

## PROPOSITION DE SUJET POUR UN CONTRAT DOCTORAL

<p><b>Laboratoire</b> LIENSs UMR 7266</p>
<p><b>Titre de la thèse</b> Pressions acoustiques liées à l'éolien en mer sur le bar européen <i>Dicentrarchus labrax</i> dans un contexte de changement climatique.</p>
<p><b>Direction de la thèse</b> directeur-trice-s (grade, HDR) et éventuels co-directeur-trice-s          Christel Lefrançois, Professeure, HDR soutenue en 2016, 100% de direction</p>
<p><b>Adéquation scientifique avec les priorités de l'établissement</b></p> <p>Si le présent projet de thèse se veut disciplinaire, il s'inscrit dans une démarche holistique en se basant sur :</p> <p>(a) des compétences variées : en sciences physiques de l'acoustique sous-marine, ainsi qu'en écologie, écophysiologie et comportement des organismes aquatiques en lien avec le domaine des sciences de la vie ;</p> <p>(b) des études à différents niveaux d'organisations biologiques et expérimentales.</p> <p>Ce projet de thèse est en effet adossé au projet de recherche ECHO qui se déroulera de janvier 2024 à décembre 2026, et qui concerne les '<b>pressions acoustiques liées à l'Eolien en mer sur les mammifères marins et l'ichthyofaune : une approche intégrée pour l'amélioration des connaissances dans un contexte de changement climatique</b>'. Le projet ECHO bénéficie d'un financement acquis auprès de l'OFB- AAP Observatoire de l'éolien en mer, et se base sur la collaboration entre 5 partenaires académiques ou privés (voir ci-après).</p> <p>Du fait de son approche intégrée, ainsi que de la problématique scientifique et sociétale à laquelle il se rapporte, le projet de thèse présenté ci-après s'inscrit dans la stratégie scientifique du LUDI en contribuant à la production 'de nouvelles connaissances qui aideront à mieux comprendre et éclairer les défis actuels en matière de durabilité des zones littorales'. En effet, en réponse à la demande croissante en énergie, la transition énergétique s'opérant actuellement se traduit par le développement de production d'énergie décarbonée, au travers notamment des énergies marines renouvelables comme l'éolien en mer. De nombreux parcs sont en cours de construction ou en projet, dont le parc Sud Atlantique en projet au large de l'île d'Oléron. La montée en puissance de l'éolien en mer posé ou flottant, le succès des premiers prototypes et la mise en place des premiers parcs, ouvrent de nouvelles perspectives pour le développement des énergies marines renouvelables. Cependant, à l'instar de la plupart des activités anthropiques en mer, industrielles ou non, l'implantation de ces structures dans le milieu marin génère des impacts sur l'environnement qu'il est donc urgent de mieux appréhender.</p> <p>Le présent projet de thèse s'inscrit donc principalement dans la thématique 'le littoral face aux changements globaux marins et terrestres' du LUDI, en portant sur l'identification et la caractérisation des effets sur l'ichthyofaune de l'environnement sonore lié à l'éolien en mer, une activité anthropique en pleine expansion.</p> <p>Par ailleurs, le projet de thèse, comme le projet ECHO, s'inscrit dans d'autres missions du LUDI :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- le <b>partage de données et de sciences ouvertes</b>, qui est un des prérequis d'éligibilité de l'OFB- office français de la biodiversité.</li> <li>- la <b>diffusion des connaissances</b> vers le monde académique, mais aussi la société et les acteurs territoriaux.</li> </ul> <p>la <b>formation</b> des étudiants au travers de futurs encadrements de stage dans le cadre des études qui seront menées.</p>
<p><b>Descriptif du sujet</b> (enjeux scientifiques, applicatifs, sociétaux...)</p> <p>Les travaux de recherche qui seront menés dans le cadre de ce projet de thèse ont pour objectif d'améliorer la compréhension des effets de l'environnement sonore généré par la mise en place et le fonctionnement d'éoliennes sur l'ichthyofaune, en se focalisant sur une espèce principale le bar européen <i>Dicentrarchus labrax</i>. La problématique scientifique au sein de ce projet de thèse sera abordée de manière intégrée, d'un point de vue (a) des approches développées : des sites d'essais en mer jusqu'au milieu contrôlé en laboratoire, (b) des niveaux biologiques concernés : du niveau cellulaire au niveau de l'organisme entier, (c) des disciplines concernées : des technologies et acoustiques marines à l'écophysiologie et au comportement de l'ichthyofaune.</p> <p>Le développement des énergies marines renouvelables-EMR connaît actuellement un essor important du fait de leur potentiel considérable de production d'énergie décarbonée. Parmi les EMR, l'éolien en mer apparaît comme la technologie la plus mature et de nombreux parcs sont en cours de construction ou en projet, dont le parc Sud Atlantique en projet au large de l'île d'Oléron. Comme toutes activités anthropiques, l'implantation de ces structures dans le milieu marin génère des impacts sur</p>

l'environnement, et en fonction de leurs sévérités, des mesures ERC pour Eviter, Réduire ou Compenser les dits impacts, doivent être définies et mises en place selon la réglementation définie dans l'article R. 122-5 du code de l'environnement. Il est donc fondamental de mieux comprendre les interactions entre les milieux anthropisés, que sont les parcs éoliens, et les différents taxa de la faune marine afin de préserver la biodiversité et les ressources des écosystèmes concernés. Parmi ces impacts, le bruit sous-marin est l'un des plus prégnants et il y est d'ailleurs fait spécifiquement référence dans l'ODD 14 concernant la vie aquatique où l'on retrouve listé les 'perturbation des espèces marines à cause du bruit sous-marin qui augmente avec le trafic maritime et les activités humaines'.

