de la disponibilité des ressources réseau.

Après avoir présenté les principaux protocoles de routage et les comparaisons disponibles entre eux, on conclue que la comparaison est nécessaire afin de souligner que le protocole de routage est choisi selon l'utilisation souhaitée. il est impossible de dire que toute technique de routage particulière est la meilleure pour tous les scénarios que chacun d'eux a des forces précises et des faiblesses, et d'aptitude à situations spécifiques.

Les solutions de routage pour optimiser la durée de vie du réseau est l'objectif du prochain chapitre.

Chapitre III. Algorithmes proposés & simulation

I. Introduction

Les réseaux de capteurs sans fil sous marins sont constitués d'un nombre variable de nœuds de capteurs qui sont déployés pour contrôler et surveiller l'environnement.

La consommation d'énergie est un problème important lors de la conception et de l'évaluation globale des performances d'un système UWSN. Un facteur principal qui affecte ces performances est que les capteurs utilisent généralement des batteries comme seule source d'alimentation. C'est la principale raison pour laquelle les chercheurs dans ce domaine se concentrent sur la conception de protocole de routage plus évolutif et économe en énergie.

Dans ce chapitre nous présenterons l'algorithme nommé MH-EKMD qui peut optimiser la consommation d'énergie et prolonger la durée de vie d'un RCSF-SM. Ceci a été validé par une étude comparative avec deux autres algorithmes MH-EKMC et MH-FEER [22] par logiciel matlab et en finira avec une conclusion.

II. Algorithme K-means

L'algorithme K-means est l'algorithme de classification le plus classique et simple à utiliser pour résoudre les problèmes de clustering. Il est basé sur la partition, qui appartient aux méthodes de classification basées sur la distance [37]. Le K-mean choisit d'abord au hasard k nœud parmi les N nœud comme centres de cluster initiaux, les nœuds restants joignent les clusters en fonction de leurs similarité par le distance euclidienne (éq.III.1) avec les centres de cluster et répéter ce processus jusqu'à ce que la condition de convergence soit satisfaite.

$$d(x_1, x_2) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{1j} - x_{2j})^2} \quad (\text{éq.III.1})$$

Choisir un nombre de cluster K n'est pas forcément intuitif. il convient de déterminer le nombre de centres de clusters initiaux, ce qui déterminera directement le nombre final de cluster. Pour les réseaux de capteurs sans fil sous-marins, si le nombre de clusters est trop petits, les clusters seront trop grands et comporteront trop de nœuds. Cela entraînera une augmentation significative de la consommation d'énergie sur une longue distance pour transmettre les informations des nœuds. Cela aura des inconvénients pour prolonger la durée de vie du réseau en raison d'une grande quantité d'informations nécessaires pour fusionner dans un cluster. Si le nombre de clusters est trop important, l'effet de clustering souhaité ne sera pas obtenu. Comme la similarité entre les clusters est trop élevée, nous ne pouvons pas effectuer une fusion de données efficace. Il convient donc d'abord de déterminer un nombre raisonnable de centres de clusters initiaux.

K-means est composé des étapes suivantes : [38]

1. Placer K points dans l'espace représenté par des objets. Ces points représentent les centroids du groupe initial.
2. Affecter chaque objet au groupe qui a le centroid le plus proche.
3. Lorsque tous les objets ont été affectés, recalculer les positions des centroids K.
4. Répéter les étapes 2 et 3 jusqu'à ce que les centroids ne disparaissent plus. Cela produit une séparation des objets en groupes à partir de laquelle la métrique à minimiser peut être calculée.

II.1 L'algorithme MH-EKMC

• Présentation d'algorithme

Dans cette partie, nous allons présenter l'algorithme de routage, basés sur le clustering par la méthode K-means. Efficaces en termes d'énergie et de durée de vie. MH-EKMC (Multiple Hope Energy efficient K-means Clustering) est adapté à l'environnement aquatique i.e. pour des topologies statiques. En plus, le critère de la centralité est pris en considération dans le choix des CHs au début des simulations.

L'algorithme MH-EKMC (Multiple Hope Energy efficient K-means Clustering) fonctionne en trois phases. Dans la première phase, La formation de cluster. Dans la deuxième phase, sélection de la tête de cluster. Dans la troisième étape la transmission de données. En phase de formation de cluster, la méthode de classification k-means est utilisée pour former les clusters. Dans la phase de sélection des têtes de cluster région sélectionnée de façon aléatoire en fonction de la distance. En phase de transmission de données, les données sont transmises à la station de base. Dans cette phase, on calcul d'abord la distance entre toutes les têtes de cluster et la station de base. Ensuite, les têtes de clusters vérifient la distance minimale. Si la distance entre la tête du groupe et la station de base est minimale, les CH envoient directement leurs données à la station de base. Si la distance entre la tête de cluster et la station de base est grande en utilisant le routage multi-saut entre les CHs et la station de base. Les données sont transférées à travers de multiples CHs dans la direction de la station de base en choisissant le chemin le plus court par utilisation de l'algorithme glouton. Cette opération sera répétée jusqu'à ce qu'on atteigne la station de base. Cet algorithme montre de meilleurs résultats que la transmission directe. [44]

III. Algorithme FCM (Fuzzy C-Means)

FCM (Fuzzy C-Means) est un algorithme de classification non supervisée floue. Issu de l'algorithme des C-moyennes (C-means), il introduit la notion d'ensemble flou dans la définition des classes :

chaque point dans l'ensemble des données appartient à chaque cluster avec un certain degré, et tous les clusters sont caractérisés par leur centre de gravité.

