SeaLab: vers un voilier semi-autonome

Sylvain Marchand

sylvain.marchand@univ-lr.fr

IUT de La Rochelle, Département Informatique
Laboratoire Informatique, Image et Interaction (L3i)

Thèmes – *Informatique*

Résumé – *L'université de La Rochelle s'est dotée fin 2024, dans le cadre du CPER (Contrat de plan État-Région), d'une plateforme de recherche expérimentale originale: un voilier de type course-croisière (baptisé SeaLab) qui a vocation à devenir un véhicule semi-autonome, en prenant des décisions se basant sur des données issues de capteurs classiques (profondeur, vitesse, vent, etc.), innovants (état de la mer, houle, vagues, etc.) et de caméras notamment. L'objectif est rendre le bateau sensible (de par ses capteurs) et intelligent (de par sa centrale de navigation), afin qu'il puisse être capable de percevoir, de s'apdater et d'anticiper. Cette plateforme rend accessible la recherche via des problématiques techniques en BUT Informatique, par exemple sous forme de projets tutorés et de stages. Ainsi ont déjà été conçus et réalisés un enregistreur de bord (boîte noire) et un afficheur optimisé. De plus, cette plateforme facilite les collaborations au sein de l'université. SeaLab se déplacera à Lorient pour le CNRIUT'2026.*

Mots-clés – *capteurs, informatique embarquée, intelligence artificielle, navigation autonome à voile*

Section(s) CNU pour cet article – *27, 61*

Article présenté à l'oral par un(e) doctorant(e) – *NON*

1 Introduction

SeaLab est une plateforme de recherche expérimentale de l'université de La Rochelle originale : un voilier qui a vocation à devenir un véhicule semi-autonome, sensible (de par ses capteurs) et intelligent (de par sa centrale de navigation), afin qu'il puisse être capable de percevoir, de s'apdater et d'anticiper. Cette plateforme donne l'occasion à plusieurs laboratoires et services de collaborer, sur des projets de recherche scientifique et technologique, et notamment des projets et des stages de BUT Informatique.

Cet article présente la plateforme (Sec.2), ses équipements innovants (Sec. 3) et les premiers projets (Sec. 4).

2 Plateforme SeaLab

2.1 Voilier

SeaLab est aussi le nom d'un voilier de 32 pieds (9,7 m de long, 3,7 m de large, 1,7 m de tirant d'eau et 16,1 m de tirant d'air), de type RM 970+, construit par le chantier naval RM Yachts à proximité de La Rochelle, La coque est en bois contre-plaqué de marine recouvert de résine époxy, et le pont est lui réalisé par infusion de résine polyester. Son impact environnemental est réduit, relativement aux autres techniques de construction navale (Figure 1).



FIGURE 1 – Le voilier SeaLab.

2.2 Capteurs et caméras

Le voilier est équipé de capteurs classiques (profondeur, vitesse, vent, récepteur GPS, récepteur AIS, etc.), moins classiques (centrales inertielles par exemple), voire innovants (état de la mer, houle, vagues, etc.). Les capteurs classiques sont de marque Raymarine. Les données issues de ces capteurs transitent sur un bus SeaTalk NG / NMEA 2000 (SeaTalk NG étant la surcouche Raymarine de la norme NMEA 2000 [1]). Le voilier est également équipé de caméras optiques et thermiques, pour l'instant des caméras marines classiques type Raymarine CAM210 et CAM220. Les données vidéo transitent sur un bus Raynet / Ethernet (Raynet étant la surcouche Raymarine d'Ethernet).

2.3 Calculateurs

Le placard de la cabine arrière a été transformé en salle de serveurs, chaque serveur étant en fait un nano-ordinateur de type Raspberry Pi, dont l'alimentation électrique a été transformée afin de se raccorder au réseau du bord (12 V).

3 Équipements innovants

3.1 Boîte noire

Le premier exemple de spécialisation d'un nano-ordinateur a été conçu et réalisé lors d'un projet tutoré de 3e année de BUT Informatique en 2024/2025. Il s'agit d'un enregistreur de bord (ou "boîte noire"), dont le but est de stocker les données issues de tous les capteurs (Figure 2).



FIGURE 2 – Boîte noire (enregistreur de bord).

