

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
المركز الجامعي لعين تموشنت  
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent  
Institut de Technologie  
Département de Génie Electrique



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

Thème

*ROUTAGE BASÉ SUR LE CLUSTERING AVEC LA  
MÉTHODE K-MEANS DANS LES RESEAUX DE  
CAPTEURS SANS FIL SOUS MARINS*

**Présenté Par :**

- 1) BELABBAS MILOUD
- 2) BENSAFI RADIA KHALIDA

**Devant le jury composés de :**

M <sup>me</sup> . Z. ABDELMALEK	MCA	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Président
M <sup>me</sup> . S. SOUIKI	MAB	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
Mr. M. DEBBAL	MCB	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Examineur

*Année universitaire 2018/2019*



# Remerciements

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

*Nous tenons à remercier en premier lieu notre encadrant **M<sup>me</sup>**. **SOUIKI SIHEM** pour sa sympathie, sa disponibilité, ses idées, ses conseils et leur encouragement qui nous ont permis de mener à bien ce mémoire.*

*Nous adressons aussi nos très sincères remerciements à **M<sup>me</sup>**. **Z.ABDELMALEK** de nous faire l'honneur de s'intéresser à ce travail et d'avoir présidé le jury.*

*Nous tenons à remercier vivement **Mr. M.DEBBAL** qui à accepté d'examiner ce mémoire.*

*Et aussi mes remerciements vont à tous les enseignants de département de génie électrique et en particulier à la filière de télécommunication.*

*A tous ceux qui m'ont aidé et encouragé de près ou de loin.*

#bensafi\_radia\_khalida

#belabbas\_miloud



## **DÉDICACE :**

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut... Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, L'amour, le respect, la reconnaissance... Aussi, c'est tout simplement que Je dédie ce modeste travail à :

**A MA TRÈS CHÈRE MÈRE.**autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pourtoi. Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours. En ce jour mémorable, pour moi ainsi que pour toi, reçoit ce travail en signe de ma vive reconnaissance et mon profonde estime. Puisse le tout puissant tedonner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse te combler à mon tour.

**A MON TRÈS CHER PÈRE.**Autant de phrases et d'expressions aussi éloquents soit-elles ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance. Tu as su m'inculquer le sens de la responsabilité, de l'optimisme et de la confiance en soi face aux difficultés de la vie. Je te dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester ta fierté et ne jamais te décevoir. Que Dieu le tout puissant te préserve, t'accorde santé, bonheur, quiétude del'esprit et te protège de tout mal.

A mes deux sœurs et mon petit frère, Je ne pourrais jamais exprimer le respect que j'ai pour vous. Vos prières, vos encouragements m'ont toujours été d'un grand secours. Puisse Dieu, le tout puissant vous préserver du mal, vous combler de santé, de bonheur etvous procurer une longue vie.

**A MA GRAND MERE CHERIE** Qui m'a accompagné par ses prières, sa douceur, puisse Dieu lui prêter longue vie et bcp de santé et de bonheur dans les deux vies.**À MES CHERS TANTES, LEURS EPOUX A MES CHERS COUSINS COUSINES** Veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

A tous mes amis pour chaque mot reçu, chaque geste d'amitié, à chaque main tendue et pour toute attention témoignée. Sans oublier mon binôme radia pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

**Miloud#**

## DÉDICACE

*Tout d'abord, le grand remerciement va ALLAH tout puissant de*

**A mon père Bensafi Farid** : Grace à toi j'ai pu aller à l'école. En guise de reconnaissance, trouve ici mon amour filial. Ma réussite est la tienne ! Qu'Allah t'accorde longue vie dans la santé !

**A ma mère Benhallale Safia** : Par les inestimables sacrifices que tu as consentis pour moi, tu as tant souhaité que je parvienne à ce but. Je te serai reconnaissant toute ma vie, qu'Allah t'accorde longue vie dans la santé !

**MES PARENTS** : Merci pour tous vos sacrifices pour que vos enfants Grandissent et prospèrent. Merci de trimer sans relâche, malgré les péripéties de la vie. Au bien être de vos enfants. Merci d'être tout simplement mes parents. C'est à vous que je dois cette réussite. Et je suis fière de vous l'offrir.

**A mes deux frères Bensafi Houari et Mohamed** : *Je vous souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de sérénité. Je vous exprime à travers ce travail mes sentiments de Fraternité et d'amour.*

**A ma sœur bensafi zahra** : Votre présence à mes côtés m'a toujours donnée du courage et de force. Je voudrais vous exprimer à travers ces quelques lignes tout l'amour et toute l'affection que j'ai pour vous. Je vous aime beaucoup ma sœur et je vous souhaite un heureux mariage et une vie pleine de joie.

**A Mes belle sœur Amina et Hadjéra** : Je vous aime je vous souhaite que du bonheur.

**Mes neveux sohaib mehdi zin din et jawad** : Que dieu vous protègent je vous souhaite une vie pleine de joie et de réussite. Je vous aime mes chers.

**A MA COPINE ET MA CHERIE HANANE BENSALIM** : Conserve moi ta profonde amitié et ton immense amour et sois convaincue qu'il en est de même pour moi. Je sais que tu es là, jamais je ne t'oublierai puisque je te dois beaucoup d'affection. Amour.

**Sarah zahra rahma hanane souhila nadjet** : merci pour les beaux souvenirs. Je vous aime beaucoup.

**Mes chers collègues** je vous souhaite que la réussite dans votre vie professionnelle.

**MR merradi abdelhafid** : Merci de nous préparer à ce moment. Tous mes respects.

**MME souiki sihem zineb** Merci de votre patience

**MR Bendahmane Abdellatif** Merci pour votre aide toutes mes respects

**La famille universitaire** merci pour tout ce que vous avez donné pour nous

Sans oublier **mon binôme belabbas miloud** merci pour ton soutien moral, ta patience et ton compréhension.

#Radia\_khalida

## Sommaire

<b>LISTE DES FIGURES :</b> .....	<b>IV</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX :</b> .....	<b>IV</b>
<b>LISTE DES ACRONYMES</b> .....	<b>V</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE :</b> .....	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES RESEAUX DE CAPTEURS SANS FIL SOUS MARINS</b>	
<b>1. INTRODUCTION :</b> .....	<b>3</b>
<b>2. DEFINITION DE CAPTEUR :</b> .....	<b>3</b>
<b>3. ARCHITECTURE D'UN CAPTEUR :</b> .....	<b>3</b>
3.1 Matérielle : .....	3
3.1.1 Unité de capteur (Sensing Unit) : .....	4
3.1.2 Unité de traitement (Processing Unit) : .....	4
3.1.3 Unité de communication (Transceiver Unit) : .....	4
3.1.4 Unité de contrôle d'énergie (Power Unit) : .....	4
3.1.5 Système de localisation (Location Finding System) : .....	4
3.1.6 Unité de mobilité (Mobilizer) : .....	4
3.1.7 Générateur d'énergie (Power Generator) : .....	4
3.2 Logiciel : .....	4
<b>4. RESEAUX SANS FIL :</b> .....	<b>5</b>
4.1 Réseaux infrastructure (Cellulaire) : .....	5
4.2 Réseaux ad-hoc : .....	5
<b>5. RESEAUX DE CAPTEUR SANS FIL :</b> .....	<b>6</b>
5.1 Définition d'un RCSF : .....	6
5.2 Architecture de communication d'un RCSF : .....	7
5.3 Contraintes des RCSFs : .....	7
5.3.1 Efficacité énergétique : .....	7
5.3.2 La scalabilité : .....	8
5.3.3 Tolérance aux pannes : .....	8
5.3.4 Auto configuration : .....	8
5.3.5 Coût de production : .....	8
5.4 Types des RCSFs : .....	8
5.4.1 RCSF terrestre : .....	8

# Sommaire

---

5.4.2 RCSF sous-terrain : .....	9
5.4.3 RCSF sous marin : .....	9
5.5 Domaine d'application : .....	10
5.5.1 Domaine militaires : .....	10
5.5.2 Domaine médicales : .....	10
5.5.3 Domaine environnementales : .....	10
<b>6. RESEAUX CAPTEUR SANS FIL SOUS MARIN : .....</b>	<b>10</b>
6.1 Architecture d'un capteur sous-marin : .....	10
6.2 Définition : .....	11
6.3 Technique de communication sans fil aquatique : .....	12
6.3.1 Communication par onde radio : .....	12
6.3.2 Communication par ondes optiques : .....	12
6.3.3 Communication par ondes acoustiques : .....	13
6.3.4 La comparaison entre les techniques de communication : .....	13
6.4 Différence entre RCSF terrestre et RCSF sous marin : .....	13
6.5 Caractéristique des RCSF sous marin : .....	14
6.6 Contraintes des RCSFs sous marins : .....	15
6.7 Applications des RCSFs sous marins : .....	15
6.8 Architectures dans les RCSFs sous marins : .....	16
<b>7. CONCLUSION : .....</b>	<b>18</b>
<b>CHAPITRE II: LE ROUTAGE DANS LES RCSFS-SM</b>	
<b>1. INTRODUCTION : .....</b>	<b>19</b>
<b>2. DEFINITION : .....</b>	<b>19</b>
<b>3. LES DEFIS DE ROUTAGE DANS LES RCSFS : .....</b>	<b>20</b>
<b>4. LES DEFIS DU ROUTAGE DANS LES RCSF-SM : .....</b>	<b>20</b>
<b>5. EXIGENCES POUR UN BON PROTOCOLE DE ROUTAGE DANS LES RCSF-SM : .....</b>	<b>21</b>
<b>6. CLASSIFICATION DES PROTOCOLES DE ROUTAGE DANS LES RCSFS-SM : .....</b>	<b>22</b>
6.1 Architecture des réseaux : .....	22
6.1.1 Routage géographique : .....	22
6.1.2 Routage à plat : .....	23
6.1.3 Routage hiérarchique : .....	23
6.2 Transmission des données : .....	23
<b>7. PROTOCOLE DE ROUTAGE RCSF-SM : .....</b>	<b>23</b>
7.1 Protocole basé sur la localisation : .....	23

# Sommaire

---

7.1.1 Protocole traitent de mobilité de nœud :.....	24
7.1.2 Protocole traitent de l'équilibrage énergétique : .....	26
7.2 Protocole de routage sans localisation : .....	29
7.2.1 Protocole traitent la mobilité de nœud : .....	29
7.2.2 Protocole traitent de l'équilibrage énergétique : .....	32
<b>8. CONCLUSION :</b> .....	<b>33</b>
<b>CHAPITRE III : LE ROUTAGE BASE SUR LE CLUSTERING DANS LES RESEAUX DE CAPTEURS SANS FIL SOUS MARINS</b>	
<b>1. INTRODUCTION :</b> .....	<b>34</b>
<b>2. LES DIFFERENTES METHODES DE CLUSTERING BASEES SUR LE PARTITIONNEMENT :</b> .....	<b>34</b>
<b>3. ALGORITHME K-MEANS :</b> .....	<b>35</b>
<b>4. PRESENTATION DES ALGORITHMES :</b> .....	<b>37</b>
4.1 Algorithm SH-EKMC (Single Hope Energy efficient K-means Clustering): .....	37
4.2 Algorithm MH-EKMC (multiple Hope Energy efficient K-means Clustering): .....	37
<b>5. EVALUATION :</b> .....	<b>38</b>
5.1 HYPOTHESE : .....	38
5.2 Modèle d'énergie : .....	38
5.3 Aboutissement de simulation et observation: .....	39
5.3.1 Simulation I topologie statique : .....	39
5.3.2 Simulation II topologie dynamique : .....	42
5.3.3 Comparaison entre topologie statique et topologie dynamique : .....	44
<b>6. CONCLUSION :</b> .....	<b>44</b>
<b>CONCLUSION GENERALE :</b> .....	<b>44</b>
<b>PERSPECTIVES :</b> .....	<b>45</b>
<b>REFERENCE :</b> .....	<b>46</b>
<b>RESUME:</b> .....	<b>49</b>

## **Liste des figures :**

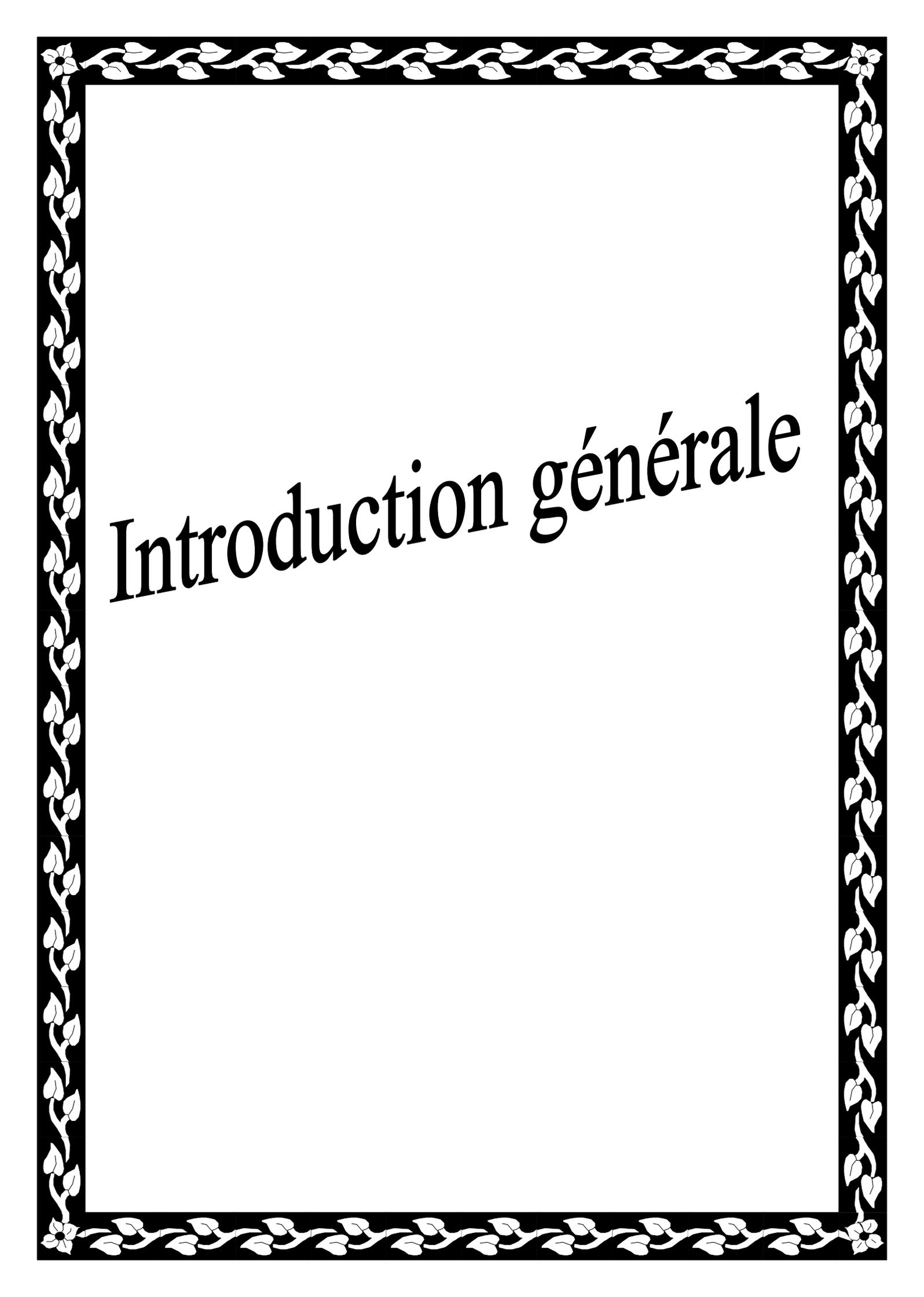
Figure I.1 architecture d'un nœud de capteur.....	4
Figure I.2- Un réseau cellulaire.....	5
Figure I.3 Exemple d'un réseau ad-hoc.....	6
Figure I.4 Exemple d'un réseau de capteur sans fil.....	6
Figure I.5- Architecture de communication dun RCSF.....	7
Figure I.6 Architecture d'un nœud de capteur sous marin.....	11
Figure I.7 Un réseau de capteur sans fil sous marin.....	12
Figure I.8 Réseaux de capteurs sous-marins statique bidimensionnels.....	16
Figure I.9 Réseaux de capteurs sous-marins tridimensionnels statiques.....	17
Figure I.10 Réseaux de capteurs sous-marins tridimensionnels avec véhicules sous-marin autonomes.....	18
.....	
Figure II.1 Transmission d'un message vers la station de base lors de la détection d'un événement... ..	19
Figure II.2 Classification de protocoles de routage dans les RCSFs-Sm.....	22
Figure II.3 Transmission de paquets dans DFR.....	24
Figure II.4 Exemple de protocole VBF.....	25
Figure II.5 Illustration du protocole de routage FBR.....	27
Figure II.6 Principe du protocole HH-VBF pour les RCSF-SMs.....	28
Figure II.7 Sélection du nœud qualifié pour la transmission dans le protocole DBR.....	.....
Figure II.8 Exemple de protocole hydrocast.....	32
.....	
Figure III.1 Exemple d'algorithme K-means.....	36
Figure III.2 énergie consommé par chaque itération (topologie statique).....	40
Figure III.3 énergie résiduel par chaque itération (topologie statique).....	40
Figure III.4 Nombres des nœuds vivants par chaque itération.....	41
Figure III.5 Duré de vie de premier nœud et de dernier nœud.....	41
Figure III.6 énergie consommé par chaque itération (topologie dynamique).....	42
Figure III.7 énergie résiduel par chaque itération (topologie dynamique).....	43
Figure III.8 nombres des nœuds vivants par chaque itération (topologie dynamique).....	43

## **Liste des tableaux :**

Tableau I.1 comparaison entre les techniques de communication.....	13
Tableau III.1 paramètres de simulation.....	39
Tableau III.2 comparaison entre les algorithmes.....	44
Tableau III.3 Comparaison entre les topologies.....	44

**Liste des acronymes**

3D	<b>3 démonion</b>
APTEEN	<b>a hybrid Protocol for efficient routing and comprehensive information retrieval in wireless</b>
AUV	<b>Autonomous Underwater Vehicle</b>
BSS	<b>Basic Service Set</b>
CH	<b>Cluster Head</b>
CPU	<b>Central Procesion Unite</b>
DBR	<b>Depth Based Routing</b>
DFR	<b>Directional Flooding-based Routing</b>
EEDBR	<b>Energy Efficient Depth Based Routing</b>
FBR	<b>Focused Beam Routing</b>
GNSS	<b>Globale Navigation Satellite System</b>
GPS	<b>Global Positioning System</b>
HH-VBF	<b>Hop by Hop Vector Based Forwarding</b>
HydroCast	<b>hydraulic pressure based anycast routing</b>
HEED	<b>Hybrid, energy-efficient, distributed clustering</b>
ICRP	<b>Information Carrying based Routing Protocol</b>
IEEE	<b>Institute of Electrical and Electronics Engineers</b>
ISI	<b>interference intersymbol</b>
LEACH	<b>Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy</b>
MH-EKMC	<b>Multiple Hope Energy efficient K-means Clustering</b>
OS	<b>Operating System</b>
PTP	<b>Peer To Peer</b>
PVC	<b>Polychlorure de vinyle</b>
RCSF	<b>Réseaux de Capteur Sans Fil</b>
RCSF-SM	<b>Réseaux de Capteur Sans Fil Sous Marin</b>
RF	<b>Radio fréquence</b>
SH-EKMC	<b>Single Hop Energy efficient K-means Clustering</b>
VBF	<b>Vector Based Forwarding</b>
UWS	<b>Under Water Sink</b>



# Introduction générale

# Introduction générale

---

## **Introduction générale :**

Des progrès technologiques dans les domaines de la microélectronique, de nombreuses normes de connectivité et technologies sans fil on vu le jour. Ces technologies permettent aux utilisateurs de connecter facilement et simplement. Sans avoir besoin d'acheter, de transporter ou de connecter des câbles. Des réseaux pour téléphones mobiles aux réseaux locaux sans fil passant par les réseaux ad-hoc. Les recherches aujourd'hui sont beaucoup focalisées sur les réseaux de capteur sans fil (RCSF).

L'océan est vaste puisqu'il couvre 140 millions de milles carrés et la moitié de la population mondiale se trouvent dans les 100 Km des zones côtières. Non seulement a-t-il été une source majeure de production de nourriture, mais avec le temps il joue un rôle essentiel pour les transports, la présence de ressources naturelles, la défense et des objectifs aventureux. Même avec toute son importance pour l'humanité, c'est claire que nous sachions très peu sur les masses d'eau de la terre. Avec le rôle croissant de l'océan dans la vie humaine, la découverte de ces zones largement inexplorées a pris de l'importance au cours des dernières décennies. D'une part les approches traditionnelles utilisées pour les missions de surveillance sous marine présentent plusieurs inconvénients, d'autre par, ces environnements inhospitaliers ne sont pas réalisables pour la présence humaine. L'activité sous marine imprévisible, la forte pression de l'eau et de vastes zones sont les principales raisons de l'exploration sans personnel. Par conséquent les réseaux de capteurs sans fil sous marin (RCSF-SM) suscitent l'intérêt de nombreux chercheurs.

Les réseaux de capteur sans fil sous marins sont composés d'un grand nombre de nœuds capteur sous marin qui collectent et transmettent des données environnementales vers une station de base afin de surveiller un événement ou explorer l'océan. Les RCSF-SM présentent des caractéristiques très différentes des réseaux de capteurs sans fil terrestres. Tout d'abord, un support acoustique est utilisé comme moyen de communication au lieu de la radio fréquence (RF). 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. Deuxièmement, la consommation d'énergie est différente. Le RCSM-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. Troisièmement, la probabilité de perte des paquets est élevée et dynamique, ce qui entraîne de nombreuses retransmissions et une fiabilité moindre. Finalement la bande passante disponible est sévèrement limitée.

