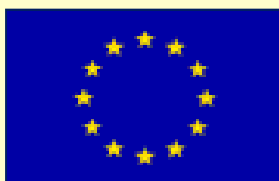


Opération réalisée avec
le concours financier :



Fonds Européen pour la Pêche (FEP)



Etude du phénomène « LIGA » sur le littoral basco-landais : Janvier 2011- Juin 2012



Coordination :

Nicolas Susperregui (IMA)

Avec la participation de :

François Gallet (CIDPMEM 64 – 40)

Philippe Gaudin (MIRA – UPPA)

Laurent Soulier (IMA)

Pascale Fossecave (IMA)

Juin 2012

Sommaire

Introduction Générale.....	1
Chapitre 1 : Détection du «LIGA» par sondeur acoustique	3
1. Introduction à la détection acoustique du «LIGA»	3
2. Validation de la détection acoustique du « LIGA »	3
3. Conclusion sur la détection acoustique du « LIGA ».....	10
Chapitre 2 : Observations des pêcheurs	11
1. Introduction sur les observations des pêcheurs	11
2. Dispositif d'enquête	11
3. Caractérisation des observations de l'année 2011.....	12
3.1. Observations de «LIGA»	12
3.2. Observations de «LIGA» dans la colonne d'eau.....	13
3.3. Observations de «LIGA» par métier de pêche	14
3.4. Observations de «LIGA» et activité des fileyeurs	14
3.5. Observations de «LIGA» et conditions environnementales.....	16
3.5.1. Conditions hydrologiques de l'Adour	16
3.5.2. Conditions météorologiques.....	18
3.5.3. Conditions océanographiques	21
3.5.4. Conditions environnementales	24
4. Caractérisation des observations mensuelles de «LIGA»	31
4.1. Janvier 2011	31
4.1.1. Observations de «LIGA»	31
4.1.2. Conditions hydrologiques de l'Adour	31
4.1.3. Conditions météorologiques.....	31
4.1.4. Conditions océanographiques	33
4.1.5. Synthèse du mois de janvier	35
4.2. Février 2011	36
4.2.1. Observations de «LIGA»	36
4.2.2. Conditions hydrologiques de l'Adour	36
4.2.3. Conditions météorologiques.....	36
4.2.4. Conditions océanographiques	38
4.2.5. Synthèse du mois de février 2011	38

4.3. Mars 2011	39
4.3.1. Observations de «LIGA»	39
4.3.2. Conditions hydrologiques de l'Adour	40
4.3.3. Conditions météorologiques.....	40
4.3.4. Conditions océanographiques	42
4.3.5. Synthèse du mois de mars	44
4.4. Avril 2011	45
4.4.1. Observations de «LIGA»	45
4.4.2. Conditions hydrologiques de l'Adour	46
4.4.3. Conditions météorologiques.....	46
4.4.4. Conditions océanographiques	48
4.4.5. Synthèse du mois d'avril	50
4.5. Mai 2011	51
4.5.1. Observations de «LIGA»	51
4.5.2. Conditions hydrologiques de l'Adour	52
4.5.3. Conditions météorologiques.....	52
4.5.4. Conditions océanographiques	54
4.5.5. Synthèse du mois de mai	56
4.6. Juin 2011	57
4.6.1. Observations de «LIGA»	57
4.6.2. Conditions hydrologiques de l'Adour	58
4.6.3. Conditions météorologiques.....	58
4.6.4. Conditions océanographiques	60
4.6.5. Synthèse du mois de juin.....	62
4.7. Juillet 2011	63
4.7.1. Observations de «LIGA»	63
4.7.2. Conditions hydrologiques de l'Adour	64
4.7.3. Conditions météorologiques.....	64
4.7.4. Conditions océanographiques	66
4.7.5. Synthèse du mois de juillet.....	68
4.8. Août 2011	69
4.8.1. Observations de «LIGA»	69
4.8.2. Conditions hydrologiques de l'Adour	70
4.8.3. Conditions météorologiques.....	70
4.8.4. Conditions océanographiques	72
4.8.5. Synthèse du mois d'août	74

4.9. Septembre 2011	75
4.9.1. Observations de «LIGA»	75
4.9.2. Conditions hydrologiques de l'Adour	76
4.9.3. Conditions météorologiques.....	76
4.9.4. Conditions océanographiques	78
4.9.5. Synthèse du mois de septembre	80
4.10. Octobre 2011	81
4.10.1. Observations de «LIGA»	81
4.10.2. Conditions hydrologiques de l'Adour	82
4.10.3. Conditions météorologiques.....	82
4.10.4. Conditions océanographiques	84
4.10.5. Synthèse du mois d'octobre	86
4.11. Novembre 2011	87
4.11.1. Observations de «LIGA»	87
4.11.2. Conditions hydrologiques de l'Adour	88
4.11.3. Conditions météorologiques.....	88
4.11.4. Conditions océanographiques	90
4.11.5. Synthèse du mois de novembre	92
4.12. Décembre 2011	93
4.12.1. Observations de «LIGA»	93
4.12.2. Conditions hydrologiques de l'Adour	94
4.12.3. Conditions météorologiques.....	94
4.12.4. Conditions océanographiques	96
4.12.5. Synthèse du mois de décembre	98
4.13. Janvier 2012	99
4.13.1. Observations de «LIGA»	99
4.13.2. Conditions hydrologiques de l'Adour	100
4.13.3. Conditions météorologiques.....	100
4.13.4. Conditions océanographiques	102
4.13.5. Synthèse du mois de janvier	103
4.14. Février 2012	104
4.14.1. Observations de «LIGA»	104
4.14.2. Conditions hydrologiques de l'Adour	105
4.14.3. Conditions météorologiques.....	105
4.14.4. Conditions océanographiques	107
4.14.5. Synthèse du mois de février	107

4.15. Mars 2012.....	108
4.15.1. Observations de «LIGA»	108
4.15.2. Conditions hydrologiques de l'Adour	109
4.15.3. Conditions météorologiques.....	109
4.15.4. Conditions océanographiques	111
4.15.5. Synthèse du mois de mars	111
4.16. Avril 2012	112
4.16.1. Observations de «LIGA»	112
4.16.2. Conditions hydrologiques de l'Adour	113
4.16.3. Conditions météorologiques.....	113
4.16.4. Conditions océanographiques	115
4.16.5. Synthèse du mois de avril.....	115
4.17. Mai 2012	116
4.17.1. Observations de «LIGA»	116
4.17.2. Conditions hydrologiques de l'Adour	117
4.17.3. Conditions météorologiques.....	117
4.17.4. Conditions océanographiques	119
4.17.5. Synthèse du mois de mai.....	119
4.18. Juin 2012	120
4.18.1. Observations de «LIGA»	120
4.18.2. Conditions hydrologiques de l'Adour	121
4.18.3. Conditions météorologiques.....	121
4.18.4. Conditions océanographiques	123
4.18.5. Synthèse du mois de juin.....	123
5. Conclusions sur les observations des pêcheurs	124
 Chapitre 3 : Préparation du programme de recherche, état des connaissances de phénomènes similaires dans le monde	127
 1. Introduction sur la synthèse bibliographique	127
2. Contexte	127
3. Généralités sur les agrégats colloïdaux en milieu marin.....	128
3. Observations de phénomènes similaires dans le monde	130
4. Formation des agrégats colloïdaux marins.....	134
4.1. Production de particules exopolymériques transparentes (TEP).....	136
4.2. Sécrétion d'exopolymères en milieu marin.....	140
4.2.1. Production d'exopolymères d'origine planctonique	141

4.2.2. Production d'exopolymères bactériens	148
4.3 Lyse cellulaire	151
4.4. Facteurs environnementaux favorisant la formation d'agrégats colloïdaux marins....	154
4.4.1. Facteurs abiotiques	154
4.4.2. Facteurs biotiques.....	159
5. Caractérisation physico-chimique des agrégats colloïdaux marins.....	160
5.1. Structure physique.....	160
5.2. Composition chimique	162
5.2.1. Composition élémentaire.....	162
5.2.2. Fraction organique.....	164
5.2.3. Fraction inorganique	167
5.3. Facteurs d'enrichissement	168
5.4. Composition biologique	169
6. Dégradation des agrégats colloïdaux marins.....	170
6.1. Hydrolyse enzymatique des agrégats	171
6.2. Consommation directe des agrégats	172
7. Impact des agrégats colloïdaux marins sur les écosystèmes marins et les activités anthropiques	172
7.1. Impact sur les écosystèmes marins.....	172
7.1.1. Concentration des contaminants.....	172
7.1.2. Impact sur les communautés benthiques	173
7.1.3. Impact sur l'écosystème pélagique	175
7.2. Impact sur les activités humaines.....	175
7.2.1. Sur l'activité touristique	176
7.2.2. Sur la pêche	176
7.2.3. Sur les activités industrielles	177
7.3. Impact sur la santé humaine	177
8. Synthèse de la bibliographie	178
Chapitre 4 : Préparation du programme de recherche, présentation du programme de recherche «LIGA» en sud Aquitaine, causes et conséquences du développement de «neige marine» sur la côte Basque et le sud des Landes, proposition de programme de recherche 2012 – 2015	
179	
1. Introduction	179
2. Contexte du programme de recherche.....	180
3. Objectifs du programme de recherche.....	180
4. Déroulement du programme de recherche	181

4.1. Stratégie d'échantillonnage	181
4.1.1. Echantillonnage en routine	181
4.1.2. Echantillonnage intensifié en forte période d'apparition de « LIGA »	182
4.2. Dynamique fonctionnelle du «LIGA»	183
4.2.1. Rôle, origine et fonctionnement des communautés biologiques	183
4.2.2. Rôle et origine de la matière organique particulaire et dissoute	185
4.2.3. Présence de contaminants et réactivité	185
4.3. Etude de la dynamique spatiale du «LIGA»	186
4.3.1. Détection et quantification du «LIGA» dans la colonne d'eau par méthodes acoustiques	186
4.3.2. Compréhension et prévision de la dynamique du panache de l'Adour	187
4.4. Etude de la dynamique historique du «LIGA»	187
4.4.1. Historique et représentation du phénomène «LIGA»	187
4.4.2. Lien avec les évolutions des réseaux trophiques	188
4.4.3. Lien avec les forçages anthropiques et climatiques	189
4.5. Perspectives en cours de programme	189
4.5.1. Quantification du «LIGA» dans la colonne d'eau par méthodes acoustiques	190
4.5.2. Lien entre dynamique du «LIGA» et les réseaux trophiques : communautés nectoniques	190
4.6. Calendrier prévisionnel	190
4.7. Gouvernance du programme	191
5. 5. Budget prévisionnel	192
5.1. Dépenses	192
5.2. Recettes	194
6. Partenariat	196
Bibliographie	199
ANNEXES	215

Introduction Générale

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», tendant à s'accroître, 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.

Suite aux études ponctuelles de 2001 et 2006, il a été décidé, en 2010, de réaliser un programme pluridisciplinaire basé sur un partenariat multiple. Les résultats de cette étude ont permis de répondre, partiellement ou en totalité, à certaines questions et en ont soulevé de nouvelles.

Le «LIGA» se situe principalement proche de la côte, entre deux eaux. Concernant sa localisation, il reste à connaître les limites internes (à la côte) et externes (au large) de sa présence, à étudier le **lien entre sa présence et la structuration des masses d'eau** liées soit aux limites des panaches continentaux soit à la stratification verticale des eaux, et évaluer le **rôle joué par les courants côtiers** dans sa **dynamique spatiale** sur le littoral.

Les navires de pêcheurs professionnels détectent au sondeur une couche atypique située entre deux eaux qui pourraient correspondre au «LIGA». Il est donc nécessaire de **valider le fait que le « LIGA » soit détectable par imagerie acoustique**, et, le cas échéant, de **le cartographier sur le littoral basco-landais** afin, notamment, d'en déterminer les limites internes et externes. Cette exploration acoustique sera renforcée par une **enquête auprès des pêcheurs** qui renseigneront leurs observations de « LIGA » sur leurs zones de pêche.

Le «LIGA» est une **substance colloïdale** formant un **véritable écosystème pélagique** qui présente une **grande variété de taxons** (bactéries, protozoaires, phytoplancton, zooplancton, larves, œufs, vers, débris continentaux, débris végétaux...) **d'origine diverses et variées** (marin/continental ; pélagique/benthique...). Il est aussi le témoin d'un **enrichissement en matière organique**. La fraction inorganique forte est expliquée par les apports fluviaux. Toutefois, les fortes teneurs en carbone organique (8 à 10 %) ne peuvent être expliquées seulement par les cours d'eau (teneurs < 5% en crue). Il y a donc d'autres apports de carbone organique qui rentrent dans la composition du «LIGA» (phytoplancton, apports anthropiques...).

Au niveau de sa composition, il reste encore à **caractériser biochimiquement la matière organique** afin d'identifier son origine, à **déterminer la présence ou non de contaminants organiques et inorganiques** afin de préciser les risques sanitaires, à **disposer de concentrations interprétables** des différents composants afin d'évaluer le rôle de concentrateur du « LIGA ». Le protocole d'échantillonnage de l'étude 2010 avait pour but de récolter un maximum de «LIGA» et non de quantifier ces différents composants.

Il apparaît aussi important d'évaluer la **variabilité spatiale de la composition**, les résultats de l'étude 2010 n'étant représentatifs du «LIGA» qu'au point d'échantillonnage sur la nappe située à 5 mètres de profondeur. En aucun cas, ces résultats ne permettent de démontrer une homogénéité de la composition sur l'ensemble du littoral ou verticalement sur la colonne d'eau.

Il est nécessaire d'**explorer le compartiment bactérien**. Les résultats de l'étude 2010 ont démontré la présence de bactéries fécales. Toutefois, il paraît judicieux de faire un **screening des bactéries présentes** dans le «LIGA» et capables d'être à l'origine de la création de biofilms. Il est donc

important de travailler sur la **dynamique des populations** présentes ainsi que sur la **cinétique de développement**.

Il est primordial d'analyser **les inter-relations entre espèces** afin de **comprendre la dynamique fonctionnelle et les mécanismes mis en jeux**. Les résultats de l'étude 2010 ont démontré une grande variété d'espèces phytoplanctoniques, zooplanctoniques d'origine benthique ou pélagique. Il paraît nécessaire de comprendre les associations d'espèces présentes dans le «LIGA» ainsi que les phénomènes d'adaptation à cet écosystème original.

Les résultats des analyses biologiques et de la matière organique démontrent que le «LIGA» est un phénomène complexe résultant de **plusieurs sources potentielles**. Il paraît donc aujourd'hui essentiel de **prendre en compte toutes les sources d'apports en mer**.

Les résultats de l'étude 2010, confortés par les résultats obtenus par l'Ifremer dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau, démontrent une **production phytoplanctonique locale atypique en période estivale**. Il est donc important de connaître les **flux de sels nutritifs** (azote, phosphates, silicates) nécessaires à la production primaire et savoir s'ils correspondent à du recyclage de matière ou à des apports supplémentaires.

