

PROPOSITION DE SUJET POUR UN CONTRAT DOCTORAL

Laboratoire	L3i : Laboratoire Informatique Image Interaction
Titre de la thèse	Analyse multimodale du comportement de la mégafaune marine par apprentissage profond. Application aux interactions avec les engins de pêche palangrière pour des pratiques de pêche durables
Direction de la thèse <i>directeur-trice-s (grade, HDR) et éventuels co-directeur-trice-s</i>	Jean-Christophe BURIE (Professeur des Universités)
Adéquation scientifique avec les priorités de l'établissement	<p>Ce sujet de thèse s'inscrit dans les axes de transition environnementale et de transition numérique du LUDI. Il vise à développer des nouveaux dispositifs de pêche afin de préserver la biodiversité et notamment la mégafaune marine qui fait souvent l'objet de prises accidentelles pouvant mettre en péril certaines populations. Les recherches consisteront à proposer des techniques d'intelligence artificielle pour analyser et comprendre le comportement des grands poissons pélagiques, des tortues, etc., lorsqu'ils s'approchent d'une palangre.</p> <p>La réalisation de ces travaux nécessitera une approche pluridisciplinaire en impliquant des informaticiens (analyse d'images et de vidéos, intelligence artificielle) et des biologistes (spécialistes des grands poissons pélagiques) et de spécialistes sur les dispositifs de pêche.</p>
Descriptif du sujet <i>(enjeux scientifiques, applicatifs, sociétaux...)</i>	<p>Contexte :</p> <p>La pêche pélagique à la palangre interagit avec les mammifères marins, les oiseaux de mer, les tortues de mer et les élasmobranches (requins, raies) et est aujourd'hui identifiée à l'échelle mondiale comme l'une des principales menaces pour la mégafaune marine. La plupart de ces espèces sont d'ailleurs protégées par des conventions internationales. La capture d'espadons juvéniles est notamment considérée comme un problème majeur dans les pêches à la palangre en méditerranée et en atlantique. La réglementation récente imposant une limite de taille n'a malheureusement pas eu d'effets satisfaisants. Les recherches sur le développement de dispositifs permettant la réduction des prises accessoires (non souhaitées) et proposant des mesures d'atténuation potentielles sont recommandées par toutes les organisations régionales de gestion des pêches (<i>FRMO : Regional fisheries management organisations</i>). Pour développer de tels dispositifs, il est toutefois essentiel de disposer de connaissances précises sur le fonctionnement des équipements de pêche ainsi que sur le comportement des espèces marines, notamment celles capturées accidentellement mais aussi sur tout autre espèces à proximité de la palangre.</p> <p>Travaux antérieurs :</p> <p>Dans le cadre de la collaboration avec l'entreprise néo-calédonienne VISIOON, nous avons développé des algorithmes de suivi et de comptage des espèces de poisson (<i>cf. figure 1</i>). Ces algorithmes sont appliqués sur des vidéos acquises à partir de caméras sous-marines 360° posées sur les fonds marins (profondeur de 5 à 20m).</p>



Figure 1 : suivi et comptage des espèces

Les approches développées permettent le traitement semi-automatique des vidéos en :

- identifiant les séquences pertinentes dans les vidéos ;
- détectant et suivant tous les objets en mouvement dans le temps et dans l'espace ;
- déterminant l'*image optimale* de chaque objet pour l'identifier.

Chaque identification est ensuite indexée afin de constituer une base de données significative des espèces présentes sur le site étudié.

Acquisition des données :

Dans le cadre de cette thèse, une palangre instrumentée (cf. figure 2) fera l'acquisition des vidéos, soit par des caméras (2D, 3D) attachées directement à la palangre, soit par un drone marin autonome qui naviguera à proximité. Différents capteurs (acoustique, accéléromètres, enregistreurs de température et de profondeur, ...) seront également disposés le long de la ligne principale. Ces équipements serviront à percevoir l'environnement de la palangre d'un point de vue visuel et sonore et d'analyser et caractériser les conditions dans lesquelles les prises sont réalisées.

Les données seront acquises en mer Méditerranée et dans l'océan Pacifique dans le cadre d'une collaboration avec l'Ifremer (UMR MARBEC) et l'Université d'Hokkaido en considérant des pêcheries palangrières artisanales à petite échelle ciblant **les gros poissons pélagiques, les tortues, les dauphins** (dénommés « animaux » par la suite).