Matériel : Du point de vue matériel, il s'agit d'un nano-ordinateur Raspberry Pi 4 équipé d'un *shield* PiCAN-M (SK Pang Electronics) permettant de le relier au bus CAN base du bus SeaTalk NG, tout en alimentant électriquement la machine via ce bus. Le tout est inséré dans un boîtier métallique ad-hoc, et se connecte au bus SeaTalk NG via un convertisseur NMEA 2000 / SeaTalk NG (Raymarine).

Système : Sur la machine est installée le système Linux avec la distribution OpenPlotter V4 (OpenMarine [2]). Cette distribution regroupe des logiciels libres d'aide à la navigation (OpenCPN, AvNav, Signal K, etc.).

Logiciel : Le programme qui récolte sur le bus CAN les données en provenance des capteurs a été écrit en langage `C` afin d'être le plus fiable et efficace possible. C'est un service lancé au démarrage du système, qui permet de garder une trace des données, horodatées, dans un fichier de log.

3.2 Automate

S'il est facile de récupérer de manière horodatée les trames échangées sur le bus, encore faut-il être en mesure de les interpréter. C'est le rôle de l'automate, écrit en langage `Python 3`, après rétroingénierie de la norme NMEA 2000 [3]. Prenons par exemple une ligne du fichier de log :

```
67459C24:215CB9EF 09FD0269 8 ...
   ... 00 5D 01 95 D0 FA FF FF
```

Les deux premiers nombres codés sous forme hexadécimale représentent respectivement la partie entière (en secondes) et fractionnaire (en nanosecondes) du temps système (depuis le 1er janvier 1970). Ainsi, le premier nombre (1732615204 en décimal) indique que cette trame a été prise le 26 novembre 2024 à `10:00:04` heure UTC, soit 11h00m04s heure locale française. Puis à partir de l'identifiant de trame `09FD0269`, on extrait le PGN *(Parameter Group Number)*, ici `1FD02`. Toujours d'après la norme NMEA 2000, il s'agit du capteur de vent. On est alors en mesure de décoder les `8` octets de données : les octets 2 et 3

codent (en *little endian*) la vitesse du vent (`01 5D` soit 349 en décimal), avec une unité de 0,01 m/s soit 3,49 m/s (6,8 noeuds) ; les octets 4 et 5 codent la direction du vent (`D0 95` soit 53493 en décimal), avec une unité de 0,0001 radians, soit une valeur de 5,3493 radians soit 306,5 degrés ; et l'octet 6 code la référence du vent (`FA` soit `1111 1010` en binaire), les 3 deniers bits `010` codent la valeur 2 qui indique qu'il s'agit du vent apparent. L'automate peut alors mettre à jour l'état du bateau, et quand toutes les données sont traitées pour cette date elles remontent vers le serveur, à la fréquence d'une fois par seconde pour la plupart, et 10 fois par seconde pour les données variant plus rapidement.

3.3 Afficheur

Les données sont publiées par le serveur web local, et peuvent être exploitées par exemple par un afficheur. Une première version sur tablette a été developpée lors d'un stage de 2e année de BUT Informatique. Le serveur publie aussi le client, qui est exécuté par un simple navigateur sur la tablette (Figure 3). Une deuxième version est en cours de conception et réalisation dans le cadre d'un sujet tutoré de 3e année de BUT Informatique. L'idée est de diminuer la consommation électrique tout en rendant l'afficheur plus lisible en extérieur (soleil). Nous envisageons à nouveau un Raspberry, doté d'un écran de type "encre électronique". Pour cela il nous faut simplifier l'affichage, et diminuer le nombre de couleurs ainsi que la vitesse d'affichage.

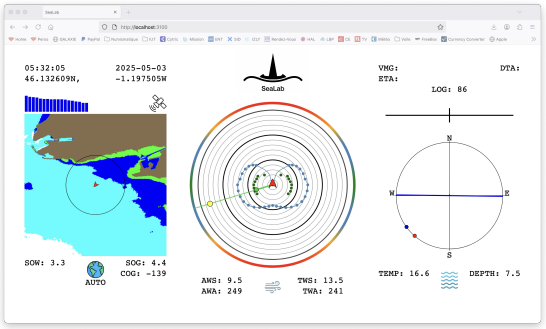


FIGURE 3 – Première version de l'afficheur : la tablette se connecte sur le serveur local et exécute un client qui propose les données (terre, vent et mer) sous forme graphique.

