

## Direction Scientifique Ifremer

Incitation liée à la politique de site - Appel à projets 2014

### **Titre du projet : TOMOFISH**

### **Résumé du projet**

Afin d'améliorer la connaissance des indices de cible acoustique (TS) des petits poissons pélagiques du golfe de Gascogne, et par la même leur estimations d'abondance par acoustique, EMH s'associe à l'UMR SUBATECH de l'Ecole des Mines de Nantes pour proposer le projet de recherche « TOMOFISH ». Il vise à la définition de modèles de TS d'anchois, de sardines et de harengs aux stades adultes, juvéniles et larvaires. Ces modèles seront définis à partir d'images tridimensionnelles des vessies natatoires de ces espèces, obtenues au moyen du micro-tomographe à rayons X récemment acquis par SUBATECH. Le projet fournira des modèles de TS en fonction de la taille, de l'orientation des poissons, et de la fréquence du signal acoustique. L'influence de la saisonnalité sur le TS sera également abordée.

## Equipes impliquées

### *Ifremer, Ecologie et Modèle pour l'Halieutique et NSE*

Nom Prénom des personnels impliqués	Unité	Discipline	Statut et grade*	Rôle
Doray Mathieu	EMH	Acoustique, écologie	Chercheur permanent	Coordinateur
Berger Laurent	NSE	Acoustique	Chercheur permanent	Modélisation acoustique
Petitgas Pierre	EMH	Ecologie statistique	Chercheur permanent	Ecologie larvaire
Rabiller Manuella	EMH	Halieutique	Technicienne permanente	Collecte des échantillons
Etudiant 2		Physique	Etudiant Master2	Microtomographie, modélisation acoustique

Les travaux de l'unité EMH sont structurés autour de trois thématiques d'un continuum (compréhension écologique, développement d'indicateurs, évaluation de scénarios de gestion) visant à l'évaluation intégrée des écosystèmes exploités, en particulier par la pêche. L'équipe EMH impliquée ici est celle qui travaille sur les caractéristiques des bancs de poissons et des couches planctoniques par méthode acoustique. Elle collabore étroitement avec l'unité NSE sur les aspects physiques et logiciels de l'observation acoustique de l'écosystème. La TS (taux de réflectivité des cibles, Target Strength) représente la pierre angulaire de la compréhension des données acquises à la mer. La TS est principalement due chez les poissons à la vessie natatoire remplie de gaz. Le paramètre intervient évidemment dans l'évaluation des stocks mais aussi dans la résonance de certaines couches planctoniques et biologiquement, pour la flottabilité des poissons. De plus, l'interprétation sans ambiguïté des données du sondeur multi-faisceau halieutique (SMFH ME70) nécessite une modélisation tri-dimensionnelle de la vessie natatoire. La TS des anchois et sardines n'a jamais été étudié dans le golfe de Gascogne alors que des campagnes acoustiques ont lieu depuis le début des années 1980. Le projet TOMOFISH propose d'entreprendre ce travail avec une méthodologie moderne et appropriée.

Sur ces questions, l'équipe acoustique d'EMH a récemment acquis les résultats suivants.

- L'énergie densité des anchois et sardine varient en fonction des saisons (rapports eau/graisse : Dubreuil et Petitgas, 2009). L'hypothèse de travail qui découle de ce résultat celle d'une probable variation saisonnière de la flottabilité ou d'une variation compensatrice de la vessie natatoire et donc de la TS. Ceci est important pour les évaluations de stocks à des saisons différentes. Le projet TOMOFISH permettra d'y répondre.
- Les fortes densités acoustiques observées dans les couches d'aspect planctoniques à certaines fréquences acoustiques seraient générées par des bulles gazeuses de taille similaire à celle de vessies natatoires de larves ou de petits poissons (Rémond et al., 2014 ; Thèse B. Rémond). Les larves d'anchois et de sardine effectuent des migrations verticales et sont associées aux couches planctoniques (Peillan, 2013). Des mesures de

vessie natatoire de larves sont nécessaires pour confirmer cette interprétation. Le projet TOMOFISH permettra d'effectuer cette confirmation, en tomographiant des larves de poissons.

