

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



جامعة سعيدة د. مولاي الطاهر

كلية التكنولوجيا

قسم: الإعلام الآلي

Mémoire de Master

Spécialité : Réseaux Informatique et Système Répartis

Thème

L'effet des protocoles de routage sur la
consommation d'énergie dans les réseaux
de capteurs sans fil sous-marins

Présenté par :

MEDDAH Ameer

ZEGDOU Khelifa

Dirigé par :

Dr BENYAHIA Kadda



Année universitaire 2022-2023

Remerciement

*Nous remercions le bon dieu d'avoir donné la force pour
achever ce travail.*

Nous remercions aussi notre encadreur

Mr BENYAHIA Kadda

*Pour sa disponibilité, son soutien et sa contribution générale,
Mr BAKHTAOUI Amine et M^{elle} Manel Baba Ahmed pour leurs
aides à l'élaboration de ce travail.*

*Et aussi un remerciement à tous les enseignants du
département Informatique ainsi que nos collègues de classe et
travail. A tous ceux qui nous ont aidé et encouragé de près ou
de loin.*

Zegdou & Ameer

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mes Parents

Ma famille

& Ma petite famille...

ZEGDOU Khelifa

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Ma Mère

Ma Famille

Ameur Medah

Table des matières

0.1	Introduction Général	5
1	Réseau de capteur sans-fil sous-marin	6
1.1	Un réseau de capteurs sans-fil sous-marin	7
1.1.1	Un réseau de capteurs sans fil	7
1.1.2	Architecture de réseau de capteur sans fil terrestre : . .	7
1.1.3	Caractéristiques des RcSF :	8
1.1.4	Principe de fonctionnement :	9
1.1.5	Type des réseaux de capteur sans fil :	10
1.1.6	Domaines d'application :	11
1.1.7	Contraintes de conception d'un réseau de capteur sans fil :	12
1.2	Réseau de capteurs sans-fil sous-marin	13
1.2.1	Définition	13
1.2.2	Les différentes architectures dans les réseaux de cap- teur sous- marins	15
1.2.3	Techniques de communication sans fil aquatique	16
1.2.4	Contraintes des RCSF-SM	17
1.2.5	Comparaison des techniques de communication sans fil aquatique et aérienne	19
1.2.6	La différence entre les réseaux de capteurs terrestres et sous-marins	20
1.2.7	Défis des capteurs sous-marins	21
1.3	Conclusion	22
2	Le Routage dans les réseau de capteur sans-fil sous marin	23
2.1	Introduction	24
2.2	Les critères de performance des protocoles de routage en RCSF- SM	24
2.2.1	Evolutivité	24
2.2.2	L'énergie	24
2.2.3	Le temps de traitement	25

2.2.4	Le mode de transmission	25
2.2.5	Synchronisation	25
2.3	Consommation d'énergie dans les RCSFs	25
2.3.1	Energie de capture	25
2.3.2	Energie de traitement	25
2.3.3	Energie de communication	26
2.4	Optimisation de la consommation d'énergie :	27
2.5	Classification des protocoles de routage pour RCSF-SM	27
2.5.1	Protocoles basés sur Inondations	28
2.5.2	Protocoles basés sur trajets multiples	31
2.5.3	Protocoles basés sur des clusters	32
2.5.4	Protocole de routage Adaptatif	33
2.6	Conclusion	34
3	Expérimentations et résultats	35
3.1	Introduction	36
3.2	NS-2 (Network Simulator 2)	36
3.3	Aqua-Sim	37
3.4	Objectifs de la simulation	40
3.5	Métriques d'évaluation	40
3.5.1	La métrique de l'énergie consommée	40
3.6	Création du modèle de simulation :	41
3.6.1	L'influence de la densité des nœuds :	41
3.6.2	L'influence du rayon de la pipe :	44
3.6.3	Comparaison entre les performances du « VBF » et « HH-VBF »	46
3.7	Conclusion :	47

Table des figures

1.1	Architecture de RCSF	8
1.2	Réseau de capteur sans fil	9
1.3	Zone de couverture	10
1.4	Réseau de capteur sans fil à base de cluster	11
1.5	Architecture du réseau de capteur sous-marin	14
1.6	Caractéristiques des techniques de communication sans fil	19
2.1	formule	26
2.2	Classification des protocoles de routage pour UWSN	27
2.3	Le mécanisme d'inondation	28
2.4	Topologie du protocole VBF pour les RCSF-SMs	30
2.5	Principe du protocole HH-VBF pour les RCSF-SMs	31
2.6	Topologie du réseau en multi-trajets	32
2.7	La décomposition du réseau en clusters	33
2.8	Protocole de routage adaptatif	34
3.1	principaux protocoles et modèles disponibles sous NS2	36
3.2	Relation entre Aqua-Sim et NS2	37
3.3	Architecture du simulateur Aqua-Sim	39
3.4	Energie consommé par Nombre de Nœuds VBF	42
3.5	Energie consommé par Nombre de Nœuds HH VBF	43
3.6	Energie consommé par rapport à la taille de la pipe	44
3.7	Energie consommé par rapport à la taille de la pipe nombre de nœuds fixe	45
3.8	Comparaison de consommation énergie des protocoles VBF et HH VBF	46

Liste des acronymes

ACK Acknowledgment
ACO Ant Colony Optimization
ACS Ant Colony System
ALS Area Localization Scheme
AoA Angle of Arrival
AS Ant System
AUV Autonomous Underwater Vehicle
BAN Body Area Network
CCRA Clustered Chain based Routing Algorithm
CH Cluster Head
CPU Central Processing Unit
CTS Clear To Send
DBR Depth Based Routing
DUCS Distributed Underwater Clustering Scheme
EEPB Energy-Efficient Pegasus-Based protocol
FBR Focused Beam Routing
FCM Fuzzy C-Means
GPS Global Positioning System
GRASP Greedy randomized adaptive search procedure
HH-VBF Hop-by-Hop VBF
ICRP Information Carrying based Routing Protocol
LCAD Location-Based Clustering Algorithm for Data Gathering
LDB Localization with Directional Beacon
LEACH Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy
MAC Media Access Control
MCCA Minimum Cost Clustering Algorithm
MCCP Minimum Cost Clustering Protocol
MH-FEER Multi-Hop Fuzzy based Energy Efficient Routing algorithm
PEGASIS Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems
QoS Quality of Service
RCSF Réseau de Capteurs Sans Fil
RCSF-SM Réseau de Capteurs Sans Fil Sous-Marins
RF Radio Frequency
RFID Radio Frequency IDentificatio

0.1 Introduction Général

Les développements innovants dans les technologies des communications sans fil et de la microélectronique ont donné naissance aux réseaux de capteurs sans fil (RCSF). Ces derniers sont constitués d'un ensemble de dispositifs miniaturisés, peu coûteux, de faible puissance, et qui peuvent communiquer entre eux via un lien radio, appelés capteurs. Un réseau de capteurs sans-fil sous-marin est un système de capteurs distribués qui sont submergés sous l'eau et interconnectés sans l'utilisation de câbles physiques. Ces réseaux sont utilisés pour collecter des données environnementales, telles que la température, la salinité, la pression, la qualité de l'eau, la pollution, etc. Ils peuvent également être utilisés pour surveiller les activités humaines, telles que la pêche, la navigation, la défense, etc. Les réseaux de capteurs sous-marins utilisent généralement des technologies de communication acoustique pour transmettre les données entre les capteurs et les nœuds de collecte de données à la surface ou à proximité. L'objectif de ce mémoire est d'étudier l'effet des protocoles de routage sur la consommation d'énergie sur les réseaux sans fil sous marin et s'articule sur trois chapitres : Le premier chapitre est sur le réseau de capteur sans-fil sous-marin qui débute par une présentation de réseau de capteur sans fil , son principe de fonctionnement et le domaine d'application puis en définit le réseau de capteur sous-marin les techniques de communication. Le deuxième chapitre est le fond de notre thème c'est étude de routage dans les réseau de capteur sans-fil sous-marin et son effet sur la consommation d'énergie. Dans le troisième chapitre nous simulons un algorithme basé sur l'heuristique appelé colonies de fourmis(ACO) , après nous évaluons l'algorithme proposé selon deux métriques : l'énergie consommée et le nombre de nœuds restant en vie dans le réseau. Finalement, nous finissons par une conclusion générale.

Chapitre 1

Réseau de capteur sans-fil sous-marin

1.1 Un réseau de capteurs sans-fil sous-marin

1.1.1 Un réseau de capteurs sans fil

Définition

Un réseau de capteurs sans fil (RCSF) en anglais WSN (Wireless Sensor Network) est un système de plusieurs nœuds de capteurs interconnectés sans fil. Chaque nœud de capteur mesure des données telles que la température, l'humidité, la pression, la vitesse du vent, etc., et les transmet à d'autres nœuds ou à un ordinateur central pour analyse. Les réseaux de capteurs sans fil sont largement utilisés dans de nombreuses applications, notamment la surveillance environnementale, la santé, la sécurité, l'agriculture, la météorologie, etc. Les réseaux de capteurs sans fil présentent plusieurs avantages par rapport aux réseaux filaires traditionnels. Ils sont souples, peu coûteux et faciles à déployer, mais présentent également des défis en termes de consommation d'énergie, de fiabilité de la transmission de données et de sécurité des données. [1] Pour gérer ces défis, il est souvent nécessaire d'utiliser des protocoles de communication efficaces pour minimiser la consommation d'énergie et maximiser la fiabilité de la transmission de données. Les protocoles de routage tels que AODV et DSR sont souvent utilisés pour les réseaux de capteurs sans fil, car ils permettent une meilleure gestion de la consommation d'énergie en établissant des chemins de transmission de données plus efficaces. De plus, il est souvent nécessaire de mettre en œuvre des stratégies de sécurité telles que le chiffrement pour garantir la confidentialité et l'intégrité des données transmises. Un capteur est un organe de prélèvement d'informations qui élabore à partir d'une grandeur physique, une autre grandeur physique de nature différente (souvent électrique). Cette grandeur représentative de la grandeur prélevée est utilisable à des fins de mesure ou de commande [2].

1.1.2 Architecture de réseau de capteur sans fil terrestre :

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

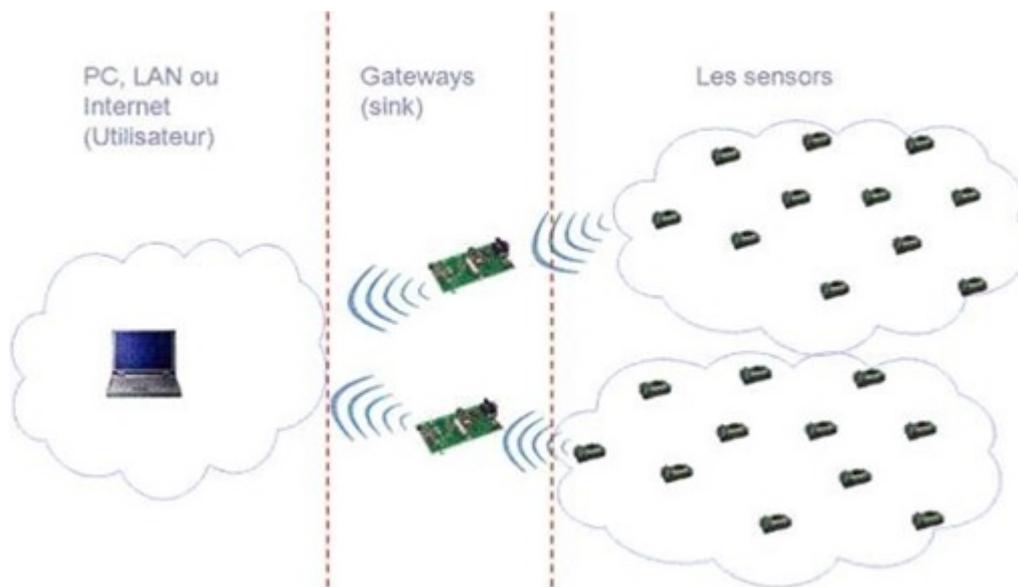


FIGURE 1.1 – Architecture de RCSF

1.1.3 Caractéristiques des RcSF :

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

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

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

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

Détection et traitement distribués Le grand nombre de capteur est distribué uniformément ou aléatoirement. Chaque RCSF est capable de collecter,

trier, traiter, agréger et envoyer les données au SB. Par conséquent, la détection fournit la robustesse du système [4].

1.1.4 Principe de fonctionnement :

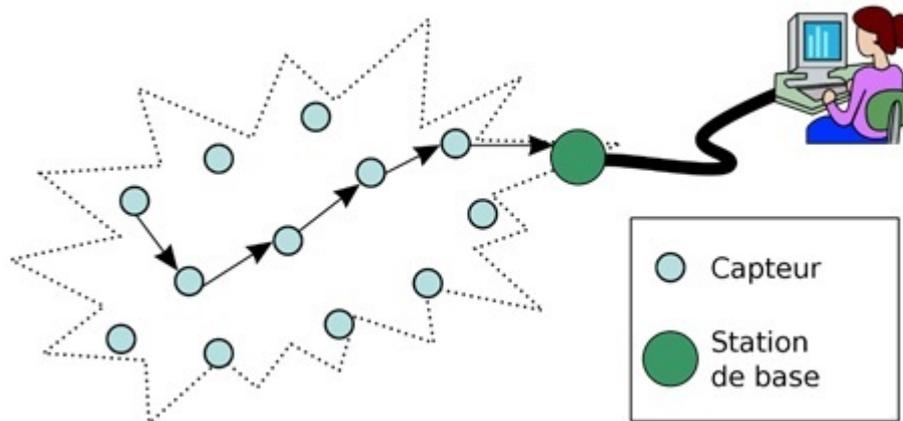


FIGURE 1.2 – Réseau de capteur sans fil

Le principe de fonctionnement d'un RCSF est assez simple. Les capteurs sont généralement disposés sur un terrain ou dans un bâtiment, et ils sont connectés sans fil pour former un réseau. Les capteurs peuvent communiquer directement entre eux ou passer par des nœuds relais pour atteindre la station de base, qui est le point de collecte de données ou de contrôle. La communication entre les capteurs est souvent basée sur un protocole de communication sans fil à faible consommation d'énergie, tel que ZigBee, Bluetooth Low Energy (BLE) ou 6LoWPAN. Ces protocoles ont été conçus pour être économes en énergie et pour permettre aux capteurs de fonctionner sur batterie pendant de longues périodes de temps. Les données collectées par les capteurs sont transmises au nœud relais le plus proche, qui les transmet ensuite à la station de base. La station de base peut être un ordinateur central, un serveur ou une application cloud, qui traite les données et les présente sous une forme compréhensible pour les utilisateurs. Le RCSF est capable de surveiller en temps réel l'environnement, de collecter des données à des intervalles réguliers et de les transmettre pour une analyse ultérieure. Les applications de RCSF sont multiples et peuvent inclure la surveillance de la qualité de l'air, la surveillance des niveaux d'eau, la surveillance des infrastructures de transport, la surveillance des cultures et bien d'autres encore.

