

Partenariat 2013/2015 – Coordination inter-estuaire



Bilan d'activité 2013-2015 de la coordination de la recherche et des études inter-estuariennes

Rapport final

Valérie FOUSSARD
Fédération SCALE - UMR CNRS 6143 M2C, Université de Rouen

Avril 2016

- **AUTEURS**

Valérie FOUSSARD, Chargée de mission Coordination inter-estuariers
Fédération SCALE - UMR CNRS 6143 M2C, Université de Rouen, valerie.foussard@univ-rouen.fr

- **CORRESPONDANTS**

Onema : Marie-Claude XIMENES, DAST, marie-claude.ximenes@onema.fr

Partenaires :

Isabelle TERRIER et Carole Pons, MEDDE/DGALN/DEB/LM1, Isabelle.terrier@developpement-durable.gouv.fr / carole.pons@developpement-durable.gouv.fr

Jean PRYGIEL, Agence de l'eau Artois-Picardie, j.prygiel@eau-artois-picardie.fr

Stéphanie PEDRON et Julien DE BORTOLI, Agence de l'eau Seine-Normandie, pedron.stephanie@aesn.fr / debortoli.Julien@aesn.fr

Philippe FERA, Agence de l'eau Loire-Bretagne, philippe.fera@eau-loire-bretagne.fr

Mélina LAMOUROUX, Agence de l'eau Adour-Garonne, melina.lamouroux@eau-adour-garonne.fr

Droits d'usage : accès libre

Niveau géographique : national

Couverture géographique : eaux de transition de la façade Manche/Atlantique

Niveau de lecture : professionnels

• RESUME

Suite à l'émergence des nombreuses directives environnementales (DCE, Natura 2000...), l'acquisition de connaissances sur les estuaires français et une meilleure compréhension de leur fonctionnement se sont avérées nécessaires pour construire des outils répondant à ces directives. En 2012, une coordination inter-estuariers a été mise en place à l'initiative de l'Onema, en partenariat avec les Agences de l'eau de la façade Manche/Atlantique afin (1) d'optimiser les moyens de ces organismes en terme de mise en œuvre des politiques publiques et (2) de renforcer/développer des collaborations à l'échelle nationale entre les différents acteurs impliqués dans l'analyse et la gestion des milieux estuariens. Elle se présente sous la forme d'un réseau composé de gestionnaires et institutionnels (ONEMA, Agences de l'eau, Ministère de l'environnement...) ainsi que de scientifiques (Universités, Instituts de recherche, ...). Elle a pour mission :

- Faciliter la mise en œuvre de projets scientifiques abordant des problématiques communes à divers estuaires (projets pouvant être financés par l'Onema s'ils ambitionnent à répondre à des questions de gestion posées par les partenaires de la coordination).
- Favoriser les échanges entre acteurs des estuaires via par exemple, un transfert et une valorisation des travaux de recherches menés sur ces milieux. Un site internet dédié à la démarche a été créé pour faciliter ces échanges (<http://seine-aval.crihan.fr/web/inter-estuaire/>).
- Venir en appui aux scientifiques dans le montage de certains projets inter-estuariers.

Les problématiques abordées en priorité, touchent des domaines divers tels que :

- La mise en œuvre des politiques publiques, plus particulièrement la Directive Cadre sur l'Eau
- Le développement d'indicateurs de fonctionnement des estuaires ou d'indicateur basé sur des critères non considérés par la DCE, jugés mieux adaptés pour qualifier l'état de ces milieux ;
- La restauration écologique : dégager des enseignements de précédentes actions de restauration en estuaires menées à l'échelle nationale et internationale afin de fournir des éléments de méthodologie, pour venir en appui aux acteurs de la restauration lors de futurs projets.

Au terme du programme d'actions 2013/2015 de la coordination, les projets financés par l'Onema ont permis d'apporter des éléments de réponse à certains besoins opérationnels des gestionnaires relatifs à :

- La mise en œuvre de la Directive Cadre sur l'Eau : 1ère phase des travaux pour aboutir à des indicateurs de qualité basés sur l'oxygène dissous, les invertébrés benthiques, les macro-algues et la qualité hydromorpho-sédimentaire des estuaires.
- Le développement d'un indicateur basé sur le microphytobenthos afin de mieux qualifier la production primaire en milieux estuariens notamment dans les estuaires turbides (2015/2017)
- Les réseaux de surveillance : analyse des réseaux de suivis DCE et des flux de nutriments arrivant à la mer en vue de leur optimisation à l'échelle nationale
- L'analyse des aspects techniques et scientifiques des actions de restauration écologique : dégager des enseignements et identifier les outils disponibles pour bien définir des objectifs, essayer de prédire les effets de la restauration, déterminer les méthodes à employer selon le milieu à restaurer et enfin évaluer l'impact voire l'efficacité de la restauration (monitoring).

Cette démarche sera prolongée sur la période 2016/2018 en vue de poursuivre ces travaux et mettre l'accent sur de nouveaux besoins liés à la restauration écologique et au fonctionnement des estuaires (notamment se diriger vers une meilleure évaluation du milieu *via* une approche par les habitats et les fonctions écologiques associées).

• MOTS CLES (THEMATIQUE ET GEOGRAPHIQUE)

Gestion des milieux estuariens français, politique publique, recherche appliquée, qualité écologique, restauration écologique

- **ABSTRACT**

The establishment of several environmental Directives (Water Framework Directive (WFD), Habitats Directive...) involves developing operational tools (index, monitoring...) adapted to estuarine environments. For this, the acquisition of knowledge on French estuaries became necessary for better understand the functioning of these ecosystems and help stakeholders to respond to these directives.

To this end, the ONEMA in partnership with the four Agences de l'eau of the French Atlantic coast (involved especially in the implementation of the WFD), have initiated a coordination of inter-estuary studies in 2012 which consist in a collaboration between stakeholders, scientists and institutional partners. The aims of this coordination are to:

- help the implementation of scientific projects to respond to common management issues on estuaries, like ecological quality assessment of Transitional Waters required by the WFD
- develop, as much as possible, exchange between all of these partners (knowledge, data...), make valorization of research work realized on estuarine ecosystems. For this, a website was created with the support of the GIP Seine-Aval (<http://seine-aval.crihan.fr/web/inter-estuaire/>) and scientific and technical reports are available on the website "Les documents techniques de l'eau" managed by ONEMA
- if necessary, help scientists to make inter-estuary projects

The inter-estuary coordination focused on the following themes:

- implementation of European Directives, especially the Water Framework Directive
- development of indicators based on ecological functioning of estuaries or specific fauna (for example microphytobenthos) considered better adapted for make a good evaluation of ecological quality
- ecological restoration : improve guidelines to stakeholders that would like to lead a restoration measures

During the 2013-2015 period, scientific projects funded by ONEMA or the thematic syntheses realized are:

- implementation of WFD: first phases of the development of ecological quality indicators (dissolved oxygen, benthic macrofauna, macroalgae, hydromorphology)
- development of quality index based on microphytobenthos (2015-2018) in order to evaluate the mudflat productivity of turbid estuaries (where phytoplankton indicator can't be applied)
- monitoring networks: analysis operational monitoring (WFD) and quantification of nutrient inflows from upstream to the sea in order to control their effectiveness on a national scale
- ecological restoration: analysis of feedback from international restoration projects in estuaries in order to learn technical and scientific lessons from all steps of restoration measures (definition of objectives, prediction of ecosystem reaction, restoration methods used, evaluation of restoration impacts, surveillance's criteria) and identify available tools

The inter-estuary coordination should continue for 3 years (2016-2018) with the aim of finalizing the current projects and to deal with two main questions in depth: ecological restoration and ecological functioning of estuaries (for example, consideration of links between habitats and ecological functions in quality evaluation).

- **KEY WORDS (THEMATIC AND GEOGRAPHICAL AREA)**

French estuaries, estuarine management, environmental directive, applied research, ecological quality, ecological restoration

SOMMAIRE

Résumé / Abstract

Introduction.....	7
I. La coordination inter-estuaire	7
1.1.Missions de la coordination inter-estuaire.....	7
1.2.Territoire d'action et démarche	8
1.3.Thématiques prioritaires identifiées pour la phase 2013-2015	9
II. Aide à la mise en œuvre des politiques publiques : indicateurs de qualité DCE (objectif 1)	9
2.1.Indicateurs basés sur l'hydromorphologie des estuaires	9
2.2.Indicateur(s) basé(s) sur l'oxygène dissous.....	20
2.3.Autres paramètres physico-chimiques : température, salinité, turbidité	23
2.4.Indicateurs basés sur les invertébrés benthiques.....	23
III. Développement d'indicateurs complémentaires d'évaluation de la qualité écologique des estuaires (objectif 1)	26
3.1.Le microphytobenthos	26
3.2.Indicateurs basé sur le fonctionnement écologique des estuaires.....	27
3.3.Les foraminifères : bio-indicateur de la qualité écologique des estuaires ?.....	30
IV. Développement ou optimisation des réseaux de surveillance en estuaire (objectif 1).....	32
4.1.Bilan et analyse des réseaux de contrôle DCE mis en place sur chaque bassin hydrographique	32
4.2.Bilan sur les réseaux de contrôle de flux de nutriments à la mer.....	32
V. Développement de la connaissance scientifique et technique sur les estuaires (objectif 2)	35
5.1.Le fonctionnement hydrologique des estuaires et le rôle du bouchon vaseux.....	35
5.2.La restauration écologique en estuaire.....	35
VI. Valorisation des travaux et transferts aux partenaires (objectif 3)	38
6.1.Développement du site internet dédié à la coordination.....	38
6.2.Alimentation du portail "Les documents techniques sur l'eau" de l'Onema.....	38
6.3.Extension du réseau inter-estuaire aux acteurs locaux	39
6.4.Veille en matière d'appels à projet de recherche	39
6.5.Communication autour des activités de la coordination inter-estuaire	40
6.6.Liste des rapports d'action associés aux travaux de la coordination.....	41
Conclusion et perspectives.....	42
Références bibliographiques	43

Liste des annexes

Annexe 1 : Membres du comité de pilotage

Annexe 2 : Compte-rendu et relevés de décision des comités de pilotage inter-estuaire (2012 à 2015)

Annexe 3 : Compte-rendu et relevés de décision des GT HMS (2013 à 2015)

Annexe 4 : Compte-rendu de la réunion du 9 novembre 2015 sur les indicateurs de fonctionnement

Annexe 5 : Fiches synthétiques sur les campagnes de terrain et les protocoles de suivis des invertébrés benthiques sur les 3 grands estuaires français

Annexe 6 : Note de synthèse sur les potentialités de développement d'un indicateur de qualité basé sur les foraminifères

Annexe 7 : Synthèse sur les réseaux de surveillances existants et les attentes des Agences sur l'optimisation des suivis des flux de nutriment arrivant à la mer

Annexe 8 : Relevé de décision de la réunion du 4 décembre 2015 sur l'analyse des aspects techniques et scientifiques des retours d'expérience de restauration écologique en estuaires

Liste des figures

Figure 1 : Territoire d'action de la coordination inter-estuaire.....	8
Figure 2 : Démarche et calendrier pour l'initialisation d'un projet inter-estuaire sous financement de l'Onema	8
Figure 3 : Bilan sur la collecte des données par estuaire (à gauche) et par paramètre (à droite)	11
Figure 4 : Exemple de données obtenues par digitalisation des ortho-littorales V2 sur l'estuaire du Lay	12
Figure 5 : Proportion de zones intertidales (schorre compris) en fonction de la superficie à pleine mer des estuaires de la Façade Manche-Atlantique, déterminées à partir des surfaces digitalisées sous SIG.....	12
Figure 6 : Evolution de la surface des sections en fonction des points kilométriques (pK) de l'estuaire de la Loire (gauche) et différentiel de surface calculé entre 2 sections consécutives (droite)	13
Figure 7 : Schéma explicatif du calcul du différentiel de surface pour l'indicateur morphologique M1	13
Figure 8 : Evolution longitudinale des sections pour 2 configurations d'estuaires schématisées contrastées	14
Figure 9 : Application de l'indicateur hypsométrique à l'estuaire de la Gironde.....	15
Figure 10 : relation entre les hauteurs à PM/BM et les surfaces à PM/BM pour différents bassins à marée des Pays Bas d'après Dronkers	16
Figure 11 : Test de l'indicateur sur l'extension des zones intertidales (M3) appliqué à l'estuaire de la Gironde	16
Figure 12 : représentation de la sinuosité d'un système fluvial ou estuarien	16
Figure 13 : Evolution longitudinale des sections et distribution des courants maximaux pour 2 configurations d'estuaires schématisées contrastées	17
Figure 14 : Distribution en densité de probabilité, des salinités de fond pour deux configurations d'estuaires schématisées, en distinguant les habitats subtidiaux et les habitats intertidaux	18
Figure 15 : Analyses statistiques réalisées à partir des données MAGEST acquises entre 2005 et 2013 au niveau des stations de Libourne, Pauillac, Bordeaux et Portets, localisées sur l'estuaire de la Gironde	21
Figure 16 : Durées maximales des épisodes hypoxiques calculées selon différents seuils pour chacune des stations présentes le long de les estuaires de la Gironde (haut) et de la Loire (bas)	21
Figure 17 : Comportements observés chez des gobies soumis à différentes conditions d'oxygénation des eaux (nage altérée (NA), perte d'équilibre (PE), Mortalité) durant 6h	22
Figure 18 : Présentation schématique de la démarche retenue pour développer un outil d'évaluation de la qualité basé sur le microphytobenthos.....	26
Figure 19 : Réseaux de contrôle des nutriments et des débits dans le district Artois-Picardie (à gauche) et dans la partie bretonne du district Loire Bretagne (à droite)	33
Figure 20 : Démarche employée pour l'analyse de la Littérature Scientifique Publiée (LSP) sur les retours d'expérience en restauration écologique en estuaire.....	36
Figure 21 : Grands objectifs de restauration les plus fréquemment visés dans les projets de restauration analysés dans la littérature scientifique publiée	37
Figure 22 : Accès au portail "Les documents techniques de l'eau" avec un filtre axé sur la thématique estuaire.....	39
Figure 23 : Posters de la coordination inter-estuaire présentés aux séminaires SCALE 2015 et 2016.....	40

INTRODUCTION

Le renforcement de la coordination des études sur les estuaires français s'inscrit dans les objectifs de l'ONEMA qui visent à « développer la capacité d'expertise pour atteindre l'objectif de bon état des eaux et apporter l'appui technique nécessaire aux responsables de la conception et de la mise en œuvre des politiques publiques de l'eau ». Afin d'atteindre cet objectif, une coordination des études et de la recherche inter-estuariers a été mise en place à l'initiative de l'ONEMA, des Agences de l'eau de la façade Manche/Atlantique et de divers partenaires. Cette coordination s'est traduite par le recrutement d'une chargée de mission en 2012, au sein du GIP Seine-Aval pour assurer l'animation de la démarche, du réseau de chercheurs et de gestionnaires intervenant sur les milieux estuariens ainsi que d'un comité de pilotage constitué de scientifiques, gestionnaires et institutionnels (ONEMA, Ministère, Agences de l'Eau...). Depuis 2013, ce poste est hébergé par la Fédération de Recherche « Sciences Appliquées à l'Environnement » (FR CNRS 3730 SCALE), dans les locaux de l'UMR CNRS 6143 M2C de l'Université de Rouen.

Les enjeux estuariens sont en partie liés à la mise en œuvre des politiques publiques (notamment la Directive Cadre sur l'Eau, Natura 2000...). Les acteurs de l'eau, en particulier les Agences de l'Eau, sont demandeurs d'une approche spécifique pour ces milieux « orphelins » dont le fonctionnement écologique est complexe et encore mal connu. Ainsi, les grandes orientations prises par la coordination inter-estuariers sont définies en fonction des besoins et attentes de l'ONEMA et des Agences de l'eau en concertation avec le Ministère en charge de l'environnement et les scientifiques impliqués dans le comité de pilotage. Lors de la phase 2013-2015, les actions scientifiques de la coordination se sont ainsi focalisées sur la mise en œuvre de la DCE via le développement d'indicateurs de qualité écologique, l'amélioration des réseaux de surveillance en estuaires et l'étude de faisabilité de développement d'indices complémentaires aux indicateurs DCE-compatibles basés sur le fonctionnement des écosystèmes.

Ce document retrace l'ensemble des discussions et projets lancés par la coordination inter-estuariers au cours de la phase 2013-2015.

I. LA COORDINATION INTER-ESTUAIRES

1.1. Missions de la coordination inter-estuariers

La coordination inter-estuariers a pour objectif principal de (1) développer la connaissance scientifique en vue de construire des outils répondant aux obligations réglementaires de l'Onema et des Agences de l'eau et (2) faciliter les collaborations entre scientifiques et gestionnaires impliqués sur les estuaires autour de problématiques liées à l'écologie et la gestion des milieux.

Dans ce but, un poste de coordination soutenu financièrement par l'Onema a été mis en place. Initialement accueilli au GIP Seine-Aval de juin à décembre 2012, il est depuis adossé à la Fédération de Recherche « Sciences Appliquées à l'Environnement » (FR CNRS 3730 SCALE), avec un hébergement dans les locaux de l'UMR CNRS 6143 M2C de l'Université de Rouen pour la période 2013-2015. Les missions de cette coordination sont d'assurer :

- L'animation du comité de pilotage dont les principales missions sont d'examiner les travaux réalisés et définir les priorités d'actions futures (notamment mobilisation d'expertises ou de travaux de recherche pour venir en appui des gestionnaires) ;
- L'animation du réseau de partenaires afin de faciliter la mise en relation et l'échange d'informations entre les différentes parties prenantes de cette coordination. Il s'agit notamment (1) d'assurer le transfert et la valorisation de résultats d'études et de recherches, d'effectuer une veille sur les actions de restauration et (2) de réaliser une veille en matière d'appel à programme de recherche ou d'acquisition de connaissance afin d'identifier les programmes dont les thématiques correspondent à celles définies par le comité de pilotage ;

- L'aide à la mise en œuvre opérationnelle des chantiers prioritaires au travers de : (1) l'identification des équipes susceptibles de mener à bien ces chantiers et solliciter leurs réponses, (2) la préparation et le suivi des financements, en lien notamment avec les Agences de l'Eau et l'ONEMA et (3) le suivi voire l'aide à l'animation de certains projets prioritaires ;
- La valorisation des travaux menés dans le cadre de coordination inter-estuaire *via* la construction et la mise à jour d'un site internet dédié à cette démarche.

1.2. Territoire d'action et démarche

Le territoire d'action de la coordination inter-estuaire regroupe une quarantaine d'estuaires répartis dans les bassins hydrographiques Artois-Picardie, Seine-Normandie, Loire-Bretagne et Adour-Garonne, le long de la façade Manche/Atlantique (Figure 1).

Un projet lancé dans le cadre de cette démarche peut concerner tout ou partie de ces estuaires selon la thématique abordée et le niveau de connaissance ou prérequis nécessaires pour mener à bien ce projet. Les projets sont généralement financés par l'Onema mais peuvent être soumis à un autre financement selon le contexte (financement de l'Agence de l'eau ou appels à projet de recherche divers). La procédure de mise en œuvre d'un projet inter-estuaire financé par l'Onema est détaillée dans la Figure 2.

La coordination s'organise autour du comité de pilotage composé de l'Onema, des quatre Agences de l'eau concernées, de scientifiques experts de différents domaines de recherche sur différents territoires, ainsi que d'autres partenaires impliqués dans l'analyse et la gestion des estuaires (structure d'interface, syndicat mixte) (liste des membres en annexe 1).

Selon les thématiques abordées, d'autres experts peuvent être associés ponctuellement pour apporter des compétences complémentaires sur des sujets très spécifiques. Les principales missions de ce comité sont (1) d'examiner les travaux en cours ou finalisés et (2) définir les thématiques prioritaires pour les gestionnaires, pour lesquelles des projets devront être menés.



Figure 1 : Territoire d'action de la coordination inter-estuaire

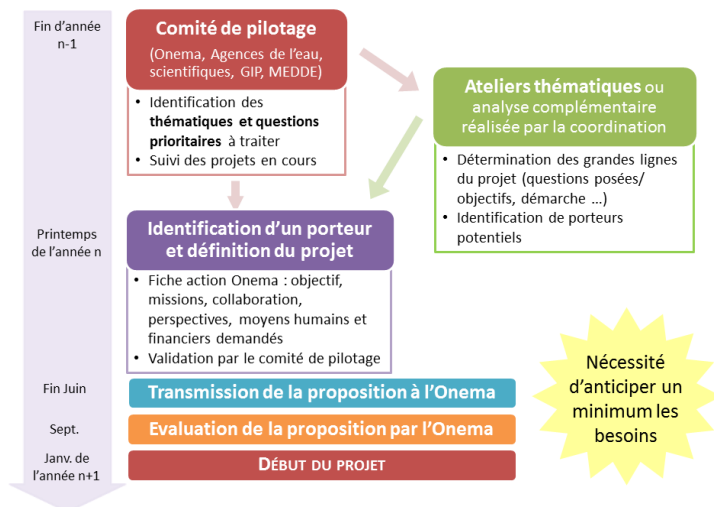


Figure 2 : Démarche et calendrier pour l'initialisation d'un projet inter-estuaire sous financement de l'Onema

Depuis le lancement de la coordination inter-estuaire, le comité de pilotage s'est réuni annuellement aux dates suivantes :

- Le 17 octobre 2012
- Le 29 novembre 2013
- Le 23 janvier 2015
- Le 23 février 2016

Les différents comptes-rendus et relevés de décision de ces réunions sont rassemblés dans l'annexe 2.