L'étude 2010 a démontré que le «LIGA» **a un impact sur la santé humaine**, les pêcheurs présentant des troubles dermatologiques à son contact. Sa présence dans les eaux **abaisse les rendements de pêche de pleine eau**.

Au niveau des risques liés au « LIGA », il reste à **préciser son impact sur la santé humaine** en fonction de la **nature et de la concentration des polluants qu'il renferme** (bactéries, contaminants) présents. Au niveau des pêcheries, il est nécessaire **d'évaluer son impact sur la physiologie des communautés de poissons pélagiques** et sur leur dynamique de population, et de préciser si les baisses de rendement de pêche observés sont dus à un comportement d'évitement du poisson vis-à-vis du filet rendu visible par le dépôt de «LIGA» ou par un comportement de fuite du poisson de la zone impactée par le «LIGA».

Enfin, il est important d'évaluer **son impact sur la qualité physico-chimiques et bactériologiques des eaux** et sur le **transfert de contaminants dans le milieu**.

Les recommandations du Comité de Pilotage final de l'étude 2010 ont préconisé pour l'année 2011 de :

- poursuivre les enquêtes auprès des pêcheurs visant à recenser les observations de « LIGA »,
- tester la possibilité de le détecter au sondeur et, le cas échéant, de le cartographier sur l'ensemble du littoral,
- de faire une synthèse bibliographique internationale sur des phénomènes similaires,
- de préparer un programme de recherche pluriannuel s'appuyant sur les résultats de l'étude 2010 et sur la synthèse bibliographique pour la période 2012-2014

Chapitre 1 : Détection du «LIGA» par sondeur acoustique

1. Introduction à la détection acoustique du «LIGA»

Lors de la réunion de restitution des résultats de l'étude 2010, le 16 février 2011 au Port de Saint Jean de Luz / Ciboure, chaque pêcheur présent (13) a confirmé la détection par sondeur d'un écho atypique pouvant correspondre à du «LIGA».

Il paraît donc important de vérifier cette observation car elle pourrait s'avérer essentielle dans la détection à grande échelle du «LIGA». Pour cela, afin de limiter les coûts financiers, techniques et humains, il est prévu d'affréter un navire professionnel conventionné afin de :

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

2. Validation de la détection acoustique du « LIGA »

L'accord de financement étant intervenu durant l'été 2011, il nous a été impossible d'investir dans le matériel d'échantillonnage avant août 2011. La bande pélagique était bien visible au sondeur pendant le printemps 2011 et accessible aux engins d'échantillonnages à une profondeur inférieure à 30 mètres.

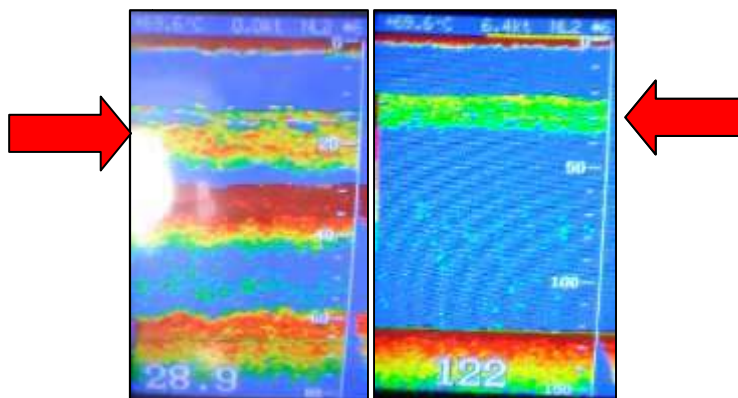


Figure 1 : Exemples de bandes pélagiques observées au sondeur au printemps 2011.

Entre le 31 août 2011 et le 30 juin 2012, 4 sorties ont été réalisées afin d'identifier la nature de la bande visible au sondeur.

Les premiers essais ont eu lieu le 31 août 2011. La colonne d'eau a été échantillonnée sur plusieurs points de la côte. A chaque point, le filet à plancton a été immergé à -5, - 10, - 15 et - 20 m et tiré sur 100 m.

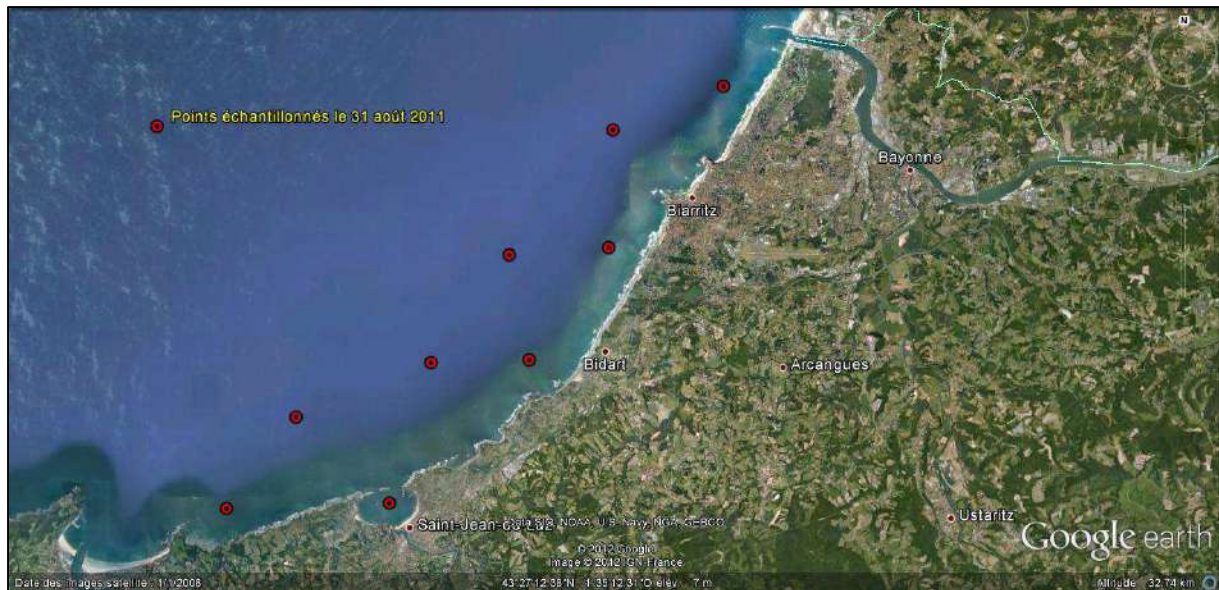


Figure 2 : Points échantillonnés le 31 août 2011

Malgré l'absence d'échos au sondeur, du « LIGA » en faible quantité a été prélevé dans la colonne d'eau.



Figure 3 : Exemple d'images sondeur observées le 31 août et prélèvement du filet à plancton

Les résultats démontrent **qu'en l'absence de bandes au sondeur, le « LIGA » est bien présent mais en faible quantité**. L'absence de bande au sondeur ne signifie donc pas une absence de « LIGA ».

Le 12 octobre 2011, les pêcheurs nous signalent une présence abondante de « LIGA » sur l'ensemble du littoral basque avec une bande au sondeur visible près du fond. Dès le lendemain, nous embarquons sur l'Ordagna. Malheureusement, la profondeur de la bande n'est pas accessible aux engins d'échantillonnage. Toutefois, les filets calés de fond ont travaillé dans cette bande et leur remontée nous renseigne sur la nature de cette bande.

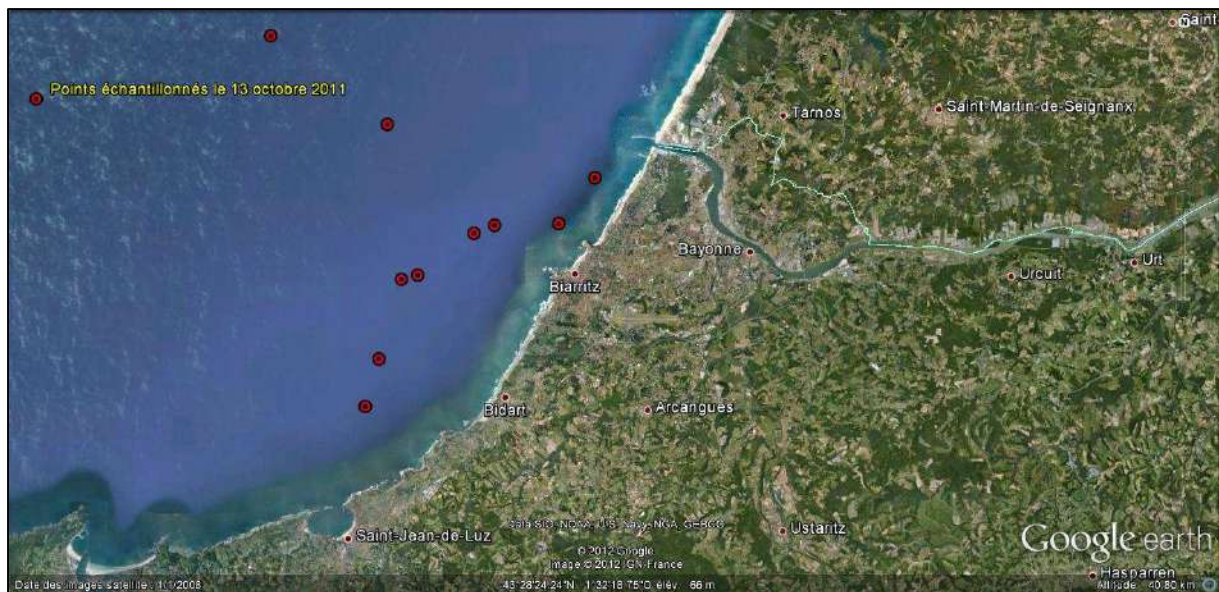


Figure 4 : Points échantillonnés le 13 octobre 2011



Figure 5 : Exemples de bandes observées au sondeur et "LIGA" récupérés sur les filets

La bande au sondeur semble correspondre à une **forte concentration de «LIGA» agglomérée sur une matrice gélatineuse** contenant de nombreuses méduses et salpes.

Le 12 mars 2012, le patron de l'ORDAGNA nous indique la **présence de « marées rouges »**. Dès le lendemain, nous embarquons afin, d'une part, de vérifier si ce bloom planctonique provoque une apparition d'une bande au sondeur et d'autre part de prélever des échantillons d'eau au filet à plancton et les analyser.

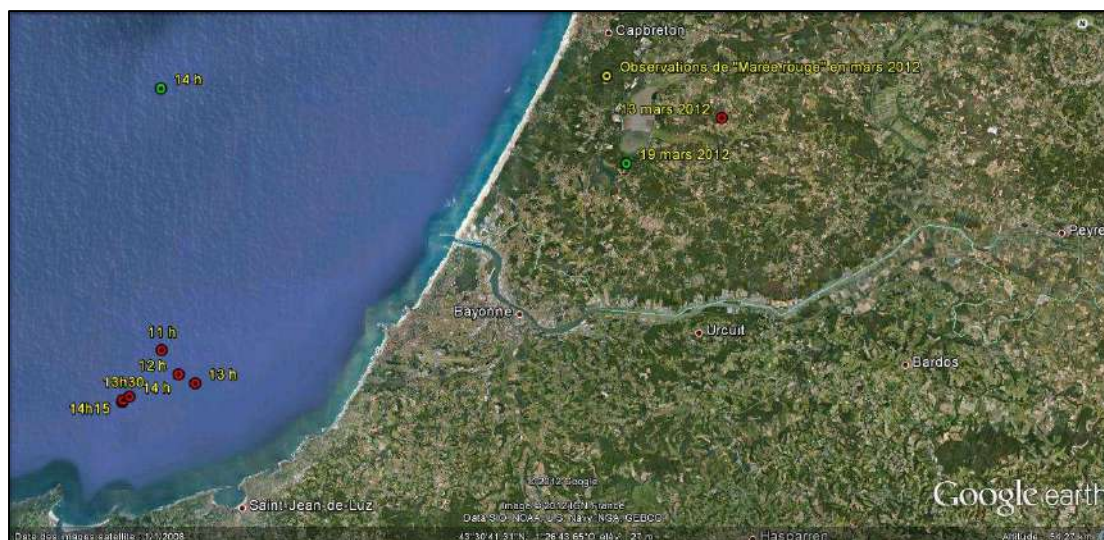


Figure 6 : Cartographie des points de marées rouges (Source : Google Earth / IMA)

Les eaux sont translucides de 6h du matin à 10h. La visibilité est estimée à environ 10 mètres de profondeur (cf. figure 7 a). A partir de 10h30, les eaux commencent à se marbrer de filaments blancs (cf. figure 7 b). Alors que le fond marin se situe à 70 mètres de profondeur, ces eaux marbrées donnent l'impression de voir le fond à environ 15 mètres. Peu à peu, ces eaux marbrées montent à la surface et forment des bouffées nuageuses pourpres sous la surface vers 12h30 (cf. figure 7 c). A 13 h, le phénomène est en surface et les eaux sont rouges (cf. figure 7 d et e). Le phénomène s'étend sur plusieurs km² (cf. figure 7 f).

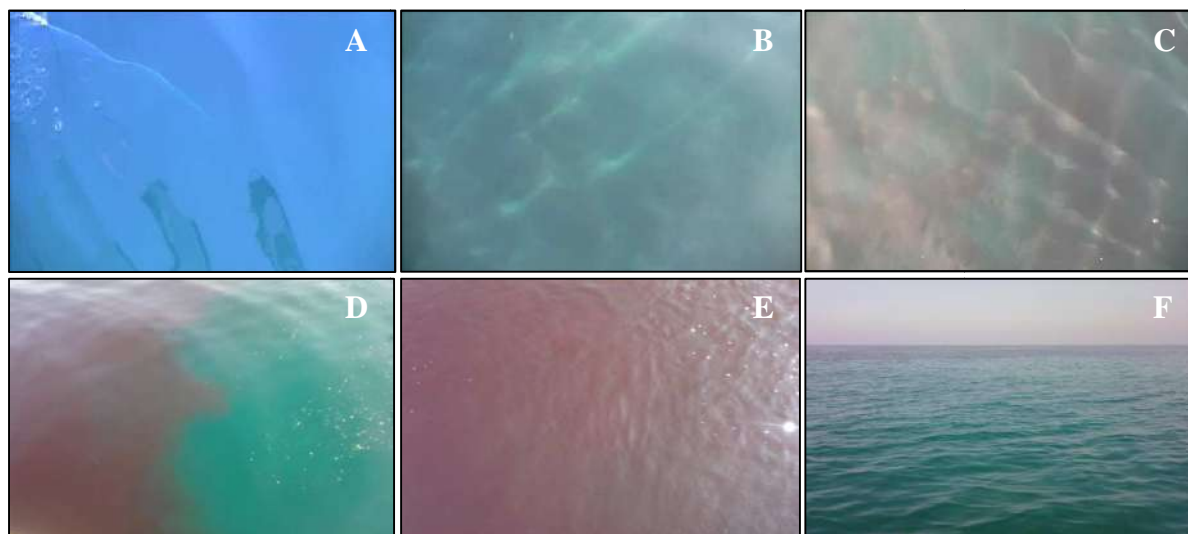


Figure 7 : Illustration du phénomène de marée rouge constaté le 13 mars 2012

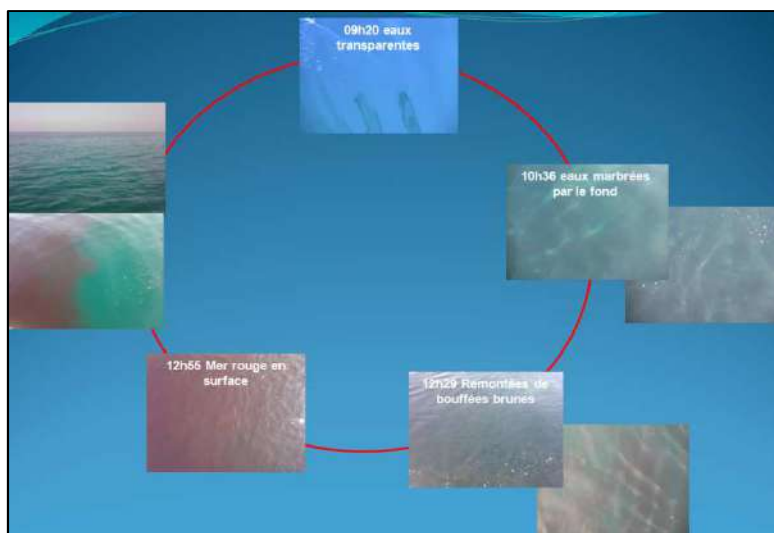


Figure 8 : Cycle d'apparition journalier des marées rouges

Ce phénomène de marée rouge a été détecté à la côte par des surfeurs le 07 mars 2012.