1.1.5 Type des réseaux de capteur sans fil :

Il existe plusieurs types de réseaux de capteurs sans fil (RCSF) en fonction de leur structure, de leur portée et de leur application. Voici quelques exemples de types de RCSF :

1-Réseaux de capteurs sans fil basés sur les ad hoc : Dans ce type de RCSF, les capteurs sont disposés de manière aléatoire et les communications se font directement entre les capteurs voisins. Ces réseaux sont auto-organisés et peuvent être utilisés pour surveiller de grandes zones.

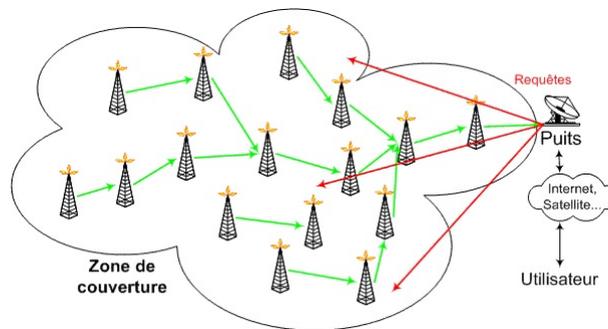


FIGURE 1.3 – Zone de couverture

2-Réseaux de capteurs sans fil à base de clusters : Dans ce type de RCSF, les capteurs sont organisés en clusters, c'est-à-dire en groupes de capteurs qui sont reliés à un nœud central, appelé cluster head. Les cluster heads sont responsables de la coordination des communications entre les capteurs.

3-Réseaux de capteurs sans fil à base de grilles : Dans ce type de RCSF, les capteurs sont organisés selon une grille régulière et chaque capteur est responsable de la surveillance de sa propre zone. Les capteurs peuvent transmettre des données à leurs voisins et ces données peuvent être agrégées pour donner une vue globale de l'environnement surveillé.

4-Réseaux de capteurs sans fil hybrides : Ces réseaux combinent les caractéristiques des réseaux de capteurs sans fil basés sur les ad hoc, les clusters et les grilles. Ils sont capables de surveiller efficacement de grandes zones tout en conservant une bonne résilience et une faible consommation d'énergie. En plus de ces types de RCSF, il existe également des réseaux

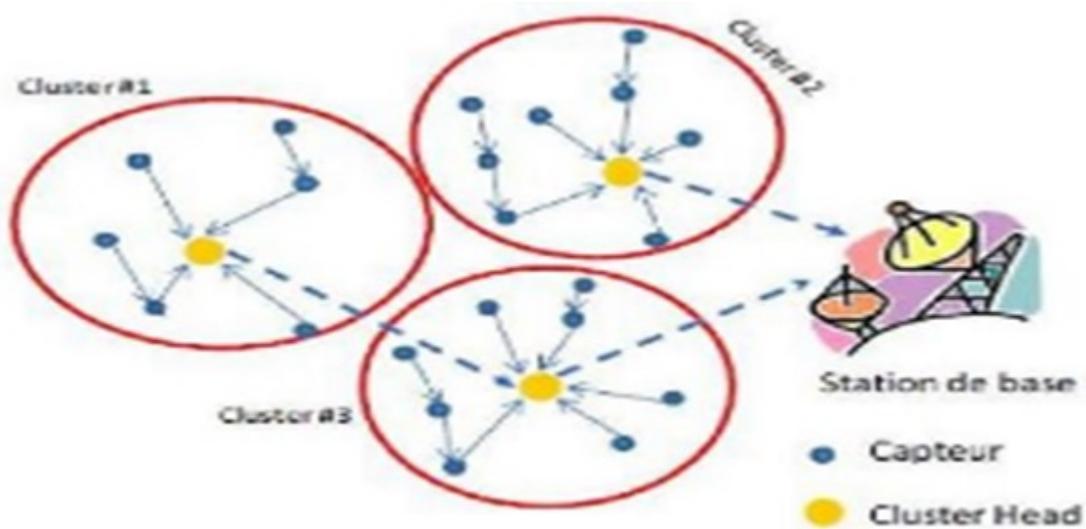


FIGURE 1.4 – Réseau de capteur sans fil à base de cluster

de capteurs sans fil spécialisés pour des applications spécifiques, tels que les réseaux de capteurs sans fil pour la surveillance de la santé, les réseaux de capteurs sans fil pour la surveillance de l'agriculture, les réseaux de capteurs sans fil pour la surveillance de la faune, etc.

1.1.6 Domaines d'application :

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) sont utilisés dans de nombreux domaines pour collecter des données à partir de capteurs sans fil déployés sur un terrain. Voici quelques exemples d'applications courantes des RCSF :

1. Surveillance environnementale : Les RCSF sont utilisés pour surveiller les conditions environnementales telles que la température, l'humidité, la qualité de l'air et la pollution sonore dans les villes, les parcs naturels, les zones industrielles, les bâtiments et les habitats naturels.
2. Agriculture intelligente : Les RCSF sont utilisés dans l'agriculture pour surveiller l'humidité du sol, la température, la croissance des plantes et la qualité de l'eau pour optimiser l'irrigation, la fertilisation et la croissance des cultures.
3. Surveillance de la santé : Les RCSF sont utilisés pour surveiller la santé humaine en mesurant les signes vitaux tels que la pression artérielle, la fréquence cardiaque, la température corporelle, le taux d'oxygène dans le sang, la glycémie et la respiration. Ces données peuvent être utilisées pour prévenir les maladies et les urgences médicales.

4. Surveillance du trafic : Les RCSF sont utilisés pour surveiller la circulation routière et détecter les embouteillages, les accidents et les violations

de la circulation. Ces données peuvent être utilisées pour optimiser le flux de circulation et la sécurité routière.

5. Sécurité et surveillance : Les RCSF sont utilisés pour surveiller les zones sensibles telles que les aéroports, les ports, les frontières, les installations militaires et les zones industrielles. Les données collectées peuvent être utilisées pour détecter les intrusions, les mouvements suspects et les activités criminelles.

6. Surveillance de la structure : Les RCSF sont utilisés pour surveiller la santé des structures telles que les ponts, les routes, les bâtiments et les pipelines. Les données collectées peuvent être utilisées pour détecter les dommages, les défauts de construction et les risques potentiels.

7. Gestion de l'énergie : Les RCSF sont utilisés pour surveiller la consommation d'énergie dans les bâtiments, les usines et les centres de données. Les données collectées peuvent être utilisées pour optimiser la consommation d'énergie, réduire les coûts et minimiser l'impact environnemental.

1.1.7 Contraintes de conception d'un réseau de capteur sans fil :

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

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

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

Consommation d'énergie Le capteur sans fil est un dispositif micro-électronique qui nécessite une source d'alimentation limitée (0,5 Ah 1,2 V). La durée de vie d'un réseau de capteurs est fortement dépendante de sa batterie. D'où la puissance, la conservation et la gestion de l'énergie sont des questions importantes dans les RCSFs surtout lorsqu'aucune régénération de

puissance n'est possible dans certains scénarios d'applications .Par conséquent, divers protocoles de routage efficaces doivent être utilisés à afin de gérer la consommation d'énergie.

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

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

Contraintes matérielles Un capteur est composé d'une unité de capture, unité de traitement, unité de communication et unité de puissance. Le matériel devrait être en mesure de fonctionner avec des densités élevées [5].

1.2 Réseau de capteurs sans-fil sous-marin

1.2.1 Définition

Un réseau de capteurs sans-fil sous-marin (RCSF-SM) est un système de capteurs distribués submergés sous l'eau et interconnectés . Ces réseaux sont utilisés pour collecter des données environnementales, telles que la température, la salinité, la pression, la qualité de l'eau, la pollution, etc. Ils peuvent également être utilisés pour surveiller les activités humaines, telles que la pêche, la navigation, la défense, etc. Les réseaux de capteurs sous-marins utilisent généralement des technologies de communication acoustique pour transmettre les données entre les capteurs et les nœuds de collecte de données à la surface ou à proximité. Les réseaux de capteurs sans fil sous-marins comprennent des nœuds qui peuvent déployés à la surface et sous l'eau. Tous les nœuds doivent communiquer et échanger des informations avec d'autres même réseau et avec la station de base. Les systèmes de transmission de données à l'aide de supports acoustiques, électromagnétiques ou optiques. Parmi ces types de médias, la communication acoustique est la méthode la plus

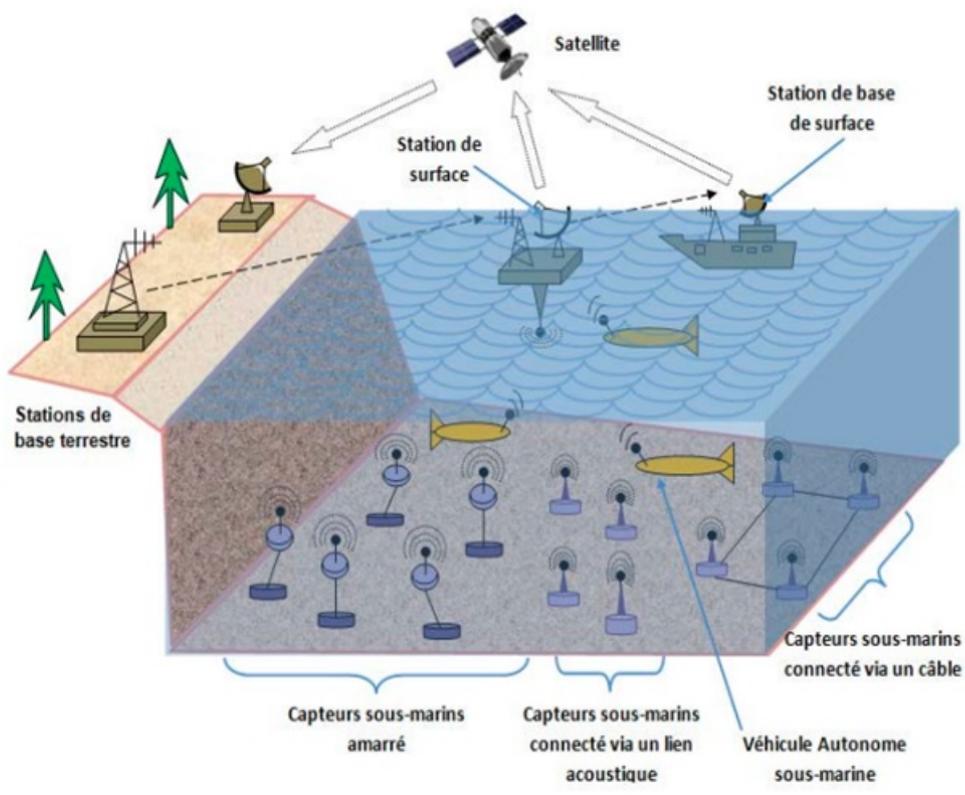


FIGURE 1.5 – Architecture du réseau de capteur sous-marin

populaire et largement utilisée en raison de ses caractéristiques d'atténuation dans l'eau. Le facteur de faible transmission est dérivé de l'absorption et de la conversion de l'énergie thermique dans l'eau. Pendant ce temps, les signaux acoustiques fonctionnent à basse fréquence, ce qui leur permet d'être transmis et reçus sur de longues distances [6].

1.2.2 Les différentes architectures dans les réseaux de capteur sous-marins

1-Réseaux de capteurs sous-marins en une dimension La conception d'architecture RCSF-SM unidimensionnelle (1D) fait allusion à un système des capteurs sont transportés de manière autonome. Chaque concentrateur de capteurs est un système solitaire, chargé de détecter, de préparer, et transmettre les données à la station distante. Un hub dans ce type d'ingénierie peut être un flotteur d'écumage, qui peut détecter les propriétés submergées, ou il peut être transporté submergé pour une période spécifique à détecter les données et après cette bouée vers la surface pour transmettre les données détectées à la station distante. Il peut s'agir d'un véhicule immergé autonome (AUV) qui se déplace à l'intérieur de l'eau, détecte ou rassemble les propriétés submergées, et le transfert des données à la station distante. Dans l'architecture RCSF-SM (1D) les moyeux peuvent transmettre en utilisant la correspondance acoustique, radiofréquence (RF) ou optique [7].

2-2. Réseaux de capteurs sous-marins en deux dimensions Les ancres océaniques profondes sont utilisées pour la collecte de nœuds de capteurs dans une architecture de réseau de capteurs sous-marins bidimensionnelle. Les nœuds sous-marins ancrés utilisent des liens acoustiques pour communiquer entre eux ou avec des puits sous-marins. Les puits sous-marins sont chargés de collecter les données des capteurs océaniques profonds et de les fournir aux stations de commande, en utilisant des stations de surface. A cet effet, ils sont fournis en compagnie d'émetteurs-récepteurs acoustiques horizontales et verticales. Le but des émetteurs-récepteurs horizontaux est de communiquer avec le nœud de capteur, de collecter des données ou de leur fournir des commandes, bien que l'émetteur-récepteur vertical soit utilisé pour envoyer des données à la station de commande. Parce que l'océan peut être aussi profond que 10 km, l'émetteur-récepteur vertical doit avoir une portée suffisante. La station de surface équipée d'émetteurs-récepteurs acoustiques a la capacité de gérer la communication parallèle. Il est également équipé d'émetteurs de radiofréquence à portée étendue, pour communiquer avec l'évier marin.

