

Avant-projet sommaire

Développement méthodologique de la surveillance DCSMM des poissons et céphalopodes des milieux pélagiques côtiers



Porteur du projet

Eric FEUNTEUN
MNHN - Station Marine de Dinard.
Co-pilote scientifique de la thématique
DCSMM poissons et céphalopodes



MUSÉUM
NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

Service
des
Stations
Marines
Dinard - Concarneau



Principaux collaborateurs

Pierre THIRIET et Anthony ACOU
MNHN - UMS PATRINAT
Assistants du co-pilote MNHN



MUSÉUM
NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

UMS
PATRIMOINE
NATUREL
Centre d'opération et de données
MNHN - AFB - CNRS

Patrice BREHMER
IRD - UMR LEMAR

IRD Institut de Recherche
pour le Développement
FRANCE

LEMAR
UMR CNRS/IRD/Ifremer

Muséum National d'Histoire Naturelle - Station Marine de Dinard
CRESCO (Centre de Recherches et d'Enseignement sur les Systèmes COTiers)
38 rue du Port Blanc, 35800 Dinard, France
Tél. : 02.23.18.58.84 Fax : 02.23.18.58.81 Mail : pierre.thiriet@mnhn.fr



Résumé :

Le présent projet - planifié sur deux ans de janvier 2018 à décembre 2019 - a pour objectif de développer la méthodologie de surveillance DCSMM et les indicateurs associés, pour l'évaluation de l'état écologiques des populations et peuplements de poissons et céphalopodes des milieux pélagiques côtiers, c'est-à-dire les espèces pélagiques ou benthopélagiques fréquentant la colonne d'eau (le pelagos) dans les zones dont la bathymétrie est comprise entre 0 et 40 m (zones dites côtières).

Les protocoles consisteront en une adaptation aux contraintes côtières des protocoles d'échosondage et de pêche sur détection utilisés par les campagnes halieutiques PELGAS et PELMED qui évaluent les stocks de petits poissons pélagiques grégaires du plateau continental.

La première année portera sur la mise au point des protocoles d'échantillonnages et l'optimisation de la stratégie d'échantillonnage d'une zone. Les campagnes tests seront effectuées dans le Golfe de Saint Malo avec les moyens humains et de mise à la mer de la Station Marine de Dinard.

La seconde année portera sur la mise au point de la stratégie de surveillance nationale et initiera le développement des indicateurs écologiques. Pour cela les protocoles d'échantillonnages seront mis en œuvre dans les quatre sous-régions marines par les agents MNHN (Station marine de Dinard et UMS) emmergeant sur le présent projet et avec la contribution de divers moyens logistiques et humains (via partenariats et/ou appels d'offres pour l'affrètement des navires). La stratégie d'échantillonnage consistera à stratifier l'échantillonnage dans des zones spécifiques distribuées le long de gradients environnementaux et de pressions.

Cette stratégie d'échantillonnage ne reflète pas la stratégie de surveillance nationale à long terme. Elle vise à collecter, avec un budget raisonnable, les données nécessaires pour élaborer la stratégie nationale à long terme et préfigurer des indicateurs.

La stratégie de surveillance nationale à long terme sera définie à l'issue du projet et décrite dans le cahier des charges fonctionnelles de la surveillance, qui pourra être mise en œuvre dans la continuité du projet dès 2020.

Citation :

Thiriet P, Brehmer P, Acou A et Feunteun E. Avant-projet sommaire : Développement méthodologique de la surveillance DCSMM des poissons et céphalopodes des milieux pélagiques côtiers. Rapport MNHN-Dinard, copilotage DCSMM D1 PC. Juin 2017.

Crédit photo page de couverture :

Pierre Thiriet, MNHN-UMS Patrinat



Sommaire :

1	Introduction	4
1.1	Contexte	4
1.2	Problématique	6
1.3	Objectifs du projet	8
2	Cahier des charges de la méthode de surveillance à développer	9
2.1	Les critères et autres informations à renseigner	9
2.2	Les données à collecter	10
2.3	Les types de poissons et céphalopodes ciblés	11
3	Présentation des protocoles d'échantillonnages à mettre au point	12
3.1	Le protocole standardisé de PELGAS et PELMED pour le plateau	12
3.2	Le protocole retenue pour les milieux côtiers	13
3.2.1	Détails concernant les méthodes d'échosondage retenues	13
3.2.2	Détails concernant les pêches sur détection	18
3.3	Synthèse : les potentiels du protocole pour l'échantillonnage des poissons et céphalopodes	19
3.4	Les potentiels du protocole pour l'estimation d'autres données environnementales (et liens avec les autres descripteurs)	20
3.4.1	Les covariables d'habitats pour les poissons	20
3.4.2	Les liens potentiels avec les autres descripteurs	20
4	La stratégie d'échantillonnage pour les campagnes tests	21
4.1	Mise au point des protocoles : 1 ^{ère} année	21
4.2	Mise au point de la stratégie d'échantillonnage de la surveillance : 2 ^{nde} année	23
5	Principaux investigateurs et collaborateurs	27
6	Résumé des principales étapes et échéances du projet	28
7	Budget prévisionnel	29
	Annexe 1 : Liste non-exhaustive des espèces fréquentant les milieux pélagiques côtiers	30
	Annexes 2 et 3 (pages suivantes)	31



1 Introduction

1.1 Contexte

La Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM¹) vise l'atteinte et/ou le maintien du bon état écologique des écosystèmes marins d'Europe. Pour sa mise en œuvre en France métropolitaine², les Plans d'Action pour le Milieu Marin (PAMM³) prévoient cinq actions, dont le développement et la mise en œuvre de programmes de surveillances (4^{ème} action adoptée par chaque DIRM début 2015). Au total, 13 programmes de surveillance ont été retenus pour couvrir l'ensemble des composantes biocénotiques et des pressions pesant sur les écosystèmes marins. Le programme de surveillance *Poissons et Céphalopodes* (PC) a pour fonctions (détaillées en [section 2.1](#)) de collecter cycliquement les données nécessaires pour :

- Développer (lors du premier cycle) et réviser/compléter (lors des cycles suivant) les indicateurs DCSMM du Bon État Écologique des communautés de PC, relatifs aux descripteurs « Biodiversité », « Espèces non indigènes » et « Réseaux trophiques ».
- Evaluer l'atteinte du Bon État Écologique des communautés de PC, en renseignant les critères et indicateurs DCSMM du Bon État Écologique.
- Evaluer les impacts sur l'état écologique des pressions induites par les activités humaines.
- Contribuer à l'évaluation de la réalisation des objectifs environnementaux définis dans les PAMM.

Pour chacune des quatre sous-régions marines (SRM) de France métropolitaine (Figure 1), le programme de surveillance *Poissons et Céphalopodes* (PC) est divisé en cinq sous-programmes (SP) qui n'en sont pas tous au même état d'avancement (Tableau 1).

¹ Directive 2008/56/CE du Parlement européen et du Conseil du 17 juin 2008

² Transposition de la DCSMM en droit français dans les articles L219-9 et suivants et articles R219-4 et suivants du Code de l'Environnement.

³ Application par chacune des Direction Inter-régionale de la Mer (DIRM) des articles suscités

Tableau 1 : Etat d'avancement des cinq sous-programmes (SP) du programme de surveillance Poissons et Céphalopodes (PC)

Sous-Programme	Etat d'avancement et plan de travail d'ici la fin du 1er cycle (2014-2020)
SP1, PC de la zone intertidale	Le développement méthodologique de la surveillance est à réaliser lors du 1er cycle (en lien avec le PAC) en vue d'une mise en œuvre opérationnelle de la surveillance au 2nd cycle.
SP2, PC démersaux des milieux rocheux côtiers et des herbiers à phanérogames	Le développement méthodologique de la surveillance est à réaliser lors du 1er cycle (en lien avec le PAC) en vue d'une mise en œuvre opérationnelle de la surveillance au 2nd cycle.
SP3, PC démersaux des milieux meubles côtiers	La surveillance est opérationnelle et se base sur les dispositifs existants. Cette surveillance doit toutefois être complétée dès le 1er cycle par la mise en œuvre de protocoles existants.
SP4, PC pélagiques des milieux côtiers	La surveillance est opérationnelle et se base sur les dispositifs existants. Cette surveillance doit toutefois être complétée dès le 1er cycle par le développement de nouveaux protocoles.
SP5, PC du plateau	La surveillance est opérationnelle et se base sur les dispositifs existants. Aucune modification ou complément n'est prévu lors du 1er cycle.