1.3. Thématiques prioritaires identifiées pour la phase 2013-2015

Les sujets traités en priorité au cours de la phase 2013-2015 et validés par le comité de pilotage sont associés à trois grands objectifs :

Objectif 1 : Aide à la mise en œuvre des politiques publiques.....	p. 9
⇒ Développement ou finalisation des indicateurs de qualité en réponse à la DCE.....	p. 9
▪ L'hydromorphologie	
▪ La physico-chimie	
▪ Les invertébrés benthiques	
▪ Les macroalgues sur vases indurées en zones intertidales (<i>sujet non détaillé dans ce bilan car non traité directement par la coordination inter-estuariers</i>)	
⇒ Développement d'indicateurs complémentaires (hors DCE) pour affiner l'évaluation de la qualité écologique des estuaires.....	p. 26
▪ Le microphytobenthos	
▪ Indicateurs basé sur le fonctionnement écologique des estuaires (étude de faisabilité)	
▪ Les foraminifères (étude de faisabilité)	
⇒ Développement ou optimisation des réseaux de surveillance en estuaire.....	p. 32
▪ Bilan et analyse des réseaux de contrôle mis en place dans le cadre de la DCE sur chaque bassin hydrographique	
▪ Bilan sur les réseaux de contrôle des flux de nutriments à la mer : peut-on les optimiser ?	
Objectif 2 : Développement de la connaissance scientifique et technique sur les estuaires.....	p. 36
⇒ Le fonctionnement hydrologique des estuaires et le rôle du bouchon vaseux	
⇒ La restauration écologique en estuaire (enseignements issus des retours d'expérience)	
Objectif 3 : Valorisation des travaux et transferts aux partenaires.....	p. 39
⇒ Développement et alimentation du site internet dédié à la coordination	
⇒ Alimentation du portail "Les documents techniques sur l'eau" de l'Onema	
⇒ Extension du réseau inter-estuaire aux acteurs locaux	
⇒ Veille en matière d'appels à projet de recherche	

II. AIDE A LA MISE EN ŒUVRE DES POLITIQUES PUBLIQUES : INDICATEURS DE QUALITE DCE (OBJECTIF 1)

2.1. Indicateurs basés sur l'hydromorphologie des estuaires

2.1.1. Rappels du contenu de l'action

En vue de développer des indicateurs Hydro-Morpho-Sédimentaires (HMS) répondant aux exigences de la DCE, un projet sous forme de deux actions menées conjointement a été lancé en 2013. Ces actions coordonnées par A. Sottolichio (Université de Bordeaux, UMR CNRS 5805 EPOC) et P. Le Hir (Ifremer de Brest, laboratoire DYNECO/PHYSED), étaient initialement découpées en 3 phases de travail :

- Une première phase relative à la conceptualisation des indicateurs HMS en estuaires, accompagnée d'un inventaire des (petits) estuaires français en préparation de la phase 2. Un groupe de travail (GT HMS) a été constitué pour s'assurer de l'« exploitabilité » des concepts et indicateurs proposés ;
- Une seconde phase, qui doit permettre l'application des concepts de la phase 1 à quelques estuaires « représentatifs », et proposer une méthodologie simplifiée pour renseigner les caractéristiques morphologiques nécessaires à l'évaluation sommaire des indicateurs ;
- Une troisième phase (évolutive selon l'avancement des deux premières étapes) visant la validation des propositions d'indicateurs HMS sur la base des résultats obtenus en phase 2. Cet exercice devait être mené par le GT HMS et par d'autres biologistes à associer.

A terme, ce travail doit aboutir à des préconisations de mise en œuvre à destination des Agences de l'Eau (métriques sélectionnées, acquisition de données et suivis à mettre en place pour calculer les indicateurs).

Comme convenu dans les conventions liées au projet, la coordination inter-estuariers est intervenue dans ces travaux en soutien aux porteurs, pour l'organisation et l'animation des réunions du GT HMS (constitution du groupe, planification des réunions, rédaction de compte-rendu et suivi du projet). Cette implication a dû être étendue à une contribution dans la finalisation de certains livrables pour l'Onema et à l'encadrement d'un stage visant l'acquisition de données SIG pour l'inventaire des données HMS.

En termes de calendrier, vu la progression plus complexe que prévue et de diverses contraintes rencontrées, les phases 1 et 2 coordonnées par l'Université de Bordeaux, prévues sur 2 ans ont dû être échelonnées sur les 3 années du projet (Sottolichio, 2015). La phase 3 n'a donc pas été réalisée jusqu'à présent.

2.1.2. Organisation des GT HMS

Au cours du projet, trois GT HMS ont été organisés :

- Réunion de lancement (30 avril 2013) : validation des métriques (présélectionnées lors du projet BEEST), à tester courant 2013 afin de définir une méthode d'évaluation de la qualité HMS des estuaires
- Réunion Année 1 (22 janvier 2014) : bilan de l'avancement des travaux de l'année 1 - conceptualisation des indicateurs HMS et lancement de l'inventaire des données HMS
- Réunion Année 2 (22 janvier 2015) :
 - Bilan de l'avancement des travaux de l'année 2 : tests de certains indicateurs HMS sur des estuaires schématisés et tests de sensibilité de ces indicateurs à différents facteurs
 - Bilan de l'inventaire des données HMS sur les petits estuaires

Les différents comptes-rendus rédigés par la coordination et le relevé de décision du dernier GT HMS fait par A. Sottolichio sont regroupés dans l'annexe 3. Un dernier GT HMS est envisagé au printemps 2016 pour faire un point sur les différents résultats obtenus et les suites à donner à ces travaux.

2.1.3. Inventaire des données existantes sur les petits et moyens estuaires (phase 1)

L'inventaire des caractéristiques HMS mené en phase 1 avait pour objectif de compiler toutes les données disponibles (ou à défaut les métadonnées indiquant la source potentielle de la donnée et son accessibilité) sur les surfaces intertidales, débits fluviaux, courbes de marée, profondeur du chenal, sections à l'embouchure... existantes sur un panel important d'estuaires.

Pour réaliser cet inventaire, il a été fait appel à Géo-Transfert (basé à Bordeaux) sous la supervision d'A. Sottolichio de l'Université de Bordeaux. Géo-Transfert disposait d'une prestation équivalente à 36 jours pouvant être étalée dans le temps. En raison de la mise à disposition tardive des crédits par l'Université, cette prestation n'a pu concrètement débuter qu'en mai 2014 pour se terminer en décembre 2014. Elle a consisté à contacter un maximum de personnes clés susceptibles de détenir l'information demandée et à acquérir la donnée lorsque celle-ci était disponible et libre de droit.

Afin de progresser au plus tôt dans ce travail, un stage de License 3 axé sur l'acquisition de données cartographiques sous SIG a été lancé dès avril 2014 au sein du laboratoire M2C de l'Université de Rouen (stage encadré par la coordination inter-estuariers). Ce travail a ensuite été repris par Géo-Transferts pour le valider, le corriger si nécessaire et le compléter pour les estuaires où des photographies aériennes récentes n'étaient pas encore disponibles lors du stage.

La centralisation des données n'a pas été simple à réaliser du fait (1) qu'il n'existe pas de base de données nationale qui permette d'accéder directement aux informations souhaitées, (2) des multiples acteurs dans les nombreux estuaires considérés à contacter en un temps limité et (3) de la difficulté liée à la propriété des données. La Figure 3 fait un bilan des données récoltées par estuaire et par paramètre considéré initialement. Vu les difficultés de récupération des données rencontrées, les recherches ont été priorisées par la suite (Sottolichio et al., 2015).

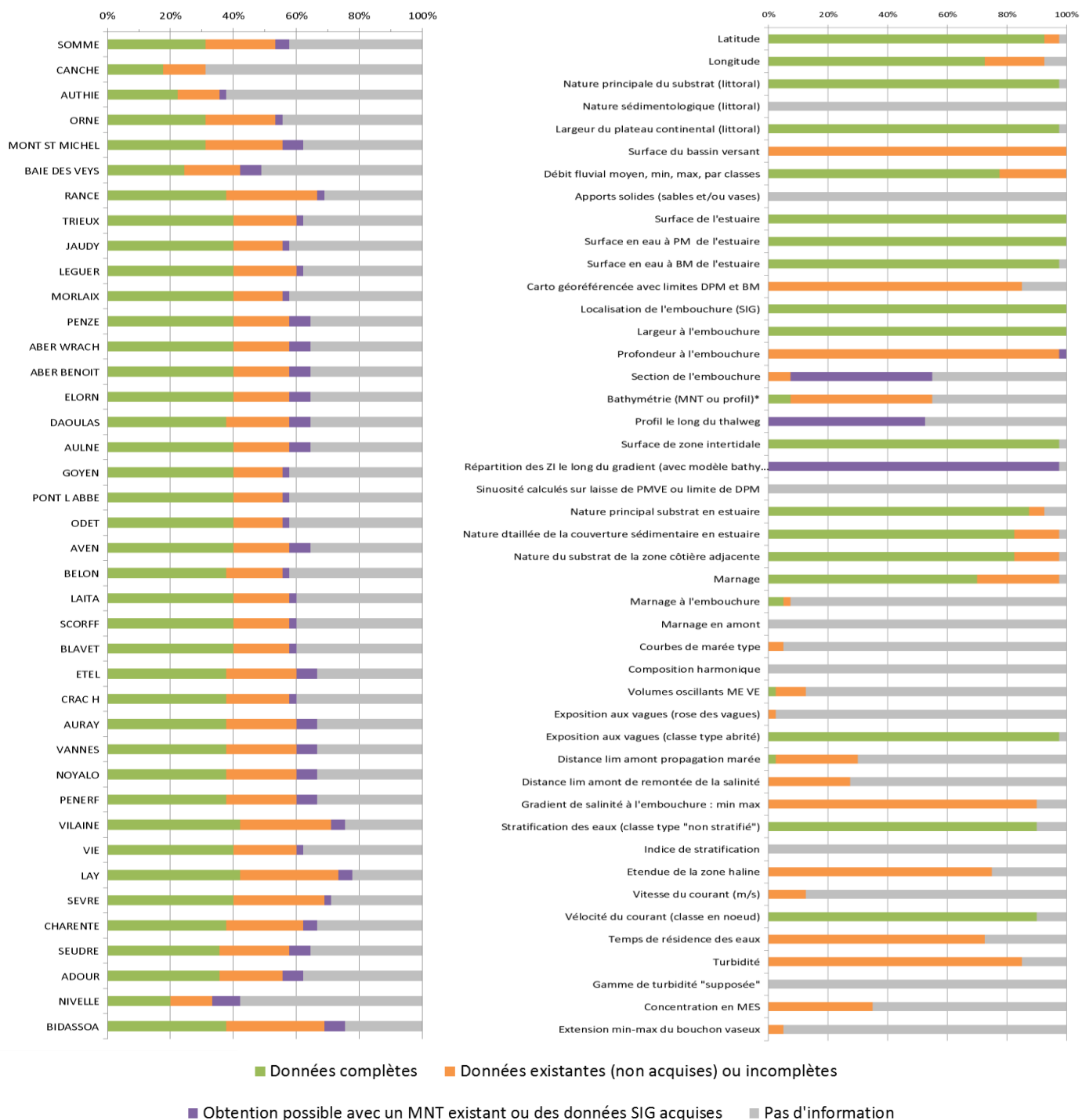


Figure 3 : Bilan sur la collecte des données par estuaire (à gauche) et par paramètre (à droite)

Certaines données spatiales ont pu être acquises sur l'ensemble de la façade Manche/Atlantique par le biais du SIG, plus particulièrement par photo-interprétation d'orthophotographies du littoral en libre accès (Géolittoral, MEDDE). Les paramètres qui ont ainsi pu être renseignés sur tout ou partie des estuaires considérés grâce à ces données sont :

- La surface des zones intertidales ;
- La largeur à l'embouchure ;
- La surface de l'estuaire correspondant dans le cas présent, à la surface en eau à Pleine Mer (PM) ;
- La surface en eau à Basse Mer (BM).

Lors de la cartographie des zones intertidales, la nature du substrat a été identifiée à partir de données tirées de SEXTANT (Ifremer) ou à défaut par photo-interprétation si cela était possible. Le schorre a également été distingué dans la mesure du possible. La Figure 4 illustre le type de rendu possible à partir des données digitalisées sur l'estuaire du Lay.



A gauche : zoom sur l'embouchure du Lay avec une distinction schorre/zones intertidales vaseuses

A droite : surface des zones intertidales et surface à BM du Lay (la compilation de ces 2 surfaces permet d'obtenir la surface à PM).

Figure 4 : Exemple de données obtenues par digitalisation des ortho-littorales V2 sur l'estuaire du Lay (Sottolichio et al., 2015)

Ce type de données surfacique peut permettre de quantifier la proportion de zones intertidales (et pour quelques estuaires, la proportion du schorre) à l'échelle de l'estuaire (Figure 5) ou par tronçon homogène pour compléter l'indicateur hypsométrique M2 en l'absence de MNT exploitable (cf paragraphe 2.1.4).

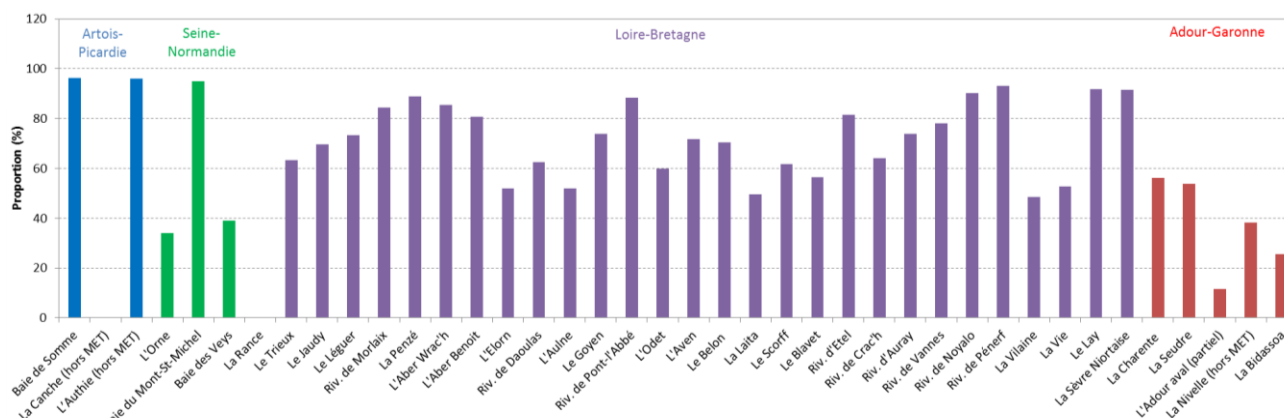


Figure 5 : Proportion de zones intertidales (schorre compris) en fonction de la superficie à pleine mer des estuaires de la Façade Manche-Atlantique, déterminées à partir des surfaces digitalisées sous SIG (Sottolichio et al., 2015)

2.1.4. Conceptualisation des indicateurs HMS en estuaires et application sur des estuaires schématisés et réels (phase 1 et 2)

Sur la base des réflexions menées durant la phase 1 de l'action Ifremer (Le Hir, 2014), divers indicateurs ont été présélectionnés en vue de tester leur pertinence pour évaluer la qualité HMS des estuaires : indicateurs relatifs à la morphologie, à l'hydrodynamique, à l'hydrologie et aux sédiments. Certains d'entre eux ont été testés lors de la phase 2 du projet sur des estuaires schématisés (Bouvier, 2014 ; Le Hir et Bouvier, 2015) et sur quelques estuaires « réels » (Sottolichio et al., 2016) pour lesquels des données ont pu être collectées lors de l'inventaire réalisé en 2014 par Géo-Transfert.

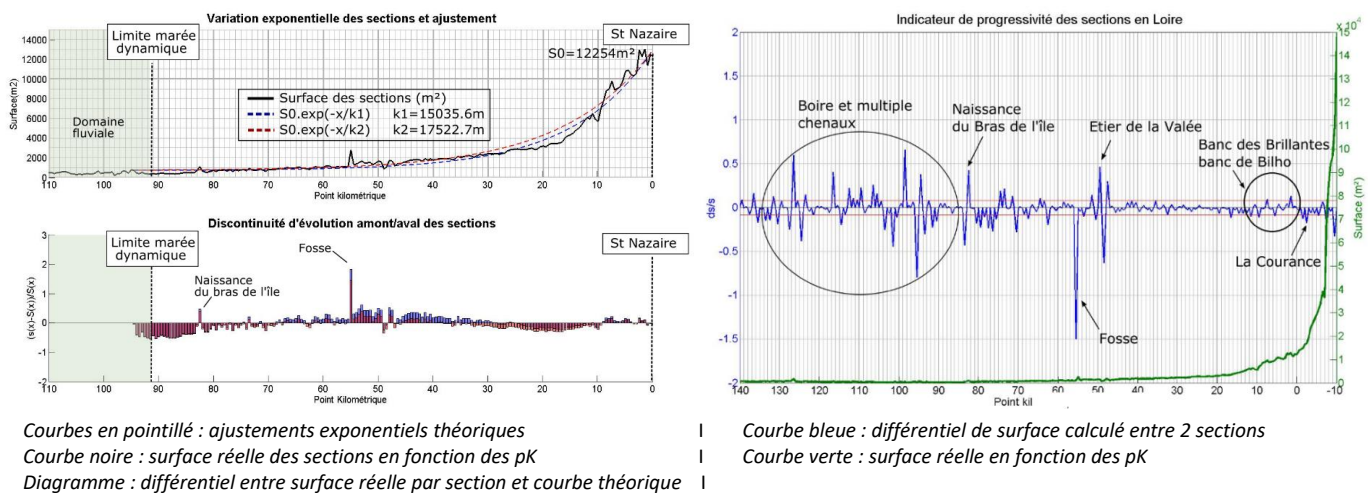
INDICATEURS RELATIFS A LA MORPHOLOGIE

M1 : indicateur de défaut de convergence (évolution des sections)

Un estuaire est un système dynamique dont la morphologie est modelée sous l'action des courants et de la dynamique sédimentaire (transport sédimentaire et processus d'érosion/dépôt). Un estuaire proche de l'équilibre morphodynamique est dit « convergent » dès lors qu'il se présente en forme d'entonnoir dans

lequel les sections transversales évoluent de manière exponentielle de l'amont vers l'aval (Le Hir et Bouvier, 2015).

L'indicateur proposé vise à évaluer l'évolution/la progressivité des sections d'un estuaire de l'amont vers l'aval afin de localiser d'éventuelles discontinuités morphologiques. Si une discontinuité est présente (crée par des digues par exemple), elle peut entraîner un déséquilibre dans le fonctionnement HMS de l'estuaire (modification des gradients de courant, des processus d'érosion/dépôt, de la dynamique sédimentaire,...). La méthode d'évaluation proposée s'appuie sur une comparaison de la surface des sections de proche en proche. Il est possible en premier lieu de représenter la surface de chaque section en fonction des points kilométriques (pK). L'indicateur vise alors à calculer l'écart entre ces surfaces et des valeurs théoriques généralement représentées par une courbe exponentielle, à ajuster au cas par cas (Figure 6 - graphiques de gauche). Pour éviter cet ajustement potentiellement aléatoire, il est proposé de faire évoluer la méthode de calcul au travers de la dérivée $\Delta S/S$ (Figure 7) et de considérer que le système est en « bon état » si cette valeur ne dépasse pas un seuil donné qui reste à valider (Figure 6 - graphiques de droite). Si le $\Delta S/S$ dépasse le seuil, l'étape suivante consiste à déterminer si la discontinuité morphologique est naturelle (p ex pointe rocheuse) ou liée à des aménagements anthropiques.



Courbes en pointillé : ajustements exponentiels théoriques

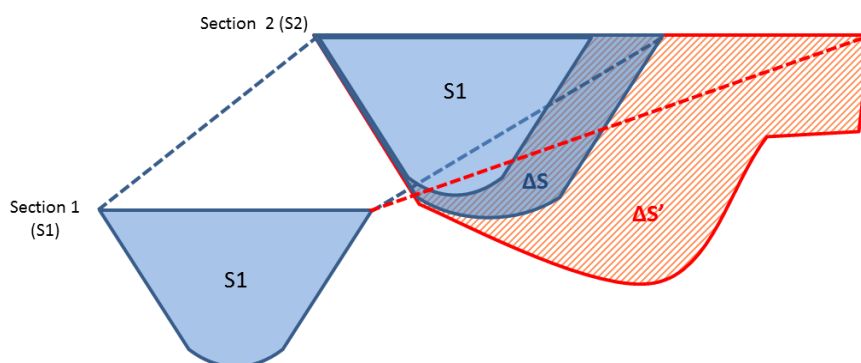
Courbe noire : surface réelle des sections en fonction des pK

Diagramme : différentiel entre surface réelle par section et courbe théorique

Courbe bleue : différentiel de surface calculé entre 2 sections

Courbe verte : surface réelle en fonction des pK

Figure 6 : Evolution de la surface des sections en fonction des points kilométriques (pK) de l'estuaire de la Loire (gauche) et différentiel de surface calculé entre 2 sections consécutives (droite) (Sottolichio et al., 2016)



Il est considéré que :

Si $\Delta S/S_2$ est compris dans l'intervalle fixé (ex +/- 10 %), l'estuaire respecte la progression exponentielle des sections.

Si $\Delta S'/S_2$ n'est pas compris dans l'intervalle, une discontinuité est mise en avant. Son origine (naturelle ou liée à un aménagement) sera à déterminer.

Figure 7 : Schéma explicatif du calcul du différentiel de surface pour l'indicateur morphologique M1

Des tests ont été réalisés pour déterminer s'il est possible de s'affranchir de la surface des sections (qui nécessite des relevés bathymétriques plus ou moins fins) pour calculer l'indicateur M1 en utilisant la largeur de ces sections qui est simple à acquérir avec des photos aériennes). Une corrélation entre ces deux paramètres semble exister dans certains cas (cas de l'estuaire de la Seine, illustré dans Le Hir (2014)) mais pas pour d'autres (cas de la Gironde selon Sottolichio et al. (2016)). Il semble donc que le calcul de cet indicateur doit être fait à partir des surfaces des sections pour donner des résultats fiables.

