



Liga en SUD AQUITAINE

Causes et conséquences du développement de "neige marine" sur la côte Basque et le sud des Landes



Coordinateurs :

Nicolas Susperrégui (Institut des Milieux Aquatiques)
Philippe Gaudin (UPPA, Fédération de Recherche MIRA)

Co - auteurs :

Béatrice Lauga, Robert Duran, Vanessa Rouaud, Mathilde Monperrus, Thierry Pigot (UPPA, IPREM)
Denis Morichon (UPPA, SIAME), Gaëlle Deletraz (UPPA, PASSAGES)
Yolanda Del Amo, Nicolas Savoye, Camilla Liénart, Florence Jude, Valérie David
Edith Parlanti, Jérémie Parot, Mahaut Sourzac, Marie-Ange Cordier (Université de Bordeaux, EPOC)
Jean d'Elbée (LAPHY)

Avec la participation financière de :



Juin 2018

Table des matières

Chapitre 1 : Introduction	4
Chapitre 2 : Matériels et méthodes	7
1. Stations d'échantillonnage	8
2. Fréquence d'échantillonnage	9
3. Profondeurs d'échantillonnage et paramètres mesurés	10
4. Observation de la présence de mucilages	13
5. Détection par les méthodes acoustiques,	13
6. Données hydroclimatiques	14
7. Compréhension et prévision de la dynamique du panache	14
8. Dynamique historique et perception par les acteurs	14
Chapitre 3 : Les dynamiques du liga	16
1. Dynamique temporelle du Liga	16
2. Dynamique fonctionnelle du Liga	18
2.1. Rôle, origine et fonctionnement des communautés microbiennes	18
2.1.1. Structure et diversité génétique des 3 domaines du vivant présents dans les communautés microbiennes	18
2.1.2. Diversité taxinomique des composantes planctoniques	22
2.1.3. Rôle et origine de la matière organique	29
2.1.4. Présence de contaminants et réactivité	39
3. Dynamique spatiale du Liga	42
3.1. Détection et quantification du Liga dans la colonne d'eau par méthodes acoustiques.	42
3.2. Compréhension et prévision de la dynamique du panache de l'Adour.	43
4. Dynamique historique et perception du Liga	44
4.1. Eléments historiques, expérience du liga et adaptation	44
4.2. Perception actuelle du liga par les différents acteurs	45
4.2.1. Responsabilités, connaissances et communication	45
4.2.2. Envisager la phase d'action	48
5. Lien entre dynamiques du liga et les forçages anthropiques	50
Chapitre 4 : Synthèses et perspectives	57
1. Les processus de formation des précurseurs de mucilage (EPS et TEP)	57
2. Conséquences sur la qualité environnementale	61
2.1. Risques liés à la présence de contaminants	61

2.2. Risques liés à la composition bactériologique	61
2.3. Risques liés à la composition phytoplanctonique	61
2.4. Risques liés à la composition zooplanctonique	64
3. Questions scientifiques et perspectives de recherche.....	65
3.1. Prédiction d'apparition.....	65
3.2. Télédétection des mucilages	65
3.3. Perspectives en sciences humaines.....	66
4. Quelques conclusions et réflexions finales.....	68
Chapitre 5 : Communications et publications	70
Bibliographie.....	73
Annexes	79

Chapitre 1 : Introduction

Les pêcheurs travaillant à proximité du littoral basque et sud-landais constatent depuis de nombreuses années la présence d'une substance visqueuse, localement appelée liga, colmatant occasionnellement leurs filets de pêche. Elle apparaît principalement en fin d'hiver / début du printemps et en fin d'été / début d'automne. Sa présence engendre des baisses de rendements de pêche mais parfois aussi des troubles dermatologiques suite à un contact prolongé (Susperrégui et al., 2010). Depuis le début des années 2000, la fréquence, l'abondance et le temps de résidence du phénomène tendent à s'accroître. En 2010, en réponse à la demande des pêcheurs professionnels du quartier maritime de Bayonne, une étude pluridisciplinaire portée par l'IMA (Institut des Milieux Aquatiques) a permis d'en réaliser une première description. Il s'agit d'une substance colloïdale pélagique qui se développe près de la côte et abrite une grande variété de taxons animaux et végétaux (bactéries, protozoaires, phytoplancton, zooplancton, larves, œufs, vers, débris continentaux, débris végétaux...) d'origine variée (marine, continentale, pélagique, benthique). Sa forte teneur en matière organique ne peut pas être expliquée uniquement par les apports exogènes des bassins versants.

Des phénomènes comparables sont décrits dans d'autres mers du monde (Figure 1), notamment en Adriatique et sont référencés sous le terme scientifique de mucilages pélagiques marins.

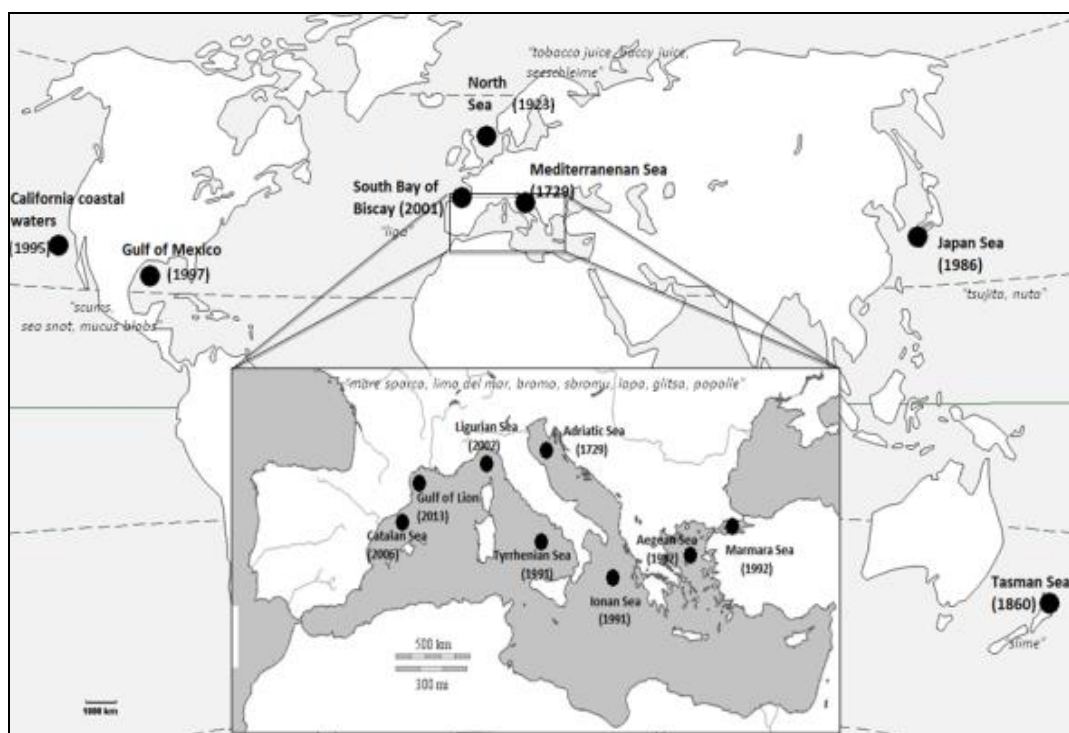


Figure 1 : Cartographie des événements à mucilages recensés dans le monde (Source : Rouaud & Susperrégui, 2016).

Leur apparition n'est pas un phénomène nouveau puisqu'ils sont documentés depuis 1729 en Adriatique (Bianchi, 1746), 1860 dans la baie de Tasmanie (Hurley, 1982, Chang 1983), 1923 en mer du Nord (Orton, 1923). Plus récemment, ils sont apparus en 1986 en mer du Japon (Fukao et al., 2008), en 1995 dans les eaux côtières californiennes (Alldredge and Crocker, 1995) et en 1997 dans le Golfe du Mexique (Green and Dagg, 1997). En Méditerranée, leur fréquence et leur aire géographique augmentent depuis les années 1980 car ils sont apparus en 1982 en mer Egée (Gotsis-Skretas, 1995), en 1985 en mer Thyrrénienne (Innamorati, 1995), en 1992 en mer de Marmara (Tüfekçi et Balkis, 2010), en 2002 en mer Ligure (Martín and Miquel, 2010), en 2006 en mer Catalane (Agencia Catalan del agua, 2013) et en 2013 dans le Golfe du Lion (Rousselet com. pers., 2013). Selon leur origine géographique, les mucilages portent des noms locaux comme "mare sporco" en Adriatique, "bromo" ou "lappa" en mer tyrrhénienne, "cvitanje more" en Croatie, "Nuta" au Japon, "slime" en Nouvelle Zélande, "scums" en Californie, "glitsa" en mer Egée, "tobacco juice", "baccy juice" ou "stinking water" en mer du Nord ou encore "popole" dans le Golfe du Lion. Sur le littoral basco landais, les pêcheurs locaux appellent "Liga" la substance visqueuse colmatant leur filet de pêche. En basque le terme "Liga" a plusieurs sens : synonyme de lie, marc ou du dépôt d'un liquide, il désigne la glu pour la capture de oiseaux ou bien la boue ou tout résidu laissé par certaines matières en décantation (de Askue, 1905 ; Lhande, 1926).

Les travaux réalisés entre 2010 et 2012 sur le littoral Basque (D'Elbée et al., 2016) ont permis de commencer à identifier la composition du Liga, mais ils n'ont pas permis de comprendre les mécanismes déclenchant sa formation et son évolution au cours du temps. Ils n'ont également pas permis d'étudier le rôle joué par les déplacements des masses d'eau dans sa dynamique spatio-temporelle. Enfin, il est envisageable que ce phénomène puisse s'amplifier au cours des prochaines années, avec des conséquences qu'il est actuellement difficile d'évaluer en termes de nuisances pour la pêche, pour les loisirs aquatiques et sur le plan sanitaire.

La Fédération de Recherche MIRA (Milieux et Ressources Aquatiques, UPPA) et l'IMA, ont proposé un programme de recherche basé sur un partenariat pluridisciplinaire avec des acteurs variés (Universitaires, Associations, Bureaux d'étude, Comités socio-professionnels), pour répondre aux problématiques scientifiques et sociétales liées au phénomène. Il s'appuie sur les résultats des études antérieures et répond à une demande émanant du Comité Départemental des Pêches Maritimes et des Elevages Marins Pyrénées-Atlantiques Landes. Ce programme de recherche a été intégré au projet "Perturbations des Milieux Aquatiques Littoraux Aquitains" (PERMALA) présenté à l'Appel d'Offre Recherche Région en janvier 2012, dans le cadre du Réseau de Recherche Littoral Aquitain (RRLA). Il a pour ambition de répondre aux questions portant sur les mécanismes et les organismes mis en jeu lors de la formation puis de l'évolution du Liga, sur les facteurs biotiques et abiotiques qui contrôlent son développement et sur sa capacité à concentrer des polluants et à présenter un risque sanitaire.

L'objectif est de prévoir leurs périodes d'apparition, leur distribution, leurs risques éventuels d'expansion, ainsi que les risques qu'ils présentent pour l'environnement, pour les populations naturelles et pour l'homme. L'objectif ultime étant de permettre d'initier de futures études en vue de proposer des mesures d'adaptation et des orientations pour la mise en place d'éventuelles actions curatives.

Le Liga résulte de l'agrégation sur les engins de pêche des mucilages pélagiques marins qui sont les précurseurs du Liga. Nous avons donc choisi de privilégier l'étude des mécanismes de la formation en mer de ces mucilages plutôt que de réaliser des prélèvements de Liga sur les filets de pêcheurs, ce qui avait été réalisé lors d'études antérieures. Nous avons échantillonné la colonne d'eau par des méthodes classiques (Bouteille Niskin et filet à plancton) sur des sites plus ou moins susceptibles d'être affectés par les mucilages sur un cycle annuel afin d'analyser leur dynamique fonctionnelle. Ces travaux ont été complétés par l'étude de l'historique et de la représentation sociale du Liga. En l'associant avec l'analyse à long terme des évolutions du sud du Golfe de Gascogne, l'objectif est de reconstituer la dynamique historique du Liga et de répondre aux questions suivantes : Quelle est la représentation du phénomène par les usagers de l'espace maritime ? Est-il possible de reconstituer des indicateurs historiques de présence ? Si oui, existe-t-il un lien avec les évolutions des réseaux trophiques ou des forçages climatiques et/ou anthropiques ? Enfin, l'étude de la dynamique spatiale de ces mucilages pélagiques marins et du rôle des masses d'eau de différente origine dans leur formation fait encore l'objet de travaux en cours dans le domaine de la modélisation et de la détection acoustique. Elle sera évoquée dans ce rapport.

Les prélèvements prévus dans ce programme ont été réalisés de mars 2013 à Juillet 2014. L'ensemble des contributions à ce rapport a été rassemblé en juin 2017. Il n'a pu être remis avant juin 2018 en raison d'impératifs administratifs propres à l'UPPA, organisme porteur de ce projet. L'ensemble des données, résultats et analyses présentés sont donc antérieurs à juin 2017. Trois rapports d'études cités en annexe sont également joints au dossier dans lequel est inclus ce rapport. L'ensemble des livrables et données recueillies au cours de l'étude est disponible sur demande.

Chapitre 2 : Matériel et méthodes

Afin de faciliter la lecture de ce rapport, les méthodes spécifiques à chaque spécialité scientifique ne sont pas détaillées ici, en particulier lorsque les travaux ont déjà fait l'objet d'une publication ou d'un mémoire cité en fin de document (cf chapitre 5). Seuls les points essentiels à la compréhension générale de la démarche méthodologique et scientifique sont présentés. Pour certains domaines (biologie moléculaire, microbiologie,...), des compléments méthodologiques sont présentés dans les paragraphes dédiés. Les hypothèses de travail et le plan d'échantillonnage ont été élaborés à partir de l'état de l'art des travaux sur les mucilages dans le monde et des résultats des études antérieures (Auby et Neaud-Masson, 2001 ; D'Elbée, 2006 ; Susperrégué et al., 2010, 2012).

La matrice des mucilages marins (figure 2) est principalement composée de particules exopolymériques transparentes (TEP) de nature polysaccharidiques produites par des micro-organismes marins (Pistocchi et al., 2005; Urbani et al., 2005 ; Fukao et al., 2009; MacKenzie et al., 2002). Les principaux précurseurs dissouts des TEP sont des substances polysaccharidiques extracellulaires (EPS) qui sont des composés à haut poids moléculaire riches en carbone sécrétés par

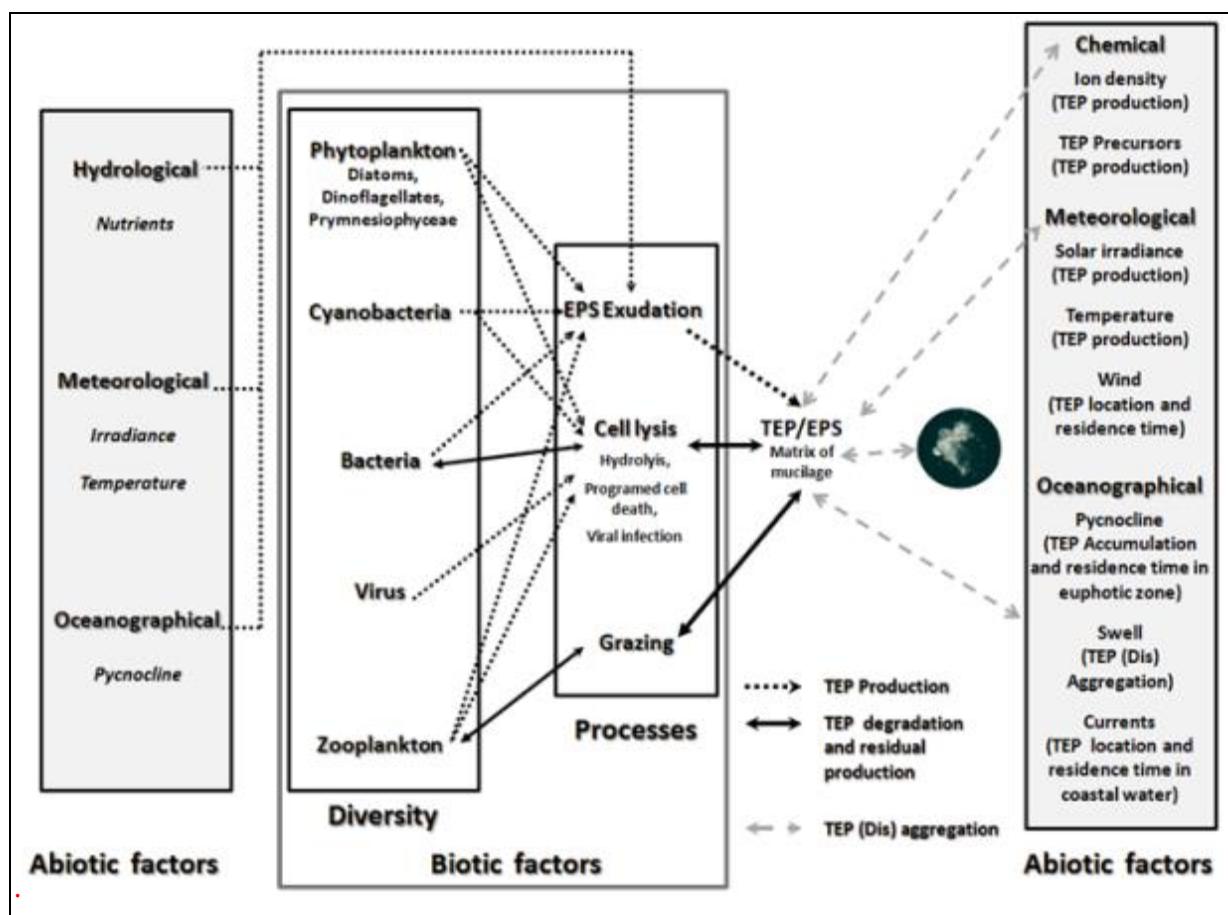


Figure 2 Schéma conceptuel de formation du liga

de nombreux organismes aquatiques notamment pendant des blooms (*i.e.* proliférations) phytoplanctoniques, (Alcoverro et al. 2000; Bhaskar et al., 2005; Liu and Buskey 2000). Notre hypothèse est que leurs concentrations (TEP et EPS) sont un "proxy" fiable de la quantité de mucilages.

1. Stations d'échantillonnage

Selon les témoignages recueillis par les pêcheurs dans le cadre des études antérieures, leurs filets sont colmatés essentiellement quand ils pêchent dans la zone côtière située au sud de l'embouchure de l'Adour. Toutefois, le phénomène impacte ponctuellement leur activité dans la zone côtière située au nord. Ils attribuent empiriquement cette présence au nord à l'existence de courants marins orientés du sud vers le nord lors de son apparition. Nous avons donc choisi d'échantillonner 2 stations côtières situées de part et d'autre de l'estuaire de l'Adour pour comparer ces deux situations. Nous avons également choisi d'échantillonner une station continentale dans l'estuaire de l'Adour pour relier les résultats obtenus à la dynamique du panache de l'Adour et caractériser les apports continentaux organiques et inorganiques en milieu côtier.

Trois stations sont donc échantillonnées (Figure 3) : 2 Stations côtières (Biarritz : 43°29'210 N ; 1°36'093 O WGS 84 et Tarnos : 43°33'445 N ; 1°32'428 O WGS 84) situées de chaque côté de

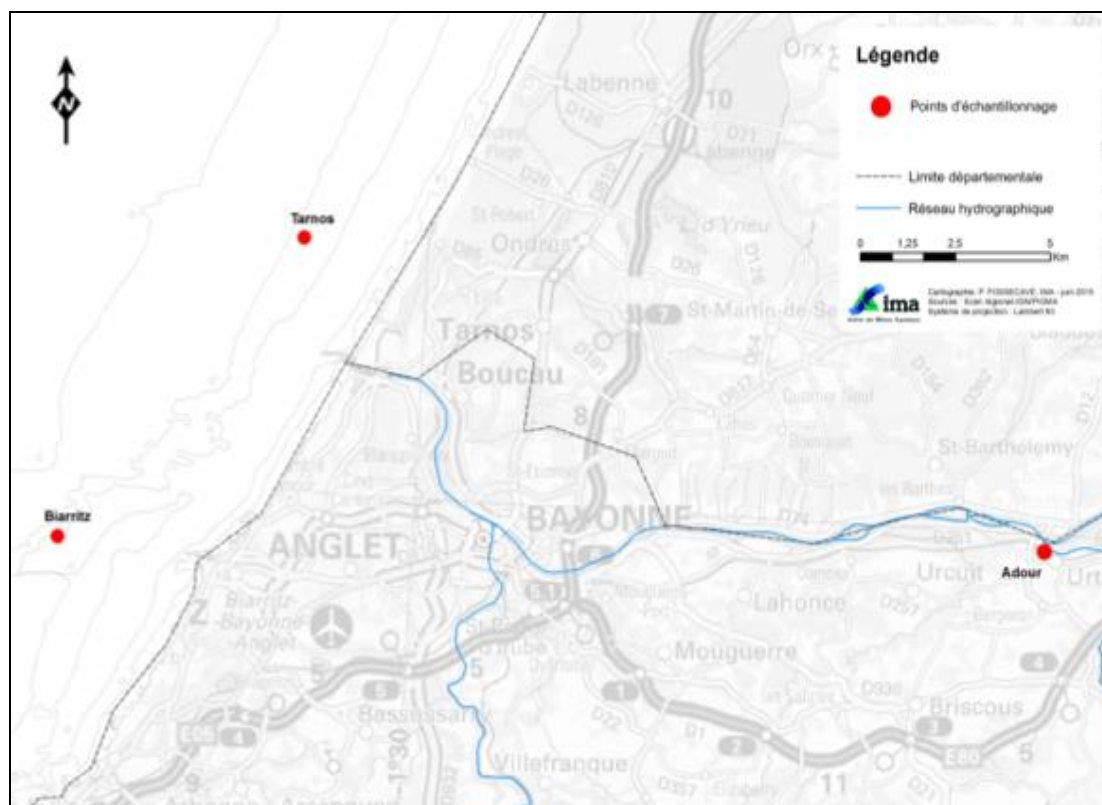


Figure 3 : Cartographie des points d'échantillonnage (Source : IMA)

l'embouchure de l'Adour, échantillonnées à pleine mer (Biarritz) et pleine mer + 1h (Tarnos). Le respect de délais les plus courts possibles entre les sites de prélèvement ne permet pas d'échantillonner une 3^{ème} station marine considérée a priori comme "sans mucilages". La station continentale (Adour à Urt : 43° 30' 093 N ; 1°17'526 O WGS 84) est échantillonnée la veille des stations côtières, à basse mer et en surface. Des prélèvements supplémentaires y sont réalisés en période de crues.

2. Fréquence d'échantillonnage

Les stations sont échantillonnées selon deux fréquences distinctes (Figure 4) :

- un échantillonnage mensuel sur les 3 stations visant à suivre la dynamique saisonnière du phénomène sur un cycle annuel entier,
- un échantillonnage intensifié sur la station de Biarritz lors des périodes d'apparition du phénomène (Printemps et Automne) visant à mieux appréhender la dynamique planctonique sur un cycle court et identifier les organismes initialement impliqués dans la formation des mucilages.

Du fait des tempêtes hivernales successives de l'hiver 2013-2014, les stations côtières n'ont pas été échantillonnées en janvier et février 2014. Finalement la station continentale de l'Adour à Urt a fait l'objet de 17 échantillonnages entre le 15 avril 2013 et le 18 juin 2014, la station de Biarritz a été échantillonnée à 29 reprises du 17 avril 2013 au 18 juin 2014 et celle de Tarnos 11 fois entre le 12 juin 2013 et le 18 juin 2014.

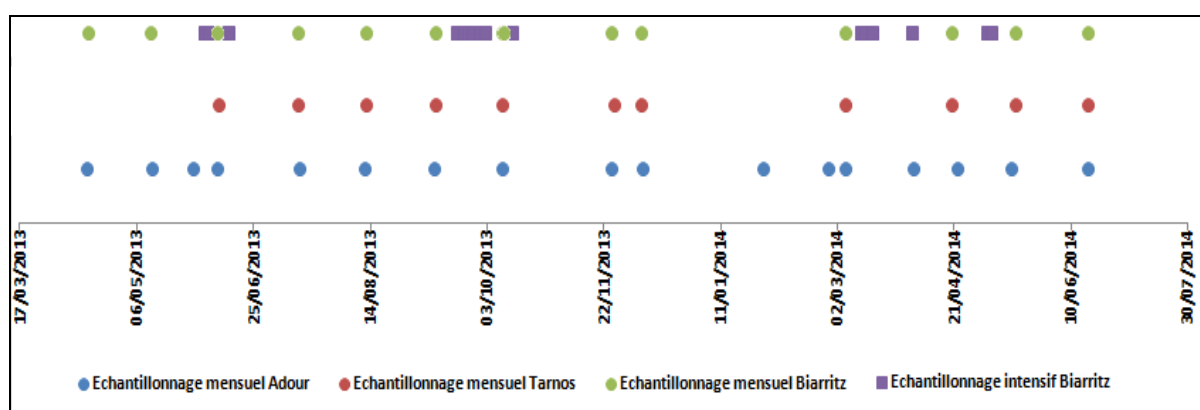


Figure 4 : Chronologie des campagnes d'échantillonnages (Source : IMA)

3. Profondeurs d'échantillonnage, paramètres mesurés et analysés

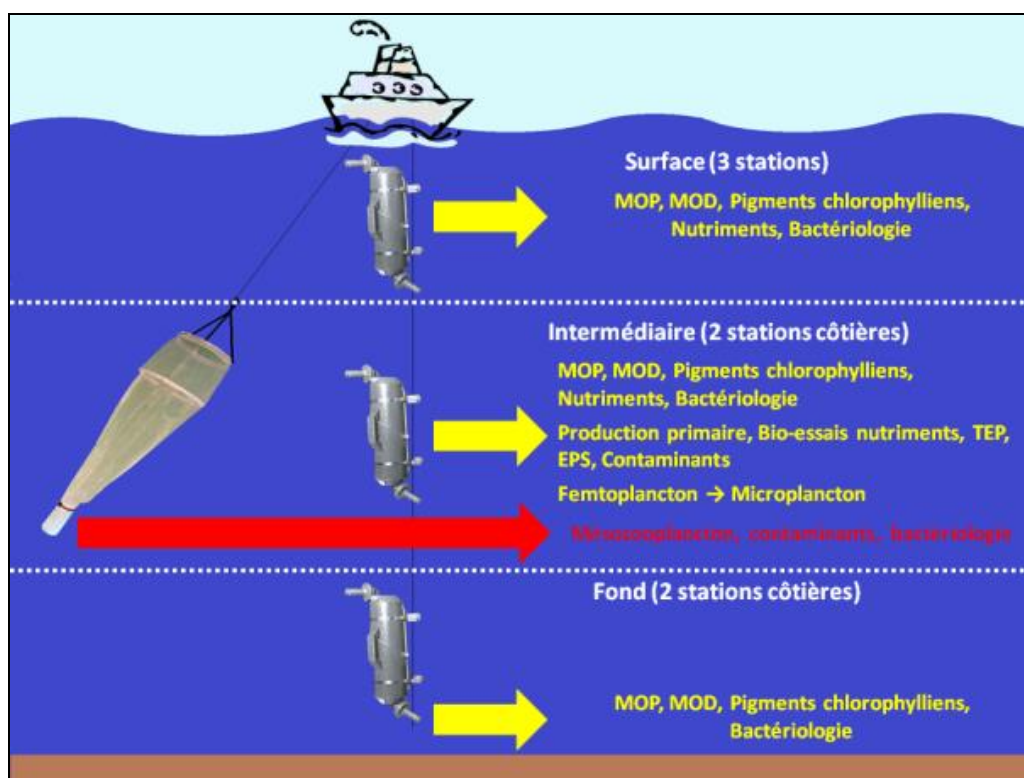


Figure 5 : Profondeurs d'échantillonnage et paramètres prélevés (Source : IMA).

La station de l'Adour est échantillonnée en surface (Fig. 5). Les prélèvements sont similaires à ceux de la couche de surface marine.

Les stations côtières marines sont échantillonnées à 3 profondeurs (Figure 5) : 1m sous la *surface*, dans la couche *intermédiaire* et 1m au-dessus du *fond*. Au préalable, des profils verticaux de température et salinité sont réalisés lors des échantillonnages des stations côtières afin de décrire la structuration verticale de la colonne d'eau. Ces profils permettent de déterminer la couche intermédiaire correspondant à la zone de mélange, si la pycnocline¹ est formée. Si elle est absente, le prélèvement est réalisé à mi-profondeur (environ 10m). Les échantillonnages sont réalisés avec les moyens classiques de prélèvement en océanographie : bouteille Niskin et filet à plancton.

La bouteille Niskin prélève :

- aux 3 profondeurs, les échantillons nécessaires à la détermination des caractéristiques biogéochimiques via l'analyse des sels nutritifs et pigments chlorophylliens, MOP (Matière Organique Particulaire) et MOD (Matière Organique Dissoute),

¹ L'acquisition de profils verticaux de température et salinité permet de mettre en évidence la formation de la thermocline, halocline ou pycnocline. Cette stratification de la colonne d'eau favorise l'accumulation des mucilages dans les eaux superficielles (couche de mélange) (Cozzi et al., 2004; Degobbis et al., 1995; De Lazzari et al., 2008). Dans cette étude, la pycnocline a été calculée à partir des profils verticaux de température et salinité.

- en surface, les échantillons permettant de caractériser la biogéochimie des eaux et d'obtenir la signature phytoplanctonique afin d'évaluer l'implication du phytoplancton dans la formation des mucilages.
- au fond, les échantillons permettant de déterminer les caractéristiques biogéochimiques de la couche de fond et d'évaluer le rôle de la remise en suspension du sédiment dans la formation des mucilages.
- dans la couche intermédiaire, les échantillons de mucilages, afin d'en caractériser la biogéochimie. Ces échantillons permettent également de caractériser des processus biologiques tels que la production primaire, la limitation de la production primaire et la sécrétion cellulaire des particules exopolymériques transparentes (TEP) et des substances polymériques extracellulaires (EPS). Ils permettent enfin d'identifier la présence éventuelle de contaminants et de décrire les assemblages planctoniques associés à la présence de mucilages en dissociant les spectres de taille : femto- (< 0,2µm), pico- (0,2 à 2µm), nano- (2 à 20µm) et microplancton (20 à 200µm).

Le trait de filet à plancton de 2 minutes à vitesse constante complète ces prélèvements et permet de prélever le mésozooplancton (200µm à 2cm) afin d'identifier et de dénombrer les espèces associées à la présence de mucilages et les mucilages. Les échantillons dédiés à l'analyse microbiologique de ces derniers subissent ensuite une filtration séquentielle en trois étapes afin de séparer le Liga en différentes fractions : une fraction agrégée, une fraction semi-agrégée et une fraction non-agrégée.

Traitements des prélèvements :

Concernant les éléments nutritifs, les concentrations de phosphates, silicates et les différentes formes de l'azote (Ammonium, Nitrates et nitrites) sont systématiquement dosées. La production primaire est essentiellement phototrophe et s'effectue à partir des constituants minéraux présents en solution dans l'eau de mer (CO_2 , NO_3^- , PO_4^{3-} , Si(OH)_4 , NH_4^+) en utilisant la lumière comme source d'énergie. Les conditions nutritives (Ahel et al., 2005; Degobbis et al., 2005), et notamment les déséquilibres entre sels nutritifs (Alcoverro et al., 2000; Staats et al., 2000) sont connus pour contrôler la sécrétion de substances polymériques extracellulaires (EPS) et la production de particules exopolymériques transparentes (TEP) (Corzo et al., 2000; Surosz et al., 2006).

Concernant la MOP, différents paramètres ont été mesurés afin de quantifier sa concentration, d'en caractériser son origine et *in fine* de quantifier sa composition, c'est-à-dire quantifier la contribution relative de chaque source à l'ensemble de la matière organique particulaire. Le carbone organique particulaire (COP) étant présent dans tout type de MOP, quelle que soit son origine et sa composition, sa concentration a été utilisée indicateur de la concentration de l'ensemble du pool de MOP. Au contraire, la concentration en chlorophylle a (Chla) est un indicateur de la concentration en phytoplancton. Consécutivement, leur rapport (COP/Chla) est indicateur de la dominance du phytoplancton dans l'ensemble de la MOP. Enfin, les rapports élémentaires (C/N ou N/C) et isotopiques ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) du carbone et de l'azote organique particulaire sont indicateurs de son origine (phytoplancton vs apports continentaux) et ont été utilisés, à l'aide d'un modèle de mélange, pour quantifier la contribution de

chaque source au pool de MOP. Les sources considérées ont été le phytoplancton marin ainsi que le matériel continental naturel (matériel terrestre et phytoplancton fluvial) et anthropique (MOP issue des stations d'épuration), les autres sources étant négligeables sur les sites d'étude.

La matière organique dissoute/colloïdale (MOD) a été caractérisée d'un point de vue quantitatif par la mesure des teneurs en carbone organique dissous (COD) et l'investigation de ses sources, de sa dynamique et de ses variations spatio-temporelles a été réalisée par l'étude de ses propriétés optiques (absorption, fluorescence 3D) (Helms et al., 2008 ; Huguet et al., 2009 ; Parlanti et al., 2000 ; Stubbins et al., 2012). Les propriétés de fluorescence de la MOD permettent d'obtenir des informations sur sa structure et ses propriétés générales. Les données quantitatives et qualitatives à prendre en compte sont l'intensité (relative à la concentration en MOD fluorescente) et la position des maxima de fluorescence qui varient en fonction de la nature et de l'origine des échantillons et dépendent des espèces moléculaires fluorescentes qu'ils contiennent (type de bande = type de matériel organique fluorescent). Des indices de fluorescence (HIX, BIX, F450...) sont également déterminés afin d'estimer les sources et le degré de maturation de la MOD fluorescente. De fortes valeurs de l'indice d'Humification HIX indiquent la présence d'un matériel organique humifié/aromatique (Huguet et al., 2009 ; Zsolnay et al., 1999). L'indice d'activité biologique (BIX) permet d'estimer la présence de matière organique fraîchement produite dans le milieu (≥ 0.8) (Vacher, 2004 ; Huguet et al., 2009). L'indice F450 permet d'identifier la contribution relative de MOD terrestre (1,3) ou aquatique/microbienne (1,9) (Mc Knight et al., 2001 ; Cory et al., 2010). Différents indices (SUVA, $S_{275-295}$, S_R , E2/E3...) sont également calculés à partir des spectres d'absorbance et renseignent sur l'aromaticité, la taille et la polarité de la MOD (Blough and Del Vecchio, 2002; Helms et al., 2008; Matilainen et al., 2011 ; Stubbins et al., 2012 ; Weishaar et al., 2003).

Concernant les communautés planctoniques, les analyses (dénombrement et identification si possible) portent sur les organismes autotrophes (Cyanobactéries, Phytoplancton) et hétérotrophes (Zooplancton, virus, bactéries hétérotrophes) pour déterminer le compartiment fonctionnel qui réagit en présence de mucilages. Elles concernent les organismes allant du femtoplancton (0,02 - 0,2 μm) au mésoplancton (200 μm - 2 mm) pour déterminer les spectres de taille impliqués. L'identification et le dénombrement des organismes microphytoplanctoniques et mésozoo-planctoniques permet de caractériser les espèces impliquées dans la formation des mucilages et leurs spécificités (Coloniales vs solitaires, sécrétrices d'EPS, référencées dans les mucilages dans d'autres zones du monde...).

La dynamique des communautés microbiennes appartenant aux 3 domaines du vivant (Eucaryotes, Bacteria et Archaea) a été suivie afin de déterminer si des microorganismes pouvaient être mis en relation avec la formation de mucilage ou avec sa dynamique. Les fonctions de ces microorganismes ont été suivies durant une période de formation de mucilage en comparaison à une période sans mucilage

pour rechercher une relation entre leurs fonctions, la dynamique du mucilage et ses propriétés. La dynamique des communautés microbiennes a été établie en lien avec les paramètres environnementaux.

Les contaminants ont été étudiés par des dosages effectués au laboratoire sur les prélèvements réalisés à la bouteille Niskin et au filet à plancton pour les composés mercuriels, les composés organostanniques, les composés musqués synthétiques et les alkylphénols.

Concernant les processus biologiques impliqués dans la formation des mucilages, la mesure de la production primaire permet d'évaluer le lien entre production primaire et formation des mucilages tandis que les bio-essais de sels nutritifs doivent d'une part nous renseigner sur une éventuelle limitation de la production primaire liée aux conditions nutritives et d'autre part identifier le sel nutritif limitant engendrant des mécanismes sécrétoires de la part des organismes phytoplanctoniques.