**Face à cet environnement sonore d'origine anthropique, le présent projet de thèse permettra de caractériser la sensibilité, les effets physiologiques et comportementaux chez le bar européen *Dicentrarchus labrax*, tout en considérant les interactions avec l'augmentation de température dans le cadre du changement global.**

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

Ce projet de thèse s'inscrit dans le projet ECHO qui débutera en janvier 2024, et ce pour une durée de 36 mois. C'est un des trois projets lauréats de l'appel à projets de l'observatoire de l'éolien en mer lancé en juin 2023 par l'OFB-office français de la biodiversité. Cinq partenaires sont impliqués dans le projet de recherche ECHO : les laboratoires LIENSs (demandeur du présent contrat doctoral) à La Rochelle et le LOG à Wimereux ; Cohabys cellule de valorisation de l'ADERA ; NEREIS bureau d'études en environnement ; la Fondation OPEN-C gérant à l'échelle nationale les plateformes expérimentales d'énergie marine renouvelable (figure 1). Du fait de l'approche intégrée développée, à la fois dans le cadre du projet de thèse et du projet ECHO, la démarche scientifique sera basée sur une collaboration étroite entre ces différents partenaires à laquelle sera associée de fait le.a doctorant.e. A une plus large échelle, des interactions seront établies avec des acteurs économiques de la filière de l'éolien en mer, ainsi qu'avec de certains décideurs locaux (voir en annexe les lettres de soutien obtenues à ce jour dans le cadre du co-financement demandée à la région Nouvelle-Aquitaine). Ce projet de thèse s'inséra donc dans la dynamique se développant autour des énergies marines renouvelables en plein essor à l'échelle régionale, mais aussi national.

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

Le présent projet de thèse s'inscrit essentiellement dans une problématique **environnementale** en amenant des éléments de compréhension des mécanismes d'impact centrée sur les effets du son, une des pressions principales liées à l'activité éolienne. Une amélioration des connaissances et une meilleure compréhension du fonctionnement de ce type de socio-écosystème très spécifique est une étape préalable indispensable à la mise en place de mesures réduction et/ou de compensation pour préserver le milieu. Ce travail doctoral répond également à une problématique **sociétale** en amenant une source d'informations essentielle aux politiques publiques, sur lesquelles elles pourront s'appuyer pour une prise de décision adaptée au développement d'énergie décarbonée dans de meilleures conditions de respect de l'environnement. Le projet de thèse s'inscrit ainsi dans l'ambition 1 du programme Neo-Terra (<https://www.neo-terra.fr/>) en permettant de 'concilier les enjeux environnementaux, sociaux, énergétiques et économiques', ainsi que dans l'ambition 6 en contribuant à 'préserver les écosystèmes naturels et la biodiversité', et à 'protéger les milieux'.

Si les études en milieu contrôlé à petite et large échelle seront réalisées au laboratoire éolien et à la station expérimentale de Port du Plomb située à L'Houmeau, le site pilote pour cette étude est la plateforme expérimentale SEMREV située au large du Croisic qui dépend de la Fondation Open -C (partenaire du projet ECHO financé par l'OFB auquel s'adossera ce projet de thèse). Open-C gère les 3 sites existant au niveau national qui disposent ainsi déjà d'autorisations de travaux, de retour d'expérience et de données historiques transférables. A l'inverse, entreprendre des expérimentations *in-situ* sur des fermes d'éoliennes commerciales ou pré-commerciales s'avère très complexes pour des raisons variées (budgétaires, planning...) et risque de voir les résultats confinés aux seuls partenaires impliqués. Mener des travaux in situ sur une plateforme expérimentale telle que SEMREV permet ainsi une **montée en compétence globale de l'ensemble de la filière des énergies marines renouvelables**. D'autant plus que ce projet de thèse contribuera au développement d'une approche transposable à d'autres secteurs géographiques et d'autres technologies (éolien posé ou flottant, transport maritime,...). Notamment au travers la réflexion de préconisations sur la façon (a) d'étudier les impacts sur différents compartiments faunistiques, (b) dont ces impacts peuvent se répercuter en se cumulant, et (c) d'établir des cartes de risques d'effets sonores empiriques, mais aussi prédictives. Cela s'inscrit parmi les objectifs affichés par l'Observatoire de l'éolien en mer à l'échelle nationale. En apportant des clés méthodologiques et en faisant progresser les connaissances scientifiques, c'est la compréhension globale des impacts de l'éolien qui s'en trouvera améliorée. Cela permettra une meilleure évaluation des impacts possibles, et une prise en compte plus éclairée pour les projets à venir. Les mesures d'évitement, de réduction voire de compensation pourront donc également être améliorées par cette meilleure connaissance. *In fine*, l'objectif est d'œuvrer vers des projets moins impactant pour l'environnement, contribuant ainsi à une meilleure acceptabilité de ceux-ci par la société. Il est par ailleurs important de souligner que ce projet de thèse s'inscrit dans une démarche de **science ouverte**, basée sur le partage des données qui seront acquises.