M2 : indicateur hypsométrique

L'indicateur hypsométrique permet d'évaluer si la distribution de zones intertidales et subtidales sont équilibrées le long de l'estuaire dans le but d'obtenir une continuité des habitats le long de l'estuaire. La Figure 8 (point 1) montre une vue en plan de la bathymétrie pour deux exemples de configuration d'estuaires schématiques très contrastés, obtenue par modélisation (tirés du rapport de Le Hir et Bouvier (2015)) :

- Un estuaire considéré en équilibre morphodynamique pour lequel une progression exponentielle des sections est observée. Cette configuration considère un gradient de courant uniforme le long de l'estuaire permettant entre autre une répartition homogène des différents types d'habitats le long de chaque section.
- Un estuaire présentant un élargissement ponctuel du chenal. Dans ce cas, le gradient de courant ne peut plus être uniforme sur l'ensemble de l'estuaire créant ainsi des zones de courants plus ou moins amortis là où le chenal s'élargit. D'après la simulation, ce type de configuration favorise la formation d'habitats subtidaux au détriment des habitats intertidaux aux environs de l'élargissement du chenal.

A partir de la bathymétrie, il est possible d'extraire la « largeur des habitats » intertidaux et subtidaux en fonction de la largeur de la section (point 2) pour chaque pK, afin d'estimer la proportion de chaque type d'habitat le long de l'estuaire (point 3).

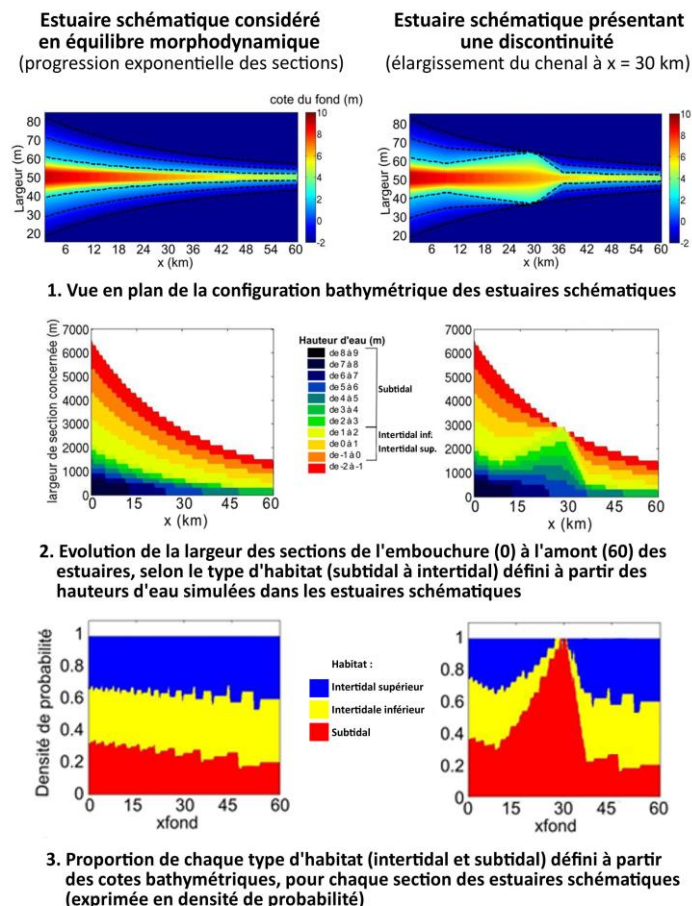


Figure 8 : Evolution longitudinale des sections pour 2 configurations d'estuaires schématiques contrastées (tiré de Le Hir et Bouvier, 2015)

Un estuaire sera jugé en « bon état » selon cet indicateur s'il présente une proportion minimale (ex 10 %) de chaque type d'habitat en tout point. Ceci reste à discuter notamment vis-à-vis d'une probable adaptation des espèces, en cas d'interruption ponctuelle de ces habitats le long de l'estuaire (ex selon la distance maximale acceptable entre deux zones de repos pour les poissons).

La méthode a été testée sur l'estuaire de la Gironde à partir d'un MNT dont les résultats sont présentés dans la Figure 9 (Sottolichio et al., 2016).

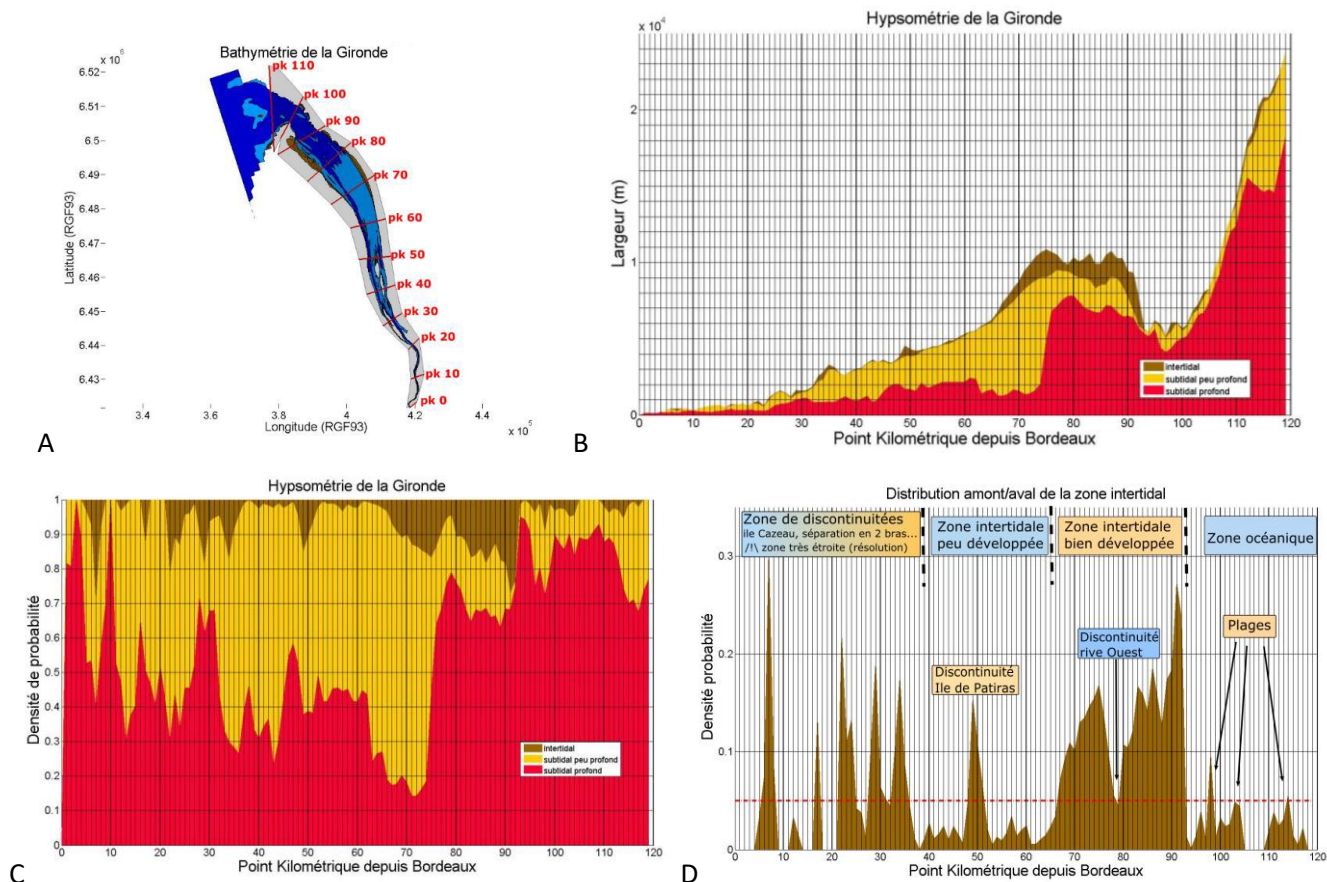


Figure 9 : Application de l'indicateur hypsométrique à l'estuaire de la Gironde (Sottolichio et al., 2016)

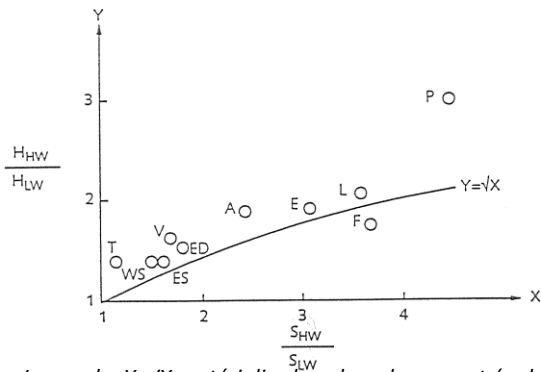
A : Localisation des pk de l'estuaire de la Gironde - B : Largeur des différents types d'habitat le long de l'estuaire (tirées d'un MNT) - C : Proportion de chaque habitat (exprimé en densité de probabilité) - D : extraction de la proportion des zones intertidales obtenues d'après le graphique C.

Cette méthode permet d'évaluer plus particulièrement la proportion de zones intertidales (habitat essentiel en estuaire) en chaque section et leur continuité amont/aval (graphique D de la Figure 9).

Le schorre n'est pas actuellement intégré dans les tests de l'indicateur hypsométrique bien que cela puisse être intéressant à examiner. Etant à l'interface entre le milieu aquatique et terrestre, le schorre n'est pas systématiquement intégré dans les relevés topo-bathymétriques qui permettent la construction des MNT. Leur prise en compte peut nécessiter des relevés spécifiques à haute résolution pour pouvoir les considérer convenablement (GT HMS du 22 janvier 2015).

M3 : indicateur d'extension de la zone intertidale

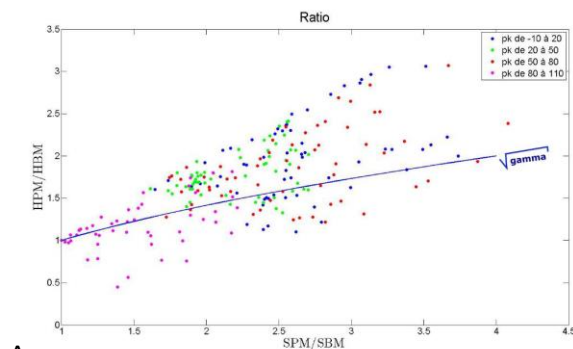
Un indicateur d'extension de la zone intertidale a été défini à partir des travaux de Dronkers sur l'équilibre morphologique d'un estuaire. Cet indicateur (« rapport γ ») permet d'évaluer la largeur des zones intertidales par comparaison du rapport entre les hauteurs à BM et PM avec le rapport des surfaces à BM et PM (Figure 10) (Sottolichio et al., 2016). Dronkers a mis en avant que si le rapport γ (calculé à l'échelle d'un estuaire) est proche de 1,1 alors le système est considéré en équilibre morphologique. Si γ est supérieur à cette valeur, cela indique que les zones intertidales sont peu développées - et à l'inverse, s'il est supérieur à 1,1, ces zones sont surdéveloppées - par rapport à un système en équilibre. L'extension des zones intertidales joue notamment un rôle fondamental dans la propagation de la marée (amplification ou amortissement de l'onde de marée) et par conséquent sur le fonctionnement global de l'estuaire.



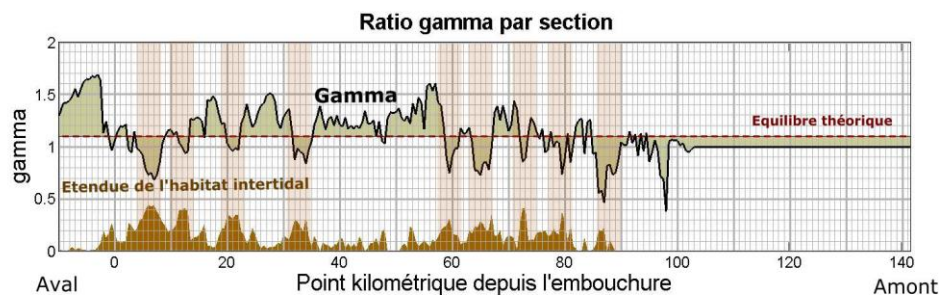
La courbe $Y=VX$ matérialise la valeur du rapport égale à 1,1 témoignant d'un estuaire en équilibre morphologique.

Figure 10 : relation entre les hauteurs à PM/BM et les surfaces à PM/BM pour différents bassins à marée des Pays Bas d'après Dronkers (Le Hir, 2014)

l'estuaire (Figure 11 - graphique B). Cet indicateur sera probablement abandonné pour éviter une redondance dans les évaluations.



A



B

A : valeurs du rapport γ pour toutes les sections de l'estuaire, comparées à la valeur d'équilibre

B : valeurs du rapport γ de chaque section, de l'amont vers l'aval, mises en parallèle avec les données obtenues avec l'indicateur hypsométrique M2 (histogramme marron)

Figure 11 : Test de l'indicateur sur l'extension des zones intertidales (M3) appliqué à l'estuaire de la Gironde (Sottolichio et al., 2016)

M4 : indicateur de sinuosité rivulaire

Cet indicateur a été proposé pour évaluer la présence d'abris (zone de faible courant) sur l'ensemble des berges de l'estuaire, importants pour les poissons en particulier. Inspiré de l'indice de sinuosité défini en rivière, l'indicateur de sinuosité rivulaire se caractérise par la somme des longueurs des deux rives de l'estuaire (périmètre des îles compris) rapportée à la longueur de l'estuaire prise en son axe (Figure 12) (Le Hir, 2014). La « cote de la rive » à

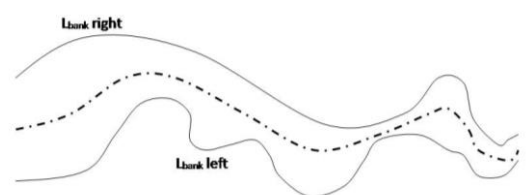


Figure 12 : représentation de la sinuosité d'un système fluvial ou estuarien (Le Hir, 2014)

considérer (mi-marée ou niveau de pleine mer) reste à déterminer.

L'objectif étant d'identifier les zones d'abris, la résolution des données utiles pour ce calcul joue un rôle essentiel dans le résultat. Ce dernier sera très sensiblement différent si les longueurs sont déterminées à partir de photos aériennes au 1/10 000 comparée à celles obtenues avec une carte au 1/100 000. Lors du GT HMS du 22 janvier 2015, une résolution à 10 m a été suggérée (CR en annexe 3). La réflexion autour de cet indicateur est restée au stade du concept (aucun test n'a été réalisé). La contrainte de son application qui sera chronophage sans méthode automatisée, pourrait être un argument contre le maintien de cet indicateur.

INDICATEURS LIES A L'HYDRODYNAMIQUE

H1 : distribution des courants de marée

Il est proposé de construire un indicateur décrivant la diversité transversale des courants de marée tout le long de l'estuaire. Un estuaire jugé en « bon état » d'après ce critère, présenterait une diversité des courants d'amont en aval et transversalement pour permettre une diversité des habitats en tout point (présence de zones calmes à agitées du point de vue hydrodynamique).

Les simulations de courant réalisées sur des estuaires schématiques montrent une analogie avec les résultats obtenus avec l'indicateur hypsométrique M2 (Figure 13), ce qui pourrait créer une redondance dans l'évaluation (risque présumé par le GT HMS du fait du lien étroit entre la bathymétrie et les courants) (Le Hir et Bouvier, 2015). Au premier abord, les tests réalisés sur des estuaires réels ne valident pas complètement cette théorie. Les différents résultats des tests sur les estuaires schématiques et réels devront être confrontés afin de conclure sur l'existence ou non d'une redondance dans l'évaluation de la qualité HMS (CR du comité de pilotage inter-estuaire du 23/02/2016).

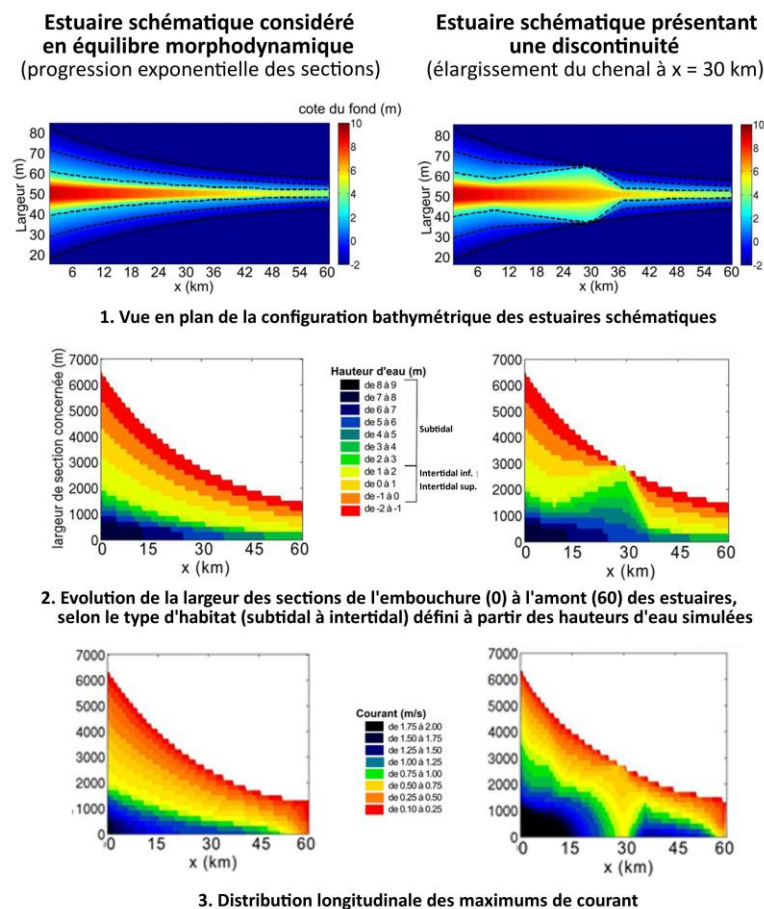


Figure 13 : Evolution longitudinale des sections et distribution des courants maximaux pour 2 configurations d'estuaires schématiques contrastées (tiré de Le Hir et Bouvier, 2015)

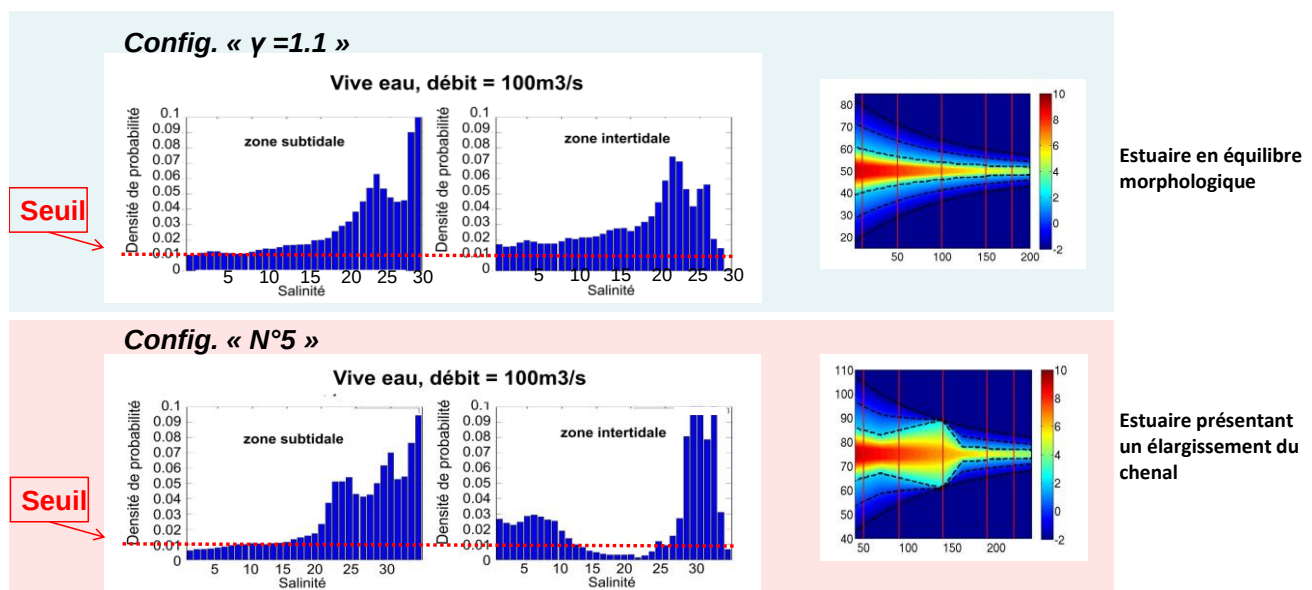
H2 indicateur agitations (régime de vagues)

Lors de la phase 1, il a été proposé de considérer l'action des vagues dans l'évaluation de la qualité HMS des estuaires du fait de son influence directe sur la couverture sédimentaire et la biologie (Le Hir, 2014). Après discussion, cet indicateur n'a pas été retenu par le GT HMS et ne fera pas l'objet de travaux complémentaires en raison de l'emprise de son influence limitée à l'embouchure des estuaires et de la difficulté de qualifier des critères de bon état relatifs à l'agitation des vagues en lien avec la biologie.

INDICATEURS LIES A L'HYDROLOGIE

H3 indicateur salinité

La présence d'un gradient de salinité est l'une des spécificités des milieux estuariens et joue un rôle prépondérant dans la répartition spatiale de certaines espèces. L'extension des zones halines est par ailleurs un témoin du fonctionnement hydrologique d'un estuaire. L'hypothèse avancée par le GT HMS est qu'il est préférable de favoriser l'extension spatiale des salinités intermédiaires (mésohaline) pour renforcer le caractère typiquement estuarien des eaux saumâtres ou du moins qu'elles soient bien représentées dans un estuaire. Du fait de sa forte influence sur les peuplements benthiques, des tests ont été réalisés en considérant les salinités du fond, durant un laps de temps suffisants pour tenir compte des alternances de crue et d'étiage. Le type de milieux (zones subtidales et intertidales) a également été distingué dans les simulations (Figure 14).



Un seuil de 0.01 est ici figuré pour illustrer une valeur indicatrice d'état HMS favorable à l'état écologique. Ce seuil doit être validé par les experts.