- La valeur de TS moyenne utilisée pour l'évaluation de stock est un paramètre de calibration d'un indice relatif en biomasse absolue. Dans le golfe de Gascogne, la valeur utilisée pour l'anchois et la sardine actuellement est une valeur issue de la littérature. Des mesures de TS in situ ont été réalisées (Doray et al., 2011) mais leurs variations restent importantes à cause des variations d'orientation des poissons. Une modélisation tridimensionnelle réaliste de la vessie natatoire conforterait ces valeurs expérimentales. Le projet TOMOFISH permettra d'entreprendre cette validation, essentielle pour améliorer les évaluations de stock par acoustique.
- La structure interne des bancs et leur évitement par rapport au navire a été étudié avec le SMFH, sur un banc de hareng au large de Boulogne (Berger et Doray, 2013 et in prep). Les variations de réponse acoustique à l'intérieur des bancs pourraient être dues à des orientations différentes et non à des différences d'abondance. Un modèle tridimensionnelle de TS est nécessaire pour interpréter le comportement des poissons et utiliser la richesse de l'information tridimensionnelle du SMFH. Le projet TOMOFISH permettra de construire un tel modèle.

### **Publications de référence :**

Berger, L. and Doray, M., 2013. Scattering directivity of herring: what can we learn from the comparison of in situ and simulated target strengths distributions from multibeam and multifrequency echosounders? ICES WGFASST meeting, Donostia-San Sebastian, 16–19 April 2013.

Doray Mathieu, Berger Laurent, Coail Jean-Yves, Vacherot Jean-Philippe, Bavouzet Gerard, Petitgas Pierre, 2011. In-situ measurements of the individual acoustic backscatter of European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and sardine (*Sardina Pilchardus*), with concurrent optical identification. International Council for the Exploration of the Sea Annual Science Conference, 19-23 septembre 2011, Gdansk. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00055/16637/>

Dubreuil, J. and Petitgas, P. 2009. Energy density of anchovy *Engraulis encrasicolus* in the Bay of Biscay. *Journal of Fish Biology* 74: 521-534.

Peillan, C. 2013. Analyse de la distribution des oeufs et larves d'anchois (*Engraulis encrasicolus*) et de sardines (*Sardina pilchardus*) au large de la Gironde en relation avec les conditions hydrologiques et biotiques. Rapport M1. Agrocampus – Ifremer.

Remond, B., Doray, M., Lebourges-Dhaussy, A., Berger, L. and Petitgas P. 2014. Bay of Biscay Sound scattering layers composition. ICES CM 2014/L.

## **SUBATECH**

SUBATECH / Ecole des Mines de Nantes

Type: EPA

Adresse:

4 rue Alfred Kastler

BP20722

44307 Nantes Cedex 3

Responsable scientifique et technique: Xavier de La Bernardie, 02-51-85-84-94,

[xavier.bernardie@subatech.in2p3.fr](mailto:xavier.bernardie@subatech.in2p3.fr)

Responsable administratif et financier: Claire Pavageau, 02-51-85-83-41, [claire.pavageau@mines-nantes.fr](mailto:claire.pavageau@mines-nantes.fr)

<b>Nom Prénom des personnels impliqués</b>	<b>Discipline</b>	<b>Statut et grade*</b>	<b>Rôle</b>
de La Bernardie Xavier	Physique nucléaire	Ingénieur permanent	Supervision microtomographie
Lys Elisabeth	Physique nucléaire	Chercheuse permanente	Supervision microtomographie et traitement d'image
Loic Lichawski	Physique	Etudiant Master2	Microtomographie, traitement d'image, modélisation acoustique

L'équipe PRISMA du laboratoire Subatech participe au développement de techniques de contrôle non destructif de matériaux par rayonnements ionisants (rayons X, protons) et laser-ultrasons.