3-Réseaux de capteurs sous-marins en trois dimensions Une nouvelle architecture connue sous le nom de réseaux sous-marins 3D. Les nœuds de capteurs flottent à différentes profondeurs pour surveiller une activité spécifique dans les réseaux sous-marins 3D. La solution traditionnelle pour les réseaux de capteurs 3D sous-marins est l'utilisation de bouées de surface qui facilitent le déploiement de ce type de réseau. Mais cette solution est sujette aux intempéries et aux modifications. De plus, les ennemis peuvent être facilement détectés et désactivés dans le scénario d'une opération militaire. Dans l'architecture de réseau de capteurs 3D sous-marins, le fond océanique est utilisé pour les nœuds de capteurs installés. La profondeur de ces nœuds est contrôlée à l'aide de fils qui sont attachés à ces ancrages [8].

1.2.3 Techniques de communication sans fil aquatique

Les techniques de communication sans fil aquatique sont utilisées pour permettre la transmission de données sous-marines entre des équipements électroniques immergés, tels que des capteurs, des drones sous-marins, des véhicules sous-marins téléguidés (ROV) ou autonomes (AUV) et des stations de surface. Voici quelques-unes des techniques de communication sans fil aquatique les plus courantes :

1-Acoustique sous-marine Les ondes sonores sont utilisées pour la communication sous-marine. Les signaux acoustiques peuvent être transmis sur de longues distances, mais leur vitesse de propagation dépend des caractéristiques de l'environnement, notamment de la température, de la salinité et de la pression de l'eau.

2-Communication par câble Les données peuvent être transmises via des câbles sous-marins spécialement conçus pour résister à la pression de l'eau. Cette méthode est souvent utilisée pour les communications à grande vitesse et à haut débit, mais nécessite l'installation préalable de câbles sur le fond marin.

3-Radiofréquence (RF) sous-marine Les ondes électromagnétiques RF peuvent également être utilisées pour la communication sous-marine, bien que leur portée soit limitée par l'absorption des ondes radio par l'eau. Cette méthode est souvent utilisée pour la communication entre des véhicules sous-marins et des stations de surface situées à proximité.

4-Infrarouge sous-marin Les signaux infrarouges peuvent être utilisés pour la communication à courte portée sous l'eau, mais leur portée est limitée par l'absorption de la lumière infrarouge par l'eau. Cette méthode est souvent utilisée pour les communications entre des capteurs sous-marins à proximité.

5-Optique sous-marine La lumière peut être utilisée pour la communication sous-marine à courte portée, mais sa portée est également limitée par l'absorption de la lumière par l'eau. Cette méthode est souvent utilisée pour la communication entre des capteurs sous-marins et des drones sous-marins à proximité.

Les techniques de communication sans fil aquatique sont souvent utilisées en combinaison pour répondre aux besoins spécifiques des applications sous-marines, en fonction de la distance, de la vitesse de transmission, de la précision et de la fiabilité des données à transmettre.

1.2.4 Contraintes des RCSF-SM

Pertes et limitations de la bande passante Il existe deux types de pertes qui dégradent la puissance [9] de l'onde acoustique au cours de sa propagation, à savoir les pertes par divergence géométrique et les pertes par absorption [10]. Ces dernières dépendent de la fréquence de transmission et de la salinité du milieu. La présence des sédiments, des bulles d'air, des micro-organismes et d'autres matières mélangées à l'eau participent aussi dans l'augmentation des pertes par absorption. Dans ces conditions, la portée de transmission peut être réduite à quelques mètres. Dans les applications pratiques, les systèmes acoustiques opèrent à des fréquences inférieures à 30 kHz, car au-delà de cette limite l'effet de l'absorption devient extrêmement excessif [11]. Le choix de la fréquence d'émission du signal influe fortement sur les pertes de transmission en milieu aquatique à conditions, la portée de transmission peut être réduite à quelques mètres. Dans les applications pratiques, les systèmes acoustiques opèrent à des fréquences inférieures à 30 kHz, car au-delà de cette limite l'effet de l'absorption devient extrêmement excessif [11]. Le choix de la fréquence d'émission du signal influe fortement sur les pertes de transmission en milieu aquatique.

Phénomène de multi trajets Dans les systèmes de communication sans fil aquatique, la vitesse de propagation est en fonction des caractéristiques du canal, du temps et de la position de l'émetteur et du récepteur ce

qui engendre une variation du chemin de propagation. Il en résulte alors une multitude de signaux à la réception via des trajets multiples. La propagation multi-trajets peut être responsable d'une importante dégradation du signal de communication acoustique puisqu'elle cause d'énorme interférence inter-symboles à la réception.

Bruit acoustique La capacité de détection d'un signal ne dépend pas uniquement de l'amplitude du signal, mais aussi du bruit qui le perturbe. Par conséquent, les sources de bruit doivent être connues. Les bruits acoustiques dans l'océan sont très divers, du bruit ambiant lié à l'hydrodynamique aux bruits des phénomènes sismiques et biologiques, jusqu'aux bruits d'origine humaine. À basses fréquences (0.1-10 Hz), le bruit ambiant est principalement dû aux tremblements de terre, éruptions volcaniques sous-marines, tempêtes, turbulence d'eau et mouvement des vagues. Dans la bande de fréquences (10, 100 Hz), ce bruit est causé par le trafic des navires, alors que pour des fréquences comprises entre 100 Hz et 50 kHz, les sources des bruits sont le vent et les bulles d'air. À hautes fréquences ($f > 100$ kHz), ce sont les phénomènes d'agitations thermiques moléculaires qui dominent. Ce bruit peut être décrit par un spectre continu, comme étant un bruit gaussien contrairement au bruit d'origine humaine qui est causé par la machinerie (pompes, centrales électriques.) et les activités marines [12].

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

Coût d'un capteur sous-marin Contrairement aux réseaux de capteurs sans fil terrestres, où l'expérimentation est relativement accessible et abordable, le matériel sous-marin est coûteux, le déploiement de ses nœuds est de plus en plus coûteux, le déploiement dans des mers profondes peut facilement coûter des dizaines de milliers de dollars par jour, donc des solutions alternatives sont importantes. Il est également nécessaire de faire des essais reproductibles, rapides et contrôlés sur une large gamme de conditions [13].

1.2.5 Comparaison des techniques de communication sans fil aquatique et aérienne

Les ondes acoustiques ne sont pas les seuls moyens pour la transmission sans fil des signaux sous l'eau. Cependant, les ondes radio peuvent se propager dans l'eau pour différentes distances mais à basse fréquence (30 à 300 Hz) et exigent de grandes antennes et une énorme puissance d'émission. Dans le même contexte, les ondes optiques sont susceptibles de transmettre l'information sous l'eau puisqu'elles ne subissent pas une grande atténuation à faible distance, mais elles sont affectées par le phénomène de dispersion et par conséquent la transmission des signaux optiques exige la haute précision pour pointer les faisceaux laser [14]. Aussi la communication optique sous-marine est caractérisée par une faible portée de transmission. Bien que la technologie laser soit encore parfaite pour les usages pratiques, les ondes acoustiques restent la meilleure solution pour communiquer sous l'eau dans des mauvaises conditions [15].

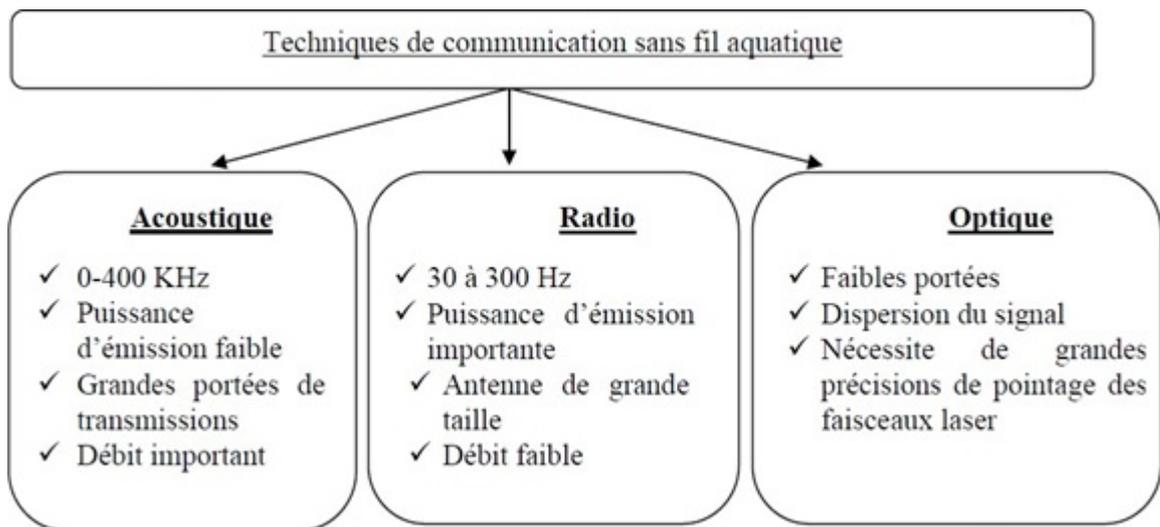


FIGURE 1.6 – Caractéristiques des techniques de communication sans fil

Communication acoustique Du fait des bonnes propriétés de propagation du son dans l'eau, les ondes acoustiques permettent de communiquer en milieu sous-marin sur de longues distances (plusieurs km). Cependant, la bande spectrale utilisable par les ondes acoustiques est limitée en fonction de la fréquence et de la distance de transmission considérée, ainsi les débits atteignables par ce vecteur de communication sont limités par le pro-

duit débit-distance maximum qui est de l'ordre de $40 \text{ kbit/s} \times \text{km}$. De façon générale, nous pouvons distinguer 5 types de communications acoustiques sous-marines selon la distance de transmission : très longue distance, longue distance, moyenne distance, courte distance, et très courte distance [16].

Communication optiques La qualité de l'eau joue un rôle dans la communication sous-marin. En conséquence, l'applicabilité de la communication dépend fortement des environnements. Utiliser la même analogie avec les ondes électromagnétiques, nous disons que la communication optique fonctionne dans l'environnement limitée. Jusqu'à présent, il y a peu d'activité commerciale sur la communication optique sous-marine, aucun modem optique commercial n'est disponible et les récents intérêts dans les réseaux de capteurs sous-marins et les observatoires marins terrestres ont suscité un grand intérêt pour les communications sur l'eau [17].

Communication radio Ce type de communication appelé aussi radiocommunication s'effectue à l'aide d'ondes électromagnétiques. Ces ondes constituent une propagation d'énergie se manifestant sous la forme d'un champ électrique couplé à un champ magnétique. L'information se transmet alors grâce à une modulation constante des propriétés de l'onde, soit son amplitude, sa fréquence, sa phase ou la largeur d'une impulsion. Dans l'eau, les ondes électromagnétiques sont fortement atténuées à cause du caractère dissipatif lié à la forte conductivité de l'eau de mer. En effet, des ondes supérieures à 1 MHz ne pénétreront l'eau de mer que sur quelques dizaines de centimètres. Par conséquent, les communications radios sont utilisées sur de courtes distances de l'ordre de quelques millimètres à quelques mètres pour un débit entre 10 Mbit/s et 100 bit/s. La communication à grande distance est possible mais à très basse fréquence, nécessitant des antennes de grande dimension et une puissance de transmission élevée [16].

1.2.6 La différence entre les réseaux de capteurs terrestres et sous-marins

Voici les différences entre les deux technologies de communication :

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

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

3-Mémoire Les nœuds de capteurs terrestres ont une capacité de stockage très limitée. Les nœuds de capteurs sous-marins nécessitent plus de capture de données en raison des besoins de canaux intermittents [18].

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

5-Mobilité du Nœud La mobilité des nœuds de réseaux terrestre peut être prédite alors que dans les réseaux sous-marins la prédiction de la mobilité du nœud est difficile, en raison de la densité et la variation de débit de l'eau [19].

1.2.7 Défis des capteurs sous-marins

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

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

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

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

Localisation Si la position du nœud change ou si le nœud est à un mauvais point, toute la connexion de données RCSF-SM a des effets, la fiabilité et la sécurité sont les principaux problèmes [20].

1.3 Conclusion

Les réseaux de capteurs sans fil sous-marins présentent un intérêt considérable et une nouvelle étape dans l'évolution des technologies de l'information et de la communication. Cette nouvelle technologie suscite un intérêt croissant vu la diversité de ces applications : santé, environnement et industrie...etc. Dans ce chapitre, nous présentons les principes des RCSF et RCSF-SM nous avons décrit leurs différentes caractéristiques et domaines de recherches. Ainsi que, leur Différentes techniques de communication à savoir la communication acoustique, communication optique et radio après on finit par les défis de capteur sous-marins.

Chapitre 2

Le Routage dans les réseau de capteur sans-fil sous marin

2.1 Introduction

Le routage d'information pour les RCSF-SM est d'une importance primordiale. En raison que les protocoles de routage identifient les chemins à partir du fond jusqu'à la surface de l'eau pour assurer les performances du réseau conformément aux paramètres. Plus précisément, les défis associés au milieu sous-marin et lors du transfert de paquets sont pris en compte par ces protocoles pour atteindre les performances optimales du réseau en fonction des objectifs. Par exemple, ces protocoles font face à la puissance limitée de la batterie, au bruit et aux interférences sévères, aux zones d'ombre, aux mouvements des nœuds de capteurs avec les courants d'eau, à la livraison fiable de paquets de données dans des conditions de canal défavorables et à un délai de propagation élevé [21].

2.2 Les critères de performance des protocoles de routage en RCSF-SM

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

2.2.1 Evolutivité

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

2.2.2 L'énergie

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

2.2.3 Le temps de traitement

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

2.2.4 Le mode de transmission

La transmission de données par les nœuds vers la destination ou la station de base se fait selon deux schémas : routage à un seul saut ou à multi saut. Il se réfère au temps pris par le nœud dans le réseau pour assurer l'ensemble des 'opérations commençant par la détection, le traitement des données ou le stockage de données, la transmission ou la réception sur le réseau.

