

Avec le soutien financier de



Projet cofinancé par l'Union Européenne
L'Europe s'engage en Aquitaine avec le
Fond Européen de Développement
Régional



CLPMEM de Bayonne

**Avec la participation
scientifique et technique**



CLPMEM de Bayonne



Maître d'ouvrage



Etude d'une substance appelée
« liga » sur le littoral basque :
identification, origine et facteurs
influençant son apparition



Coordinateur :

Nicolas Susperregui (IMA)

Avec la participation de :

Jean d'Elbée (LAPHY)
Vincent Maton (LABORATOIRE DES PYRENEES)
Didier Rihouey (CASAGEC)
Eric Maneux (GEOTRANSFERT)
Henri Etcheber (UMR EPOC)
Benoît Sautour (RRLA)
Pantxika Othéguy (RIVAGES PROTECH)
Mathilde Monperrus, Philippe Maron (UPPA)
Laurent Soulier, Francois Gallet, Laurent Dubois, Pascale
Fossecave (IMA)

Décembre 2010

REMERCIEMENTS

En préambule de ce rapport, l'équipe IMA ayant travaillé sur le projet (Nicolas SUSPERREGUI, François Gallet, Laurent Dubois, Laurent Soulier et Nathalie Anglade) tient à remercier un certain nombre de personnes sans qui l'étude n'aurait pu être menée à bien :

- l'équipage de l'ORDAGNA, Pierre Guy Courtiau, armateur et Marc Antoine Auffret, matelot, qui a accepté d'embarquer chaque semaine un observateur IMA pour récolter des échantillons de liga et réaliser des échantillonnages des pêches et des profils verticaux de physico-chimie. Leur aide essentielle pour le bon déroulement des manipulations et leur disponibilité a fortement contribué au succès des campagnes d'échantillonnages.
- tous les marins pêcheurs du Comité Local des Pêches Maritimes et des Elevages Marins du quartier maritime de Bayonne qui ont participé volontairement à cette étude. Ils ont mis à disposition leur savoir faire, leur connaissance du milieu, leur disponibilité et leur gentillesse pour récolter des informations précieuses sans lesquelles l'étude n'aurait pas toute sa substance.
- toutes les équipes mobilisées sur cette étude pour leur patience vis-à-vis du coordonateur, leur investissement, leur attention, leur réactivité et la qualité du travail fourni.
- les administrations, et tout particulièrement Caroline Sarrade du Conseil Général 64, pour avoir mis à disposition les études existantes et les résultats du programme LOREA.
- les équipes d'IFREMER pour avoir mis à disposition les données récoltées dans le cadre du réseau REPHY, de la Directive Cadre sur l'Eau et du programme RECOPECA.
- Noelle Bru pour ses conseils en statistique,
- Mathilde Monperrus et Philippe Maron de l'UPPA ainsi que Pantxika Othéguy de Rivage Protech Lyonnaise des Eaux qui ont rejoint l'étude en cours de réalisation et ont amené leurs expertises respectives en matière de contaminants, courantologie et bactériologie.
- Benoît Sautour, Directeur du Réseau de Recherche Littoral en Aquitaine, qui a suivi ce projet depuis sa création et nous a accompagné tout au long de son déroulement en nous faisant bénéficier de sa connaissance et de ses conseils avisés.

Sommaire

1.	Introduction.....	1
2.	Rappel des objectifs de l'étude	1
3.	Matériel et Méthodes	2
3.1.	Organisation du travail.....	2
3.2.	Système d'enquête auprès des pêcheurs	3
3.3.	Echantillonnage de liga.....	4
3.3.1.	Localisation et dispositif d'échantillonnage	4
3.3.2.	Protocole d'échantillonnage	6
3.4.	Analyses des échantillons de liga	9
3.4.1.	Analyse de la composante biologique du liga	9
3.4.2.	Analyse de la composante bactériologique du liga.....	9
3.4.3.	Analyse de la matière organique du liga	10
3.5.	Echantillonnage des pêches	11
3.6.	Profils verticaux de physico-chimie de l'eau	12
3.7.	Analyses statistiques des données.....	14
3.8.	Recueil de données environnementales	16
4.	Résultats.....	18
4.1.	Caractérisation de l'année 2010.....	18
4.1.1.	Contexte océano-climatique en 2010	18
4.1.2.	Contexte hydrologique en 2010.....	19
4.1.3.	Contexte de production primaire en 2010.....	20
4.1.4.	Contexte des apports anthropiques en mer en 2010	23
4.2.	Caractérisation du liga.....	24
4.2.1.	Questions posées	24
4.2.2.	Caractérisation macroscopique et phénomènes associés	25
4.2.3.	Composante biologique du liga.....	26

4.2.4.	Composante organique du liga.....	36
4.2.5.	Composante bactériologique du liga.....	38
4.3.	Période de présence et localisation du liga.....	41
4.3.1.	Questions posées	41
4.3.2.	Période de présence du liga	41
4.3.3.	Localisation sur le littoral basco-landais.....	41
4.3.4.	Localisation verticale dans la colonne d'eau	42
4.3.5.	Caractérisation des sites d'apparition du liga	46
4.3.6.	Apports de la télédétection pour la localisation du liga.....	47
4.4.	Analyse des relations liga – facteurs abiotiques	51
4.4.1.	Questions posées	51
4.4.2.	Lien liga – facteurs océano-climatiques	52
4.4.3.	Lien liga – masses d'eau	54
4.4.4.	Lien liga – apports en mer	56
4.5.	Analyse de l'évolution des apports en mer à long terme	56
4.5.1.	Questions posées	58
4.5.2.	Analyse de l'évolution des apports fluviaux sur le littoral basque.....	58
	La zone d'étude de ce projet se partage en deux niveaux :.....	61
4.5.3.	Analyse de l'évolution des apports de dragages du Port de Bayonne sur le littoral basque	63
4.5.4.	Analyse de l'évolution des apports des stations d'épurations (STEP) sur le littoral basque	64
4.5.5.	Analyse de l'évolution des autres apports sur le littoral basque	70
4.6.	Analyse des tendances climatiques à long terme	72
4.6.1.	Questions posées	72
4.6.2.	Evolution des températures.....	72
4.6.3.	Evolution des précipitations.....	73
4.6.4.	Evolution des vents	74

4.7.	Impact potentiel du liga	75
4.7.1.	Questions posées	75
4.7.2.	Impact sur la santé humaine	75
4.7.3.	Impact sur la colonne d'eau	75
4.7.4.	Impact sur l'activité de pêche	78
4.7.5.	Impact sur les communautés de poissons	81
4.8.	Autres observations.....	82
5.	Discussion	84
6.	Conclusion – Perspectives	88

1. Introduction

Depuis déjà plus d'une trentaine d'années, les pêcheurs travaillant à proximité du littoral basque et sud-landais ont constaté la présence régulière d'une substance appelée « liga », dont l'abondance tend à s'accroître depuis quelques années, mais d'une amplitude variable d'une année à l'autre.

Alors qu'il n'apparaissait autrefois qu'au printemps, ce phénomène semble se produire maintenant tout au long de l'année, même si c'est au printemps qu'il est le plus abondant.

Le littoral basque est un atout environnemental qui constitue un des facteurs importants de l'attractivité et du développement de la côte basque. Le maintien et la valorisation de ce patrimoine constituent un enjeu économique fort, à la fois pour le secteur de la pêche mais également pour les secteurs touristiques et industriels, et un cadre de vie et de développement de l'emploi en général.

En 2001 et 2006, années durant lesquelles ce phénomène a été très présent, le Comité local des pêches de Bayonne, avec l'appui technique de l'IMA, a sollicité l'IFREMER en 2001 (Auby et *al.*, 2001) et le Laboratoire d'Analyses et de Prélèvements Hydrologiques (LAPHY) en 2006 (D'Elbée, 2006) pour en connaître la composition et l'origine.

Si ces deux études ont permis d'apporter quelques éléments de réponses, elles ont cependant été trop ponctuelles et les prélèvements trop peu nombreux pour répondre à l'ensemble des interrogations sur ce phénomène.

Il était donc indispensable de mettre en œuvre un programme d'étude visant à connaître, cartographier et évaluer le risque tant sanitaire (impact des nuisances) qu'écologique (impact sur le milieu et la qualité de l'eau) et économique (impact sur les pêcheries) lié à cette substance de façon à préserver, voire restaurer, le littoral basque.

C'est pourquoi, professionnels de la mer (Comité local des Pêches de Bayonne), laboratoires universitaires (UMR EPOC Université de Bordeaux 1, Université de Pau et des Pays de l'Adour), cellules de transfert et de technologie (GEOTRANSFERT et CASAGEC) et structures techniques (LAPHY, IMA, Laboratoire des Pyrénées) se sont investis dans un projet coopératif pluridisciplinaire visant à identifier et comprendre le phénomène.

2. Rappel des objectifs de l'étude

Les principaux objectifs de l'étude liga sont les suivants :

- **Identifier les composants du liga**
 - Caractérisation macroscopique : il s'agit de décrire le liga en termes de couleur, de texture, d'odeur, de propriétés physiques ainsi que les phénomènes associés en termes de turbidité et couleur des eaux,

- o Détermination de la composition du liga : il s'agit de déterminer les composantes biologiques, bactériologiques et organiques constituant le liga, d'analyser leur évolution dans le temps et d'orienter, dans la mesure du possible, leur origine
- **Caractériser l'emprise spatiale et temporelle du liga**
 - o Localiser le phénomène sur la côte et identifier des zones récurrentes d'apparition,
 - o Localiser le phénomène dans la colonne d'eau,
 - o Caractériser les zones d'apparition en termes de profondeur et de nature du fond,
 - o Tester l'approche par télédétection pour une détection satellitaire du phénomène.
- **Caractériser les périodes d'apparition/présence du phénomène**
 - o Caractériser les conditions environnementales, hydrologiques, et climatiques des périodes de présence de liga,
 - o Analyser l'évolution des apports en mer, d'origine naturelle ou anthropique, et leur dispersion dans le milieu,
 - o Analyser les tendances climatiques à long terme.
- **Identifier l'impact du liga et les risques associés**
 - o Evaluer les risques sur la santé humaine,
 - o Evaluer l'impact sur la colonne d'eau,
 - o Evaluer l'impact sur les pêcheries,
 - o Evaluer l'impact sur les communautés de poissons.

3. Matériel et Méthodes

3.1. Organisation du travail

L'étude liga repose sur un partenariat multidisciplinaire et une triple approche :

- Une approche empirique de terrain basée sur des enquêtes auprès des pêcheurs professionnels,
- Une approche analytique de terrain basée sur des campagnes d'échantillonnage et des analyses en laboratoire,
- Une approche statistique basée sur le croisement des résultats obtenus par enquêtes et échantillonnages et des données abiotiques (conditions climatiques, environnementales, hydrologiques...) recueillies en routine.

Cette triple approche s'appuiera sur une étroite collaboration entre les professionnels de la pêche, les organismes scientifiques ou techniques et les services publics (services de l'Etat et collectivités) associés dans la mise en œuvre de ce projet et/ou la mise à disposition de données utiles à sa réalisation.

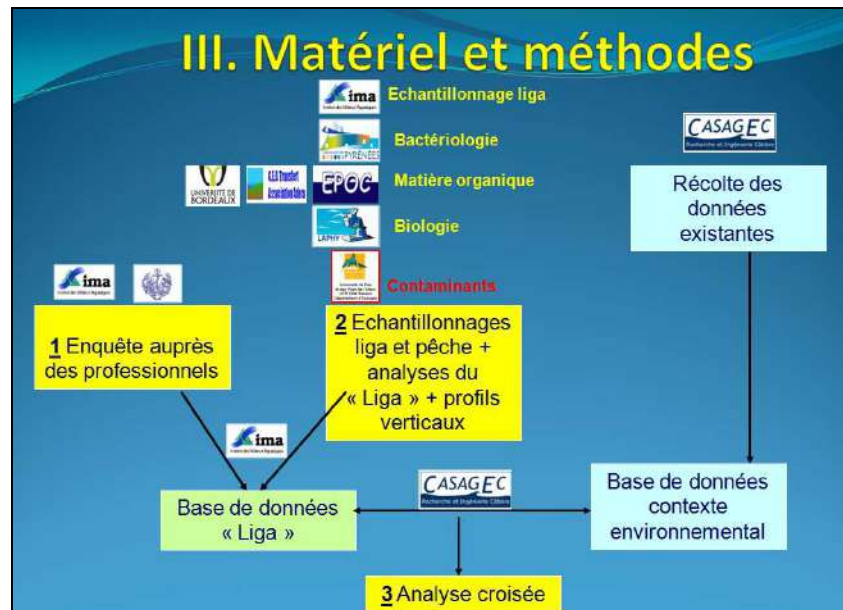


Figure 1 : Organisation de l'étude liga (Source : IMA)

Pour une meilleure compréhension de ce qu'est le liga et les raisons de sa présence, dans un contexte de nécessaire optimisation des moyens techniques, humains et financiers disponibles, le programme d'étude a été envisagé en 2 phases successives :

- La première phase, dont ce rapport fait l'objet, consiste en une étude dont les principaux objectifs seront de mieux définir les conditions d'apparition de ce liga et d'en connaître la composition, notamment pour ses éléments pouvant présenter un risque pour la santé publique.
- La deuxième phase envisagée consisterait en un programme de recherche dont l'interlocuteur principal sera le Réseau de Recherche Littorale d'Aquitaine. Ce programme s'appuierait sur les résultats de la l'étude réalisée lors de la première phase, avec pour objectifs principaux de mieux comprendre l'origine du phénomène.

3.2. Système d'enquête auprès des pêcheurs

Le système d'enquête auprès des pêcheurs a un double objectif :

- Déterminer les périodes de présence de liga, cartographier le phénomène sur le littoral basque et le localiser dans la colonne d'eau,
- Caractériser le liga et son impact sur la santé humaine et l'activité de pêche

Le système d'enquête auprès des pêcheurs professionnels repose sur le renseignement :

- D'une fiche de veille quotidienne (cf. annexe 1) visant à connaître la position des engins de pêche, leur profondeur et la présence associée ou non de liga afin d'établir une cartographie des zones d'apparition du liga.
- D'une fiche de renseignement à remplir en présence de liga (cf. annexe 2) tendant à décrire les caractéristiques macroscopiques du liga, son impact et les conditions de milieu associées afin de caractériser le liga et son impact.

Limites du système d'enquête auprès des pêcheurs

Le système d'enquête auprès des pêcheurs professionnels reflète la présence de liga, dans les conditions de pratique de pêche, sur les engins **dans les zones fréquentées**. Les limites du système d'enquête auprès des pêcheurs sont liées à divers paramètres :

- **Localisation sur la côte basque** : Toutes les zones de la côte basque ne sont pas exploitées par l'activité de pêche. Ceci sous entend que **l'absence de renseignements sur une zone donnée signifie qu'il n'y a pas de pratique de pêche dans cette zone mais en aucun cas que le liga y est absent.**
- **Localisation dans la colonne d'eau** : Les engins de pêche, en fonction des métiers pratiqués et des espèces ciblées, peuvent travailler en surface, en pleine eau ou au fond. **En un point donné, la présence ou non de liga peut être fonction de la profondeur de travail de l'engin de pêche.**
- **Estimation de l'abondance de liga** : En fonction des métiers et des espèces ciblées, les engins de pêche peuvent rester immerger plus ou moins longtemps. Il semble que la quantité de liga observée soit fonction du temps d'immersion de l'engin : plus l'engin reste immergé longtemps, plus le liga semble abondant. **Il est donc nécessaire de tenir compte des temps d'immersion des engins pour pondérer les estimations d'abondance du liga.** De plus, la multiplicité des observateurs engendre une grande variabilité dans l'appréciation de l'abondance du phénomène.

3.3. Echantillonnage de liga

L'objectif des échantillonnages de liga est triple :

- Caractériser la composition précise du liga,
- Déterminer une potentielle évolution de la composition dans le temps,
- Orienter la stratégie vers des origines potentielles du liga.

3.3.1. Localisation et dispositif d'échantillonnage

24 échantillonnages ont été réalisés entre le 12 avril 2010 et le 28 septembre 2010 au rythme d'une campagne par semaine (exception faite de la semaine du 15 juin car les conditions météorologiques ne le permettaient pas). 2 échantillons supplémentaires ont été réalisés les 14 et 27 octobre 2010 mais n'ont pas fait l'objet d'analyses.

Les coordonnées géographiques du point d'échantillonnage sont les suivantes :

- Latitude : 43° 24' 380 " N
- Longitude : 1° 40' 520'' W

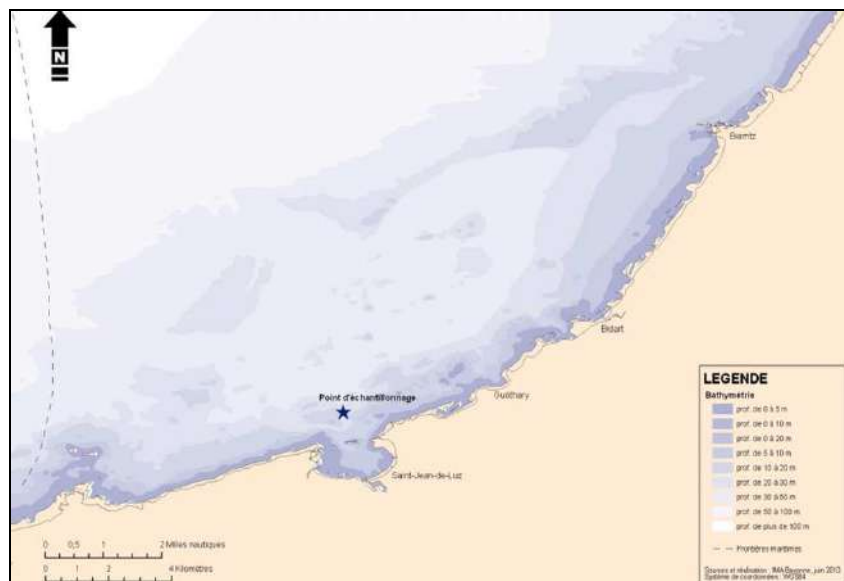


Figure 2 : Localisation du point d'échantillonnage liga (Source : IMA)

D'avril à août, le **dispositif est mis à l'eau pendant 6 jours (144 h)**. Il se compose de 3 nappes de tamis d'une dimension de 2 m de longueur sur 1 m de hauteur. Les nappes sont respectivement situées à – 5 m, - 15 m et – 30 m. **Les prélèvements de liga sont réalisés sur la nappe située à – 5 m.** Pour les prélèvements de liga faisant l'objet d'analyses de la biologie, un carré de 50 cm de côté a été délimité sur la nappe.

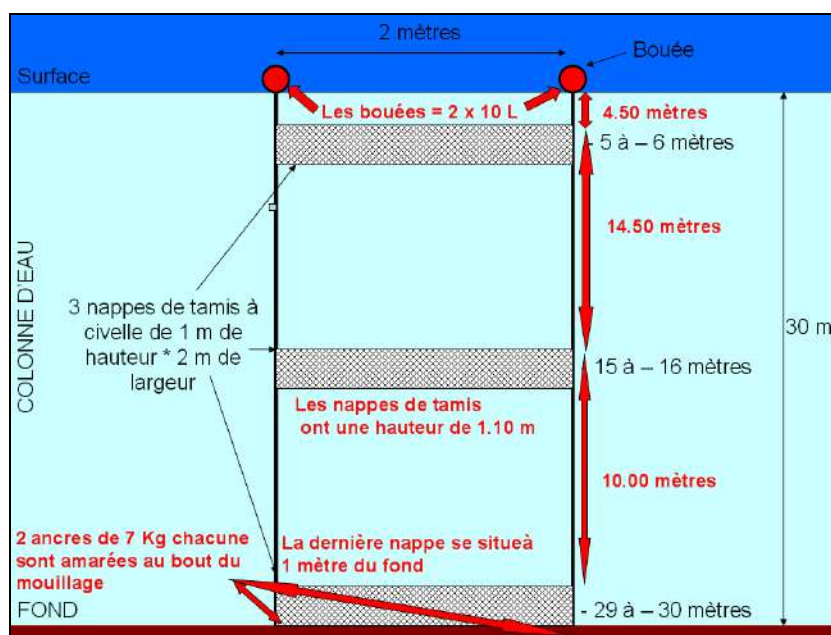


Figure 3 : Dispositif d'échantillonnage liga utilisé d'avril à août (Source : IMA)

Fin août, suite à un épisode de houle, le dispositif a été perdu. Durant tout le mois de septembre, il a été remplacé par un dispositif conique, type filet à plancton, positionné en fixe à – 5 m sous la surface. Un carré de 50 cm de côté a été délimité pour l'analyse des échantillons biologiques. Son temps d'immersion a été abaissé à 24 h.



Figure 4 : Dispositif d'échantillonnage utilisé en septembre (Source : IMA)

3.3.2. Protocole d'échantillonnage

3.3.2.1. Recueil du liga

Une fois arrivé sur la zone d'échantillonnage, 2 bassines sont remplies avec 5 l d'eau de mer prélevée in situ :

- la première bassine recueille le liga faisant l'objet d'analyses biologiques,
- la seconde bassine recueille le liga faisant l'objet d'analyses bactériologiques et de matières organiques.

Le dispositif est ramené manuellement à bord.



Figure 5 : Illustration de la remontée du dispositif à bord (Source : IMA)

- La nappe située à – 5 m est immédiatement décrochée du dispositif et plongée dans la bassine 1,
 - Le liga situé dans le carré de 50 cm de côté est délicatement retiré de la nappe à l'aide d'une brosse à poil doux. On laisse le liga sédimenter dans la bassine 1.
 - La nappe est ensuite plongée dans la bassine 2. L'intégralité du liga restant sur la nappe est retirée délicatement à l'aide d'une brosse à poil doux.



Figure 6 : Illustration du recueil de liga (Source : IMA)

- La présence de liga et l'appréciation de son abondance sur les 2 autres nappes sont systématiquement notées.

3.3.2.2. Préparation des échantillons

- La bassine 1 contient le liga faisant l'objet d'analyses biologiques,
 - o Une fois sédimenté dans la bassine, le liga est filtré à travers un tamis de 60 μm et récupéré dans un flacon plastique hermétique. La solution est immédiatement fixée au formaldéhyde 5% et placée dans une glacière contenant de la glace pilée.



Figure 7 : Illustration du liga sédimenté dans la bassine 1 (à gauche) et du liga homogénéisé dans la bassine 2 (à droite) (Source : IMA)

- La bassine 2 contient le liga faisant l'objet d'analyses bactériologiques et de matières organiques.
 - o Le liga est homogénéisé manuellement dans la bassine 2.
 - Pour les analyses bactériologiques, un flacon stérile hermétique est immédiatement plongé et ouvert au fond de la bassine. Ce dernier se remplit d'une solution boueuse. Une fois refermée, le flacon est immédiatement déposé dans la glacière contenant de la glace pilée.
 - Pour les analyses de matière organique, le liga décante dans la bassine 2 puis est filtré à travers un tamis de 60 μm et récupéré dans un flacon plastique hermétique. La solution est immédiatement placée dans la glacière contenant de la glace pilée.

Les nappes sont systématiquement lavées avant d'être à nouveau immergées le lendemain de l'échantillonnage



Figure 8 : Illustration de la préparation des échantillons et du rinçage des nappes (Source : IMA)

3.3.2.3. Conservation et expédition des échantillons

Les temps de transports sont approximativement les suivants :

- Zone de prélèvement – port de Saint Jean de Luz (échantillons dans glacière) : environ 15 minutes,
- Port de Saint Jean de Luz – Laboratoires (échantillons dans glacière) : environ 25 minutes

Les échantillons faisant l'objet d'analyses bactériologiques sont déposés le jour même avant 16h dans les réfrigérateurs du Laboratoire des Pyrénées à Anglet avant d'être acheminés dans un véhicule réfrigéré vers les laboratoires de Lagor. Les mises en culture sont réalisées le jour même vers 17h45.

Les échantillons faisant l'objet d'analyses de matière organique sont acheminés par le transporteur DHL dans des Thermobox permettant de maintenir les échantillons à 4°C pendant 24H. Les échantillons quittent les bureaux de l'IMA vers 16 heures et sont acheminés au Laboratoire EPOC de l'Université de Bordeaux 1 le lendemain matin entre 9 et 10h.

Les échantillons faisant l'objet d'analyses biologiques sont fixés au formaldéhyde et conservés au réfrigérateur. Ils sont amenés tous les 15 jours au LAPHY.

Limites du protocole d'échantillonnage de liga

Les limites du protocole d'échantillonnage sont liées à différents paramètres :

- **Le temps d'immersion du dispositif** : l'objectif premier de l'étude étant de récolter régulièrement du liga, le dispositif est resté immergé 144 heures (6 jours) chaque semaine du mois d'avril au mois d'août, puis 24 h au mois de septembre. Le dispositif a donc agi comme un piège à particules **ce qui rend difficile les interprétations des abondances observées, leur intégration pour les analyses statistiques et leur comparaison à des échantillons spontanés d'eau brute.**
- **Le nombre de points d'échantillonnages** : pour des raisons d'économie des coûts évidentes, il a été décidé de ne procéder à des prélèvements de liga qu'en un point sur la côte basque. **Les résultats des analyses de la composition du liga sont donc représentatifs du point de**

prélèvement à Saint Jean de Luz mais nous ne pouvons en aucun cas affirmer que sa composition est la même sur l'ensemble de la côte basque. Des analyses réalisées à partir de liga recueilli par un pêcheur sur la basse des esclaves à Biarritz tendent à démontrer que la composition diffère selon la zone de prélèvement.

- **La profondeur de prélèvement du liga analysé :** bien que le dispositif soit équipé de trois nappes situées à des profondeurs différentes, les prélèvements et analyses n'ont été réalisés que sur le liga déposé sur la nappe située à -5 m. **Les résultats des analyses de la composition du liga sont donc représentatifs du point de prélèvement à Saint Jean de Luz dans la couche d'eau proche de la surface.**

3.4. Analyses des échantillons de liga

3.4.1. Analyse de la composante biologique du liga

24 échantillonnages de liga ont été réalisés par l'IMA au cours de l'année 2010. Ils correspondent à un prélèvement de 0,25m² de surface de toile réceptrice positionnée 5 m sous la surface au large de la baie de Saint Jean de Luz.

Le volume de liga sédimenté est mesuré au bout de 24 h.

Tous les organismes de taille supérieure au millimètre (macrotaxons) ont été déterminés et comptabilisés à la loupe binoculaire. Les macrotaxons les moins abondants ont été comptabilisés sur la totalité de l'échantillon de liga, alors que les plus abondants ont été comptabilisés sur un sous-échantillon de 5ml réalisé avec une pipette Eppendorff Research 10ml après homogénéisation.

Les microtaxons, de taille inférieure au millimètre, ont été déterminés et comptabilisés au microscope. A partir du volume initial de liga, et après homogénéisation, un sous-échantillonnage de 40µl est réalisé avec une pipette Eppendorff Research 100µl, et placé entre lame et lamelle pour observation microscopique. Les microtaxons les plus abondants ont été comptabilisés sur une radiale de la lamelle 18x18mm au grossissement x 500, les autres les moins abondants ont été comptabilisés sur la totalité de la lamelle 18x18mm au grossissement x 100. Dans tous les cas, le coefficient de fractionnement est connu et permet de calculer les abondances qui sont indiquées en individus / échantillon.

Les résultats quantitatifs sont tous indiqués en individus / échantillon.

Limites de l'analyse de la composante biologique

- **Plan d'échantillonnage :** Le temps d'immersion du collecteur de liga est une limite à l'interprétation quantitative des résultats : il est en effet difficile de comparer les résultats obtenus avec le liga avec des prélèvements instantanés classiques de phytoplancton et de zooplancton. Bien que les résultats obtenus soulèvent la question, il est aujourd'hui impossible d'affirmer de façon formelle que le liga est un concentrateur de particules. Toutefois, le protocole d'échantillonnage étant reproductible, il permet de comparer les échantillons entre eux et d'analyser l'évolution de la composition dans le temps.

3.4.2. Analyse de la composante bactériologique du liga

L'étude de d'Elbée (2006) a révélé la présence de filaments bactériens non identifiés. C'est pourquoi les bactéries filamenteuses sont systématiquement recherchées dans les premiers échantillons de liga. La technique consiste à homogénéiser l'échantillon et de faire un état frais, une

coloration de GRAM et une coloration de NEISSER. A la suite de ces préparations, les échantillons sont analysés au microscope par les techniciens du laboratoire.

La recherche de bactéries filamenteuses n'ayant rien donné, malgré la présence systématique de protozoaires, il a été décidé, après validation du comité scientifique, de rechercher les bactéries indicatrices des contaminations fécales.

Les analyses sont réalisées conformément aux normes d'analyses en vigueur sur les eaux de baignade (Normes ISO 9308-3 pour la recherche d'*Escherichia coli*, et ISO 7899-1 pour la recherche des entérocoques intestinaux). L'objectif de ces analyses est de connaître la composition du liga en bactéries indicatrices de contamination fécale.

Dès que les échantillons arrivent au laboratoire, une succession de dilutions sont effectuées permettant d'ensemencer les microplaques spécifiques à la détermination des *Escherichia coli* et des entérocoques. Après incubation à l'étuve pendant 48h, les microplaques sont lues par les techniciens du laboratoire. A partir du nombre caractéristique obtenu, une analyse statistique fondée sur la loi de Poisson, permet de dénombrer les micro-organismes dans l'eau analysée.

Limites de l'analyse de la composante bactériologique

Ces analyses permettent d'évaluer l'ensemble des bactéries métaboliquement actives, donc uniquement les bactéries viables.

- **Plan d'échantillonnage :** Le temps d'immersion du collecteur de liga est une limite à l'interprétation quantitative des résultats : il est en effet difficile de comparer les résultats obtenus dans le liga avec des prélèvements instantanés classiques de bactériologie. Bien que les résultats obtenus soulèvent la question, il est aujourd'hui impossible d'affirmer de façon formelle que le liga est un concentrateur de particules. Toutefois, le protocole d'échantillonnage étant reproductible, il permet de comparer les échantillons entre eux et d'analyser l'évolution de la composition dans le temps.

3.4.3. Analyse de la matière organique du liga

L'analyse de la matière organique des échantillons de liga porte sur 3 paramètres :

- La granulométrie,
- La teneur en Carbone Organique Particulaire (COP),
- Les rapports δC^{13} , δN^{15} ,

Par ailleurs, des essais de dosage du Carbone/Azote (C/N) et de la Chlorophylle, non initialement prévus, ont été réalisés par l'Université de Bordeaux 1.

Les mesures de granulométrie ont été réalisées selon les techniques sédimentologiques classiques utilisées pour l'analyse du matériel en suspension dans de l'eau de mer. L'échantillon est traité humide, mis en solution et analysé par la technique de granulométrie lazer (granulomètre MALVERN).

L'ensemble du matériel est du matériel fin et filamenteux. Ce n'est pas une caractéristique classique du matériel océanique en suspension. En particulier, ces agrégats ont dû être déstructurés par le traitement de l'échantillon. Les résultats bruts ont été traités selon 5 classes :

- < à 20 μm
- De 20 à 30 μm
- De 30 à 60 μm
- De 60 à 100 μm
- > à 100 μm

Les analyses de COP ont été réalisées selon le protocole classique utilisé à l'UMR EPOC pour l'analyse de la teneur en COP des matières en suspension (MES) océaniques et notamment appliqué dans le cadre du Service d'Observation national des Milieux Littoraux (SOMLIT) du CNRS.

Les analyses ont été réalisées selon le protocole classique utilisé à l'UMR EPOC pour l'analyse des teneurs en δC^{13} , δN^{15} , C/N et Chlorophylle des eaux marines. Ces protocoles sont notamment validés et appliqués dans le cadre du suivi national SOMLIT du CNRS.

Limites de l'analyse de la matière organique

- **Plan d'échantillonnage :** Le temps d'immersion du collecteur de liga est une limite à l'interprétation quantitative des résultats : il est en effet difficile de comparer les résultats obtenus avec le liga avec des prélèvements instantanés classiques de matière organique. Bien que les résultats obtenus soulèvent la question, il est aujourd'hui impossible d'affirmer de façon formelle que le liga est un concentrateur de particules. Pour avoir une meilleure appréciation de la qualité et l'état de dégradation de la matière organique du liga, il sera nécessaire de changer le protocole de prélèvements. Il est en effet obligatoire d'avoir des échantillons très peu dégradés, pour que les paramètres géochimiques révèlent leur pleine signification.

3.5. Echantillonnage des pêches

L'objectif des ces échantillonnages des pêches est double :

- Evaluer un impact potentiel sur l'activité de pêche
- Evaluer l'impact sur les communautés de poisson.

Chaque semaine, un observateur IMA embarque sur le navire fileyeur ORDAGNA pour prélever les échantillons de liga. Ces embarquements sont l'occasion pour l'observateur de participer à la campagne de pêche et de réaliser des échantillonnages des pêches.

Les renseignements concernant les échantillonnages des pêches sont consignés dans une fiche échantillonnage (cf. annexe 3). Dans cette fiche sont renseignés les critères suivants :

- Coordonnées géographiques du filet (début et fin),
- Profondeur de la zone de pêche (début et fin),
- Longueur, hauteur, maille, temps d'immersion et profondeur de travail (surface, pleine eau, fond) du filet,

- Quantité de liga (appréciation de l'observateur : absence/présence faible/présence forte).

Tous les individus remontés à bord du navire, qu'ils soient commercialisables ou non, sont identifiés et à minima dénombrés. Quand la quantité de poisson le permet, les individus sont mesurés, pesés et sexés.

Chaque individu fait l'objet d'une analyse sanitaire à l'aide de la méthode développée par Girard et Elie (2007) sur l'indice des lésions anatomo-morphologiques et parasites externes des poissons.

Les informations recueillies lors de ces campagnes de pêche permettent de calculer des rendements de pêche en nombre d'individus/m² de filet/heure d'immersion en fonction de la position du filet dans la colonne d'eau et de la quantité de liga observée.

Limites des échantillonnages des pêches

Les limites du protocole d'échantillonnage des pêches sont liées à divers paramètres :

- **Le métier de pêche** : l'Ordagna est un fileyeur strict. Les échantillonnages des pêches ne concernent donc que le métier de pêche filet et ne peuvent en aucun cas renseigner sur l'impact du liga sur les autres métiers de pêche.
- **L'estimation de l'abondance du liga** : Bien que l'observateur soit toujours le même, l'estimation de l'abondance du liga dans les filets reste subjective. De plus, comme pour le système d'enquête auprès des pêcheurs, l'estimation de l'abondance de liga dans les filets est fonction du temps d'immersion de l'engin.

3.6. Profils verticaux de physico-chimie de l'eau

L'objectif des profils verticaux est triple :

- Caractériser la colonne d'eau au moment du prélèvement de liga,
- Evaluer un potentiel impact du liga sur la colonne d'eau,
- Contribuer aux analyses statistiques.

Chaque campagne d'échantillonnage de liga et des pêches est l'occasion de réaliser, **au point d'échantillonnage**, des profils verticaux de la physico-chimie des eaux.

Les profils verticaux sont réalisés à l'aide d'une sonde HORIBA U53G. La sonde est programmée pour enregistrer les valeurs toutes les deux minutes. La sonde est plongée sur le fond de 30 mètres et relevée doucement jusqu'à la surface avec des paliers tous les deux mètres.



Figure 9 : Illustration de la sonde Horiba U53G utilisée pour les profils verticaux de physico-chimie de l'eau (Source : IMA)

Les principaux paramètres mesurés sont :

- La température de l'eau,
- La salinité,
- La turbidité
- L'oxygène dissous,
- Le pH

De retour au bureau, les données sont téléchargées sur ordinateur pour être traitées.

Limites des profils verticaux de physico-chimie

Les limites des profils verticaux sont liées à divers paramètres :

- **Le nombre de points d'échantillonnage** : les profils verticaux révèlent les conditions physico-chimiques de la colonne d'eau au point d'échantillonnage. Ces conditions peuvent évoluer géographiquement sur le littoral basque selon la masse d'eau dans laquelle on se trouve. Dans le cadre du programme RECOPECA, l'IFREMER a équipé 3 navires du quartier de Bayonne de sondes multi-paramètres. Ces sondes enregistrent quotidiennement la position géographique des engins, la température, la salinité et prochainement la turbidité. Ces données ont été récupérées pour l'année 2010 mais n'ont pas été intégrées dans ce rapport car les premières mesures datent d'octobre 2010 correspondant à une période hors échantillonnage. Toutefois, ces données seront intéressantes à récupérer et intégrer dans le cadre d'une éventuelle phase 2 du programme.
- **Présence de liga sur toute la période d'échantillonnage** : initialement étaient prévus des profils verticaux de physico-chimie de l'eau au point d'échantillonnage en absence de liga. La présence de liga au point d'échantillonnage sur toute la période n'a pas permis de réaliser ces mesures ce qui rend l'interprétation de l'impact du liga sur la colonne d'eau difficile.
- **Panne de la sonde** : le nombre de profils initialement prévu était de 24 comme les prélèvements de liga. Une panne de la sonde survenue fin août n'a pas permis de réaliser les profils au mois de septembre et réduit le nombre de profils à 20.

3.7. Analyses statistiques des données

L'objectif des analyses statistiques est :

- Identifier des fenêtres environnementales, climato-océaniques propices au développement/présence de liga,
- Evaluer des relations potentielles entre présence de liga et les masses d'eau,
- Evaluer des relations potentielles entre présence de liga et apports continentaux d'origine naturelle (fleuves) ou anthropiques (dragages, STEP)

Il s'agit d'analyser statistiquement les données récoltées lors des enquêtes auprès des pêcheurs et des campagnes d'échantillonnage avec des données océano-climatiques afin d'étudier d'éventuelles relations entre présence/abondance/composition biologique du liga et les facteurs abiotiques.

Les données disponibles pour l'analyse sont :

- **La composition du liga :**
 - o Volume de liga sédimenté (24 échantillons)
 - o Carbone Organique Particulaire (COP) (20 échantillons) : %,
 - o Composition biologique (24 échantillons)
 - o Teneur en bactéries fécales (10 échantillons) : *E.coli*, entérocoques

Ces résultats ont été obtenus à partir de liga prélevé sur la nappe située à 5 m sous la surface, au point d'échantillonnage, immergée 144 h chaque semaine d'avril à août et 24 h en septembre.

- **Les caractéristiques des masses d'eau :**
 - o Température de l'eau (°C)
 - o Salinité (ppm)
 - o Oxygène dissout (mg/l)
 - o pH

Ces résultats émanent des profils verticaux de physico-chimie réalisés au point d'échantillonnage.

- **Les données océano-climatiques :**
 - o Température moyenne quotidienne de l'air,
 - o Précipitations quotidiennes cumulées,
 - o Irradiance solaire quotidienne,
 - o Vent : vitesse et direction horaire,
 - o Houle : hauteur significative horaire,
 - o Température horaire de l'eau,
 - o Débit moyen journalier de l'Adour et de la Nivelle.

Pour la pertinence de l'analyse statistique, il a été nécessaire de procéder à un important travail d'homogénéisation et de préparation des données. En effet, la majorité du liga analysé provenant d'un dispositif immergé 144 h à -5 m, deux questions essentielles se sont posées :

- Comment intégrer le temps d'immersion de l'engin (144h) pour les données océano-climatiques ?
- Comment utiliser les profils verticaux issus de la sonde multi-paramètres ?

Pour cela, un certain nombre de données disponibles ont dû être homogénéisées ou écartées de l'analyse. Il s'agit de :

- **Composition biologique du liga** : la quantité d'information étant très importante, seules les données d'abondance et de diversité des éléments planctoniques (micro et macro) et benthiques (micro et macro) a été retenues pour l'analyse Liga / facteurs abiotiques. La teneur en bactérie fécale n'a pas été utilisée dans l'analyse en raison du nombre trop faible d'échantillons (10).
- **Caractéristiques des masses d'eau (sonde multi-paramètres)** : étant donné que le liga analysé a été prélevé sur la nappe située 5 m sous la surface, seules les valeurs obtenues à -5 m ont été retenues pour tous les paramètres. Les amplitudes verticales maximums de température et de salinité ont été calculées pour rendre compte de la stratification de la masse d'eau. Notons que certains profils présentent des valeurs de températures et de salinités discutables.
- **Données océano-climatiques** : tous les paramètres ont été moyennés sur 144h à l'exception de la pluviométrie et de l'irradiance solaire qui ont été cumulés sur les 6 jours (144 h) correspondant au temps d'immersion du dispositif d'échantillonnage.

Pour étudier les relations entre le liga (Présence, abondance, composition biologique) et les facteurs abiotiques, l'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été retenue pour ses capacités à explorer les liaisons entre variables et les ressemblances entre individus (pour des données quantitatives). En raison de l'hétérogénéité des jeux de données, 2 ACP ont été réalisées :

- ACP 1 : Interrelations Liga (sans COP) / Facteurs océano-climatiques (24 échantillons)
- ACP 2 : Interrelations Liga (avec COP) / Masses d'eau (18 échantillons)

Bien que la donnée des rejets quotidiens des stations d'épuration en mer existe, elle n'a pas été accessible pour cette étude.

Les données de dragage du port de Bayonne ont été recueillies dans le cadre de cette étude mais sont trop ponctuelles pour intégrer l'analyse.

De ce fait, l'analyse en composante principale visant à analyser d'éventuelles relations entre des apports anthropiques en mer et la présence de liga n'a pu être réalisée dans le cadre de cette étude.

Limites des analyses statistiques

Les limites des analyses statistiques sont liées à divers paramètres :

- **Nombre d'échantillon** : Le nombre de 24 échantillons semble trop faible en regard du grand nombre de variables à analyser.
- **Protocole d'échantillonnage** : La durée d'immersion des dispositifs est probablement trop importante par rapport à la variabilité des conditions océano-climatiques, ce qui peut engendrer une diminution de la sensibilité de l'analyse.
- **Paramètres manquants** : Des données telles que les matières en suspension, la production primaire ou les apports de stations d'épuration en mer auraient été intéressantes à intégrer dans l'analyse. Malheureusement, soit ces données n'existent pas, soit elles ne sont pas accessibles.
- **Méthodologie statistique** : Si la relation entre le liga et les facteurs abiotiques est non linéaire (ce qui probablement le cas), l'Analyse en Composante Principale est peut être inadaptée. Il faudrait alors appréhender ces relations par des approches non linéaires qui sont impossibles à réaliser avec l'intégration des données sur 144 h. Nous revenons donc ici à une problématique liée au protocole d'échantillonnage.
- **Données discutables** : 3 données de profils physicochimiques verticaux présentent des valeurs douteuses. Il en est de même de certaines valeurs obtenues pour le carbone organique particulaire. Pour ce dernier point, la question d'un protocole plus adapté est aussi posée.

3.8. Recueil de données environnementales

L'objectif de cette partie est de recenser un maximum d'informations hydrologiques, océanographiques, climatiques, environnementales et des usages afin de replacer l'apparition du liga dans un contexte général.

L'analyse de ces données est réalisée à deux échelles temporelles :

- **Echelle annuelle** : il s'agit de récolter et caractériser l'année 2010 pour analyser d'éventuelles relations entre le liga et les facteurs abiotiques et dégager des fenêtres environnementales favorisant la présence du phénomène,
- **Echelle pluriannuelle** : compte tenu de l'aggravation de la situation depuis 5 ans, il s'agit d'identifier les modifications d'usage ou climatiques qui peuvent en partie expliquer la persistance et l'abondance de plus en plus grande du phénomène.

Pour cela, il a été nécessaire de développer des partenariats avec les organismes ou programmes producteurs de données :

- **Programme LOREA :**
 - o données concernant les apports fluviaux (Ouhabia, Nivelle, Untxin) en bactéries fécales et matières en suspension en période de pluie,
- **IFREMER :**
 - o données récoltées dans le cadre du réseau REPHY et Directive cadre sur l'eau (3 points : Adour aval, Txingudi, Saint Jean de Luz). Il s'agit de données concernant la production primaire (chlorophylle a, sels nutritifs, phéopigments, flore partielle indicatrice) et de données hydrologiques (Température, salinité) relevées une fois par mois.
 - o données récoltées dans le cadre du programme RECOPECA. Il s'agit de données océanographiques de température, salinité et prochainement turbidité acquises quotidiennement par l'équipement des engins de pêche de 3 navires du quartier maritime de Bayonne.
- **Agence de l'Eau Adour Garonne :**
 - o Données concernant les rejets des collectivités via les stations d'épuration (STEP). Il s'agit des données des charges annuelles moyennes des rejets de STEP en termes de matières en suspension, d'azote, de phosphate, de demande biologique en Oxygène sous 5 jours (DBO₅) et de demande chimique en oxygène (DCO) entre 1986 et 2008.
- **Service du port de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Bayonne :**
 - o Données concernant les dragages annuels du port de Bayonne entre 1979 et 2010 en termes de volumes et de nature de sédiments dragués, de zone de clapage et de périodicité des dragages.

Par ailleurs, le CASAGEC a mis à disposition ces données de houle et température de l'eau obtenues grâce à la bouée océanographique située à Anglet et ces données météorologiques enregistrées à la station météo de la tour des signaux.

Enfin, l'IMA a récolté en routine les données suivantes :

- Les débits journaliers de l'Adour maritime et de la Nivelle sur la banque hydro. Les débits de l'Adour maritime sont obtenus par l'intégration des données des stations de l'Adour à Saint Vincent de Paul, du Gave de Pau à Bérenx, du Gave d'Oloron à Escos et de la Nive à Cambo les bains.
- Les données d'irradiance solaire par observation satellite sur le site Nausica de l'IFREMER,
- Des données historiques quotidiennes de météorologie à Biarritz sur le site météostats après avoir testé leur fiabilité.

4. Résultats

4.1. Caractérisation de l'année 2010

Avant de présenter les résultats obtenus sur les échantillons de liga, il est indispensable de caractériser le contexte hydro - océano – climatique de l'année 2010.

4.1.1. Contexte océano-climatique en 2010

Le CASAGEC a produit des fiches synthétiques des conditions hydro – océano – climatiques sur la période d'échantillonnage (avril – septembre) qui sont présentées en annexe 4.

D'une manière synthétique, on peut caractériser les mois de la façon suivante :

- **Avril** : Le mois d'avril marque le démarrage de l'échantillonnage de LIGA suite aux premières observations des pêcheurs en Mars.
 - **Mer agitée (houle) sur la première quinzaine** puis assez calme sur la seconde,
 - Vent : **Secteur Sud / Sud-Est** dominants,
 - Mois assez ensoleillé avec 3 épisodes pluvieux modérés (6 et 7 avril, 22, 30),
 - Augmentation quasi continue de la température de l'air et de l'eau au cours du mois,
 - **Formation d'une thermocline assez marquée.**
- **Mai**
 - **Mer agitée (houle+vent) sur la première quinzaine** puis assez calme sur la seconde,
 - Vent : Régime **de brise thermique** dominant,
 - **Temps couvert et pluvieux sur la 1^{ère} quinzaine** puis assez ensoleillé sur la seconde,
 - **Forte chute de la température de l'air et de l'eau début mai** puis augmentation quasi continue cours du mois,
 - **Disparition de la thermocline en début de mois** puis reformation en fin de mois,
 - **Halocline marquée le 18 mai** suite au pic de débit de la nivelle le 15.
- **Juin**
 - Mer assez calme en début de mois, **agitée mi juin (houle+vent d'ouest)** puis de nouveau assez calme en fin de mois,
 - Vent : **Secteur Ouest / Nord-ouest** dominant,
 - Temps ensoleillé la première semaine puis couvert du 8 au 19. **Orages et fortes pluies le 18 juin.** Beau temps en fin de mois,
 - **Températures (air et eau) en légère hausse début juin.** Forte chute de la température de l'air et de l'eau mi juin puis augmentation quasi continue cours du mois,
 - **Halocline marquée le 22 juin** suite au pic de débit de la nivelle le 17,

- **Juillet**

- **Mer relativement agitée** (houle) pour un mois de juillet, avec plusieurs swell supérieures à 2m et un supérieur à 4m,
- Vent : Régime de **brise thermique** dominant,
- **Alternance de beau de temps et de passage nuageux** faiblement pluvieux à l'exception de la pluie du 20, 21 juillet,
- **Température de l'air relativement constante. Légère augmentation de la température de l'eau** au cours du mois,
- **Approfondissement de la Thermocline. Pas d'halocline marquée.**

- **Août**

- **Mer peu agitée** (houle+vent) au cours de mois à l'exception d'un pic (houle + vent) le 27.
- Vent : Régime de **brise thermique** dominant,
- **Alternance de beau de temps et de passage nuageux** engendrant des précipitations modérées (les 3, 10, 13 et 22 août),
- **Températures de l'air et de l'eau relativement constante,**
- **Thermocline stable au cours du mois. Pas d'halocline marquée.**

- **Septembre**

- **Mer peu agitée à agitée** (houle+vent),
- Vent : Régime de **brise thermique** dominant, un fort coup de Nord-Ouest le 7,
- **Alternance de beau de temps et de passage nuageux** engendrant des précipitations modérées (du 5 au 9 et du 22 au 24),
- **Températures de l'air et de l'eau en baisse** sur toute la période.

4.1.2. Contexte hydrologique en 2010

Nous avons récupéré en routine les débits de l'Adour maritime et de la Nivelle pour l'année 2010. Les données de précipitations ont été récupérées sur le site météostats.