Figure 14 : Distribution en densité de probabilité, des salinités de fond pour deux configurations d'estuaires schématiques, en distinguant les habitats subtidaux et les habitats intertidaux (Le Hir et Bouvier, 2015)

Dans le premier cas de figure (estuaire en équilibre), toutes les gammes de salinité sont bien représentées dans l'estuaire. Dans le second cas (élargissement localisé du chenal), les salinités moyennes (14-24) sont peu représentées dans les zones intertidales ce qui pourrait être défavorable pour la biologie (les vasières mésohalines étant réputées pour être productives).

La pertinence de cet indicateur est a priori confirmée par les premiers tests réalisés sur les estuaires de la Gironde et la Loire. Une confrontation entre les résultats obtenus sur les estuaires schématiques et réels reste à faire pour conclure sur cette proposition d'indicateur. La définition du seuil limite à ne pas dépasser est par ailleurs, complexe à définir d'autant plus dans un contexte de changement climatique (réduction des débits, marinisation potentielle des estuaires).

H4 indicateur stratification

Un travail a été initié pour évaluer la possibilité d'identifier des secteurs à stratification probable, susceptible d'entraîner des hypoxies ou anoxies des eaux de fond dans les systèmes propices à l'eutrophisation. L'indicateur proposé est le nombre de Richardson qui caractérise l'intensité des mélanges turbulents susceptibles d'empêcher une stratification des eaux.

Les résultats pour l'estuaire schématisé ont fait apparaître un nombre de Richardson élevé dans le secteur d'embouchure où les hauteurs d'eau sont importantes et les courants faibles, même si les stratifications n'y sont pas élevées. C'est typiquement ce qui se passe en baie de Vilaine, secteur côtier métropolitain le plus susceptible d'eutrophisation, mais la pertinence du paramètre dans les secteurs à risque présents plus en amont, reste à démontrer. Des tests pourront être faits sur un estuaire réaliste, connu pour des occurrences d'hypoxie (exemple de l'estuaire de la Loire en aval de Nantes) avant de conclure (Le Hir et Bouvier, 2015).

INDICATEURS LIES AU SEDIMENT ET A SA RE-SUSPENSION

Lors de la phase 1, un indicateur relatif à la diversité des faciès sédimentaires n'a pas été retenu par le GT HMS pour diverses raisons. La couverture sédimentaire d'un estuaire est naturellement très variable et peut évoluer rapidement en un point donné selon les conditions hydrodynamiques et les apports en MES. Il est ainsi difficile d'atteindre/de fixer une « couverture voulue » mais également de dire si telle ou telle couverture est plus favorable à la biologie qu'une autre (CR GT HMS du 30 avril 2014 - annexe 3). De plus, cet aspect peut être retranscrit au travers d'autres paramètres qui ont une influence directe sur la couverture sédimentaire notamment les courants (indicateur H1).

Un second aspect de ce volet concerne la turbidité des eaux susceptible de jouer un rôle non négligeable dans les problèmes d'hypoxie. Les valeurs de turbidités pouvant extrêmement varier d'un estuaire à un autre (même naturellement), la définition de seuils limite est scientifiquement difficile à justifier. Une approche spatiale ciblant l'extension ou la remontée du bouchon vaseux pourrait être étudiée. Bien que le GT HMS ne s'est pas actuellement penché sur des tests d'un indicateur lié à la turbidité des eaux, une proposition a été faite d'analyser ce paramètre au travers des débits d'étiage (remontée, stagnation, expulsion des particules en suspension selon le débit) (Le Hir, 2014). Au terme des deux phases de travail, des questionnements sur l'évaluation de la turbidité persistent toujours.

2.1.5. Suites à donner aux travaux du GT HMS

Les travaux menés par le GT HMS n'ont pas permis au terme des deux phases d'aboutir à des indicateurs opérationnels dans l'immédiat. Les différents tests permettent tout de même de progresser dans la sélection des indicateurs applicables ou non selon les données accessibles et sur la question de la redondance des paramètres.

D'après le point sur l'avancement de ces travaux fait au cours du comité de pilotage du 23 février 2016 (CR en annexe 2), certaines réflexions restent à mener :

- Une confrontation entre les résultats de la démarche conceptuelle et ceux des tests réalisés sur des estuaires réels reste à faire pour conclure sur ces premiers éléments.
- Des premières pistes de préconisations opérationnelles pour les Agences de l'eau peuvent être dégagées courant 2016, en discernant la phase de diagnostic HMS initial de la phase de surveillance de la qualité du milieu notamment sur la résolution minimale des données bathymétriques nécessaires pour calculer certains indicateurs HMS.
- Une réunion des experts associés au GT HMS, y compris des biologistes est à mettre en place au printemps 2016 pour faire un point sur les résultats obtenus et valider les indicateurs testés.

2.2. Indicateur(s) basé(s) sur l'oxygène dissous

Le groupe de travail du 25 mars 2013 a mis l'accent sur la nécessité de développer prioritairement une méthode d'évaluation de la qualité des eaux basée sur l'oxygène dissous compte tenu de l'inadaptabilité de l'indice développé par l'Ifremer aux masses d'eau de transition. Suite à cette réunion, une action centrée sur cette problématique a pu être définie et lancée en 2014 (porteur : M. Lepage, IRSTEA Bordeaux).

2.2.1. Contenu du projet

Le projet porté par l'IRSTEA de Bordeaux vise à qualifier l'état écologique des estuaires au travers de l'intensité, la durée et l'étendue des épisodes hypoxiques et de faire le lien avec la biologie au travers de la tolérance à des déficits en oxygène, des alosons et des crevettes blanches, tous deux sensibles à ce type de perturbation. Les relations pression-impact relatives à l'oxygène étant particulièrement difficiles à quantifier, la démarche prévoit d'établir dans un premier temps, des risques d'effets nocifs encourus par ces espèces, lors d'une exposition plus ou moins prolongée à des déficits en oxygène. Selon les résultats obtenus, des propositions d'optimisation de la stratégie d'échantillonnage pour le suivi DCE de l'oxygène dissous dans les MET doivent être faites sur la base d'une analyse des conditions propices aux désoxygénations des eaux dans les trois grands estuaires (analyse statistique des données haute fréquence disponibles sur ces estuaires). Ainsi, les tâches à accomplir sont :

- un traitement des données haute fréquence acquises sur les grands estuaires grâce aux réseaux de mesure SYNAPSES (estuaire de la Seine), SYVEL (estuaire de la Loire) et MAGEST (estuaire de la Gironde). Pour l'estuaire de la Seine, la température n'étant pas accessible en 2014 via le réseau SYNAPSES, ces données ont dû être récupérées auprès de l'Agence de l'eau Seine-Normandie ;
- une campagne terrain durant une hypoxie dans l'estuaire de la Gironde dans un premier temps, pour déterminer l'étendue de la zone hypoxique ;
- des tests en laboratoire (dans la continuité de ceux réalisés dans le cadre du programme ETIAGE) visant à soumettre des organismes à des stress hypoxiques plus ou moins intenses afin de déterminer les effets de ce stress sur le comportement des espèces ciblées.

Un CDD d'un an a été financé dans le cadre de la convention Onema/IRSTEA pour réaliser ces tâches.

2.2.2. Quelques résultats

Les éléments présentés ci-dessous sont tirés du rapport provisoire de Lepage et al. (2015), en cours de validation.

Tâche 1 : traitement des données haute fréquence

L'ensemble des mesures physico-chimiques acquises par les trois réseaux de suivi haute fréquence (SYNAPSES, SYVEL, MAGEST) ont été collectées et ont dû faire l'objet d'un prétraitement. Hormis la suppression des données aberrantes constatées sur chaque réseau, d'autres difficultés ont été rencontrées telles que des « sauts » dans la base de données MAGEST du fait de brefs retards ponctuels (1 min) de la mesure de turbidité créant ainsi des décalages de ligne dans la base de données récupérée ou encore une correction de données oxygène sur une station du réseau SYVEL en raison d'un problème de calibration initial de la sonde. Ces corrections impératives ont rendu la constitution de la base de données plus chronophage que prévu ce qui a eu un impact sur la progression de l'ensemble du projet.

Des analyses statistiques ont pu être réalisées (exemple de rendu dans la Figure 15) ce qui a permis de mettre en avant certains facteurs (température, MES, débit, position de la station par rapport à des agglomérations...) favorisant les hypoxies.

La durée des hypoxies a également pu être appréhendée *via* des calculs de durée d'hypoxies par station (Figure 16) ou encore de pourcentage de temps pendant lequel des hypoxies sont rencontrées sur chaque station, en tenant compte des périodes de (dys)fonctionnement des sondes. Ce travail n'a pas été réalisé pour l'estuaire de la Seine car aucune hypoxie (inférieure à 5 mg/L) n'a été enregistrée par les stations du réseau SYNAPSES depuis sa mise en service (Lepage et al., 2015 - en cours de validation).

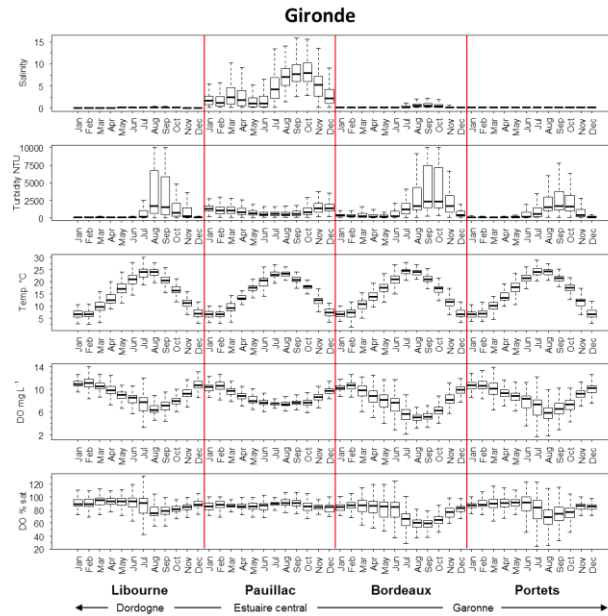


Figure 15 : Analyses statistiques réalisées à partir des données MAGEST acquises entre 2005 et 2013 au niveau des stations de Libourne, Pauillac, Bordeaux et Portets, localisées sur l'estuaire de la Gironde (Lepage et al., 2015 - en cours de validation)

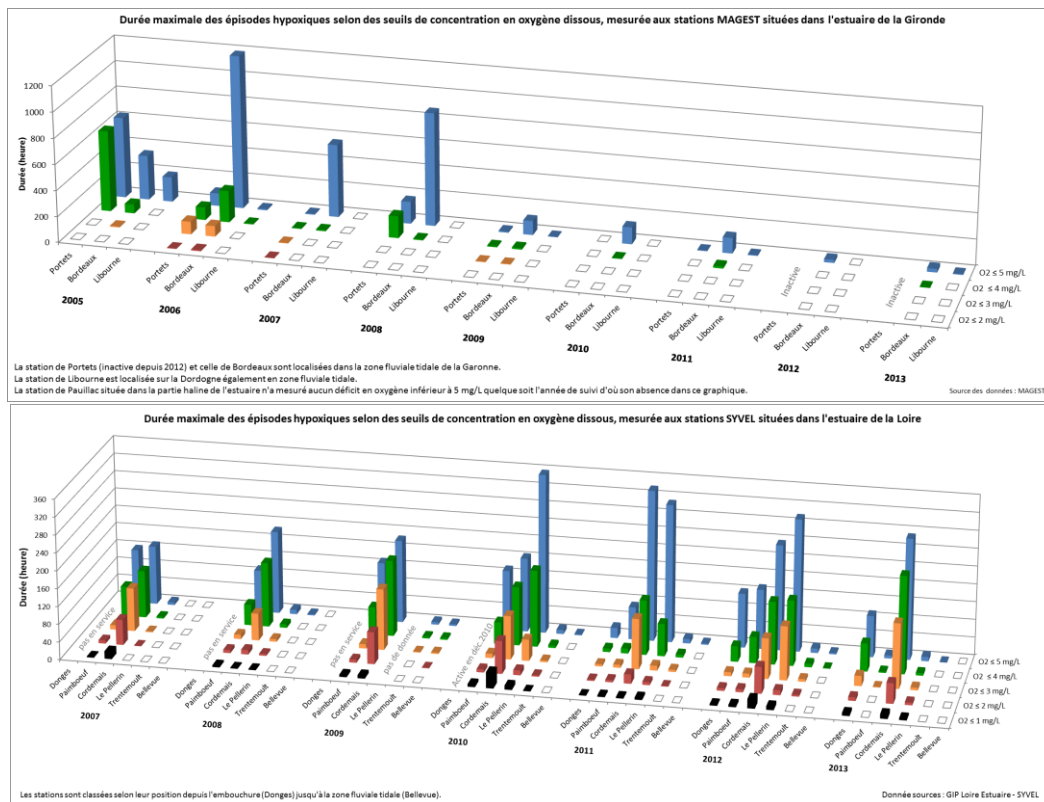


Figure 16 : Durées maximales des épisodes hypoxiques calculées selon différents seuils pour chacune des stations présentes le long de les estuaires de la Gironde (haut) et de la Loire (bas) (Lepage et al., 2015 - en cours de validation)

Tâche 2 : délimitation de la zone hypoxique dans l'estuaire de la Gironde

Grâce aux acquis du programme ETIAGE et aux analyses des données haute fréquence, il semble possible d'anticiper un minimum les éventuelles hypoxies dans l'estuaire de la Gironde. En effet, ces travaux ont permis de déterminer la valeur de débit ($< 200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), de température des eaux ($> 24^\circ\text{C}$) et le coefficient de marée à partir desquels des hypoxies sont les plus probables dans cet estuaire (Lepage et al., 2015 - en cours de validation). Par ailleurs, la transmission des données brutes mesurées par le réseau MAGEST est

quasiment instantanée ce qui permet de constater très rapidement un problème de déficit en oxygène des eaux au droit de chaque station. Ainsi, en surveillant ces différents paramètres simples à obtenir, l'IRSTEA a pu se tenir en alerte et être capable d'intervenir rapidement sur le terrain. Pour pouvoir délimiter la zone hypoxique la plus impactante pour la biologie, il est nécessaire de réaliser la campagne terrain durant une hypoxie sévère. Or, au cours de l'été 2014, les conditions climatiques et hydrologiques n'étaient pas propices à ce type d'hypoxie. Les données MAGEST montrent qu'entre juillet et août 2014, la teneur en oxygène dissous à Bordeaux (site où les hypoxies sont les plus sévères) n'est pas descendue en dessous de 5.0 mg/L et la température a varié entre 20.6 et 25.8°C. Cette campagne de délimitation spatiale de la zone hypoxique n'a donc pas pu être réalisée. L'IRSTEA a proposé de maintenir cette surveillance des hypoxies en Gironde l'année suivante et de mettre en place des sondes sur le terrain si besoin (hors cadre d'une action Onema).

Tâche 3 : détermination de la tolérance des organismes aux déficits en oxygène dissous

Au cours du programme ETIAGE, des tests ex-situ ont été réalisés afin de déterminer l'effet d'exposition de juvéniles d'aloise à de faibles concentrations en oxygène et cela à deux températures. Ces tests avaient permis d'établir les fenêtres d'opportunités migratoires des alosons durant leur période habituelle de migration. Des seuils d'hypoxie à partir desquels des altérations comportementales de ces juvéniles d'aloise (sur la nage, leur équilibre et leur mortalité) ont été déterminés pour une température de l'eau à 20°C puis 25 ° C. Des tests complémentaires ont été réalisés dans le cadre du projet financé par l'Onema afin de définir plus précisément les durées maximales d'exposition d'alevins en condition d'hypoxie plus ou moins sévère à partir desquelles des perturbations physiologiques sont constatées. Pour des raisons techniques, les tests sur les alosons n'ont pas pu être reproduits (cf Lepage et al., 2015 - en cours de validation). Ils ont tout de même été réalisés sur d'autres organismes : le gobie et la crevette blanche (crevette autochtone des estuaires).

Les crevettes blanches et les gobies ont été soumis à une diminution graduelle du niveau d'oxygène à température constante (à 20 et 25°C). Quatre bacs ont été utilisés avec des concentrations en oxygène dissous différentes : 1 bac à 7.5 mg/L d'oxygène (témoin), 5 mg/L, 3.5 mg/L et 2 mg/L. Ces concentrations ont été maintenues durant 6 heures. Le comportement des individus a été observé en tenant compte des critères suivants :

- Altération du comportement natatoire : nage saccadée, départ brutal (burst), pipage en surface...
- Perte d'équilibre : déséquilibre latéral, nage oblique, nage à l'envers...
- Mort : arrêt des battements operculaires

Certaines perturbations comportementales ne sont pas évidentes à observer notamment les perturbations de la nage chez la crevette qui peut faire des départs brutaux même dans des eaux bien oxygénées. Ceci a contribué aux difficultés d'interprétation des résultats obtenus auquel s'ajoutent des observations contraires ou inattendues par rapport à d'autres projets menés.

Les durées maximales d'hypoxies que les organismes testés peuvent supporter ne sont donc pas simples à déterminer sur la base des tests faits en 2014. La Figure 17 synthétise les résultats obtenus lors des expérimentations réalisées sur le gobie (M. Lepage - comité de pilotage 23/02/2016). Les expériences sont peu concluantes (ex. pas de différence de comportement entre une exposition à 2 et 5 mg/L).

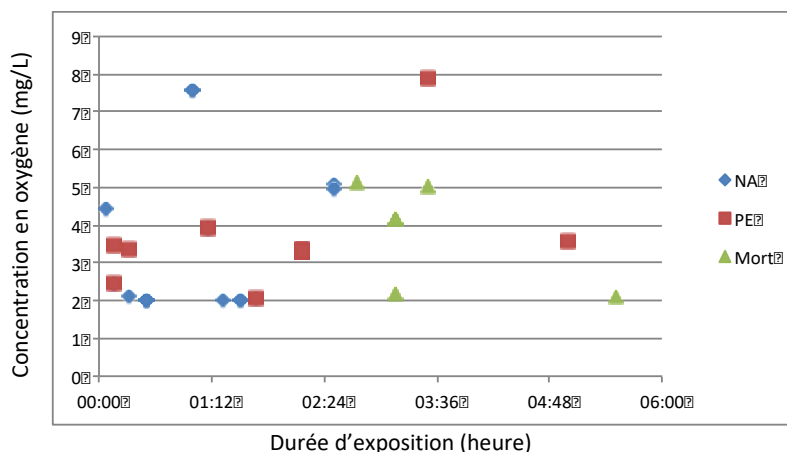


Figure 17 : Comportements observés chez des gobies soumis à différentes conditions d'oxygénation des eaux (nage altérée (NA), perte d'équilibre (PE), Mortalité) durant 6h (M. Lepage - comité de pilotage 23/02/2016)

2.2.3. Suites à donner aux travaux

Etant donné que les expérimentations en laboratoire n'ont pas donné de résultats concluants et que les tests *in situ* pour délimiter l'extension de la zone hypoxique n'ont pas pu être réalisés (absence d'épisode hypoxique en Gironde durant le projet), l'IRSTEA a proposé une poursuite de ces travaux à compter de 2017, lors du comité de pilotage du 23 février 2016 (CR en annexe 2).

La proposition, acceptée en séance, prévoit :

- 2017-2018 : poursuivre la quantification des paramètres retenus lors de la première phase du projet
 - (1) Evaluation de l'extension des zones hypoxiques en disposant des capteurs oxygène autonomes (optodes) dans des secteurs où des déficits sont habituellement observés, et cela durant toute la période estivale pour densifier le réseau MAGEST sur l'estuaire de la Gironde aux environs de Bordeaux et valider l'étendue de la zone d'hypoxie mesurée sur l'estuaire de la Loire par SYVEL (en l'absence d'hypoxie récurrente sur l'estuaire de la Seine, aucun suivi terrain n'est prévu).
 - (2) Pousser la réflexion sur l'intensité des hypoxies en vérifiant sur quelques stations les écarts fond/sub-surface voire rive droite/rive gauche avec des optodes si les stations haute fréquence (HF) ne le permettent pas. Seules deux stations HF le permettent actuellement : station SYVEL à Donges dans la partie centrale de l'estuaire de la Loire et la station SYNAPSES à Tancarville dans l'estuaire de la Seine.
 - (3) Retenter l'expérimentation sur la tolérance à l'hypoxie des gobies et crevettes blanches (stage M2, en faisant appel à des formations spécifiques en aquaculture).
- 2019 : analyser de nouveau, l'ensemble des données pour définir une stratégie de surveillance DCE et établir une grille de qualité pour l'oxygène

Selon les résultats obtenus, ces travaux pourraient être croisés avec ceux de la thèse en cours à EPOC sur des essais de modélisation de l'oxygène dans l'estuaire de la Gironde. Si une modélisation fiable est possible, des suivis DCE pourraient être couplés à un modèle pour permettre une évaluation à large échelle de la qualité des eaux des estuaires (étendue, durée et intensité des hypoxies).

2.3. Autres paramètres physico-chimiques : température, salinité, turbidité

Au cours de la réunion du 25 mars 2013, il a été décidé que :

- La **température** est jugée pertinente à surveiller mais pas à évaluer avec un indice spécifique. S'il s'avère que la température joue un rôle prépondérant dans la qualité écologique des estuaires, une réflexion sera menée ultérieurement pour effectuer une évaluation de ce paramètre. Actuellement, elle n'est pas jugée comme telle.
- Des travaux en cours sur les indicateurs hydromorpho-sédimentaires (HMS) prévoient d'intégrer les paramètres **salinité et turbidité** dans l'évaluation de la qualité HMS des eaux de transition (action 2013-2015 menée par l'Université de Bordeaux et l'Ifremer). Par conséquent, il n'est pas envisagé de lancer d'autres travaux spécifiques sur le sujet pour éviter une double évaluation.

2.4. Indicateurs basés sur les invertébrés benthiques

2.4.1. Rappel du contexte

Pour répondre à la DCE, il est demandé de disposer d'un indicateur de qualité « invertébrés benthiques » qui (Y. Reyjol, comité de pilotage du 23 janvier 2015) :

- intègre la diversité, l'abondance et les taxons sensibles ;
- soit relié de manière statistiquement significative aux pressions anthropiques (ou à un indice global de pression) ;
- permettre un classement en 5 classes de qualité ;

- soit intercalibré avec les autres outils européens c'est-à-dire comparé et harmonisé avec les indicateurs des autres Etats Membres (EM).