Les réseaux de capteur sans fil sous marin sont sans infrastructure qui gère les données entre les différents nœuds du réseau, pour cela le routage est nécessaire dans ce type de réseaux. Le routage consiste à déterminer un acheminement optimal des paquets et qui assure le trafic nominal et garantir la qualité de service.

En raison des caractéristiques du milieu sous marin, la littérature montre que les techniques de routage existantes pour les RCSFs-terrestre ne sont pas applicables dans les RCSFs-SM.

# Introduction générale

---

Les recherches se sont concentrées sur des protocoles efficaces pour s'adapter aux caractéristiques fondamentales des communications sous marine.

L'objectif ultime de ce mémoire est d'analyser les performances du routage basé sur le clustering par la méthode K-means. En utilisant deux métriques :

- i. La consommation d'énergie totale.
- ii. Le nombre de nœuds vivants.

Aussi nous faisons une comparaison entre une topologie statique et une topologie dynamique.

La structure de ce manuscrit est organisée en trois chapitres :

- Dans le premier chapitre, nous faisons notre étude préliminaire. D'abord, on commence par une description générale sur les réseaux de capteurs sans fil, 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 et nous faisons une comparaison entre topologie statique et dynamique.

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



# Chapitre I : Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil sous marins

# Chapitre I : Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil sous marins

---

## **1. Introduction :**

Le développement rapide de science et de technologie et l'invention de nouveaux systèmes de communication filaire et sans fils, a donné naissance à des réseaux de petits dispositifs (Réseau capteur).

Les capteurs sont utilisés dans plusieurs domaines et se compose de plusieurs type (capteur de température, capteur de mouvement, capteur de son .....Etc.). Réseau capteur sans fil (RCSF) se compose de plusieurs capteur qui forment des réseaux Ad-hoc distribué de captage et de gestion de donnée.ces réseau sont déployés dans des zones d'intérêt (les terrains inaccessibles ou lieux dangereux.

A fin d'exploiter la partie mer de la planète terre qui est la majorité de cette dernière (71%). Il été nécessaire de trouver des solutions pour faire les communications, transmission et surveillance dans cette partie de la planète. Les réseaux capteur sans-fil sous-marin sont devenu de plus en plus important cette technique va nous aider à exploiter la partie mer.

A travers ce chapitre nous faisant notre étude Préliminaire sur deux niveaux le premier niveau se focalise sur la description d'un capteur et des réseaux de capteurs sans fil, et le deuxième niveau sur les détails des réseaux de capteurs sans fil sous-marins qui contient leur définition et application ...etc.

## **2. Définition de capteur :**

Au premier sens de terme capteur, nous désignerons un objet pouvant relever une donnée de l'environnement.[1]

Un capteur est un appareil autonome, capable d'effectuer des mesures simples sur son environnement immédiat telles que la température, humidité,mesurer l'intensitélumineuse ou sonore,et il sert aussi à détecter sous forme de signal souvent électrique un phénomène physique afin de le représenter[2].

Les capteurs sont capables de communiquer entre eux et de détecter des événements s'ils se trouvent à l'intérieurde leur rayon de perception.

## **3. Architecture d'un capteur :**

Un capteur se compose de deux parties, la partie matérielle et partie logiciel.

### **3.1Matérielle :**

Cette partie se compose de quatre composants principaux unité de capture, unité de traitement, unité de communication et une unité d'énergie.

Ainsi que trois autres composants additionnels sont envisageable selon le domaine d'application telle qu'un système de localisation, un mobilisateur et un générateur d'énergie.  
[3]

# Chapitre I : Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil sous marins

---

## **3.1.1 Unité de capteur (Sensing Unit) :**

Elle permet de capter le phénomène observé et le convertir depuis un signal analogique en un numérique, il sera, ensuite, fourni à l'unité de calcul.

## **3.1.2 Unité de traitement (Processing Unit) :**

Elle est chargée d'exécuter les protocoles de communication qui permettent au nœud capteur de collaborer avec les autres nœuds pour accomplir la requête en question.

## **3.1.3 Unité de communication (Transceiver Unit) :**

Elle est chargée d'exécuter toutes les émissions et les réceptions de données.

## **3.1.4 Unité de contrôle d'énergie (Power Unit) :**

Elle effectue des opérations de contrôle de l'énergie restante et de mesure de la durée de vie du capteur.

## **3.1.5 Système de localisation (Location Finding System) :**

Il fournit des informations sur la localisation requis par les techniques de routage.

## **3.1.6 Unité de mobilité (Mobilizer) :**

Elle est appelée si le nœud capteur doit être déplacé pour accomplir la requête à traiter.

## **3.1.7 Générateur d'énergie (Power Generator) :**

Il récupère l'énergie de l'environnement extérieure tel que l'énergie solaire puisque le capteur se laisse pendant des mois sans l'intervention humaine.

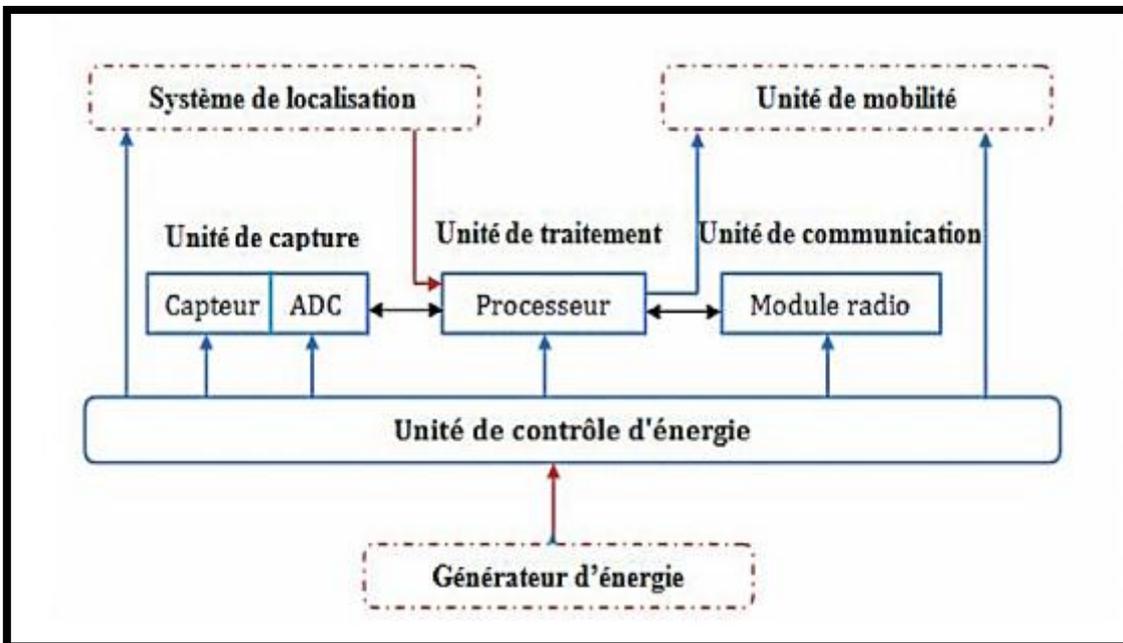


Figure I.1 architecture d'un nœud de capteur

## **3.2 Logiciel :**

TinyOS est un système d'exploitation intégré, modulaire destiné aux réseaux de capteur miniature. Cette plate-forme logicielle ouverte et une série d'outils développés par

# Chapitre I : Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil sous marins

---

l'université de Berkeley est enrichie par une multitude d'utilisateurs. En effet TinyOS est le plus répandu des OS pour les réseaux de capteurs sans fil. Cet OS est capable d'intégrer très rapidement les innovations en relation avec l'avancement des applications et des réseaux eux même tout en minimisant la taille du code source en raison des problèmes inhérents de mémoire dans les capteurs [4].

La librairie TinyOS comprend les protocoles réseaux, les services de distribution, les drivers pour capteur et les outils d'acquisition de données. TinyOS est en grand partie écrit en C mais on peut très facilement créer des applications personnalisées en langage C, NesC, java [4].

## **4. Réseaux sans fil :**

Les réseaux sans fil se divisent en deux catégories réseaux infrastructure et réseaux ad-hoc.

### **4.1 Réseaux infrastructure (Cellulaire) :**

Dans ce mode chaque terminal se connecte à un point d'accès via une liaison sans fil.

Le regroupement formé par le point d'accès et les terminaux situés dans la zone de couverture est appelé ensemble de services de base (BSS: Basic Service Set) et constitue une cellule.



Figure I.2- un réseau cellulaire

### **4.2 Réseaux ad-hoc :**

Dans ce mode les terminaux sans fil se connectent les uns aux autres afin de constituer un réseau point à point (PTP: Peer To Peer), c'est-à-dire un réseau dans lequel chaque machine joue en même temps le rôle de client et le rôle de point d'accès.

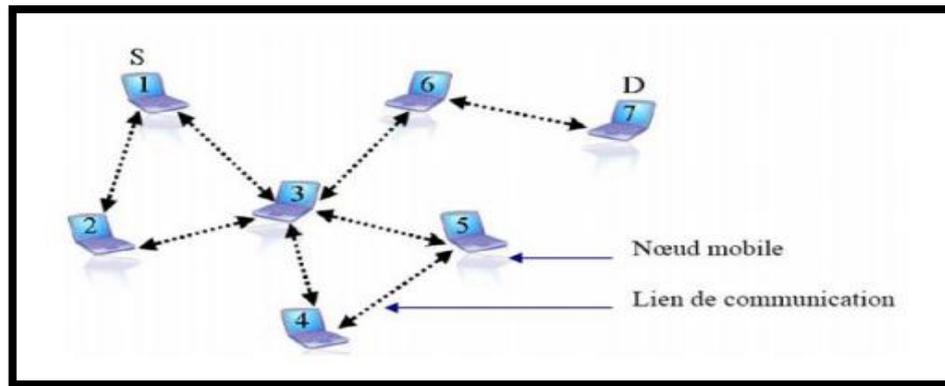


Figure I.3 Exemple d'un réseau ad-hoc

## 5. Réseaux de capteur sans fil :

### 5.1 Définition d'un RCSF :

Un réseau de capteur sans fil est constitué de milliers de nœuds appelés « capteur sans fil » ou tout simplement « capteur ». Ces capteurs forment donc les nœuds de réseau, permettant de capter et collecter des informations, d'analyser les traitements et de transmettre les informations recueillies dans différents environnements[5].

Les communications dans un réseau de capteur se font souvent d'une manière multi saut donc c'est un type spécifique de réseau Ad-hoc. L'écoulement des données se termine vers des nœuds spéciaux appelés station de base ou (SINK). Ces derniers sont des bases de contrôle qui possèdent plus de ressources matérielles et permettent de collecter et stocker les informations issues des capteurs[5].

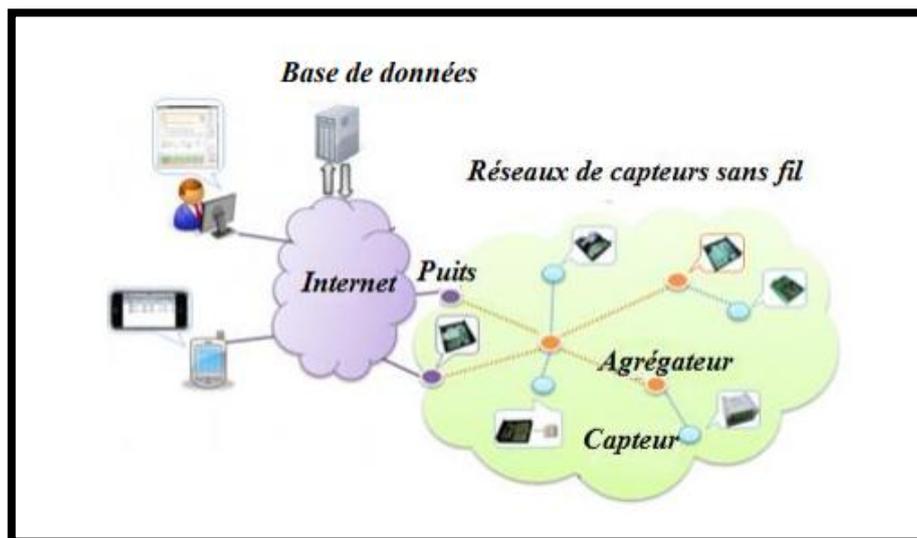


Figure I.4 Exemple d'un réseau de capteur sans fil

## **5.2 Architecture de communication d'un RCSF :**

Un réseau de capteur sans fil se compose de deux inter-réseaux. Le premier c'est un réseau d'acquisition de données et le deuxième c'est un réseau de distribution de données.

**Réseau d'acquisition de données :** c'est l'ensemble des nœuds capteur construisent le réseau parmi eux les nœuds particulier appelé station de base ou « sink ».

Les capteurs communiquent entre eux pour relayer l'information vers une station de base qui communique avec l'interface utilisateur.

**Réseau de distribution de données :** est composé des utilisateurs et du réseau de communication : internet, les satellites.

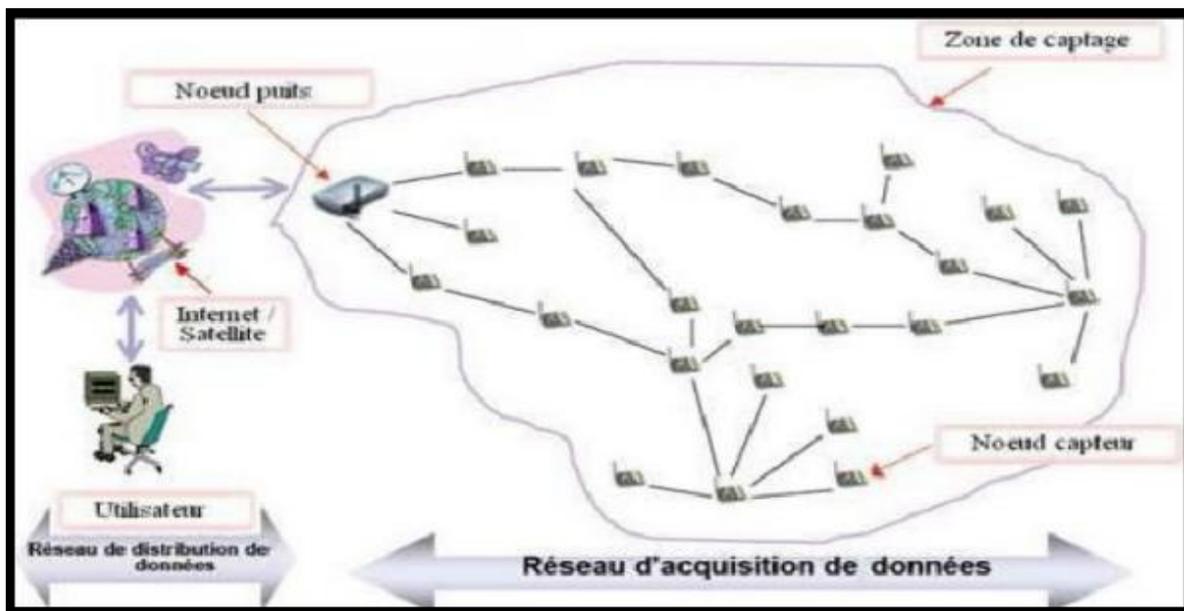


Figure I.5- architecture de communication dun RCSF

## **5.3 Contraintes des RCSFs :**

### **5.3.1 Efficacité énergétique :**

L'énergie est l'élément principal pour un capteur, puisque c'est un dispositif microélectroniques. Il à une seul source d'énergiessi en prend en considération la nature ou les conditions de déploiement dans les zones de couverture il est très difficile de changer ou de recharger la batterie des capteurs[6].

Afin de garantir une plus grande duré de vie globale pour le réseau, les solutions envisagées doivent éviter ou réduire les effets et les causes de la surconsommation d'énergie[6].

# Chapitre I : Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil sous marins

---

## **5.3.2 La scalabilité :**

Le réseau de capteur sans fil doit être composé de grand nombre de capteur, pour certaines applications il peut avoir des centaines jusqu'au des milliers et pour d'autres applications il peut atteindre quelques millions.

La scalabilité est la capacité du réseau et de ses composants à être utilisés sur des plateformes de taille importante[7].

Les schémas de déploiement doivent être capables de fonctionner avec le grand nombre des nœuds capteurs, afin de garantir le bon fonctionnement du réseau les protocoles conçus doivent s'adapter aux changements auxquels sont soumis les réseaux de capteurs.

## **5.3.3 Tolérance aux pannes :**

Les nœuds de capteur sont des dispositifs microélectroniques donc il est fort probable qu'on tombe dans un dysfonctionnement d'un nœud due à des défauts de fabrication ou plus fréquemment à un déchargement de sa batterie[8].

Afin de garantir le bon fonctionnement de réseau et qu'il puisse accomplir sa mission, les solutions pour cette contrainte doivent être conçues dans le but de garantir la continuité et la qualité du service.

## **5.3.4 Auto configuration :**

Les RCSFs doivent supporter des topologies large, dense et dynamique. L'aspect dynamique provient des pannes occasionnelles de certains nœuds ou l'ajout des nouveaux nœuds, la mobilité ou des changements des conditions de propagation[6].

Il est nécessaire pour le réseau de capteur sans fil d'avoir une topologie dynamique pour pouvoir supporter tout ces changements occasionnelles ou planifiés.

## **5.3.5 Cout de production :**

Un cout raisonnable est une exigence importante pour un RCSF puisqu'il contient un grand nombre de capteurs.

Si un seul capteur est trop cher donc le cout de réseau n'est pas justifié car il y a des facteurs de cout total : cout total de capteurs, cout de déploiement et cout de configuration.

## **5.4 Types des RCSFs :**

### **5.4.1 RCSF terrestre :**

Ils se composent typiquement en un nombre élevé de nœud capteur terrestre sans fil, ses nœuds sont déployés dans un environnement dense pour communiquer efficacement les données collectées vers la station de base[6].

Dans un RCSF terrestre les nœuds capteur doivent être capables de transmettre efficacement les données, ainsi la limitation en termes d'énergie de capteur est un autre défi puisque la batterie à une charge limitée et peut être non rechargeable. Cependant pour

# Chapitre I : Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil sous marins

---

certaines applications, les nœuds capteurs peuvent être équipés d'une source d'alimentation alternative telle que l'énergie solaire.

L'énergie peut être conservée avec un routage multi-saut optimal, une courte portée de transmission, une agrégation des données, l'élimination de données redondantes et la minimisation des délais.

## **5.4.2 RCSF sous-terrain :**

Il se compose en un grand nombre de capteur déployé sous le sol ou dans une mine pour surveiller le sous-terrain [9, 10]. Comme tout les types de RCSF il ya des stations de base, pour les RCSF sous-terrain les stations de base sont au-dessus sur le sol pour relayer l'information et de la communiquer avec l'utilisateur.

Les capteurs sous-terrain doivent être capable d'assurer une communication sûre à travers le sol, les rocher et d'autres contenants minéraux. L'environnement sous-terrain rendre la communication sans fil plus difficile à cause des atténuations des signaux et les pertes. Le déploiement des capteurs sous-terrain requièrent une planification soigneuse et plus important.

Des considérations sur l'énergie doivent être prises car les capteurs sont équipés d'une batterie à charge limitée et une fois déployés sous le sol, il est presque impossible de recharger ou de remplacer leur batterie. Si on veut augmenter la durée de vie de réseau il est nécessaire de conserver l'énergie par un protocole de communication efficace.

Un RCSF sous-terrain est plus cher qu'un RCSF terrestre en termes d'équipement, de déploiement et de la maintenance.

## **5.4.3 RCSF sous marin :**

Ils se composent en un nombre de capteur et de véhicule sous marin déployé dans l'eau. Dans ce type les nœuds spéciaux « sink » sont des navires, des bouées flottantes et des plateformes au-dessus de la mer. Des véhicules sous marins autonome sont utilisés pour l'exploitation ou la collecte de données des capteurs. Les capteurs sous marin sont équipés d'une batterie à charge limitée qui ne peut être remplacé ou rechargée.

La densité des nœuds dans les RCSFs sous marins est réduite par rapport au RCSF terrestre. Il existe 3 techniques de communication sans fil sous marin communication par onde radio, communication par onde optique et communication par onde acoustique. Cette dernière c'est le principal support physique de transmission de l'information dans l'eau, des challenges en communication acoustique résident dans un long délai de transmission, un affaiblissement de signal et une bande passante limitée. Un autre défi est le dysfonctionnement des nœuds dus aux conditions environnementales. Les RCSF sous marin doit avoir une topologie dynamique et de s'adapter à l'environnement océanique rude.

## **5.5 Domaine d'application :**

Le domaine d'application des RCSFs est très large, on peut le trouver dans différents domaines, on va noter les applications militaires médicales et environnementales.

### **5.5.1 Domaine militaires :**

On peut dire que ce domaine est le père de toutes les technologies innovantes. Les RCSFs représentent une technologie très intéressante, ils assurent beaucoup de tâches autonomes sans besoin de présence humaine, cette propriété est appréciable dans tel domaine.

Un réseau déployé sur un environnement stratégique ou inaccessible, permet d'y surveiller tous les mouvements (amis ou ennemis), ou d'analyser le terrain avant de faire une base ou attaquer un ennemi. Il peut éviter de grands dégâts en ressource humaine et aussi peut détecter si un secteur est contaminé par des produits chimiques ou il y a des radiations nucléaires.

### **5.5.2 Domaine médicales :**

La santé est la plus importante chose pour l'être humain. Les RCSF dans ce domaine facilitent la surveillance des fonctions vitales des organismes vivants. Des micro-capteurs avalés ou implantés sous la peau permettent sans avoir recours à la chirurgie de transmettre des images de l'intérieur du corps humain surveillant des organes ou détecter certains cancers.