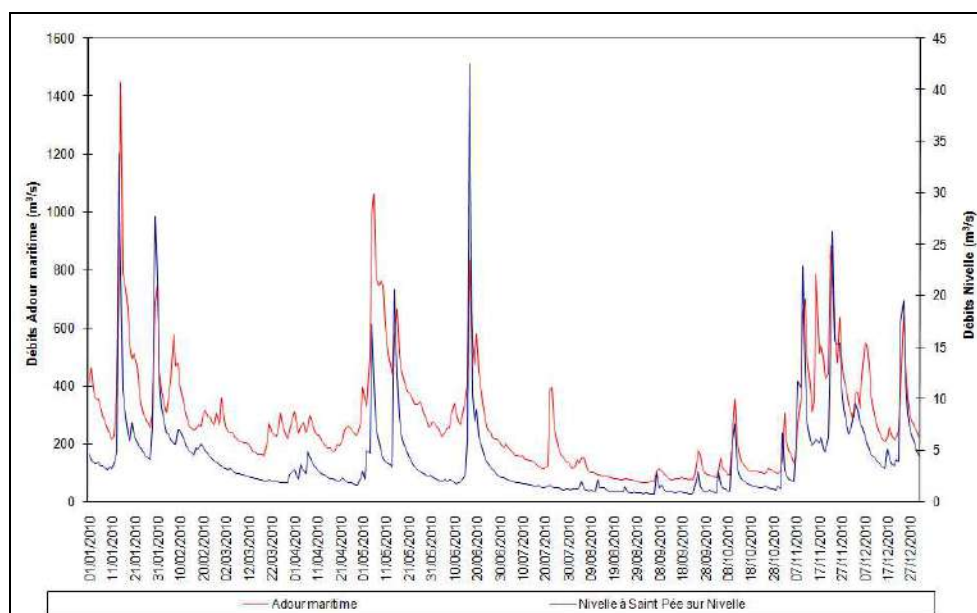


Figure 10 : débits journaliers 2010 de l'Adour maritime et de la Nivelle (Source : BD Hyrdo)

L'année 2010 est marquée par deux crues hivernales en janvier et février, deux crues printanières début mai et mi juin (essentiellement la Nivelle) et une reprise des crues en novembre. En 2010, le module annuel de l'Adour est de $275 \pm 186 \text{ m}^3/\text{s}$ contre $4,16 \pm 4,7 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la Nivelle.

4.1.3. Contexte de production primaire en 2010

Dans le cadre des réseaux REHY et directive cadre sur l'eau, l'IFREMER assure le suivi de 3 sites sur le littoral basque. Il s'agit des points :

- Baie de Txingudi à Hendaye,
- Côte basque hors de la baie de saint jean de luz,
- Estuaire aval de l'Adour

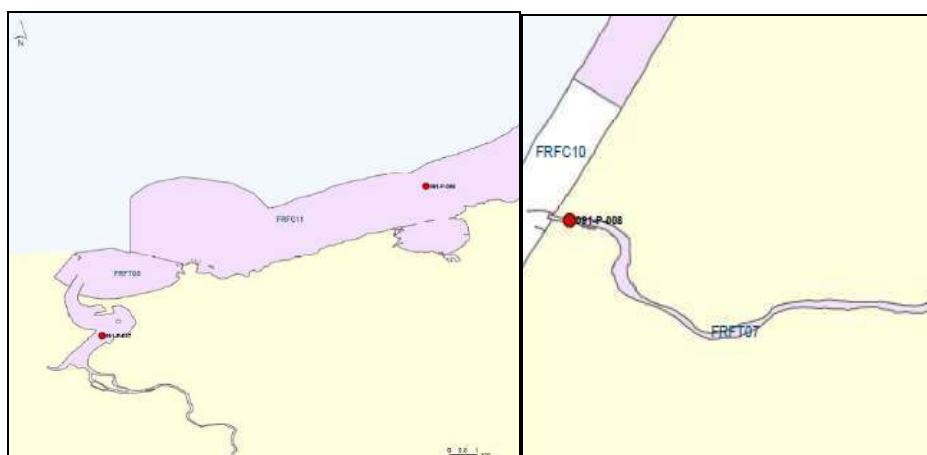


Figure 11 : Localisation des points de suivi REHY et DCE sur le littoral basque (Source : IFREMER/Quadrigé²/REPHY)

Les échantillonnages ont lieu une fois par mois depuis 2007. Les paramètres suivis sont les suivants :

- **Chlorophylle a (toute l'année)** : il s'agit de doser la chlorophylle contenu dans les chloroplastes des végétaux autotrophes. Ce paramètre renseigne sur la production primaire à la base du réseau trophique.
- **Phéopigments (toute l'année)** : Il s'agit de mesurer les pigments photosynthétiques contenus dans le phytoplancton (avec les chlorophylles a, b et c). La détermination quantitative de ces pigments permet d'avoir une estimation globale du phytoplancton.
- **Sels nutritifs (de novembre à avril)** : Il s'agit de mesurer la concentration de l'azote sous forme Amonium, nitrates et nitrites ainsi que les phosphates et silicates qui sont les sels nutritifs servant à la production primaire.
- **Flore partielle indicatrice (toute l'année)**: Il s'agit d'identifier et dénombrer les espèces qui « blooment » à une concentration > 100 000 cellules/L, et des genres toxiques pour les consommateurs de coquillages (principalement *Pseudo-nitzschia*, *Alexandrium* et *Dinophysis*).
- **Paramètres hydrologiques (toute l'année)** : Il s'agit de mesurer des paramètres tels que la turbidité, la température, la salinité, l'Oxygène dissout au fond et en surface. Compte tenu de la variabilité journalière de ces paramètres, nous n'avons pas jugé nécessaire de présenter les résultats émanant d'un suivi mensuel d'autant plus que ces paramètres ont été mesurés chaque semaine dans le cadre de notre étude. Toutefois, il est nécessaire de signaler qu'ils confortent les résultats obtenus avec les profils verticaux.

4.1.3.1. Chlorophylle a

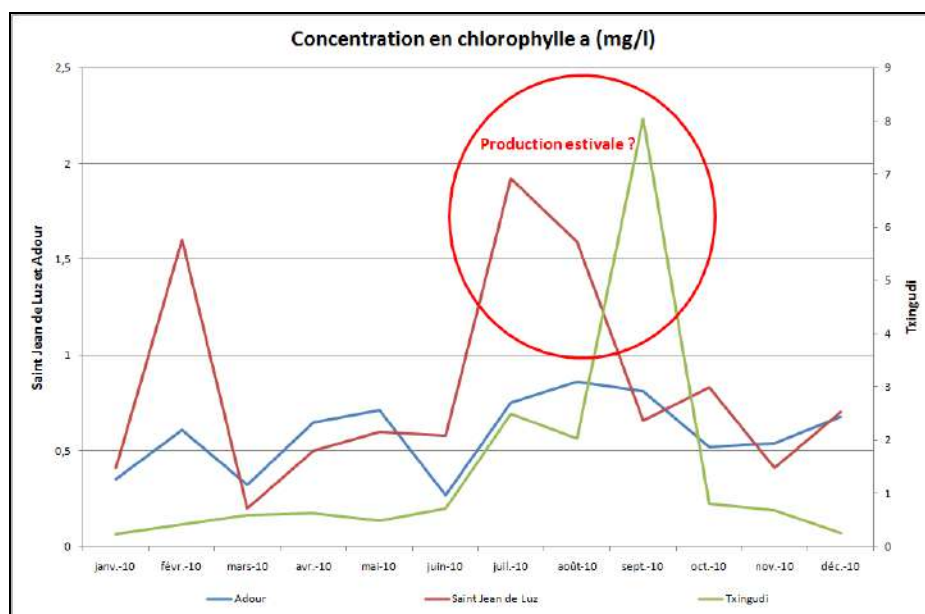


Figure 12 : Evolution mensuelle de la teneur en chlorophylle a sur la côte basque en 2010 (Source : IFREMER/Quadrigé²/REPHY)

Les résultats IFREMER démontrent une production estivale atypique au niveau de la côte basque (Saint Jean de Luz) et de la baie de Txingudi. Habituellement, l'été est une période de faible production et la production primaire s'établit principalement en fin d'hiver ou début du printemps. Ces résultats laissent présager d'apports nutritifs en été pouvant expliquer cette production.

4.1.3.2. Phéopigments

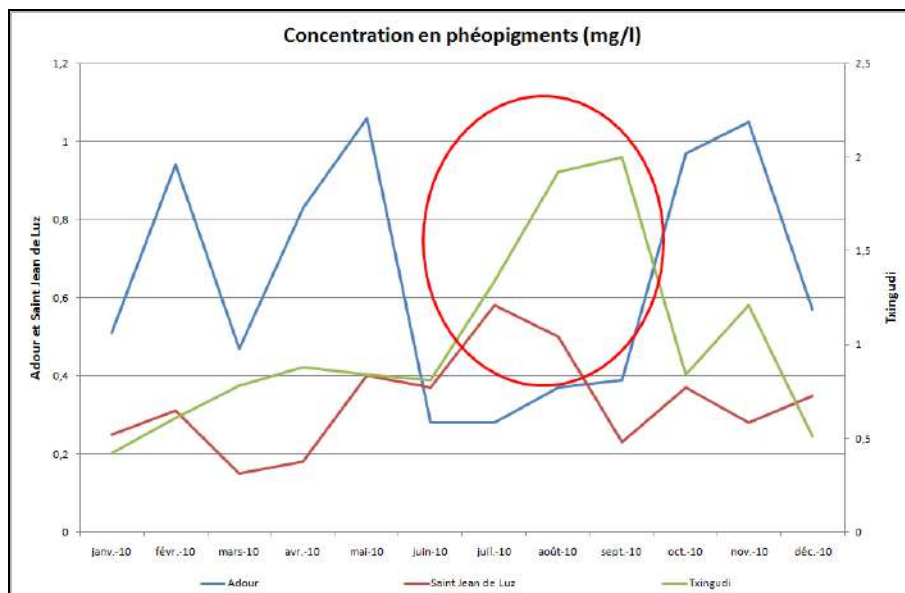


Figure 13 : Evolution mensuelle de la teneur en phéopigments sur la côte basque en 2010 (Source : IFREMER/Quadrigé²/REPHY)

Les résultats du dosage des phéopigments confirment les résultats de chlorophylle a.

4.1.3.3. Flore partielle indicatrice

Les résultats de Txingudi et de l'Adour sont présentés en annexe 5.

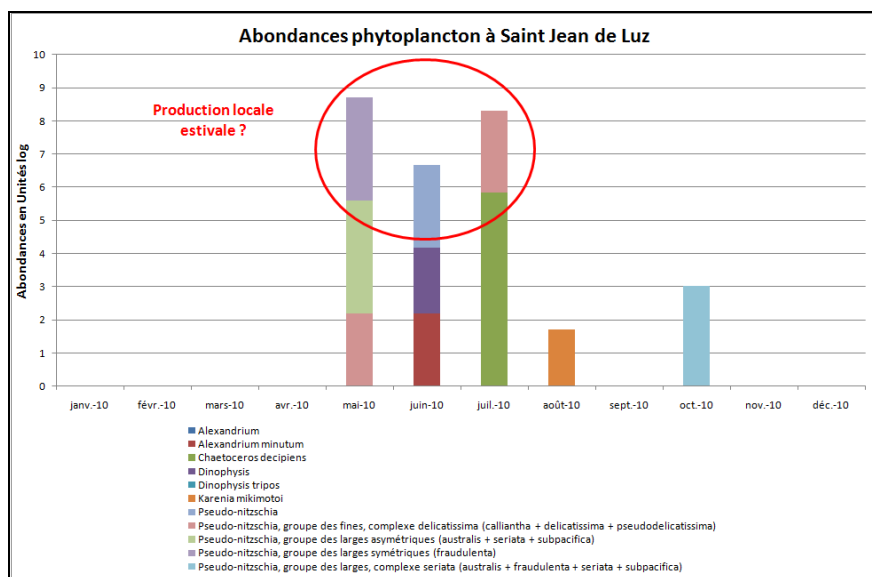


Figure 14 : Evolution des abondances en unités log des flores indicatrices à Saint Jean de Luz en 2010 (Source : IFREMER/Quadrige²/REPHY)

Les résultats confirment les résultats présentés précédemment. Le mois de mai est dominé par les taxons du genre *Pseudo-Nitzschia* dont deux espèces sont toxiques. Le mois de juin est caractérisé par la présence l'espèce *Alexandrium minutum*, les genres *Dinophysis* (toxiques) et *Pseudo-Nitzschia*. Le mois de juillet est caractérisé par la forte présence de *Chaetoceros decipiens* et *Pseudo-Nitzschia* complexe *delicatissima*.

4.1.3.4. Concentrations en sels nutritifs (novembre à avril)

Les résultats sont présentés en annexe 6. Ils démontrent une utilisation de ces sels nutritifs en fin d'hiver – début de printemps.

4.1.4. Contexte des apports anthropiques en mer en 2010

4.1.4.1. Caractérisation des dragages en 2010

Tableau 1 : Synthèse des opérations de dragage 2010 (Source : CCI Bayonne)

Date de début	Date de fin	Nom de drague	Type de drague	Volume fosse de garde/embouchure (m ³)	Volume souilles/chenal (m ³)	Volume total (m ³)
23/02/2010	10/03/2010	MARIEKE	aspiratrice	273 456	309 074	582 530
25/04/2010	08/05/2010	LA MAQUELINE	benne	0	19 800	19 800
25/09/2010	06/10/2010	AMAZONE	aspiratrice	231 948	61 026	292 974
			Total	505 404	389 900	895 304

En 2010, 2 campagnes de dragage du port de Bayonne ont été réalisées comme chaque année :

- 1 campagne de printemps avec intervention de 2 engins : fin février pour la drague aspiratrice en marche qui prélève les gros volumes et fin avril pour les finitions de pied de quais à la drague à benne,

- 1 campagne d'automne fin septembre. Ceci a conduit à la remobilisation de 900 000 m³ de sédiments dont 505 000 m³ de sables de l'embouchure et de la fosse de garde, et 390 000 m³ de vases provenant essentiellement de la souille du quai Saint Bernard et du chenal de navigation face à la zone portuaire de Saint Bernard.

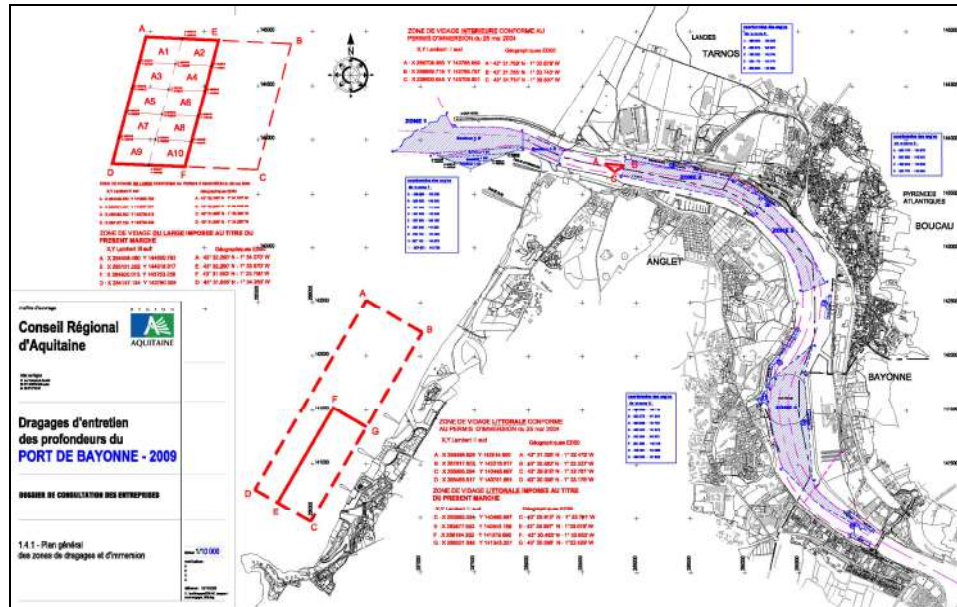


Figure 15 : Zones de dragages et de dépôt des sédiments du Port de Bayonne (Source : CCI Bayonne)

15 170 tonnes de sables ont été clapés au niveau de la zone côtière d'Anglet, le reste ayant été déposé au niveau de la zone réglementaire située à environ 1 mille de l'embouchure de l'Adour. Ces deux zones sont des zones d'immersion autorisées par l'arrêté du 24 mai 2004, la zone côtière d'Anglet étant réservée exclusivement à l'immersion des sables de l'embouchure. Les résultats des analyses des sédiments 2010 sont présentés en annexe 7.

4.1.4.2. Caractérisation des rejets des stations d'épuration en 2010

Bien que la donnée existe, elle n'a pas été accessible dans le cadre de cette étude. Un rendez-vous avec les communautés de communes de la côte basque, gestionnaires des stations d'épuration, est à cet égard prévu début 2011.

4.2. Caractérisation du liga

Il s'agit ici de déterminer la composition précise du liga et si celle-ci évolue dans le temps. La caractérisation du liga est obtenue grâce:

- aux enquêtes auprès des pêcheurs sur l'ensemble du littoral basque,
- aux échantillonnages de pêches sur l'ensemble du littoral basque,
- aux résultats d'analyses des échantillons prélevés au point d'échantillonnage.

4.2.1. Questions posées

- Quelle est la composition du liga ?
- Quels sont les phénomènes associés observés ?
- La composition et l'abondance du liga évoluent-elles dans le temps ?

- La composition du liga renferme-t-elle des composants :
 - Permanents ou saisonniers ?
 - Marins ou continentaux ?
 - Présentant des risques sanitaires pour l'homme, le milieu où les espèces ?
 - Pouvant expliquer son pouvoir d'agglutination sur les engins de pêche ?

4.2.2. Caractérisation macroscopique et phénomènes associés

Au total, nous disposons de 444 observations de liga obtenues de la façon suivante :

- 313 observations à partir du système d'enquête auprès des pêcheurs sur le littoral basque,
- 105 observations à partir des échantillonnages des pêches sur le littoral basque,
- 26 observations à partir des échantillonnages de liga sur le point d'échantillonnage.

Toutes les observations macroscopiques de liga témoignent :

- D'une boue marron avec des pigmentations allant du jaune au rouge,
- D'une texture collante à gluante fibreuse,



Figure 16 : Illustration de l'aspect macroscopique du liga (Source : IMA)

- D'un fort pouvoir d'agglutination avec une formation rapide de colloïdes.



Figure 17 : Illustration du pouvoir agglutinant du liga :
liga brut à gauche, liga sédimenté 5 minutes après à droite (Source : IMA)

Parmi les observations annexes réalisées parallèlement à la description du liga, on retrouve essentiellement :

- Une eau limpide transparente dans 95 % des cas, exception faite du mois d'octobre en période de dragage du port de Saint Jean de Luz,
- Des eaux côtières essentiellement vertes.

La principale interrogation des pêcheurs se pose sur la courantologie côtière et le temps de résidence des particules. Empiriquement, il leur semble que le temps de renouvellement des eaux côtières par les eaux du large se fait moins fréquemment.

4.2.3. Composante biologique du liga

4.2.3.1. Composition faunistique et floristique

53 macrotaxons et 61 microtaxons ont été recensés au cours de l'étude.

- **Les macrotaxons**

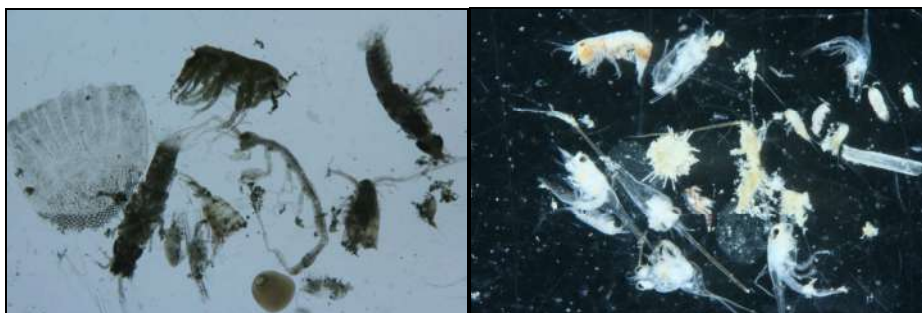


Figure 18 : Illustration de macrotaxons rencontrés dans le liga (Source : LAPHY)

Ces organismes ont été regroupés en 4 groupes d'abondances variables (cf. annexe 8):

- les cnidaires (69% du total zooplanctonique),
- les macrotaxons autres (23%),
- les œufs et larves d'organismes diverses (6%),
- les crustacés copépodes (2%).

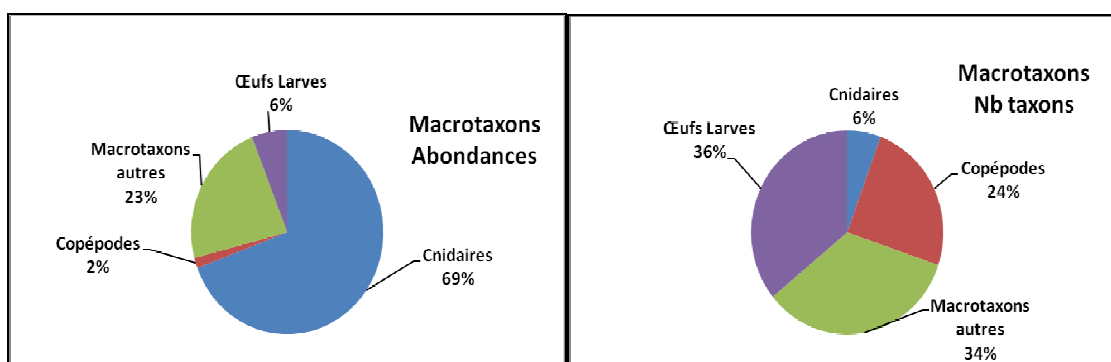


Figure 19 : Abondance et diversité des macrotaxons (Source : LAPHY)

Malgré leurs abondances, les cnidaires sont faiblement diversifiés (6% des espèces) contrairement aux autres groupes qui sont plus diversifiés qu'abondants :

- 24% du total des espèces sont des copépodes qui ne représentent que 2% des abondances,
- 36% du total des espèces sont des œufs et larves (méroplancton) qui ne représentent que 6% des abondances

Les copépodes sont surtout représentés par des espèces planctoniques libres, certaines formes étant parasites (*Caligus sp.*).

Les cnidaires sont représentés par les deux stades :

- sous forme de polypes benthiques et fixés,
- sous forme de méduses libres et planctoniques.

Il est à noter également le nombre élevé de taxons larvaires qui concernent beaucoup d'espèces marines, en particulier les crustacés décapodes, mollusques, annélides et poissons, qu'elles soient benthiques ou planctoniques.

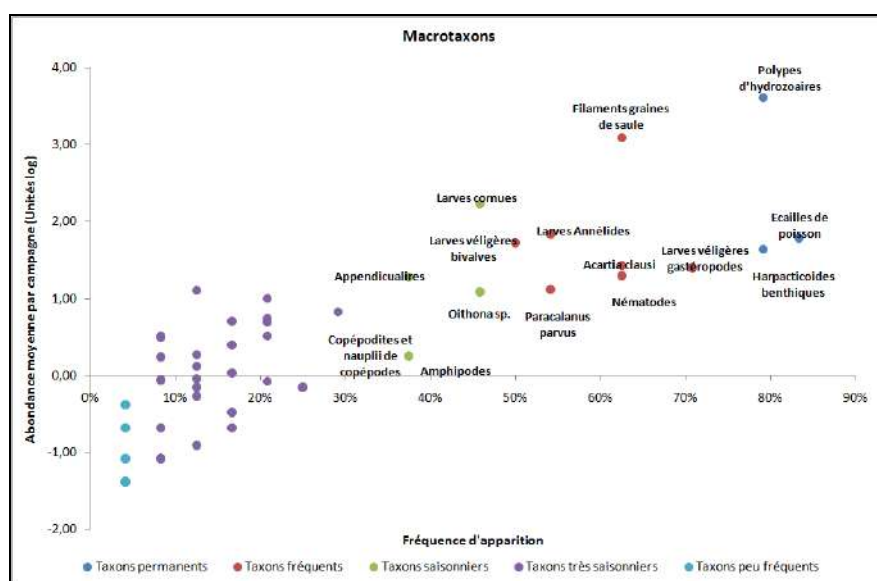


Figure 20 : Distribution fréquence d'apparition / abondance moyenne par campagne des macrotaxons (Source : IMA)

• Les microtaxons

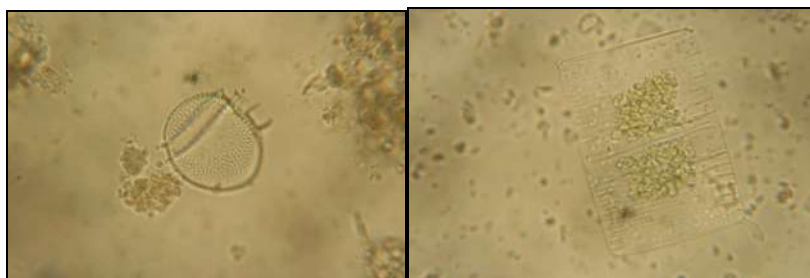


Figure 21 : Illustration du microplancton rencontré dans le liga (Source : LAPHY)

Ces organismes ont été regroupés en 3 groupes d'abondances variables (cf. annexe 9):

- les diatomées (97% du total des abondances),
- les autres microtaxons (2%)
- les Péridiniens ou Dinoflagellés (1%).

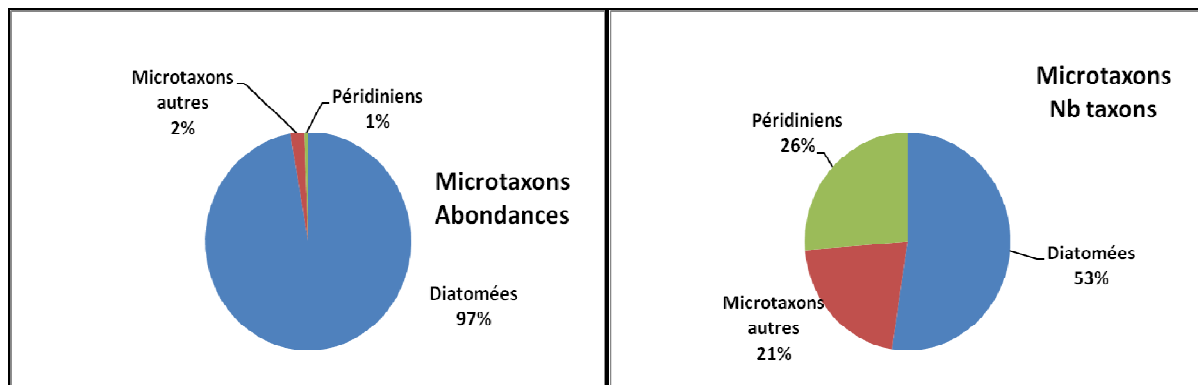


Figure 22 : Abondance et diversité des microtaxons (Source : LAPHY)

Plus de la moitié (53%) des espèces microtaxoniques sont des diatomées (32 espèces) très dominantes dans les échantillons.

Les Périidiniens sont représentés par 16 espèces et forment un groupe peu abondant par rapport aux autres microtaxons.

Les espèces vénéneuses (*Peudo nitzschia sp.*, *Dinophysis sp.*, *Ceratium sp.*, *Prorocentrum sp.*) de par leur densité toujours faibles, ne constituent pas un risque sanitaire particulier.

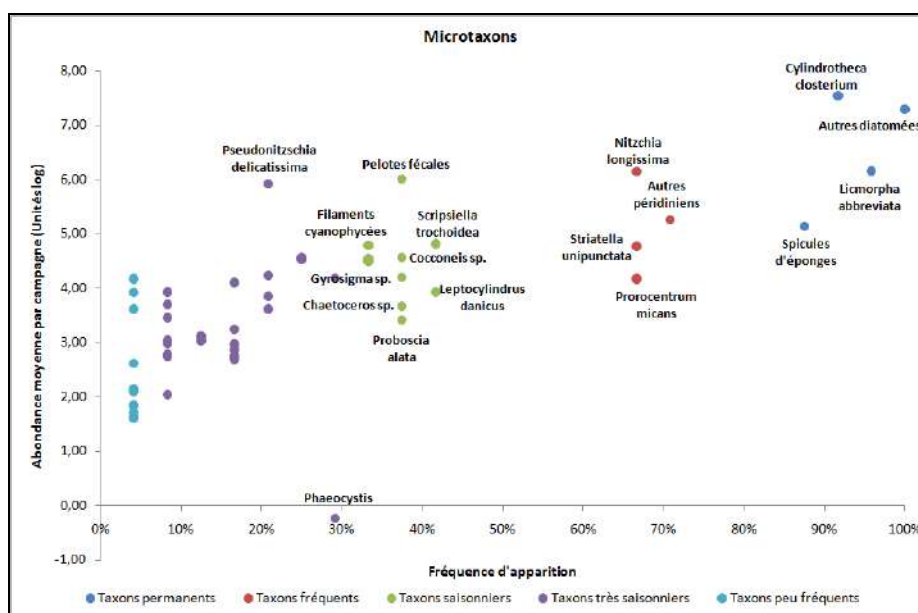


Figure 23 : Distribution fréquence d'apparition / abondance moyenne par campagne des microtaxons (Source : IMA)

4.2.3.2. L'évolution temporelle des abondances et de la diversité

L'évolution temporelle des abondances des groupes de micro et macro taxons sont présentés en annexe 10.

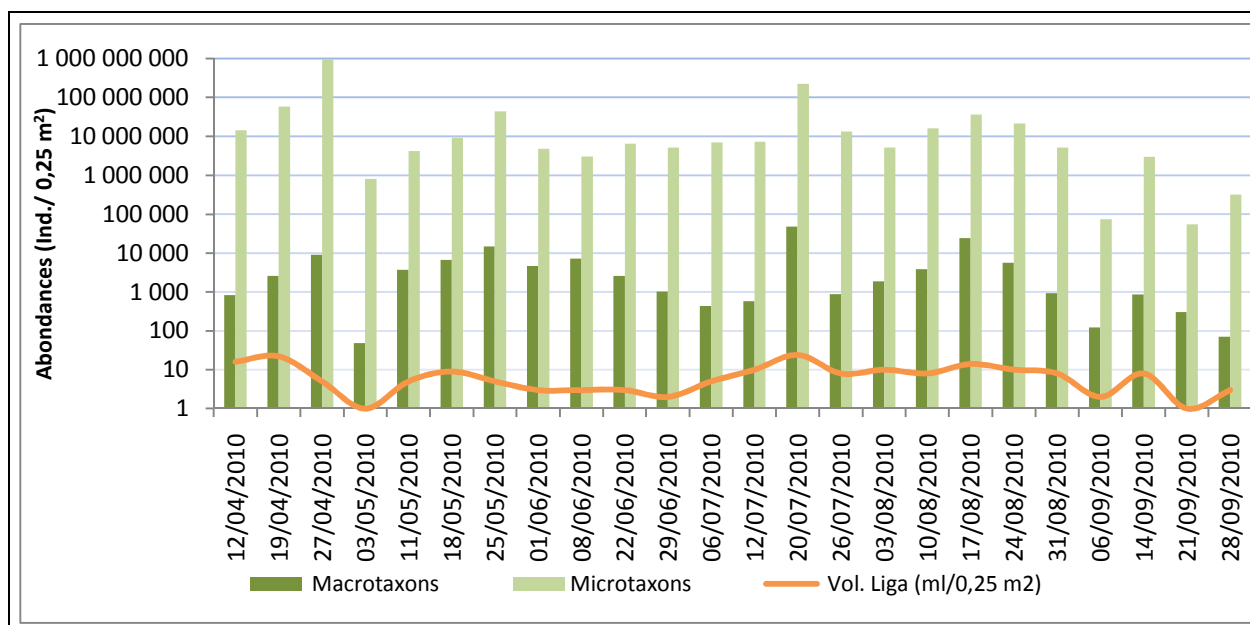


Figure 24 : Evolution des abondances sur la période d'étude (Source : LAPHY)

Les abondances varient de 953 595 672 individus /0,25 m² de filet le 27 avril 2010 à 55 032 individus /0,25m² de filet le 21 septembre. L'abondance moyenne sur l'ensemble de la période est de 60 065 548 individus / 0,25m² +/- 195 701 020 ce qui témoigne d'une grande variabilité.

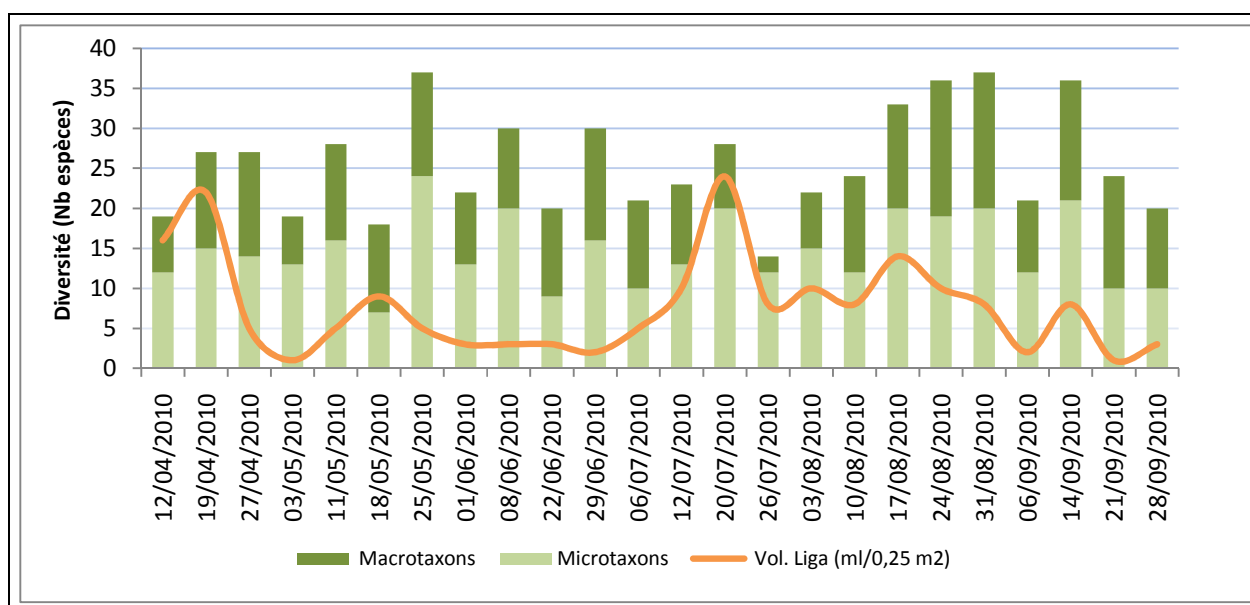


Figure 25 : Evolution de la diversité des espèces au cours de la période d'étude (Source : LAPHY)

Le nombre d'espèces varie de 41 espèces par échantillon le 25 mai à 15 le 26 juillet. La diversité moyenne sur l'ensemble de la période est de 27,8 espèces / échantillon +/- 6,6.

Les abondances et diversités sont cycliques durant toute la période d'étude, avec **deux pics printaniers et estivaux** qui suivent approximativement le volume de liga récolté. Plus le liga est abondant, plus les abondances et le nombre d'espèces d'organismes macro et microtaxoniques sont élevées. Ceci montre que **le volume de liga est dépendant à la fois de la fraction organique particulaire non vivante piégée, et de cette fraction vivante qui colonise la surface des échantillonneurs.**

Le pic estival est assez atypique et témoigne d'une part d'apports nutritifs en milieu marin et d'autre part d'une production locale

Les microtaxons sont toujours plus abondants que les macrotaxons d'un facteur x 1 000 à x 10 000, malgré un nombre d'espèces approximativement identiques.

4.2.3.3. Saisonnalité des organismes

Dans la composition biologique du liga, il est nécessaire de distinguer les éléments récurrents des éléments saisonniers à rares. La saisonnalité et l'abondance saisonnière de chaque élément sont présentées en annexe 11.

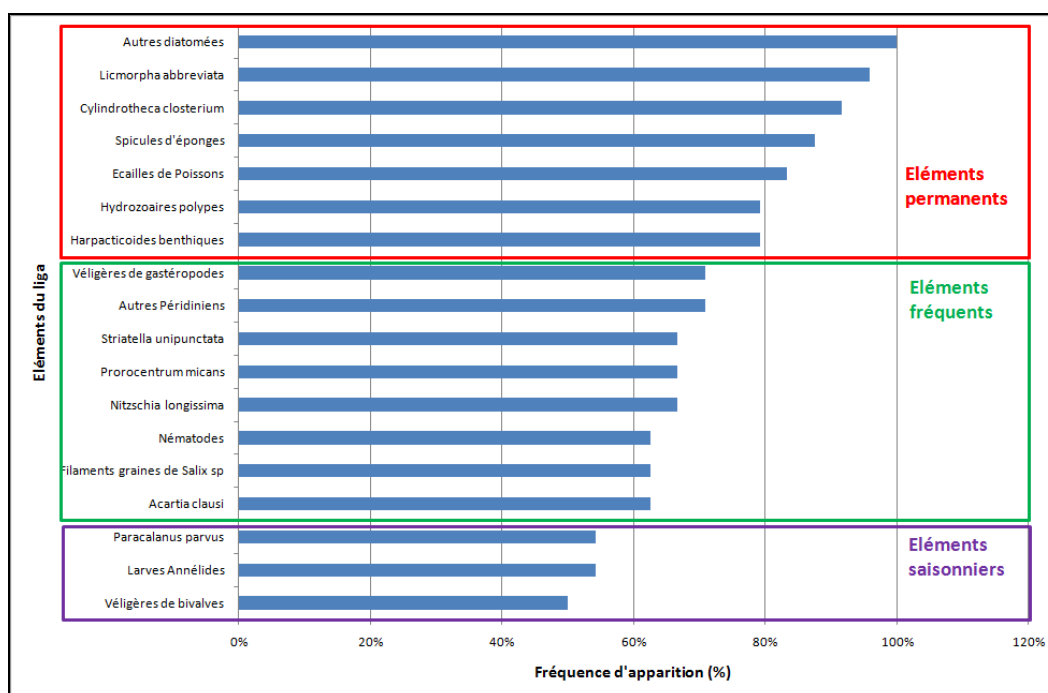


Figure 26 : Prévalence des éléments permanents à saisonniers du liga (Source : IMA)

Les éléments permanents (fréquence d'apparition > 75 %) du liga sont :

- Des diatomées dont *Licmorpha abbreviata* et *Cylindrotheca closterium*,
- Des résidus de matière vivante dont des spicules d'éponge et des écailles de poisson,
- Des éléments benthiques dont les polypes d'hydrozoaires et des copépodes harpacticoides benthiques.

Parmi les éléments fréquents (fréquence d'apparition comprise entre 50 et 75 %) du liga, on retrouve :

- Des larves de gastéropodes et de bivalves,
- Des péridiniens dont *Prorocentrum micans*,
- Des diatomées : *Striatella unipunctata* et *Nitzschia longissima*,
- Des vers nématodes,
- Des débris végétaux continentaux comme les graines de saule,
- Des éléments zooplanctoniques tels que le copépode *Acartia clausi*.

Parmi les éléments saisonniers (fréquence d'apparition comprise entre 30 et 50 %), on retrouve :

- Des copépodes tels que *Oithona sp.*, *Paralanus parvus*,
- Des diatomées : *Leptocylindrus danicus*, *Gyrosigma sp.*, *Chaetoceros sp.*, *Proboscia alata* et *Cocconeis sp.*,
- Des pelotes fécales,
- Des appendiculaires,
- Des larves d'annélides,
- Des larves cornues,
- Des amphipodes,
- Des protozoaires dont *Prorocentrum minimum*,
- Des filaments de cyanophycées.

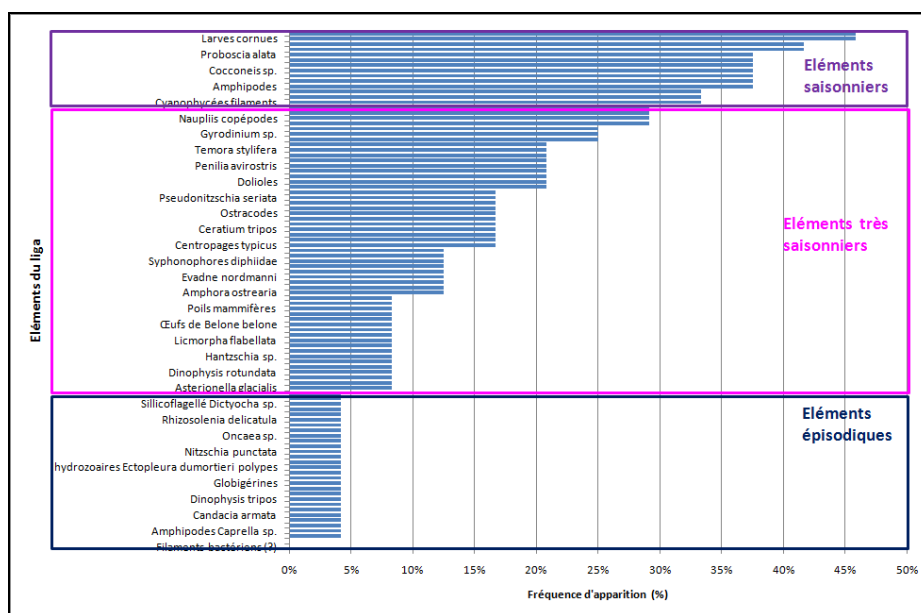


Figure 27 : Fréquence d'apparition des éléments saisonniers à épisodiques du liga (Source : IMA)

Ces éléments n'apparaissant que rarement dans la composition du liga ne peuvent pas être retenus comme des éléments significatifs de la constitution du liga.

4.2.3.4. Origine des organismes

Les différents groupes de taxons en fonction de leur origine sont présentés en annexe 12 et l'évolution de leurs abondances et diversité en annexe 13.

Les organismes vivants constituant le liga ont deux origines principales :

- **Taxons d'origine endogène** : Ils sont issus du milieu aquatique dans lequel il se forme. On distingue deux sous-groupes :
 - les éléments benthiques qui proviennent du fond sédimentaire sous-jacent (20% des taxons). L'hydrodynamisme important dans la zone côtière permet en effet la remise en suspension de ces éléments dans les eaux superficielles et explique en partie leur présence dans le liga.
 - Les éléments planctoniques majoritaires (80%) qui proviennent du milieu pélagique environnant.
- **Taxons d'origine exogène** : ils sont issus du milieu aérien et continental situé à proximité. Ils ont été inclus dans le compartiment benthique qui est normalement leur lieu de destination finale. Il s'agit de :
 - grains de pollen de résineux,
 - poils de mammifères,
 - filaments de graines de saules (certainement *Salix atrocinerea*) très abondants à certaines périodes de l'année.

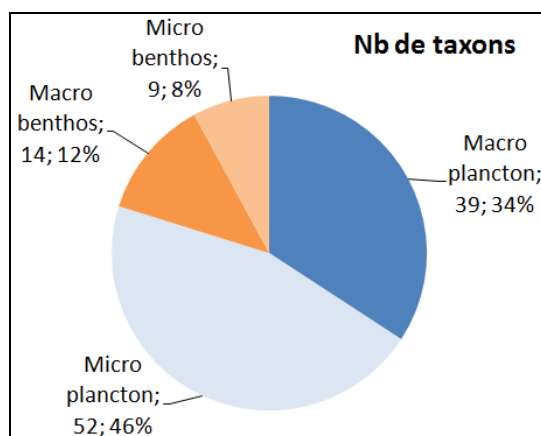


Figure 28 : Distribution du nombre de taxons marins en fonction de leur compartiment dans la colonne d'eau et de leur taille (Source LAPHY).

Le premier chiffre représente le nombre de taxon et le second le pourcentage par rapport au total.

Une nouvelle fois, les abondances les plus élevées concernent les taxons de petite taille : microplancton et microbenthos.

En ce qui concerne les macrotaxons, on notera également que les organismes macrobenthiques, par leurs systèmes variés de colonisation et de fixation sur l'échantillonneur, sont plus abondants que les éléments macroplanctoniques, malgré une diversité moins importante.

4.2.3.5. Les composants agglutinants

De nombreux organismes planctoniques, notamment des diatomées, peuvent être à l'origine d'agrégats par la production d'un mucus externe qui permet l'encollage de particules organo-minérales de la taille des silts ou des argiles (Dupont & Lafite, 2005).

En plus de ce phénomène, un certain nombre de taxa ont été identifiés dans cette étude comme susceptibles de contribuer à l'agrégation des particules organo-minérales constituant le liga : filaments de graines de saule, filaments d'origine algale de rhodophycées ou chlorophycées, filaments d'œufs d'orphie (poisson bélonidae), filaments bactériens (dans le liga de 2007 uniquement), polypes d'hydrozoaires très abondants dans le liga, et patch ponctuels de *Phaeocystis* sp.

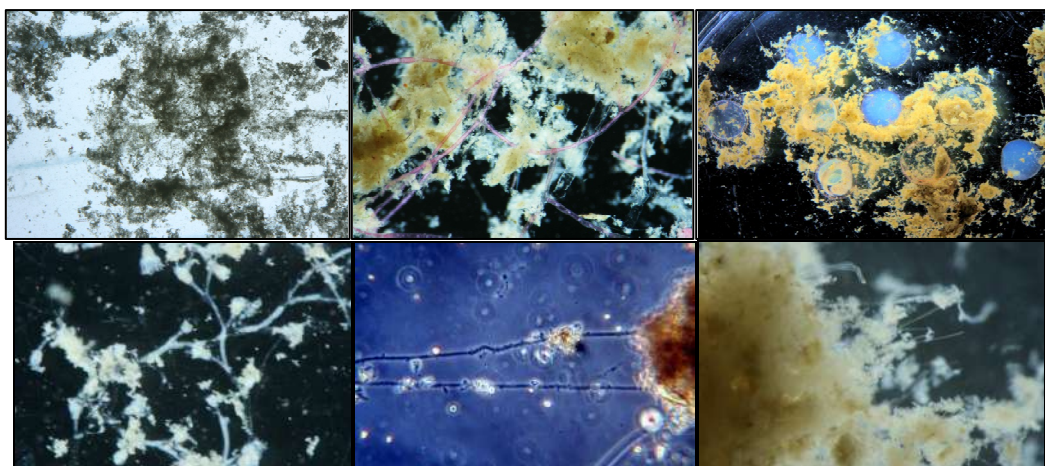


Figure 29 : Illustration de quelques taxons urticants rencontrés dans le liga (Source : LAPHY)

Ces composants filamenteux et/ou producteurs de mucus se retrouvent dans le liga sur toute la période d'étude selon la succession temporelle suivante :

- au printemps apparaissent les filaments de graines de *Salix*,
- en mai - juin suivent les œufs d'orphies,
- puis des amas de *Phaeocystis* apparaissent en fin de période estivale qui témoignent d'une production locale et donc d'apport nutritifs en été.

Les polypes d'Hydrozoaires prédominent sur pratiquement l'ensemble de la période d'étude avec de fortes abondances en été.

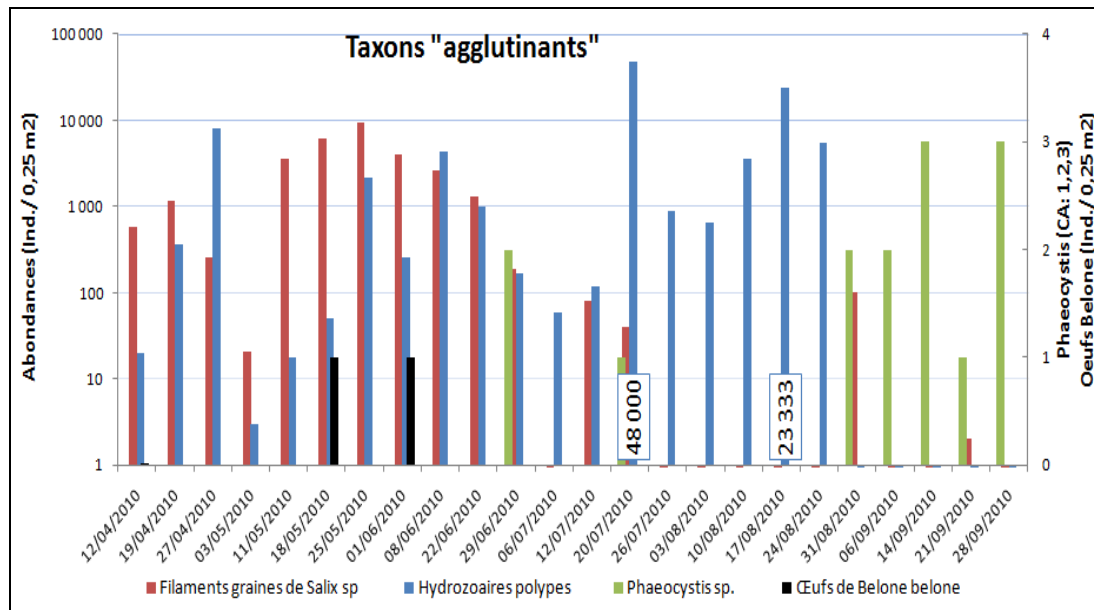


Figure 30 : Evolution des abondances des taxons agglutinants du liga pendant la période d'étude (Source : LAPHY)

Les polypes d'hydrozoaires dominent nettement ces taxons que ce soit en abondance ou en fréquence d'apparition : ils sont le principal vecteur biologique d'agglutination. On peut distinguer plusieurs processus de piégeage du matériel organo particulaire par ces éléments vivants :

- **par filtration de la masse d'eau** jamais totalement immobile par rapport à l'échantillonneur fixé dans la masse liquide. Elle concerne les taxons filamenteux.
- **par adhésion** (adsorption ?) et encollage des particules inertes par production de mucus (*Phaeocystis sp*, Cnidaire, diatomées cf ci-dessus).

Enfin, il ne semble pas y avoir de corrélation entre la quantité de liga récolté et la présence de ces taxons.

4.2.3.6. Les taxons urticants

Le contact avec certains organismes entiers (Cnidaire, diatomées) ou leurs organes (spicules d'éponges, soies d'Annélides polychètes ou de crustacés) présents dans le liga peut provoquer une réaction cutanée inflammatoire plus ou moins importante selon les individus.