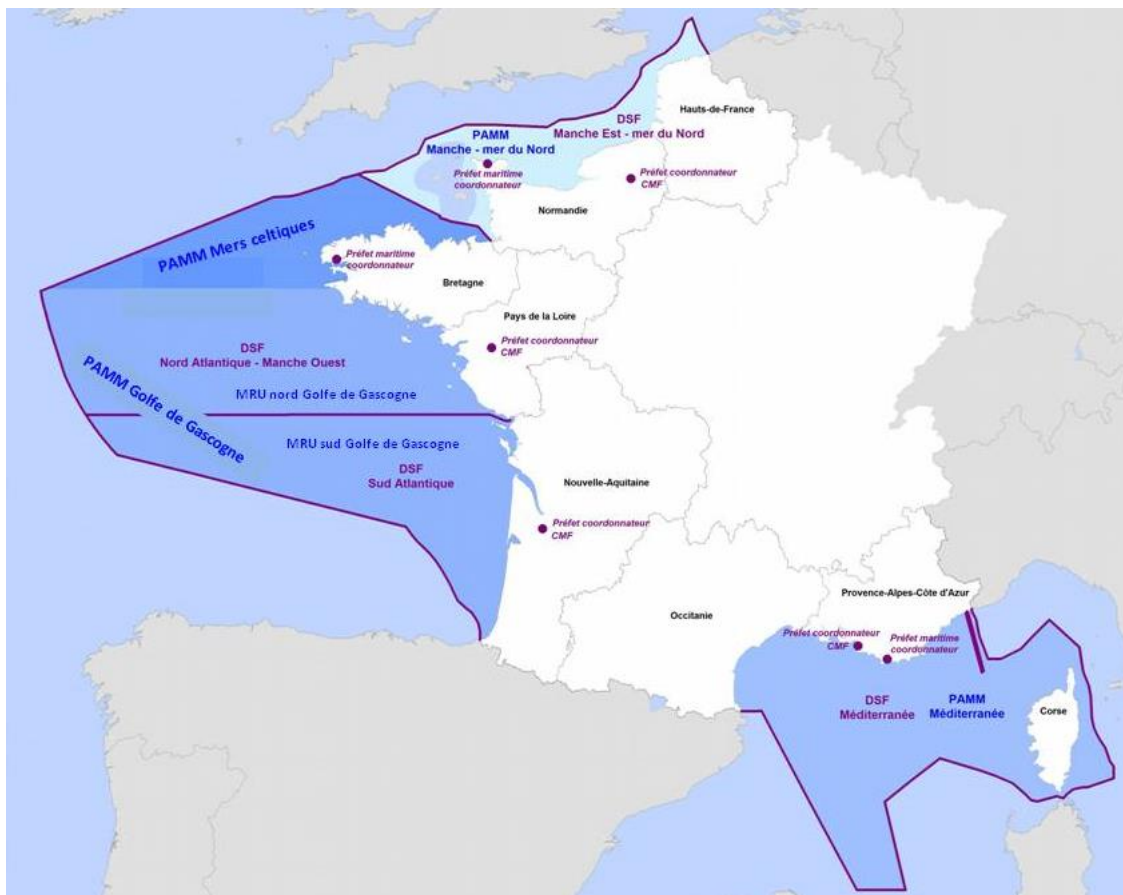


Figure 1: Emprises des quatre Plans d'Action pour le Milieu Marin (PAMM) correspondant aux quatre sous-régions marines.

1.2 Problématique

Les sous-programmes 4 (SP4) sont dédiés à la surveillance des poissons et céphalopodes (PC) dans les milieux pélagiques côtiers, c'est-à-dire les PC fréquentant la colonne d'eau (le pelagos) dans les zones dont la bathymétrie est comprise entre 0 et 40 m (zones dites côtières).

Les dispositifs existants sur lesquels reposent actuellement les SP4 sont essentiellement les campagnes halieutiques de l'Ifremer PELGAS (Golfe de Gascogne) et PELMED (Golfe du Lion), qui partagent une méthodologie commune consistant en une combinaison d'échosondage et de chalutage sur détection, opérée *via* des navires océanographiques destinés (en autres) à l'halieutique (le Thalassa et l'Europe). Ces deux campagnes ont pour principal objectif d'évaluer les stocks de petits pélagiques (*e.g.* anchois et sardines) du Golfe de Gascogne (PELGAS) et du Golfe du Lion (PELMED). Elles couvrent pour cela l'ensemble du milieu pélagique du plateau continental (SP5) mais ne couvre qu'une partie du pélagique côtier (SP4) puisque les zones dont la bathymétrie est inférieure à 20 m ne sont pas échantillonnées (Tableau 2) pour des raisons de sécurité maritime, à cause de la manœuvrabilité, du tirant d'eau et/ou de la dimension des engins de pêches des navires océanographiques utilisés.

Tableau 2 : Caractéristiques des campagnes océanographiques sur lesquelles repose actuellement la surveillance DCSMM des pélagiques côtiers (SP4) et du plateau (SP5)

Campagne	Zone couverte	Principale espèce(s) cibles(s)	Période d'échantillonnage	Bathymétrie minimum		Bathymétrie maximum	
				échosondage	chalutage	échosondage	chalutage
PELGAS	Golfe de Gascogne	Anchois*	Mai, saison de reproduction de l'anchois en Golfe de Gascogne	20 m	20m	200 m	200 m
PELMED	Golfe du Lion	Anchois et sardines*	Juillet, fin de saison de reproduction de l'anchois en Golfe du Lion	12 m	20 m	400 m	400 m

* En plus de ces espèces cibles (conditionnant la période d'échantillonnage), les autres petits poissons pélagiques exploités (sprat, chinchard, maquereau...) sont également échantillonnés.

Afin de compléter la surveillance des PC pélagiques côtiers (SP4), il apparaît nécessaire de développer une méthode de surveillance toujours basée sur la combinaison d'échosondage et chalutage, mais opérée par des petits navires côtiers (manœuvrant et à faible tirant d'eau), afin d'échantillonner les PC pélagiques dans les milieux côtiers (bathymétrie < 40 m) et notamment les milieux ultra-côtiers (bathymétrie < 20 m), c'est-à-dire au plus près des côtes là où les navires océanographiques ne peuvent pas échantillonner.

La zone de transition dont la bathymétrie est comprise entre 20 et 40m sera échantillonnée par les deux types de campagnes, côtières et océanographiques (Figure 2). Ce chevauchement partiel des deux surveillances est important puisqu'il permettra de recomposer une image plus globale et continue des PC pélagiques des milieux côtiers et du plateau. Le continuum écologique existant entre ces deux zones sera ainsi couvert malgré les différences entre méthodes d'échantillonnages - bien qu'harmonisées tant que possible - inhérentes aux contraintes variables de ces deux milieux.

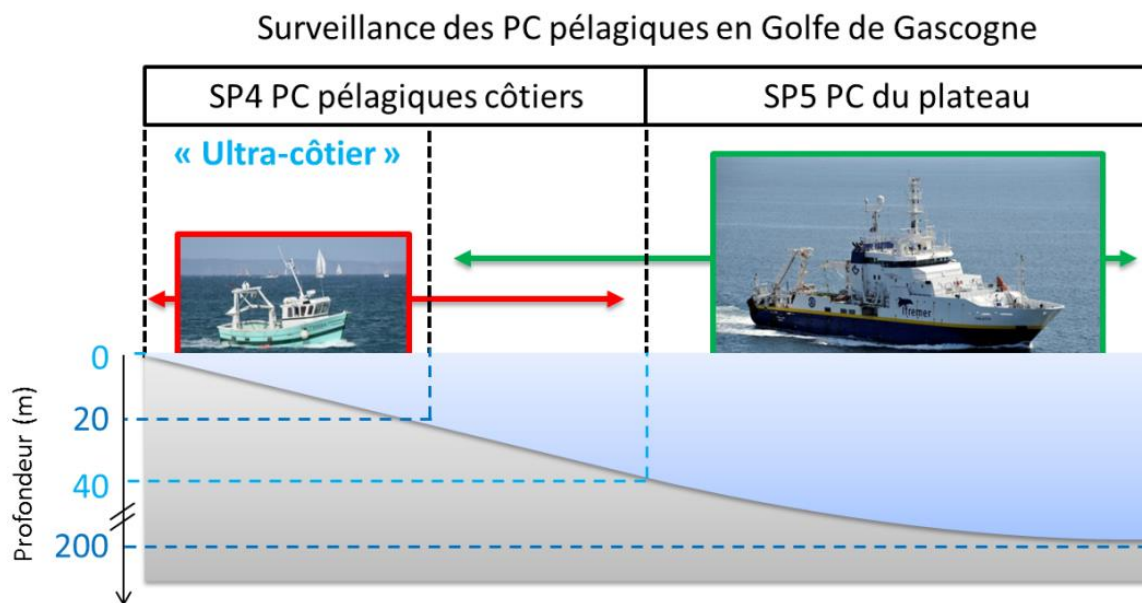


Figure 2 : Schéma présentant, avec l'exemple du Golfe de Gascogne, les zones bathymétriques couvertes par les sous-programmes (SP) 4 (PC pélagiques côtiers) et SP5 (PC du plateau), ainsi que le chevauchement partiel des couvertures respectives à la campagne halieutique PELGAS (en vert) et aux campagnes pélagiques (ultra-)côtières (en rouge) qu'il reste à développer pour compléter le SP4.

Il est également important de souligner qu'afin d'assurer pleinement la surveillance des PC pélagiques côtiers et du plateau, il serait nécessaire de créer dans le cadre du SP5 de nouvelles campagnes halieutiques comparables à PELGAS et PELMED afin d'étendre la surveillance des PC pélagiques du plateau dans les secteurs encore non couverts, c'est-à-dire toute la SRM Manche-Mer du Nord, toute la SRM Mer Celtique et la partie occidentale de la SRM Méditerranée.



1.3 Objectifs du projet

Dans ce contexte, le présent projet a pour objectif de développer la méthodologie de surveillance des PC des milieux pélagiques côtiers et initier le développement des indicateurs associés. Le projet se déroulera sur deux ans, de janvier 2018 à décembre 2019 :

- La première année portera sur la mise au point des protocoles d'échantillonnages. Les campagnes tests seront effectuées dans le Golfe de Saint Malo avec les moyens humains et de mise à la mer de la Station Marine de Dinard.
- La seconde année portera sur la mise au point de la stratégie de surveillance nationale et initiera le développement des indicateurs écologiques. Pour cela les protocoles d'échantillonnages seront mis en œuvre dans les quatre sous-régions marines par les agents de la station marine de Dinard emmergeant sur le présent projet et avec la contribution de divers moyens logistiques et humains (via partenariats et/ou appels d'offres pour l'affrètement des navires). La stratégie consistera à stratifier l'échantillonnage dans des zones spécifiques distribuées le long de gradients environnementaux et de pressions. Les données ainsi acquises serviront ensuite à :
 - Mener des analyses de puissance statistiques en vue d'optimiser l'effort et la stratification de l'échantillonnage.
 - Débuter le développement d'indicateurs pouvant renseigner les critères du Bon Etat Ecologique (BEE), grâce aux analyses (géo-) statistiques des effets des gradients environnementaux et de pressions sur les populations et peuplements de poissons (voir Thiriet et Feunteun 2016⁴). Toutefois, les indicateurs et la stratégie d'échantillonnage évolueront au cours des prochaines années, au fur et à mesure que les connaissances sur le système (notamment sa variabilité spatio-temporelle naturelle) augmenteront en lien avec l'acquisition de données standardisées (*i.e.* la mise en œuvre du programme de surveillance). C'est pourquoi les premiers indicateurs ne seront véritablement opérationnels (*i.e.* pleinement interprétables grâce à des seuils) qu'à partir de 2023, pour l'évaluation du 3^{ème} cycle.

