

Rapport de Stage de fin d'études
4ème année du Cycle Ingénieur à Polytech Paris-Saclay
Du 14 avril au 1er août 2025

Tuteur école : KEVIN Jean



Société : Centre d'Interprétation et de Reconnaissance Acoustique, Marine nationale (CIRA)
Adresse : BCRM TOULON BP121, 83800 Toulon Cedex 9

Responsable organisme d'accueil : SECCHI Thomas
0422420027

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| Remerciements..... | 3 |
| Résumé et abstract..... | 4 |
| Introduction..... | 5 |
| I - Le CIRA..... | 6 |
| 1. Implantation du CIRA dans la FOST..... | 6 |
| 2. Missions du CIRA..... | 8 |
| 3. Fonctionnement interne du CIRA..... | 9 |
| II - Ma mission..... | 10 |
| 1. Objectifs, problèmes et enjeux..... | 10 |
| 2. Moyens mobilisés et planification des activités..... | 12 |
| 3. Analyse des résultats obtenus..... | 13 |
| III - Les apports de ce stage..... | 16 |
| 1. Analyse des missions réalisées..... | 16 |
| 2. Analyse de mon travail..... | 17 |
| 3. Réflexions personnelles..... | 19 |
| Conclusion..... | 20 |
| Bibliographie..... | 21 |
| Annexes..... | 22 |

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier vivement le commandant du CIRA de m'avoir reçue dans son unité pour cette période de stage, ainsi que l'ensemble des officiers pour leur accueil chaleureux et pour m'avoir donné la chance d'évoluer en proximité avec eux tout au long de mon stage. Cette expérience unique m'a permis de mieux comprendre le fonctionnement interne de cet organisme et d'enrichir considérablement mes connaissances du milieu très spécifique de l'acoustique sous-marine.

Je souhaite ensuite exprimer ma profonde gratitude à mon maître de stage, ainsi qu'au maître principal chargé de la supervision du projet sur lequel j'ai travaillé, pour leur accompagnement, leurs précieux conseils, leur disponibilité et leur grande bienveillance tout au long de cette expérience. Leur encadrement m'a permis de progresser dans ce domaine et de mieux comprendre les enjeux de ma mission.

Je remercie également l'équipe des analystes rattachés à ce projet, qui m'ont guidée avec patience et professionnalisme, en partageant leur expertise et en répondant pertinemment à toutes mes questions. C'est grâce à leurs observations que j'ai pu pleinement comprendre comment rendre mon travail le plus exploitable possible.

Enfin, je voudrais remercier chaleureusement toute l'équipe du CIRA pour leur accueil sans égal, leur soutien dès mon arrivée et leur fort esprit de cohésion qui ont grandement facilité et embelli mon intégration. Évoluer dans une telle équipe a été pour moi un véritable plaisir.

Grâce à vous tous, ce stage a été une étape précieuse dans mon parcours, et je vous en suis sincèrement reconnaissante.

Résumé

J'ai travaillé en tant que développeur Python aux côtés des oreilles d'or, les analystes du Centre d'interprétation et de reconnaissance acoustique de la Marine nationale (CIRA) sur le traitement des données acoustiques sous-marines. Mes missions étaient les suivantes :

- faire évoluer l'application de modèle cartographique utilisée en support pour l'annotation ;
- faire évoluer le système d'annotation ;
- faire évoluer les démonstrateurs d'IA.

Je me suis principalement concentrée sur la première de ces missions, en réalisant des ajouts adaptés aux besoins exprimés par les analystes à l'application Python de modèle cartographique pour l'annotation.

En parallèle, j'ai pu me pencher sur la vérification automatique des annotations réalisées par les analystes grâce à l'implémentation Python d'une évaluation de la cohérence de certains critères contenus dans les tableaux d'annotations d'écoute.

Abstract

I worked as a Python developer alongside the analysts of the CIRA (Center for acoustic Interpretation and Recognition of the French Navy) on the processing of underwater acoustic data. My tasks were as follows:

- enhancing the cartographic model application used to support annotation;
- improving the annotation system;
- enhancing AI demonstrators.

I mainly focused on the first of these tasks, by adding features to the Python-based cartographic model application for annotation, tailored to the needs expressed by the analysts.

In parallel, I also worked on the automatic verification of annotations produced by the analysts, through the Python implementation of a method for evaluating the consistency of certain criteria contained in the listening-based annotation tables.

Introduction

Dans le cadre de ma quatrième année de cycle d'ingénieur informatique à Polytech Paris-Saclay, j'ai eu l'opportunité d'effectuer un stage de 16 semaines au sein de la division du CIRA de la Marine nationale, du 14 avril au 1er août 2025. Ce stage s'inscrit dans une démarche pédagogique visant à favoriser l'insertion professionnelle des étudiants en leur permettant de confronter leurs acquis théoriques à la réalité du terrain.

L'objectif principal de ce stage était de mettre en pratique les compétences développées au cours de ma formation, d'en acquérir de nouvelles au contact de professionnels expérimentés, et de découvrir le fonctionnement d'un organisme ayant un secteur consacré au numérique, tant sur le plan organisationnel que technique.

Ce rapport a pour vocation de retracer le déroulement de cette expérience. Il débutera par une présentation du CIRA et de ses missions au sein de la Marine nationale, avant de s'intéresser à mon rôle en tant que stagiaire ingénieur logiciel et aux missions qui m'ont été confiées. Enfin, une réflexion sur les apports de ce stage viendra conclure ce document.

I - Le CIRA

1. Implantation du CIRA dans la FOST

Pour situer le CIRA au sein de la Marine française, il faut d'abord situer la Force océanique stratégique (FOST), représentée dans le diagramme en figure 1 [1]. Son commandant, ALFOST (AL pour amiral), commande l'ensemble des sous-marins nucléaires [2].

