



**HAL**  
open science

## Réseau Mesh multimodal pour la surveillance du littoral

Julien Maitre, Salah-Eddine Elgharbi, Michel Menard, Alain Gaugue

► **To cite this version:**

Julien Maitre, Salah-Eddine Elgharbi, Michel Menard, Alain Gaugue. Réseau Mesh multimodal pour la surveillance du littoral. Congrès National de la Recherche des IUT, Université de Haute-Alsace (UHA) Mulhouse - Colmar [Université de Haute-Alsace (UHA)], Mar 2024, Mulhouse, France. hal-04619753

**HAL Id: hal-04619753**

**<https://hal.science/hal-04619753v1>**

Submitted on 21 Jun 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

---

## Réseau *Mesh* multimodal pour la surveillance du littoral

---

Julien Maitre   Salah-Eddine Elgharbi   Michel Menard   Alain Gaugue

Julien.maitre@univ-lr.fr   Salah-eddine.elgharbi@univ-lr.fr   Michel.menard@univ-lr.fr  
Alain.gaugue@univ-lr.fr

IUT, La Rochelle Université  
Département Réseaux & Télécommunications  
Laboratoire Image Informatique Interaction

**Thèmes** -- *Informatique - Robotique - Électronique - Télécommunications - Réseaux*

**Résumé** – *Cet article expose l'infrastructure d'un réseau de surveillance pour le littoral, mettant en lumière deux principaux types de nœuds déployés dans ce réseau. D'une part, un nœud mobile opportuniste, constitué d'un drone aquatique, est utilisé pour effectuer une surveillance ciblée d'une zone spécifique suite à une alerte. D'autre part, des nœuds fixes, constitués de bouées, servent à la surveillance continue d'une zone prédéfinie et à la transmission d'informations vers la station de contrôle située sur la côte. L'article se focalise sur la problématique de la communication entre ces nœuds, en adoptant un modèle de propagation adapté au milieu maritime, notamment pour des antennes positionnées au niveau de l'eau. Ce modèle permet de déterminer la distance maximale de communication entre les nœuds en fonction de la hauteur des antennes.*

**Mots-Clés** – *Réseaux Mesh, Propagation, Bouée, Drone aquatique*

## 1 Introduction

Depuis 2015, le projet de recherche POMAC (plateformes marines autonomes) vise à concevoir un système dual de surveillance en milieu maritime pour des applications de suivi environnemental ou de surveillance de zones côtières. Celui-ci s'appuie sur différents vecteurs fixes ou mobiles (drones aquatiques, bouées, capteurs sous-marins) interconnectés entre eux, permettant ainsi de réaliser un réseau *Mesh* sans nœud contrôleur adapté au monde marin. L'originalité des travaux décrits ici est d'aborder d'une part la conception des vecteurs d'observation autonomes (drones aquatiques et bouées) et d'autre part, la problématique des communications maritimes dans sa globalité : sur les aspects couches physiques et topologiques d'un réseau *Mesh* présentant une forte dynamique liée à des rencontres opportunistes entre les nœuds.

Les applications d'un tel réseau de surveillance sont multiples ; il permettra de lever des alertes après détection et suivi d'embarcations, de cétaqués, de polluants se trouvant dans la zone, ou tout autre phénomène pouvant être détecté à partir de capteurs embarqués tels que des hydrophones, caméras ou capteurs physico-chimiques.

La première partie de l'article s'attachera à décrire les deux principaux nœuds du réseau. Tout d'abord, une bouée dotée de capteurs (hydrophone, caméra) pour assurer la surveillance d'une zone. Puis un drone aquatique, doté de multiples capteurs pour d'une part, l'aide à la navigation, et d'autre part, l'observation environnementale. La seconde partie de l'article abordera la problématique de communication entre ces nœuds, en utilisant un modèle de propagation adapté au milieu maritime.

## 2 Les nœuds du réseau

Les nœuds fixes du réseau d'observation et de collecte de l'information sont constitués de bouées ancrées (cf. Figure 1) équipées d'hydrophone et de caméra. Ces bouées [2] ont été développées spécifiquement ; elles répondent à un cahier des charges précis, tant sur les aspects mécaniques que sur les aspects transmission. Les principaux critères sont les suivants :

- flotteur cylindrique à base profilée avec caisson étanche central facilement extractible et accessible, avec un volume pour la charge utile de 10 litres minimum ;
- flotteur amortissant les chocs lors de manipulations, résistant aux UV et insubmersible ; possibilité d'utilisation en configuration mouillée ou dérivante ;
- mât de 2 m de haut pour supporter des antennes (GPS, 3G/4G et LORA) ; autonome en énergie (panneau solaire et batterie de 600 W/h minimum).