Figure 31 : Illustrations de quelques taxons urticants du liga (Source : LAPHY)

Seuls les Cnidaires sont véritablement venimeux, c'est-à-dire capables d'injecter par piqure traumatique un venin à travers les tissus mis en contact grâce à un organe spécialisé : le cnidoblaste. Ces organismes sont très abondants dans le liga, représentés sous les phases polypes ou méduses par plusieurs espèces (genre *Obelia sp.*, *Sertularia sp.*, *Ectopleura sp.*), par ailleurs très présentes dans le benthos marin de la côte basque.

D'autres Cnidaires Syphonophores strictement planctoniques ont été recensés dans le liga notamment en période estivale.

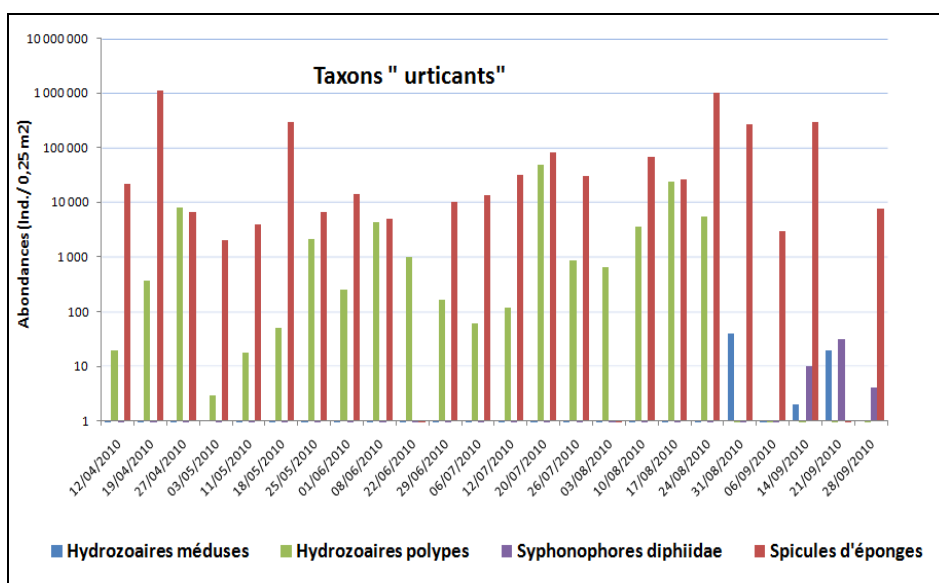


Figure 32 : Evolution des abondances de taxons urticants du liga pendant la période d'étude (Source : LAPHY)

Enfin, un certain nombre d'organismes du phytoplancton présent dans les eaux littorales de la côte Basque ont des propriétés venimeuses et provoquent uniquement par ingestion des troubles neurologiques, amnésiques ou digestifs. Il s'agit des diatomées du genre *Pseudo-nitzschia sp.*, et des Péridiniens du genre *Dinophysis sp.* et *Prorocentrum sp.*, tous peu abondants durant toute la phase d'étude.

4.2.4. Composante organique du liga

4.2.4.1. Granulométrie du liga

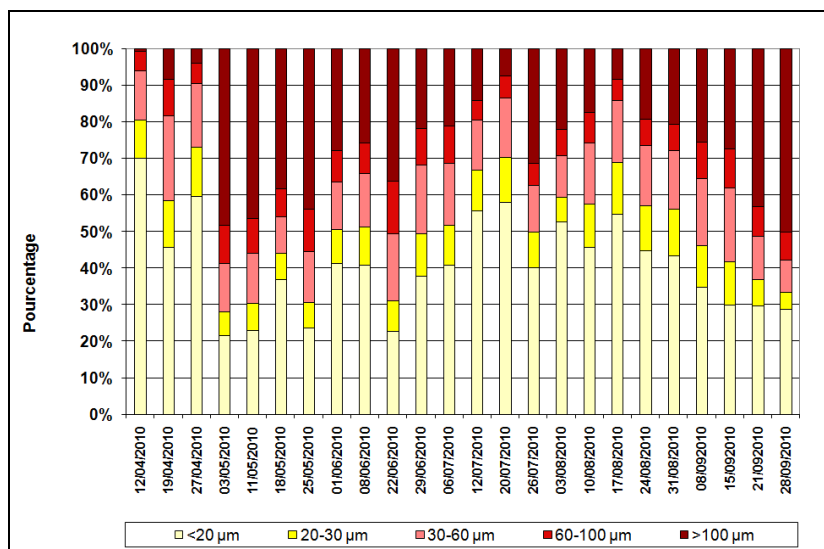


Figure 33 : Evolution de la granulométrie des échantillons de liga (Source : GEOTRANSFERT/UMR EPOC)

La granulométrie est spécifique du liga :

- la proportion de matériel fin (< à 20 µm) est prépondérante,
- toutes les fractions contiennent de la matière organique en abondance,

4.2.4.2. Teneur en Carbone Organique Particulaire (COP) du liga

Les échantillons étant prélevés après 144 h d'immersion, la matière organique s'est dégradée in situ (consommation potentielle de la matière organique) et les résultats présentés doivent être interprétés comme des ordres de grandeur minimum.

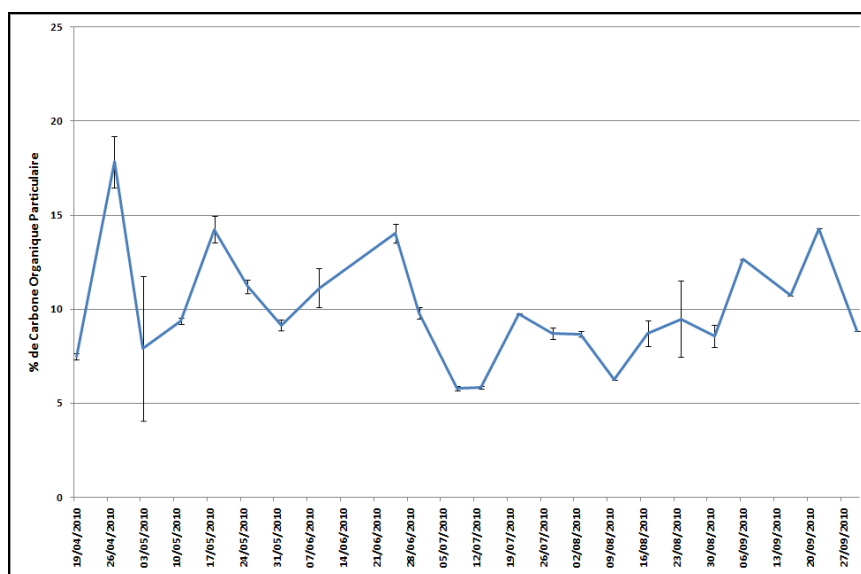


Figure 34 : Evolution des teneurs en carbone organique particulaire des échantillons de liga (Source : GEOTRANSFERT / UMR EPOC)

Les **valeurs en COP sont élevées**, la plupart des valeurs oscillant entre 5,79 le 06 juillet 2010 et 17,85 % le 27 avril 2010. La valeur moyenne sur la période d'échantillonnage est de 10,2 % +/- 3 %. Ces valeurs révèlent un **enrichissement en matière organique**. Les teneurs en COP sont fortes au printemps, diminuent en été et augmentent légèrement en septembre.

Par comparaison, les matières en suspension de l'Adour, lors de crues classiques, contiennent, en moyenne, de 3 à 5 % de carbone organique.

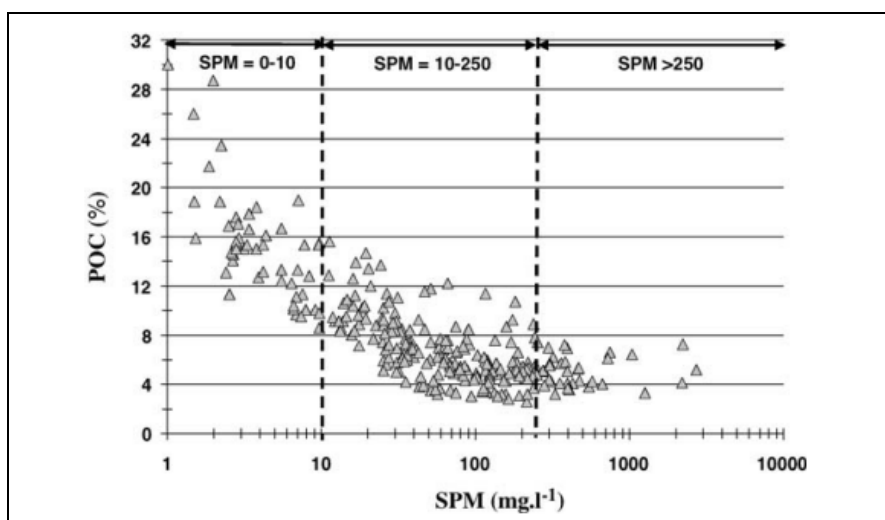


Figure 35 : Corrélation entre %COP (POC%) et teneurs en MES (SPM mg/l) dans les matières en suspension de la Nivelle (Coynel et *al.*, 2005)

La base de données de l'UMR EPOC, acquise à très haute fréquence sur le fleuve Nivelle entre 1995 et 1996, montre une valeur moyenne de 6% de carbone organique particulaire, avec un minimum de 2,6 % de COP en crue (décembre 1996) et un maximum de 30 % de COP en étiage (décembre 1995) (Coynel et *al.*, 2005).

Par ailleurs, les matières en suspension des stations d'épuration contiennent, en moyenne, de 35 à 45 % de carbone organique particulaire (Henri Etcheber, Communication personnelle).

Toutes ces informations nous indiquent que l'origine de la matière organique du liga ne peut être expliquée par un seul apport : **le liga est la résultante de plusieurs apports en matière organique**. Les valeurs en % de COP obtenues dans l'analyse du liga sont intermédiaires entre les valeurs connues des apports fluviaux et les valeurs habituellement observées au niveau des stations d'épuration.

Par ailleurs, le taux de matière organique peut être estimé en multipliant le % de COP par deux. Le taux de matière organique observé dans le liga est donc, en moyenne, de 20,4%, avec des valeurs oscillant de 12 à 36 %. En conséquence, le taux de matière minérale moyen est de 79,6 % avec des variations entre 64 et 88 %. Ce dernier résultat renseigne sur la nécessaire prise en compte, dans la formation du phénomène, des apports terrigènes et/ou de la remise en suspension des sédiments, mais pas seulement.

4.2.4.3. Rapports δC^{13} , δN^{15}

L'analyse des δC^{13} et δN^{15} origine du liga devait renseigner sur l'origine continentale ou océanique de la matière organique selon les moyennes de références présentées ci-dessous.

Tableau 2 : Moyennes pour les valeurs de δC^{13} et leurs incertitudes pour différents matériaux (Source : Stuiver et Pollach, 1977, Pollach, 1976)

Materiel	delta13C (pour mille)		Materiel	delta13C (pour mille)
Bicarbonate marin	1 ± 1		Organismes marins	-15 ± 2
Carbonate marin	0 ± 2		Plante d'eau douce submergée	-16 ± 4
Gaz carbonique atmosphérique	-9 ± 2		Céréales (Blé, Avoine, Riz, etc.)	-23 ± 2
Bicarbonate d'eau douce	-12 ± 2		Feuille d'arbre, de Blé, de Lin, etc	-27 ± 2

Les valeurs de δC^{13} varient entre -17,5 et -22,8 ce qui correspond à un signal intermédiaire entre une origine océanique et continentale. Ceci peut s'expliquer par le mélange de :

- Matériel océanique : phytoplancton et zooplancton, larves...
- Matériel continental : apports fluviaux et anthropiques.

Bien que les échantillons soient le fruit de la récolte de matériel sur une semaine et montrent des dégradations de la phase organique, les résultats obtenus, bien que perfectibles par un échantillonnage spontané plus adapté, renforcent l'origine multiple des apports organiques dans le processus de formation du liga.

4.2.4.4. Analyses exploratoires

Les analyses de chlorophylle montrent des rapports $chl a_a$ /phéopigments qui témoignent de l'état très dégradé de ce matériel. Le rapport C/N montre une dégradation semblable. Ces résultats sont donc inexploitable dans cette étude. Ils devront faire l'objet d'un prélèvement plus adapté pour pouvoir affiner l'origine marine ou terrigène de la fraction organique du liga.

4.2.5. Composante bactériologique du liga

La recherche de bactéries filamenteuses dans le liga sur les 9 premiers échantillons (12 avril 2010– 8 juin 2010) s'est révélée négative.

A partir du 22 juin et jusqu'au 28 septembre, la recherche des bactéries indicatrices de contamination fécale dans le liga a été systématiquement réalisée.

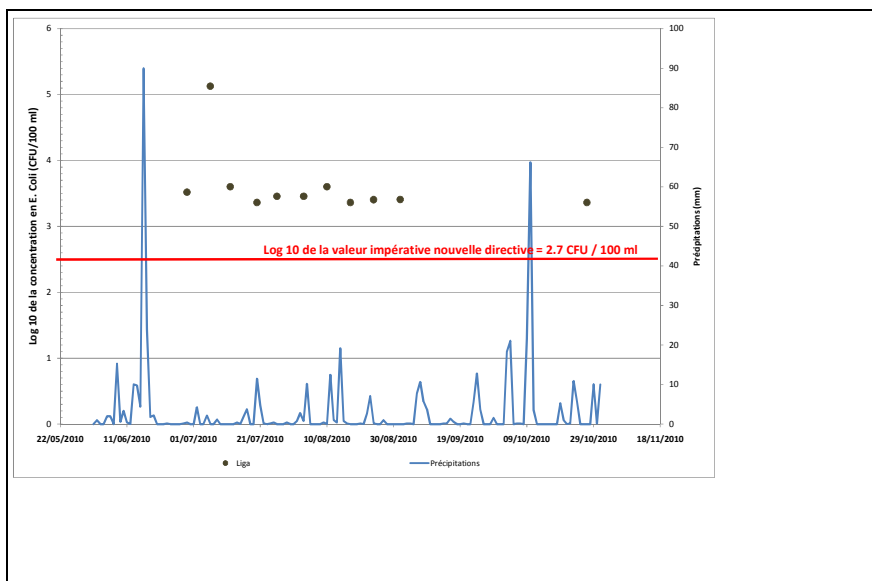


Figure 36 : Evolution des teneurs en *Escherichia coli* (EC) dans le liga (Source : Laboratoire des Pyrénées)

Le liga renferme des *Escherichia coli*. (EC) En effet, ces bactéries sont retrouvées systématiquement du 22 juin au 27 octobre (date du dernier prélèvement supplémentaire).

Du fait du protocole d'échantillonnage (144 h/semaine d'immersion de juin à août et 24 h/semaine en septembre), il semble difficile d'interpréter les concentrations observées. Toutefois, la **teneur ne varie pas en fonction du temps de filtration** du dispositif d'échantillonnage. Hors valeurs extrêmes, la valeur moyenne en *Escherichia coli* est de 2 912 +/- 659 EC / 100 ml de liga.

Le pic est atteint le 6 juillet avec une valeur de 134 200 EC / 100 ml de liga. Cette **valeur extrême apparaît hors période de crue ou de fortes précipitations** et, à ce jour, aucune explication rationnelle n'explique une telle valeur.

Parallèlement à ces mesures de bactéries dans le liga ont été réalisés 3 prélèvements classiques d'eau brute en surface au point d'échantillonnage les 17, 24 et 31 août. Dans les 3 cas, la concentration en *Escherichia coli* retrouvée dans le liga ne reflète pas les concentrations obtenues dans l'eau brute : elles sont respectivement de 2 310, 2 550, 2 570 EC / 100 ml de liga et de 60, 15 et 15 EC / 100 ml d'eau brute. Les résultats des prélèvements de liga et d'eau brute effectués le 27 octobre et analysés par la méthode rapide de détection développée par la cellule Rivage Protech de la Lyonnaise des Eaux confirment ces résultats. En revanche, le protocole utilisé pour les échantillons de Liga met en défaut le bon déroulement de l'analyse et ne permet donc pas de conclure.

Les concentrations en EC observées dans le liga ne reflètent pas les concentrations obtenues dans l'eau brute. Ce dernier point soulève certaines questions :

- Le liga est-il un concentrateur en bactéries ?
- Le liga offre-t-il des conditions de milieu suffisantes à l'augmentation du T_{90}^1 d'*Escherichia coli* en mer voire à son développement ?

¹ Temps nécessaire à l'abattement de 90 % d'une population bactérienne. Le T_{90} moyen d'EC dans l'eau de mer sur le littoral basque est d'environ 24 heures.

- Le liga est-il provoqué par des rejets dont EC serait le témoin indicateur ?

Pour pouvoir répondre à ces questions, et donc définir plus précisément de l'impact sanitaire potentiel du liga, il est nécessaire d'adapter le protocole d'échantillonnage.

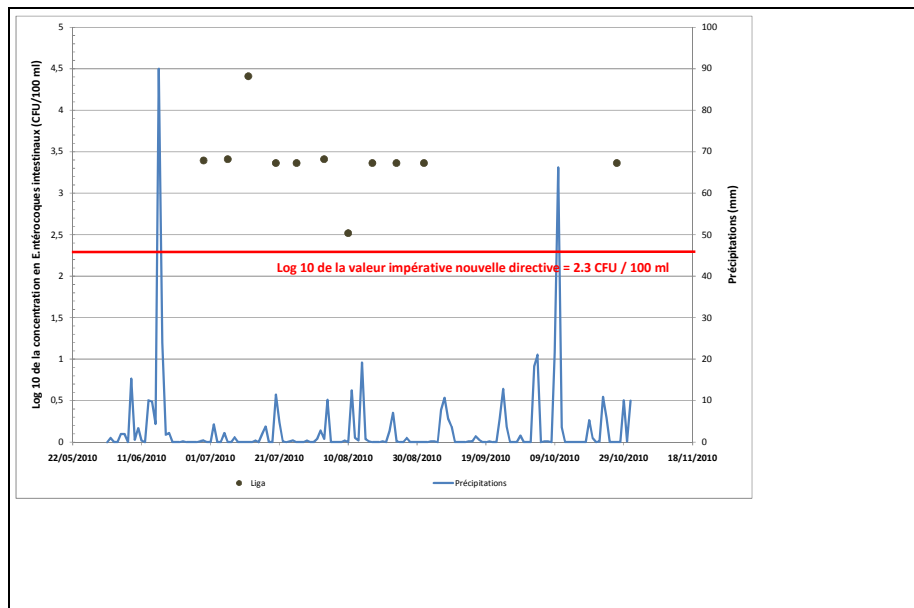


Figure 37 : Evolution des teneurs en Entérocoques intestinaux (EI) dans le liga (Source : Laboratoire des Pyrénées)

Le liga renferme des entérocoques intestinaux (EI) En effet, ces bactéries sont retrouvées systématiquement du 22 juin au 27 octobre (date du dernier prélèvement supplémentaire).

Du fait du protocole d'échantillonnage (144 h/semaine d'immersion de juin à août et 24 h/semaine en septembre), il semble difficile d'interpréter les concentrations observées. Toutefois, la **teneur ne varie pas en fonction du temps de filtration** du dispositif d'échantillonnage. Hors valeurs extrêmes, la valeur moyenne en Entérocoques intestinaux est de 2 181 +/- 660 EI / 100 ml de liga.

Le pic est atteint le 12 juillet avec une valeur de 25 700 EI / 100 ml de liga. Cette **valeur extrême apparaît hors période de crue ou de fortes précipitations** et, à ce jour, aucune explication rationnelle n'explique une telle valeur.

Parallèlement à ces mesures de bactéries dans le liga ont été réalisés 3 prélèvements classiques d'eau brute en surface au point d'échantillonnage les 17, 24 et 31 août. Dans les 3 cas, la concentration en entérocoques intestinaux retrouvée dans le liga ne reflète pas les concentrations obtenues dans l'eau brute : elles sont respectivement de 2 310 EI / 100 ml de liga et de 60, 15 et 15 EI / 100 ml d'eau brute. Les résultats des prélèvements de liga et d'eau brute effectués le 27 octobre et analysés par la méthode rapide de détection développée par la cellule Rivage Protech de la Lyonnaise des Eaux confirment ces résultats. En revanche, le protocole utilisé pour les échantillons de Liga met en défaut le bon déroulement de l'analyse et ne permet donc pas de conclure.

Les concentrations en EI observées dans le liga ne reflètent pas les concentrations obtenues dans l'eau brute, ce qui soulève les mêmes questions qu'énoncées pour les *Escherichia coli*.

4.3. Période de présence et localisation du liga

4.3.1. Questions posées

- A quelle période le liga est-il présent sur le littoral basque ?
- Quelle est l'emprise spatiale du liga ?
 - Quelle est la limite interne (côtière) ?
 - Quelle est la limite externe (vers le large) ?
 - Y-a-t'il des sites d'apparition récurrents sur le littoral basque ?
- Quelle est la position du liga dans la colonne d'eau ?
 - Cette localisation dans la colonne d'eau est-elle liée à la stratification des eaux ?
- Quelles sont les caractéristiques des zones d'apparition du liga ?
- La télédétection est-elle un outil efficace pour détecter le phénomène ?

4.3.2. Période de présence du liga

Le liga a été présent sur le littoral basque de mi-mars à fin octobre sans discontinuer. Le mauvais temps et les fortes houles associées du mois de novembre ont empêché les pêcheurs de sortir en mer. Nous n'avons donc pas d'information pour ce mois. Toutefois, certains pêcheurs ont témoigné de la présence du phénomène, en moindre abondance, au début du mois de décembre.

4.3.3. Localisation sur le littoral basco-landais

Comme nous l'avons évoqué dans le paragraphe 3.2., il a été nécessaire de pondérer les observations des pêcheurs par le temps d'immersion de leur engin et leur pratique de pêche. Les cartographies brutes sont présentées en annexe 14.

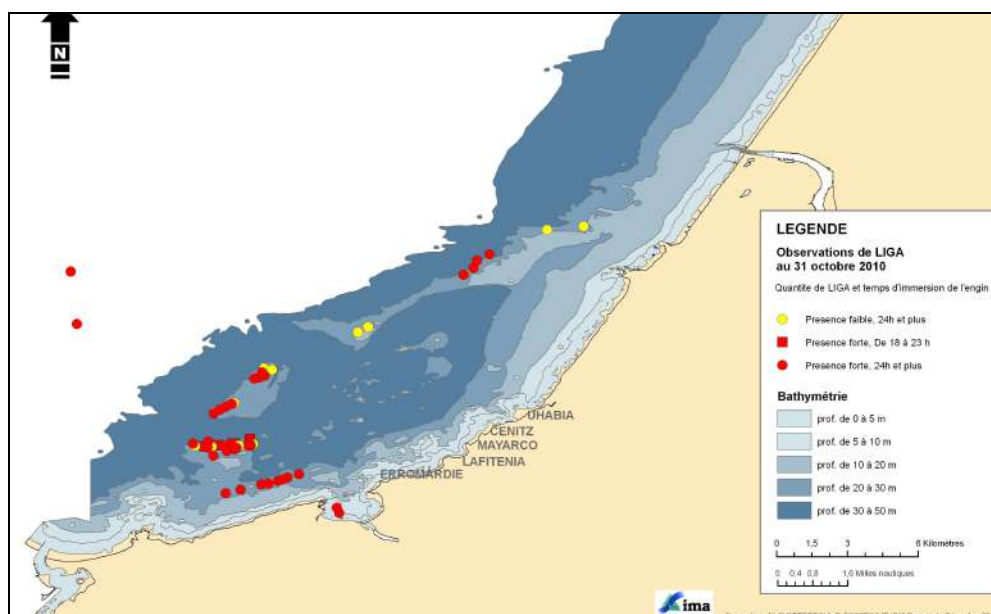


Figure 38 : Observations de liga dans les filets de pleine eau (Source : IMA)

Les observations des pêcheurs sont ici réalisées sur les filets ou des palangres de pleine eau situées au minimum 5 m sous la surface. L'absence de points correspond à une absence d'information et non pas une absence de liga. La carte démontre la présence systématique forte ou

faible du phénomène dans les filets de pleine eau. On le retrouve le long des massifs récifaux, zones fréquentées régulièrement par les pêcheurs. Le phénomène est régulièrement repéré, **en pleine eau, le long de la corniche entre Socoa et Hendaye et sur la basse des esclaves à Biarritz**. Il est important de noter sa présence dans la baie de Saint Jean de Luz.

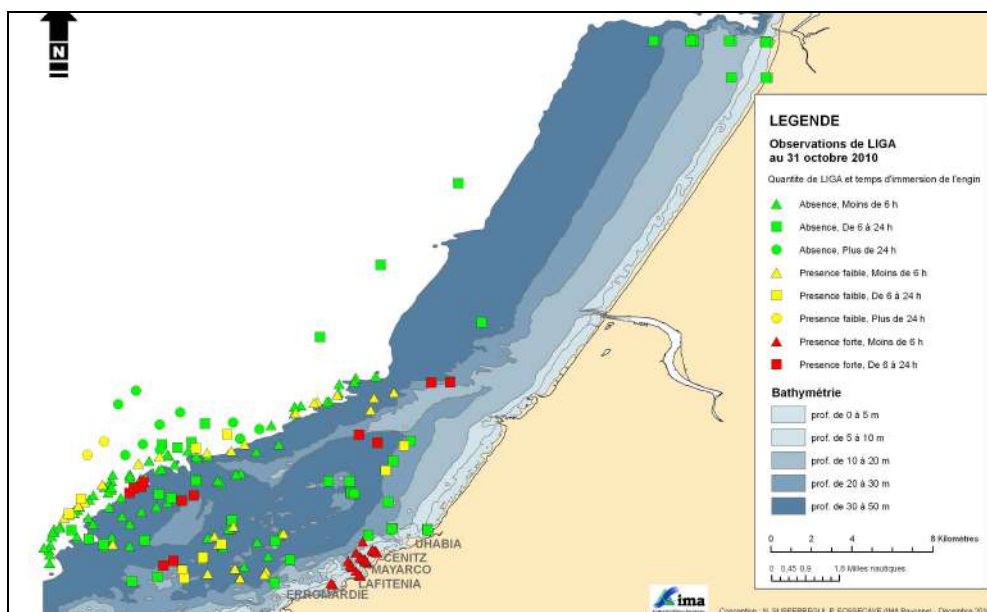


Figure 39 : Observations de liga dans les filets de fond (Source : IMA)

Les observations des pêcheurs sont ici réalisées sur les filets ou des palangres de fond. L'absence de points correspond à une absence d'information et non pas une absence de liga. La carte démontre la présence forte ou faible ou l'absence du phénomène. **On le retrouve régulièrement (entre mai et fin août) sur des petits fonds (< 10 m dans les zones de baignade) entre Saint Jean de Luz et Guéthary.**

On retrouve donc le liga de **l'embouchure de l'Adour au nord, à la frontière espagnole** au sud ainsi que dans les baies de Saint Jean de Luz et Hendaye. Nos contacts à l'AZTI nous ont témoigné de la présence du phénomène dans les eaux ibériques bien que ce dernier soit moins gênant pour les pêcheurs du fait de métiers pratiqués différents. En 2010, aucune observation au nord de l'Adour n'a été réalisée.

Le phénomène est relativement côtier. Les points récurrents d'apparition sont **le long de la corniche et la basse des esclaves en pleine eau, les petits fonds (2 à 10 m dans les zones de baignade) entre Saint Jean de Luz et Guéthary.**

4.3.4. Localisation verticale dans la colonne d'eau

Nous disposons de 3 sources de résultats pour caractériser la position verticale du liga dans la colonne d'eau. Il s'agit :

- Du système d'enquête auprès des pêcheurs sur l'ensemble du littoral basque,
- Du relevé de la présence de liga sur les 3 nappes du dispositif au point d'échantillonnage,
- Des échantillonnages des pêches réalisés à bord de l'Ordagna.

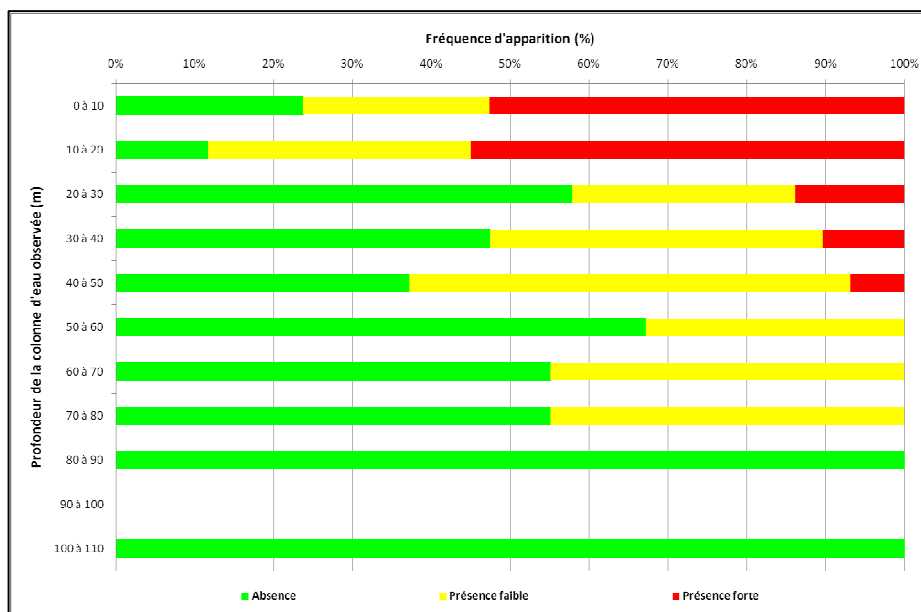


Figure 40 : Fréquence d'apparition du liga par couche de profondeur de la colonne d'eau observée par les pêcheurs (Source : IMA)

Le liga est essentiellement présent dans les couches d'eau proches de la surface situées entre 0 et 20 m, et plus particulièrement **sur la couche 10 – 20 m** où sa fréquence d'apparition est proche de 90%. Plus on s'enfonce dans la colonne d'eau, moins le liga semble être présent.

Il est possible d'appréhender la position du liga dans la colonne d'eau en analysant les résultats des observations faites sur le dispositif d'échantillonnage.

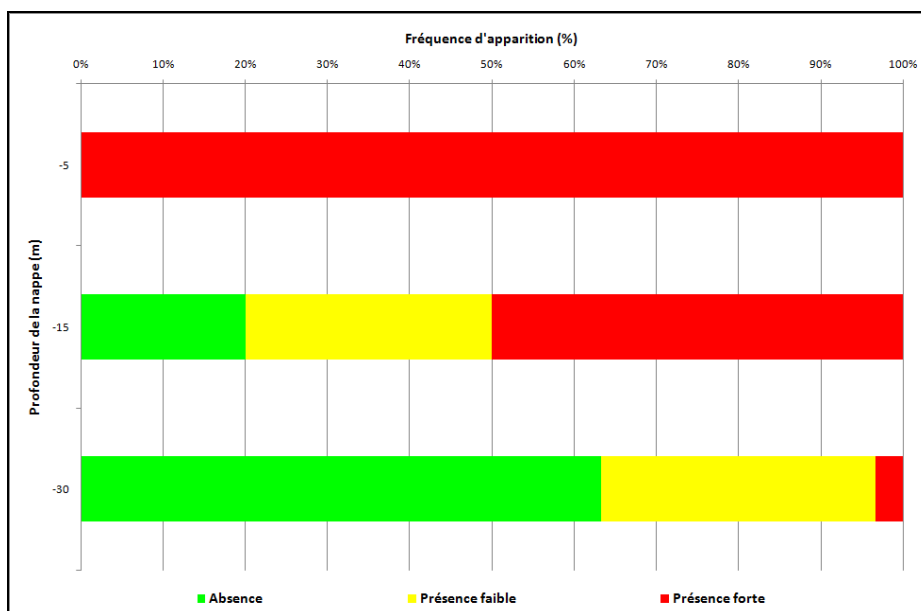


Figure 41 : Fréquence d'apparition du liga sur les 3 nappes du dispositif d'échantillonnage (Source : IMA)

Sur le point d'échantillonnage, le liga est systématiquement présent en abondance sur la nappe située 5 m sous la surface. Dans 80 % des campagnes d'échantillonnages, il est présent sur la nappe située 15 m sous la surface contre seulement 35 % sur la nappe située au fond à 30 m de

profondeur. Une nouvelle fois, nous observons que sa fréquence d'apparition diminue avec la profondeur de la couche d'eau concernée.

A partir des observations sur le dispositif d'échantillonnage, nous avons réalisé une Analyse en Composante principale afin d'analyser d'éventuelles relations entre la présence/abondance du liga sur les différentes nappes et des facteurs hydro-climatiques.

Pour l'analyse, nous avons retenu les variables suivantes :

- **Variables explicatives (intégrées sur les 144 h d'échantillonnage)**
 - Irradiance solaire maximum,
 - Débits maximum,
 - Précipitations maximales,
 - Hauteur de houle maximale,
 - Coefficient de marée maximum,
 - Direction du vent minimum,
 - Température de l'air maximum,
- **Variables explicatives issues de profils verticaux instantanés le jour d'échantillonnage**
 - Delta maximum de la température de l'eau entre le fond et la surface (thermocline),
 - Delta maximum de la salinité de l'eau entre le fond et la surface (Halocline),
- **Variables supplémentaires projetées dans le plan factoriel**
 - Présence de liga sur les nappes de surface, de pleine eau et de fond selon 3 modalités (absence, présence faible, présence forte)

La variance expliquée par les deux premiers axes et de 56 %.

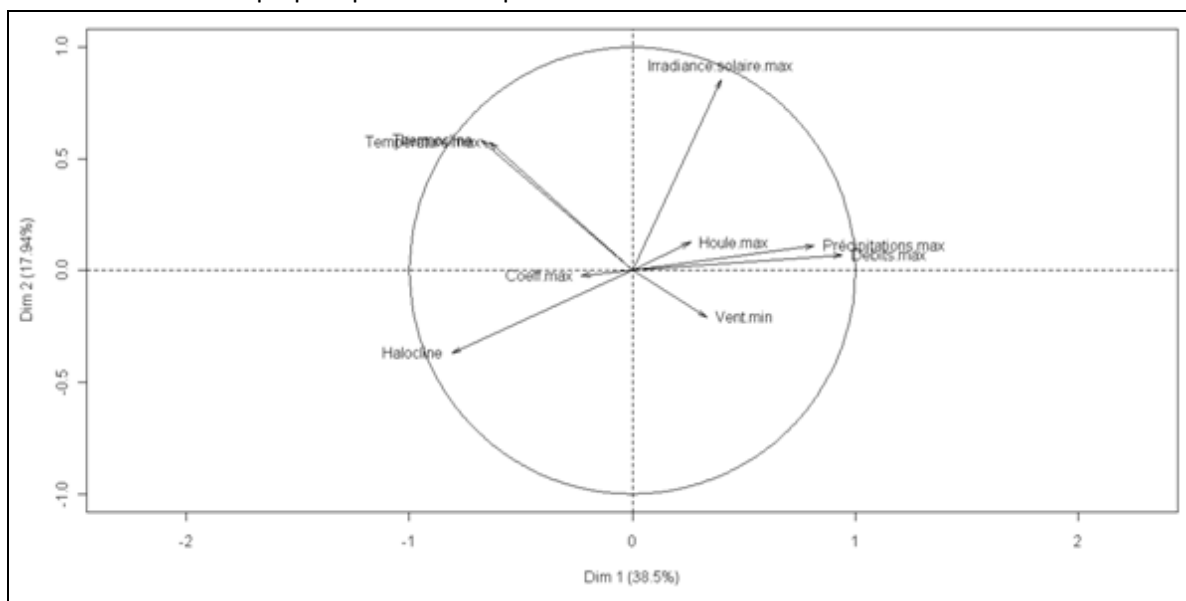


Figure 42 : Cercle de corrélation complet dans le premier plan principal (Source : IMA)

Le cercle des corrélations montre des corrélations entre :

- Précipitations et débits,
- Thermocline et température de l'air

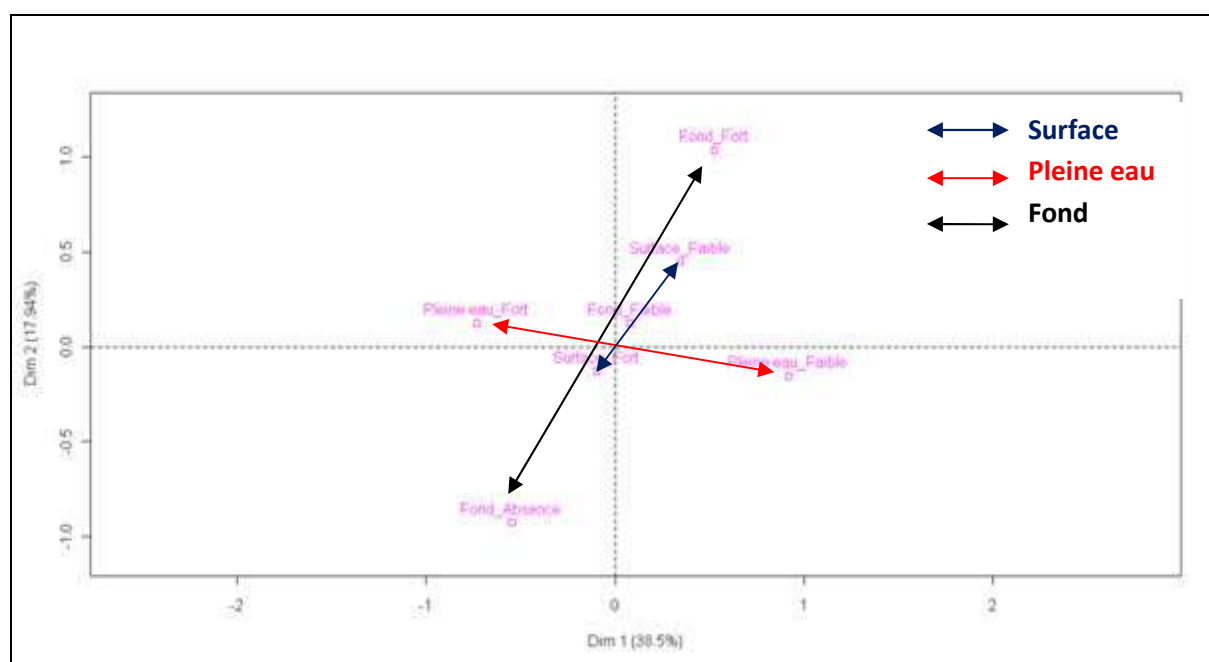


Figure 43 : Nuage des barycentres dans le premier plan factoriel

Cette analyse semble révéler une relation entre la formation de la thermocline et une accumulation de liga en pleine eau. Compte tenu du faible nombre d'échantillons, cette analyse demande à être affinée.

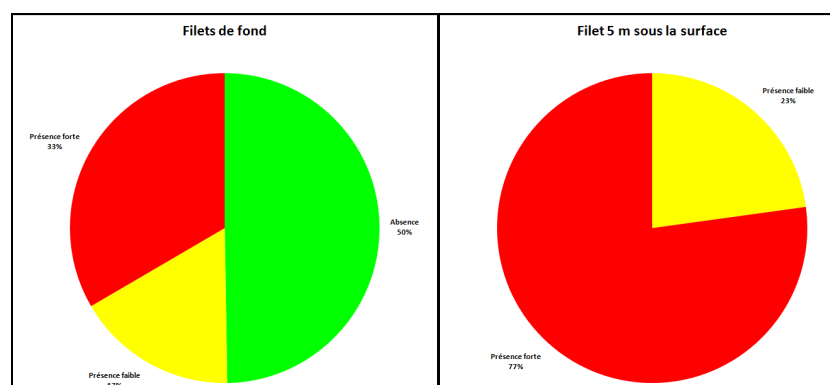


Figure 44 : Fréquence d'apparition du liga en fonction de la position des filets échantillonnés (Source : IMA)

L'échantillonnage des pêches démontre que la fréquence d'apparition du liga est nettement supérieure dans les filets de pleine eau que dans les filets de fond. En effet, le liga est présent dans 100 % des cas dans les filets de pleine eau alors qu'il est présent dans 50 % des cas dans les filets de fond.

Nous pouvons conclure que le liga est un phénomène essentiellement pélagique proche de la surface que l'on peut retrouver, de façon plus anecdotique, au fond.

4.3.5. Caractérisation des sites d'apparition du liga

La distribution des observations des pêcheurs par classe de profondeur de la zone est présentée en annexe 15. Peu d'observations ont été faites sur les fonds de 10 à 20 m et les fonds supérieurs à 70 m.

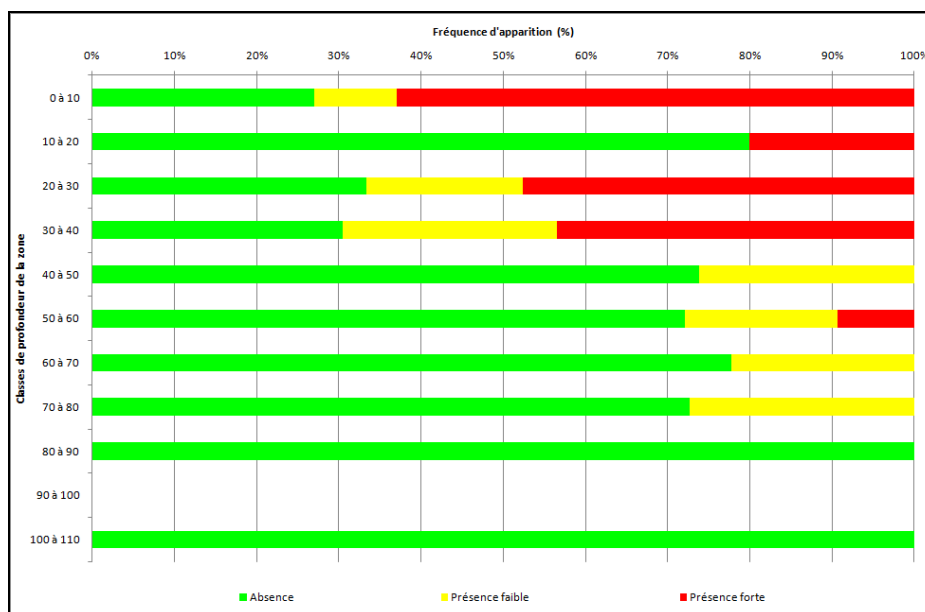


Figure 45 : Fréquence d'apparition du liga en fonction de la profondeur de la zone (Source : IMA)

Le liga est relativement **présent en zone côtière sur des fonds allant de 0 à 40 m**. Plus on s'éloigne de la côte, plus la profondeur de la zone augmente et moins le liga semble être présent.

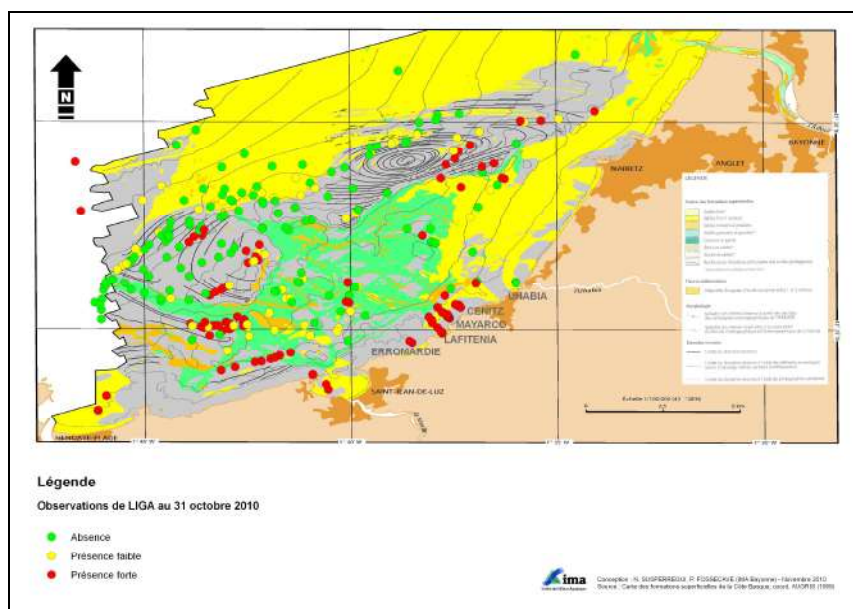


Figure 46 : Superposition des observations de liga et de la nature des fonds (Source : IMA)

Il ne semble pas exister de relation entre présence/absence de liga et le substrat océanique.

Parallèlement aux observations visant à caractériser la localisation et l'aspect macroscopique du liga, les pêcheurs ont renseigné la couleur et la transparence de l'eau. Il en ressort deux principaux résultats :

- dans 95 % des cas, l'eau est limpide. Les seules observations témoignant d'eaux turbides ont été réalisées en octobre 2010 simultanément à la campagne de dragage du port de Saint Jean de Luz, le point de clapage des sédiments se situant non loin du point d'échantillonnage.
- dans 90 % des cas, la couleur de l'eau est qualifiée de verte en opposition aux eaux bleues caractérisées empiriquement par les eaux du large.



Figure 47 : Illustrations de la transparence (à gauche) et de la couleur (à droite) de l'eau (Source : IMA)

Bien que subjectifs, ces résultats soulèvent une question récurrente chez **les marins pêcheurs du quartier maritime de Bayonne qui, de façon empirique, s'interrogent sur l'évolution de la courantologie côtière et ses effets sur le taux de renouvellement des eaux et le temps de résidence des particules.**

4.3.6. Apports de la télédétection pour la localisation du liga

La télédétection offre de multiples possibilités d'observation à diverses échelles spatiales et temporelles de la qualité des eaux en domaine littoral. La télédétection de la couleur de l'eau est très fréquemment utilisée pour en contrôler la qualité, en particulier pour **déceler la présence de matières dissoutes ou en suspension** qui absorbent la lumière dans l'eau et lui confère des propriétés optiques spécifiques. Les images spatiales sont en particulier utiles pour la détection et à la quantification de la chlorophylle a, des sédiments en suspension et de la matière organique dissoute.

Dans le cadre de cette étude, des essais ont été réalisés afin de vérifier si l'on pouvait détecter :

- les apports fluviaux et la dynamique de leurs panaches par imagerie moyenne résolution,
- des petits panaches turbides correspondant à des apports anthropiques et/ou des petits cours d'eau par imagerie haute résolution,
- détecter le liga par imagerie très haute résolution.

4.3.6.1. Apports de l'imagerie moyenne résolution

L'imagerie moyenne résolution permet la surveillance de la qualité de l'eau par télédétection à l'échelle régionale.

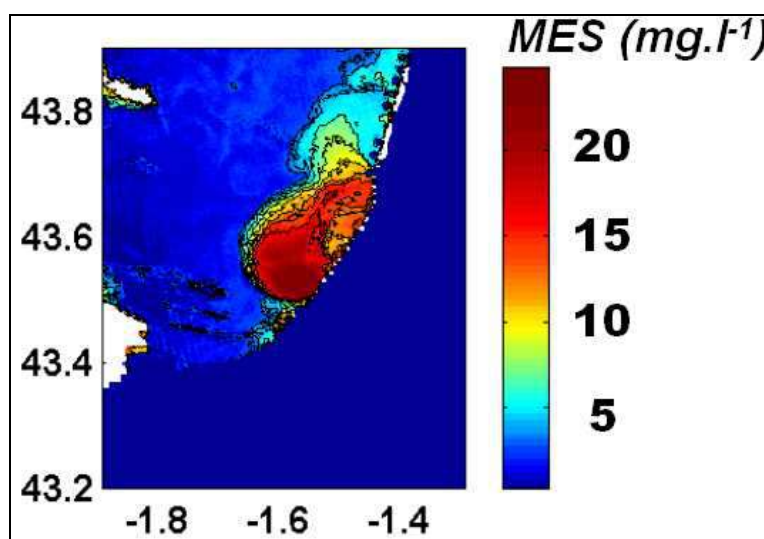


Figure 48 : Concentration en MES dans le panache de l'Adour d'après une scène MODIS (Source : Lafon et al., 2009)

Récemment, d'importants travaux de recherche de l'Université de Bordeaux ont été menés sur l'embouchure de l'Adour afin d'en détecter le panache et de valider une approche de quantification des matières en particulaires en suspension (Petus, 2009 ; Petus et al., 2010). Outre une quantification précise des éléments minéraux (MES) présents dans le panache (Figure 45), la méthode appliquée à un jeu de données MODIS (capteur optique d'une résolution de 250 m) permet également **d'analyser la dynamique temporelle du panache et son impact sur les littoraux adjacents** (Lafon et al., 2009).

Des mesures complémentaires in situ à la fois de la couleur de l'eau (mesures radiométriques) et des teneurs en chlorophylle a et en matières organiques dissoutes sont encore nécessaires afin de valider les algorithmes permettant de les quantifier par télédétection (Petus, 2009).

Cette approche moyenne résolution pourra, dans un avenir proche, venir en appui de la calibration/validation d'un modèle courantologique.

4.3.6.2. Apport de l'imagerie haute résolution

On entend par imagerie haute résolution, l'observation à l'aide de capteurs d'une résolution comprise entre 1 m et quelques dizaines de mètres, comme par exemple Spot (2,5 m à 20 m) et Formosat (2 m à 8 m).