A la suite d'une campagne d'acquisition de données sur les invertébrés benthiques (en intertidal et subtidal) sur 11 estuaires français en 2008, de nombreux benthologues se sont associés pour développer un indicateur de qualité DCE-compatible nommé MISS-TW (action Ifremer/Onema). De nombreuses métriques ont été testées pour ne retenir que celles jugées les plus pertinentes pour qualifier l'état du milieu soit 9 métriques sur les 81 testées. Des classes de qualité ont également été définies pour aboutir à un classement de l'état de chaque MET. A la vue des résultats obtenus, il a été constaté un manque de discrimination dans le classement des MET, lié à des difficultés de mettre en avant les relations entre l'état des peuplements benthiques et les pressions anthropiques subies. En somme, les métriques retenues ne sont pas suffisamment reliées statistiquement aux pressions anthropiques subies et un indice de pression complémentaire (à l'image de ce qui a été réalisé pour l'indice ELFI sur les poissons) n'a pas pu être développé dans le cadre de ce projet.

Une réflexion a donc été lancée dans le cadre de la coordination inter-estuariers en vue d'aboutir à une méthode opérationnelle d'évaluation des invertébrés benthiques en eaux de transition.

2.4.2. Démarche envisagée

Suite au groupe de travail du 11 mars 2015¹, des pistes de travail pour progresser sur l'indicateur « invertébrés benthiques » français ont été dégagées. Compte tenu des données disponibles (données biologiques, pressions et habitats) et de l'avancement des travaux menés au niveau européen, il est proposé de s'appuyer, en premier lieu, sur les outils en cours d'intercalibration développés par les autres EM pour une application sur les estuaires français. Cette option a été privilégiée pour diverses raisons : (1) une adaptation de l'indice MISS-TW répondant mieux aux pressions semble difficile à mettre en œuvre, (2) dans la mesure où les outils des autres EM sont utilisés dans d'autres estuaires européens, il est probable qu'ils soient également pertinents dans les estuaires français et (3) ces outils devraient être intercalibrés dans les délais requis par l'Europe.

D'après l'Onema (qui a suivi le 2nd round de l'exercice d'intercalibration), une typologie d'estuaire a été harmonisée à l'échelle européenne (en tenant compte des estuaires français). Une base de données sur les invertébrés a été constituée dans laquelle sont intégrées les abondances et les biomasses au niveau de l'espèce, standardisées pour une même surface d'échantillonnage et un même diamètre de tamisage des échantillons. Les différents réplicats issus d'une même station ont par ailleurs été moyennés. A partir de ces données, tous les indices en intercalibration développés par les EM du NEA GIG (M-AMBI basque espagnol, M-AMBI allemand, IQI, BAT, TAsBeM, QSB, AeTI, BQI) ont été calculés, y compris avec les données françaises acquises sur 7 des 11 estuaires durant la campagne de 2008 (ne figurent pas dans la base, les données de la Baie de Somme, l'estuaire de l'Orne, la Baie du Mont-Saint-Michel et la Baie de l'Aiguillon).

Etant donné ces tests menés en parallèle par le NEA GIG, il est proposé de déterminer si l'un de ces outils « européens » peut fournir des résultats satisfaisants sur les estuaires français. Pour cela, deux options se présentent :

- Repartir du fichier européen accessible (avec un nombre d'estuaires français réduit) dans lequel apparaissent la valeur calculée des différentes métriques qui composent les indices et celle des EQR finaux. Toutefois, ce fichier ne donne pas accès aux formulations précises des indices qui permettraient d'étendre les calculs à d'autres estuaires français.
- Contacter les experts européens pour avoir le détail des algorithmes de chaque indicateur et être ainsi plus autonome pour calculer les différentes métriques sur un maximum de données disponibles en estuaires. Cette option permettrait une analyse plus robuste de la pertinence des outils mais il reste à déterminer si ces informations seront accessibles.

¹ Présents : Hugues Blanchet (EPOC), Mario Lepage (IRSTEA), Valérie Foussard (Université de Rouen), Marie Claude Ximénès (ONEMA), Rémi Buchet (Université de Nantes)

Dans un second temps, il sera nécessaire de déterminer si les métriques sélectionnées répondent aux pressions anthropiques. Cette tâche nécessite de tester statistiquement :

- les métriques biologiques vs les métriques de pressions individuelles ;
- les métriques biologiques vs les métriques de pressions agrégées via une méthode de scoring (élaboration d'indicateurs par grand type de pression, voire un indicateur « global » à l'échelle d'une masse d'eau).

Pour effectuer cette analyse statistique, il est possible de s'inspirer de travaux semblables réalisés par l'IRSTEA pour le développement de l'indicateur ELFI et de l'indice de pression associé (contact : Mario Lepage et rapport méthodologique accessible).

Les suivis des invertébrés benthiques étant réalisés sur plusieurs stations (intertidales et subtidales) par masse d'eau, une réflexion devra également être menée sur la méthode d'agrégation soit des données par MET si cela est pertinent, soit des EQR obtenus par station pour obtenir un EQR unique pour chaque MET.

Si aucun des outils testés ne se révèle applicable aux estuaires français, alors il sera nécessaire de se pencher sur un outil spécifique aux MET françaises (adaptation de MISS-TW ou nouvel indice développé selon une méthode analogue à celle utilisée pour le développement de l'indice ELFI ?). Cet indicateur devra donc être intercalibré *a posteriori*.

2.4.3. Définitions des besoins en termes de données

Données biologiques

Un point sur les données biologiques mobilisables est nécessaire pour évaluer la faisabilité d'une analyse statistique sur l'ensemble des MET avec entre autre les données issues de :

- La campagne de 2008 sur 11 estuaires (Baie de l'Aiguillon, Belon, Bidassoa, Charente, Gironde, Loire, Baie du Mont-Saint-Michel, Orne, Seine, Baie de Somme et Trieux) ;
- Les suivis DCE mis en place par diverses Agences de l'eau malgré l'absence d'indicateurs opérationnels ;

Les opérateurs de suivis locaux tels que les partenaires du Réseau des Stations et Observatoires Marins (RESOMAR) qui rassemble une grande partie de la communauté de benthologues marins et estuariens français, devront être contactés pour compléter cet inventaire.

Les méthodes d'échantillonnage et d'analyse sont également nécessaires à collecter afin d'établir si les données sont exploitables au même titre (compatibilité des méthodes, homogénéité des paramètres suivis...).

Données sur les pressions anthropiques

Une base de données sur les pressions anthropiques ayant un impact sur la biologie en estuaires a été développée courant 2014 grâce au soutien financier de l'Onema. Son alimentation se poursuit encore actuellement pour les besoins d'autres projets (contact : Rémi Buchet, Université de Nantes). Cette base centralise des données de type pourcentage de berges artificialisées, emprise des activités aquacoles, données sur les contaminations métalliques dans le biote... Ces données doivent être exploitées avec précaution selon le type d'informations qui ont pu être récoltées (p ex quantitatives ou classes de pression attribuées à dire d'expert), selon les méthodes d'acquisition ou de quantification de certaines pressions (p ex utilisation de buffer), le risque de redondance...

Au-delà de la problématique relative aux invertébrés benthiques, cette base de données est également très utile dans d'autres contextes tels que le projet sur le développement d'indicateurs de qualité basé sur le microphytobenthos (coordonné par l'Université de Nantes) ou sur les fonctions écologiques.

III. DEVELOPPEMENT D'INDICATEURS COMPLEMENTAIRES D'EVALUATION DE LA QUALITE ECOLOGIQUE DES ESTUAIRES (OBJECTIF 1)

3.1. Le microphytobenthos

3.1.1. Contexte et démarche

Une évaluation de la qualité des eaux estuariennes turbides n'étant pas possible au travers du phytoplancton, il est proposé de pallier ce manque en s'intéressant au microphytobenthos (organismes unicellulaires photosynthétiques benthiques contribuant à la production primaire en milieux côtiers et estuariens, se développant sur les vasières). Suite à la réunion du 6 juin 2014², un programme de travail visant le développement d'un indicateur basé sur le microphytobenthos (MPB) en estuaires a été établi ce qui a donné lieu au lancement d'un projet porté par Laurent Barillé (laboratoire MMS, université de Nantes) sur la période 2015-2017. Ce projet se décompose en deux axes : une étude à micro échelle (axe 1), afin de tester la faisabilité d'un indice basé sur la composition spécifique, et un travail à macro échelle (axe 2) qui porte sur des indicateurs quantitatifs (recouvrement, biomasse). L'ensemble est soutenu par une recherche des facteurs environnementaux explicatifs de la répartition des peuplements et des sources de pression qu'ils subissent (Figure 18).

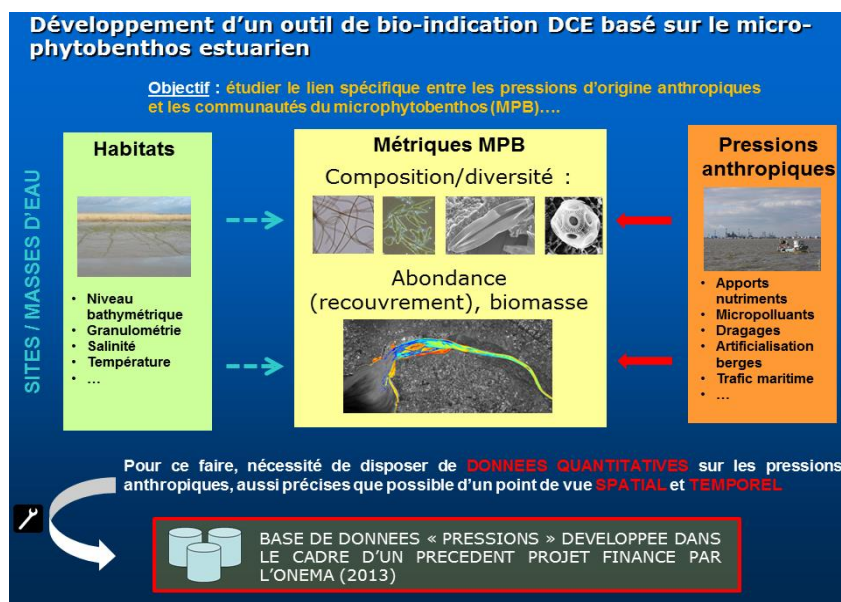


Figure 18 : Présentation schématique de la démarche retenue pour développer un outil d'évaluation de la qualité basé sur le microphytobenthos (L. Barillé, Université de Nantes)

La démarche relative l'analyse du MPB est détaillée ci-dessous par axe de travail (Buchet et al., 2015). Un 3^{ème} axe de travail est dédié au recensement des sources de pressions exercées sur les peuplements (alimentation plus ciblée de la base de données pressions développée pour l'Onema en 2013 selon les besoins de ce projet) et à la confrontation de ces données à celles acquises sur le MPB et leur habitat.

3.1.2. Analyse à micro échelle des modifications potentielles des peuplements de microphytobenthos soumis à un gradient de perturbations

Le principe de ce travail consiste à étudier les peuplements dans un gradient de perturbations et d'en observer les modifications. Une première étape bibliographique a débutée en 2015 qui se décline en deux parties : 1) dresser un état des lieux de la diversité des communautés microphytobenthiques dans les estuaires français, 2) mettre en évidence ce qu'il est possible de détecter en estuaire à partir de la diversité des peuplements en fonction des sources de perturbation. La quantité d'informations récoltées a permis de

² Présents : Laurent Barillé (Université de Nantes), Valérie Foussard (Université de Rouen), Daniel Guiral (IRD - Facultés des Sciences St Jérôme de Marseille), Marie-Claude Ximénès et Olivier Monnier (Onema), Lourenço Soares Ribeiro (programme WoRMS)

constituer une base de données conséquente qui s'étend de la fin du 19^{ème} siècle à des données récentes. En revanche, d'après les publications analysées, les peuplements sont généralement étudiés sur des sites peu impactés – besoin de compréhension en premier lieu des facteurs naturels influençant la composition et la distribution spatiale des espèces en estuaires - ce qui ne permet pas d'évaluer aisément l'influence de pressions anthropiques sur ces organismes (Buchet et al., 2015). Des campagnes de terrain sont programmées en 2016 sur 3 vasières de l'estuaire de la Loire (vasières de Méan, Donges et des Brillantes) qui subissent des gradients de pressions divers. Cette acquisition de données permettra d'analyser les peuplements rencontrés (composition taxonomique, biomasse...) et de caractériser leur habitat (physico-chimie des eaux, granulométrie, niveau de contamination métallique....) (Comité de pilotage 23/02/2016). Pour intégrer les effets saisonniers, les mesures seront réalisées en été et en hiver. Les résultats obtenus à partir du microphytobenthos seront calés avec d'autres descripteurs qu'il s'agira de sélectionner (activités enzymatiques des sédiments, macrofaune). En complément de l'analyse de la diversité, des mesures de biomasse et d'identification pigmentaire des principales classes seront faites par chromatographie liquide haute performance. Dans le cas où une espèce remarquable du point de vue de sa sensibilité serait identifiée, la possibilité de culture et d'expérimentation au laboratoire pour mettre au point une métrique ne sera pas exclue (fiche projet Onema).

3.1.3. Analyse à macro échelle de la répartition et de la biomasse du microphytobenthos par télédétection

Dans ce volet de l'étude, l'objectif est de réaliser une cartographie des variations spatio-temporelles des peuplements microphytobenthiques à partir d'images satellitales pour à terme, tester la pertinence de diverses métriques relatives au recouvrement et à la biomasse du MPB (moyenne, percentile 90...). Ce travail est réalisé à partir d'images SPOT et LANDSAT ou encore d'images issues d'autres satellites, à résolution plus fine ou à temps de revisite plus court ou à richesse spectrale plus grande (MERIS, MODIS, nouveaux capteurs Sentinel 2 et 3) selon leur disponibilité sur les estuaires ciblés. Une évaluation par télédétection présente le double avantage de pouvoir faire des analyses à large échelle spatiale et de mettre en avant une éventuelle évolution temporelle (saisonnière et inter-annuelle). En revanche, cette méthode présente une contrainte opérationnelle non négligeable liée à la résolution des images accessibles qui peut être insuffisante pour appliquer la méthode dans les estuaires présentant des vasières peu étendues (ex résolution MODIS à 250 m).

3.2. Indicateurs basé sur le fonctionnement écologique des estuaires

3.2.1. Contexte et travaux précédents

Les organismes présents en milieu estuarien sont adaptés aux fortes variabilités des conditions environnementales et de ce fait, ils présentent de forts niveaux de résilience vis-à-vis des perturbations qu'elles soient d'origines naturelles ou anthropiques. Ces contraintes favorisent également la dominance de certaines espèces (forte biomasse) se traduisant par une faible diversité même en l'absence d'altérations majeures de la qualité des milieux (Estuarine Quality Paradox). Des indices basés sur des éléments structuraux tels que ceux demandés par la DCE, ne prennent pas en compte de manière directe, le fonctionnement des estuaires et ils ne permettent pas d'apprécier pleinement l'impact des pressions anthropiques sur les organismes vivants.

Pour définir des indicateurs de qualité qui tiennent compte des fonctionnalités d'un estuaire, il est nécessaire de disposer d'une quantité d'informations importante relative à la biologie, aux habitats, aux fonctions écologiques, aux conditions morphologiques et environnementales, aux pressions exercées... Pour progresser dans ce sens, une première phase du travail a été menée en 2014 dans le cadre d'un stage de master 2 visant à « évaluer la faisabilité de la mise en place d'indicateurs de qualité écologique permettant l'évaluation de la fonctionnalité écologique des habitats estuariens » (réalisé par C. Mathieu de l'Université de Grenoble 1 sous la responsabilité de J.-M. Olivier de l'Université de Lyon et S. Moussard du GIP Seine-Aval). Ce stage comprenait quatre phases (Mathieu, 2014) :

- (1) Identifier les différentes fonctions écologiques réalisées au sein d'un estuaire puis caractériser les habitats majeurs impliqués dans leur réalisation (habitats fonctionnels).
- (2) Après avoir préalablement inventorié l'ensemble des estuaires français, rechercher les similarités de fonctionnement hydro-morpho-sédimentaire (HMS) et réaliser une typologie des estuaires français.
- (3) Identifier et quantifier les différentes perturbations s'exerçant sur les estuaires français afin d'essayer de caractériser l'influence de ces perturbations sur la réalisation des fonctions écologiques au sein d'un même type d'estuaire.
- (4) Réaliser un bilan sur la faisabilité de mise en place d'indicateurs de qualité en estuaire, à l'échelle de l'habitat et à travers une approche fonctionnelle.

Ce premier bilan a permis de mettre en avant, pour chaque fonction considérée, plusieurs manques ou connaissances à compléter (Mathieu, 2014 - fiches écologiques). De manière globale, les besoins à court terme identifiés sont les suivants :

- Besoin d'améliorer la qualité des données pour mieux comprendre les relations habitats/fonctions. Il est notamment constaté un manque de connaissances et de recul sur les liens entre les caractéristiques HMS, la biologie et les habitats.
- Manque de moyen pour quantifier les fonctions où il est nécessaire de travailler à une échelle fine en tenant compte des gradients physiques, des questions de connectivité/accessibilité des habitats... et cela selon les stades de développement des individus.
- Besoin de données sur les pressions anthropiques à une échelle plus fine que celle de l'estuaire ou du bassin versant

3.2.2. Détermination des fonctions à étudier en priorité et démarche globale proposée

Sur la base des travaux préliminaires de C. Mathieu (2014) et de réflexions menées notamment au copil inter-estuaire du 23 janvier 2015 (CR en annexe 2), l'intérêt de développer des indicateurs basés sur le fonctionnement des estuaires fait certes l'unanimité mais la démarche à adopter pour y parvenir s'avère complexe à définir : quel(s) sujet(s) prioriser ? A-t-on les connaissances fondamentales suffisantes pour commencer un tel projet ?... Il a donc été décidé d'organiser une nouvelle discussion en comité restreint³ en novembre 2015 afin de définir les priorités de recherche et initier une démarche à suivre pour progresser sur la question (CR en annexe 4).

Compte-tenu de l'état de l'art et des demandes initiales des Agences de l'eau de prioriser les recherches sur les fonctions nourricerie, épuration et sur le processus de migration en estuaire, cette discussion s'est rapidement concentrée sur l'ichtyofaune et les habitats nécessaires pour assurer leur cycle de vie.

D'après des tests réalisés par l'Irstea (com. M. Lepage), les liens entre les poissons et les caractéristiques HMS ne peuvent pas être déterminés directement pour qualifier la fonction nourricerie. Une analyse via un des échelons inférieurs de la chaîne trophique (production primaire ou secondaire) est nécessaire.

Une approche par la production primaire semble complexe à mettre en œuvre selon les participants compte tenu (1) du fait que les ressources disponibles au niveau des habitats subtidiaux ne pourront pas être considérées dans cette approche vu les aires de répartition des espèces de zooplancton et microphytobenthos contribuant à la production primaire et (2) du niveau de connaissances acquises (ou en cours d'acquisition) et des données potentiellement disponibles sur ces organismes vivants. Il a donc semblé plus pertinent de se focaliser sur l'échelon supérieur au travers des invertébrés benthiques qui présentent également l'avantage d'être intégré dans des surveillances en routine sur de nombreux estuaires (suivi DCE, réseaux locaux et régionaux).

La démarche proposée consiste à mieux définir :

³ Présents : Mario Lepage (IRSTEA), Marie-Claude Ximénès (ONEMA), Valérie Foussard (Univ. Rouen), Jean-Michel Olivier et Emmanuelle Evariste (Univ. Lyon), Nicolas Bacq (GIP SA), Stéphanie Aumeunier (GIP LE)

- Les relations Habitats / Invertébrés benthiques en tenant compte des variabilités saisonnières et interannuelles ainsi que des pressions qui s'exercent sur ces habitats. Une discussion approfondie avec un benthologue s'impose afin de déterminer ce qu'il est possible de faire compte tenu des données accessibles.
- Les relations Invertébrés benthiques / Poissons à l'aide, dans un premier temps, de méthodes de qualification simples et reproductibles telle que l'analyse des réseaux trophiques (disponibilité de la ressource, relation proie/prédateur...) plutôt que sur des méthodes très fines mais lourdes à mettre en œuvre comme l'analyse des contenus lipidiques des poissons.

En parallèle de cette réflexion, l'Irstea a déposé une ANR avec co-financement Onema (projet BRIEF : Biodiversity, Restoration, Indicators and Estuarine ecological Functioning) visant notamment à comparer les résultats des indicateurs DCE avec ceux d'indicateurs fonctionnels et à développer des modèles trophiques sur quelques estuaires plus « habitats centrés » que ceux existants.

- Les relations Poissons / Habitats : hormis pour l'aspect « disponibilité et qualité de la nourriture », divers travaux déjà menés ou en cours en milieux estuariens peuvent servir de base de travail notamment des études sur la dispersion des larves et post-larves à l'aide de modèle numérique, sur les capacités natatoires des juvéniles et adultes pour estimer la fréquentation potentielle des habitats, sur l'accessibilité potentielle des habitats (identification des barrières physiques, chimiques ou autre) ou encore des suivis de poissons par marquage de type télémétrie (CR en annexe 4).

Cette démarche ne devra pas se concentrer que sur les grands estuaires qui sont tous soumis à des contraintes anthropiques fortes afin d'essayer d'appréhender au mieux, l'influence d'un gradient de pression sur les habitats et les peuplements benthiques.

Des consultations entre biologistes et géomorphologues telles que faite dans le cadre du GT HMS (projet BEEST) pourraient être mise en place afin de cibler les paramètres HMS à privilégier dans l'étude compte tenu de leur influence sur la biologie mais cette fois-ci à l'échelle de l'habitat et non à l'échelle du compartiment biologique comme cela a été fait dans le cadre du projet BEEST.