<p>none Hébergé par Surf4all</p> <p>Messages: 1229 Inscrit le: Dim Oct 09, 2005 11:00 pm Localisation: bayonne</p>	<p>Re: session au Pays Basque par none sur Mer Mar 07, 2012 12:48 pm</p> <p>ben envoie la photo sinon des belles vagues aujourd'hui. Je n'ai surfé que 45 min après un espèce de nappes pourpres a envahi le spot . Hyper étrange, un peu opaque , je me demande bien ce que ca peut être! Enfin du coup le spot c'est vidé d'un coup, tout le monde est rentré a la maison . Je me suis arrêté a la capitainerie qui était fermée ; si quelqu'un a une idée de ce que ca peut etre, je veut bien savoir...</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Figure 9 : Témoignage de marée rouge le 07 mars 2012 par un surfeur sur un forum spécialisé

Parallèlement à ces prélèvements, nous avons :

- alerté le sémaphore de Socoa afin de récupérer les observations des pêcheurs par VHF qui nous a renseigné sur la présence du phénomène le 19 mars au large de Capbreton,
- contacté la cellule GEOTRANSFERT afin de détecter le phénomène par image satellite et estimer son étendue géographique. Malheureusement, aucune image satellite de la zone n'a pu être analysée.
- mobilisé les équipes du LAPHY, d'ECOBIOC de l'UMR EPOC de l'université de Bordeaux et la station IFREMER d'Arcachon afin d'avoir une analyse croisée de la composition planctonique de cette marée rouge.

Les prélèvements ont été réalisés au filet plancton dans la couche d'eaux marbrées, de bouffées nuageuses et d'eaux rouges. Ils ont été immédiatement fixés au formaldéhyde à 5 % et conservés dans une glacière à l'abri de la lumière. Au retour à terre, 3 échantillons ont été déposés au LAPHY pour analyse. De retour au bureau, 3 échantillons ont été expédiés à l'équipe ECOBIOC de l'UMR EPOC et à la station Ifremer d'Arcachon pour analyse.

Au niveau du phytoplancton, les laboratoires ont rencontré une grande concentration du péridinien *Protoperidinium crassipes* et d'autres individus plus petits du même genre ainsi que de *Bacteriastrium hyalinum* responsables de la coloration rouge / brune des eaux. Parmi les autres espèces retrouvées, on distingue *Dinophysis rotundata*, *Dinophysis caudata*, *Dinophysis acuminata*, *Ornithocercus sp.*, *Ceratium furca*, *Ceratium tripos* et *Pseudonitzschia sp.*.



Figure 10 : Illustration du phytoplancton rencontré dans les eaux rouges
(De gauche à droite : *Protoperidinium*, *Bacteriastrium hyalinum*, *Dinophysis sp.*, *Ceratum sp.*)

Au niveau du zooplancton rencontré, on distingue une grande quantité de Tintinnides *Favella* et *Parafavella sp.*, du copépode *Acartia clausi*, de copépodites et de larves *nauplii* bien colorées en orange (nutrition du phytoplancton). Parmi les autres espèces rencontrées en moins grand nombre, on trouve *Paracalanus parvus*, *Oithona sp.*, *Temora longicornis*, *Euterpina acutifrons* et *Evadne spinifera*.



Figure 11 : Illustration du zooplancton rencontré dans les eaux rouges
(De gauche à droite : Tintinides, *Acartia clausi*, larves *nauplii*)

L'équipe ECOBIOC de l'UMR EPOC conclut à un cocktail d'espèces connues pour provoquer des eaux colorées et produire des toxines (Del Amo, *comm. pers.*)

L'apparition de ce bloom phytoplanctonique spectaculaire n'est pas accompagnée de l'apparition d'une bande pélagique au sondeur.

Fin juin 2012, les pêcheurs nous ont alertés de la présence de masses muqueuses difformes dans leurs filets. Le 28 juin, nous avons embarqué à bord de l'Ordagna afin, d'une part, de vérifier si ces amas muqueux engendraient une bande pélagique au sondeur acoustique et d'autre part, de prélever des échantillons et d'identifier cette matière.

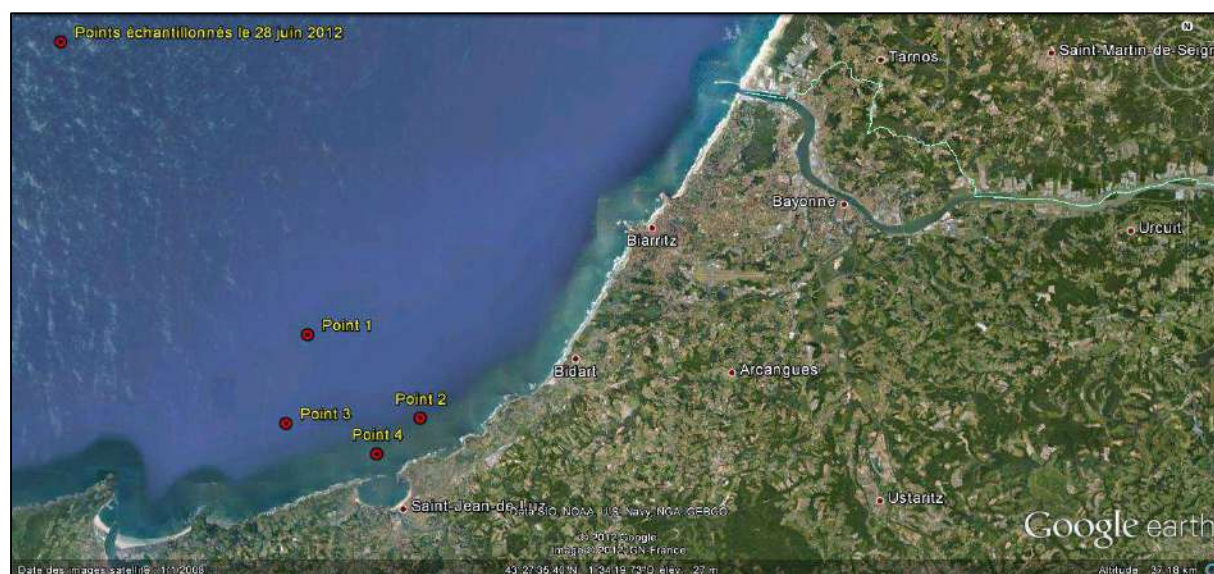


Figure 12 : Points échantillonnés le 28 juin 2012

Les eaux paraissent claires mais les filets sont chargés de masses muqueuses enfermant de nombreuses espèces gélatineuses (salpes, méduses...). Les vidéos acquises en profils verticaux montrent des eaux claires près du fond et chargées proche de la surface.

Les résultats d'analyse par le laboratoire ECOBIOC de l'UMR EPOC de l'université de Bordeaux 1 concluent sur une matrice gélatineuse inerte renfermant de nombreuses pelotes fécales (salpes), de dinoflagellés et de cryptophycées.



Figure 13 : Illustration des amas muqueux rencontrés le 29 juin 2012

Aucun signal acoustique n'est repéré au sondeur.



Figure 14 : Illustrations des particules rencontrées sur la colonne d'eau au profil 3 (Du fond vers la surface)

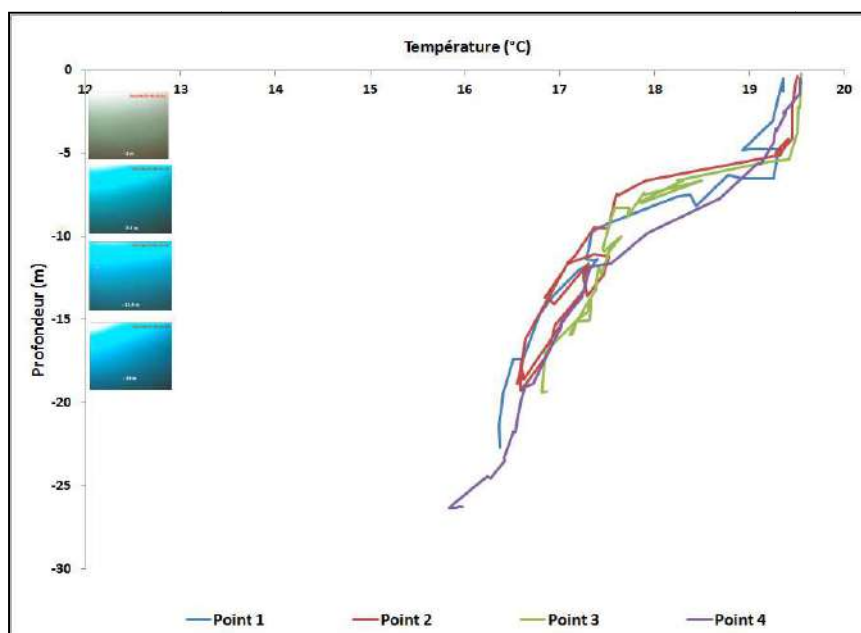


Figure 15 : Profils de température réalisés le 29 juin 2012

Une thermocline nette apparaît à chaque point aux environs de 5 m de profondeur. En dessous de la thermocline, les eaux sont plus salées, moins turbides mais plus chargées en particules muqueuses transparentes. Au dessus de la thermocline, les eaux sont plus chaudes, dessalées et plus turbides.

D'une manière générale, les échos sont mieux visibles de nuit que de jour. Colombo et *al.* (2008) ont fait le même constat lors de leur surveillance acoustique des populations de méduses en mer Adriatique.

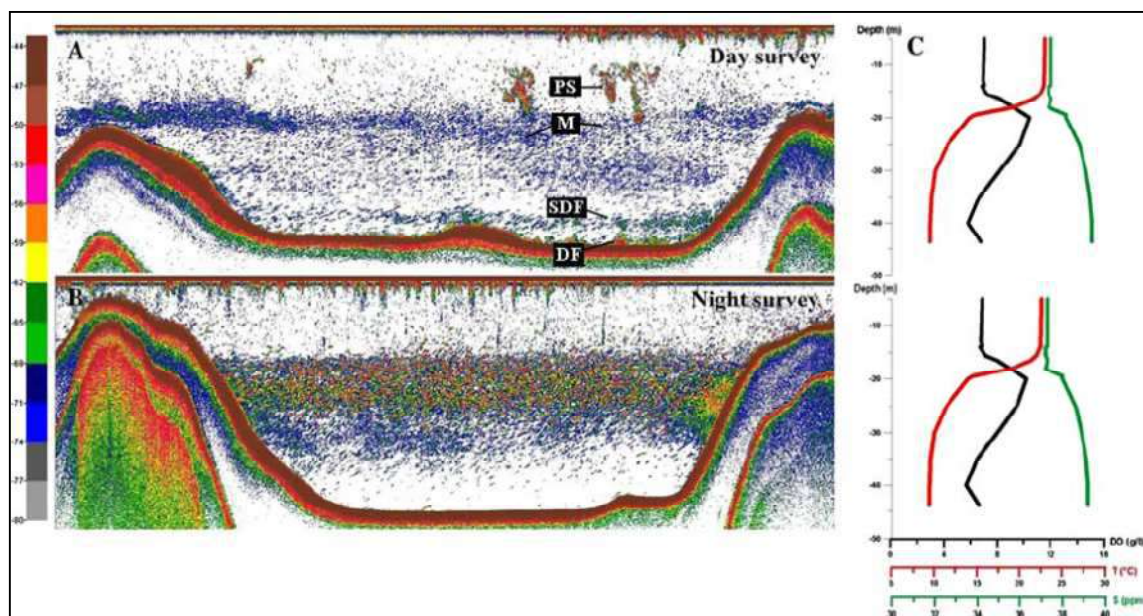


Figure 16 : Exemples d'échos acoustiques obtenus de jour et de nuit (Colombo et *al.*, 2008)

La bande identifiée de jour comme de nuit est située au niveau de la thermocline. De jour, une couche de méduses (M) est observée entre 15 et 30 m. Ils observent aussi de échos de poissons pélagiques (PS), benthopélagiques (SDF) et démersaux (DF). De nuit, la bande s'intensifie car le mézozooplancton et les poissons se regroupent au niveau et juste au dessus de la thermocline masquant ainsi les échos de méduses.

Les corrélations entre les agrégations de plancton gélatineux et les discontinuités physiques telles que la thermocline sont bien connues (Graham et *al.*, 2001) et résultent en général d'une combinaison entre le comportement des animaux et les conditions environnementales (.

3. Conclusion sur la détection acoustique du « LIGA »

Nous ne pouvons malheureusement pas conclure de façon formelle que la bande pélagique observée au sondeur en 2010 correspond à du « LIGA ». Toutefois, des doutes subsistent puisqu'en octobre 2011, les filets travaillant dans cette bande sont remontés colmatés de « LIGA » de méduses et de salpes. En l'absence de bande visible au sondeur (août 2011), le « LIGA » est présent en faible quantité.

Il semble que l'apparition de la bande soit fonction de la quantité de « LIGA » mais aussi et surtout de la structuration verticale de la masse d'eau. En effet, l'apparition d'une thermocline semble concentrer le phénomène au dessus de cette dernière ce qui le rendrait visible par sondeur acoustique. Les conditions météorologiques et océanographiques du printemps 2012 n'ont pas permis l'apparition d'une thermocline marquée aux alentours de 15 m comme aux printemps 2010 et 2011 ce qui peut, en partie, expliquer l'absence de la bande.

Nous avons écarté la possibilité que des blooms de phytoplancton et de masses muqueuses puissent correspondre à la bande observée.