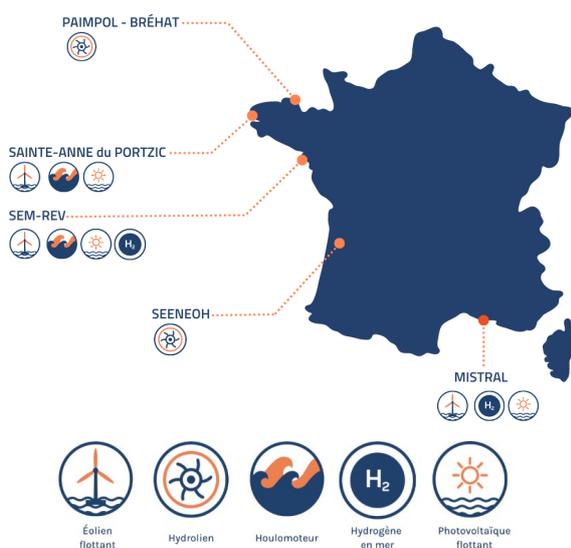
Enfin, en étant adossé au projet ECHO, la présente demande de thèse s'intégrera dans le réseau constitué des 5 partenaires \*, dont 2 sont fortement impliqués sur les projets pré-commerciaux et commerciaux en développement. Ainsi, des liens étroits seront établis entre le présent projet de thèse et les acteurs de l'innovation. Les travaux de thèse qui seront menés contribueront au renforcement des liens avec le **secteur économique** ; il est d'ailleurs prévu à mi-parcours du projet ECHO (i.e. courant 3<sup>ème</sup> trimestre 2025) d'organiser un événement de restitution des travaux sous forme de workshop à destination des acteurs économiques de la filière auquel le.a doctorant.e participera.

\* les laboratoires LIENSs à La Rochelle et LOG à Wimereux, Cohabys cellule de valorisation de l'ADERA, NEREIS bureau d'études en environnement, la Fondation OPEN-C gérant à l'échelle nationale les plateformes expérimentales d'énergie marine renouvelable.

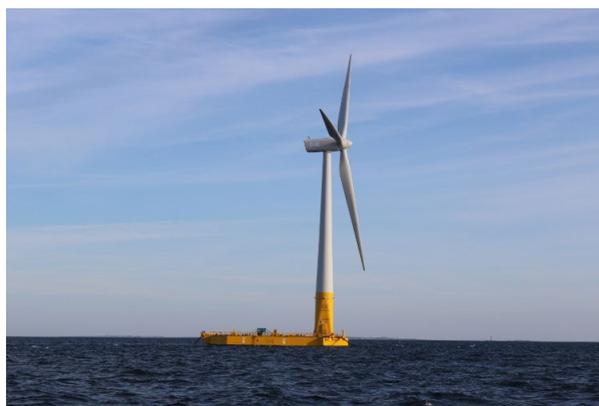
## Programme de travail du doctorant (tâches confiées au doctorant)

### Objectif général

Le principal objectif de ce projet de thèse est d'évaluer les effets du bruit par l'activité de l'éolien en mer, seul ou pour la première fois en interaction avec la température, sur le bar européen. Les réponses comportementales, qui constituent la première ligne de défense en réponse aux changements environnementaux défavorables (Iwama et al., 1997 ; Polonschii et Gheorgiu, 2017) seront étudiées à la fois en milieu expérimental afin de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents, et en mésocosmes où l'environnement semi-contrôlé permettra de se rapprocher des conditions naturelles. Le comportement sera également suivi sur des individus placés en encagement sur la station expérimentale éolienne SEMREV (figure 1). Par ailleurs, la sensibilité de détection des stimuli acoustiques de danger, déterminante au sein des interactions proies-prédateurs, sera également évalué. Des variables biologiques témoignant de l'état de santé des individus seront également considérées, dont le niveau métabolique énergétique et le taux de croissance particulièrement pertinents d'un point de vue de leur rôle fondamental dans la définition de la fitness d'un individu.



A- Répartition nationale



B- Site d'essais SEMREV.

**Figure 1- Illustration des sites d'essais de la fondation Open-C.** A- répartition nationale des sites. B- Site d'essais SEMREV, cas d'étude sur l'éolien flottant avec le prototype FLOATGEN porté par BW IDEOL (installé en 2018).