A l'issue du projet fin 2019, le cahier des charges fonctionnelles de la surveillance sera établi. La création de campagnes pour la mise en œuvre effective de la surveillance côtière (SP4) pourra alors débuter dans la continuité du projet, en 2020. Les travaux de développement méthodologiques des indicateurs écologiques devront se poursuivre au fur et à mesure de l'acquisition des nouvelles données.

⁴ Thiriet P et Feunteun E. Etat de développement des indicateurs par critère du descripteur 1 – poissons & céphalopodes, Rapport MNHN-Dinard, co-pilotage scientifique de la thématique DCSMM poissons et céphalopodes, décembre 2016



2 Cahier des charges de la méthode de surveillance à développer

2.1 Les critères et autres informations à renseigner

La méthode à développer doit satisfaire tant que possible les objectifs des programmes de surveillance définis par les 4^{ème} éléments de chaque PAMM adoptés par les préfets en juin 2015. Ces objectifs sont repris ci-dessous et mis à jour suite à la révision de 2017 de la Décision définissant les critères du Bon Etat Ecologique ⁵.

Les campagnes pélagiques côtières devront collecter des données permettant de contribuer au renseignement des descripteurs et critères DCSMM suivant :

- Descripteur 1 « Biodiversité », groupes d'espèces mobiles Poissons et Céphalopodes, **pour une liste d'espèces de PC** définie (voir Thiriet & Feunteun 2016 ⁴) :
 - Taille des populations (D1C2)
 - Etat des populations (D1C3)
 - Distribution spatiale des populations (D1C4)
 - Bonne réalisation du cycle de vie de l'espèce en lien avec l'étendu et la condition de ses habitats fonctionnels (D1C5),
- Descripteur 4 « Structure et fonctionnement de l'écosystème », **au niveau du peuplement** de PC.
 - Composition spécifique et abondances relatives par guildes fonctionnelles (D4C1)
 - Equilibre de l'abondance totale entre guildes fonctionnelles (D4C2)
 - Distribution en taille des individus au sein de la guildes fonctionnelle (D4C3)
 - Productivité des guildes trophiques (D4C4)

Les campagnes pélagiques côtières devront également contribuer à :

- L'évaluation des effets néfastes des pressions anthropiques sur l'état écologique des PC pélagiques côtiers.

Les protocoles d'échantillonnage développés pourront servir à évaluer les potentiels impacts de certaines pressions anthropiques sur l'état écologique des populations et peuplements de poissons et céphalopodes, sous réserve de mettre en œuvre des stratégies d'échantillonnages adaptées spécifiquement aux variations spatio-temporelles des niveaux de pressions étudiés (voir Thiriet & Feunteun 2016 ⁴). Ces travaux doivent donc être menés en lien avec les pilotes des descripteurs de pressions.

⁵ Décision IE 2017/848 de la Commission du 17 mai 2017 : <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1495097018132&uri=CELEX:32017D0848>

Les pressions ayant un impact potentiels sur les populations et peuplements de poissons et céphalopodes sont :

- Pressions et impacts directs :
 - mortalité par prise accessoire (D1C1)
 - mortalité par pêche (D3C1)
 - impacts des espèces invasives (D2C3)
 - impacts des contaminants (D8C2-C4)
 - impacts des dérangements sonores (D11C1-C2).
- Pressions et impacts indirects :
 - pressions qui affectent en cascade (a) l'état des habitats pélagiques (D1C6) et benthiques (D6C4-C5), (b) l'étendue et les conditions de l'habitat de l'espèce (D1C5-partie 1), (c) le degré d'accomplissement du cycle biologique de l'espèce (D1C5-partie 2) et enfin (d) l'état écologique de la population (D1C2-C4).
 - pressions qui affectent en cascade (a) une ou plusieurs autres espèces composant l'écosystème (D1 : Oiseaux, mammifères, reptiles/tortues, poissons, céphalopodes), (b) leurs interactions (notamment trophiques, D4), et enfin (c) l'état écologique de la population (D1C2-C4) ou du peuplement (D4).
- La définition puis l'évaluation de la réalisation des objectifs environnementaux et de l'efficacité des programmes de mesures
 - Les protocoles développés pourront contribuer à l'identification de zones à enjeux, et notamment des zones fonctionnelles halieutiques.
 - Les protocoles développés pourront servir à évaluer l'atteinte de certains objectifs et/ou l'efficacité de certaines mesures, sous réserve de mettre en œuvre des stratégies d'échantillonnages spécifiques.

2.2 Les données à collecter

Pour renseigner les critères du D1 détaillés ci-dessus, les campagnes pélagiques côtières devront permettre d'estimer les métriques suivantes dans les zones échantillonnées (bathymétrie < 40 m) : abondance, biomasses et spectre de taille des espèces de PC pélagique listées.

Cependant, il est indispensable que l'échantillonnage ne se focalise pas que sur les espèces listées, mais au contraire que **l'ensemble des espèces fréquentant les milieux pélagiques côtiers soient suivis**. Ceci est lié à deux raisons :



- une espèce qui n'est pour le moment pas listée pourrait néanmoins faire l'objet d'un besoin futur de surveillance (e.g. dynamique particulière en lien avec une nouvelle pression). Il serait alors très avantageux de disposer de données antérieures qui serviraient de référence, sans quoi plusieurs années de surveillance seraient nécessaires avant de pouvoir véritablement évaluer l'état écologique de cette espèce.
- pour contribuer au renseignement des critères du D4 (et du D2), il est indispensable de collecter des données à l'échelle du peuplement - c'est à dire sur l'ensemble des espèces ou du moins l'ensemble des groupes fonctionnelles – afin de pouvoir calculer des indices tels que diversité taxinomique ou fonctionnelle, abondances et biomasses par groupes fonctionnels, composition et abondances relatives, etc.

Pour contribuer au D4, les campagnes pélagiques côtières pourraient également inclure la collecte de tissus musculaires et d'estomacs pour un certain nombre d'individus, afin de réaliser des analyses isotopiques et de contenus stomacaux pour évaluer la position trophique des PC pélagiques côtiers et les flux de matières (constitution et suivis des guildes trophiques du D4). Ces travaux d'analyses biologiques et biogéochimiques relèvent strictement du D4, seuls la collection et le stockage des échantillons biologiques sont considérés ici, mais pour l'instant pas précisé car des échanges avec les pilotes du D4 sont encore nécessaires pour affiner cette partie du cahier des charges concernant les échantillonnages biologiques.

De même, les campagnes pélagiques côtières pourraient également inclure la collecte d'échantillons biologiques pour les besoins du D8-D9 (contaminants).

2.3 Les types de poissons et céphalopodes ciblés

Comme vue dans la section précédente, pour satisfaire pleinement les objectifs de la surveillance, les protocoles d'échantillonnages à développer doivent permettre d'estimer les abondances, biomasses et spectre de taille pour l'ensemble des espèces fréquentant les milieux pélagiques côtiers. Les protocoles d'échantillonnage devront donc tenir comptes des différentes catégories d'espèces, notamment aux niveaux de leurs distributions spatiales (pélagique vs benthopélagique) et de leurs comportements (grégaire ou non) qui peuvent fortement interagir avec l'efficacité des protocoles d'échosondages et de pêches. De cette perspective, les principales espèces fréquentant les milieux pélagiques côtiers ([Annexe 1](#)) peuvent être distinguées selon les catégories suivantes :

- Petits pélagiques grégaires, planctonivores (e.g. Atherines, anchois)
- Grands pélagiques grégaires, macro-carnivores (e.g. thons, bonite)
- Autres pélagiques isolés ou en petits groupes (e.g. orphies, poisson lune)
- Petits benthopélagiques, planctonivores (e.g. castagnole, oblade)
- Grands benthopélagiques, omnivores (e.g. mugilidae) ou piscivores (e.g. bar)



3 Présentation des protocoles d'échantillonnages à mettre au point

Les protocoles à développer pour les campagnes pélagiques côtières reposeront sur une adaptation aux contraintes des milieux côtiers (voir synthèse dans Champagnat et al 2017 ⁶) des protocoles des campagnes hauturières PELGAS et PELMED (voir Doray et al. 2014 ⁷). En effet, ces protocoles de références permettent d'échantillonner les métriques et prélever les échantillons biologiques identifiés par le cahier des charges en section précédente. De plus, calquer tant que possible les protocoles côtiers sur les protocoles plateau vise à faciliter l'analyse conjointe des données de la côte et du plateau en vue de recomposer, tant que possible, une image plus globale et continue des PC pélagiques de ces deux milieux.

3.1 Le protocole standardisé de PELGAS et PELMED pour le plateau

La méthode standardisée utilisée par PELGAS et PELMED pour évaluer les stocks (abondances et biomasses) des petits poissons pélagiques (Doray et al. 2014 ⁷), consiste à interpréter une combinaison de données issues d'échosondage et de chalutage.

Concernant les données d'échosondage, elles sont acquises via (1) des sondeurs multifréquences orientés verticalement sous le bateau, et (2) un sondeur mono-fréquence orienté latéralement (dans le plan horizontale, orthogonalement à l'axe d'avancé du navire), afin de couvrir l'ensemble de la colonne d'eau (Tableau 2). Ne sont utilisées pour l'évaluation des stocks que les données collectées de jour car les estimations par échosondage sont fortement affectées par les variations nyctémérales de la distribution spatiale des poissons.

Bien que les abondances et biomasses par espèces soient estimées à partir des données d'échosondage (par echo-intégration), il est nécessaire de croiser les données d'échosondage à celles de chalutage afin de confirmer l'identification des espèces observées via échosondage. Pour cela, autant de traits de chaluts pélagiques que nécessaires sont effectués « sur détection ». C'est-à-dire en temps réel au cours des radiales d'échosondage diurnes, lorsqu'un banc ou des individus sont détectés mais pas identifiés à l'espèce (*e.g.* car l'échotype n'avait pas encore été alloué à une espèce), un trait de chalut est effectué, soit par le navire pratiquant l'échosondage (*i.e.* le *Thalassa* ou l'*Europe*, qui interrompt momentanément la radiale d'échosondage) soit par deux navires de pêches professionnels (en bœuf) spécifiquement affrétés pour ces campagnes.