Pour la mer Méditerranée, dans le cadre de la collaboration avec l'Ifremer, 40 sorties en mer sont prévues. Les premières campagnes sont prévues en mai 2025 pour tester les équipements de la palangre instrumentée. Les campagnes s'étaleront sur 2 ans pour compléter les acquisitions.

Pour l'océan Pacifique, la planification des acquisitions n'est pas encore établie.

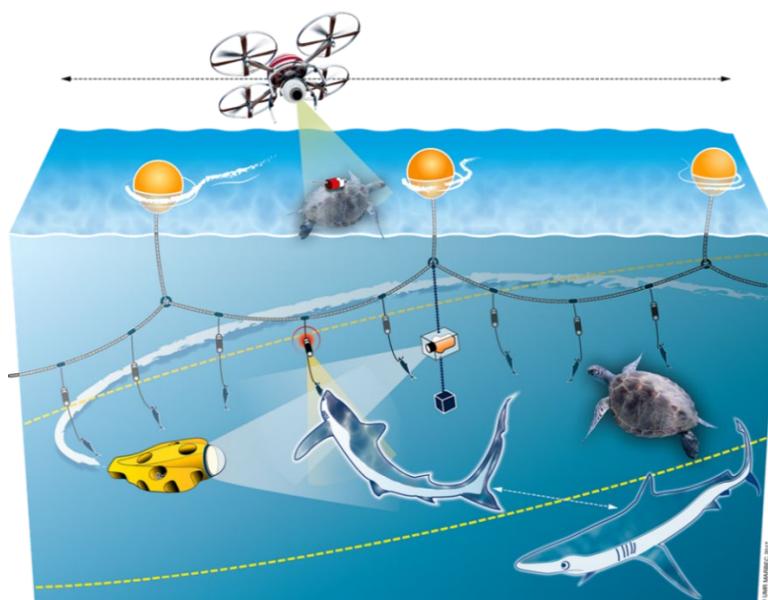


Figure 2 : Palangre instrumentée équipée de capteurs et de caméras, ainsi que d'un mini véhicule sous-marin autonome patrouillant autour des engins de pêche.

Problématiques scientifiques :

Les objectifs sont d'étudier, à la fois, le fonctionnement in-situ des composants de la palangre de pêche, les comportements des animaux s'approchant des hameçons appâtés, d'étudier la pertinence des paramètres environnementaux pendant les opérations de pêche, voire d'équiper certains individus de prises accessoires (jamais étudiées auparavant) pour documenter leurs déplacements.

Les problématiques scientifiques concernent :

1- L'identification des périodes clés dans les séquences vidéo.

Pour éviter d'analyser la totalité des vidéos qui peuvent être longues, il s'agira d'identifier les séquences où il se passe quelque chose d'intéressant, pour ne lancer l'analyse complète que sur ces séquences. Cette partie sera réalisée en adaptant les travaux menés avec l'entreprise Visioon car les vidéos étaient acquises dans un contexte différent.

2- La détection et le suivi des éléments de la palangre

Afin de comprendre les interactions des animaux avec la palangre, il sera nécessaire de localiser et suivre dans la vidéo les éléments qui la compose : la ligne mère, les émerillons, les hameçons ainsi que des appâts.

3- La détection, le suivi et la reconnaissance des « animaux »

L'analyse des séquences pertinentes (étape 1) consistera à :

- détecter les animaux dès qu'ils apparaissent dans le champ de la caméra,
- suivre leur approche vers la palangre et notamment vers les appâts.
- reconnaître l'animal détecté.

4- L'analyse du comportement des « animaux » détectés

Suite à l'analyse obtenue à l'étape 3, une analyse dite de « haut niveau » sera réalisée afin de caractériser le comportement de l'animal identifié et ses interactions avec les éléments de la palangre (trajectoire d'approche, interactions avec les émerillons et les appâts, etc.).

Une des difficultés majeures réside dans les caractéristiques du milieu aquatique qui est complexe en raison des mouvements de l'eau, de la turbidité éventuelle, des phénomènes d'absorption et de diffusion de la lumière.