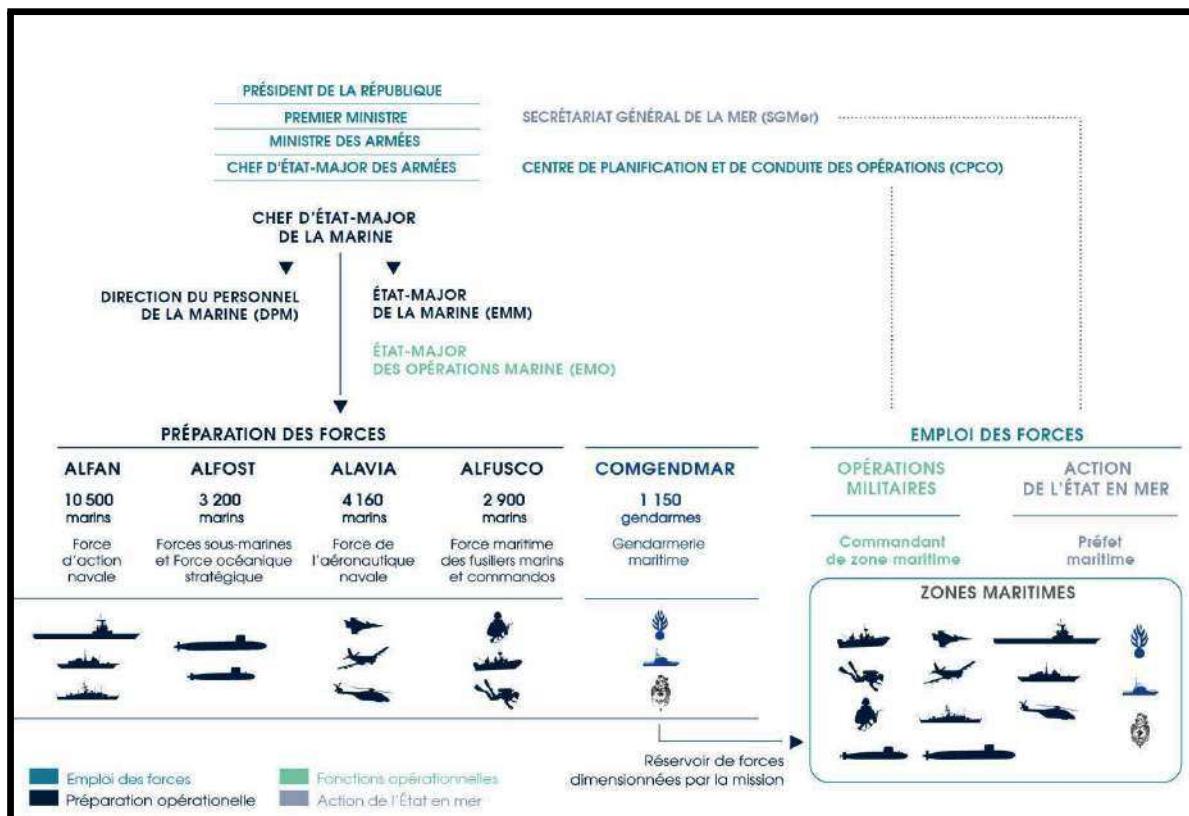


Figure 1 : Les moyens de la Marine nationale dans le monde. Source : Cols bleus.

La Force océanique stratégique s'appuie sur deux ports bases, Toulon et Brest, et dispose de onze coques dont trois à quatre sont déployées en mer simultanément, comprenant cinq sous-marins nucléaires d'attaque (SNA) et six sous-marins nucléaires lanceurs d'engins (SNLE) [3]. Elle regroupe au total 3200 marins, parmi lesquels 1500 sont des sous-mariniers embarqués. Son organisation intègre également deux écoles spécialisées ainsi que quatre centres de transmissions marines répartis à Kerlouan, Sainte-Assise, Rosnay et dans la région France Sud. Ces implantations géographiques sont représentées dans la figure 2, où l'on peut localiser le CIRA dans l'arsenal de Toulon.



Figure 2 : Implantations et chiffres de la FOST. Source : CIRA.

La Force océanique stratégique assure une mission de dissuasion grâce à la permanence à la mer garantie par les sous-marins nucléaires lanceurs d'engins [3,4]. Elle conduit également des missions de recueil et de renseignement, confiées aux sous-marins nucléaires d'attaque. Ces derniers participent aussi à la protection du groupe aéronaval en assurant son escorte et sa sécurisation. Enfin, ils interviennent lors d'opérations spéciales en prenant en charge l'exfiltration et l'appui aux forces spéciales.

2. Missions du CIRA

Basé dans l'arsenal de Toulon, le Centre d'interprétation et de reconnaissance acoustique (CIRA) est une unité rattachée à la FOST et à fonction principale de renseignement. Son rôle au sein de la Marine est d'assurer une avance stratégique en reconnaissance acoustique dans un contexte international assimilable à une guerre acoustique. Le CIRA réalise la collecte de données acoustiques sous-marines, assure le renseignement et la classification de ces mêmes données, dirige la recherche en avancées scientifiques et en assistance à l'analyse des données par l'intelligence artificielle, et enfin dispense lui-même la formation de ses analystes (les oreilles d'or).

Plus précisément, le CIRA assure quatre rôles principaux brièvement mentionnés dans le paragraphe précédent. Premièrement, il a un rôle de soutien opérationnel au profit des unités dotées de capacités passives, en leur apportant l'expertise nécessaire à la conduite de leurs missions. Deuxièmement, il participe au Renseignement d'origine acoustique (ROAC), en contribuant à la collecte, à l'analyse et à l'exploitation des données sous-marines. Troisièmement, l'unité est responsable de la formation et du contrôle des opérateurs de la filière guerre acoustique, garantissant ainsi le maintien d'un haut niveau de compétence technique et opérationnelle. Enfin, le CIRA conduit et accompagne des études et programmes en lien avec différents partenaires tels que l'État-Major de la Marine (EEM) et la Direction générale de l'armement (DGA).