Comme les autres algorithmes de classification non supervisée, il utilise un critère de minimisation des distances intra-classe et de maximisation des distances inter-cluster, mais en donnant un certain degré d'appartenance à chaque classe pour chaque pixel. Cet algorithme nécessite la connaissance préalable du nombre de clusters et génère les classes par un processus itératif en minimisant une fonction objective. Ainsi, il permet d'obtenir une partition floue de l'image en donnant à chaque pixel un degré d'appartenance (compris entre 0 et 1) à une classe donnée. Le cluster auquel est associé un pixel est celui dont le degré d'appartenance sera le plus élevé. [39][40][41]

FCM est basée sur la minimisation de la fonction objective définie par (éq.III.2) :

$$J(U, c_1, c_2, c_3, \dots, c_c) = \sum_{i=1}^c \sum_j^n U_{ij}^m d_{ij}^2 \quad (\text{éq.III.2})$$

Et m étant un paramètre constant supérieur à 1 (généralement pris égal à 2), U_{ij} est la valeur d'appartenance du nœud j au cluster i , c est le nombre de clusters, n est le nombre de nœuds et d_{ij} est la distance euclidienne entre le nœud j et le centre du cluster i . [42]

Les principales étapes de l'algorithme Fuzzy C-means sont : [43]

1. La fixation arbitraire d'une matrice d'appartenance.
2. Le calcul des centroïdes des classes avec l'équation suivante :

$$c_i = \frac{\sum_{j=1}^n U_{ij}^m x_j}{\sum_{j=1}^n U_{ij}^m} \quad (\text{éq.III.3})$$

3. Le réajustement de la matrice d'appartenance suivant la position des centroïdes.
4. Calcul du critère de minimisation et retour à l'étape 2 s'il y a non convergence de critère.

III.1 L'algorithme MH-FEER

- **Présentation d'algorithme**

Dans cette section, nous allons exposer l'algorithme basés sur Fuzzy C-Means (FCM) clustering. MH-FEER (Multiple Hop Fuzzy based Energy efficient Routing algorithm) est adapté à l'environnement aquatique i.e. pour des topologies statiques.

MH-FEER (Multiple Hop Fuzzy based Energy Efficient Routing algorithm) imite le premier algorithme, il utilise trois phases. Dans la première phase, les clusters sont créés par la méthode Fuzzy C-Means. Les nœuds s'organisent à l'intérieur des clusters aléatoirement avec des tailles inégales, tous les nœuds ont la même quantité d'énergie. Dans la deuxième étape, un seul nœud sera sélectionné comme CH pour chaque cluster. Dans l'itération initiale, le nœud le plus proche au centre du cluster est sélectionné en tant que CH, mais à partir des prochaines itérations la sélection est effectuée selon un mécanisme de rotation basée sur l'énergie résiduelle de chaque nœud. La troisième phase, le processus de transmission des données vers la station de base est différent en utilisant le routage multi-saut entre les CHs et la station de base. Les données sont transférées à travers plusieurs CHs dans la direction de la station de base en choisissant le plus court chemin. Ceci est répété jusqu'à ce qu'on atteigne la station de base. [22]

IV. Algorithme k-médoïds

L'algorithme k-médoïds est un algorithme de clustering lié à l'algorithme k-means et medoidshift. Les deux algorithmes k-means et k-médoïds sont partitionnés (diviser l'ensemble de données en k groupes) et les deux tentent de minimiser l'erreur quadratique, la distance entre les points étiquetés à être dans un cluster et un point désigné comme le centre de grappe.

Dans le clustering k-médoïds chaque cluster est représenté par l'un des points de données du cluster. Ces points sont appelés médoïds de cluster.

Contrairement à l'algorithme k-means k-médoïds choisit les points de données comme centres.

k-medoid est une technique de partitionnement classique de clustering qui regroupe l'ensemble de données de n objets en k clusters connus priori. Un outil utile pour déterminer k est la silhouette. C'est plus robuste au bruit et aux valeurs aberrantes que les k-moyennes.

Un médoïde peut être défini comme l'objet d'un cluster, dont la différence moyenne avec tous les objets du cluster est minimale, c'est-à-dire qu'il s'agit d'un point situé le plus centralement dans la base de données.

Les principales étapes de l'algorithme k-medoids sont : [46] [47]

1. Sélectionne k points initiaux, ces points les candidats medoides et sont destinés à être les points de leurs grappes.
2. Remplacer le medoides actuel dans chaque cluster par l'objet qui minimise la distance totale à l'autre objet dans son cluster.

3. Attribuer chaque objet au niveau medoide le plus proche et calculer la nouvelle valeur optimale, la somme de la distance entre tous les objets et leurs nouveaux medoies. Si la valeur optimale est égale à la précédente arrêtez l'algorithme. Sinon, revenez à l'étape 2.

IV.1 L'algorithme proposé MH-EKMD

• Présentation d'algorithme

Dans cette partie, nous allons présenter l'algorithme de routage, basés sur le clustering par la méthode K-medoids. Efficaces en termes d'énergie et de durée de vie. MH-EKMD (Multiple Hope Energy efficient K-medoids Clustering) est adapté à l'environnement aquatique i.e. pour des topologies statiques.

MH-EKMD (Multiple Hope Energy Efficient K-medoids Clustering) fonctionne en trois parties. Dans la première phase, les clusters sont créés par la méthode k-medoids. Dans la deuxième partie, sélection la tête de cluster, le nœud le plus proche au centre du cluster est sélectionné en tant que CH. Dans la troisième phase la transmission de données, les données sont transmises à la station de base, on calcule la distance entre le cluster head et la station de base si la distance est grande en utilisant le routage multi-saut entre les CHs. Les données sont transférées à travers plusieurs CHs dans la direction de la station de base en choisissant le chemin plus court, cette opération est répétée jusqu'à ce qu'on atteigne la station de base.

V. Evaluation

Dans cette partie, nous évaluons les performances de l'algorithme proposé au sein de simulation sous Matlab. Tout d'abord, Nous présentons la méthodologie de simulation et les mesures de performance. Ensuite, nous définissons le model d'énergie utilisé. Puis nous évaluons, les performances de l'algorithme proposé avec les algorithmes MH-FEER et MH-EKMC.

V.1 Hypothèses

- Initialement, tous les nœuds capteurs ont la même quantité d'énergie.
- Les nœuds capteurs sont dispersés de manière aléatoire.
- L'énergie, la puissance de calcul et la mémoire de station de base sont illimités.
- Pas de perte de messages ; tout message émis par un nœud vers un autre nœud finit par être reçu par ce dernier au bout d'un temps fini.

V.2 Modèle d'énergie

Nous utilisons un modèle d'énergie qui a été proposé particulièrement pour les réseaux acoustiques sous-marins [45]. 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.4) :

$$E_{tx}(d) = P_0 \cdot d^2 \cdot 10^{\frac{\alpha(f)}{10}} \quad (\text{éq.III.4})$$

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 (III.5).

$$\alpha(f) = 0.11 \frac{10^{-3}f^2}{1+f^2} + 44 \frac{10^{-3}f^2}{4100+f^2} + 2.75 * 10^{-7}f^2 + 3 * 10^{-6} \quad (\text{éq.III.5})$$

Et 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.