Elle participe au sein du pôle de compétitivité EMC2 à des projets de contrôle de pièces en matériaux composites dédiées à l'aéronautique. L'équipe développe par ailleurs des techniques de caractérisation élémentaire de couches minces par la méthode PIXE (Proton Induced X-ray Emission), en exploitant le cyclotron ARRONAX. PRISMA contribue également à des projets de contrôle de chaussée par rétro-diffusion rayons X.

sources:

1. E. Lys & al. (2012): Simulation of the Temperature Change Induced by a Laser Pulse on a CFRP Composite Using a Finite Element Code for Ultrasonic Non-Destructive Testing. *Mechanics and Properties of Composed Materials and Structures Advanced Structured Materials* Volume 31, pp 103-115
2. Development of the PIXE analysis technique at high energy with the ARRONAX cyclotron, D. Ragheb, C. Koumeir, V. Métivier, A. Guertin, F. Haddad, N. Michel, N. Servagent, Submitted to *Journal of Radioanalytical and Nuclear chemistry* (2014)
3. Mesure de la compacité des chaussées avec les rayons X, C. Koumeir, V. Métivier, N. Servagent, J. C. Robert, J. Bonal, V. Lemasson, W. Bouchet, L. Laguerre, *Collection Études et recherches des laboratoires des ponts et chaussées (ERLPC)*, 2013

# Description du projet

## A – Objectifs et contexte :

L'unité [Écologie et Modèle pour l'Haliéutique](#) d'Ifremer Nantes évalue chaque année les ressources de petits poissons pélagiques du golfe de Gascogne, à partir de données acoustiques et de captures collectées lors de la campagne à la mer [PELGAS](#).

La densité des petits poissons pélagiques (nombre de poissons par m<sup>3</sup>) est obtenue en divisant la réponse acoustique totale attribuée à ces poissons par la réponse acoustique individuelle de chacune des espèces/classes de taille observées. Cette réponse acoustique individuelle, ou Target Strength (TS), est un facteur de proportionnalité qui permet de transformer une énergie acoustique reçue, en une quantité de poissons (Simmonds and MacLennan 2005). Le TS est donc un paramètre clef pour obtenir des estimations absolues de biomasse de petits poissons pélagiques. Les valeurs de TS dépendent notamment de la forme et de l'orientation de la vessie natatoire des poissons, qui est responsable d'environ 90 % de leur réponse acoustique. Sans valeur bien documentée, l'estimation de biomasse par acoustique n'est que relative, mais elle permet toutefois de suivre avec précision les variations d'abondance inter-annuelles des populations.

Le TS est une grandeur capable de varier fortement en fonction des changements des caractéristiques physiques (angle de nage, profondeur) et biologiques (physiologie) des poissons (Hazen and Horne 2003). Un manque de valeurs spécifiques de TS pour l'anchois (*Engraulis encrasicolus*) et la sardine (*Sardina pilchardus*) européens a été mis en évidence par le groupe de travail du Conseil International pour l'Exploration de la Mer en charge de l'évaluation des méthodes d'estimation de biomasse de petits poissons pélagiques en Atlantique (Acoustic and Egg Surveys for Sardine and Anchovy in ICES Areas VIII and IX, (ICES 2008)). Un manque de valeur de TS est particulièrement notable dans le cas des anchois juvéniles, dont la biomasse est évaluée par acoustique à l'automne par les scientifiques espagnols. Les larves d'anchois et sardine développent en effet une vessie natatoire très tôt, dès 15mm, quand se met en place la migration verticale entre le jour et la nuit, ce qui les rend détectables par acoustique.