Le cycle du ROAC mentionné ci-dessus consiste en une boucle courte maîtrisée de bout en bout au CIRA. Cette boucle contient l'orientation renseignement, c'est-à-dire le choix des priorités ROAC, puis le recueil des informations, leur exploitation avec une capacité de traitement par priorité, et enfin la gestion de leur diffusion, dont les analyses mènent à l'optimisation de l'orientation renseignement en début de boucle. Chacune de ces étapes est mise à jour en continu grâce à la contribution de toutes les unités de la Marine.

3. Fonctionnement interne du CIRA

Le CIRA est une unité de la base navale de Toulon, principalement constituée de sous-mariniers, qui sont tous des oreilles d'or. L'identité des oreilles d'or est gardée secrète car leur formation, leur expérience et leurs compétences sont autant de connaissances stratégiques qui les exposent à de fortes pressions. L'organigramme du CIRA est présenté en figure 3. Il se divise en trois sections dont la plus importante est le groupement soutien opérationnel. La deuxième section est consacrée à la formation des oreilles d'or, qui se déroule dans l'enceinte du CIRA. La dernière section est le groupement SIC et expertise métier. C'est dans cette section que se déroule la partie recherche et développement informatique où j'ai effectué mon stage. Mon tuteur dans l'organisme, Thomas Secchi, est le responsable de cette section. Elle comprend principalement des analystes experts en annotation sur base. Elle gère aussi le développement des sujets de recherche et les partenariats avec des entreprises expertes en intelligence artificielle. Pour réaliser mes missions dans cette section, j'ai été habilitée au niveau SECRET.

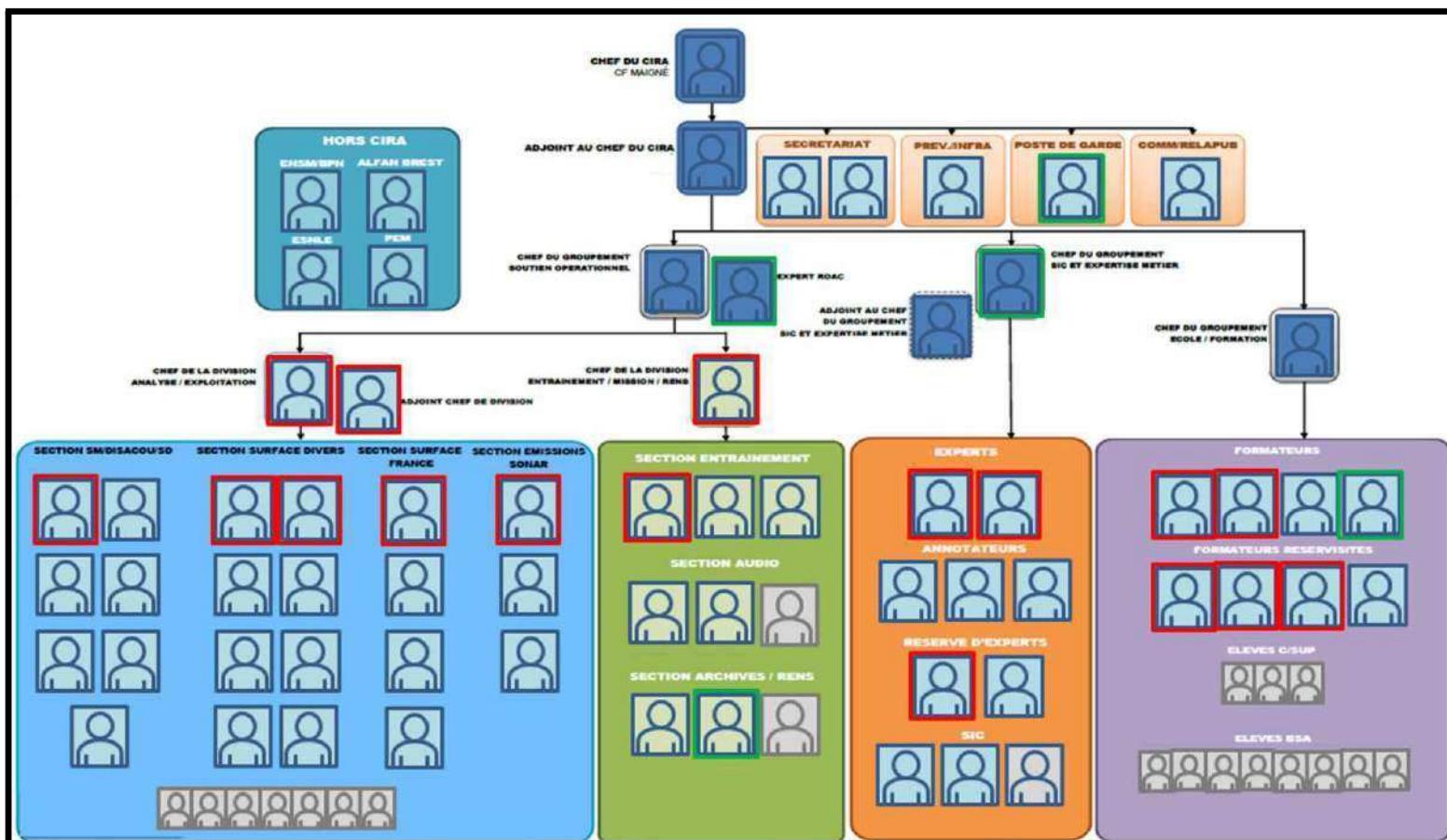


Figure 3 : Organigramme du CIRA. Source : CIRA.