### **5.5.3 Domaine environnementales :**

Les réseaux de capteurs sans fil sont aussi largement utilisés dans le secteur environnemental. Ils servent à :

La détection de feux de forêts ; La détection d'inondations et de tremblements de terre ; Le contrôle de l'environnement marin (capteurs acoustiques).

## **6. Réseaux capteur sans fil sous marin :**

### **6.1 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.6. 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 peut les stocker dans la mémoire embarquée, les traiter et les envoyer à d'autres périphériques réseau en contrôlant le modem acoustique. Les circuits électroniques sont généralement montés sur un châssis protégé par un boîtier en PVC. Parfois, tous les composants du capteur sont protégés de l'impact potentiel des engins de chalutage, en particulier dans les zones soumises à des activités de pêche [11].

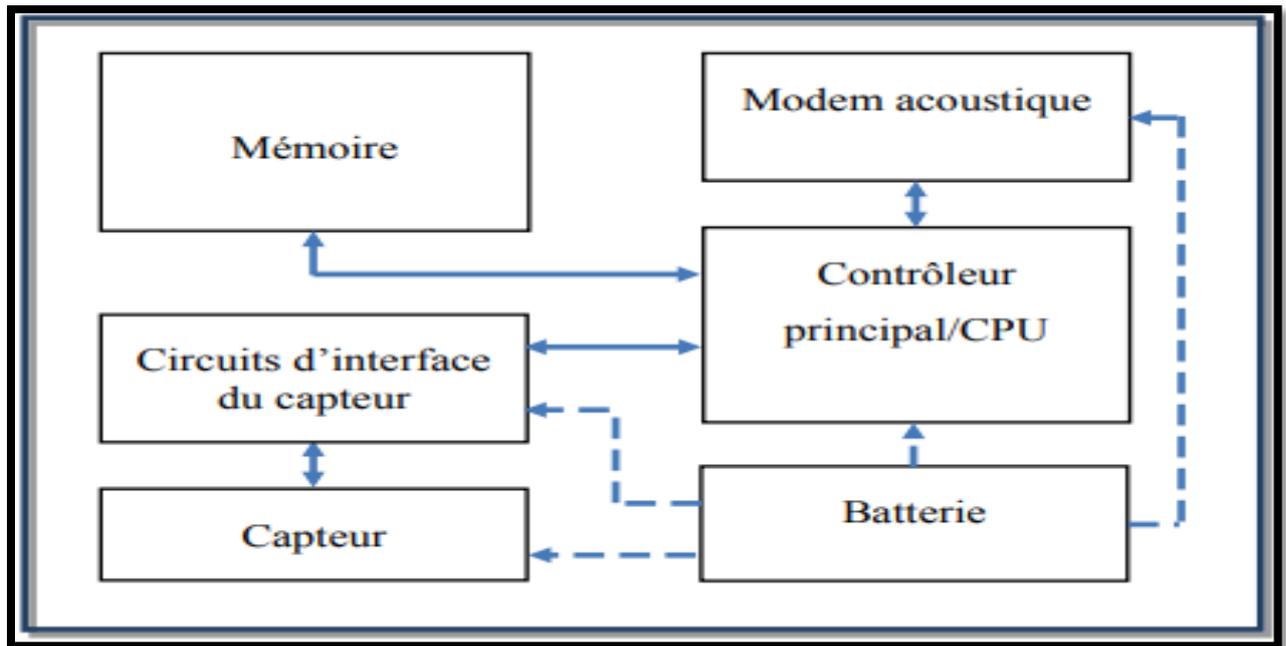


Figure I.6 architecture d'un nœud de capteur sous marin

### **6.2 Définition :**

Le rassemblement de plusieurs nœuds par la création des liens bidirectionnels acoustique entre eux permet de construire un réseau de capteur sans fil sous-marin [11].

Un nœud de réseau peut communiquer avec les nœuds voisins et faire l'échange des informations entre eux et du nœud vers l'autre jusqu'aux arrivés à la station de base. Chaque nœud peut être doté d'un ou plusieurs capteurs qui enregistrent des données environnementales à transmettre généralement vers des plates-formes ou des bouées à la surface (Station de base).

Le RCSF-SM est appliqué dans un environnement pour que les données soient récupérées en temps réel, prise à partir de plusieurs capteurs distants sous-marins. Après évaluation des données obtenue, des messages de contrôle peuvent être envoyés aux nœuds du réseau, afin d'adapter le réseau à des situations changeantes.

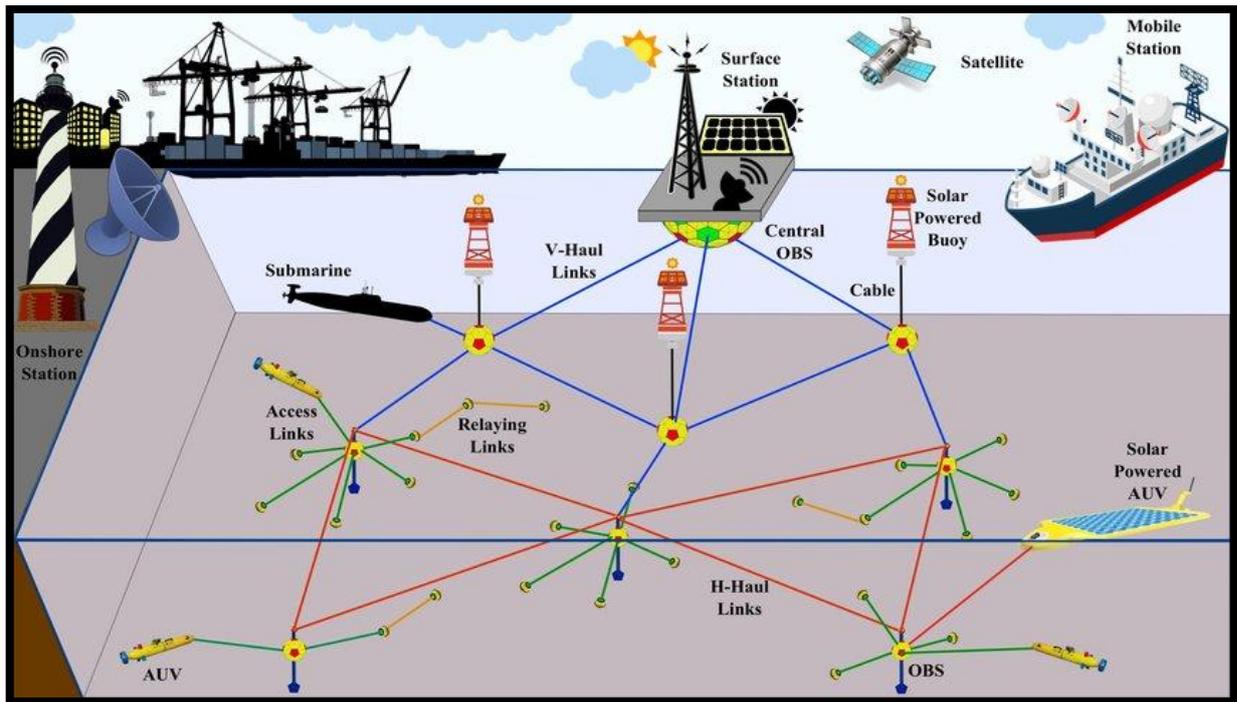


Figure I.7 Un réseau de capteur sans fil sous marin

## **6.3 Technique de communication sans fil aquatique :**

Le système de communication sans fil aquatique comporte 3 techniques de transmission : radio, optique et acoustique.

### **6.3.1 Communication par onde radio :**

Les normes de communication sans fil des ondes radio atteignent le domaine des gigahertz dans l'air, citons l'exemple des normes : IEEE 802.11, Home RF, Bluetooth qui opèrent dans la bande des 2.4 GHz. Néanmoins, l'atténuation pour les hautes fréquences, dans l'eau, s'avère extrêmement grande et arrive pour une fréquence de 2.4 GHz à 1695 dB/mètre dans la mer et à 189 dB/mètre dans l'eau fraîche, tout en supposant une moyenne de conductivité de  $4 \Omega^{-1}/\text{mètre}$  dans l'eau de mer et de  $0.05 \Omega^{-1}/\text{mètre}$  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 :  $\lambda$  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 diminue, mais la propagation de l'onde électromagnétique sur de longues distances nécessite alors de grandes antennes d'émission – réception, donc des puissances d'émission élevées[12].

### **6.3.2 Communication par ondes optiques:**

Au sein des moyens de communication les plus exploités on peut dénicher les ondes optiques. Au milieu marin, l'atténuation de signal n'est pas posée dans ce type d'onde, néanmoins il y a un inconvénient principal de propagation de la lumière dans l'eau causé par le phénomène de la dispersion. Ce problème impose du nœud en émission une précision élevée de visé, ce qui est irréalisable à cause de la mobilité de capteur dans l'eau et

# Chapitre I : Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil sous marins

---

lieu variable de l'un par rapport à l'autre. Par ailleurs, l'incompatibilité du milieu, la variation de l'indice de réfraction et l'existence des objets de micro organisme marin créent un handicap devant la propagation de l'onde optique [13].

### **6.3.3 Communication par ondes acoustiques:**

L'usage de l'onde acoustique comme radical support physique de transmission de l'information dans l'eau pour les systèmes de communication acoustique sans fil, l'opposition dans les communication sans fil dans l'espace libre ,qui est basé sur les ondes électromagnétique cela grâce à l'onde acoustique qui est en meilleur performance , évaluées aux autres types d'ondes (optique , électromagnétique) [14, 15].En plus le manque de transparence dans les océans à la lumière et aux ondes radioélectrique par contre la clarté pour les ondes sonore.

### **6.3.4 La comparaison entre les techniques de communication:**

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 spécifier 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 particulier 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[11].

	Acoustique	Électromagnétique	Onde optique
<b>Vitesse (m/s)</b>	1500	33, 333,333	33, 333,333
<b>Bande passante</b>	1 KHz	1 MHz	10-150 MHz
<b>La portée</b>	1Km	10 m	10-100 m
<b>Perte de puissance</b>	>0.1 dB/m/Hz	28 dB/1Km/100MHz	Dépend de la turbidité

Tableau I.1 comparaison entre les techniques de communication

### **6.4 Différence entre RCSF terrestre et RCSF sous marin :**

Les principales différences entre les réseaux de capteurs terrestres et sous-marins sont les suivantes [17]:

**Coût :** les nœuds de capteurs terrestres devraient devenir de plus en plus économiques, les capteurs sous-marins sont des dispositifs coûteux. Cela est dû en particulier aux transcribes sous-marins plus complexes et à la protection matérielle nécessaire dans les environnements sous-marins extrêmes.

**Déploiement :**les réseaux de capteurs terrestres sont déployés de manière dense, le déploiement sous-marin est considéré comme étant plus rare, en raison des coûts impliqués et des défis associés au ce dernier lui-même dans l'environnement sous-marin.

**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.

# Chapitre I : Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil sous marins

---

**Mémoire.** : les nœuds capteurs terrestres ont une capacité de stockage très limitée, il se peut que les capteurs ultra-actifs doivent pouvoir mettre en cache certaines données, car le canal sous-marin peut être intermittent.

**Corrélation spatiale.** : Bien que les lectures des capteurs terrestres soient souvent corrélées, il est moins probable que cela se produise dans les réseaux sous-marins en raison de la distance plus grande entre les capteurs.

## **6.5 Caractéristique des RCSF sous marin :**

Les RCSF acoustique sous marin sont caractérisés par [16, 17] :

### **Atténuation :**

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 de la fréquence.

La densité et la salinité, entraînant le déplacement des ondes acoustiques sur des chemins courbes. Cela peut créer des zones silencieuses où l'émetteur est inaudible. Il y a aussi des pertes causées par des réflexions par trajets multiples de la surface, obstacles, le fond et les variations de température dans l'eau et la diffusion des réflexions d'une surface de l'océan potentiellement rugueuse.

### **Le bruit :**

Les niveaux de bruit dans l'océan ont une importance critique effet sur les performances du sonar. Nous sommes intéressés par la plage de fréquences comprise entre 200 Hz et 50 kHz (le milieubande de fréquence). Dans cette plage de fréquence, la source de bruit dominante est le vent agissant sur la surface de la mer. Knudsen a montré une corrélation entre bruit ambiant et force du vent ou état de la mer. Le bruit ambiant augmente d'environ 5 dB à mesure que le vent soufflé double. Le bruit du vent est maximum aux alentours de 500 Hz, et diminue ensuite d'environ -6 dB par octave. À une fréquence 10 000 Hz, la densité spectrale du bruit ambiant devrait se situer entre 28 dB / Hz et 50 dB / Hz par rapport à 1 micro Pascal. Cela suggère la nécessité d'une large gamme de contrôle de la puissance de l'émetteur

### **La vitesse du son :**

La méthode privilégiée de communication de données sans fil en sous-marin dépend de plusieurs facteurs. Un des facteurs est la vitesse du son

Une onde sonore peut être considérée comme l'énergie mécanique qui est émise par la source. Une onde sonore se déplace d'une particule vers une autre, propagée par le biais de l'océan à la vitesse du son.

### **Propagation multi-chemin :**

La propagation par trajets multiples peut être responsable de la dégradation sévère du signal de communication acoustique, car elle génère des interférences entre symboles (ISI). La géométrie trajet-multiple dépend de la configuration de la liaison. Les canaux verticaux sont

# Chapitre I : Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil sous marins

---

caractérisés par une petite dispersion temporelle, tandis que les canaux horizontaux peuvent avoir de longs écarts multi-trajets. La mesure de l'étalement est une forte fonction de profondeur et la distance entre l'émetteur et le récepteur.

## **L'étalement Doppler :**

L'étalement de fréquence Doppler peut être important dans les canaux RCSF-SM, entraînant une dégradation des performances des communications numériques: les transmissions à un débit binaire élevé provoquent l'interférence de nombreux symboles adjacents au niveau du récepteur, ce qui nécessite un traitement du signal sophistiqué. L'étalement Doppler génère:

- Une simple translation de fréquence, relativement facile à compenser pour un récepteur.
- Un étalement continu des fréquences, qui constitue un signal non décalé, plus difficile à compenser pour un récepteur.

## **6.6 Contraintes des RCSFs sous marins :**

Des défis majeurs dans la conception des réseaux acoustiques sous-marins sont [18] :

- ❖ 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.

## **6.7 Applications des RCSFs sous marins :**

Les applications des réseaux sous-marins relèvent de la même classification que les réseaux de capteurs terrestres :

**Applications scientifiques:** qui observent l'environnement depuis les procédures géologiques sur le fond marin jusqu'à la surface d'eau. Caractéristiques (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).

**Applications industrielles:** processus de surveillance et de contrôle du commerce, tels que les outils sous-marins liés à l'extraction du pétrole.

## Applications militaires et de sécurité intérieure:

Les RCSF-SM sont également utilisés pour les applications militaires. Ces systèmes s'appuient sur différents capteurs déployés pour détecter différents aspects des applications militaires. Différents capteurs tels que des caméras, des sonars d'imagerie et des détecteurs de métaux intégrés aux AUV sont utilisés pour aider à la recherche de mines sous-marines, à la sécurisation des ports et des sous-marins, ainsi qu'à la surveillance. Ces applications peuvent conduire à une solution économique pour protéger les forces navales.

## 6.8 Architectures dans les RCSFs sous marins :

Il existe trois architectures différentes pour les RCSFs sous marins [19]:

### Architectures bidimensionnelles statiques :

Tous les nœuds ancrés au fond de l'océan. Une station de base sous l'eau (underwater sink) collecte les données des nœuds de capteurs par le biais de l'émetteur-récepteur. Ensuite, il transmet les informations à une station de surface par l'émetteur-récepteur vertical.

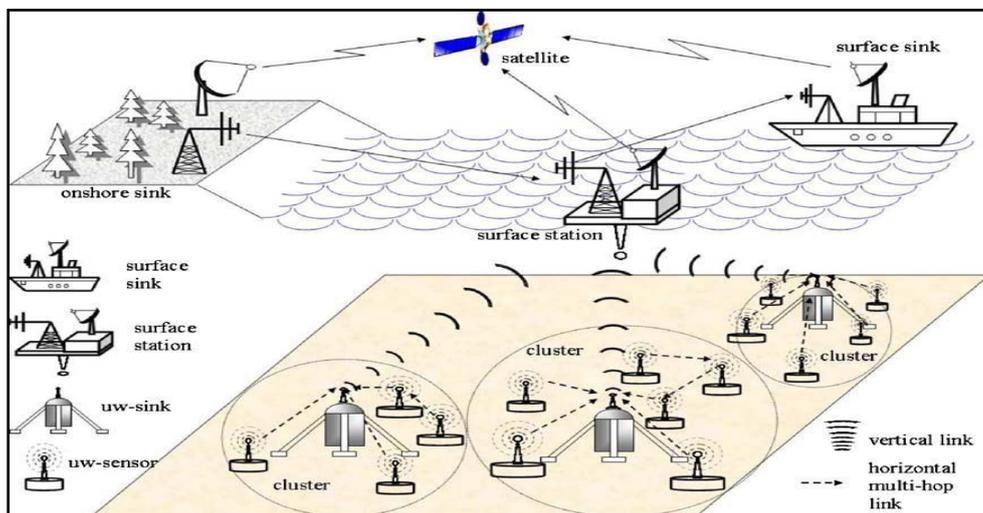


Figure I.8 Réseaux de capteurs sous-marins statique bidimensionnels [19]

La station de surface a un signal RF pour communiquer avec les stations de base de surface et terrestre, comme illustré à la figure I.8. Les capteurs ont communiqué avec la station de base en utilisant des liaisons directes ou des chemins à sauts multiples. Dans la liaison directe: chaque capteur envoie directement des données au récepteur sélectionné. Cela peut ne pas être le plus efficace en terme d'énergie. Dans le trajet multi-sauts: le capteur source envoie les données aux capteurs intermédiaires jusqu'à atteindre la station de base. Cela économise de l'énergie et augmente la capacité du réseau, mais augmente également la difficulté du routage.

## Architecture tridimensionnels statiques :

Dans cette architecture, illustrée à la Figure I.9, chaque capteur est ancré au fond de l'océan et équipé d'une bouée flottante pouvant être gonflée à l'aide d'une pompe. La bouée pousse le capteur vers la surface de l'océan. La profondeur du capteur peut ensuite être réglée en ajustant la longueur du fil qui relie le capteur à l'ancre, au moyen d'un moteur à commande électronique qui réside sur le capteur. Un défi à relever dans une telle architecture est l'effet des courants océaniques sur le mécanisme décrit pour réguler la profondeur des capteurs.

Une telle architecture pose de nombreux problèmes qui doivent être résolus pour permettre la surveillance 3D, notamment:

- couverture de détection. Les capteurs doivent régler leur profondeur de manière collaborative afin d'obtenir une couverture 3D de la colonne océanique, en fonction de leurs plages de détection. Par conséquent, il doit être possible d'obtenir un échantillonnage du phénomène souhaité à toutes les profondeurs.
- Couverture de communication. Comme dans les réseaux 3D sous-marins, il n'est peut-être pas possible de parler station de base sous l'eau, les capteurs devraient pouvoir relayer les informations vers la station de surface via des chemins à sauts multiples. Ainsi, les périphériques réseau doivent coordonner leurs profondeurs de telle sorte que la topologie du réseau soit toujours connectée, c'est-à-dire qu'il existe toujours au moins un chemin entre chaque capteur et la station de surface.

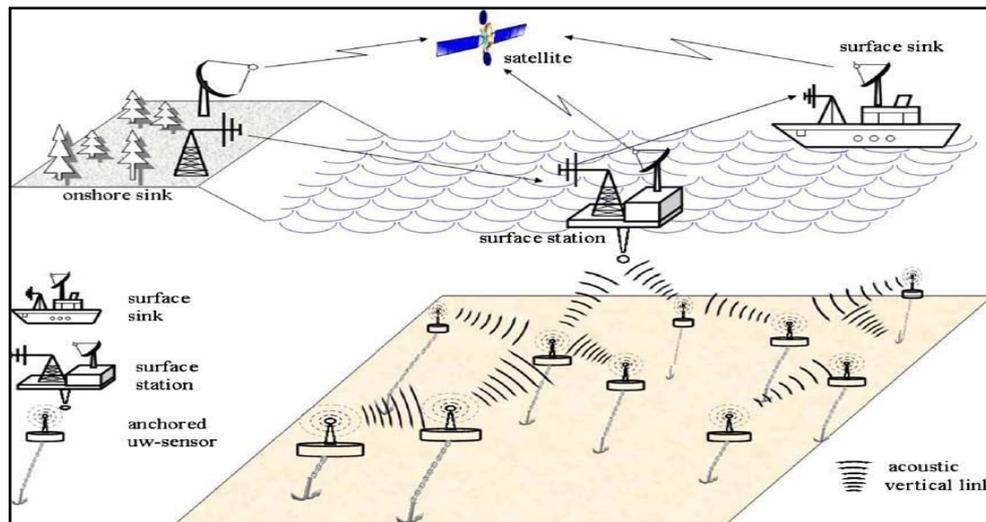


Figure I.9 Réseaux de capteurs sous-marins tridimensionnels statiques [19]

## Architecture tridimensionnels dynamique :

Il se compose de nombreux capteurs statiques et de certains véhicules sous-marins autonomes, comme indiqué dans la figure I.10. Les AUV jouent un rôle clé dans la collecte de données. Les AUVs pourraient être considérés comme des super nœuds, qui ont plus d'énergie, peuvent se déplacer indépendamment, et il pourrait s'agir d'un routeur entre des capteurs fixes, ou d'un gestionnaire pour la reconfiguration du réseau, ou même un capteur normal.