4. Observation de la présence de mucilages

La bouteille Niskin et le filet à plancton permettent de prélever des mucilages dans leur eau environnante. Il ne s'agit donc pas des mucilages "purs" mais des couches d'eau contenant des mucilages. L'évaluation de leur quantité dans la colonne d'eau est réalisée subjectivement et après concertation par 2 observateurs pour tous les prélèvements dès la remontée du filet à plancton et pendant la collecte du zooplancton dans le seau. Les prélèvements sont classés en 3 catégories selon la charge et l'état de colmatage du filet, et la quantité d'agrégats recueillis dans le seau après vidange du collecteur :

- Absence : le filet à plancton remonte propre (= blanc) et le seau ne présente pas d'agrégats : les mucilages sont considérés comme absents,
- Présence faible : le filet remonte sale (= jauni) mais non colmaté et le seau présente quelques agrégats : les mucilages sont considérés comme faiblement présents,
- Présence forte : le filet remonte colmaté (= marron) et le seau présente de nombreux agrégats : les mucilages sont considérés comme fortement présents.

5. Détection par les méthodes acoustiques

Début 2011, lors de la réunion de restitution de l'étude 2010, chaque pêcheur présent a confirmé la détection par sondeur d'un écho atypique pouvant correspondre à du Liga.

Dès 2012, il nous est apparu important de vérifier cette information car elle pourrait s'avérer essentielle dans la détection à grande échelle du Liga. Pour cela, afin de limiter les coûts financiers, techniques et humains, des embarquements sur des navires professionnels ont été réalisés afin de :

- Valider que la couche atypique détectée correspond bien à du Liga,
- Cartographier mensuellement le Liga sur le littoral basco landais.

6. Données hydroclimatiques

Afin d'apprécier le rôle des modifications environnementales dans l'accélération du phénomène d'apparition de mucilages, l'évolution à long terme (1959-2014) des facteurs susceptibles de favoriser ces apparitions (basé sur des études antérieures sur les mucilages en Mer Adriatique) a été étudiée. L'objectif in fine était de proposer un indice synthétique d'apparition de mucilages nommé « indice hydroclimatique de mucilages » ou MHI. Parmi les facteurs étudiés, l'indice final proposé prend en compte le rayonnement global, la houle, les débits de l'Adour et la température de l'air.

7. Compréhension et prévision de la dynamique du panache

Afin de disposer d'outils complémentaires aux études d'identification et de caractérisation des processus contrôlant la formation du LIGA et d'étudier le rôle des apports fluviaux, le développement d'un modèle numérique du panache de l'Adour a été entrepris au cours du projet. Des études antérieures réalisées au laboratoire SIAME ont montré la nécessité de cette approche pour compléter les observations par télédétection. Ces études ont montré que la télédétection, terrestre ou satellite, une fois les images calibrées par des mesures de terrain, permet de fournir une carte synoptique de distribution de la zone d'influence d'un panache fluvial et de sa composition. Toutefois, ces méthodes d'observation sont limitées par la fréquence d'acquisition et leur dépendance aux conditions climatiques. De plus, elles ne fournissent qu'une information de surface. Dans ce contexte, la modélisation numérique constitue un outil de caractérisation et de compréhension complémentaire qui peut permettre de fournir des informations sur les échanges de masse d'eau en surface et en profondeur afin d'étudier le rôle sur la dispersion des matières en suspension telles que le liga.

8. Dynamique historique et perception par les acteurs

Réalisation d'enquêtes vers un public ciblé d'utilisateurs et à partir d'archives. Après une phase exploratoire, 17 personnes (pêcheurs professionnels et institutionnels des collectivités ou organismes publics) ont été entendues dans le cadre d'entretiens semi-directifs anonymes permettant à l'enquêté de s'exprimer librement. Cette méthode permet d'étudier de manière approfondie les représentations,

les perceptions, les attitudes des personnes en rapport à un objet. L'objectif est de collecter le maximum de connaissances des gens du terrain en privilégiant la diversité des points de vue plutôt que leur représentativité. Les entretiens font l'objet d'une analyse de contenu qui passe par la construction et la mise en œuvre de règles et de procédures d'analyses qui lui donnent son caractère « objectif » et permettent à l'analyste de dépasser ses simples intuitions. Les résultats doivent être lus comme des guides de décryptage d'une situation à un moment donné qui présentent une diversité de points de vue et mettent à nu certains rouages afin de mieux comprendre d'où proviennent les perceptions, les opinions des uns et des autres. Ces éléments complémentaires à ceux fournis par les analyses bio-physico-chimiques menées dans le programme, permettent de replacer les enjeux sous-jacents dans la sphère sociale pour faciliter l'accompagnement des éventuelles actions à envisager.

Chapitre 3 : les dynamiques du liga

1. Dynamique temporelle du Liga

Afin de synthétiser les conditions hydro-climatiques qui pourraient créer un contexte favorable à l'émergence de mucilages, nous nous sommes basés sur la littérature importante existant autour des facteurs clé reconnus, essentiellement en Mer Adriatique, pour leur effet sur l'apparition et la persistance des mucilages (Thornton and Thake, 1998, Degobbis et al., 1999, Herndl et al., 1999, Russo et al., 2005, De Lazzari et al., 2008). L'étude sur le long terme de paramètres issus de diverses sources (Météo France, Hydro EauFrance - MEDDE/DE, Agences de l'Eau Adour Garonne, Ifremer et données locales UPPA/CEREMA/IVS), nous a permis de construire un indice hydro-climatique de mucilage (MHI) à partir des données historiques (1959-2014) de température maximum de l'air et de rayonnement solaire à Biarritz, de débits de l'Adour et de houle à Anglet (Figure 6). Une valeur élevée du MHI révèle des conditions anticycloniques qui pourraient être plus favorables à l'apparition de mucilages (temps ensoleillé, faible houle, faibles débits) tandis qu'une valeur faible reflète des conditions dépressionnaires probablement défavorables à leur formation (mauvais temps, forte turbulence, débits de l'Adour élevé, voir § 5.3 "Lien avec les forçages anthropiques et climatiques").

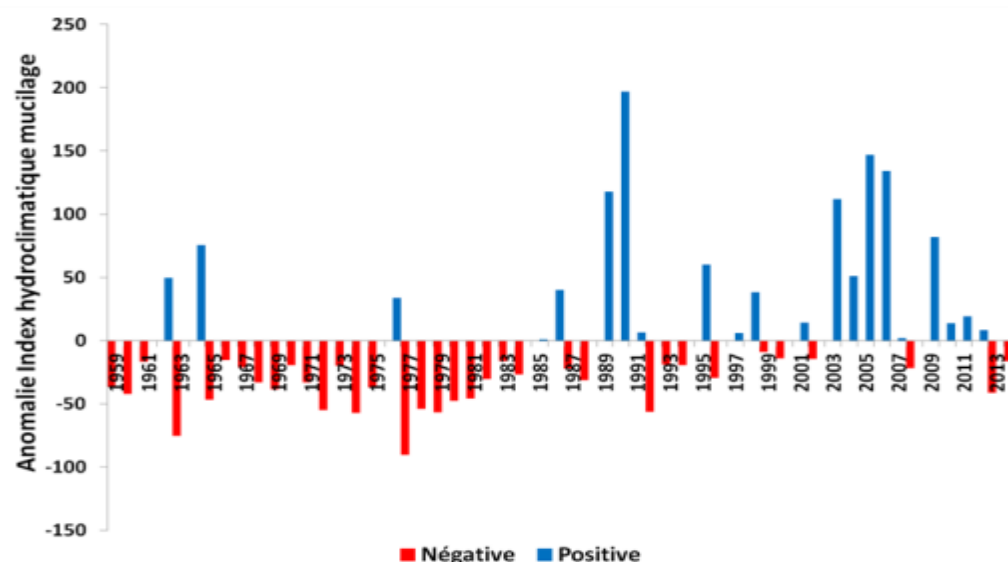


Figure 6 : Ecart à la moyenne de l'indice hydro-climatique mucilage sur la période 1959-2014.

Les conditions favorables à l'apparition de mucilages sont plus fréquentes en fin de la période 1959-2014 (Fig 6) et ceci très nettement depuis les années 2000. Au cours de la décennie qui s'achève avec notre étude, ces périodes favorables s'intensifient, avec toutefois des conditions moins favorables

à leur apparition juste au cours des années 2013-2014, durant lesquelles nos échantillonnages ont été réalisés. Si l'on découpe la série des moyennes annuelles de MHI sur la période 1959-2014 en appliquant la méthode des quartiles, l'année 2013 serait dans la classe 1 (MHI très faible) et l'année 2014 dans la classe 3 (MHI moyen). Malgré ces conditions hydro-climatiques peu favorables par rapports aux années 2000, l'observation directe des prélèvements a permis de détecter la présence de mucilages sous forme de flocs (petits à moyens agrégats flottants) à différentes périodes (Figure 7).

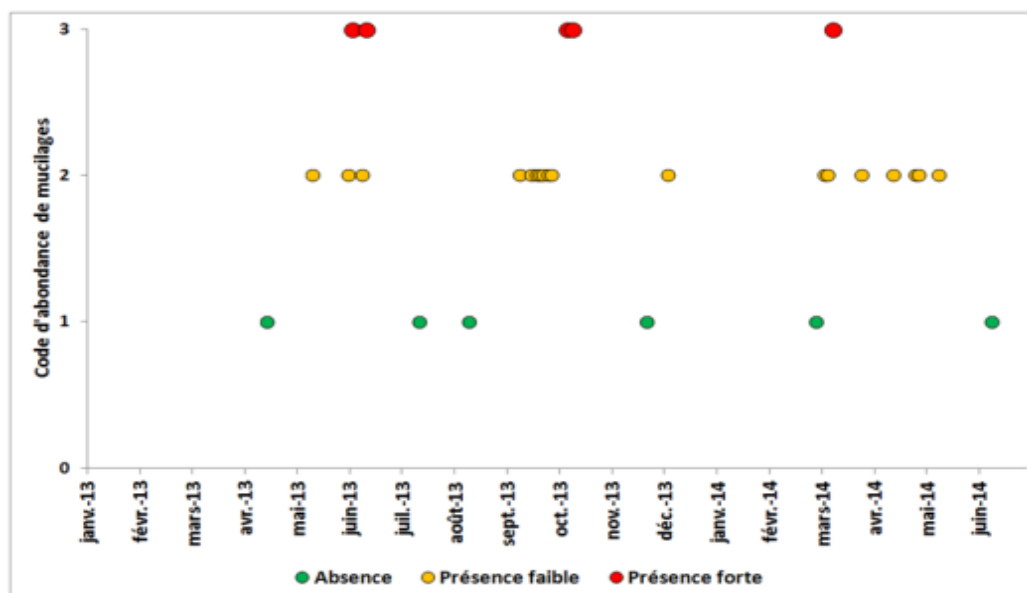


Figure 7 : Chronologie d'apparition des mucilages sur la période d'étude.

A l'échelle de la période d'étude, les deux stations côtières (Biarritz et Tarnos) ont été impactées exactement de la même manière. Les mucilages sont absents en avril, juillet, août et novembre 2013 ainsi qu'en juin 2014. Ils apparaissent sur 4 périodes distinctes :

- du 4 au 14 juin 2013 avec deux pics de forte présence les 6 et 14,
- à l'automne 2013, du 13 septembre au 14 octobre, avec deux pics de forte présence les 11 et 14 octobre,
- en décembre 2013 avec une présence faible le 10 décembre,
- au printemps 2014, du 12 mars au 19 mai, avec un pic de présence observé le 17 mars.

En conclusion, il apparaît que les conditions hydro-climatiques et océaniques sont de plus en plus favorables à l'apparition des mucilages depuis une trentaine d'années, et plus particulièrement depuis le début de ce siècle. La présente étude confirme l'apparition de mucilages au printemps et à l'automne, avec cependant une saisonnalité moins marquée au cours de notre période d'étude du fait de conditions moins favorables.

2. Dynamique fonctionnelle du Liga

Cette partie du rapport présente les résultats de l'ensemble des analyses des échantillons collectés au cours de la campagne de prélèvements. Les différents contributeurs ont simplifié au mieux l'exposé de leurs résultats et ont été invités à présenter des encadrés résumant leurs principales conclusions.

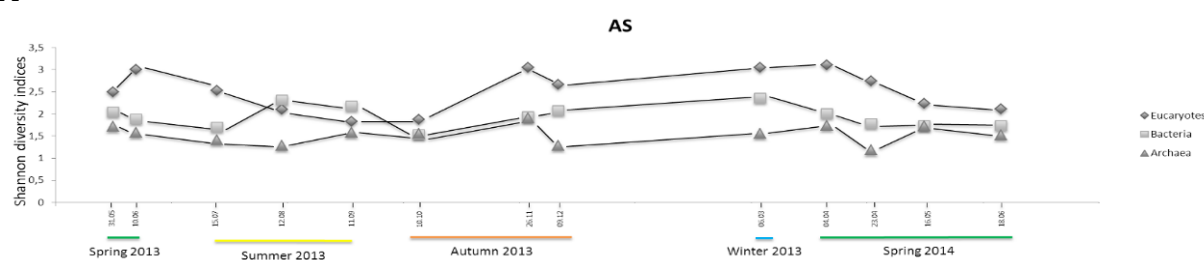
2.1. Rôle, origine et fonctionnement des communautés microbiennes

2.1.1. Structure et diversité génétique des trois domaines du vivant présents dans les communautés microbiennes.

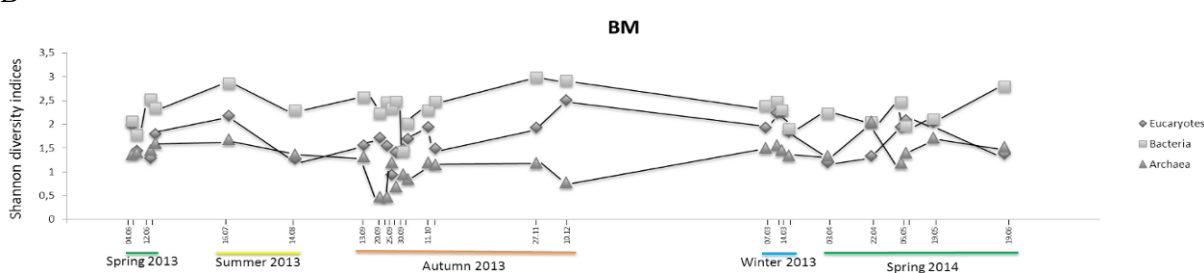
2.1.1.1. Diversité spécifique du Liga, de la colonne d'eau marine et de l'Adour

La diversité spécifique et la dynamique des communautés dans les compartiments retenus dans l'étude ont été établies à la fois par des techniques d'empreintes moléculaires (T-RFLP), technique qui permet de suivre de façon globale les changements dans la composition des communautés microbiennes,

A



B



C

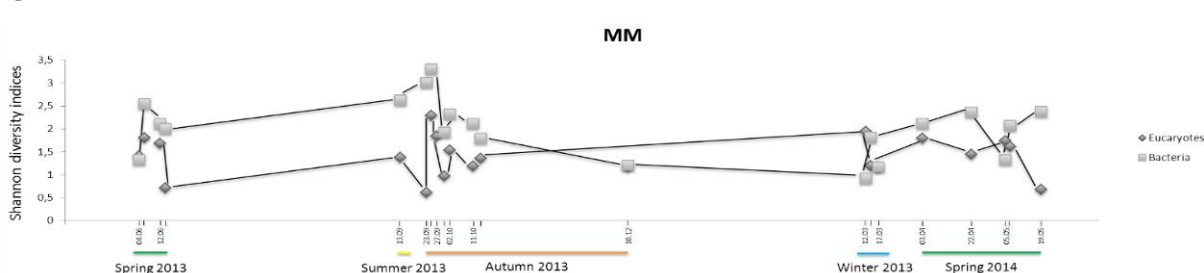


Figure 8 : Diversité spécifique représentée par l'indice de Shannon calculé à partir de méthode d'empreinte moléculaire (T-RFLP) dans trois compartiments : Adour (AS), eau à la profondeur intermédiaire sur le site « Biarritz » (BM) et mucilages prélevés à « Biarritz » (MM).

et de séquençage à haut-débit, technique plus précise, qui permet de suivre la composition des communautés en identifiant les espèces qui les composent. Nous avons ciblé les gènes de l'ARNr 16S pour les procaryotes comprenant les archées et bactéries et de l'ARNr 18S pour les eucaryotes.

Les résultats présentés ici se limitent aux données obtenues par les empreintes moléculaires (Fig 8). Nous n'avons pas détecté de microorganismes s'apparentant aux archées dans le mucilage suggérant que les membres de ce domaine sont très faiblement représentés voire même absents dans ce compartiment. Les archées n'exploitent donc aucune niche dans le mucilage. Pour les deux autres domaines du vivant (bactéries et eucaryotes) la diversité est homogène tout au long de l'année indépendamment de la présence ou pas de Liga et des deux périodes définies précédemment. La présence de Liga n'affecte donc pas la diversité spécifique, c'est à dire le nombre d'espèces présentes dans la colonne d'eau en milieu marin. De plus la diversité spécifique ne permet pas d'anticiper dans les conditions de l'étude la présence de Liga quel que soit le compartiment considéré (marin ou eau douce). Cette mesure ne peut donc pas constituer un marqueur d'apparition de Liga. Il est intéressant de noter que la diversité spécifique des eucaryotes en eau douce est plus importante que celle du milieu marin. Finalement les diversités spécifiques archéenne et eucaryote sont plus faibles dans le Liga ce qui indique que l'eau de mer conserve au moins en partie une composition qui lui est propre.

Des analyses similaires utilisant les données générées par le séquençage haut-débit sont en cours. Cette technique grâce à une résolution plus fine permet d'identifier plus précisément (genre, espèces) la composition des communautés microbiennes. Chaque compartiment est constitué de communautés spécifiques au niveau des phyla² (Fig 9). Les analyses statistiques de ces données devraient apporter un nouvel éclairage sur la dynamique des communautés au cours de l'année et en période de mucilage.

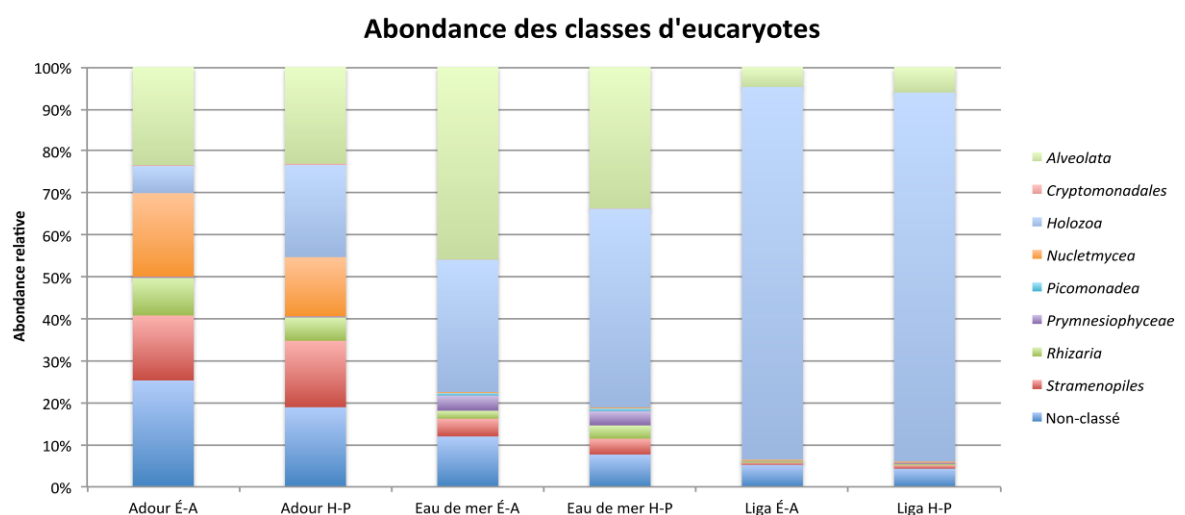


Figure 9 : Répartition des différents groupes phylogénétiques au sein des eucaryotes dans les 3 environnements (Adour, eau de mer et Liga prélevés à Biarritz) pour les deux périodes été-automne (E-A) et hiver-printemps (H-P).

² La classification des êtres vivants comporte 8 niveaux principaux, le phylum est le deuxième niveau de la classification après le domaine (premier niveau), le dernier est l'espèce.

2.1.1.2. Structure et comparaison des communautés microbiennes du Liga, de la colonne d'eau et de l'Adour

La composition des communautés des trois principaux compartiments analysée par la technique d'empreinte moléculaire (T-RFLP) permet de distinguer significativement chacun d'eux (PERMANOVA, $P \leq 0,013$) (Fig 10). L'analyse confirme que les communautés du Liga sont spécifiques et ont donc une composition différente de celle de l'eau de mer.

De plus la composition du Liga est différente selon les deux périodes identifiées (été-automne et printemps-hiver) à partir des facteurs climatiques et physico-chimiques. Il y aurait donc bien des conditions dans le Golfe de Gascogne qui favoriseraient l'apparition de deux types de Liga ayant des compositions distinctes (Fig 10B et 10C). Toutefois, cette observation n'exclut pas malgré tout que le Liga puisse être la résultante d'un nombre limité de microorganismes que les méthodes d'empreinte moléculaire n'aient pas permis d'identifier. L'identification précise des microorganismes du Liga par les approches de séquençage haut-débit pourrait nous permettre de les identifier si c'était le cas.

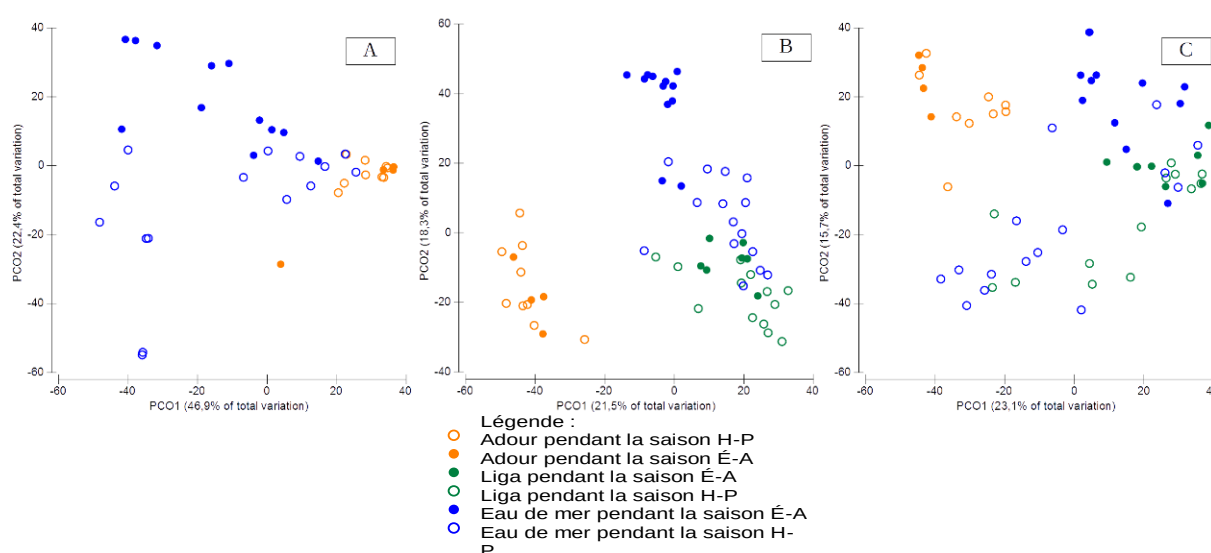


Figure 10 : Analyses des coordonnées principales (PCoA) réalisées sur les trois domaines du vivant (A : Archées, B : Bactéries, C : Eukaryotes) en considérant les deux périodes définies par les paramètres environnementaux et climatiques (E-A : été-automne, H-P : hiver-printemps).

2.1.1.3. Diversité fonctionnelle du Liga et de la colonne d'eau de mer

Grâce à l'utilisation de puces à ADN (type Geochip) une investigation fonctionnelle des communautés de l'eau de mer et du Liga a été menée. Cette approche permet de distinguer des populations spécifiques aux environnements investigués sur la base des capacités fonctionnelles des communautés. La puce comprend 167 044 sondes distinctes, couvre 395 894 séquences codantes soit environ 1500 familles de gènes fonctionnels. Elle inclue 22 356 séquences dérivées du domaine bacteria, 622 d'archaea, 1 891 de fungi et finalement 511 d'organismes phylogénétiquement non classés. L'étude a été menée sur un nombre restreint d'échantillons, par contre les deux périodes

climatiques ont été considérées. Des fonctions métaboliques spécifiques au Liga en comparaison à celles présentes dans l'eau de mer ont ainsi été identifiées. Elles concernent, indépendamment des deux périodes identifiées, des voies métaboliques associées au stress et à la virulence. Des fonctions impliquées dans le métabolisme secondaire sont par contre seulement affectées en été et automne (Figure 11). Ainsi le Liga présenterait davantage de gènes liés à des capacités de virulence et donc de facteurs de pathogénicité par rapport à l'eau de mer (voir § 2.2). De façon surprenante les gènes liés au stress sont, à l'inverse, moins importants dans ce compartiment que dans l'eau de mer. Ceci indique que les communautés du Liga sont composées de microorganismes qui possèdent moins de capacité de réponse face à un stress induit par les fluctuations environnementales telle que la limitation en oxygène, la température, le pH, la nutrition et le stress oxydatif. Il est important cependant de rappeler que la diversité de cette communauté est bien moins importante que dans les autres compartiments de l'étude. Finalement davantage de populations possédant des gènes liés au métabolisme secondaire tel que le métabolisme des antibiotiques, la synthèse de pigments sont plus prépondérantes en été et automne dans le Liga.

La communauté planctonique présente dans la colonne d'eau est riche et variée indépendamment de la présence de mucilages. Elle renferme de nombreux groupes fonctionnels

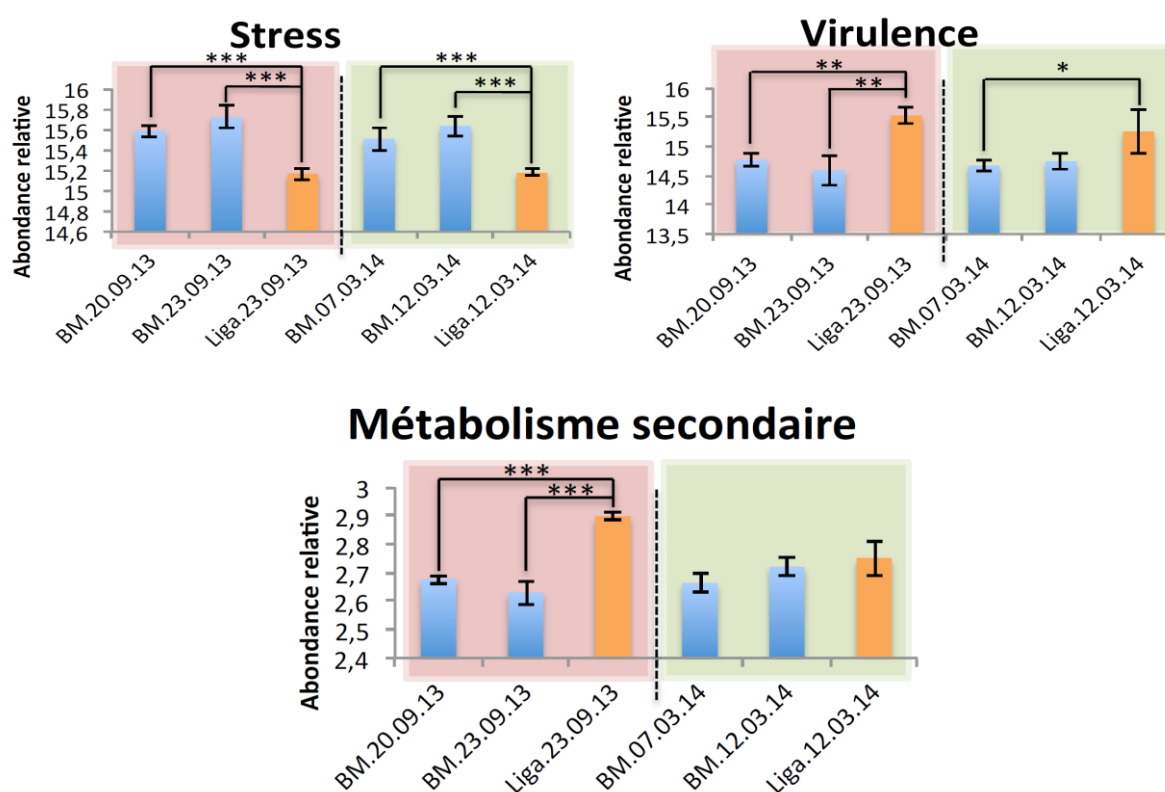


Figure 11 : Fonctions métaboliques distinguant sur le site de Biarritz les communautés de l'eau de mer (bleu) (BM) et du Liga (orange) à 2 périodes distinctes (hiver-printemps, fond rose et été-automne, fond vert) exprimées en abondances relatives (test de Tukey ** : $p < 0,01$ et *** : $p < 0,001$).

comme des virus, des bactéries hétérotrophes, des cyanobactéries, du phytoplancton (pico, nano et micro) et du zooplancton (nano, micro et zoo) de différentes tailles dont l'abondance saisonnière varie selon le groupe considéré. Seules les bactéries hétérotrophes du type « High Nucleic Acid de type 2 » ne sont identifiées qu'en présence de mucilages dans la colonne d'eau.

La communauté planctonique présente dans la colonne d'eau est riche et variée indépendamment de la présence de mucilages. Elle renferme de nombreux groupes fonctionnels comme des virus, des bactéries hétérotrophes, des cyanobactéries, du phytoplancton (pico, nano et micro) et du zooplancton (nano, micro et zoo) de différentes tailles dont l'abondance saisonnière varie selon le groupe considéré. Seules les bactéries hétérotrophes du type « High Nucleic Acid de type 2 » ne sont identifiées qu'en présence de mucilages dans la colonne d'eau.

En conclusion, ce suivi annuel réalisé sur la composition des communautés microbiennes dans les colonnes d'eau et dans le liga grâce à des méthodes d'empreintes moléculaires montre que :

- Les mucilages formés en automne et au printemps ont une composition distincte**
- La présence de liga n'affecte pas la diversité spécifique de colonne d'eau en milieu marin, c'est à dire le nombre d'espèces présentes.**
- Dans les conditions de l'étude, la diversité spécifique ne permet pas d'anticiper la présence de liga quel que soit le compartiment considéré (marin ou eau douce). Cet indicateur ne peut donc pas être utilisé pour marqueur d'apparition de liga.**
- Les espèces constituant le liga sont au moins en partie issues d'espèces provenant de la colonne d'eau**

De plus l'approche fonctionnelle nous a permis de montrer que :

- Le liga est enrichi par rapport à l'eau de mer par des populations microbiennes possédant des capacités de virulence.**
- Le liga est composé de microorganismes possédant moins de capacité de réponse face à un stress.**

2.1.2. Diversité taxinomique des composantes planctoniques.

2.1.2.1. Communautés phytoplanctoniques

Pour déterminer les groupes fonctionnels associés à la présence de mucilages dans la colonne d'eau, nous avons réalisé une analyse en composante principale sur les communautés prélevées dans la couche intermédiaire de Biarritz (Figure 12).

Les communautés planctoniques expliquent 44 % de la variabilité d'abondance des mucilages. L'abondance des cyanobactéries du genre *Synechococcus* est négativement corrélée à l'absence de

mucilages (p value Kruskal Wallis = 0,017) tandis que celle des taxons micro-phytoplanctoniques est positivement corrélée à leur forte présence (p value Kruskal Wallis = 0,006).

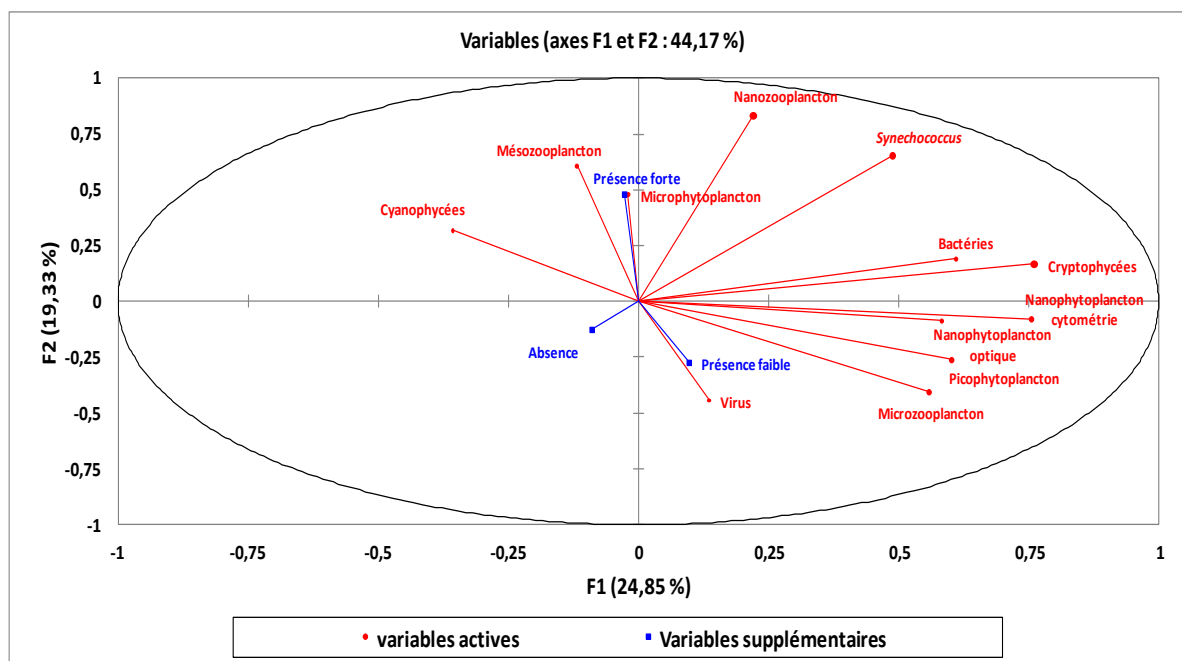


Figure 12 : Résultats de l'analyse en composante principale sur les communautés phytoplanctoniques de la couche intermédiaire de Biarritz en fonction de la présence de mucilages.

Nous avons dénombré 99 taxons microphytoplanctoniques dont 92 (93 %) ont déjà été identifiés dans des mucilages dans d'autres zones du monde et 64 (65 %) sont potentiellement sécrétrices d'EPS. 63 taxons sont connus pour former des blooms algaux et 29 ont des formes coloniales. Ils se composent d'une espèce de chlorophycées, 1 espèce de cryptophycées, 46 espèces de diatomées, 47 espèces de dinoflagellés, 2 espèces d'euglènes et 2 espèces de silicoflagellés. Les 20 taxons les plus abondants et les plus fréquents sont présentés dans la figure 13.

La famille des diatomées domine la flore microphytoplanctonique locale. Les espèces *Ceratoneis closterium*, *Leptocylindrus danicus*, *Pseudo-Nitzschia* groupes B2, B1, A1, *Thalassiosira gravis*, *Proboscia alata* et *Rhizosolenia imbricata* peuvent être très abondantes et, dans certains cas représenter plus de 90 % de la flore totale. Au printemps 2014, le dinoflagellé *Triplos furca* a représenté plus de 85 % de la flore totale. L'espèce la plus fréquemment identifiée dans les échantillons est la diatomée *Ceratoneis closterium* présente dans 93 % des échantillons. Les diatomées du genre *Navicula* sp., *Leptocylindrus danicus* et *Leptocylindrus minimus*, les kystes de dinoflagellés, les dinoflagellés *Gyrodinium spirale* et *Torodinium robustum* et les diatomées sont présentes dans plus de 60 % des échantillons.

Elles dominent la flore microphytoplanctonique en présence forte de mucilages et leur abondance est positivement corrélée à la présence forte de mucilages (Figure 14).

