

Proposition de campagne à la mer
Flotte Océanographique Française opérée par l'Ifremer

Appel à Projets scientifiques relatif aux navires côtiers et semi-hauturiers pour
l'année 2023

Nom de la campagne : PACTE pour "PAst to current land-sea Continuum socio-ecosystem Trajectories derived from a regional pilot site"

Nom des responsables des projets / programmes :

A. Penaud (UBO, UMR 6538 Géo-Océan): coordinatrice du projet PACTE déposé à l'AO Flagship ISblue le 14 janvier 2022 en phase 2 d'évaluation (jury final le mardi 15 février 2022)

Nom du chef de mission principal :

J. Goslin (Ifremer, UMR 6538 Géo-Océan): Chef de mission PACTE et responsable du WP2 "Geomorphological and landscape changes" au sein du projet Flagship ISblue PACTE.

Dossier scientifique

NB: La présente demande de campagne est réalisée en parallèle, et en support, au projet PACTE (PAst to current land-sea Continuum socio-ecosystem Trajectories derived from a regional pilot sitE, PI A. Penaud, UBO, UMR 6538 Géo-Océan), récemment soumis à l'AO Flagship (projets dits "Emblématiques") d'ISblue le 14 janvier 2022, ainsi qu'au projet de thèse RETROSED (Etude RETROspective des socio-écosystèmes côtiers à partir des SEDiments estuariens) déposé en ligne sur le serveur TEBL (Thèse En Bretagne Loire) le 10 janvier 2022 (financement: 100% ISblue si le projet Flagship PACTE est financé; ou demandes multiples faites via 50% ARED, 50% ISblue, 50% EDSML, 50% CD29 dans le cas où le Flagship ne serait pas financé, permettant de commencer les travaux de thèse avec d'autres recherches de soutien à la thèse sur la période 2022-2025). Dès lors, la demande de campagne est ici effectuée avant la confirmation du financement du projet porteur (réponse mi-février 2022) dont la durée a été planifiée sur 4 ans de mi-février 2022 à fin décembre 2025, ainsi que de la thèse qui serait financée 100% par le projet Flagship. Les mesures et échantillonnages demandés ici sont indispensables au bon déroulé du projet. Or, attendre l'acceptation de financement du projet Flagship PACTE par ISblue pour déposer la demande de campagne reviendrait à décaler la programmation des missions en 2024, soit 2 ans après le début du projet et 1 an seulement avant sa fin. En outre, en cas de non-financement du projet PACTE par ISblue, il est prévu que le projet soit redéposé en 2022 auprès d'autres guichets tels que l'ANR ou l'INSU et notamment via l'AO EC2CO. De même, la thèse pourrait être co-financée par le biais d'autres demi-allocations comme précisé ci-dessus pour un démarrage des travaux en octobre 2022. En conséquence, la réalisation des campagnes en mer ici détaillée dans le cadre de ce document est indispensable dès 2023. Quoi qu'il en soit, les résultats de la mission demandée seront de toute façon valorisés via des projets contigus au projet PACTE (tant au niveau thématique que des sites d'étude) et concernant les mêmes secteurs d'étude, tels que le projet DYHOBATE (Dynamiques historiques d'occupation des bassins-versants et Transferts terrigènes à l'Environnement côtier, Ifremer politique de site 2020-2022, P.I. J.Goslin Ifremer UMR 6538 Géo-Océan) et COMENRADE (Contamination, origine et transfert des éléments traces métalliques en fond de rade de Brest, Ifremer BE-LBCM et UBO-CNRS UMR 6539 LEMAR).

1. **Problématique générale**

Au cours du XXe et du XXIe siècles, les écosystèmes côtiers ont été soumis à une pression croissante due à la hausse massive des activités anthropiques sur les bassins versants et la

frange littorale. L'urbanisation et la mise en place de pratiques agricoles extensives ont bouleversé les paysages côtiers, fortement impacté le transit sédimentaire et causé un relargage important de perturbateurs environnementaux dans le milieu marin (engrais, produits phytosanitaires, polluants métalliques et organiques) (Tett et al., 2013). En Bretagne, l'eutrophisation des masses d'eau côtières a débuté suite à la mise en place du modèle régional d'agriculture intensive à la suite de la seconde guerre mondiale (remembrement, mise en place des élevages porcins intensifs) et au relargage de niveaux élevés de nutriments dans les cours d'eaux côtiers (Lemerrier et al., 2003). Dans un futur proche, en réponse aux effets du changement climatique, il est attendu que les phases d'eutrophisation massive des eaux côtières soient amenées à s'intensifier (IPCC, 2021) et induisent des dérèglements en cascade de la chaîne trophique, à commencer par les communautés planctoniques (Jonkers et al., 2019; Siano et al., 2021).