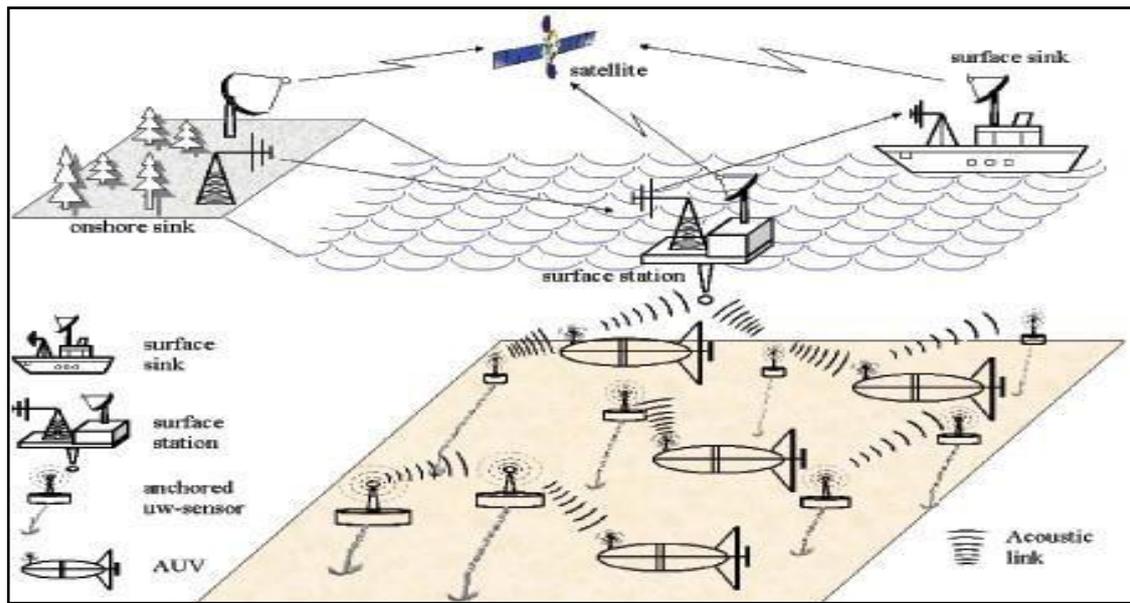


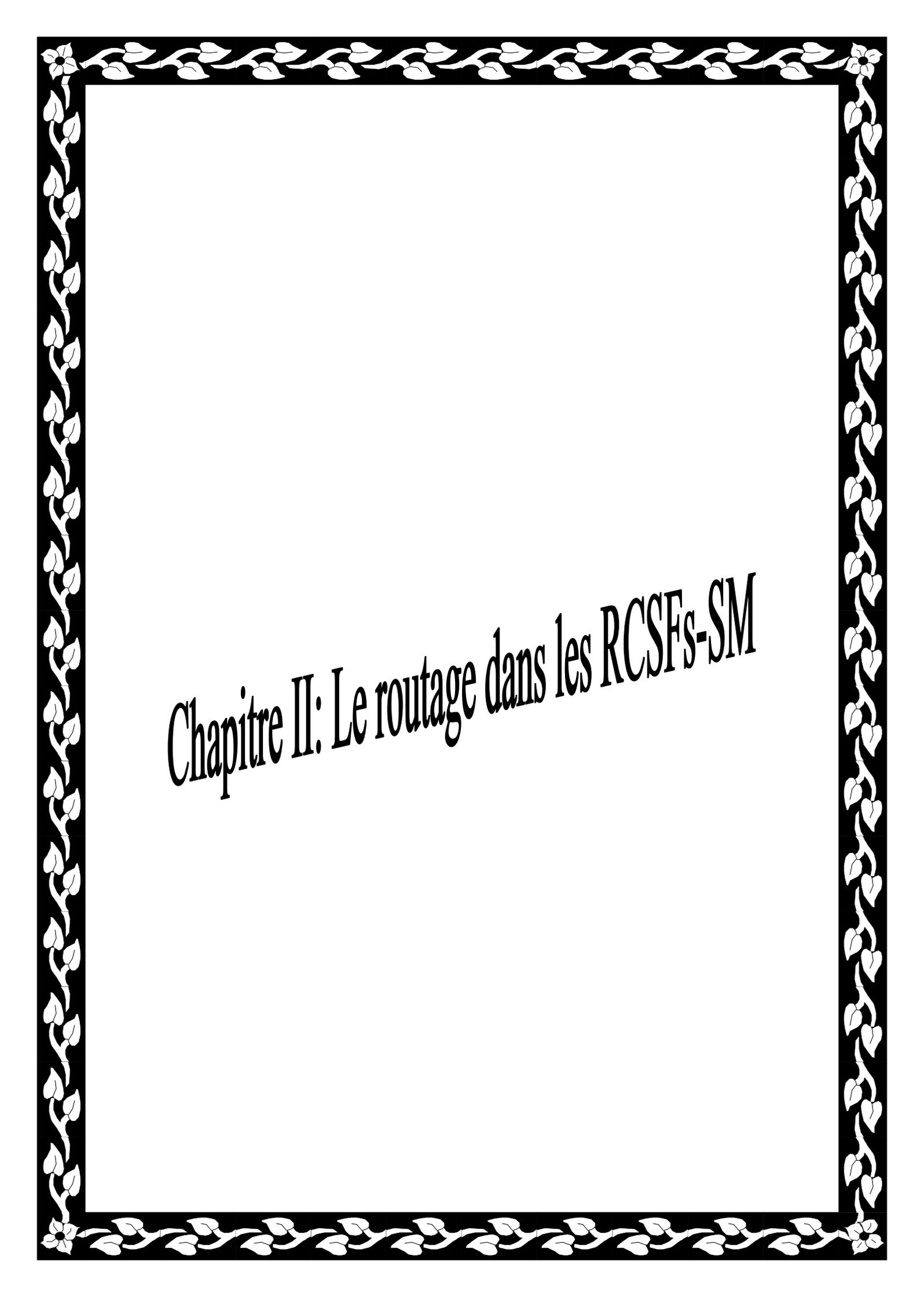
Figure I.10 Réseaux de capteurs sous-marins tridimensionnels avec véhicules sous-marin autonomes [19]

## **7. Conclusion :**

Au premier chapitre, nous avons entamé l'étude sur les RCSFs en générale et les RCSF-SMs en particulier, nous avons décrit le réseau capteur sans fil : son architecture et ses types .

Ensuite nous avons détaillé les RCSF-SMs :ses architectures, ces domaines d'application, ces caractéristiques et son fonctionnement .Nous avons présenté ces techniques de communication et ces contraintes. Aussi nous avons fait une petite comparaison entre les RCSF et les RCSF-SM.

Dans le deuxième chapitre on va présenter un état de l'art sur le routage dans les RCSF-SM.



# Chapitre II: Le routage dans les RCSFs-SM

### **1. Introduction :**

Le milieu sous marin est difficile et imprévisible. L'eau a la propriété d'absorber les ondes radio et cela augmente l'atténuation du signal par conséquent on utilise l'onde acoustique. Toute fois cette dernière à une bande passante limitée et un grand délai de latence. Aussi la batterie du capteur sous marin à une énergie limitée, il est impossible de les charger ou de recharger contrairement aux réseaux de capteurs sans fil terrestre. À cause de ces différents défis la conception d'un protocole de routage est une importance primordiale.

Les protocoles de routage peuvent identifier le chemin pour assurer les performances du réseau selon les paramètres désiré plus précisément les défis associés au milieu sous marin pendant la transmission des paquets. Actuellement de nombreux protocoles de routage ont été suggérés 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. Puis nous donnons quelques exemples sur les protocoles proposés.

### **2. Définition :**

Le routage est une méthode d'acheminement de l'information vers une destination donnée dans un réseau de connexion. Les algorithmes de routages dans les RCSFs doivent garantir un fort taux d'acheminement des messages vers la station de base ou des requêtes envoyé par la station de base vers les nœuds capteur. Tout pour gérer plusieurs défis comme la sur consommation d'énergie, la latence, la scalabilité, ...etc. La figure II.1 illustre un schéma de routage vers la station de base lorsqu'un capteur détecte un événement [20].

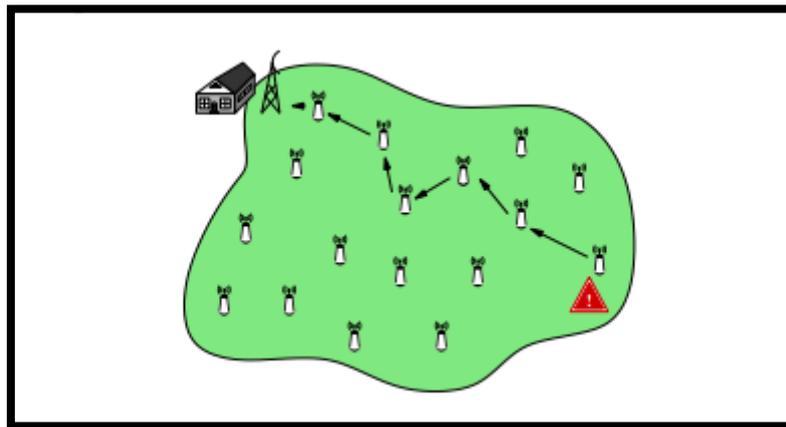


Figure II.1 Transmission d'un message vers la station de base lors de la détection d'un événement

### **3. Les défis de routage dans les RCSFs :**

Il existe de nombreux protocoles de routage pour les réseaux de capteur sans fil. Tout fois, il y'a des défis dans le développent de protocoles de routage dont les principales sont les suivant [21] :

**Position de capteur :** parmi les défis qui sont confrontés les protocoles de routage consiste 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.

**Ressources matérielles limitées :** les capteurs sont équipé avec un processeur et une mémoire limité, donc ils peuvent faire que des calculs limités. Cette partie matérielle présente un grand défi pour la partie logiciel exactement sur les protocoles de routages. Le protocole de routage doit considérer que le processeur et la mémoire du nœud sont limités.

**Capacité énergétique :** en plus de processeur et la mémoire, la batterie dans le capteur à une charge limité et peut être non rechargeable. Quand l'énergie d'un capteur atteindre un seuil minimal, le nœud devient défectueux et ne sera pas capable de fonctionner correctement, qui aura un impact majeur sur le réseau. Les protocoles conçus devrait économiser l'énergie pour augmenter la duré de vie du réseau tout en garantissant les performances globale.

**Déploiement des nœuds :** le déploiement des capteurs planifié ou aléatoire affecte les performances du routage. Pour la majorité des applications les nœuds sont déployé aléatoirement et avec une grande densité sur des milieux inaccessibles, si le déploiement n'est pas uniforme il rend la tache de routage trop difficile.

**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 donnés à le but d'économiser l'énergie et l'optimisation du transfert de données.

### **4. Les défis du routage dans les RCSF-SM :**

Les principaux défis pour les réseaux de capteurs sans fil sous marin se résume [22, 23] :

1. Les RCSF-SM sont des RCSF mobiles par nature. Lorsqu'il y a des courants d'eau, les capteurs sous marins peuvent se déplacer et subir des modifications dynamiques de la topologie du réseau. Faire face aux changements dynamiques des réseaux sous-marins est une tâche ardue.
2. Les capteurs doivent avoir de plus grandes capacités pour la mise en cache de données sous-marine.
3. Comparées aux communications radio dans les RCSF-Tersttre, les communications acoustiques dans les RCSF-SM utilisent une bande passante étroite. En raison de la largeur de bande étroite, le débit de transmission dans les réseaux RCSF-SM est généralement très faible (environ 10 kbps). Par conséquent, l'utilisation de la bande passante est une préoccupation importante pour les réseaux RCSF-SM.

4. Le canal sous-marin est altéré à plusieurs égards, notamment à cause des trajets multiples et des évanouissements.

5. Les courants sous-marins peuvent modifier la position relative des dispositifs de détection et également créer des trous de connectivité, en particulier lorsque la surveillance de la colonne océanique est effectuée en eaux profondes.

### **5. Exigences pour un bon protocole de routage dans les RCSF-SM :**

L'efficacité d'un protocole de routage permet à un réseau de capteurs de mener sa mission jusqu'à la fin et pour une longue durée. Ainsi, on dit qu'un protocole de routage est efficace s'il répond aux propriétés suivantes [11] :

- **Extensibilité**

Il supporte le passage à l'échelle sans présenter des goulots d'étranglement.

- **Mobilité des nœuds**

La position des capteurs sur la zone de captage n'est pas toujours fixe. Un nœud capteur peut devenir mobile et changer sa position selon les besoins de l'utilisateur. 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.

- **Consommation énergétique**

L'énergie est considérée comme une ressource précieuse dans les réseaux de capteurs, sa conservation est indispensable pour garantir une longue durée de vie aux réseaux puisqu'il est généralement impossible de recharger les batteries des capteurs. Cette consommation est optimisée quand le nombre de messages retransmis et le nombre de réceptions redondantes sont réduits.

- **Consommation de la bande passante**

La minimisation du nombre de messages redondants optimise la consommation de la bande passante.

- **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.

- **Sécurité des échanges**

Le routage est l'un des mécanismes les plus essentiels dans les réseaux RCSF-SMs. L'insécurité des mécanismes de routage peut non seulement nuire aux performances des RCSF-SMs, mais aussi le rendre vulnérable à de nombreuses attaques de sécurité, telles que la modification, l'interception et la fabrication de l'information.

Des mécanismes de sécurité doivent être adaptés aux RCSF-SMs afin de protéger le fonctionnement du réseau.

### **6. Classification des protocoles de routage dans les RCSFs-SM :**

Les réseaux de capteur sans fil sous marin deviennent de plus en plus importants dans la communication des données sous l'eau. Les protocoles de routage proposés utilisent différentes approches pour répondre aux objectifs d'un réseau de capteur sans fil sous marin, par conséquent les protocoles de routages peuvent être classés en plusieurs catégories. la classification est composé de deux classes : architecture de réseaux et transmission des données. la Figure II.2 présente une classification détaillé des protocoles de routage dans les RCSFs-SM [24].

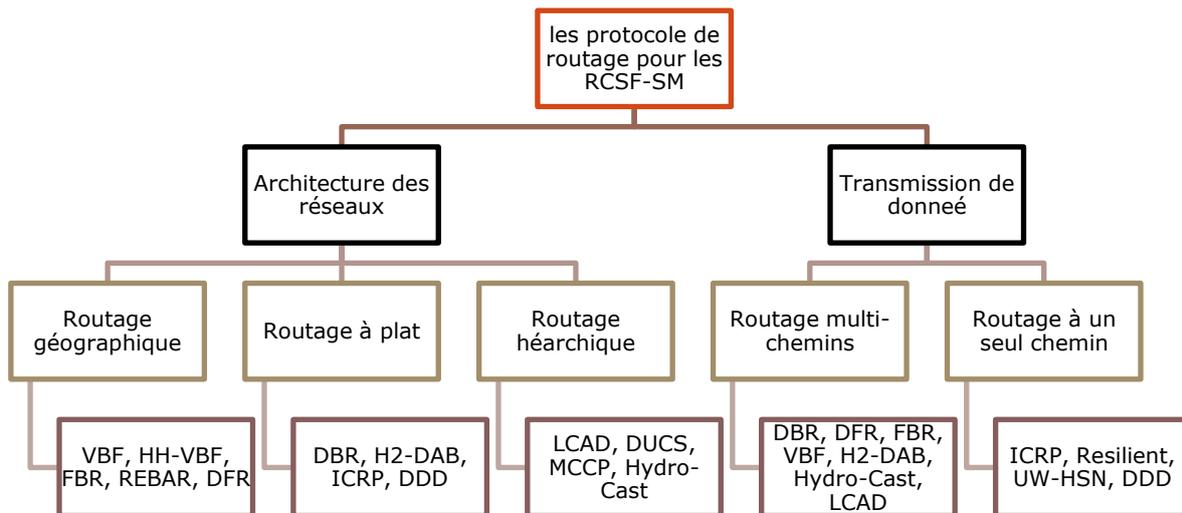


Figure II.2 Classification de protocoles de routage dans les RCSFs-SM

### **6.1 Architecture des réseaux :**

#### **6.1.1 Routage géographique :**

Le routage géographique [25] reposant sur la connaissance des coordonnées des nœuds, qui peuvent être obtenues avec le GNSS (Globe Navigation Satellite System) ou via d'autre service de localisation. Le routage basé sur la localisation est très prometteur pour la transmission de paquets dans les réseaux de capteur sans fil ou ad-hoc.

Le nœud source doit connaître sa propre position, la position des nœuds voisins et la destination. Par conséquent, la mémoire de nœud requise est minimale, réduisant ainsi la consommation de la bande passante et économisant de l'énergie. De plus, en raison de processus de transfert localisé, le réseau réagit plus rapidement.

Puisque le réseau de capteur sans fil sous marin est un réseau dynamique. La localisation est encore plus imprécise car la localisation transitoire des nœuds conduit à une vue incohérente des informations de positionnement. Toute les méthodes de localisation ont des inconvénients : i) la programmation manuelle des nœuds est parfois difficile, voir impossible pour les grand réseaux. ii) le GPS augmente les couts des appareils et la

consommation d'énergie et il est moins précis sous l'eau due à l'absorption rapide de l'onde radio à haute fréquence. Des systèmes de positionnement précis comme GPS pour les RCSF-SM sont toujours à l'étude.

### **6.1.2 Routage à plat :**

Que nous appelons « data centric », contrairement aux réseaux traditionnels où les données sont demandées à un nœud spécifique. Les réseaux capteur sans fil utilisent le routage à plat comme première approche où tous les nœuds ont les mêmes tâches à accomplir. Parmi leur bienfait l'agrégation des données, il peut arriver que les nœuds adjacents ont des données similaires. Ainsi plutôt que d'envoyer les données séparément de chaque nœud au nœud ciblé, il est souhaitable d'agréger les données similaires et de les envoyer.

L'inconvénient est l'atténuation des ressources en énergie des nœuds agrégateurs, car tout le trafic passe obligatoirement par ces derniers.

### **6.1.3 Routage hiérarchique :**

Routage hiérarchique (basé sur les clusters): Dans ces protocoles, des nœuds d'énergie supérieure sont utilisés pour traiter et envoyer les informations, tandis que les nœuds à faible énergie sont utilisés pour effectuer la détection à proximité de la cible [26]. La création de clusters et assigner des tâches spéciales aux têtes de cluster contribuent grandement à l'évolutivité globale du système, à sa durée de vie et efficacité énergétique. Le routage hiérarchique est un moyen efficace pour réduire la consommation d'énergie au sein d'un cluster, en effectuant l'agrégation et la fusion des données afin de diminuer le nombre des messages transmis au nœud collecteur. Les exemples sont: LEACH, APTEEN, HEED.

Les nœuds d'un réseau de capteurs doivent souvent s'organiser eux-mêmes en-clusters. Le regroupement permet de construire des structures hiérarchiques, ainsi une utilisation plus efficace des ressources rares, comme le spectre de fréquence, la largeur de bande et la puissance [27].

## **6.2 Transmission des données :**

Il existe deux types de transmission des données [11]:

- **Routage multi-chemins :** Ce type de routage utilise des chemins multiples afin d'augmenter les performances du réseau en maintenant des chemins alternatifs.
- **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.

## **7. Protocole de routage RCSF-SM :**

### **7.1 Protocole basé sur la localisation :**

Ces protocoles exigent que les informations de la coordonnée bi-ou tridimensionnelle des nœuds de capteurs soient connues pour déterminer les itinéraires du fond à la surface de l'eau. Sans les informations de coordonnées, les distances entre les nœuds et les trajectoires de routage ne peuvent pas être déterminées dans ces protocoles.

### 7.1.1 Protocole traitent de mobilité de nœud :

Ces protocoles utilisent la mobilité des nœuds de capteurs lors du routage de données. La mobilité des nœuds capteur est utilisée soit comme paramètre à contrôler, soit pour aider d'autres nœuds à sélectionner différents nœuds intermédiaire lors du transfert de données.

### Le protocole DFR :

Le protocole DFR [28] (directional flooding-Based Routing), est une technique d'inondation de paquet, ce qui permet d'augmenter la fiabilité. Ce protocole suppose que chaque nœud connaît son emplacement, l'emplacement d'un-saut des voisins, et la destination finale. En outre, DFR aborde le problème de vide en laissant au moins un nœud pour participer au processus de transfert de données.

Comme on le voit sur la Figure II-3, la zone d'inondation est décidée par l'angle entre FS et FD, où F est le paquet de nœud de réception, tandis que S et D présentent respectivement la source et la destination. Après avoir reçu un paquet de données, F détermine de manière dynamique l'acheminement de paquets en comparant SFD avec l'angle de critère d'inondation, appelé BASE\_ANGLE, qui est inclus dans le paquet reçu. Afin de gérer le taux d'erreur élevé et dynamique de paquets, BASE\_ANGLE est ajustée de façon saut par saut en fonction de la qualité de la liaison, ce qui aide à trouver une zone d'inondation dynamique, qui est la meilleure qualité de liaison et la plus petite zone d'inondation.