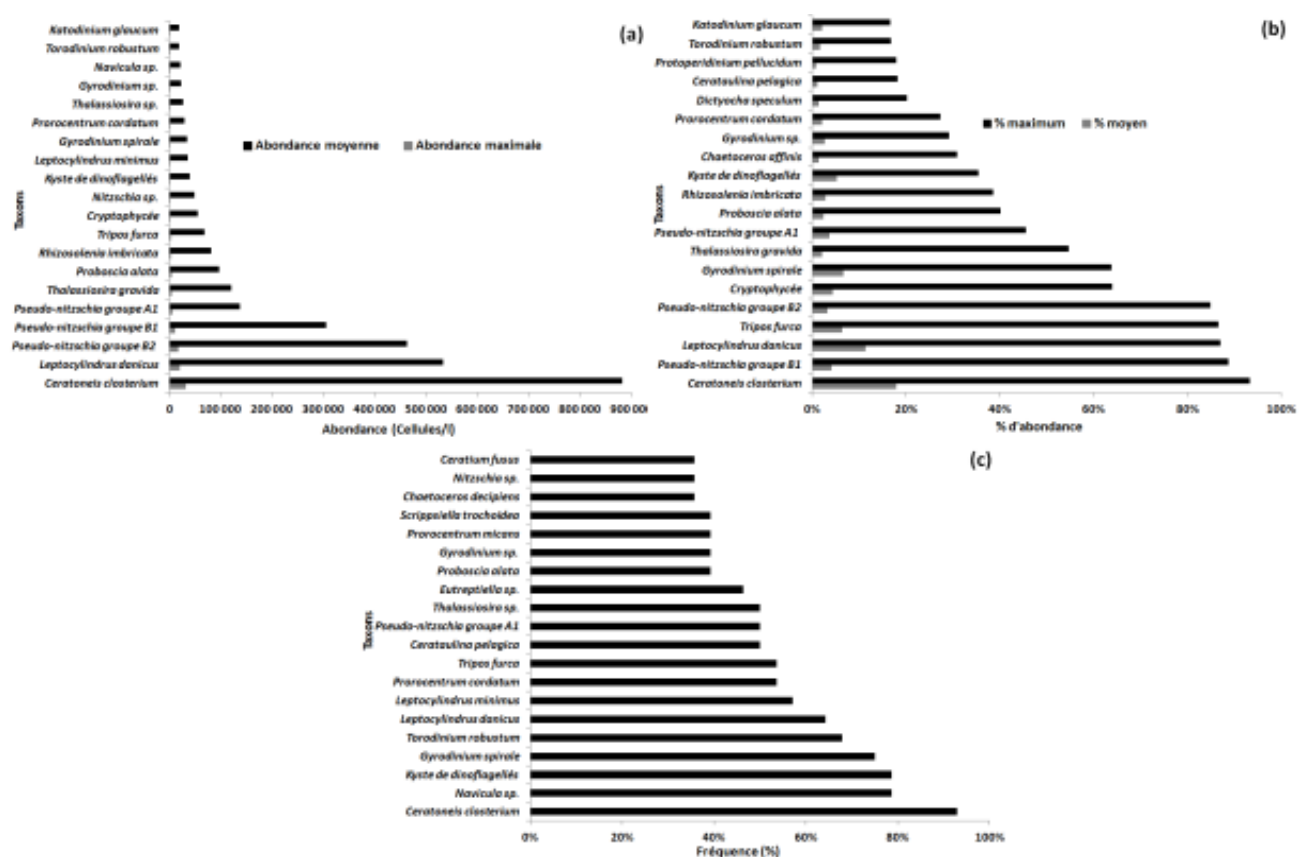


Figure 13 : Abondances (a), Pourcentages d'abondance (b) et fréquences d'apparition des 20 premières espèces microphytoplanctoniques identifiées.

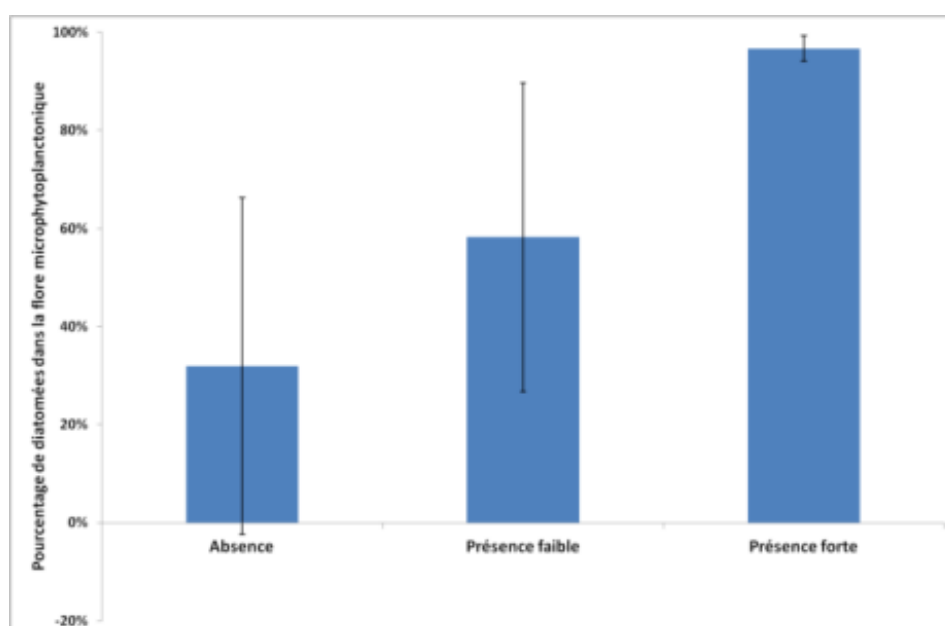


Figure 14 : Pourcentage de diatomées dans la flore microphytoplanctonique en fonction de la présence de mucilages.

Nous avons dénombré 46 espèces de diatomées dont 41 (89 %) ont déjà été référencées dans des mucilages, 31 (67 %) sont connues pour sécréter des EPS, 26 (27 %) ont la capacité de former des blooms algaux et 27 (59 %) ont des formes coloniales. Sur les périodes de présence forte, les espèces dominantes varient selon la saison : *Leptocylindrus danicus* en juin 2013 (67 à 87 % de l'abondance totale), les *Pseudo-nitzschia* du groupe B1 et B2 en octobre 2013 (89 à 91 % de l'abondance totale) et *Thalassiosira gravida* en mars 2014 (59 % de l'abondance totale) (Figure 15). De plus, les espèces *Leptocylindrus danicus*, *Ceratoneis closterium* et *Navicula* sp. sont systématiquement rencontrées en présence forte de mucilages. Ces espèces sont illustrées dans la figure 15.

Sur les pics de présence de mucilages, les espèces de diatomées référencées dans des mucilages d'autres mers du monde représentent 100 % de l'abondance totale de diatomées présentes, les espèces potentiellement sécrétrices d'EPS 96 +/- 6 %, les espèces de diatomées capables de former des blooms algaux 97 +/- 4 % et les espèces coloniales 93 +/- 8 %.

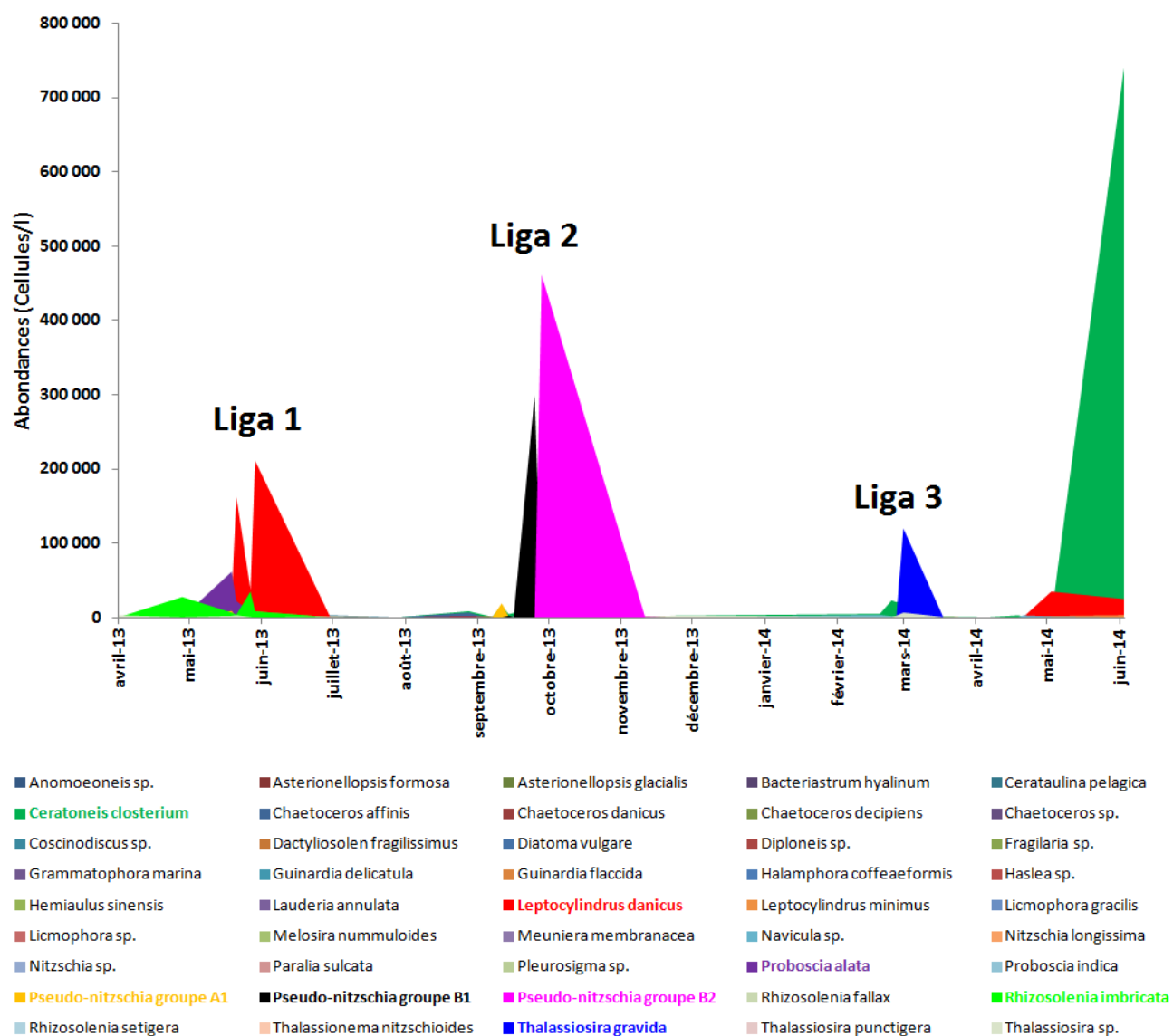


Figure 15 : Evolution des abondances de diatomées sur la période d'étude.

En conclusion, sur les 99 taxons microphytoplanctonique identifiés :

- 92 ont déjà été décrits dans des mucilages dans le monde, 64 peuvent sécréter des EPS, 63 peuvent former des efflorescences et 29 ont des formes coloniales.
- La famille des diatomées domine la flore microphytoplanctonique locale, particulièrement lors des floraisons, et certaines de ses espèces peuvent représenter plus de 90 % de la flore totale avec : dans 93% des échantillons : *Ceratoneis closterium*, dans plus de 60 % des échantillons : *Navicula* sp, *Leptocylindrus danicus* et *Leptocylindrus minimus*, les kystes de dinoflagellés ainsi que les dinoflagellés *Gyrodinium spirale* et *Torodinium robustum*
- En présence forte de mucilages, les diatomées (46 espèces) dominent la flore microphytoplanctonique. Leur abondance y est positivement corrélée. 41 de ces espèces ont déjà été référencées dans des mucilages, 31 sont connues pour sécréter des EPS, 26 ont la capacité de former des efflorescences et 27 ont des formes coloniales.
- Les espèces dominantes varient selon les présences fortes de mucilages mais *Leptocylindrus danicus*, *Ceratoneis closterium* et *Navicula* sp. y sont systématiquement rencontrées.
- Les communautés phytoplanctoniques expliquent 44 % de la variabilité d'abondance des mucilages. Lors des pics de mucilages, les diatomées présentes sont toutes référencées dans des mucilages d'autres mers du monde.

2.1.2.2. Communautés zooplanctoniques

Quarante échantillons ont été prélevés dans la zone intermédiaire sur deux stations littorales (dénommées par la suite « Tarnos » et « Biarritz ») entre avril 2013 et juin 2014 avec un filet à plancton WP2 de 200 µm de vide de maille. Au total, 84 unités taxonomiques ont été identifiées au cours de cette étude (Tableau 1).

L'évolution des abondances et de la richesse taxonomique mésozooplanctoniques au cours de la période d'étude en fonction de la quantité de liga constaté sur le filet à plancton est présentée dans la figure 16.

Nous avons réduit le nombre d'espèces de 47 à 35 par la méthode statistique de « sorting abundance » puis nous avons réalisé une PERMANOVA au seuil de 5 % sur les codes d'abondance de mucilage (p value = 0,027). Afin de déterminer les espèces indicatrices de la forte présence de mucilages, nous avons appliqué la méthode INDVAL. Il en ressort que les abondances de siphonophores *diphyidae* (gélatineux carnivores) (p value = 0,002), les appendiculaires du genre *Oikopleura* (bactérovores) (p value = 0,01), les chaetognathes du genre *Sagitta* (carnivores voraces) (p value = 0,06) et les copépodes du genre *Oncaea* (carnivores) (p value = 0,05) sont positivement corrélées à la forte présence de mucilages dans la colonne d'eau.

Tableau 1 : Liste des 84 unités taxonomiques, regroupées en 7 classes distinctes. composant le micro- et le mésoplancton présent dans les échantillons de liga entre avril 2013 et juin 2014.

Acartia clausi	Œufs Poissons	Hydroméduses	Bosmina longirostris
Acartia discaudata			
Calanoides carinatus	Larves Poissons	Syphonophores Diphyidae	Daphniidae
Calanus helgolandicus			
Caligus sp.	ICHTHYOPLANCTON 2	Obelia sp.	Evadne nordmanni
Candacia armata			
Centropages chirochiae	Alpheidae	TOTAL CNIDAIRES 3	Evadne spinifera
Centropages hamatus			
Centropages typicus	Axiidae	Amphioxus	Evadne tergestina
Clausocalanus sp.			
Corycaeus sp.	Brachyourses mégalopes	APPENDICULAIRES Fritillaria sp.	Penilia avirostris
Cyclopina littoralis			
Diaxiais pygmaea	Callianassidae	APPENDICULAIRES Oikopleura	Podon intermedius
Euchaeta sp.			
Euterpina acutifrons	Crangonidae	BIVALVES Velligères	TOTAL CLADOCERES 8
Giardella sp.			
Harpacticoides benthiques marins	Diogenidae	BRYOZAIRES Cyphonautes	Nauplii Cirripèdes
Isias clavipes			
Labidocera wollastonii	Galatheididae	CHAETOGNATHES Sagitta	Cypris Cirripèdes
Microsetella rosea			
Oithona nana	Hyppolytidae	ECHINODERMES	TOTAL Larves CIRRIPEDES
Oithona plumifera			
Oithona similis	Nephropidae	GASTROPODES Velligères	AMPHIPODES benthiques marins
Oncaea sp.			
Paracalanus parvus	Paguridae	Nématodes	AMPHIPODES Phronimes
Parapontella brevicornis			
Pseudocalanus elongatus	Paleomonidae	Oligochètes	EUPHAUSIACES
Temora longicornis			
Temora stylifera	Porcellanidae	POLYCHETES Larves	Isopodes gnathidae
Gros calanus sp			
Nauplii copépodes	Processidae	Pétopodes Cléo sp.	Isopodes Microniscus
Copépodites			
TOTAL COPEPODES 32	TOTAL LARVES DECAPODES 17	PLANCTON AUTRES 14	CRUSTACES AUTRES 8

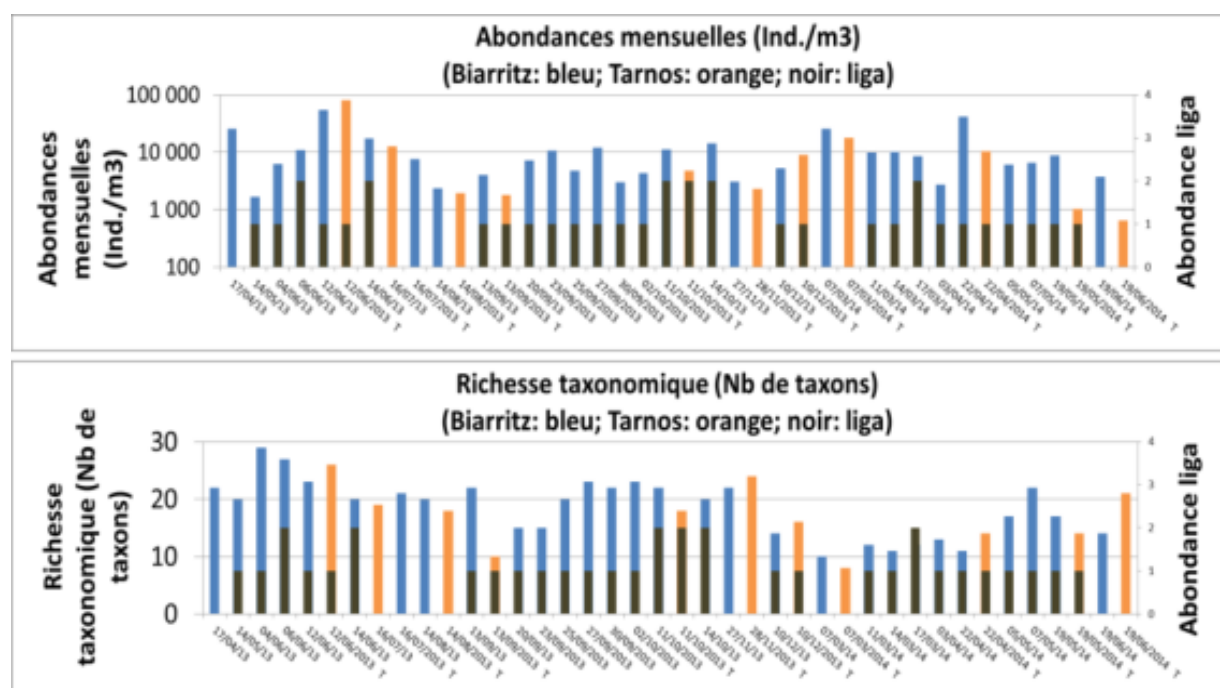


Figure 16 : Abondances (graphe du haut) et richesse taxonomique (graphe du bas) mensuelles du zooplancton sur les deux stations « Biarritz » et « Tarnos » entre avril 2013 et juin 2014. Les abondances du liga sont indiqués à droite sur une échelle estimative (0 : pas de liga ; 1 liga peu abondant ; 2 : liga abondant).

En ce qui concerne la composition du zooplancton dans la colonne d'eau échantillonnée durant toute la période d'étude, certains groupes comme les crustacés copépodes sont largement dominants, que ce soit en termes d'abondance (plus de 80 % des individus récoltés sont des copépodes) ou de nombre de taxons représentés (38 % des espèces récoltées sont des copépodes) (Figure 17).

D'une manière synthétique, la catégorie « Plancton autre » regroupant les larves d'organismes marins (méroplancton) sont également particulièrement abondants et parmi eux, les larves de décapodes représentent 20 % du total des espèces récoltées.

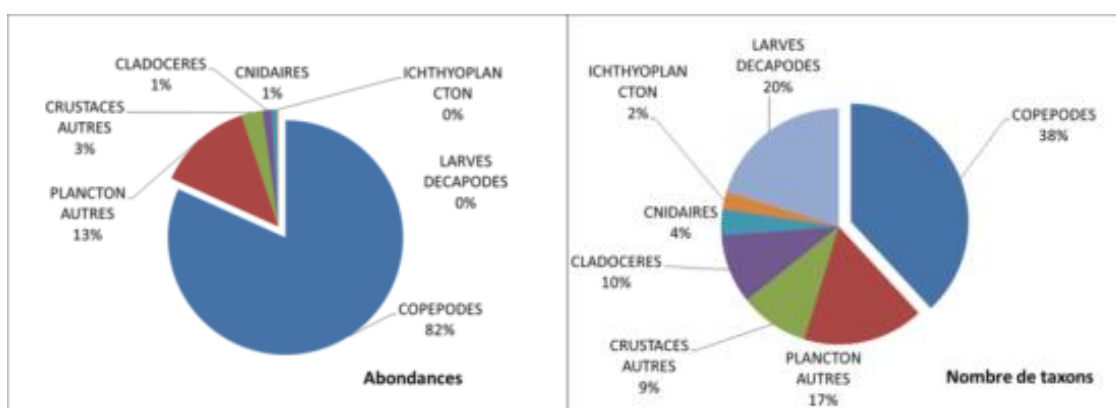


Figure 17 : Proportions des abondances (à gauche) et de la diversité (à droite) de sept catégories d'organismes micro- et mésozooplanctoniques récoltés au cours de l'étude Liga.

Plusieurs points sont à retenir concernant les populations micro et mésozooplanctoniques présentes dans la colonne d'eau lors de l'étude LIGA de 2013-2016 :

- Le mésozooplancton forme dans la zone littorale échantillonnée un peuplement toujours fortement diversifié ;
- Les crustacés copépodes sont les organismes les plus abondants.
- La saisonnalité est marquée pour certaines espèces, alors que d'autres sont pérennes toute l'année.
- L'abondance des formes larvaires traduit une diversité élevée d'organismes macrobenthiques.
- La composition et l'abondance du plancton entre les deux stations de Biarritz et de Tarnos sont assez semblables tout au long de l'année.
- Durant la période d'étude, il n'a pas été constaté de période de proliférations d'espèces à caractère agglutinant ou urticants (Cnidaires, cténaires, larves d'annélides...).
- 4 groupes de taxons indicateurs de forte présence de mucilages ont été identifiés. Il s'agit des siphonophores *diphyidae*, des appendiculaires *Oikopleura* sp, des chaetognathes *Sagitta* sp et des copépodes *Oncaea* sp.

2.1.3. Rôle et origine de la matière organique

Les TEP et EPS montrent une dynamique spécifique sur la période d'étude (Figure 18).

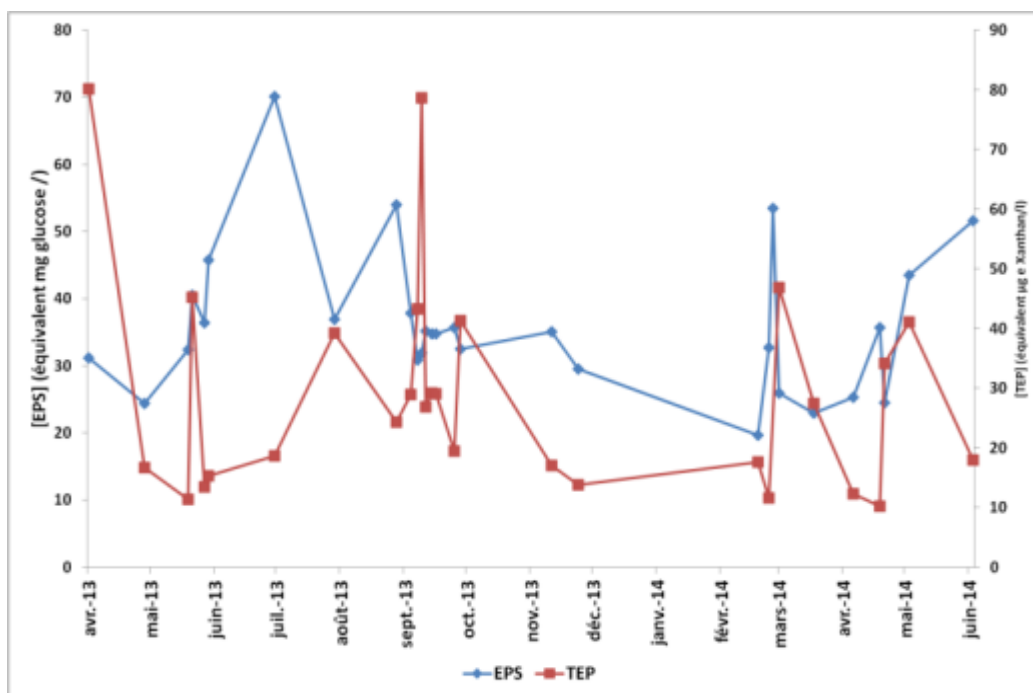


Figure 18 : Evolution des concentrations en EPS et TEP à Biarritz.

A Biarritz, la concentration moyenne d'EPS est de $36,04 \pm 10,82$ équivalent mg glucose/l avec une valeur minimale observée le 7 mars 2014 en sortie d'hiver (19,7 équivalent mg glucose/l) et une valeur maximale mesurée le 16 juillet 2013 (70,1 équivalent mg glucose/l). La valeur moyenne des TEP sur la période d'échantillonnage est de $28,97 \pm 18,23$ équivalent µg de Xanthan/l avec une valeur minimale dosée le 05 mai 2014 (10,27 équivalent µg de Xanthan/l) et une valeur maximale le 25 septembre 2013 (80,17 équivalent µg de Xanthan/l). Nous constatons que les augmentations saisonnières d'EPS du 06 juin 2013, du 13 septembre 2013, du 11 octobre 2013, du 14 mars 2014 et du 05 mai 2014 sont simultanées ou précèdent des augmentations saisonnières de TEP et correspondent aux périodes de pics de présence de mucilage (06 juin 2013, 14 juin 2013, 11 et 14 octobre 2013, 17 mars 2014).

Afin de d'étudier le lien entre la présence saisonnière plus ou moins importante de mucilages et les variations saisonnières des concentrations en TEP et EPS, nous avons réalisé une analyse en composante principale mixte sur les données de la couche intermédiaire de Biarritz (Figure 19).

Les concentrations en sels nutritifs, leurs ratios et les TEP et EPS expliquent 56 % de la variabilité d'abondance des mucilages.

L'analyse en composante principale nous indique que la variation saisonnière de TEP est positivement corrélée à la présence forte de mucilages (p value test Kruskal Wallis = 0,039).

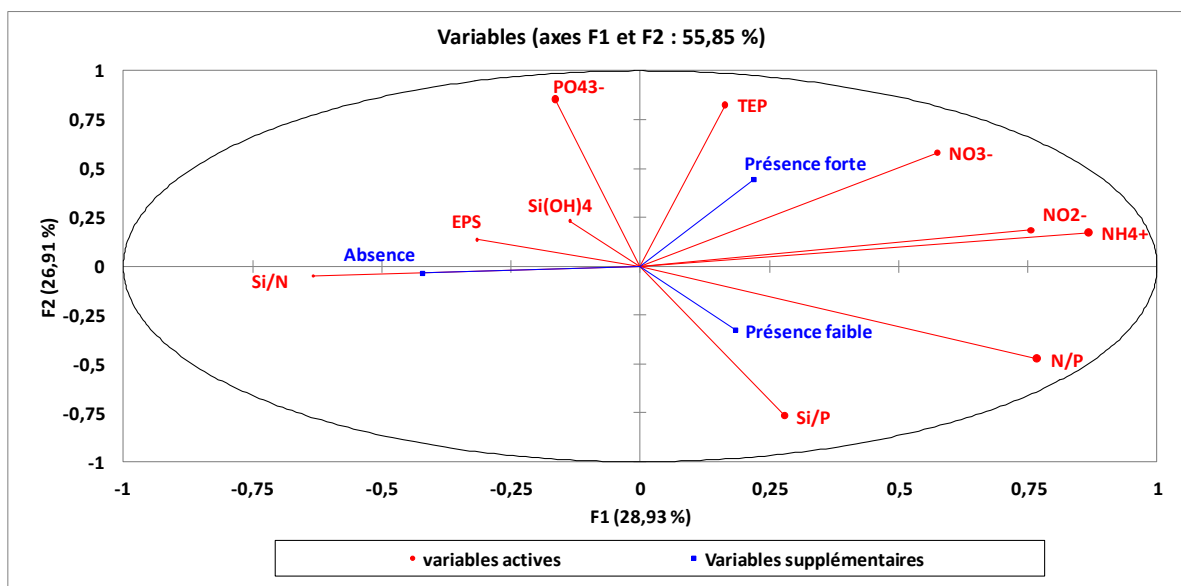


Figure 19 : Résultats de l'analyse en composante principale sur les sels nutritifs et les TEP et EPS dans la couche intermédiaire de Biarritz.

Du point de vue des conditions environnementales, les variations saisonnières d'EPS sont positivement corrélées au rayonnement global (Coefficient de Pearson = 0,403 ; p value = 0,046 ; $r^2 = 0,163$), à la présence d'une pycnocline (Coefficient de Pearson = 0,403 ; p value = 0,046 ; $r^2 = 0,163$) et négativement corrélées à la houle (Coefficient de Pearson = 0,403 ; p value = 0,046 ; $r^2 = 0,163$) (Coefficient de Pearson = 0,403 ; p value = 0,046 ; $r^2 = 0,163$).

Du point de vue des processus biologiques, les variations saisonnières d'EPS sont positivement corrélées aux limitations de production primaire par les phosphates (Coefficient de Pearson = 0,394 ; p value = 0,042 ; $r^2 = 0,156$) et les silicates (Coefficient de Pearson = 0,403 ; p value = 0,046 ; $r^2 = 0,163$).

Du point de vue communautés planctoniques, les analyses statistiques démontrent que les variations saisonnières des concentrations d'EPS sont positivement corrélées aux variations saisonnières de l'abondance virale (Coefficient de Pearson = 0,457 ; p value = 0,013 ; $r^2 = 0,209$) tandis que les variations saisonnière de concentrations en TEP sont positivement corrélées aux variations saisonnières d'abondances de microphytoplancton (Coefficient de Pearson = 0,401 ; p value = 0,038 ; $r^2 = 0,161$) et plus particulièrement à celles de la famille des diatomées (Coefficient de Pearson = 0,403 ; p value = 0,037 ; $r^2 = 0,162$).

La matière organique particulaire (matière particulaire vivante ou d'origine vivante ; MOP) joue un rôle clef dans le fonctionnement des écosystèmes car 1) elle est à la base de la chaîne alimentaire des écosystèmes aquatiques, 2) elle est fortement impliquée dans les cycles biogéochimiques (cycle du carbone en particulier) et 3) elle est en forte interaction avec les contaminants organiques et métalliques. Dans les écosystèmes côtiers, cette matière est d'origine très

diverse. En effet, elle peut provenir du continent, comme de l'océan, et peut être produite in situ en zone côtière. De même, sa composition peut être très diverse : microphytes (phytoplancton, microphytobenthos), macrophytes (débris de macroalgues, de phanérogames), matériel terrestre (sol, débris de végétaux terrestres), matériel anthropique (par exemple issu des eaux usées). Selon son origine et sa composition, cette matière est plus ou moins réactive et disponible pour les organismes, et donc plus ou moins impliquée dans le fonctionnement des écosystèmes côtiers. Le mucilage marin, quel que soit son mode de formation, est de la matière organique. L'objectif de ce volet de l'étude était de déterminer la composition de la matière organique particulaire, de sa dynamique spatiale et temporelle, et son interaction avec le mucilage.

L'approche choisie a été une approche isotopique et élémentaire : la comparaison des rapports isotopiques et élémentaires en carbone et azote de la MOP et de ses sources potentielles permet de quantifier la contribution de chaque source à l'ensemble de la MOP. Les sources considérées ont été le phytoplancton, le matériel terrestre apporté par l'Adour et le matériel anthropique issu des stations d'épuration (Saint-Frédéric, Pont l'aveugle et Saint-Bernard).

Les résultats obtenus indiquent une dominance générale du phytoplancton dans la composition de la MOP ($71.6 \pm 24.2\%$), la contribution terrestre étant généralement modérée ($22.7 \pm 21.8\%$) et la contribution anthropique faible ($5.7 \pm 7.4\%$) (Figure 20). Cette dominance du phytoplancton apparaît aux deux sites, à toutes les profondeurs et toutes les saisons, à l'exception de Tarnos dans les eaux de fond en automne où le matériel terrestre domine. Cette dominance du phytoplancton est classique des écosystèmes côtiers et a déjà été décrite par exemple en baie de Seine (Savoie et al., 2003), en baie de Marseille (Cresson et al, 2012), en Adriatique (Tesi et al, 2007), etc. Les deux sites présentent une dynamique verticale et temporelle similaire : la contribution terrestre augmente avec la profondeur et, comparativement aux autres saisons, est plus forte en hiver à toutes les profondeurs et en automne dans les eaux de fond. La plus forte contribution terrestre dans les eaux de fond indique que ce matériel réfractaire s'accumule à la surface du sédiment et est remis en suspension dans les eaux de fond par les courants de fond quand les conditions climatiques plus sévères se mettent en place (courants induits par le vent et la houle). Dans les eaux de surface et les eaux intermédiaires, la plus forte contribution terrestre apparaît au site de Biarritz en hiver, c'est-à-dire au site généralement le plus influencé par le panache de l'Adour (Petus et al, 2010) et à la saison lors de laquelle les débits de l'Adour ont été les plus élevés lors de la période d'étude. La contribution anthropique est généralement négligeable ($<10\%$). Les plus fortes contributions sont retrouvées dans les eaux de fond au site de Biarritz.

La comparaison des rapports élémentaires et isotopiques entre la MOP et le matériel mucilagineux échantillonné par les filets, ainsi que la comparaison de ces rapports entre la MOP échantillonnée lors et en dehors des périodes de mucilage, indiquent que le mucilage était d'origine autochtone et n'a pas piégé des quantités détectables de MOP terrestre ou anthropique. L'année d'échantillonnage a été une année lors de laquelle le mucilage a été relativement peu développé et

donc à un stade de maturité peu avancé. Il est à noter que la précédente conclusion pourrait être différente pour une année lors de laquelle le mucilage serait dans un état de plus grande maturité.

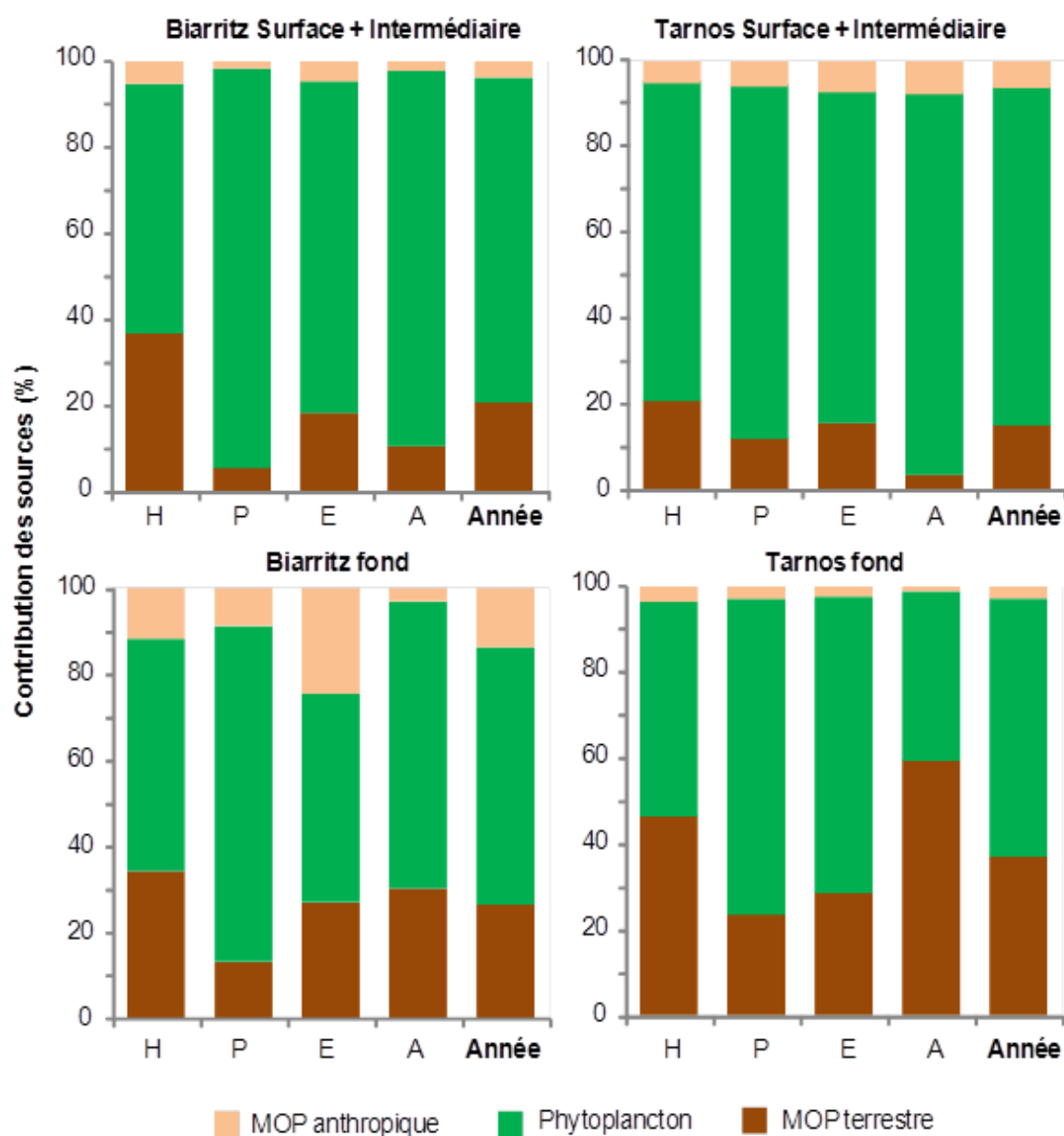


Figure 20 : Contribution relative de chaque source à la composition de la matière organique particulaire aux sites de Biarritz et de Tarnos. Les saisons ont été déterminées à l'aide d'une classification ascendante hiérarchique contrainte (analyse préservant l'ordre chronologique) réalisée sur les rapports isotopiques et élémentaires. Elles correspondent aux périodes suivantes : hiver (H) : 05/11/2013-13/03/2014 ; printemps (P) : 13/03/2014-19/06/2014 ; été (E) : 12/06/2013-26/09/2013 ; automne (A) : 26/09/2013-05/11/2013. Les rapports isotopiques et élémentaires ne montrant pas de différences significatives entre les eaux de surface et les eaux intermédiaires, les résultats concernant ces deux profondeurs ont été regroupés.