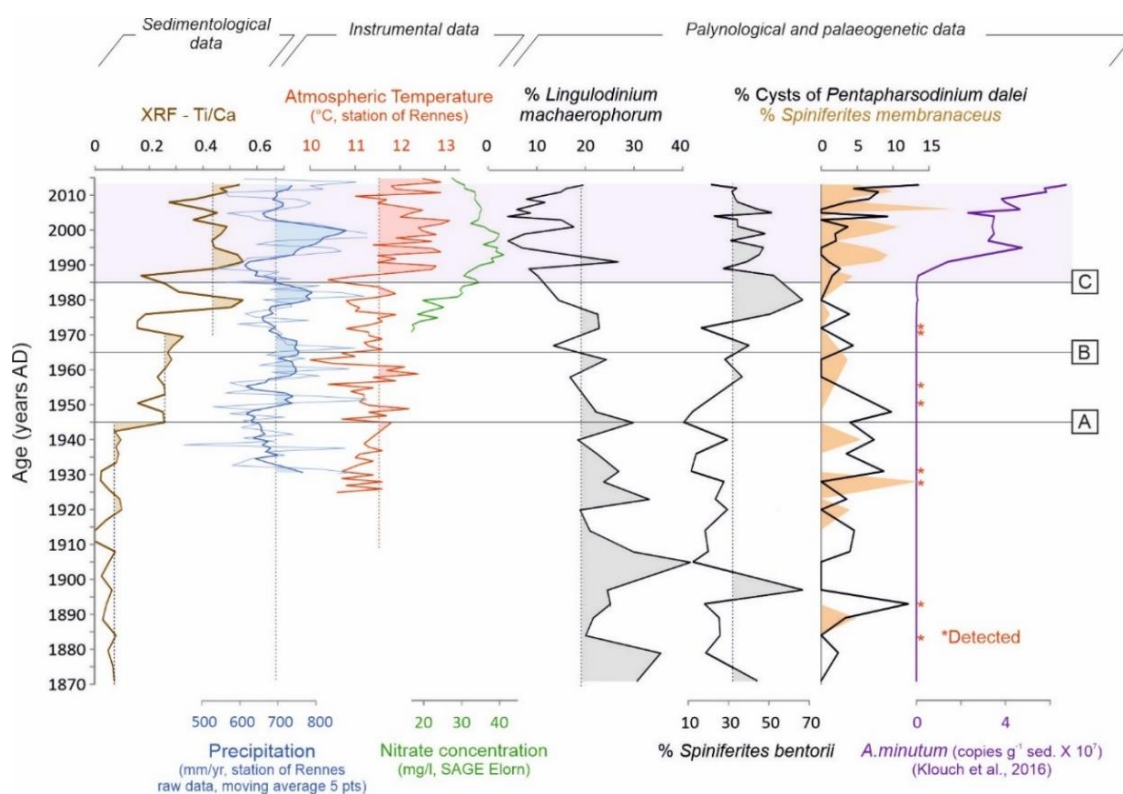


Figure 1: Figure extraite de l'article de synthèse sur l'outil dinokyste: Penaud et al. (2018) et réalisée à partir des résultats principaux de l'étude de Lambert et al. (2018). Cette figure permet de mettre en parallèle des données sédimentologiques (XRF-Ti/Ca) avec quelques taxons dinokystes (pourcentages de *L. machaerophorum*, *S. bentorii*, kystes de *P. dalei*, *S. membranaceus*) dont les seuils A-B-C permettent de représenter les seuils de rupture majeurs dans la chronologie des sédiments estuariens de la rivière de Daoulas (1945, 1965 et 1985). Des données moléculaires d'ADN sur sédiments anciens extraites des travaux de Klouch et al. (2016) permettent d'observer les fortes concentrations quantifiées à partir des années 90. Enfin, les données instrumentales (précipitation et température atmosphérique à la station météorologique de Guipavas, concentrations en nitrates dans l'Elorn) permettent d'établir des hypothèses sur les facteurs de forçage responsables des modifications trophiques observées et notamment les récurrences en efflorescences algales toxiques.

L'analyse de ces transformations et des effets qu'elles provoquent passe par l'analyse de la trajectoire des socio-écosystèmes (Ostrom et al., 2007; Degroot et al., 2021). Pour que cette analyse puisse être menée à bien, il est nécessaire que les forçages anthropiques et naturels puissent être décrits voire déconvolués. Les données instrumentales, de par leur trop courte durée de recul observationnel, nécessitent d'être complétées par la rétro-observation menée à partir des archives sédimentaires. En domaine côtier, les archives sédimentaires estuariennes permettent de reconstituer des transferts sédimentaires terre-mer, en quantité (flux ou concentrations en sédiments détritiques ou en bio-indicateurs fossiles...) et en qualité (niveaux en polluants, signatures biogéochimiques en carbone ou en silice biogène...). En rade de Brest, des travaux récents, menés par des membres du projet PACTE sur des archives sédimentaires prélevées dans l'estuaire de la rivière de Daoulas (sud-est de la rade de Brest), ont par exemple permis de reconstituer les modifications paléo-environnementales et paléoécologiques connues par le bassin versant de cette rivière depuis 1850, et ce avec une résolution temporelle d'étude inférieure à 10 ans (Klouch et al., 2016; Lambert et al., 2018; Siano et al., 2021; figure 1).