Les travaux de recherche consisteront à proposer des approches basées sur des techniques d'intelligence artificielle (apprentissage profonds). Cependant la stratégie envisagée sera le développement de :

- **Modèles frugaux** : Contrairement aux modèles actuels, dont les dimensions ont tendance à augmenter (plusieurs milliards de paramètres), nécessitant énormément de ressources (énergie, infrastructures de calcul). la stratégie sera de développer des « petits » modèles avec un nombre de paramètres raisonnables.
- **D'architectures capables d'apprendre avec peu de données** : L'annotation étant une phase souvent complexe et couteuse en temps humain, disposer d'architectures utilisant peu de données pour la phase d'apprentissage sera un atout dans ces travaux.

Deux axes de travail seront explorés pour le développement de ces modèles :

- **Modèle 2D** pour les détections et la reconnaissance des éléments et des espèces. Afin de lever les ambiguïtés, les informations issues des vidéos seront complétées par les données issues des capteurs (son, accéléromètre, température, profondeur) permettant ainsi de réaliser une analyse multimodale.
- **Modèle 3D** pour le suivi spatio-temporelle et l'analyse des interactions entre la palangre et les espèces en exploitant les données issues des caméras stéréoscopiques.

Une analyse des données existantes (500 heures de vidéo disponibles actuellement issues de la première version d'une palangre équipée) pour conserver les vidéos pertinentes. Elles seront complétées par les nouvelles données qui arriveront à partir de mai 2025. Une phase d'annotation sera ensuite nécessaire afin de créer un jeu de données exploitable pour les phases d'apprentissage.

Contexte partenarial (cotutelle internationale, EU-CONEXUS, partenariat avec un autre laboratoire, une entreprise...)

Cette thèse sera en collaboration avec deux laboratoires qui apporteront leur expertise pour mener à bien les travaux de recherche.

- **François Poisson**, IFREMER, UMR MARBEC (MARine Biodiversity Exploitation and Conservation). Ses domaines de recherche couvrent la technologie des engins de pêche, la réduction des captures accessoires problématiques dans les pêcheries marines et les populations de grands pélagiques, ainsi que la biologie des tortues marines et les études écologiques associées.
- **Tsutomu TAKAGI**, Faculty of Fisheries, Université d'Hokkaido, Japon
Ses travaux portent sur l'analyse mécanique et les techniques de simulation des engins de pêche. Il travaille également sur la compréhension du comportement des organismes par des études sur le comportement individuel, le comportement des bancs de poissons et la recherche sur la biomécanique des animaux aquatiques afin d'évaluer les interactions comportementales des engins de pêche avec les espèces ciblées.
- **Delphine Mallet**, Docteur en écologie Marine, Fondatrice de l'entreprise Visioon, Nouvelle Calédonie
L'entreprise aidera à l'annotation semi-automatique des vidéos avec le logiciel conçu grâce aux travaux antérieurs.

Impacts (scientifiques, technologiques, socio-économiques, environnementaux, sociétaux...)

Les impacts de cette thèse sont les suivants :

- **Du point de vue scientifique** : Comprendre comment les espèces marines (mammifères marins, tortues, requins, raies, etc.) se comportent à l'approche du dispositif de pêche à la palangre lorsqu'ils cherchent à se nourrir en mangeant les appâts.
- **Du point de vue technologique** : Comprendre les impacts négatifs des palangres, afin de développer des dispositifs de pêches plus sélectifs, atténuant ainsi les prises accessoires pour se concentrer sur les espèces ciblées.
- **Du point de vue environnemental** : préserver la biodiversité et notamment la mégafaune marine en limitant les prises accessoires.

L'objectif global étant de proposer des mesures d'atténuation efficaces et holistiques, pour une pêche plus soutenable, qui préserve les espèces non ciblées. Comme indiqué précédemment, ces solutions présentent un intérêt économique en évitant les interdictions de pêche qui, bien qu'elles contribuent à la préservation des espèces, ont un impact socio-économique pour les pêcheurs.

Programme de travail du doctorant (tâches confiées au doctorant)

Programme prévisionnel. Celui-ci pourra évoluer en fonction des résultats.

Si le sujet de thèse est axé sur le développement d'algorithmes pour analyser les vidéos, le doctorant devra collaborer étroitement avec les partenaires français et japonais qui apporteront leur expertise sur les équipements et techniques de pêche et les « animaux » qui seront ciblés dans ces travaux de recherche. Il pourra ainsi développer des compétences pluridisciplinaires.