II - Ma mission

1. Objectifs, problèmes et enjeux

Le CIRA construit, archive et exploite une très grande base de données d'enregistrements acoustiques sous-marins. Une partie du travail des analystes consiste en leur interprétation et leur annotation, selon les sources acoustiques reconnues à l'oreille et grâce aux outils dont ils disposent. Comme présenté sur la figure 4, ces sources peuvent provenir de tous types d'activité, qu'elle soit environnementale, biologique, commerciale ou encore militaire. C'est ce dernier type d'activité qui est spécifiquement étudié par le CIRA. Les analystes repèrent les bâtiments présents à des fins stratégiques.



Figure 4 : L'océan, un monde de bruits. Source : CIRA.

Les moyens de détection utilisés par les analystes relèvent du secret défense. Pour l'annotation, ils disposent de divers algorithmes, techniques et outils. A terre, un des outils utilisés pour l'annotation post-mission est l'application de cartographie Carnot. Cette application a été développée en Python par un étudiant en master en informatique dans le cadre d'un contrat armée-jeunesse en 2024. Elle répond à des besoins de fusion, de représentation et de visualisation des données maritimes dans l'espace et dans le temps. Pour s'en servir, les analystes y renseignent les positions de leurs balises ainsi que les données publiques de positions des bâtiments de surface (données AIS ou autres).

Ce projet est codé en programmation orientée objet et respecte une architecture Modèle - Vue - Contrôleur (MVC), selon l'arborescence présentée dans la figure 5. Le dossier "Vue" rassemble les sections logiques Vue et Contrôleur. Les besoins d'utilisation de cette application ayant évolué au CIRA depuis son développement, j'ai été chargée de la reprise de son code et de l'ajout de fonctionnalités spécifiques qui seront présentées dans les résultats de ma mission. L'enjeu de cette mission est de maintenir cette application en phase avec les besoins d'utilisation des analystes, afin qu'elle continue d'être un atout stratégique pour l'annotation, sur base, des données acoustiques du CIRA, et pour sa mission de renseignement en général.

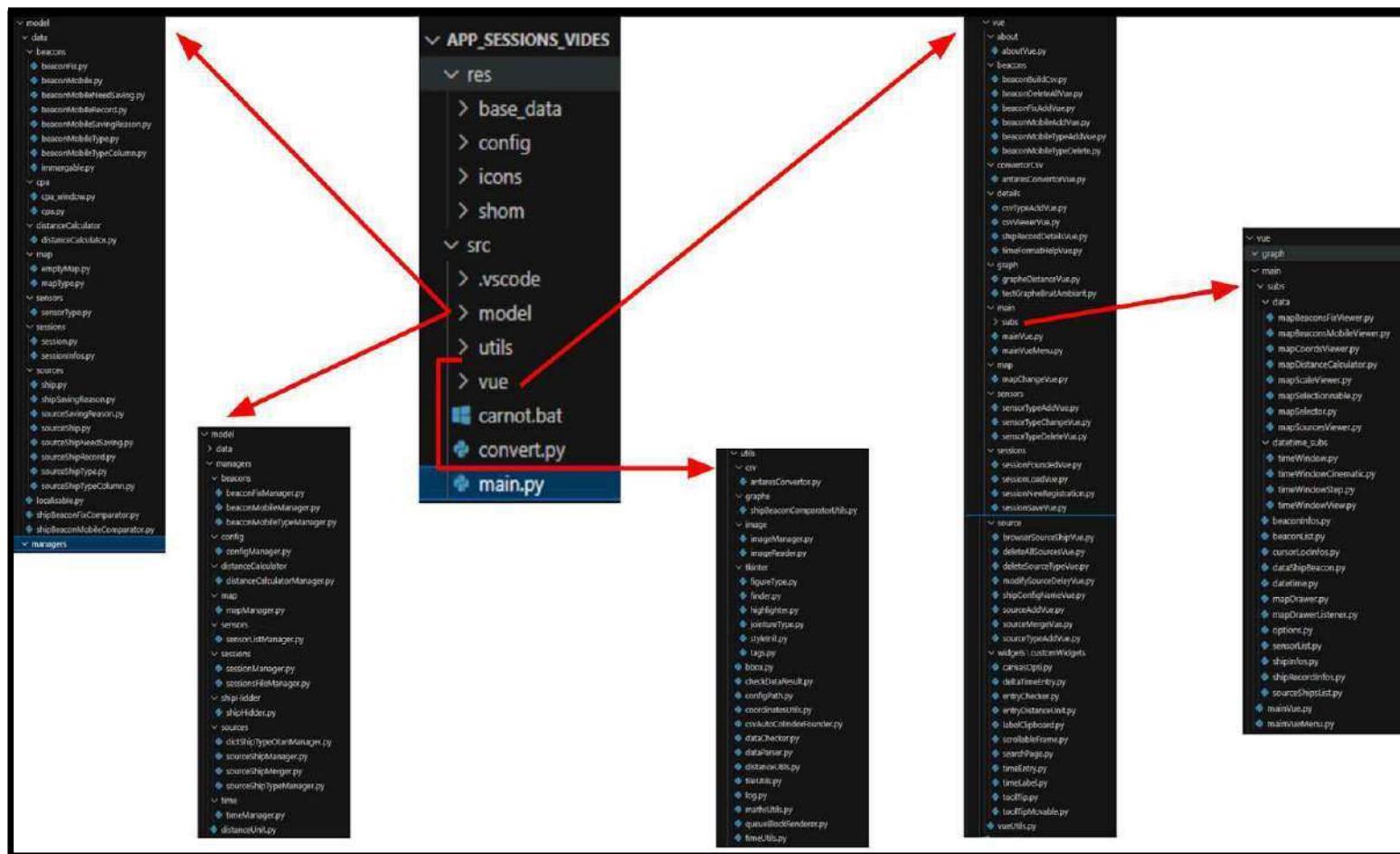


Figure 5 : Diagramme de classes final de l'application Carnot, après les ajouts réalisés pendant mon stage. Total d'environ 140 classes, organisées selon l'architecture MVC.