Les résultats synthétisés sur la figure 1 soulignent notamment les très fortes concentrations en dinoflagellés toxiques, et notamment la récurrence des blooms de l'espèce *Alexandrium minutum*, depuis les années 90 (Klouch et al., 2016), dans le contexte de la profonde transformation des paysages initiée depuis la fin de la seconde guerre mondiale (destruction du linéaire bocager, augmentation du ruissellement et des décharges fluviales) responsable d'une réduction des zones tampons permettant de filtrer les eaux continentales, qui soutiennent elles-mêmes des concentrations de plus en plus fortes en nutriments et autres polluants chimiques depuis les années 60-70 (pic en nitrates atteint durant les années 90, figure 1). Outre les publications scientifiques publiées, ce résultat majeur a fait l'objet de nombreux articles de vulgarisation (Sciences Ouest, le Télégramme, Ouest France, The Conversation) et de points flash tels que l'édito ci-dessous posté par l'IUEM à la demande du CNRS (figure 2).

Le projet PACTE, projet interdisciplinaire et multi-tutelles (UBO, UBS, Ifremer, CNRS), s'appuie sur le contexte brièvement décrit ci-dessus et sur cette preuve de concept au niveau de l'estuaire de Daoulas, pour reconstituer la trajectoire du socio-écosystème de la rade de Brest au niveau cette fois-ci des principaux fleuves tributaires de la rade de Brest que sont l'Aulne et l'Elorn, en réponse aux changements d'usage et d'occupation des sols ayant eu cours sur les bassins versants, et aux changements climatiques, au cours des deux derniers siècles à minima.



Figure 2: Tweet proposé par le service communication de l'INSU aux OSUs pour la journée du climat annuelle du 8 décembre 2020 (#JournéeClimat).

L'objectif général de PACTE est de modéliser les déséquilibres et trajectoires de rupture du socio-écosystème côtier de la rade de Brest (pris ici comme site pilote représentatif de baies côtières semi-fermées), en réponse à son exposition à un faisceau de modifications climatiques et de pressions anthropiques. Le principal objectif sera de reconstituer la première frise chrono-systémique d'évolution du socio-écosystème de la rade de Brest par le déploiement d'une stratégie d'étude intégrée et interdisciplinaire combinant (i) la rétro-observation sédimentologique, géochimique, paléo-écologique et paléo-génétique à partir des archives sédimentaires estuariennes, avec (ii) l'analyse des archives historiques d'usage et d'occupation des bassins versants (agriculture, activités industrielles), des activités maritimes (pêche, aquaculture) et des événements climatiques majeurs (tempêtes, températures extrêmes, crues), (iii) le monitoring instrumental des hydro-systèmes fluviaux et côtiers, et (iv) la modélisation numérique de la trajectoire physico-biogéochimique des estuaires au sein du continuum terre-mer (débit, température de l'eau, concentration, ratios et flux en nutriments, taux d'oxygénation, biomasse phytoplanctonique, etc.) à partir du couplage de modèles fluviaux (RIVERSTRAHLER) et estuariens/marins (C-GEM, ECO-MARS3D).

2. Objectifs des campagnes demandées

La présente demande de campagne vise à répondre aux besoins des volets "Rétro-observation sédimentaire" (WPs 2 et 3, respectivement coordonnées par J. Goslin/C. Lambert et R. Siano/J. Sutton) et "Modélisation terre-mer" (WP4, coordonné par M. Raimonet/Y-M Paulet) du projet Flagship PACTE. Ceci consiste en l'acquisition, d'une part, de données d'imagerie des estuaires et d'architecture des corps sédimentaires estuariens et, d'autre part, de prélèvements de carottes sédimentaires dans des sites préalablement identifiés. Plusieurs manques justifient le besoin de ces campagnes:

- En ce qui concerne le volet “rétro-observation à partir des archives sédimentaires”, l’obtention de carottes à l’embouchure des 2 estuaires est nécessaire à la conduite du projet. De telles carottes (i) viseront à prélever des enregistrements sédimentaires plus épais que ceux qui pourront être obtenus en amont à partir de moyens plus légers - et donc potentiellement à maximiser la résolution temporelle des reconstitutions qui pourront en être extraites, et (ii) permettront d’envisager la rétro-observation le long du continuum terre-mer. La multiplication des carottes le long d’un transect amont-aval des estuaires a, en outre, pour objectif de contourner l’effet de masque possiblement engendré par les déplacements du bouchon vaseux sur les séries temporelles (mélange des signaux, difficultés de datations des archives sédimentaires). Ainsi, l’obtention de données sismiques sur les corps sédimentaires estuariens de l’Aulne et de l’Elorn est au préalable nécessaire afin de guider les choix d’emplacement stratégiques des futurs carottages. Aujourd’hui, aucune donnée n’est disponible sur l’épaisseur et l’architecture des corps sédimentaires préservés au sein des estuaires, à l’exception de quelques carottages récemment réalisés très en amont du fleuve Aulne, et actuellement en cours d’analyse (projet DYHOBATE 2020-2022, Ifremer Politique de Site, P.I. J.Goslin).