Le travail du doctorant sera organisé selon le calendrier prévisionnel suivant :

Première année :

- **Étude bibliographique approfondie « pluridisciplinaire » (M0 – M3)**
 - o *Informatique et analyse vidéo* : Examen des méthodes de détection, de suivi et de reconnaissance d'objets appliquées aux séquences vidéo. Identification des techniques d'IA et de vision par ordinateur les plus prometteuses (ex ; ViViT : Video vision Transformer).
 - o *Techniques de pêche palangrière* : Compréhension des pratiques, des types de matériel et des comportements spécifiques aux palangres pour éclairer l'analyse des vidéos.

- *Comportement de recherche de nourriture chez les animaux marins* : Revue des études comportementales et écologiques des espèces marines ciblées, notamment celles interagissant avec les palangres.
- **Analyse et préparation des données (M1 – M6)**
 - *Exploration des données disponibles* : Analyse préliminaire des vidéos pour identifier les formats, la qualité, les angles de vue, et autres caractéristiques pertinentes.
 - *Annotation et création d'un jeu de données structuré* : Développement d'un ensemble de données annoté, en mettant l'accent sur la catégorisation des comportements observés, les interactions avec la palangre, et la qualité des images.
 - *Identification des périodes clés dans les séquences vidéo* : Mise en évidence des moments d'interactions critiques (approche, capture, relâchement, etc.) et des périodes d'intérêt pour les analyses futures.
- **Détection des éléments de la palangre (M6 – M12)**
 - *Développement et entraînement de modèles de détection* : Création et évaluation de modèles capables de détecter les éléments de la palangre (hameçons, appâts, flotteurs).

Deuxième année :

- **Suivi des éléments de la palangre (M10 – M16)**
 - *Suivi des éléments dans les séquences vidéo* : Mise en œuvre d'algorithmes de suivi pour observer les déplacements des différents éléments, analyser leur comportement et identifier des points d'interaction potentiels avec la faune marine.
- **Détection, suivi et reconnaissance des animaux (M16 – M24)**
 - *Détection et suivi des espèces animales* : Utilisation d'algorithmes pour détecter et suivre les animaux dans les vidéos, avec une attention particulière sur leur proximité avec les palangres.
 - *Reconnaissance des espèces* : Développement d'un modèle pour identifier les différentes espèces et catégoriser les interactions (par exemple, tentative d'approche, comportement de prédation).
 - *Validation des modèles et optimisation des performances* : Évaluation de la précision des modèles de détection et de reconnaissance, ajustement des paramètres pour améliorer la fiabilité des analyses.

Troisième année :

- **Analyse du comportement des animaux détectés (M20 – M34)**
 - *Étude comportementale des interactions avec les palangres* : Analyse détaillée des comportements de recherche de nourriture, d'approche et d'évitement observés chez les animaux en interaction avec les palangres.
 - *Classification des comportements observés* : Regroupement des comportements identifiés pour permettre une interprétation écologique et comportementale.
 - *Synthèse et interprétation des résultats* : Production de conclusions sur les types d'interactions et les impacts potentiels des dispositifs de pêche sur les espèces étudiées.
- **Rédaction et présentation des résultats (M30 – M36)**
 - *Rédaction du manuscrit de thèse*
 - *Préparation de la soutenance de thèse*

Accompagnement du doctorant / Fonctionnement de la thèse (accompagnement humain, matériel, financier, en particulier pour la prise en charge du fonctionnement de la thèse et des dépenses associées)

Le laboratoire fournit à chaque doctorant, un équipement informatique ainsi qu'un espace de travail. Le doctorant pourra également utiliser les serveurs de calculs du laboratoire. Les ingénieurs de recherche du

laboratoire l'aideront à prendre en main les infrastructures de calcul locales et mutualisées (Machine GPU CALI de Limoges)

En termes de fonctionnement, le laboratoire finance la soutenance de thèse. Le doctorant bénéficie également d'une enveloppe de 2000 € pour ses déplacements en conférences (rang A, voire rang B).

Une aide potentielle des partenaires est également envisagée pour l'accompagnement, mais ces financements ne sont pas encore sécurisés.

Il est envisagé un séjour au Japon à l'Université d' Hokkaido. Afin de financer ce séjour, il est prévu de candidater au programme Exploration Japon de l'ambassade France à Tokyo. Le programme PHC SAKURA (*Partenariat Hubert Curien*) franco-japonais sera également une option pour financer le(s) séjour(s) au Japon.