C'est le bar européen *Dicentrarchus labrax* qui sera au centre de ce projet de thèse ; une espèce présente sur le plateau continental au stade juvénile et adulte, et ayant un intérêt économique important. Ce sont de jeunes stades juvéniles qui seront considérés dans l'étude ; la sensibilité de ces stades aux stress environnementaux étant généralement accrue.

Il est à noter que toutes les études seront menées conformément à la recommandation 2007/526/CE de la Commission européenne (concernant des lignes directrices révisées relatives à l'hébergement et aux soins des animaux utilisés à des fins expérimentales ou à d'autres fins scientifiques), et seront conformes à la directive 2010/63/UE du Parlement européen et du Conseil du 22 septembre 2010 relative à la protection des animaux utilisés à des fins scientifiques. Les lois européennes et locales (France) sur la réglementation des soins aux animaux concernant la protection des animaux utilisés à des fins expérimentales et à d'autres fins scientifiques seront respectées pour toutes les actions de recherche menées sur les animaux. Le laboratoire LIENSs dispose d'une autorisation pour l'expérimentation animale et les tests in vivo et, avant de réaliser des expériences, tous les protocoles inclus dans la présente proposition seront soumis pour autorisation au Comité d'éthique dont le rôle est d'évaluer les études relatives à l'expérimentation animale. En outre, le.a doctorant.e suivra une formation spécifique sur les soins aux animaux. Il est à noter que les actions scientifiques du présent projet de thèse n'impliqueront pas un degré élevé de douleur, de souffrance ou de stress pour les animaux concernés. Les conditions de laboratoire seront fixées de manière à éviter leur stress et leur souffrance. Le nombre d'animaux testés sera réduit au minimum compte tenu des analyses biologiques et statistiques envisagées.

Le projet de thèse sera articulé autour de 4 tâches principales avec de nombreux ponts avec le projet de soutien ECHO (figure 2). Il est à noter que si l'établissement des cartes de risques d'effets sonores (encart bleu foncé, figure 2) ne fait pas partie du présent projet de thèse en tant que tel, les résultats issus des travaux de doctorat contribueront à leur développement.

Les objectifs et le déroulement des 4 tâches du projet doctoral sont décrites ci-après. Il est important de souligner que si ce projet doctoral est adossé au projet ECHO, construit sur des tâches et leur livrables, le.a doctorant.e sera encouragé.e à être force de propositions pour aborder la problématique scientifique qui fera l'objet de ses travaux de recherche.