- Pour ce qui est du volet “Modélisation”, l’obtention de données bathymétriques et sismiques est nécessaire afin de contraindre la morphologie des estuaires de l’Aulne et de l’Elorn pour paramétrer le modèle d’estuaire et ainsi pouvoir mener à bien la modélisation du continuum terre-mer. L’acquisition d’une bathymétrie fine des estuaires actuels est indispensable pour valider les sorties du modèle au regard des séries temporelles instrumentales qui seront issues du monitoring environnemental des deux estuaires. Actuellement, des données altimétriques sont disponibles pour les bassins versants, et les données bathymétriques sont disponibles pour la rade de Brest jusqu’aux embouchures des estuaires. Cependant, les données disponibles sur la zone de transition que constituent les estuaires sont négligeables. Des données Litto3D (modèle numérique de terrain, continuum terre-mer et de précision métrique, conçu et mis à disposition par le SHOM pour la frange littorale métropolitaine et ultramarine) sont certes disponibles pour les estuaires de l’Aulne et de l’Elorn, mais ces données n’imagent que les berges des deux fleuves - et non leur bathymétrie -, la pénétration du lidar aéroporté ayant été bloquée par la trop forte turbidité des eaux.

3. Stratégie d’étude et chronologie des travaux :

Comme exposé dans les sections précédentes, les objectifs du projet PACTE nécessitent l’obtention de deux types de données complémentaires :

1) L'acquisition de données de bathymétrie et d'épaisseur de la couverture sédimentaire sont des prérequis indispensables à la construction du modèle numérique de remplissage sédimentaire des estuaires. Ces données viseront à imager les structures encaissantes sous-jacentes aux dépôts sédimentaires (*bedrock*) et l'épaisseur et agencement des corps sédimentaires depuis les embouchures jusqu'au maximum possible de pénétration en amont dans chacun des estuaires. Compte-tenu des faibles profondeurs d'eau, du caractère exigü des deux estuaires étudiés, le V/O Haliotis sera l'outil idéal pour réaliser ces tâches.

2) Les données d'imagerie géophysique acquises par la V/O Haliotis permettront de décider de la position des carottages qui seront réalisés dans un second temps par le N/O Thalia à l'embouchure des 2 estuaires (dans les secteurs accessibles à la navigation pour ce navire).

Nous proposons de scinder la campagne en deux LEGS :

3.1 LEG 1 - V/O HALIOTIS :

- *Objectifs* : Le LEG1 consistera en une mission d'imagerie bathymétrique (sonar interférométrique) et sismique (sondeur à sédiment CHIRP) des estuaires de l'Aulne et de l'Elorn afin de disposer de données précises pour la construction du modèle de continuum Terre-Mer. Compte-tenu de cet objectif, et du fait que les deux estuaires sont relativement peu larges et peu profonds, il n'est pas prévu de réaliser une couverture complète des estuaires (qui serait trop coûteuse en temps), mais plutôt d'acquérir des données le long de profils transversaux aux estuaires, équidistants d'environ 500 m (figures 3 et 4). Des couvertures plus complètes seront limitées à des boîtes disposées dans des secteurs clés (cf. boîtes délimitées sur les figures 3 et 4 et détails explicités ci-dessous).

- *Conditions de réalisation* : Les estuaires de l'Aulne et de l'Elorn sont tous deux praticables à la navigation, et des unités de bonne taille peuvent rejoindre les ports de Port-Launay et de Landerneau pendant les marées de vives-eaux. Toutefois, les données de navigation (cartes marines) disponibles pour les deux estuaires sont limitées aux embouchures et aux chenaux principaux. Cela représente une difficulté pour l'acquisition de données sur les remplissages sédimentaires latéraux (banquettes de vases recouvertes à marée haute). Pour contourner cette difficulté, il est tout d'abord souhaitable que l'ensemble des levés soient réalisés durant des périodes de coefficients de marée supérieurs à 95. Nous proposons que soient d'abord réalisés des transects longitudinaux qui longeront les berges des estuaires en bordure des chenaux balisés à pleine-mer de vives-eaux (PMVE) (figures 3 et 4). De cette façon, nous disposerons d'un cadre précis pour la navigation qui permettra que les acquisitions des profils transversaux soient ensuite réalisées en toute sécurité. Pour l'Elorn, des données

bathymétriques parcellaires obtenues en 2010 pourront également servir de guide pour optimiser la préparation de la campagne (figure 3).