2. Moyens mobilisés et planification des activités

La première semaine de mon stage a été consacrée à une découverte très complète des différentes activités du CIRA. En plus de nombreuses discussions avec l'ensemble de l'équipe, chaque demi-journée m'a permis une rencontre avec un métier différent : j'ai eu la chance d'assister à un entraînement des analystes à la reconnaissance acoustique, j'ai également pu découvrir les outils utilisés par les analystes ainsi que certaines techniques du spécialiste ultrabasses fréquences. De plus, un lieutenant de la base navale de Brest était en mission au CIRA cette semaine-ci et j'ai pu assister à la présentation des activités de sa base. J'ai également visité l'ensemble des secteurs de l'arsenal de Toulon et découvert les spécificités de sa flotte. Je me suis familiarisée avec les grades et le fonctionnement de la marine. Les semaines suivantes ont été consacrées à la prise en main de l'outil Carnot et à la réalisation de mes diverses missions selon l'organisation présentée dans le diagramme ci-dessous, en figure 6.

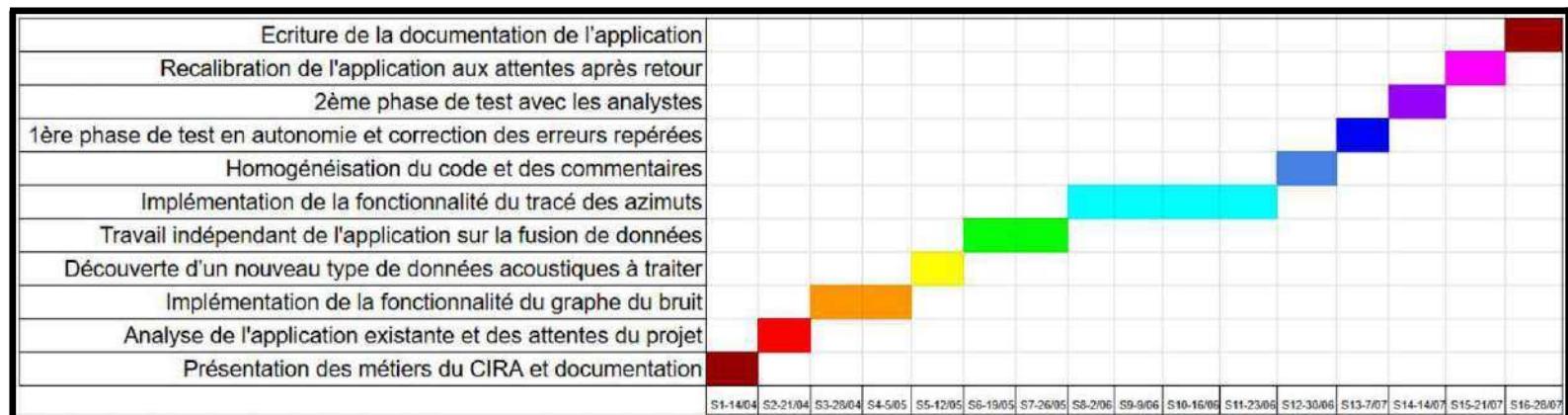


Figure 6 : Diagramme type Gantt de la planification des activités sur les 16 semaines de stage (du 14 avril au 1er août 2025).

3. Analyse des résultats obtenus

L'application de base sur laquelle j'ai travaillé présente une carte des mers sur laquelle l'analyste peut placer ses balises ainsi que les données publiques des bâtiments de surface. Il peut ensuite utiliser les fonctionnalités existantes pour se déplacer selon le temps et l'espace parmi ces données et accéder à leurs détails spécifiés dans la barre d'informations. Les balises peuvent être fixes (des bouées acoustiques) ou bien mobiles (d'autres équipements acoustiques). Comme présenté dans les parties II.1 et II.2, j'ai d'abord étudié l'architecture MVC de cette application et son diagramme de classes, pour pouvoir ensuite y implémenter des ajouts homogènes et bien intégrés à sa logique de fonctionnement. Cette étude préliminaire de la structure du code a été réalisée à partir du code lui-même et du manuel d'utilisation, car il n'existe pas de manuel du développeur. On peut donc parler de "reverse engineering". Chaque ajout que j'ai implémenté en suivant cette architecture MVC a dû être réalisé dans les 3 sections logiques modèle, vue et contrôleur, donc dans 3 classes distinctes.

La première fonctionnalité que j'ai ajoutée permet de tracer le graphe du bruit ambiant autour d'une balise, en une position donnée, lorsque les mesures nécessaires ont été enregistrées. L'interface se présente comme sur la figure 7 et permet de tracer le spectre de la plage de fréquences étudiée avec un choix d'échelle linéaire ou logarithmique.



Figure 7 : Interface réalisée pour le tracé du spectre du bruit ambiant d'une balise, ici après choix par l'utilisateur d'une échelle logarithmique. Les informations temporelles de la balise sont masquées car il s'agit de données réelles.