V.3 Simulation et analyse

L'algorithme proposé est testé sur un réseau de 100 nœuds. Les nœuds capteurs sont déployés aléatoirement dans une zone de (100 x 100 x 100) m²; la station de base est située au point de coordonnées (50, 50, 150) m; elle est donc au moins à 50 m de distance du nœud capteur le plus proche. Le nombre de CHs est choisi égal à 10, correspondant à la racine carrée du nombre total de nœuds. L'énergie initiale de chaque nœud capteur est égale à 10 Joules. Le tableau III -1 résume tous les paramètres de simulation.

Paramètres	Valeurs
Taille du réseau	(100*100*100) m ³
Nombre de nœuds	100
Energie initiale	10J
Coordonnées de la station de base	(50, 50,150) m

Tableau III-1 Paramètres de simulation.

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

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

$$E(i)_{\text{consumed}} = E(i)_{\text{initial}} - E(i)_{\text{residual}} \quad (\text{éq.III.6})$$

$$ET_{\text{consumed}} = \sum_{i=1}^N E(i)_{\text{consumed}} \quad (\text{éq.III.7})$$

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

V.3.1 Résultat de la simulation

MH-FEER et MH-EKMC et l'algorithme proposé MH-EKMD sont présenté aux figures : III-1, III-2 et III-3, on constate que le résultat de consommation d'énergie de MH-EKMD est moins que MH-FEER et MH-EKMC à cause que la grande distance entre le capteur et la station de base. MH-FEER consomme moins énergie que MH-KMC a cause de la transmission multi saut il évite les longues transmissions effectuées dans MH-EKMC entre CH et la station de base.

Le MH-FEER consomme plus d'énergie que MH-EKMD et moins que MH-EKCM.

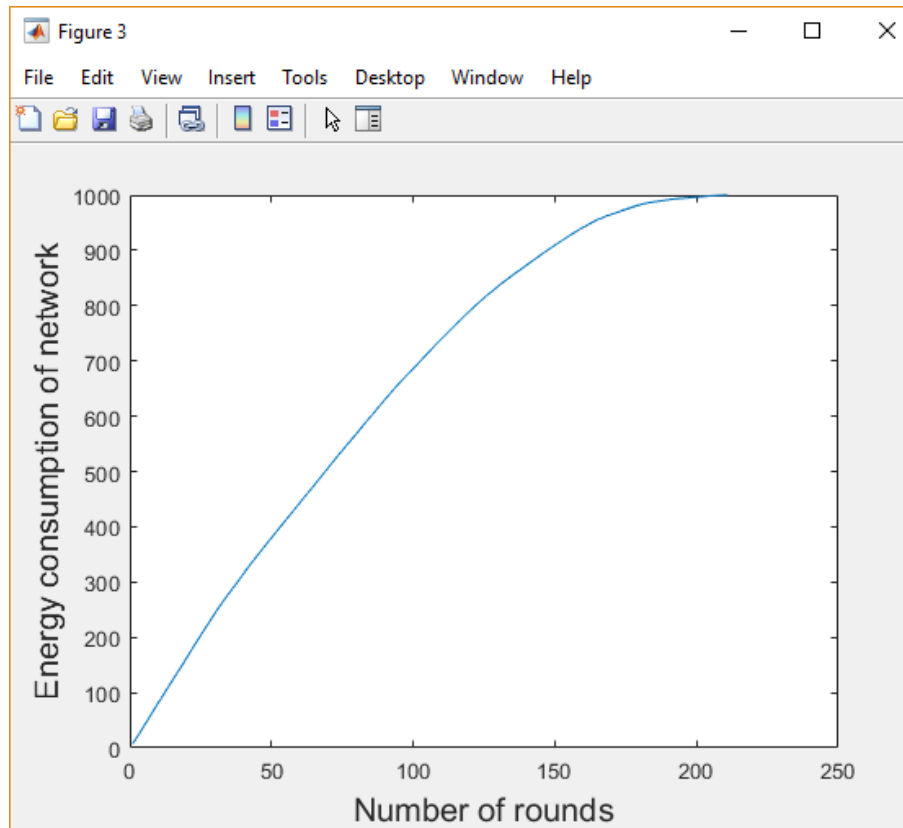


Figure III-1 Energie consommé dans le MH-FEER.

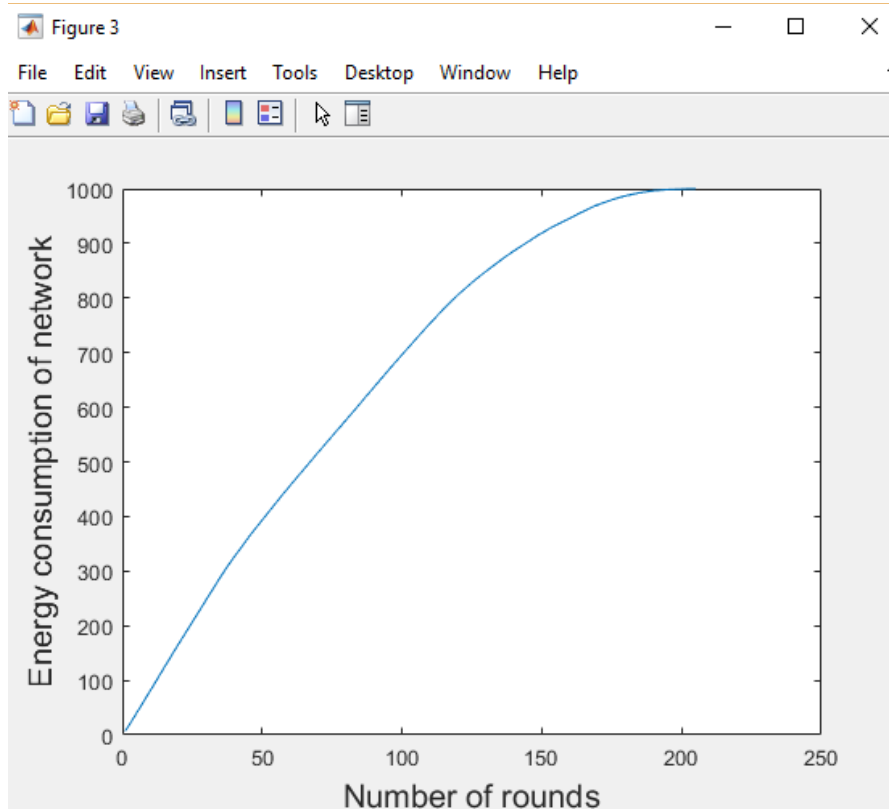


Figure III-2 Energie consommé dans le MH-EKMC.