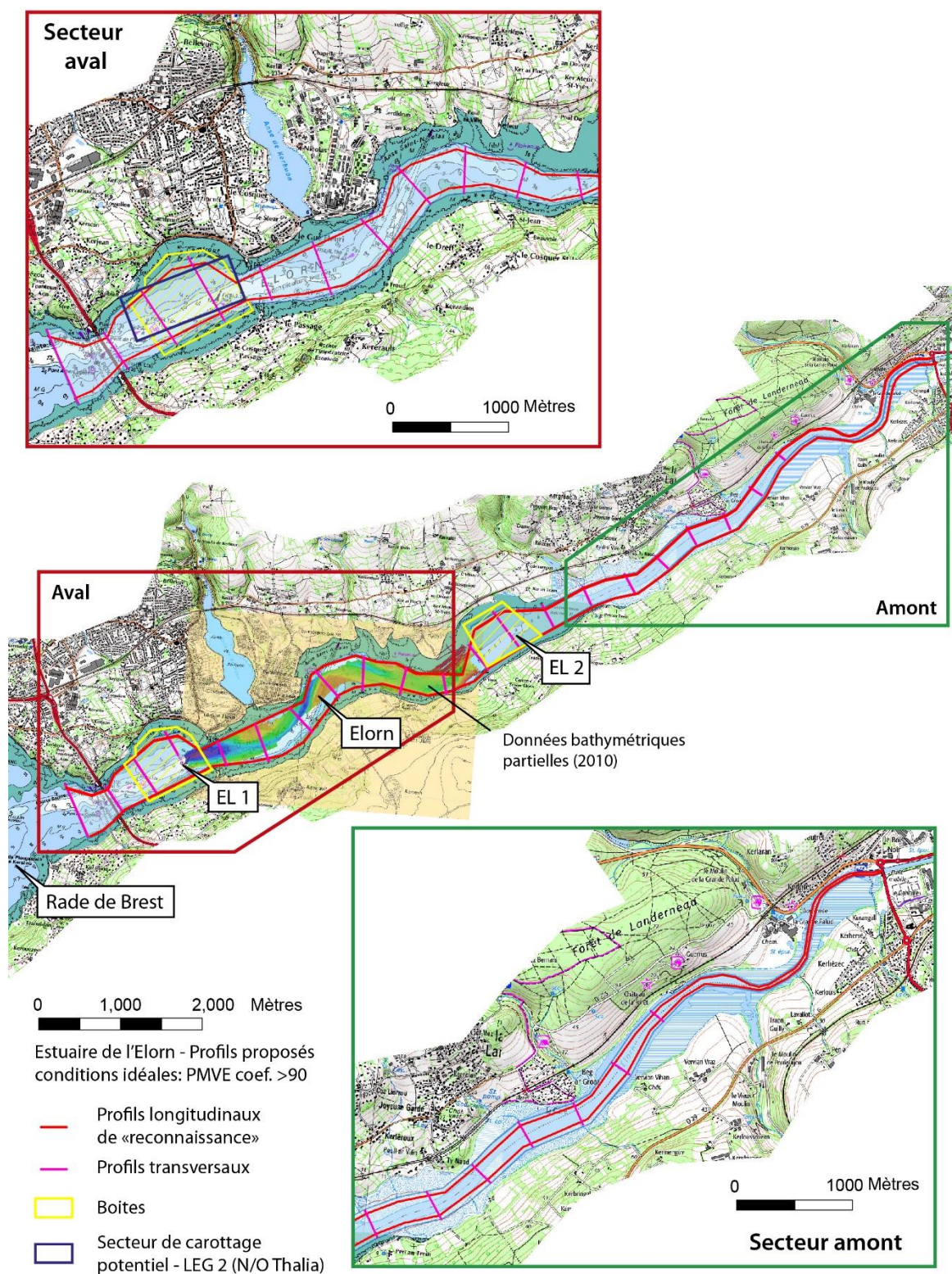


Figure 3 : Secteurs de l'Elorn prospectés et profils envisagés pour le LEG 1 de PACTE