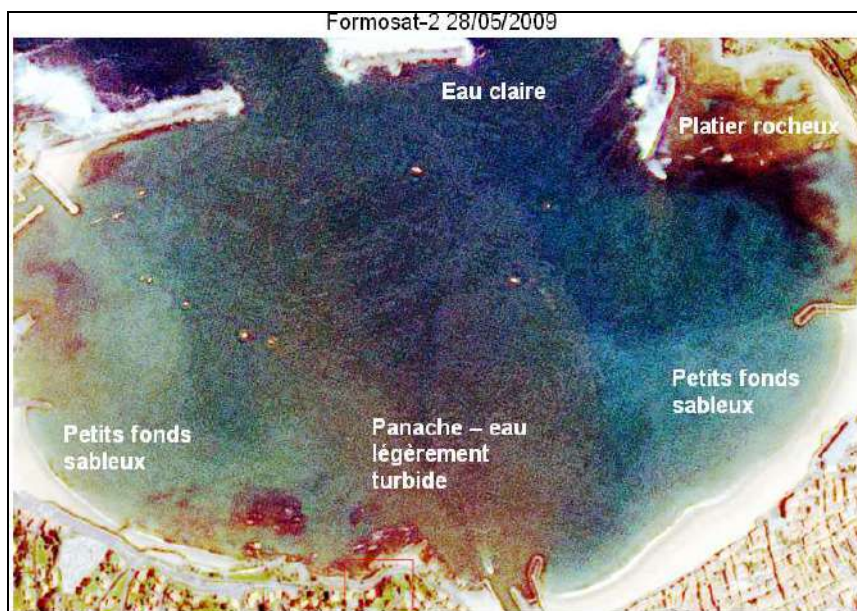


Figure 49 : Scène Formosat-2 du 28/05/2009 (Source : Spotimage / Infolittoral-1)

Une analyse d'une archive Formosat-2, acquise dans le cadre de l'Observatoire de la Côte d'Aquitaine (OCA), a montré qu'il est possible de mettre en évidence **un panache dans la baie de Saint Jean de Luz**, au débouché de la Nivelle. A ce jour, 3 images d'archives sont disponibles sur la Côte basque : 2007, 2008 et 2010. Bien que peu marqué comparé au panache de l'Adour, le panache de la Nivelle se distingue des eaux claires et profondes du reste de la baie ainsi que des zones où les petits fonds sont vus par transparence de l'eau. Ce panache se voit essentiellement dans la bande bleue (couleur rouge ici). L'analyse statistique de la présence de ce panache, à l'aide d'une série d'images d'archive, permettrait de compléter les outils de surveillance opérationnels, et notamment la concentration des matières (MES, Chlorophylle...) présentes dans l'eau.

Il est important de pouvoir disposer des moyens d'observations adaptés aux petits fleuves côtiers qui ont une contribution significative aux apports de matières à l'océan de l'échelle locale à l'échelle régionale (Maneux et *al.*, 1999 ; Coynel et *al.*, 2005)

Les images haute résolution sont adaptées au suivi des panaches des petits fleuves côtiers, même, semble-t-il, marqués de faibles turbidités. L'analyse morphologique des panaches et la quantification des concentrations en MES contribuera à valider les modèles hydrologiques littoraux.

4.3.6.3. Potentiel de l'imagerie très haute résolution

Nous parlons ici d'image à résolution submétrique. Ce sont à l'heure actuelle essentiellement les supports aériens qui permettent de réaliser ce type d'observations, mais qui reste qualitatives. Dans un très proche avenir, le lancement des satellites Pléiades (70 cm de résolution pour une imagerie couleur multispectrale) permettra d'accéder à des résolutions aussi élevées que la photographie.

Cette gamme de résolution permet de mettre en évidence des rejets de très petites dimensions comme le montre la figure 49.

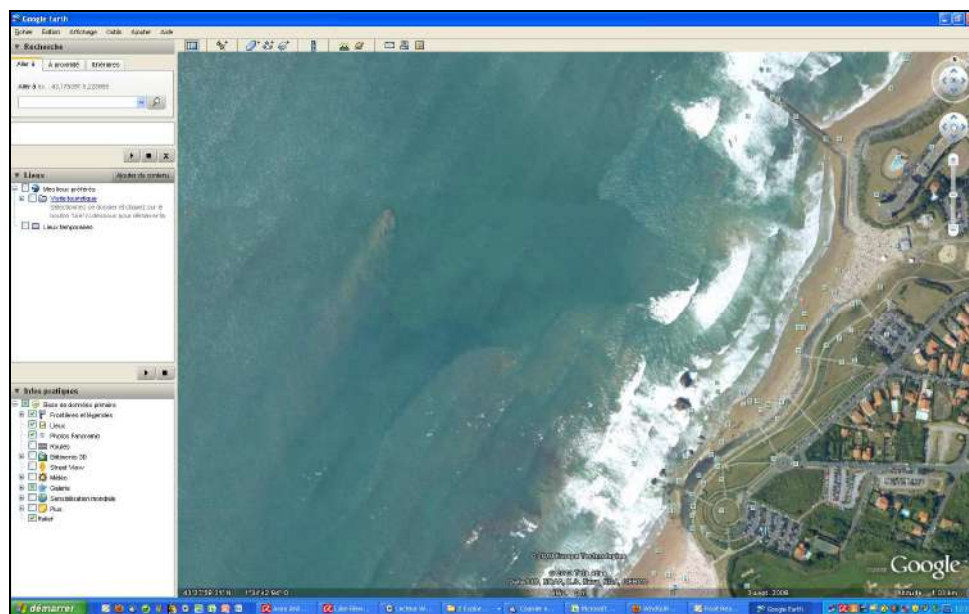


Figure 50 : Illustration d'un rejet turbide sur le littoral basque (Source : Google earth)

Cette figure démontre que des images d'une résolution submétrique à métrique doivent permettre de **mettre en évidence des rejets en mer lorsqu'ils sont accompagnés d'un panache turbide**, même si la taille de celui-ci est d'une taille inférieure à une centaine de m². La quantification des matières dans le panache sera également accessible, l'acquisition d'un jeu de mesure in situ sera toutefois nécessaire pour calibrer des algorithmes de restitution de la matière en suspension ou des matières organiques associées au panache.

La présence de houle qui entraîne d'importantes variations de la turbidité locale et de la radiométrie de l'eau, est une perturbation majeure susceptible d'empêcher l'analyse de la qualité de l'eau. A l'exception de ce phénomène ou de la présence d'une turbidité naturelle élevée sur le site de l'observation, **les rejets urbains en mer sont vraisemblablement détectables par imagerie très haute résolution**.

4.3.6.4. Test de détection du liga par imagerie haute résolution

Nous avons croisé une scène du satellite Formosat 2, acquise durant l'été 2010 dans le cadre du programme Infolittoral-1 (projet subventionné par le FUI 9 ; <http://infolittoral.spotimage.com/>), avec d'une part la position géoréférencée de liga sur le littoral basque et d'autre part un petit rejet turbide.

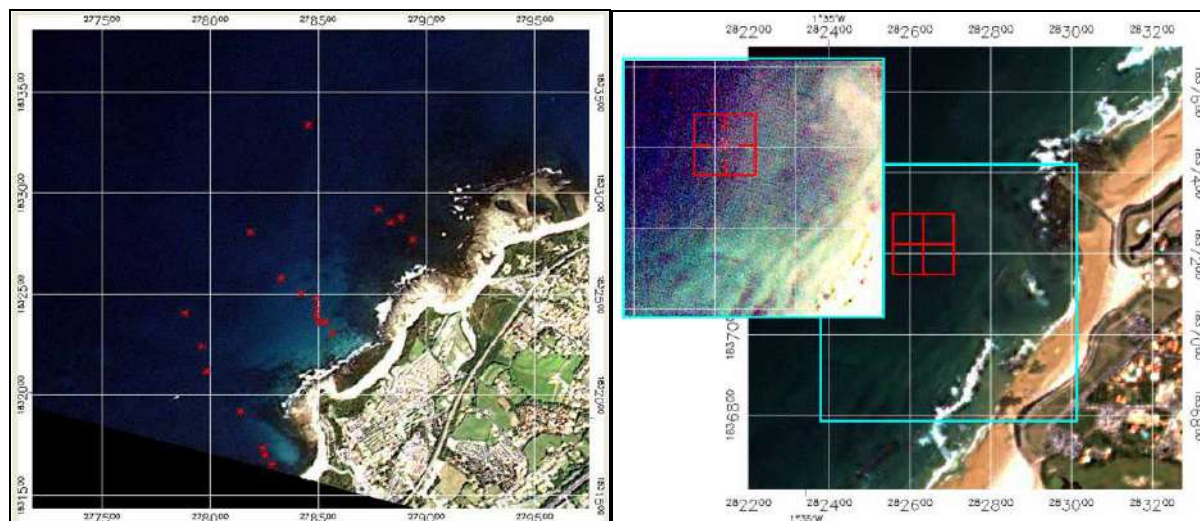


Figure 51 : Image Formosat 2 du 25/08/2010 illustrant la position du liga (à gauche) et d'un petit rejet turbide (à droite) (Source : Infolittoral-1)

Sur la figure de gauche, les points rouges représentent la présence de liga renseignée par les observations d'un pêcheur durant l'été 2010. Le liga ne se trouvant pas en surface, il est indétectable par l'imagerie satellite très haute résolution. De plus, l'observation faite ici se trouve sur des petits fonds (2 à 10 m) situés à Saint Jean de Luz. La position du liga dans la colonne d'eau, la faible profondeur de la zone étudiée et la couleur du fond marin sont aussi de facteurs limitants à la détection du phénomène par télédétection.

Sur la figure de droite, la cible représente l'apparition d'un rejet turbide durant l'été 2010. La tâche rouge illustrée dans la cible correspond à l'empreinte de ce rejet.

L'imagerie haute résolution ne permet pas de détecter le liga du fait de sa position dans la colonne d'eau et de sa présence dans des petits fonds. Toutefois, elle permet de détecter des petits panaches turbides d'origine naturelle ou anthropique.

4.4. Analyse des relations liga – facteurs abiotiques

4.4.1. Questions posées

- Existe-t'il des relations entre présence/abondance/composition du liga et les facteurs hydro-océano-climatiques ?
- Existe-t'il des relations entre présence/abondance/composition du liga et les masses d'eau ?
- Existe-t'il des relations entre présence/abondance/composition du liga et les apports en mer, d'origine naturelle et anthropique ?

4.4.2. Lien liga – facteurs océano-climatiques

L'analyse consiste à croiser les données de 24 échantillons de liga, sans les données de COP et obtenues après 144 h d'immersion / semaine, avec des facteurs océano - climatiques. L'analyse statistique utilisée est l'Analyse en Composante principale.

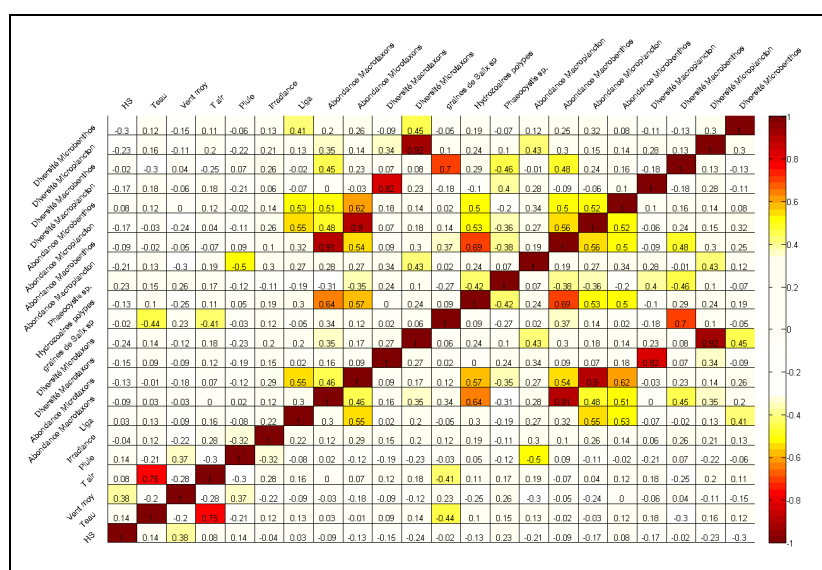


Figure 52 : Matrice des corrélations de Kendall (Source : CASAGEC)

La matrice de Kendall montre des corrélations entre :

- Diversité microtaxons et diversité microplancton (Coefficient de corrélation = 0,92),
- Abondance macrotaxons et abondance macrobenthos (Coefficient de corrélation = 0,91),
- Abondance microtaxons et abondance microplancton (Coefficient de corrélation = 0,9),
- Diversité macrotaxons et diversité macroplancton (Coefficient de corrélation = 0,8),
- Température de l'air et température de l'eau (Coefficient de corrélation = 0,75),
- Abondance graine de saule et diversité macrobenthos (Coefficient de corrélation = 0,7),
- Abondance des polypes d'hydrozoaires et abondance macrobenthos (Coefficient de corrélation = 0,69).

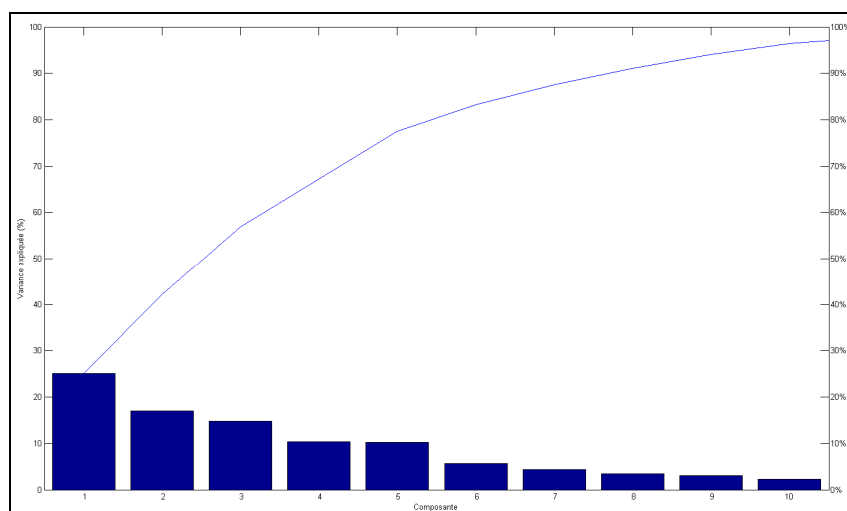


Figure 53 : Contribution (% de variance expliquée) des composantes principales (Source : CASAGEC)

La variance expliquée par les deux premiers axes est faible (< 50 %).

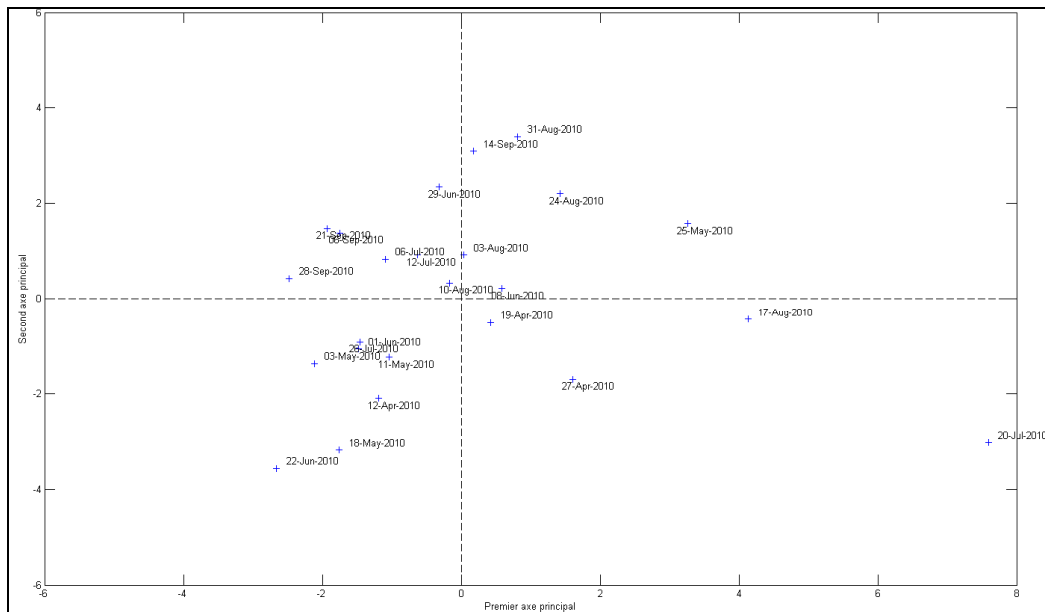


Figure 54 : Projection des échantillons sur le plan factoriel P1 /P2 (Source : CASAGEC)

Les échantillons présentent une forte dispersion sur le plan factoriel P1/P2.

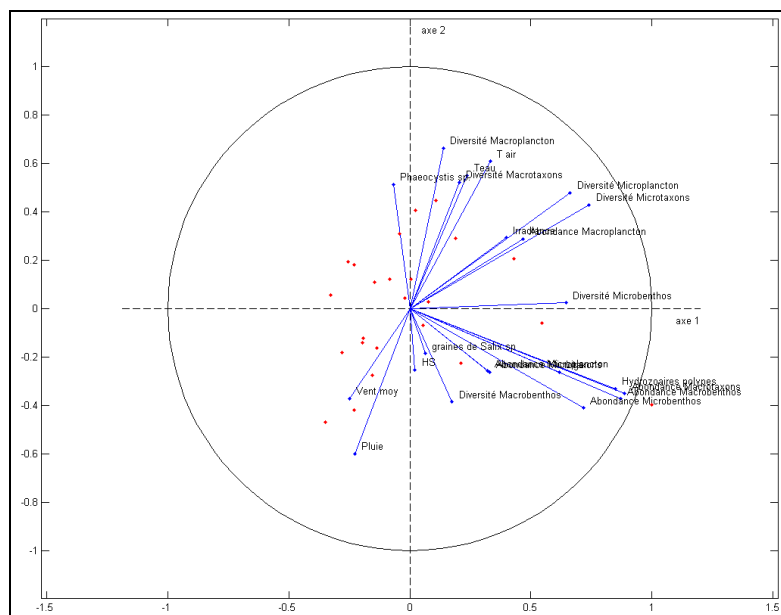


Figure 55 : Cercle de corrélation de l'Analyse en Composante principale (Source : CASAGEC)

Le cercle des corrélations montre l'existence de relations entre les paramètres indiqués par la matrice de Kendall. Il ne ressort toutefois pas de relations linéaires entre présence/abondance/composition du liga et les facteurs océano - climatiques.

L'Analyse en Composante Principale n'est peut être pas la plus adaptée pour appréhender des relations non linéaires. Toutefois, une analyse non linéaire est rendue impossible du fait du protocole d'échantillonnage qui oblige l'intégration des résultats sur 144 h /semaine

4.4.3. Lien liga – masses d'eau

L'analyse consiste à croiser les données de 18 échantillons de liga avec les données de COP obtenues après 144 h d'immersion / semaine avec les masses d'eau. L'analyse statistique utilisée est l'Analyse en Composante principale.

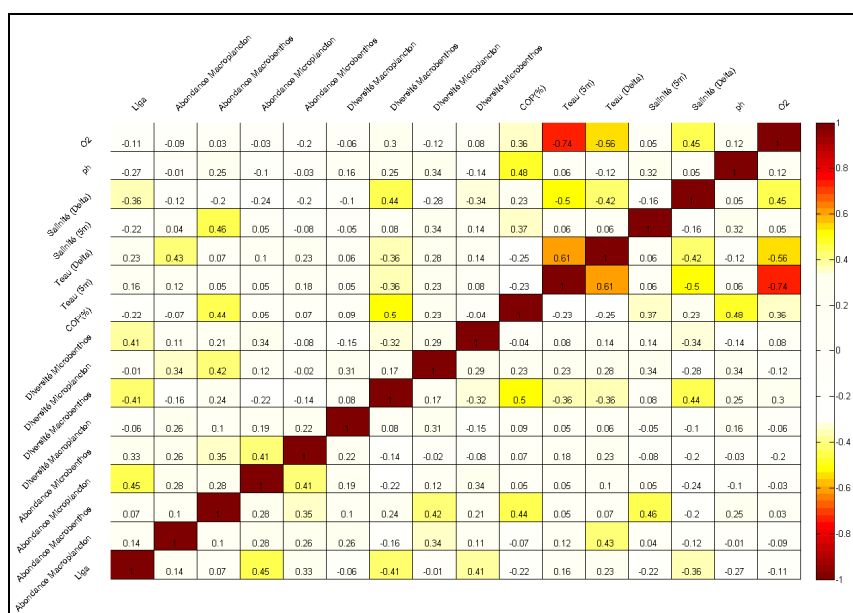


Figure 56 : Matrice des corrélations de Kendall (Source : CASAGEC)

La matrice de Kendall montre des corrélations entre :

- Température de l'eau et Oxygène dissous (Coefficient de corrélation = 0,74),
- Température de l'eau et thermocline (Coefficient de corrélation = 0,64),

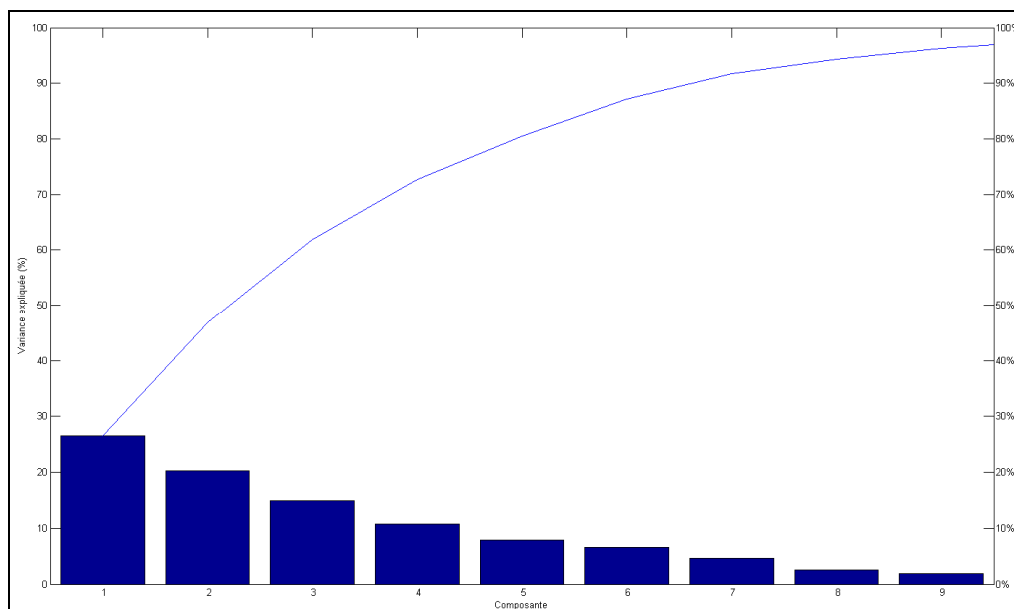


Figure 57 : Contribution (% de variance expliquée) des composantes principales (Source : CASAGEC)

La variance expliquée par les deux premiers axes est faible (< 50 %).

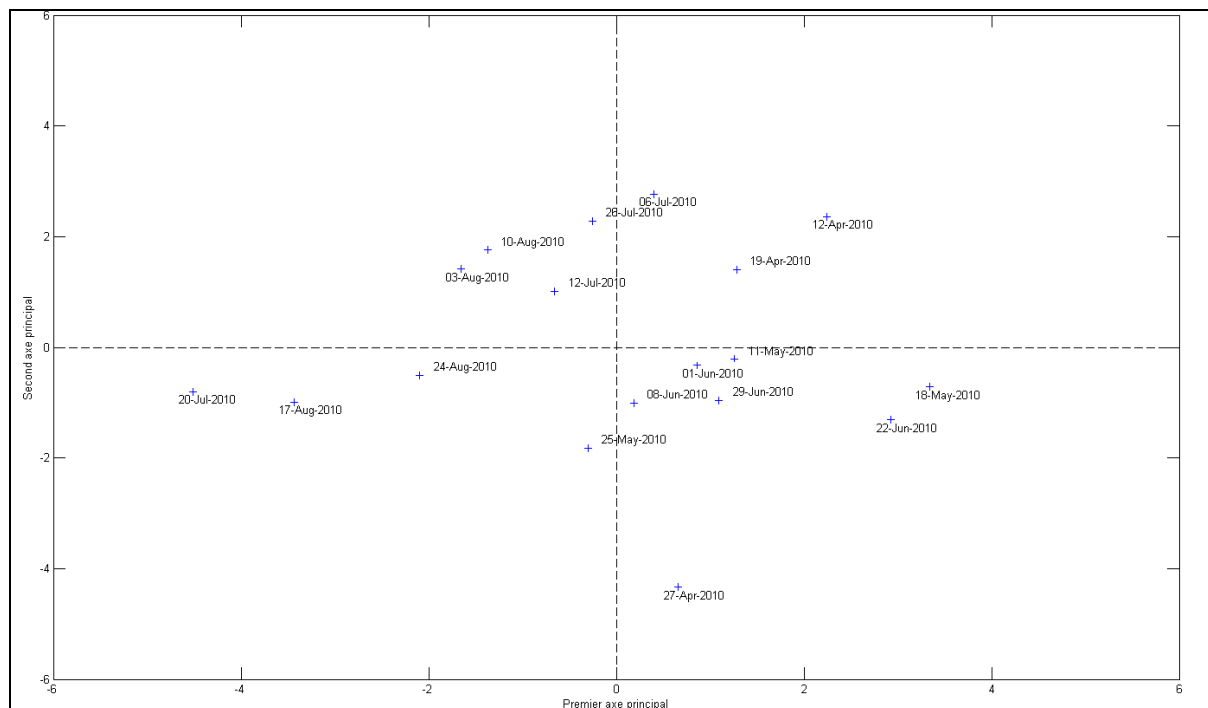


Figure 58 : Projection des échantillons sur le plan factoriel P1 /P2 (Source : CASAGEC)

Les échantillons présentent une forte dispersion sur le plan factoriel P1/P2.

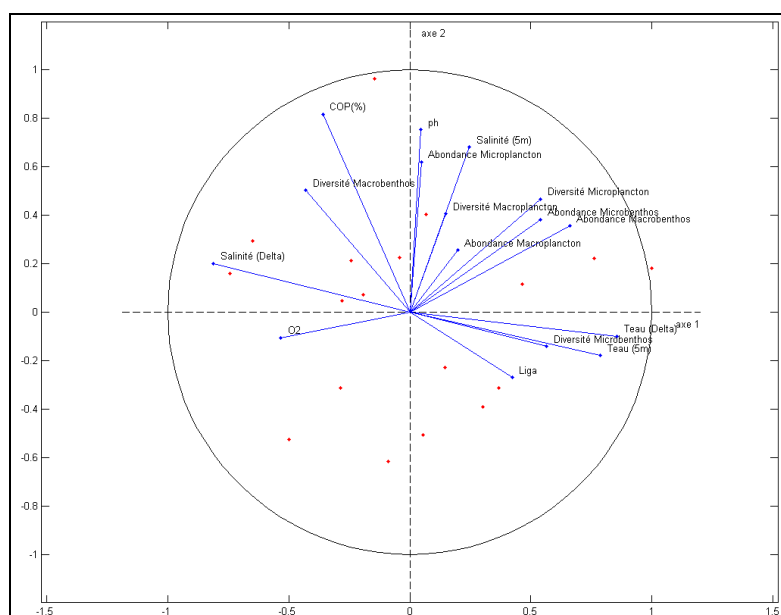


Figure 59 : Cercle de corrélation de l'Analyse en Composante principale (Source : CASAGEC)

Le cercle des corrélations montre l'existence de relations entre les paramètres indiqués par la matrice de Kendall. Il ne ressort toutefois pas de relations linéaires entre présence/abondance/composition du liga et les facteurs océano - climatiques.

L'Analyse en Composante Principale n'est peut être pas la plus adaptée pour appréhender des relations non linéaires. Toutefois, une analyse non linéaire est rendue impossible du fait du protocole d'échantillonnage qui oblige l'intégration des résultats sur 144 h /semaine

4.4.4. Lien liga – apports en mer

Cette analyse n’a pu être conduite dans le cadre de cette étude.

4.5. Analyse de l’évolution des apports en mer à long terme

Il s’agit ici de caractériser l’évolution des apports en mer qui peuvent contribuer à la composition du liga ou à l’apparition de phénomènes associés et d’analyser leur dispersion en mer afin de mieux comprendre la localisation du liga. C’est pourquoi nous avons concentré nos recherches sur les apports:

- **d’eau douce** pouvant expliquer les dessalures des eaux marines observées durant l’étude,
- **de matières en suspension** qui peuvent participer à l’enrichissement en matières organiques observées dans la composition du liga,
- **de sels nutritifs** qui peuvent expliquer la production phytoplanctonique estivale,
- **de bactéries fécales et de contaminants** qui peuvent nous aider à mieux caractériser l’impact du liga sur la santé humaine et les communautés de poisson.

Les différentes sources de pollution du littoral sont d’une manière générale :

- Les flux polluants apportés par les rivières,
- Les rejets de station d’épuration d’assainissement collectif et industriel,
- Les rejets directs d’eaux usées par dysfonctionnement ou insuffisance du système d’assainissement par temps sec ou temps de pluie (surverse de réseaux unitaires, by-pass et départ de boues de station d’épuration),
- Les rejets directs d’eaux usées (habitations non raccordées au système de collecte),
- Les activités portuaires (rejets de dragage des ports, eaux vanne des bateaux de plaisance),
- Les activités agricoles (ruissellement sur des surfaces d’élevages et débordements de fosses à lisiers),
- Les lessivages des voiries et de surfaces imperméabilisées par temps de pluie,
- L’activité conchylicole (eau utilisée pour l’épuration des coquillages),
- Les excréta des animaux.

L’étude bibliographique sur les apports en mer concerne les apports d’origine naturelle (fleuves, rivières, ruisseaux) et anthropiques (dragages, stations d’épuration, thalassothérapies, déversoirs d’orages, rejets unitaires....) qu’ils soient permanents ou non.

Un certain nombre d’outils et de suivis locaux existent en milieu marin :

- le Syndicat Mixte Kosta Garbia (en partenariat avec l’Agence de l’Eau Adour Garonne, le Conseil régional d’Aquitaine, le Conseil général des Pyrénées Atlantiques et le Conseil des Elus du Pays Basque) a mis en place un réseau de mesures de la qualité des eaux dans les zones d’activités nautiques afin de réaliser « un état zéro » et d’évaluer l’efficacité des aménagements réalisés ces dix dernières années, Ce suivi a été réalisé dans le cadre du Défi Côte Basque, entre 2005 et 2008, à la fois en zone de baignade et de surf, tout au long de l’année (été comme hiver) : au total ce sont 4 300 prélèvements qui ont été effectués sur l’ensemble de la côte basque et sur lesquels les concentrations en *E.coli* ont été déterminées. D’autres paramètres physico-chimiques ont été suivis comme la température ou la salinité,

- Toujours sous la maîtrise d'ouvrage du Syndicat Mixte Kosta Garbia, le CASAGEC a par la suite réalisé un travail de corrélation afin d'analyser l'influence des paramètres océanoclimatiques sur la dispersion des *E.Coli*.
- Kosta Garbia a également actualisé la liste et géoréférencé les points de rejets littoraux (mise à jour de l'étude réalisée par IFREMER et ayant servi à SEAMER).
- Surfrider Foundation réalise depuis la fin de ce suivi (depuis 2008) des analyses bactériologiques en zone de surf sur Anglet, Bidart et Hendaye.
- Dans le cadre du suivi sanitaire demandé par la réglementation en matière de suivi de la qualité des eaux de baignade, les services de l'état via l'ARS (ex DDASS) réalisent des analyses en période estivale. Ces éléments sont également accessibles sur le site du Ministère de la Santé.

Au niveau de la dispersion de ces apports en mer, un certain nombre d'outils courantologiques existent.

Dans le cadre du projet LOREA, le Conseil général a pris la maîtrise d'ouvrage d'outils de prévision de la qualité des eaux de baignade qui nécessite le couplage au sein d'une plateforme temps réel de différents types de modélisations :

- un modèle de fonctionnement hydraulique et bactériologique du réseau d'assainissement et des cours d'eau côtiers,
- un modèle hydrodynamique à l'échelle de plages permettant de simuler la courantologie locale et d'être utilisé pour des applications locales spécifiques,
- un modèle de dispersion de la pollution bactérienne en mer destiné à caractériser l'impact de la pollution.

Depuis début 2009, le Centre Technique du Littoral – Rivages Pro Tech travaille, pour le compte du Conseil général, à la mise en place du pilote de la Baie de Saint-Jean-de-Luz/Ciboure. Son volet opérationnel, pour lequel la Communauté de Communes Sud Pays Basque assure la maîtrise d'ouvrage, a d'ores et déjà été expérimenté depuis l'été 2009 pour la gestion de ses plages. L'année 2011 permettra de finaliser son fonctionnement. Le second pilote, sur le secteur de Guéthary/Bidart, est en cours de développement depuis 2010 et sera également opérationnel d'ici la fin 2011. Pour alimenter ces outils, le CETE SO est en train de finaliser la modélisation des flux bactériologiques provenant de l'Uhabia, de la Nivelle et de l'Untxin.

Parallèlement les équipes de l'Université de Pau, au travers des programmes EASYCO et PREVIMER, travaillent sur des modèles courantologiques côtiers sur le littoral basque.

Dans le cadre de notre étude, il nous est, pour l'instant, impossible de présenter des résultats pertinents sur la dispersion des apports en mer. Il en ressort la nécessité de mobiliser les équipes locales compétentes pour collaborer à l'élaboration d'outils de gestion en temps réel à partir des modèles existants.

4.5.1. Questions posées

- Une éventuelle évolution des apports en mer et/ou des usages peut-elle contribuer à l'aggravation du phénomène constatée par les marins pêcheurs du quartier maritime de Bayonne depuis 5 ans ?

4.5.2. Analyse de l'évolution des apports fluviaux sur le littoral basque

En 2001, l'étude SEAMER a identifié les sources potentielles de rejets de polluants sur le littoral basque. Bien que cette étude soit ancienne et demande à être actualisée, elle a permis d'identifier à l'époque les écoulements naturels responsables d'apports en zone côtière. Il s'agit de :

- **1 fleuve côtier** : l'Adour à Anglet, son écoulement est permanent
- **4 rivières côtières** : l'Ouhabia à Bidart, la Nivelle à Saint Jean de Luz, l'Untxin à Socoa et la Bidassoa à Hendaye. Leur écoulement est permanent.
- **12 ruisseaux** : 2 sur la commune d'Hendaye (Pas de nom), 4 le long de la corniche entre Socoa et Hendaye (Mentaberry, Haïçabia, Extail, Oyhanne Erreca), 3 à saint Jean de Luz (Pile d'Assiettes, sud Ichaca, Ichaca), 1 à Guéthary sur la plage de Cénitz en limite de commune avec Saint Jean de Luz (Baldarreta), 1 à Biarritz (La Moulie), 1 à Anglet (Le Barbot). Seul le ruisseau de la Pile d'Assiettes à Saint Jean de Luz est en écoulement non permanent.

Suite aux nombreux aménagements faits ces dix dernières années, et notamment le raccordement de certains ruisseaux à l'assainissement collectif, il est nécessaire d'actualiser ce bilan.

4.5.2.1. Caractérisation des apports fluviaux sur le littoral basque

Les fleuves, rivières et ruisseaux amènent à la zone côtière des eaux douces transportant des matières organiques, des sels nutritifs nécessaires à la productivité de cette dernière. Parallèlement, ils véhiculent un cortège de polluants issus des bassins versants d'origine bactérienne, organique ou inorganique.

Dans le cas de notre étude, ces apports d'eau douce par les fleuves, rivières et ruisseaux peuvent avoir une influence sur :

- La stratification des eaux côtières par l'apport d'eau douce,
- Les flux de matières en suspension et de sels nutritifs nécessaires à la production primaire,
- Les flux de polluants qui peuvent avoir un impact sanitaire.

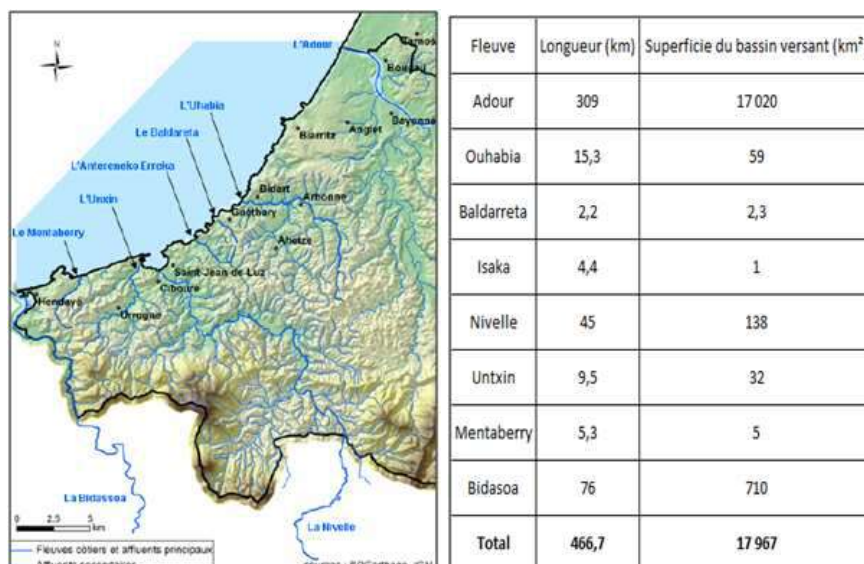


Figure 60 : Caractéristiques et localisation des principaux cours d'eau côtiers basques (Source : BRGM, 2008)

Le programme LOREA (<http://www.lorea.eu>) travaille actuellement sur les flux bactériens et de matières en suspension issus des **petits fleuves côtiers du littoral basque**.

Ce projet interrégional vise à réunir les acteurs de l'environnement côtier autour d'outils de gestion communs sur un territoire où une dynamique locale existe déjà. Les 120 km de côte des Pyrénées Atlantiques au Gipuzkoa, positionnés en cuvette, sont le réceptacle de nombreux apports de bassins versants avec pas moins de onze cours d'eau qui se déversent sur plus de soixante plages.

S'il est soumis à de fortes houles, ce littoral ne fait pas l'objet d'une dérive littorale importante, les courants sont faibles (de l'ordre de 10cm/s). Ce contexte ne facilite pas la dispersion de pollutions (bactérienne, déchets flottants,...). Le littoral du Golfe de Gascogne, notamment des Pyrénées Atlantiques au Gipuzkoa, est soumis à de forts impacts liés aux activités anthropiques qui peuvent être modérés par le développement d'outils d'aide à la décision permettant de :

- Prédire le moment d'arrivée et les impacts de pollutions d'origines terrestre ou marine. Les secteurs touchés prioritairement seront connus et les actions à mettre en œuvre anticipées (par exemple dans le cas de marée noire ou de l'ouverture d'une plage à la baignade),
- Suivre et surveiller le milieu côtier, si possible en temps réel.

Les modèles numériques de dynamique côtière répondent à ce type de préoccupation. Ils ont connu ces dernières années un développement en précision, par l'emploi notamment de maillage adaptés.

Il s'agit aujourd'hui, par un effort communautaire (des scientifiques et des utilisateurs comme les collectivités publiques) de les valider en vue d'un usage de prévision et de surveillance côtière. Cette phase passe par un calage grâce à des mesures de terrain et le développement d'applications concrètes. Ces applications, véritables outils d'aides à la décision pour les collectivités locales, doivent être capables de répondre aux enjeux environnementaux et économiques évoqués ci-dessus.

Le développement de ces modèles de dynamique côtière au niveau transfrontalier (Gipuzkoa-Pyrénées Atlantiques) est la bonne échelle pour mettre en commun :

- des compétences techniques,
- des enjeux politiques et financiers.

Tout projet de modélisation de cette zone qui se limiterait à un domaine national unique, français ou espagnol, n'aurait aucun sens en termes de courantologie compte tenu de cette configuration géographique.

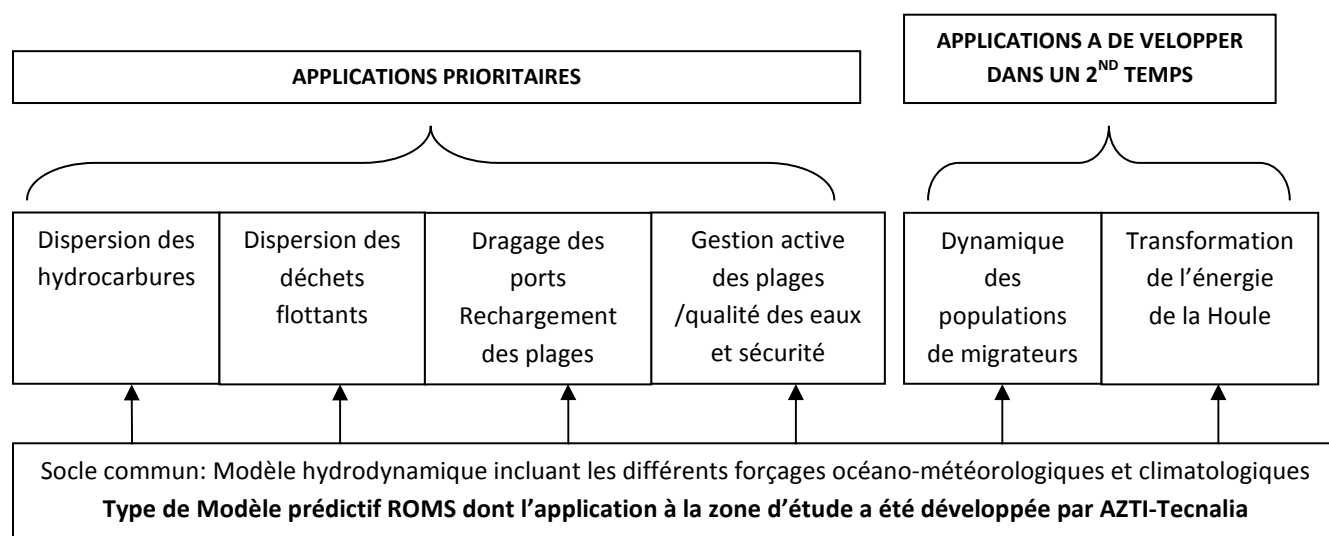
Au-delà, c'est également dans un contexte de fort partenariat institutionnel transfrontalier que le projet LOREA trouve naturellement sa place. L'engagement des collectivités au sein de la Conférence euro-régionale reflète bien leur prise de conscience sur la valeur ajoutée de la coopération transfrontalière dans la mise en œuvre de projets visant à préserver un patrimoine naturel commun.

Dans le cadre de LOREA, ce système de modèles est développé en partenariat transfrontalier technique et financier étroit avec pour -le côté espagnol : l'autonomie basque, la Diputación Foral du Gipuzkoa et AZTI Tecnalia,

- le côté français : l'Université Pays de l'Adour, via sa cellule de transfert ADERA-CASAGEC, la Lyonnaise des Eaux, via son Centre Technique Littoral installé à Biarritz, IFREMER, le CETE Sud-ouest, le syndicat mixte Kosta Garbia, le Conseil Régional d'Aquitaine, l'Agence de l'Eau Adour Garonne et le Conseil général des Pyrénées atlantiques comme « chef de file ».

Les objectifs du projet :

Il s'agit d'adapter un modèle de dynamique marine en zone côtière (base commune) et de développer des applications communes aux administrations transfrontalières et conformes à leurs besoins (Cf. schéma ci-dessous). La gestion de ce dispositif sera dévolue à la puissance publique.



La zone d'étude de ce projet se partage en deux niveaux :

- L'échelle interrégionale située au fond du Golfe de Gascogne, ayant pour arrête centrale le gouffre de Capbreton. Ce domaine servira de base aux applications transfrontalières de transport de matériaux (**hydrocarbures et déchets flottants**). Ce domaine est particulièrement pertinent pour un modèle hydrodynamique dans cette zone, qui du fait du découpage de la côte à cet endroit, nécessite un maillage transfrontalier.
- Des zones d'applications locales définies en fonction des besoins des institutions transfrontalières du Conseil Général des Pyrénées Atlantiques et de la Diputación Foral de Gipuzkoa puis validées avec les partenaires scientifiques par rapport à leur faisabilité technique. **Douze applications** correspondant à des modèles prédictifs locaux ont été repérées :
 - **Quatre concernant la qualité des eaux de baignade** : Baie de Saint-Jean-de-Luz/Ciboure et Plages de Guéthary/Bidart, Zarautz et Saturarran. Ces zones font l'objet d'une attention particulière des collectivités car elles sont très fréquentées, sensibles aux pollutions bactériologiques car situées à proximité de cours d'eau et font déjà l'objet d'un certain nombre d'études.
 - **Deux concernant la sécurité des plages** : les plages d'Anglet situées à proximité de l'estuaire de l'Adour et la plage de Zarautz font l'objet de nombreux accidents de part leur morphologie (présence de baïnes).
 - **Cinq concernant la dynamique sédimentaire** : Baie de Saint-Jean-de-Luz/Ciboure, Baie de Txingudi et Pasaia pour les sédiments cohésifs (vases) et les plages à proximité de l'Adour et la plage de Zarautz pour les sédiments non cohésifs (sables). Ces zones sont situées à proximité de cours d'eau charriant des charges sédimentaires importantes.
 - **Un concernant l'arrivée de nappes d'hydrocarbures** : secteur de Pasaia.

Un exemple d'apport de bactéries fécales et de matières en suspension durant l'été 2010 est présenté en annexe 16.

4.5.2.2. Evolution des apports fluviaux sur le littoral basque

L'Adour étant le principal fleuve côtier du littoral basque, nous avons récupéré ces valeurs de débit depuis 1956 et réalisé une analyse à long terme.

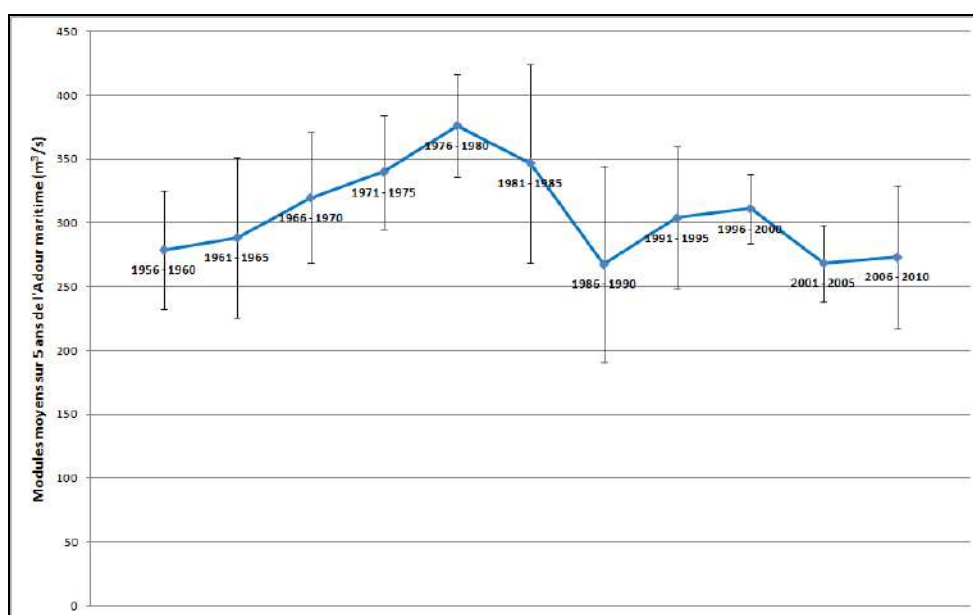


Figure 61 : Evolution des modules annuels de l'Adour maritime sur des périodes de 5 ans (Source : IMA)

Bien que les modules actuels de l'Adour aient des valeurs basses pour la période d'analyse, nous n'observons pas de changements significatifs des apports d'eau douce sur les 5 dernières années.

Nous avons calculé le 3^{ème} quartile des débits journaliers de l'Adour maritime sur la période 1956 -2010 qui est de 385,2 m³/s. Le nombre de jours où le débit journalier est supérieur à cette valeur est en diminution depuis le milieu des années 70 et stable sur les 5 dernières années. Il en est de même pour la valeur maximum de la crue annuelle. Ces résultats sont présentés en annexe 17.

De même, nous avons calculé le 1er quartile des débits journaliers de l'Adour maritime sur la période 1956 -2010 qui est de 129,9 m³/s. Le nombre de jours où le débit journalier est inférieur à cette valeur est en augmentation depuis le milieu des années 90 et stable sur les 5 dernières années. La valeur minimum d'étiage annuel est faible mais constant depuis 5 ans. Ces résultats sont présentés en annexe 17.

Les apports d'eau douce par l'Adour maritime sont en baisse ce qui ne signifie en aucun cas que les apports de matières en suspension, de sels nutritifs et autres polluants le sont aussi.

4.5.3. Analyse de l'évolution des apports de dragages du Port de Bayonne sur le littoral basque

4.5.3.1. Caractérisation des dragages du port de Bayonne

L'exploitation du port de Bayonne s'accompagne depuis la fin du XIX^{ème} siècle du maintien artificiel des profondeurs à l'embouchure et dans le port. L'embouchure de l'Adour, les pieds de quai et le chenal sont régulièrement dragués et il existe 2 zones d'immersion en mer (cf. figure 15):

- au large à 2,5 kms de l'extrémité des digues avec des contrôles réguliers,
- une possibilité devant les plages d'Anglet pour ce qui concerne le sable de l'embouchure.

La création de la fosse de garde et la construction de la digue intérieure (face à la patinoire d'Anglet) en 2000 ont permis d'éviter, depuis cette date, la fermeture du port pour cause de profondeurs insuffisantes tout en observant une légère réduction des volumes moyens de dragages d'entretien sur la période 2002-2008 avec un volume annuel moyen à l'embouchure de 4300 000 m³ contre une moyenne de 530 000 m³ sur la période 1991 – 1997 (la période 1998 – 2001 a été exclue des moyennes car des volumes supplémentaires ont été dragués lors de la création de la fosse de garde).

Les principaux volumes de dragage sont réalisés:

- à l'embouchure: 400 à 600 000 m³/an de sables,
- à Saint Bernard: 250 à 400 000 m³/an de vases.
- le reste des dragages représente annuellement quelques dizaines de milliers de m³.

4.5.3.2. Evolution des apports de dragages sur le littoral basque

Les données ont été collectées auprès de l'ancienne Direction Départementale de l'Équipement maritime pour la période 1979 – 2008 et la Chambre de Commerce et d'Industrie Bayonne Pays basque pour la période 2009- 2010.