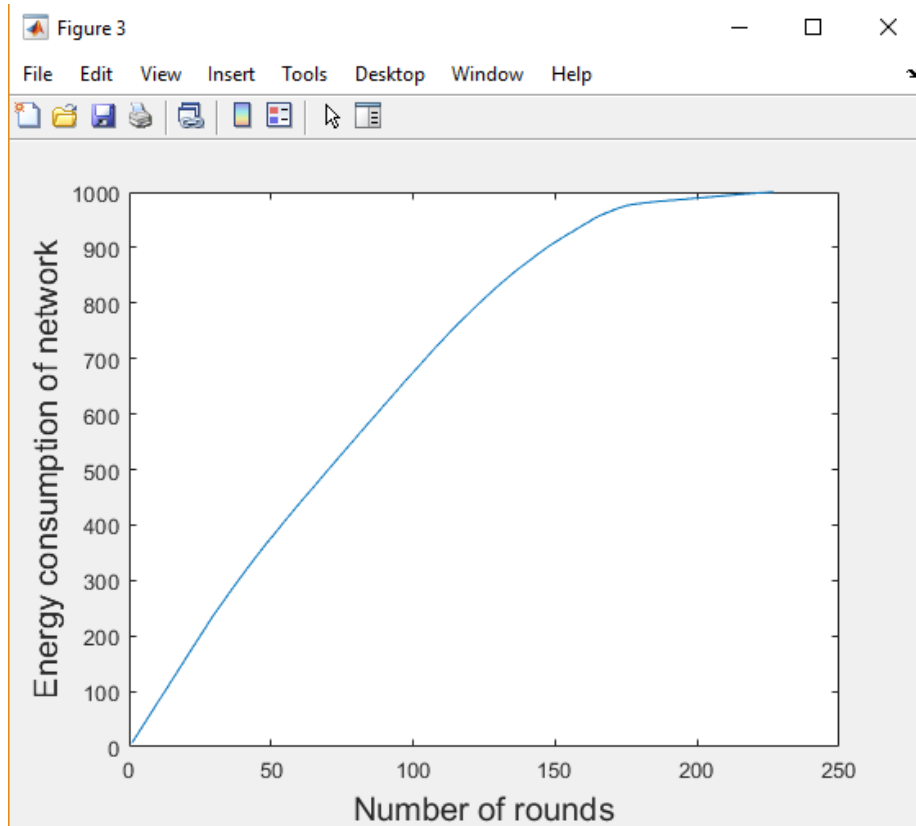


Figure III-3 Energie consommé dans le MH-EKMD.

L'énergie résiduelle dans MH-EKMC se termine rapidement par rapport au MH-FEER et MH-EKMD, le MH-FEER et MH-EKMD sont moins rapide en termes de consommation d'énergie. MH-EKMD est lentement consommé l'énergie résiduelle par rapport au MH-FEER.

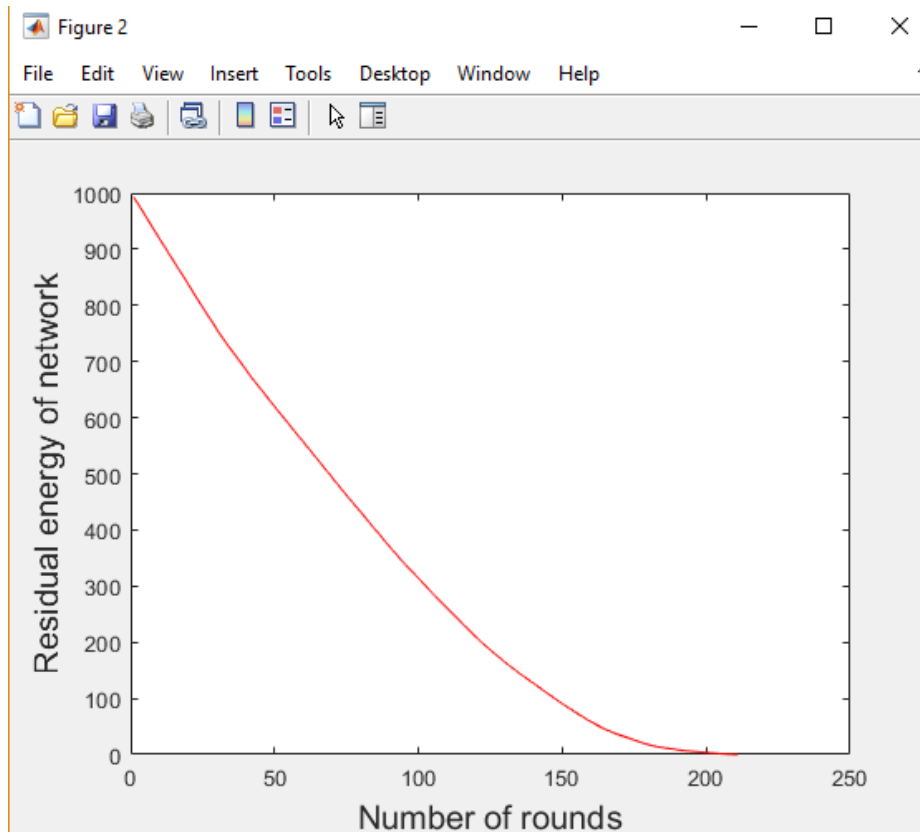


Figure III-4 Energie résiduelle dans le MH-FEER.