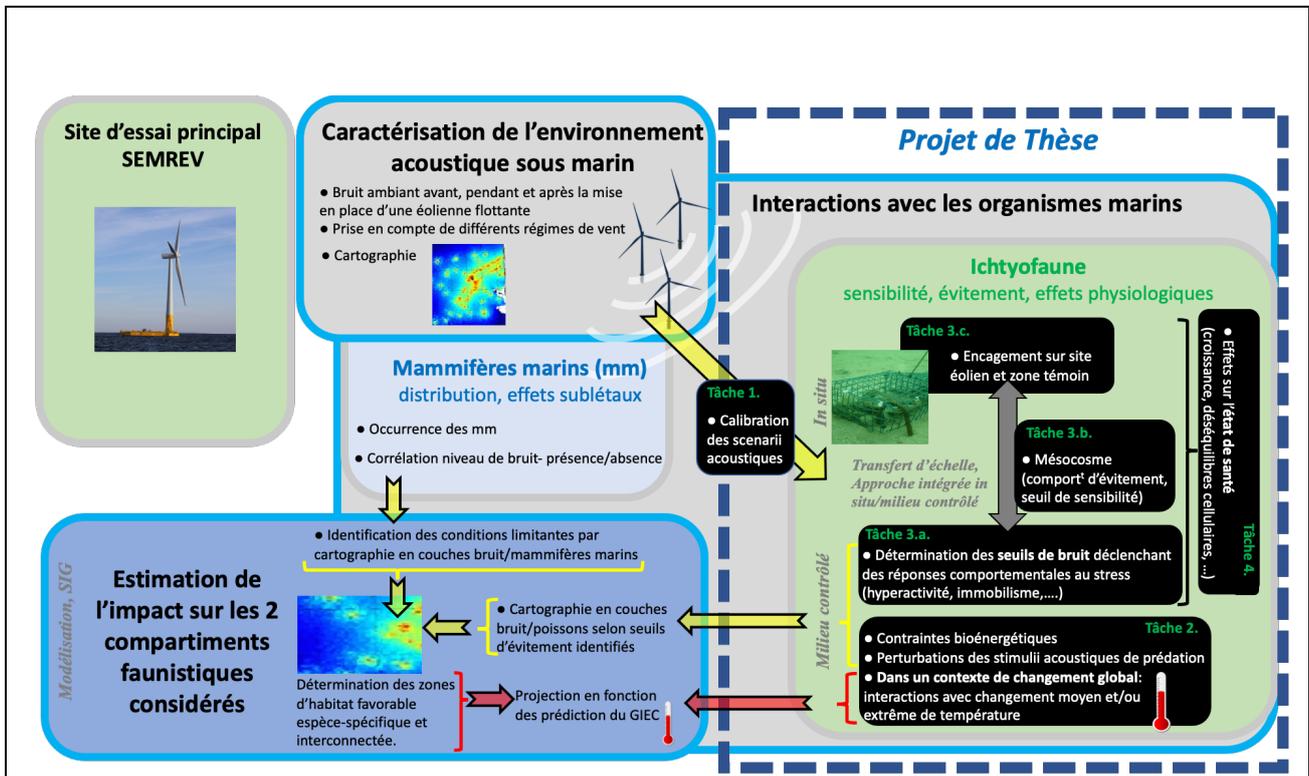


Figure 2- Interface entre le projet ECHO et le projet de thèse faisant l'objet de la présente demande de co- financement.

**Tâche 1. Développement méthodologie d'exposition au bruit**

La première tâche sera effectuée en collaboration étroite avec le bureau d'étude NEREIS, spécialiste en acoustique marine. Il s'agira d'adapter les bassins qui seront utilisés pour les études programmées dans cette action afin d'y diffuser des scénarii acoustiques issus d'une base de données déjà existante et constituée d'un panel d'enregistrements réalisés in situ sur la plateforme d'essai SEMREV. Cette étape est primordiale, car elle permettra de s'assurer que les scénarii soient (a) représentatifs de cas concrets d'activité anthropique associée à un projet éolien flottant et (b) diffusés de la manière la plus homogène d'un réplikat expérimental à l'autre, ce qui est indispensable pour la robustesse des résultats, de l'interprétation et des conclusions qui en seront tirées.

Pour cela, des tests préliminaires seront effectués afin de définir les dimensions et les matériaux des bassins, ainsi que les niveaux sonores diffusés limitant au mieux les effets de réverbération ; l'objectif est de caractériser et limiter (voire supprimer) les perturbations et sources sonores qui seraient spécifiques au milieu expérimental. Durant cette phase, des mesures de caractérisation acoustique des bassins seront réalisées afin d'établir les conditions optimales pour la phase d'exposition au bruit. Les enjeux reposent sur la limitation des effets de réverbération et donc localement d'amplification du bruit ou de création de zones d'ombre. Il conviendra alors de trouver un compromis qui permette de proposer une zone d'étude homogène d'un point de vue acoustique. Une cartographie acoustique des bassins sera ainsi réalisée par simulation numérique et permettra d'établir des préconisations de positionnement de la source et/ou d'emploi de matériaux absorbants par exemple.

Cette phase de mise au point du mode d'exposition terminée, le protocole expérimental sera établi afin de tester chez le bar européen les effets de :

- (a) perturbations aiguës, i.e. immédiatement après ou très rapidement après le début de l'émission du scénario sonore pré-établi,
- (b) perturbations continues, avec une éventuelle habitude, i.e. au cours d'une diffusion sur du long terme de ce scénario,
- (c) perturbations chroniques en cas de répétitions du scénario sonore,
- (d) résilience lorsque l'absence de bruit sera rétablie.

Un exemple de protocole potentiel est donné figure 3 ; une fois établi c'est le même principe qui sera suivi pour les tâches 2, 3 (a, b) et 4.

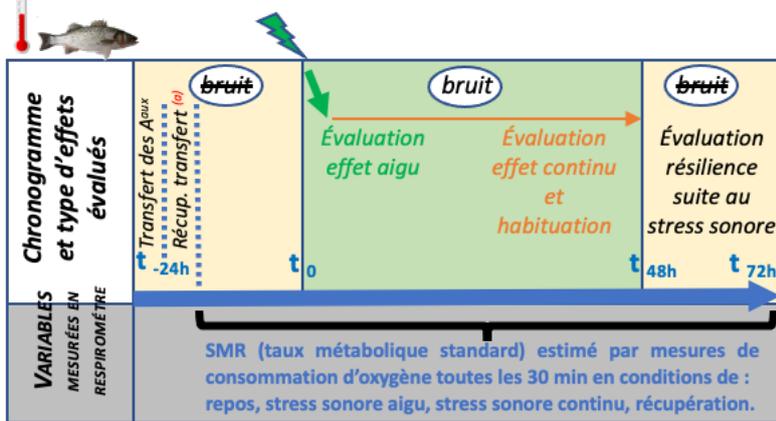
**Tâche 2. Exploration des effets sur l'écophysiologie du bar européen d'un point de vue du métabolisme énergétique et interactions proies-prédateurs**

Les 2 actions décrites ci-dessous seront conduites dans des conditions thermiques stables représentatives des conditions estivales du littoral atlantique, i.e. approchant 20°C. Afin de tester les effets d'un environnement sonore perturbé dans un contexte de changement climatique, ces études seront répétées à une température plus élevée de +3°C (i.e. correspondant à une valeur moyenne par rapport aux prévisions du GIEC de +2 à +4,4°C d'ici la fin du siècle selon les scénarii considérés). Plusieurs études suggèrent en effet que la sensibilité auditive augmenterait avec la température (Ladlich, 2018).