⁶ Champagnat J, Feunteun E et Thiriet P. Analyse bibliographique des méthodes de suivis des poissons et céphalopodes des milieux pélagiques côtiers, en vue du développement méthodologique du programme de surveillance DCSMM. Rapport MNHN-Dinard, co-pilotage scientifique de la thématique DCSMM poissons et céphalopodes, mars 2017.

⁷ Doray M, Badts V, Masse J, Duhamel E, Huret M, Doremus G, Petitgas P. Manual of fisheries survey protocols. PELGAS surveys (PELAgiques GAScogne), 2014



Tableau 2 : Matériel d'échosondage utilisés lors des campagnes PELGAS et PELMED

Campagne	Echosondeurs orientés verticalement	Echosondeur orienté latéralement
PELGAS	Sondeur multifréquence split-beam SIMRAD EK80 Fréquences des 3 transducteurs : 38, 120 et 200 kHz faisceaux coniques de 7°	Sondeur split-beam SIMRAD EK80 1 fréquence : 120 kHz faisceau de section elliptique, 2,5° de haut et 10° de large
PELMED		A partir de 2018 ou 2019, même configuration que PELGAS
Remarques	Pour évaluer les abondances et biomasses des stocks de petits poissons pélagiques : - seul le 38 kHz (vertical) est utilisé pour l'estimation des stocks en routine - le 120 kHz (vertical) est néanmoins utilisé pour discriminer l'abondance de certaines cibles fortement agrégées et/ou les espèces qui ont une petite vessie natatoire (e.g. le maquereau).	

3.2 Le protocole retenue pour les milieux côtiers

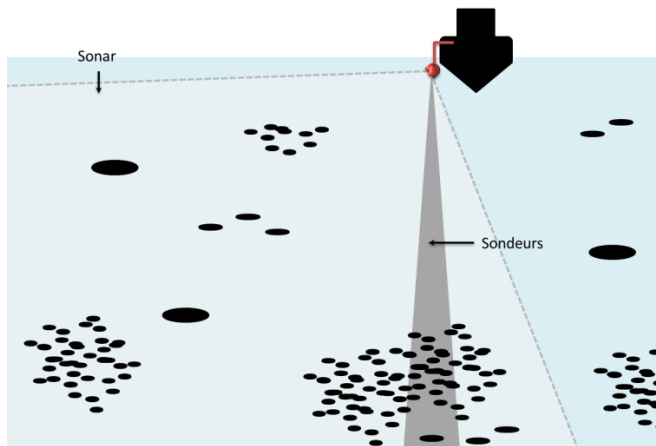
La méthode pour l'échantillonnage des poissons et céphalopodes fréquentant les milieux pélagiques côtiers consistera également en une combinaison d'échosondage et de pêche sur détection, opérée de jour (avec nuit au port) par un navire côtier de type chalut (longueur < 12 m) afin de pouvoir s'approcher au plus proche des côtes.

3.2.1 Détails concernant les méthodes d'échosondage retenues

L'échantillonnage hydroacoustique consistera en une combinaison de deux technologies complémentaires (Figure 3) :

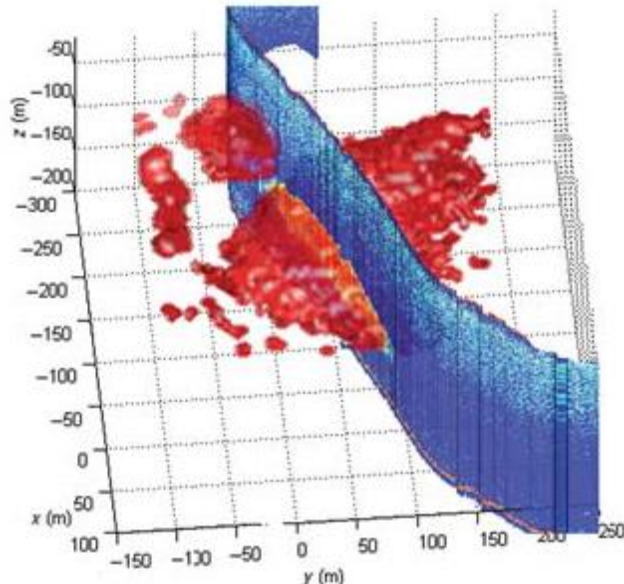
1. Des sondeurs larges bandes orientés verticalement sous le navire
2. Un sonar multi-faisceaux orienté dans un plan vertical, normal à la route du navire (Gerlotto et al. 1999⁸).

⁸ Gerlotto F, Soria M, Fréon P. From two dimensions to three: the use of multibeam sonar for a new approach in fisheries acoustics. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 1999;56(1):6-12.



a) Schéma présentant l'orientation et la couverture angulaire :

- des sondes larges bandes orientés verticalement sous le navire
- et du sonar multifaisceaux orienté dans un plan vertical, normal à la route du navire.



b) Image tridimensionnelle recomposant les données collectées par les sondes (en bleu) et le sonar (en rouge) au fur et à mesure de l'avancée du navire.

Image modifiée de Weber et al. 2009⁹

Figure 3 : Dispositif hydroacoustique retenue pour les campagnes côtières, combinant sondes verticaux et sonar multifaisceaux latéral.

3.2.1.1 Les sondes larges bandes

L'échosondage sera réalisé par trois transducteurs split-beam larges bandes CHIRP (Compressed High Intensity Radar Pulse, signifiant Signal Radar Compressé de Haute Intensité) dont les fréquences porteuses sont respectivement 70 kHz, 120 kHz et 200 kHz. Il est en effet nécessaire de monter dans la gamme de fréquence par rapport à PELGAS-PELMED car les basses fréquences comme le 38 kHz ne sont pas adaptées aux petits fonds (Champagnat et al. 2017⁶). Les trois transducteurs montés sur un Tube (Brehmer et al. 2003

⁹ Weber TC, Pena H et Jech JM. Consecutive acoustic observations of an Atlantic herring school in the Northwest Atlantic. – ICES Journal of Marine Science, 2009, 66: 1270–1277.

¹⁰⁾ seront reliés à un même WPT puis au sondeur SIMRAD EK 80 . Ainsi, l'écho d'une cible pourra être analysé de manière continue sur une très large bande de fréquence comprise entre 45 kHz et 300 kHz. Cette analyse en fréquence pourra contribuer à l'identification taxinomique des cibles (Figure 3).

Par exemple, Fassler et al. (2015 ¹¹⁾ ont développé un algorithme de classification permettant de discriminer les harengs, les maquereaux et les chinchards rien qu'à partir des données de sondeurs larges bandes 70, 120 et 200 kHz (Figure 4).

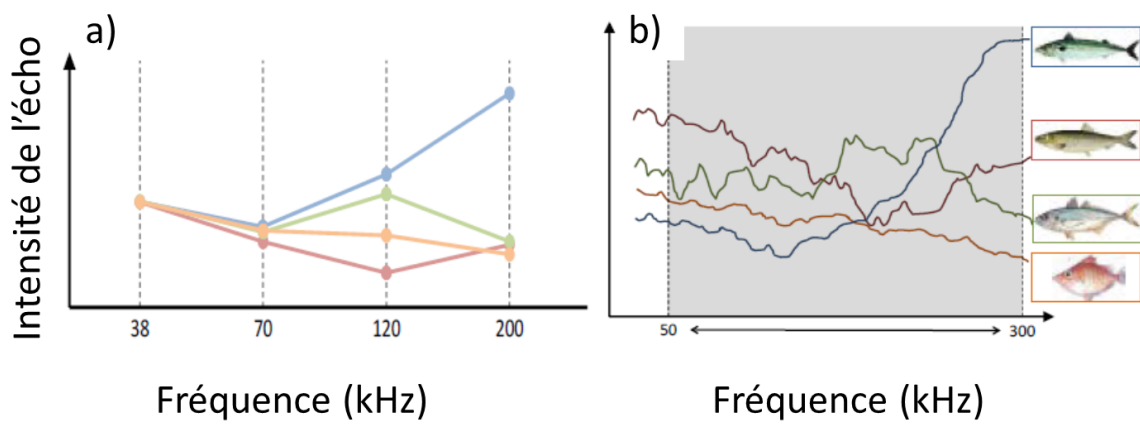


Figure 4 : Schéma de principe des réponses fréquence-spécifiques de différentes espèces échantillonnées par a) des sondeurs multi-fréquences (réponses ponctuelles), et b) des sondeurs larges bandes CHIRP (réponses continues). La réponse en fréquence continue des sondeurs larges bandes offre de bien meilleures capacités d'identification taxinomique. Figure modifiée de Fassler S. et al. 2015 ¹¹⁾.

Une routine statistique comparable à celle de Fassler et al (2015 ¹¹⁾) sera mise au point pour les espèces fréquentant les milieux pélagiques côtiers. Pour cela, les pêches sur détection seront nécessaires pour apporter les « vérités terrain » nécessaires à l'apprentissage des algorithmes. Une fois les algorithmes calibrés, les pêches sur détection ne seront plus systématiques mais qu'occasionnelles, pour collecter les échantillons biologiques et pour vérifier régulièrement la véracité des algorithmes de classification.

Il est toutefois anticipé que ces algorithmes ne pourront pas discriminer certaines espèces ayant des réponses en fréquences trop proches. Il sera pour celles-ci toujours nécessaire d'effectuer des pêches sur détection.