Pour répondre à la nécessité d'améliorer la connaissance des TS des petits poissons pélagiques du golfe de Gascogne, et par la même d'améliorer leurs estimations d'abondance, Ifremer s'associe à l'UMR SUBATECH de l'Ecole des Mines de Nantes pour proposer le projet de recherche « TOMOFISH » qui vise à la définition de modèles de la réponse acoustique d'anchois, de sardines et de harengs, aux stades adultes, juvéniles et larvaires. L'évolution du TS de ces espèces sera de plus suivi le long d'un cycle annuel, afin d'étudier l'effet sur le TS des variations physiologiques saisonnières des poissons (fluctuation du taux de graisse notamment).

Les modèles de TS issus du projet seront soumis à la communauté scientifique internationale en charge des estimations de stock d'anchois et de sardine, afin de mieux comprendre l'échantillonnage acoustique (Cutter Jr and Demer 2007) et augmenter la précision de la méthode d'estimation de biomasse par acoustique. L'amélioration des estimations de biomasse des stocks de petits poissons pélagiques permettra d'améliorer la robustesse de la gestion de ces stocks.

## B – Description du projet :

- Méthodologie

L'imagerie par rayon X (Horne et al. 2000) ou IRM (Pena and Foote 2008) de vessies natatoires de poissons adultes pour obtenir des modèles de TS est un champ de recherche bien établi, qui a fourni des modèles de TS de poisson depuis une vingtaine d'années. La méthode préconisée dans le cadre du projet TOMOFISH consiste à réaliser des images tridimensionnelles (3D) d'échantillons de poissons au moyen d'un [micro-tomographe à rayon X](#), puis de définir un modèle 3D de la réponse acoustique individuelle (TS) de ces poissons à partir de ces images.

Les échantillons biologiques nécessaires au projet seront essentiellement prélevés lors de campagnes scientifiques (PELGAS, JUVENA) et à bord de navires professionnels. Les poissons prélevés par Ifremer ou les pêcheurs professionnels seront congelés immédiatement après la capture. L'échantillonnage visera à collecter environ 200 poissons par mois et par espèce, de février à novembre pour la sardine, et d'avril à novembre pour l'anchois, sur la période 2014 - 2015.

Les poissons seront décongelés lentement, afin de préserver au maximum la vessie natatoire, puis scannés avec le micro-tomographe de Subatech.

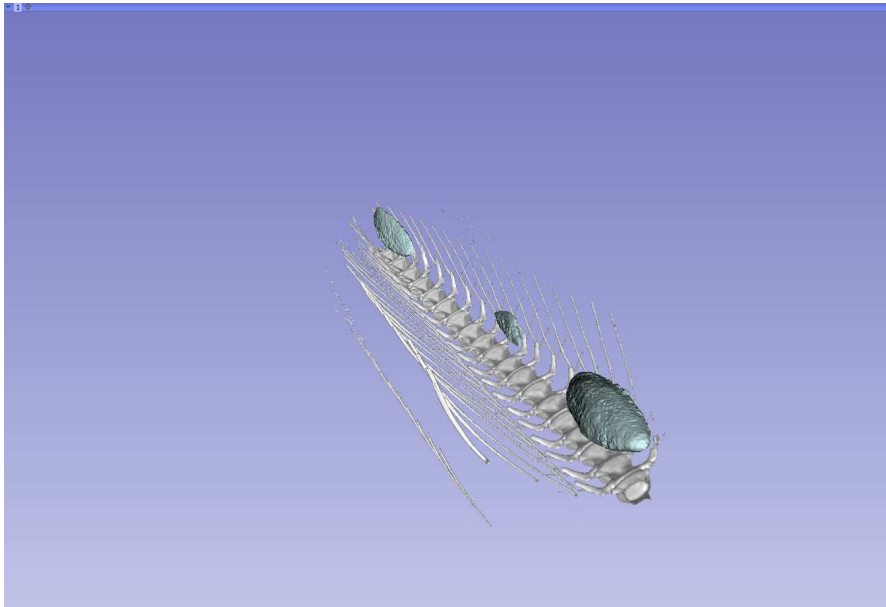


Figure 1 : Image de fragment de vertèbres et vessie natatoire d'anchois par micro-tomographie à rayon X. Essais préliminaires du micro- tomographe RX de Subatech dans le cadre du projet Tomofish.