2.2.5 Synchronisation

Dans les communications entre les nœuds d'un RCSF-SM, les capteurs écoutent en permanence les transmissions et consomment de l'énergie s'ils ne sont pas synchronisés les uns des autres. Pour cela, un nœud doit avoir la même notion de temps pour se mettre en veille et se réveiller que ses voisins [22].

2.3 Consommation d'énergie dans les RCSFs

Un capteur utilise son énergie pour réaliser trois actions principales : le captage, la communication et le traitement des données.

2.3.1 Energie de capture

Les sources de consommation d'énergie des nœuds pour les opérations de détection ou de capture sont : l'échantillonnage, la conversion analogique-numérique, le traitement de signal et l'activation de la sonde de capture. Cette énergie consommée n'est pas très importante, Néanmoins, elle varie en fonction du phénomène et du type de surveillance effectué.

2.3.2 Energie de traitement

L'énergie de traitement est composée de deux sortes d'énergie : l'énergie de commutation et l'énergie de perte. L'énergie de commutation est déterminée par la tension d'alimentation et la capacité totale commutée au niveau logiciel (en exécutant un logiciel). Par contre, l'énergie de perte correspond à

l'énergie consommée lorsque l'unité de calcul n'effectue aucun traitement. En général, l'énergie consommée pour les opérations de calcul est beaucoup plus faible que l'énergie de communication, par exemple l'énergie nécessaire pour transmettre 1 KB sur une distance de 100m est approximativement équivalente à l'énergie nécessaire pour exécuter plus de 3 millions d'instructions avec une vitesse de 100 millions d'instructions/seconde. L'énergie consommée par le traitement des données est calculée en appliquant la formule suivante : $EDA = 5nj/bit/signal$ [23]

En général, l'énergie consommée pour le traitement est faible par rapport à l'énergie total perdue

2.3.3 Energie de communication

Les communications consomment beaucoup plus d'énergie que les autres tâches et se décline en trois parties : l'énergie de réception, l'énergie de l'émission et l'énergie en état de veille. Cette énergie est déterminée par la quantité des données à communiquer et la distance de transmission [24]

- Pour transmettre un message de k bits sur une distance de d mètres, l'émetteur consomme une énergie selon la formule suivante :

$$ETx(k,d) = ETx(k) + ETxamp(k,d)$$

Cette formule change selon la distance d . $ETx(k,d) = \begin{cases} k * Eelec(k,d) + k * \text{famp} * d^2 & \text{si } d < d_{crossover} \\ k * Eelec(k,d) + k * \text{famp} * d^4 & \text{sinon} \end{cases}$

- Pour recevoir un message de k bits, le récepteur consomme :

$$ERx(k) = k * Eelec$$

Avec :

Eelec : énergie de transmission/réception électronique

k : taille d'un message ;

d : distance entre l'émetteur et le récepteur ;

ETx_amp : énergie d'amplification ;

famp : facteur d'amplification ;

dcrossover: distance limite pour laquelle les facteurs de transmission changent de valeur.

FIGURE 2.1 – formule

2.4 Optimisation de la consommation d'énergie :

est l'objet de plusieurs efforts et contributions dans le domaine de la recherche scientifique. Les solutions retenues dans la littérature et qui s'imposent comme les plus économes en énergie sont [25] : agrégation de données spatio-temporelle, routage efficace en énergie et ordonnancement de l'interface radio.

2.5 Classification des protocoles de routage pour RCSF-SM

Le routage et la consommation d'énergie sont des défis clés pour les réseaux de capteurs sans fil sous-marins. Les capteurs sans fil sous-marins sont souvent alimentés par des batteries et n'ont pas accès à une source d'alimentation constante, ce qui rend la gestion de l'énergie cruciale. De plus, les conditions sous-marines peuvent affecter la qualité du signal sans fil et rendre le routage des données difficile. Les protocoles de routages proposés pour les réseaux de capteurs sous-marins utilisent différentes approches tel que : l'approche basée sur l'inondation, sur trajets multiples, sur des clusters et divers. La Figure 2.2 montre la classification de ces protocoles.

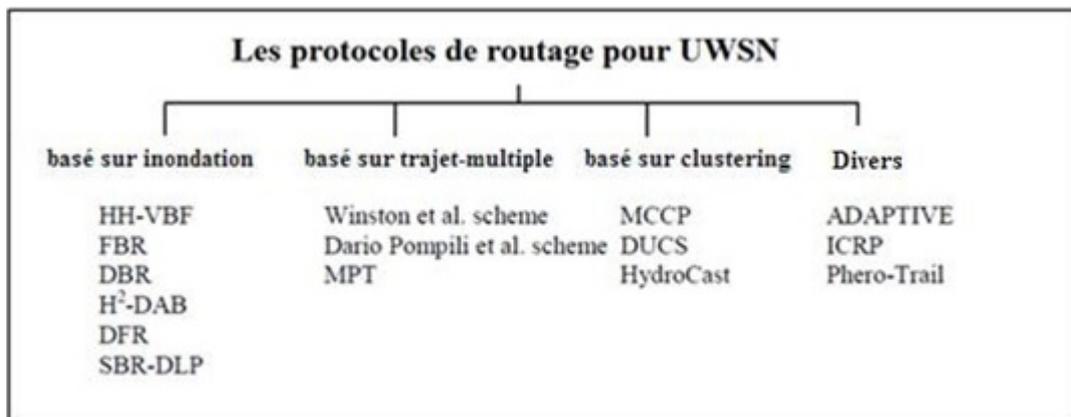


FIGURE 2.2 – Classification des protocoles de routage pour UWSN

2.5.1 Protocoles basés sur Inondations

Le principe de l'inondation, consiste à répéter la diffusion d'un message dans tout le réseau. Un nœud qui initie l'inondation envoie le paquet à tous ses voisins directs, de même si un nœud quelconque de réseau reçoit le paquet pour la première fois, il le rediffuse à tous les voisins. [26] Ce comportement se répète jusqu'à ce que le paquet atteigne tous les nœuds du réseau (Figure 2.3).

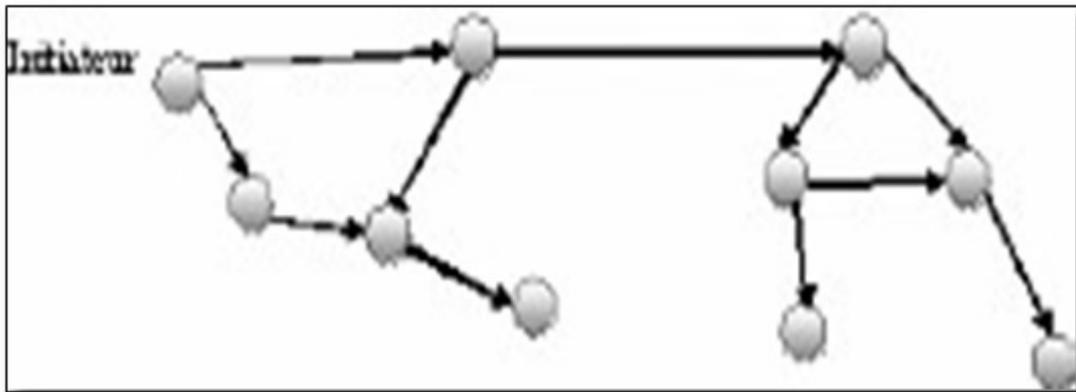


FIGURE 2.3 – Le mécanisme d'inondation

Notons que les nœuds peuvent être amenés à appliquer (durant l'inondation) certain traitement de contrôle dans le but d'éviter certains problèmes, tel que les boucle de routage et la duplication des messages, Le mécanisme d'inondation est utilisé généralement dans la première phase du routage plus exactement dans la procédure de découverte des routes, et cela dans le cas où le nœud source ne connaît pas la localisation exacte de la destination.

Protocole de de routage par vecteur VBF

Vector based forwarding

Dans les réseaux de capteurs sous-marins, en plus de la contrainte d'énergie, les algorithmes de routage doivent être capables de gérer la mobilité des noeuds d'une manière efficace. Le protocole VBF répond à ces exigences avec succès. VBF suppose que chaque noeud connaît ses informations de positions, qui peuvent être obtenues par des algorithmes de localisation. S'il n'y a pas de service de localisation disponibles, les capteurs peuvent toujours estimer leurs positions par rapport au transmetteur en mesurant l'angle d'arrivée (AOA) et la force du signal à travers le dispositif matériel. Cette hypothèse est justifiée par le fait que les antennes acoustiques directionnelles sont de

taille plus petite que les antennes directionnel RF en raison de la très faible longueur d'onde du son. Par ailleurs, les capteurs sous-marins sont généralement plus grands que les capteurs terrestres

Dans VBF, chaque paquet comporte les informations de position de l'émetteur, la cible et le noeud intermédiaire (le noeud qui retransmet ce paquet). Le chemin de transmission est défini par un vecteur de routage à partir de la source vers la cible. Lors de la réception d'un paquet, un noeud calcule sa position par rapport au noeud intermédiaire. Récursivement, tous les noeuds recevant le paquet calculent leurs positions. Si un noeud détermine qu'il est assez-proche au vecteur de routage (inférieure à un seuil de distance prédéfinie), il met sa propre position calculée dans le paquet et continue la transmission, sinon, le paquet est rejeté. De cette façon, tous les noeuds intermédiaires dans le réseau forment une "pipe" de routage : les capteurs dans cette pipe sont éligibles pour la transmission des paquets, et ceux qui ne sont pas proches au vecteur du routage ne transfèrent pas le paquet. La Figure 24 illustre l'idée principale de VBF, le noeud S1 est la source, et le noeud S0 est le sink. Le vecteur de routage est spécifié par $S1S0 \rightarrow$. Les paquets des données sont transmis de S1 à S0. Les noeuds intermédiaires qui se trouvent le long du vecteur de routage forment la pipe de routage d'un rayon pré-contrôlé (i.e., le seuil de distance, notée W). Cependant, VBF a quelques problèmes. Premièrement, l'utilisation de canaux de routage virtuels de la source à la destination affecte l'efficacité du routage des réseaux avec différentes densités de noeuds. Dans certaines régions, si le déploiement de noeuds est très clairsemé ou devient plus clairsemé en raison de certains mouvements, il peut y avoir peu ou pas de noeuds dans le canal virtuel responsable du transfert de données ; certains chemins peuvent même exister en dehors du pipeline. En fin de compte, cela conduira à une faible délivrance de données dans des régions clairsemées. Deuxièmement, VBF est très sensible au seuil de rayon du tuyau de routage, ce qui peut affecter considérablement les performances de routage ; une telle fonctionnalité peut ne pas être idéale dans le développement de protocoles réels. De plus, certains noeuds le long de la pipe de routage sont utilisés plusieurs fois afin de transférer des paquets de sources spécifique vers la destination, ce qui peut épuiser rapidement leur énergie. [[33,34,35,36]

Comme tous les protocoles qui utilisent le routage à la source, VBF n'a pas besoin de savoir des informations à chaque noeud. Par conséquent, il est extensible à la taille du réseau. [34]

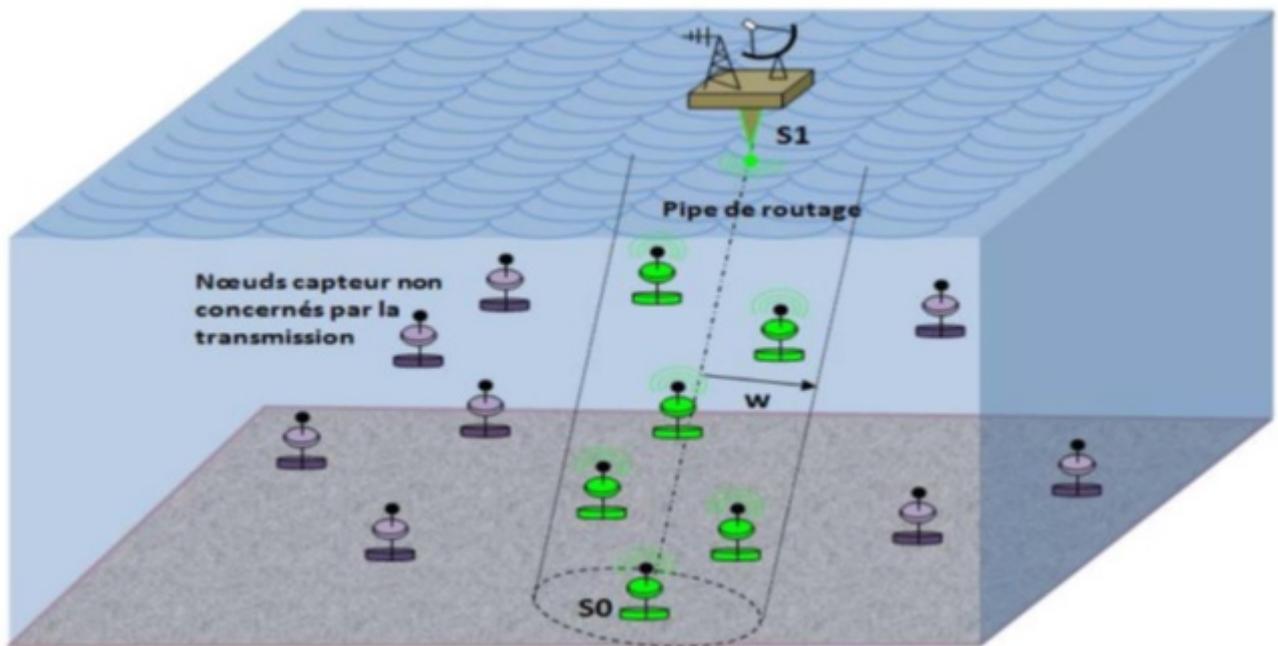


FIGURE 2.4 – Topologie du protocole VBF pour les RCSF-SMs

Le protocole de routage « HH-VBF » Afin de surmonter les problèmes du protocole VBF dans un réseau clairsemé, tels qu'un faible taux de transfert de données et un rayon de conduite de routage sensible, le protocole HH-VBF (hop-by-hop VBF) est proposé. HH-VBF forme un pipeline de routage de manière saut par saut, ce qui améliore considérablement le taux de livraison des paquets de données. Bien qu'il soit basé sur le même concept que le routage vectoriel utilisé dans VBF, au lieu d'utiliser un seul canal virtuel de la source à la station de base, un canal virtuel différent autour du vecteur est défini pour chaque saut. De l'expéditeur à la station de base, comme illustré à la Figure III-3. De cette manière, chaque noeud peut prendre de manière adaptative des décisions de transfert de paquets en fonction de son emplacement actuel. Cette conception peut apporter directement les avantages suivants : • Étant donné que chaque noeud possède son propre tuyau de routage, le rayon maximal du tuyau correspond à la plage de transmission. En d'autres termes, il n'est pas nécessaire d'augmenter le rayon de la conduite au-delà de la plage de transmission pour améliorer les performances de routage. Figure III-3 Principe du protocole HH-VBF de RCSF-SM Dans un réseau clairsemé, bien que le nombre de noeuds éligibles pour la transmission puisse être petit, tant qu'il y en a un dans le réseau, HH-VBF peut trouver un chemin de transmission de données. Bien que les résultats de la

simulation montrent que HH-VBF produit des résultats nettement meilleurs en termes de débit de livraison de paquets que VBF, en particulier dans les régions clairsemées, le problème inhérent du seuil de rayon du tuyau de routage existe toujours ; Cela peut affecter ses performances. De plus, en raison de sa nature saut par saut, la surcharge encourue par HH-VBF augmente considérablement par rapport à la signalisation VBF. [32,33]