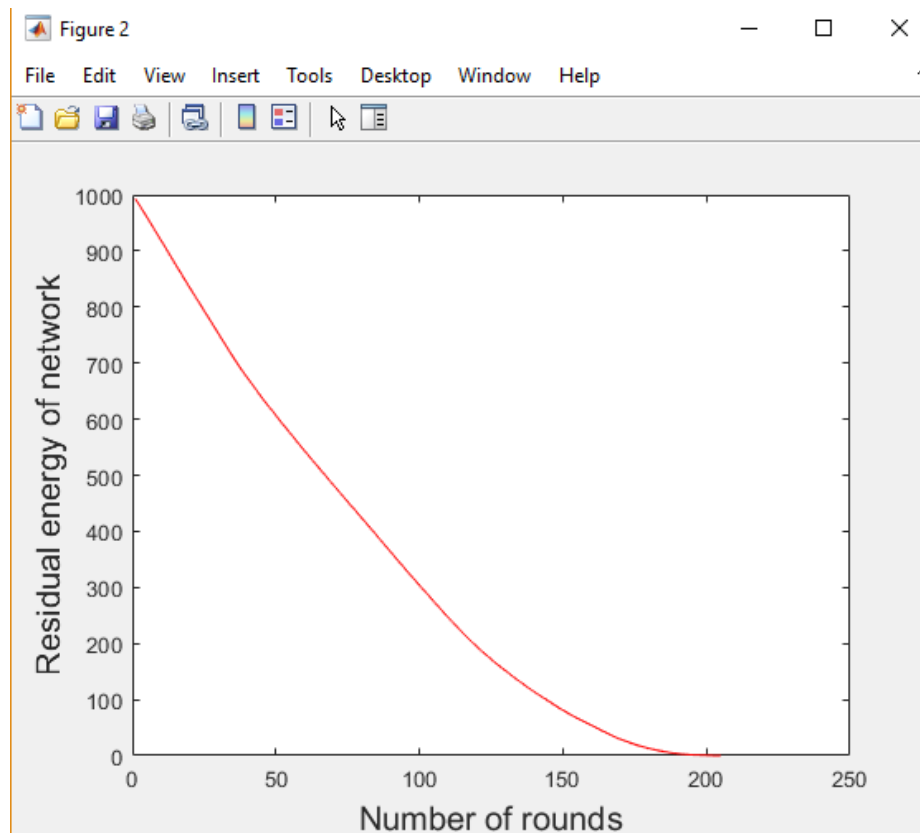


Figure III-5 Energie résiduelle dans MH-EKMC.

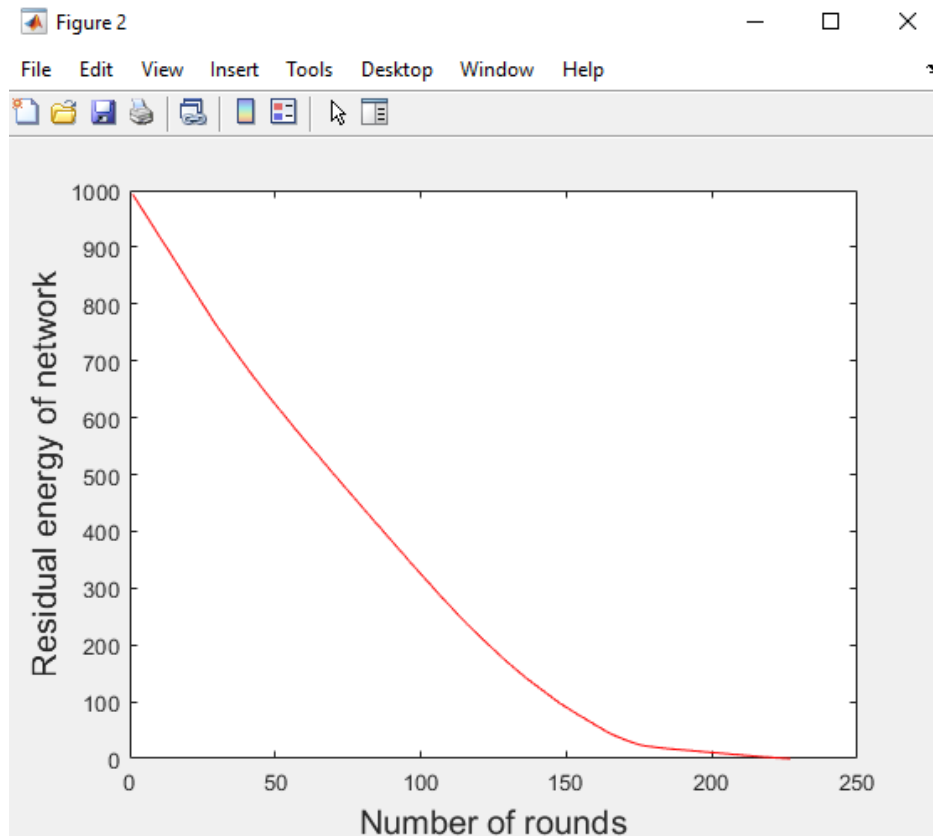


Figure III-6 Energie résiduelle dans le MH-EKMD.

D'après les résultats dans les figures : III-7, III-8, III-9 nous pouvons voir que la durée de vie de nœud en MH-EKCM est petite largement par rapport au MH-FEER et MH-EKMD. Le MH-EKMD est plus large la durée de vie du nœud par rapport au MH-FEER.

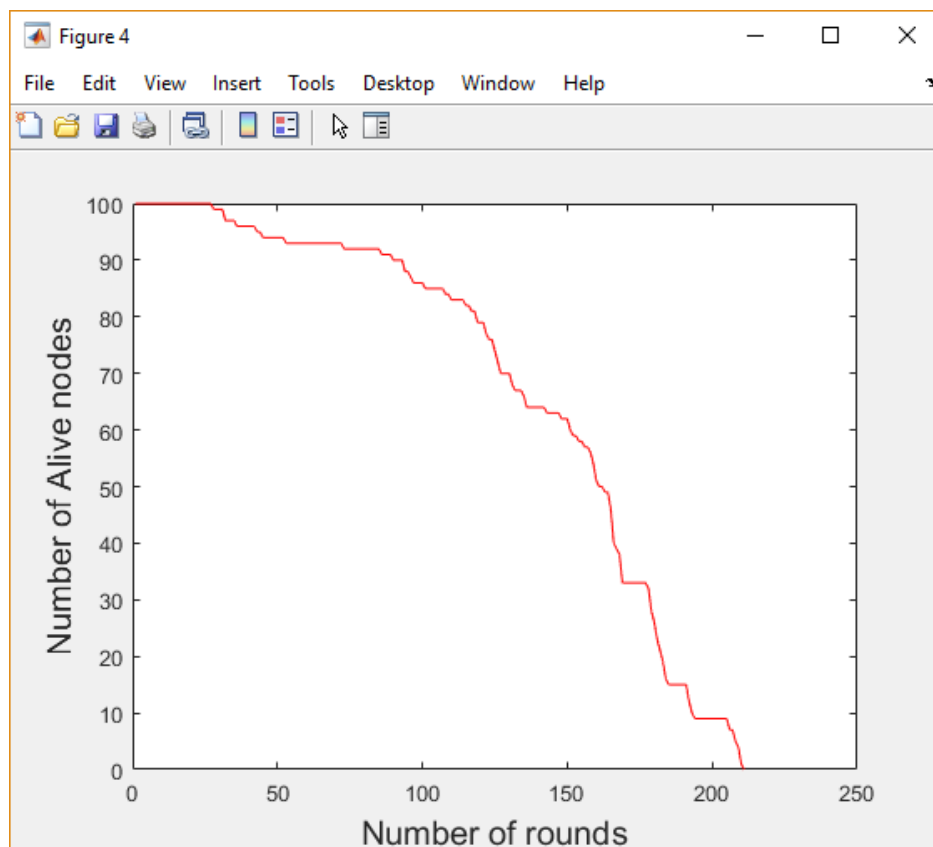


Figure III-7 La durée de vie du nœud dans le MH-FEER.