La très haute résolution du micro-tomographe (jusqu'à 20  $\mu\text{m}$ ) sera mise à profit afin de fournir une image 3D (Figure 1) de l'enveloppe et des organes des poissons, mais aussi de larves d'anchois et de sardines.

Ces données de morphologie seront utilisées dans un premier temps pour paramétrer des modèles acoustiques d'ellipsoïdes gazeux, et exprimer ainsi la contribution principale de la vessie natatoire.

Dans un second temps une modélisation complète des poissons et des larves sera réalisée par simulation par éléments finis de la réponse acoustique des différents organes du poisson contribuant à la rétrodiffusion de l'onde acoustique (Macaulay et al. 2013). Ces modèles fourniront le TS des poissons et des larves en fonction de leur taille, de leur orientation, et de la fréquence du signal acoustique. (Figure 2).

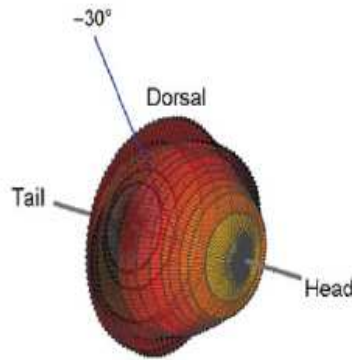


Figure 2 : Exemple de modèle tridimensionnel de TS de poisson. Le TS augmente avec le relief et des couleurs froides vers les couleurs chaudes. Le TS est ici maximum lorsque le poisson est insonifié dorsalement. Source : Cutter et Demer, 2007.

Un facteur de correction sera éventuellement calculé à partir de mesures sur animaux anesthésiés, afin de compenser l'effet de la congélation sur le volume de la vessie.

Le taux de graisse des individus au cours de l'année sera estimé par méthodes calorimétriques (Dubreuil and Petitgas 2009) et au moyen d'un "fatmeter". L'influence du taux de graisse sur le volume de la vessie, la teneur en eau du poisson et le TS sera étudié afin de déterminer l'influence de l'état physiologique du poissons sur sa réponse acoustique.

- Résultats attendus et valorisation

Le projet TOMOFISH fournira la morphologie et modèles tridimensionnels de TS pour les anchois et sardines adultes et juvéniles du golfe de Gascogne, éventuellement corrigés de variations saisonnières.

Couplées à des mesures in-situ et en cage réalisées par ailleurs, les modèles tridimensionnels de TS devraient permettre de proposer des équations taille~TS robustes pour l'anchois et la sardine européens, et améliorer ainsi les estimations acoustiques de la biomasse des adultes et des juvéniles de ces espèces.

La tomographie rayon X de vessies de juvéniles de clupéidés du golfe de Gascogne est l'innovation majeure apportée par le projet. Les images et informations biologiques nouvelles seront acquises sur la formation de la vessie nataoire des anchois et des sardines. Les vessies de larves d'anchois et de sardine juvéniles peuvent entrer en résonance avec le signal acoustique, et renvoyer une réponse acoustique très forte par rapport à leur taille. Une meilleure estimation de la taille des vessies devrait permettre de mieux quantifier ce phénomène, qui pourrait contribuer à produire des couches diffusantes très denses observées sur les images acoustiques lors des campagnes printanières dans le golfe de Gascogne. Une meilleure compréhension de la nature des organismes produisant ces couches diffusantes est un préalable à l'analyse acoustique des compartiments zooplanctonique et micronectonique. Le développement de la vessie nataoire chez les larves est lié à leur migration verticale qui conditionne la dispersion des larves avec les courants. Le moment dans le développement de l'apparition de la vessie permettra d'améliorer le réalisme des dérives larvaires et donc, les prévisions de recrutement (Huret et al., 2010).