Les principaux résultats concernant la matière organique particulaire (MOP) lors de l'année d'étude sont donc :

- **La MOP des deux sites d'étude était principalement composée de phytoplancton autochtone.**
- **La contribution du matériel terrestre était plus importante dans les eaux de fond ainsi qu'en surface en période hivernale, en lien avec l'hydrodynamique sédimentaire (débits fluviaux, remise en suspension du sédiment).**
- **La contribution anthropique était généralement négligeable ; elle était présente en plus forte proportion dans les eaux de fond au site de Biarritz.**
- **Le mucilage était d'origine autochtone et n'a pas piégé des quantités détectables de MOP terrestre ou anthropique.**

La matière organique dissoute/colloïdale (MOD) est un mélange complexe et hétérogène de macromolécules issues de la dégradation de matériel biologique animal ou végétal, d'origine terrestre ou aquatique. Les sources de MOD en milieu aquatique sont multiples : autochtone naturelle (algues, bactéries, macrophytes), allochtone naturelle (issue des sols) et allochtone anthropique (rejets urbains domestiques et industriels).

La caractérisation globale de la MOD a été réalisée par l'étude de ses propriétés optiques et sa quantification par la mesure des concentrations en carbone organique dissous (COD).

Dans un spectre de fluorescence 3D de MOD, les pics se superposent et ont des influences les uns sur les autres. Afin d'extraire plus d'informations de ces spectres, une méthode numérique de traitement des spectres PARAFAC (PARAllel FACtors analysis) a été développée et permet une séparation mathématique des différentes contributions spectrales (Stedmon et al., 2003, 2008 ; Chen et al., 2013 ; Guo et al., 2011 ; Osburn et al., 2016).

Un modèle à 6 composants (Figure 21) a ainsi pu être déterminé et validé, expliquant 99,6 % de la variabilité de l'ensemble du jeu de données (136 échantillons).

Les composants C1, et C5 correspondent à du matériel d'origine terrigène communément trouvé dans des eaux douces et zones côtières et généralement associé à des masses moléculaires élevées et du matériel aromatique d'origine terrestre (Stedmon and Markager, 2005 ; Yamashita et al., 2013). Les composants C2 et C3 correspondent à du matériel produit en eaux douces ou marines d'origine microbienne ou bactérienne (Parlanti et al., 2000). Le composant C4 est attribué à de la MOD de type protéique (Catalá et al., 2016 ; Fellman et al., 2008). Le sixième composant (C6), qui présente une signature spécifique jamais observée jusqu'à présent, a été déterminé en très fortes concentrations à Biarritz et Tarnos en juillet 2013. Les concentrations étaient si intenses que nous avons dans un premier temps suspecté une contamination de ces échantillons. Ce composant a cependant été déterminé pour d'autres échantillons dans ce projet et a également été identifié lors d'un cycle de marée dans l'embouchure de l'estuaire de Seine en juillet 2015, montrant une forte

augmentation de son intensité jusqu'à la pleine mer traduisant les apports en ce composant des eaux marines de la Baie de Seine à l'estuaire (projet MOSAIC - Seine-Aval 5). Ceci a complètement levé le doute quant à une potentielle contamination des échantillons et montre que ce composant est certainement dû à une production en période estivale dans les eaux marines côtières.

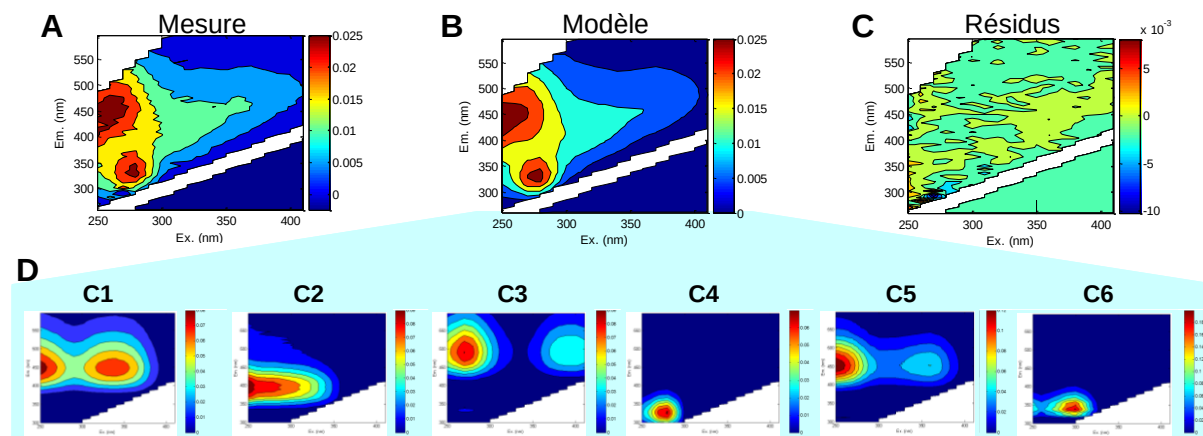


Figure 21 : Modèle à 6 composants déterminé par PARAFAC : A) spectre mesuré (échantillon de Biarritz mi-fond 07/05/2014 pris comme exemple) - B) spectre modélisé à partir des 6 composants - C) résidus obtenus par soustraction des spectres modélisé et mesuré D) 6 composants déterminés expliquant l'ensemble du jeu de données.

La distribution dans le temps des 6 composants est présentée sur la Figure 22A pour Biarritz aux 3 niveaux de prélèvement dans la colonne d'eau. On constate tout d'abord une concentration en MOD fluorescente globalement plus forte pour les eaux de surface avec une augmentation des intensités en lien avec l'augmentation du débit de l'Adour, traduisant les apports de la rivière en surface et de façon moins marquée à mi-profondeur. Cette signature de MOD d'eau douce a également été observée pour les eaux de surface de Tarnos aux périodes de débits élevés de l'Adour. Les composants C4 (type protéique) et C6 (signature spécifique) montrent les plus fortes concentrations soit simultanément soit juste après les forts débits de l'Adour. Les concentrations maximales pour le composant C6 ont été observées à Biarritz et Tarnos (valeur maximale pour Biarritz fond) le 16 juillet 2013, date pour laquelle la valeur maximale d'EPS a également été mesurée. Ces fortes teneurs en C4 et C6 apparaissent également simultanément ou juste avant les périodes d'observation des mucilages pour C6 ou juste après pour C4. Les distributions des teneurs en COD sont présentées sur la Figure 22B. Les plus fortes teneurs en COD sont observées pour l'Adour sans lien systématique avec le débit du fleuve. Les valeurs les plus fortes ont été déterminées en surface à Biarritz et Tarnos, avec des valeurs supérieures en profondeur à Biarritz en septembre 2013. Les concentrations en COD les plus élevées en surface à Biarritz sont observées en juin, juillet, septembre, novembre 2013 et mars et mai 2014. Les valeurs maximales observées à Biarritz surface et fond (4 à 8 mg/L) ne sont pas dues à de

forts apports d'eaux douces puisque bien supérieures aux valeurs de COD mesurées dans l'Adour aux mêmes périodes.

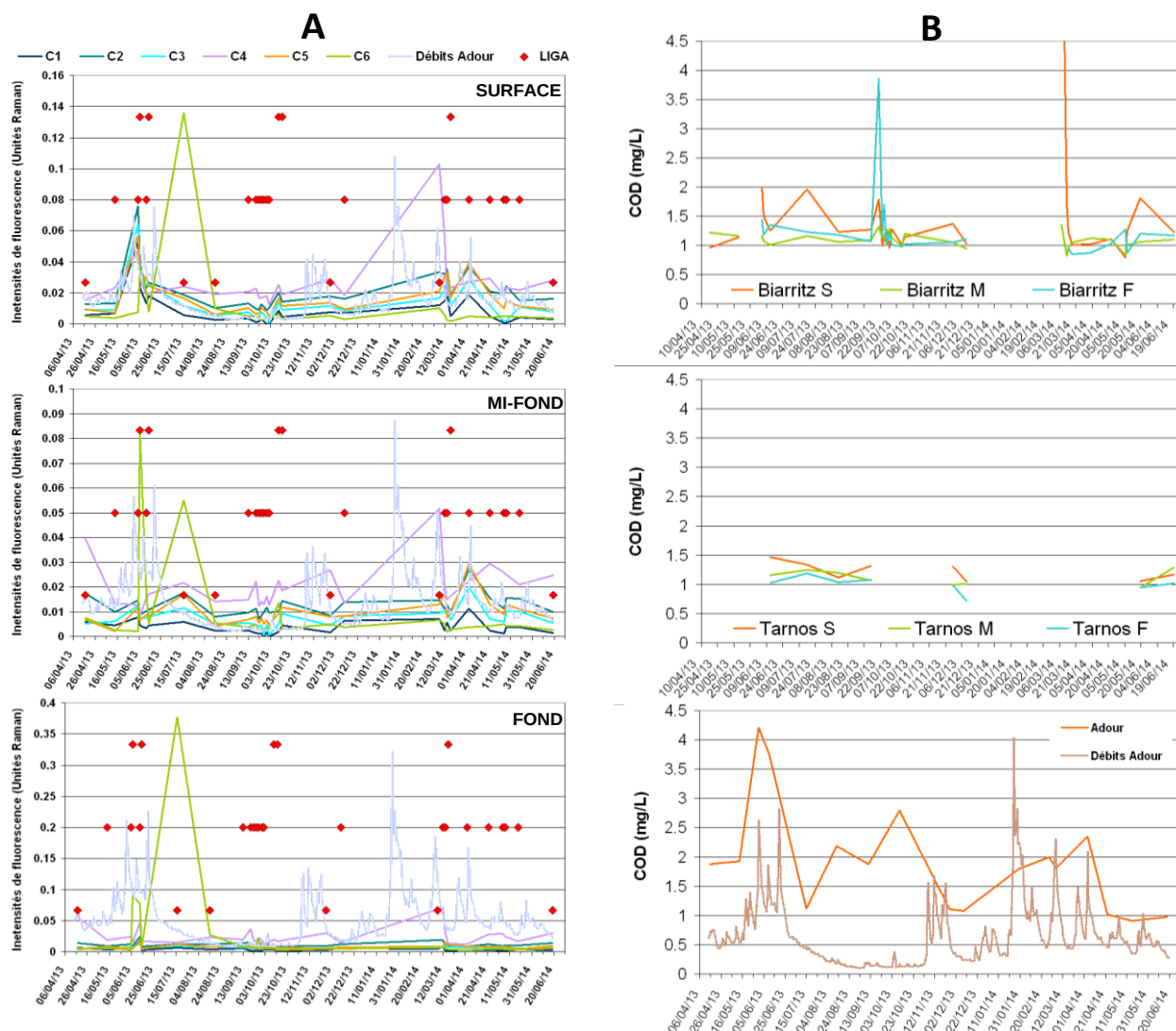


Figure 22 : Evolution des concentrations A) des 6 composants à Biarritz avec les périodes d'apparition des mucilages et du débit de l'Adour et B) en COD pour les sites de Biarritz, Tarnos et Adour.

Le rapport de pentes spectrales (SR) est calculé, à partir des spectres d'absorbance, comme le rapport de la pente spectrale pour les courtes longueurs d'onde (S275-295) sur la pente spectrale de plus grandes longueurs d'onde (S350-400). Le rapport SR est négativement corrélé avec la taille de la MOD (Helms et al., 2008), quand SR augmente le poids moléculaire diminue. Cet indice donne également des informations sur l'origine de la MOD, SR est ainsi supérieur à 1 pour les eaux sous influence marine (autour de 1,7 pour les zones côtières et de 4 pour les zones océaniques) et inférieur à 1 pour la MOD d'origine terrestre (Helms et al., 2008). La Figure 23 montre la grande variabilité de cet indice, et donc de la taille moyenne des constituants de la MOD, pour les sites de Biarritz et Tarnos, alors que les valeurs varient très peu pour l'Adour et sont caractéristiques des eaux douces (<1).

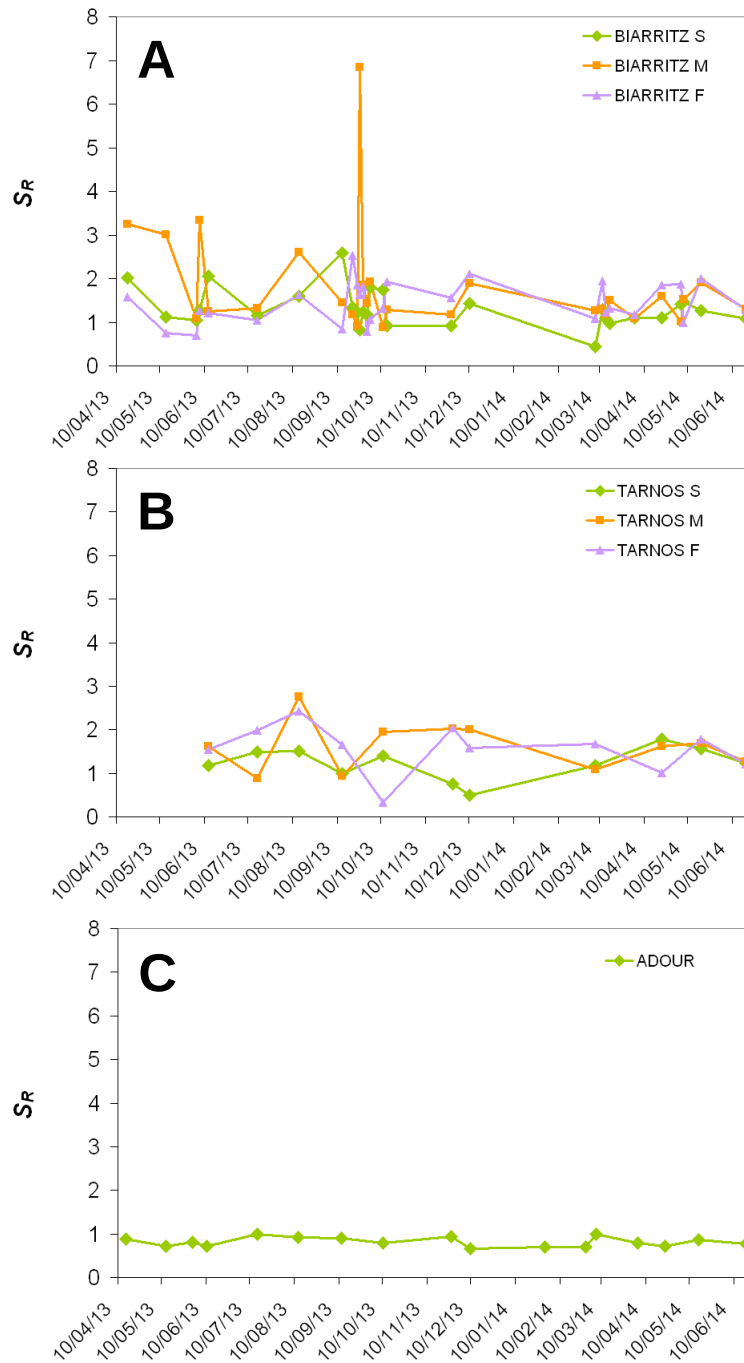


Figure 23 : Evolution des valeurs de S_R pour A) Biarritz, B) Tarnos et C) l'Adour.

Les plus faibles valeurs de S_R à Biarritz, correspondant aux plus grandes tailles de MOD colloïdale, sont observées aux périodes de présence des mucilages (notamment en juin, septembre, octobre 2013 et mars 2014). Les constituants de la MOD à ces dates pourraient donc être liés à la formation des mucilages par agrégation par exemple.

Une analyse en composantes principales (Figure 24) a été réalisée sur l'ensemble des échantillons avec comme variables les paramètres d'absorbance et de fluorescence : 6 composants déterminés par PARAFAC, indices de fluorescence (HIX, BIX, F450) et indices d'absorbance (SUVA, S_R , $S_{275-295}$ et E2/E3).

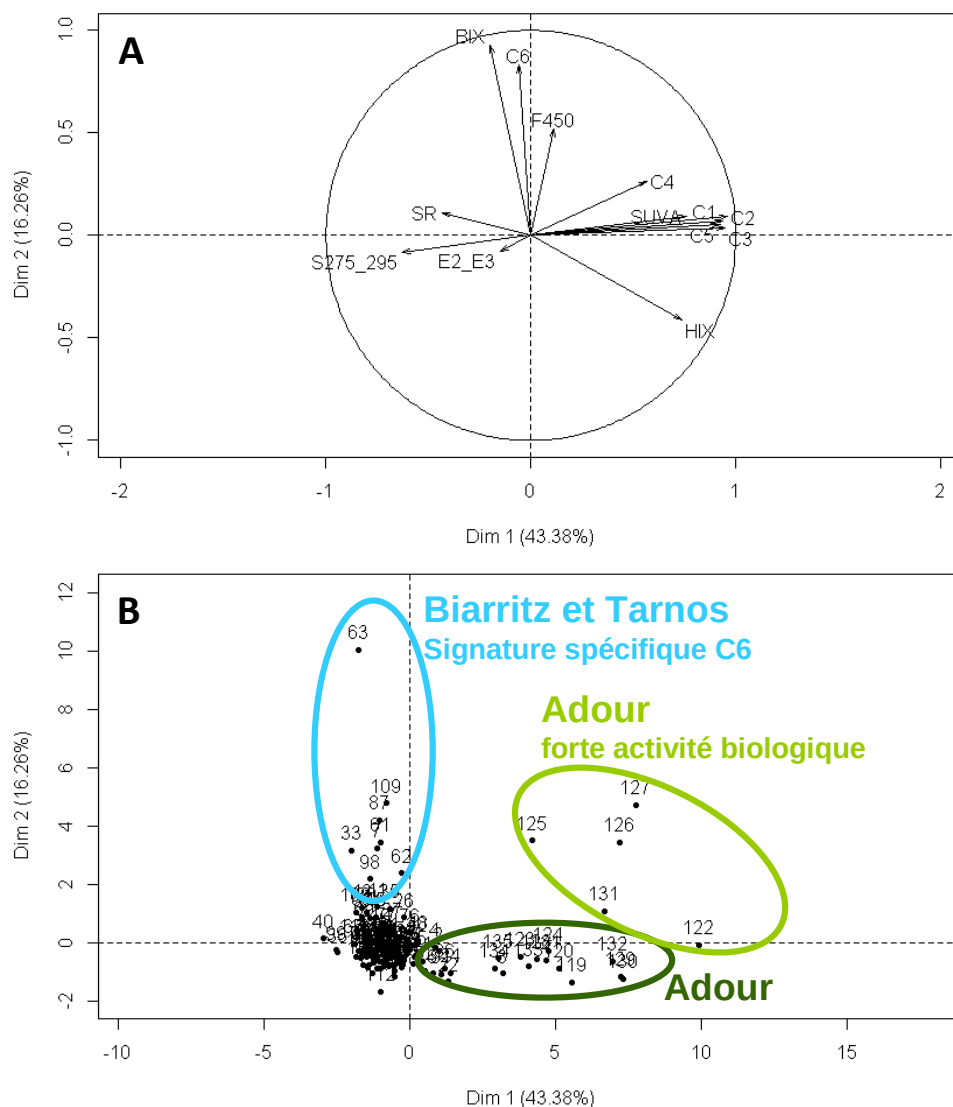


Figure 24 : Résultats de l'analyse en composante principale sur les paramètres spectroscopiques pour l'ensemble des échantillons des sites de Biarritz, Tarnos et Adour, A) variables et B) individus .

Cette ACP a permis de discriminer les caractéristiques de la MOD de l'Adour d'une part (composants d'origine terrigène marquée C1, C2, C3 et C5, forte aromaticité (HIX et SUVA)), 4 échantillons de l'Adour, d'autre part, caractérisé par une forte activité biologique (forte concentration en composés type protéique C4) et enfin les échantillons de Biarritz et Tarnos fortement impactés par le composant C6 (notamment en juillet et juin 2013). Les échantillons de l'Adour riches en C4 correspondent aux prélèvements des 10 juin, 11 septembre, 10 octobre, 26 novembre 2013 et 6 mars

2014. Ces dates correspondent aux périodes de présence des mucilages au niveau des deux stations côtières. On peut donc se demander si des apports de MOD de l'Adour de type protéique, caractéristique d'une forte activité biologique dans le milieu, d'origine naturelle ou anthropique, pourraient favoriser le développement des mucilages dans les eaux côtières.

Afin de d'étudier le lien entre la présence saisonnière plus ou moins importante de mucilages et les variations saisonnières des caractéristiques de la MOD et des concentrations en TEP et EPS, nous avons réalisé une analyse en composante principale sur les données de Biarritz à mi-profondeur (Figure 25).

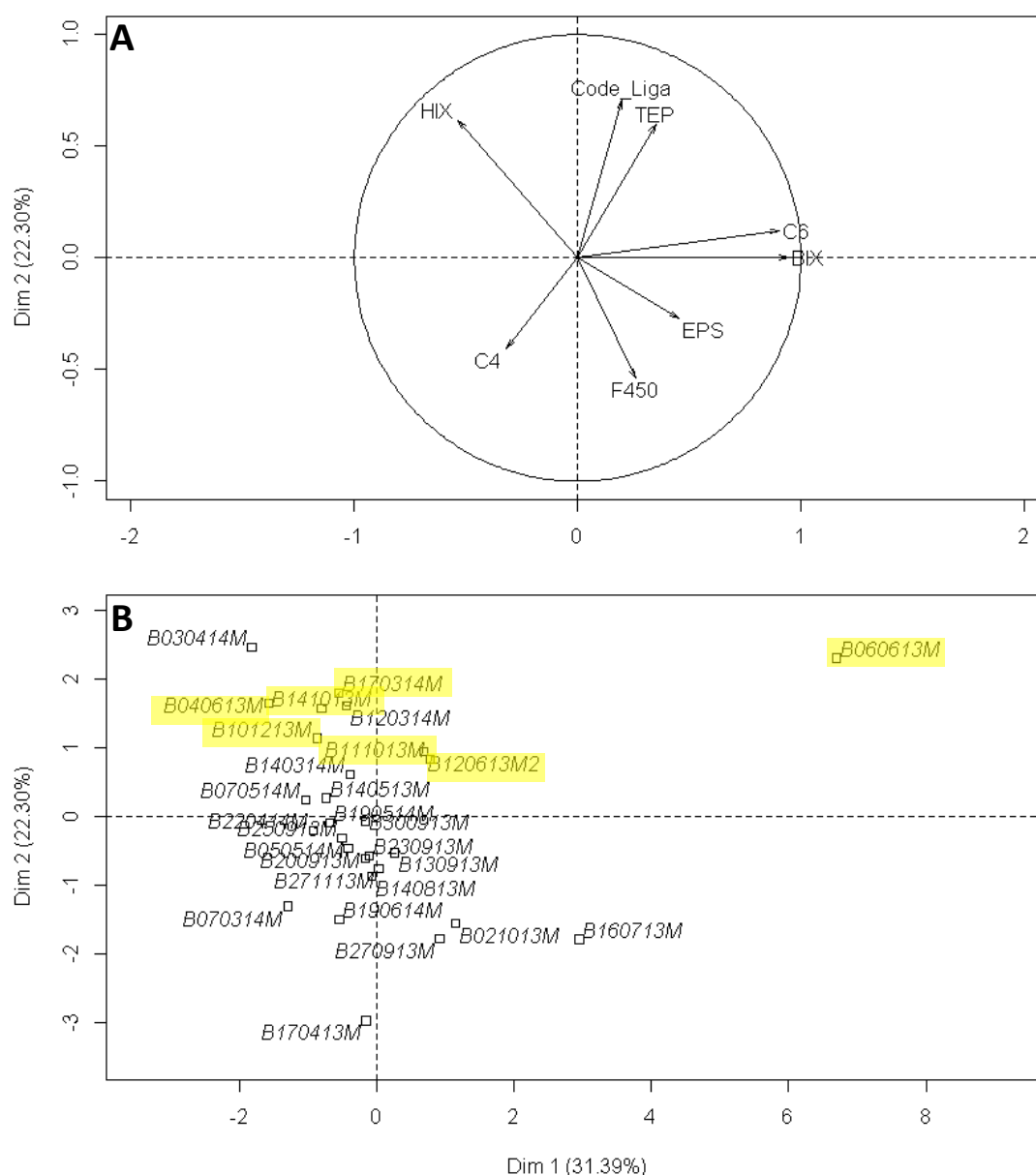


Figure 25 : Résultats de l'analyse en composante principale sur les indices de fluorescence HIX, BIX et F450, les composants C4 et C6, les EPS et TEP et l'indice d'observation des mucilages (Code_Liga) sur les échantillons de mi-fond à Biarritz, A) variables et B) individus (les échantillons surlignés en jaune correspondent aux dates de forte présence observée de mucilages).

Les résultats de cette ACP montrent que la forte présence de mucilages semble être liée aux fortes teneurs en TEP mais également à de la MOD dégradée présentant un fort caractère aromatique (HIX). Les échantillons surlignés en jaune correspondent aux dates d'observation de forte présence de mucilages précédemment mentionnées (Chapitre 3.1., Figure 7). Il serait intéressant de pousser plus loin l'investigation pour déterminer si la MOD caractéristique d'une forte activité biologique (C4, BIX, F450), liée aux EPS, pourrait par dégradation et agrégation/floculation conduire à la formation de TEP et/ou mucilages. Pour cela un suivi haute fréquence à plus long terme serait nécessaire.

Les principaux résultats concernant la matière organique dissoute (MOD) lors de l'année d'étude sont donc :

- Une variabilité spatiale des caractéristiques de la MOD entre Biarritz, Tarnos et l'Adour
- Une différence des propriétés de la MOD entre surface, mi-fond et fond pour Biarritz et Tarnos, avec une concentration des constituants de la MOD plus fortes en surface.
- Une influence des apports de l'Adour sur les propriétés de la MOD en surface à Biarritz et parfois à Tarnos se traduisant par une augmentation des concentrations des constituants de la MOD et de l'indice d'humification HIX (MOD aromatique / dégradée) avec le débit de l'Adour.
- Une signature spectrale très spécifique observée ponctuellement (surtout juin et juillet 2013 – composant C6), présente aux trois niveaux de profondeur mais avec des intensités différentes.
- Une forte variabilité temporelle des caractéristiques de la MOD qui peut être en lien avec l'augmentation de l'activité bactérienne dans les eaux côtières avec les apports fluviaux et/ou un facteur favorisant ou déclencheur de la présence des mucilages ?
- Une forte variabilité de la taille de la MOD à Biarritz et Tarnos ainsi qu'en fonction de la profondeur, faibles variations dans l'Adour.
- Des échantillons correspondant à la forte présence de mucilages caractérisés par de la MOD dégradée présentant un fort caractère aromatique.
- Des échantillons présentant de fortes concentrations d'EPS caractérisés par une MOD d'origine bactérienne et/ou microbienne.

2.1.4. Présence de contaminants et réactivité.

Analyses des échantillons prélevés à la bouteille Niskin :

Les concentrations des composés mercuriels et organostanniques mesurées dans les prélèvements réalisés avec la Niskin correspondent aux niveaux de concentrations généralement mesurés dans les eaux estuariennes et côtières (Tab 2). Des analyses complémentaires des eaux de l'estuaire de l'Adour aval ont montré des gammes de concentrations similaires.

	MMHg (ng/L)	IHg (ng/L)			MBT (ng/L)	DBT (ng/L)	TBT (ng/L)
min	0,010	0,085			0,125	0,600	0,000
max	0,062	1,467			4,261	8,245	0,090
mean	0,028	0,749			1,285	3,332	0,040

Table 2 : Niveaux de concentrations mesurés pour le monométhylmercure (MMHg), mercure inorganique (IHg), tributylétain (TBT), dibutylétain (DBT) et monobutylétain (MBT) dans les échantillons de Liga prélevés avec la Niskin.

Concernant les composés musqués synthétiques et les alkylphénols, les concentrations dans ces échantillons sont toutes inférieures aux limites de quantification.

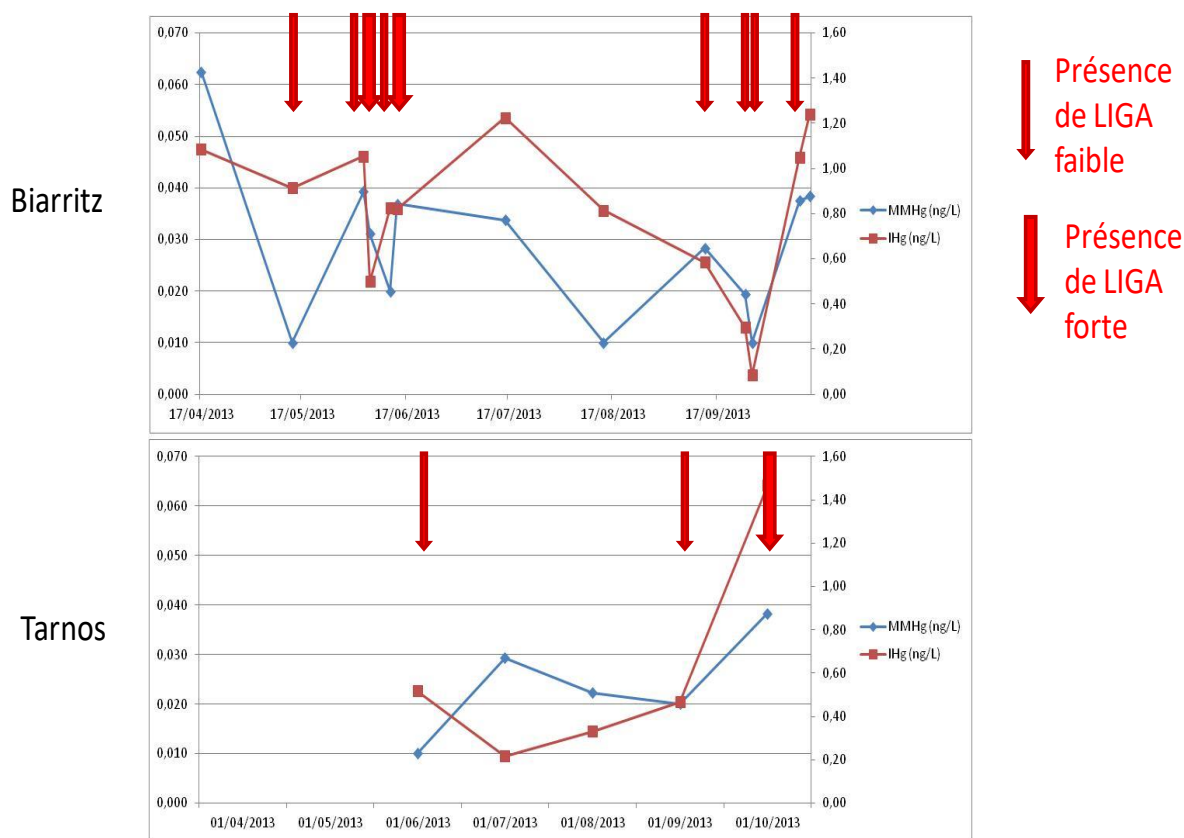


Figure 26 : Variations spatiales et temporelles des concentrations des composés mercuriels

Concernant les variations spatiales et temporelles, nous n'observons pas de différence de gamme de concentrations significative entre Biarritz et Tarnos pour les composés mercuriels. Aucune tendance significative avec la présence ou non de LIGA n'est observée (Figure 26).

Pour les composés organostanniques, nous observons des concentrations légèrement plus fortes à Biarritz qu'à Tarnos mais aucune relation avec la présence ou non de Liga (Figure 27).

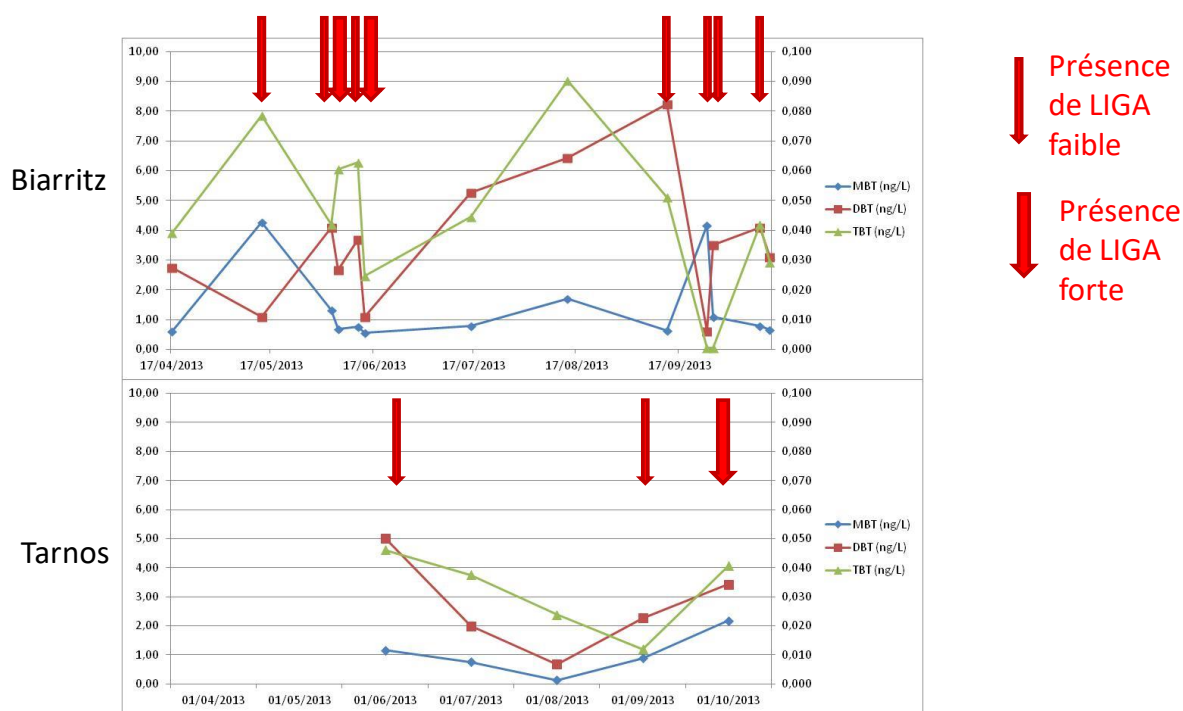


Figure 27: Variations spatiales et temporelles des concentrations des composés organostanniques

Analyses des échantillons prélevés au filet à plancton:

Par comparaison entre les concentrations des polluants dans les échantillons prélevés avec le filet et ceux prélevés avec la Niskin, nous observons des concentrations 5 à 30 fois plus concentrées dans les échantillons prélevés avec le filet.

	MMHg (ng/L)	IHg (ng/L)			MBT (ng/L)	DBT (ng/L)	TBT (ng/L)
Niskin	min	0,010	0,085		0,125	0,600	0,000
	max	0,062	1,467		4,261	8,245	0,090
	mean	0,028	0,749		1,285	3,332	0,040
Filet	min	0,049	0,792		0,606	16,840	0,037
	max	1,018	15,468		15,583	275,636	1,424
	mean	0,441	7,446		6,197	88,903	0,401
	×10-20		×10		×5	×20-30	×10

Table 3 : Niveaux de concentrations mesurés pour le monométhylmercure (MMHg), mercure inorganique (IHg), tributylétain (TBT), dibutylétain (DBT) et monobutylétain (MBT) dans les échantillons de Liga prélevés avec le filet.

Pour les composés musqués synthétiques, ces molécules n'étaient pas détectables dans les échantillons prélevés à la Niskin et restent à des concentrations très faibles dans le Liga plus concentré. Pour les alkylphénols, les concentrations sont inférieures aux limites de quantification même dans les échantillons prélevés au filet. Pour ces molécules, il n'y a donc aucune accumulation dans le Liga.

	Filet Biarritz 12-06	Filet Biarritz 14-06	Filet Biarritz 13-9	Filet Biarritz 02-10	Filet Biarritz 11-10	Filet Biarritz 14-10	Filet Tarnos 12-06	Filet Tarnos 13-09	Filet Tarnos 11-10
ADBI	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	3,2	<LQ	4,3	<LQ	<LQ
AHMI	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
MA	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
ATII	3,6	<LQ	<LQ	<LQ	3,8	<LQ	7,9	<LQ	<LQ
HHCB	71,4	62,9	64,5	<LQ	66,3	59,4	59,2	47,2	90,4
AHTN	80,4	77,4	82,2	<LQ	66,4	65,1	72,4	57,2	114
MM	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	3,1	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
MK	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
MX	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ

Table 4 : Niveaux de concentrations (en ng/L) mesurés pour les composés musqués synthétiques dans les échantillons de Liga prélevés avec le filet.