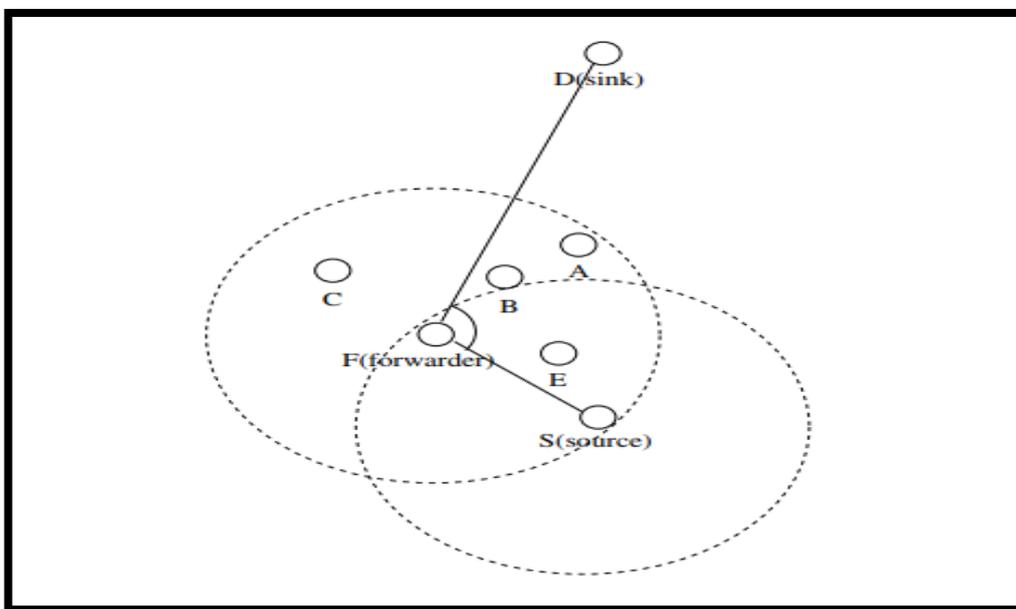


Figure II.3 transmission de paquets dans DFR

La performance du protocole DFR dépend du nombre de nœuds choisis comme le prochain saut après l'inondation du paquet de données. Bien que le problème de la région vide est adressée en s'assurant qu'au moins un nœud doit participer à ce processus, tandis que dans les zones où la qualité du lien est pas bon, plusieurs nœuds peuvent transmettre le même paquet de données; donc plus de nœuds se joindront à l'inondation du même paquet

## Chapitre II : Le routage dans les RCSFs-SM

---

de données, ce qui augmente la consommation des ressources de réseau. Deuxièmement, ils ont contrôlé le problème de vide en sélectionnant au moins un nœud pour transmettre le paquet de données vers la station de base. Toutefois, lorsque le nœud émetteur ne peut pas trouver un saut suivant plus proche de station de base, le problème de vide serait encore rencontré comme aucun mécanisme n'est disponible pour envoyer le paquet de données dans le sens inverse.

### Le protocole VBF :

VBF (Vector Based Forwarding)[29] était le premier protocole de routage conçu pour les réseaux de capteurs sous-marins mobiles où chacun des nœuds voisins de l'expéditeur détermine que sa candidature est le prochain nœud relais. Dans réseaux de capteurs, la contrainte énergétique est un facteur crucial, car les nœuds de capteurs fonctionnent généralement sur batterie, et il est impossible ou difficile de les recharger dans la plupart des scénarios d'application. Dans les réseaux de capteurs sous-marins, en plus des économies d'énergie, les algorithmes de routage devraient être capables de gérer efficacement la mobilité des nœuds. VBF vise à répondre à ces exigences avec succès et peut être plus efficace pour les réseaux à mobilité de nœud petite ou moyenne (1m / s - 3m / s). Cependant, il suppose que les informations de localisation de chaque capteur nœud peuvent être obtenues via un service de localisation, ce qui est un autre problème difficile à résoudre RCSF-SM.

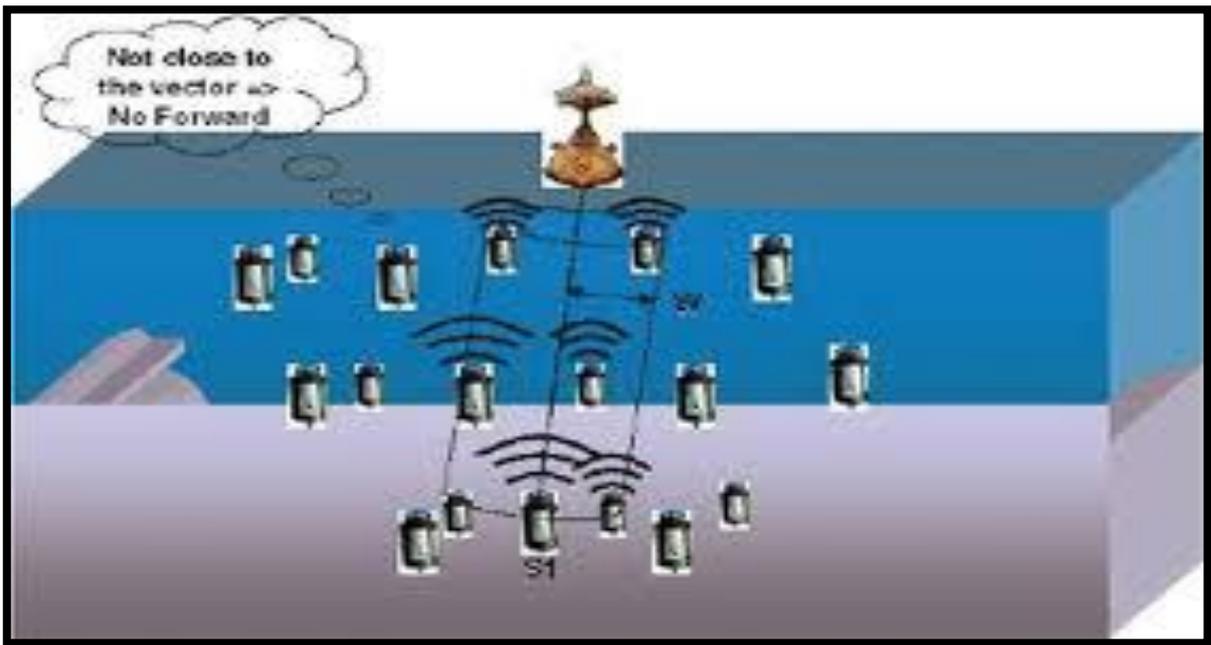


Figure II.4 Exemple de protocole VBF

Le paquet est délivré du nœud source  $S_1$  au nœud de destination  $S_0$  guidé par le vecteur (une ligne hypothétique dont les coordonnées commencent de la source au nœud de destination) figure II.4. Les paquets ne sont transmis que par les nœuds de capteur qui se trouvent dans la plage  $W$  du vecteur, où  $W$  est un paramètre système qui peut être réglé. Plus le  $W$  devient grand plus le réseau est dense. Le processus de transmission de VBF est considéré comme un canal de routage (canal virtuel) entre le nœud source et le nœud de destination. Un nœud intermédiaire seulement transmet un paquet à l'un de ses nœuds voisins, qui est le plus proche du vecteur. Quand les nœuds de capteur sont déployés de manière dense, le VBF peut impliquer trop de nœuds dans le transfert de données, ce qui à son tour pourrait augmenter la

## Chapitre II : Le routage dans les RCSFs-SM

---

consommation d'énergie. Néanmoins, dans VBF, seuls les nœuds proches du routage sont impliqués dans la transmission des paquets et tous les autres nœuds sont à l'état inactif, ce qui entraîne aux économies d'énergie.

En VBF, chaque paquet porte les positions de l'émetteur, de la cible, destination et le transitaire relais. Le vecteur de routage de l'expéditeur à la cible spécifie le transfert chemin. Une fois qu'un paquet est reçu, le nœud calcule sa position relative par rapport au relais et, le cas échéant, détermine qu'il est assez proche du vecteur de routage (canal virtuel), il met son propre calcul position sur le paquet et continue de le transmettre. D'autre part, si ce n'est pas proche assez pour le vecteur de routage, il se contente de jeter le paquet. Tous les nœuds de capteurs qui transmettent un paquet forme un tuyau de routage dans le réseau de capteurs. La VBF est extensible à la taille du réseau car elle ne nécessite aucune information d'état sur chaque nœud. L'énergie du réseau est économisée car seuls les nœuds rencontrés lors du transfert chemin sont impliqués dans le routage de paquets.

### Résumé:

Le rayon de routage affecte considérablement les métriques mentionnées ci-dessus. Taux de réussite est élevé, plus le VBF peut atteindre sa cible plus il consomme d'énergie et le meilleur chemin est sélectionné. Ainsi, dans un réseau avec une distribution de nœud inégale, il est difficile de choisir un seuil de rayon de routage approprié.

Le rapport de livraison des paquets, la consommation totale d'énergie et le délai moyen ne change pas beaucoup en ce qui concerne la vitesse du nœud. Par conséquent, VBF peut gérer la mobilité des nœuds efficacement. Le rapport de livraison de paquets est réduit pour les réseaux épars alors qu'il est augmenté dans les réseaux denses.

VBF a un petit délai de bout en bout car il essaie de trouver le chemin le plus court à partir du nœud source à la station de base le long du vecteur virtuel qui les sépare. Donc, le délai moyen est diminué dans les réseaux denses.

Une fois les algorithmes d'adaptation avancés appliqués et les paramètres optimaux choisis (vitesse de chaque nœud, rayon de routage, nombre de nœuds), le VBF améliore son efficacité énergétique en sélectionnant des nœuds plus souhaitables, en particulier pour les réseaux denses

### **7.1.2 Protocole traitent de l'équilibrage énergétique :**

Ces protocoles impliquent un équilibrage énergétique et garantissent que certains nœuds du réseau ne sont pas surchargés en raison du transfert fréquent des données. En effet, les nœuds surchargés épuisent leur batterie et meurent rapidement. La mort de tels nœuds interrompt la transmission fiable des données à la surface. En général, les nœuds proches de la surface de l'eau sont surchargés, car ils sont fortement impliqués dans le routage des données en raison de la proximité de la surface d'eau.

### **Le protocole FBR :**

Le protocole FBR (Focused Beam Routing) est adapté aux réseaux contenant à la fois les nœuds statiques et les nœuds mobiles. Un nœud source doit connaître sa propre position et la position de sa destination finale, mais pas des autres nœuds [30,31]. Pour illustrer se protocole de routage, on voit sur la figure II.5 un réseau de nœuds répartis de manière arbitraire sur une zone donnée. Supposons que le nœud A va transmettre un message vers

le nœud B. premièrement le nœud A diffuse un paquet RTS (Request To Send) à ses nœuds voisins.

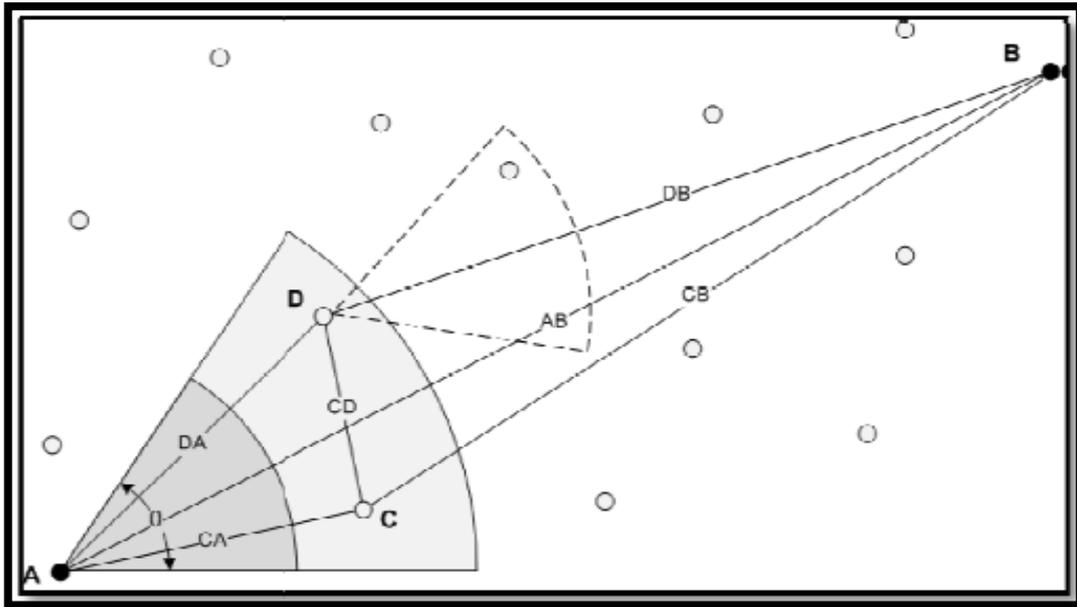


Figure II.5 Illustration du protocole de routage FBR

Le system proposé utilise différents niveaux de puissance d'émission de transmission afin de minimiser la consommation d'énergie. Les niveaux de puissance d'émission ont une plage de  $P_1$  à  $P_n$  et chaque niveau de puissance lui correspond un rayon de transmission  $d_n$ . Les rayons de transmission est la zone à l'intérieur d'un cône d'angle émanant de la source vers la destination.

Revenons à notre exemple tout les nœuds qui reçoivent le paquet RTS, calcule sa position par rapport à l'angle du cône de transmission pour connaitre si sont des candidats au relais. Les nœuds candidats sont ceux situé dans un cône d'angle  $\pm\theta/2$  émanant de l'émetteur vers la destination finale. Les nœuds existant dans le rayon de transmission répondent avec un paquet CTS (Clear To Send). Dans notre exemple, il n'existe pas un nœud dans le cône pouvant être atteint au niveau de puissance de transmission  $P_1$ . Il augmente maintenant la puissance de transmission vers  $P_2$  et envoie un nouveau paquet RST.

En général, un nœud émetteur continuera à augmenter la puissance jusqu'à atteindre quelqu'un ou jusqu'à ce que tout les niveaux des puissances soient épuisés. S'il ne peut atteindre personne au niveau maximal  $P_n$ , l'émetteur déplacera son cône et commencera à chercher des relais candidats à gauche et à droite du cône principal. Cette stratégie privilégiée les chemins avec un minimum de zigzag tout en garantissant que tout les chemins possibles seront recherchés. Alternativement, un nœud peut d'abord recherche dans le voisinage de  $d_1$  en déplaçant son cône puis décider d'augmenter la puissance nécessaire pour avancer dans la distance.

### Le protocole HH-VBF :

La nécessité de surmonter deux problèmes rencontrés par le protocole VBF, à savoir un faible taux de transmission de données dans des réseaux clairsemés et une sensibilité au rayon de routage, le HH-VBF (VBF saut par saut) a été proposée [29]. HH-VBF forme le canal de routage dans un mode saut par saut, améliorant le rapport de livraison de paquets de manière significative. Bien que basé sur le même concept de vecteur de routage en VBF, au lieu d'utiliser un seul canal virtuel de la source à la station de base, il définit un canal virtuel différent autour du vecteur per-hop de chaque redirecteur à la station de base. De cette manière, chaque nœud peut prendre de manière adaptative des décisions de transfert de paquets en fonction de l'emplacement actuel.

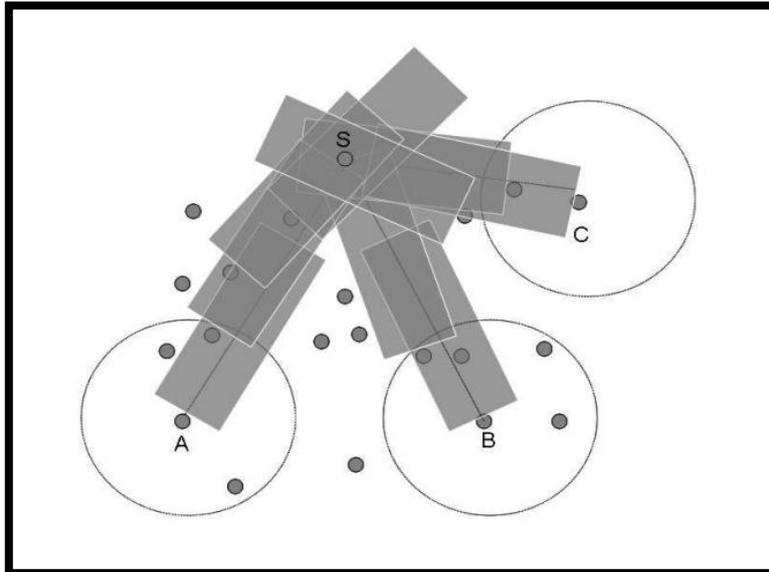


Figure II.6 Principe du protocole HH-VBF pour les RCSF-SMs

### **Avantage:**

Chaque nœud ayant son propre canal de routage, le rayon maximal du canal est la plage de transmission. En d'autres termes, il n'est pas nécessaire d'augmenter le rayon de transmission au-delà de la portée afin d'améliorer les performances de routage.

Dans les réseaux clairsemés, bien que le nombre de nœuds éligibles puisse être petit, le HH-VBF peut trouver un chemin de transmission de données tant qu'il en existe un dans le réseau.

### **Vue d'ensemble du protocole**

Dans HH-VBF, le canal virtuel de routage est redéfini pour être un canal virtuel par saut, au lieu de tuyau unique de la source (A ou B) au station de base Z. Lorsqu'un nœud E reçoit un paquet de la source A ou d'un émetteur D, il calcule le vecteur de l'expéditeur au station de base. De cette manière, le tuyau de transfert change à chaque saut. Après un récepteur calcule le vecteur de son expéditeur au récepteur, il calcule sa distance à celle du vecteur. Si cette distance est inférieure au seuil prédéfini, il est alors possible de transférer le paquet, et il est appelé un expéditeur candidat pour le paquet.

Le réseau ne contient pas de nœuds, par exemple, il existe des «vides» dans le réseau, Même un algorithme d'auto-adaptation peut ne pas être en mesure de router les paquets. Dans ce cas, le transitaire est incapable d'atteindre un nœud autre que le saut précédent. Dans HH-VBF, lorsqu'un nœud reçoit un paquet, il le conserve d'abord pendant un certain temps proportionnelle à son facteur de désirabilité (similaire à VBF). Le nœud avec le plus petit facteur de désir envoie le paquet en premier. Cependant, chaque nœud du voisinage peut entendre le même paquet plusieurs fois. HH-VBF autorise chaque nœud à entendre le

doublon transmissions de paquets pour contrôler le transfert de ce paquet. Ainsi, le nœud calcule ses distances aux différents vecteurs du paquet en avant au station de base.

### **Performance HH-VBF :**

Afin d'évaluer la performance de HH-VBF, les mesures suivantes ont été utilisées:

1. Taux de réussite qui est défini comme le rapport du nombre de paquets avec succès Reçu par le récepteur au nombre de paquets générés par la source.
2. Le coût de l'énergie, mesuré par la consommation totale d'énergie de tous les nœuds du réseau.
3. La taxe sur l'énergie définie comme la consommation moyenne d'énergie pour chaque Paquet reçu.

Selon les simulations, les conclusions suivantes sont résumées:

- a. Il existe plus de chemins pour la transmission des données dans les réseaux fragmentés par rapport au protocole VBF.
- b. Le coût de l'énergie est élevé.
- c. En augmentant la densité de nœuds, le taux de réussite et la consommation d'énergie sont augmenté.

## **7.2 Protocole de routage sans localisation :**

### **7.2.1 Protocole traitent la mobilité de nœud :**

#### **Le protocole DBR :**

DBR (Depth-Based Routing) [29] ne nécessite pas d'informations dimensionnelles complètes sur l'emplacement. Il gère un dynamique réseau avec une bonne efficacité énergétique et utilise une architecture de réseau à plusieurs stations de base sans introduire des frais supplémentaires. Basé sur les informations de profondeur de chaque capteur, DBR transmet les paquets de données vers la surface d'eau. En outre, un paquet de données a un champ qui enregistre les informations de profondeur de ses dernières expéditeur et est mis à jour à chaque saut.

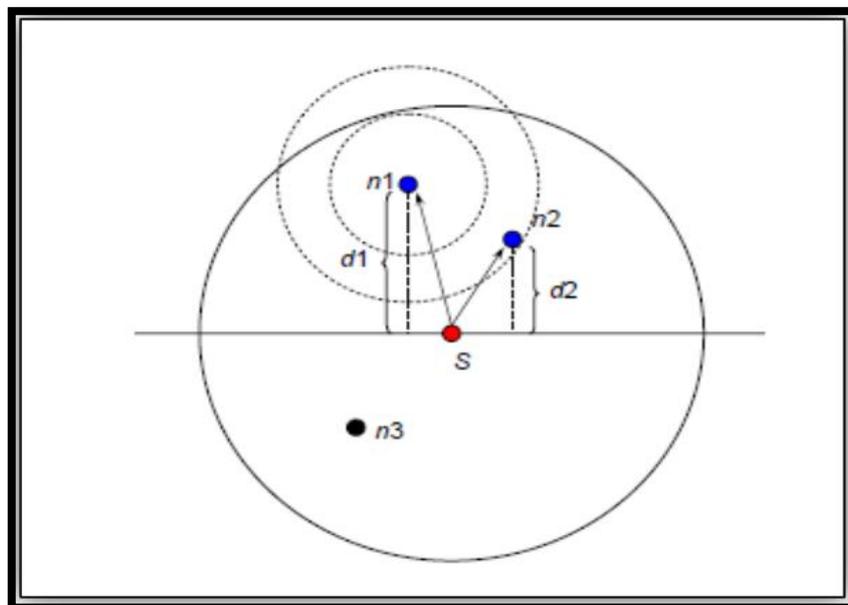


Figure II.7 Sélection du nœud qualifié pour la transmission dans le protocole DBR

### Vue d'ensemble du protocole :

Une architecture de réseau de capteurs sous-marins à station de base multiples peut être un avantage pour DBR, comme le montre la figure II.7, en supposant que chaque nœud connaît ses informations de profondeur, à savoir la distance verticale qui le sépare avec la surface de l'eau. En fait, les informations de profondeur peuvent être facilement obtenues avec un capteur de profondeur. Cependant, obtenir l'information complète sur l'emplacement dimensionnel est assez difficile. Comme, les nœuds de capteurs transmettent des signaux acoustiques (cercle en pointillé rouge) au station de base situés à la surface. A leur tour, ils transmettent des signaux radio (cercle continu bleu) soit à des stations terrestres ou des satellites. Les efforts de DBR sont concentrés sur la livraison d'un paquet d'un nœud source aux stations de base. Plus un paquet se rapproche de sa destination, plus la profondeur des nœuds de transmission est faible. Un nœud de capteur prend sa décision sur le paquet à transmettre de manière distribuée, en fonction de sa propre profondeur et de la profondeur de l'expéditeur précédent. Lors de la réception d'un paquet, un nœud récupère d'abord la profondeur  $d_p$  du saut précédent du paquet, qui est incorporé dans le paquet. Le nœud récepteur compare ensuite sa propre profondeur avec  $d_p$ . En fonction de la distance à la surface de l'eau, ( $d_c < d_p$ ), il se considère comme qualifié candidat pour transmettre le paquet. Dans tous les autres cas, il laisse tomber le paquet, considérant qu'il provient d'un nœud plus proche de la surface. Au cas où plusieurs nœuds qualifiés essaient de diffuser il en résultera un paquet, une collision et une consommation d'énergie élevées. Par conséquent, pour réduire la collision ainsi que la consommation d'énergie, le nombre de nœuds de transmission doit être contrôlé en utilisant une file d'attente prioritaire. De plus, un nœud peut recevoir le même paquet plusieurs fois. En conséquence, il peut envoyer le paquet plusieurs fois. En envoyant le même paquet seulement une fois, cela améliore l'efficacité énergétique.