Les images de poissons et modèles de TS seront mis à disposition sur le site internet dédié au projet.

Les résultats du projet seront communiqués lors de conférences scientifiques internationales, et au travers d'articles soumis à des journaux scientifiques à comité de lecture.

Les résultats du projet TOMOFISH seront valorisés dans le cadre du groupe de travail international [WGACEGG](#), qui expertise pour le compte du CIEM les méthodes d'évaluation de la biomasse d'anchois et de sardine utilisées sur la façade atlantique européenne. Les résultats du projet permettront de répondre aux questions soulevées par ce groupe sur la validité des TS utilisés par l'Ifremer pour estimer les biomasses de petits poissons pélagiques à partir de données acoustiques. Les résultats du projet permettront également d'asseoir la validité des estimations de biomasse fournies par l'Ifremer au groupe d'évaluation international [WGHANSA](#) en charge de l'estimation des stocks d'anchois et de sardine du golfe de Gascogne, dans le cadre de la directive de collecte de données halieutiques de l'Union Européenne (DCF).

## **E – Bibliographie relative au projet**

- Cutter Jr, G., and Demer, D. 2007. Accounting for scattering directivity and fish behaviour in multibeam-echosounder surveys. *ICES J Mar Sci* **64**: 1664–1674.
- Dubreuil, J., and Petitgas, P. 2009. Energy density of anchovy *Engraulis encrasicolus* in the Bay of Biscay. *J Fish Biol* **74**: 521–534.
- Hazen, E.L., and Horne, J.K. 2003. A method for evaluating the effects of biological factors on fish target strength. *ICES J. Mar. Sci.* *ICES J Mar Sci* **60**: 555–562.
- Horne, J.K., Walline, P.D., and Jech, J.M. 2000. Comparing acoustic model predictions to in situ backscatter measurements of fish with dual-chambered swimbladders. *J Fish Biol* **57**: 1105–1121.
- Huret, M., Petitgas, P. and Woillez, M. 2010. Dispersal kernels and their drivers captured with a hydrodynamic model and spatial indices: A case study on anchovy (*Engraulis encrasicolus*) early life stages in the Bay of Biscay. *Progress in Oceanography*, **87**: 6-17
- ICES. 2008. Report of the Working Group on Acoustic and Egg Surveys for Sardine and Anchovy in ICES Areas VIII and IX (WGACEGG). *ICES CM* **2008/LRC:17**: 183.
- Macaulay, G.J., Peña, H., Fässler, S.M.M., Pedersen, G., and Ona, E. 2013. Accuracy of the Kirchhoff-Approximation and Kirchhoff-Ray-Mode Fish Swimbladder Acoustic Scattering Models. *PLoS ONE* **8**: e64055. doi: 10.1371/journal.pone.0064055.
- Pena, H., and Foote, K.G. 2008. Modelling the target strength of *Trachurus symmetricus murphyi* based on high-resolution swimbladder morphometry using an MRI scanner. *ICES J. Mar. Sci.* **65**: 1751–1761.
- Simmonds, E.J., and MacLennan, D.N. 2005. *Fisheries Acoustics. Theory and Practice*. Blackwell publishing, Oxford, UK.



## Plan d'implémentation et calendrier de réalisation.

Le projet Tomofish nécessite de la main d'œuvre pour l'imagerie des échantillons, ainsi que de l'expertise en tomographie, segmentation d'image et modélisation acoustique. Le projet est construit autour du co-encadrement par EMH et Subatech de 2 étudiants/ingénieurs en Master2.

Subatech encadrera en 2014 un stagiaire du Master "[ARS, Applications et recherches Subatomiques](#)" de Nantes afin de réaliser les scans de poissons et produire les modèles morphologiques.