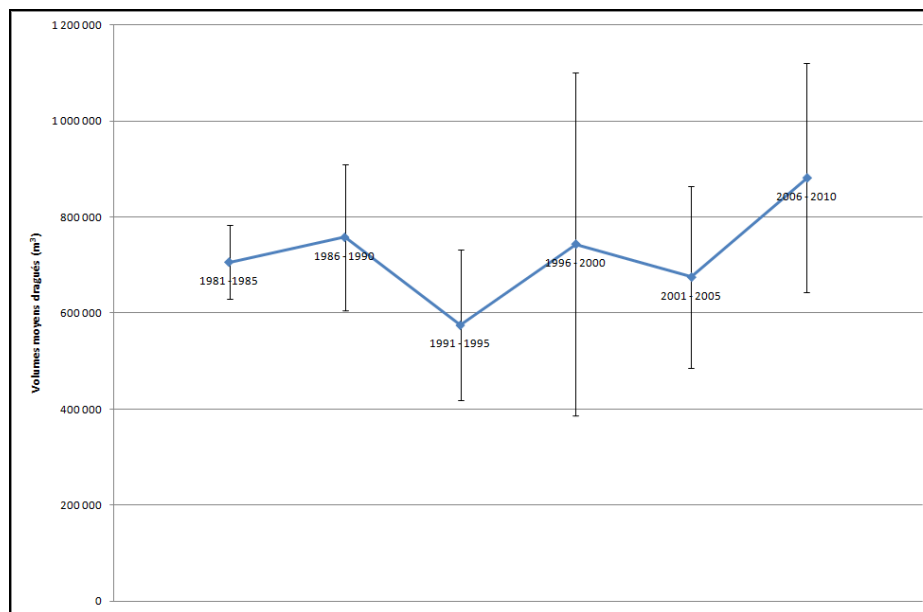


Figure 62 : Evolution des volumes de sédiments de l'Adour dragués par période de 5 ans (Source : IMA)

Sur la période 1979 – 2009, un peu moins de 700 000 m³ de sables ont été dragués annuellement à l’embouchure (dragages d’entretien = investissement) et environ 10 000 m³ de sables et sédiments sablo-vaseux dans les souilles des quais.

Depuis 1995 et la mise en exploitation de la zone portuaire de Saint Bernard, environ 200 000 tonnes de matières sèches de vases sont draguées chaque année.

Hormis le changement lié à la mise en exploitation de Saint Bernard, on observe peu de modifications dans les volumes et la nature des sédiments dragués, dans les fréquences annuelles ou les périodes de dragage. Le principal changement s’observe sur la destination des matériaux. Dans les années 1980, 62 % des volumes dragués étaient clapés sur la zone côtière, contre 22 % dans les années 90. Cette pratique a été ralentie dans les années 90 puis abandonnée en 2003. Une campagne de clapage côtier a été réalisée en 2010, à la demande de la Ville d’Anglet et de la Communauté d’Agglomération Bayonne Anglet Biarritz (CABAB), avec pour principal objectif le réengraissement des plages d’Anglet. Les sédiments clapés en zone côtière sont exclusivement des sables issus de l’embouchure de l’Adour.

Par ailleurs, la réglementation exige une campagne préalable d’analyses des sédiments dragués. 17 points constitués chacun de 3 points de mesure, sont analysés entre le pont Grenet et l’embouchure. Les résultats des analyses 2010 sont présentés en annexe 7.

4.5.4. Analyse de l’évolution des apports des stations d’épurations (STEP) sur le littoral basque

Nous traiterons exclusivement dans cette partie des stations d’épuration à l’assainissement collectif.

4.5.4.1. Caractérisation des STEP du littoral basque

La côte basque est équipée de nombreuses STEP. Depuis le début des années 2000, de nombreux travaux de modernisation, d'augmentation de capacité de traitement voire de création de station d'épuration ont été réalisés :

- 2004 : Modernisation, augmentation de la capacité de traitement et prolongement de l'émissaire en mer de la station Marbella 2,
- 2004 : Modernisation, augmentation de la capacité de traitement et prolongement de l'émissaire en mer de la station d'épuration de Guéthary,
- 2006 : Modernisation et augmentation de la capacité de traitement de la station de Pont de l'Aveugle à Anglet,
- 2010 : Mise en service de la station d'épuration de Laburrenia à Urrugne avec émissaire en mer.

L'évacuation des eaux usées traitées débouche soit :

- dans la zone de marée dynamique des cours d'eau côtiers,

Tableau 3 : Caractéristiques des stations d'épuration déversant leurs effluents dans un cours d'eau côtier (Source : Système d'Information sur l'Assainissement SIA)

Nom de la station	Commune	Date de mise en service	Type de traitement	Milieu récepteur	Capacité (eq./habitant)	Exploitant
LES JONCAUX	Hendaye	01/09/1977	Biologique avec NTK, Boues activées	Base de Tsingudi	7 000	LYONNAISE DES EAUX SUEZ
ASCAIN	Ascain	01/06/1996	Boues activées	Nivelle	9 000	LYONNAISE DES EAUX SUEZ
SAINT PEE SUR NIVELLE	Saint Pée sur Nivelle	01/06/1988	Boues activées	Nivelle	15 000	LYONNAISE DES EAUX SUEZ
BIDART	Bidart	01/01/1970	Biologique avec NTK, Boues activées	L'Ouhabia	25 000	AGUR
PONT DE L'AVEUGLE	Anglet	01/01/2006	Biologique avec NTK, Boues activées	Adour	110 000	SERVICE ASSAINISSEMENT CABAB
SAINT BERNARD	Bayonne	01/11/1986	Biologique avec NTK et Pt phy-chi	Adour	5 000	SERVICE ASSAINISSEMENT CABAB
SAINT FREDERIC 2	Bayonne	01/01/1998	Biologique avec NTK, Boues activées	Adour	35 000	SERVICE ASSAINISSEMENT CABAB

- directement en mer. Il existe alors deux cas de figure :
 - les eaux sont évacuées à une certaine distance du littoral via des émissaires en mer (Marbella, Guéthary, Laburrenia),
 - les eaux émergent, via des exutoires, en bas de falaise ou haut de plage (Archilua, 2 jumeaux).

Tableau 4 : Caractéristiques des stations d'épuration rejetant en mer sur le littoral basque (Source : SIA)

Nom de la station	Commune	Maitre d'ouvrage	Exploitant	Capacité nominale (EH)	Débit de référence (m³/j)	Autosurveillance validée	Traitement existant	Traitement requis	Charge maximale en entrée (EH)	Débit entrant (m³/j)	Production de boues (TMS/an)	Emissaire	Distance à la côte
2 Jumeaux	Hendaye	CCSPB	Lyonnaise des Eaux	35 400	7 200	Non	Prétraitement Boues activées Moyenne charge	Traitement secondaire	26 817	5 033	274	Non	0
Laburrenia	Urrugne	CCSPB	Lyonnaise des Eaux	40 000	7 000	Non	Biofiltres	Traitement secondaire	5 000	988	0	Oui	160
Archilua	Saint Jean de Luz	CCSPB	Lyonnaise des Eaux	58 000	8 500	Oui	Prétraitement Boues activées Aération prolongée	Traitement secondaire	59 600	9 590	367	Non	0
Guéthary	Guéthary	CCSPB	Lyonnaise des Eaux	10 000	1 650	Non	Membranes d'ultrafiltration et désinfection UV	Traitement secondaire	8 500	1 735	55	Oui	400
Marbella	Biarritz	ACBA	Lyonnaise des Eaux	90 400	30 000	Non	Décantation primaire Filtre biologique Prétraitement	Traitement secondaire	101 300	17 800	708	Oui	800
Total				233 800	54 350				201 217	35 146	1 404		

Dans le cadre de cette étude, nous ne retiendrons que les stations d'épuration déversant directement sur le littoral considérant que le programme LOREA, au travers du suivi des cours d'eau côtiers, prend en compte tous les apports fluviaux dont ceux des STEP situées en amont.

Concernant les systèmes d'assainissement collectif, les STEP et leurs émissaires font l'objet d'arrêtés délivrés par le Préfet autorisant l'exploitation des systèmes de collecte, de traitement des effluents et leurs rejets. Ces arrêtés imposent des obligations de résultats du système de collecte. Ils prévoient une auto-surveillance du système d'assainissement réalisé par le maître d'ouvrage. Les paramètres surveillés dans les rejets sont souvent : Débit, MES, DBO5, DCO, NTK, NH4, NO2, NO3, Phosphates totaux (aspects réglementaires) et dans certains cas la bactériologie (1 à 2 fois par mois selon les STEP) voir même d'autres types de polluants pour un suivi du milieu récepteur.

En effet, conformément aux dispositions OSPAR, l'exploitant est tenu de renseigner annuellement l'estimation ou la mesure du flux annuel de mercure, cadmium, cuivre total, plomb total, azote amoniacal, nitrates, ortho-phosphates, phosphore total, MES.

En plus, de cette auto-surveillance, les services de l'Etat (police de l'eau) réalisent des contrôles inopinés.

Enfin, le CG64 exerce une mission d'assistance technique et de suivi (mission MATEMA) sur les différents systèmes d'assainissement. Sur ces dix dernières années, les collectivités de la Côte basque ont investi plus de 150 millions d'euros dans leurs ouvrages en assainissement. Aujourd'hui, l'ensemble des stations d'épuration de la côte basque répond aux obligations demandées par la réglementation.

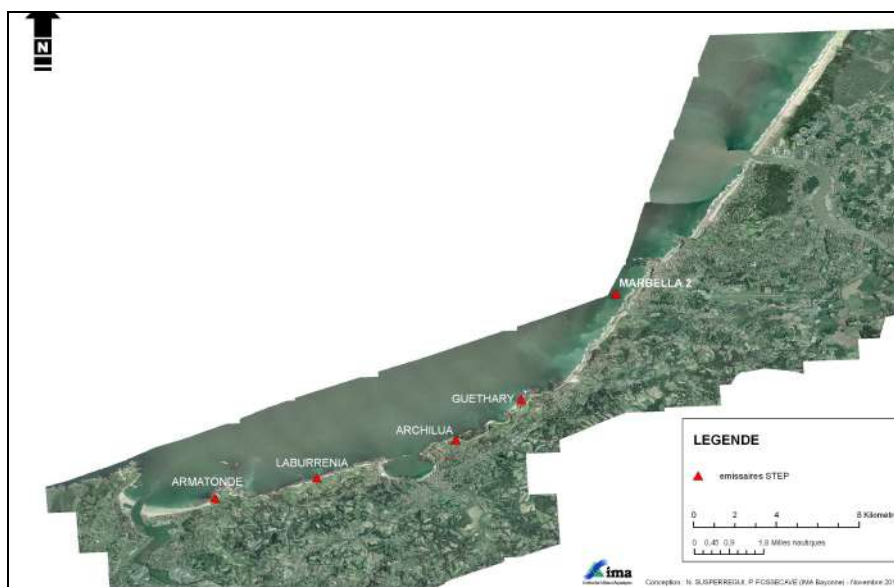


Figure 63 : Cartographie des stations d'épuration rejetant sur le littoral basque (Source : IMA)

4.5.4.2. Evolution des apports de STEP sur le littoral basque

Les paramètres collectés auprès de l'Agence de l'Eau Adour Garonne, pour la période 1986 – 2008, sont la charge moyenne journalière des apports en mer de :

- **MES** par rapport à la matière organique rencontrée dans le liga,

- **Azote Kjeldahl** (ammoniacal et organique) par rapport aux apports en sels nutritifs nécessaires à la production phytoplanctonique,
- **Phosphates totaux** par rapport aux apports en sels nutritifs nécessaires à la production phytoplanctonique,
- **Demande Biologique en Oxygène sous 5 jours (DBO₅)** pour évaluer les matières biodégradables dans les apports côtiers, disponibles pour la formation de liga,
- **Demande Chimique en Oxygène (DCO)** pour évaluer les matières oxydables dans les apports au littoral.

Ces données sont moyennées sur l'année et ne tiennent pas compte de la saisonnalité de l'activité des STEP. Une illustration de cette saisonnalité est proposée en annexe 18 pour les apports en mer de MES et d'AzoteKjeldahl de la station de Marbella 2 en 2008.

Matières en suspension :

Il s'agit de l'ensemble des particules minérales et/ou organiques présentes dans une eau naturelle ou polluée.

Les particules fines en suspension dans une eau sont soit d'origine naturelle, en liaison avec les précipitations, soit produites par les rejets urbains et industriels. Leur effet néfaste est mécanique, par formation de sédiments et d'un écran empêchant la bonne pénétration de la lumière d'une part (réduction de la photosynthèse), ainsi que par colmatage des branchies des poissons d'autre part. Leur effet est par ailleurs chimique par constitution d'une réserve de pollution potentielle dans les sédiments. Elles représentent la cause essentielle de la turbidité de l'eau.

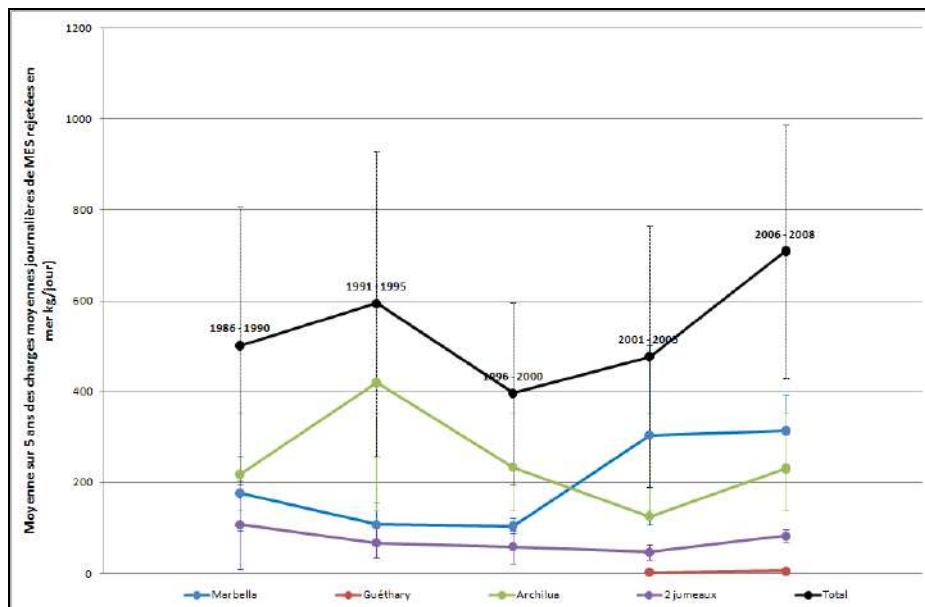


Figure 64 : Evolution des charges moyennes journalières de MES rejetées en mer par période de 5 ans (Source : IMA)

Sur la période 1986 – 2008, les apports moyens journaliers de MES en mer par les STEP ont significativement augmenté.

Sur cette période, la gestion des différents systèmes d'assainissement s'est améliorée (meilleure collecte des eaux usées, optimisation de la gestion des effluents par temps de pluie permettant d'éviter des rejets directs d'eaux brutes en mer....). Les modernisations et les augmentations de capacité des stations d'épuration (Marbella, Guéthary) ont conduit à des volumes plus importants à traiter donc des flux plus importants rejetés (à qualité de rejets constante voire améliorée avec les outils de traitement mis en place). Ces éléments expliquent l'évolution des charges constatées.

Azote Kjeldahl

L'azote Kjeldahl (Azote NTK) mesure l'azote organique et l'azote ammoniacal. C'est une valeur importante pour la protection du milieu aquatique car sa transformation détruit l'équilibre biologique à l'aval du rejet.

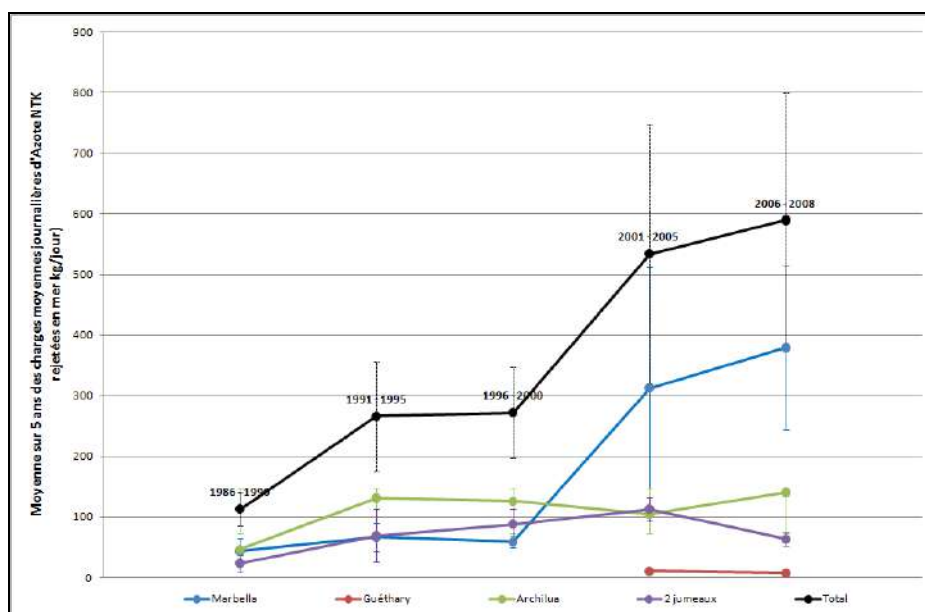


Figure 65 : Evolution des charges moyennes journalières d'Azote NTK rejetées en mer par période de 5 ans (Source : IMA)

Sur la période 1986 – 2008, les apports moyens journaliers d'Azote Kjeldahl en mer par les STEP a significativement augmenté. Ceci est essentiellement dû à l'augmentation de la charge rejetée par la station de Marbella 2 depuis le début des années 2000.

Phosphates totaux

Le phosphore existe sous deux formes principales : le phosphore minéral ou le phosphore organique. Le phosphore est le principal facteur de l'eutrophisation en eau douce. Les altérations par les matières phosphorées sont déterminées à partir de la mesure des ortho-phosphates et du phosphore total qui sont des nutriments pour la croissance des végétaux. En excès dans le milieu, le phosphore contribue au phénomène d'eutrophisation.

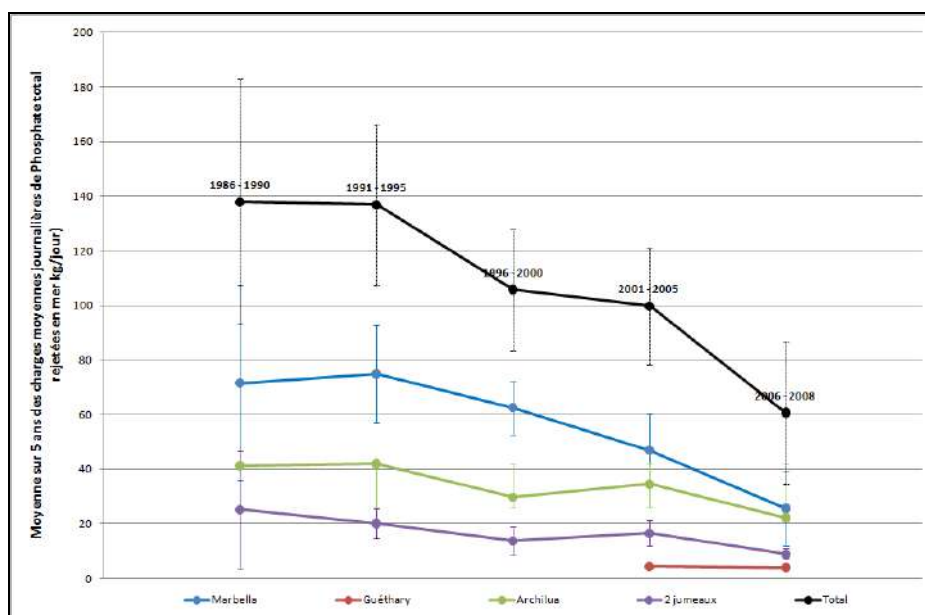


Figure 66 : Evolution des charges moyennes journalières de Phosphate total rejetées en mer par période de 5 ans (Source : IMA)

Sur la période 1986 – 2008, les apports moyens journaliers de phosphore total en mer par les STEP a significativement diminué.

DBO₅ : Demande Biologique en Oxygène sous 5 jours

La Demande Biologique en Oxygène sous 5 jours est la quantité d'oxygène consommée par les matières organiques. Elle a pour but de reproduire l'autoépuration naturelle. Elle permet d'évaluer les matières biodégradables présentes dans les eaux. Cette mesure demande 5 jours pour conduire à un résultat.

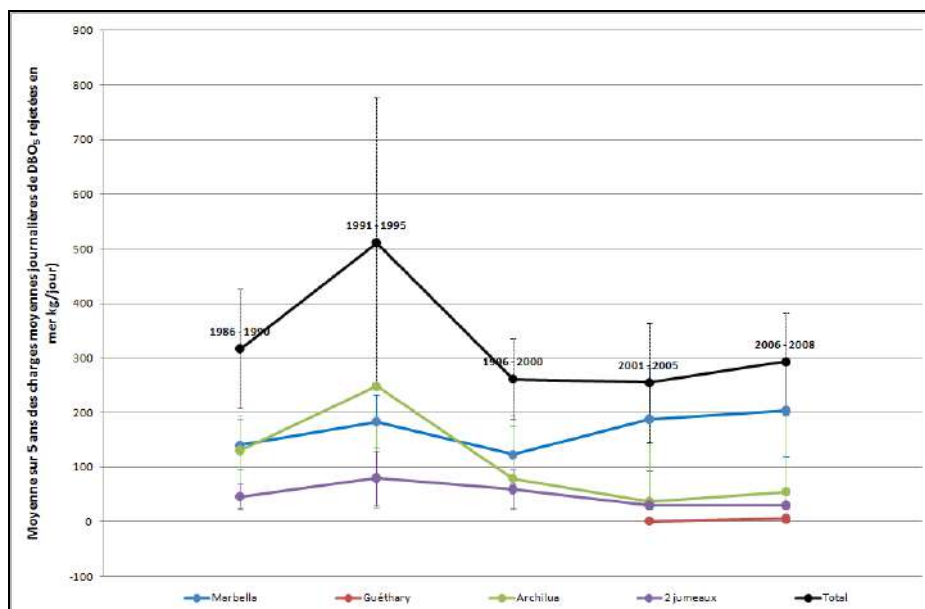


Figure 67 : Evolution des charges moyennes journalières de DBO₅ rejetées en mer par période de 5 ans (Source : IMA)

Sur la période 1986 – 2008, les apports moyens journaliers de DBO₅ en mer par les STEP sont stables après une augmentation au début des années 90.

DCO : Demande Chimique en Oxygène

La Demande Chimique en Oxygène est la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables existantes dans l'eau par processus chimique. La mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau, quelque soit leur origine organique ou minérale.

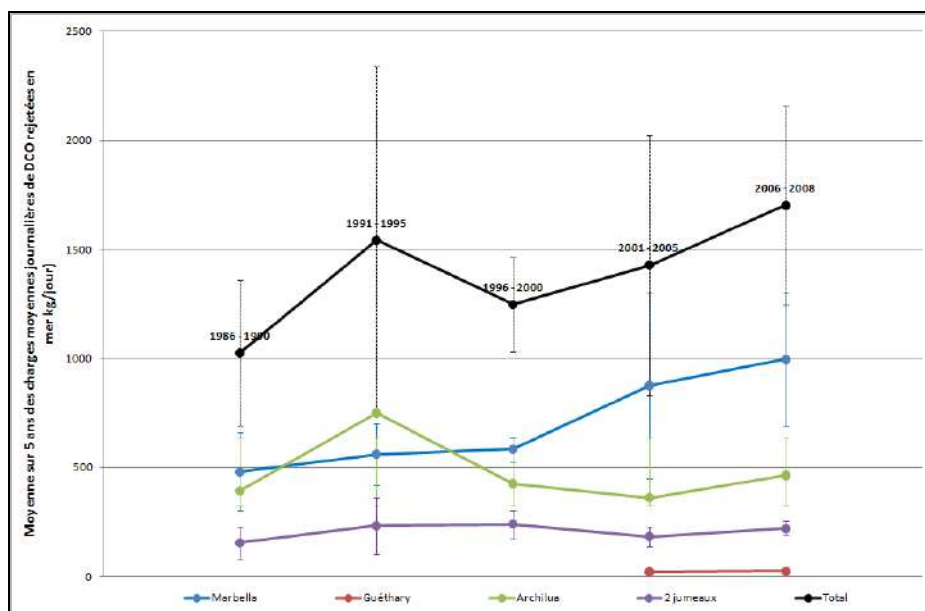


Figure 68 : Evolution des charges moyennes journalières de DCO rejetées en mer par période de 5 ans (Source : IMA)

Sur la période 1986 – 2008, les apports moyens journaliers de DCO₅ en mer par les STEP sont en légère augmentation.

Sur cette période, la gestion des différents systèmes d'assainissement s'est améliorée (meilleure collecte des eaux usées, optimisation de la gestion des effluents par temps de pluie permettant d'éviter des rejets directs d'eaux brutes en mer....). Les modernisations et les augmentations de capacité des stations d'épuration (Marbella, Guéthary) ont conduit à des volumes plus importants à traiter donc des flux plus importants rejetés (à qualité de rejets constante voire améliorée avec les outils de traitement mis en place). Ces éléments expliquent l'évolution des charges constatées.

4.5.5. Analyse de l'évolution des autres apports sur le littoral basque

Il s'agit ici d'identifier les autres apports susceptibles d'amener de la matière organique ou des polluants sur la zone côtière.

Ce bilan des sources potentielles s'appuie essentiellement sur l'étude SEAMER de 2001. Bien qu'ancienne et à réactualiser, il nous est paru intéressant d'identifier toutes les sources susceptibles d'être à l'origine de la formation du liga.

4.5.5.1. Caractérisation des autres apports sur le littoral basque

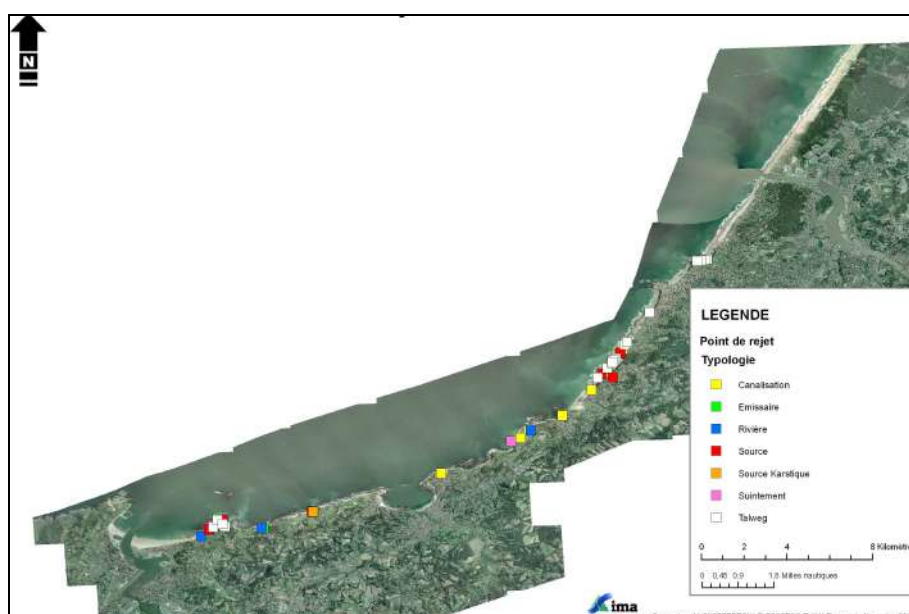


Figure 69 : Cartographie des écoulements littoraux (Source BRGM, 2004)

D'autres apports peuvent véhiculer de la matière organique et des polluants sur le littoral basque. Il s'agit :

- **Des déversoirs d'orages** : 2 en 2001, 1 aux flots bleus à Saint Jean de Luz et 1 à la plage du Pavillon Royal à Bidart. Ces écoulements sont non permanents.
- **Des surverses** : 2 en 2001, 1 rue des flots à Hendaye, 1 au port de Guéthary. Ces écoulements sont non permanents.
- **Réseaux unitaires** : 1 en 2001, 1 au fort de Socoa et 1 à la pointe Sainte Barbe à Saint Jean de Luz. Il s'agit d'écoulements non permanents.
- **Exutoires réseaux** : 3 en 2001, 1 au port de Socoa, 1 au Boulevard Pierre Benoît dans la baie de Saint Jean de Luz, La Cafetière à Biarritz. Il s'agit d'écoulements non permanents.
- **Thalassothérapies** : 6 en 2010, 1 à Hendaye (Serge Blanco), 2 à Saint Jean de Luz (Hélianthal et Grand Hôtel), 2 à Biarritz (Thalmar et Accor Thalassa), 1 à Anglet (Atlantal). Il s'agit d'écoulements permanents.

Suite aux nombreux aménagements faits ces dix dernières années, ce bilan a été actualisé par le Syndicat Kosta Garbia, qui a identifié et géoréférencé ce nombre de rejets. Cette étude serait à poursuivre afin de quantifier ces flux d'eau douce et de polluants.

4.5.5.2. Evolution des autres apports sur le littoral basque

Compte tenu de l'aspect très ponctuel des données existantes voire de leur inexistence, il nous est impossible de qualifier l'évolution de ces apports.

4.6. Analyse des tendances climatiques à long terme

Il s'agit d'analyser l'évolution d'indicateurs climatiques locaux afin d'évaluer leur contribution sur la persistance et la localisation du liga sur le littoral basque observée par les marins pêcheurs du quartier maritime de Bayonne depuis quelques années. Ces facteurs climatiques doivent être appréhendés comme des facteurs aggravants du phénomène.

Les paramètres climatiques retenus sont :

- **La température de l'air** : Elle est en lien direct avec la température de l'eau de surface. Elle a un rôle direct sur la composition faunistique et floristique de la colonne d'eau ainsi que sur sa stratification (thermocline). Elle conditionne indirectement la circulation des masses d'eau côtières. Ceci pourrait, en partie, expliquer l'abondance atypique de polypes d'hydrozoaires dans le liga ainsi que sa dispersion sur le littoral basque.
- **Les précipitations** : Elles apportent des eaux douces et des polluants. Elles peuvent jouer un rôle direct sur la composition du liga et la stratification des masses d'eau (Halocline). Elles conditionnent indirectement la circulation des masses d'eau côtières. Ceci pourrait, en partie, expliquer la présence de polluants continentaux dans le liga ainsi que sa dispersion sur le littoral basque.
- **La direction des vents** : Elle conditionne les courants de surface et pourrait donc influencer la distribution du liga sur le littoral basque.

Les données sont issues du site meteostats pour la station de Biarritz de 1956 -2010. La calibration des données est présentée en annexe 19.

4.6.1. Questions posées

- Des changements hydro-climatiques peuvent-ils contribuer à l'aggravation du phénomène constatée par les marins pêcheurs du quartier maritime de Bayonne depuis 5 ans ?

4.6.2. Evolution des températures

Les températures journalières 2010 sont présentées en annexe 20.

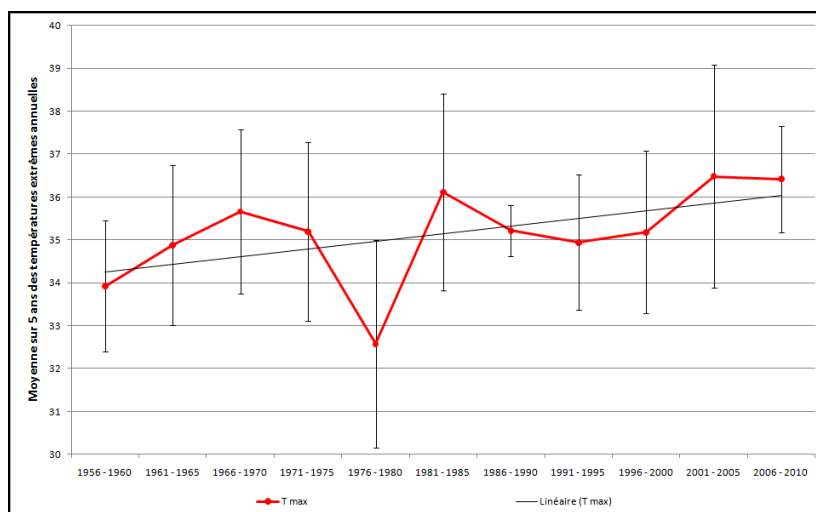


Figure 70 : Evolution sur 5 ans des températures maximales annuelles (Source : IMA)

Le liga s'inscrit dans un contexte de réchauffement climatique local. Les températures atteintes sont de plus en plus chaudes l'été et de plus en plus froides l'hiver. On remarque une augmentation du nombre d'épisodes extrêmes (cf. annexe 20):

- épisodes caniculaires qui se traduisent par l'augmentation du :
 - o nombre de jours où la température maximale journalière dépasse 30 °C,
 - o nombre de jours où la température minimale journalière ne passe pas en dessous de 20 °C
- vagues de froid qui se traduisent par l'augmentation du :
 - o Nombre de jours où la température minimale journalière passe en dessous de 0,
 - o Nombre de jours où la température maximale journalière ne dépasse pas 5°C

4.6.3. Evolution des précipitations

Les précipitations journalières 2010 sont présentées en annexe 21.

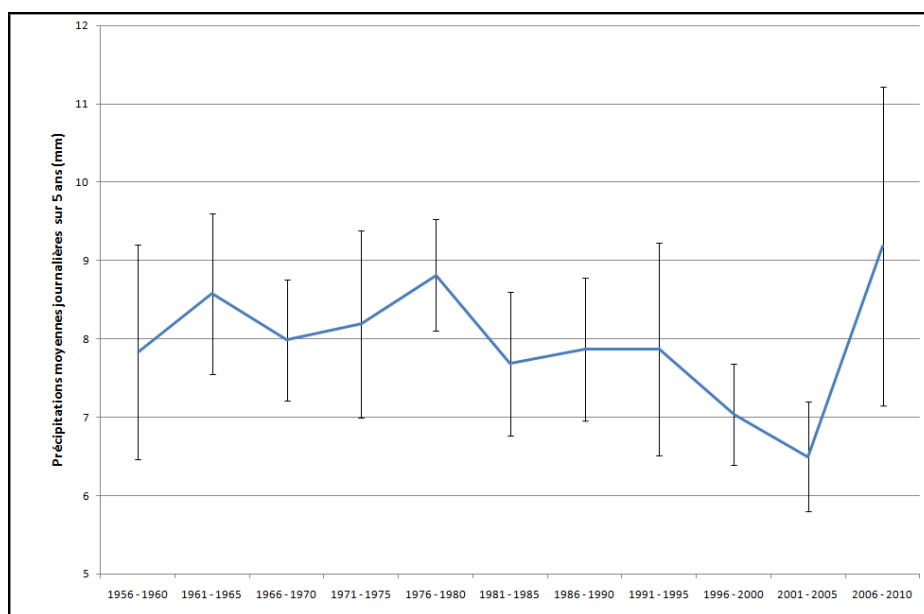


Figure 71 : Evolution des précipitations moyennes les jours pluvieux (Source : IMA)

D'une manière générale, les cumuls annuels de précipitations sont en légère hausse alors que le nombre annuel de jours de pluie est en baisse (cf. annexe 24).

Ceci se traduit par une augmentation des hauteurs d'eau précipitées par épisodes pluvieux qui révèle l'accroissement de précipitations violentes comme en témoigne l'épisode du 16 juin 2010 (90 mm en une journée).

4.6.4. Evolution des vents

Les roses des vents mensuelles 2010 sont présentées en annexe 22.

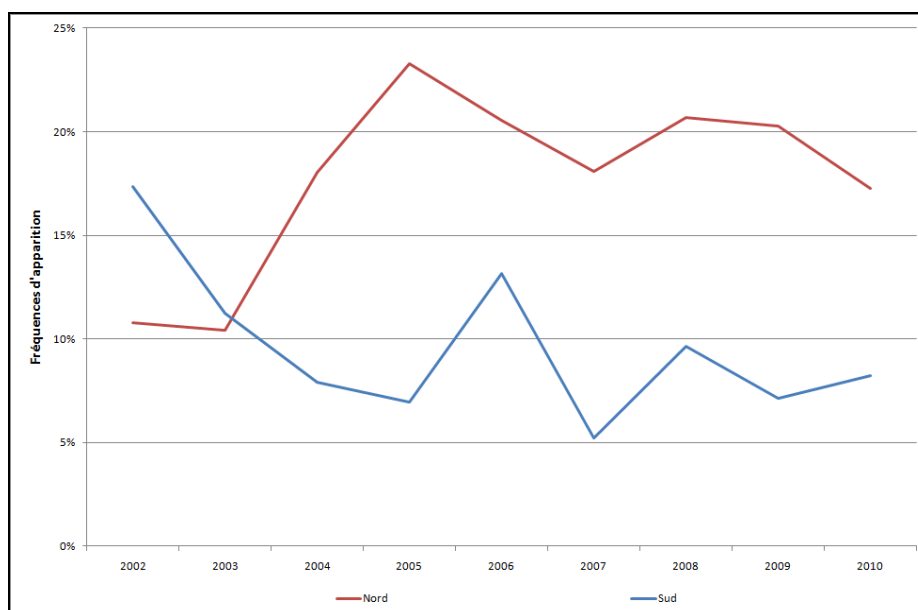


Figure 72 : Evolution des fréquences de vents de secteur nord et sud depuis 2002 (Source : IMA)

Nous observons un renforcement des vents du nord (directions 340 ° à 20 °) au détriment des vents de sud (directions 160° à 200°).

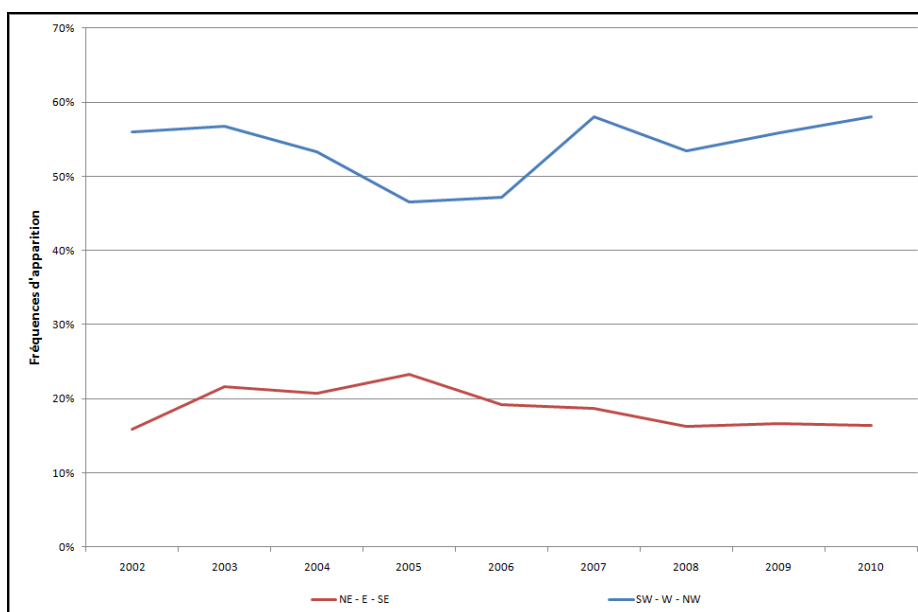


Figure 73 : Evolution des fréquences des vents de secteur est et ouest depuis 2002 (Source : IMA)

Nous observons un léger renforcement des vents de secteur ouest (directions 210° à 330°) au détriment des vents de secteur est (directions 30° à 150°).

Cette tendance de renforcement de vent de secteurs nord et ouest peut expliquer que les courants de surface soient de plus en plus dirigés vers la côte.

4.7. Impact potentiel du liga

4.7.1. Questions posées

- Le liga a-t'il un impact :
 - sur la santé humaine ?
 - sur la colonne d'eau ?
 - sur l'activité de pêche ?
 - sur les communautés de poissons ?

4.7.2. Impact sur la santé humaine

Le risque sanitaire lié au liga est essentiellement dû :

- **A sa composition** : bactéries fécales et cnidaires. La présence de bactéries fécales témoigne de la présence de germes pathogènes (bactéries, virus) non recherchés dans le cadre de cette étude.
- **A sa localisation** : proche de la côte,

Les risques avérés concernent l'activité de pêche où l'exposition au liga se fait par contact avec la peau. Les symptômes décrits dans les enquêtes auprès des pêcheurs du quartier maritime de Bayonne témoignent exclusivement de troubles dermatologiques se traduisant par des démangeaisons, des brûlures ou de l'urticaire. Il est à noter que l'appréciation de ces effets est très suggestive selon l'individu. Cet aspect urticant peut être en grande partie expliqué par la grande présence de cnidaires dans le liga.

A ce jour, il nous est impossible de définir un impact réel pour 2 raisons :

- Nous ne connaissons pas les concentrations réelles en bactéries fécales dans le liga obtenues à partir de prélèvements instantanés. Nous ne pouvons donc pas conclure aujourd'hui si le liga est un concentrateur à bactéries.
- Nous ne maîtrisons ni l'ensemble des molécules présentant un risque pour la santé humaine (germes pathogènes, contaminants organiques et inorganiques) ni leur concentrations contenues dans le liga nécessaires pour déterminer, de façon formelle, un impact lié à l'activité de baignade ou à la consommation de produits de la mer.

4.7.3. Impact sur la colonne d'eau

Faute de profils en l'absence de liga (situation de référence) au point d'échantillonnage, il nous est impossible de caractériser un impact du liga sur la colonne d'eau. Toutefois, nous disposons des suivis DCE de l'IFREMER à Saint Jean de Luz pour comparer nos résultats.

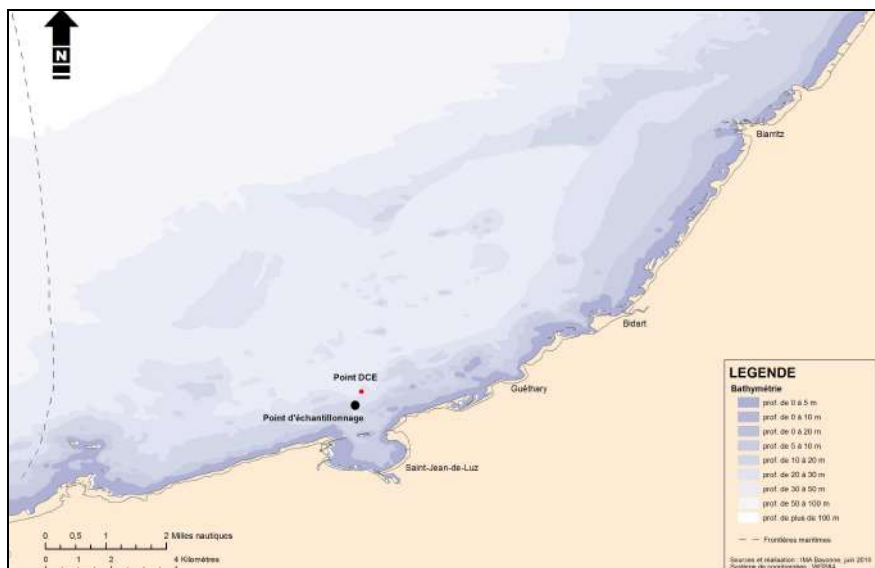


Figure 74 : Cartographie du point d'échantillonnage liga et du point de surveillance DCE (Source : IMA)

Le point de surveillance DCE se situe à environ 500 m de notre point d'échantillonnage ce qui a pour avantage de valider les résultats de nos profils verticaux.

Toutefois, le liga n'affecte pas la turbidité de l'eau puisque la sonde paramètre n'a jamais détecté de signal. Ceci est renforcé d'une part par les résultats des enquêtes des pêcheurs qui révèlent des eaux limpides, d'autre part par le suivi DCE de l'IFREMER où les valeurs sont systématiquement inférieures à 0,5 mg/l sauf le 07 mai en surface et le 17 novembre au fond (périodes d'orage).

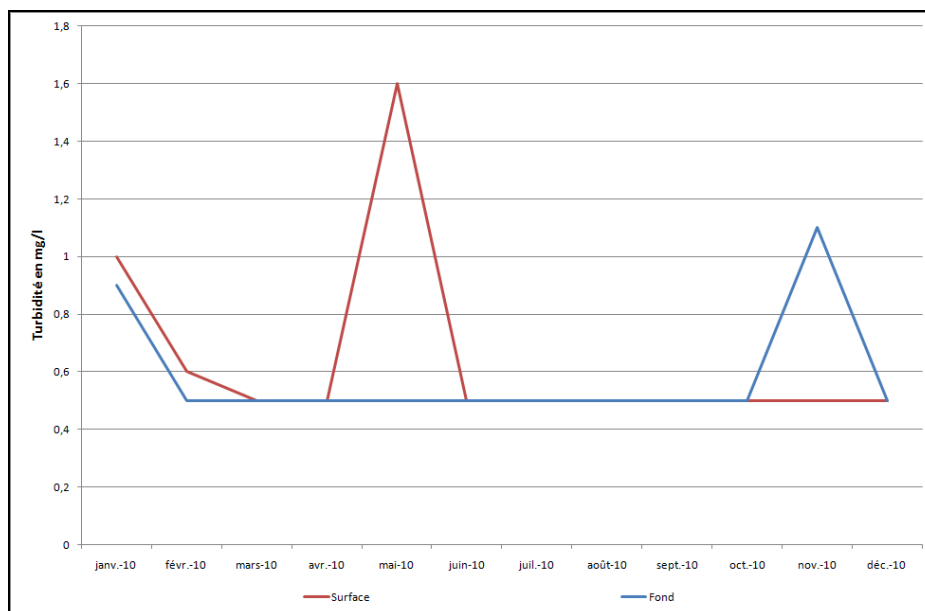


Figure 75 : Evolution de la turbidité de l'eau en 2010 (Source : IFREMER/Quadrige²/DCE)

Les résultats de l'IFREMER confirment les résultats obtenus par l'IMA à savoir que la présence du liga n'a pas d'influence sur la turbidité de l'eau.

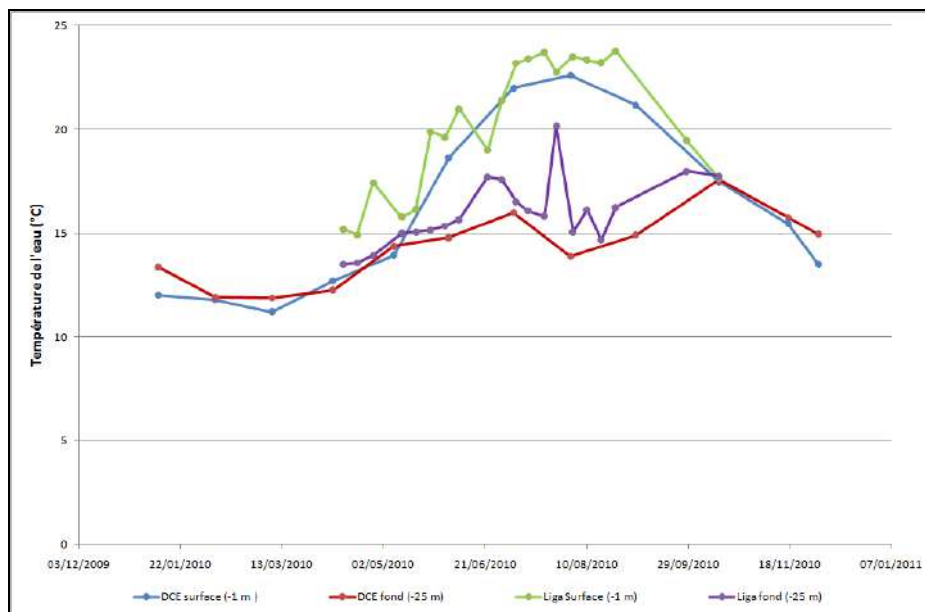


Figure 76 : Evolution de la température de l'eau en 2010 (Source : IFREMER/Quadriges²/DCE et IMA)

Le graphique démontre que les résultats obtenus mensuellement par IFREMER dans le cadre de la DCE et les résultats obtenus hebdomadairement par l'IMA dans le cadre de l'étude liga concordent. La même analyse a été menée sur la salinité et l'oxygène dissous dont les résultats sont présentés en annexe 26.

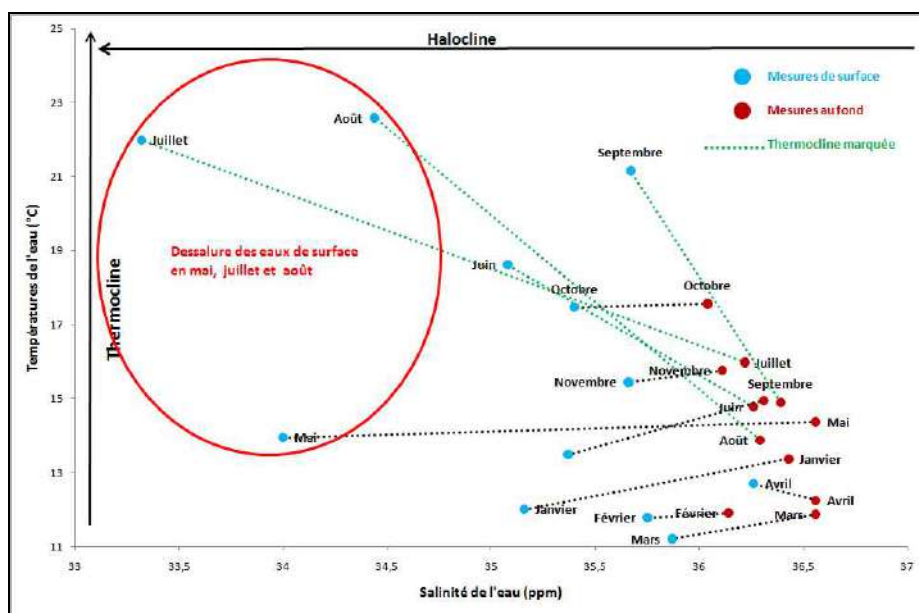


Figure 77 : Diagramme température salinité au point d'échantillonnage DCE de l'IFREMER (Source : IFREMER/Quadriges²/DCE)

Le graphique démontre d'une part, qu'une thermocline marquée est présente sans discontinuer de juin à septembre. Nos résultats hebdomadaires de profils verticaux nous indiquent qu'elle se met en place mi mai suite aux orages étant survenu début mai. Le plus surprenant est la dessalure marquée des eaux de surface pendant les mois d'été. Les résultats DCE confirment les résultats obtenus dans le cadre de notre étude à l'aide de la sonde Horiba (cf annexe 23).