Chapitre 2 : Observations des pêcheurs

1. Introduction sur les observations des pêcheurs

La présence quasi quotidienne des pêcheurs en mer, véritables sentinelles des milieux qu'ils exploitent, est un atout précieux pour la communauté scientifique. Il paraît donc indispensable d'associer la connaissance empirique des pêcheurs et la connaissance théorique des scientifiques afin de mieux appréhender les problématiques du milieu marin.

Dans le cadre de l'étude «LIGA», nous avons souhaité mettre à profit cette connaissance de terrain pour déterminer les périodes et les zones d'apparition du «LIGA» sur la côte basco-landaise. Ceci s'est traduit par l'élaboration d'un cahier d'enquête «LIGA» qui a été remis à un réseau de pêcheurs collaborateurs (13).

Malgré la bonne volonté des pêcheurs et l'animation du réseau, les contraintes du métier et de sa réglementation (déclarations de captures journalières) ne facilitent pas le remplissage assidu du carnet «LIGA». De plus, depuis quelques années, de nombreux navires se dirigent vers la pêche d'espèces démersales sur le gouf de Capbreton et au large de la côte basque ce qui diminue la proportion de navires travaillant en zone côtière impactée par le «LIGA».

Toutefois, de nombreuses observations nous sont parvenues et nous vous proposons ici de vous en restituer les résultats. Il est important de comprendre que les cartographies présentées renseignent sur la présence de «LIGA» dans les zones de pêche mais ne sont en aucun cas des cartographies exhaustives de «LIGA» sur la côte basque et le sud des Landes. En effet, nous avons peu d'observations sur les zones non exploitées comme la zone déferlement (< 10 m), les zones homogènes à pente douce...

2. Dispositif d'enquête

En mars 2011, les cahiers d'enquête ont été distribués aux 13 pêcheurs ayant participé à la réunion de restitution de l'étude 2010. En mars 2012, compte tenu du faible retour en 2011, ce même cahier a été envoyé à 50 pêcheurs professionnels fréquentant la côte basco-landaise.

 	<p>Votre présence quotidienne sur l'eau est irremplaçable. Nous avons besoin de vous pour nous aider à mieux cerner les périodes d'apparition/disparition du liga et déterminer les zones de présence sur le littoral basco-landais et dans la colonne d'eau. Pour cela, nous vous demandons de remplir les fiches d'enquête dès que vous constatez du liga sur vos engins de pêche.</p>
<p>FICHES ENQUÊTE LIGA <i>(A remplir en présence de liga)</i></p>	<p>Comment remplir les fiches d'enquête liga?</p>
	<p>Il suffit de renseigner :</p> <ul style="list-style-type: none">- la date du jour d'observation,- la position GPS de l'engin de pêche sur lequel le liga est constaté,- l'abondance de liga (Faible, Moyenne ou Forte),- l'engin de pêche utilisé (filet, lignes, bolinches...) et sa position dans la colonne d'eau (surface, pleine eau, fond),- la profondeur approximative de travail de l'engin (mètres),- le temps approximatif d'immersion de l'engin (heures).
<p>Programme financé avec le concours de :</p> 	<p>Le LIGA vous concerne TOUS, c'est pourquoi nous espérons vivement votre participation !!! Plus nous aurons d'observations et mieux nous comprenons le phénomène. Merci d'avance</p>

Figure 17 : Page de garde et notice de remplissage du cahier d'enquête "«LIGA»"

Afin de simplifier le système d'enquête et de ne pas alourdir le travail « administratif » des pêcheurs, nous leur avons demandé de renseigner les périodes et positions où ils retrouvaient du

«LIGA» dans leurs filets. En 2010, nous leur avons demandé en plus les positions sans «LIGA» ainsi que les caractéristiques et l'impact du «LIGA»

CONTACT : NICOLAS SUSPERREGUI (IMA) : 05 59 25 38 73 - 06 47 57 06 06

EXEMPLE : Remplir idéalement pour chaque engin relevé en présence et absence de LIGA						
Date	Latitude	Longitude	Abondance LIGA	Engin de pêche utilisé	Profondeur engin (mètres)	Temps engin (heures)
27/03/2011	43° 24' 212 s Nord	1° 42' 595s Ouest	Forte	Filet de pleine eau	De 5 m à 15 m	3
Date	Latitude	Longitude	Abondance LIGA	Engin de pêche utilisé	Profondeur engin (mètres)	Temps engin (heures)
01/05/2012	43° 25' 200 s N	1° 42' 200 s O	FAIBLE	FILET DROIT (14M)	15 m à 22 m	20 H
01/05/2012	43° 25' 180 s N	1° 40' 200 s O	FAIBLE	FILET DROIT (3M)	0 m à 2 m	5 H
10/05/2012	43° 25' 200 s N	1° 43' 200 s O	MOYEN	FILET DROIT (14M)	15 m à 22 m	20 H
13/05/2012	43° 25' 200 s N	1° 43' 200 s O	MOYEN	FILET DROIT (14M)	15 m à 22 m	20 H
18/05/2012	43° 25' 200 s N	1° 43' 200 s O	MOYEN	FILET DROIT (14M)	15 m à 22 m	20 H
30/05/2012	43° 24' 200 s N	1° 43' 200 s O	MOYEN	FILET DROIT (14M)	15 m à 22 m	20 H
30/05/2012	43° 25' 100 s N	1° 41' 200 s O	FAIBLE	FILET DROIT (3M)	0 m à 2 m	6 H
	43° ' s N	1° ' s O			m à m	
	43° ' s N	1° ' s O			m à m	

Figure 18 : Exemple de fiche enquête remplie par un pêcheur

3. Caractérisation des observations de l'année 2011

3.1. Observations de «LIGA»

14 navires ont participé à l'enquête «LIGA» et ont fourni un total de **758 observations** sur la période janvier 2011 – juin 2012.

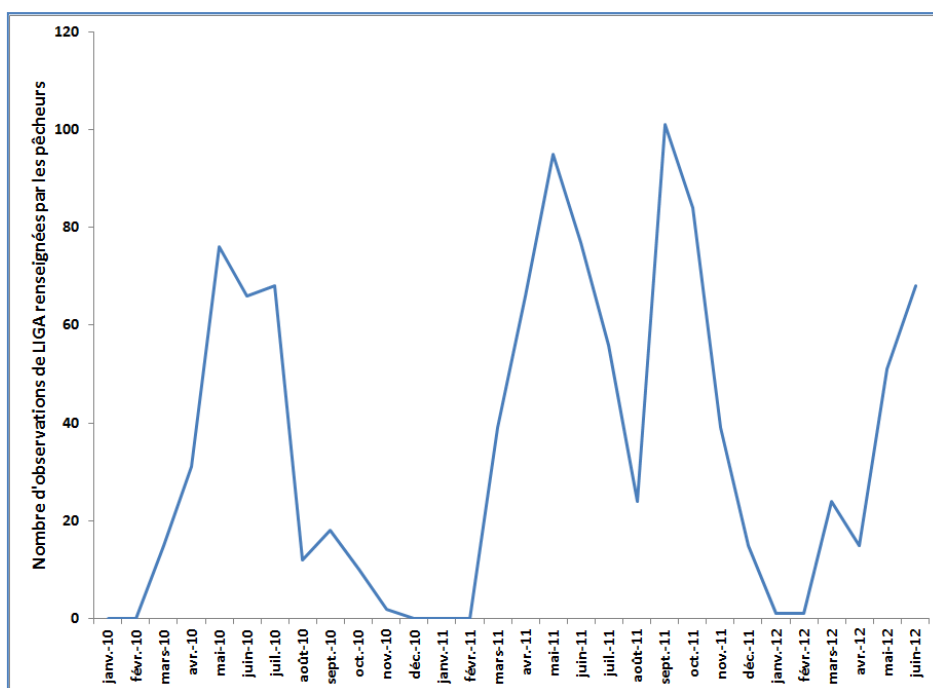


Figure 19 : Evolution du nombre mensuel d'observations de «LIGA» depuis 2010

En 2011, 2 pics distincts sont observés au printemps (avril à juin) et à l'automne (septembre – octobre). Le phénomène a été présent de façon constante de mars à fin juin puis de mi-septembre à début novembre 2011 dans la partie littorale du sud de l'Adour. La côte sud landaise a été impactée ponctuellement, les pêcheurs reliant leurs observations à des courants de sud. Il est ensuite apparu périodiquement de décembre (début du mois) à mars.

Au printemps 2012, le « LIGA » est apparu fin mars suite à un épisode de marées rouges. Il a quasiment totalement disparu au mois d'avril et est réapparu ponctuellement de mai à juin dans la partie littorale du sud de l'Adour. Contrairement à 2011, les courants de sud ont été beaucoup plus fréquents et forts ce qui peut expliquer l'augmentation de sa fréquence d'observation par les pêcheurs de la côte du sud des Landes.

3.2. Observations de «LIGA» dans la colonne d'eau

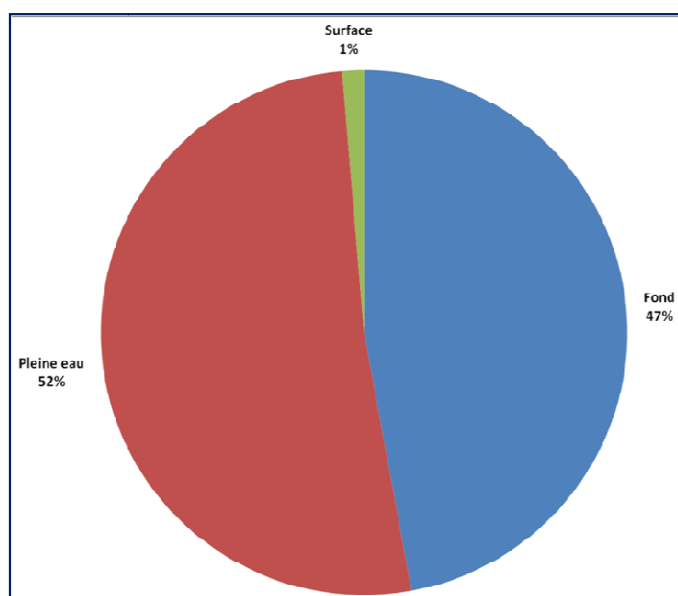


Figure 20 : Distribution des observations par couche d'eau

Contrairement à 2010 où le «LIGA» a principalement été rencontré en pleine eau, en 2011 et au printemps 2012, il a été observé de façon égale en pleine eau et au fond. Ceci peut s'expliquer par :

- le fait que certains navires se soient rapprochés de la côte où le «LIGA» se fait moins sentir en pleine eau du fait de la turbulence,
- des observations estivales de «LIGA» principalement au fond.

3.3. Observations de «LIGA» par métier de pêche

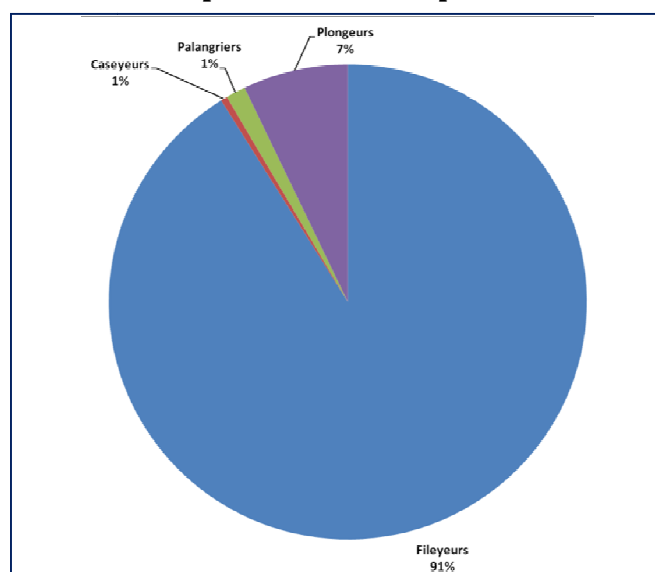


Figure 21 : Distribution des observations par producteurs*

91 % des observations de «LIGA» sont réalisées par des fileyeurs.

3.4. Observations de «LIGA» et activité des fileyeurs

Dans le cadre du suivi halieutique des navires de moins de 10 mètres d'Aquitaine, piloté par le Comité Régional des Pêches Maritimes et des Elevages Marins d'Aquitaine, nous disposons des déclarations de capture de la petite flottille côtière. Nous nous intéresserons donc aux données des fileyeurs, principal métier impacté par le «LIGA» sur la zone d'étude.

Au niveau des déclarations de capture, la zone d'étude est découpée en deux sous rectangles statistiques correspondant à la côte rocheuse et la côte sableuse.

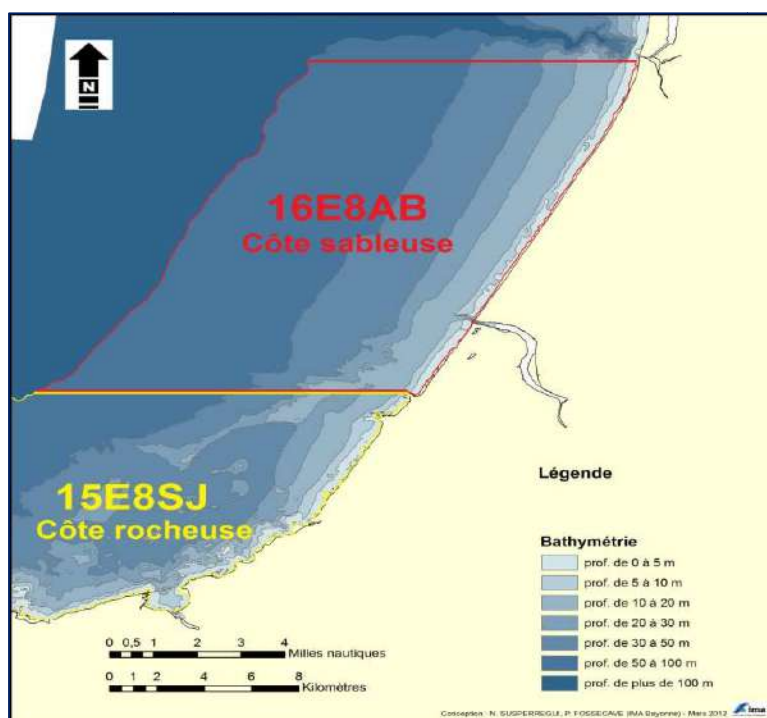


Figure 22 : Périmètres des sous rectangles statistiques de déclaration de capture sur la zone d'étude

Bien que les navires de moins de 10 mètres ne représentent qu'une partie des navires pratiquant l'activité de pêche dans la zone d'étude, nous nous proposons de faire une analyse succincte sur l'activité de pêche de ces navires sur l'année 2011 et particulièrement les fileyeurs.