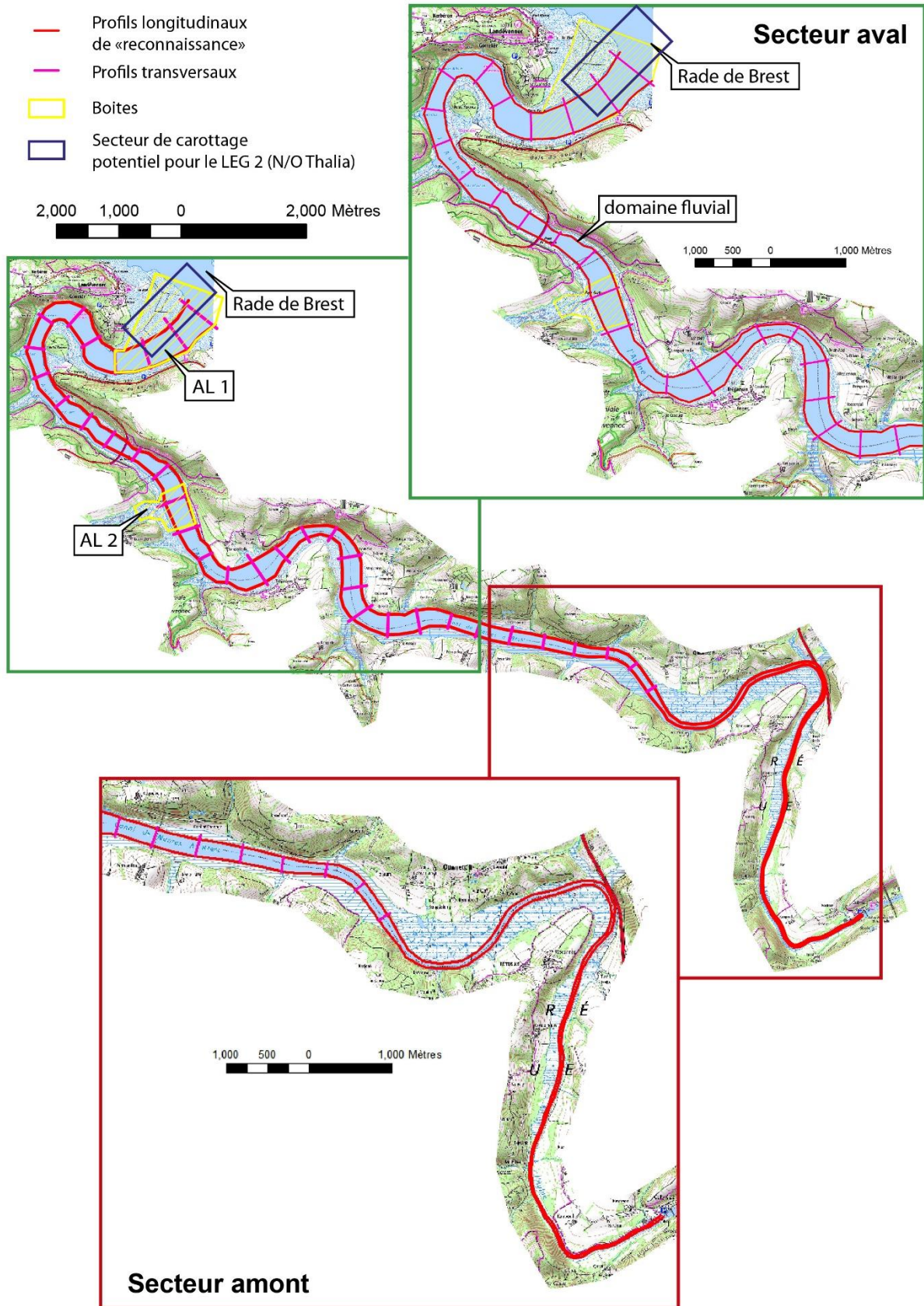


Figure 4 : Secteurs de l’Aulne prospectés et profils envisagés pour le LEG 1 de PACTE

- *Chronologie* : Nous avons établi la chronologie des travaux sur la base de l'acquisition de profils longitudinaux et transversaux réalisés 1h de part et d'autre de la pleine-mer. Nous avons calculé 6 jours d'acquisition pour les profils au niveau de l'Elorn, et 6 jours supplémentaires pour l'Aulne (transits entre profils compris) (tableau 1). Le restant des horaires travaillables sera consacré aux acquisitions dans les secteurs navigables en dehors de la PM (chenaux centraux, embouchures). De plus, nous avons estimé qu'il faudrait ajouter 2 jours supplémentaires d'acquisition par site (Elorn ou E et Aulne ou AL) pour les données plus resserrées au sein des boîtes E1, E2, AL1 et AL2 (figures 3 et 4). Au total, nous estimons que 14 jours travaillés seront nécessaires à la réalisation de l'ensemble des objectifs, auxquels il faudra ajouter 4 jours de mobilisation / démobilisation (LEG scindé en 2 périodes de pleines-mers de vives-eaux) et transits depuis le port de Brest jusqu'aux zones de mouillage / d'attache de la vedette (port du moulin Blanc pour l'Elorn, port de Térénez pour l'Aulne; à discuter ultérieurement) (tableau 1).

- *Calendrier* : Compte-tenu des impératifs de marée, il est important que l'horaire de pleine-mer coïncide avec des horaires travaillables, ce qui devra guider le choix des périodes retenues pour la mission. De par leur configuration, les estuaires visés sont peu sensibles aux conditions météo-marines. Néanmoins, la présence de bouchon vaseux est susceptible de troubler l'acquisition des données bathymétriques. De façon à limiter ce risque, la saison estivale, période à laquelle le bouchon vaseux est repoussé le plus loin en amont, serait préférable pour la programmation de la campagne.

- *Autres points importants*: Il est important de préciser que la configuration des estuaires (encaissement de l'Aulne notamment) est susceptible de perturber la réception du signal RTK de positionnement DGPS du bateau. La mise en place de balises de relais RTK au préalable de la mission et le mouillage d'un marégraphe seront peut-être nécessaires. Ces points seront rediscutés avec l'équipage durant la préparation de la mission.

3.2 LEG 2 - N/O THALIA :

- *Objectifs* : Le LEG 2 vise à prélever des carottes au niveau des couvertures sédimentaires caractérisant les embouchures de l'Aulne et de l'Elorn (en domaine marin, voir sites potentiels sur les figures 3 et 4). Bien que des carottes aient déjà été obtenues durant des missions précédentes (ex. SERABEQ3 ; Ehrhold et Grégoire, 2015) et soient toujours disponibles à Ifremer, l'obtention de nouveau matériel est indispensable pour la poursuite des objectifs du projet PACTE. En effet, l'obtention de matériel sédimentaire « frais » est critique pour les analyses paléo-génétiques, pour lesquelles les sédiments doivent être échantillonnés à quai et congelés directement après la récupération de la carotte. Les nouvelles analyses

metabarcoding acquises dans PACTE (biodiversité des paléo-communautés de protistes non réalisées à ce jour au niveau de l'embouchure de l'Aulne) seront compilées avec celles déjà disponibles pour les rivières Elorn et Daoulas (Klouch et al., 2016 ; Siano et al., 2021) afin de valider l'hypothèse d'un changement irréversible de la communauté protiste après les effets cumulés de la Seconde Guerre mondiale et de la pollution agricole. Des analyses métagénomiques seront également effectuées pour la première fois en rade sur les nouvelles carottes collectées afin de vérifier si la pollution humaine a provoqué l'émergence d'une nouvelle communauté fonctionnelle au sein des protistes. Par ailleurs, du matériel sédimentaire "frais" est également nécessaire pour les analyses en silice (Si). Le rapport entre SiO₂ (silice biogène) et Si total sera notamment discuté en tant qu'indicateur du changement d'usage des sols. Les carottes obtenues aux embouchures viendront compléter les carottes qui seront obtenues plus tard dans le projet par le biais d'une barge de carottage plus en amont dans des zones inaccessibles au N/O Thalia.