¹⁰⁾ Brehmer P, François G, Guillard J, Sanguinède F, Guénnegan Y et Buestel D. New applications of hydroacoustic methods for monitoring shallow water aquatic ecosystems: the case of mussel culture grounds. *Aquatic Living Resources*, 2003, 16(3), 333-338

¹¹⁾ Fassler S, Scoulding B, Burggraaf D, Haan D, Quesson B, Sande J, Beerens P. VIP report "use of new broadband echosounder" : techniques for improved ocean imaging and selectivity in pelagic fisheries. 2015



Une fois les individus déterminés à l'espèce (par analyse en fréquence, pêche sur détection et/ou analyse de la structure du banc au sonar, voir section suivante), les données issues des sondeurs permettront d'estimer les abondances, biomasses et spectre de taille par espèces, de tous les individus étant passés dans le volume très étroit directement à la verticale sous le bateau, délimité par la largeur de fauchée (pour le transducteur faisceau conique 18° : 3 m de large à 10 m de profondeur, 12,5 m de large à 40 m de profondeur).

Les sondeurs verticaux apporteront donc des données très précises, mais leur faible couverture spatiale nécessite de compléter le dispositif d'échosondage par un sonar multifaisceaux.

3.2.1.2 Le sonar multifaisceaux

Le dispositif d'échosondage comprendra un sonar multifaisceaux 500kHz (SIMRAD M3, portée environ 150m, angle 120°) qui sera orienté dans un plan vertical, normal à la route du navire (Figure 3).

Les données de sonar sont moins précises pour la reconnaissance spécifique des cibles que celles des sondeurs (Simmonds and Mac Lennan, 2005¹², voir page suivante et [section 3.3](#)). Néanmoins elles couvrent un très grand volume d'échantillonnage (angle de 120°) c'est pourquoi elles permettront de :

1. Compléter l'évaluation des bancs de poissons pélagiques faite aux sondeurs verticaux.

En effet, pour les bancs dont la taille dépasse la largeur de fauchée des sondeurs, le sonar permettra d'évaluer le volume totale et la densité du banc qui seront ensuite utilisés pour extrapoler la composition totale du banc (abondance, biomasse, spectre de taille) à partir des estimations faites sur une partie du banc au sondeur (Gerlotto et al. 1999, Weber et al 2009, Guillard 2010¹³) (Figure 3b). A noter que la structure des bancs observée au sonar peut également contribuer à déterminer l'espèce composant le banc (Paramo et al. 2007¹⁴, Guillard 2011¹⁵) et ainsi réduire la fréquence des pêches sur détection.

¹² Simmonds J et MacLennan D. Fisheries Acoustics: Theory and Practice, 2nd Edition. Livre. ISBN: 978-0-632-05994-2. 456 pages. January 2006, Wiley

¹³ Guillard J, Balay P, Colon M, Brehmer P. Survey boat effect on YOY fish schools in a pre-alpine lake: evidence from multibeam sonar and split-beam echosounder data. Ecol Freshw Fish. 2010;19(3):373-80.

¹⁴ Paramo J, Bertrand S, Villalobos H, Gerlotto F. A three-dimensional approach to school typology using vertical scanning multibeam sonar. Fisheries Research. 2007;84(2):171-9.

¹⁵ Guillard J, Fernandes P, Laloë T et Brehmer P. Three-dimensional internal spatial structure of young-of-the-year pelagic freshwater fish provides evidence for the identification of fish school species. Limnology and Oceanography Method, 2011;9, 322-328.

2. Échantillonner les espèces moins courantes (e.g. abondances moindres).

Le sonar en échantillonnant un très grand volume d'eau permet d'évaluer la présence de telles espèces (souvent isolées ou en petits groupes) (Melvin 2016 ¹⁶) pour lesquelles le volume échantillonné par les sondeurs verticaux est insuffisant pour garantir des probabilités d'occurrence suffisantes.

3. Échantillonner les individus fréquentant les premiers mètres sous la surface

Indépendamment de la bathymétrie, il est courant que les poissons situés à quelques mètres de profondeurs devant le navire entament une manœuvre d'évitement latéral (Brehmer, et al. 2000 ¹⁷) et sortent ainsi de la largeur de fauchée des sondeurs verticaux (1,5 m de large à 5 m de profondeur). Le sonar orienté en latéral permet de quantifier l'abondance de ces poissons (semi-quantitativement par types d'échotraces). De plus, pour les zones à très faibles bathymétries (non navigables), le sonar est le seul moyen d'échantillonner les poissons présents (Figure 5).

Il est important de souligner que pour les points 2 et 3 ci-dessus - où seules des données de sonar seront utilisés et pour lesquelles il n'y aura pas de pêche sur détection - les données sonar ne permettront d'estimer que semi-quantitativement les abondances par grands types d'échotraces auxquels seront mis en correspondance des listes d'espèces potentielles (e.g. Brehmer et al. 2006 ¹⁸, et voir [section 3.3](#)).

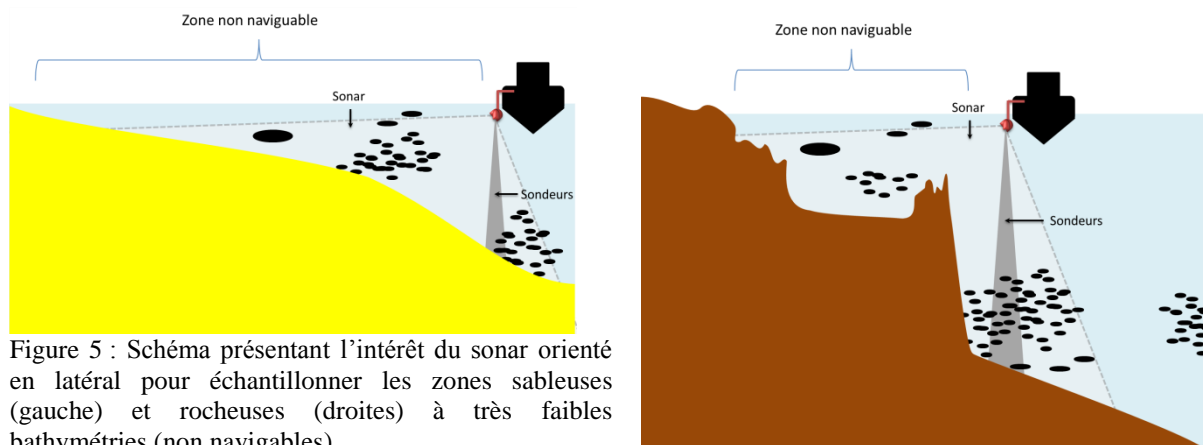


Figure 5 : Schéma présentant l'intérêt du sonar orienté en latéral pour échantillonner les zones sableuses (gauche) et rocheuses (droites) à très faibles bathymétries (non navigables)

¹⁶ Melvin GD. Observations of in situ Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) with 500-kHz multibeam sonar. *Ices Journal of Marine Science*. 2016;73(8):1975-86.

¹⁷ Brehmer P, Gerlotto F et SAMB, B. Measuring fish avoidance during acoustics surveys. Annual Science Conference ICES CM, 2000

¹⁸ Brehmer P, Mouillot D et Chi TD. Amphidromous fish school diel flow in two Mediterranean lagoons by combining sonar and fishing data. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2006;334(1), 139-150.

3.2.2 Détails concernant les pêches sur détection

Le chalutage des PC pélagiques est possible/efficace dans les zones couvertes par PELGAS-PELMED car la bathymétrie est importante (> 20 m) et leurs fonds sont essentiellement composés de substrat meuble. Cela permet à PELGAS-PELMED de coupler à l'échosondage un protocole de chalutage sur détection permettant de confirmer l'identification de la majorité des espèces cibles (petits pélagiques grégaires) quantifiées aux échosondeurs.

En milieux côtiers, pêcher des espèces pélagiques est plus contraignant car (1) les faibles bathymétries contraignent à réduire la dimension des chaluts ce qui limite leur efficacité, (2) l'efficacité est d'autant plus diminuée pour les (nombreux) poissons ayant tendances à éviter latéralement le navire et donc le chalut, et (3) à l'échelle métropolitaine, de nombreuses zones côtières ont leurs fonds constituées d'une matrice mixant substrats meubles et substrats rocheux ce qui rend dans ces zones impossible l'utilisation efficace de chaluts, même pélagiques (ils doivent raser le fond pour être efficaces).

Nous allons donc mettre au point différentes méthodes (et engins) de pêche sur détection adaptées aux différentes zones côtières. Toutefois, certaines espèces seront difficilement capturables sur détection, quelle que soit la méthode, notamment les espèces méso-pélagiques des fonds en partie ou complètement rocheux (Tableau 3).

Tableau 3 : Engins de pêches utilisés pour les pêches sur détection dans les zones côtières, en fonction de la bathymétrie et de la nature du substrat.

	5 m < Bathymétrie < 15 m	15 m < Bathymétrie < 40 m
Substrat 100% meuble	<ul style="list-style-type: none"> • Chalut à lançon • Bolinche* 	<ul style="list-style-type: none"> • Chalut méso-pélagique • Bolinche* (efficace pour les poissons épi-pélagiques)
Substrat en partie ou complètement rocheux	<ul style="list-style-type: none"> • Bolinche* 	<ul style="list-style-type: none"> • Bolinche* (efficace pour les poissons épi-pélagiques)

* La bolinche est une petite senne tournante opérée par un petit navire (Figure 5)

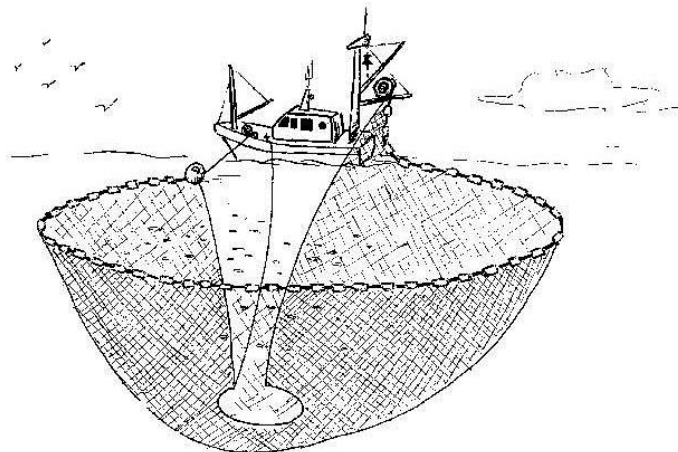


Figure 5 : Dessin illustrant la technique de pêche utilisée par les bolincheurs
© A. Bonneron / Agence des aires marines protégées

3.3 Synthèse : les potentiels du protocole pour l'échantillonnage des poissons et céphalopodes

La précision des données estimées par le protocole dépendra des caractéristiques de chaque espèce fréquentant les milieux pélagiques côtiers, en fonction de sa réponse en fréquence (sondeurs verticaux), de son éventuelle structure de bancs (sondeurs verticaux et sonar), de sa capturabilité sur détection et de sa distribution spatiale (occurrente ou non, distribuée dans les premiers mètres de profondeur ou non). Cela est synthétisé dans le tableau 6 ci-dessous.