3.2.3. Préparation de la démarche : recherche des données disponibles

Même s'il est préjugé que des données sur les invertébrés benthiques sont exploitables sur les estuaires, une première étape consiste à faire une synthèse des données disponibles (paramètres suivis, stations et protocoles employés) sur l'ensemble des estuaires de la façade Manche/Atlantique. Il est proposé :

- D'intégrer dans cette démarche, différents types d'estuaires plus ou moins anthropisés afin d'observer l'influence d'un gradient de pression sur les habitats et les peuplements benthiques.
- De disposer de données issus de suivis à plus ou moins long terme afin de mettre en évidence les variations saisonnières et interannuelles (idéalement au moins 5 ans de suivi) des communautés benthiques, qui ne sont pas systématiquement dues à des pressions anthropiques.

Un premier état des principales campagnes menées sur les grands estuaires laissent présager une masse non négligeable de données à analyser. Ce bilan a été initié en janvier 2016 par la coordination en se focalisant d'abord sur les grands estuaires (facilité d'acquisition des métadonnées grâce aux GIP et scientifiques associés à la coordination - fiches de synthèse par estuaire en annexe 5) avant de s'étendre aux moyens et petits estuaires.

Concernant les données sur les pressions anthropiques, il est proposé de se baser sur les données collectées lors d'un précédent projet financé par l'Onema (contact : Rémi Buchet). Compte tenu des hétérogénéités constatées dans la précision des informations récoltées, cette base de données est à exploiter avec prudence notamment vis-à-vis des échelles d'impact des pressions qui sont souvent à l'échelle d'un estuaire ou encore vis-à-vis de l'influence spatiale des pressions (qui peut aller bien au-delà d'un point de rejet par exemple). Il est donc demandé d'améliorer autant que possible, cette base de données avec dans l'idéal, des données pression à l'échelle de l'habitat.

3.3. Les foraminifères : bio-indicateur de la qualité écologique des estuaires ?

Un bilan de l'existant et une réflexion sur l'intérêt de développer un indicateur de qualité basé sur les foraminifères ont été réalisés avec l'aide du laboratoire LPG-BIAF de l'Université d'Angers. Sur la base de ces échanges et d'une analyse bibliographique restreinte mais ciblée, une note de synthèse a été rédigée par la coordination inter-estuariers (annexe 6). Les conclusions présentées dans ce rapport sont extraites de cette note de synthèse. Compte tenu de la réalisation récente de cette note de synthèse (octobre 2015) et des nombreux sujets à traiter sur la période 2013-2015, ce sujet n'a pas encore été abordé de manière approfondie en comité de pilotage.

Les foraminifères sont employés depuis longtemps comme bio-indicateurs plus particulièrement dans le domaine marin pour :

- Dater les dépôts sédimentaires non remaniés (marqueurs stratigraphiques) ;
- Evaluer l'impact d'une activité anthropique (ex impact d'une plateforme de forage) ;
- Evaluer la résilience d'un écosystème affecté par ces activités que ce soit suite à une contamination chronique (agriculture, industrie) ou liée à des événements plus ponctuels (ex des marées noires).

Ces organismes présentent plusieurs qualités qui permettent d'évaluer un milieu :

- (1) L'identification des espèces est assez simple grâce à une taxonomie bien définie.
- (2) Du fait de leur cycle de vie relativement court (quelques semaines à 2 ans) et de leur sensibilité aux conditions de vie, ils sont connus pour répondre rapidement face à un changement des conditions environnementales ou à une contamination du milieu. Cela se traduit par une modification des assemblages d'espèces, de l'abondance ou encore de modifications morphologiques des tests (Debenay et al, 2000 ; Mojtahid et al, 2014).
- (3) L'habitat préférentiel de nombreuses espèces étant les sédiments vaseux (qui adsorbent certains polluants), celles-ci sont directement affectées par les contaminations, même locales, notamment aux métaux lourds. Elles réagissent également rapidement à un enrichissement en matière organique (MO) via une augmentation de leur densité ou une augmentation inhabituelle de la taille de leur test.
- (4) Il est observé de forte abondance de ces organismes dans la plupart des sédiments superficiels permettant ainsi de réaliser des analyses statistiques fiables avec des volumes d'échantillons restreints (dans le projet SEMHABEL, des échantillons de 50 cm³ ont suffi pour faire les analyses statistiques).
- (5) La capacité de fossilisation des tests calcaires sécrétés par de nombreux taxons, présente également un grand intérêt pour connaître les conditions géochimiques dans lesquelles l'organisme a évolué au cours de sa vie grâce à l'analyse des éléments (Mn, Mg,...) présents en trace dans ces tests (source site internet Ifremer). Ces derniers sont intégrateurs des conditions environnementales dans lesquelles se sont développés les foraminifères (« lissant » notamment la forte variabilité journalière de ces conditions liée à la marée en estuaire). Leur analyse peut donc permettre d'avoir un aperçu de l'évolution des conditions environnementales en un point donné à différentes échelles de temps (Arminot du Châtelet et Debenay, 2010 ; Debenay et al., 2000). Ainsi, si les dépôts sédimentaires anciens n'ont pas été remaniés, il peut permettre de reconstituer l'environnement antérieur aux aménagements anthropiques et observer l'impact de ces activités sur les assemblages d'espèces de foraminifères.

Ainsi, du fait de la modification rapide des peuplements de foraminifères et de leur distribution face à une contamination du milieu par des métaux lourds, des hydrocarbures ou à un enrichissement en MO, les foraminifères constituent un bio-indicateur pertinent dans des milieux où les conditions environnementales sont relativement stables dans le temps à l'image du milieu côtier (Arminot du Châtelet et Debenay, 2010). Cependant, comme le précise plusieurs études (revue d'Arminot du Châtelet et Debenay, 2010 ; Mojtahid et al., 2014), il est difficile de faire la part entre l'impact des forçages naturels et celui des pressions anthropiques sur l'évolution des peuplements, plus particulièrement dans des milieux tels que les estuaires où les organismes évoluent dans des conditions multi stress. En effet, les espèces rencontrées en estuaire sont communément des espèces ubiquistes capables de supporter les variations des conditions

environnementales (salinité, T°C, pH, oxygène...) mais également des contaminations ou enrichissement en MO (Debenay et al., 2000), rendant difficile la compréhension de leur écologie aussi bien au niveau du microhabitat qu'à l'échelle d'un écosystème global (Dauvin et al., 2010). A titre d'exemple, selon Debenay et al (2000), les espèces *Cribrorhynchus excavatum* et *Haynesina germanica* peuvent témoigner d'une contamination métallique : la présence de *Cribrorhynchus excavatum* étant corrélée positivement avec une contamination à l'arsenic et celle de *Haynesina germanica* avec une contamination au plomb. De la même manière, *Ammonia Tepida* aussi fréquemment rencontrée en milieux estuariens, est connu pour supporter des environnements vaseux, peu oxygénés, riche en matière organique (Geslin, 2013) et est également résistante à une contamination par les métaux lourds et les hydrocarbures (Armynot du Châtelet et Debenay, 2010). A l'inverse, des études montrent qu'après réduction des rejets ou de la contamination d'un milieu, *Cribrorhynchus excavatum* et *Haynesina germanica* peuvent également être les premières espèces à recoloniser le milieu du fait de leur caractère opportuniste. Cet ubiquité des espèces rencontrées en estuaires rend donc complexe une évaluation de la qualité des milieux basée sur ces organismes sans une analyse à minima, des peuplements (biomasse, taille des tests...), des conditions environnementales (salinité, T°C, oxygène dissous...) et du niveau de contamination des sédiments (notamment en hydrocarbures, métaux lourds et MO) dans lesquels les individus évoluent.

Pour aller dans ce sens, le projet SEMHABEL porté par le laboratoire LPG-BIAF de l'Université d'Angers, a été lancé dans le but de déterminer si les foraminifères peuvent être de bons marqueurs de la qualité des estuaires en étudiant tout particulièrement l'estuaire de la Loire. Ce projet a permis une importante acquisition de données sur les foraminifères présents dans cet estuaire et leur environnement afin de mieux caractériser les liens entre leur répartition, les caractéristiques HMS du milieu et le degré de contamination des sédiments. Les experts impliqués ont été confrontés à la difficulté d'analyser les peuplements rencontrés compte tenu de la forte variabilité spatio-temporelle des conditions du milieu. D'après la coordination inter-estuariers, cette étude a manqué de l'expertise de spécialistes des milieux estuariens afin de déterminer comment appréhender cette variabilité (si cela est possible). Par ailleurs, il semble également difficile de pouvoir explorer de manière approfondie la question dans le cadre du projet SEMHABEL étant donné la courte durée de ce projet (18 mois incluant des campagnes lourdes à mettre en œuvre) et la masse importante de données à étudier. D'ailleurs, une thèse devrait être lancée en septembre 2015, encadrée par le LPG-BIAF, dans la continuité du projet SEMHABEL sur « l'Utilisation des foraminifères pour la reconstitution de l'évolution historique de l'écosystème estuarien de la Loire : influence respective des forçages naturels et anthropiques ». L'objectif à terme est de définir un état de référence et d'observer l'impact des activités humaines (et du changement climatique) à différentes échelles de temps sur les peuplements de foraminifères. Ces constats peuvent tempérer la conclusion de ce projet qui est que la possibilité de développer ce type d'indicateur dans les milieux estuariens semble difficile en l'état actuel des connaissances.

Une autre difficulté et non des moindres, réside dans la disponibilité des experts. Peu d'équipes scientifiques françaises travaillent sur les foraminifères. A l'initiative du laboratoire LPG-BIAF, un groupe de travail FOBIMO (FOraminiferal Blo-MONitoring) composé d'experts internationaux a été constitué dans le but de centraliser l'ensemble des connaissances sur les foraminifères en vue d'améliorer leur utilisation comme indicateur de pollution notamment sur la standardisation des méthodes d'analyse. FOBIMO se compose de sous-groupes dont l'un cible les « transitional environments » centralisant les travaux menés au niveau des estuaires et de zones portuaires (en lien principalement avec les contaminations des sédiments). Quelques travaux français peuvent être cités dont les travaux de Geslin (2013) sur la baie du Mont-Saint-Michel (partie ouest) ou encore la revue de Armynot du Châtelet et Debenay (2010) qui fait notamment la synthèse des conclusions de 11 travaux menés sur l'impact des activités anthropiques sur les assemblages de foraminifères en estuaires (Rance, Authie, Adour, Seine...) et en zones portuaires (la Turballe, Joinville...).

IV. DEVELOPPEMENT OU OPTIMISATION DES RESEAUX DE SURVEILLANCE EN ESTUAIRE (OBJECTIF 1)

Concernant les réseaux de surveillance en estuaires, les actions de la coordination inter-estuariers pour la période 2013-2015 se sont axées sur l'optimisation :

- Des réseaux de contrôle de surveillance opérationnels mis en place par les Agences de l'eau, dans le cadre de la DCE, y compris les éléments de qualité ne disposant pas d'indicateurs de qualité.
- Des réseaux de contrôle des flux à la mer.

4.1. Bilan et analyse des réseaux de contrôle DCE mis en place sur chaque bassin hydrographique

Les suivis menés dans le cadre de la DCE étant étroitement liés aux indicateurs de qualité développés en parallèle, les actions à mettre en œuvre en 2014 pour finaliser ce réseau ne peuvent être clairement définies sans l'aboutissement de certains indicateurs manquants (ex. les indicateurs HMS et physico-chimiques). La coordination a donc proposé de faire dans un premier temps un bilan sur :

- (1) Les réseaux opérationnels mis en place ou exploités pour la DCE (paramètres, protocole, estimation de la pertinence ou efficacité...) à l'aide des supports DCE diffusés (Système d'information sur l'Eau, site envlit de l'Ifremer, bilan des surveillances...)
- (2) Les suivis menés parallèlement à l'échelle régionale en ciblant certaines MET et/ou les MEC contiguës (suivis haute fréquence...). Ce type de suivi pouvant être variés, cette partie du bilan n'est pas exhaustive.

Hormis une mise à plat des suivis à l'échelle nationale, ce bilan a également pour objectifs de :

- (1) Réseau DCE : mettre en avant les compartiments non suivis, les protocoles non applicables à toutes les masses d'eau (ex MET turbide), d'éventuelles hétérogénéités par bassin, les moyens disponibles pour leur mise en œuvre (suivis à moyen/long terme ou par plans de gestion) et d'éventuels problèmes de standardisation des protocoles.
- (2) Réseaux régionaux : tirer des enseignements des réseaux spécifiques, d'effectuer une comparaison des suivis (régionaux et DCE), des méthodes, de la qualité des données (sont-elles de « même niveau » pour une utilisation dans des projets communs en inter-estuaire ?) et de mener une réflexion sur la standardisation des protocoles.

Courant 2014, le bilan sur les réseaux de contrôle de surveillance mis en place au cours du SDAGE 2010-2015 (Foussard, 2014) a été validé puis diffusé sur le site internet dédié à la démarche⁴. Comme indiqué précédemment, l'aboutissement à des indicateurs de qualité opérationnels et les suivis associés étant indissociables, ce bilan intègre également un état d'avancement en 2014, des indicateurs DCE développés.

4.2. Bilan sur les réseaux de contrôle de flux de nutriments à la mer

Les besoins initialement exprimés portaient sur l'amélioration de la connaissance des flux de nutriments (azote et phosphore) transitant en estuaires soit par l'amélioration des réseaux de contrôle, soit par l'étude de modélisations possibles pour les systèmes non instrumentables. Une meilleure appréhension de ces flux étant déterminante pour fixer des objectifs de réduction des apports, une démarche a été soumise au comité de pilotage du 29 novembre 2013 qui se décline en plusieurs étapes.

Inventaire des bassins côtiers et identification des systèmes pour lesquels la quantification des flux est prioritaire

Les objectifs de cette étape de la réflexion sont (1) de dresser un inventaire des réseaux de contrôle des flux de nutriments (ou de mesure concentration/débit) existants et (2) d'identifier les bassins versants pour lesquels la quantification de ces flux est prioritaire (par ex en lien avec la problématique eutrophisation).

⁴ Accès au rapport sur les réseaux de surveillance :

http://seine-aval.crihan.fr/web/attached_file/componentId/kmelia324/attachmentId/32826/lang/fr/name/BILAN_protocole_RCS_MAI_2014.pdf

L'inventaire des réseaux existants s'est appuyé sur :

- les données disponibles aux « stations de mesure OSPAR » pour les paramètres suivants : ammonium, nitrate, azote total, ortho-phosphate, phosphate total et matières en suspension, transmises par le SOeS ;
- les informations relatives aux stations de mesure des débits accessibles *via* la banque HYDRO ;
- les informations sur les réseaux de contrôle gérés par les Agences de l'eau et/ou leurs partenaires ;
- divers bilans relatifs aux réseaux de suivis régionaux (plus particulièrement pour le district Loire-Bretagne).

Ces différentes sources d'informations ont permis de rassembler les informations suivantes :

- La liste de tous les bassins versants côtiers de la façade Manche/Atlantique et leur superficie ;
- Les caractéristiques des stations de mesures situées au plus proche des estuaires : localisation, type d'instrumentation, type de mesures (éléments mesurés, fréquences), gestionnaire ;
- Un premier état des types de modèles existants.

La synthèse compilant tous les éléments récoltés par la coordination inter-estuariers est présentée en annexe 7, de laquelle ont été extraits deux exemples de cartes localisant les stations (Figure 19).

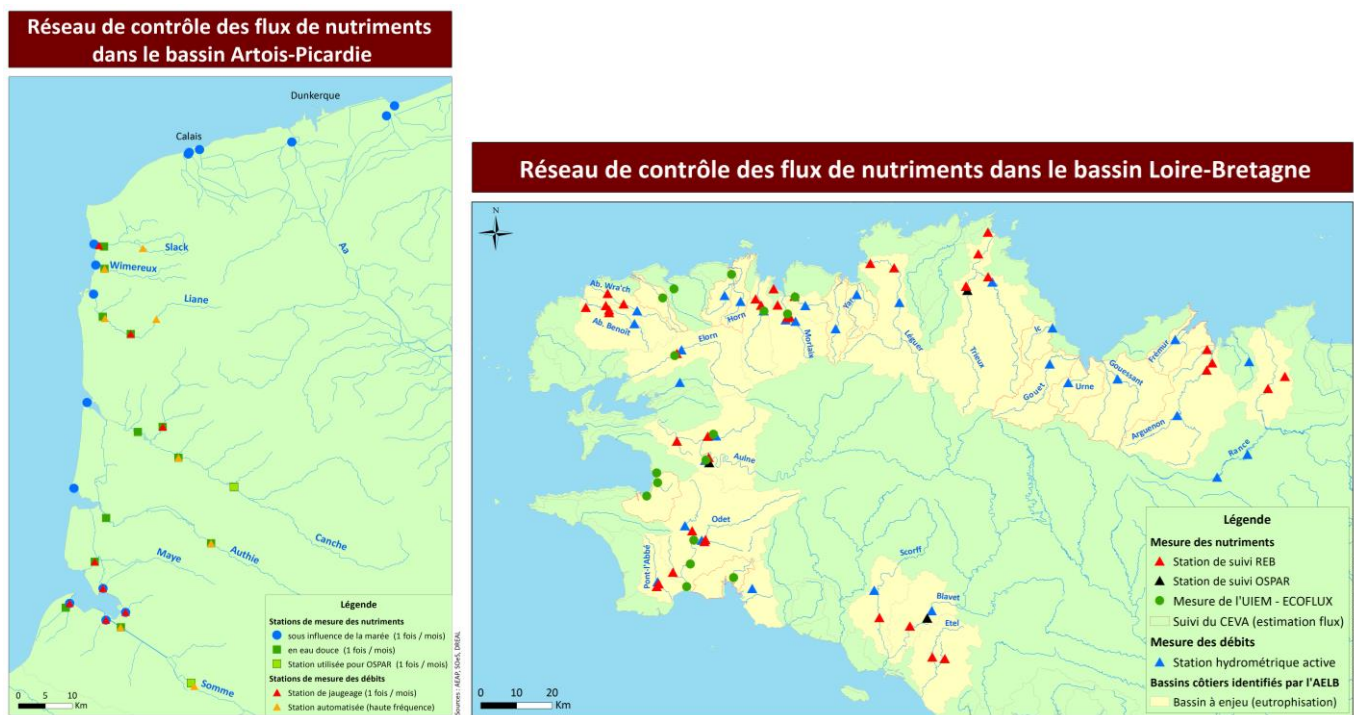


Figure 19 : Réseaux de contrôle des nutriments et des débits dans le district Artois-Picardie (à gauche) et dans la partie bretonne du district Loire Bretagne (à droite) (Foussard, 2014)

Cet inventaire associé à une consultation des Agences de l'eau ont mis en avant :

- Des réseaux de mesures plus exhaustifs dans les districts Artois-Picardie et Adour-Garonne, en lien direct avec un nombre d'estuaire à instrumenter moins important que sur les deux autres districts.
- Des positions de stations de suivi - des débits tout particulièrement - parfois très éloignées des estuaires ce qui pose la question de la fiabilité des valeurs utilisés dans le calcul des flux.
- Des difficultés techniques pour instrumenter certains systèmes (p ex l'embouchure de certaines baies en vue d'obtenir des flux réels arrivant à la mer) liées au contexte hydro-morpho-sédimentaire.

Inventaire des besoins précis de chaque Agence de l'eau concernant les flux en amont des estuaires

La consultation des Agences de l'eau sur leurs attentes précises a mis en avant des besoins particuliers en termes de (1) couverture spatiale des suivis essentiellement dans les districts Loire-Bretagne et Seine-

Normandie et (2) localisation des stations (en lien avec la fiabilité des évaluations si les stations hydrologiques et de suivi des nutriments sont éloignées les unes des autres ou de l'estuaire). Une synthèse complète des attentes des Agences est présentée en annexe 7.

Pour pallier au manque de stations sur certains bassins prioritaires (couverture spatiale) et au questionnement de la fiabilité des estimations des flux liée à l'éloignement des stations, il a été fait appel à deux scientifiques lors du comité de pilotage inter-estuaire du 23 janvier 2015 pour présenter des outils relatifs aux méthodes de calcul des flux de nutriments et d'extrapolation des débits.

- « Estimation des flux d'azote et phosphore à la mer, méthodologie et incertitudes - Application aux bassins versants en Bretagne » par Florentina Moatar (Laboratoire GÉHCO - Université de Tours)

L'outil Pol(F)lux développé par le laboratoire GÉHCO est un système expert permettant (1) de faire des estimations de flux (N, P, MES...) à l'aide d'une vingtaine de méthodes et de préconiser une méthode de calcul en fonction du degré d'incertitude toléré et (2) de proposer une fréquence d'échantillonnage optimale nécessaire pour obtenir des flux avec un pourcentage d'imprécision choisi (p ex échantillonnage tous les X jours pour obtenir des valeurs de flux avec une imprécision inférieure à 10 %). Cet outil développé pour les cours d'eau, se base sur 2 indicateurs : la réactivité hydrologique d'un bassin versant et la dynamique des éléments mesurés (N, P, macropolluants...) pendant la période de hautes eaux. L'outil a été validé pour les bassins versants de plus de 500 km² et des tests ont été réalisés sur des cours d'eau bretons. Les résultats de ces derniers tests ont fait l'objet de la présentation en comité de pilotage inter-estuaire.

F. Moatar a également fait part des travaux de thèse de Camille Minaudo (fin déc. 2015) sur le développement d'un modèle d'eutrophisation pour le bassin de la Loire en présentant notamment la structure de base du modèle (données d'entrée).

- « Méthode de calcul pour extrapoler des débits d'un bassin versant à un autre ou de l'amont par rapport à l'aval » par Christophe Cudennec (INRA/Agrocampus Ouest)

C. Cudennec a présenté une méthode d'extrapolation des débits d'un bassin versant à un autre développé par l'INRA qui ne nécessite pas de disposer des pluies mais simplement des débits d'un ou de plusieurs bassins versants « sources ». La méthode a été testée sur les bassins versants bretons et donne des résultats satisfaisants. Elle permet ainsi d'estimer des débits pour différents systèmes non instrumentés.