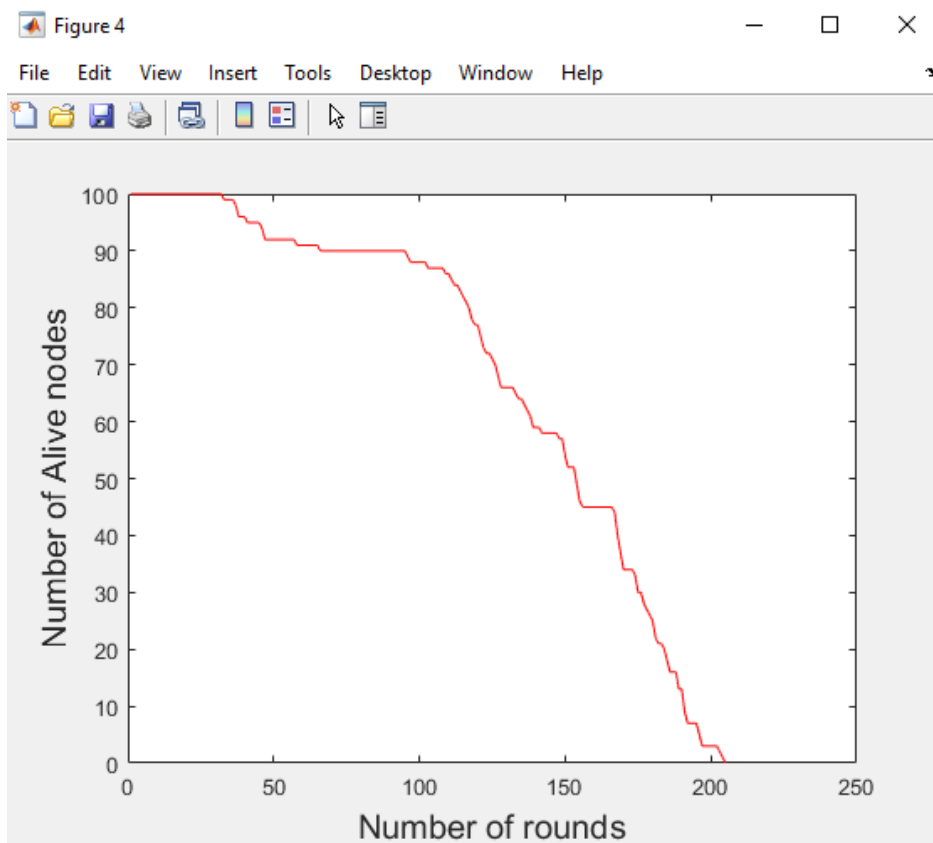


Figure III-8 La durée de vie du nœud dans le MH-EKMC.

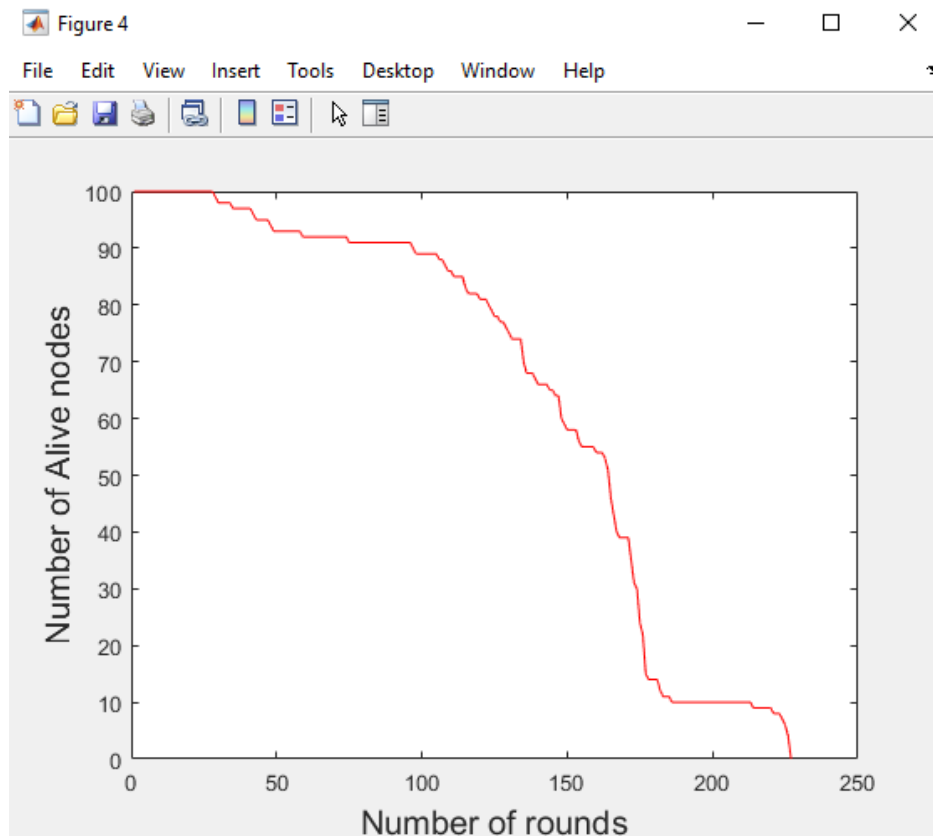


Figure III-9 La durée de vie du nœud dans le MH-EKMD.

V.3.2 Comparaison entre les algorithmes

	Consommation d'énergie	Energie résiduelle	Duré de vie de réseaux
MH-FEER	Moyen	Moyen	Moyen
MH-EKMC	Elevé	Elevé	Faible
MH-EKMD	Moyen	Moyen	Elevé

Tableau III-2 Comparaison entre les algorithmes.