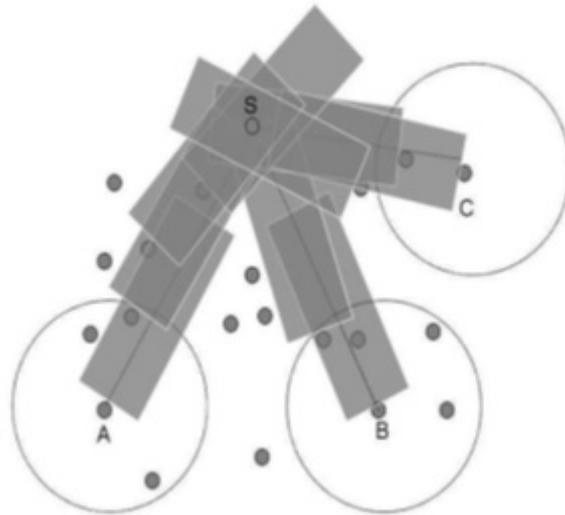


FIGURE 2.5 – Principe du protocole HH-VBF pour les RCSF-SMs

2.5.2 Protocoles basés sur trajets multiples

Dans les protocoles basés sur trajets multiples plusieurs chemins à partir du nœud source vers la destination sont établis. La formation des trajets multiples augmente la fiabilité et la robustesse du protocole. En outre, le rapport de livraison de paquets peut être amélioré par la transmission des paquets sur plusieurs voies simultanément. Voici quelques exemples de protocoles de routage multi-chemin utilisés dans les réseaux sans fil sous-marins : 1. Multi-Path Distance Vector (MP-DV) 2. Multi-Path AODV (MP-AODV) 3. Multi-Path TCP (MPTCP) Ces protocoles peuvent être utilisés de manière complémentaire pour offrir des performances optimales dans les réseaux sans fil sous-marins. Cependant, le choix du protocole dépendra des caractéristiques spécifiques du réseau, telles que la densité des nœuds, la profondeur de l'eau, la distance de communication et la capacité des équipements.

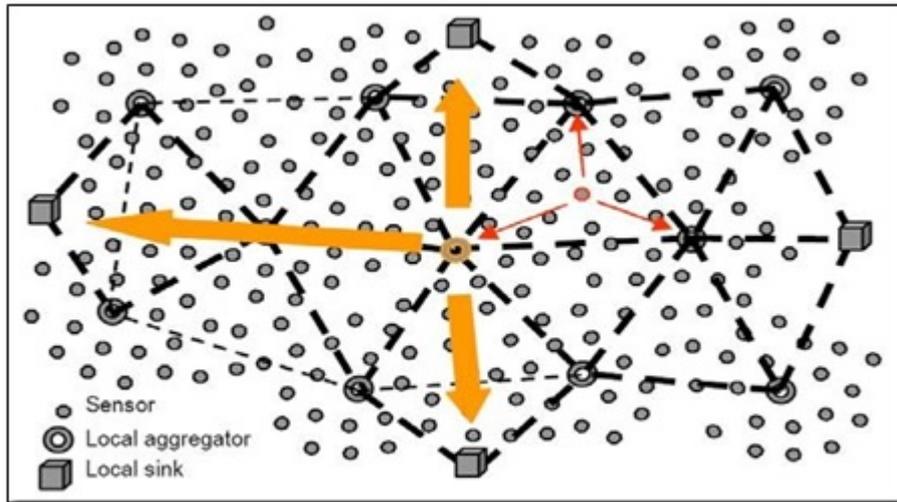


FIGURE 2.6 – Topologie du réseau en multi-trajets

2.5.3 Protocoles basés sur des clusters

Dans la communication par groupe, les messages sont transmis à des entités abstraites ou groupes, les émetteurs n'ont pas besoin de connaître les membres du groupe destinataire. La gestion des membres d'un groupe permet à un élément de se joindre à un groupe, de quitter ce groupe, se déplacer ailleurs puis rejoindre le même groupe. C'est en ce sens que la communication de groupe assure une indépendance de la localisation, ce qui la rend parfaitement basée sur les groupes. Le concept de groupe facilite les tâches de la gestion du routage (telles que les transmissions des paquets, l'allocation de la bande passante etc.) et cela en décomposant le réseau en un ensemble de groupes connectés. Voici quelques exemples de protocoles de routage à cluster pour les réseaux sans fil sous-marins : 1. Le protocole de routage à cluster LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 2. Le protocole de routage à cluster MCRP (Mobility-Centric Routing Protocol) 3. Le protocole de routage à cluster M-LEACH (Mobility-Adaptive Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) Ces protocoles de routage à cluster peuvent aider à améliorer l'efficacité de la communication dans les réseaux sans fil sous-marins en réduisant la consommation d'énergie des nœuds, en optimisant la gestion des clusters et en prenant en compte la mobilité des nœuds. Cependant, le choix d'un protocole de routage dépendra des besoins spécifiques du réseau et des contraintes de l'environnement sous-marin.

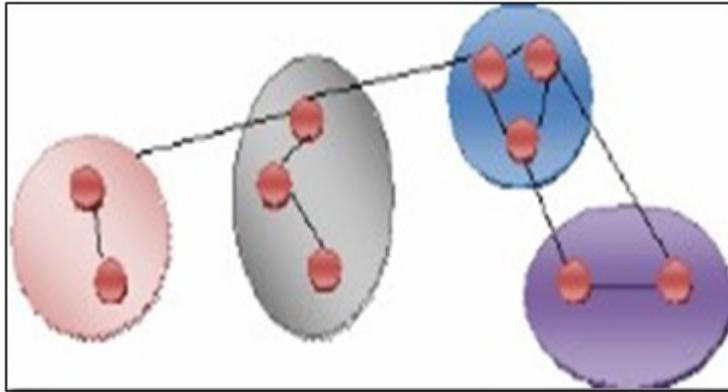


FIGURE 2.7 – La décomposition du réseau en clusters

2.5.4 Protocole de routage Adaptatif

Le routage adaptatif est une méthode de routage qui permet à un réseau de s'adapter automatiquement aux changements dans sa configuration et dans les conditions de trafic. Il utilise des algorithmes pour surveiller en temps réel les conditions de trafic et les utilise pour déterminer les chemins les plus appropriés pour les paquets de données. [27] L'objectif du routage adaptatif est d'améliorer la qualité de service et de minimiser les retards dans les réseaux, en choisissant les chemins les plus rapides et les plus fiables pour le trafic. Cela peut également aider à éviter les congestions sur les liens de réseau, en redirigeant le trafic vers des chemins plus larges ou plus rapides. [28] Le routage adaptatif est souvent utilisé dans les réseaux locaux (LAN), les réseaux étendus (WAN), les réseaux de diffusion et les réseaux sans fil. Les algorithmes de routage adaptatif les plus couramment utilisés incluent l'algorithme de Bellman-Ford, l'algorithme de Dijkstra et l'algorithme de routing Vector. [29]

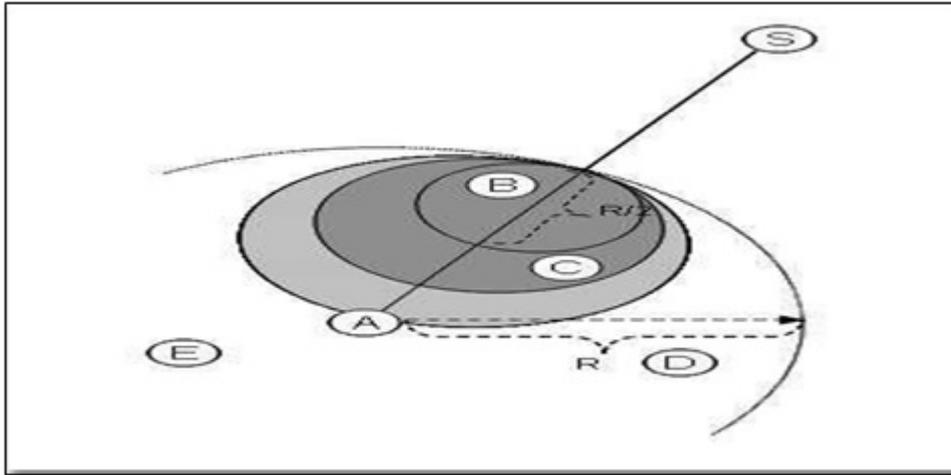


FIGURE 2.8 – Protocole de routage adaptatif

2.6 Conclusion

Ces protocoles peuvent être utilisés de manière complémentaire pour offrir des performances optimales dans les réseaux sans fil sous-marins. Cependant, le choix du protocole dépendra des caractéristiques spécifiques du réseau, telles que la densité des nœuds, la profondeur de l'eau, la distance de communication et la capacité des équipements.

Chapitre 3

Expérimentations et résultats

3.1 Introduction

Pour faciliter la recherche dans les réseaux de capteurs sous-marins, il est Préférable d'établir une simulation a fin de comparer et évaluer les protocoles, les algorithmes et les conceptions de différents réseaux Notre étude concerne l'évaluation des performances du protocole VBF et les comparer avec HH-VBF selon plusieurs métriques. Dans ce chapitre, on va décrire les outils de simulation qu'on a utiliser a savoir l'Aqua-Sim et le NS2 et nous présenterons les résultats obtenus suivi par des discussions

3.2 NS-2 (Network Simulator 2)

ns (de l'anglais « network simulator ») est un logiciel libre de simulation à événements discrets très largement utilisé dans la recherche académique et dans l'industrie. Il est considéré par beaucoup de spécialistes des télécommunications comme le meilleur logiciel de simulation à événements discrets, en raison de son modèle libre, permettant l'ajout très rapide de modèles correspondant à des technologies émergentes La version 2 était basée sur l'utilisation de langages de scripts pour la commande des simulations (Tel/Tk) alors que seul le cœur des simulations était implémenté avec le langage C++. NS2 ne permet pas de visualiser le résultat des expérimentations. Il permet

application	Web, ftp, Telnet, générateur de trafic (CBR...)
Couche transport	TCP, UDP, RTP, SRM
Couche réseau	routage unicast : Statique, dynamique (vecteur distance) routage multicast: DVMRP, PIM
Couche liaison	CSMA/CD, CSMA/CA, lien point à point, MAC 802.11, LLC
Couche physique	Médium filaire, sans fil et satellite (trafic, topologie de réseau, mobilité, modèle de propagation
Gestion de files d'attente	RED, DropTail, Token bucket
Discipline de service	CBQ, SFQ, DRR, Fair queuing

FIGURE 3.1 – principaux protocoles et modèles disponibles sous NS2

uniquement de stocker une trace de la simulation, de sorte qu'elle puisse être exploitée par un autre logiciel, comme NAM. NAM est un outil de visualisation qui présente deux intérêts principaux : représenter la topologie d'un réseau décrit avec NS2, et afficher temporellement les résultats d'une

trace d'exécution NS2. Par exemple, il est capable de représenter des paquets TCP ou UDP, la rupture d'un lien entre noeuds, ou encore de représenter les paquets rejetés d'une file d'attente pleine. Ce logiciel est souvent appelé directement depuis les scripts TCL pour NS2, pour visualiser directement le résultat de la simulation. Le logiciel NS2 et l'outil de visualisation NAM sont particulièrement adaptés à l'étude de réseaux complexes (filaires, sans fils) mettant en oeuvre de nombreux types de files d'attente, protocoles de routage, de couches transport (UDP, TCP), et couches application. [29]

3.3 Aqua-Sim

Aqua-Sim est un simulateur développé pour les réseaux de capteurs sous-marins, basé sur le simulateur de réseau NS2. Aqua-Sim est en parallèle avec le logiciel de simulation sans fil de CMU. Comme illustré dans la figure III-1, Aqua-Sim est indépendant du paquet de simulation sans fil et n'est pas affecté par toute modification de paquet sans fil. En revanche, toute modification apportée à l'Aqua-Sim est également limitée à elle-même et n'a aucune incidence sur d'autres paquets en NS2. De cette façon, Aqua-Sim peut évoluer indépendamment. Aqua-Sim suit le style de conception orientée