J'ai ensuite principalement travaillé sur l'ajout d'une information relative à la détection reçue par les balises que les analystes utilisent dans leur travail, celle de l'azimut. Les algorithmes d'obtention et d'utilisation de cette information ne sont pas habilités à être détaillés dans ce rapport. L'ajout que j'ai effectué permet de tracer les azimuts enregistrés par les balises directement sur la carte et selon certains critères utiles à l'exploitation de cette information. La figure 8 est un montage présentant un exemple de tracé d'azimut sur des données de test, qui ne sont pas utilisées dans les autres champs de l'application. Cela permet de visualiser l'ensemble des possibilités d'affichage et d'utilisation de Carnot avec cette nouvelle fonctionnalité.

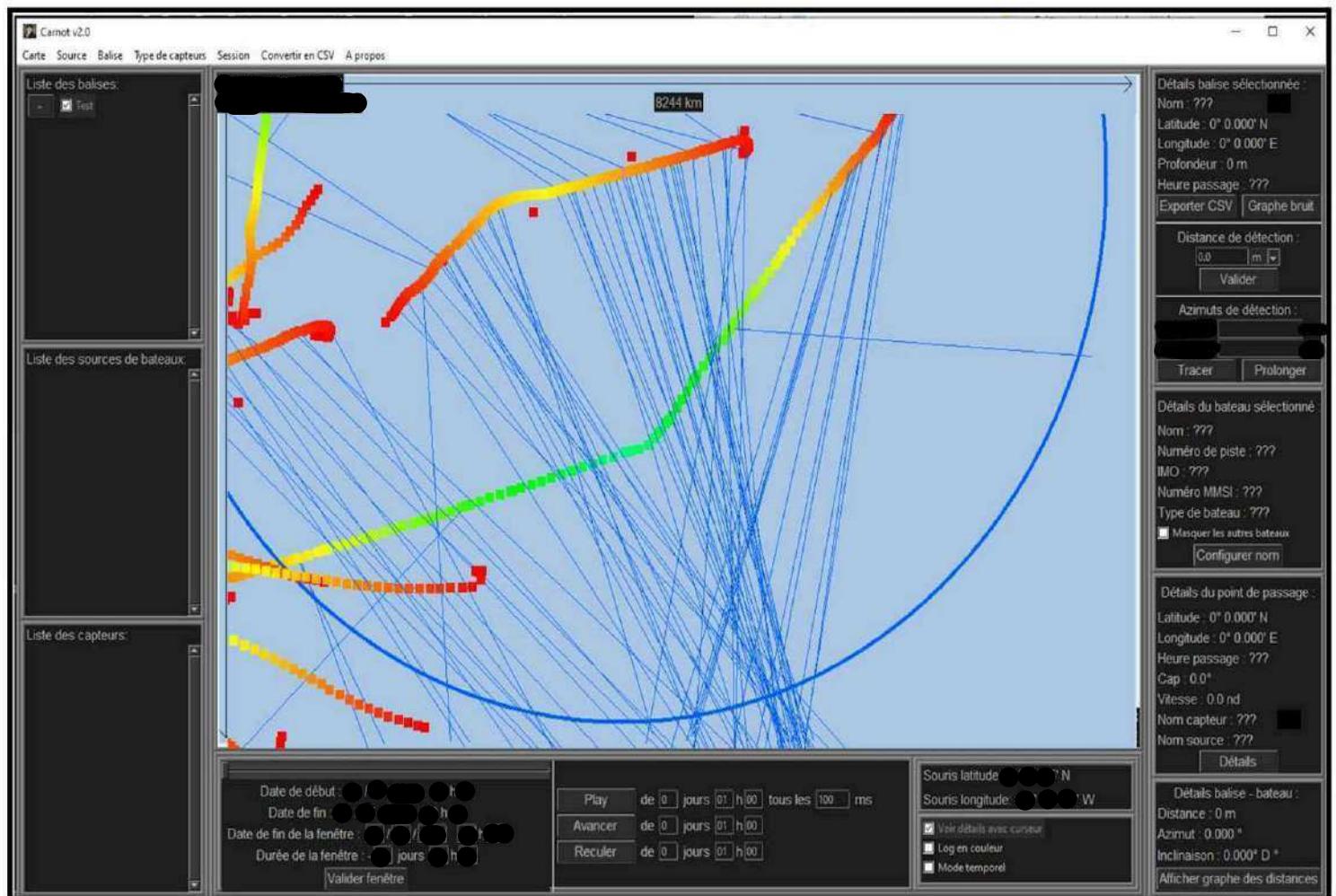


Figure 8 : Superposition de l'interface globale de l'application (cadre noir) avec celle réalisée pour l'affichage des tracés des azimuts et du rayon de détection (écran bleu), sur des données de test. (Rayon du cercle bleu d'environ 0,5 miles nautiques, jambes de déplacement de la balise d'environ 1 heure chacune.)

Indépendamment de mon travail sur l'application Carnot, j'ai réalisé un code Python répondant à une problématique de fusion de données. A partir de deux types de données différentes (enregistrements et annotations), mon code a permis d'effectuer une jointure de tables confrontant les résultats obtenus par les analystes avec les caractéristiques de base des données. Selon certains critères de cohérence, nous avons pu établir avec les analystes une critique des résultats obtenus. Ces résultats n'ont pas été assez généralisés pour les rendre exploitables à l'automatisation. C'est une piste que j'aurais aimé approfondir si j'avais

disposé de plus de temps. Ce travail m'a néanmoins permis de discuter avec les spécialistes de la critique de données auxquelles l'accès m'a été autorisé dans le cadre de mon habilitation. L'algorithme suivi et le résultat de cette critique sont restés en interne du CIRA.

Plus généralement, j'ai été encouragée à la prise d'initiatives, par exemple proposer des méthodes de traitement acoustique ou de vérification automatique, ce qui m'a permis de mieux comprendre l'intérêt des différentes méthodes de traitement des données, notamment celles utilisées par l'application Carnot. J'ai pu pleinement comprendre l'enjeu stratégique de cet outil de cartographie et des résultats obtenus grâce aux phases de tests d'utilisation avec les analystes.