- *Conditions de réalisation et chronologie* : Les secteurs carottés seront choisis en fonction des données bathymétriques et sismiques obtenues à la suite du LEG 1. Des carottes longues seront obtenues à l'aide du carottier Kullenberg équipé de tubes de 3 et 5 m, tandis que des carottes courtes de 1 m seront obtenues avec le carottier multitubes Fantacore de Genavir. Du fait de la faible profondeur d'eau sur les sites visés, les carottages seront opérés à PMVE (coef. > 95) et si les conditions météorologiques le permettent. Des carottages de ce type, dans des zones à très faible profondeur d'eau (2 m d'eau carte marine), ont déjà été réalisés avec succès par le Thalia en 2017 devant le port de commerce de Brest (projet PALMIRA, P.I. R.Siano) et en 2019 pour la mission PEPITE-THA (Ehrhold, 2019), ce qui nous assure la faisabilité du projet. Nous tablons sur un total de 6 carottes par site, soit 2 jours de mission par site et 4 jours au total, auxquels il faut ajouter 2 jours de mobilisation / démobilisation du matériel (tableau 1).

- *Calendrier* : Afin de disposer de bonnes conditions météorologiques, une programmation estivale est souhaitée. De plus, le LEG 2 se tiendrait au minimum 1 mois après le LEG1, afin de permettre le traitement partiel des quelques profils sismiques obtenus aux embouchures (LEG 1) en vue du choix des sites de carottage (LEG 2).

4. Composition de l'équipe et exploitation des résultats :

Le tableau 2 ci-dessous recense le personnel scientifique participant au projet PACTE et ayant donné son accord de principe pour embarquer sur les LEGs 1 et 2. Pendant le LEG 1, les deux places réservées au personnel scientifique à bord du V/O Haliotis seront occupées, à tour de rôle, par différents membres de l'équipe du projet (tableau 2).

Proposition de campagne à la mer « PACTE » - Appel CNFC 2022

LEG	Jour	Secteur	Type de travaux	Nb de scientifiques embarqués	Retour à terre le soir
LEG 1 – Estuaires de l’Aulne et de l’Elorn – V/O Haliotis	1	Rade de Brest – Estuaire de l’Aulne	Mobilisation Aulne	0 - 1	Oui
	2		Acquisition multi-capteurs	1 - 2	Oui
	3		Acquisition multi-capteurs	1 - 2	Oui
	4		Acquisition multi-capteurs	1 - 2	Oui
	5		Acquisition multi-capteurs	1 - 2	Oui
	6		Acquisition multi-capteurs	1 - 2	Oui
	7		Acquisition multi-capteurs	1 - 2	Oui
	8		Acquisition multi-capteurs	1 - 2	Oui
	9		Démobilisation Aulne	0 - 1	Oui
	10	Rade de Brest – Estuaire de l’Elorn	Mobilisation Elorn	0 - 1	Oui
	11		Acquisition multi-capteurs	1 - 2	Oui
	12		Acquisition multi-capteurs	1 - 2	Oui
	13		Acquisition multi-capteurs	1 - 2	Oui
	14		Acquisition multi-capteurs	1 - 2	Oui
	15		Acquisition multi-capteurs	1 - 2	Oui
	16		Acquisition multi-capteurs	1 - 2	Oui
	17		Acquisition multi-capteurs	0 - 1	Oui
	18		Démobilisation Elorn	0 - 1	Oui
Période de traitement des données du LEG 1 obtenues aux embouchures					
LEG 2 – Embouchures de l’Aulne et de l’Elorn – N/O Thalia	19	Elorn	Mobilisation Brest	3	Oui
	20		Carottages Kullenberg et Fantacore (PMVE*)	5	Oui
	21		Carottages Kullenberg et Fantacore (PMVE*)	5	Oui
	22	Aulne	Carottages Kullenberg et Fantacore (PMVE*)	5	Oui
	23		Carottages Kullenberg et Fantacore (PMVE*)	5	Oui
	24		Démobilisation finale	3	Oui

*PMVE : Pleines mers de vives-eaux

Tableau 1 : Chronologie proposée des opérations à la mer pour les LEGs 1 et 2.

Chaque relève comportera un scientifique, familier avec l'obtention de données bathymétriques et CHIRP, à même de procéder à des choix scientifiques / stratégiques lors de la réalisation des profils. Les données issues du LEG 1 seront traitées (correction de la marée, nettoyage des sondes) par la cellule dédiée au sein de l'équipe Géo-Océan ANTIPOD (ex. cellule CDTI-Ifremer), avant d'être ensuite exploitées par le personnel scientifique (tableau 2).