Tableau 6 : Nature des données collectées en fonction des caractéristiques des espèces influençant l'utilisation des différents outils de collecte de données.

	Détermination de l'espèce	Données estimées
Espèces occurrentes (observables aux sondeurs verticaux)	Possible à partir de l'échotrace, donc pêche sur détection occasionnelle	Abondances, biomasses et spectre de taille par espèces (via sondeurs et éventuellement complété par sonar pour gros bancs)
	Impossible à partir de l'échotrace, donc pêche sur détection systématique (si possible)	
	Impossible à partir de l'échotrace, mais également impossible à pêcher sur détection	Abondances par types d'échotrases (via sondeurs)
Espèces peu occurrentes et/ou situées dans les premiers mètres (non- observables aux sondeurs verticaux)	Impossible à partir de l'échotrace. La pêche sur détection n'est pas envisagée.	Echelle semi-quantitative d'abondance par types d'échotrases (via sonar)



Concernant les évaluations quantitatives ou semi-quantitatives par types d'échotraces

Chaque type d'échotrace correspondra à une liste d'espèces potentielles en liens avec les catégories d'espèces présentées en section 2.3 (et Annexe 1). Par exemple l'écho-type « grosses cible isolée ou en petit groupe » regroupera potentiellement les grands benthopélagiques (lieux, bars, mugilidae adultes, etc) et les grands pélagiques (thons, bonites adultes, etc.). Même si ces différentes espèces au sein de l'écho-type seront indifférenciables, l'abondance à l'échelle de l'échotype sera néanmoins une métrique de surveillance pertinente. Elle permettra par exemple d'identifier des zones côtières particulières concentrant de fortes biomasses (*i.e.* fréquences/abondances importantes de grosses cibles), ce qui peut contribuer à l'identification de zones à enjeux, dont certaines zones fonctionnelles halieutiques (*e.g.* frayères potentiellement identifiables grâce à leur dynamique spatio-temporelle particulière), ce qui figure parmi les objectifs de la surveillance DCSMM (voir section 2.1.).

3.4 Les potentiels du protocole pour l'estimation d'autres données environnementales (et liens avec les autres descripteurs)

3.4.1 Les covariables d'habitats pour les poissons

Les outils d'échosondage permettront également de caractériser l'environnement où les poissons seront échantillonnés, aux niveaux de la bathymétrie, de la nature du substrat et de la biocénose benthique, et même au niveau des abondances de micro-necton et de macrozooplancton.

Ces données, en tant que potentiels facteurs déterminants la distribution des poissons, seront exploitées en tant que covariables dans les méthodes d'analyse géostatistiques des données (modèles explicatifs de la distribution spatiale des poissons) afin d'expliquer une part de la variabilité spatiale des poissons en vue de réduire la variabilité résiduelle et augmenter la puissance statistique des tests d'inférences quant aux éventuelles effets des pressions (voir Thiriet et Feunteun 2016⁴).

3.4.2 Les liens potentiels avec les autres descripteurs

Concernant les données d'abondances de micro-necton et de macrozooplancton, elles pourront être estimées principalement grâce au transducteur large bande 200 kHz (fréquence porteuse). Toutefois, les estimations ne seront qu'approximatives car pour ces cibles de très petite taille, une fréquence porteuse de 333 kHz est plus adaptée (Andersen et al. 2013¹⁹). Dans la perspective de mutualiser les campagnes de surveillance poissons-céphalopodes pélagiques côtiers et les campagnes de surveillance habitat pélagique (Descripteur 1 HP), il apparaît donc intéressant d'envisager l'équipement d'un quatrième transducteur large bande

¹⁹ Andersen LN, Ona E, Macaulay G, editors. Measuring fish and zooplankton with a broadband split beam echo sounder. 2013 MTS/IEEE OCEANS - Bergen; 2013 10-14 June 2013.



d'une fréquence porteuse de 333 kHz, couplé à des traits de filet à plancton. Ce projet de mutualisation de campagnes sera affiné ultérieurement notamment avec le pilote D1 Habitat Pélagique, qui a déjà confirmé le grand intérêt d'une telle approche.

De plus, lors des pêches sur détection (pour l'identification/confirmation des espèces observées en échosondage), certains individus seront conservés pour mensuration et prélèvements d'échantillons biologiques (en liens avec D4 et D8-D9, protocoles à élaborer en concertation avec les pilotes de ces descripteurs, non précisé ici).

4 La stratégie d'échantillonnage pour les campagnes tests

La première année portera sur la mise au point des protocoles d'échantillonnages puis sur l'évaluation de l'effort d'échantillonnage optimum d'une zone (relativement à sa surface), en vue d'établir la stratégie d'échantillonnage pour la seconde année.

La seconde année portera sur la mise au point de la stratégie d'échantillonnage de la surveillance nationale et initiera le développement des indicateurs écologiques.

4.1 Mise au point des protocoles : 1^{ère} année

Les tests seront effectués dans le Golfe de Saint Malo, avec les moyens humains et de mise à la mer de la Station Marine de Dinard, c'est à dire le chalutier « Louis Fage », son pilote et son matelot.

La mise au point des protocoles se fera en deux étapes :

- Acquérir, installer et calibrer le matériel d'échosondage (février-mars 2017, 5 jours bateau)
- Mettre au point les protocoles de pêches sur détection et mener les premières analyses de données afin d'allouer les espèces aux echotracés (mars-avril 2017, 15 jours bateau : 4 jours par engins plus 3 jours d'immobilisation pour désarmer/armer les différents engins de pêches).

Le protocole sera ensuite mis en œuvre lors de campagnes tests dans le Golfe de Saint Malo, avec pour objectifs :

- Valider le protocole
- Identifier les principales sources de variabilités spatio-temporelles et évaluer l'effort d'échantillonnage optimum, en vue d'établir la stratégie d'échantillonnage pour la seconde année.



Le dessin d'échantillonnage pour ces campagnes tests inclue donc :

- Pour évaluer la variabilité temporelle intra-saison et répondre à la question *un seul échantillonnage pour une saison est-il représentatif de la saison ?* : 2 périodes d'échantillonnage au sein de la saison mai (centrée sur PELGAS)
- Pour évaluer la variabilité spatiale et ses principaux facteurs : une zone d'échantillonnage (Figure 6) présentant des paysages benthiques et hydrologiques très complexes/hétérogènes (présence de caps, baies, estuaires, zones meubles et rocheuses, zones de nourriceries, zone de frayère, etc.), de multiples activités/pressions anthropiques (e.g. ports et mouillages, zones de clapage, émissaires, conchyliculture) et des mesures de gestions variées (cantonnement, Natura 2000, ZNIEFFs 1 et 2, ZPS, etc.).

Calcul de l'effort d'échantillonnage à déployer chaque période :

Pour évaluer l'effort d'échantillonnage optimum (en lien avec la variabilité spatio-temporelle), nous suivons la méthodologie de Godlewska et al (2009²⁰) (reprenant les travaux de Aglen 1989²¹) qui consiste à déployer un effort d'échantillonnage important (correspondant à un degré de couverture $\Delta = 10$) afin de pouvoir mener des analyses de puissances (en retirant progressivement une partie des données) et identifier l'effort optimum pour une zone d'étude d'une surface donnée.

D'après l'équation de Aglen (1989) :

$$D = \Delta * \sqrt{S}, \text{ où } D \text{ correspond à la longueur cumulée des radiales, } \Delta \text{ le degré de couverture souhaité et } S \text{ la surface de la zone à échantillonner}$$

L'effort réalisé à chacune des périodes consistera en environ 170 milles nautiques de radiales cumulées (pour $\Delta = 10$ et $S = 290 \text{ MN}^2$). Le plan détaillé de ces radiales sera établie dans les premiers mois du projet, suite à l'acquisition et l'exploitation d'un Système d'Information Géographique contenant les données environnementales nécessaires.

Considérant qu'il est possible d'effectuer 18 milles de radiales cumulées par jours (6h d'échosondage à 3 nœuds, pour un total de 8h à 10h en mer en considérant les pêches sur détections, les inter-radiales et l'aller-retour au port matin et soir), chaque période d'échantillonnage consistera en 10 jours en mer.

²⁰ Godlewska M, Długoszewski B, Doroszczyk L, Józwick A. The relationship between sampling intensity and sampling error—empirical results from acoustic surveys in Polish vendace lakes. Fisheries Research. 2009;96(1):17-22.

²¹ Aglen, A. Empirical results on precision-effort relationships for acoustic surveys. ICES CM 1989/B:30, 28 pp.