III - Les apports de ce stage

1. Analyse des missions réalisées

Le stage que j'ai effectué au sein du CIRA s'inscrit pleinement dans les objectifs de l'organisme, dont la mission principale est d'assurer le soutien opérationnel, le renseignement acoustique et l'accompagnement des unités de la Marine. Mon travail était utile dans le cadre des besoins spécifiques de l'unité en matière de traitement et d'exploitation des données, un domaine essentiel pour les analystes qui doivent disposer d'informations fiables et facilement exploitables pour leurs missions. L'importance de cette mission réside dans le fait que la qualité et la rapidité d'accès aux données conditionnent directement l'efficacité opérationnelle de l'unité.

Le CIRA n'ayant pas d'ingénieur informatique dédié à l'application Carnot, j'ai pu apporter mon expertise dans l'analyse de bases de données, le calcul de jointures ainsi que la modélisation informatique des données et leur représentation graphique via une interface ergonomique. Ces réalisations permettent aux analystes du CIRA d'exploiter efficacement les informations collectées. En structurant les données de manière claire et accessible, j'ai contribué à améliorer l'efficacité de Carnot et la pertinence des analyses menées à l'aide de cet outil.

Par ailleurs, en comprenant le rôle de l'ingénieur informatique dans le fonctionnement de l'organisme, j'ai intégré les objectifs opérationnels et adapté mes développements aux besoins réels des utilisateurs. Les travaux que j'ai réalisés, alignés avec les objectifs fixés, constituent ainsi un apport concret au CIRA, tout en me permettant d'acquérir une expérience professionnelle précieuse dans un environnement exigeant et technique.

2. Analyse de mon travail

Le travail réalisé s'est déroulé avec une grande autonomie, tout en bénéficiant d'une communication fluide et spontanée au sein de l'unité. J'ai pu échanger quotidiennement avec les responsables de mon sujet de stage, les analystes associés et l'ensemble des officiers du CIRA, ce qui a permis un suivi régulier et constructif de mes missions. La planification du travail en équipe, avec des retours continus, constituait une méthode de gestion de projet particulièrement adaptée à la recalibration de l'application selon les besoins des utilisateurs directs. La répartition temporelle des tâches, présentée dans la partie II.2, a bien fonctionné pour la mise en œuvre des ajouts demandés. Cependant, la prise en main initiale du logiciel en reverse engineering a imposé un temps significatif par rapport aux avancées réalisées par la suite et aux fonctionnalités supplémentaires que j'aurais souhaité pouvoir intégrer en fin de stage.

Au début du stage, je disposais déjà de plusieurs compétences qui se sont révélées particulièrement utiles. La maîtrise du langage Python et du développement d'applications, ainsi que la compréhension de l'architecture MVC, m'ont permis de m'adapter rapidement aux outils et à la structure du projet. Par ailleurs, les connaissances que j'avais acquises lors de mon précédent stage au LIS du CNRS de Toulon sur les méthodes scientifiques appliquées à l'acoustique marine et à l'analyse du signal ont constitué une base solide pour appréhender les objectifs techniques qui m'étaient confiés. Certaines compétences m'ont toutefois manqué, notamment la maîtrise de bibliothèques Python [5,6] dont je n'avais jamais étudié le fonctionnement. Faute de temps et d'opportunité, je n'ai pas pu en approfondir l'usage, ce qui a limité certains développements que j'aurais souhaité explorer.

Ce stage m'a permis de découvrir le fonctionnement interne de la Marine nationale et d'y acquérir un ensemble de connaissances nouvelles. Je me suis notamment familiarisée avec des notions de localisation et d'orientation de sources acoustiques en mer, ainsi qu'avec les instruments de mesure des données acoustiques. J'ai également approfondi mes connaissances en physique, en abordant la propagation du son en milieu marin, l'équation du sonar [7] et la bathymétrie des fonds marins. J'ai également eu l'opportunité de participer à de nombreux entretiens avec des spécialistes de divers domaines. Ces rencontres ont couvert des sujets variés tels que la physique appliquée, l'histoire, la géopolitique et les enjeux stratégiques océaniques. J'ai découvert les outils et les méthodes de travail des analystes, participé à leur entraînement, et échangé avec des experts en analyse acoustique ainsi qu'avec des partenaires en intelligence artificielle du CIRA. Par ailleurs, j'ai pu bénéficier de visites des différentes sections du CIRA, d'un sous-marin, de l'arsenal entier et notamment du FANLAB, laboratoire dédié au développement informatique de la base navale de Toulon. Cette expérience très complète m'a permis de mieux appréhender le fonctionnement des installations et des unités de la Marine.

Les principales difficultés rencontrées au cours du stage ont été très formatrices. La gestion d'un projet en autonomie et hors réseau internet et téléphonique constituait un défi inédit, représentant un handicap certain au démarrage. Cependant, cette contrainte m'a permis de développer mon sens de l'organisation, ma capacité à résoudre des problèmes de manière indépendante et ma connaissance approfondie du langage Python, en particulier dans l'utilisation des bibliothèques time, tkinter et numpy. Une autre difficulté importante a été la reprise d'un code déjà entamé par un autre développeur. J'ai dû assimiler rapidement les

normes et conventions de codage appliquées, comprendre la structure de l'architecture MVC, analyser la logique orientée objets et l'organisation hiérarchique des dossiers, et interpréter les commentaires afin d'assurer la continuité et la cohérence du développement.

Ces expériences, parfois exigeantes, m'ont permis de progresser autant sur le plan technique que méthodologique. Elles m'ont également sensibilisée à l'importance de la clarté et de la standardisation du code pour en garantir la pérennité et la maintenabilité.