En conclusion : Les résultats des analyses des contaminants dans les différents échantillons montrent que les niveaux de concentrations retrouvés sont dans les gammes des concentrations généralement observées pour des échantillons estuariens. Le Liga peut simplement jouer le rôle de préconcentrateur pour certaines molécules, comme on peut l'observer pour des matières en suspension, mais leurs niveaux restent faibles.

3. Dynamique spatiale du Liga

3.1. Détection et quantification du Liga dans la colonne d'eau par méthodes acoustiques.

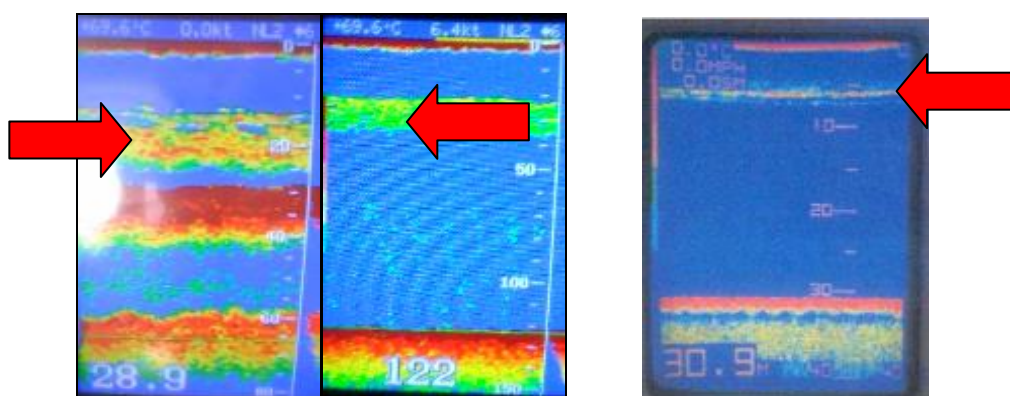


Figure 28 : Exemples de bandes pélagiques observées au sondeur au printemps 2011 sur le littoral basque (à gauche) (Susperregui et al., 2012) et en Adriatique en 2005 (à droite) (Marini, 2005) .

Les premiers essais (fig 28), réalisés en 2011-2012, ont démontré la complexité de mise en œuvre d'un protocole de validation. Ils ont révélé d'une part que l'absence de bande au sondeur ne correspondait pas à l'absence de liga. D'autre part, lorsque les échos sont visibles, leur profondeur

d'apparition peut être inaccessible aux engins d'échantillonnage et ils apparaissent préférentiellement de nuit. La mise en œuvre d'un protocole de validation a été mise à l'étude au cours du présent projet. Les contraintes logistiques ont finalement été jugées trop importantes pour engager cette opération.

Ces travaux préliminaires n'ont pas été considérés comme satisfaisants, vu la complexité de mise en œuvre du protocole de validation, du caractère aléatoire de la bande au sondeur et de son origine, cette action n'a pas été mise en œuvre dans le cadre du programme de recherche.

3.2. Compréhension et prévision de la dynamique du panache de l'Adour.

Une des difficultés de la modélisation des panaches fluviaux consiste à décrire des processus hydrodynamiques sur des échelles spatiales variables. La première version du modèle de l'Adour, développée dans le cadre du projet EASYCO, était basée sur le code de calcul MOHID qui utilise un maillage régulier impliquant d'utiliser des modèles emboîtés pour simuler les processus ayant des échelles variant de la centaine de mètres à la centaine de kilomètre. Afin de s'affranchir d'une procédure de couplage de modèles qui peut être coûteuse en temps de calcul, le code open source TELEMAC basé sur un maillage non structuré à éléments triangulaires permettant de raffiner des zones spécifiques comme une embouchure, un chenal ou des ouvrages côtiers a été adopté. Le code TELEMAC permet d'utiliser un maillage vertical en coordonnées sigma adapté aux grandes variations de profondeur depuis le chenal de l'Adour jusqu'au large. Une première version du modèle a été calibrée et validée à partir de données hydrodynamiques et physico-chimiques issues de campagnes de mesure réalisées dans le cadre de programmes de recherche menés sur l'Adour. Les résultats de cette étude ont mis en évidence l'importance de la stratification sur les échanges entre les masses d'eau douce et océaniques dans cet environnement méso-tidal ainsi que l'influence du choix du modèle de turbulence pour reproduire la dynamique du coin salé sur un cycle de marée.

Le développement du modèle de l'Adour va se poursuivre au cours du projet MICROPOLIT (2016-2019) dans le cadre de la thèse de Sophie Defontaine. Une campagne de mesure intensive sera réalisée au cours de l'automne 2017 (projet PANACHE porté par Damien Sous en délégation CNRS au LMAP-MIRA) pour différentes conditions de marnage afin de disposer de données permettant de définir la dynamique de la stratification des masses d'eau au niveau de l'estuaire et le lien avec la distribution des matières en suspension (MES). Ces données doivent permettre d'améliorer la compréhension des mécanismes de transfert et de piégeage des MES dans la colonne d'eau et leur dispersion dans le milieu océanique. Elles permettront également de valider le modèle hydrodynamique de l'Adour et le couplage avec un module de dispersion des MES.

4. Dynamique historique et perception du Liga

Ce chapitre fait l'objet d'un rapport spécifique joint en annexe n°3 décrivant l'évolution annuelle et saisonnière à long terme des facteurs abiotiques favorisant la formation et l'accumulation de mucilages. La source des données, les traitements statistiques réalisés et les résultats y sont détaillés.

L'essentiel de cette contribution à ce programme de recherche consacré au liga repose sur une enquête qualitative. Après une phase exploratoire, 17 personnes (pêcheurs professionnels et institutionnels des collectivités ou organismes publics) ont été entendues dans le cadre d'entretiens semi-directifs anonymes. Cette technique permet à l'enquêté de s'exprimer librement, de nuancer ses propos. Elle permet d'étudier de manière approfondie les représentations, les perceptions, les attitudes des personnes en rapport à un objet. Notre objectif est de collecter le maximum de connaissances des gens du terrain via quelques questions qui laissent une grande liberté de réponse, en influençant le moins possible les propos de l'enquêté. Dans cette approche, on privilégie la diversité des points de vue plutôt que leur représentativité. Les entretiens, retranscrits ou ayant fait l'objet de prises de notes, font l'objet d'une analyse de contenu qui passe par la construction et la mise en œuvre de règles et de procédures d'analyses qui lui donnent son caractère « objectif » et permettent à l'analyste de dépasser ses simples « intuitions ». Les résultats présentés ici doivent donc être lus comme des guides de décryptage d'une situation à un moment donné, guides qui présentent une diversité de points de vue, mettent à nu certains rouages afin de mieux comprendre d'où proviennent les perceptions, les opinions des uns et des autres. Ces éléments sont complémentaires à ceux fournis par les diverses analyses bio-physico-chimiques menées dans ce programme. Ils permettent de replacer les enjeux sous-jacents dans la sphère sociale pour faciliter l'accompagnement des éventuelles actions à envisager.

4.1. Eléments historiques, expérience du liga et adaptation.

Bien qu'il soit difficile de démontrer une absence, le travail d'archive a confirmé la méconnaissance quasi-totale du liga en dehors du monde de la pêche. Aucun article n'a été recensé pour l'ensemble des périodes consultées, soit entre 1984 et 2014 dans le quotidien Sud-Ouest et un unique article traitant du phénomène a été recensé dans le numéro 153 du journal local Basque Ortzadar, bimensuel associatif engagé pour la cause environnementale en 2012.

L'analyse de contenu du discours des pêcheurs a montré que, de mémoire d'homme, le liga a « toujours » existé mais ne posait pas problème. Nous avons recueilli des souvenirs précis datés de la fin des années 1960 et aussi quelques évocations qui remonteraient encore plus loin mais moins fiables. Finalement, le liga ne porte préjudice aux pêcheurs que depuis « quelques temps » selon eux, soit 10 à 20 ans. Ce n'est pas sa présence mais son augmentation qui est pointé du doigt. Le rapport Ifremer de 2001 « Identification des composants d'une substance dénommée localement Liga se

déposant sur certains engins de pêche au large de Saint-Jean-de-Luz » pose un jalon et atteste que les « autorités » ont été alertées sans doute vers la fin des années 1990.

4.2. Perception actuelle du liga par les différents acteurs

Globalement, que ce soit par les pêcheurs ou par les institutionnels, le travail d'enquête a été accueilli positivement. La démarche a été considérée comme apportant un « plus » à l'étude engagée. Les pêcheurs ont apprécié d'être écoutés et que leur connaissance empirique du liga soit questionnée. Du côté des institutionnels, c'est davantage la conscience que le dossier liga ne pourra pas être traité uniquement d'un point de vue technique et/ou de connaissance scientifique qui a été commenté. La prise en compte de la dimension humaine et sociale a été jugée importante et nécessaire pour faciliter le traitement de ce genre de dossier, aspect souvent mis en relation avec la problématique de la communication lors des échanges.

Les retours d'expériences des pêcheurs concernant cette substance ne sont pas repris dans cette synthèse mais sont présentés dans le rapport selon les thèmes suivants : (a) consistance, forme et couleur du liga ; (b) éventuels problèmes dermatologiques ; (c) cartographie « spontanée » des zones de pêche et de liga selon les pêcheurs (d) positionnement dans la colonne d'eau ; (e) saisonnalité ; (f) tentative de prédiction en lien avec les courants, les vents, la météo.

La « réponse » des pêcheurs à la présence de liga se décline dans deux grands registres. De prime abord, le discours général peut sembler résigné et fataliste mais une lecture plus fine montre que les pratiques ont évolué, qu'une connaissance – bien que parcellaire et assez incertaine du phénomène – permet aux pêcheurs de mettre en place des stratégies de contournement. Nous avons rassemblé les éléments de discours des pêcheurs décrivant les problèmes que pose le liga, le découragement qui peut en découler et la nécessité de faire évoluer leurs pratiques. On observe en parallèle que les individus ne se placent pas tous au même niveau sur le gradient « résignation - adaptation ». Cela dit la majorité des pêcheurs semble avoir mis en place des stratégies de contournement des effets du liga, plus ou moins efficaces ou contraignantes. Nous avons également regroupé les principaux freins aux changements et les limites des solutions mises en œuvre. En effet, ces éléments d'adaptation sont loin de permettre de s'affranchir complètement des problèmes posés par le liga. Au mieux, il s'agit d'en réduire l'impact ou d'en faire une difficulté moins chronique. L'allongement des épisodes de liga, certaines années, pourrait largement réduire l'efficacité des techniques palliatives mises en œuvre.

4.2.1. Responsabilités, connaissances et communication

Au sujet de l'origine du liga, on observe chez les pêcheurs un discours contradictoire chez nombre d'entre eux (pas tous cependant) qui déclarent à la fois « ne pas savoir d'où vient le liga » mais aussi « très bien savoir ». Plusieurs hypothèses sont proposées pour expliquer le développement de liga sur la côte Basque et pas ailleurs (à l'échelle de l'Aquitaine). La lenteur des études menées

alimente la suspicion envers les scientifiques qui seraient plus ou moins assujettis au monde politique. Les importants enjeux locaux liés à l'activité touristique et la mise en cause des stations d'épurations au début des études aiguissent le sentiment que les résultats sont dissimulés pour préserver le secteur touristique et des problèmes d'assainissement. Le savoir existerait mais ne serait pas partagé. Ainsi, attente(s) et méfiance sont imbriquées vis-à-vis des résultats scientifiques qui seront présentés, vis-à-vis du monde scientifique mais aussi vis-à-vis de la façon dont la sphère politique locale a accompagné cette problématique dans le passé et le fera à l'avenir. Globalement, les discours autour des actions à mener, des « façons de faire » montrent une certaine méconnaissance des moyens d'actions des collectivités publiques jugées globalement inefficaces.

Pour les institutionnels, financer des études scientifiques doit permettre d'obtenir des conclusions «pratico-pratiques» de type «Comment faire pour que les pêcheurs n'aient pas de liga dans leurs filets? Pourquoi et comment le liga se développe ? Que pourrait on essayer de mettre en place pour réduire l'impact ?».

Il peut arriver que certaines études ne soient pas financées si les institutionnels ont le sentiment que les scientifiques vont monter une « usine à gaz de scientifiques ». Il est difficile d'évaluer – pour eux – si le projet de recherche va amener des réponses ou du moins, des éléments de réponse aux questions telles qu'elles se posent sur le terrain, ou si les scientifiques vont rester « dans des sphères de recherche qui ne soient pas opérationnelles ». Par ailleurs, il est difficile également d'évaluer le temps nécessaire à l'obtention de certaines réponses. Ainsi, certains institutionnels considèrent que ce n'était « pas la peine de faire 3 ou 4 ans de recherche » pour aider les pêcheurs à éviter le liga dans leur filet.

D'autres institutionnels, sans toutefois le verbaliser aussi clairement, mettent le doigt sur le fait que les scientifiques poursuivent leurs propres objectifs et logiques d'actions : faire financer leurs projets de recherche, faire vivre leurs laboratoires, obtenir des thèses, communiquer les résultats mais uniquement dans les arènes scientifiques (colloques). Au final, certains institutionnels déplorent qu'une fois le programme financé, « on a un gros volume pour caler l'armoire et puis c'est terminé ». Pour les scientifiques, il suffit de lire (« tout est dans le rapport ») alors qu'il faudrait un temps de transmission, de traduction des contenus. Selon les institutionnels, au moment de la rédaction, il serait bon que les chercheurs aient en tête, se remémorent les objectifs de l'étude, le profil des personnes qui vont s'en servir, l'idée d'orienter vers les pistes qui peuvent permettre de trouver des solutions.

Ainsi c'est toute la question du passage entre science fondamentale, science appliquée et diffusion des résultats en vue de composer un programme d'action qui est questionnée ici. D'expérience, elle s'avère, selon tous les gestionnaires « hyper difficile ». Le constat est ainsi fait que cette articulation est rarement réalisée, et lorsque c'est le cas, souvent décevante. Aucun exemple

emblématique d'opération réussie n'a été citée spontanément (ce qui ne veut pas dire qu'il n'en existe pas). De fait, la transmission du savoir constitue une véritable problématique.

Globalement c'est une question centrale pour tous, même si l'angle d'attaque varie. Pour les pêcheurs, on a vu que c'est le sentiment qui domine est que les résultats sont dissimulés, que le savoir existe mais n'est pas partagé afin de préserver des intérêts autres que ceux de la pêche professionnelle.

Pour certains institutionnels, le « raté » autour de la question des stations d'épuration, est encore très présent dans les esprits et bloquant. Cet épisode, affectant largement la représentation des pêcheurs que ce soit sur la question de l'origine du liga ou sur le sentiment de méfiance et/ou de manque de transparence dans le partage de l'information, voire la dissimulation volontaire, est mis sur le compte de la responsabilité des scientifiques qui donnent trop facilement, rapidement ou « sans filtre » des informations susceptibles d'être mal comprises, déformées, reprise de façon alarmiste ou non-constructive. Chez certains institutionnels, cela engendre une réticence supplémentaire à travailler avec les scientifiques lorsqu'elle se couple au risque d'une étude trop « fondamentale ».

Chez les pêcheurs, on note deux grandes postures concernant la diffusion de l'information au sens large. Certains pêcheurs souhaitent « dénoncer », souhaitent que la problématique liga soit débattue « en place publique » et connue de tous. D'autres pensent qu'il faut agir avec discrétion d'où un certain « chantage » dénoncé par quelques-uns. Il existe ainsi une certaine contradiction, une tension autour de la question de la diffusion de l'information que les pêcheurs dénoncent de façon quasi systématique chez les scientifiques et les politiques (« on ne veut pas nous dire »), et le fait qu'il soit aussi, pour la plupart d'entre eux, nécessaire pour préserver leur activité d'une publicité inopportune.

Toujours dans le domaine de la communication, mais au prisme de la transmission du savoir vers le grand public cette fois, les institutionnels font le constat unanime de leur difficulté à communiquer efficacement sur les dossiers environnementaux complexes, un exercice jugé extrêmement difficile et délicat. Traditionnellement, à destination du grand public, les vecteurs de diffusion de l'information sont les médias et/ou le monde associatif au sens large mais la collaboration avec les uns comme avec les autres est loin de répondre à leurs attentes. Les associations de défense de l'environnement (jugées dans le cadre d'autres partenariats sur des sujets similaires) et les médias sont considérés trop alarmistes (« toujours en situation d'alerte, jamais de partenariat »). Globalement le discours porté par les associations est considéré comme immatrisable et biaisé. Quant aux journalistes, ils ne sont pas assez spécialisés (voire parfois incompetents) pour traiter de ces sujets complexes même si sur certaines thématiques, certains concepts (comme la culture du risque citée en exemple) commencent à être intégrés.

La problématique est donc de trouver des médiateurs pour favoriser le dialogue et la compréhension entre scientifiques et institutionnels et/ou professionnels au sens large et des vecteurs apaisés et constructifs de diffusion de l'information vers le grand public.

4.2.2. Envisager la phase d'action

Les institutionnels ont conscience, avec les résultats beaucoup plus étoffés de cette étude, que la phase d'action va maintenant pouvoir être envisagée. Pour l'heure, le liga est considéré comme un enjeu uniquement pour le monde de la pêche professionnelle, et avant tout un enjeu économique. Le sentiment d'être devant un phénomène complètement inconnu est en train de disparaître.

A ce stade les acteurs vont rentrer dans des processus de négociation et de jeux de pouvoir. Les institutionnels ont conscience d'être face à un sujet épineux. C'est pourtant dans ce contexte que la phase d'action doit être envisagée. Le manque de sérénité ressenti et exprimé pour la gestion de ce dossier semble varier selon la position des uns et des autres dans la sphère de l'action publique. Le ressenti est plus ou moins vif selon qu'on se situe du côté des prises de décision, de la mise en œuvre, des responsabilités engagées, des comptes à rendre aux citoyens ou du côté plus technique et/ou de l'accompagnement de l'action publique, moins en prise directe avec les citoyens et usagers. Selon eux, il n'y a pas « le droit à l'erreur » dans la façon de communiquer. Une communication inadaptée ou mal maîtrisée pouvant être lourde de conséquence, comme certaines expériences du passé ou actuelles le leur a montré. Cela les conforte dans une posture assez frileuse, pour ne pas dire très frileuse concernant le partage de l'information.

Le sentiment de méfiance clairement observé ne doit pas faire oublier les aspects plus constructifs affichés par une partie des enquêtés. Certains pêcheurs ont une forte attente vis-à-vis de l'étude scientifique en cours pour « comprendre » dans un premier temps et idéalement « agir » dans un second temps. L'attente est importante aussi vis-à-vis des instances politiques pour prendre en main cette problématique. Dans cette optique, le besoin et l'envie de partage de l'information, de collaboration est exprimée, de façon modeste mais réelle. Enfin, les pêcheurs ont du mal à imaginer quelles solutions pourraient être proposées par le monde scientifique pour résoudre une partie du problème.

Les institutionnels maîtrisent quant à eux ces moyens d'actions et seraient donc susceptibles de leur exposer. Parmi eux, certains parlent également de leur espoir que les résultats permettent d'identifier quelques leviers d'action. En parallèle, la crainte de se retrouver face à un problème vis-à-vis duquel on ne puisse « pas faire grand-chose » est également évoquée. Les raisons pour lesquelles on pourrait, éventuellement, « ne pas pouvoir faire grand-chose » renvoie chez certains à des questions de fonctionnements complexes des écosystèmes sur lesquels on ne peut avoir prise, pour d'autres, « ne pas pouvoir faire » est à mettre en lien avec des dysfonctionnements de notre système politique et/ou à des freins financiers (les deux étant liés).

Sur ces aspects, on observe ainsi une certaine convergence entre les propos des pêcheurs et ceux de certains institutionnels qui expriment des doutes sur la volonté ou le pouvoir réels des élus d'agir si les leviers d'action vont à l'encontre d'autres intérêts et/ou enjeux que ceux de la pêche professionnelle. Les questions qui se posent sur la capacité d'action, la gouvernance lors des arbitrages entre divers enjeux dépassent à ce stade la problématique du liga et renvoient à des questions plus

globales de gouvernance, de système administratif et politique. Clientélisme et lobbying sont cités parmi les limites de notre système politique. La question du « courage politique » revient également régulièrement, de façon quasi récurrente chez les pêcheurs mais aussi chez plusieurs institutionnels.

A ce stade, et malgré le sentiment partagé d'une certaine méfiance entre les acteurs, il apparaît que l'envie de comprendre et d'agir, dans une ambiance d'ouverture et de dialogue est toutefois présente chez les divers acteurs rencontrés.

En résumé :

- Le travail d'archive confirme la quasi-méconnaissance du liga en dehors du monde de la pêche.
- Les pêcheurs ont apprécié d'être écoutés et que leur connaissance du liga soit questionnée.
- Pour les pêcheurs et de mémoire d'homme, le liga a toujours existé, il ne leur porte préjudice que depuis 10-20 ans en raison de son augmentation.
- Leur réponse à la présence de liga varie sur un gradient «résignation - adaptation».
- L'évolution des pratiques ne permet que de limiter l'impact sur l'activité, mais l'allongement des épisodes de liga pourrait en réduire l'efficacité.
- La lenteur des études alimente la suspicion envers des scientifiques qui seraient plus ou moins assujettis au monde politique. Le savoir ne serait pas partagé, voire dissimulé.
- Les enjeux touristiques et la mise en cause des stations d'épurations au début des études aiguisent un sentiment de dissimulation.
- Les institutionnels considèrent que ce dossier ne pourra pas être traité seulement d'un point de vue technique et scientifique, la dimension humaine et sociale devra être prise en compte.
- Ils considèrent que les études doivent permettre de (i) connaître les causes du développement du liga, (ii) faire en sorte que les pêcheurs n'en aient plus dans leurs filets (iii) réduire son impact.
- Ils craignent que les travaux ne permettent pas d'arriver à des conclusions opérationnelles.
- Ils se plaignent d'une absence de transmission et de traduction permettant de trouver des solutions, l'objectif étant plutôt de faire prospérer leurs laboratoires, mais ils craignent la diffusion d'informations mal comprises, déformées ou reprises de façon alarmiste.
- La transmission du savoir est une question centrale pour tous.
- Finalement, la problématique centrale est de trouver des médiateurs pour favoriser le dialogue et la compréhension entre scientifiques et institutionnels et professionnels au sens large et des vecteurs apaisés, concertés et constructifs de diffusion de l'information vers le grand public.

5. Lien entre dynamiques du liga et les forçages anthropiques

Ce chapitre fait l'objet d'un rapport spécifique joint en annexe n°4 décrivant l'évolution annuelle et saisonnière à long terme des facteurs abiotiques favorisant la formation et l'accumulation de mucilages. La source des données, les traitements statistiques réalisés et les résultats y sont détaillés.

Les mucilages résultent de la conjugaison de processus biologiques conduisant à la production de matière organique polymérique et l'évolution temporelle de facteurs météorologiques, biogéochimiques et océanographiques qui favorisent son agrégation (Cozzi et al., 2004; Deserti et al., 2005). L'analyse de l'évolution à long terme de ces facteurs est donc importante pour comprendre la formation, l'augmentation du temps de résidence et la disparition de ces mucilages (De Lazzari et al., 2008). De nombreux changements climatiques (Danovaro et al., 2009; Deserti et al., 2005), biogéochimiques (Cozzi & Giani, 2011; de Wit & Bendoricchio, 2001; Djakovac et al., 2012; Mozetič et al., 2010; Zanchettin et al., 2008), océanographiques (Degobbi et al., 2000; Djakovac et al., 2012; Giani et al., 2012; Malačič et al., 2006; Marić et al., 2012; Russo et al., 2002; Solidoro et al., 2009) et de communautés planctoniques (Cabrini et al., 2012; Conversi et al., 2010, 2009; Kamburska & Fonda-Umani, 2009; Monti et al., 2012) ont été observés dans des zones impactées par les mucilages.

Au niveau des facteurs climatiques, nous avons traité l'évolution de la température moyenne de l'air car elle influence le réchauffement des eaux de surface dont la brusque augmentation est un facteur favorisant la formation de mucilages (Cozzi et al., 2004). Au pays basque espagnol, Borja et al. (2000) ont mis en évidence une corrélation entre la température de l'air, l'irradiance solaire et la température des eaux de surface. La situation géographique en fond de Golfe et la forme concave du trait de côte induisent une forte influence continentale dans la région (Goikoetxea et al., 2009). De ce fait, la côte basque franco-espagnole est moins continentalisée que des baies fermées ou semi-fermées mais plus continentalisée que des zones océaniques ouvertes classiques (Fontán et al., 2008). Les précipitations influencent les débits fluviaux et les apports en nutriments sur la zone côtière. L'irradiance solaire fournit l'énergie nécessaire aux organismes autotrophes pour assurer la photosynthèse et participe donc au soutien de la production primaire des zones côtières. Sur la zone, le vent est le principal facteur contrôlant les courants de surface et induisant le mélange vertical de la colonne d'eau (Gonzalez et al., 2004). En Adriatique, les conditions anticycloniques caractérisées par des vents faibles renforcent la stabilité de la colonne d'eau et augmentent ainsi le temps de résidence des masses d'eau (Russo et al., 2005) et des mucilages (Deserti et al., 2005) tandis que les vents forts et persistants engendrent leur dispersion voire leur disparition (Russo et al., 2005). L'intensité et la direction du vent contrôlent la position des mucilages dans la colonne d'eau. En effet, en Adriatique, les vents du sud de faible intensité favorisent la rétention d'eau douce dans la zone côtière et induisent une turbulence superficielle qui facilite l'agrégation des mucilages (Stoderegger & Herndl, 1999) et / ou leur remontée à la surface par injection de bulles gazeuses dans la matrice polymérique (Riebesell, 1992). A l'inverse, les vents de nord de faible intensité favorisent leur dispersion et leur transport vers le fond (Russo et al., 2005).

Les apports fluviaux fournissent les nutriments nécessaires à la production primaire des zones côtières (Zoppini et al., 1995) et contribuent à la création de zone de fronts de densité horizontaux et verticaux. Ces zones de mélange des eaux douces et marines correspondent aux panaches fluviaux où se forment et s'accumulent les premiers stades de mucilages sous forme de floes (Degobbi et al., 1995, Precali et al., 2005). Leur superficie et leur direction sont contrôlées par les débits fluviaux, le vent, la houle et les marées (Liu et al., 1999; Stumpf et al., 1993). L'analyse de l'évolution des concentrations de nutriments et de leur équilibre stœchiométrique permet de définir, d'une part, les tendances à l'eutrophisation ou l'oligotrophisation des eaux côtières et d'autre part, la quantité et la qualité de la biomasse phytoplanctonique. En effet, la limitation de la production primaire par les phosphates (Cozzi & Giani, 2011) et un ratio N/P élevé sont deux facteurs contrôlant la production de substances extracellulaires solubles (EPS) par le phytoplancton (Degobbi et al., 1999; Mykkestad, 1999; Obernosterer et Herndl, 1995) qui, en s'agrégeant forment des particules exopolymériques transparentes (TEP), composant majoritaire de la matrice des mucilages (Fukao et al., 2009; Pistocchi et al., 2005; Urbani et al., 2005).

Parallèlement aux apports fluviaux, la contribution des autres sources de sels nutritifs terrigènes doit être mieux estimée d'autant plus que leur contribution pourrait augmenter si la réduction des débits et des concentrations fluviales se confirment (Cozzi et al., 2012). Dans certains cas, les stations de traitement des eaux usées peuvent libérer des quantités plus élevées de sels nutritifs que d'autres sources ponctuelles ou dispersées, modifiant ainsi les cycles biogéochimiques naturels et pouvant engendrer des effets néfastes dans les milieux récepteurs (Carey and Migliaccio, 2009). En Adriatique, les rejets de station d'épuration (STEP) situées sur le bassin versant du Pô et le long de la zone côtière contribuent à hauteur de 35 % des charges en azote total et phosphore total pour le nord de l'Adriatique (Palmeri et al., 2005). Ces apports anthropiques peuvent modifier l'équilibre stœchiométrique du phosphore voire de l'azote en période de faible débit fluvial. De plus, les effluents de STEP ont une dynamique différente de celle des fleuves car ils impactent principalement les eaux du fond et véhiculent l'azote essentiellement sous forme d'ammonium et d'urée, contrairement aux fleuves où les nitrates dominent. De ce fait, ils pourraient engendrer des modifications directes dans le cycle des éléments nutritifs et indirectes sur la structure des communautés planctoniques (Cozzi et al., 2012).

Les facteurs physiques et biogéochimiques des eaux côtières doivent être pris en compte pour comprendre la dynamique des mucilages. En effet, la houle contrôle le mélange vertical de la colonne d'eau et sa stratification. La formation de pycnocline augmente la stabilité de la colonne d'eau et favorise l'accumulation de mucilages (Degobbi et al., 1999; Herndl et al., 1999). L'augmentation de la température de l'eau peut également stimuler l'agréation de certaines diatomées (Thornton et Thake, 1998). Enfin, l'intrusion d'eaux oligotrophiques à salinité élevée de la zone centrale de l'Adriatique, caractérisant les années à mucilages, favorise l'accumulation sélective de *Ceratoneis closterium* en phase stationnaire de croissance pendant laquelle de fortes quantités d'EPS sont produites (Nadjek et al., 2005).

Initialement, l'objectif était d'analyser les tendances des principaux facteurs abiotiques locaux contrôlant l'apparition de mucilages et de les confronter à des indicateurs historiques de présence de « LIGA ». Malheureusement, les enquêtes auprès des pêcheurs n'ont pas permis d'établir des

indicateurs historiques fiables de présence du « LIGA » sur la côte basque. Toutefois, il nous est apparu important d'analyser l'évolution de ces facteurs afin, d'une part de caractériser les changements environnementaux locaux et d'autre part de les comparer à celles identifiées dans les zones impactées par les mucilages, afin d'évaluer leur rôle dans l'augmentation de fréquence du phénomène le long de la côte basque française. L'analyse des séries chronologiques révèle que de nombreux facteurs abiotiques locaux ont évolué (Tableau 2). L'évolution des cumuls de précipitations à Biarritz sur la période 1956-2014 et d'irradiance solaire sur la période 1959-2014 ne montrent aucune tendance particulière. Ces résultats sont identiques à ceux observés au pays basque espagnol à partir des données journalières et mensuelles de cumul des précipitations de 132 stations sur la période 1961-2000 (Moncho et al., 2009). En Adriatique, malgré une baisse significative des précipitations, aucune corrélation n'a été établie entre l'occurrence des mucilages et les anomalies journalières et mensuelles des cumuls de précipitations d'une part (Russo et al., 2005) et les cycles d'activité solaire d'autre part (Vollenweider et al., 1995).

Tableau 2 : Evolution inter-annuelle à long terme des facteurs abiotiques étudiés. Résultats des tests de segmentation de Hubert, définition et caractérisation de périodes homogènes. Les changements de régimes sur les périodes récentes sont en gras.

Catégorie	Paramètres	Période 1		Période 2		Période 3		Période 4		Période 5		Tendance générale
		Intervalle	Moyenne	Intervalle	Moyenne	Intervalle	Moyenne	Intervalle	Moyenne	Intervalle	Moyenne	
Facteurs climatiques à Biarritz	Température de l'air (°C)	1956-1980	13,5 +/- 0,5	1981-2014	14,3 +/- 0,5							↑
	Cumul précipitations (mm)	1956-2014	1 451 +/- 219									→
	Force vent max (m/s)	1973-1989	7,4 +/- 0,5	1990-2014	6,7 +/- 0,2							↓
	Vents secteur Nord (%)	1973-1980	24,2 +/- 3	1991-1999	18 +/- 2,1	2000-2003	24,8 +/- 2,1	2004-2011	34 +/- 3,3	2012-2014	24,3 +/- 2,3	↑
	Vents secteur Sud (%)	1973-2002	17,8 +/- 2,8	2003-2014	9,5 +/- 3,2							↓
	Vents secteur Est (%)	1973-2008	17,4 +/- 2,7	2009-2014	14,3 +/- 2,7							↓
	Vents secteur Ouest (%)	1973-2003	42,6 +/- 3,8	2004-2006	33,6 +/- 1,8	2007-2014	46,8 +/- 5,3					↑
	Rayonnement global (Joules/cm²)	1959-2014	1 271 +/- 144									→
Apports fluviaux	Module Adour (m³/s)	1956-1976	307 +/- 52	1977-1982	402 +/- 25	1983-2012	283 +/- 51	2013-2014	470 +/- 40			↓
	Module Nivelle (m³/s)	1969-1984	5,8 +/- 0,9	1985-2012	4,3 +/- 0,9	2013-2014	6,9 +/- 1,3					↓
	Nitrates Adour à Urt (mg/l)	1976-1979	5,4 +/- 1,9	1980-1984	7 +/- 2,7	1993-1999	8,9 +/- 3,8	2000-2009	8,2 +/- 2,9	2012-2013	7,8 +/- 3,8	→
	Nitrites Adour à Urt (mg/l)	1976-1979	0,086 +/- 0,038	1980-1984	0,125 +/- 0,113	1993-1999	0,096 +/- 0,067	2000-2009	0,084 +/- 0,047	2012-2013	0,050 +/- 0,024	↓
	Ammonium Adour à Urt (mg/l)	1993-1999	0,228 +/- 0,211	2000-2009	0,136 +/- 0,254	2012-2013	0,060 +/- 0,032					↓
	Phosphates Adour à Urt (mg/l)	1976-1979	0,258 +/- 0,062	1980-1984	0,209 +/- 0,029	1993-1999	0,193 +/- 0,069	2000-2009	0,152 +/- 0,074	2012-2013	0,096 +/- 0,023	↓
												↓
Apports STEP	Volumes (m³/jour)	2000-2007	23 321 +/- 1 184	2008-2012	29 197 +/- 2 049	2013	38 727					↑
	Charges Azote dissout (kg/jour)	2000-2013	311 +/- 108									→
	Charges Phosphore total (kg/jour)	2000-2005	81 +/- 17	2006-2013	43 +/- 13							↓
Eaux côtières	Hauteur de houle (m)	1958-1996	1,78 +/- 0,13	1997-2014	1,59 +/- 0,15							↓
	Température en surface (°C)	1976-1979	14,84 +/- 4,01	2007-2009	16,67 +/- 3,92	2010-2014	16,15 +/- 3,86					↑
	Salinité en surface (‰)	1976-1979	32,73 +/- 2,74	2007-2009	33,61 +/- 1,74	2010-2014	34,06 +/- 1,59					↑
	Phosphates en surface (µM)	1976-1979	0,356 +/- 0,326	2010-2014	0,160 +/- 0,110							↓
	Silicates en surface (µM)	1976-1979	4,284 +/- 4,137	2010-2014	5,370 +/- 4,571							↑
	Ammonium en surface (µM)	1976-1979	4,623 +/- 5,381	2010-2014	0,514 +/- 0,301							↓
	Chlorophylle a en surface (µg/l)	1977-1978	1,99 +/- 2,04	2007-2009	1,61 +/- 1,38	2010-2014	1,1 +/- 1,13					↓
												↓
Index hydroclimatique mucilage		1959-1988	122 +/- 36	1989-1990	305 +/- 56	1991-2014	166 +/- 54					↑

Les analyses statistiques détectent un changement de régime de température moyenne annuelle à Biarritz depuis 1982 qui est positivement corrélé à la North Atlantic Oscillation sur la période 1865-2002. Ce réchauffement se fait ressentir particulièrement au printemps, en été et à l'automne. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Aravena et al. (2009) à partir des anomalies mensuelles de température de 3 stations proches de Bilbao sur la période 1996-2007. En Adriatique, la NAO est corrélée aux années où les mucilages sont apparus (Deserti et al., 2005; Danovaro et al., 2009).

L'intensité des vents maximum à Biarritz a significativement diminué depuis 1990. Cette baisse d'intensité concerne toutes les saisons à la fin des années 80 début des années 90 exception faite de l'été où leur vitesse demeure toutefois faible. Ces résultats confirment la diminution de la vitesse moyenne des vents constatée dans la moitié sud du Golfe de Gascogne et, notamment, pour la station de Biarritz (Planque et al., 2003). La fréquence annuelle des vents dominants de secteur Nord et d'Ouest se renforce respectivement depuis 2000 et 2004 au détriment des vents de secteur Sud et Est. Les vents d'Ouest poussent le panache de l'Adour au sud vers la zone côtière basque alors que les vents de Nord l'étendent vers le sud-ouest de l'embouchure (Petus et al., 2014).