A défaut de nous renseigner sur l'impact du liga sur la colonne d'eau, les profils verticaux nous indiquent une dessalure des eaux de surface au mois de mai, juillet et août. Ces mêmes observations ont été faites à partir de la sonde Horiba lors des campagnes d'échantillonnage. Autant la dessalure de surface de mai (profil réalisé le 7) peut être expliquée par les orages de début mai, autant celles de juillet et août (profils réalisés les 5 juillet et 2 août) ne correspondent pas à des épisodes orageux. **Nous soupçonnons donc des apports d'eau douce estivaux autres que ceux des cours d'eau.**

4.7.4. Impact sur l'activité de pêche

Afin de déterminer un éventuel impact sur l'activité de pêche, nous avons réalisé 25 campagnes d'échantillonnage des pêches à bord du navire ORDAGNA entre le 19 avril 2010 et le 26 octobre 2010. Les filets échantillonnés travaillent :

- Soit en pleine eau entre 5 et 15 m sous la surface. La principale espèce ciblée est a bonite à dos rayé *Euthynnus pelamis*.
- Soit posés sur le fon. La principale espèce ciblée est le rouget *Mullus surmuletus*.

4.7.4.1. Impact sur les rendements de pêche de pleine eau

27 filets de pleine eau ont été échantillonnés. Les caractéristiques de ces filets sont les suivants :

- Longueur : 400 m,
- Hauteur = 12 m,
- Maille = 120 mm,
- Temps d'immersion = 24 h.
- Espèce ciblée : Bonite

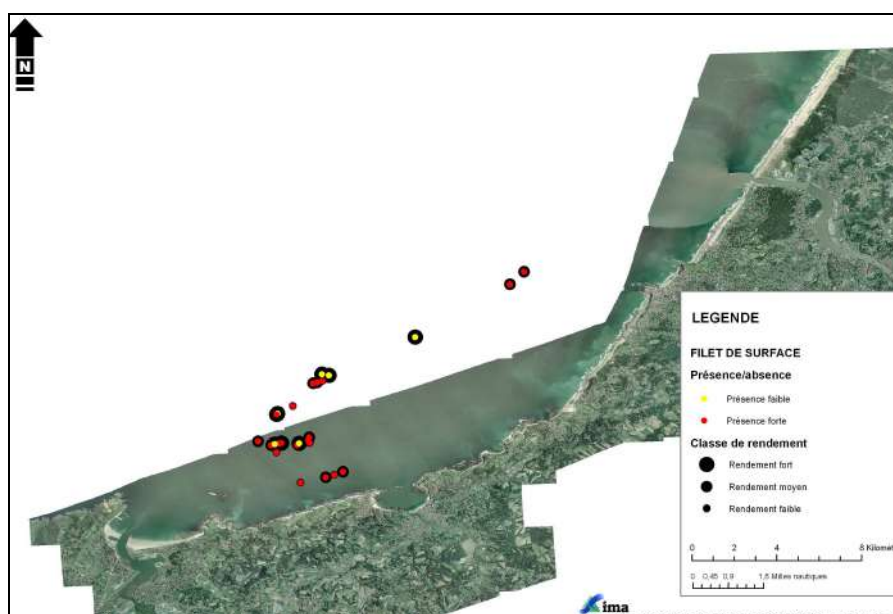


Figure 78 : Cartographie des zones de pêche échantillonnées par les filets de pleine eau (Source : IMA)

Nous avons calculé des rendements de pêche en ramenant le nombre d'individus capturés (commercialisables ou non) par superficie de filet et par heure d'immersion. Nous avons réalisé le test statistique non paramétrique de Wilcoxon afin d'évaluer si les rendements de pêche de pleine eau, en présence faible ou forte de liga, étaient significativement différents.

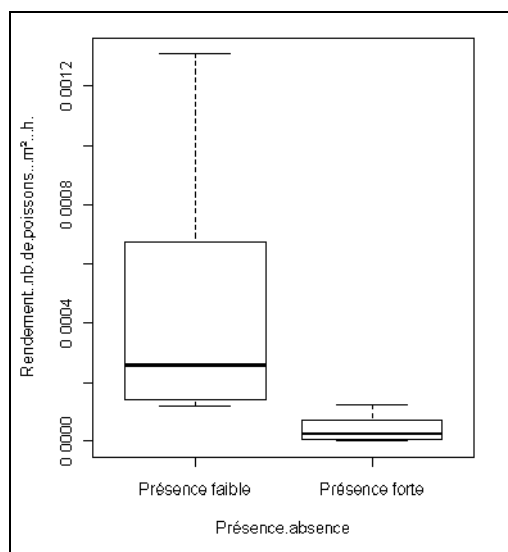


Figure 79 : Résultats des différences de rendements en présence faible ou forte de liga en pleine eau (Source : IMA)

La p-value étant de 0.0003, le test non paramétrique de comparaison des médianes de Wilcoxon indique des différences significatives en termes de rendement en présence faible ou forte de liga : **les rendements de pêche de pleine eau sont plus faibles lorsque le liga est fortement présent**. Cette baisse de rendement est-elle due :

- A un comportement d'évitement du filet rendu visible par le liga ?
- A un comportement de fuite de la zone du poisson indisposé par la présence du liga ?

Parallèlement, nous avons réalisé l'échantillonnage de 112 bonites qui ont été capturées entre mai et juin. Nous constatons qu'en présence forte de liga, les bonites capturées sont plus petites et moins grosses (cf. annexe 24)

4.7.4.2. Impact sur les rendements de pêche de fond

60 filets de fonds ont été échantillonnés. Les caractéristiques de ces filets sont les suivants :

- Longueur : 1000 m,
- Hauteur = 3,6 m,
- Maille = 60 mm,
- Temps d'immersion = 3 à 6 h
- Espèce ciblée : Rouget

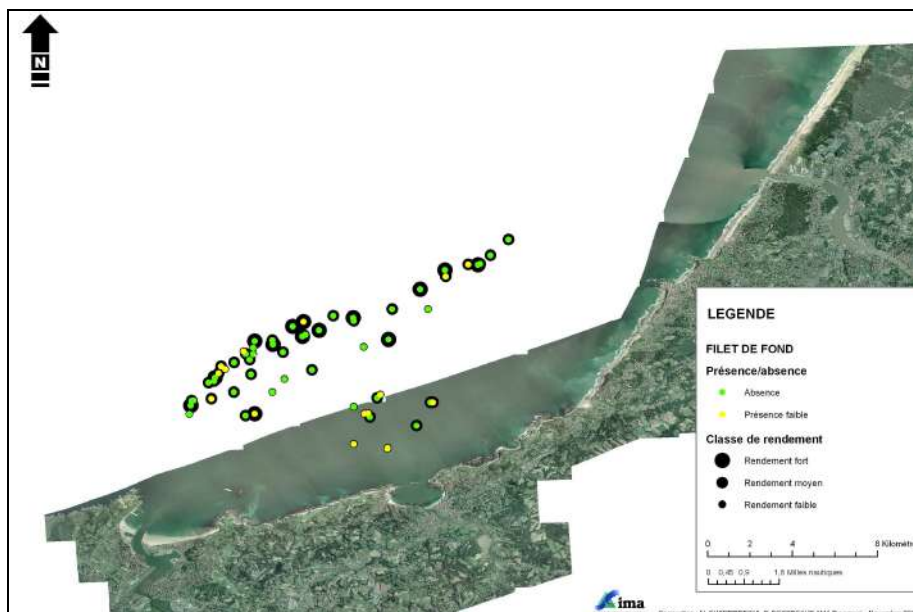


Figure 80 : Cartographie des zones de pêche échantillonnées par les filets de fond (Source : IMA)

Nous avons calculé des rendements de pêche en ramenant le nombre d'individus capturés (commercialisables ou non) par superficie de filet et par heure d'immersion. Nous avons réalisé le test statistique non paramétrique de Wilcoxon afin d'évaluer si les rendements de pêche de fond, en présence faible ou absence de liga, étaient significativement différents.

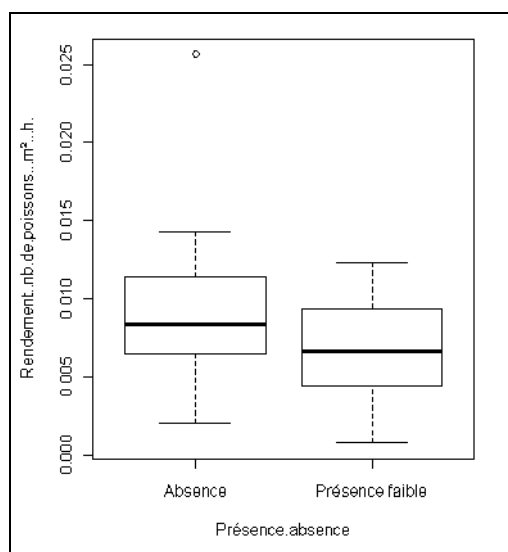


Figure 81 : Résultats des différences de rendements en présence faible ou absence de liga au fond (Source : IMA)

La p-value étant égale à 0,5, le test non paramétrique de comparaison de médianes de Wilcoxon ne permet pas de conclure en termes de différences de rendement en présence ou non de liga au fond.

Parallèlement, nous avons réalisé à l'échantillonnage de 260 rougets sur toute la période d'échantillonnage. Nous ne constatons pas de différences significatives concernant la taille et le poids des individus capturés en fonction de la présence ou non de liga au fond (cf. annexe 25)

4.7.4.3. *Autres impacts sur l'activité de pêche*

En plus d'avoir un impact sur les rendements de pêche, le liga présente d'autres effets sur l'activité de pêche :

- Il dégrade de façon significative les conditions de travail et d'hygiène à bord des navires,
- Lorsqu'il est très abondant, il interdit la pratique de la pêche et contribue donc à une réduction des zones exploitables.



Figure 82 : Illustration de l'impact du liga sur les conditions de travail et d'hygiène à bord des navires (Source : IMA)

4.7.5. **Impact sur les communautés de poissons**

Pour déterminer l'impact sur les communautés de poisson, nous avons réalisé :

- Un calcul d'indice de diversité,
- Un examen externe des lésions anatomo-morphologiques et du parasitisme externe sur chaque individu,
- Un examen des branchies et des contenus stomacaux d'un échantillon de poisson.

4.7.5.1. *Indice de diversité*

Comme pour l'échantillonnage des pêches, nous avons relevé les caractéristiques de l'engin, son temps d'immersion et la présence ou non de liga. Cette fois-ci, au lieu d'utiliser le nombre d'individus capturés, nous avons calculé le nombre d'espèces capturées que nous avons ramené par superficie de filet et par temps d'immersion.

Sur les filets de pleine eau, comme sur les filets de fond, nous n'observons pas de différence significative du nombre d'espèces capturées en fonction de la présence ou non de liga. Il ne semble donc pas que le liga ait un impact direct sur la richesse spécifique.

4.7.5.2. Examen des lésions anatomo-morphologiques et du parasitisme externe

Nous avons réalisé un examen externe de l'état des individus capturés. Nous n'avons pas relevé de lésions particulières (nécroses...) associées à la présence de liga. Les seuls paramètres relevés concernent du parasitisme externe ou interne (poux, puces, vers...) qui sont difficilement imputables à la seule présence de liga.

4.7.5.3. Examen des branchies et des contenus stomacaux

Nous avons réalisé l'examen des branchies et des contenus stomacaux d'un échantillon de poissons. Il apparaît que le liga est très souvent présent dans :

- Les contenus stomacaux des petits pélagiques (sardine, anchois, sprat) qui doivent l'ingérer en filtrant l'eau pour se nourrir,
- Les branchies des grands pélagiques (bonite, parfois merlu)
- Les méduses



Figure 83 : Illustration du liga retrouvé dans les branchies ou les contenus stomacaux des poissons ainsi que les méduses (Source : IMA)

Compte tenu de la composition du liga, ce dernier point soulève la question de l'impact du liga sur la physiologie de ces individus ?

4.8. Autres observations

Parallèlement aux observations de liga, les embarquements pour échantillonnage ont été l'occasion de recenser un certain nombre de phénomènes qui sont difficilement imputables à la présence de liga. Toutefois, il est tout de même intéressant de les notifier. Pendant ces campagnes, nous avons pu constater :

- Une forte présence de « poux » de mer, notamment dans les bogues,



Figure 84 : Illustration des poux de mer rencontrés sur le littoral basque en 2010 (Source : IMA)

- Une forte présence de « puces de mer », au niveau des vasières, sur les soles, les baudroies et les raies,



Figure 85 : Illustration d'une raie parasitée par les puces de mer sur le littoral basque en 2010 (Source : IMA)

- Une forte abondance de salpes fin juin qui sont restés présents tout l'été



Figure 86 : Illustration des salpes rencontrées sur le littoral basque en 2010 (source : IMA)

- Une présence régulière et abondante de crabes nageurs appelés « gnagnons » par les pêcheurs



Figure 87 : Illustration des crabes nageurs rencontrés sur le littoral basque en 2010 (Source : IMA)

- Une forte présence estivale de méduses

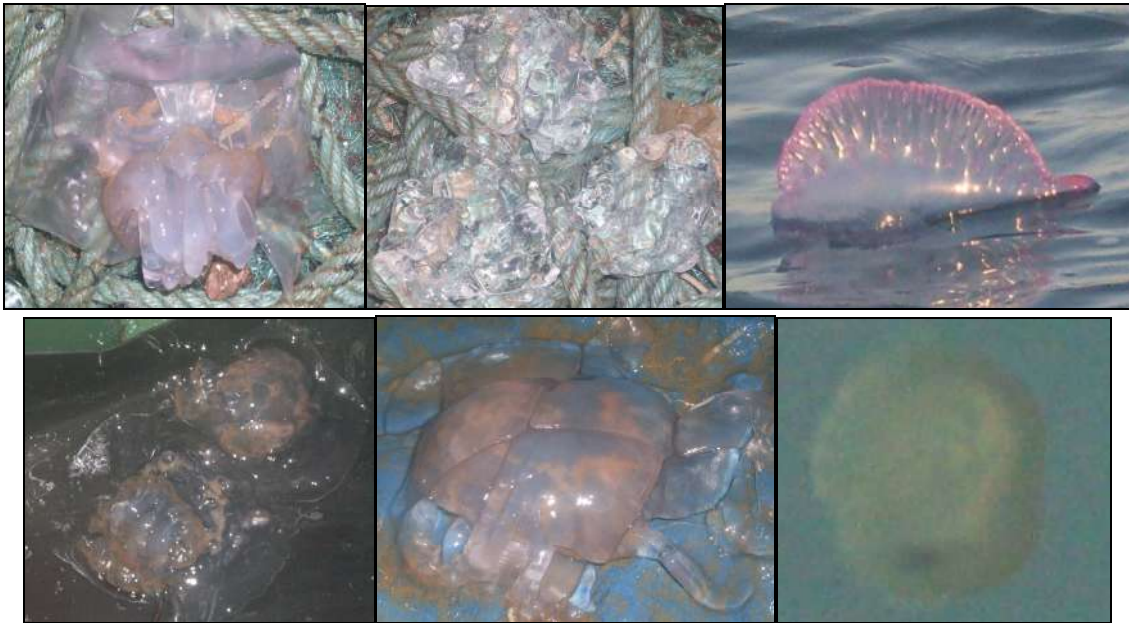


Figure 88 : Illustration des méduses rencontrées sur le littoral basque en 2010 (Source : IMA)

5. Discussion

Le liga est un phénomène spécifique à la côte basque. Malgré nos recherches et contacts dans d'autres régions, nous n'avons pas connaissance d'un phénomène similaire sur la façade maritime française. Cette première étude a permis de **déterminer sa composition**, partiellement son impact et d'orienter une stratégie sur les sources potentielles. Il reste à mieux définir la variabilité spatiale de sa composition, d'affiner son impact sur la santé humaine et de préciser la contribution de chaque apport en mer dans son processus de formation.

Le protocole d'échantillonnage était particulièrement adapté à la récolte régulière de liga afin d'en définir sa composition et sa variabilité d'abondance au cours de la saison. Initialement, il était supposé apparaître par période, c'est pourquoi il a été décidé d'immerger le dispositif 144 h par semaine afin d'optimiser sa collecte. Toutefois, la méthode présente ses limites quant à l'interprétation des concentrations rencontrées dans le liga, et donc la définition des impacts sur la santé humaine qui en découlent, et la contribution des facteurs abiotiques et des apports en mer susceptibles d'être à l'origine de sa formation.

Le liga est une boue visqueuse présentant un **fort pouvoir d'agglutination**. Il s'agit d'un mélange entre matière vivante (bactéries, phytoplancton...) et matière organique.

Au niveau de la fraction biologique, le liga se compose majoritairement de polypes d'hydrozoaires, **de diatomées (*Cylindrotheca closterium*, *Licmorpha abbreviata*) et de bactéries fécales**. Ces derniers appartiennent à l'ordre des cnidaires (méduses) et peuvent, en partie, expliquer son pouvoir d'agglutination et son caractère urticant. Habituellement rencontrés sur les fonds marins de la côte basque, leur présence en nombre dans le liga, phénomène pélagique, est atypique. La

présence de bactéries fécales soulève la question de l'impact du liga sur la santé humaine et interroge sur le **rôle des apports continentaux dans le processus de formation du liga**.

La composition du liga varie en diversité d'espèces et en abondance au cours de la saison. Il présente les caractéristiques d'un piège à particules qui renferme les éléments rencontrés dans la colonne d'eau. Il se compose **d'éléments marins** (phytoplancton, zooplancton) et **d'éléments continentaux** (bactéries fécales, débris végétaux). Au niveau des espèces marines, on retrouve des taxons d'origine **benthique et planctonique**.

Les analyses biologiques révèlent une **production phytoplanctonique locale estivale atypique**. Ces résultats sont confirmés par les analyses de l'IFREMER dans le cadre de la surveillance établie pour la mise en œuvre de la Directive Cadre sur l'Eau. Habituellement, le phytoplancton utilise, en fin d'hiver ou début du printemps, les sels nutritifs (azote, phosphore) apportés par les crues hivernales des fleuves pour produire, par la photosynthèse, sa propre matière organique. L'existence d'une production phytoplanctonique estivale locale témoigne **d'apports en sels nutritifs à cette période**. Malheureusement, le suivi DCE des sels nutritifs n'est effectif qu'entre novembre et avril ce qui ne nous permet pas de confirmer la présence de sels nutritifs à cette période. Ceci met en lumière la **nécessité de mettre en œuvre un point de surveillance régulier sur la côte basque**.

En période estivale, des **dessalures anormales des eaux de surface** sont constatées et témoignent **d'apports d'eau douce**. Ce phénomène n'est pas expliqué par les débits estivaux des cours d'eau. Ces observations sont corroborées par les résultats obtenus par l'IFREMER dans le cadre de la DCE.

Les analyses de la matière organique révèlent un **enrichissement dans le liga**. En effet, les valeurs en carbone organique particulaire sont élevées, supérieures aux valeurs traditionnellement observées dans les crues de l'Adour et de la Nivelle et inférieures aux valeurs classiquement mesurées dans les rejets de STEP. La teneur en matière minérale du liga révèle le rôle des apports fluviaux dans le processus de formation du liga. Toutefois, les seuls apports fluviaux ou rejets de STEP ne peuvent pas expliquer les teneurs en matière organique constatées. Il faut donc comprendre que le liga est la **résultante de plusieurs apports en matière organique d'origine terrigène et anthropique**. Ces résultats sont confirmés par l'analyse du δC^{13} qui présente un signal intermédiaire entre une origine continentale et marine. La composante marine s'explique par la présence importante de phytoplancton et de zooplancton. La composante continentale s'explique par la présence de bactéries fécales, de débris végétaux et de matière organique élevée.

Les résultats de la composition du liga suscitent de nouvelles interrogations. En effet, le protocole d'échantillonnage ne permet pas, de façon formelle, de déterminer les concentrations en polluants et donc de déterminer de façon précise un impact sur la santé humaine. Comme nous l'avons dit précédemment, le liga présente les caractéristiques d'un piège à particules. Parmi les molécules susceptibles d'être emprisonnées, il est fort probable de retrouver des contaminants organiques (pesticides) ou inorganiques (métaux lourds, hydrocarbures) qui affectionnent particulièrement ce genre de micro-habitats.

Afin de **définir les activités à risque et le niveau de risque**, il semble indispensable **d'explorer le compartiment contaminants, d'évaluer le rôle concentrateur du liga en polluants** (bactéries

fécales, contaminants), **d'identifier et quantifier les sources d'apports**. Ceci passe par la mise en place d'un protocole d'échantillonnage adapté et un bilan actualisé des apports en mer. Pour comprendre le processus de formation du liga, il est essentiel de connaître, du point de vue qualitatif et quantitatif, les apports de matières en zone côtière.

En 2010, le liga a été présent sur le littoral basque de mi mars à fin octobre sans discontinuer. Il a disparu pendant le mois de novembre (forte houle) et est réapparu, en moindre quantité, début décembre.

On le retrouve de l'embouchure de l'Adour au nord à la frontière espagnole au sud. Le **phénomène semble côtier** puisqu'on l'observe essentiellement sur des petits fonds. La nécessité de préciser les concentrations en polluants, et donc son impact sanitaire, réside dans sa présence proche de la côte entre Saint Jean de Luz et Guéthary. Trois points de présence récurrentes ont été identifiés : le long de la corniche entre Socoa et Hendaye sur des fonds de 20 m, entre Saint Jean de Luz et Guéthary sur des fonds de 2 à 10 m, la basse des esclaves sur des fonds de 20 m à Biarritz. La limite externe, vers le large, n'a pu être définie dans le cadre de cette étude.

La détection d'un signal atypique au sondeur acoustique pourrait correspondre au liga. Cette piste est donc à explorer pour affiner la cartographie du phénomène.

Dans la colonne d'eau, le liga se situe sous la surface, essentiellement entre 5 et 20 m. **Le phénomène est pélagique**. Une première analyse statistique, demandant à être confirmée, semble démontrer une accumulation de liga dans la zone de thermocline.

Malgré la présence de liga dans la colonne d'eau, les **eaux marines sont transparentes**. Les mesures de très faible turbidité des eaux de l'IFREMER dans le cadre de la DCE et de l'IMA dans le cadre de cette étude sont à cet égard probantes.

Du fait d'un protocole d'échantillonnage inadapté, il nous a été impossible d'identifier des fenêtres de conditions hydro-climatiques ou océaniques favorisant la présence de liga. Ceci est essentiellement du au temps d'immersion du dispositif d'échantillonnage qui oblige l'intégration de ces facteurs abiotiques sur 144 h par semaine ce qui diminue fortement la sensibilité des analyses, d'autant plus que ces paramètres fluctuent quotidiennement.

En **l'absence d'un modèle courantologique de la zone côtière opérationnel à l'échelle locale**, il ne nous a pas été impossible d'établir des relations entre les masses d'eau de la zone littorale et la présence de liga. Il en ressort la nécessité de mobiliser les équipes locales compétentes pour collaborer à l'élaboration d'outils de gestion en temps réel à partir des modèles existants.

Afin **d'identifier les sources et leur contribution dans le processus de formation** du liga, il est **essentiel de réaliser un bilan détaillé des apports en mer**. Ceci demande de compiler les données existantes et de procéder à des mesures sur les points ne disposant pas de suivis.

Compte tenu de **l'origine multi-sources du liga**, il semble indispensable de disposer de données régulières dans le temps qui tiendront compte des fluctuations quotidiennes pour pouvoir réaliser des analyses non linéaires.

Compte tenu des résultats obtenus (dessalure des eaux et production phytoplanctonique estivale) et du constat d'aggravation de la situation ces dernières années par les marins pêcheurs du quartier de Bayonne, nous avons réalisé une analyse à long terme des apports en mer et des facteurs climatiques. Ceci a permis de replacer l'année 2010 dans un contexte plus global.

Au niveau des apports en mer, **nous avons constaté que les pratiques de dragage du port de Bayonne ont très peu évolué depuis 1980.** En effet, les fréquences et périodes de dragages, la nature et le volume des sédiments sont quasiment les mêmes qu'en 1980. Les sédiments dragués sont principalement des sables de l'embouchure et des vases du banc Saint Bernard. Ils font systématiquement l'objet d'analyses avant les campagnes de dragages qui révèlent des sédiments de bonne qualité. La zone de clapage principal se trouve au large de l'embouchure de l'Adour. Environ 15 tonnes de sables de l'embouchure ont été clapés devant les plages d'Anglet en 2010 dans le but de les réengraisser.

Au niveau des **stations d'épuration, de nombreux aménagements ont été entrepris ces dernières années.** Il s'agit de modernisation des systèmes de traitement, de création ou prolongement d'émissaires, d'augmentation de capacité de traitement ou encore de création de nouvelles stations d'épuration. Il est important de prendre en compte le couple station/réseau. En effet, le raccordement au réseau collectif a nettement progressé ces dernières années ce qui se traduit par une augmentation des effluents à traiter arrivant aux stations. Ces éléments expliquent la hausse des charges annuelles moyennes rejetées de matières en suspension, d'azote Kjeldahl et DCO. Parallèlement, les charges moyennes annuelles de phosphore rejetées en mer ont diminué fortement alors que celles en DBO5 sont restées stables.

Aujourd'hui, l'ensemble des stations d'épuration de la Côte basque répond aux obligations demandées par la réglementation.

Au niveau des apports des cours d'eau, nous avons réalisé une analyse des débits de l'Adour. Elle démontre que les **modules annuels de l'Adour sont en baisse** et que les **étiages sont de plus en plus sévères**. L'Adour a donc tendance à amener moins d'eau douce en zone côtière qu'auparavant.

Le liga s'inscrit dans un contexte de changement climatique qui peut être un facteur aggravant du phénomène. En effet, les températures maximales les précipitations moyennes les jours pluvieux sont en hausse. Ceci se traduit par l'augmentation de fréquence d'épisodes extraordinaires (fortes chaleurs, grands froids, fortes pluviométries) dont on ne maîtrise pas l'incidence. Malgré leur caractère très ponctuel, ces épisodes peuvent avoir un impact significatif, notamment sur la stratification des eaux.

Parallèlement, nous observons depuis le début des années 2000 un **renforcement des vents de nord et d'ouest**. Le vent est le principal facteur de forçage des courants côtiers basques. Cette observation pourrait en partie expliquer que les vents de nord et d'ouest, plaquant les courants contre la côte, contribuent à la persistance du liga sur le littoral basque.

En termes d'impact sur la santé humaine, les **risques sont liés à la composition et la localisation du liga**. Il en découle des risques avérés, relayés par les pêcheurs professionnels, et des risques suspectés qui demandent des analyses supplémentaires.

Au niveau des **risques**, le liga provoque des **troubles dermatologiques** qui se traduisent par des démangeaisons, des brûlures ou des urticaires selon l'appréciation des pêcheurs. Ceci peut s'expliquer en grande partie par la présence constante dans le liga de polypes d'hydrozoaires (méduses).

La présence de bactéries indicatrices de contamination fécale laisse présager la présence de germes pathogènes (bactéries, virus). Il est donc indispensable de savoir si le liga est un **concentrateur de particules ou s'il offre des conditions de milieu suffisantes à une survie prolongée des bactéries**. Par ailleurs, nous savons que les contaminants ont une affinité particulière pour les floccs semblables au liga. La recherche de ce paramètre permettrait aussi de **préciser les risques sur la santé humaine**.

Le liga a un impact sur l'activité de pêche. Il contribue à la **dégradation des conditions de travail et d'hygiène à bord**. Quand sa présence est abondante sur les lieux de pêche, il interdit la bonne pratique des filets et engendre naturellement une **réduction des zones exploitables**. De plus, le liga a un impact sur les **rendements de pêche des filets en pleine eau**. En effet, les rendements chutent en sa présence dans la zone pélagique. A ce jour, nous ne savons pas si cette diminution est à un comportement d'évitement du filet rendu visible par le liga déposé dessus ou à un comportement de fuite de la zone du poisson indisposé par la présence de liga.

L'analyse statistique ne nous permet pas de conclure sur un effet de la présence de liga sur les rendements de pêche des filets de fond.

Au niveau des **communautés de poissons**, aucune lésion anatomo – morphologique externe n'a été observée sur les poissons en présence de liga. Les seules manifestations pathologiques externes concernent du **parasitisme** qui est difficilement imputable à la seule présence de liga. Il **n'influe pas non plus sur la diversité d'espèce** de poissons présents sur les zones de pêche. Toutefois, nous avons constaté régulièrement sa **présence dans les contenus stomacaux des petits pélagiques** (sardine, anchois, sprat) et les branchies de grands pélagiques (bonites, merlus). Nous nous interrogeons donc sur son impact sur la physiologie de ces individus.

6. Conclusion – Perspectives

La première phase de l'étude liga a répondu à la plupart des questions initialement posées et en a soulevé de nouvelles soit par la nature des résultats obtenus soit par des lacunes dans la connaissance de certains aspects indispensables à la compréhension du phénomène.

Il se dégage donc de cette première étude des perspectives de travail à court et moyen terme visant à compléter les résultats obtenus.

Il s'agira dès 2011 de mieux cerner les apports en mer en termes de sels nutritifs et de polluants. Ce travail préalable est indispensable à la compréhension du processus de formation du liga. Il faudra aussi répondre à des préoccupations sociétales en précisant les risques sanitaires et en analysant le comportement des poissons en présence de liga. Afin de renforcer notre connaissance sur la localisation et les conditions d'apparition du liga, le système d'enquête auprès des pêcheurs

sera maintenu en 2011 et des tests de détection du phénomène par imagerie acoustique seront réalisés pour une cartographie à grand échelle du phénomène..

En 2012, un programme de recherche répondant à l'appel d'offre recherche 2012 sera mis en place avec deux axes de travail principaux. Le premier concerne la compréhension du phénomène par l'analyse de la dynamique du compartiment primaire en lien avec les apports en mer. Le second concerne la dispersion du liga sur la zone côtière et sa reprise par les courants marins par l'exploitation d'un modèle courantologique pertinent à l'échelle locale.

Annexes

Annexe 1 : Fiche enquête de veille quotidienne

FEUILLE DE VEILLE QUOTIDIENNE (à remplir en présence ou absence de liga)

NOM DU NAVIRE :

N° Observation	Date	Zone	Latitude	Longitude	Présence de liga ?	Profondeur de l'engin	Profondeur de la zone
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47							
48							
49							
50							

Mode de remplissage de la fiche : Tournez SVP

CONSIGNES DE REMPLISSAGE DE LA FEUILLE DE VEILLE QUOTIDIENNE

L'objectif de cette fiche est double :

- détecter les périodes avec ou sans liga,
- déterminer la zone d'influence du liga.

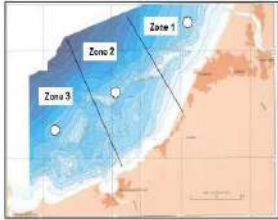
Pour cela, nous comptons sur votre présence quotidienne sur l'eau. C'est pourquoi nous vous sollicitons pour **remplir tous les critères de la feuille de veille quotidienne en présence ou en absence de liga à chaque pose d'engin**.

Si vous relevez plusieurs filets ou lignes pendant une même journée, merci de renseigner les critères pour chaque engin relevé. Plus nous aurons d'informations, plus vous nous aiderez.

N° Observation : Ce numéro correspond à chaque pose d'engin. En présence de liga, reporter ce numéro sur la « fiche enquête liga ».

Date : Préciser la date de l'observation.

Zone : En l'absence de GPS à bord, répondre 1, 2 ou 3 selon la carte présentée ci-dessous.



Latitude / Longitude : Si vous possédez un GPS à bord, préciser les coordonnées GPS.

Présence de Liga ? :

En l'absence de liga, répondre par non.

En présence de liga, répondre par oui et remplir une « fiche enquête liga ».

Profondeur de l'engin : Préciser la profondeur de travail de l'engin (ex : entre 5 et 15 m).

Profondeur de la zone : Préciser la profondeur de la zone de travail.

MERCI DE VOTRE COLLABORATION

CONTACT POUR TOUT RENSEIGNEMENT

INSTITUT DES MILIEUX AQUATIQUES : 05 59 25 37 75 ima.aquatic@orange.fr
 Laurent DUBOIS : 06 65 01 43 67 ima.dubois@wanadoo.fr
 François GAILLET : 05 59 25 37 70 ima.gaillet@wanadoo.fr
 Nicolas SUSPERRIGUI : 05 59 25 38 73 ima.susperrigui@wanadoo.fr

[illegible]

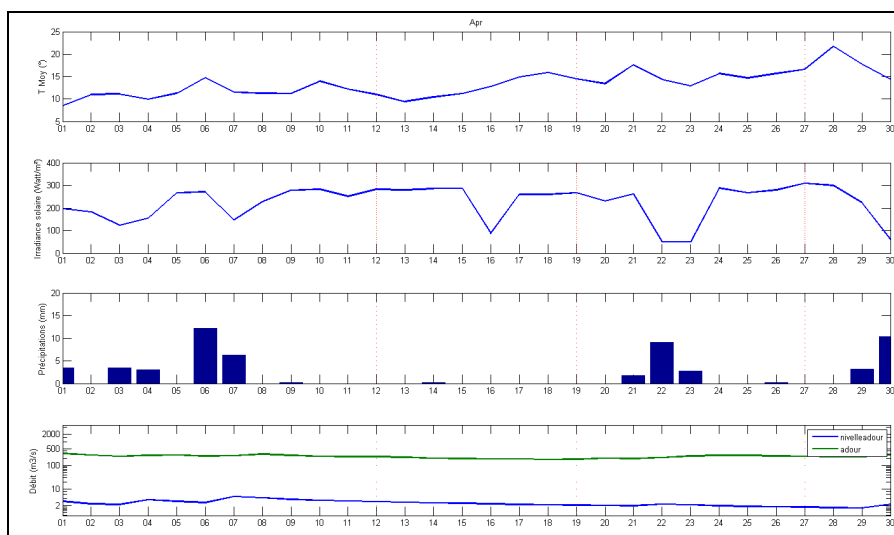
Annexe 3 : Fiche échantillonnage des pêches

[illegible]

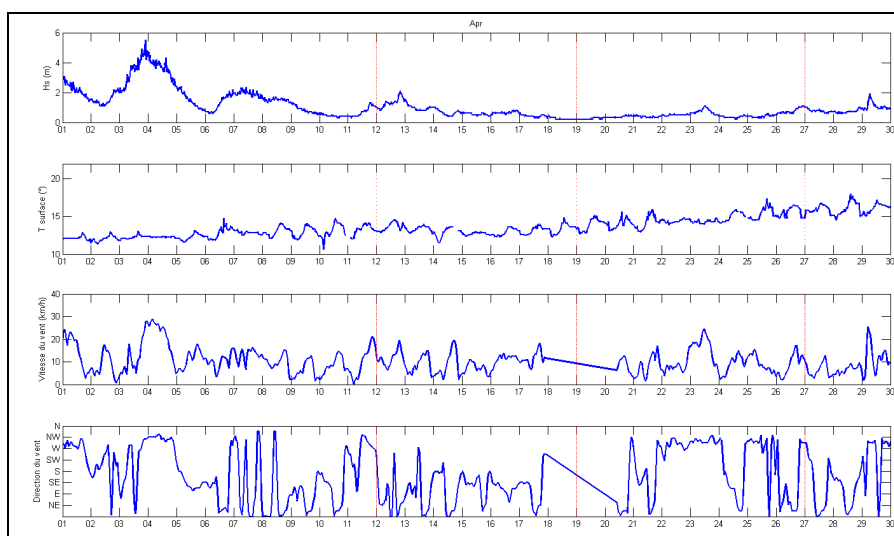
Annexe 4 : Conditions hydro – océano climatiques de l'année 2010