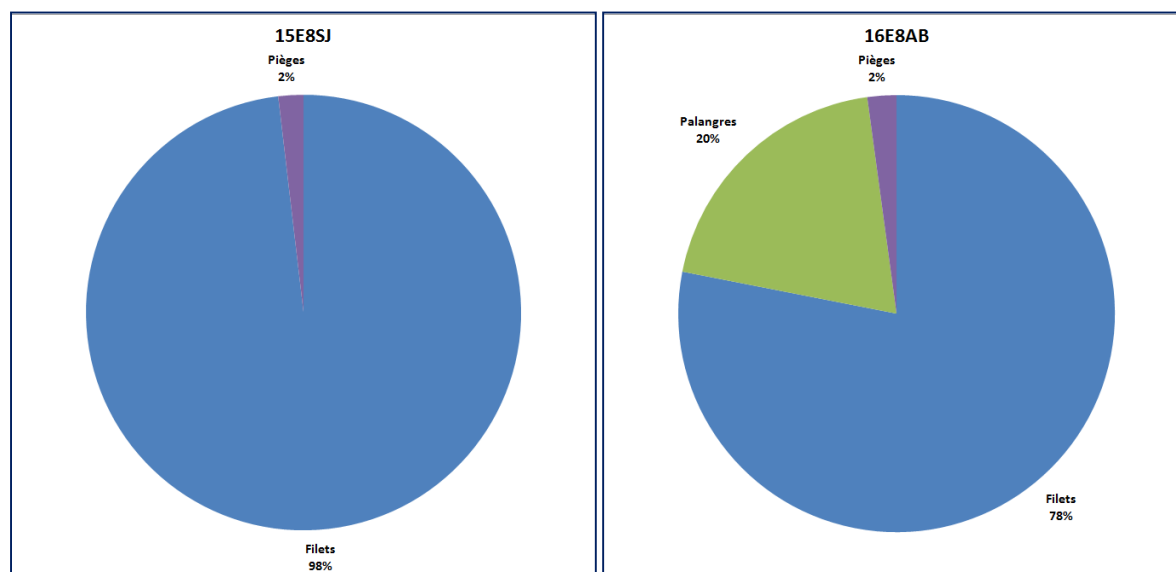


Figure 23 : Distribution des captures par famille d'engin sur la côte rocheuse et sableuse

Sur la côte rocheuse (15E8SJ), 98 % des captures des navires de moins de 10 mètres sont réalisées au filet et 78 % sur la côte sableuse (16E8AB). Puisque les fileyeurs sont les plus impactés par le «LIGA» et qu'ils représentent la majorité des captures sur la zone d'étude, nous nous intéressons à leur activité sur la zone d'étude en fonction de la présence du «LIGA».

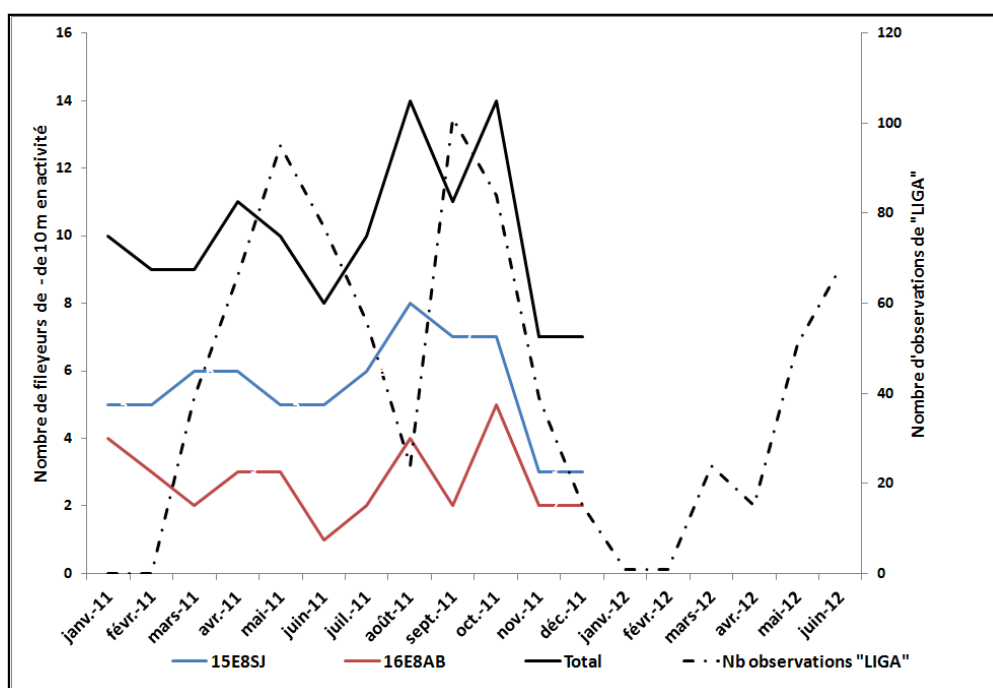


Figure 24 : Evolution mensuelle du nombre de fileyeurs ayant une activité de pêche sur la zone d'étude

Les déclarations des captures de 2012 n'étant pas encore achevées, nous présentons nos résultats pour l'année 2011. En 2011, 19 navires (9 sur la côte rocheuse, 10 sur la côte sableuse) de moins de 10 mètres ont déclaré une activité de pêche au filet dans la zone d'étude. 100 % des navires de moins de 10 mètres fréquentant la côte rocheuse pratiquent la pêche au filet contre 83 %

pour la côte sableuse. Le secteur le plus fréquenté par les fileyeurs de moins de 10 mètres est la zone côtière rocheuse. Le nombre de fileyeurs à la côte augmente d'août à novembre car quelques pêcheurs estuariens ayant terminé leur saison en estuaire rejoignent la zone côtière pour un complément d'activité. Sur les mois de forte présence de «LIGA», le nombre de fileyeurs de moins de 10 mètres fréquentant la zone d'étude diminue (mai –juin).

Il existe plusieurs types de filets utilisés par les pêcheurs. Afin de comparer des pratiques identiques sur les deux zones de pêche, nous avons choisi de travailler sur les filets mailant calés de fond dont les caractéristiques (maille, longueur, temps de pêche) sont présentées en annexe 1.

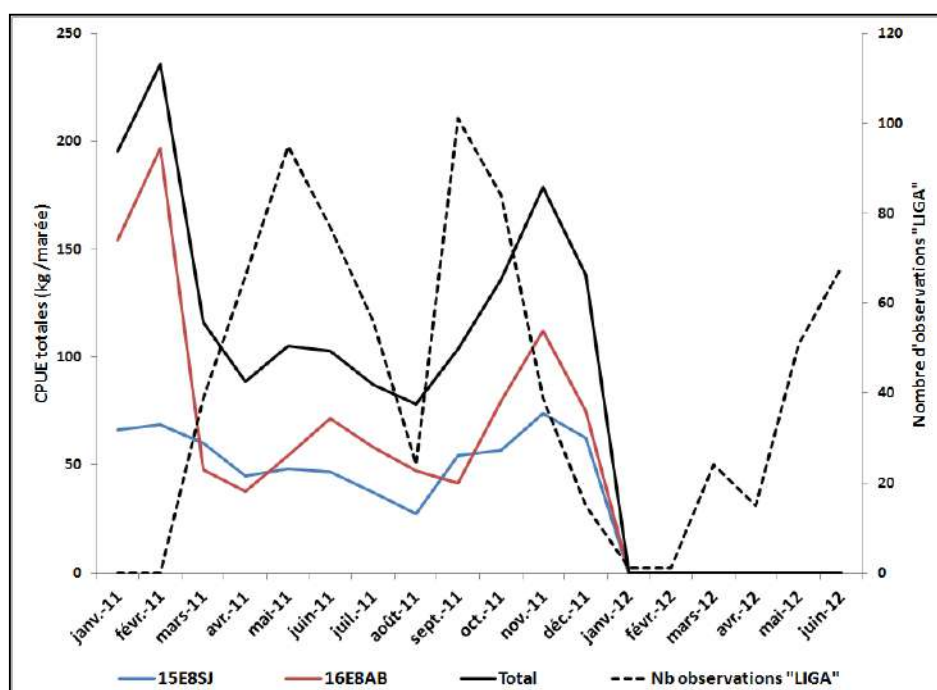


Figure 25 : Evolution des CPUE au filet mailant calé de fond en fonction des observations de "«LIGA»"

Les Captures par Unité d'Effort (CPUE) des filets mailants calés de fond sont supérieures sur la côte rocheuse sur les périodes d'absence de «LIGA». A l'inverse, les CPUE sont supérieures sur la zone côtière sableuse sur les périodes de présence de «LIGA».

3.5. Observations de «LIGA» et conditions environnementales

Pour les paramètres dont nous disposons de la donnée, nous avons intégré les observations de 2010 afin de s'inscrire dans une logique de suivi. De plus, initialement, le suivi des observations des pêcheurs était prévu sur l'année 2011. Nous avons profité de l'avenant au contrat jusqu'à fin juin 2012, du fait de l'impossibilité de valider la bande au sondeur acoustique en 2011, pour poursuivre la collecte des observations de « LIGA » des pêcheurs et des conditions environnementales.

3.5.1. Conditions hydrologiques de l'Adour

L'Adour est le principal fleuve côtier de la zone d'étude. Il contribue à l'apport d'eau douce et de sels nutritifs sur la zone côtière. Les apports d'eau douce influencent la stratification verticale des masses d'eau (thermocline : gradient vertical de température et halocline : gradient vertical de la salinité) et la courantologie côtière. Les apports de sels nutritifs en zone côtière sont indispensables à la photosynthèse du phytoplancton au printemps. Selon la bibliographie, le régime des apports continentaux conditionne la sélection des communautés de micro-organismes en zone côtière.

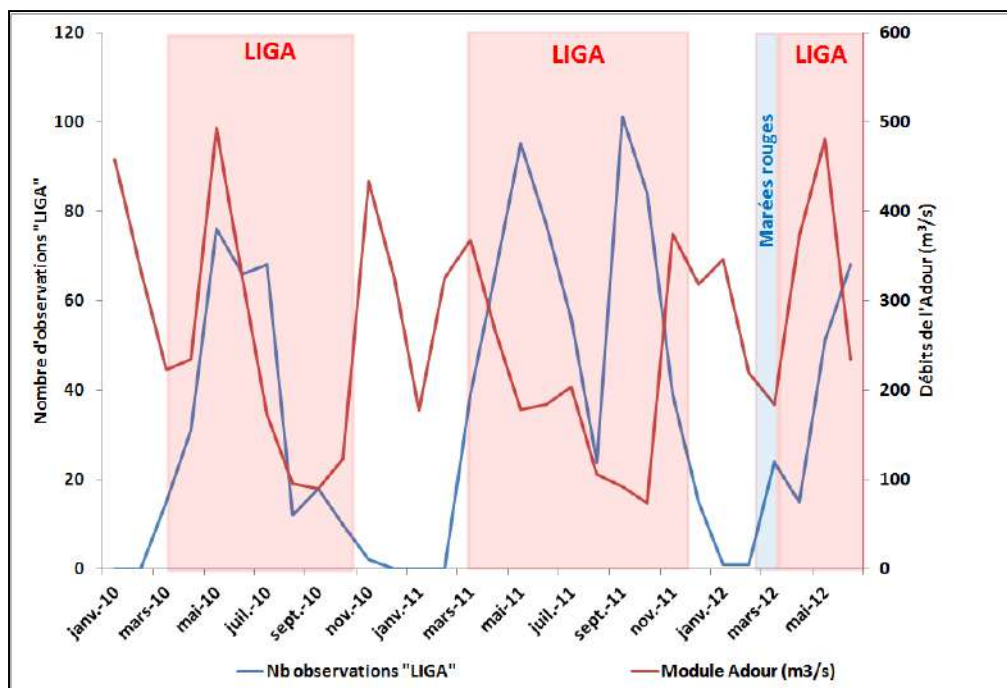


Figure 26 : Evolution mensuelle des débits de l'Adour maritime (Source : BD Hydro)

Depuis 2010, le «LIGA» est présent sur le littoral sur des périodes de faibles débits de l'Adour.

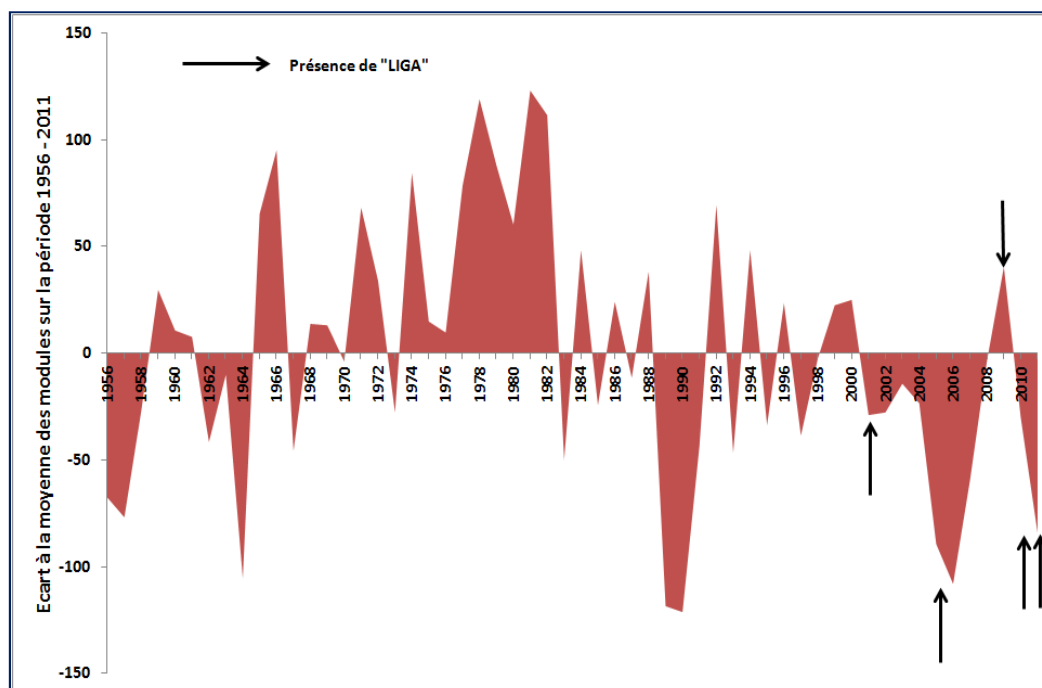


Figure 27 : Evolution annuelle des écarts à la moyenne des modules sur la période 1956 – 2011

L'année 2011 est une année faible en termes de débits au même titre que 2001, 2006 et 2010 où des épisodes de «LIGA» ont été recensés. Seule l'année 2009 présente un profil de débit supérieur à la moyenne avec des observations de «LIGA».

3.5.2. Conditions météorologiques

3.5.2.1. Précipitations

Les précipitations conditionnent les débits des cours d'eau. Elles constituent un apport direct d'eau douce dans les couches superficielles et peuvent donc influencer la stratification verticale des masses d'eau (halocline) et les courants de densité.