Le laboratoire NSE d'Ifremer Brest collaborera avec EMH et Subatech pour produire les modèles 3D de TS à partir des données morphologiques. EMH et NSE encadreront en 2015 un stagiaire de Master2 afin de finaliser la modélisation acoustique.

Des profils master2 et/ou ingénieurs ont été préférés à un (post) doctorant, du fait de la dominante ingénierie et de la nature exploratoire du projet.

Les travaux de la première année se concentreront sur la mise au point de la méthode de tomographie des juvéniles et adultes de poissons, ainsi que des algorithmes de segmentation d'image. Une première estimation du TS moyen de ces poissons issue de la modélisation pourra être fournie en avril 2015. Les implications en termes d'estimation de biomasse par acoustique seront évaluées lors de ce point d'étape. La seconde année sera dévolue à l'approfondissement de la modélisation acoustique des adultes, et à l'imagerie et à la modélisation des larves et juvéniles. Le rapport et la réunion finale du projet seront livrés aux environs de juin 2016.

Le laboratoire EMH d'Ifremer Nantes assurera la coordination du projet et notamment la collecte des échantillons biologiques et leur transmissions à Subatech. EMH organisera également les expérimentations spécifiques visant à scanner des poissons anesthésiés, en collaboration avec des aquariums et/ou des pêcheurs professionnels.

En fonction des fonds récoltés, une collaboration est envisagée avec le CNPEM, afin d'identifier et d'assurer la liaison avec les pêcheurs professionnels les plus à même de fournir les échantillons nécessaires. Les marins-pêcheurs professionnels volontaires seront sélectionnés en fonction de leur métier et de leur calendrier de pêche, de façon à collecter tous les mois entre mars et novembre une centaine d'anchois et de sardines adultes et juvéniles. Les pêcheurs sollicités incluront 2 chalutiers pélagiques en bœufs basé des Pays de la Loire, un bolicheur basque et un bolincheur bigouden. Les pêcheurs seront indemnisés pour la collecte et la préservation des échantillons.

En cas d'acceptation du projet FFP « Captain », les échantillons de sardine collectés auprès de marins pêcheurs professionnels dans le cadre de ce projet pourront être imagés dans le cadre de Tomofish.

Compte tenu des périodes d'interdiction de pêche, la phase de collecte des échantillons devra nécessairement s'étaler sur 2 ans (2014-2015), afin de permettre la collecte d'une centaine de poissons par mois et par espèce de mars à novembre.

Le calendrier prévisionnel du projet est présenté ci-dessous.

2014	Collecte d'échantillons	Traitement/analyse données	Livrables
M		Test du tomographe	
A			
M	PELGAS		
J		Scan des échantillons d'anchois et de sardine adultes / reconstruction des vessies natatoires en 3D	
J			
A			
S	JUVENA		
O			
N			
D			
2015	Pas de pêche	Modélisation de la réponse acoustique des vessies d'anchois et sardines adultes	
J			
F	Pêcheurs professionnels		
M			
A	PELGAS		
M			
J		Scan des échantillons d'anchois et de sardine adultes et juvéniles / reconstruction des vessies natatoires en 3D / modélisation acoustique	Rapport intermédiaire sur le TS d'anchois et de sardine adultes
J	Pêcheurs professionnels		
A			
S	JUVENA		
O		Modélisation de la réponse acoustique totale des anchois et sardines adultes et juvéniles	
N	Pêcheurs professionnels		
D			
2016	Pas de pêche		
J			
F			
M			
A			
M			
J			
J			
A			
S			Rapport final sur le TS des anchois et sardine adultes et juvéniles

Un rapport sera livré et les premiers résultats du projet seront présentés oralement à la Direction Scientifique au bout de la première année du projet, en juin 2015. Le rapport final sera remis en juin 2016.