VI. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons définis les algorithmes du clustering K-means, Fuzzy C-means et K-medoids. Nous avons aussi décrit l'algorithme de routage multiple hop energy based on clustering dédiés aux réseaux de capteur sans fil sous-marins, il est basé sur K-means, FCM et K-medoid. La différence entre MH-FEER et MH-EKMC et MH-EKMD réside dans les processus de transmission des données vers la station de base.

Dans la partie simulation nous avons testé les trois algorithmes MH-FEER, MH-EKMC et MH-EKMD. Ensuite, une comparaison a été réalisée entre eux :

- Les résultats obtenus montrent que l'algorithme MH-EKMD présente des performances supérieures que MH-FEER et MH-EKMC.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les réseaux de capteurs sans fil sous-marins font partie des nouveaux thèmes de recherche depuis ces dernières années en raison de leur large éventail d'applications dans les milieux aquatiques. Dans ce genre de réseau on peut rencontrer des nombreux problèmes L'un de ces problèmes c'est la Conservation de l'énergie.

Le routage est un service très important dans les réseaux de capteurs sans fil sous-marins, Cet aspect est fondamental pour ce genre de réseau caractérisé par l'absence d'infrastructure. L'objectif principal d'un protocole de routage est l'établissement correct et efficace d'itinéraires entre une paire de nœuds afin que l'information puisse être acheminée.

Dans ce mémoire, nous avons présenté d'abord les généralités qui entourent le domaine des réseaux de capteur sans fil, puis nous avons focalisé notre étude sur les réseaux de capteur sans fil sous marin, ses caractéristiques uniques et ses applications dans différents domaines.

Par la suite, nous avons menés une étude et une analyse de plusieurs protocoles de routage.

Ensuite, nous avons étudié le protocole de routage basé sur le clustering par les trois méthodes : Fuzzy C-means, K-means et K-medoids. En utilisant ces derniers les clusters ont une meilleure organisation où la distance moyenne de chaque nœud du cluster est minimisée. Les algorithmes K-means, FCM et K-medoids sont plus efficaces pour équilibrer la charge du réseau et distribuer les nœuds entre les clusters.

Une étude comparative a été effectuée entre les trois algorithmes, les résultats obtenus ont prouvé que l'algorithme proposé MH-EKMD offre de bonne performances en terme de consommation énergétique et les nombres des nœuds restent en vie dans le réseau par rapport aux algorithmes MH-FEER et MH-EKM.

Il n'est possible de conclure qu'une technique de routage particulière est la meilleure pour tous les scénarios car chaque algorithme en ces trois présente des forces et des faiblesses bien définies et est adapté à des situations spécifiques.

Références

Références

- [1] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, « A survey on sensor networks ».IEEE Communications Magazine, Vol 40, No.8, pp.102-114,2002.
- [2] I. Akyildiz, E. Stuntebeck “Wireless underground sensor networks: research challenges”, Ad Hoc Network, Vol 4, No.6, pp. 669-686, 2006.
- [3] M. Li, Liu,”underground structure monitoring with wireless sensor network”, 6th international conference on information processing in sensor networks, ACM, New York,pp.69-78,2007.
- [4] I.Akyildi, D. Pompili, T. Melodia, « challenges for efficient communication in underwater acoustic sensor networks », ACM SIGBED Review – Special issue on embedded sensor networks and wireless computing, Vol.1; Issue 2, pp.3-8, 2004.
- [5] J. Heidemann, W. Ye, J Wills, A Syed, and Y. Li,”Research challenges and networking conference (WCNC’06),pp.228-235,Las Vegas, Nev, USA, April 2006.
- [6] I. Akyildiz, T. Melodia, K. Chowdhury,”A survey on wireless multimedia sensor networks”, Computer Networks, Vol.51, No.4, pp.921-960, 2007.
- [7] J. Yick, B. Mukherjee, D. Ghosal, “wireless sensor network survey”, Computer Networks, Vol.52, No.12, pp.2292-2330, 2008.
- [8] E.M. Petriu, N.D. Georganas, D.C. Petriu, D. Makrakis, and V.Z. Groza. Sensor-based information appliances. IEEE Instrumentation Measurement Magazine, vol.3, no.4, pp.31- 35, December 2000.
- [9] Vassileios Tsetsos, George Alyfantis, Tilemahos Hasiotis, Odysseas Sekkas, and Stathes Hadjiefthymiades. Commercial wireless sensor networks: Technical and business issues. In 2nd International Conference on Wireless on Demand Network Systems and Service (WONS 2005), 1921 January 2005, St. Moritz, Switzerland, pages 166-173. IEEE Computer Society, 2005.
- [10] A. Bonivento, P. Carloni Luca and A. Sangiovanni. “Platform-based design of wireless sensor networks for industrial applications”, Conference on Design, automation and test in Europe, Belgium, pp. 1103-1107, 2006.
- [11] HADJILA Mourad ; « Protocoles De Routage Economes En Energie Pour Les Réseaux De Capteurs Sans Fil » ; Thèse Doctorat ; Université De Tlemcen ; 2014.
- [12] Benabdallah Souad, Hammad kelthoum, «Routage Dans Les Réseaux De Capteur Sous Marin», Projet de Fin d’Etudes, Master : Télécommunications, université de Tlemcen , 2012-2013.
- [13] Jaydip M. Kavar, Dr.K.H Wandra, «Survey Paper on Underwater Wireless Sensor Network », International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, (An ISO 3297: 2007 Certified Organization), Vol. 3, Issue 2, February 2014.
- [14] Ian F. Akyildiz, Dario Pompili, Tommaso Melodia, «Underwater Acoustic Sensor Networks: Research Challenges »; Broadband And Wireless Networking Laboratory, School Of Electrical And Computer Engineering, Georgia Institute Of Technology, Atlanta, GA 30332, USA, pp. 257–279, 21 January 2005.