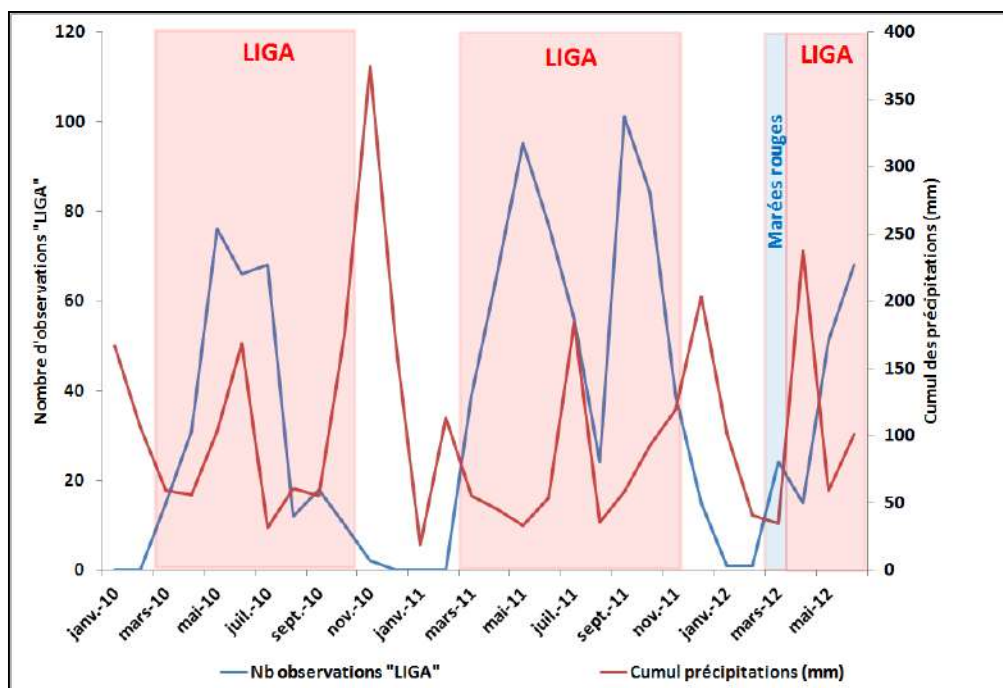


Figure 28 : Evolution mensuelle des précipitations totales (Source : Météo France)

Depuis 2010, le «LIGA» est principalement observé en période de faibles précipitations.

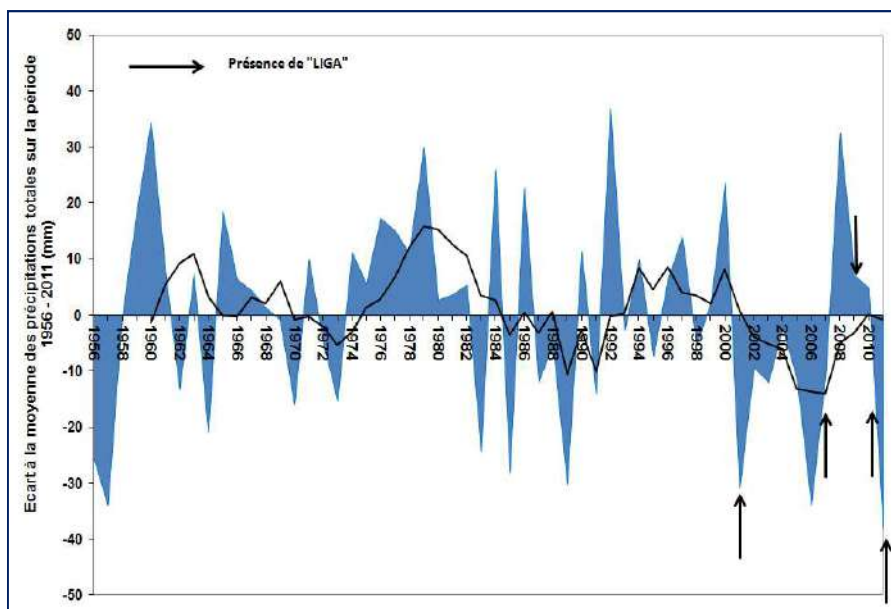


Figure 29 : Evolution annuelle des écarts à la moyenne des précipitations sur la période 1956 - 2011

L'année 2011 est une année sèche de même que les années 2001, 2006 et 2010 où le «LIGA» a été observé sur la côte basco-landaise. Seule l'année 2009, où le «LIGA» a été signalé, présente des précipitations légèrement excédentaires.

3.5.2.2. Température de l'air

La température de l'air influence directement la température des eaux de surface et contribuent indirectement à la stratification verticale des eaux (Thermocline).

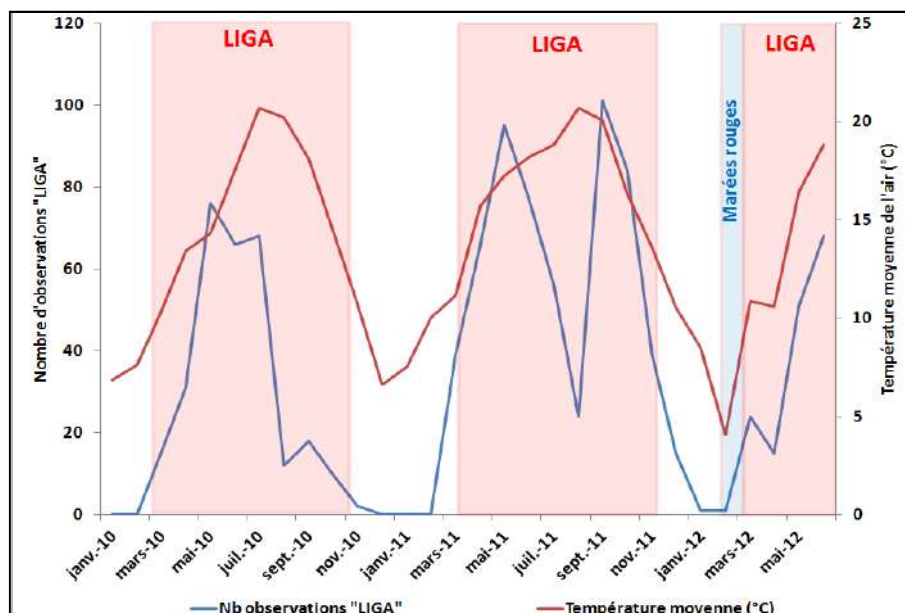


Figure 30 : Evolution mensuelle de la température moyenne de l'air (Source : Météo France)

Depuis 2010, le «LIGA» est présent sur les mois où la température moyenne de l'air est comprise entre 11,6 °C (mars) et 20,7 °C (août) et disparaît en novembre (15 °C).

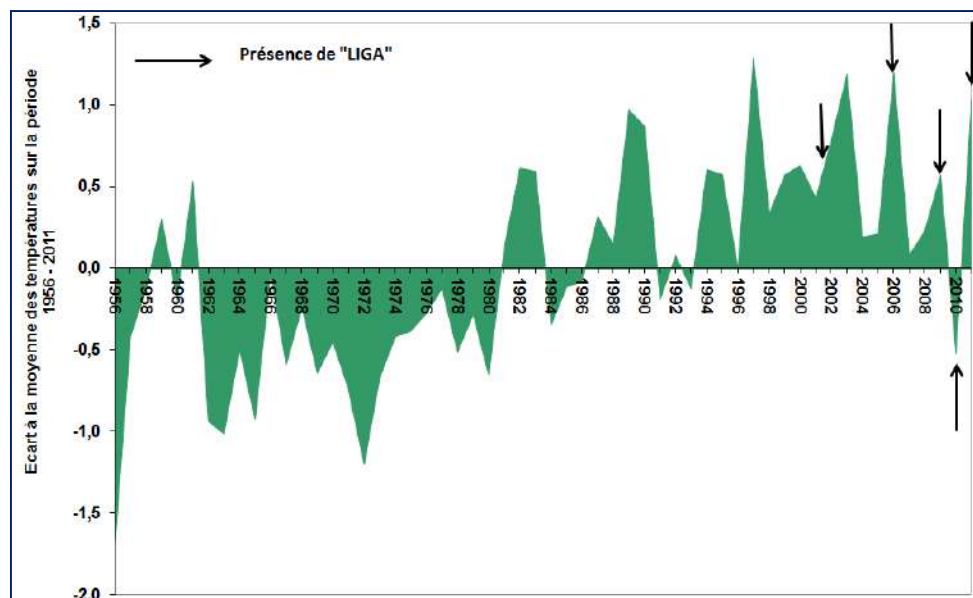


Figure 31 : Evolution des écarts à la moyenne des températures sur la période 1956 – 2011

L'année 2011 est une année chaude de même que les années 2001, 2006 et 2009 où le «LIGA» a été observé. Seule l'année 2010, où le «LIGA» a été signalé, présente des températures plus faibles que la moyenne.

3.5.2.3. Pression atmosphérique

Selon la bibliographie, des régimes anormaux de haute pression ont été constatés lors d'apparition de phénomènes similaires en mer Adriatique.

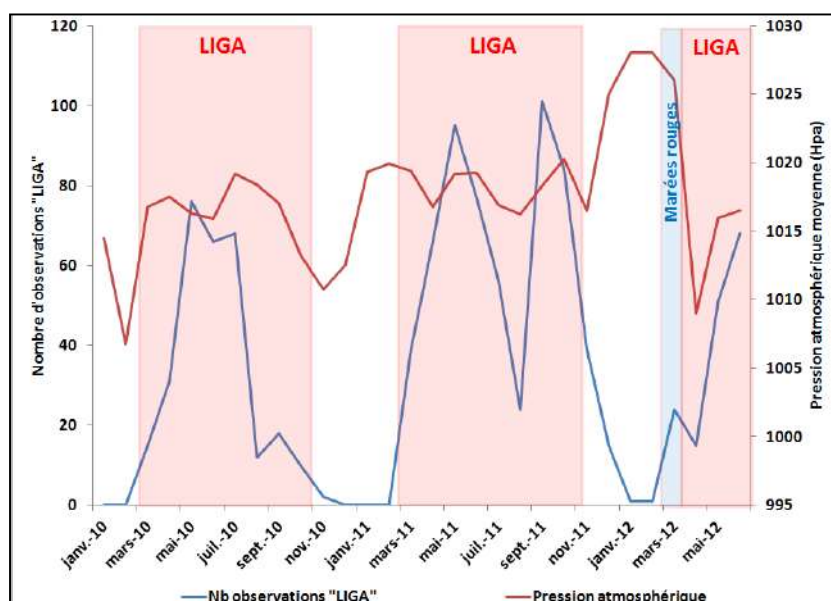


Figure 32 : Evolution mensuelle de la pression atmosphérique (Source : Weather Underground)

Depuis 2010, le «LIGA» est présent en période de hautes pressions atmosphériques. Elle présente des valeurs moyennes élevées toute l'année et notamment l'hiver. La baisse de pression du mois de juillet, due à de nombreux jours d'orage, est corrélée à la diminution du nombre d'observations de «LIGA» par les pêcheurs.

3.5.2.4. Force et direction du vent

La direction du vent influe sur les courants de surface et donc de façon indirecte sur la dispersion horizontale du «LIGA» le long de la côte.

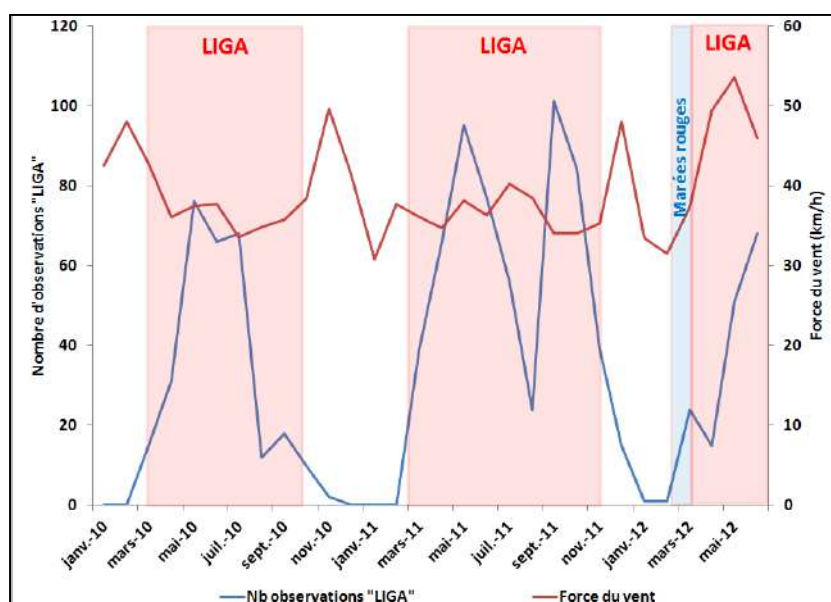


Figure 33 : Evolution mensuelle de la force des vents (Source : Météo France)

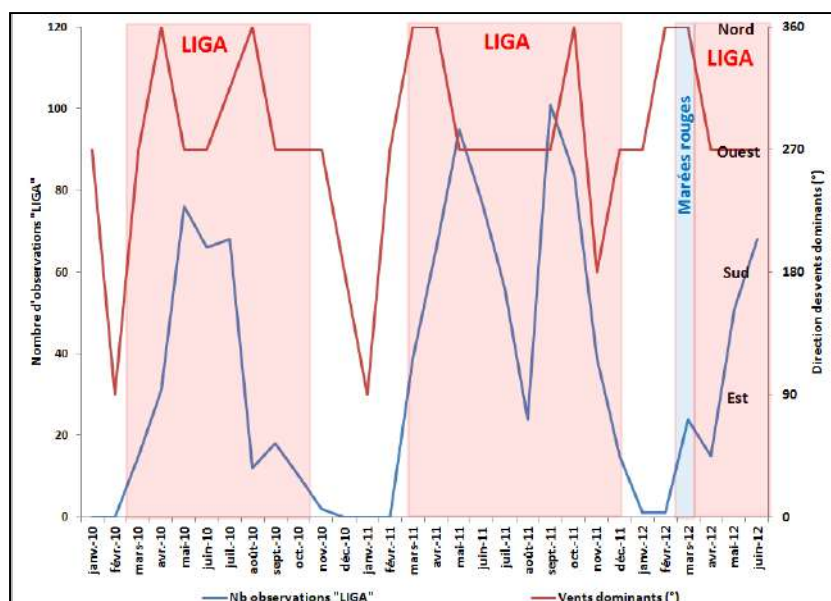


Figure 34 : Evolution mensuelle des vents dominants (Source : Météo France)

Le «LIGA» est principalement présent sur les mois avec des conditions de vents faibles. Les vents dominants correspondant sont d'Ouest, de Nord ou de Nord Ouest et peuvent contribuer au maintien du phénomène sur la zone côtière.

3.5.3. Conditions océanographiques

3.5.3.1. Houle

La houle joue un rôle indirect sur la formation des agrégats marins. En effet, selon la bibliographie, la turbulence engendrée par la houle est à l'origine du cisaillement des agrégats qui se font plus ou moins ressentir dans la colonne d'eau. Plus la mer est clame, plus les forces de cisaillement sont faibles et plus les agrégats sont gros. D'autre part, la houle influence la stratification des eaux en réduisant ou détruisant la thermocline ou l'halocline.