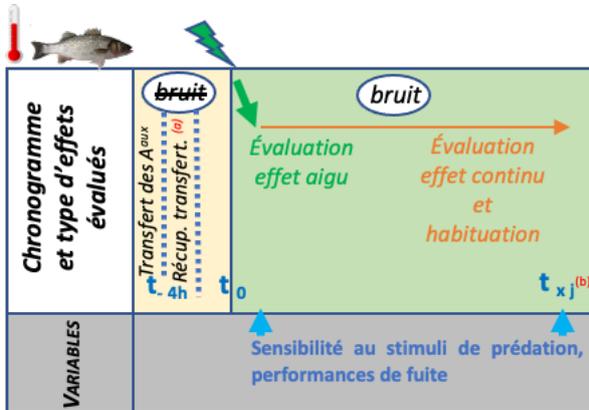
**Sous tâche 2.a. Métabolisme au travers du taux métabolique standard (figure 3-A):**

La bioénergétique sera étudiée au travers de l'évaluation de leur taux métabolique standard (SMR pour *standard metabolic rate*) en utilisant les méthodes de respirométrie (e.g. Milinkovitch et al., 2012 ; Lefrançois et Claireaux, 2003 ; Lucas et al., 2014). Le SMR représente le taux métabolique d'un individu au repos, à jeun et hors maturation sexuelle pour assurer ses fonctions vitales comme le fonctionnement cardiaque, les transferts ioniques permettant le maintien de son équilibre interne, .... Hormis ces fonctions vitales, le SMR peut augmenter en réponse à un stress environnemental déclenchant un déséquilibre cellulaire et /ou la production d'hormone de stress, provoquant ainsi une modification d'allocation d'énergie et/ou d'oxygène au détriment des autres fonctions de l'individu comme sa croissance. Le SMR est donc un indicateur pertinent de l'état de santé d'un individu et qui pourrait être perturbé chez les individus soumis à un stress acoustique. Les poissons seront placés de manière individuelle dans un respiromètre statique, où leur consommation d'oxygène sera mesurée à l'aide de fibres optiques à oxygène de haute précision selon le protocole décrit en figure 3. Ce protocole se base sur l'alternance de phase d'exposition au son et de phase de repos (et/ou de récupération) qui permettront d'estimer à la fois (a) les effets d'exposition aiguë et chronique, (b) le potentiel effet d'habituation et (c) les capacités de résilience des individus à cet éventuel stress acoustique.

**A-Sous action 2.a.**



**B- Sous action 2.b.**



**Sous tâche 2.b. Sensibilité de détection au stimuli de prédation et performances de fuite (figure 3-B):**

Quelques études ont montré que des niveaux sonores élevés, pouvaient affecter la capacité des poissons à détecter les stimuli mécano-acoustiques émis par de potentiels prédateurs diminuant ainsi leur capacité de fuite, et donc de survie (Luczkovich & Keusenkothen, 2008 ; Remage-Healey & Bass, 2006). L'objectif de cette tâche sera donc d'évaluer les performances de détection des stimuli mécano-acoustiques émis par les prédateurs, et qui font partie des stimuli de danger déclenchant des réponses de fuite. Cet aspect est en effet fondamental, car en plus d'effets directs sur un organisme donné, en particulier sur sa probabilité de survie, des effets indirects peuvent aussi être attendus au sein d'un réseau trophique au travers de la perturbation des interactions proies-prédateurs. Les performances de détection des stimuli mécano-acoustiques seront évaluées expérimentalement en condition contrôlée et en milieu sonore perturbé. Les poissons seront placés de manière individuelle dans un bassin expérimental. À la suite du déclenchement du stimulus simulant la présence d'un prédateur, le taux de réponse de chaque individu testé et sa réactivité seront mesurés, ainsi que sa trajectoire de fuite. Les variables locomotrices, comme la vitesse et l'accélération, seront également estimées chez les individus présentant une réaction de fuite. Les enregistrements des réponses seront effectués grâce à des caméras haute vitesse et analysés avec un logiciel dédié.

**Figure 3- Illustration des sous-tâches de l'action 2 portant respectivement sur le taux métabolique (A) et la sensibilité de détection des stimuli de prédateurs (B).**

La succession des environnements sonores auxquels seront soumis les individus est représentée dans le chronogramme où sont aussi indiqués les types d'effets testés.

Le symbole de température (thermomètre) indique que l'étude sera menée dans des conditions thermiques variables pour évaluer les effets du changement climatique.

(a) Les études précédentes en respirométrie ont montré que la récupération advenait seulement quelques heures après le transfert permettant ainsi rapidement l'évaluation du SMR chez les individus considérés au repos et non soumis au stress du transfert.