Le nœud mobile est quant à lui un drone aquatique [1] de 1m80 de long et 80 cm de large (cf. Figure 1), dont la coque

en composite a été conçue par la société Texys Marine. Il est équipé de nombreux capteurs, qui peuvent être scindés en deux catégories : ceux pour la navigation et l'autonomie (LIDAR, caméra thermique, GPS, AIS, Centrale Inertielle, liaison radio WIFI, LORA) ; et ceux pour les mesures (sonde CTD, treuil, sondeur mono faisceau pour la bathymétrie, sondeur latéral bi-faisceaux pour la cartographie maritime). Les fonctionnalités de ce nœud mobile sont multiples. D'une part il permet d'observer une zone en marge de la zone prédéfinie par le réseau de bouées ancrées (avec des capteurs spécifiques si besoin), et d'autre part, d'assurer un relais pour une bouée isolée ou de la redondance de nœud en cas de défaillance d'un nœud fixe.

## 3 Propagation en milieu maritime

Le milieu marin est très différent du milieu urbain. C'est un canal de communication complexe qui met en œuvre différents modes de propagation. Comme pour un canal urbain, le canal peut être décrit par des modèles

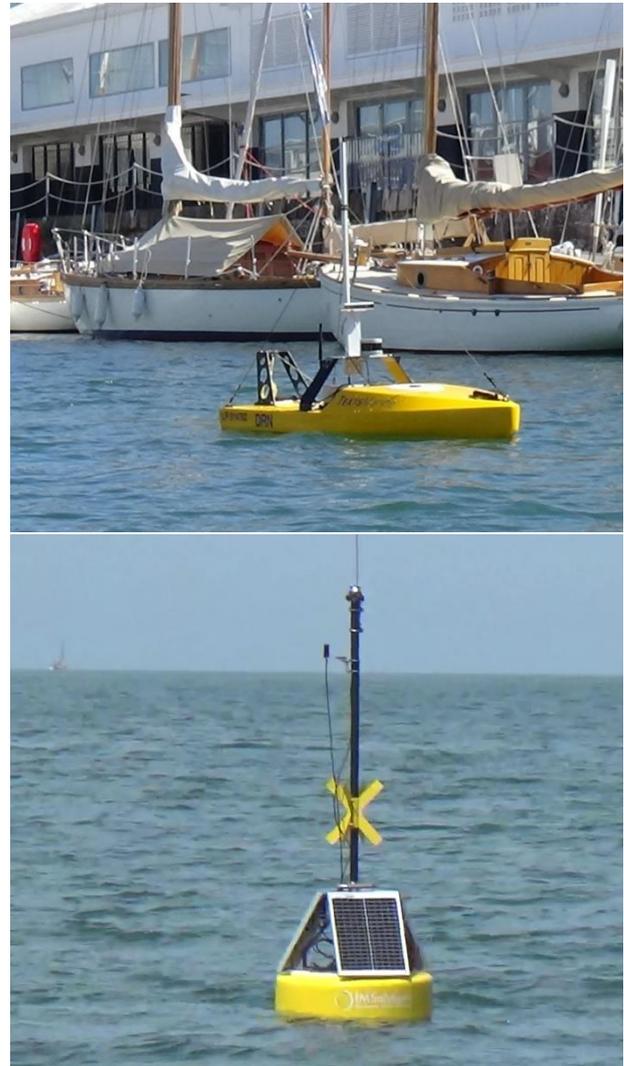


Figure 1 – Les deux types de nœuds constituant le réseau : un drone aquatique (en haut) et des bouées (en bas).

déterministes de type multitrajets, mais dans le cadre de notre problématique de communication au ras de l'eau, il n'est pas possible d'appliquer des modèles déterministes simples de types « espace libre (FSL) » ou « à 2 rayons (2 Ray) ». Aussi, nous utilisons un modèle qui repose sur des équations paraboliques prenant en compte, d'une part, la réflexion des ondes sur la surface de la mer considérée comme surface rugueuse, et d'autre part, l'effet de réfraction particulier situé dans une couche au-dessus de l'eau nommée « canal d'évaporation » (cf. Figure 2).

La validité de notre modèle a été éprouvée en confrontant les mesures expérimentales (cf. Figure 3) obtenues avec notre première série de bouées où l'antenne est située au ras de l'eau. Les portées expérimentales obtenues sont en deçà de ce que nous avons prévu. Les distances de communication sont de l'ordre de 2 à 3 km (cf. graphe de la Figure 3). Nous estimons ce décalage essentiellement à deux phénomènes. D'une part, la hauteur de l'antenne considérée n'est pas exacte. Le centre de rayonnement de l'antenne est bien plus bas que ce que nous avons simulé. D'autre part, dans le clapot, la bouée oscille fortement, changeant continuellement la direction de propagation de l'onde. Cet effet a un impact plus significatif sur la portée en raison du diagramme de rayonnement très directionnel des antennes dans le plan vertical.