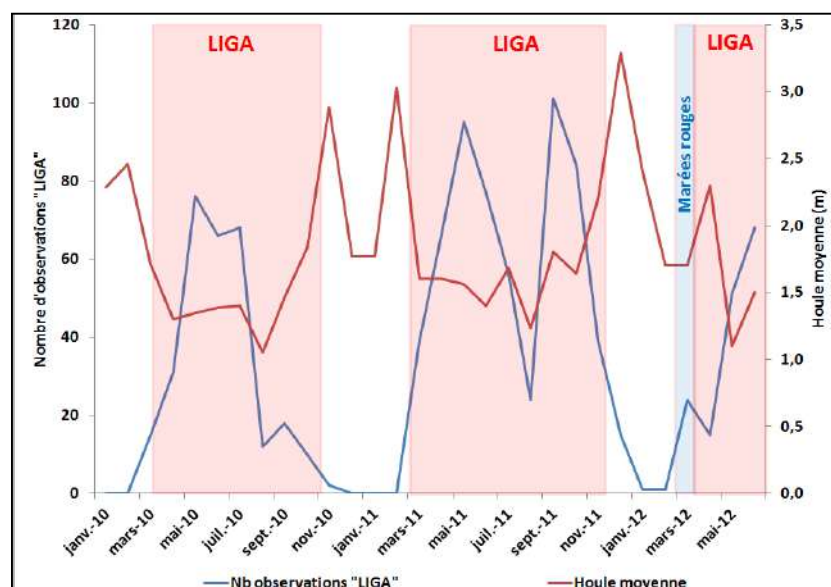


Figure 35 : Evolution mensuelle de la houle moyenne (Source : Windguru)

Depuis 2010, le «LIGA» est présent en période de mer peu à pas agitée. Il semble que l'agitation de la mer soit un des facteurs provoquant sa disparition en période hivernale.

3.5.3.2. Température de l'eau

La température de l'eau est un paramètre structurant de la colonne d'eau qui peut conduire à la formation d'une thermocline, véritable barrière physique, limitant fortement les échanges entre les eaux de surface et du fond.

Dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau, l'IFREMER suit une fois par mois depuis mars 2007 la qualité des eaux marines. Une des stations suivies se trouve en milieu marin derrière la digue de l'Artha à Saint Jean de Luz dans la zone d'étude «LIGA».

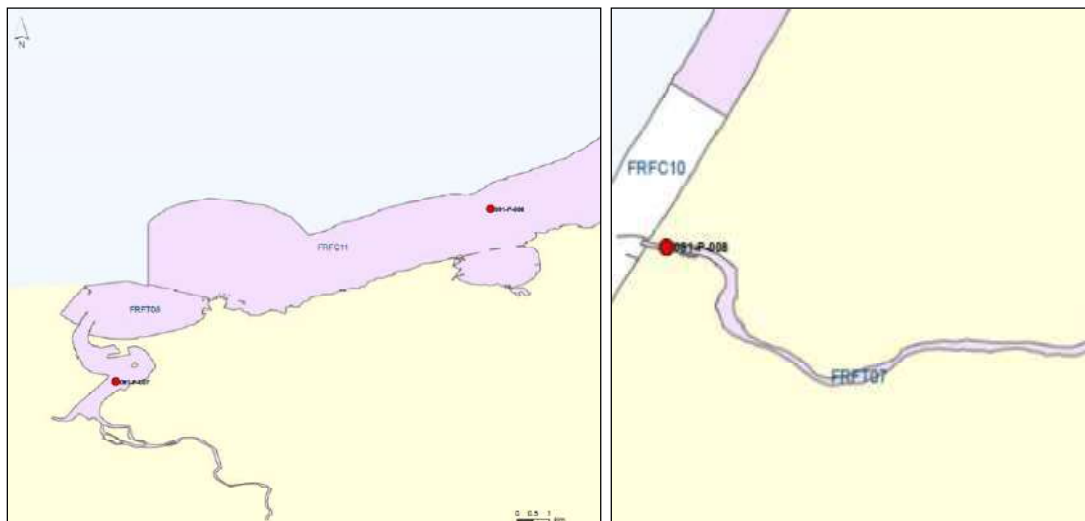


Figure 36 : Localisation des points de suivi REHY et DCE sur le littoral basque
(Source : IFREMER/Quadrigé²/REPHY)

Afin de mieux cerner les conditions environnementales qui sont associées à l'apparition/disparition du «LIGA», nous avons récupéré ces données auprès de l'Ifremer. Nous ne disposons pas des données 2012 qui ne sont pas encore validées.

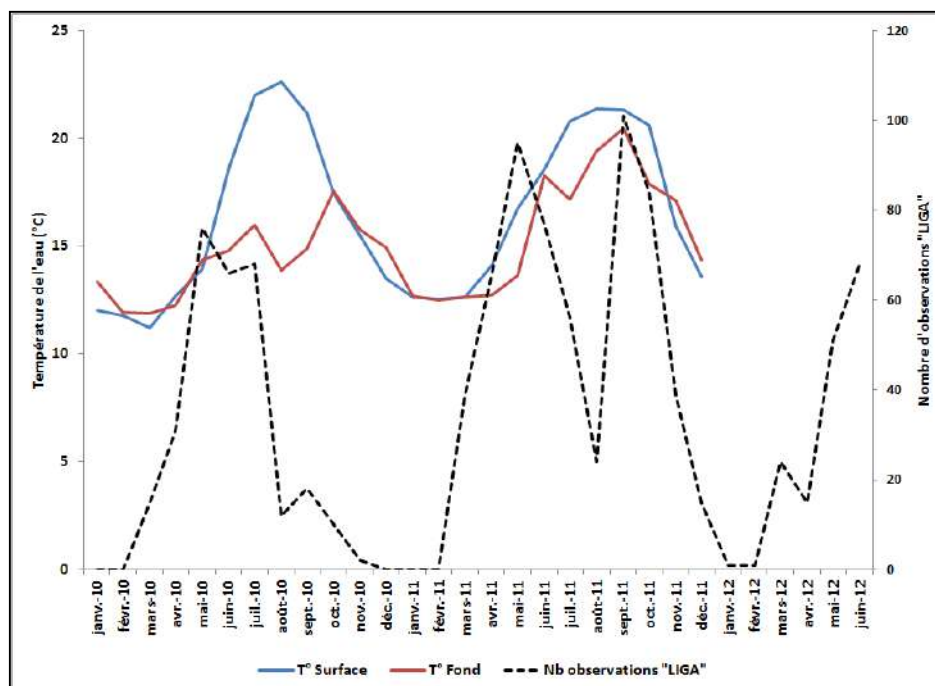


Figure 37 : Evolution mensuelle des températures à Saint Jean de Luz
(Source : IFREMER/Quadrigé²/REPHY)

En 2011, la thermocline a été moins bien marquée qu'en 2010. Ceci peut en partie s'expliquer par l'agitation de la mer (juin – juillet) et le mauvais temps rencontré en juillet. Quand le «LIGA» apparaît, l'eau de mer est à environ 12°C et la thermocline n'est pas encore formée. Bien qu'elle n'intervienne pas dans la formation du «LIGA», il semble qu'elle contribue à son maintien dans les eaux superficielles. En effet, sa cassure en juin –juillet a provoqué un transfert du «LIGA» vers le fond.

3.5.3.3. Salinité

La salinité est un paramètre structurant de la colonne d'eau dont le gradient vertical peut conduire à la formation d'une halocline, véritable barrière physique, limitant les échanges entre les eaux de surface et du fond. Selon la bibliographie, la salinité peut être aussi ressentie comme un facteur de stress par le phytoplancton conduisant à la production de mucus par ce dernier.

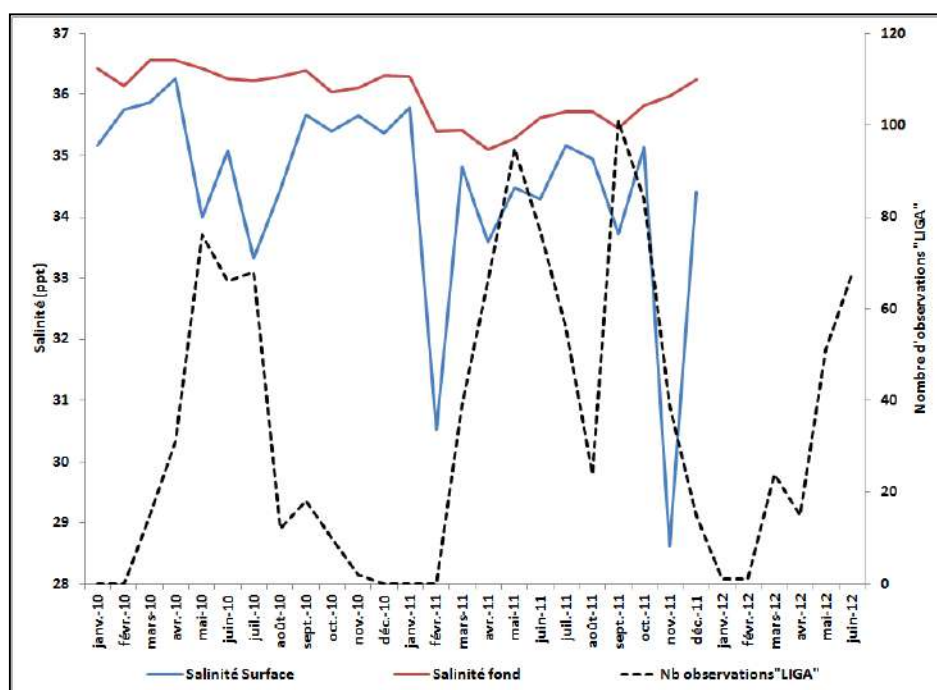


Figure 38 : Evolution mensuelle de l'halocline (Source : IFREMER/Quadrige²/REPHY)

La majorité des observations de «LIGA» ont été réalisées en période de présence d'halocline marquée en surface (mai et septembre).

3.5.4. Conditions environnementales

3.5.4.1. Chlorophylle a et phéopigments

La chlorophylle a renseigne sur l'activité photosynthétique et donc sur la production primaire. Les phéopigments renseignent sur l'état d'altération de la chlorophylle a.

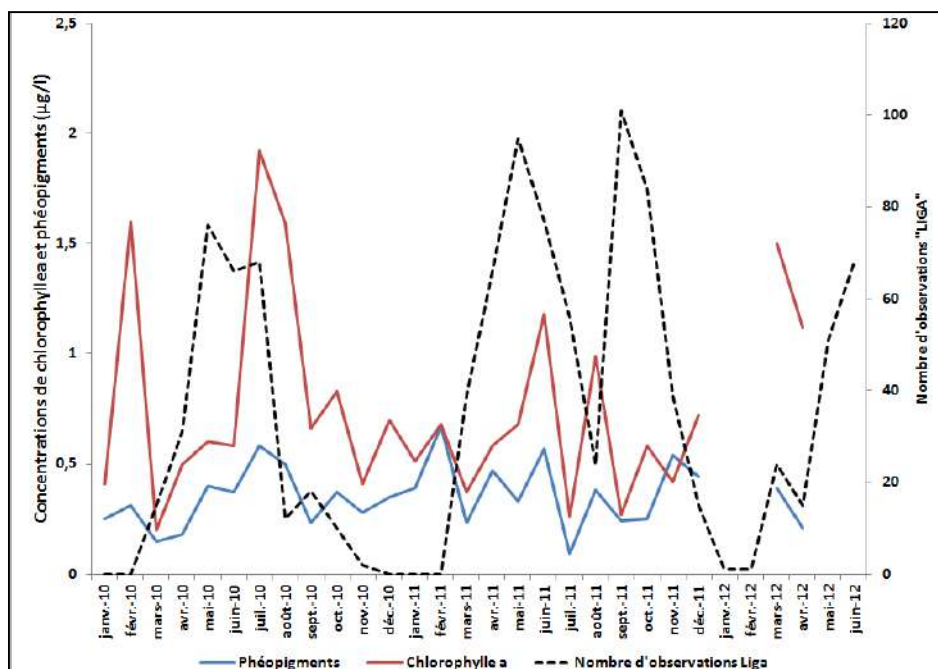


Figure 39 : Evolution mensuelle de la concentration en chlorophylle a et en phéopigments
(Source : IFREMER/Quadrigé²/REPHY)

Les concentrations de chlorophylle a n'indiquent pas la présence de blooms phytoplanctoniques. Toutefois, on détecte un signal saisonnier à la fin du printemps et au début de l'été.

Le mois de mars 2012 est caractérisé par un bloom à 1,4 µg/l.

Enfin, le rapport Chlorophylle a / Phéopigments est toujours supérieur à 1 (exception faite de novembre 2011) ce qui indique une sénescence normale du phytoplancton.

Depuis 2010, les pics de chlorophylle a surviennent après les pics de «LIGA». Riche en éléments nutritifs, il pourrait servir de matrice nutritive à la production primaire.

3.5.4.2. Oxygène dissout

Les agrégats tels que le «LIGA» renferment une grande quantité d'organismes vivants et sont le siège d'une forte activité métabolique pouvant, dans des cas extrêmes, conduire à des situations d'hypoxie voire d'anoxie.

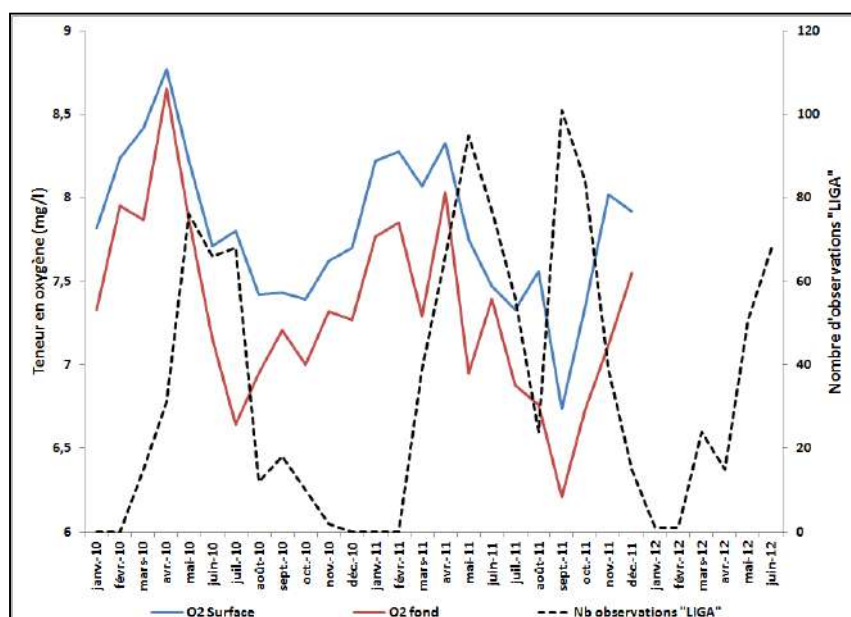


Figure 40 : Evolution mensuelle de la concentration en Oxygène dissout en Saint Jean de depuis 2010
(Source : IFREMER/Quadrigé²/REPHY)

Une baisse d'oxygène des eaux est observée sur la période d'apparition du «LIGA» d'avril à octobre. Elle ne peut être attribuée à la simple présence de «LIGA» sur cette période mais aussi au réchauffement des eaux qui entraîne une baisse de la teneur en oxygène.

3.5.4.3. Turbidité

La turbidité est un facteur limitant à la pénétration de la lumière dans l'eau et donc indirectement de la production primaire.