Concernant les vents de secteur nord, les vents dominants sont orientés Ouest-Nord Ouest et leur fréquence est en constante augmentation depuis 1973 jusqu'à représenter 23,3 +/- 2,7 % sur la période 2004-2014. Ils engendrent la formation d'un panache secondaire qui s'oriente vers le Nord (Petus et al., 2014). Compte tenu du changement de régime des vents, nous pouvons suggérer que le panache de l'Adour, zone présumée de formation des floes, se dirige préférentiellement vers la zone côtière située au sud de l'embouchure et qu'un panache secondaire se forme régulièrement.

L'Adour est le principal contributeur d'eau douce du plateau continental basque (Valencia et al., 2004) et la superficie de son panache est corrélée aux débits (Petus et al., 2014). Malgré une hausse significative sur la période 2013-2014, les modules annuels de l'Adour tendent à diminuer depuis 1982 et ceux de la Nivelle depuis 1985. Ces tendances sont aussi observées pour la Gironde sur la période 1975-2011 (Chaalali, 2013). En Adriatique, le module annuel du Pô baisse depuis les années 1970 (Cozzi and Giani, 2011) tandis que ceux des rivières mineures du Nord Adriatique ont diminué de 33% depuis les années 1980 (Cozzi and Giani, 2011; Djakovac et al., 2012; Mozetič et al., 2012). Toutefois, aucune corrélation entre l'occurrence décennale des mucilages et le module décennal du Pô n'a été mise en évidence (Danovaro et al., 2009).

Sur l'Adour, les concentrations de nitrates, principale forme chimique de l'azote rencontrée, ont significativement augmenté des années 1970 à 1990. Une baisse de ces concentrations au même niveau que celui observé dans les années 1980 semble être amorcée depuis les années 2000, mais elle ne'est pas significative. Les concentrations des autres formes chimiques de l'azote, nitrites et ammonium, diminuent respectivement entre les années 1990 et 2010 et les années 1970 et 2010. Parallèlement, les concentrations de phosphates ont significativement diminué entre les années 1990 et 2010. Après une phase stationnaire observée entre les années 1970 et 1990, les concentrations ont commencé à diminuer significativement à partir des années 2000. La baisse des concentrations de phosphates associée à un maintien des concentrations de nitrates favorise l'augmentation du ratio N/P des apports fluviaux. Une diminution des concentrations en sels nutritifs est aussi observée dans l'estuaire de la Gironde (Chaalali, 2013) et sur le fleuve Nervion qui traverse Bilbao, depuis les années 1990 (Chifflet et al., 2011). En Adriatique, les flux de sels nutritifs ont diminué de 50 à 70 %, selon le sel nutritif, entre les périodes 1988-2002 et 2003-2007 pour l'ensemble du Nord de l'Adriatique (Cozzi and Giani, 2011) et de 60 à 70 % pour les rivières du Golfe de Trieste sur la période 2003-2007 (Cozzi et al., 2012). Ces apports sont caractérisés par des excès d'azote total et de silicates eu égard aux apports de

phosphore total, ce qui favorise la limitation en phosphates de la production primaire (Cozzi and Giani, 2011). En effet, les concentrations en azote total des eaux de Pô ont doublé entre les périodes 1979-1984 et 2003-2007, la forme chimique majoritaire de l'azote étant toujours les nitrates (Cozzi and Giani, 2011; Marchetti et al., 1989). Ils attribuent cette augmentation aux sources diffuses comme l'agriculture intensive dans le bassin versant du Pô et une constante augmentation des émissions anthropiques pas totalement compensée par l'amélioration de la gestion des eaux usées. Sur la même période, les concentrations en composés phosphorés ont diminué de moitié, les phosphates représentant 40 % du pool total. Cette tendance est attribuée à la mise en place de la réglementation sur la réduction des polyphosphates dans les détergents en 1986 (Degobbis et al., 2005, 2000; Palmeri et al., 2005).

Exception faite de l'année 2013 qui reste exceptionnellement élevée, les volumes d'effluents traités rejetés par les STEP dans la zone côtière augmentent depuis 2008. Les charges d'azote dissout (ammonium + nitrites+nitrates) déversées en zone côtière restent stables sur la période 2000-2013 tandis que celles de phosphore total diminuent significativement depuis 2006 ce qui laisse suggérer une augmentation du ratio N/P des apports de STEP. Bien qu'aucune étude n'est traitée de l'évolution des volumes et charges annuelles ou saisonnières déversées en zone côtière ou dans les cours d'eau de l'Adriatique, Palmeri et al. (2005) estiment que les rejets de STEP situées sur le bassin versant du Pô et le long de la zone côtière contribuent à hauteur de 35 % des charges en azote total et phosphore total pour le nord de l'Adriatique, 60 % pour la rivière Pô et 60 % de l'azote total et 80 % du phosphore total dans le Golfe de Trieste (Olivotti et al., 1986).

La diminution de concentrations en phosphate et l'augmentation présumée des rapports N/P des apports fluviaux et des stations d'épuration sur la zone côtière favorisent la limitation de la production primaire et la sécrétion d'EPS par les organismes phytoplanctoniques.

Au niveau des eaux côtières, la houle à Anglet diminue depuis 1997. Cette tendance confirme celle observée sur les données de la bouée de Biscarosse sur la période 1980-2001 (Charles et al., 2012; Dupuis et al., 2006). La température et la salinité des eaux de surface de Saint Jean de Luz ont augmenté entre les années 1970 et 2010, ces deux paramètres traduisant la formation de pycnocline qui augmente la stabilité de la colonne d'eau et favorise l'accumulation de mucilages (Degobbis et al., 1999; Herndl et al., 1999). L'augmentation de température des eaux de surface a déjà été signalée à Saint Sébastien (Goikoetxea et al., 2009 ; Valencia et al., 2003) ce qui confirme la tendance observée à l'échelle du Golfe de Gascogne (de Castro et al., 2009; Michel et al., 2009) où le réchauffement le plus marqué se situe dans la zone Sud-Est (0,6 °C par décennie) sur la période 1972-1993 (Koutsikopoulos et al., 1998). Le réchauffement des eaux de surface est observé depuis le milieu des années 80 dans le nord de la mer Adriatique, sur les eaux de surface du large (Degobbis et al., 2000) et les eaux côtières occidentales (Solidoro et al., 2009). Elle concerne toutes les saisons (Barale et al., 2005; Degobbis et al., 2000; Russo et al., 2002). et peut atteindre 5 °C si l'on compare la période 1988-1999 à la période 1911-1987 (Russo et al., 2002). De plus, son augmentation est corrélée à l'index NOA (Giani et al., 2012).

La baisse des débits de l'Adour et de la Nivelle peut être à l'origine de l'augmentation de salinité des eaux de surface de Saint Jean de Luz. Une même tendance a été observée sur les eaux de

surface du plateau continental basque durant la fin des années 1980 et le début des années 90 (Valencia et al., 2003). L'augmentation de salinité des eaux côtières, corrélée à la diminution des débits du Pô (Degobbis et al., 2000), est aussi observée depuis 2000 dans l'ensemble du nord Adriatique (Solidoro et al., 2009), dans sa partie occidentale (Djakovac et al., 2012), dans le Golfe de Trieste (Malačič et al., 2006) et les eaux du large (Degobbis et al., 2000). et sur l'intégralité de la colonne d'eau de la partie orientale sur la période 1921-2000 (Supic et al., 2004).

La baisse des débits fluviaux et des concentrations en phosphates et en ammonium de l'Adour peut en partie expliquer la baisse de leurs concentrations dans les eaux de surface de la zone côtière de Saint Jean de Luz entre les années 1970 et 2010. En revanche, les concentrations de silicate dans les eaux de surface de la zone côtière ont augmenté entre les années 1970 et 2010. Des évolutions des concentrations sont renseignées dans la baie de Marennes Oléron où le principal sel nutritif limitant était l'azote dans les années 80 (Heral et al., 1984, 1982; Ravail et al., 1988), alors que depuis 1993 il s'agit des phosphates ce qui a conduit à une baisse de la chlorophylle a (Soletchnik et al., 1998). En Adriatique, la diminution des concentrations en phosphates et ammonium a été mise en évidence depuis la fin des années 80 (Solidoro et al., 2009). Plus récemment, la baisse des phosphates a été confirmée dans les parties orientales et occidentales du nord de la mer Adriatique (Djakovac et al., 2012). Parallèlement, après 1986, les concentrations en azote dissout et en silicates augmentent (Degobbis et al., 2000) principalement en raison du changement de composition en sels nutritifs du Pô. Malgré la diminution de ses débits, la concentration d'azote dissout dans les eaux de surface augmente en 2000-2009, notamment en fin d'hiver et au printemps. Elle pourrait résulter d'une accélération de la baisse de concentrations en phosphates depuis le début des années 2000 qui a eu pour conséquence d'aggraver la limitation de croissance du phytoplancton et d'accumuler l'azote dissout non utilisé (Djakovac et al., 2012; Giani et al., 2012). Toutes ces modifications de concentrations en sels nutritifs sont très marquées depuis les années 2000 dans la zone d'influence du panache du Pô et ont engendré une hausse du ratio N/P (Djakovac et al., 2012; Giani et al., 2012; Solidoro et al., 2009). Compte tenu des tendances à la baisse observées, nous pouvons suggérer que les mucilages ne résultent pas d'un problème d'eutrophisation des eaux côtières mais plutôt d'une tendance à leur oligotrophisation.

Ces modifications de concentrations en sels nutritifs des eaux côtières s'accompagnent d'une baisse de la concentration en chlorophylle a entre les années 1970 et 2010. Ces résultats sont conformes à ceux observés dans l'estuaire de la Gironde (Chaalali, 2013), sur le plateau continental basque (Revilla et al., 2009) ou sur la zone côtière de Cantabrie (Llope et al., 2007) et sont compatibles avec le modèle conceptuel de Richardson and Schoeman, (2004) qui décrit les effets du réchauffement des eaux sur la stratification saisonnière et l'appauvrissement en sels nutritifs. Cela correspond à la tendance globale de baisse de production constatée à l'échelle de l'Atlantique Nord Est depuis 1999, tendance qui risque de se renforcer avec le réchauffement (Behrenfeld et al., 2006). Des diminutions de concentrations de chlorophylle a sont aussi observées dans le nord de la mer Adriatique et le Golfe de Trieste au début des années 2000 (Mozetič et al., 2010). Cette tendance est d'autant plus marquée dans la zone d'influence du Pô. Dans le Golfe de Trieste, la diminution de

chlorophylle a pourrait s'expliquer par une plus grande prévalence de phytoplancton de petite taille et une diminution des efflorescences saisonnières à grandes diatomées (Mozetič et al., 2012).

Enfin, l'Index hydro-climatique mucilage (MHI) augmente sur la période 1958-2014 avec deux ruptures identifiées en 1989 et 1991. Cette tendance est particulièrement observée en hiver, au printemps et pendant l'été. Ceci révèle l'augmentation de situations anticycloniques avec une météo ensoleillée, une mer calme et des débits de l'Adour modérés qui favorisent la formation de mucilages. En Adriatique, un tel index n'existe pas. Toutefois, les mucilages sont apparus à une fréquence plus faible sur la période 1930-1988 que lors de la période précédente 1872-1930 mais celle-ci a de nouveau augmenté depuis 1988, année précédant le shift de notre index MHI (Crisciani and Ferraro, 1990).

L'évolution des facteurs qui contrôlent leur formation (baisse des concentrations en phosphate et des débits, augmentation du ratio N/P et de la température), leur accumulation et leur temps de résidence (formation de pycnocline, diminution d'intensité du vent et de la hauteur de houle) ainsi que leur distribution géographique (renforcement des vents de secteur nord et Ouest orientant le panache vers le sud de l'embouchure) semblent expliquer en partie l'accélération du phénomène constaté par les pêcheurs. Si ces tendances se confirment, on peut s'attendre à une aggravation dans les années à venir.

- Les mucilages résultent de la conjugaison de processus biologiques conduisant à la production de matière organique polymérique (s-EPS et TEP) et de l'évolution temporelle de facteurs météorologiques, biogéochimiques et océanographiques favorisant cette production et son agrégation.
- L'objectif de confronter les tendances des principaux facteurs abiotiques locaux contrôlant l'apparition de mucilages à des indicateurs historiques fiables de présence de Liga n'a pas été réalisé car les enquêtes (presse, pêcheurs) n'ont pas permis d'établir ces indicateurs.
- L'index hydro-climatique mucilage (MHI) croît de 1958 à 2014, en lien avec l'augmentation de situations anticycloniques : météo ensoleillée, mer calme et débits de l'Adour modérés, favorisant la formation de mucilages. Il a permis de valider des évolutions (rayonnement global, température maxi de l'air, hauteur de houle et débits de l'Adour) qu'il est possible de relier avec les périodes récentes de forte occurrence du liga. Ce travail ouvre une voie prometteuse pour prévoir le risque d'apparition d'épisodes de Liga, en intégrant peut être au MHI d'autres paramètres (régime des vents).
- Pour les sels nutritifs, les concentrations dans l'Adour, principal contributeur d'eau douce du plateau continental basque, ont cessé d'augmenter depuis les années 90. Celle du phosphate a significativement diminué en 1990-2010 alors que celle des nitrates, principale forme chimique de l'azote inorganique rencontrée, semble s'amorcer moins rapidement depuis les années 2000. Cette baisse de concentrations du phosphate associée à un maintien ou une lente diminution de celle du nitrate favorise l'augmentation du ratio N/P des apports fluviaux. Cette augmentation en zone côtière favorise la limitation de la production primaire phytoplanctonique par le phosphore et semble être corrélé à la sécrétion de s-EPS, précurseurs des mucilages et donc du liga.

Chapitre 4 : Synthèse et perspectives

1. Les processus de formation des précurseurs de mucilage

L'abondance des diatomées est positivement corrélée aux concentrations en TEP qui sont elles-mêmes corrélées à la présence forte de mucilages. L'abondance de virus est positivement corrélée aux concentrations en EPS qui sont-elles mêmes corrélées à la limitation de la production primaire par les phosphates. La présence forte de mucilages dans la colonne d'eau se traduit par une baisse de l'indice de diversité de Shannon et une domination d'espèces microphytoplanctoniques de la famille des diatomées. Les espèces dominantes varient au cours de la période d'échantillonnage (*Leptocylindrus danicus* en juin 2013, *Pseudo nitzschia* groupes B1 et B2 en octobre 2013 et *Thalassiosira gravida* en mars 2014). Ces espèces ont des caractéristiques communes puisqu'elles ont toute déjà été identifiées dans des mucilages dans d'autres mers du monde, elles ont toutes la capacité de produire des EPS dans des conditions de limitations en phosphates, elles ont toutes des formes coloniales et elle sont toutes capables de bloomer quand les conditions sont favorables. D'autre part, des espèces mésozooplanctoniques semblent tirer avantage de la présence mucilages puisque 4 taxons sont positivement corrélés à leur forte présence. Il s'agit des siphonophores *diphyidae*, des appendiculaires *Oikopleura sp* des chaetognathes *Sagitta sp* et des copépodes *Oncaea sp*.

Afin de déterminer les facteurs environnementaux favorisant la production d'EPS et de TEP, nous avons réalisé une analyse en composante principale (Fig 29).

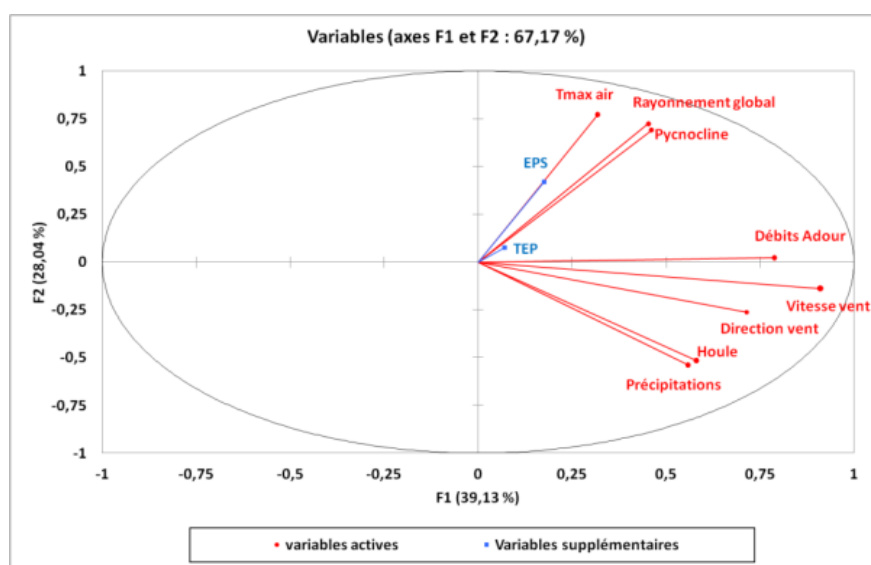


Figure 29 : Analyse en composante principale des facteurs environnementaux et des TEP et EPS.

Les facteurs environnementaux expliquent 67 % de la variabilité des concentrations en TEP et EPS de la colonne d'eau. Un fort rayonnement global (Coefficient de Pearson = 0,522 ; p value = 0,004 ; $r^2 = 0,272$) et la formation d'une pycnocline (Coefficient de Pearson = 0,411 ; p value = 0,037 ; $r^2 = 0,169$) favorisent l'accumulation d'EPS dans la couche intermédiaire à l'inverse d'une forte houle (Coefficient de Pearson = - 0,445 ; p value = 0,016 ; $r^2 = 0,198$).

De même, les concentrations en TEP sont positivement corrélées aux concentrations en phosphates (Coefficient de Pearson = - 0,537 ; p value = 0,003 ; $r^2 = 0,289$), en nitrates (Coefficient de Pearson = - 0,533 ; p value = 0,004 ; $r^2 = 0,284$) et négativement corrélées au ratio Si/P (Coefficient de Pearson = - 0,586 ; p value = 0,001 ; $r^2 = 0,343$).

La production primaire fluctue en fonction de la saison (Figure 30). A Biarritz, sur la période d'étude, la production primaire moyenne est de $27,72 \pm 24,17 \mu\text{g}$ de COP/l/jour. La plus forte production a été enregistrée le 07 mai 2014 ($89,7 \mu\text{g}$ de COP/l/jour). Un second pic de moindre intensité ($70,7 \mu\text{g/l/jour}$) apparaît le 12 mars 2014. A l'inverse, les plus faibles valeurs sont mesurées le 27 novembre 2013 ($0,75 \mu\text{g}$ de COP/l/jour). Par ailleurs, nous notons des augmentations saisonnières de production primaire en juin, octobre et décembre 2013 et des valeurs minimales en août et novembre 2013. La production primaire de la fraction totale est significativement supérieure à la fraction inférieure à $10 \mu\text{m}$ (p value test de Friedman apparié < 0,0001). Sur la zone d'étude, la production primaire est positivement corrélée aux débits de l'Adour (Coefficient de Pearson = 0,388 ; p value = 0,046 ; $r^2 = 0,150$), au rayonnement solaire (Coefficient de Pearson = 0,78 ; p value = 0,012 ; $r^2 = 0,229$) et à la formation d'une pycnocline (Coefficient de Pearson = 0,518 ; p value = 0,008 ; $r^2 = 0,268$).

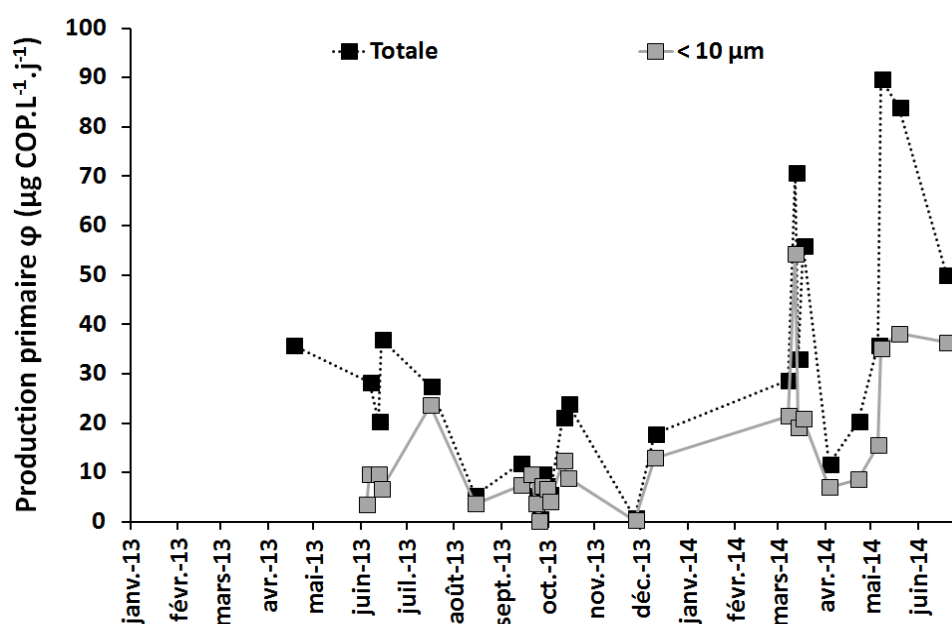


Figure 30 : Evolution de la production primaire (fraction totale et inférieure à $10 \mu\text{m}$) dans la couche intermédiaire de Biarritz.

Les principaux sels nutritifs qui contrôlent la production primaire sont les phosphates (Coefficient de Pearson = 0,480 ; p value = 0,011 ; $r^2 = 0,230$). Or, l'analyse des ratios de sels nutritifs (Figure 31) laisse présager d'une limitation de la production primaire par les phosphates. 94% des échantillonnages Adour (16/17), 89,6 % des échantillonnages de la couche de surface et intermédiaire à Biarritz (26/29) se situent dans la zone haute du graphique (parties vert et jaune) qui détermine les phosphates comme premier sel nutritif limitant. Les ratios N/P sont élevés sur les 3 stations avec des moyennes égales à 186,4 +/- 113,8 sur l'Adour (max = 672,3 le 17/04/2013), 212 +/- 269,5 à Biarritz en surface (max = 1 271 le 05/05/2014) et 220,7 +/- 321 (max = 1 653 le 10/12/2013). Ces ratios N/P élevés suggèrent des déséquilibres en nutriments dus à des excès de nitrates vis-à-vis des phosphates.

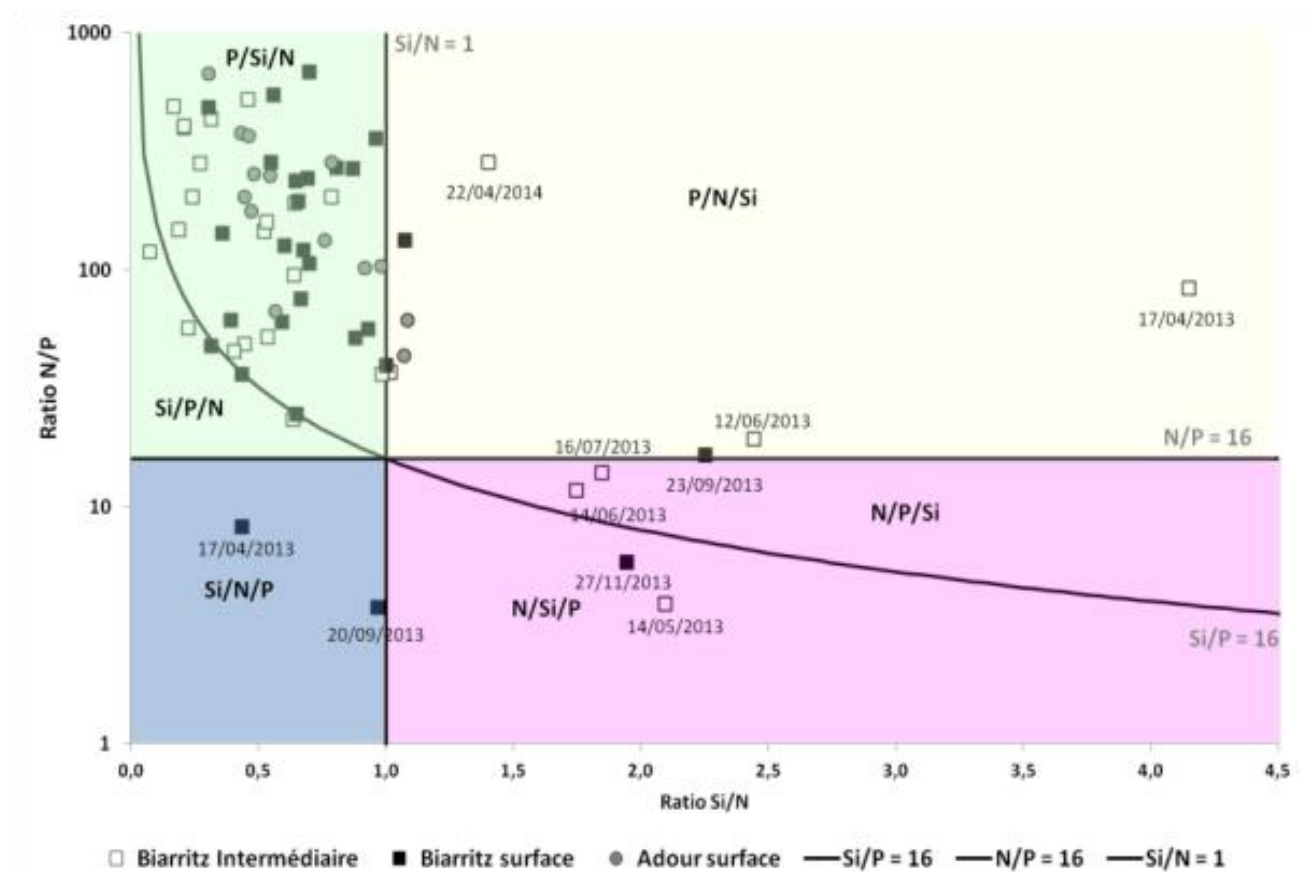


Figure 31 : Projection des ratios de sels nutritifs des couches de surface de l'Adour et de Biarritz et de la couche intermédiaire de Biarritz. Chaque point correspond à une campagne d'échantillonnage. L'axe vertical démarré en l'abscisse 1 correspond au ratio Si/N = 1 théorique de Redfield. L'axe horizontal démarré en ordonnées 16 représente le ratio théorique de Redfield N/P = 16. L'axe oblique représente le ratio théorique de Redfield Si/P = 16. La position des points d'échantillonnage sur le graphique renseigne sur un ordre décroissant de sel nutritif limitant.

Les bio-essais d'enrichissements en sels nutritifs confirment une limitation de la production primaire par les phosphates (Figure 32). A Biarritz, les phosphates sont les principaux sels nutritifs limitant la production primaire (Figure 32b) avec de fortes limitations en juin, juillet et octobre 2013 ainsi qu'en mars 2014. Les limitations observées par ajout de phosphates ou par ajout des 3 sels nutritifs (Figure 30d) sont identiques (p value test de Friedman apparié = p value = 0,695 pour la fraction totale et la fraction $< 10 \mu\text{m}$). Les silicates peuvent ponctuellement limiter la production comme nous l'observons en octobre et décembre 2013 (Figure 32c). Enfin, l'azote est le facteur le moins limitant (Figure 32a) bien qu'il puisse l'être ponctuellement en juin 2013 et 2014 ainsi qu'en août 2013.

Nous avons démontré précédemment que la limitation en phosphates est positivement corrélée aux concentrations d'EPS qui sont les précurseurs des TEP lesquels sont positivement corrélés à la présence de mucilages et aux abondances de diatomées.

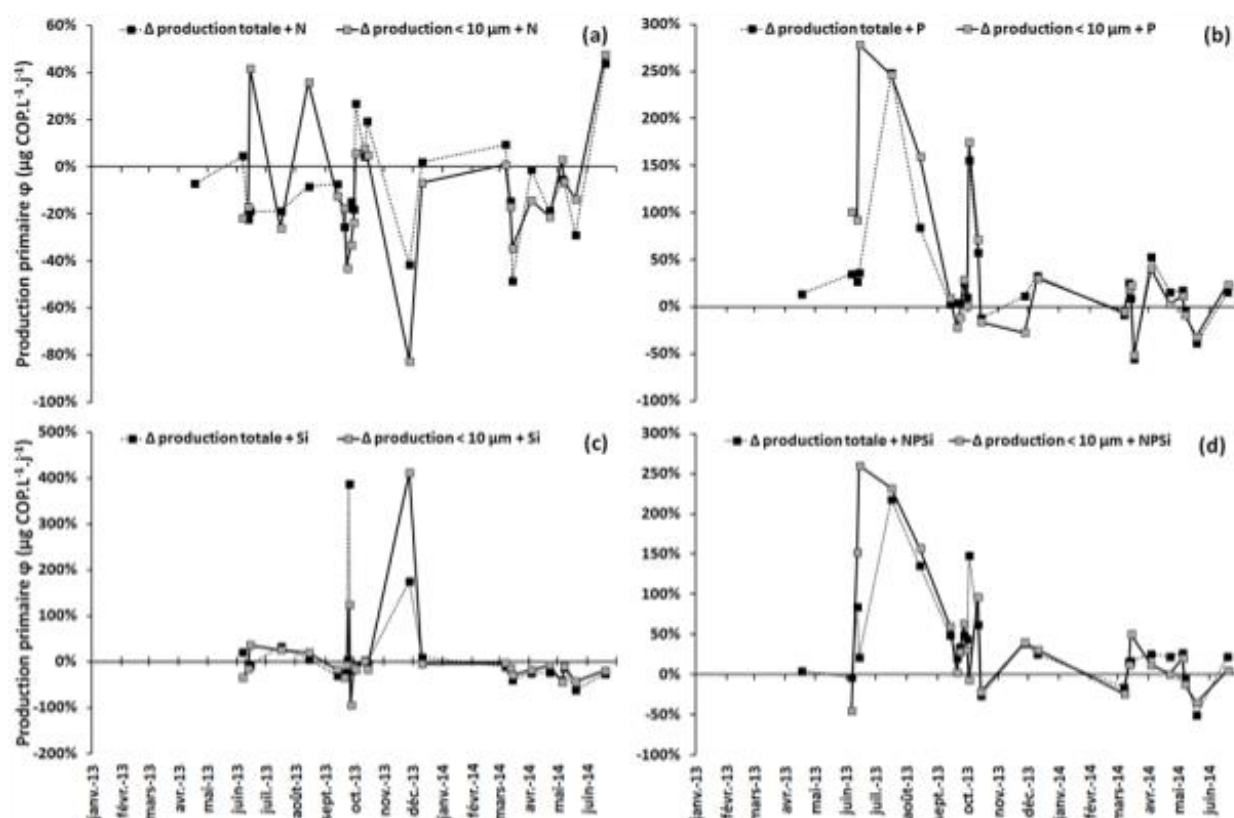


Figure 32 : Evolution des limitations de production primaire par les différents sels nutritifs à Biarritz exprimées en % de la production primaire in situ. (a) après ajout d'azote ; (b) après ajout de P ; (c) après ajout de silicates ; (d) après ajouts des 3 sels nutritifs.

2. Conséquences sur la qualité environnementale

2.1. Risques liés à la présence de contaminants

Les niveaux de concentrations retrouvés sont dans les gammes des concentrations habituellement observées pour des échantillons estuariens. Le Liga peut simplement jouer le rôle de pré concentrateur pour certaines molécules, comme on peut l'observer pour des matières en suspension, mais leurs niveaux restent faibles.

2.2. Risques liés à la composition bactériologique

Le potentiel pathogénique a été détecté par une approche fonctionnelle ciblant des gènes marqueurs de virulence (*e.g.* facteurs de virulence en relation avec l'adhésion, la colonisation, l'évasion immunitaire, les systèmes de sécrétion, l'invasion, la production de toxines et antibiotiques, l'assimilation du fer, la résistance aux antibiotiques). Ainsi notre analyse a montré que le liga, relativement à l'eau de mer, était enrichi en populations microbiennes possédant des capacités de virulence (voir § 2.1.3). Nos premières investigations ne nous permettent pas à ce jour de déterminer précisément l'origine de ces facteurs de virulence ni leur cible cependant la majorité d'entre eux affecterait des organismes procaryotes (68,4%), soit des microorganismes, alors que 31,3% seulement affecterait des organismes eucaryotes, la part restante ne pouvant pas être identifiée. Le potentiel pathogénique est principalement associé à la production d'antibiotiques et la présence de systèmes de sécrétion de type III qui permettent de délivrer dans la cellule hôte des protéines capables de moduler le métabolisme de l'hôte.

L'enrichissement observé pourrait s'expliquer par une compétition accrue entre les microorganismes pour la source de nutriment que constituerait le mucus. En ce qui concerne les organismes cibles eucaryotes, la pathogénicité pour l'homme doit être recherchée cependant il est probable que d'autres organismes marins soient concernés. Nous espérons également qu'une étude plus approfondie nous éclairera sur la nature des microorganismes porteurs de ces facteurs de virulence.

2.3. Risques liés à la composition phytoplanctonique

Afin d'évaluer l'impact potentiel lié à la présence d'espèces phytoplanctoniques nocives en présence de mucilages, nous avons identifié les espèces pouvant présenter un risque sanitaire ou environnemental à partir de la liste taxonomique de référence des micro-algues nocives (Harmful Algal Bloom, HAB) compilée sur le site internet de l'UNESCO (<http://www.marinespecies.org/hab/>

[index.php](#)). De plus, nous avons recensé les risques associés à partir de la base de données du Système d'Information des algues nocives de la commission intergouvernementale océanographique de l'Unesco (<http://haedat.iode.org/>) qui recense les événements liés aux proliférations d'algues nocives à travers le monde.

Afin d'évaluer l'impact de la présence de mucilages sur la biodiversité phytoplanctonique, nous avons calculé les indices de diversité de Shannon Wiener (H') et l'indice d'équitabilité de Pielou. L'indice de Shannon Wiener exprime la diversité en tenant en compte du nombre d'espèces et de l'abondance de chaque espèce alors que l'indice d'équitabilité de Pielou mesure la répartition des individus au sein des espèces, indépendamment de la richesse spécifique. Ces indices sont recommandés par plusieurs auteurs (Gray et al., 1992).

Nous avons recensé 66 taxons susceptibles de provoquer des déséquilibres écologiques (Annexe 1). Les pics d'abondance de taxons potentiellement nuisibles correspondent aux pics de présence de mucilages (Figure 33).

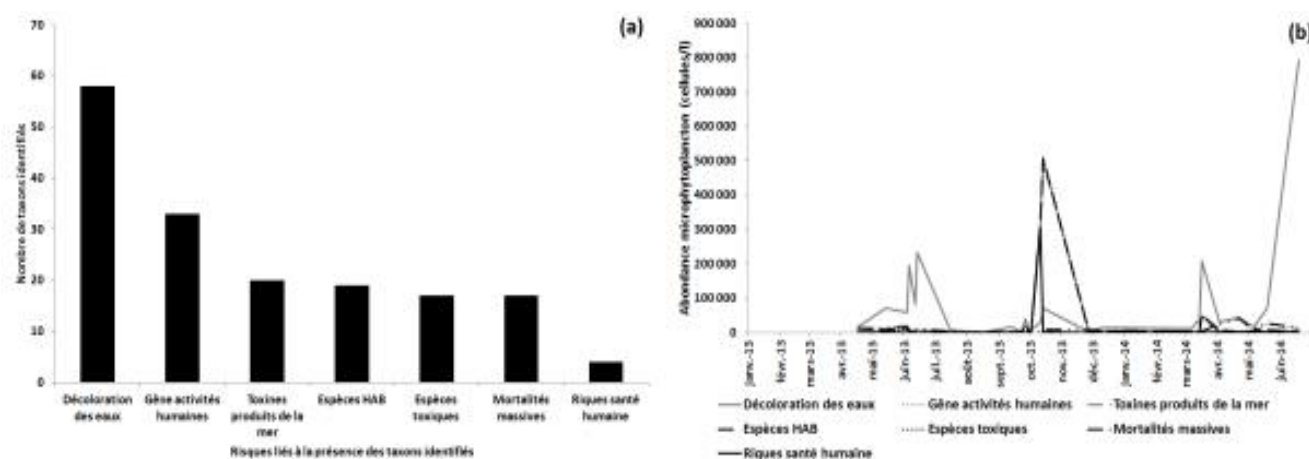


Figure 33 : Nombre de taxons phytoplanctoniques pouvant avoir un impact nuisible et évolution de leur abondance. (a) nombre de taxons identifiés par type de risques ; (b) évolution de l'abondance totale de ces taxons.