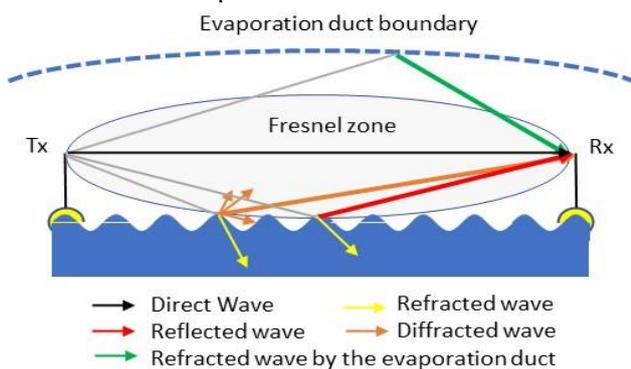


Figure 2 – Les différents mécanismes de propagation d'une onde électromagnétique en milieu maritime.

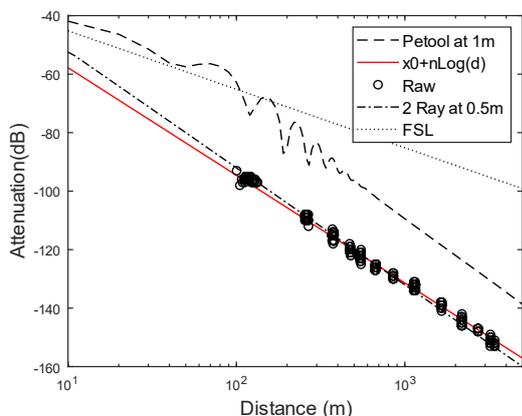


Figure 3 – Comparaison entre différents modèles de propagation d'une onde électromagnétique en milieu maritime (Petool modèle à équations paraboliques ; modèle logarithmique ; modèle à 2 rayons ; FSL, modèle en espace libre) et des mesures expérimentales (Raw).

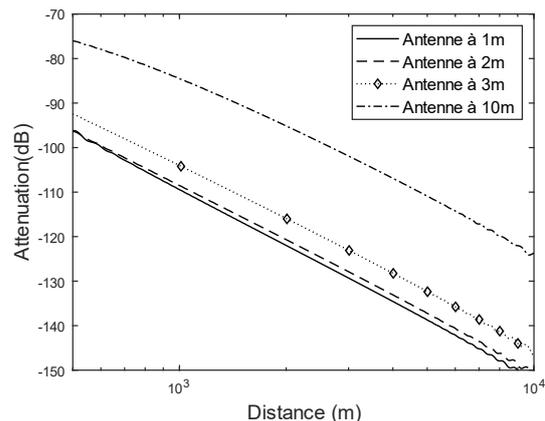


Figure 4 – Influence de la hauteur de l'antenne sur l'atténuation de l'onde électromagnétique.

Pour pallier ces deux défauts, nous avons conçu une nouvelle bouée (cf. Figure 1) permettant d'optimiser sa stabilité et supportant un mât d'antennes. La hauteur du mât, calculée par simulation, résulte d'un compromis entre stabilité (hauteur du mat) et portée de transmission (cf. Figure 4). Les résultats de simulation montrent que, si notre couple émetteur/récepteur fonctionne jusqu'à un niveau d'atténuation de -130 dB, il faut au moins que l'antenne soit placée à une hauteur entre 2.50 et 3m au-dessus de l'eau pour atteindre des portées de communication inter-bouées de 4 à 5 km (cf. Figure 4). Ce modèle de propagation permet aussi de prédire la portée drone-bouée, en fixant la hauteur d'antenne coté drone à 1.50 m.

## 4 Conclusions

Les nœuds du réseau sont pleinement opérationnels. Les bouées ont été déployées une semaine en mer pour tester les communications inter-bouées. Nous développons actuellement les algorithmes de routage inter-bouées [2], ainsi que l'intégration des capteurs (hydrophone et caméra). Le drone aquatique a déjà été testé de nombreuses fois en navigation manuelle et semi-autonome. Le défi actuel est de le rendre pleinement autonome en termes de navigation (évitement d'obstacles).

## 5 Remerciements

Ces travaux ont été financés par le CPER Numérique de la région nouvelle Aquitaine et par le CHEMI via l'Appel à projet FIESPI 2020.

## Références

- [1] A. Gaugue, M. Menard, C. Gachest, P. Bourcier; *Development of an aquatic USV with high communication capability for environmental surveillance*, MTS/IEEE OCEANS '19, IEEE Conference; Marseille Jun 2019.
- [2] S-E Elgharbi, M. Iturralde, Y. Dupuis, T. Coulombier, M. Menard, A. Gaugue; *Multi-hop wireless transmission for maritime scenarios*, IEEE OCEANS; Limerick, Ireland jun 2023.