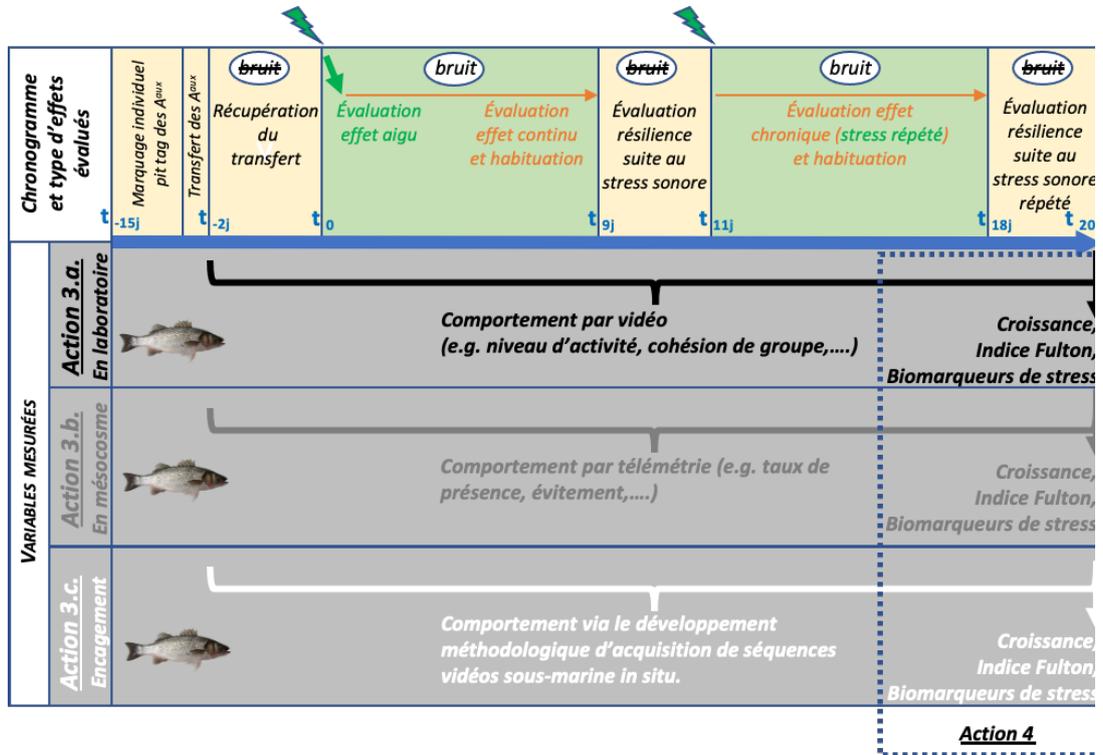
(b) Le nombre de jours x sera déterminé selon le temps nécessaire pour retrouver un comportement stable, déterminé d'après les actions comportementales qui seront menées dans les autres tâches.

### Tâche 3. Exploration des effets sur le comportement du bar européen (figure 4)

#### Sous tâche 3.a. En milieu contrôlé :

Une étude expérimentale menée en laboratoire permettra d'évaluer un panel de réponses comportementales comme l'utilisation de l'espace, la cohésion de groupe ou l'activité de nage en ciblant notamment l'identification des seuils sonores déclenchant une activité excessive ou l'immobilité ; ces réponses comportementales ayant déjà été démontrées comme étant dépendantes de la qualité environnementale (e.g. Morton, 1990 ; Etscheidt et Manz, 1992 ; Santos et al., 2010, Etscheidt et Manz, 1992).

A



B



Figure 4- Illustration de la stratégie expérimentale de la tâche 3. A- Les sous-tâches a, b et c sont présentées, ainsi que le chronogramme général où les différentes phases d'exposition sont indiquées. B- Photo aérienne du site expérimental en lien avec l'action 3b (étude comportementale en mésocosmes).

#### Sous tâche 3.b. En mésocosmes :

Les réactions d'évitement à des facteurs de stress seront évaluées chez les poissons en utilisant une approche à grande échelle unique, rendue possible grâce à des mésocosmes présents à la station expérimentale CNRS de L' Houmeau (gérée par LIENSs) et comportant notamment 8 bassins identiques mesurant 200m<sup>2</sup>. Deux de ces bassins communiquant grâce à un canal creusé dans les berges contiguës seront soumis aux conditions naturelles, mais avec un des bassins où seront diffusés des enregistrements sonores simulant l'environnement acoustique à proximité d'éoliennes en fonctionnement.

Des groupes de poissons similaires (i.e. assemblage d'espèces, nombre, biomasse, ...) marqués individuellement y seront transférés. Grâce à une antenne télémétrique disposée au niveau du canal, chaque passage de chacun de individus pourra être détecté et

enregistré, permettant d'établir la dynamique de distribution entre le bassin témoin et le bassin acoustiquement contrôlé. Les préférences et la distribution de chaque individu nous renseigneront sur le temps passé dans des conditions environnementales spécifiques. Cela permettra d'évaluer le comportement d'évitement, d'identifier les événements sonores déclencheurs, ainsi qu'un éventuel caractère d'habituation sur du plus long terme.