Avril 2010

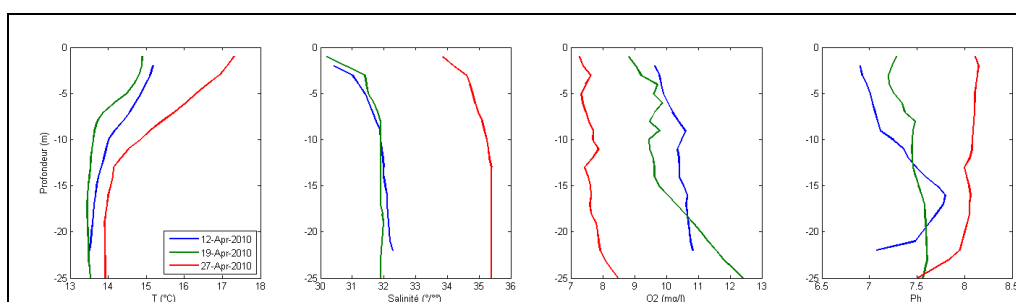
Météo



Océano

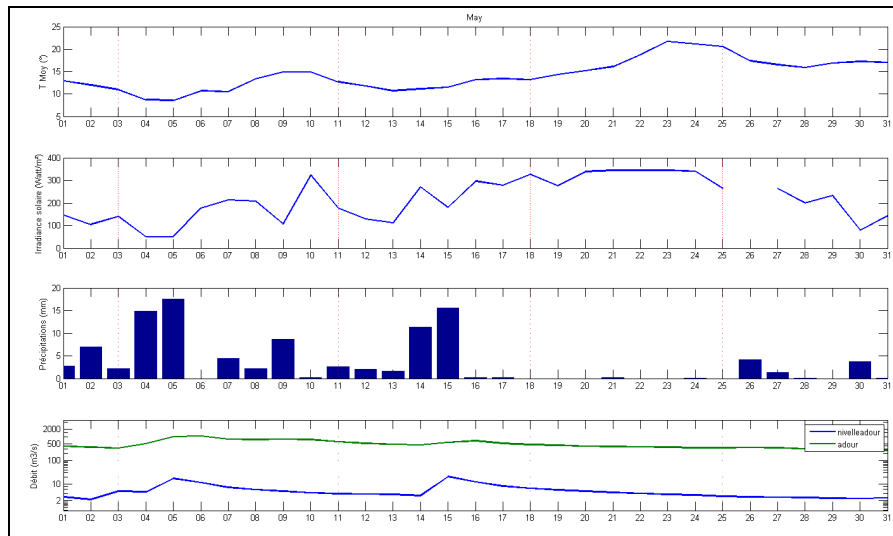


Masse d'eau

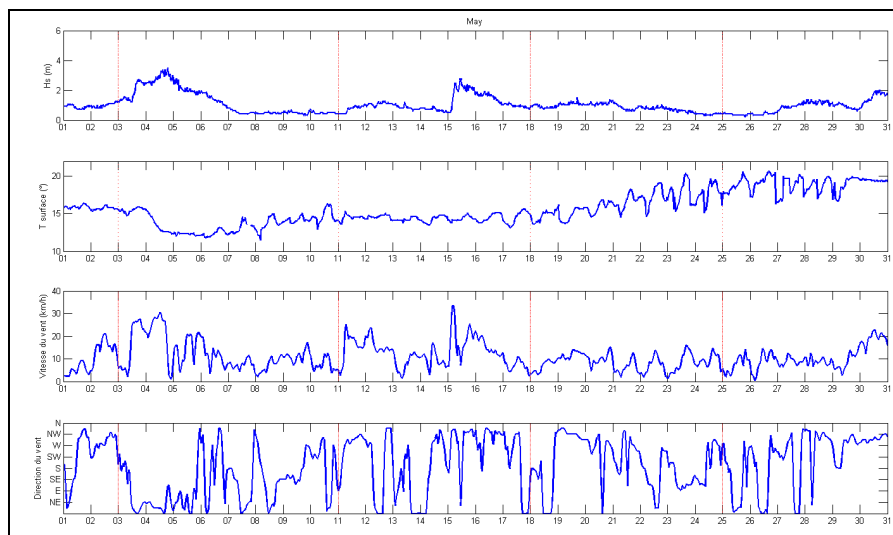


Mai 2010

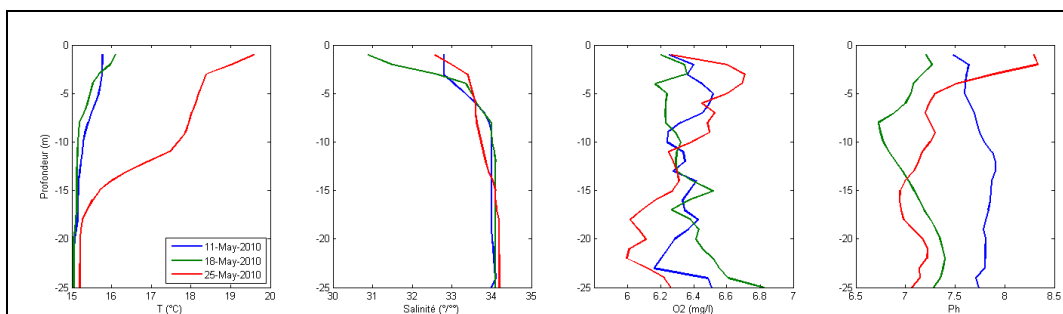
Météo



Océano

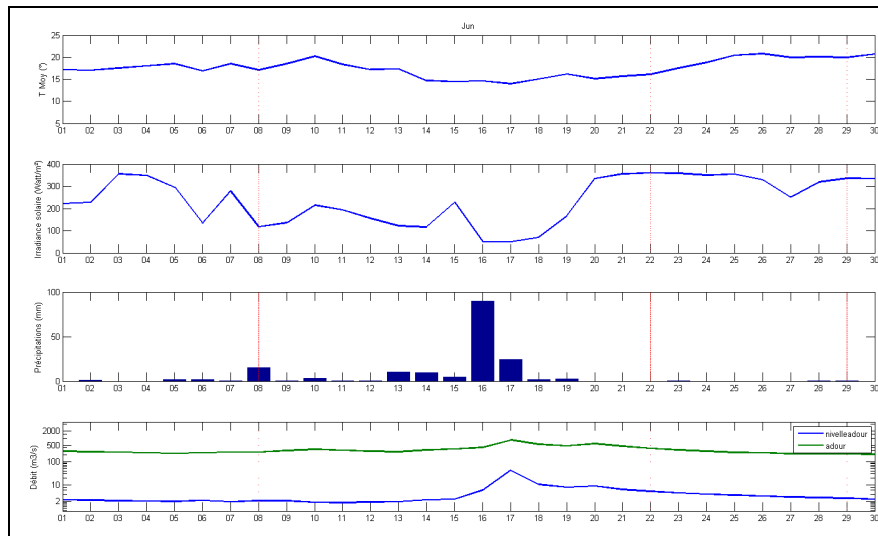


Masse d'eau

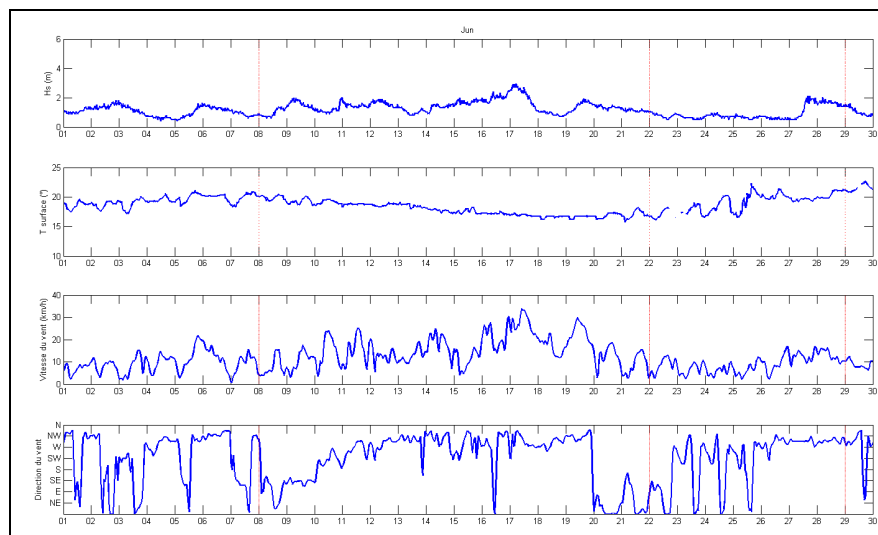


Juin 2010

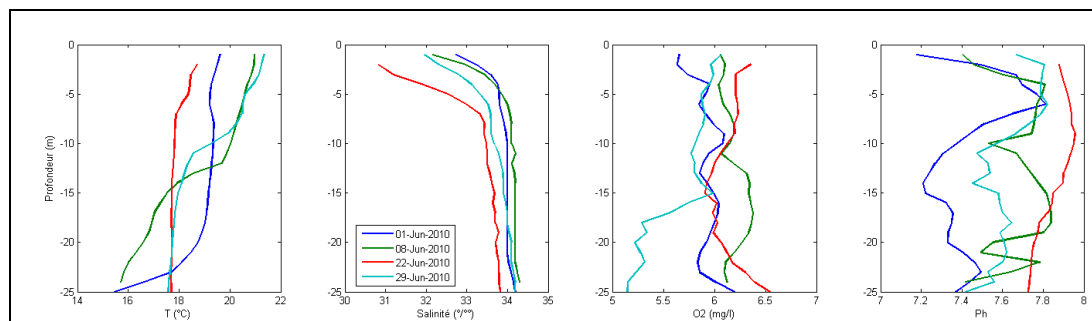
Météo



Océano

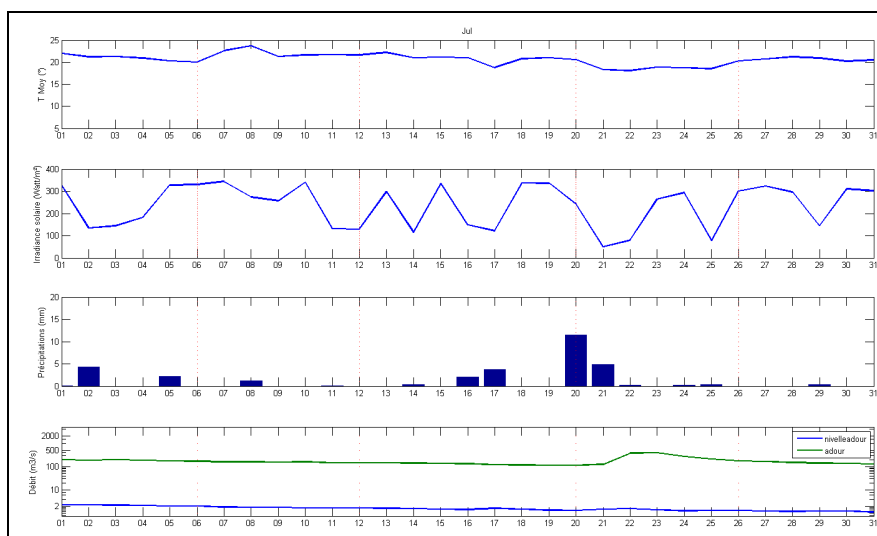


Masse d'eau

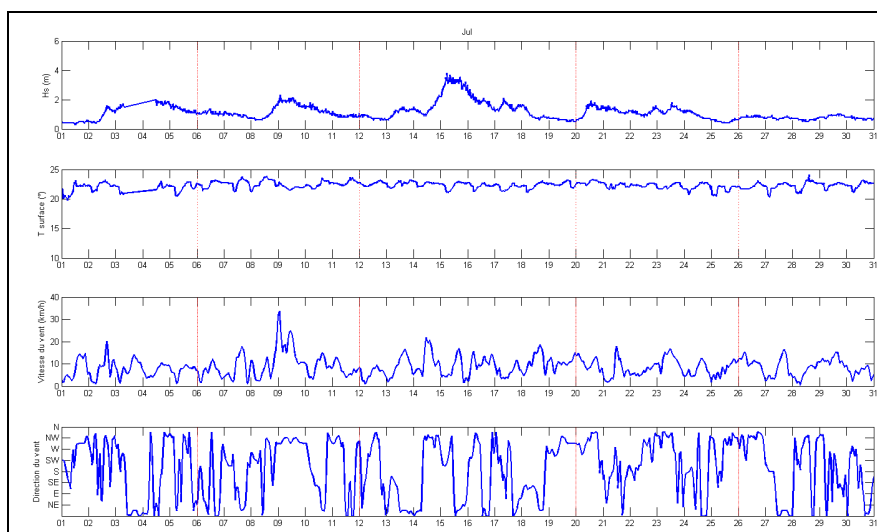


Juillet 2010

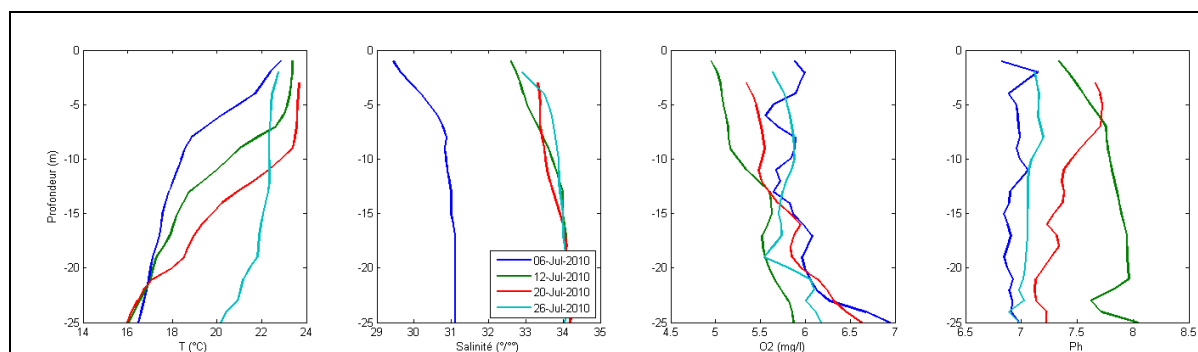
Météo



Océano

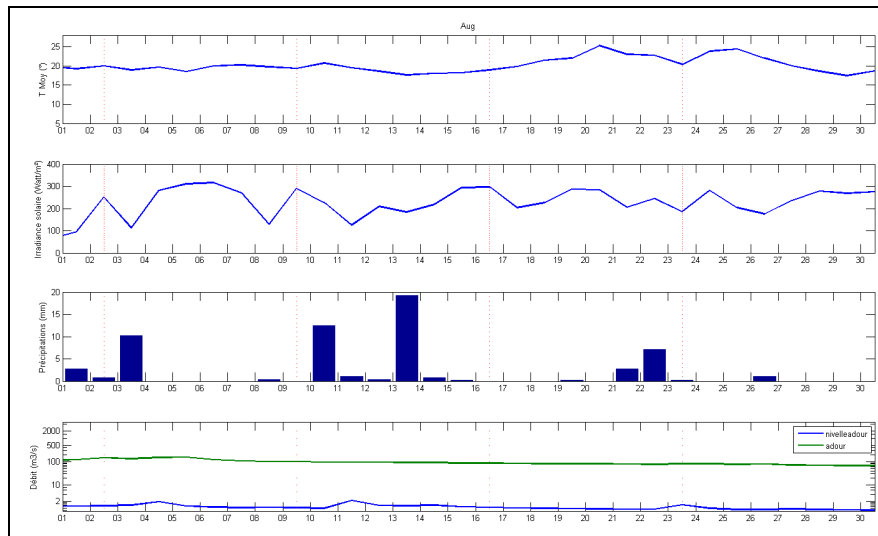


Masse d'eau

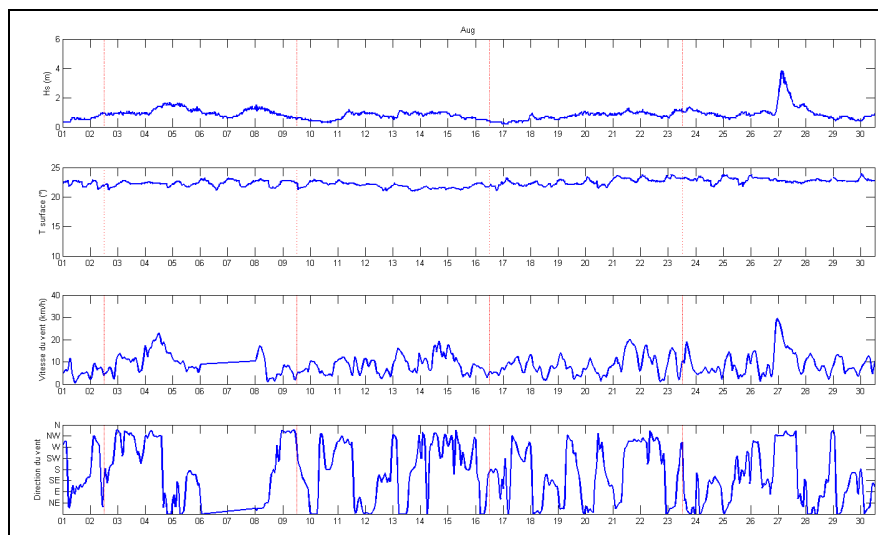


Aout 2010

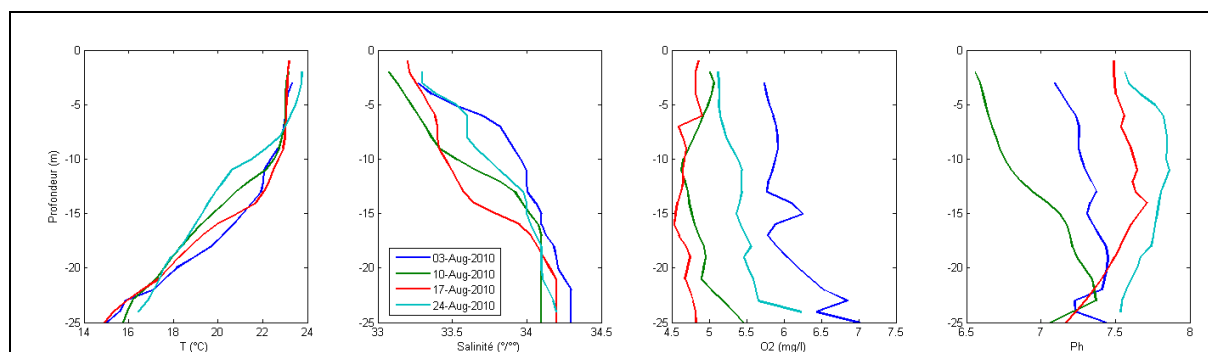
Météo



Océano

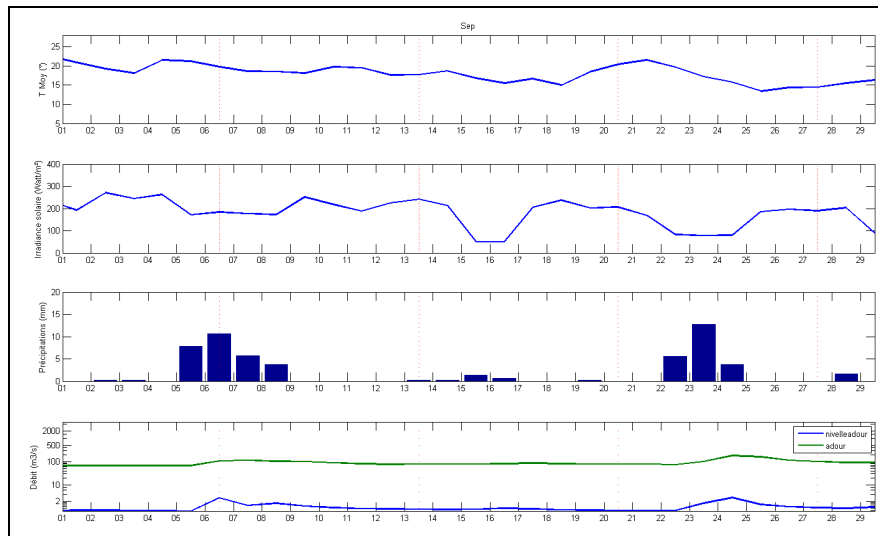


Masse d'eau

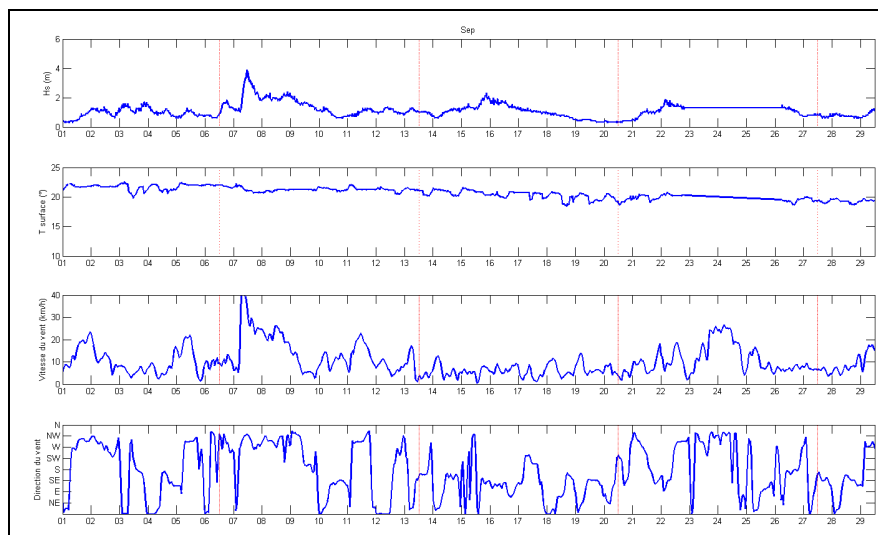


Septembre 2010

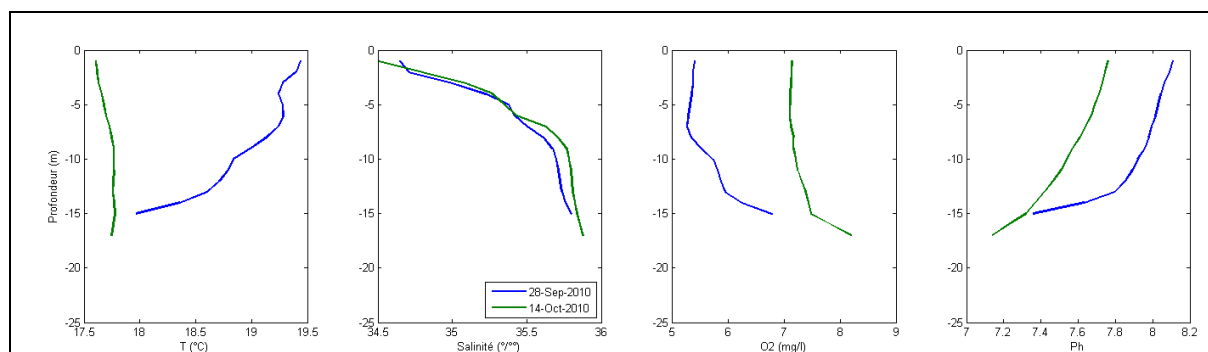
Météo



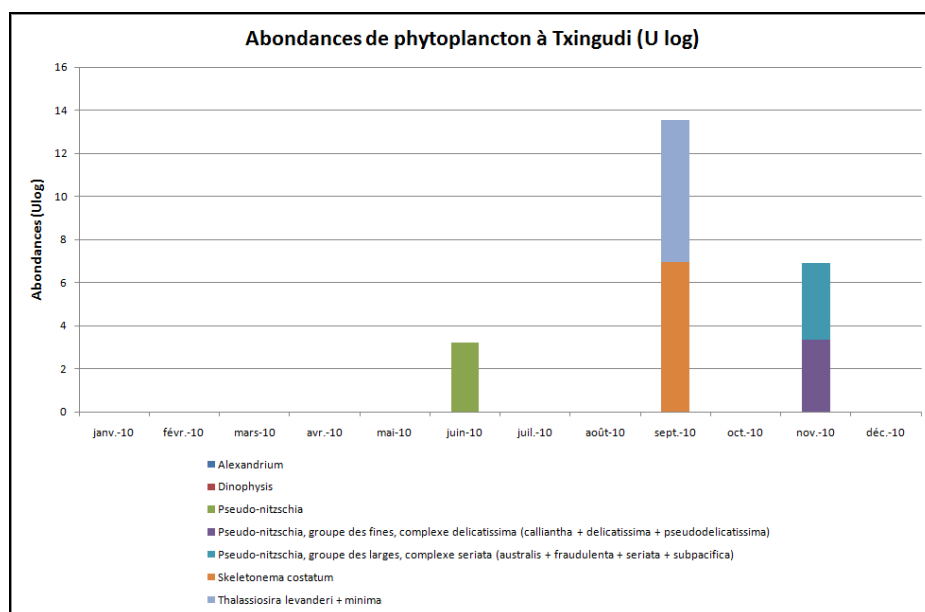
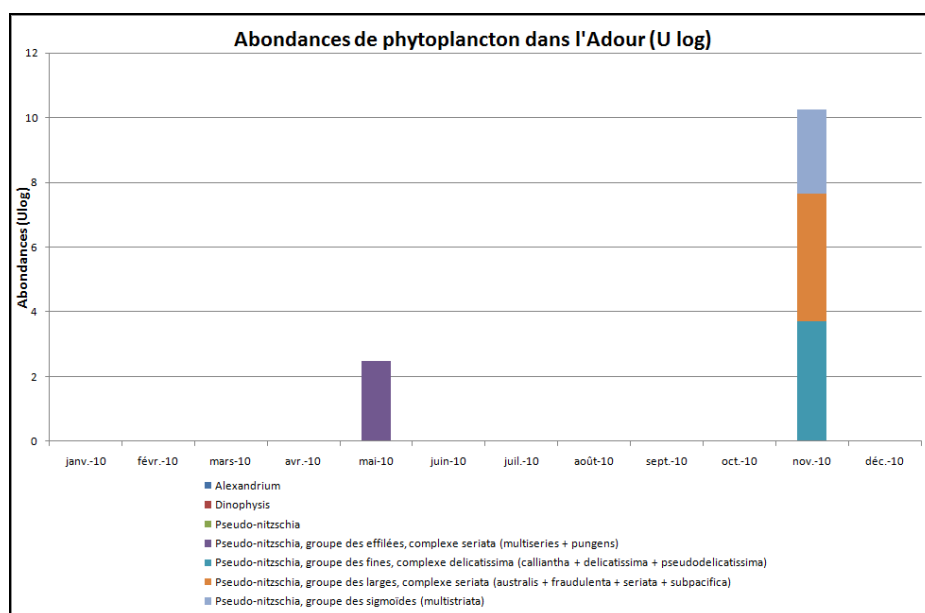
Océano



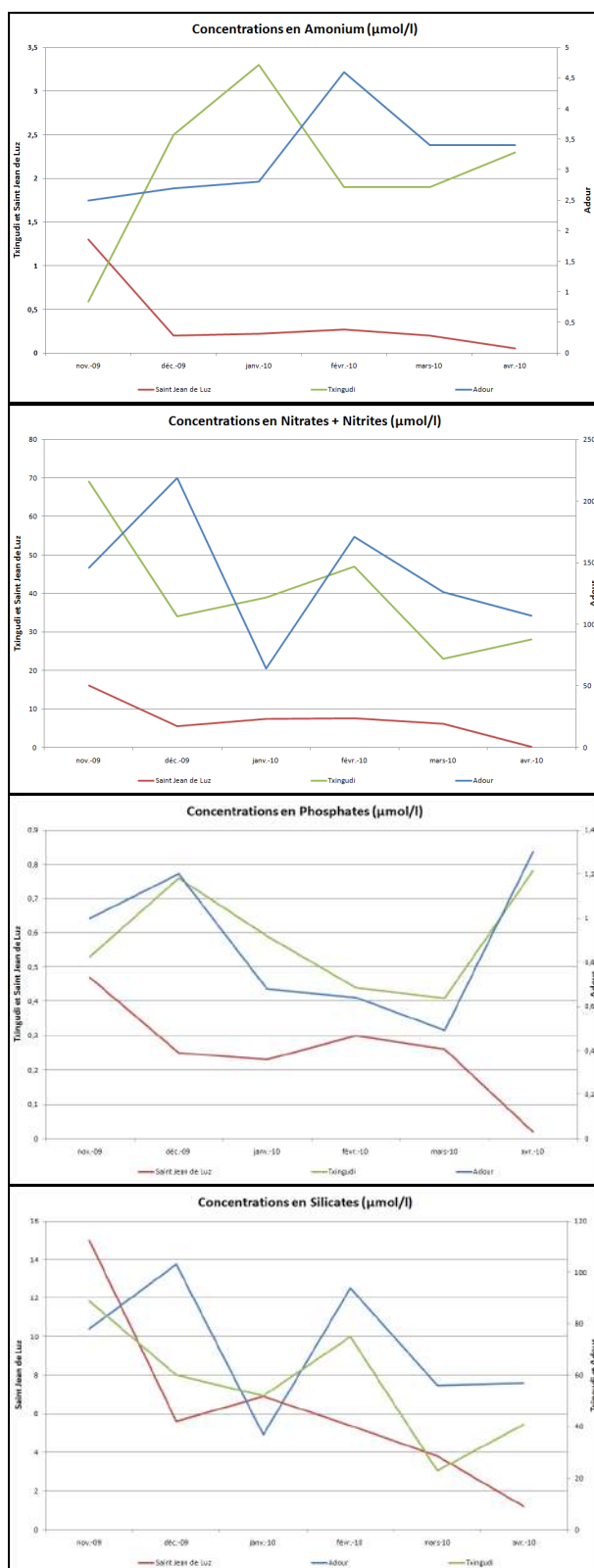
Masse d'eau



Annexe 5 : Evolution des abondances de flore indicatrice dans la baie de Txingudi et l'Adour aval en 2010.



Annexe 6 : Evolution de la concentration en sels nutritifs entre novembre 2009 et avril 2010.



102

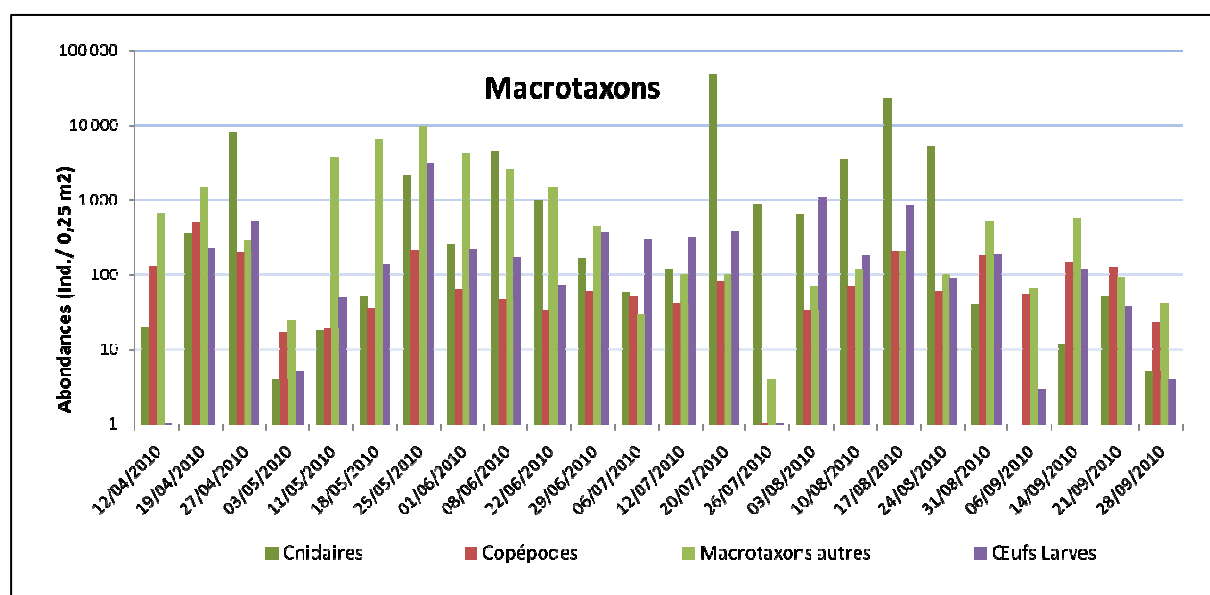
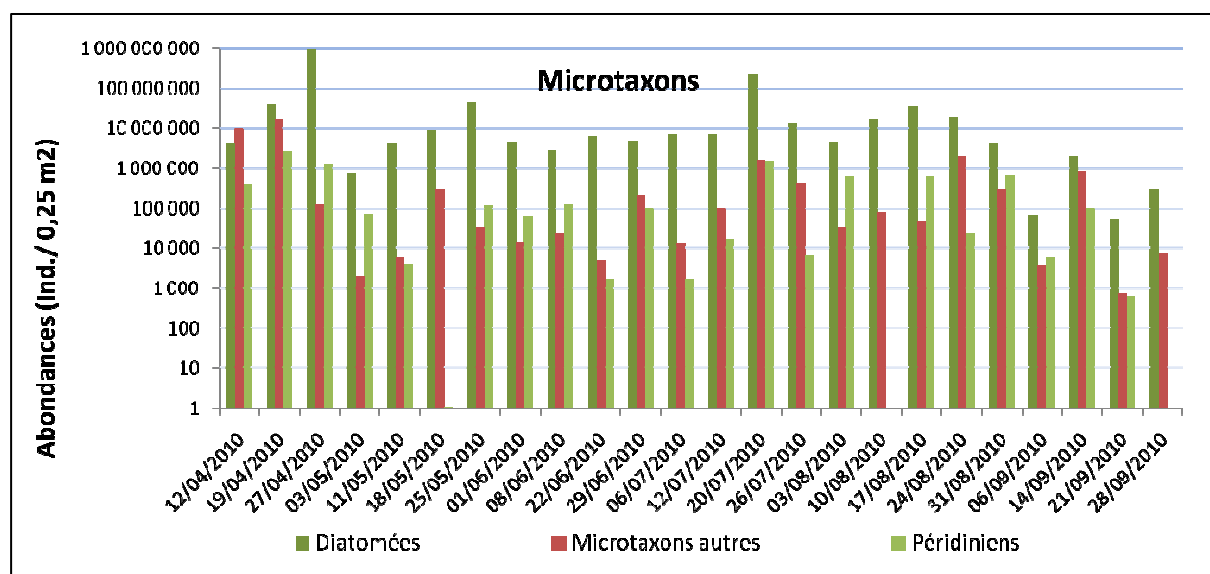
Annexe 8 : Classification des macrotaxons

Copépodes (13)	Acartia clausi Calanus helgolandicus Caligus sp. Candacia armata Centropages chirochae Centropages hamatus Centropages typicus Euterpina acutifrons Harpacticoides benthiques Oithona sp. Oncaea sp. Paracalanus parvus Temora stylifera	Cnidaires (3) Hydrozoaires méduses Hydrozoaires polypes Syphonophores diphthidae
Macrotaxons autres (18)	Amphipodes Amphipodes Caprella sp. Appendiculaires Chaetognathes Doliolles Ecaillés de Poissons Evadne nordmanni Filament noir Filaments graines de Salix sp Globigérines Isopodes cirrhanidae Isopodes gnathidae Nématodes Oligochètes Ostracodes Penilia avirostris Podon intermedius Poils mammifères	Œufs Larves (19) Cirripèdes cypris Cirripèdes nauplii Copépodites Cyphonautes bryozoaires Larve langouste Larves Annélides Larves cornues Larves Décapodes natantia Larves Echinodermes Larves poissons Mégaloopes Brachyours Naupliis copépodes Œufs de Belone belone Œufs Poissons Porcellanidae véligères de bivalves véligères de gastéropodes Zoés Brachyours Zoés Porcellanidés

Annexe 9 : Classification des microtaxons

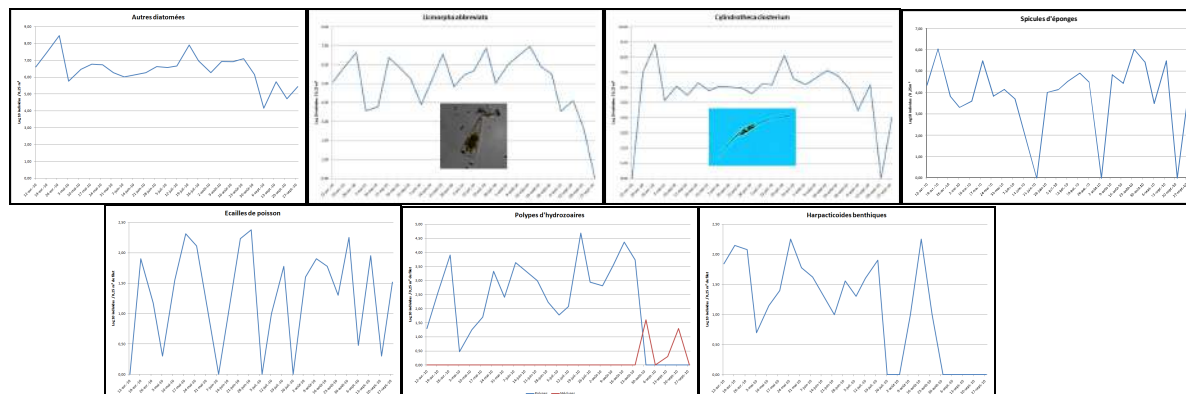
Diatomées (32) - Amphora laevis - Amphora ostrearia - Asterionella glacialis - Autres diatomées - Chaetoceros sp. - Cocconeis sp. - Cylindrotheca closterium - Guanardia floccida - Gyrosigma sp. - Hantzschia sp. - Haslea ostrearia - Leptocylindrus danicus - Licmorpha abbreviata - Licmorpha flabellata - Mastogloia sp. - Nitzschia longissima - Nitzschia punctata - Nitzschia seriata - Pleurosigma - Podocystis adriatica - Proboscia alata - Pseudonitzschia delicatissima - Pseudonitzschia seriata - Pyrocystis sp. - Rhizosolenia delicatula - rhizosolenia imbricata - Rhizosolenia styliformis - Skeletonema costatum - Striatella unipunctata - Synedra ulna - Thalassionema nitzschoides - Thalassiophysa hyalina	Microtaxons autres (13) - Acanthaires - Ciliés - Cyanophycées filaments - Filaments bactériens (?) - Grains pollen plus sp. - Pelotes fécales - Phaeocystis sp. - Silicoflagellé Dictyocha sp. - Spicules d'éponges - Tintinnide acanthostomella sp. - Tintinnide Favella sp. - tintinnides Parundella sp. - Tintinnides Salpingacantha sp.
Péridiniens (16) - Autres Péridiniens - Ceratium furca - Ceratium fusus - Ceratium tripos - Dinophysis acuminata - Dinophysis rotundata - Dinophysis tripos - Diplopsalis sp. - Gymnodinium sp. - Gyrodinium sp. - Heterocapsa triqueta - Prorocentrum micans - Prorocentrum minimum - Prorocentrum triestinum - Protoperdinium sp. - Scripsiella trochoidea	

Annexe 10 : Evolution des abondances des groupes de micro et macro taxons

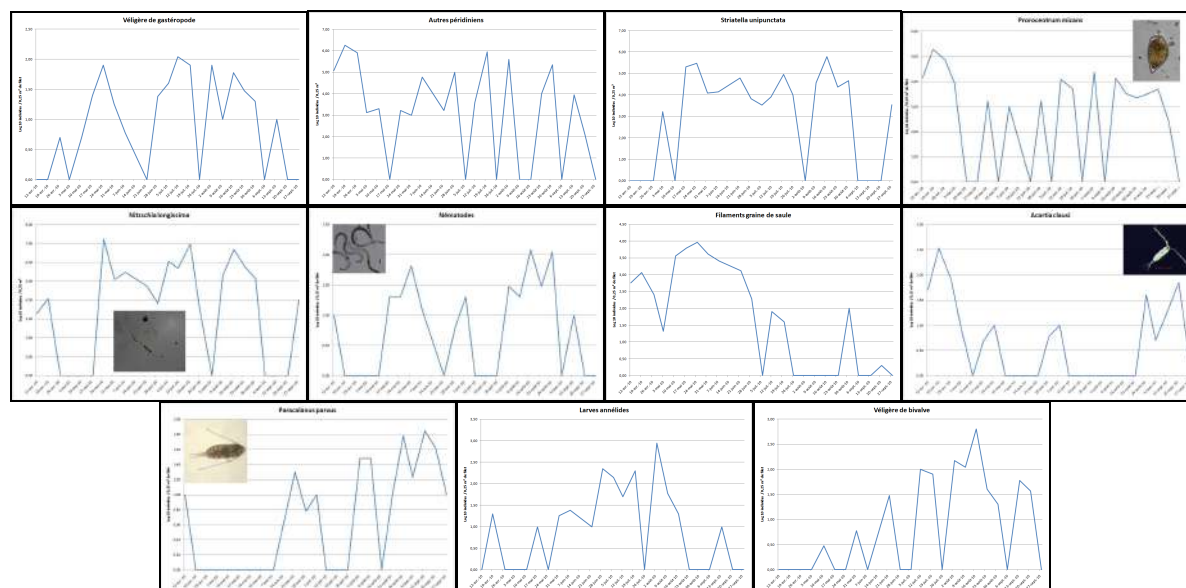


Annexe 11 : Saisonnalité et abondance des éléments du liga dans l'ordre de fréquence d'apparition. Les abondances sont exprimées en unités log, sauf pour *Phaeocystis sp.* (classes d'abondance) et quelques éléments très rares (nombre d'individus)

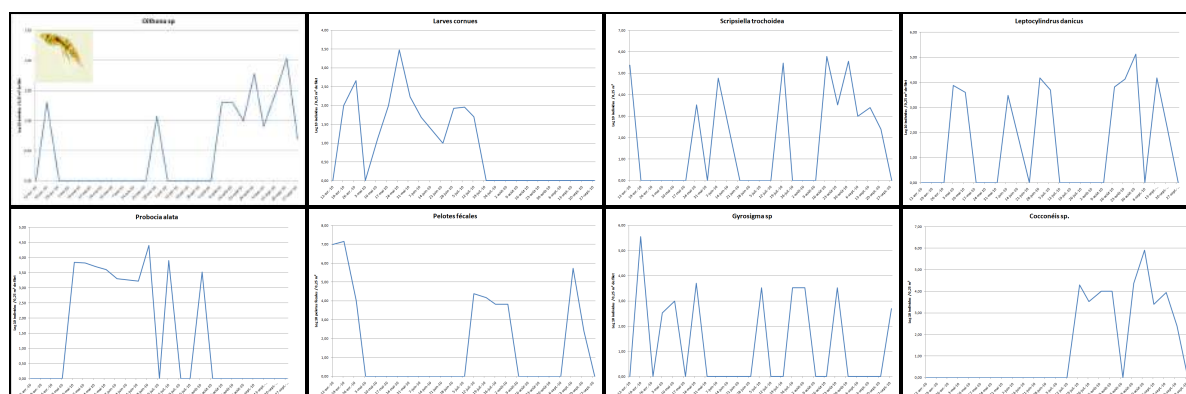
Éléments permanents (fréquence > 75 % ; 7 éléments)

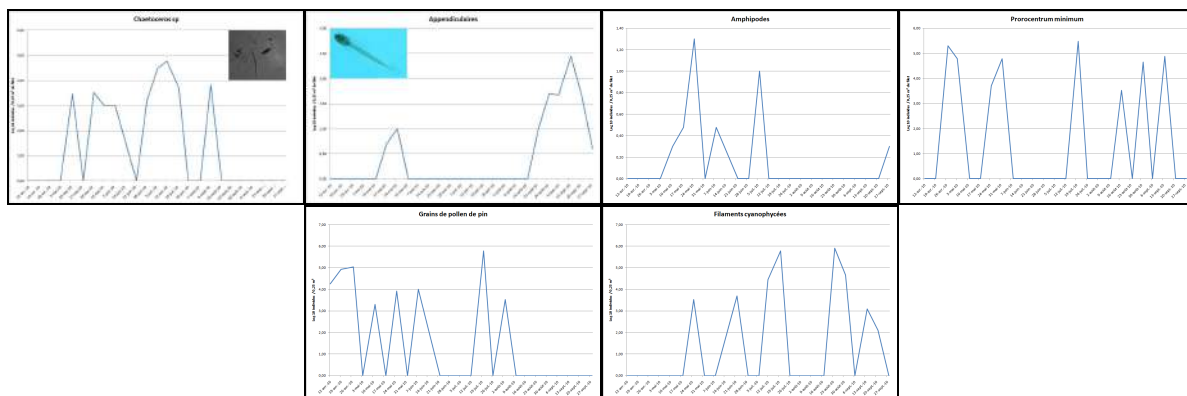


Éléments fréquents (Fréquence comprise entre 50 et 75 % ; 11 éléments)

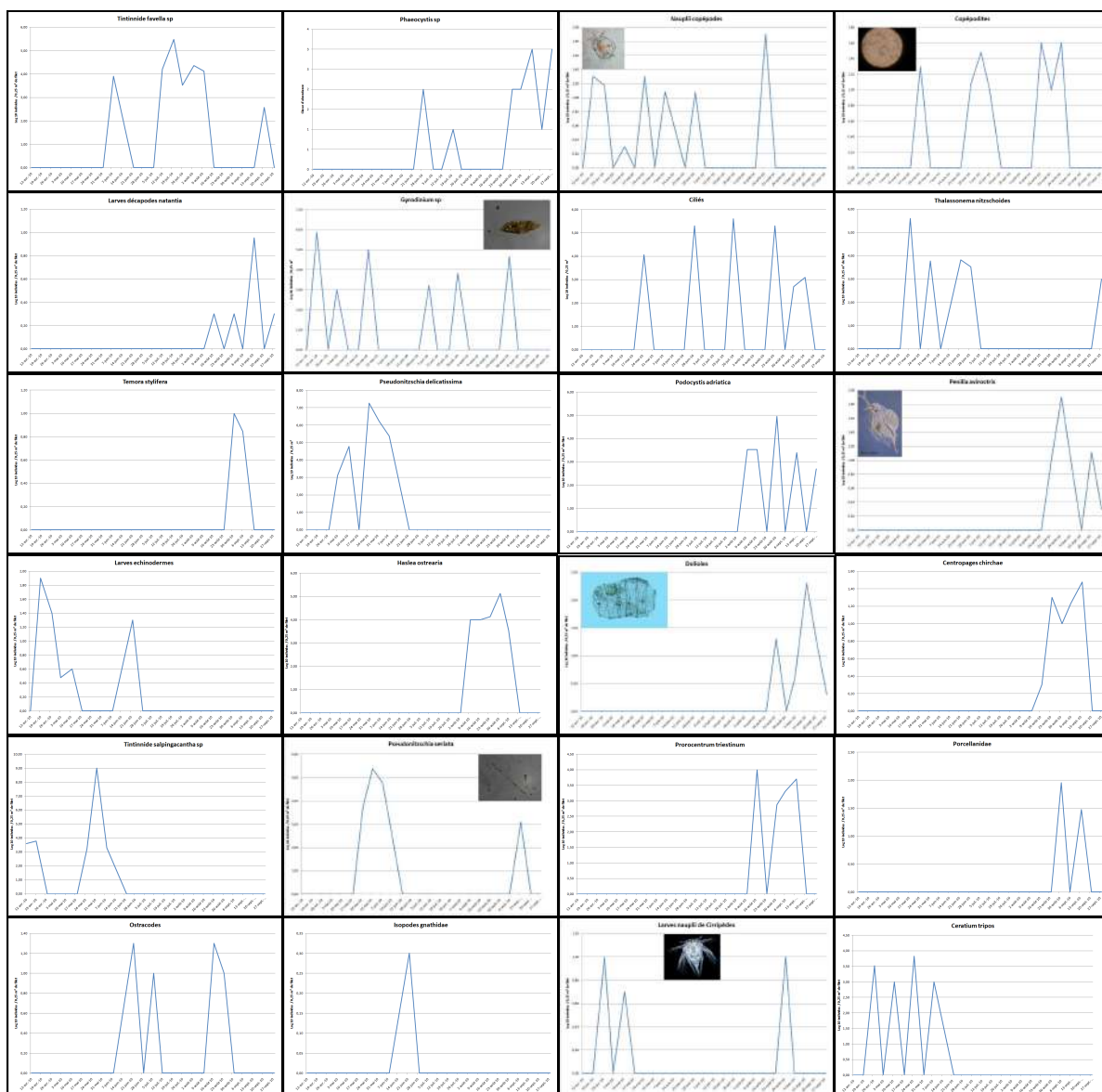


Éléments saisonniers (Fréquence comprise entre 30 et 50 % ; 14 éléments)

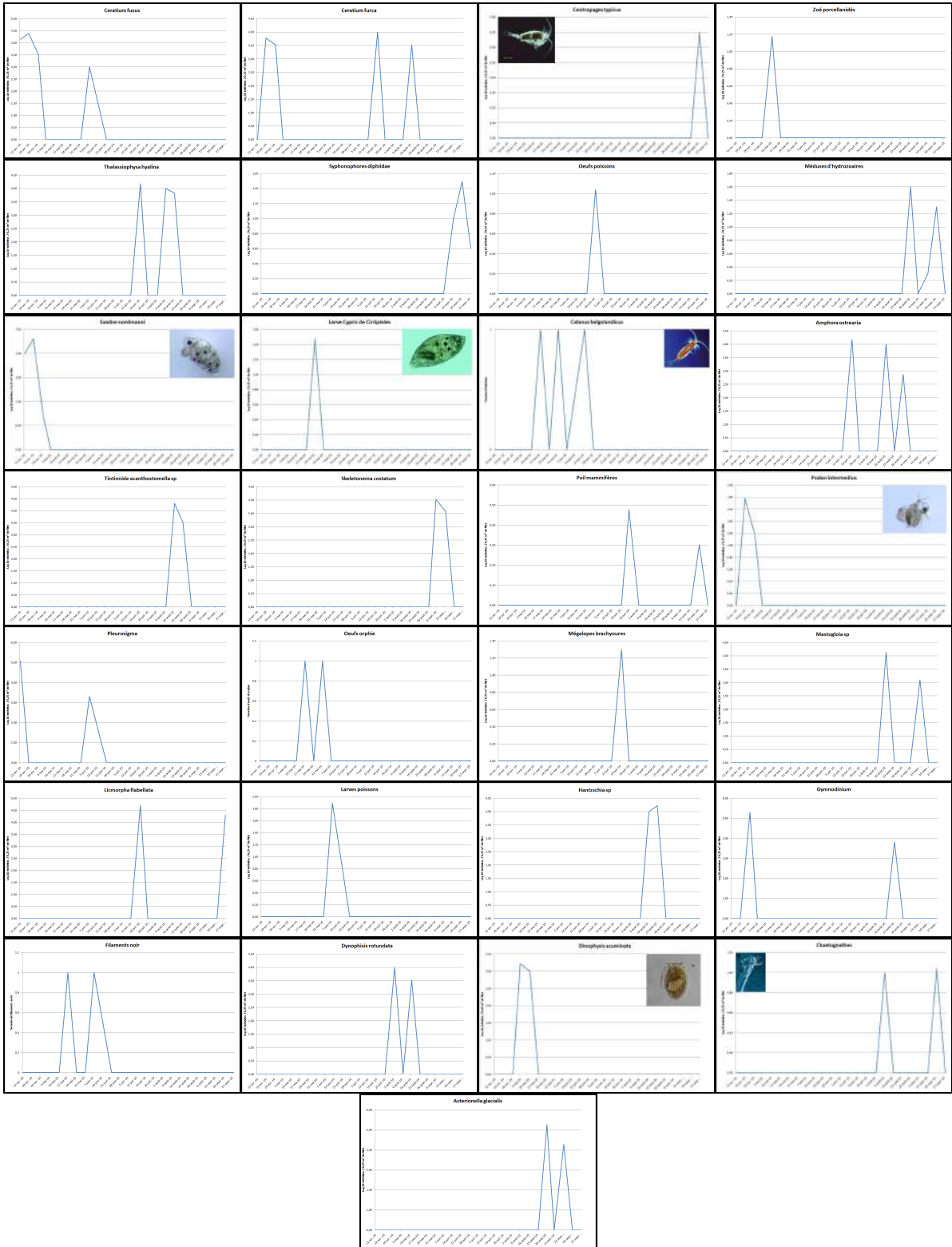




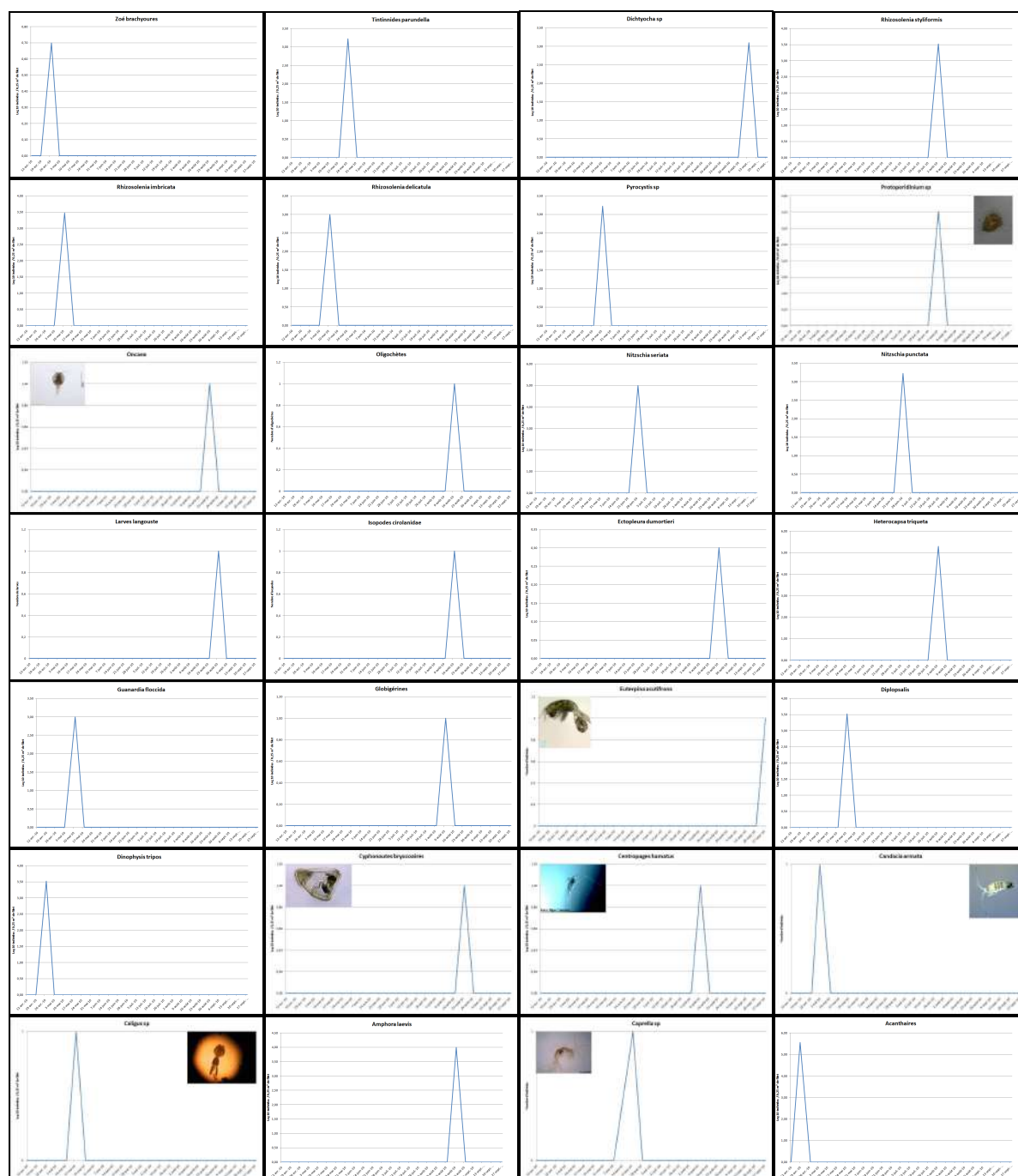
Eléments très saisonniers (Fréquence comprise entre 5 et 30 % ; 54 éléments)



Eléments très saisonniers (suite)



Eléments rares (Fréquence comprise < 5 % ; 28 éléments)



Annexe 12 : Classification des taxons en fonction de leur origine

Macroplankton (39)

Acertia clausi
 Appendiculaires
 Calanus helgolandicus
 Candacia armata
 Centropages chirochae
 Centropages hamatus
 Centropages typicus
 Chaetognathes
 Cirripèdes cypris
 Cirripèdes nauplii
 Copépocites
 Cyclozoaires bryozoaires
 Dolioles
 Eutirpira acutifrons
 Evadne nordmanni
 Glabigérnes
 Hydrozoaires méduses
 Larve langouste
 Larves Annelides
 Larves corallues
 Larves Décaépodes natantia
 Larves Echinodermes
 Larves poissons
 Mégaloopes Brachyours
 Nauplie copépocées
 Œufs Poissons
 Oithona sp.
 Orcaea sp.
 Ostracodes
 Paracalanus parvus
 Penilia viridicincta
 Podon intermedius
 Porcellanides
 Sychnophores cypriidae
 Temora stylifera
 Véligères de bivalves
 Véligères de gastéropodes
 Zoés Brachyours
 Zoés Porcellanides

Microplankton (52)

Acanthaires
Amphirraevis
Asteronella glacialis
Aurresclatimées
Autres "éridiens"
Ceratum furca
Ceratum fusus
Ceratum tripos
Chaetocercs sp.
Clitès
Dynamophylaxis filaments
Cylindrotheca closterium
Clinophysis acuminata
Dinorthisis rotundata
Clinophysis tripos
Diplosalis sp.
Guanardis floccida
Gymnodymium sp.
Gymdinium sp.
Hantzschia sp.
Hoslea octocarla
Heterocapsa triquetra
Leptocylindrus danicus
Vastoglossia sp.
Nitzschia longissima
Nitzschia punctata
Nitzschia seriale
Palmeis fœrales
Phaeocystis sp. 123
Podocystis adriatica
Pyrobosc. a. alata
Fructuicolumbianus
Fructocentrum minimum
Fructocentrum trieditum
Fructopendulum sp.
Pseudonitzschia delicatissima
Pseudonitzschia seriata
Pyrocystis sp.
Rhizosolenia delicatula
Rhizosolenia imbricata
Rhizosolenia stylitum
Scrpisella trochoides
Silicoflagellè Dictyocece sp.
Skelsporerna costatum
Striella unipunctata
Synedra sp.
Thalassidroma nitzschoides
Thalassiophyssa pyralina
Thridimide acanthusum
Thridimide Favella sp.
Thridimide Farandole sp.
Thridimide Salpinganthus sp.