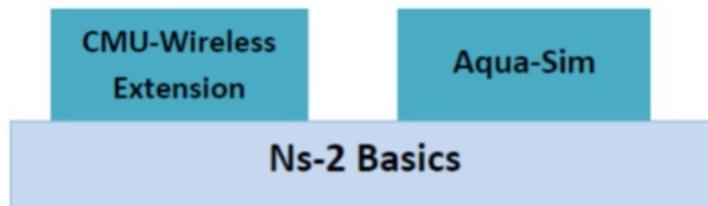


FIGURE 3.2 – Relation entre Aqua-Sim et NS2

objet de NS2, et toutes les entités du réseau sont implémentées sous forme de classes en C++. Actuellement, Aqua-Sim est organisé en quatre dossiers, uw-common, uw-mac, uw-routage et uw-tcl. Les codes de simulation des noeuds capteurs sous-marins et de la circulation sont regroupés dans le dossier uw-common ; les codes simulant des canaux acoustiques et protocoles MAC sont placés dans le dossier d'uw-mac. Le dossier uw-routage contient tous les protocoles de routage. Le dossier uw-tcl comprend tous les exemples de scripts OTcl pour valider les Aqua-Sim [31]. En général, Aqua-Sim a trois types de classes : • Réseau des Classes d'entité : ce type de classes représente des entités réseau concrètes. Par exemple, la couche physique d'un noeud est représentée par un objet « Underwater Phy » et son protocole MAC diffusion

est représentée par un objet « Broadcast - MAC ». Ces objets sont requis pour remplir leurs propres fonctionnalités et fournir des interfaces standard pour les entités du réseau couche supérieure/inférieure. • Les Classes d'interface pures : ce type de classes est purement virtuel et ne peut pas être instancié à tous. Cependant, elles spécifient les interfaces courantes et servent les classes de base pour d'autres. Par exemple, la classe « Underwater MAC » en Aqua-Sim fournit une interface commune pour les entités de couche MAC comme « Broadcast MAC » et « RMAC ». Bien que la mise en oeuvre de « Broadcast MAC » est tout à fait différente de celle des « RMAC », elles partagent la même interface à la couche physique et la couche de liaison logique, qui est spécifiée par leur classe de base « Underwater MAC ». • Classes de fonctions courantes : ce type de classes fournit quelques fonctions communes aux autres classes et peuvent être incluses dans toutes les classes dans Aqua-Sim. Bien que ces classes n'aient aucune instanciation dans le noeud de réseau correspondant, elles sont assez importantes pour Aqua-Sim. Par exemple, « UW-hash-table » implémente une table de hachage très efficace qui peut être utilisée par le routage et les protocoles MAC. [32] La figure 3.3 trace le diagramme de classes d'Aqua-Sim. Dans cette figure, l'objet de « Underwater Node » est l'abstraction du noeud capteur sous l'eau. Il encapsule beaucoup d'informations utiles du noeud tels que sa position et sa vitesse de déplacement. C'est un objet global et peut être consulté par n'importe quel objet en Aqua-Sim. L'objet « Underwater Channel » représente le canal acoustique sous-marin. Il y a un seul objet « UnderwaterChannel » dans le réseau et tous les paquets sont ici mis en fil d'attente avant d'être livrés. L'objet « Underwater Channel » fournit également l'interface publique vers les couches supérieures et donc l'objet dans la couche supérieure, tel qu'un objet de couche routage, peut facilement connaître les propriétés de canal. [31]

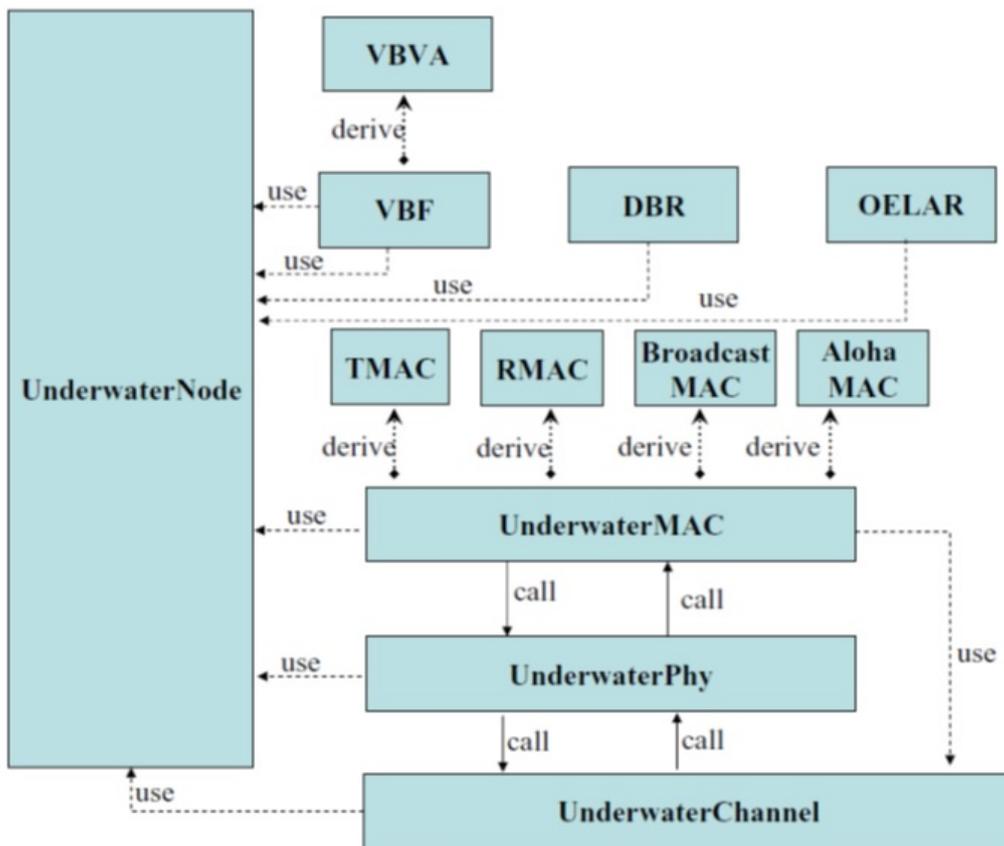


FIGURE 3.3 – Architecture du simulateur Aqua-Sim

3.4 Objectifs de la simulation

: L'objectif ultime dans ce mémoire est d'étudier quelques propriétés des protocoles de routage conçu pour les réseaux de capteurs sous-marins. Notre travail est composé de deux parties :

La première partie :est une analyse de performance de protocole de routage d'un réseau de capteurs aquatiques « VBF », et « HH VBF » la simulation est faite en fonction de la densité du réseau (changement du nombre de noeud dans le réseau) et en fonction du rayon, la métrique utilisée pour évaluer cette simulation est l'énergie consommée.

La deuxième partie : est une comparaison entre les performances des protocoles de routage « VBF » et « HH-VBF ». Nous avons utilisé les mêmes métriques précédentes et la simulation est faite en fonction de densité du noeud avec les mêmes paramètres de simulation.

3.5 Métriques d'évaluation

Dans notre étude, nous focalisons surtout à la consommation d'énergie des capteurs qui prend un rôle primordial dans la durée de vie du réseau qui est devenue une métrique de performance indispensable dans cet axe , dans le but de savoir la rapidité d'envoi des paquets de données et leur réactivité dans un protocole de routage.

3.5.1 La métrique de l'énergie consommée

C'est l'énergie consommée dans tout le réseau, en d'autre terme c'est la différence entre l'énergie initiale (à l'émission) et l'énergie résiduelle (à la réception) dans tous les nœuds

Simulateur	
Machine	Lenovo E550 i5
Systeme d'exploitation	Ubuntu 20.04
Simulateur	Aqua Sim

3.6 Création du modèle de simulation :

Paramètres du contexte de la simulation	
Nombre des noeuds	100,200,300,400,500
Temps de simulation	200s
Energie Initiale	10000j
Topologie du réseau	1000 x1000x1000
Les coordonnées de la source	1000x50x0
Les coordonnées du sink	200x1000x500
La portée de transmission	100m
Rayon de la pipe	50,100,150,200,300

3.6.1 L'influence de la densité des nœuds :

Le résultat suivant et le graphe de simulation que nous avons étudié avec un rayon du pipeline fixé égale 100 mètre avec un changement de nombre de nœud chaque fois (100,200,300,400,500) pour le protocole VBF et (2,3,4) pour le protocole HH VBF . Les résultats sont discutés sur la consommation d'énergie obtenus par une moyenne de cinq essais par chaque nombre de nœud.

1-VBF :

La courbe suivante (Figure) représente l'énergie consommé des paquets en fonction de la taille du réseau

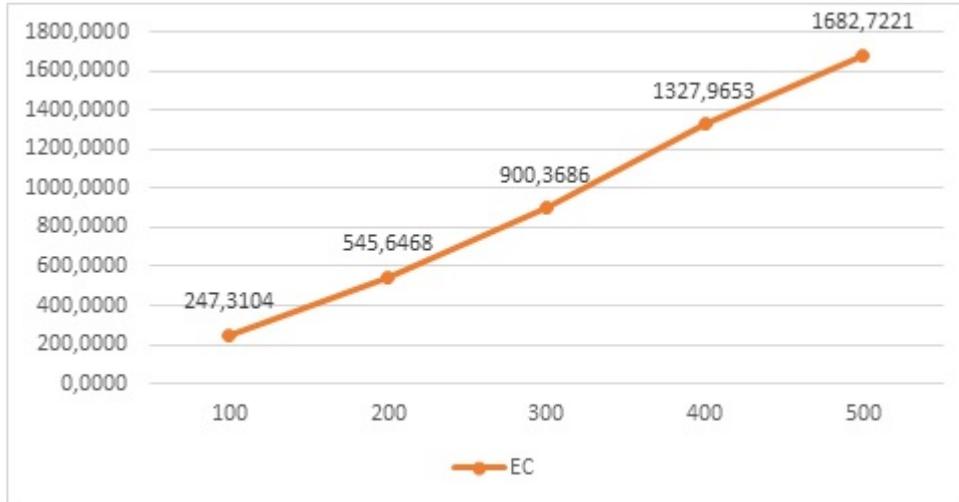


FIGURE 3.4 – Énergie consommé par Nombre de Nœuds VBF

Interprétation :

La figure 3.4 montre que la consommation de l'énergie augmente en fonction de la densité des nœuds Cela est dû aux nouveaux noeuds qui sont impliqués par la transmission des données et qui consomment plus d'énergie.

2-HH VBF :

Nœuds	2	3	4
EC	35,6040	51,6444	77,0249

La courbe suivante (Figure 3.5) représente l'énergie consommé des paquets en fonction de la taille du réseau

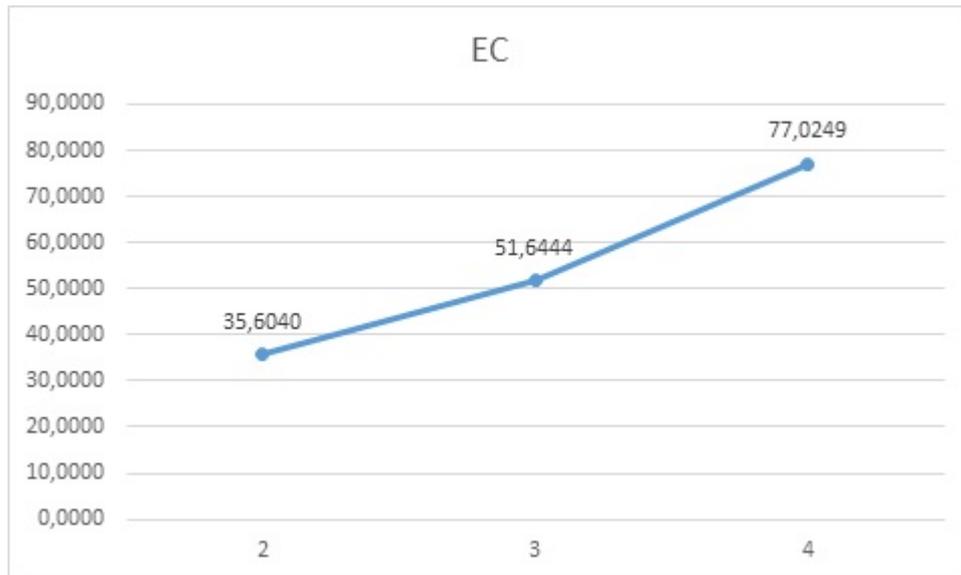


FIGURE 3.5 – Energie consommé par Nombre de Nœuds HH VBF

Interprétation :

La figure représente une augmentation de la consommation d'énergie dû a la densité du réseau.

3.6.2 L'influence du rayon de la pipe :

1-VBF :

Dans notre simulation, nous avons testé aussi l'influence du rayon de la pipe sur l'énergie consommée étude faite sur 100 nœuds

Rayon	50	100	150	200	300
EC	170,6225	224,5705	269,0761	389,7997	414,0717

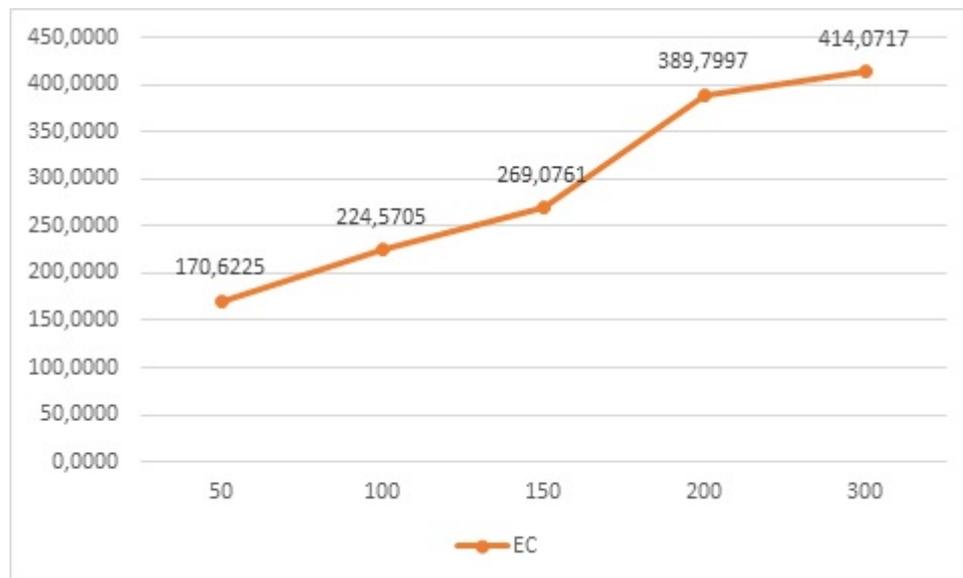


FIGURE 3.6 – Energie consommé par rapport à la taille de la pipe

Interprétation :

La figure illustre l'impact du rayon de la pipe sur l'énergie consommée. On observe qu'elle augmente avec la croissance du rayon et cela revient à l'agrandissement du nombre des nœuds.