- [15] Mekki Nabil, Mohamedi Kada, «technique de conservation d'énergie pour les réseaux de capteurs sans fil», projet de fin d'étude, master : informatique, université de Saida ,juin 2018.
- [16] Dr. Ian F. Akyildiz, D.Pompili et T.Melodia [Underwater Acoustic Sensor Networks (UW-ASN)].
- [17] F.Schill, R. Zimmer, J. Trumpf. “Visible Spectrum Optical Communication and Distance Sensing for Underwater Applications”, National ICT Australia Ltd, ACRA, 2004.
- [18] M.Tivey, P.Fucile, and E.Sichel. “A Low Power, Low Cost, Underwater Optical Communication System”, Ridge 2000 Events, 2004.
- [19] A. Bouzoualegh, T. Val, E. Campo et F. Peyrard. “ Etude Des Caractéristiques Requises Pour Les réseaux Aquatiques Sans Fil ”, CNRIUT'03-Colloque National de la Recherche IUT 2003-, Tarbes, France, pp. 319- 326, Mai 2003.
- [20] E. Sozer, M. Stojanovic ET J.G. Proakis. “Design and Simulation of an Underwater Acoustic Local Area Network”, Communication and Digital Signal Processing Center, Northeastern University. In Proc. Opnetwork'99, Washington, DC, August 1999.
- [21] M. Stojanovic. “Recent advances in high rate underwater acoustic communication”, IEEE J.Ocean Eng, pp125-136, April 1996.
- [22] S.Souiki, Thèse doctorat, Protocoles De Routage Performants Dédies Aux Réseaux De Capteur Sans Fil Sous L'eau, université de Tlemcen, 2015.
- [23] Zerouali Nassima, «Le routage Dans Les Réseaux De Capteurs Sans Fil Sous-Marins», projet de fin d'étude, Master : télécommunications, université de Tlemcen, 26/05/2016.
- [24] Manjula.R.B, Sunilkumar S. Manvi; « Issues In Underwater Acoustic Sensor Networks»; International Journal of Computer and Electrical Engineering, Vol.3, No.1, February, 2011.
- [25] N.N. Soreide, C.E. Woody, S.M. Holt. “Overview of ocean based buoys and drifters: Present applications and future needs”, in: 16th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, January 2004.
- [26] J.-H. Cui, J. Kong, M. Gerla, And S. Zhou, «The Challenges Of Building Mobile Underwater Wireless Networks For Aquatic Applications», IEEE Network, Vol. 20, No. 3, Pp. 12–18, 2006.
- [27] Emad Felemban, Faisal Karim Shaikh, Umair Mujtaba Qureshi, Adil A. Sheikh, Saad Bin Qaisar, Article « Underwater Sensor Network Applications: A Comprehensive Survey» 10 August 2015; International Journal Of Distributed Sensor Networks.
- [28] Neha Singh and Kamakshi Rautela, “Literature Survey on Wireless Sensor Network”, International Journal of Engineering and Computer Science, Volume 5, ISSN: 2319-7242, pp. 17544-17548, 2016.
- [29] S.K.Singh, M.P.Singh 2 , and D K Singh, “Routing Protocols in Wireless Sensor Networks – A Survey”, International Journal of Computer Science & Engineering Survey (IJCSSES) Vol.1, No.2, November 2010.
- [30] Syed Abdul Basit Andrabi1, Manoj Kumar, “A comparative study

[31] Sangeeta Vhatkar, Mohammad Atique, "Design Issues, Characteristics and Challenges in Routing Protocols for Wireless and Workshop on Emerging Trends in Technology 2013, pp. 42-47, 2013.

[32] P. Wang, C. Li, and J. Zheng, "Distributed minimum-cost clustering protocol for underwater sensor networks (uwsns)," in Communications, 2007. ICC'07. IEEE International Conference on. IEEE, 2007, pp. 3510–3515.

[33] Marie Carmen Domingo and Rui Prior, "A distributed clustering scheme for underwater wireless sensor networks", The 18th annual IEEE International Symposium in personal, indoor and mobile radio communications. On PIMRC; 2007.

[34] K. R. Anupama, A. Sasidharan, S. Vadlamani. "A location-based clustering algorithm for data gathering in 3D underwater wireless sensor networks". In: Proceedings of the International Symposium on Telecommunications, IST, 2008.

[35] M. Stojanovic, J. A. Catipovic, J. G. Proakis. "Phase-coherent digital communications for underwater acoustic channels". Ocean Eng, IEEE Journal, pp. 100–111, 1994.

[36] Uichin L, et al. Pressure routing for underwater sensor networks. In: Proceedings of The IEEE, INFOCOM; 2010.

[37] Y. Zhang and H. Sun, "Clustered Routing Protocol Based on Improved Kmeans Algorithm for Underwater Wireless Sensor Networks", the 5th annual IEEE international conference on cyber technology in automation, control and intelligent systems, June 8-12-2015.

[38] J. MacQueen, "Some methods for classification and analysis of multivariate observations," in *Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability*, 1967, vol. 1, no. 14, pp. 281-297: Oakland, CA, USA.

[39] N. R. Pal, K. Pal, J. M. Keller and J. C. Bezdek. "A possibilistic fuzzy c-means clustering algorithm". IEEE Transactions on Fuzzy Systems 13(4), pp. 517–530, 2005.

[40] M. S. Yang. "A survey of fuzzy clustering". Mathematical and Computer modelling 18(11), pp.1–16, 1993.

[41] Y. Hu and R. J. Hathaway. "On efficiency of optimization in fuzzy c-means". NEURAL PARALLEL AND SCIENTIFIC COMPUTATIONS 10(2), pp. 141–156, 2002.

[42] A. PUJOL, Contributions à la Classification Sémantique d'Images, Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Lyon, France, 2009.

- [43] F. D'Hondt, B. El Khayati, « Etude de méthodes de Clustering pour la segmentation d'images en couleurs », Faculté Polytechnique de Mon
- [44] Belabass et Bensafi «ROUTAGE BASÈ SUR LE CLUSTERING AVEC LA MÈTHODE K-MEANS DANS LES RESEAUX DE CAPTEURS SANS FIL SOUS MARINS», projet de fin d'étude, Master : télécommunications, université de Ain Temouchent, 2018/2019.
- [45] E. Sozer, M. Stojanovic, and J. Proakis, "Underwater acoustic networks", IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol. 25, no.1, pp. 72-83, 2000.
- [46] Hae-Sang Park*, Jong-Seok Lee and Chi-Hyuck Jun A, K-means-like Algorithm for K-medoids Clustering and Its Performance. Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH San 31 Hyoja-dong, Pohang 790-784, S. Korea.
- [47] Dr. Aishwarya Batra, Analysis and Approach: K-Means and K-Medoids Data Mining Algorithms. Asst Professor, L. J. Institute of Computer Applications, Ahmedabad, India.