L'exercice a été poussé jusqu'à la simulation des débits à l'exutoire de 21 fleuves côtiers se jetant dans la baie de Saint-Brieuc, à partir de 6 stations de jaugeage seulement, afin d'évaluer la contribution en termes d'apports en eau douce de chaque système à la baie. Toutefois, aucune validation de ce test n'a été possible en raison de l'absence de données de débits à l'embouchure des fleuves. Seule la convergence des simulations a pu être vérifiée. Comme toute méthode d'extrapolation, la méthode développée par l'INRA présente des marges d'erreur qu'il est nécessaire de comparer à celles des outils actuellement employés, avant de l'appliquer à l'échelle nationale.

(Re)définition du réseau de contrôle des flux de nutriments à la mer pour les bassins versants prioritaires déjà instrumentés ou qui seraient à instrumenter

L'idée initiale était de définir des fréquences de prélèvements optimales, en fonction des caractéristiques des bassins versants, de leur taille, des périodes/fréquence des crues.

La proposition comprenait l'étude des relations concentration-débit afin d'optimiser les fréquences de prélèvement sur les bassins versants retenus lors de la première étape. Ces relations concentration-débit sont connues sur certains bassins versants pour certains paramètres ciblés. L'Onema proposait d'encadrer un stage de « Master hydrologie » sur le sujet (couplé au troisième sujet suivant) en 2015, en lien avec des équipes de recherche.

Compte tenu des travaux du laboratoire GÉHCO sur l'outil Pol(F)lux permettant de préconiser des fréquences de suivi optimales en fonction du degré de précision voulu pour le calcul des flux, ce volet de la proposition n'a pas été mené à son terme.

Choix de modélisation des flux pour les bassins versants non instrumentables et information sur les coûts

Cette étape de la réflexion devait comprendre :

- Une identification des modèles existants et une analyse comparée (type de bassin versant concerné, échelle de travail, données entrantes, modules de calculs, données produites, précision).
- Si possible : applicabilité aux bassins versants sélectionnés par les Agences de l'eau.

Un modèle de flux de nutriments doit être adapté à chaque bassin car les approches à privilégier dépendent de la taille du bassin versant, des processus de rétention/consommation propres à chaque bassin et du pas de temps recherché. Une modélisation fiable sur un ensemble de bassins côtiers est donc complexe à développer (F. Moatar, comité de pilotage du 23/01/2015). Le stage de Master 2 n'ayant pas pu être lancé courant 2015, l'identification des bassins versants côtiers à modéliser et le bilan des modèles existants afin de sélectionner le(s) modèle(s) le(s) plus adapté(s) à chacun des systèmes restent à réaliser en partenariat avec les Agences de l'eau.

V. DEVELOPPEMENT DE LA CONNAISSANCE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE SUR LES ESTUAIRES (OBJECTIF 2)

5.1. Le fonctionnement hydrologique des estuaires et le rôle du bouchon vaseux

Cet axe de travail a pour objectif de susciter et/ou développer des programmes d'études et de recherche sur fonctionnement hydrologique des estuaires (ex rôle du bouchon vaseux dans la transformation de la matière organique, la reminéralisation des nutriments, la toxicité de certains polluants ...) en vue d'améliorer la connaissance sur les flux réels arrivant au milieu marin, d'affiner les relations entre des pressions (p ex flux) et des impacts (p ex eutrophisation)

Cet axe n'a pas encore été abordé en tant que tel dans le cadre de la coordination inter-estuariers en raison d'un manque de besoin clairement identifié par les partenaires sur cette thématique qui ouvre un large champ d'actions possibles en termes de recherche.

A défaut de besoins opérationnels identifiés, il a été proposé en comité de pilotage de faire dans un premier temps, un transfert d'informations sur les travaux existants en lien avec les conséquences et incidences du bouchon vaseux (BV) sur le fonctionnement des estuaires et la biologie. Le BV est souvent associé aux problèmes d'hypoxies des eaux ou considéré comme une contrainte voire une barrière pour la migration, problèmes qui sont susceptibles d'être amplifiés dans le contexte du changement climatique (impact de ce phénomène sur la longueur et l'emplacement du BV) (CR comité de pilotage du 23/2/2016 en annexe 2). L'influence du BV peut être abordée sous différents aspects :

- Rôle dans l'alimentation des vasières pour lequel des éléments sont connus sur les grands estuaires
- Qualité des sédiments superficiels qui auront un impact sur la biologie
- Qualité des eaux/rôle de bioréacteur (eutrophisation/désoxygénation...) pour lesquels une appropriation des travaux existants semble nécessaire

5.2. La restauration écologique en estuaire

5.2.1. Analyse scientifique et technique des expériences de restauration écologiques en estuaires

Les activités de restauration écologique menées sur les estuaires français ont mis en évidence un manque important de partage de connaissances sur le fonctionnement écologique des estuaires et les méthodes à mobiliser. Les difficultés rencontrées concernent notamment l'évaluation des effets d'une restauration, en somme l'évaluation des gains écologiques potentiels d'une action de restauration (répond-t-elle aux objectifs initialement posés ?). Actuellement, la bibliographie internationale renferme un nombre croissant d'articles pouvant apporter des retours d'expérience exploitables.

Dans le cadre de la coordination inter-estuariers, il a été proposé de réaliser une analyse de cette bibliographie, pour recenser et synthétiser les avancées scientifiques et techniques autour de la problématique de la restauration écologique en estuaire. La forte hétérogénéité des retours d'expérience disponibles (type de milieux réhabilités et méthodologies mises en œuvre), peuvent cependant rendre difficile la mise en avant d'enseignements généralisés susceptibles d'intéresser les porteurs de futurs projets de restauration écologique en milieu estuarien.

Pour effectuer cette analyse bibliographique, Cécile Capderrey a été recrutée par l'Université de Rouen pour une durée d'un an (avril 2015 à mars 2016). Ce travail est co-encadré par S. Moussard (GIP Seine-Aval), J.-M. Olivier (Université de Lyon) et V. Foussard (Université de Rouen - coordination inter-estuariers). L'objectif de cette analyse est de dresser un état de l'art sur les méthodes employées lors d'actions de restauration en estuaire : quels objectifs de la restauration (s'ils ont été clairement définis) ? Sur quels critères ont-ils été définis ? Quelles techniques de restauration employées ? L'efficacité des procédures de restauration employées est-elle évaluée et si oui, comment ? Cette analyse bibliographique doit pouvoir fournir une base de réflexion pour les gestionnaires et organismes scientifiques confrontés à la mise en place d'un projet de restauration : aide à la définition des objectifs écologiques (définition du champ des possibles, analyse des marges de manœuvre etc.), optimisation de l'efficacité des procédures de restauration et des coûts associés ou encore analyse des besoins en termes de développement méthodologique en lien avec le projet.

La première phase de l'étude sur les retours d'expérience en restauration écologique en estuaire s'est concentrée sur l'analyse de la littérature scientifique publiée (issue de revues à comité de lecture) sur la base de critères de sélection spécifiques (Figure 20).



Figure 20 : Démarche employée pour l'analyse de la Littérature Scientifique Publiée (LSP) sur les retours d'expérience en restauration écologique en estuaire (présentation C. Capderrey - réunion 4/12/2015)

Les travaux menés par C. Capderrey ont permis (1) d'identifier des grands objectifs de restauration les plus fréquemment visés lors des projets traités dans les articles scientifiques (Figure 21), (2) d'avoir une vision de la structuration de la littérature scientifique par type d'information apportée (sur les méthodes de définition, de prédiction ou d'évaluation des objectifs de la restauration, ou encore sur des enseignements généraux) et (3) de mettre en avant les point forts et les points faibles sur les connaissances et les outils mobilisés pour chaque grand types d'objectifs de la restauration identifiés (CR du GT du 4/12/2015 et présentation de la réunion en annexe 8).

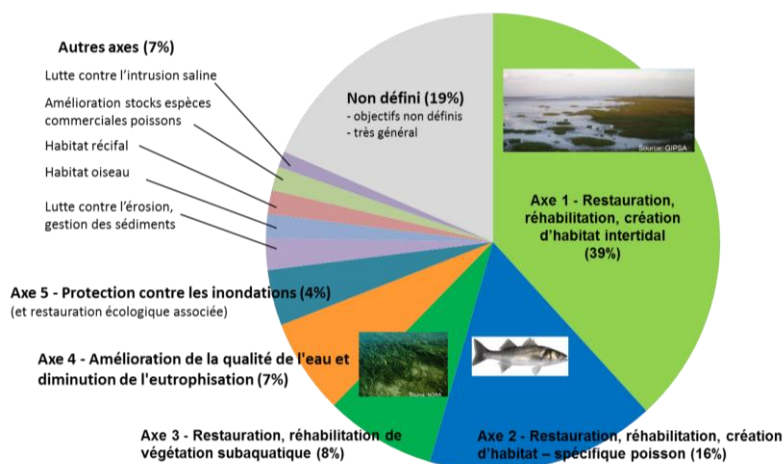


Figure 21 : Grands objectifs de restauration les plus fréquemment visés dans les projets de restauration analysés dans la littérature scientifique publiée (C. Capderrey, 2016)

Ce travail a donné lieu à une première base de données qui centralise une masse d'informations (objectif de la restauration, résumé de l'article, compartiment concerné...), pour l'ensemble des articles consultés et jugés pertinents pour l'étude (soit plus de 140 références).

La littérature grise n'a pas pu être analysée en détail dans le temps imparti au projet mais une suite à ces travaux est envisagée dès 2016. Cette dernière aura pour objectif :

- Une analyse critique des éléments centralisés lors de la première phase afin de détailler le contenu des méthodes employées et des outils mobilisables (p ex fiabilité des indicateurs utilisés) et d'identifier le contexte de développement et de mise en œuvre de ces méthodes. Cet approfondissement est nécessaire pour juger des possibilités de transferts des outils aux problématiques rencontrées dans les estuaires français.
- Un recensement et une synthèse des actions de restauration réalisées en estuaires à partir de la littérature grise est toutefois demandé. Ce catalogage sera très probablement réalisé dans le cadre d'un stage de Master 2 en 2017.

5.2.2. Proportion de projet sur l'analyse des stratégies de restauration écologique à l'échelle d'un estuaire

Lors du comité de pilotage du 23 janvier 2015 (CR en annexe 2), une action semblable à celle détaillée ci-dessus a été proposée par le GIP Seine-Aval en vue d'analyser les projets de restauration sous l'angle des stratégies de restauration mises en place sur divers estuaires européens voire internationaux.

Egalement sur la base d'une analyse bibliographique, l'objectif de cette proposition était d'identifier des freins/leviers, des outils à la mise en œuvre de projet de restauration à l'échelle globale d'un estuaire en vue d'aider à l'élaboration et l'application d'une stratégie de restauration sur les grands estuaires français. Ce travail devait notamment permettre de déterminer si les contextes socio-économiques et écologiques particuliers des estuaires influencent fortement ou non la mise en place d'une stratégie de restauration adaptée à l'ensemble d'un estuaire.

Une approche proposée par le GIP Seine-Aval, l'Onema et la coordination inter-estuariers n'a pas été retenue en l'état par le comité de pilotage pour diverses raisons (cf CR du copil inter-estuaire du 23/01/2015 en annexe 2), la principale cause étant un manque de clarté vis-à-vis des possibilités de déclinaison de tels travaux sous forme de recommandation et une relative inadéquation avec les attentes de certaines Agences de l'eau.

Dans le cadre de la recherche bibliographique réalisée sur les aspects techniques et scientifiques des actions de restauration, quelques articles relatifs aux processus décisionnels sont remontés qui donnent un aperçu du type d'informations potentiellement mobilisable. Ces articles présentent notamment des outils d'aide à la décision, d'évaluation économique ou de performance des projets (présentation réunion 4/12/2015 en annexe 8).

VI. VALORISATION DES TRAVAUX ET TRANSFERTS AUX PARTENAIRES (OBJECTIF 3)

6.1. Développement du site internet dédié à la coordination

Le site dédié à la coordination inter-estuariers (<http://inter-estuaire.seine-aval.fr>) a été officiellement lancé en juillet 2013. La finalisation de ce site a nécessité diverses collaborations notamment avec l'OIEau, gestionnaire du portail documentaire EauFrance, plusieurs partenaires du réseau pour valider les « fiches estuaire », sans oublier le GIP Seine-Aval qui héberge le site et qui a géré sa mise en forme et les outils interactifs. Le site présente :

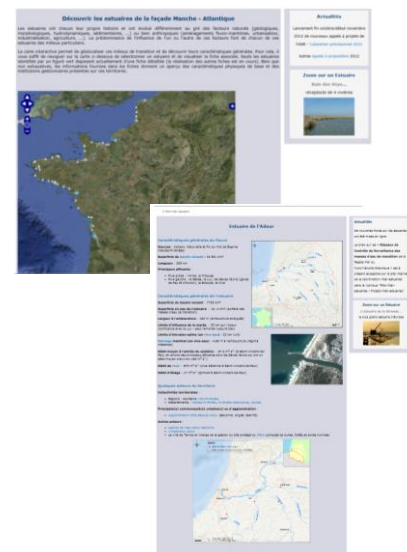
- Le contexte, les objectifs, les thématiques abordées ;
- Les projets en cours, lancés dans le cadre de la coordination inter-estuariers ;
- Des informations sur une sélection d'estuaires français et européens ;
- Une ressource documentaire spécifique aux milieux aquatiques estuariens ;
- Des informations sur les appels à projets de recherche en cours ;
- Les partenaires du réseau.



Parmi les outils disponibles, figure une interface cartographique qui permet d'accéder à des fiches récapitulant les principales caractéristiques physiques et les principaux acteurs du territoire de divers estuaires. Elles sont accessibles par l'interface cartographique et *via* l'encadré intitulé « zoom sur un estuaire » (cf illustrations ci-dessous). Les différentes fiches relatives à des estuaires français et étrangers mises en ligne jusqu'à présent sont les suivantes :

Estuaires français

- | | |
|-----------------------------|------------------------------------|
| ▪ Baie de Somme | ▪ Rade de Lorient (Scorff, Blavet) |
| ▪ Estuaire de l'Orne | ▪ Estuaire de la Vaine |
| ▪ Estuaire de la Seine | ▪ Estuaire de la Loire |
| ▪ Baie du Mont-Saint-Michel | ▪ Estuaire de la Seudre |
| ▪ Baie des Veys | ▪ Estuaire de la Charente |
| ▪ La Rance | ▪ Estuaire de la Gironde |
| ▪ L'Elorn | ▪ Estuaire de l'Adour |
| ▪ L'Aulne | |
| ▪ L'Odette | |



Estuaires européens

- Estuaire de l'Escaut (Belgique, Pays-Bas)
- Estuaire de l'Humber (Royaume-Uni)

6.2. Alimentation du portail "Les documents techniques sur l'eau" de l'Onema

Afin de valoriser les nombreuses études techniques et scientifiques publiées par les divers partenaires, un accès aux documents de synthèse a été mis en place *via* le portail "Les documents techniques sur l'eau". Créé et géré par l'ONEMA, ce portail documentaire dispose d'une importante base de données comportant des documents liés aux thématiques de l'eau et des milieux aquatiques.

Il donne ainsi accès aux :

- Rapports d'études principalement financées et/ou réalisées par des structures du secteur public (consultables en ligne dans leur intégralité),
- Notices d'autres documents (ouvrages à diffusion restreinte ou rapports scientifiques) dans lesquelles se trouvent les références du document ainsi qu'un résumé.

La coordination inter-estuariers a contribué à alimenter ce portail en études scientifiques. Un lien sur le site internet de la coordination a été créé spécifiquement pour permettre un accès à l'ensemble des documents relatifs aux milieux estuariens issus de ce portail (Figure 22).

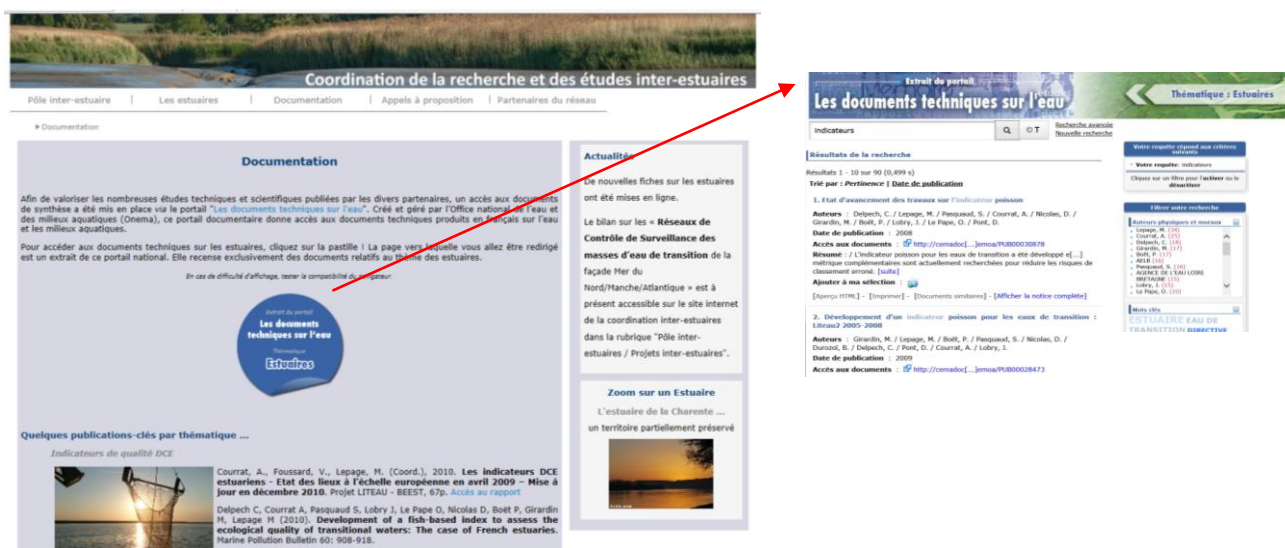


Figure 22 : Accès au portail "Les documents techniques de l'eau" avec un filtre axé sur la thématique estuaire

6.3. Extension du réseau inter-estuaire aux acteurs locaux

En 2013, les acteurs locaux (animateur de SAGE, de syndicat mixte...) n'ont pas été intégrés de manière exhaustive, dans la liste de diffusion des informations de la coordination inter-estuariers (sauf demande émanant de ces acteurs). Lors du premier comité de pilotage, il s'est posé la question suivante : « quel est le but recherché par l'extension du réseau aux gestionnaires locaux ? ». Il reste à définir si l'objectif est seulement de les informer, de créer des liens avec eux ou alors de mettre en place une interaction.

Il a été soulevé que les préoccupations de la coordination inter-estuariers semblent éloignées de celles des gestionnaires locaux au moins en termes de niveau d'opérationnalité. A l'heure actuelle, il subsiste un décalage entre les attentes de l'ONEMA et des Agences de l'eau et celles des gestionnaires locaux notamment lié aux différentes échelles de compétences (p ex définition des indicateurs en réponse aux politiques publiques vs problèmes plus locaux de contamination de sédiments). Néanmoins, les gestionnaires locaux seront amenés à utiliser les outils développés ou les études scientifiques menées sur les thématiques abordées. Par conséquent, il semble important de tenir informer ces acteurs locaux en mettant à disposition toutes les informations utiles et nécessaires. Ces derniers ont été contactés de manière ciblée lorsque les sujets abordés sont proches de leurs préoccupations à l'image de la réflexion sur la (re)définition des réseaux de contrôle des flux à la mer où leur connaissance de terrain sont nécessaires pour déterminer les besoins en terme de suivi des nutriments pour répondre autant que possible à des problématiques aussi bien locales que nationales.

6.4. Veille en matière d'appels à projet de recherche

Une veille continue est réalisée sur les appels à projet de recherche en cours afin d'identifier les programmes dont les thématiques correspondent à celles définies par le comité de pilotage aussi bien à l'échelle européenne (BiodivERsA de la Fondation pour la Recherche et la Biodiversité, programme LIFE +...) que nationale (type ANR, appels à projet de la fondation de France, du MEDDE...). Des annonces d'appels à projet sont précisées sur le site internet dédié à la coordination inter-estuariers. Elles sont également transmises *via* des mails d'informations aux partenaires du réseau.

6.5. Communication autour des activités de la coordination inter-estuaires

Quelques actions de communication des travaux menés par la coordination inter-estuaire ont été réalisés :

- **Communication orale**

Colloque « Ecosystèmes estuariens, quels enjeux pour la biodiversité ? » - Royan, 29-30 janvier 2015

Séminaire du GIP Seine-Aval 2014 - Rouen, 3-4 décembre 2014

- **Communication écrite**

Séminaire de la SFR SCALE - Rouen, 18 juin 2014

Séminaire de la SFR SCALE - Le Havre, 23 juin 2015 et Rouen, 10 mars 2016 (Figure 23)

Poster SCALE 2015

Poster SCALE 2016



Coordination de la recherche & des études inter-estuaire

Valérie FOUSSARD, SFR SCALE, UMR CNRS 6143 M2C, Université de Rouen

INITIALISATION DE LA DÉMARCHE

Suite à l'émergence de nombreuses directives environnementales (DCE, Natura 2000...), l'acquisition de connaissances sur les estuaires français et une meilleure compréhension de leur fonctionnement sont nécessaires pour construire des outils opérationnels répondant à ces directives. En 2012, une coordination inter-estuaire a été mise en place afin (1) d'optimiser les moyens de l'ONEMA et des Agences de l'Eau partenaires, en terme de mise en œuvre des politiques publiques et (2) renforcer/développer des collaborations à l'échelle nationale entre les différents acteurs impliqués sur les milieux estuariens.

Cette coordination se présente sous la forme d'un réseau de partenaires impliqués dans l'étude et la gestion de ses écosystèmes complexes : gestionnaires et institutionnels (ONEMA, Agences de l'eau, Ministère de l'environnement...) et scientifiques (Universités, Instituts de recherche...).