2 HH VBF :

Dans notre simulation, nous avons testé aussi l'influence du rayon de la pipe sur l'énergie consommée en utilisant le protocole HH VBF, l'étude faite sur 4 nœuds .

Rayon	50	100	150	200	300
EC	82,1759	82,1759	82,1759	82,1759	82,1759

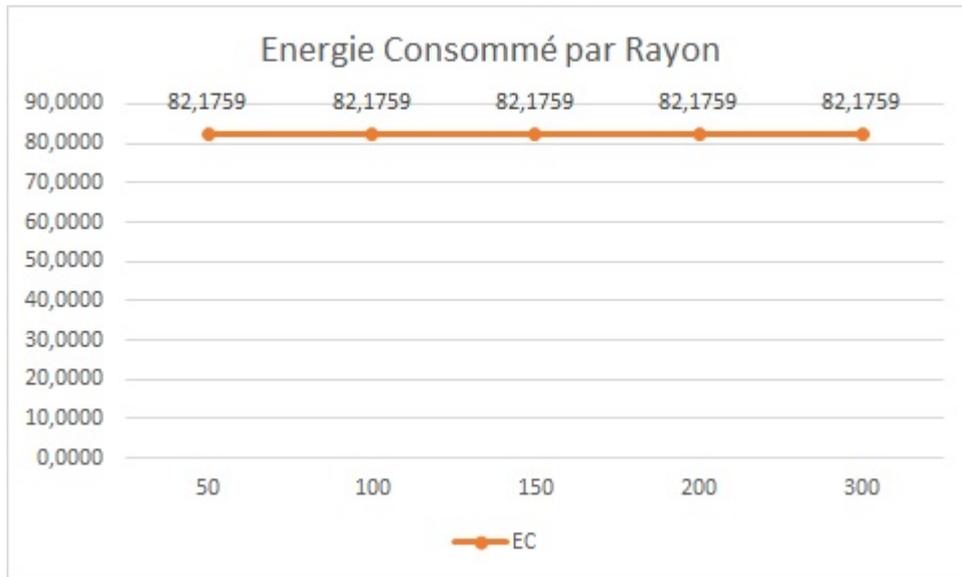


FIGURE 3.7 – Energie consommé par rapport à la taille de la pipe nombre de nœuds fixe

Interprétation :

La figure représente une stabilité remarquable de la consommation d'énergie sur ce protocole sa explique que la taille du rayon n'influence pas sur l'énergie consommé.

3.6.3 Comparaison entre les performances du « VBF » et « HH-VBF »

Dans cette partie, nous avons fait une comparaison de l'énergie consommée dans le réseau en fonction de la densité du nombre des noeuds entre les protocoles « VBF » et « HH VBF ». Pour cette simulation, nous avons adopté les mêmes paramètres pour les deux protocoles.

Nœuds	2	3	4
EC HH VBF	35,6040	51,6444	77,0249
EC VBF	2,7256	3,8384	5,1874

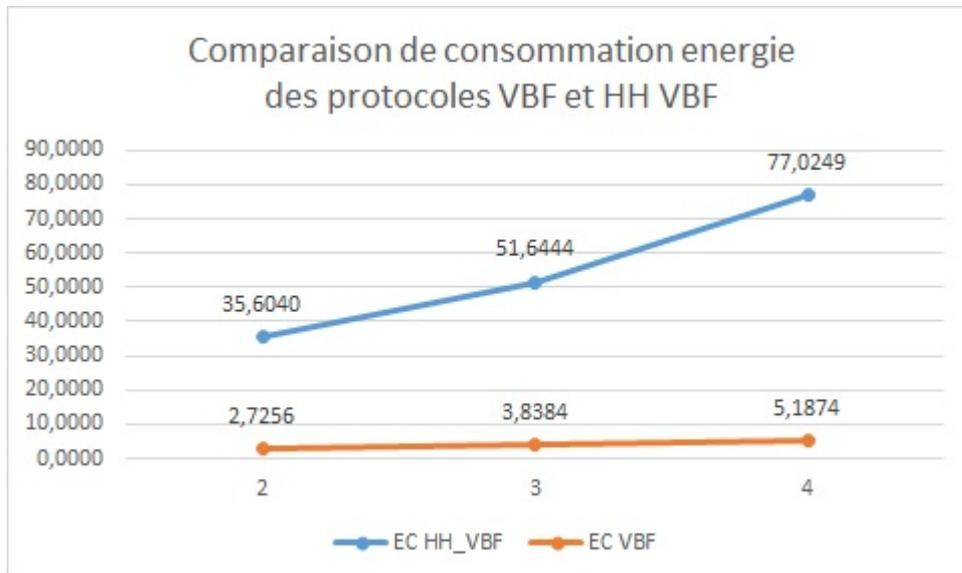


FIGURE 3.8 – Comparaison de consommation énergie des protocoles VBF et HH VBF

Interprétation :

La figure 3.8 nous montre que la consommation énergétique de HH-VBF est supérieure à celle de VBF. L'écart devient plus significatif quand le réseau devient plus dense. Ce qui est raisonnable car plus la densité des noeuds est élevée, plus HHVBF peut trouver plus de chemins

3.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, une comparaison est faite entre deux protocoles de routage dédiés au milieu marin qui sont VBF et HH-VBF. Nous avons travaillé avec l'environnement de simulation Aqua-Sim qui est basé sur le simulateur NS2. Dans notre étude, nous avons focalisé sur l'énergie consommée. Dans la partie expérimentale, nous avons testé l'impact de densité des noeuds capteurs et le rayon de la pipe sur l'énergie consommée en VBF et HH-VBF. Nous avons aussi fait une comparaison entre VBF et HH-VBF pour savoir l'influence de la densité des noeuds sur le délai et l'énergie.

Les résultats de la simulation montrent que : Il y a une proportion directe entre l'énergie et la densité des nœuds et même avec le rayon de la pipe. -le rayon de la pipe n'a aucun impact sur la consommation d'énergie sur le protocole HH-VBF. La comparaison, montre la consommation énergétique supérieure en HH-VBF, l'écart devient plus significatif quand le réseau devient plus grand alors le protocole VBF est le plus approprié vis-à-vis la consommation énergétique.

Références :

- [1] Linneyr Beatrys Rui , A. F. Loureiro , MANNA. “A Management Architecture for Wireless Sensor Networks, IEEE Communications Magazine”. (Volume : 41, Issue : 2, Feb.2003).
- [2]http://www.mytopschool.net/mysti2d/activites/polynesie2/ETT/C044/32/Capteurs_index.html?Introduction.html .AVRIL 2021 Bibliography.
- [3] <https://moodle.utc.fr/file.php/498/SupportWeb/co/Module-RCSF.html>.AVRIL 2021.
- [4] Muhammad R Ahmed , Xu H uang, Dharmandra Sharma, and Hongyan Cui. “Wireless Sensor Network : Characteristics and Architectures” .International Journal of Information and Communication Engineering Vol :6, No :12, 2012.
- [5].O.Deepa, Dr. A. Senthilkumar. “Wireless Sensor Networks : Application, Architecture, Design issues and Research Challenges”.Proceedings of the UGC Sponsored National Conference on Advanced Networking and Applications, 27th March 2015.
- [6]Emad Felemban, Faisal Karim Shaikh, Umair Mujtaba Qureshi, Adil A. Sheikh, and Saad Bin Qaisar . “Underwater Sensor Network Applications : A Comprehensive Survey”. International Journal of Distributed Sensor Networks Volume 2015, Article ID 896832, 14 pages.
- [7].Sarvesh Kumar, Bersha Kumar , Harshita Chawla. “Security Challenges and Application for Underwater Wireless Sensor Network. 2018, Pages 15–21.
- [8].Khalid Mahmood Awan, Peer Azmat Shah , Khalid Iqbal, Saira Gillani, Waqas Ahmad, and Yunyoung Nam. “Smart Antennas and Intelligent Sensors Based Systems : Enabling Technologies and Applications”. Article ID 6470359
- [9] I.F. Akyildiz, D. Pompili, T. Melodia.“Challenges for efficient communication in underwater acoustic sensor networks”. Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332, 2005.
- [10] N. Nasri, G. Zaïbi, A. Kachouri, M. Abdellaoui, M. Samet. “Étude de l’architecture d’un réseau de communication Aquatique Sans Fils”, JS-EABA 2007 5èmes Journées Scientifiques de Borj el Amri, mai 2007.
- [11] N. Nasri, A. Kachouri, L. Andrieux.,M. Samet. “Design Considerations For Wireless Underwater Communication Transceiver”, IEEE.ICSCS08, 2008.
- [12]. M. Stojanovic. “Underwater Acoustic Communication”. For the Wiley Encyclopaedia of Electrical and Electronics Engineering, 1997.
- [13] J. Heidemann, M. Stojanovic and M. Zorzi. “Underwater sensor networks : applications, advances and challenges”.Royal Society, Philos Transact A Math Phys Eng Sci, pp.158-75, 2012.

- [14] L. Brekhovskikh, Y. Lysanov. “Fundamentals of Oceans Acoustics”, Springer, New York 2001.
- [15].Nejah NASRI. “Laboratoire Toulousain de Technologie et d’Ingénierie des Systèmes”. DOCTORAT de L’UNIVERSITE de TOULOUSE.
- [16] Christophe Bernard. “Communication multipoint pour les réseaux acoustique sous-marins”. Thèse présentée et soutenue à Brest, 19/10/2020
- [17] Alok Ranjan, Ashish Ranjan. “Underwater Wireless Communication Network Advance in Electronic and Electric Engineering ISSN 2231-1297”. Volume 3, Number 1 (2013), pp. 41-46.
- [18] SOUKI Sihem. DOCTORAT Spécialité : “Systèmes et Réseaux de Télécommunications” A L’UNIVERSITE DE TLEMCEM FACULTE DE TECHNOLOGIE DEPARTEMENT DE TELECOMMUNICATIONS. 28 Novembre 2015.
- [19] <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/terrestrial-sensor-network-vs-underwater-sensor-network.html> 11/05/2021 13 :56 Bibliography.
- [20] Ian F. Akyildiz, Dario Pompili, Tommaso Melodia. “Challenges For Efficient Communication In Underwater Acoustic Sensor Networks”. Broadband and Wireless Networking Laboratory School Of Electrical and Computer Engineering Georgia Institute Of Technology, Atlanta.
- [21]. Amitabha Das Hung, Keng Pung Francis, Bu Sung Lee Lawrence, Wai Choong Wong. “NETWORKING 2008 Ad Hoc and Sensor Networks, Wireless Networks, Next Generation Internet : 7th International IFIP-TC6 Networking Conference Singapore, May 5-9, 2008, Proceedings”.
- [22] Mlle KEBIR Bahia, Mlle RAHMOUNI Samia. “Amélioration des performances du protocole de routage RPL” ; Master Réseaux et Systèmes Distribués, Mémoire de fin d’études Pour l’obtention du diplôme de master en informatique Option : Réseaux et Système Distribués (R.S.D) Soutenue le 04 juillet 2017 VU ON MAI 2021-05-17.
- [23]. (H. Chinh and Y. Tan, “Smart wireless sensor networks”, Rijeka, Croatia : InTech, pp. 182, 2010.)
- [24]. (A. Hussein and R. Khalid, “Improvements of PEGASIS Routing Protocol in WSN”, International Advance Journal of Engineering Research (IAJER), Vol. 2, Pp. 01-14, 2019.)
- [25] E. Deborah, G. Ramesh, H. John, and K. Satish. “Next century challenges : scalable coordination in sensor networks”, in Proceedings of the 5th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking Seattle, Washington, United States : ACM Press, pp. 263-270, 1999.
- [26] S. KACI et N. KHOULALENE Proposition d’un protocole de routage avec différenciation de terminaux dans les réseaux ad hoc. Université A. Mira, Bejaia, Algérie, 2006.
- [27] Terrence Mak, Peter Y. K. Cheung, Kai Pui Lam, and Wayne Luk. Adap-

- tive Routing in Network on Chips Using a Dynamic Programming Network 2011. DOI 10.1109 TIE.2010.2081953 p. 1.
- [28] Diego Lugones, Daniel Franco and Emilio Luqu."Dynamic Routing Balancing On InfiniBand Networks".Dynamic Routing Balancing On InfiniBand Networks vol 8,no 2,2008.
- [29] Haiyong Xie ; Lili Qiu ; Yang Richard Yang ; and Yin Zhang. On Self Adaptive Routing in Dynamic Environments An Evaluation and Design Using a Simple, Probabilistic Scheme
- [30] Youssef Baddi ; «Introduction Au Simulateur Réseau NS2 » ; Publié Le 21 Mars 2011
- [31] PDF ; «User Tutorial for Aqua-Sim».
- [32] Peng Xie ; «Aqua-Sim : An NS-2 Based Simulator for Underwater Sensor Networks » ; Underwater Sensor Networks Lab ; University Of Connecticut, Storrs ; 2009.
- [33] G. M. Wenz, «Low-Frequency Deep Water Ambient Noise along the Pacific Coast of the United States», U.S. Navy J. Underwater Acoustics, Vol. 19, Pp. 423–444, 1969.
- [34] Benabdallah Souad, Hammad kelthoum, «Routage Dans Les Réseaux De Capteur Sous Marin», Projet de Fin d'Etudes, Master : Télécommunications, 2012-2013
- [35] Salvador Climent, Antonio Sanchez, Juan Vicente Capella, Nirvana Meratnia And Juan Jose Serrano ; Article « Underwater Acoustic Wireless Sensor Networks : Advances And Future Trends In Physical, MAC And Routing Layers» ; Sensors 2014.
- [36] Hai Yan, Zhijie Jerry Shi, Jun-Hong Cui ; « DBR : Depth-Based Routing For Underwater Sensor Networks » ; University Of Connecticut, Storrs, CT 06269-2155

Annexe A

Installation de AquaSim

AquaSim : Version 1.0

Voilà les étapes d'installation :

(Votre nom utilisateur) @localhost \$] sudo apt-get update

1. Après le téléchargement créé un dossier Aqua-Sim

(Votre nom utilisateur) @localhost \$] mkdir aquasim

(Votre nom utilisateur) @localhost \$] cd aquasim/

2. copier Aquasim-1.0.tgz dans le dossier aquasim et extraire pour l'utiliser

(Votre nom utilisateur) @localhost \$] tar zxvf Aquasim-1.0.tgz

(Votre nom utilisateur) @localhost \$] ./install

3. ajoutez ses étapes si l'installation ne réussite pas

-Ouvrir le répertoire (~aquasim/ns-2.30/linkstate/ls.h) , utilisé gedit

-Dans la ligne numéro 137, on fait les changements suivants :

```
void eraseAll () { erase(baseMap::begin(), baseMap::end()); }
```

par:

```
void eraseAll() { this->erase(baseMap::begin(), baseMap::end()); }
```

-On refaire l'installation : ./install . Après le succès de l'installation, ces chemins doivent les changer. il est nécessaire de passé ces chemins dans /home/(votre nom utilisateur)/.profile or .bashrc

(/home/(votre nom utilisateur)/ c'est mon bureau)

Export

```
PATH=$PATH:/home/(votre nom utilisateur)/aquasim/bin:/home/(votre nom utilisateur)/aquasim/tcl8.4.13/unix:/home/zer
```

```
ouali/aquasim/tk8.4.13/unix
```

```
export LD_LIBRARY_PATH=/home/(votre nom utilisateur)/aquasim/otcl1.12:/home/(votre nom utilisateur)/aquasim/lib
```

```
export TCL_LIBRARY=/home/(votre nom utilisateur)/aquasim/tcl8.4.13/library
```

-Si cet indice % est présenté dans le terminale, donc l'installation est réussite.