Parmi les 66 taxons identifiés, 58 d'entre eux sont connus pour provoquer, dans certaines conditions, une décoloration des eaux. Ceci établit probablement le lien entre les mucilages et l'observation de marées rouges de mars 2012 sur la côte. Cette alternance de marées rouges/mucilages/prolifération de plancton gélatineux est d'ailleurs documentée en Adriatique (Boero and Bonsdorff, 2007). La deuxième nuisance identifiée correspond à la présence de 33 espèces pouvant engendrer une gêne des activités humaines. Parmi les activités impactées, nous pouvons citer la pêche professionnelle, l'aquaculture et le tourisme par l'altération de la qualité des eaux de

baignade. De 17 à 20 taxons sont connus pour être des espèces responsables de « Harmful algal Bloom » (HAB) pouvant causer des troubles écologiques importants. La plupart de ces espèces sont toxiques et certaines sont responsables de mortalités massives de poissons ou crustacés. Enfin, le risque sur la santé humaine est faible.

Nous avons identifié 41 taxons susceptibles d'impacter les autres communautés marines (Figure 34) dont la liste est présentée en Annexe 2.

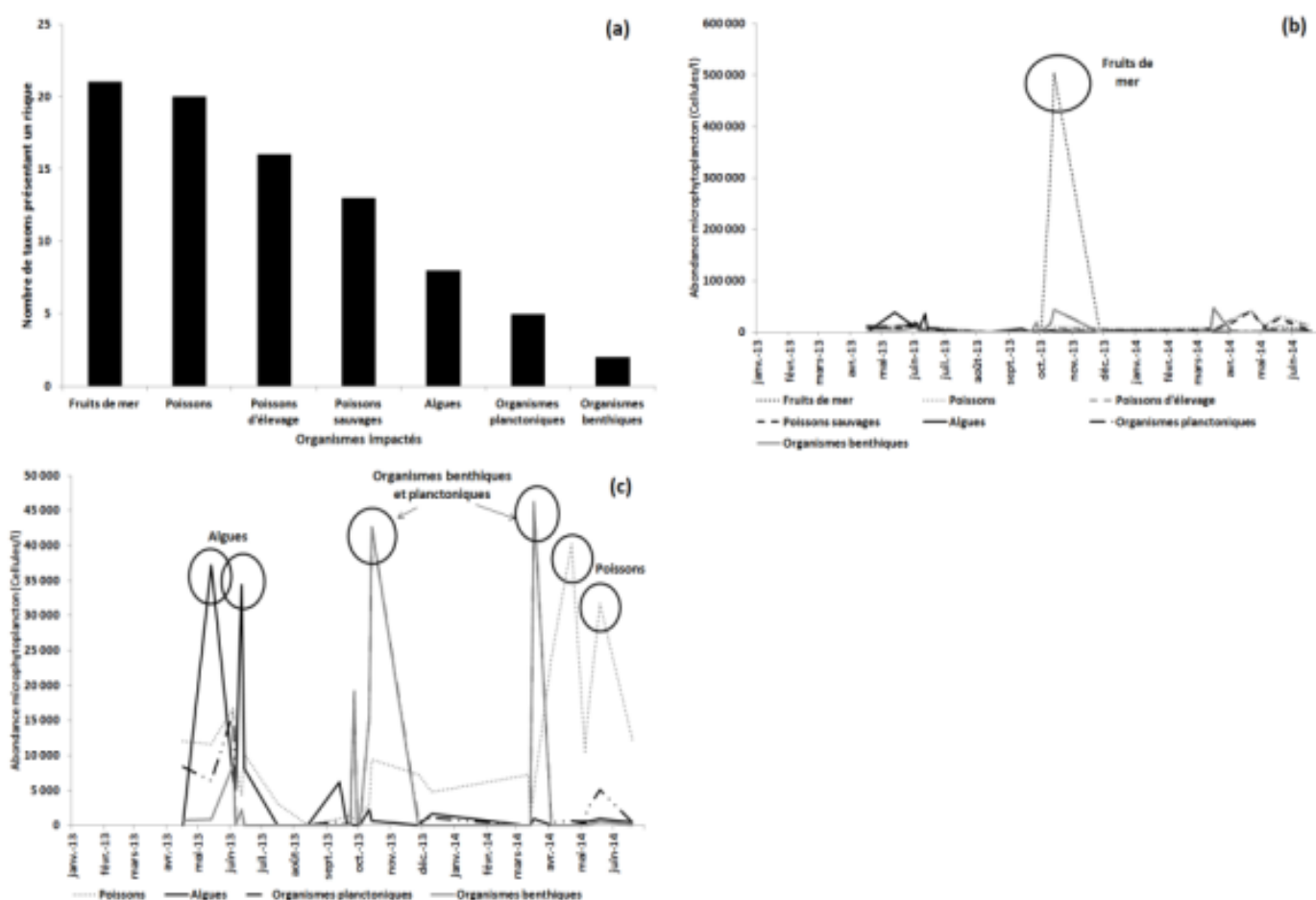


Figure 34 : Risques écologiques associés à la présence de taxons phytoplanctoniques nuisibles. (a) Nombre de taxons identifiés (b) Evolution de l'abondance d'espèces ayant un impact sur les espèces marines ; (c) Zoom sur l'évolution d'espèces ayant un impact sur les espèces autres que les coquillages et fruits de mer.

Les principales communautés impactées par la présence des taxons nuisibles identifiés sont les fruits de mer (mollusques et crustacés) et les poissons. Toutefois, certaines espèces peuvent être responsables du blanchiment d'algues incrustantes ou peuvent avoir un impact direct sur les organismes planctoniques ou benthiques.

Pour les communautés phytoplanctoniques, la présence forte de mucilages s'accompagne d'une baisse significative de l'indice de diversité de Shannon et de l'indice d'équitabilité de Piélou (Figure 35). Cela se traduit par une perte de diversité phytoplanctonique et la dominance d'une espèce en période de forte présence de mucilage.

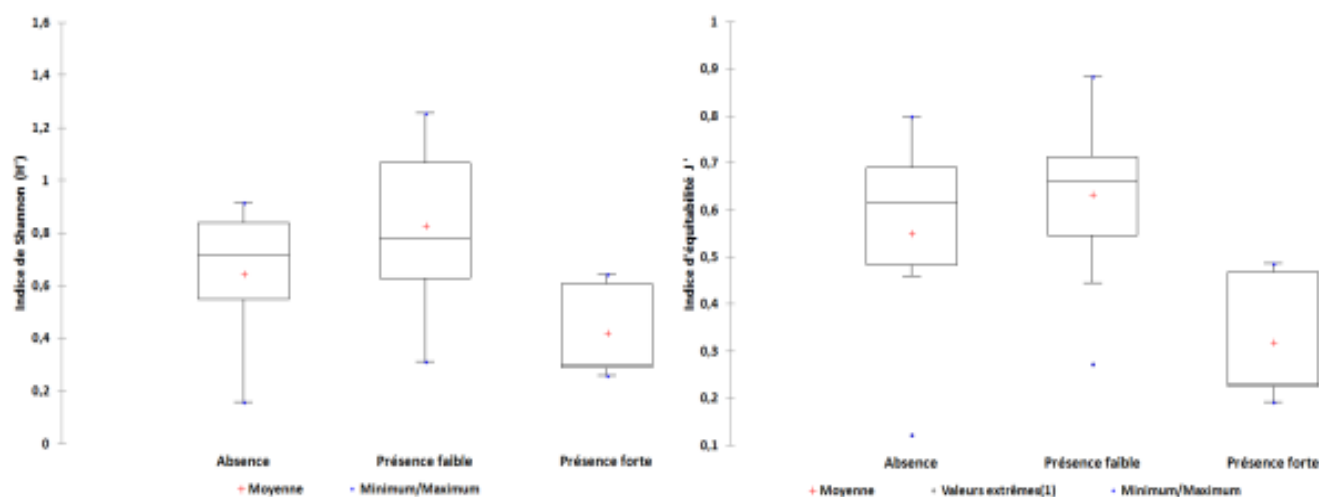


Figure 35 : Indice de diversité de Shannon (a) et d'équitabilité de Piélou (b) des communautés microphytoplanctoniques

2.4. Risques liés à la composition zooplantonique

Certains auteurs (Giani et al., 2005) ont signalé en particulier en mer Adriatique certains cas d'irritation au niveau des mains due à la manipulations de filets de pêche englués par des substances de type liga. Sur la côte Basque, une étude récente (d'Elbée et al., 2016) concernant la composition du liga récolté directement sur les filets de pêche durant la période estivale de 2010 montre la présence d'organismes soit agglutinants favorisant la formation du liga, ou bien potentiellement irritants pouvant temporairement provoquer des réaction épidermiques ou allergique lors d'une manipulation de filets de pêche. Les organismes planctoniques potentiellement venimeux sont tous des cnidaires pouvant être présent dans l'environnement du filet de pêche colmaté par le liga sous formes de méduses, de polypes ou des siphonophores planctoniques. De nombreux spicules d'éponges à pointes très souvent acérées ont également été constatés dans certains échantillons de liga.

3. Questions scientifiques et perspectives de recherche

3.1. Prédiction d'apparition

Concernant une approche « plus mathématiques » de ces phénomènes, deux études exploratoires ont été menées en 2015 par le biais de stages de masters du département de Mathématiques de l'UPPA (Annexe 5 et 6). Une première démarche a consisté à conduire, en prenant en compte des paramètres météorologiques et hydro climatiques, une étude statistique à partir des données collectées sur la période 2010-2014. Dans un deuxième temps, une modélisation de type dynamique des populations afin de retrouver, à partir de ces mêmes données 2010-2014, la présence végétale mesurée, puis de proposer la simulation d'une loi élémentaire pour indiquer la présence ou pas de Liga. Il faut comprendre ces premières études comme une réflexion en amont de la modélisation mathématique de ces phénomènes extrêmement complexes et la problématique liée à l'échantillonnage et à l'exploitation statistique des mesures. Il a été possible d'en retirer les conclusions suivantes : les premiers modèles mathématiques simulés restituent le comportement observé des populations intervenant dans la formation du Liga, mais nécessitent une recherche transversale plus poussée pour arriver à un résultat pertinent. Il est à noter, qu'à notre connaissance, il n'existe actuellement aucune publication dans la littérature bio-mathématique sur ce sujet. Concernant les mesures sur le terrain, l'idéal serait d'organiser une nouvelle campagne avec un protocole statistique élaboré à l'avance pour en retirer les meilleures informations possibles.

3.2. Télédétection des mucilages

Afin de valoriser de façon opérationnelle les connaissances acquises dans le cadre du programme de recherche « LIGA », l'IMA, la fédération de recherche MIRA de l'UPPA et Capgemini proposent de développer un prototype de service de surveillance et de prédiction du « LIGA » à partir de la télédétection. En Adriatique, ce travail a été réalisé et a permis de détecter par image satellite les mucilages de surface et de sub-surface (Figure 36).

L'objectif est de développer une application (internet ou smartphone) à destination des professionnels de la pêche et des collectivités permettant d'apporter une prévision statistique de présence de « LIGA » sur la côte basque en croisant un ensemble de données spatio-temporelles existantes : données satellitaire d'observation de la Terre, données biologiques in-situ, données géophysiques, etc. L'innovation porte sur la calibration de données issues de traitement d'images satellitaires par des données d'observations in situ des facteurs contrôlant l'apparition de mucilages (chlorophylle a, matières en suspension, éléments nutritifs, composante phytoplanctonique,

température et salinité de l'eau, courants marins, houle) et sur la modélisation dynamique du phénomène par la connaissance, la détection et le déplacement des panaches fluviaux. Ceci permettra de suivre le phénomène de façon dynamique et à une plus large échelle qu'un simple point d'échantillonnage. Le projet repose sur la synergie entre un réseau de marins pêcheurs volontaires du CIDPMEM 64/40, les biologistes de l'IMA, les géophysiciens de Capgemini et les mathématiciens modélisateurs de l'équipe Infrastructure Vagues Systèmes (IVS) et du Laboratoire de Mathématiques et de leurs Applications (LMA) de la fédération MIRA. La mutualisation des compétences permettra d'alerter sur la présence de « LIGA » (marins pêcheurs), de valider cette présence par des prélèvements ciblés (IMA), de détecter cette présence par image satellite et de prédire, en fonction des conditions hydro-climatiques, le devenir du phénomène sur la zone côtière (IVS- LMA). L'interaction de ces équipes pluri-disciplinaires permettra de calibrer les algorithmes et/ou les modèles par des validations de terrain et une expertise écologique du fonctionnement des écosystèmes côtiers.

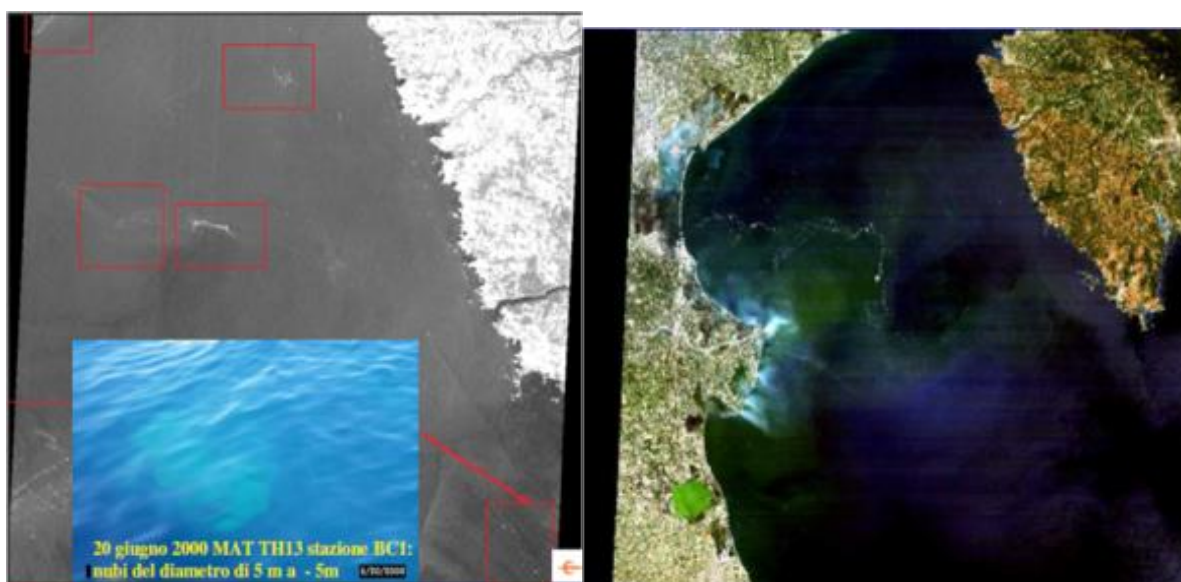


Figure 36 : Image SPOT de mucilages de sub-surface dans le nord de l'Adriatique le 20 juin 2000 (Giani, 2006) (à gauche) et image Landsat d'accumulation d'agrégats de surface sur le front de panache du Pô le 21 juin 2000 (à droite) (Precali et al., 2005)

3.3. Perspectives en sciences humaines

La problématique liga, un sujet exemplaire pour tester, à l'échelle régionale, des outils de concertation entre politiques, scientifiques et acteurs locaux.

Au terme de cette première étude de la problématique du liga envisagée au prisme de sciences humaines, il apparaît que cette dernière est particulièrement riche et mériterait un approfondissement. L'intérêt très fort que nous voyons dans ce sujet est qu'il est relativement circonscrit dans le temps : il

s'agit d'un phénomène relativement brutal et récent. Il s'agit également d'une problématique circonscrite dans l'espace (puisque à l'échelle du littoral aquitain, seule la côte Basque est réellement impactée et un peu le sud des landes, même si des phénomènes proches existent ailleurs dans le monde). Enfin, les acteurs impliqués sont encore relativement restreints.

Dans ce contexte, il serait fort intéressant d'axer un second volet d'études autour de la question de la circulation de l'information. Il apparaît en effet assez clairement qu'aucune réflexion globale et concertée sur ce sujet n'a pu, faute de connaissances et/ou de volonté, être mise en œuvre. Cette absence de communication officielle (écrite, disponible et pas seulement orale et fugace lors de réunion) a été particulièrement nuisible à l'image que les pêcheurs se sont fait de la « gestion » de ce dossier. Les informations semblent avoir été diffusées par le biais de quelques individus, scientifiques et/ou pêcheurs « impliqués » dans le dossier, sans cadrage et discours « officiel ». Cette diffusion de l'information est particulièrement propice aux déformations et aux phénomènes de « rumeurs ». Pour autant, malgré des discours qui peuvent sembler assez négatif, on sent que la demande de compréhension, de dialogue, de concertation est présente aussi bien chez les pêcheurs qu'au sein des collectivités territoriales qui n'ont pas forcément réussi, jusqu'ici, à transmettre les éléments de réponse utiles aux questionnements soulevés par les premières analyses.

Ainsi, de par sa dimension circonscrite, l'imbrication des postures des uns et des autres au cours des dernières années, les tensions qui pointent sur un sujet qui touche à tous les compartiments des problématiques environnementales, à toutes les échelles (traitement des eaux, urbanisation, agriculture, changements globaux), la gestion du problème du liga nous semble idéale pour développer et/ou tester la mise en œuvre d'outils innovants autour de la vulgarisation et la diffusion de l'information scientifique, des outils de gouvernance, l'exploration de ce que certains appelle le « tiers secteur scientifique » où la société civile serait davantage actrice de la recherche. De nombreuses pistes existent... Il s'agirait de réfléchir à la façon de faire dialoguer au mieux les pêcheurs, les scientifiques et les politiques. Les institutionnels sont d'ores et déjà engagés dans ces chantiers (souvent autour des changements globaux) mais signalent tous les manques dans la mise en œuvre, le besoin de faire évoluer les fonctionnements, d'innover dans les façons de faire.

A court terme, et suite aux remarques des pêcheurs sur l'organisation de réunions, seul vecteur d'information proposé jusqu'ici, il nous semble qu'une première étape pourrait être la réalisation d'un espace d'information accessible dans la durée (espace virtuel et/ou réel) et qui reprendrait aussi bien des éléments scientifiques vulgarisés par des partenaires spécialisés que des éléments plus historiques et sociaux afin de favoriser le dialogue et permettre à chacun de dépasser des postures héritées du passé.

Le partage de connaissance est une première marche pour favoriser les collaborations et c'est un besoin qui est généralisé comme le souligne Juergen Weichselgartner (2016), spécialiste de

l'analyse des interactions homme-environnement et des réponses sociétales aux risques et aux crises : « La demande croissante des décideurs et des agences de financement de la recherche pour une recherche climatique qui soit politiquement pertinente souligne le besoin urgent d'une perspective de recherche intégrative sur la politique sociale et la gouvernance climatique, ainsi que d'un passage des stratégies réactives « top-down » (ou descendantes) vers des stratégies proactives conçues de manière collaborative ».

Le rendu de ce rapport, apportant des éléments scientifiques utiles à l'action publique, nécessitant une réflexion sur la diffusion et le partage de ces résultats, apportant les pistes sur les éventuels leviers d'action et faisant un premier bilan, même s'il s'agit d'une ébauche partielle, sur les représentations et postures des partenaires impliqués dans la gestion de ce dossier marque une étape importante. Cette étape constitue peut-être le bon moment pour expérimenter/inventer de nouvelles pratiques qui permettraient de construire, localement, les bases de cette collaboration indispensable pour faire face aux problématiques environnementales actuelles et à venir (ainsi que leurs incontournables dimensions climatiques) se caractérisant par une forte complexité.

Il s'agit enfin d'approprier l'idée que chacun dispose d'une part de connaissance sur la thématique liga : scientifiques, institutionnels et pêcheurs, mais que les autres acteurs en possèdent aussi une autre part, différente mais complémentaire. C'est la mise en commun de ces savoirs qui facilitera la recherche de solutions.

4. Quelques conclusions et réflexions finales

Quelques questions scientifiques et pistes de recherches futures ont été présentées dans ce dernier chapitre. D'autres n'ont pas été développées ici. On peut citer : le rôle des mucilages dans la réactivité des contaminants connus et émergents, le devenir des mucilages lors de leur maturation et leur utilisation comme indicateurs des changements anthropiques en cours. Ces points méritent d'être approfondis.

Nous n'avons aucune information fiable sur la fréquence et l'intensité des épisodes de liga dans le passé. Notre étude a porté sur une année au cours de laquelle le phénomène a été peu intense. Il est donc actuellement impossible de savoir si sa tendance est actuellement à l'augmentation du phénomène en fréquence et en intensité. Pourtant, si l'on souhaite parvenir à une prédiction des épisodes de liga, il est crucial de disposer d'une série de données pluri-annuelle pour valider de manière de plus en plus robuste le lien entre l'apparition du liga et les paramètres qui ont été mis en évidence au cours de ce travail. Certains de ces paramètres font actuellement l'objet de suivis réguliers, entre autres dans le cadre du projet MICROPOLIT. Le problème est qu'un suivi des

épisodes de liga nécessite la mise en œuvre d'un protocole lourd, sur le long terme et avec des prélèvements fréquents, c'est-à-dire coûteux.

Les épisodes de liga sont le résultat de déséquilibres écologiques que nous avons bien identifiés et sur lesquels nous disposons maintenant localement des compétences nécessaires. Il est possible de corriger ces déséquilibres sur le court terme. On peut espérer que les tendances actuelles vont se confirmer et que les rapports entre sels nutritifs vont peu à peu se rééquilibrer. Par contre, il est actuellement difficile de prévoir quelle sera l'influence de l'élévation actuelle de la température de la mer en zones estuarienne et littorale. La capacité à prédire le phénomène revêt donc une grande importance pour les court et moyen termes.

Le principal problème est que pour l'instant le liga ne représente une gêne clairement identifiée que pour les pêcheurs. Il est cependant très possible que, à court terme, les déséquilibres du milieu littoral conduisent à une intensification du phénomène avec des conséquences très sérieuses pour l'ensemble des usagers et des usages. La mise place d'un suivi du liga est donc à notre avis une priorité et il convient d'en définir les modalités en lien avec les pêcheurs et les partenaires institutionnels. Il nous semble que les pêcheurs pourraient devenir acteurs de ce suivi, selon des modalités à définir (signalement géolocalisé, photos, prélèvements en vue d'analyses, ...). Leur participation pourrait être complétée par un suivi par télédétection. Un tel recueil de données devrait permettre de mettre en place un prototype de service de surveillance et de prédiction du « LIGA » et plus largement des proliférations phytoplanctoniques et des mucilages.

Le travail d'enquête a mis en évidence les difficultés qu'il y avait actuellement à parler de ce phénomène au sein d'un « triangle pêcheurs-scientifiques-institutionnels » et *a fortiori* à le coordonner. A notre avis, il appartient maintenant aux partenaires institutionnels de reprendre en mains ce dossier et de travailler en lien avec les utilisateurs et les scientifiques pour organiser ce travail. Nous souhaitons que le présent rapport leur permette d'initier cette future phase.

Chapitre 5 : Communications et publications

1 - Articles de revues à comité de lecture

D'Elbée J, Lalanne Y, Susperregui N, Soulier L, Castège I, D'Amico F, 2016. Biological characterization of aggregates clogging fishing nets on the Basque coastal water of France. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 179 (2016) 215-225.

Liénart C., N. Susperregui, V. Rouaud, J. Cavalheiro, V. David, Y. Del Amo, R. Duran, B. Lauga, M. Monperrus, T. Pigot, S. Bichon, K. Charlier and N. Savoye, 2016. Dynamics of particulate organic matter in a coastal system characterized by the occurrence of marine mucilage – a stable isotope study. *Journal of Sea Research*, 116, 12-22.

En preparation :

Liénart C., N. Savoye, V. David, P. Ramond, P. Rodriguez Tress, V. Hanquiez, V. Marieu, F. Aubert, S. Aubin, S. Bichon, C. Boinet, L. Bourasseau, Y. Bozec, M. Bréret, E. Breton, J. Caparros, T. Cariou, P. Claquin, P. Conan, A.-M. Corre, L. Costes, M. Crouvoisier, Y. Del Amo, H. Derriennic, F. Dindinaud, R. Duran, M. Durozier, J. Devesa, S. Ferreira, E. Feunteun, N. Garcia, S. Geslin, E. Grossteffan, A. Gueux, J. Guillaudeau, G. Guillou, O. Joly, N. Lachaussée, M. Lafont, V. Lagadec, J. Lamoureux, B. Lauga, B. Lebreton, E. Lecuyer, J.-P. Lehodey, C. Leroux, S. L'Helguen, E. Macé, E. Maria, L. Mousseau, A. Nowaczyk, P. Pineau, F. Petit, M. Pujo-Pay, P. Raimbault, P. Rimelin-Maury, V. Rouaud, P.-G. Sauriau, E. Sultan, N. Susperrégui. Dynamics of particulate organic matter composition in coastal systems: forcing to the spatio-temporal variability at multi-systems scale. *Progress in Oceanography*.

Rouaud, V., Susperrégui N., Guyoneaud, R., Duran, R., Lauga, B., Soulier, L., Gaudin, Ph., Pigot, T., Del Amo Y. Marine mucilages in coastal pelagic ecosystems: an ecological review.

Rouaud, V. *et al.*. Dynamic of microbial communities across the three domains of life in the South of the Bay of Biscay with special emphasis on marine mucilage

Susperrégui N., d'Amico, F., Del Amo, Y., Pigot, T., Castège I., Gaudin Ph. Hydroclimatic mucilage Index (HMI) in the Bay of Biscay : historical change and relation to mucilage increasing occurrence.

Susperrégui N., Del Amo Y. , Pigot T., Castège I., Gaudin Ph., D'Amico F .Do environmental change of the French Basque coastal area may partly explain the increased occurrence of pelagic mucilage ?

Susperrégui N., Del Amo Y., D'Elbée J., Jude F., David. V, Bru N., d'Amico F., Raimbault P., Bichon S., Bourasseau L., Lienart C., Savoye N., Rouaud V., Gaudin Ph., Pigot T. Planktonic biodiversity in the French basque coast in relation to mucilage occurrence,

2 - Communications scientifiques internationales et nationales

Deletraz, Pottier Aude, Tran T. The difficult construction of a trust relationship between fishermen,

Scientific and managers vis à vis an unknown phenomenon. The example of liga on the Basque coast. EUCC Littoral 2016, 25-29 Octobre 2016, Biarritz, France.

Liénart C., Susperrégui N., Bichon S., Monperrus M., Charlier K., Thiao Layel L., Bourrasseau L., Rouaud V., Del Amo Y., Savoye N., 2014. Origin of particulate organic matter (POM) in a system characterized by seasonal high occurrence of viscous material. XIVth International Symposium on Oceanography of the Bay of Biscay (ISOBAY), 11-13 Juin 2014, Bordeaux, France.

- Liénart C., Susperregui N., Bichon S., Monperrus M., Charlier K., Thiao Layel L., Bourrasseau L., Rouaud V., Del Amo Y., Savoye N. 2014. Composition et forçages de la matière organique particulaire dans un système caractérisé par l'apparition saisonnière de mucilage marin. Conférence SFIsoTrace, 8-12 Septembre 2014, Brest, France.
- Lienart C, N Savoye, V David, P Ramond, P Raimbault, S Aubin, E Breton, P Conan, E Feunteun, K Grangeré, V Hanquiez, O Jolly, P Kerhervé, B Lebreton, S Lefebvre, S L'Helguen, L Mousseau, P Richard, P Riera, P Rodriguez-Tress, P-G Sauriau, G Schaal, F Aubert, L Beaugeard, S Bichon, L Bourrasseau, M Bréret, T Cariou, K Charlier, P Claquin, V Cornille, A-M Corre, L Costes, M Czamanski, F Dindinaud, Y Del Amo, H Derriennic, S Ferreira, M Fournier, F Garcia, N Garcia, E Grossteffan, A Gueux, G Guillou, F Guyon, J Jourde, N Lachaussée, M Lafont, V Lagadec, J Lamoureux, E Lecuyer, J-P Lehodey, C Leroux, E Macé, E Maria, A Nowaczyk, M Parra, F Petit, P Pineau, F Rigaut-Jalabert, P Rimmelin-Maury, V Ruiz Gonzales Lamiri, L Seuront, E Sultan, 2016. Particulate organic matter composition and dynamics in coastal systems: a spatio-temporal study at multisystem scale. 56th ECSA meeting, 4-7 September 2016, Bremen, Germany.
- Parot J., Susperregui N., Rouaud V., Dubois L., Anglade N., Parlanti E. 2014. Application of EEM fluorescence spectroscopy in understanding of the “LIGA” phenomenon in the Bay of Biscay (France). European Geosciences Union, General Assembly, 27 Avril – 02 Mai 2014, Vienne, Autriche. (Communication par affiche)
- Parot J., Susperregui N., Guo Y., Rouaud V., Dubois L., Anglade N., Parlanti E. 2014. Tracing the LIGA phenomenon in the Bay of Biscay through optical properties of the dissolved organic matter. XIVth International Symposium on Oceanography of the Bay of Biscay (ISOBAY), 11-13 Juin 2014, Bordeaux, France. (Communication orale)
- Rouaud, V., Susperregui, N., Guyoneaud, R., Gaudin, P., Duran, R. & Lauga, B. (2015). Marine mucilage in South Biscay Bay (France): factors controlling the dynamics of marine microbial communities. In: *EMBO Conference on Aquatic Microbial Ecology (SAME-14)* Uppsala, Sweden.
- Rouaud, V., Susperregui, N., Guyoneaud, R., Gaudin, P., Duran, R. & Lauga, B. (2015). Mucilage marin du sud du Golfe de Gascogne : quels changements dans les communautés microbiennes marines sont impliquées dans sa dynamique de formation ? In: *VII ieme colloque de l'Association Francophone de Microbiologie (AFEM)* Anglet, France.
- Rouaud, V. & Susperregui, N. (2013) Le programme Liga : contexte, méthode et objectifs. le 31 Journées Réseau de Recherche Littoral Aquitain
- Rouaud, V., Guyoneaud, R., Lauga, B., Duran, R. & Gaudin, P. (2013) Spatial and temporal characterization of microbial communities involved in marine mucilage formation in the Southern Biscay Bay. In: Marine Ecological and Evolutionary Genomics summer course, Roscoff, France.
- Savoye N., C. Liénart, P. Ramond, V. David et les équipes MOSLIT et SOMLIT. La Matière Organique particulaire dans les Systèmes LITtoraux : composition, dynamique et forçages. Colloque EC2CO-DRIL, 1er juin 2016, Paris.
- Savoye N., S Aubin, F Aubert, L Beaugeard, M Béchade, S Bichon, L Bourrasseau, Y Bozec, M Bréret, E Breton, T Cariou, K Charlier, P Claquin, P Conan, V Cornille, A-M Corre, L Costes, M Czamanski, V David, Y Del Amo, H de Lary de Latour, H Derriennic, F Dindinaud, S Ferreira, E Feunteun, M Fournier, F Garcia, N Garcia, L Gorse, K Grangeré, E Grossteffan, A Gueux, G Guillou, F Guyon, O Jolly, J Jourde, N Lachaussée, M Lafont, V Lagadec, J Lamoureux, B Lebreton, E Lecuyer, J-P Lehodey, C Leroux, S L'Helguen, C Lienart, E Macé, E Maria, L Mousseau, A Nowaczyk, M Parra, F Petit, P Pineau, P Raimbault, P Rimmelin-Maury, V Ruiz Gonzales Lamiri, P-G Sauriau, L Seuront, E Sultan, S Tortajada, 2016. Estimating the $\delta^{13}\text{C}$ of phytoplankton in aquatic systems. 56th ECSA meeting, 4-7 September 2016, Bremen, Germany.
- Susperregui N., Del amo Y., Jude F., Bichon S., Bourrasseau L., Lienart C., Savoye N., Rouaud V., Soulier L., Gaudin Ph., Pigot T., 2014. Biotic and abiotic factors driving the occurrence of mucilage in the French Basque coast. XIVth International Symposium on Oceanography of the Bay of Biscay (ISOBAY), 11-13 Juin 2014, Bordeaux, France.

- Susperrégui N., Del Amo Y., d'Elbée J., Jude F., David V., Bru N., d'Amico F., Raimbault P., Bichon S., Bourasseau L., Lienart C., Savoye N., Rouaud V., Soulier L., Gaudin Ph., Pigot T. 2016. Planktonic biodiversity in the French Basque coast in relation with marine pelagic mucilage occurrence. XVth International Symposium on Oceanography of the Bay of Biscay (ISOBAY), 22-24 Juin 2016, Bilbao, Espagne
- Susperrégui N., Del amo Y., Bru N., d'Amico F., David V., Jude F., d'Elbée J., Bichon S., Bourasseau L., Lienart C., Savoye N., Rouaud V., Soulier L., Gaudin Ph., Pigot T., 2016. Spatial and seasonal characterization of planktonic biodiversity in the French Basque coast: is there a link with marine pelagic mucilage occurrence? 56th ECSA meeting, 4-7 Septembre 2016, Brême, Allemagne.
- Susperrégui N., D'Amico F., Pigot T., Del Amo Y., Bru N.. 2016. Hydroclimatic mucilage Index (HMI) in the Bay of Biscay: historical change and relation to regional and global climatic index. EUCC Littoral 2016, 25-29 Octobre 2016, Biarritz, France.
- Susperrégui N., del Amo Y, Bru N., d'Amico F., Jude F., David V., d'Elbée J., Bichon S., Bourasseau L., Liénart C., Savoye N., Rouaud V., Soulier L., Gaudin Ph., Pigot T.. 2016. Planktonic diversity involved in marine pelagic mucilages of the French Basque coast. EUCC Littoral 2016, 25-29 Octobre 2016, Biarritz, France.

3 - Rapports d'étude et rapports diplômants

- Bleza E & Adalan A, 2014. Modélisation de la probabilité de présence du Liga en fonction des paramètres météorologiques et hydro climatiques" par du Master 1 MSID
- Boulai, E. 2016. Etude de l'origine de la matière organique colloïdale sur la côte Basque et de son rôle sur le développement et la dynamique du « Liga » sur le littoral. Stage Licence LCVE 3ème année, Université de Bordeaux (2 mois)
- Guo, Y. 2014. Etude de la dynamique de la matière organique dans les zones côtières et estuariennes. Mise au point de procédés membranaires et caractérisation de la matière organique dissoute. Master 2 Recherche Ecotoxicologie et Chimie de l'Environnement (EXCE) - Université Bordeaux 1 (6 mois)
- Hernandez-Le Cam, M. 2014. Etude de l'origine de la matière organique colloïdale sur la côte Basque et de son rôle sur le développement et la dynamique du " Liga " sur le littoral. Stage Licence LCVE 3ème année, Université de Bordeaux (2 mois)
- Labeyrie P et Lamarque M, 2014, Pollutions marines dans le Golfe de Gascogne : cas d'étude du Liga. Master 1 DAST (Développement durable, Aménagement, Société et Territoire), Université de Pau et des Pays de l'Adour, 102 pages.
- Laffitte, V. 2015. Identification taxonomique du phytoplancton de deux écosystèmes de la côte Atlantique : de la microscopie classique à la stéréomicroscopie. Licence Biologie des Organismes 3ème année, Université de Pau et des Pays de l'Adour (2 mois).
- Lassus T., 2014. Etude de la diversité microbienne d'un mucilage marin, le Liga. Rapport de stage de BTS Biotechnologies, lycée de Decazeville
- Liénart, C., 2016. La matière organique particulaire dans les systèmes côtiers : composition, dynamique et forçages à l'échelle multi-systémique. Thèse de doctorat de l'Université de Bordeaux, 254p.
- Rouaud V., 2015. Caractérisation spatiale et temporelle des communautés microbiennes d'un type de mucilage marin, le Liga, se formant dans le sud du Golfe de Gascogne. Thèse de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour.