3. Réflexions personnelles

La taille particulièrement réduite de l'unité du CIRA constitue un véritable atout : en amenant tous les grades à se côtoyer et se connaître personnellement, elle permet des rapports hiérarchiques détendus tout en étant très efficaces. Les interactions avec les entreprises externes et les partenaires m'ont également semblé très agréables, avec des relations bien entretenues, ce qui donne envie de faire partie d'une telle équipe. Enfin, j'ai eu la chance de participer aux cérémonies et aux activités de cohésion du CIRA, dont les photos sont présentées en figure 9, ce qui a rendu cette expérience encore plus marquante et complète, en me donnant la sensation d'être devenue pendant cette période de stage un membre à part entière de l'équipe.

Au sein du CIRA, l'ingénieur travaille sur les sujets d'informatique et d'intelligence artificielle. Son rôle est d'automatiser et de faciliter le travail des analystes, en leur fournissant les outils technologiques adaptés à leurs besoins. Cette mission lui apporte une proximité avec les analystes, qui forment le véritable cœur de l'unité. Par ailleurs, même s'il ne fait pas partie du corps des sous-mariniers, l'ingénieur bénéficie dans la Marine du grade d'officier, et il s'intègre aisément à la branche de la direction du CIRA. De plus, il peut être embauché en contrat court ou long, en tant que civil ou militaire.

Ma mission en tant que stagiaire ingénieur du CIRA a pleinement satisfait mes attentes en matière de développement technique. Toutefois, j'aspire à pouvoir élargir mes futures responsabilités professionnelles au management, à la gestion, ainsi qu'à la conception et l'analyse de modèles scientifiques. Ces missions correspondent à celles que j'ai pu voir assurées par mon tuteur, ingénieur au sein du CIRA. Ce développement des missions me semble donc cohérent d'ici l'obtention de mon diplôme d'ingénieur et l'acquisition d'une expérience professionnelle plus longue. Plus généralement, depuis mon entrée en troisième année à Polytech, j'ai vécu une évolution personnelle significative concernant le secteur dans lequel je souhaite travailler, à savoir l'acoustique sous-marine. Cette orientation m'amène à privilégier des stages dans ce domaine spécifique et confirme mon intérêt ainsi que ma vocation professionnelle.



Figure 9 : Photos de ma participation à la sortie cohésion au centre nautique et à la cérémonie de remise des diplômes des nouveaux analystes du CIRA.

Conclusion

Mon stage au CIRA m'a donné l'opportunité de participer activement au développement et à l'amélioration de l'application de cartographie Carnot, outil dédié à l'annotation des données acoustiques sous-marines par les analystes. Mes missions principales ont consisté à analyser et reprendre le code existant, à ajouter de nouvelles fonctionnalités, telles que le tracé du spectre du bruit ambiant autour des balises et l'affichage des informations d'azimut, ainsi qu'à contribuer à la fusion de données provenant de sources variées. Ces travaux ont permis d'optimiser l'exploitation des enregistrements acoustiques permise par l'outil Carnot, de rendre l'interface plus ergonomique et de renforcer l'intérêt stratégique de cette application en la maintenant conforme aux attentes de ses utilisateurs.

Cette expérience m'a également permis d'acquérir une compréhension approfondie du fonctionnement de l'unité du CIRA et de la Marine en général, de ses enjeux opérationnels et du rôle de l'ingénieur informatique aux côtés de l'analyste dans le traitement et la visualisation de données complexes. Le travail réalisé a montré l'importance de l'adaptation des outils aux besoins évolutifs des utilisateurs, ainsi que la pertinence de la prise d'initiatives et de l'analyse critique dans un contexte technique et stratégique.

Du point de vue scientifique, cette mission ouvre plusieurs perspectives intéressantes. L'approfondissement des algorithmes utilisés pour l'exploitation de l'azimut ou l'intégration des équations du sonar [7] pourraient améliorer la précision des simulations et des tracés sur l'application. De même, la mise en œuvre de méthodes avancées de traitement des signaux acoustiques et de fusion de données pourrait permettre d'enrichir les fonctionnalités de Carnot et de soutenir plus efficacement les missions de renseignement sous-marin. Ces perspectives constituent autant de pistes pour des travaux futurs, que ce soit dans le cadre de stages complémentaires, de projets de recherche ou d'une évolution professionnelle vers des missions de conception et de management d'outils stratégiques dans le domaine de l'acoustique marine.

Bibliographie

- [1] *Organisation, une structure simple et agile*, Infographie des cols bleus, consulté le 3 août 2025 à l'adresse <https://www.colsbleus.defense.gouv.fr/medias/infographies>
- [2] *Force océanique stratégique*, Wikipédia, (2025), consulté le 3 août 2025 à l'adresse https://fr.wikipedia.org/wiki/Force_oc%C3%A9anique_strat%C3%A9gique
- [3] *Défense*, Ministère des armées, (2025), consulté le 5 août 2025 à l'adresse <https://www.defense.gouv.fr/marine/marins>
- [4] *Dissuasion*, Ministère des armées, (2025), consulté le 5 août 2025 à l'adresse <https://www.defense.gouv.fr/marine/fonctions-strategiques/dissuasion>
- [5] *The Python Tutorial*, Python Software Foundation, (2025), consulté d'avril à août 2025 à l'adresse <https://docs.python.org/3/tutorial/index.html>
- [6] DEMANGEL E., Maîtrisez la Data Science avec Python, Editeur ENI, (2025).
- [7] DEFOUR M., THUBERT D., Ondes sous les mers : Les sonars au cœur de la lutte sous-marine [Bibliothèque universitaire de la défense], Édition Gallimard, (2013).