4. Maintenant essayé d'exécuter cette expression :

```
(votre nom utilisateur)@localhost $] /home/(votre nom utilisateur)/aquasim/ns-2.30/underwatersensor/ uw_tcl/ ns
```

```
vbf_example_5.tcl
```

5. Si ne sa marche pas ajouter les commandes suivantes:

```
$ cd ns-2.30/ && sudo make install
```

```
$ cp ns ns-aqua
```

```
$ sudo cp ns-aqua /usr/local/bin/
```

```
$ cd underwatersensor/uw_tcl/
```

```
$ ns-aqua vbf_example_5.tcl
```

```
(votre nom utilisateur)@localhost $] /home/(votre nom utilisateur)/aquasim/ns-2.30/underwatersensor/ uw_tcl/ ns-aqua
```

```
vbf_example_5.tcl
```

Annexe B

Exemple de script TCL (influence de densité des noeuds dans VBF)

```
set opt(chan) Channel/UnderwaterChannel
set opt(prop) Propagation/UnderwaterPropagation
set opt(netif) Phy/UnderwaterPhy
set opt(mac) Mac/UnderwaterMac/BroadcastMac
set opt(ifq) Queue/DropTail/PriQueue
set opt(ll) LL
set opt(energy) EnergyModel
set opt(txpower) 2.0
set opt(rxpower) 0.75
set opt(initialenergy) 10000
set opt(idlepower) 0.008
set opt(ant) Antenna/OmniAntenna
set opt(filters) GradientFilter ;# options can be one or more of
;# TPP/OPP/Gear/Rmst/SourceRoute/Log/TagFilter
set opt(minspeed) 0 ;#minimum speed of node
set opt(maxspeed) 5 ;#maximum speed of node
set opt(speed) 1 ;#speed of node
set opt(position_update_interval) 0.1 ;# the length of period to update node's position
set opt(packet_size) 50 ;#50 bytes
set opt(routing_control_packet_size) 20 ;#bytes
set opt(ifqlen) 50 ;# max queue length in if
set opt(nn) 50 ;# number of nodes
set opt(x) 200 ;# X dimension of the topography
set opt(y) 200 ;# Y dimension of the topography
set opt(z) 200
set opt(seed) 10
set opt(stop) 200 ;# simulation time
set opt(prestop) 90 ;# time to prepare to stop
set opt(tr) "vbf_example_6.tr" ;# trace file
set opt(datafile) "vbf_example_6.data"
set opt(nam) "vbf_example_6.nam" ;# nam file
set opt(adhocRouting) Vectorbasedforward
set opt(width) 90
set opt(interval) 2.0
set opt(range) 90 ;#range of each node in meters
if { $argc > 0 } {
set opt(seed) [lindex $argv 0]
set opt(nn) [lindex $argv 1]
set opt(datafile) [lindex $argv 2] }
puts "the file name is $opt(datafile)"
puts "the sending interval is $opt(interval)"
LL set mindelay_ 50us
LL set delay_ 25us
LL set bandwidth_ 0 ;# not used
Queue/DropTail/PriQueue set Prefer_Routing_Protocols 1
# unity gain, omni-directional antennas
# set up the antennas to be centered in the node and 1.5 meters above it
```

```

Antenna/OmniAntenna set X_ 0
Antenna/OmniAntenna set Y_ 0
#Antenna/OmniAntenna set Z_ 1.5
Antenna/OmniAntenna set Z_ 0.05
Antenna/OmniAntenna set Gt_ 1.0
Antenna/OmniAntenna set Gr_ 1.0
Agent/Vectorbasedforward set hop_by_hop_ 0
Mac/UnderwaterMac set bit_rate_ 1.0e4 ;#10kbps
Mac/UnderwaterMac set encoding_efficiency_ 1
Mac/UnderwaterMac/BroadcastMac set packetheader_size_ 0 ;# #of bytes
# Initialize the SharedMedia interface with parameters to make
# it work like the 914MHz Lucent WaveLAN DSSS radio interface
Phy/UnderwaterPhy set CPTresh_ 10 ;#10.0
Phy/UnderwaterPhy set CSTresh_ 0 ;#1.559e-11
Phy/UnderwaterPhy set RXThresh_ 0 ;#3.652e-10
#Phy/WirelessPhy set Rb_ 2*1e6
Phy/UnderwaterPhy set Pt_ 0.2818
Phy/UnderwaterPhy set freq_ 25 ;# 25khz
Phy/UnderwaterPhy set K_ 2.0 ;# spherical spreading
# Main Program
# Initialize Global Variables
#set sink_ 1
set ns_ [new Simulator]
set topo [new Topography]
$topo load_cubicgrid $opt(x) $opt(y) $opt(z)
$ns_ use-newtrace
set tracefd [open $opt(tr) w]
$ns_ trace-all $tracefd
set nf [open $opt(nam) w]
$ns_ namtrace-all-wireless $nf $opt(x) $opt(y)
set data [open $opt(datafile) a]
set total_number [expr $opt(nn)-1]
set god_ [create-god $opt(nn)]
$ns_ at 0.0 "$god_ set_filename $opt(datafile)"
set chan_1_ [new $opt(chan)]
global defaultRNG
$defaultRNG seed $opt(seed)
$ns_ node-config -adhocRouting $opt(adhocRouting) \
-llType $opt(ll) \
-macType $opt(mac) \
-ifqType $opt(ifq) \
-ifqLen $opt(ifqlen) \
-antType $opt(ant) \
-propType $opt(prop) \
-phyType $opt(netif) \
#-channelType $opt(chan) \
-agentTrace OFF \
-routerTrace ON \
-macTrace OFF \
-topoInstance $topo\

```

```

-energyModel $opt(energy)\
-txPower $opt(txpower)\
-rxPower $opt(rxpower)\
-initialEnergy $opt(initialenergy)\
-idlePower $opt(idlepower)\
-channel $chan_1_
puts "Width=$opt(width)"
#Set the Sink node
#node 0 is the sink
set node_(0) [ $ns_ node 0]
$node_(0) set sinkStatus_ 1
$god_ new_ node $node_(0)
$node_(0) set X_ 170
$node_(0) set Y_ 170
$node_(0) set Z_ 200
$node_(0) set passive 1
set rt [$node_(0) set ragent_]
$rt set control_packet_size $opt(routing_control_packet_size)
set a_(0) [new Agent/UWSink]
$ns_ attach-agent $node_(0) $a_(0)
$a_(0) attach-vectorbasedforward $opt(width)
$a_(0) cmd set-range $opt(range)
$a_(0) cmd set-target-x 30
$a_(0) cmd set-target-y 30
$a_(0) cmd set-target-z 0
$a_(0) cmd set-filename $opt(datafile)
$a_(0) cmd set-packetsize $opt(packet_size) ;# # of bytes
set xrand_ [new RandomVariable/Uniform]
$xrand_ set min_ 0
$xrand_ set max_ $opt(x)
set yrand_ [new RandomVariable/Uniform]
$yrand_ set min_ 0
$yrand_ set max_ $opt(y)
set zrand_ [new RandomVariable/Uniform]
$zrand_ set min_ 0
$zrand_ set max_ $opt(z)
for {set i 2} { $i < $opt(nn) } { incr i } {
set node_($i) [ $ns_ node $i]
$node_($i) set sinkStatus_ 1
$node_($i) random-motion 1
$node_($i) set max_speed $opt(maxspeed)
$node_($i) set min_speed $opt(minspeed)
$node_($i) set position_update_interval_ $opt(position_update_interval)
$god_ new_ node $node_($i)
$node_($i) set X_ [$xrand_ value]
$node_($i) set Y_ [$yrand_ value]
$node_($i) set Z_ [$zrand_ value]
$node_($i) set passive 1
$node_($i) move
set rt [$node_($i) set ragent_]

```

```

$rt set control_packet_size $opt(routing_control_packet_size)
set a_($i) [new Agent/UWSink]
$ns_ attach-agent $node_($i) $a_($i)
$a_($i) attach-vectorbasedforward $opt(width)
$a_($i) cmd set-range $opt(range)
$a_($i) cmd set-target-x 250
$a_($i) cmd set-target-y 200
$a_($i) cmd set-target-z 10
$a_($i) cmd set-filename $opt(datafile)
$a_($i) cmd set-packetsize $opt(packet_size) ;# # of bytes }
#Set the source node
set node_(1) [$ns_ node 1]
$god_ new_node $node_(1)
$node_(1) set sinkStatus_ 1
$node_(1) set max_speed $opt(maxspeed)
$node_(1) set min_speed $opt(minspeed)
$node_(1) set position_update_interval_ $opt(position_update_interval)
$node_(1) set X_ 100
$node_(1) set Y_ 300
$node_(1) set Z_ $opt(z)
$node_(1) set-cx 100
$node_(1) set-cy 300
$node_(1) set-cz $opt(z)
set rt [$node_(1) set ragent_]
#$rt set control_packet_size $opt(routing_control_packet_size)
$ns_ at 2.0 "$node_(1) move"
set a_(1) [new Agent/UWSink]
$ns_ attach-agent $node_(1) $a_(1)
$a_(1) attach-vectorbasedforward $opt(width)
$a_(1) cmd set-range $opt(range)
$a_(1) cmd set-target-x 250
$a_(1) cmd set-target-y 200
$a_(1) cmd set-target-z 10
$a_(1) cmd set-filename $opt(datafile)
$a_(1) cmd set-packetsize $opt(packet_size) ;# # of bytes
$a_(1) set data_rate_ [expr 1.0/$opt(interval)]
# make nam workable
set node_size 10
for {set k 0} { $k<$opt(nn)} {incr k} {
$ns_ initial_node_pos $node_($k) $node_size }
set opt(stop2) [expr $opt(stop)+2]
puts "Node 1 is sending first!!"
$ns_ at 1.33 "$a_(1) cbr-start"
$ns_ at $opt(stop).001 "$a_(1) stop"
$ns_ at $opt(stop2).002 "$a_(1) terminate"
$ns_ at $opt(stop2).002 "$a_(0) terminate"
$ns_ at $opt(stop2).003 "$god_ compute_energy"
$ns_ at $opt(stop2).004 "$ns_ nam-end-wireless $opt(stop)"
$ns_ at $opt(stop2).005 "puts \"NS EXISTING...\"; $ns_ halt"
puts $data "New simulation...."

```

```
puts $data "nodes = $opt(nn), maxspeed = $opt(maxspeed), minspeed = $opt(minspeed),  
random_seed = $opt(seed), sending_interval_=$opt(interval), width=$opt(width)"  
puts $data "x= $opt(x) y= $opt(y) z= $opt(z)"  
close $data  
puts "starting Simulation..."  
$ns_run
```

Résumé

Le routage est un aspect important des réseaux de capteurs sous-marins sans fil, car il permet de déterminer la trajectoire des données collectées par les capteurs vers la station de base. Cependant, le routage peut avoir un impact important sur la consommation d'énergie des capteurs, ce qui peut affecter leur durée de vie.

Les réseaux de capteurs sans fil sous-marins peuvent utiliser différents protocoles de routage, tels que le routage basé sur la distance, le routage basé sur les nœuds, le routage hiérarchique et le routage basé sur les événements. Chaque protocole a ses propres avantages et inconvénients en termes de consommation d'énergie.

Mot clé : réseau de capteurs sans fil sous-marins, routage, consommation d'énergie.

Abstract :

Routing is an important aspect of wireless underwater sensor networks, as it helps determine the path of data collected by the sensors to the base station. However, routing can have a big impact on sensor power consumption, which can affect sensor life.

Underwater wireless sensor networks can use different routing protocols, such as distance-based routing, node-based routing, hierarchical routing, and event-based routing. Each protocol has its own advantages and disadvantages in terms of power consumption.

Keyword: underwater wireless sensor network, routing, power consumption.

التلخيص:

يعد التوجيه جانبًا مهمًا من شبكات الاستشعار اللاسلكية تحت الماء، حيث يساعد في تحديد مسار البيانات التي تجمعها أجهزة الاستشعار إلى المحطة الأساسية. ومع ذلك، يمكن أن يكون للتوجيه تأثير كبير على استهلاك طاقة المستشعر، مما قد يؤثر على عمر المستشعر.

يمكن لشبكات الاستشعار اللاسلكية تحت الماء استخدام بروتوكولات توجيه مختلفة، مثل التوجيه القائم على المسافة، والتوجيه القائم على العقد، والتوجيه الهرمي، والتوجيه القائم على الأحداث. لكل بروتوكول مزاياه وعيوبه من حيث استهلاك الطاقة.

الكلمة المفتاحية:

شبكة الاستشعار اللاسلكية تحت الماء، والتوجيه، واستهلاك الطاقة