Partenaires et partenaires :



OBJECTIFS

- Faciliter la mise en œuvre de projets scientifiques abordant les problématiques prioritaires identifiées par la Coordination inter-estuaire à l'échelle nationale ;
- Favoriser les échanges au sein du réseau de partenaires via l'animation et le développement de ce réseau, le transfert et la valorisation des travaux de recherche menés par les partenaires ;
- Venir en appui aux scientifiques dans le montage de certains projets inter-estuariens en lien avec les activités de la coordination.

MOYENS MOBILISÉS

- Un poste soutenu financièrement par l'ONEMA, hébergé par la SFR SCALE à l'UMR CNRS 6143 M2C pour répondre aux objectifs et assurer la mise en place et/ou le suivi des études financées par l'ONEMA ;
- Possibilité de financement par l'ONEMA, de projets répondant à des questions de gestion portées par cet organisme et les Agences de l'eau.

THÉMATIQUES PRIORITAIRES ABORDÉES

Mise en œuvre des politiques publiques

Les travaux menés sont axés prioritairement sur le développement d'outils permettant la mise en application des directives européennes relatives aux milieux estuariens dans la Directive Cadre sur l'Eau soit :

- Développer des outils d'évaluation de la qualité écologique adaptés aux estuaires ;
- Optimiser la surveillance en estuaires afin de caractériser leur état écologique, quantifier les flux à la mer ou développer de nouvelles méthodes de suivi ;
- Développer des outils alternatifs et complémentaires de ceux exigés par la DCE afin de qualifier au mieux l'état des estuaires tels que des indicateurs de fonctionnement ;
- Mieux appréhender les relations pressions/impacts.

Le fonctionnement hydrologique des estuaires et rôle du bouchon vaseux

Pour les partenaires de la coordination inter-estuariens, il semble nécessaire de développer les connaissances sur le fonctionnement hydrologique des estuaires notamment sur le rôle du bouchon vaseux présent plus particulièrement dans les grands estuaires de Seine, Loire et Gironde. Les problématiques abordées peuvent être diverses et variées telles que l'analyse des processus hydrodynamiques (amplification de la quantification des flux de MES...), des processus de dégradation (devenir de la matière organique, quantification du rôle épurateur du bouchon vaseux...).

La restauration écologique en milieux estuariens

Avec notamment les exigences réglementaires (DCE, mesures compensatoires...), la montée des associations environnementales et l'implication croissante des collectivités, la restauration écologique en estuaires devient peu à peu un enjeu majeur. Dans le cadre de la coordination inter-estuariens, des travaux sont menés en vue de mutualiser les retours d'expériences de restaurations écologiques en estuaires et d'en extraire des enseignements profitables aux futures actions qu'ils soient estuariens, scientifiques, économiques...











Animation de la coordination : valerie.foussard@univ-rouen.fr
Site internet dédié : <http://inter-estuaire.seine-aval.fr>







Coordination de la recherche et des études inter-estuarires

Valerie FOUSSARD - FR CNRS 3730 SCALE, Université de Rouen, UMR CNRS 6143 MJC

CONTEXTE DE LA DÉMARCHE

Suite à l'émergence de diverses démarches environnementales (DCE, Natura 2000...), l'acquisition de connaissances sur les estuaires français et une meilleure compréhension de leur fonctionnement sont nécessaires pour conduire des actions opérationnelles répondant à ces directives. En 2012, une coordination inter-estuaire a été mise en place afin : (1) Optimiser les efforts de l'UMR et des Agences de l'Eau partenaires, pour la mise en œuvre des politiques publiques et (2) renforcer/développer des collaborations à l'échelle nationale entre les différents acteurs impliqués sur les milieux estuariens.

Cette coordination rassemble un réseau de partenaires impliqués dans l'étude et le gestion de ces écosystèmes complexes : gestionnaires et institutionnels (ONEMA, Agence de l'eau, Ministère de l'environnement...), et scientifiques. Une collaboration entre la FR SCALE et l'YREMA a été mise en place pour accueillir l'association de la coordination inter-estuaire.

OBJECTIFS

- Faciliter la mise en œuvre de projets scientifiques abordant les problématiques prioritaires identifiées par la Coordination inter-estuaire [avec possibilité de financement Onema pour les projets inter-estuarires importants]
- Favoriser les échanges au sein du réseau de partenaires suivant l'animation et le développement de ce réseau, la recherche et la valorisation des travaux de recherches menés par les partenaires
- Venir en appui aux scientifiques dans le montage de certains projets scientifiques en lien avec les activités de la coordination.

*Animation de la coordination : valerie.foussard@univrouen.fr
Site internet : <http://inter-estuaire.univrouen.fr>*

FOCUS SUR QUELQUES PROJETS MENÉS DANS LE CADRE DE LA COORDINATION INTER-ESTUAIRE

Développement d'indicateurs hydro-morpho-sédimentaires adaptés aux milieux estuariens pour l'application de la Directive Cadre sur l'Eau

Coordinateur : J.-M. Ollivier (IFREMER) et A. Sottolunga (PMN CNRS IFREMER, Université de Bordeaux)

Objectifs : développer des indicateurs RMS permettant d'évaluer « les conditions morphologiques » ou « le régime de marée » (selon les termes de la DCE) nécessaires pour atténuer le bon état biologique

Etapes du projet

- Conceptualisation d'indicateurs RMS relatifs à la hydrologie (hydromorphologie), l'hydrodynamisme (contour...) et l'hygiène (sédiments, sables...)
- Pré-validation et tests des indicateurs sur des estuaires schématisés (figure 1) et des estuaires réels (figure 2).
- Évaluation de leur pertinence et de leur applicabilité à l'échelle nationale, dans le contexte de tous les milieux estuariens pour les acquisitions de données à mener.

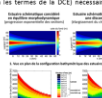



Figure 1 : Paramètres géométriques utilisés pour définir les indicateurs RMS. Figure 2 : Évaluation des indicateurs RMS sur des estuaires réels. Les graphiques montrent des courbes de tendance et des points de mesure.

Mise en place d'un bio-indicateur estuarien basé sur la microphytobenthos

Coordinateur : J.-M. Ollivier (FR 3730 SCALE, Université de Rouen)

Coordinateurs : B. Benoit-Brière et L. Legeay-Brière (MJC, EA 2180 / Université de Rouen)

Objectifs : déterminer si la microphytobenthos (MPB) peut être un bio-indicateur pertinent pour évaluer la qualité des milieux estuariens selon des systèmes turbidités ou l'intégration d'hypothèses "à peu près" appliqués.

Etapes du projet

- Analyse de la diversité des peuplements de MPB et de leurs modifications selon un gradient de perturbation (langue de terre sur 3 sites phasés de l'estuaire de la Seine)
- Génotypage à grande échelle des variations spatio-temporelles du MPB à partir d'impressions systématiques et recherche de marqueurs qualitativement différenciables perturbations anthropiques (mettre en regard avec les données in situ)

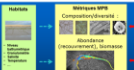


Figure 3 : Microphotographie d'un échantillon de microphytobenthos. La légende indique : Ligne = sédiment ; Point = microphyte ; Cercle = cellule ; Carré = cellule morte ; Triangle = cellule vivante ; Losange = cellule morte ; Croix = cellule vivante.

Réseaux d'expérience sur les aspects scientifiques et techniques des Actions de restauration écologique en milieux estuariens

Coordinateurs : J. Moussard / J.M. Ollivier (EPHE Arcueil / Y. Fouquet / FR CNRS 3730 SCALE, Univ. de Rouen)

Coordinateurs : C. Capblancq (FR CNRS 3730 SCALE, Université de Rouen)

Objectifs : décrire des engagements des actions de restaurations écoterritoriales et identifier des outils de définition des objectifs, de prédiction des effets de la restauration, les méthodes à appliquer, les outils d'évaluation post-restoration

Etapes du projet

- Analyse de la littérature existante et scientifique publiée pour en extraire des engagements et en tirer les éléments scientifiques ou opérationnels utiles à l'élaborer de la restauration en estuaires
- Analyse critique des actions menées (ex : succès déclaré vs succès réel)



Figure 4 : Schéma de processus de la restauration écologique. Les étapes sont : Diagnostic, Planification, Mise en œuvre, Evaluation. Des cases indiquent des succès ou échecs potentiels.

Revue de l'état de l'art des connaissances relatives à la dynamique des estuaires

Coordinateur : V. FOUSSARD (FR 3730 SCALE, Université de Rouen)

Objectif : dresser un état de l'art des connaissances relatives à la dynamique des estuaires, à l'échelle nationale, afin de permettre la mise en œuvre de programmes de recherche et de suivi.

Etapes du projet

- Revue de la littérature existante et scientifique publiée pour en extraire des engagements et en tirer les éléments scientifiques ou opérationnels utiles à l'élaborer de la restauration en estuaires
- Analyse critique des actions menées (ex : succès déclaré vs succès réel)

Logo des partenaires : GBRF, ONEMA, UNIVERSITÉ DE ROUEN, ANR, etc.

Figure 23 : Posters de la coordination inter-estuaire présentés aux séminaires SCALE 2015 et 2016

6.6. Liste des rapports d'action associés aux travaux de la coordination

Réseaux de surveillance DCE en estuaire

Foussard V., 2014. Réseaux de Contrôle de Surveillance des masses d'eau de transition de la façade Mer du Nord-Manche-Atlantique - Bilan sur les programmes de surveillance mis en œuvre au cours du SDAGE 2010-2015. Rapport Université de Rouen/ONEMA, 125p

Indicateurs hydro-morpho-sédimentaires

Le Hir P., 2014. Développements d'indicateurs hydro-morpho-sédimentaires pour l'application de la Directive Cadre Eau dans les eaux de transition estuariennes - Phase 1 : Eléments de proposition en vue d'une conceptualisation des indicateurs. Rapport Ifremer - action Onema 2013, 43p.

Sottolichio A., Foussard V., Kervella S., Curti C., Arriagada J., Hanquiez V., 2015. Développement d'indicateurs HydroMorphoSédimentaires pour les estuaires - Inventaire des caractéristiques des estuaires. Rapport Université de Bordeaux - Onema 2014, déc. 2014, 42p.

Bouvier C., 2014. Evaluation de la pertinence d'indicateurs hydromorphologiques en milieu estuarien par modélisation numérique. Rapport de stage de Master 2, 47p.

Rapport en cours de finalisation ou validation

Le Hir P., Bouvier C., 2015. Développements d'indicateurs hydro-morpho-sédimentaires pour l'application de la Directive Cadre Eau dans les eaux de transition estuariennes - Phase 2 : Tests des indicateurs sur des configurations d'estuaires schématiques à l'aide d'une modélisation 3D. Rapport Ifremer - Onema 2014, 86p

Sottolichio A., Bouvier C., 2016. Développement d'indicateurs hydro-morphologiques pour l'application de la Directive Cadre Eau dans les eaux de transition estuariennes - Phase 2 : Tests des indicateurs morphologiques sur les Grands estuaires Français. Rapport Université de Bordeaux - Onema 2015.

Indicateurs Oxygène dissous

Lepage M., Lanoux A., Foussard V., 2015. Définition d'une méthode d'évaluation DCE basée sur l'oxygène dissous et préconisations pour une stratégie de surveillance optimale des grands estuaires. Rapport Irstea - Onema 2014, 43p (*en cours de validation*)

Développement d'Indicateurs de qualité basés sur le microphytobenthos

Buchet R., Ribeiro L., Lerouxel A., Gernez P., Barillé L., 2015. Evaluation de l'état écologique des masses d'eau de transition dans le cadre de la DCE : étude de la pertinence du suivi des peuplements du microphytobenthos estuarien. Rapport d'activité 2015 - projet Université de Nantes/Onema, 85p.

Faisabilité de développement d'Indicateurs de qualité basés sur le fonctionnement des estuaires

Mathieu C., 2014. Étude de faisabilité de mise en place d'indices de qualité écologique à l'échelle de l'habitat en milieux estuariens : Approche fonctionnelle. Rapport de stage de Master 2, 62p.

+ Document complémentaire regroupant des « fiches fonctions écologiques », 45p.

La restauration écologique en estuaires

Capderrey et al. (2016) - en cours de rédaction

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

En réponse à un besoin exprimé par l'ONEMA, les Agences de l'eau de la façade Manche/Atlantique et divers partenaires, un renforcement de la coordination des études sur les estuaires français a été lancée en 2012. Celle-ci s'inscrit dans les objectifs de l'ONEMA qui visent à « développer la capacité d'expertise pour atteindre l'objectif de bon état des eaux et apporter l'appui technique nécessaire aux responsables de la conception et de la mise en œuvre des politiques publiques de l'eau » ce qui a justifié la poursuite du financement par l'ONEMA d'un poste pour l'animation de cette coordination sur la période 2013-2015.

Au cours de cette phase 2013-2015, divers projets ou réflexions ont vu le jour afin de répondre en premier lieu, à la demande de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) de développer des outils d'évaluation de la qualité écologique des estuaires. Ceci a concerné plusieurs éléments de qualité mentionnés par cette Directive pour lesquels aucun indicateur de qualité n'a pu être développé jusqu'à présent soit : l'évaluation de la qualité hydro-morpho-sédimentaire des estuaires (projet 2013/2015 porté par l'Université de Bordeaux et l'Ifremer), une réflexion sur la poursuite des travaux sur les invertébrés benthiques (réflexion en cours) et une première approche pour le développement d'un indicateur basé sur l'oxygène dissous (projet 2014 porté l'IRSTEA de Bordeaux).

Afin d'aller au-delà de la DCE en développant des outils qui traduisent plus fidèlement le fonctionnement des estuaires, d'autres réflexions ont été menées en parallèle en vue de déterminer la faisabilité de développer des indicateurs plus élaborés, basés sur les fonctionnalités des estuaires et non plus, que sur des critères structuraux comme l'exige la DCE. Ces réflexions ont ciblé divers éléments : le microphytobenthos (projet 2015-2017 lancé et porté par l'Université de Nantes), les fonctionnalités écologiques, plus particulièrement la fonction nourricière des milieux estuariens (approfondissement en cours) et les foraminifères (en cours).

Par ailleurs, une première approche pour aborder la question de la restauration écologique a pu être lancée en 2015 en vue de centraliser des enseignements techniques et scientifiques tirés de retours d'expérience de restauration. Cette analyse vise à répondre aux éventuels questionnements de futurs porteurs de projet confrontés au montage d'une action de restauration en estuaires (de la définition des objectifs à l'évaluation de l'efficacité de leurs actions).

Malgré les avancées faites dans les études de la qualité écologique des milieux estuariens durant la programmation 2013-2015, divers travaux restent à poursuivre, finaliser voire être réorientés selon les résultats obtenus ou les moyens à remobiliser. Ainsi, une nouvelle phase de travail de la coordination inter-estuariers doit être lancée dès 2016 pour une durée de trois ans avec comme chantiers jugés prioritaires :

- La restauration écologique en milieux estuariens : poursuite de l'analyse des retours d'expérience, préconisation et valorisation des acquis ;
- Les indicateurs de fonctionnement : poursuite de la réflexion sur la démarche à adopter et initialisation de premiers travaux de développement d'indicateurs (qualifiant entre autre la fonction nourricière). Pour cela, un important travail préliminaire de centralisation des données biologiques, hydromorphologiques et de pression existantes sera à exécuter ;
- Les indicateurs de qualité DCE : poursuite et finalisation des travaux engagés sur la période 2013/2015 afin d'aboutir à des indicateurs opérationnels (invertébrés benthiques, oxygène dissous et hydromorphologie).
- Veille sur des sujets d'intérêt (bouchon vaseux ou autre).

Cette nouvelle phase sera également l'occasion de valoriser les acquis des travaux réalisés en 2013-2015.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Armynot du Châtelet E., Debenay J-P., 2010. The anthropogenic impact on the western French coasts as revealed by foraminifera: A review. *Revue de micropaléontologie* 53 (2010) 129–137
- Bouvier C., 2014. Evaluation de la pertinence d'indicateurs hydromorphologiques en milieu estuarien par modélisation numérique. Rapport Master 2 Ifremer, action Onema, 47p.
- Buchet R., Ribeiro L., Lerouxel A., Gernez P., Barillé L., 2015. Evaluation de l'état écologique des masses d'eau de transition dans le cadre de la DCE : étude de la pertinence du suivi des peuplements du microphytobenthos estuarien. Rapport d'activité 2015 - projet Université de Nantes/Onema, 85p.
- Dauvin J-C., Janson A-L., Alizier S., Aulert C., Bessineton C., Cuvilliez A., Denis L., Garcia C., Jourde J., Lesourd S., Lozach S., Morin J., Ruellet T., Spilmont N., Tous Rius A., 2010. Fascicule SA 2.4 - Le benthos de l'estuaire de la Seine. Fascicule Seine-Aval, août 2010, 76p.
- Debenay J-P., Geslin E., Guillou J-1. & Casamajor M.N. de, 2000. Les foraminifères bio-indicateurs d'impact dans les environnements estuariens et portuaires. VIème Journées Nationales Génie Civil- Génie Côtier, Caen, France, 17-19 Mai 2000.
- Foussard V., 2014. Réseaux de Contrôle de Surveillance des masses d'eau de transition de la façade Mer du Nord-Manche-Atlantique - Bilan sur les programmes de surveillance mis en œuvre au cours du SDAGE 2010-2015. Rapport Université de Rouen/ONEMA, 125p
- Geslin E., 2013. Etude des foraminifères benthiques de la Baie du Mont-Saint-Michel : Développement d'indices biotiques au service de la DCE. Rapport final novembre 2013, 31 p.
- Goineau A., 2011. Ecologie des foraminifères benthiques dans le prodelta du Rhône détermination de bio-indicateurs environnementaux et reconstitution historique d'une anthropisation récente. Thèse de doctorat, 313p.
- Le Hir P., 2014. Développements d'indicateurs hydro-morpho-sédimentaires pour l'application de la Directive Cadre Eau dans les eaux de transition estuariennes - Phase 1 : Eléments de proposition en vue d'une conceptualisation des indicateurs. Rapport Ifremer - action Onema 2013, 43p.
- Le Hir P., Bouvier C., 2015. Développements d'indicateurs hydro-morpho-sédimentaires pour l'application de la Directive Cadre Eau dans les eaux de transition estuariennes - Phase 2 : Tests des indicateurs sur des configurations d'estuaires schématiques à l'aide d'une modélisation 3D. Rapport Ifremer - action Onema 2014, 86p.
- Lepage M., Lanoux A., Foussard V., 2015. Définition d'une méthode d'évaluation DCE basée sur l'oxygène dissous et préconisations pour une stratégie de surveillance optimale des grands estuaires. Rapport Irstea - Onema 2014, 43p (en cours de validation)
- Mathieu C., 2014. Étude de faisabilité de mise en place d'indices de qualité écologique à l'échelle de l'habitat en milieux estuariens : Approche fonctionnelle. Rapport de stage de Master 2, 62p. + fiches « fonctions écologiques » (45p)
- Mojtahid M., Zozzolo L., Blanchet L., Bénéteau E., Geslin E., Davranche A., Maillet G., Clouet H., Martin N., Erhold A., Vella C., Coynel A., Gorse L., Curti C., Blanc G., Jadas-Hécart A., Keszte B., Metzger E., 2014. Rapport scientifique final du Suivi Environnemental des Micro-Habitats Benthiques de l'Estuaire de la Loire (SEMABEL) 2012-2013.
- Sottolichio A., Bouvier C., 2016 (en cours de finalisation). Développement d'indicateurs hydro-morphologiques pour l'application de la Directive Cadre Eau dans les eaux de transition estuariennes - Phase 2 : Tests des indicateurs morphologiques sur les Grands estuaires Français. Rapport Université de Bordeaux - Onema 2015.
- Sottolichio A., Foussard V., Kervella S., Curti C., Arriagada J., Hanquiez V., 2015. Développement d'indicateurs HydroMorphoSédimentaires pour les estuaires - Inventaire des caractéristiques des estuaires. Rapport Université de Bordeaux - Onema 2014, déc. 2014, 42p.

ANNEXE 1 : MEMBRES DU COMITE DE PILOTAGE

Chargée de mission Coordination inter-estuariers

Valérie FOUSSARD, UMR CNRS 6143 M2C, Université de Rouen

Membres gestionnaires, institutionnels, structures d'interface

Philippe DUPONT et/ou Christophe MINIER - ONEMA

Marie-Claude XIMENES - ONEMA

Isabelle TERRIER et/ou Carole PONS - MEDDE, DEB, LM1

Stéphanie PEDRON et Julien DE BORTOLI - Agence de l'Eau Seine-Normandie

Jean PRYGIEL - Agence de l'Eau Artois-Picardie

Philippe FERA - Agence de l'Eau Loire-Bretagne

Mélina LAMOUROUX - Agence de l'Eau Adour-Garonne

Karine GONCALVES - GIP Seine-Aval

Direction ou chargés de mission du GIP Loire Estuaire

Jérôme BARON et/ou Clément BERNARD - SMIDDEST

Membres scientifiques

Robert LAFITE - UMR CNRS 6143 M2C, Université de Rouen

Pierre LE HIR – IFREMER

Aldo SOTTOLICHIO - UMR 5805 EPOC - OASU, METHYS, Université de Bordeaux 1

Mario LEPAGE - IRSTEA (ex CEMAGREF)

Thierry RUELLET - GEMEL

Sylvain DUHAMEL - CSLN

Anne-Laure BARILLE – BIOLITTORAL

Hugues BLANCHET, UMR 5805 EPOC, Station Marine d'Arcachon, Université de Bordeaux 1

Josette GARNIER - UMR 7619 SISYPHE, UPMC

Hélène BUDZINSKI - UMR 5805 EPOC, LPTC, Université de Bordeaux 1

Des **groupes de travail thématiques** associant des experts (hors comité de pilotage) peuvent être organisés pour répondre à des besoins particuliers.

Onema

Hall C – Le Nadar
5, square Félix Nadar
94300 Vincennes
01 45 14 36 00
www.onema.fr

Université de Rouen
UMR CNRS 6143 M2C
IRESE B
Place Emile Blondel
76821 Mont-Saint-Aignan Cedex

<http://www.unicaen.fr/m2c/>