**Sous tâche 3.c. En cages sur le site d'essai SEMREV:**

Cette action a pour principal objectif un transfert d'échelle du laboratoire vers l'*in-situ* en se basant sur des méthodes d'encagement permettant de placer les animaux au plus proche des conditions environnementales et d'en étudier les conséquences au travers de certaines variables biologiques décrites en tâche 4 ci-après. Par ailleurs, les cages de surface seront équipées avec des caméras afin d'évaluer les possibilités d'observation *in situ*, pour ensuite analyser le comportement des poissons encagés.

Il s'agira d'installer une cage à proximité du fond et une cage dans la zone de surface pour une période de 3 semaines sur le site SEMREV et sur un site témoin (i.e. hors des perturbations sonores produites par les éoliennes). A mi-parcours, une inspection par ROV piloté depuis la surface sera effectuée. Des hydrophones seront disposés à proximité des cages afin de caractériser l'environnement sonore, et les conditions de température et d'oxygène seront enregistrées grâce à des capteurs autonomes positionnés dans chacune des cages.

Les juvéniles de bar seront placés dans chaque cage en respectant une biomasse totale en accord avec leur volume. Les animaux seront d'abord transportés par voie terrestre de leur lieu d'acclimatation au lieu d'embarquement. Le transfert des animaux sera ensuite effectué grâce aux moyens nautiques programmés par la fondation OPEN C en charge de la logistique du site d'essai. Une fois sur site en mer, les poissons seront acclimatés dans un mélange eau des bacs de transport / eau du site d'étude. Puis après arrimage de la cage, les poissons sont placés à l'intérieur de la cage par des plongeurs.

Si cette tâche paraît ambitieuse à l'échelle d'un projet de thèse, il est à noter qu'elle bénéficiera de l'appui de R. AMARA expert de ce type d'approche (partenaire LOG-Wimereux, ULCO Univ. du littoral et de la côte d'Opale du projet de soutien ECHO). Par ailleurs, dans le cadre du projet de thèse, c'est une seule campagne de déploiement qui sera menée, après qu'une campagne permettant de tester la procédure et le matériel ait été effectuée avant le démarrage de la thèse.

**Tâche 4. Suivi de croissance et marqueurs de stress**

Chez ces mêmes individus (i.e. ceux utilisés pour les études comportementales, qu'elles se déroulent en laboratoire, en mésocosmes ou *in situ*), la croissance, l'indice de Fulton (indice de condition corporelle), ainsi que différents marqueurs du stress cellulaire seront déterminés. La croissance sera estimée par des biométries réalisées en début et fin d'étude, les individus ayant été préalablement marqués avec des pit tag permettant de les identifier. A la fin de la période d'exposition aux différents environnements sonores, plusieurs marqueurs seront évalués comme ceux du stress oxydants dans le muscle et/ou le foie, au travers notamment (a) du dosage du MDA-Malondialdéhyde mettant en des mécanismes de peroxydation lipidique en réaction à de nombreux facteurs de stress et/ou (b) du niveau de carbonyles, qui est souvent utilisé pour mettre en évidence les dommages oxydatifs aux protéines lors d'un stress environnemental (Parvez and Raisuddin 2005; Freitas et al. 2020).

**Calendrier de réalisation**

		2024		2025			2026			2027			
Tâches		Tr3	Tr4	Tr1	Tr2	Tr3	Tr4	Tr1	Tr2	Tr3	Tr4	Tr1	Tr2
Tâche 1- Méthodo. exp. son.													
Tâche 2- écophysiologie	a.Métabolisme						*						
	b.Sensibilité											*	
Tâche 3- comportement	*a. Activité, interactions sociales.		*										
	*b. Evitement								*				
	*c.Encagement				*								
Tâche 4- Marqueur état de santé		Cette action étant en lien avec les autres tâches, sa mise en œuvre est signalée avec *											

\* signale la valorisation envisagée sous forme d'articles scientifiques

**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 projet de thèse sera rattaché au projet ECHO (financement OFB- janv.24/déc.26). ECHO est porté par La Rochelle université en tant que mandataire auprès de l'OFB au travers de la coordinatrice du projet Christel Lefrançois (LIENSs UMR 7266). Sur un total financé de 928 k€, le partenaire LIENSs bénéficiera de 269 k€, ce qui permettra d'assurer la prise en charge :

- des coûts du fonctionnement de la thèse (e.g. consommables de laboratoire, entretien des systèmes d'élevage, ....),
- de l'équipement informatique nécessaire,
- des mission de terrain et de visites des différents partenaires du projet de rattachement,
- des frais de mission et d'inscription à deux congrès internationaux pour le.a doctorant.e.

Les équipements nécessaires à la réalisation des tâches et sous-tâches sus-décrites sont déjà acquis par LIENSs et sont opérationnels.

D'un point de soutien aux activités de recherche, en plus de la direction de thèse, le.a doctorant.e bénéficiera notamment d'un soutien du pôle de soutien technique du laboratoire LIENSs d'un point de vue par exemple (a) de la zootechnie et la mise en place des systèmes expérimentaux, (b) des dosages de biomarqueurs du stress, (c) des outils et méthodologie pour la science ouverte. Ces aspects ayant déjà été discutés et validés par les agents ITA et BIATSS concernés.