Macrobenthos (14)

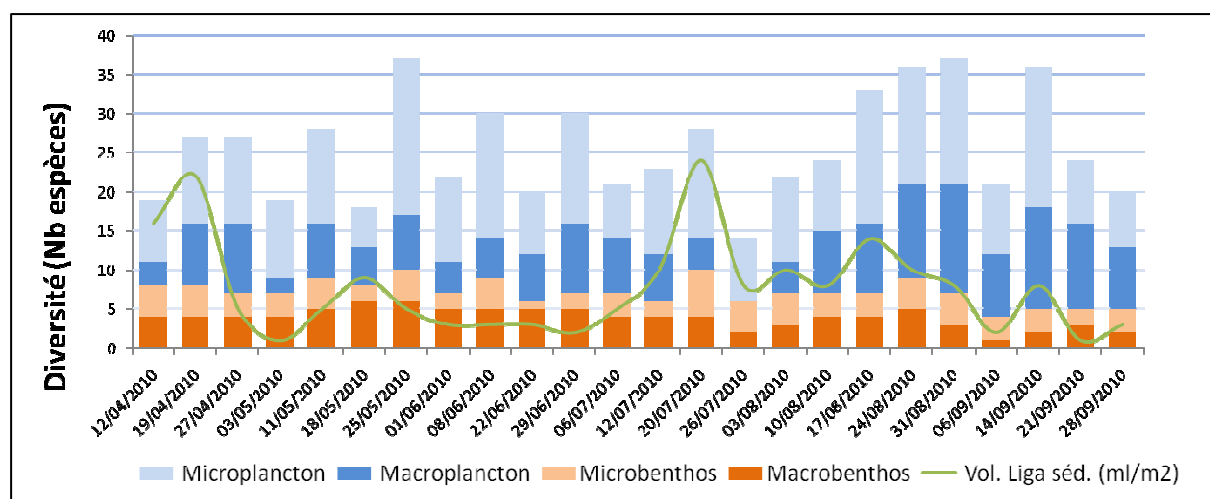
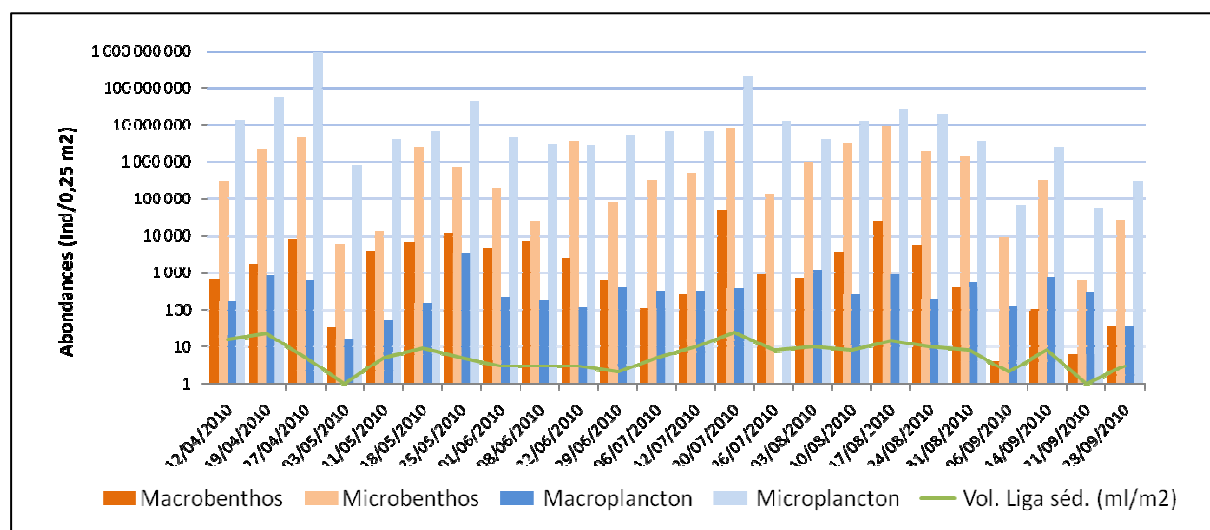
Amphipodes
Amphipodes Caprella sp.
Caligus sp.
Ecailles de Poissons
Filament noir
Filaments graines de Salix sp
Harpacticoides benthiques
Hydrozoaires polypes
Isopodes cirrulanidae
Isopodes gnathidae
Nématodes
Œufs de Belone belone
Oligochètes
Poiss. mammifères

Microbenthos (9)

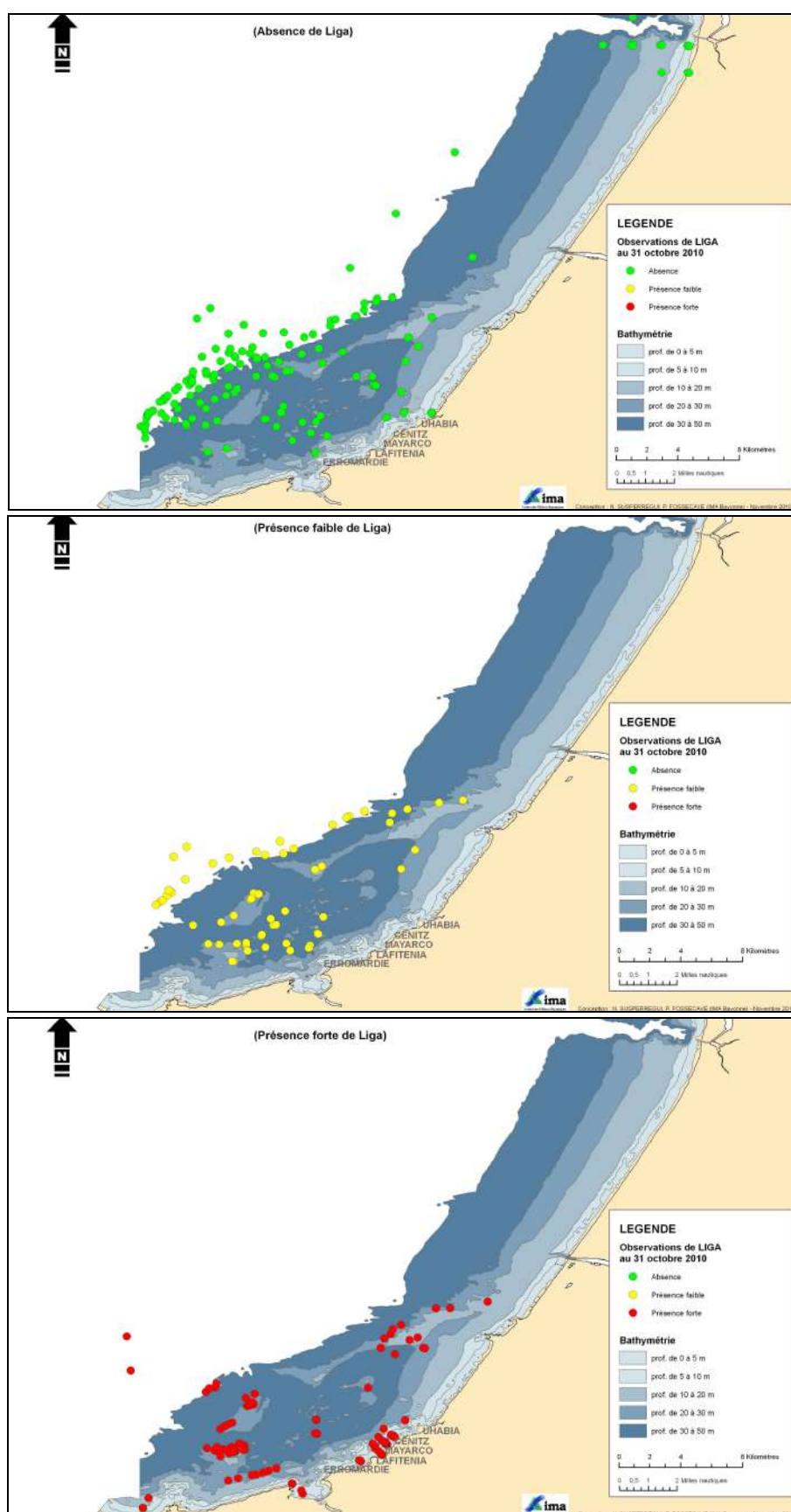
Amphora ostrearia
Cocconeis sp.
Filaments bactériens (?)
Grains pollen pinus sp.
Gyrosigma sp.
Licmorpha abbreviata
Licmorpha flabellata
Pleurosigma
Spicules d'éponges

Apports continentaux

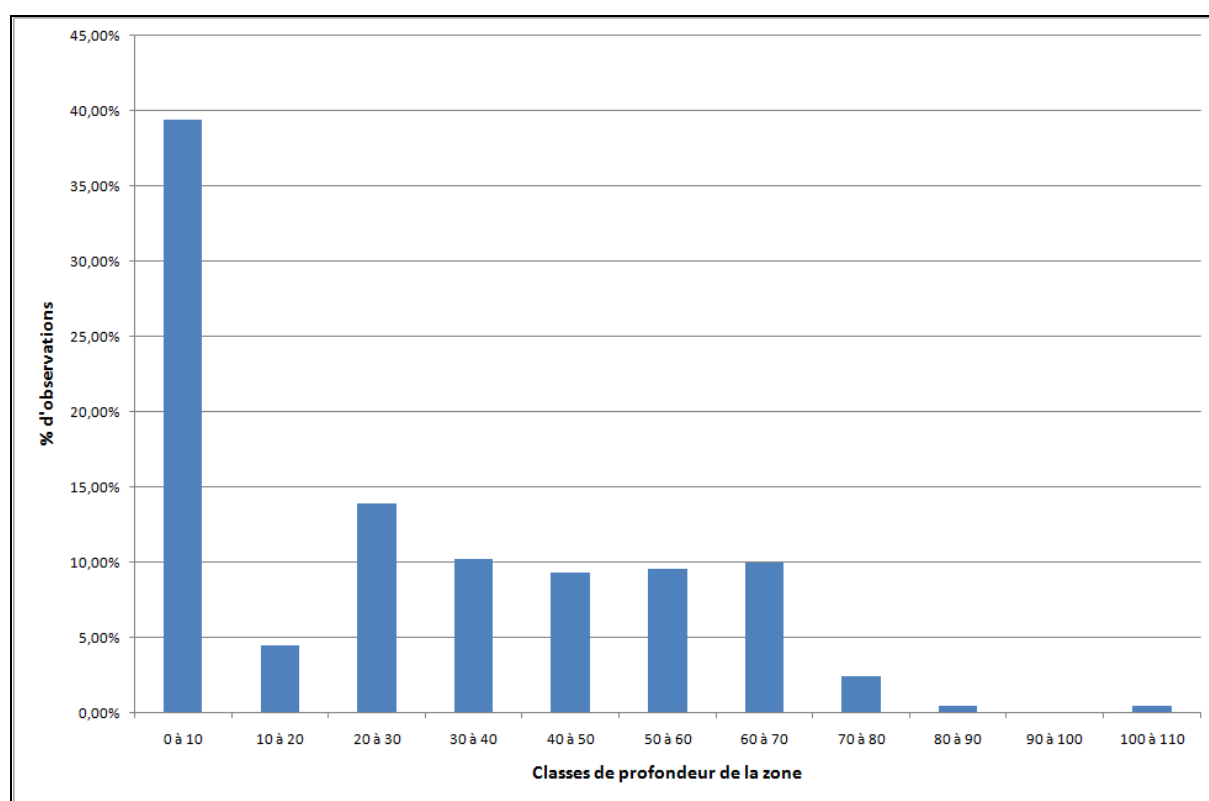
Annexe 13 : Evolution des abondances et de la diversité des taxons en fonction de leur origine et de leur taille



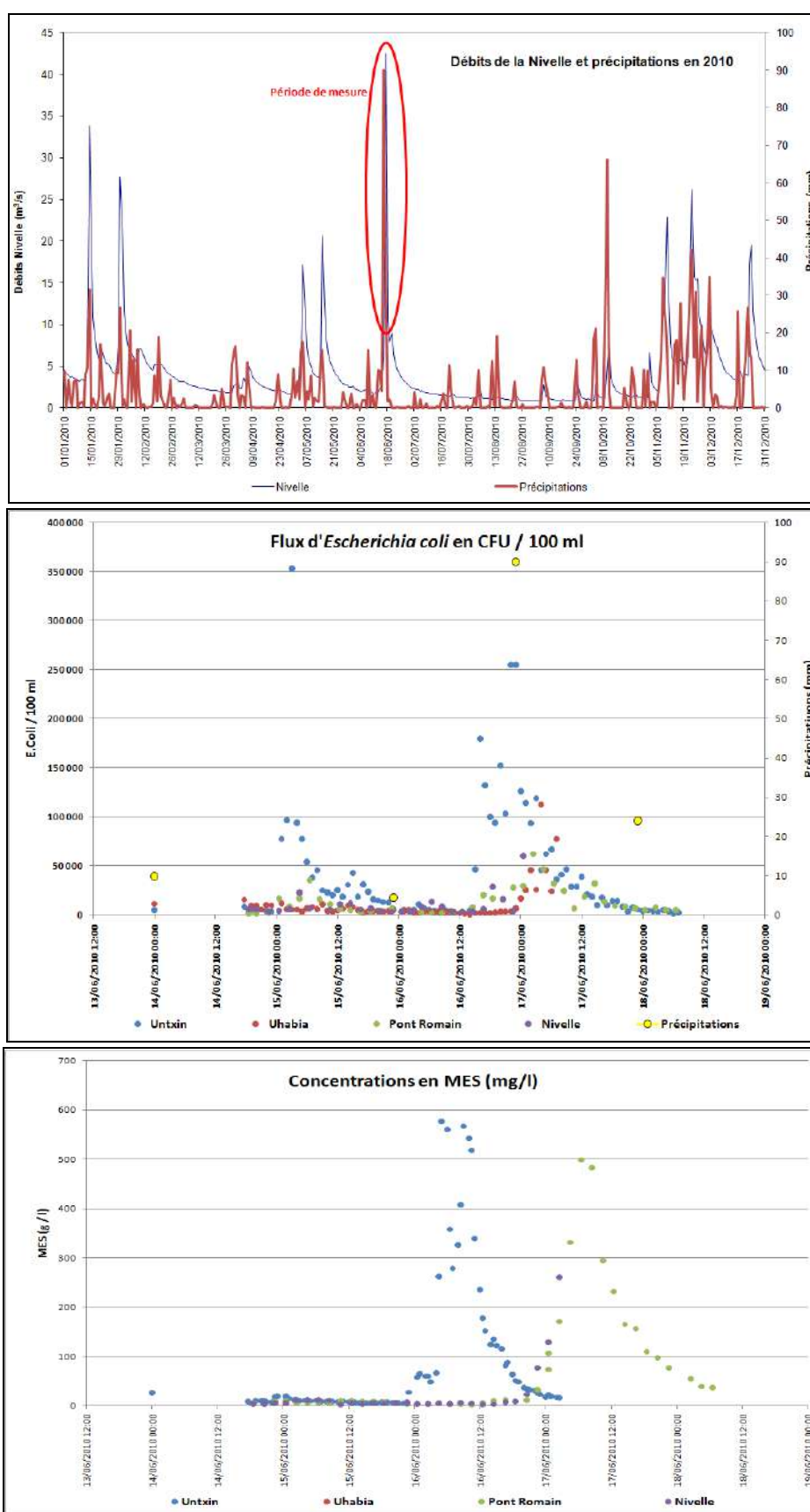
Annexe 14 : Cartographies brutes de présence/absence de liga



Annexe 15 : Distribution des observations des pêcheurs par classe de profondeur

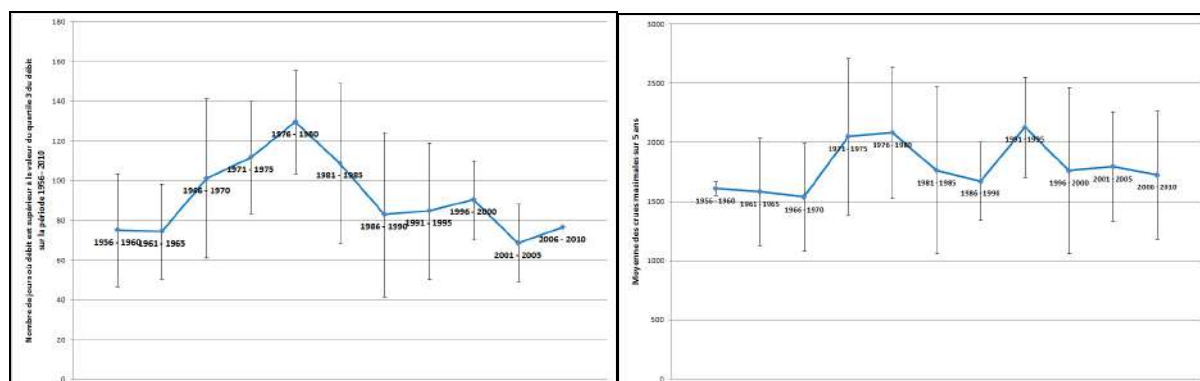


Annexe 16 : Flux bactériens et de MES mesurés dans le cadre du programme LOREA le 15 juin 2010

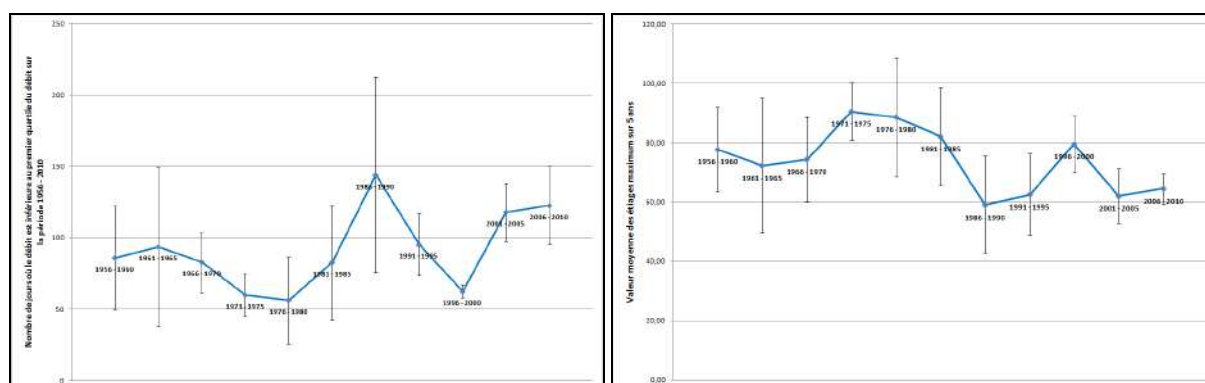


Annexe 17 : Analyse des crues et étiages de l'Adour maritime

Crues de l'Adour maritime

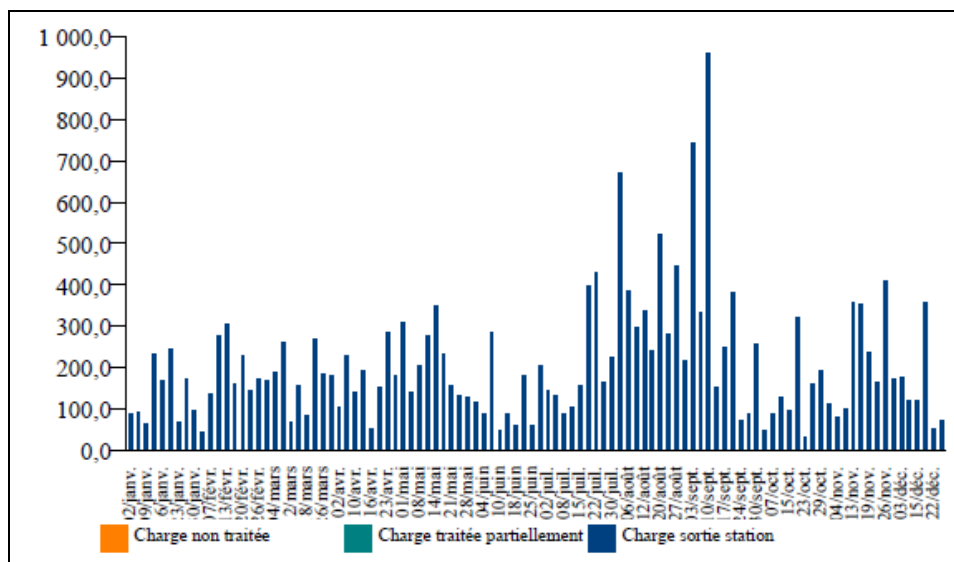


Etiages de l'Adour maritime

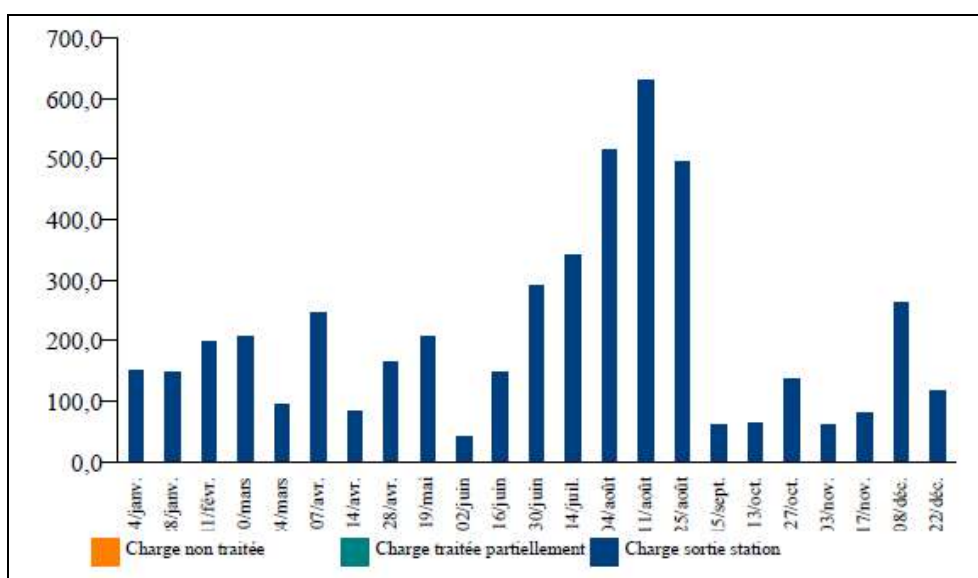


Annexe 18 : Illustration de la saisonnalité des apports de STEP de Marbella en 2008

**Charges de MES (Kg/jour) rejetées sur le littoral basque
par la station de Marbella en 2008 (Source : AEAG)**

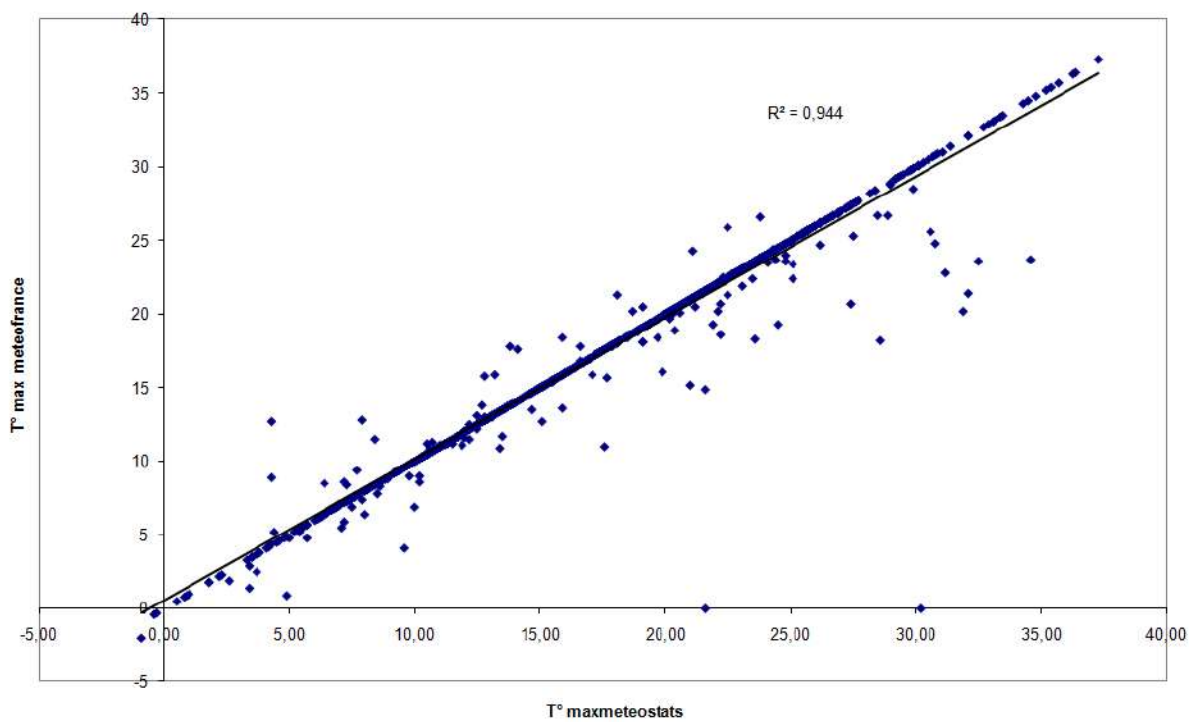


**Charges d'Azote Kjeldhal (kg/jour) rejetées sur le littoral basque
par la station de Marbella en 2008 (Source : AEAG)**

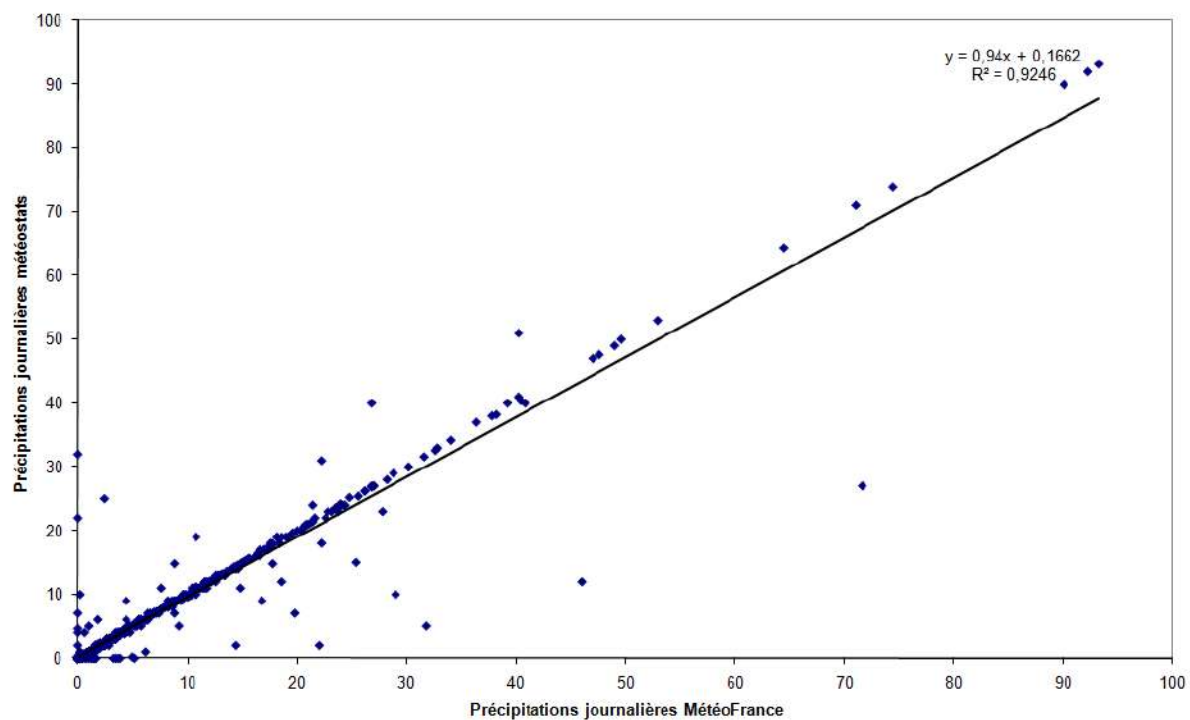


Annexe 19 : Calibration des données climatiques

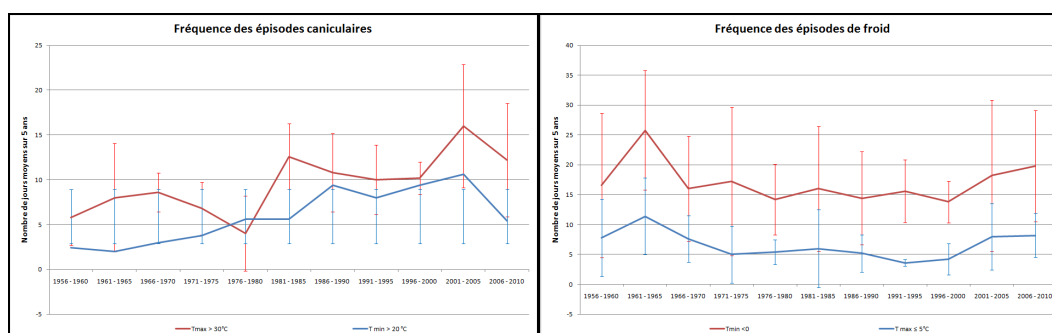
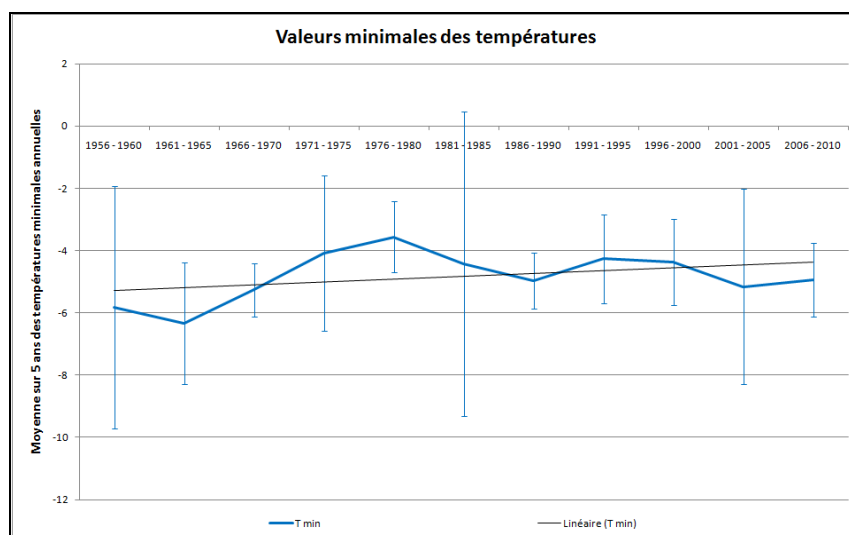
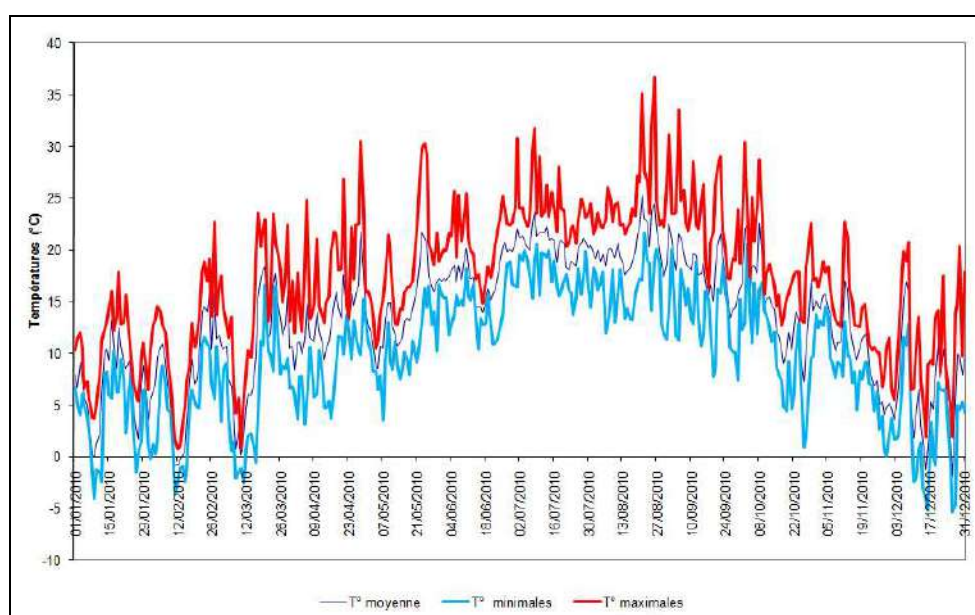
Calibration de la température maximale journalière sur 4 années



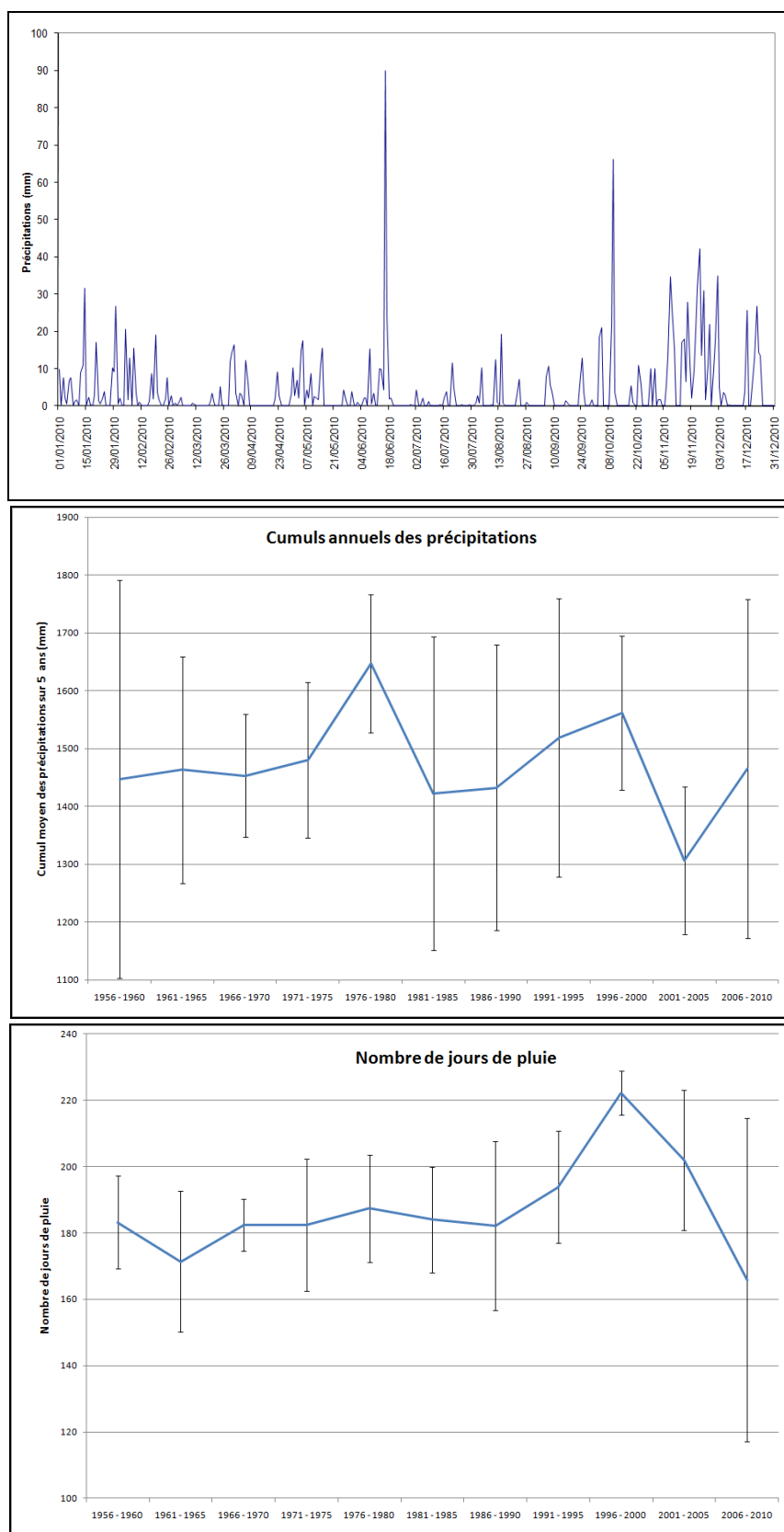
Calibration des précipitations journalières sur 4 années



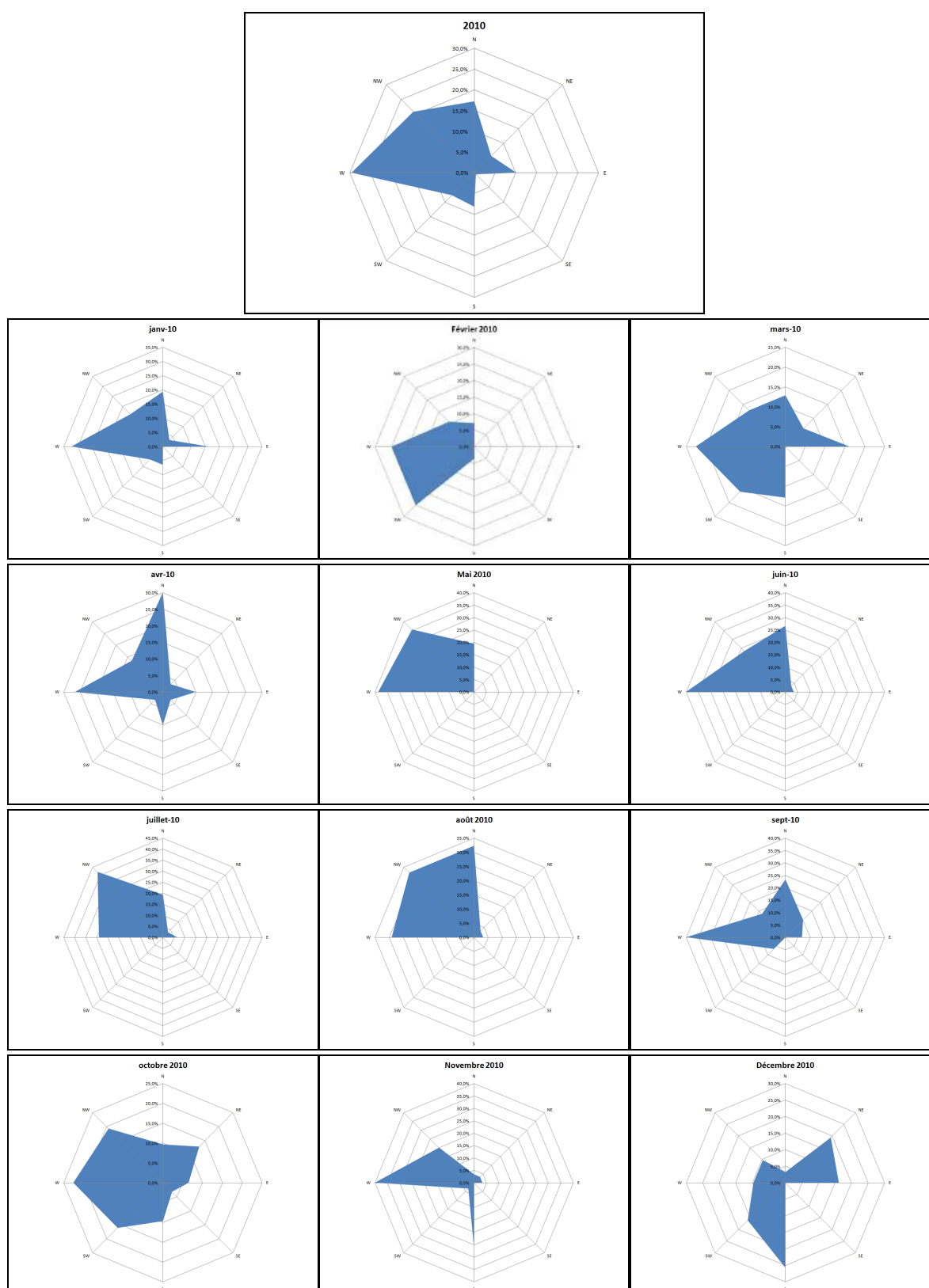
Annexe 20 : Indicateurs des changements de régimes de températures



Annexe 21 : Evolution des précipitations

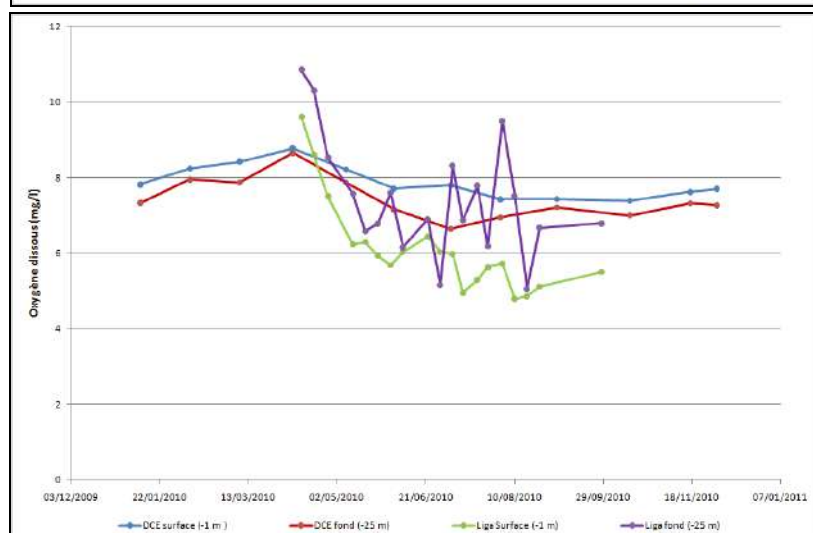
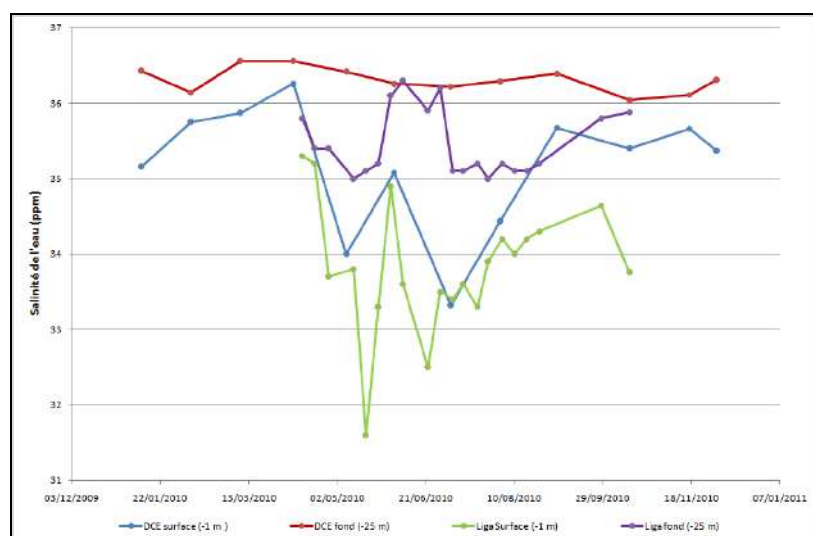


Annexe 22 : Caractérisation des vents 2010

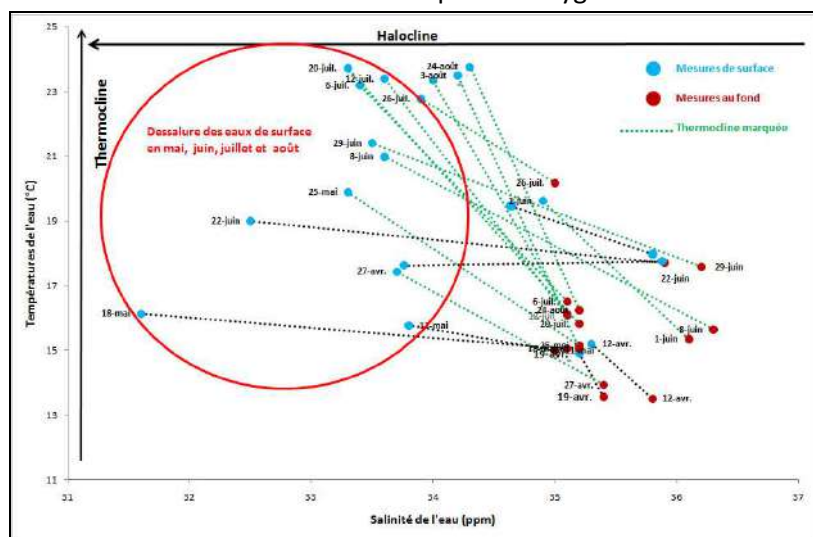


Annexe 23 : Caractéristiques physico-chimique de l'eau

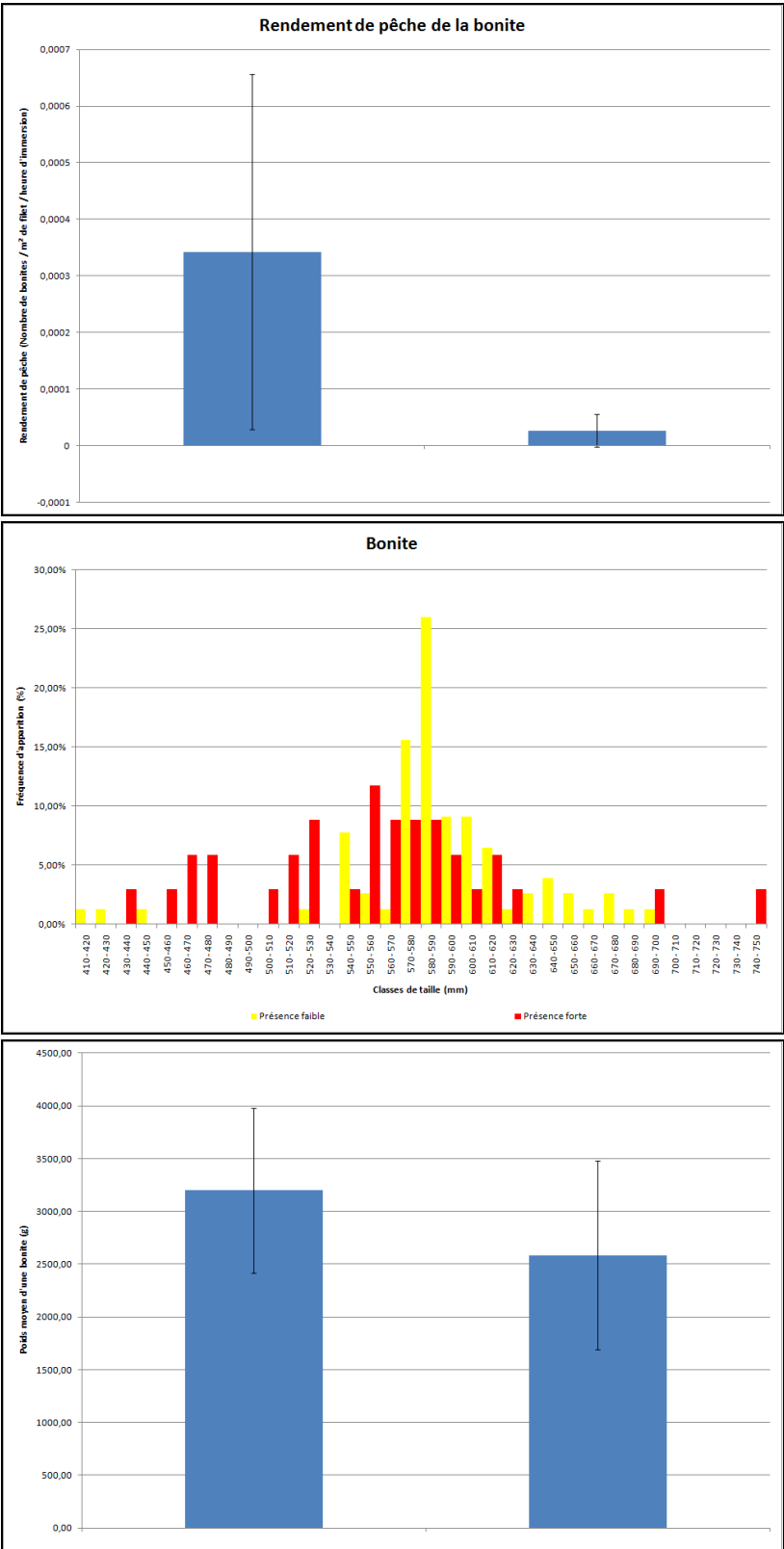
Comparaison des résultats DCE et de la sonde pour la salinité



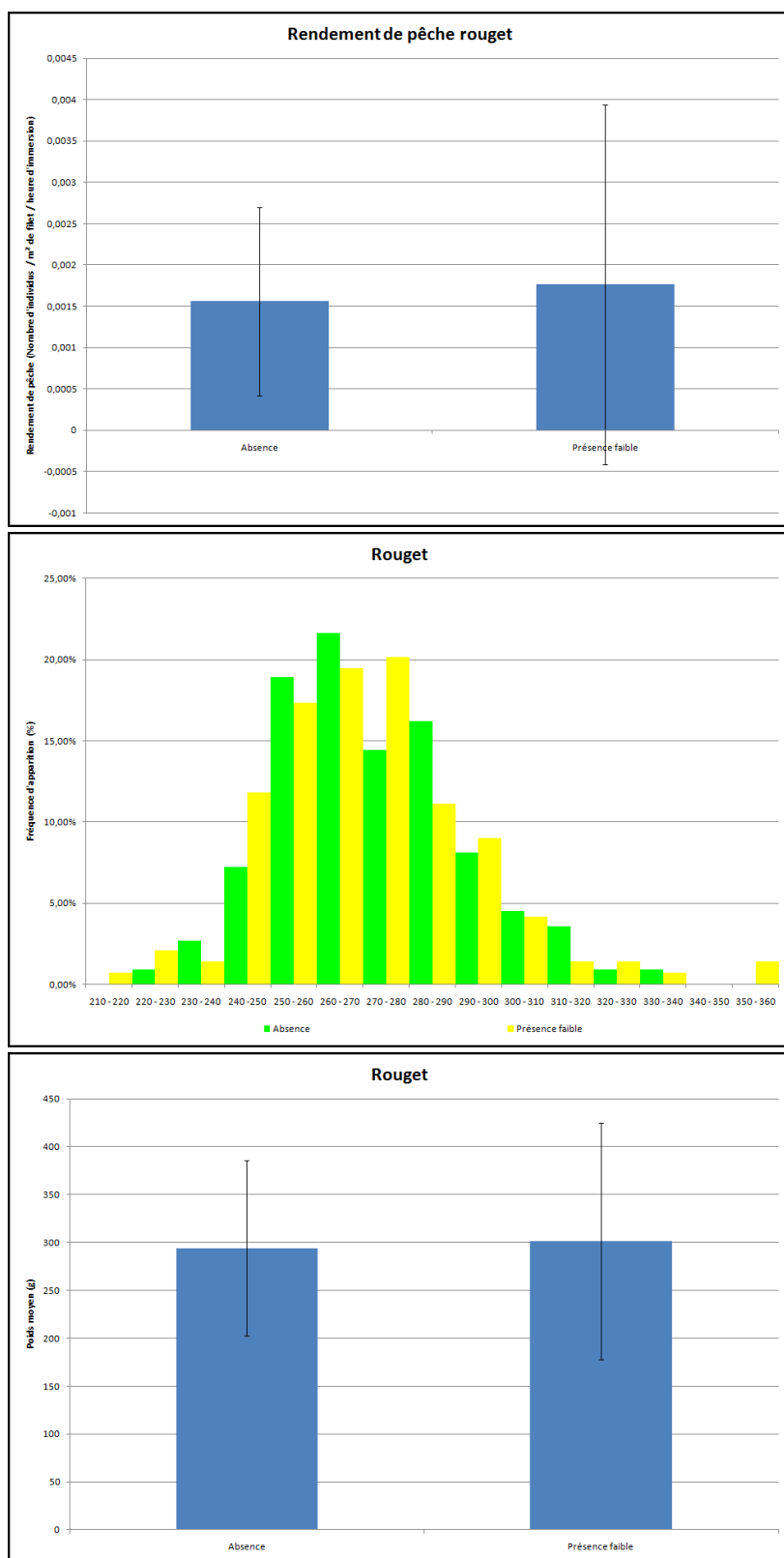
Problème avec le capteur d'oxygène



Annexe 24 : Caractéristique des bonites capturées en présence faible ou forte de liga en pleine eau



Annexe 25 : Caractéristiques des rougets capturés



Bibliographie

BRGM, 2005, Etat des connaissances hydrologiques et hydrogéologiques de la Côte basque, 113 p

Coynel A., Etcheber H., Abril G., Maneux E., Dumas J et Hurtrez JE., 2005, Contribution of small mountainous rivers to particulate organic carbon input in the Bay of Biscay, Biogeochemistry, 74: 151–171

d'Elbée Jean, 2006 - Etude préliminaire d'une substance dénommée LIGA colmatant les filets de pêche sur la Côte Basque. Rapport Interne LAPHY. 10 pp.

Dupont J.P. et Lafite R. – Importance et rôle du matériel organique vivant et inerte dans les suspensions de la Baie de Seine. Actes de Colloques IFREMER La baie de Seine GRECO MANCHE Université de Caen, 24-26 avril 1985 ; n°4, 1986 pp 155-162.

Girard P., Elie P., 2007, « Manuel d'identification des principales lésions anatomo-morphologiques et des principaux parasites externes des poissons », Cemagref, Association Santé Poissons Sauvages, 81 p

Lafon, V., Petus, C., Dabrin, A., Froidefond, J.-M., Doxaran, D., Maneux, E., Castaing, P. (2009). Dynamique des panaches de la Gironde et de l'Adour par imagerie MODIS. 31èmes Journée de l'Hydraulique de la SHF: «Morphodynamique et gestion des sédiments dans les estuaires, les baies et les deltas», Paris, 22 – 23 septembre 2009.

Maneux E., Dumas J., Clément O., Etcheber H., Charritton X., Etchart J., Veyssy E and Rimmelin P., (1999), Assessment of suspended matter input into the oceans by small mountainous coastal rivers: the case of the Bay of Biscay, Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science, Volume 329, Issue 6, 30 September 1999, Pages 413-420

Petus, C., 2009. Qualité des eaux côtières du sud du golfe de Gascogne par télédétection spatiale : Méthodologie de détermination et de quantification de substances particulières et dissoutes. Thèse de Doctorat, Université Bordeaux 1, 380 p + annexes.

Petus, C., Chust, G., Gohin, F., Doxaran, D., Froidefond, J. -M. et Sagarminaga, Y., 2010. Estimating turbidity and total suspended matter in the Adour River plume (South Bay of Biscay) using MODIS 250-m imagery Continental Shelf Research, 30(5) : 379-392.

SEAMER, 2001, Etude de l'impact des rejets polluants de l'Adour à la Bidassoa par modélisation numérique multi-échelles, Rapport pour le Syndicat Intercommunal pour l'Equipement et l'Aménagement des Communes de Saint Jean de Luz et Ciboure, 268 p.

S3PI Estuaire Adour, 2009, « Suivi des sédiments portuaires dans le cadre des dragages d'entretien », Présentation réunion S3PI du 14/05/2009, 40 p.