Bibliographie

- Agencia Catalan del agua, 2013. The presence of marine mucilage on several coastal strips in the Baix Camp and Baix Ebre regions.
- Ahel, M., Tepic, N., Terzic, S., 2005. Spatial and temporal variability of carbohydrates in the northern Adriatic—a possible link to mucilage events. *Science of The Total Environment*, Mucilages in the Adriatic and Tyrrhenian Seas 353, 139–150.
- Alcoverro, T., Manzanera, M., Romero Martinengo, J., 2000. Nutrient mass balance of the seagrass *Posidonia oceanica*: the importance of nutrient retranslocation [WWW Document]. URL <http://digital.csic.es/handle/10261/2990> (accessed 11.19.14).
- Auby, I., Neaud-Masson, N., 2001. Identification des composants d'une substance dénommée localement "liga" se déposant sur certains engins de pêche au large de Saint Jean de Luz, rapport d'étude IFREMER, 8 p.
- Allredge, A.L., Crocker, K.M., 1995. Why do sinking mucilage aggregates accumulate in the water column? *Science of The Total Environment*, Marine Mucilages 165, 15–22. doi:10.1016/0048-9697(95)04539-D
- Bhaskar, P. v., Grossart, H.-P., Bhosle, N. b., Simon, M., 2005. Production of macroaggregates from dissolved exopolymeric substances (EPS) of bacterial and diatom origin. *FEMS Microbiology Ecology* 53, 255–264. doi:10.1016/j.femsec.2004.12.013
- Bianchi G., 1746. Descrizione del Tremuoto grande che vi fu in Arimino l'anno 1672 adì 14 aprile il Giovedì Santo alle ore 22 in circa. In: *Raccolte d'Opuscoli scientifici e filosofici*, t. XXXXIV, 243-258.
- Blough, N.V., Del Vecchio, R., 2002. Chromophoric DOM in the coastal environment, in: Hansell, D.A., Carlson, C.A. (Eds.), Elsevier, Amsterdam, pp. 509–578.
- Boero, F., Bonsdorff, E., 2007. A conceptual framework for marine biodiversity and ecosystem functioning. *Marine Ecology* 28, 134–145. doi:10.1111/j.1439-0485.2007.00171.x
- Borja, A., Egana, J., Valencia, V., Franco, F., Castro, R., 2000. 1947–1997, Estudio y validacion de una serie de datos diarios de temperature del agua del mar en San Sebastian, procedente de su Aquarium. *Ozeanografika* 3, 139–152.
- Catalá, T.S., Álvarez-Salgado, X.A., Otero, J., Iuculano, F., Companys, B., Horstkotte, B., Romera-Castillo, C., Nieto-Cid, M., Latasa, M., Morán, X.A.G., 2016. Drivers of fluorescent dissolved organic matter in the global epipelagic ocean. *Limnol. Oceanogr.* 61, 1101–1119.
- Cabrini, M., Fornasaro, D., Cossarini, G., Lipizer, M., Virgilio, D., 2012. Phytoplankton temporal changes in a coastal northern Adriatic site during the last 25 years. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Fluctuations and trends in the northern Adriatic marine systems: from annual to decadal variability 115, 113–124. doi:10.1016/j.ecss.2012.07.007
- Chen, H., Meng, W., Zheng, B., Wang, C., An, L., 2013. Optical signatures of dissolved organic matter in the watershed of a globally large river (Yangtze River, China). *Limnol. - Ecol. Manag. Int. Waters* 43, 482–491.
- Cory, R.M., McKnight, D.M., 2005. Fluorescence spectroscopy reveals ubiquitous presence of oxidized and reduced quinones in dissolved organic matter. *Environ. Sci. Technol.* 39, 8142–9.
- Colombo, G.A., Benović, A., Malej, A., Lučić, D., Makovec, T., Onofri, V., Acha, M., Madirolas, A., Mianzan, H., 2009. Acoustic survey of a jellyfish-dominated ecosystem (Mljet Island, Croatia). *Hydrobiologia* 616, 99–111. doi:10.1007/s10750-008-9587-6
- Conversi, A., Peluso, T., Fonda-Umani, S., 2009. Gulf of Trieste: A changing ecosystem. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 114, n/a–n/a. doi:10.1029/2008JC004763

- Conversi, A., Fonda Umani, S., Peluso, T., Molinero, J.C., Santojanni, A., Edwards, M., 2010. The Mediterranean Sea Regime Shift at the End of the 1980s, and Intriguing Parallelisms with Other European Basins. *PLoS ONE* 5, e10633. doi:10.1371/journal.pone.0010633
- Corzo, A., Morillo, A., Rodriguez, S., 2000. Production of transparent exopolymer particles (TEP) in cultures of *Chaetoceros calcitrans* under nitrogen limitation. *Aquatic Microbial Ecology* 23, 63–72.
- Cozzi, S., Ivančić, I., Catalano, G., Djakovac, T., Degobbi, D., 2004. Dynamics of the oceanographic properties during mucilage appearance in the Northern Adriatic Sea: analysis of the 1997 event in comparison to earlier events. *Journal of Marine Systems* 50, 223–241. doi:10.1016/j.jmarsys.2004.01.007
- Cozzi, S., Giani, M., 2011. River water and nutrient discharges in the Northern Adriatic Sea: Current importance and long term changes. *Continental Shelf Research* 31, 1881–1893. doi:10.1016/j.csr.2011.08.010
- Cresson, P., Ruitton, S., Fontaine, M.F., Harmelin-Vivien, M., 2012. Spatio-temporal variation of suspended and sedimentary organic matter quality in the Bay of Marseilles (NW Mediterranean) assessed by biochemical and isotopic analyses. *Mar. Pollut. Bull.* 64, 1112–1121. doi:10.1016/j.marpolbul.2012.04.003
- Danovaro, R., Fonda Umani, S., Pusceddu, A., 2009. Climate Change and the Potential Spreading of Marine Mucilage and Microbial Pathogens in the Mediterranean Sea. *PLoS ONE* 4, e7006. doi:10.1371/journal.pone.0007006
- De Askue R. Maria, 1905. *Diccionario Vasco-Español-Francés* Bilbao, 2 vol 1000 pp.
- Degobbi, D., Fonda-Umani, S., Franco, P., Malej, A., Precali, R., Smolaka, N., 1995. Changes in the northern Adriatic ecosystem and the hypertrophic appearance of gelatinous aggregates. *Science of The Total Environment* 165, 43–58. doi:10.1016/0048-9697(95)04542-9
- Degobbi, D., Precali, R., Ivancic, I., Smolaka, N., Fuks, D., Kveder, S., 2000. Long-term changes in the northern Adriatic ecosystem related to anthropogenic eutrophication. *International Journal of Environment and Pollution* 13, 495–533.
- Degobbi, D., Precali, R., Ferrari, C.R., Djakovac, T., Rinaldi, A., Ivančić, I., Gismondi, M., Smolaka, N., 2005. Changes in nutrient concentrations and ratios during mucilage events in the period 1999–2002. *Science of The Total Environment, Mucilages in the Adriatic and Tyrrhenian Seas* 353, 103–114. doi:10.1016/j.scitotenv.2005.09.010
- De Lazzari, A., Berto, D., Cassin, D., Boldrin, A., Giani, M., 2008. Influence of winds and oceanographic conditions on the mucilage aggregation in the Northern Adriatic Sea in 2003–2006. *Marine Ecology* 29, 469–482. doi:10.1111/j.1439-0485.2008.00268.x
- D’Elbée J., 2006., Etude préliminaire d’une substance localement dénommée « LIGA » colmatant les filets de pêche sur la côte basque. Rapport d’étude LAPHY, 10 p.
- D’Elbée J., Lalanne Y., Susperregui N., Soulier L., Castège I., D’Amico F., 2016. Biological characterization of aggregates clogging fishing nets on the Basque coastal waters of France. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Sous presse. doi:10.1016/j.ecss.2016.01.023.
- Deserti, M., Cacciamani, C., Chiggiato, J., Rinaldi, A., Ferrari, C.R., 2005. Relationships between northern Adriatic Sea mucilage events and climate variability. *Science of The Total Environment* 353, 82–88. doi:10.1016/j.scitotenv.2005.09.009
- de Wit, M., Bendoricchio, G., 2001. Nutrient fluxes in the Po basin. *Science of The Total Environment* 273, 147–161. doi:10.1016/S0048-9697(00)00851-2
- Djakovac, T., Degobbi, D., Supić, N., Precali, R., 2012. Marked reduction of eutrophication pressure in the northeastern Adriatic in the period 2000–2009. *Estuarine, Coastal and Shelf Science, Fluctuations and trends in the northern Adriatic marine systems: from annual to decadal variability* 115, 25–32. doi:10.1016/j.ecss.2012.03.029

- Fellman, J.B., D'Amore, D. V., Hood, E., Boone, R.D., 2008. Fluorescence characteristics and biodegradability of dissolved organic matter in forest and wetland soils from coastal temperate watersheds in southeast Alaska. *Biogeochemistry* 88, 169–184.
- Fontán, A., Valencia, V., Borja, Á., Goikoetxea, N., 2008. Oceano-meteorological conditions and coupling in the southeastern Bay of Biscay, for the period 2001–2005: A comparison with the past two decades. *J. Mar. Syst., Oceanography of the Bay of Biscay* 72, 167–177. doi:10.1016/j.jmarsys.2007.08.003
- Fukao, T., Kimoto, K., Yamatogi, T., Yamamoto, K., Yoshida, Y., Kotani, Y., 2009. Marine mucilage in Ariake Sound, Japan, is composed of transparent exopolymer particles produced by the diatom *Coscinodiscus granii*. *Fish Sci* 75, 1007–1014. doi:10.1007/s12562-009-0122-0
- Giani, M., Berto, D., Cornello, M., Sartoni, G., Rinaldi, A., 2005. Le mucillagini nell'Adriatico e nel Tirreno. IRCAM. Editrice Millenium, Roma, p. 110.
- Giani M., 2006. La formazione di mucillagini nel mare Adriatico. ICRAM, Convegno REMOPO, 15 Maggio 2006, Venezia, Condivisione delle conoscenze e sviluppo di sistemi informativi e di monitoraggio per la fascia marino costiera e la pianificazione di bacino del fiume Po, presentazione orale.
- Giani, M., Djakovac, T., Degobbi, D., Cozzi, S., Solidoro, C., Umani, S.F., 2012. Recent changes in the marine ecosystems of the northern Adriatic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 115, 1–13. doi:10.1016/j.ecss.2012.08.023
- González, M., Uriarte, Ad., Fontán, A., Mader, J., Gyssels, P., 2004. Marine dynamics. In: Borja, A., Collins, M. (Eds.), *Oceanography and Marine Environment of the Basque Country: Elsevier Oceanography Series*, Vol. 70, pp. 133–157.
- Gotsis-Skretas, O., 1995. Mucilage appearances in Greek waters during 1982–1994. *Science of The Total Environment, Marine Mucilages* 165, 229–230. doi:10.1016/0048-9697(95)04665-N
- Goikoetxea, N., Borja, Á., Fontán, A., González, M., Valencia, V., 2009. Trends and anomalies in sea-surface temperature, observed over the last 60 years, within the southeastern Bay of Biscay. *Cont. Shelf Res., 100 Years of Research within the Bay of Biscay XI International Symposium on Oceanography of the Bay of Biscay* 29, 1060–1069. doi:10.1016/j.csr.2008.11.014
- Gray, J.S., McIntyre, A.D., Stirn, J., 1992. Manuel des méthodes de recherche sur l'environnement aquatique. Onzième partie. Evaluation biologique de la pollution marine, eu égard en particulier au benthos. *FAO Document technique sur les pêches*, N° 324, 53.
- Green, E.P., Dagg, M.J., 1997. Mesozooplankton associations with medium to large marine snow aggregates in the northern Gulf of Mexico. *J. Plankton Res.* 19, 435–447. doi:10.1093/plankt/19.4.435
- Guo, W., Yang, L., Hong, H., Stedmon, C.A., Wang, F., Xu, J., Xie, Y., 2011. Assessing the dynamics of chromophoric dissolved organic matter in a subtropical estuary using parallel factor analysis. *Mar. Chem.* 124, 125–133.
- Helms, J.R., Stubbins, A., Ritchie, J.D., Minor, E.C., Kieber, D.J., Mopper, K., 2008. Absorption spectral slopes and slope ratios as indicators of molecular weight, source, and photobleaching of chromophoric dissolved organic matter. *Limnol. Oceanogr.* 53, 955–969.
- Huguet, A., Vacher, L., Relexans, S., Saubusse, S., Froidefond, J.-M.J.M., Parlanti, E., 2009. Properties of fluorescent dissolved organic matter in the Gironde Estuary. *Org. Geochem.* 40, 706.
- Hurley, D.E., 1982. The 'Nelson slime', observations on past occurrences, NZOI oceanographic summary.
- Innamorati, M., 1995. Hyperproduction of mucilages by micro and macro algae in the Tyrrhenian Sea. *Science of The Total Environment* 165, 65–81. doi:10.1016/0048-9697(95)04544-B

- Kamburska, L., Fonda-Umani, S., 2009. From seasonal to decadal inter-annual variability of mesozooplankton biomass in the Northern Adriatic Sea (Gulf of Trieste). *Journal of Marine Systems* 78, 490–504. doi:10.1016/j.jmarsys.2008.12.007
- Lhande P., 1926. *Dictionnaire Basque-Français* (Académie de langue basque) Beauchesne Editeur, Paris, 1100 pp.
- Liu, J.T., Chao, S.-Y., Hsu, R.T., 1999. The Influence of Suspended Sediments on the Plume of a Small Mountainous River. *Journal of Coastal Research* 15, 1002–1010.
- Liu, H., Buskey, E.J., 2000. Hypersalinity enhances the production of extracellular polymeric substance (eps) in the texas brown tide alga, *aureoumbra lagunensis* (PELAGOPHYCEAE). *Journal of Phycology* 36, 71–77. doi:10.1046/j.1529-8817.2000.99076.x
- MacKenzie, L., Sims, I., Beuzenberg, V., Gillespie, P., 2002. Mass accumulation of mucilage caused by dinoflagellate polysaccharide exudates in Tasman Bay, New Zealand. *Harmful Algae* 1, 69–83. doi:10.1016/S1568-9883(02)00006-9
- Malačič, V., Celio, M., Čermelj, B., Bussani, A., Comici, C., 2006. Interannual evolution of seasonal thermohaline properties in the Gulf of Trieste (northern Adriatic) 1991–2003. *Journal of Geophysical Research* 111. doi:10.1029/2005JC003267
- Marić, D., Kraus, R., Godrijan, J., Supić, N., Djakovac, T., Precali, R., 2012. Phytoplankton response to climatic and anthropogenic influences in the north-eastern Adriatic during the last four decades. *Estuarine, Coastal and Shelf Science, Fluctuations and trends in the northern Adriatic marine systems: from annual to decadal variability* 115, 98–112. doi:10.1016/j.ecss.2012.02.003
- Marini, 2005. Le mucillagini dell Adriatico, un fenomeno naturale? | Marini M. [WWW Document]. Europeana. URL http://www.europeana.eu/portal/record/2023823/istituti_ProdottoDellaRicerca_html_cds_080_id_70000.html (accessed 7.15.14).
- Martín, J., Miquel, J.-C., 2010. High downward flux of mucilaginous aggregates in the Ligurian Sea during summer 2002: similarities with the mucilage phenomenon in the Adriatic Sea. *Marine Ecology* 31, 393–406. doi:10.1111/j.1439-0485.2010.00361.x
- Matilainen, A., Gjessing, E.T., Lahtinen, T., Hed, L., Bhatnagar, A., Sillanpää, M., 2011. An overview of the methods used in the characterisation of natural organic matter (NOM) in relation to drinking water treatment. *Chemosphere* 83, 1431–1442.
- McKnight, D.M., Boyer, E.W., Westerhoff, P.K., Doran, P.T., Kulbe, T., Andersen, D.T., 2001. Spectrofluorometric characterization of dissolved organic matter for indication of precursor organic material and aromaticity. *Limnol. Oceanogr.* 46, 38–48.
- Mishima, Y., Montani, S., Okaichi, T., 1990. The nature and distribution of large amorphous particles (NUTA) in Osaka Bay, Japan. *GEOCHEMICAL JOURNAL* 24, 197–206. doi:10.2343/geochemj.24.197
- Monti, M., Minocci, M., Milani, L., Fonda Umani, S., 2012. Seasonal and interannual dynamics of microzooplankton abundances in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea, Italy). *Estuarine, Coastal and Shelf Science, Fluctuations and trends in the northern Adriatic marine systems: from annual to decadal variability* 115, 149–157. doi:10.1016/j.ecss.2012.03.032
- Mozetič, P., Solidoro, C., Cossarini, G., Socal, G., Precali, R., Francé, J., Bianchi, F., Vittor, C.D., Smoldaka, N., Umani, S.F., 2010. Recent Trends Towards Oligotrophication of the Northern Adriatic: Evidence from Chlorophyll a Time Series. *Estuaries and Coasts* 33, 362–375. doi:10.1007/s12237-009-9191-7
- Orton, J.H., 1923. The so-called “Baccy-juice” in the Waters of the Thames Oyster-beds. *Nature* 111, 773.
- Osburn, C.L., Boyd, T.J., Montgomery, M.T., Bianchi, T.S., Coffin, R.B., Paerl, H.W., 2016. Optical Proxies for Terrestrial Dissolved Organic Matter in Estuaries and Coastal Waters. *Front. Mar. Sci.* 2, 127.

- Parlanti, E., Worz, K., Geoffroy, L., Lamotte, M., 2000. Dissolved organic matter fluorescence spectroscopy as a tool to estimate biological activity in a coastal zone submitted to anthropogenic inputs. *Org. Geochem.* 31, 1765–1781.
- Petus, C., Marieu, V., Novoa, S., Chust, G., Bruneau, N., Froidefond, J.M., 2014. Monitoring spatio-temporal variability of the Adour River turbid plume (Bay of Biscay, France) with MODIS 250-m imagery. *Cont. Shelf Res.* 74, 35–49. doi:10.1016/j.csr.2013.11.011
- Pistocchi, R., Trigari, G., Serrazanetti, G.P., Taddei, P., Monti, G., Palamidesi, S., Guerrini, F., Bottura, G., Serratore, P., Fabbri, M., Pirini, M., Ventrella, V., Pagliarani, A., Boni, L., Borgatti, A.R., 2005. Chemical and biochemical parameters of cultured diatoms and bacteria from the Adriatic Sea as possible biomarkers of mucilage production. *Science of The Total Environment* 353, 287–299. doi:10.1016/j.scitotenv.2005.09.020
- Precali, R., Giani, M., Marini, M., Grilli, F., Ferrari, C.R., Pečar, O., Paschini, E., 2005. Mucilaginous aggregates in the northern Adriatic in the period 1999–2002: Typology and distribution. *Science of The Total Environment* 353, 10–23. doi:10.1016/j.scitotenv.2005.09.066
- Riebesell, U., 1992. The Formation of Large Marine Snow and its Sustained Residence in Surface Waters. *Limnology and Oceanography* 63. Russo, A., Rabitti, S., Bastianini, M., 2002. Decadal Climatic Anomalies in the Northern Adriatic Sea Inferred from a New Oceanographic Data Set. *Marine Ecology* 23, 340–351. doi:10.1111/j.1439-0485.2002.tb00032.x
- Russo, A., Maccaferri, S., Djakovac, T., Precali, R., Degobbis, D., Deserti, M., Paschini, E., Lyons, D.M., 2005. Meteorological and oceanographic conditions in the northern Adriatic Sea during the period June 1999–July 2002: influence on the mucilage phenomenon. *Sci. Total Environ.* 353, 24–38. doi:10.1016/j.scitotenv.2005.09.058
- Savoye, N., Aminot, a, Tréguer, P., Fontugne, M., Naulet, N., Kérouel, R., 2003. Dynamics of particulate organic matter $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ during spring phytoplankton blooms in a macrotidal ecosystem (Bay of Seine , France). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 255, 27–41. doi:10.3354/meps255027
- Staats, Stal, Mur, 2000. Exopolysaccharide production by the epipellic diatom *Cylindrotheca closterium* : effects of nutrient conditions. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 249, 13–27.
- Solidoro, C., Bastianini, M., Bandelj, V., Codermatz, R., Cossarini, G., Melaku Canu, D., Ravagnan, E., Salon, S., Trevisani, S., 2009. Current state, scales of variability, and trends of biogeochemical properties in the northern Adriatic Sea. *J. Geophys. Res.* 114, C07S91. doi:10.1029/2008JC004838
- Stedmon, C.A., Markager, S., Bro, R., 2003. Tracing dissolved organic matter in aquatic environments using a new approach to fluorescence spectroscopy. *Mar. Chem.* 82, 239–254.
- Stedmon, C.A., Markager, S., 2005. Tracing the production and degradation of autochthonous fractions of dissolved organic matter by fluorescence analysis. *Limnol. Oceanogr.* 50, 1415.
- Stedmon, C.A., Bro, R., 2008. Characterizing dissolved organic matter fluorescence with parallel factor analysis: a tutorial. *Limnol. Ocean. Methods* 6, 572–579.
- Stoderegger, K.E., Herndl, G.J., 1999. Production of exopolymer particles by marine bacterioplankton under contrasting turbulence conditions. *Marine ecology. Progress series* 189, 9–16.
- Stubbins, A., Hood, E., Raymond, P. a., Aiken, G.R., Sleighter, R.L., Hernes, P.J., Butman, D., Hatcher, P.G., Striegl, R.G., Schuster, P., Abdulla, H. a. N., Vermilyea, A.W., Scott, D.T., Spencer, R.G.M., 2012. Anthropogenic aerosols as a source of ancient dissolved organic matter in glaciers. *Nat. Geosci.* 5, 198–201.
- Stumpf, R.P., Gelfenbaum, G., Pennock, J.R., 1993. Wind and tidal forcing of a buoyant plume, Mobile Bay, Alabama. *Continental Shelf Research* 13, 1281–1301. doi:10.1016/0278-4343(93)90053-Z
- Surosz, S., K.a, P., A, R., 2006. Production of transparent exopolymer particles (TEP) in the nitrogen fixing cyanobacterium *Anabaena flos-aquae* OL-K10. *Oceanologia* 48.

- Susperrégui, N., D'Elbée, J., Maton, V., Rihouey, D., Maneux, E., Etcheber, H., Sautour, B., Othéguy, P., Monperrus, M., Maron, P., Soulier, L., Gallet, F., Dubois, L., 2010. Etude d'une substance appelée « liga » sur le littoral basque : identification, origine et facteurs influençant son apparition. Rapport d'étude IMA, 89 p + annexes
- Susperrégui, N., Gallet, F., Gaudin, P., Fossecave, P., 2012. Etude du phénomène « LIGA » sur le littoral basco-landais : Janvier 2011- Juin 2012. Rapport d'étude IMA, 215 p + annexes
- Tesi, T., Miserocchi, S., Goñi, M. a., Langone, L., Boldrin, a., Turchetto, M., 2007. Organic matter origin and distribution in suspended particulate materials and surficial sediments from the western Adriatic Sea (Italy). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 73, 431–446. doi:10.1016/j.ecss.2007.02.008
- Tüfekçi, V., Balkis, N., 2010. Phytoplankton composition and environmental conditions of a mucilage event in the Sea of Marmara. doi:10.3906/biy-0812-1
- Urbani, R., Magaletti, E., Sist, P., Cicero, A.M., 2005. Extracellular carbohydrates released by the marine diatoms *Cylindrotheca closterium*, *Thalassiosira pseudonana* and *Skeletonema costatum*: effect of P-depletion and growth status. *Sci. Total Environ.* 353, 300–306. doi:10.1016/j.scitotenv.2005.09.026
- Vacher, L., 2004. Etude par fluorescence des propriétés de la matière organique dissoute dans les systèmes estuariens. Cas des estuaires de la Gironde et de la Seine. Thèse de l'Université Bordeaux 1, 255 pages.
- Weishaar, J.L., Aiken, G.R., Bergamaschi, B. a, Fram, M.S., Fujii, R., Mopper, K., 2003. Evaluation of specific ultraviolet absorbance as an indicator of the chemical composition and reactivity of dissolved organic carbon. *Environ. Sci. Technol.* 37, 4702–8.
- Yamashita, Y., Boyer, J.N., Jaffé, R., 2013. Evaluating the distribution of terrestrial dissolved organic matter in a complex coastal ecosystem using fluorescence spectroscopy. *Cont. Shelf Res.* 66, 136–144.
- Zanchettin, D., Traverso, P., Tomasino, M., 2008. Po River discharges: a preliminary analysis of a 200-year time series. *Climatic Change* 89, 411–433. doi:10.1007/s10584-008-9395-z
- Zoppini, A. [b1] (analytic), Pettine, M. [b1] (analytic), Totti, C. (analytic), Puddu, A. [b1] (analytic), Artegiani, A. (analytic), Pagnotta, R. [b1] (analytic), 1995. Nutrients, standing crop and primary production in western coastal waters of the Adriatic Sea (English). *Estuarine, coastal and shelf science (Print)* 41, 493–513.
- Zsolnay, A., Baigar, E., Jimenez, M., Steinweg, B., Saccomandi, F., 1999. Differentiating with fluorescence spectroscopy the sources of dissolved organic matter in soils subjected to drying. *Chemosphere* 38, 45–50.

ANNEXES

Liste des annexes

Annexe 1 : Liste des taxons phytoplanctoniques identifiés pouvant avoir un impact nuisible.

Annexe 2 : Liste des taxons phytoplanctoniques identifiés ayant un impact sur les organismes marins.

Annexe 3 : Rapport pdf joint : « Volet socio-économique du programme Liga ». Deletraz et al., 2016

Annexe 4 : Rapport pdf joint : « Analyse historique des tendances des facteurs abiotiques contrôlant l'apparition de liga (=mucilages marins) sur le littoral basco landais », Susperrégui et al., 2015.

Annexe 5 : Rapport pdf joint : « Approche mathématique de la problématique Liga : Dynamique des populations, mucilage et identification de paramètre », Labat J. et al., 2015.

Annexe 6 : Rapport non joint : « Modélisation de la probabilité de présence du Liga en fonction des paramètres météorologiques et hydro climatiques", Bleza E. et Adalan A., 2015, UPPA.

Annexe 7 : Projet de recherche PERMALA. Perturbations et Milieux Aquatiques Littoraux Aquitains. RAPPORT D'AVANCEMENT DU PROJET. 9 juillet 2016

Annexe 1 : Liste des taxons phytoplanctoniques identifiés pouvant avoir un impact nuisible.

Famille	Taxons	Fréquence (%)	Abondance max (Cellules/l)	Date abondance max	Présence de mucilage	Décoloration des eaux	Gène activités humaines	Toxines produits de la mer	Espèces HAB	Espèces toxiques	Mortalités massives	Risques santé humaine
Diatomées	<i>Chaetoceros sp.</i>	29	2 735 000	07/05/2014	Présence faible	X						
	<i>Ceratoneis closterium</i>	93	738 640	19/06/2014	Absence	X						
	<i>Pseudo-nitzschia</i> groupe B2	21	460 400	14/10/2013	Présence forte		X	X	X	X		
	<i>Pseudo-nitzschia</i> groupe B1	14	299 840	11/10/2013	Présence forte		X	X	X	X		X
	<i>Thalassiosira gravida</i>	4	227 280	17/03/2014	Présence forte	X						
	<i>Leptocylindrus danicus</i>	64	210 800	14/06/2013	Présence forte	X						
	<i>Pseudo-nitzschia</i> groupe A1	50	42 640	14/10/2013	Présence forte	X	X	X	X	X		
	<i>Rhizosolenia imbricata</i>	29	34 400	12/06/2013	Présence faible	X						
	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	21	26 320	17/03/2014	Présence forte	X						
	<i>Chaetoceros affinis</i>	25	13 680	13/09/2013	Présence faible	X						
	<i>Thalassiosira sp.</i>	100	11 760	17/03/2014	Présence forte	X						
	<i>Leptocylindrus minimus</i>	56	8 240	14/06/2013	Présence forte	X	X					
	<i>Chaetoceros decipiens</i>	36	8 000	14/05/2013	Présence faible	X						
	<i>Cerataulina pelagica</i>	50	4 240	06/06/2013	Présence forte	X	X				X	
	<i>Navicula sp.</i>	79	2 680	07/03/2014	Absence	X			X			
	<i>Skeletonema costatum</i>	11	1 760	04/06/2013	Présence faible	X	X				X	
	<i>Thalassiosira punctigera</i>	7	600	10/12/2013	Présence faible	X						
	<i>Halamphora coffeaeformis</i>	18	560	07/05/2014	Présence faible	X	X	X	X			
	<i>Rhizosolenia setigera</i>	11	320	14/10/2013 ; 17/03/2014	Présence forte	X						
	<i>Coscinodiscus sp.</i>	11	160	12/06/2013	Présence faible		X					
	<i>Asterionellopsis formosa</i>	4	40	12/03/2014	Présence faible	X						
Dinoflagellés	<i>Tripos furca</i>	54	38 720	22/04/2014	Présence faible	X					X	
	<i>Prorocentrum cordatum</i>	54	29 920	17/03/2014	Présence forte	X	X		X		X	
	<i>Protoperidinium sp.</i>	32	8 240	19/06/2014	Absence	X		X				
	<i>Heterocapsa triquetra</i>	36	7 760	19/06/2014	Présence faible	X	X				X	
	<i>Prorocentrum micans</i>	39	7 600	19/05/2014	Présence faible	X	X				X	
	<i>Gyrodinium sp.</i>	61	6 640	19/06/2014	Présence faible		X				X	
	<i>Scrippsiella trochoidea</i>	64	6 160	14/10/2013	Présence forte	X	X				X	
	<i>Heterocapsa niei</i>	50	5 520	11/10/2014	Présence forte	X	X				X	
	<i>Polykrikos kofoidii</i>	4	4 720	19/05/2014	Présence faible	X						
	<i>Ceratium fusus</i>	36	4 000	03/04/2014	Présence faible	X						
	<i>Alexandrium sp.</i>	4	3 000	23/09/2013	Présence faible	X	X	X	X	X		X
	<i>Karlodinium sp.</i>	7	2 920	30/09/2013	Présence faible	X			X			
	<i>Heterocapsa rotundata</i>	7	2 160	19/06/2014	Présence faible	X						
	<i>Polykrikos schwarzii</i>	4	2 160	19/05/2014	Présence faible	X						
	<i>Protoperidinium steinii</i>	7	1 760	19/06/2014	Absence	X	X	X		X		
	<i>Protoperidinium pellucidum</i>	25	1 440	16/07/2013	Absence	X						
	<i>Dinophysis acuminata</i>	18	1 120	07/05/2014	Présence faible	X	X	X	X	X		X
	<i>Protoperidinium oblongum</i>	7	960	12/06/2013	Présence faible	X	X	X		X		
	<i>Karenia mikimotoi</i>	7	800	19/05/2014	Présence faible	X	X		X		X	
	<i>Gonyaulax spinifera</i>	4	560	22/04/2014	Présence faible	X	X	X	X	X		
	<i>Protoperidinium elegans</i>	7	560	22/04/2014	Présence faible	X						
	<i>Dinophysis caudata</i>	14	480	22/04/2014	Présence faible			X	X	X		
	<i>Prorocentrum triestinum</i>	4	400	04/06/2013	Présence faible	X	X				X	
	<i>Ostreopsis sp.</i>	4	360	23/09/2013	Présence faible	X			X			
	<i>Gyrodinium prunus</i>	4	320	17/03/2014	Présence forte		X				X	
	<i>Protoperidinium depressum</i>	14	280	16/07/2013	Absence	X	X	X		X		
	<i>Ceratium tripos</i>	14	240	05/05/2014	Présence faible	X						
	<i>Protoperidinium brevipes</i>	7	240	19/05/2014	Présence faible	X	X	X		X		
	<i>Prorocentrum sp.</i>	4	200	10/12/2013	Présence faible	X						
	<i>Protoperidinium bipes</i>	11	200	07/05/2014	Présence faible	X	X	X		X		
	<i>Tripos macroceros</i>	14	200	10/12/2013	Présence faible	X						
	<i>Ceratium horridum</i>	18	160	05/05/2014	Présence faible	X						
	<i>Dinophysis tripos</i>	18	160	19/05/2014	Présence faible			X	X	X		
	<i>Protoperidinium leonis</i>	4	160	30/09/2013	Présence faible	X						
	<i>Dinophysis sacculus</i>	4	80	11/10/2013	Présence forte			X	X	X		
	<i>Noctiluca scintillans</i>	7	80	19/05/2014	Présence faible	X	X	X			X	
	<i>Protoperidinium crassipes</i>	4	80	14/06/2013	Présence forte	X	X	X		X		
	<i>Protoperidinium oceanicum</i>	7	80	14/06/2013 ; 11/10/2013	Présence forte	X	X	X		X		
	<i>Dinophysis sp.</i>	4	40	03/04/2014	Présence faible	X	X	X	X	X		X
Silicoflagellés	<i>Dictyocha speculum</i>	36	6 680	03/04/2014	Présence faible	X	X		X		X	
	<i>Dictyocha fibula</i>	18	400	10/12/2013	Présence faible	X	X		X		X	
Prymnesiophycées	<i>Phaeocystis pouchetii</i>	7	8 000	17/03/2014	Présence forte	X	X		X		X	
Euglènes	<i>Eutreptiella sp.</i>	46	8 240	17/03/2014	Présence forte	X						
Chlorophycées	<i>Desmodesmus sp.</i>	7	440	14/08/2013	Absence	X						
Ciliés	<i>Myrionecta rubrum</i>	43	2 560	11/10/2013	Présence forte	X	X				X	
Nombre de taxons total						58	33	20	19	17	17	4

Annexe 2 : Liste des taxons phytoplanctoniques identifiés ayant un impact sur les organismes marins.

Famille	Taxons	Fréquence (%)	Abondance max (Cellules/l)	Date abondance max	Mucilage	Fruits de mer	Poissons	Poissons d'élevage	Poissons sauvages	Algues	Organismes planctoniques	Organismes benthiques
Diatomées	<i>Chaetoceros</i> sp.	29	2 735 000	07/05/2014	Présence faible					X		
	<i>Pseudo-nitzschia</i> groupe B2	21	460 400	14/10/2013	Présence forte	X						
	<i>Pseudo-nitzschia</i> groupe B1	14	299 840	11/10/2013	Présence forte	X						
	<i>Pseudo-nitzschia</i> groupe A1	50	42 640	14/10/2013	Présence forte	X					X	X
	<i>Rhizosolenia imbricata</i>	29	34 400	12/06/2013	Présence faible					X		
	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	21	26 320	17/03/2014	Présence forte					X		
	<i>Chaetoceros affinis</i>	25	13 680	13/09/2013	Présence faible					X		
	<i>Leptocylindrus minimus</i>	56	8 240	14/06/2013	Présence forte		X	X				
	<i>Chaetoceros decipiens</i>	36	8 000	14/05/2013	Présence faible					X		
	<i>Cerataulina pelagica</i>	50	4 240	06/06/2013	Présence forte	X	X	X	X			
	<i>Navicula</i> sp.	79	2 680	07/03/2014	Absence		X		X			
	<i>Skeletonema costatum</i>	11	1 760	04/06/2013	Présence faible	X	X	X	X	X		
	<i>Thalassiosira punctigera</i>	7	600	10/12/2013	Présence faible					X		
	<i>Halamphora coffeaeformis</i>	18	560	07/05/2014	Présence faible	X						
	<i>Asterionellopsis formosa</i>	4	40	12/03/2014	Présence faible					X		
Dinoflagellés	<i>Tripos furca</i>	54	38 720	22/04/2014	Présence faible		X	X	X			
	<i>Prorocentrum cordatum</i>	54	29 920	17/03/2014	Présence forte	X	X		X		X	
	<i>Heterocapsa triquetra</i>	36	7 760	19/06/2014	Présence faible		X	X				
	<i>Prorocentrum micans</i>	39	7 600	19/05/2014	Présence faible		X	X	X			
	<i>Gyrodinium</i> sp.	61	6 640	19/06/2014	Présence faible	X	X	X				
	<i>Scrippsiella trochoidea</i>	64	6 160	14/10/2013	Présence forte		X	X	X			
	<i>Heterocapsa niei</i>	50	5 520	11/10/2014	Présence forte	X	X	X				
	<i>Polykrikos kofoidii</i>	4	4 720	19/05/2014	Présence faible		X		X			
	<i>Alexandrium</i> sp.	4	3 000	23/09/2013	Présence faible	X						
	<i>Protoperidinium steinii</i>	7	1 760	19/06/2014	Absence	X						
	<i>Dinophysis acuminata</i>	18	1 120	07/05/2014	Présence faible	X					X	
	<i>Protoperidinium oblungum</i>	7	960	12/06/2013	Présence faible	X						
	<i>Karenia mikimotoi</i>	7	800	19/05/2014	Présence faible		X	X	X		X	
	<i>Gonyaulax spinifera</i>	4	560	22/04/2014	Présence faible	X						
	<i>Prorocentrum triestinum</i>	4	400	04/06/2013	Présence faible		X	X	X			
	<i>Gyrodinium prunus</i>	4	320	17/03/2014	Présence forte	X	X	X				
	<i>Protoperidinium depressum</i>	14	280	16/07/2013	Absence	X						
	<i>Protoperidinium brevipes</i>	7	240	19/05/2014	Présence faible	X						
	<i>Protoperidinium bipes</i>	11	200	07/05/2014	Présence faible	X						
	<i>Protoperidinium crassipes</i>	4	80	14/06/2013	Présence forte	X						
	<i>Protoperidinium oceanicum</i>	7	80	14/06/2013 ; 11/10/2013	Présence forte	X						
	<i>Noctiluca scintillans</i>	7	80	19/05/2014	Présence faible		X	X	X		X	X
Silicoflagellés	<i>Dictyocha speculum</i>	36	6 680	03/04/2014	Présence faible		X	X				
	<i>Dictyocha fibula</i>	18	400	10/12/2013	Présence faible		X	X				
Prymnésiophycées	<i>Phaeocystis pouchetii</i>	7	8 000	17/03/2014	Présence forte	X	X		X			
Ciliés	<i>Myrionecta rubrum</i>	43	2 560	11/10/2013	Présence forte		X	X	X			
Nombre de taxons total						21	20	16	13	8	5	2