4 Premiers projets de recherche

4.1 Acquisition des polaires de vitesse

En 2025, dans le cadre d'un projet de la fédération de recherche MIRES, un stage de 2e année de BUT Informatique s'est intéressé à la vitesse du voilier en fonction de l'orientation et de la force du vent : les polaires de vitesse.

Actuellement les polaires de vitesse sont générées par simulation dans des logiciels de type VPP *(Velocity Prediction Program)* pour des voiliers de course. Ce stage a permis de les mesurer en pratique, en croisant / fouillant les données, à l'aide des capteurs et calculateurs embarqués sur le voilier SeaLab (voir Figure 4).

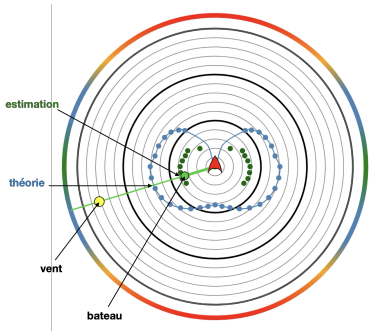


FIGURE 4 – Données liées au vent : angle (ligne verte), force (rond jaune), ainsi que vitesse du bateau (rond vert), ce qui permet d'estimer (points verts) les polaires de vitesse, connues en théorie (points et courbe bleus).

4.2 Estimation de l'état de la mer par vidéo

Une thèse de doctorat s'intéresse depuis 2023 à l'estimation en temps réel de l'état de la mer [4], à partir de caméras embarquées. Une première méthode proposée repose sur l'analyse d'images acquises par une caméra supposée stabilisée observant la surface de la mer. L'idée principale de la méthode est d'utiliser l'information fréquentielle contenue dans l'intensité lumineuse des pixels qui composent la vidéo. Cette analyse fréquentielle permet de reconstruire le spectre directionnel des vagues qui constitue une représentation physique du mouvement de la mer (Figure 5).

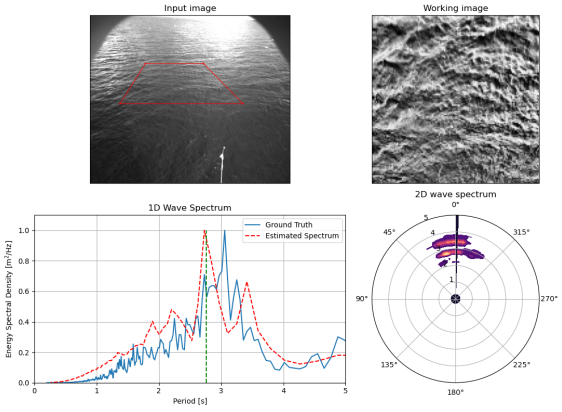


FIGURE 5 – Le spectre de vagues peut être estimé en 1D et 2D (en bas) – énergie en fonction de la période voire de la direction, à partir d'une séquence vidéo dont on extrait une zone pour laquelle on replace vituellement la caméra en vue orthogonale à la surface de la mer (en haut).

5 Conclusions

Cet article a rapidement introduit la plateforme SeaLab, ses premiers équipements innovants ainsi que les premiers projets, impliquant des étudiant(e)s de niveaux BUT, Master et doctorat. D'autres débutent, comme l'interaction en langage naturel (reconnaissance et synthèse vocales).

6 Remerciements

Sylvain Marchand tient à remercier l'IUT de La Rochelle pour son soutien à la plateforme SeaLab, La Rochelle Université et la fédération de recherche MIRES. Il remercie également le Port de plaisance de La Rochelle. Pour finir, un grand merci à celles et ceux qui ont embarqué à bord du projet : les étudiant(e)s en général, et Gabrielle Ciesla en particulier, ainsi que Nicolas Paris (doctorant) et Petra Gomez-Krämer (co-directrice de thèse).

Références

[1] National Marine Electronics Association,
Online : `https://www.nmea.org/`

[2] OpenMarine,
Online : `https://openmarine.net/`

[3] The CANBoat Project,
Online : `https://canboat.github.io/canboat/`

[4] Antonis Loizou and Jacqueline Christmas, *Sea State Estimation from Uncalibrated, Monoscopic Video*, Springer Nature Computer Science, vol. 2, article number 328, 2021