### Performance DBR :

Afin d'évaluer les performances du DBR, les mesures suivantes ont été utilisées :

1. taux de livraison de paquets qui est défini comme le rapport du nombre de paquets distincts reçus avec succès aux stations de base au nombre total de paquets générés par le nœud source. Bien qu'un paquet puisse atteindre les stations de base plusieurs fois, ces paquets redondants les paquets sont considérés comme un seul paquet distinct.
2. Délai moyen de bout en bout qui représente le temps moyen mis par un paquet à transmettre du nœud source à l'un des stations de base.
3. Consommation totale d'énergie qui représente l'énergie totale consommée en paquets, y compris la transmission, la réception et la consommation d'énergie se diminue de tous nœuds du réseau.

Selon des simulations exécutées avec une seule station de base et dans plusieurs stations de base les conclusions suivantes sont résumées:

- a. un effet similaire à celui de réduire le nombre de nœuds disponibles sur le réseau. Par conséquent, le nombre de nœuds de transmission diminuera. Par conséquent, le rapport de livraison diminue et consomme moins d'énergie.
- b. Le rapport de livraison des paquets, la consommation totale d'énergie et le délai moyen ne change pas beaucoup en ce qui concerne la vitesse du nœud. La raison est que toutes les décisions de routage DBR sont prises localement en fonction des informations de profondeur d'un nœud. Pas de topologie ou de voie les informations doivent être échangées entre les nœuds voisins. Par conséquent, DBR peut gérer correctement les topologies de réseau dynamiques.
- c. De plus, le DBR avec plusieurs stations de base produit un meilleur rapport de livraison de paquets que DBR avec une station de base.

- d. Le délai optimal de bout en bout est obtenu dans les DBR à récepteurs multiples.
- e. La consommation totale d'énergie pour un nombre différent de stations de base est presque la même; c'est suffisamment réduite en raison des techniques de suppression de paquets redondantes qui sont adoptés par DBR.
- f. DBR fonctionne bien pour les réseaux denses, mais le rapport de livraison dans les réseaux clairsemés est relativement faible. Cependant, le DBR avec les paramètres multi-station de base peut permettre un bien meilleur taux de livraison, spécialement pour les réseaux clairsemés

### **Le protocole ICRP :**

La plupart des protocoles de routage, même pour les réseaux de capteurs terrestres ou sous-marins, utilisent des paquets séparés pour les informations de contrôle et la transmission des données. Wei et al. (2007) ont proposé un nouveau protocole réactif appelé ICRP (Information-Carrying Routing Protocol)[32] afin de résoudre le problème de l'acheminement des communications sous-marines. ICRP est utilisé pour un routage économe en énergie, en temps réel et évolutif, dans lequel les paquets de contrôle utilisés pour le partage d'informations sont acheminés par des paquets de données. Plus important encore, il ne nécessite pas d'informations d'état ou de localisation des nœuds et, en outre, seule une petite fraction des nœuds est impliquée dans le processus de routage.

En ICRP, le processus d'établissement de la route est lancé par le nœud source. Lorsqu'un nœud doit envoyer un paquet de données, il vérifie d'abord l'itinéraire existant pour cette destination. Si aucune route n'existe, le paquet de données qui transporte le message de découverte de la route sera diffusé. Tous les nœuds recevant ce paquet le diffuseront également et maintiendront le chemin inverse par lequel ce paquet passe. Enfin, lorsque le nœud de destination reçoit ce paquet de données, il obtient le chemin inverse complet de la source à sa destination. Le nœud de destination peut maintenant utiliser ce chemin pour envoyer l'accusé de réception. Le chemin restera valide pour la transmission du paquet de données jusqu'à ce que le nœud source reçoive les paquets d'accusé de réception. Chaque chemin a une priorité temporelle, qui indique le temps pendant lequel cette route n'est pas utilisée pour la transmission et est appelée durée de vie de la route. Plus la durée de vie d'un itinéraire est longue, plus l'itinéraire peut être valide ou même rester inutilisé. Lorsque la durée de vie dépasse la valeur seuil TIMEOUT, la route devient invalide. Après cela, tous les nœuds utilisant cette route doivent redécouvrir une route lorsque celle-ci est à nouveau requise.

Bien qu'ICRP ait été évalué à la fois par simulation et par déploiement réel, cette expérience physique ne comprenait que trois nœuds de capteurs, qui ne reflétaient pas le trafic de la plupart des scénarios RCSF-SM réels. Le mécanisme de routage de base pose certains problèmes de performances. Tout d'abord, lorsqu'un nœud ne dispose pas d'informations de routage pour une destination spécifiée, il diffuse le paquet de données. Plus d'émissions se traduiront par un gaspillage d'énergie des nœuds, ce qui réduira la durée de vie de l'ensemble du réseau. Deuxièmement, chaque itinéraire a une heure d'expiration, ce qui peut être très sensible pour les taux de livraison. D'une part, si elle est très longue, les nœuds peuvent se déplacer et cette route peut créer une complexité. Si elle est trop courte, elle contribuera à augmenter le nombre d'émissions. De plus, les décisions

## Chapitre II : Le routage dans les RCSFs-SM

de routage sont totalement basées sur les informations de routage mises en cache. Pour les réseaux RCSF-SM où les nœuds se déplacent en permanence à une vitesse de 2 à 3 m / s avec les courants d'eau, dans ce cas, tout nœud intermédiaire de la route peut être indisponible.

### 7.2.2 Protocole traitent de l'équilibrage énergétique :

#### Le protocole EEDBR :

Dans le protocole EEDBR (Energy Efficient Depth Based Routing) lorsqu'un nœud transmet ses données, il prend en compte la profondeur du nœud récepteur et son énergie résiduelle. Lorsqu'un nœud transmet des données, il compare d'abord la profondeur du nœud récepteur avec lui-même, si la profondeur du nœud récepteur est plus petite que l'expéditeur. Puis il vérifie le résidu d'énergie du nœud récepteur. Le nœud avec l'énergie résiduelle la plus élevée et la profondeur minimale chez les voisins est sélectionné comme saut suivant pour la communication. Chaque nœud a des informations sur la profondeur et l'énergie résiduelle de leurs voisins, donc le nœud avec le paramètre le plus approprié est sélectionné pour la communication. EE-DBR n'a pas défini aucun mécanisme pour la communication multi-chemin. Le nœud peut transmettre des données au nœud qui est loin de l'expéditeur et se traduira par une consommation d'énergie plus élevée. De même pas paramètre n'a été pris en compte pour définir le chemin efficace et le plus court vers la station de base [32].

#### Le protocole hydrocast :

Le protocole HydroCast (hydraulic pressure based anycast routing) [33], utilise les informations de profondeur (niveau de pression) des nœuds de capteurs ainsi que la mise en cluster des nœuds. Au cours du processus de formation des clusters, il est pris en compte que les clusters sélectionnés ne contiennent aucun nœud terminal masqué.

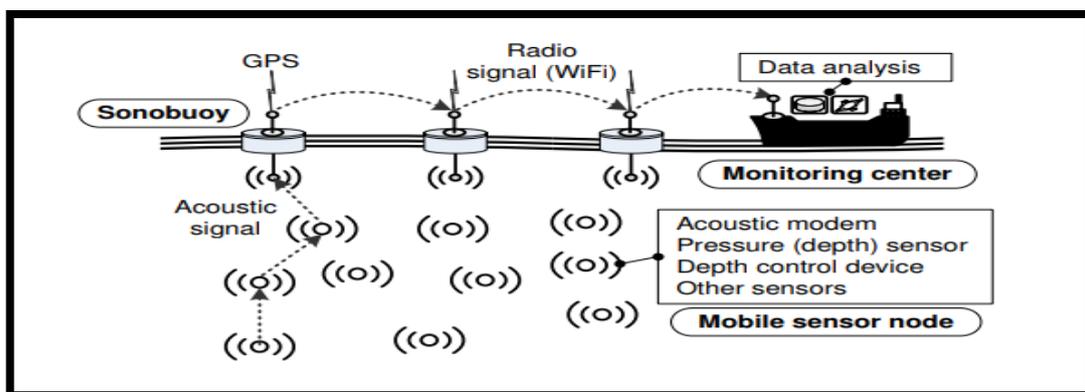


Figure II.8 Exemple de protocole hydrocast

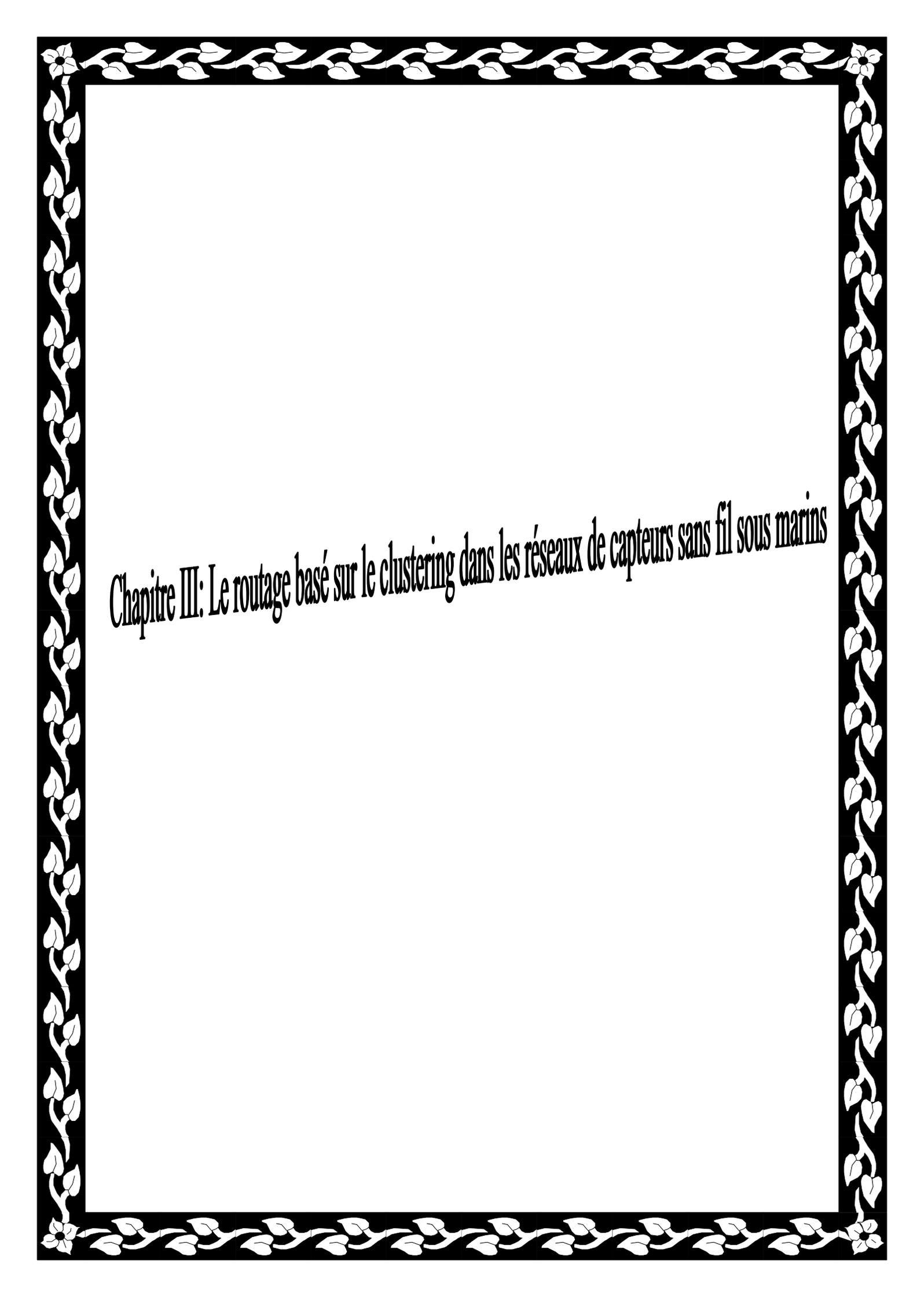
Dans le schéma proposé, chaque nœud calcule des distances par paires et cette information est périodiquement rapportée à la surface pour une localisation hors ligne. Le schéma proposé fonctionne comme suit : Un groupe de nœuds (appelé ensemble de

transmission) est sélectionné en fonction de la progression maximale des nœuds vers la destination. La progression maximale des nœuds est calculée en fonction de la probabilité de livraison des paquets et de la proximité des nœuds par rapport à la destination. Le nœud source sélectionne un nœud dont la progression maximale est atteinte vers la destination. Ensuite, les nœuds, existant dans la zone qui couvre la moitié de la plage du nœud de progression maximale sélectionné, sont sélectionnés pour former un cluster. Les informations sur les nœuds membres du groupe sélectionné sont ensuite ajoutées au paquet de données. Afin de supprimer la transmission des paquets de données redondants, une approche basée sur les priorités est utilisée. Un nœud avec la progression maximale (plus proche de la destination) a la priorité la plus élevée. Par conséquent, le nœud de progression maximale possède le délai d'expiration le plus court pour la transmission. Tous les autres nœuds du groupe suppriment leur transmission à la réception de la transmission d'un nœud de priorité élevée (nœud de progression maximale).

Dans la proposition, un mécanisme local de récupération maximale est introduit. En cas de maximum local, le nœud avec l'état maximum local effectue une inondation limitée. Parmi tous les nœuds, seuls les nœuds existant sur la surface maximale locale participent au processus d'inondation. Les nœuds existant sur la surface sont déterminés en utilisant une méthode de tétraédricisation. La méthode de tétraédricisation indique qu'un nœud non superficiel est un nœud entouré de ses voisins, sinon il est un nœud de surface. De cette manière, après avoir trouvé les nœuds de surface, le paquet est transmis d'un nœud de surface à l'autre nœud de surface, etc. Après quelques itérations, le paquet de données est routé vers un nœud où le mode glouton est restauré.

### **8. Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons décrits la notion du routage après nous avons présentés les défis de routage dans les RCSFs en général et les RCSF-SM en particulier, en suite , nous avons parlés des exigences d'un bon protocole de routage pour un RCSF-SM ,en outre , nous avons cité les classifications des protocoles ,puis nous avons résumé les différents protocoles en deux catégories principaux architecture de réseaux et transmission des données.



*Chapitre III: Le routage basé sur le clustering dans les réseaux de capteurs sans fil sous marins*

# Chapitre III : Le routage basé sur le clustering dans les réseaux de capteurs sans fil sous-marins

---

## **1. Introduction :**

Un ensemble de capteurs sans fil sous marin forme un réseau de contrôle et de surveillance de l'environnement, le nombre de capteurs n'est pas fixé pour le réseau, il peut atteindre des centaines voir des milliers sa dépend de l'application.

Le développement des protocoles de routage d'information dans les RCSF-SM est une contribution pour améliorer les performances et prolonger la durée de vie de réseau.

Beaucoup de défis confrontent ce type de réseau qu'il faut les résoudre et trouver des solutions pour le rendre meilleur. Les défis sont la bande passante limitée, la mobilité des nœuds et la batterie limitée et la difficulté de la recharger.

Le problème de consommation d'énergie représente une obstruction pour le réseau car c'est difficile de conserver l'énergie et il est plus dur de changer la batterie d'un capteur .C'est pour ça les recherches essayent de résoudre se problème avec des protocoles de routage avec évolutif et efficace en terme d'énergie.

Dans ce chapitre, On s'est basé sur le travail présenté dans [11] nous présentons deux algorithmes proposé nommé (SH-EKMC et MH-EKMC) et l' algorithme K-means et une évaluation avec une hypothèse et un modèle d'énergie puis un aboutissement de simulation et observation , après , les simulations pour deux topologie statique et dynamique ,ensuite, une comparaison entre les deux topologies et en finira avec une conclusion.

## **2. Les différentes méthodes de clustering basées sur le partitionnement :**

Dans cette partie, nous allons présenté les différentes techniques de clustering basées sur le partitionnement.

### **K-means (k-moyennes) :**

L'algorithme des k-moyennes est utilisé pour regrouper les éléments d'un ensemble de données en k clusters autour d'un centre de gravité (centroïde). En général on ne connaît pas le nombre de classes que contient l'ensemble de données.

### **K-médianes médianes :**

L'algorithme des k-médianes est similaire à l'algorithme des k-moyennes en utilisant la médiane au lieu de la moyenne. Cet algorithme est souvent confondu avec celui des k-médoïdes (aussi appelé k-médianes discrètes).

Il n'y a aucune formule analytique pour calculer la médiane géométrique exacte à partir d'un ensemble de points. Par conséquent en pratique on cherche à approximer cette médiane.

## Chapitre III : Le routage basé sur le clustering dans les réseaux de capteurs sans fil sous-marins

---

### **K-modes :**

La méthode des k-modes est similaire à celle des k-moyennes mais adaptée pour les objets catégoriques, ce sont des objets qui ne contiennent pas de valeurs numériques mais des chaînes par exemple.

### **K-prototypes :**

Il existe une variante de l'algorithme des k-modes qui s'appelle l'algorithme des k-prototypes, c'est un algorithme de clustering de type k-moyennes pour des objets de types mixtes qui contiennent à la fois des valeurs numériques et des valeurs catégorielles. Dans ce cas, on peut utiliser une fonction de distance qui additionne le résultat des deux fonctions de distances, une pour les valeurs numériques et une pour les valeurs catégorielles.

### **Choix de méthode :**

D'après les recherches l'algorithme des k-moyennes est un algorithme simple et plutôt rapide comparé à d'autres algorithmes de clustering basé sur le partitionnement, et il donne des résultats relativement satisfaisant.

### **3. Algorithme K-means :**

L'algorithme K-means est l'algorithme de classification le plus classique et simple utilisé pour résoudre les problèmes de clustering. Il est basé sur la partition, qui appartient aux méthodes de classification basées sur la distance [34]. 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 (III.1) avec les centres de cluster et répéter ce processus jusqu'à ce que la condition de convergence soit satisfaite.

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

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.

## Chapitre III : Le routage basé sur le clustering dans les réseaux de capteurs sans fil sous-marins

- Avantages :  
Scalabilité : Capacité à traiter les très grandes bases. Seuls les vecteurs des moyennes sont à conserver en mémoire centrale. Complexité linéaire par rapport au nombre d'observations (pas de calcul des distances deux à deux des individus, cf. CAH).
- Inconvénients :  
Mais lenteur quand même parce que nécessité de faire passer plusieurs fois les observations. L'optimisation aboutit à un minimum local de l'inertie intra classes. La solution dépend du choix initial des centres de classes. La solution peut dépendre de l'ordre des individus

### Algorithme particulièrement simple :

#### Entrée :

- K le nombre de cluster à former
- Le Training Set (matrice de données)

#### DEBUT

Choisir aléatoirement K points (une ligne de la matrice de données). Ces points sont les centres des clusters (nommé centroïd).

#### REPETER

Affecter chaque point (élément de la matrice de donnée) au groupe dont il est le plus proche au son centre

Recalculer le centre de chaque cluster et modifier le centroïde

JUSQU'À CONVERGENCE

OU (stabilisation de l'inertie totale de la population)

FIN ALGORITHME

#### Exemple :

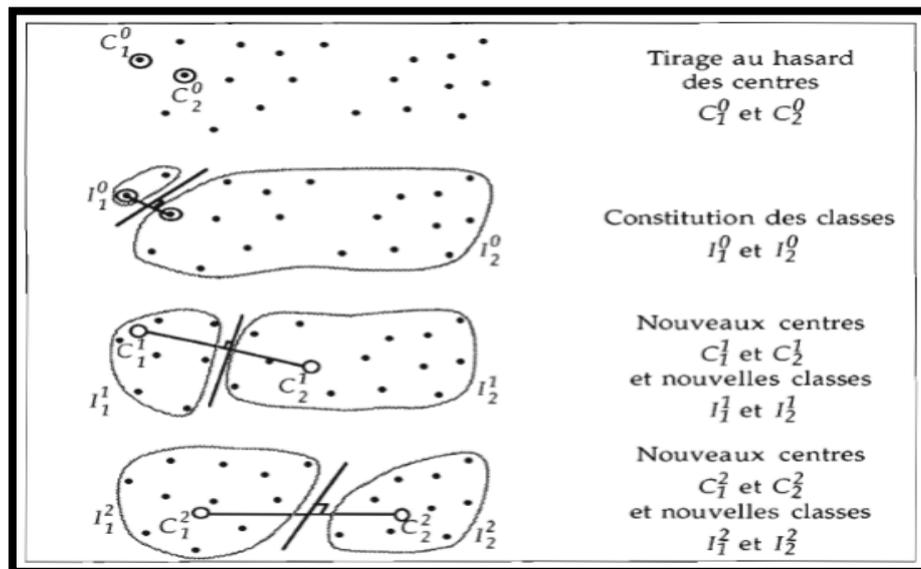


Figure III.1 Exemple d'algorithme K-means

### **4. Présentation des algorithmes :**

Dans cette section, nous allons exposer deux algorithmes basés sur le K-means clustering. Efficace en terme de durée de vie et d'énergie. Nos deux propositions SH-EKMC (Single Hop Energy efficient K-means Clustering) et MH-EKMC (Multiple Hop Energy efficient K-means Clustering) sont adaptés à l'environnement aquatique i.e. pour des topologies statiques et dynamiques. En plus le critère de la centralité est pris en considération dans le choix des CHs (Cluster Head) au début de la simulation.