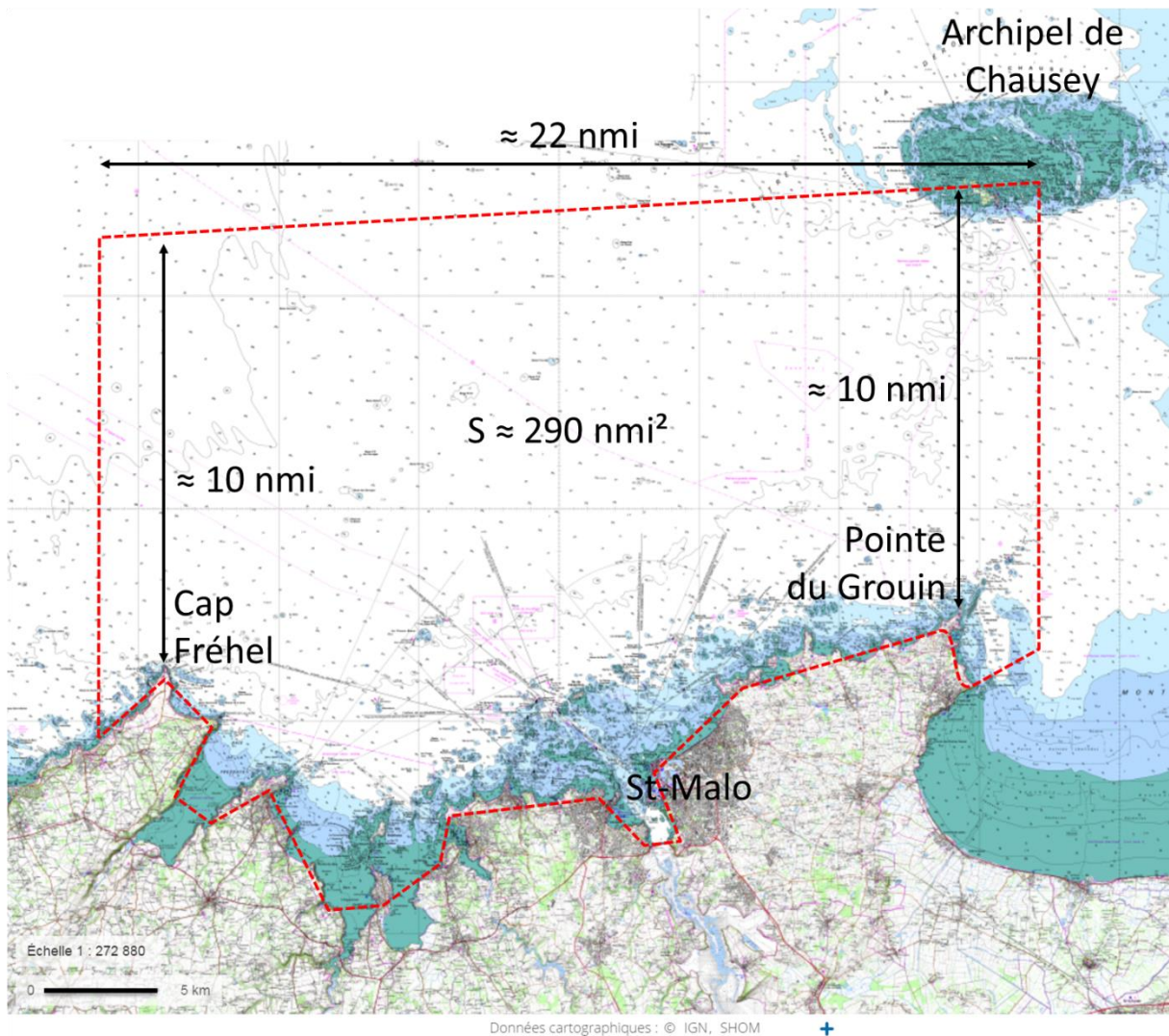


Figure 6 : Zone d'étude pour les campagnes tests de la première année

A l'issue de la première année de tests, nous pourrons établir la stratégie d'échantillonnage optimum d'une zone (nombre et espacement des radiales, nombre de périodes, éventuelles stratifications en fonctions des variables environnementales importantes, etc) ce qui permettra d'élaborer la stratégie d'échantillonnage de la seconde année.

4.2 Mise au point de la stratégie d'échantillonnage de la surveillance : 2nde année

La seconde année portera sur la mise au point de la stratégie d'échantillonnage de la surveillance nationale (à ne pas confondre avec la stratégie d'échantillonnage d'une zone, élaborée en première année) et initiera le développement des indicateurs écologiques. Pour cela les protocoles d'échantillonnages seront mis en œuvre dans les quatre sous-régions



marines par les agents MNHN (Station marine de Dinard et UMS) emmergeant sur le présent projet (voir section 5) et avec la contribution de divers moyens logistiques et humains (via partenariats et/ou appels d'offres pour l'affrètement des navires, à définir). La stratégie d'échantillonnage de la seconde année consistera à stratifier l'échantillonnage dans des zones spécifiques distribuées le long de gradients environnementaux et de pressions, en vue de pouvoir initier le développement des indicateurs.

Puisque la stratégie d'échantillonnage d'une zone ne sera élaborée qu'à l'issue de la première année, nous ne pouvons pour le moment établir la stratégie de la seconde année. Cependant, il est d'ores et déjà établi que nous suivrons les grandes lignes énoncées ci-dessous.

L'échantillonnage de chacune des deux façades (Atlantique-Manche-Mer-du-Nord et Méditerranée) ne dépassera pas un mois et demi calendrier afin de minimiser les effets de la variabilité saisonnière au sein de la période. La période d'échantillonnage de chaque façade sera centrée autour de la période d'échantillonnage du plateau (PELGAS-PELMED) : mai pour la façade Atlantique-Manche-Mer-du-Nord (*a priori* 30 jours bateau), juillet pour la façade méditerranée (*a priori* 15 jours bateau).

Concernant le plan spatial d'échantillonnage, quel que soit l'effort d'échantillonnage optimum qui aura été évalué à l'échelle de la zone durant la première année, il est évident qu'en un mois à un mois et demi (une période pour une façade), il ne sera pas possible de couvrir l'ensemble de la façade, c'est-à-dire faire des radiales équidistantes tout le long de la façade. En effet, cela conduirait à faire des inter-radiales trop grandes, ce qui occasionnerait (1) une perte considérable de résolution et (2) une perte de temps durant les navigations inter-radiales.

La stratégie consistera donc à sous-échantillonner chaque façade, en définissant un certain nombre de zones au sein de chaque façade (*a priori* moins d'une douzaine au total), qui ne seront pas des subdivisions contiguës de la façade, mais bien des zones plus restreintes dont l'ensemble ne couvrira pas toute la façade.

Le nombre, la surface et la localisation des zones au sein de chaque façade seront définis ultérieurement, en assurant pour chaque zone l'effort d'échantillonnage optimum et en cherchant le compromis entre :

- Un nombre de zone suffisamment conséquent pour couvrir de façon représentative l'hétérogénéité à large échelle des conditions environnementales de la façade
- Un nombre de zone suffisamment restreint pour assurer dans chaque zone l'effort d'échantillonnage optimum (en lien avec la surface de chaque zone).
- Une surface (moyenne) de zone pertinente au regard des gradients environnementaux à couvrir (Cf point suivant)



- Une sélection de zones présentant des gradients environnementaux forts (e.g. panache de fleuve, front, pente du plateau importante vs faible, fonds de sable vs roche, pressions anthropiques), afin de pouvoir évaluer la réponse des poissons pélagique à ces gradients et commencer à développer les indicateurs du bon état écologique.

Tout ceci sera défini suite à la première année qui aura permis d'évaluer l'effort d'échantillonnage optimum par zone (relatif à sa surface). Nous retiendrons qu'il faut prévoir *a priori* un total de 45 jours bateau pour échantillonner les deux façades, ce qui permet déjà de faire une première évaluation des coûts (Section 7).

Remarque concernant la couverture temporelle de l'année 2 :

La période d'échantillonnage de chaque façade sera centrée autour de la période d'échantillonnage du plateau (PELGAS-PELMED). La perspective est de recomposer une image globale et continue des PC pélagiques des milieux côtiers et du plateau. Cependant cette image ne sera représentative seulement de la saison d'échantillonnage (mai pour PELGAS ; juillet pour PELMED) qui est optimisée pour les petits pélagiques grégaires. *A contrario* la saison n'est pas optimum pour d'autres types d'espèces qui sont bien plus abondantes dans les milieux pélagiques côtiers en automne (notamment les bars, lieux, denti et autres benthopélagiques piscivores à forte valeur commerciales). Pour des raisons de budget, le présent projet n'inclue pas d'échantillonnage en automne. Nous préconisons toutefois que la stratégie de surveillance côtière à long terme (à partir de 2020) inclue une saison automnale en plus de la saison couplée à PELGAS-PELMED, afin de surveiller au mieux les différents types d'espèces fréquentant les milieux pélagiques côtiers.

Remarque concernant la couverture temporelle de l'année 2 :

Comme détaillé ci-dessus, le nombre et la surface des zones devront correspondre à une répartition optimum de l'effort d'échantillonnage d'une équipe et d'un jeu d'équipement pour une durée totale d'un mois et demi calendrier maximum. Il est possible que cet effort soit insuffisant pour la stratégie de surveillance côtière à long terme (à partir de 2020). Cela sera évalué par l'analyse des données de la seconde année. Si l'effort s'avère effectivement insuffisant, il faudra envisager pour la surveillance à long terme d'investir dans plusieurs jeux d'équipement complet (notamment sondeurs et sonar) et de recruter/sous-traiter avec des agents (qu'il faudra préalablement former). Ceci n'est pas envisagé dans le cadre du projet, car la stratégie employée ne vise pas à refléter la stratégie de surveillance à long terme, elle vise à collecter, avec un budget raisonnable, des données pour élaborer cette stratégie à long terme et préfigurer des indicateurs.



A l'issue de la seconde année, l'analyse des données collectées permettront de :

- Tester la compatibilité et la complémentarité des données d'échosondage collectées par les campagnes côtières (SP4) et les campagnes plateau (SP5, PELGAS-PELMED) dans les zones de chevauchement (bathymétrie comprise entre 20 et 40 m).
- Débuter le développement d'indicateurs pouvant renseigner les critères du BEE, grâce aux analyses (géo-) statistiques des effets des gradients environnementaux et de pressions sur les populations et peuplements de poissons (voir Thiriet et Feunteun 2016⁴). Toutefois, les indicateurs et la stratégie d'échantillonnage évolueront au cours des prochaines années, au fur et à mesure que les connaissances sur le système (notamment sa variabilité spatio-temporelle naturelle) augmenteront en lien avec l'acquisition de données standardisées (*i.e.* la mise en œuvre du PdS). C'est pourquoi les premiers indicateurs ne seront véritablement opérationnels (*i.e.* pleinement interprétables grâce à des seuils) qu'à partir de 2023, pour l'évaluation du 3^{ème} cycle.
- Etablir la stratégie d'échantillonnage nationale en considérant les points ci-dessus.
- Rédiger le cahier des charges fonctionnelles de la surveillance, en vue sa mise en œuvre effective dès 2020.