Affiliation	Nom	Spécialité	Embarquement
IFREMER Géo-Océan ODYSC / ASTRE (ex. GM LGS)	J. Goslin*	Sédimentologue	LEG 1 / LEG 2
	A. Ehrhold	Sédimentologue	LEG 1
UBO Géo-Océan ASTRE (ex. UBO LGO)	A. Penaud **	Palynologue	LEG 1 / LEG 2
	M. Vidal	Palynologue	LEG 2
UBS Géo-Océan ASTRE	C. Lambert	Palynologue	LEG 2
	E. Goubert	Micro-paléontologue	LEG 2
IFREMER Géo-Océan ANTIPOD (ex. GM CDTI)	(à définir)	Technicien traitement données géophysiques	A terre
IFREMER DYNECO PELAGOS	R.Siano	Biologiste / Généticien	LEG 2
UBO-CNRS-LEMAR	M.Raimonet	Modélisatrice	LEG 1

* Chef de mission ** Chef de projet

Tableau 2. Composition proposée des participants aux missions et des équipes embarquantes avec accord de principe des personnes ici renseignées dans le tableau.

Les données obtenues soutiendront les objectifs du projet PACTE et constitueront le support d'étude d'un projet de thèse (RETROSED) et deux post-doctorats de 2 ans chacun en paléogénétique (coord. par R. Siano) et en modélisation (coord. par M. Raimonet). Les données seront donc largement exploitées et valorisées au travers de publications scientifiques internationales à comité de lecture et, si possible, open-access. Ces données permettront également de proposer plusieurs stages de Master entre 2023 et 2025. Finalement, les données obtenues, couvrant des secteurs sur lesquels le manque de données est aujourd'hui indéniable, seront largement ré-utilisées dans le cadre de projets scientifiques en cours et ultérieurs (exemples: évolution morpho-sédimentaire passée à récente des estuaires, habitats écologiques, transferts terre-mer en sédiments ou polluants...). Il est d'ores et déjà prévu d'intégrer les données sismiques dans le cadre des projets en cours DYHOBATE

et COMENRADE qui s'intéressent à la rétro-observation des transferts terrigènes vers l'environnement côtier de la rade de Brest et à l'évaluation des contaminants métalliques stockés dans les corps sédimentaires de l'Aulne.

5. REFERENCES

Degroot, D., Anchukaitis, K., Bauch, M. et al., 2021. Towards a rigorous understanding of societal responses to climate change. *Nature* 591, 539–550.

Ehrhold Axel, Gregoire Gwendoline, SERABEQ-3 cruise, RV Thalia, <https://doi.org/10.17600/15009500>

Ehrhold Axel, PEPITE-THA 2019 cruise, RV Thalia, <https://doi.org/10.17600/18000944>

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press.

Jonkers, L., Hillebrand, H., Kucera, M., 2019. Global change drives modern plankton communities away from the pre-industrial state. *Nature* 570, 372–375.

Klouch, K., Schmidt, S., Andrieux-Loyer, F., Le Gac, M., Hervio-Heath, D., Qui-Minet, Z.N., Quéré, J., Bigeard, E., Guillou, L., Siano, R., 2016. Historical records from dated sediment cores reveal the multidecadal dynamic of the toxic dinoflagellate *Alexandrium minutum* in the Bay of Brest (France). *FEMS Microbiol. Ecol.* 97, fiw101.

Lambert C., Penaud A., Vidal M., Klouch K., Gregoire G., Ehrhold A., Eynaud F., Schmidt S., Ragueneau O., Siano R., 2018. Human-induced river runoff overlapping natural climate variability over the last 150 years: Palynological evidence (Bay of Brest, NW France). *Global and Planetary Change* 160, 109-122.

Lemercier, B., 2003. La pollution par les matières phosphorées en Bretagne: sources, transfert et moyens de lutte. Dir. Régionale L'Environnement DIREN Bretagne.

Ostrom, E., Janssen, M. A., Anderies, J.M., 2007. Going beyond panaceas. *PNAS* 104, 15176–15178

Penaud A., Hardy W., Lambert C., Marret F., Masure E., Servais T., Siano R., Wary M., Mertens K.N., 2018. Dinoflagellate fossils: Geological and biological applications. *Revue de micropaléontologie* 61, 235-254.

Siano R., Lassudrie, M., Cuzin P., Briant N., Loizeau V., Schmidt S., Ehrhold A., Mertens K.N., Lambert C., Quintric L., Noël C., Latimier M., Quéré J., Durand P., Penaud A., 2021. Sediment archives reveal irreversible shifts in plankton communities after World War II and agricultural pollution. *Current Biology* 31, 1-8.

Tett, P., Gowen, R. J., Painting, S. J., Elliott, M., Forster, R., Mills, D. K., Bresnan, E., Capuzzo, E., Fernandes, T. F., Foden, J., Geider, R. J., Gilpin, L. C., Huxham, M., McQuatters-Gollop, A. L., Malcolm, S. J., Saux-Picart, S., Platt, T., Racault, M.-F., Sathyendranath, S., van der Molen, J., Wilkinson, M., 2013. Framework for understanding marine ecosystem health. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 494, 1–27.