#### **4.1 Algorithm SH-EKMC (Single Hop Energy efficient K-means Clustering):**

SH-EKMC est composé de trois étapes. La première étape la méthode de classification k-means est utilisée pour former les clusters, chaque groupe s'appelle un cluster. Dans les clusters, le nombre de nœuds est différent mais ils ont la même quantité d'énergie. La deuxième phase, le capteur le plus proche au centre de chaque cluster sera considéré comme CH dans la première itération mais dans les itérations suivantes le choix de CH sera basé sur l'énergie résiduelle de chaque nœud, le nœud qui aura l'énergie plus que les autres sera choisi comme un CH. La troisième étape, chaque nœud dans le même cluster communique directement avec le CH d'après un lien pour transmettre ces données. Le CH reçoit les données de chaque capteur et puis il fait l'agrégation après le traitement ensuite il transmet les données à la station de base avec un seul lien direct du CH à la station de base. Les CHs sont responsables de communication entre eux, et la coordination entre les autres nœuds [11].

#### **4.2 Algorithm MH-EKMC (multiple Hop Energy efficient K-means Clustering):**

Dans cet algorithme, l'approche par clustering k-means est utilisée pour former des clusters. Cet algorithme comporte trois phases: (1) phase de formation de cluster (2) sélection de la tête de cluster (3) phase de 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. Au cours de cette phase, on calcule 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. Évaluez maintenant les performances en termes de consommation totale d'énergie, de premier nœud mort, de nombre de nœuds morts et de nombre de nœuds actifs. Cet algorithme montre de meilleurs résultats que la transmission directe. [11]

# Chapitre III : Le routage basé sur le clustering dans les réseaux de capteurs sans fil sous-marins

---

## **5. Evaluation :**

Dans cette partie, nous évaluons la méthode de travail des algorithmes proposé au sein de simulation sous Matlab .au premier part, Nous présentons la méthodologie de simulation et les mesure de performance .ensuite, nous définissons le model d'énergie utilisé. Puis nous évaluons, les performances des algorithmes proposés avec la mobilité des nœuds dans le réseau.

### **5.1 HYPOTHESE :**

1-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. Le temps dépend de l'état du réseau (fluide ou congestionné). De même, les messages ne sont pas altérés ou modifiés durant leur transmission.

2- initialement, Tous les nœuds ont les mêmes capacités en termes de mémoire.

3-les nœuds capteurs sont dispersés de manière aléatoire

4-Initialement, tous les nœuds capteurs ont la même quantité d'énergie.

5-l'énergie, la puissance de calcule et la mémoire de station de base sont illimité.

6-le nœud capteur peut prendre le rôle de CH ou bien la détection et le contrôle des paramètres de l'environnement et les transmettre à la station de base

### **5.2 Modèle d'énergie :**

En raison des caractéristiques du canal acoustique sous-marin, le modèle d'énergie de réseau de capteurs sans fil sous-marin est assez différent du modèle d'énergie de réseau de capteurs terrestre. Nous utilisons un modèle d'énergie qui a été proposé particulièrement pour les réseaux acoustiques sous-marins [35]. 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.2) :

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

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.3) :

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

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

## Chapitre III : Le routage basé sur le clustering dans les réseaux de capteurs sans fil sous-marins

---

### **5.3 Aboutissement de simulation et observation:**

Les algorithmes proposés sont testés sur un réseau de 100 nœuds. Les nœuds capteurs sont déployés aléatoirement dans une zone de  $(100 \times 100 \times 100) \text{ m}^3$  ; la station de base est située au point de coordonnées  $(50, 50, 150) \text{ m}^3$ ; 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 :

Paramètre	Valeur
Taille du réseau	$(100, 100, 100) \text{ m}^3$
Énergie initiale	10J
Densité des nœuds	100 nœuds
Coordonnées de la station de base	$(50, 50, 150) \text{ m}$

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.

$$E(i)_{consom\acute{e}} = E(i)_{initial} - E(i)_{residual} \quad (\text{III.4})$$

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

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

#### **5.3.1 Simulation I topologie statique :**

Les deux algorithmes proposés avec la transmission directe sont présentés à la figure III.2 et figure III.3, on constate que les résultats de consommation d'énergie de MH-EKMC et SH-EMKC est moins que la transmission en mode directe à cause des grandes distances entre le capteur et la station de base. Le MH-EMKC consomme peu d'énergie que SH-EMKC à cause de la transmission multi-saut il évite les longues transmissions effectuées dans SH-EKMC entre le CH et la station de base. Le SH-EMKC consomme plus d'énergie que MH-EMKC et moins d'énergie que la transmission en mode directe.

## Chapitre III : Le routage basé sur le clustering dans les réseaux de capteurs sans fil sous-marins

---

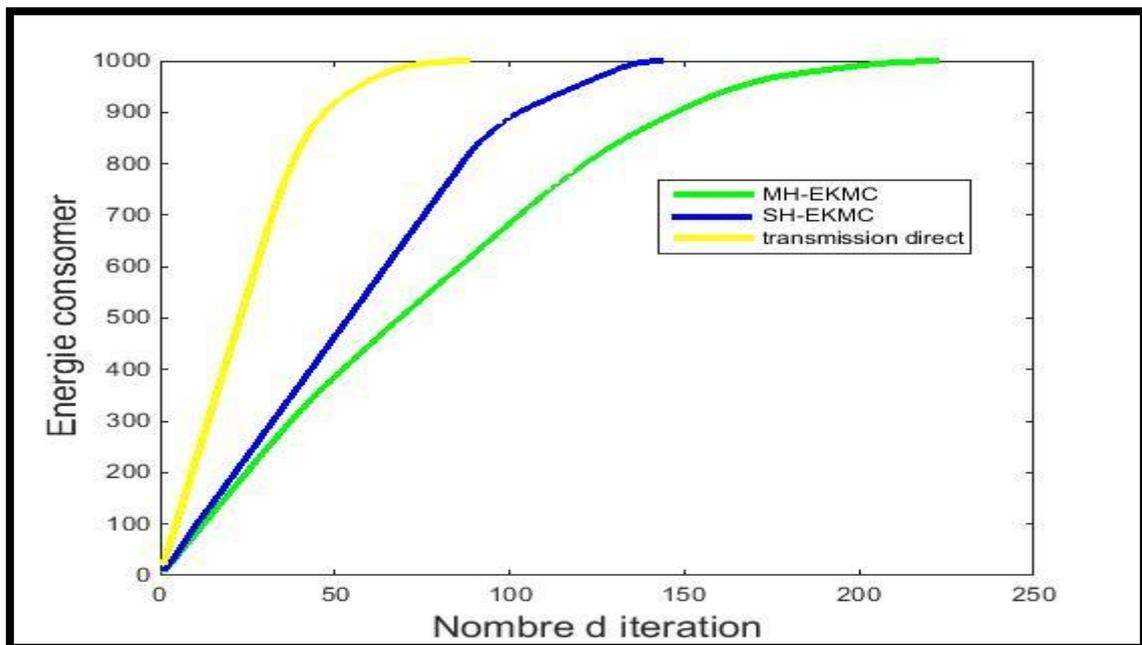


Figure III.2 énergie consommé par chaque itération (topologie statique)

L'énergie résiduelle dans la transmission en mode directe se termine rapidement par rapport au SH-EKMC ET MH-EKMC .le SH-EKMC est moins rapide en consommation d'énergie résiduelle. Le MH-EKMC consomme l'énergie lentement par rapport au SH-EKMC et la transmission en mode directe.

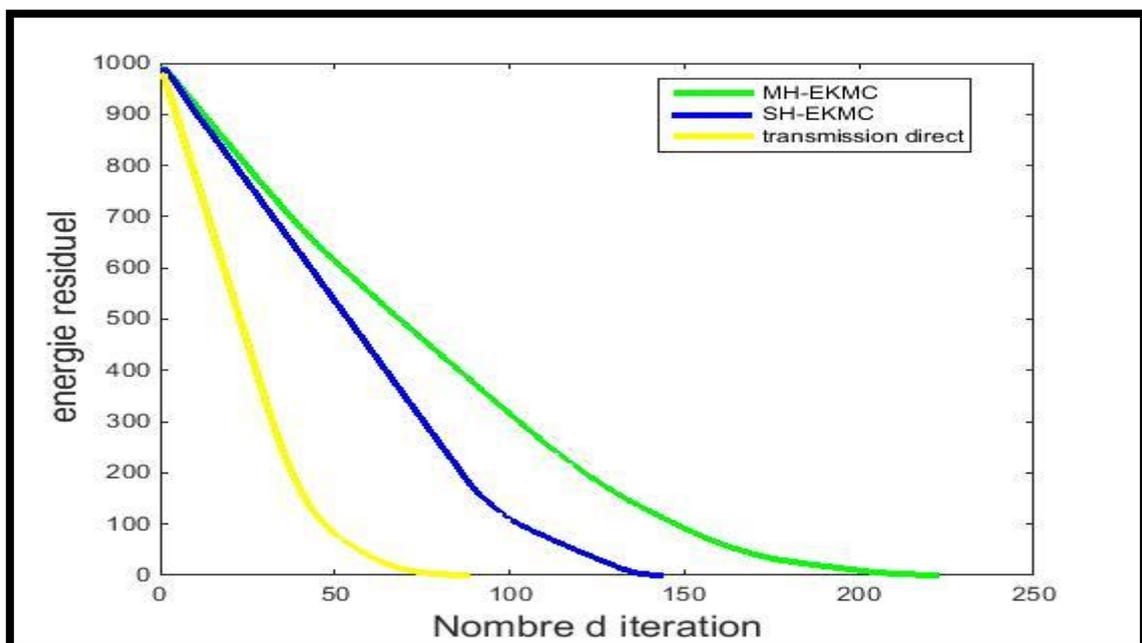


Figure III.3 énergie résiduel par chaque itération (topologie statique)

D'après les résultats illustré dans la figure III.4 et figure III.5. Nous pouvons voir que la durée de vie en mode transmission directe est largement petite par rapporte au SH-EKMC et

## Chapitre III : Le routage basé sur le clustering dans les réseaux de capteurs sans fil sous-marins

MH-EKMC. Et le MH-EKMC est plus efficace en termes de durée de vie de réseau par rapport au SH-EKMC.

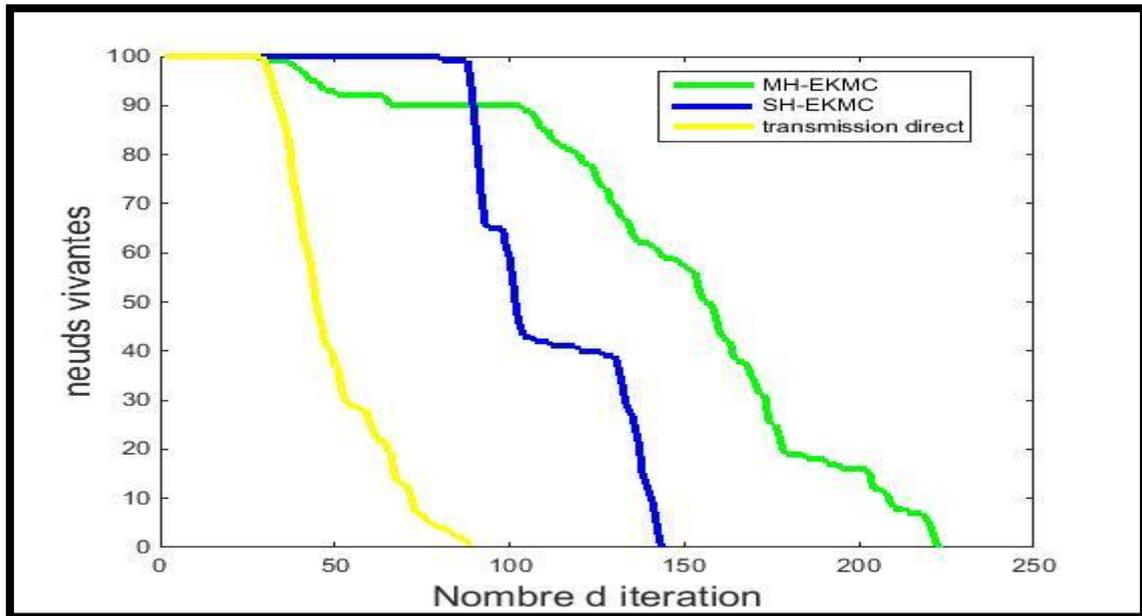


Figure III.4 nombres des nœuds vivants par chaque itération

Dans le mode transmission directe le premier nœud meurt après 30 itérations mais dans SH-EKMC et MH-EKMC le premier nœud meurt respectivement après 80 et 29 itérations. Nous remarquons aussi que le dernier nœud meurt dans l'algorithme de transmission directe après 79 itérations tandis que dans SH-EKMC et MH-EKMC le dernier nœud meurt respectivement après 142 et 220 itérations. Donc le nombre des nœuds vivants diminue rapidement pour le mode transmission directe et SH-EKMC contrairement au MH-EKMC.

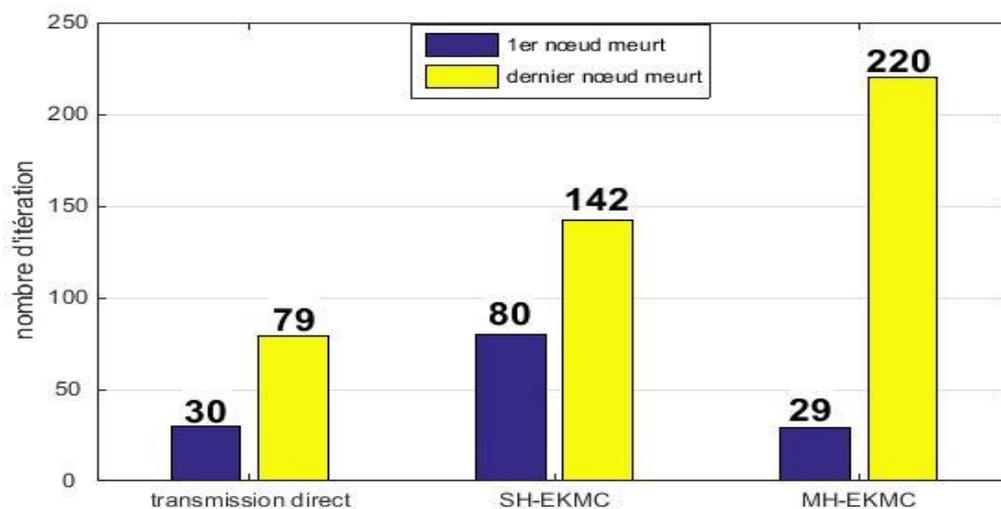


Figure III.5 durée de vie de premier nœud et de dernier nœud

## Chapitre III : Le routage basé sur le clustering dans les réseaux de capteurs sans fil sous-marins

### 5.3.2 Simulation II topologie dynamique :

Les RCSF-SM sont des RCSF mobiles par nature. Lorsqu'il y a des courants d'eau, les capteurs sous marins peuvent se déplacer et subir des modifications dynamiques de la topologie du réseau. Faire face aux changements dynamiques des réseaux sous-marins est une tâche ardue. Par conséquent, pour qu'on puisse se rapprocher de la réalité de cet environnement, nous avons introduit la mobilité des nœuds dans les conditions de simulation.

Pour le même nombre de nœuds dans le réseau d'après l'observation des résultats qui sont illustrés dans figure III.6, figure III.7, figure III.8 et figure III.9. On constate que les résultats de consommation d'énergie de MH-EKMC et SH-EMKC est moins que la transmission en mode directe a cause des grandes distance entre le capteur et la station de base .le MH-EMKC consomme peu d'énergie que SH-EMKC a cause de transmission multi saut il évite les longue transmissions effectuer dans SH-EKMC entre le CH et la station de base. Le SH-EMKC consomme plus d'énergie que MH-EMKC et moins d'énergie que la transmission en mode directe.

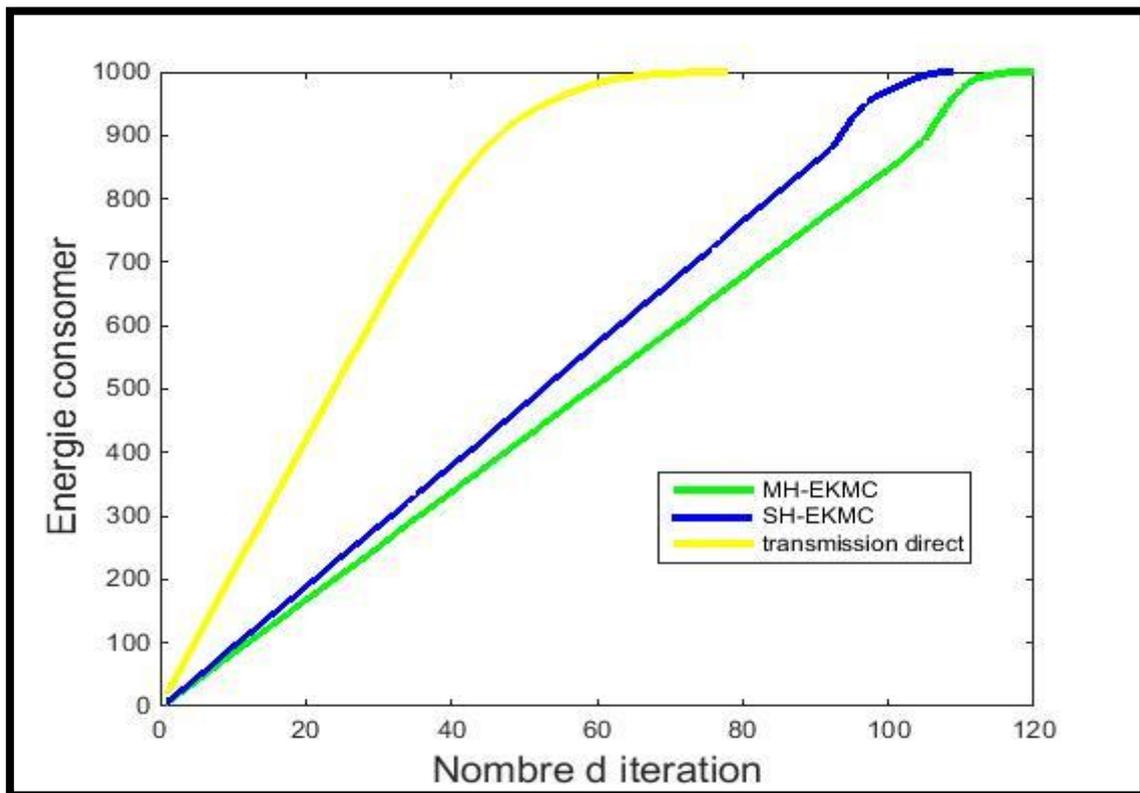


Figure III.6 énergie consommé par chaque itération (topologie dynamique)

L'énergie résiduelle dans la transmission en mode directe se termine rapidement par rapport au SH-EKMC ET MH-EKMC .le SH-EKMC est moins rapide en consommation d'énergie résiduelle. Le MH-EKMC consomme l'énergie lentement par rapport au SH-EKMC et la transmission en mode directe.

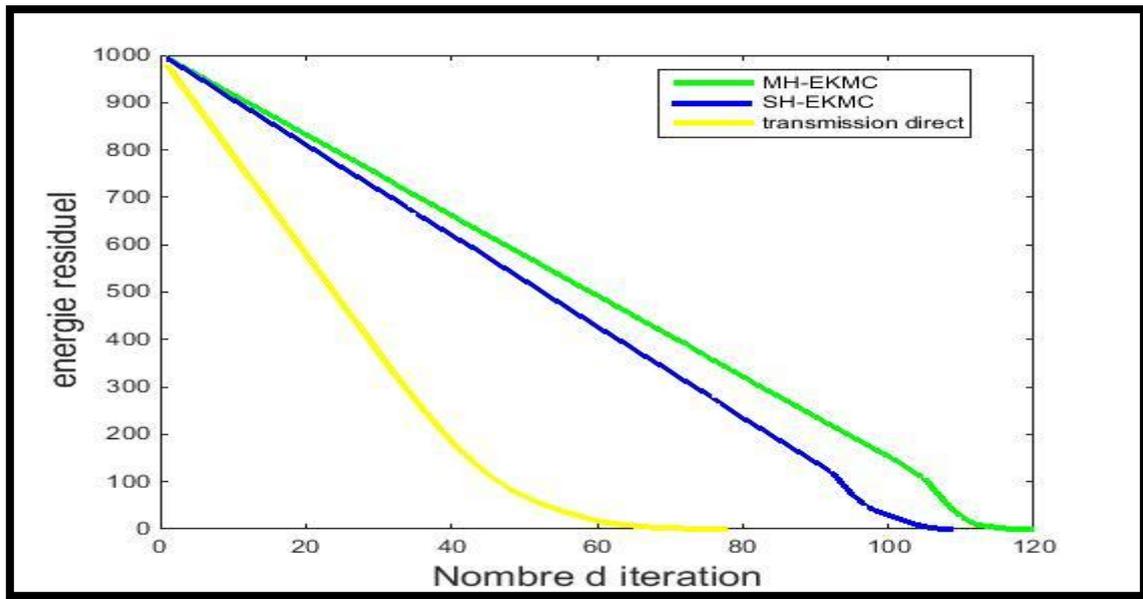


Figure III.7 énergie résiduel par chaque itération (topologie dynamique)

Nous pouvons voir aussi que la durée de vie en mode transmission direct est largement plus petite par rapport au SH-EKMC et MH-EKMC. Et le MH-EKMC est plus efficace en termes de durée de vie de réseau par rapport au SH-EKMC.