5 Principaux investigateurs et collaborateurs

En vue de mettre en œuvre la surveillance opérationnelle en 2020, l'objectif final du présent projet est de rédiger le cahier des charges fonctionnelles de la surveillance des PC pélagiques côtiers d'ici fin 2019. Un important travail sur une durée très courte est nécessaire, tant aux niveaux campagnes terrains et analyses des données qu'aux niveaux coordination/transversalité intra- et inter-descripteurs. Cela ne pourra être réalisé qu'au travers les recrutements en CDD sur la totalité du projet (24 mois, de janvier 2018 à décembre 2019) de (1) un ingénieur de recherche spécialisé en échosondage et ayant une expérience avérée en bio(géo)statistiques et modélisation et (2) un assistant ingénieur expérimenté en derushage des données d'échosondage, techniques de pêches et préparation logistique des campagnes.

Ces deux agents seront affectés au MNHN - Station Marine de Dinard où est basée l'équipe de copilotage MNHN de la thématique DCSMM poissons et céphalopodes, composée d'Eric FEUNTEUN (MNHN-Station Dinard, copilote, porteur du présent projet) et Anthony ACOU et Pierre THIRIET (MNHN-UMS PATRINAT, cellule DCSMM Dinard, assistants au co-pilotage). Laurent GUERIN (MNHN-UMS PATRINAT, cellule DCSMM Dinard) est également impliqué dans le projet en tant que pilote transversal D1.

Les deux agents recrutés auront la charge d'assurer les travaux de développements des méthodes d'échantillonnages et des méthodes d'analyses. L'équipe de copilotage MNHN supervisera et participera à ces travaux et assurera la coordination du projet, les échanges collaboratifs avec les experts et les pilotes des autres descripteurs, les éventuels établissements de partenariats pour les campagnes de la seconde année, et la rédaction du cahier des charges fonctionnelles de la surveillance des PC pélagiques côtiers.

Le développement des méthodes d'échantillonnages et des méthodes d'analyses des données collectées sera fait en collaboration avec des membres de l'IRD - UMR LEMAR : Patrice BREHMER, un ingénieur de recherche et un assistant ingénieur. Ils ont déjà donné leur accord de principe pour cette collaboration, qui deviendra effective dès la signature d'une convention de partenariat scientifique entre l'IRD et le MNHN à prévoir au démarrage du projet.

6 Résumé des principales étapes et échéances du projet

Le projet de développement méthodologique se compose des étapes et échéances suivantes :

Etape	Echéance
Développement des protocoles	Déjà réalisé afin de budgétiser le projet
Mise au point des protocoles, et plan d'échantillonnage année 1 :	
<ul style="list-style-type: none"> - Réunion pilotage projet n°1 - Positionnement des radiales pour les campagnes <i>via</i> SIG - Acquisition, installation et calibration des équipements d'échosondage - Mise au point des protocoles de pêches sur détection - Premières analyses de données afin d'allouer les espèces aux echotracés 	Janvier-avril 2018
Campagne année 1 :	Mai 2018
<ul style="list-style-type: none"> - Deux fois 10 jours d'échantillonnage en mai 	
Post-traitement des données de l'année 1	
<ul style="list-style-type: none"> - Réunion pilotage projet n°2 - Derushage des données d'échosondage - Développement indicateurs (début) - Optimisation de la stratégie d'échantillonnage pour une zone - Développement de scripts semi-automatisés (début) 	juin 2018 – avril 2019
Préparation campagne année 2 :	
<ul style="list-style-type: none"> - Réunion pilotage projet n°3 - Stratégie d'échantillonnage année 2 - Etablissement de partenariats et/ou appels d'offre pour les moyens à la mer - Positionnement des radiales pour les campagnes <i>via</i> SIG - Préparation logistique des campagnes 	janvier 2019 – juin 2019
Campagne année 2 :	
<ul style="list-style-type: none"> - Façade Atlantique-Manche-Mer du Nord : <i>a priori</i> 30 jours autour de mai - Façade Méditerranée : <i>a priori</i> 15 jours en juillet 	avril - juillet 2019
Post-traitement des données de l'année 2	
<ul style="list-style-type: none"> - Réunion pilotage projet n°4 - Développement de scripts semi-automatisés (fin) - Derushage des données d'échosondage - Développement indicateurs (fin) - Développement stratégie de la surveillance nationale à long terme 	juillet – décembre 2019
Rédaction du cahier des charges fonctionnelles de la surveillance	
<ul style="list-style-type: none"> - Réunions concertations avec acteurs locaux (par SRM) et nationaux de la surveillance (coordination PdS PC) - Rédaction 	novembre - décembre 2019

7 Budget prévisionnel

Le budget prévisionnel est synthétisé dans le tableau ci-dessous et est détaillé dans une feuille Excel jointe au présent document. Le coût total du projet s'élève à 893 634 euros. Le coût à financer s'élève à 610 242 euros (soit 68 % du total) : 344 551 euros à financer en 2018 et 265 691 euros à financer en 2019. Le coût autofinancé par le MNHN – Station marine de Dinard s'élève à 149 624 euros (soit 17 % du total). Le coût autofinancé par le MNHN – UMS Patrinat (salaires financés *via* convention DEB) s'élève à 64 712 euros (soit 7 % du total). Le coût autofinancé par l'IRD s'élève à 69 055 euros (soit 8 % du total).

	Total			Demande financement			Autofinancement MNHN-Dinard			Autofinancement MNHN-UMS Patrinat			Autofinancement IRD **			% du grand total
	Total	2018	2019	Total	2018	2019	Total	2018	2019	Total	2018	2019	Total	2018	2019	
Salaires	329 032	162 746	166 286	155 940	76 200	79 740	54 624	27 312	27 312	64 712	32 356	32 356	53 755	26 878	26 878	37 %
Investissement	232 663	231 663	1 000	202 363	201 363	1 000	15 000	15 000	-	-	-	-	15 300	15 300	-	26 %
Fonctionnement	290 648	126 608	164 040	210 648	46 608	164 040	80 000	80 000	-	-	-	-	-	-	-	33 %
Dépenses indirectes*	41 291	20 380	20 911	41 291	20 380	20 911	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5 %
Coût total du projet	893 634	541 397	352 237	610 242	344 551	265 691	149 624	122 312	27 312	64 712	32 356	32 356	69 055	42 178	26 878	
% du grand total		61 %	39 %	68 %	39 %	30 %	17 %	14 %	3 %	7 %	4 %	4 %	8 %	5 %	3 %	

* Dépenses indirectes : 15% des dépenses directes de personnel liées à l'opération (hors IRD)

** Accord de principe entre le MNHN et l'IRD. A concrétiser par la signature d'une convention de partenariat scientifique entre l'IRD et le MNHN dès le démarrage du projet.

Annexe 1 : Liste non-exhaustive des espèces fréquentant les milieux pélagiques côtiers

Les espèces peuvent être distinguées par grandes catégories (interagissant avec l'efficacité des protocoles) :

- 1 : petits pélagiques grégaires, planctonivores
- 2 : grands pélagiques grégaires, macrocarnivores
- 3 : autres pélagiques isolés ou en petits groupes
- 4 : petits benthopélagiques, planctonivores
- 5 : grands benthopélagiques, omnivores/macrocarivores (5a) ou piscivores (5b)

Pour les espèces benthopélagiques, il est précisé si elles fréquentent préférentiellement les milieux pélagique des zones dont les fonds sont meubles et/ou rocheux et/ou herbiers.

Nom scientifique	Nom vernaculaire	Catégorie				
			Atlantique NE	Méditerranée	Fonds meubles	Récifs rocheux et/ou herbiers
<i>Atherina</i> spp	Atherines	1	X	X		
<i>Boops boops</i>	Bogue			X		
<i>Clupea harengus</i>	Hareng		X			
<i>Engraulis encrasicolus</i>	Anchois		X	X		
<i>Sardina pilchardus</i>	Sardine		X	X		
<i>Scomber</i> spp	Maqueraux		X	X		
<i>Sprattus sprattus</i>	Sprat		X			
<i>Trachurus</i> spp	Chinchards		X	X		
<i>Scombridae</i>	Thons		X	X		
<i>Scombridae</i>	Bonites		X	X		
<i>Belone belone</i>	Orphie	3	X	X		
<i>Centrolophus niger</i>	Centrolophe noir (juvénile)		X	X		
<i>Mola mola</i>	Poisson lune			X		
<i>Schedophilus ovalis</i>	Rouffe impérial (juvénile)	4		X		
<i>Anthias anthias</i>	Anthias			X		X
<i>Ammodytidae</i>	Lançons		X	X	X	
<i>Chromis chromis</i>	Castagnole			X		X
<i>Oblada melanura</i>	Oblade	5a		X		X
<i>Spicara</i> spp	Mendole			X		X
<i>Mugilidae</i>	Mulets		X	X	X	X
<i>Pagellus</i> spp	Pageots		X	X	X	
<i>Spondyliosoma cantharus</i>	Dorade grise	5b	X	X	X	X
<i>Dentex dentex</i>	Denti			X		X
<i>Dicentrachus labrax</i>	Bar		X	X	X	X
<i>Lichia amia</i>	Liche			X		X
<i>Pollachius pollachius</i>	Lieu jaune		X			X
<i>Seriola dumerilii</i>	Sériole			X		X
<i>Sphyaena viridensis</i>	Baracuda			X		X



MUSÉUM
NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

Service
des
Stations
Marines
Dinard - Concarneau



Institut de Recherche
pour le Développement
FRANCE



Annexes 2 et 3 (pages suivantes)

Annexe 2 : Devis sondeurs

Annexe 3 : Devis sonar