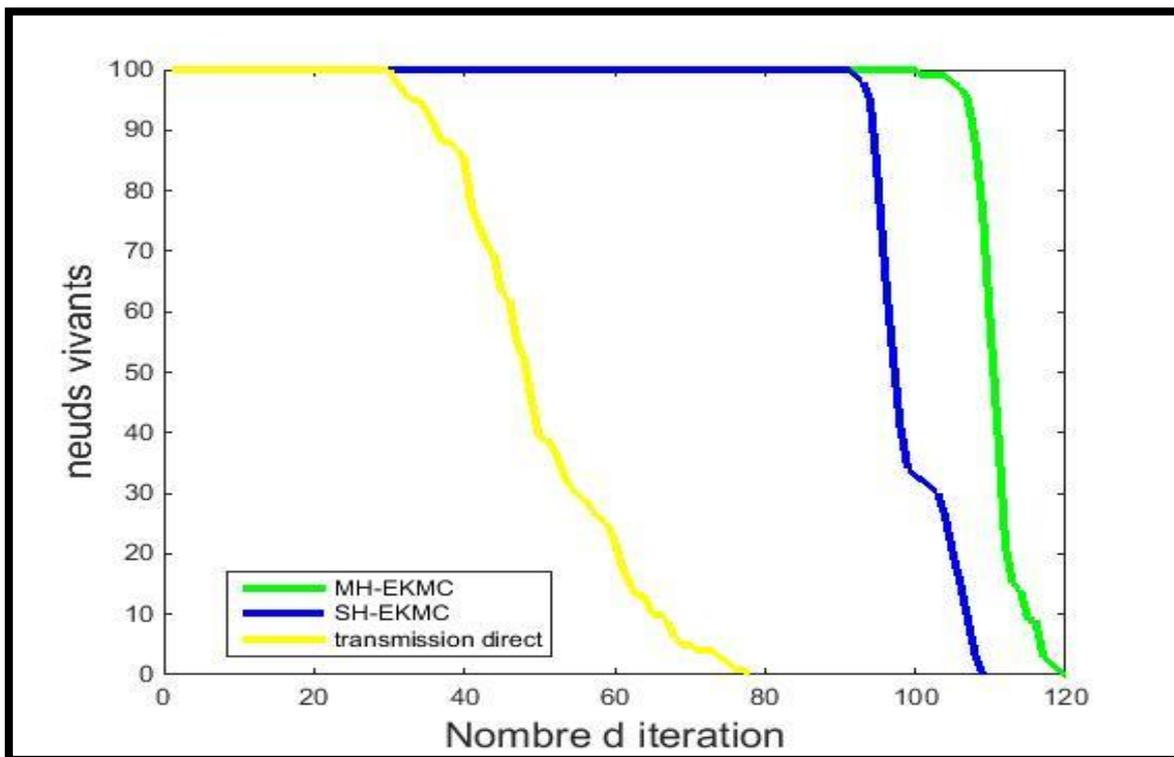


Figure III.8 nombres des nœuds vivants par chaque itération (topologie dynamique)

## Chapitre III : Le routage basé sur le clustering dans les réseaux de capteurs sans fil sous-marins

---

On a pu traduire les résultats dans le tableau suivant :

	Mode dynamique		
	Durée de vie de réseaux	Consommation d'énergie	Energie résiduelle
Transmission directe	Faible	Elevé	Faible
SH-EKMC	Moyen	Moyen	Moyen
MH-EKMC	Elevé	Faible	Elevé

Tableau III.2 comparaison entre les algorithmes

### **5.3.3 Comparaison entre topologie statique et topologie dynamique :**

	Consommation d'énergie	Durée de vie de réseau	Algorithme choisi
Topologie statique	Faible	Elevé	MH-EKMC
Topologie dynamique	Elevé	Faible	MH-EKMC

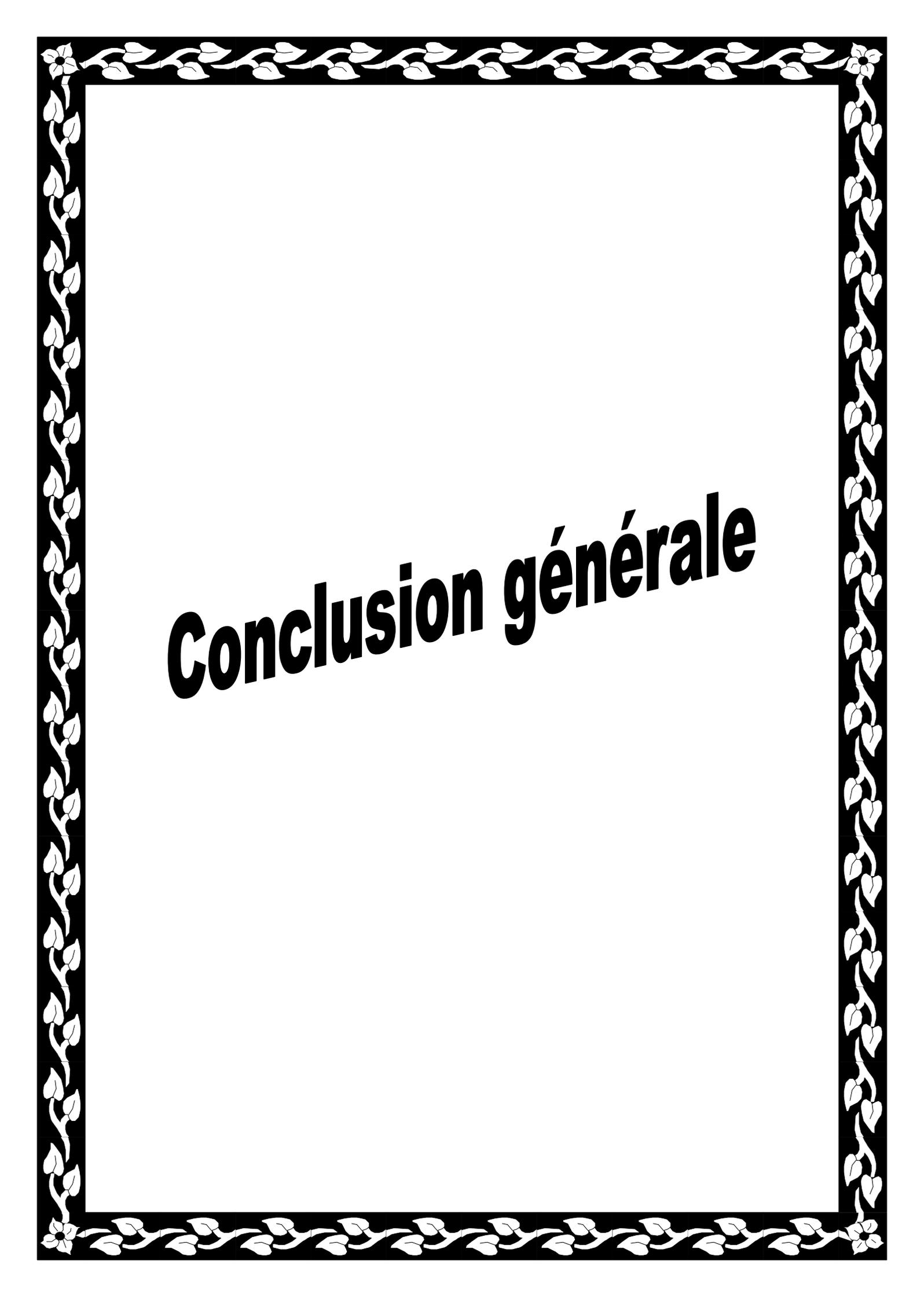
Tableau III.3 Comparaison entre les topologies

## **6. Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'algorithme k-means, c'est un algorithme de classification utilisé pour résoudre les problèmes de clustering. Nous avons aussi décrit deux algorithmes de routage, constaté SH-EKMC et MH-EKMC dédiés aux réseaux de capteur sans fil sous marin. Ils sont basés sur l'algorithme de classification k-means. Le routage des données dans les deux algorithmes proposés se réalise à deux niveaux : i) lorsque les données sont acheminées à l'intérieur du cluster (intra cluster). ii) lorsque les données sont acheminées à la station de base (inter cluster). La différence entre SH-EKMC et MH-EKMC réside dans les processus de transmission des données vers la station de base. Dans la partie simulation, nous avons testé l'impact d'une topologie statique et une topologie dynamique, nous avons fait une comparaison entre eux.

Les résultats de notre simulation montre que :

- SH-EKMC et MH-EKMC présentent des performances supérieures par rapport à transmissions directes.
- MH-EKMC est une amélioration de SH-EKMC.
- Topologie dynamique consomme plus d'énergie que la topologie statique.
- Topologie statique à une longue durée de vie par rapport la topologie dynamique



# **Conclusion générale**

### **Conclusion générale :**

Les réseaux de capteurs sous-marins constituent un axe de recherche très fertile et peuvent être appliqués dans plusieurs domaines différents. Cependant, il reste encore des nombreux problèmes à résoudre dans ce domaine afin de pouvoir les utiliser dans les conditions réelles. L'un des problèmes qu'on peut rencontrer dans ce genre de réseau c'est la Conservation de l'énergie.

Le routage dans ce réseau est une thématique complexe, étant donnée les propriétés particulières de ce type de réseaux et représente un problème majeur pour les capteurs sous marins, en raison de 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. Un protocole de routage doit prendre en compte les contraintes matérielles d'un capteur : une batterie faible, une capacité de stockage modeste, une bande passante faible, etc.

Dans ce manuscrit, nous avons commencé par présenter 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. Après avoir répertorié les principales techniques de transmission en milieu marin tout en indiquant leurs limites, nous avons montré qu'il est possible de transmettre en milieu aquatique en utilisant les ondes acoustiques.

Nous avons, par la suite menés une étude sur la fonctionnalité de ces réseaux qui est le routage de données à partir des nœuds sources vers une station de base (sink), qui s'occupe des traitements spécifiques aux applications supportées.

Ensuite, nous avons étudié le protocole de routage basé sur le clustering par la méthode k-means. En utilisant ce dernier, les clusters ont une meilleure organisation où la distance moyenne de chaque nœud du cluster est minimisée. L'algorithme k-means est plus efficace pour équilibrer la charge du réseau et distribuer les nœuds entre les clusters. Nous avons proposé deux algorithmes basées sur le k-means, SH-EKMC et MH-EKMC différent dans leur mode de transmission des données à la station de base. Une étude comparative a été effectuée entre ces deux algorithmes, ses deux algorithmes proposés ont été simulés pour des réseaux statiques et dynamiques, les résultats obtenus ont prouvé que le deuxième algorithme proposé appelé MH-EKMC offre de bonnes performances en terme de consommation énergétique et des nombres de nœuds restant en vie dans le réseau.

Il n'est pas possible de conclure qu'une technique de routage particulière est la meilleure pour tous les scénarios car chacun d'eux présente des forces et des faiblesses bien définies et est adapté à des situations spécifiques.

### **Perspectives :**

Ce travail ouvre de nombreuses et nouvelles perspectives dans le domaine des communications dans les milieux aquatiques :

- ✓ Etudier l'influence de la vitesse sur la performance de différents protocoles.
- ✓ Etudier l'influence de changement de position de la station de base.
- ✓ Etudier l'Impact de la densité des nœuds.
- ✓ Prendre en compte d'autres métriques comme l'étude de transfert fiable des données, le taux de perte...

Chercher d'autres techniques de routage pour minimiser la consommation d'énergie et maximiser la durée de vie des nœuds.

### Référence :

- [1] G. Antoine, Ordonnancement d'activité dans les réseaux de capteurs : l'exemple de la couverture de surface, Thèse de doctorat. Université des sciences et technologies de Lille,, 2007.
- [2] K. Fellah, B. Kechar, and Y. Lebbah, Thèse doctorat, Techniques d'optimisation de la consommation d'énergie électrique dans les réseaux de capteurs sans fil, Université d'Oran EsSénia, 2007.
- [3] I. Akyildiz and all, Wireless sensor networks : a survey, BWNL, SECE, GIT, Atlanta, USA, 2001.
- [4] [[https://moodle.utc.fr/file.php/498/SupportWeb/co/Module\\_RCSF\\_9.html](https://moodle.utc.fr/file.php/498/SupportWeb/co/Module_RCSF_9.html)] consulté le 1 mars 2019.
- [5] C. Abdellatif, Thèse doctorat, Architecture de réseau de capteurs pour la surveillance de grands systèmes physiques à mobilité cyclique, Université de lorraine, 2014.
- [6] D. Ibrahim, Thèse doctorat, Optimisation de la consommation d'énergie par la prise en compte de la redondance de mesure dans les réseaux de capteurs, Université de Toulouse, 2014
- [7] L. K. Alazzawi, A. M. Elkateeb, A. Ramesh, and W. Aljuhar, "Scalability Analysis for Wireless Sensor Networks Routing Protocols," Advanced Information Networking and Applications Workshops, International Conference on, vol. 0, pp. 139–144, 2008.
- [8] D. SOUZA, L. Moreira, VOGT, Harald, et BEIGL, Michael. A survey on fault tolerance in wireless sensor networks. Sap research, braunschweig, germany, 2007
- [9] I.F. Akyildiz, E.P. Stuntebeck, Wireless underground sensor networks : research challenges, Ad-Hoc Networks 4 (2006) 669–686.
- [10] M. Li, Y. Liu, Underground structure monitoring with wireless sensor networks, in : Proceedings of the IPSN, Cambridge, MA, 2007.
- [11] S. SOUIKI, Thèse doctorat, PROTOCOLES DE ROUTAGE PERFORMANTS DEDIES AUX RESEAUX DE CAPTEURS SANS FIL SOUS L'EAU, université de Tlemcen, 2015
- [12] A. Bouzoualegh, " modelisation et simulation des caracteristiques physiques d'un systeme de communication aquatique sans fil ", Tunisie, SETIT 2007.
- [13] F. Schill, R. Zimmer, J. Trumpf, "Visible Spectrum Optical Communication and Distance Sensing for Underwater Applications", National ICT Australia Ltd, ACRA 2004.
- [14] 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.

## Références

---

- [15] 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.
- [16] Dr. Ian F. Akyildiz, D. Pompili et T. Melodia [Underwater Acoustic Sensor Networks (UW-ASN)]
- [17] Y. Kularia, S. Kohli and P.P. Bhattacharya [ANALYSIS OF ACOUSTIC CHANNEL CHARACTERISTICS FOR UNDERWATER WIRELESS SENSOR NETWORKS]
- [18] I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, Underwater acoustic sensor networks: Research challenges, *Ad Hoc Networks*, pp. 257–279, 2005.
- [19] S. EL-Rabaie<sup>1</sup>, D. Nabil, R. Mahmoud and M. Alsharqawy<sup>2</sup>, Underwater Wireless Sensor Networks (UWSN), Architecture, Routing Protocols, Simulation and Modeling Tools, Localization, Security Issues and Some Novel Trends, Faculty of Electronic Engineering, Dept. of Communication Engineering, 32952 Menouf, EGYPT <sup>2</sup>Egyptian Radio & Television Union (ERTU), Cairo, EGYPT
- [20] B. Romdhani. Exploitation de l'hétérogénéité des réseaux de capteurs et d'actionneurs dans la conception des protocoles d'auto-organisation et de routage. Autre. INSA de Lyon, 2012. Français.
- [21] S.K. Singh, M.P. Singh<sup>2</sup>, 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.
- [22] A.B. Andrabi<sup>1</sup>, M. Kumar, “A comparative study *International Journal of Computer Science & Communication (IJCSC)*, Volume 8, Issue 1, pp. 27-29, March, 2017.
- [23] S. Vhatkar, M. Atique, “Design Issues, Characteristics and Challenges in Routing Protocols for Wireless and Workshop on Emerging Trends in Technology 2013, pp. 42-47, 2013.
- [24] M. Ayaz, I. Baig, A. Azween, I. Faye. “A survey on routing techniques in underwater wireless sensor networks”, Elsevier Ltd, Vol.34, No 1, pp. 1908-1927, 2011.
- [25] S. Souiki<sup>1</sup>, M. Feham<sup>1</sup>, M. Feham<sup>1</sup>, N. Labraoui<sup>1</sup>, “GEOGRAPHIC ROUTING PROTOCOLS FOR UNDERWATER WIRELESS SENSOR NETWORKS: A SURVEY”, *International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN)* Vol. 6, No. 1, February 2014
- [26] H. Kour. HIERARCHICAL ROUTING PROTOCOLS IN WIRELESS SENSOR NETWORKS. *International Journal of Information Technology and Knowledge Management* December 2012, Volume 6, No. 1, pp. 47-52
- [27] F. Zhao, Leonidas J. Guibas, “WSNs, An Information Processing Approach”, Morgan Kaufmann Publishers, Elsevier Inc 2004.

## Références

---

- [28] M.Ayaz , I.Baig,A.Abdullah, I.Faye ; « A Survey On Routing Techniques In Underwater Wireless Sensor Networks»; University Technology Petronas, Malaysia; 2011.
- [29] U.Lee, P.Wang, Y.Noh, L.F.M.Vieira, M.Gerla, J-H.Cui, “ Pressure Routing for Underwater Sensor Networks”, IEEE INFOCOM, pp. 1-9, 2010
- [30] J. M. Jornet, M. Stojanovic, and M. Zorzi. “Focused beam routing protocol for underwater acoustic networks”, in Proc ACM WUWNet, San Francisco, California, USA, Sept 2008.
- [31] C.Giantsis & Anastasios A. Economides. Comparison of Routing Protocols for Underwater Sensor Networks: A Survey. Information Systems Department, University of Macedonia, Thessaloniki, Greece
- [32] M. Ayaz and A. Abdullah, “Underwater wireless sensor networks: routing issues and future challenges,” in Proceedings of the 7th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia. ACM, 2009, pp. 370–375.
- [33] U.Lee, P.Wang, Y.Noh, L.F.M.Vieira, M.Gerla, J-H.Cui, “ Pressure Routing for Underwater Sensor Networks”, IEEE INFOCOM, pp. 1-9, 2010
- [34] Y. Zhang and H. Sun, “Clustered Routing Protocol Based on Improved Kmeans Algorithm for Underwater Wireless Sensor Networks”, the 5<sup>th</sup> annual IEEE international conference on cyber technology in automation, control and intelligent systems, June 8-12-2015
- [35] E. Sozer, M. Stojanovic, and J. Proakis, “Underwater acoustic networks”, IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol. 25, no.1, pp. 72-83, 2000

## Résumé:

Les réseaux de capteurs sans fil on vu le jour grâce au besoin du monde actuel d'utiliser les technologies de communication sans fil pour accueillir des données depuis des milieux hostiles ou inaccessible. L'eau recouvre 2/3 de la planète terre, la nécessité d'explorer cette immense partie a donné naissance au réseaux de capteurs sans fil sous marins qui ont pu offrir de nombreuses applications dans plusieurs domaines (militaire, environnementale et industriel). D'après les études, l'onde acoustique et la meilleur solution pour la transmission d'information sous-marine. l'utilisation d'onde acoustique entraîne plusieurs défis, un long délai de propagation, une grande consommation d'énergie, une probabilité de perte de paquet élevé et une bande passante limitée. Pour cela de nombreux protocoles de routage doivent être conçus pour cet environnement. l'objectif de ce mémoire consiste à l'évaluation des performances en terme d'énergie et de durée de vie de réseau d'un protocole de routage basé sur le clustering. On a proposé deux algorithmes SH-EKMC et MH-EKMC qui sont basés sur la méthode K-MEANS. Ces deux algorithmes ont été testés sous deux types de topologie (statique et dynamique).

**Mots clé :** Réseau de capteur sous-marins, Onde Acoustique, Routage, Clustering, K-means.

## Abstract :

A current word need to use wireless technologies to extracting formation from hostile and critical environment this is the reason to appearance of wireless sensor networks. Water covers 2/3 of the planet earth to explore this part has given birth to under water wireless sensor networks that have been able to offer numerous operations in this environment and apply in several areas (military, environmental and industrial). according to the studies, the acoustic wave is the best solution for under water information transmission. the use of acoustic wave causes several challenges, long propagation delay, high power consumption, the probability of packet loss is high and a limited bandwidth. For this, many routing protocols must be designed for this environment. 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 by the k-means method we have proposed two algorithms "SH-EKMC and MH-EKMC" that are based on the K-MEANS method. At the end we made a comparison between these algorithmson a static topology and a dynamic topology.

**Keywords:** underwater sensor network, Acoustic Wave, Routing, clustering, K-means.

## ملخص:

إن العالم الحالي بحاجة إلى استخدام التقنيات اللاسلكية لاستخراج المعلومات من بيئة معادية أو يتعذر الوصول إليها. وهذا هو سبب ظهور شبكات الاستشعار اللاسلكية. لاكتشاف الجزء المائي الذي يشكل 3/2 من كوكب الأرض أدى إلى ظهور شبكات الاستشعار اللاسلكية تحت الماء التي كانت قادرة على تقديم العديد من العمليات في هذه البيئة وتطبيقها في العديد من المجالات (العسكرية والبيئية والصناعية). إن الدراسات أثبتت أن الموجة الصوتية أفضل حل لنقل المعلومات تحت الماء ، استخدام الموجة الصوتية يسبب العديد من التحديات ، تأخير الانتشار الطويل ، استهلاك الطاقة العالي ، احتمال فقدان الرزم مرتفعة لهذا الغرض ، يجب تصميم العديد من بروتوكولات التوجيه لهذه البيئة . الهدف من هذه هو تقييم الأداء من حيث الطاقة وعمر الشبكة لبروتوكول التوجيه على أساس التجميع باستخدام طريقة k-means. لقد اقترحنا خوارزميتين SH-EKMC و MH-EKMC اللاتي استندن على الطريقة k-means. قمنا بإجراء مقارنة بين طوبولوجيا ثابتة و ديناميكية.

**كلمات مفتاحية:** شبكات الاستشعار اللاسلكية تحت الماء، الموجة الصوتية، التجميع.