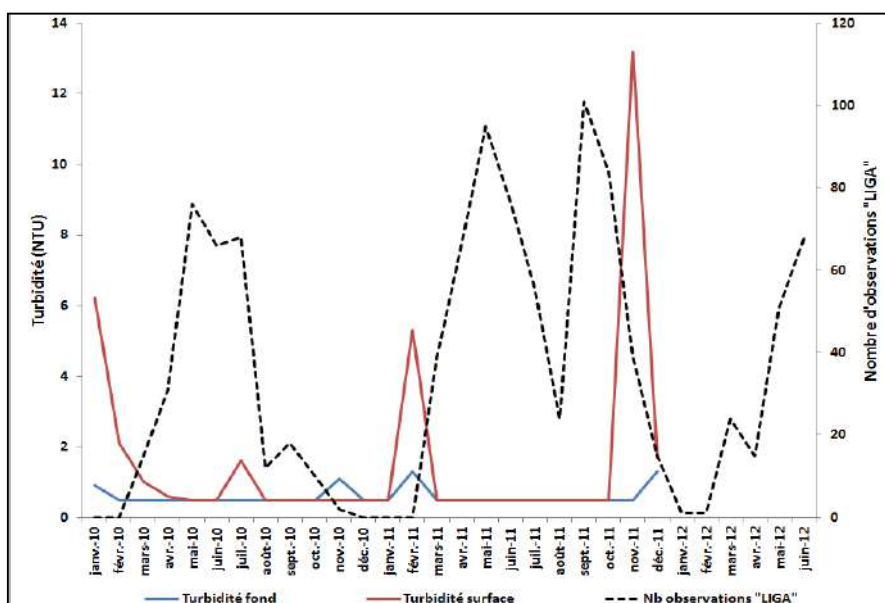


Figure 41 : Evolution mensuelle de la turbidité à Saint Jean de Luz depuis 2010
(Source : IFREMER/Quadrigé²/REPHY)

Les épisodes de «LIGA» correspondent à une période de faible turbidité des eaux et donc de forte pénétration de la lumière dans l'eau. Ceci confirme les résultats obtenus en 2010 qui témoignaient d'une forte transparence des eaux en période de «LIGA».

3.5.4.4. Nutriments

Les sels nutritifs contribuent à la production primaire. Selon la bibliographie, une limitation ou un déséquilibre en nutriments peut-être à l'origine de production de mucus par le phytoplancton. Nous ne disposons que des résultats de l'année 2011. Pour l'année 2010, seule la période janvier-avril est couverte. Les résultats 2012 ne sont pas encore publiés.

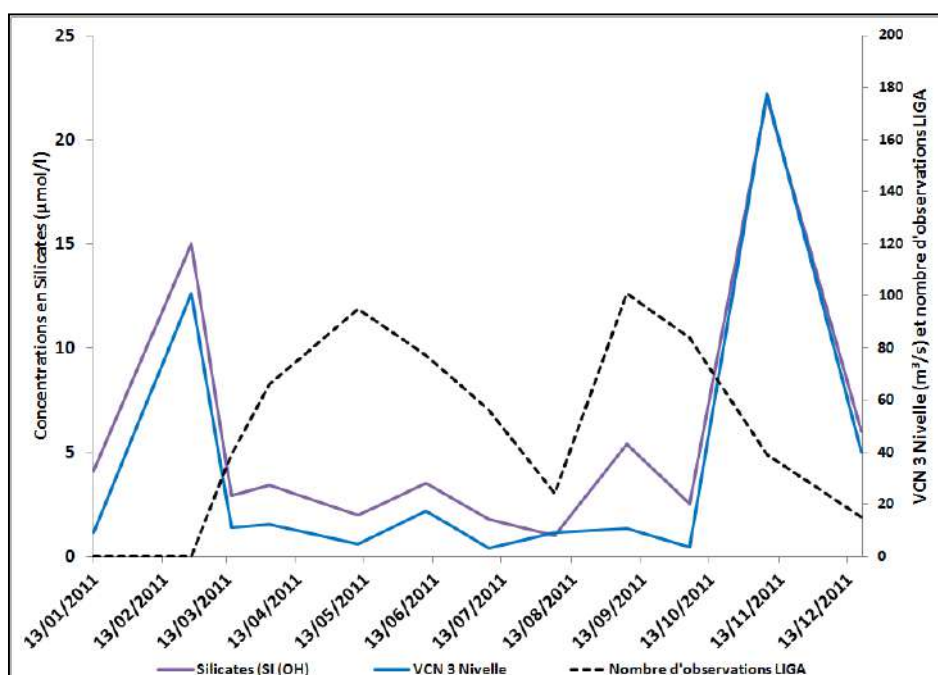


Figure 42 : Evolution mensuelle des concentrations en silicates à Saint Jean de Luz en 2011
(Source : IFREMER/Quadriga²/REPHY)

Le point d'échantillonnage étant juste en dehors de la baie de Saint Jean de Luz, nous avons pris en compte la Nivelle comme potentielle source de nutriments. Le VCN 3 de la Nivelle est la somme des débits sur les 3 jours précédant l'échantillonnage.

Les concentrations de silicates en zone côtière sont normales et ne traduisent pas une situation d'eutrophisation. Les silicates sont accumulés en zone côtière lors des crues hivernales puis utilisés au début du printemps par la production phytoplanctonique. De mars à août, les valeurs sont très faibles et peuvent conduire à des conditions limitantes en silicates.

En septembre 2011, nous observons une augmentation de la concentration de ces nutriments qui n'est pas corrélée au débit de la Nivelle.

Le «LIGA» est présent en période de faibles concentrations en silicates.

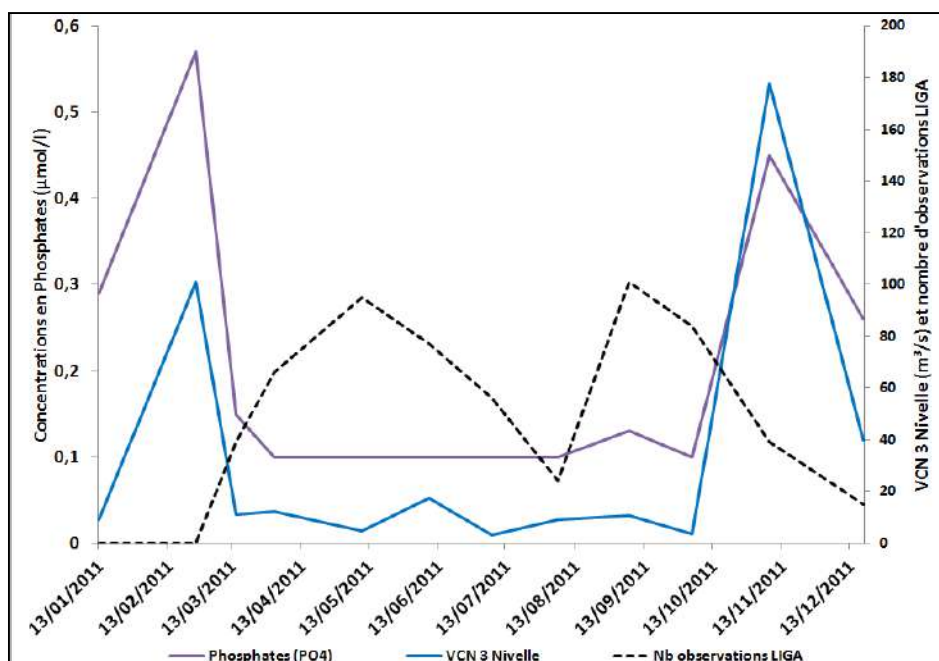


Figure 43 : Evolution mensuelle des concentrations en phosphates à Saint Jean de Luz en 2011
(Source : IFREMER/Quadrige²/REPHY)

Les concentrations de phosphates en zone côtière sont normales et ne traduisent pas une situation d'eutrophisation. Les phosphates sont accumulés en zone côtière lors des crues hivernales puis utilisés au début du printemps par la production phytoplanctonique. De mars à octobre, les valeurs sont très faibles et peuvent conduire à des conditions limitantes en phosphates. Le «LIGA» est présent en période de faibles concentrations en phosphates.

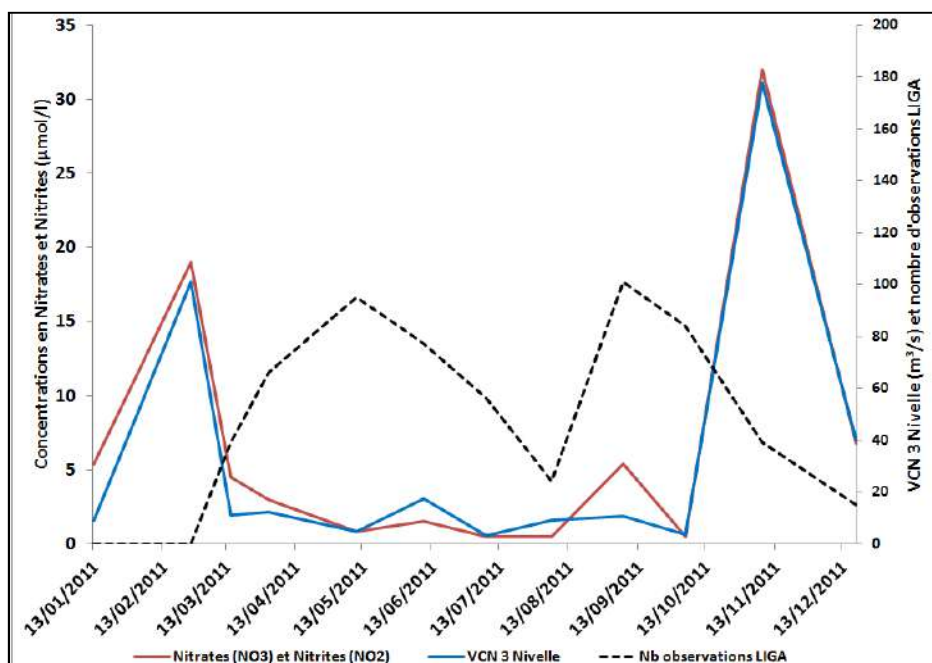


Figure 44 : Evolution mensuelle des concentrations en nitrates et nitrites à Saint Jean de Luz en 2011
(Source : IFREMER/Quadrige²/REPHY)

Les concentrations de nitrates et nitrites en zone côtière sont normales et ne traduisent pas une situation d'eutrophisation. Les nitrates et nitrites sont accumulés en zone côtière lors des crues hivernales puis utilisés au début du printemps par la production phytoplanctonique. De mars à août,

les valeurs sont très faibles et peuvent conduire à des conditions limitantes en azote. En septembre 2011, nous observons une augmentation de la concentration de ces nutriments qui n'est pas corrélée au débit de la Nivelles. Le «LIGA» est présent en période de faibles concentrations en nitrates et nitrites.

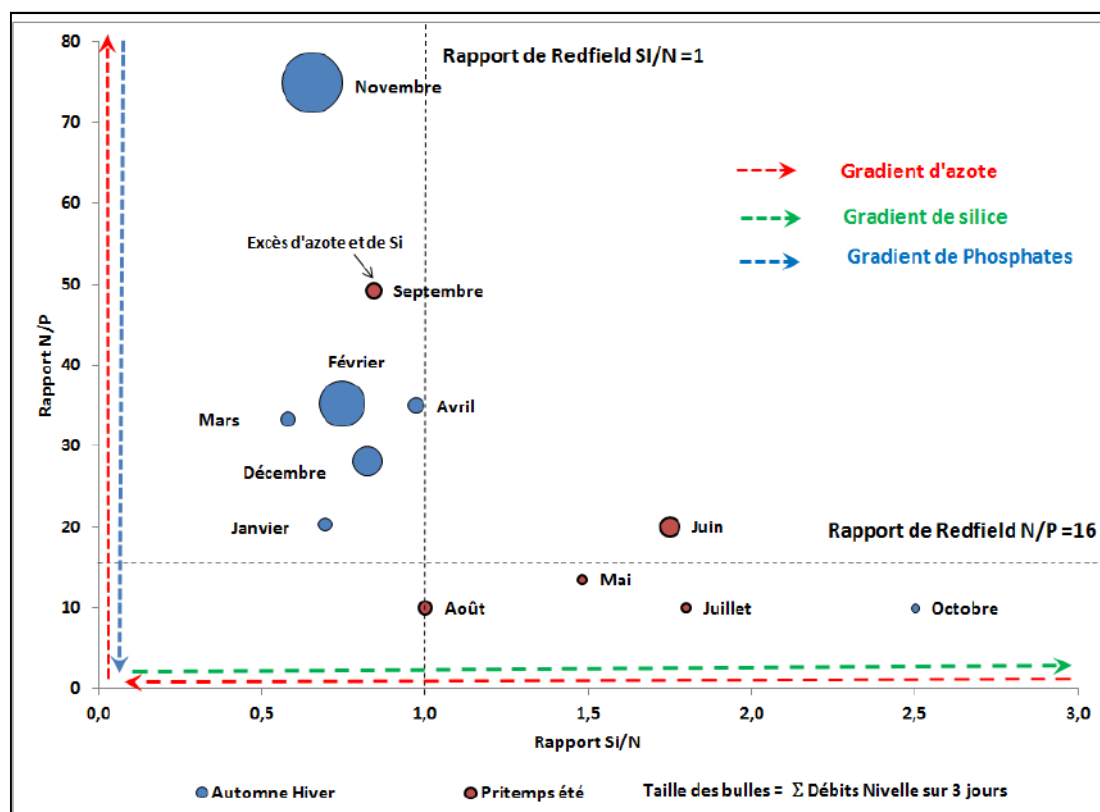


Figure 45 : Evolution mensuelle des rapports N/P et Si/N en 2011
(Source : IFREMER/Quadrige²/REPHY)

Les rapports de Redfield sont des rapports théoriques moyens qui indiquent qu'à l'équilibre, le phytoplancton en bonne santé consomme 16 fois plus d'azote (N) que de phosphore (P) (Rapport N/P = 16) et autant d'azote que de silicates (Si) (Rapport Si/N = 1). Les déséquilibres en nutriments peuvent être ressentis comme du stress par certaines espèces de phytoplancton qui produiront alors des exopolysaccharides (mucus).

Nous distinguons deux grandes périodes dans l'année.

La période hivernale est caractérisée par :

- un rapport N/P élevé qui traduit soit un excès d'azote, soit un déficit en phosphates,
- un rapport Si/N faible qui traduit soit un excès d'azote soit un déficit en silicates,
- les plus forts débits de la Nivelles.

La période estivale est caractérisée par :

- un rapport N/P faible qui traduit soit un déficit d'azote (utilisation par la production primaire), soit un excès de phosphates,
- un rapport Si/N élevé qui traduit soit un déficit d'azote soit un excès en silicates,
- les plus faibles débits de la Nivelles.

3.5.4.5. Flore partielle indicatrice

Dans le cadre de la DCE, l'Ifremer suit une fois par mois la flore partielle indicatrice. Nous ne disposons que des résultats de l'année 2011.

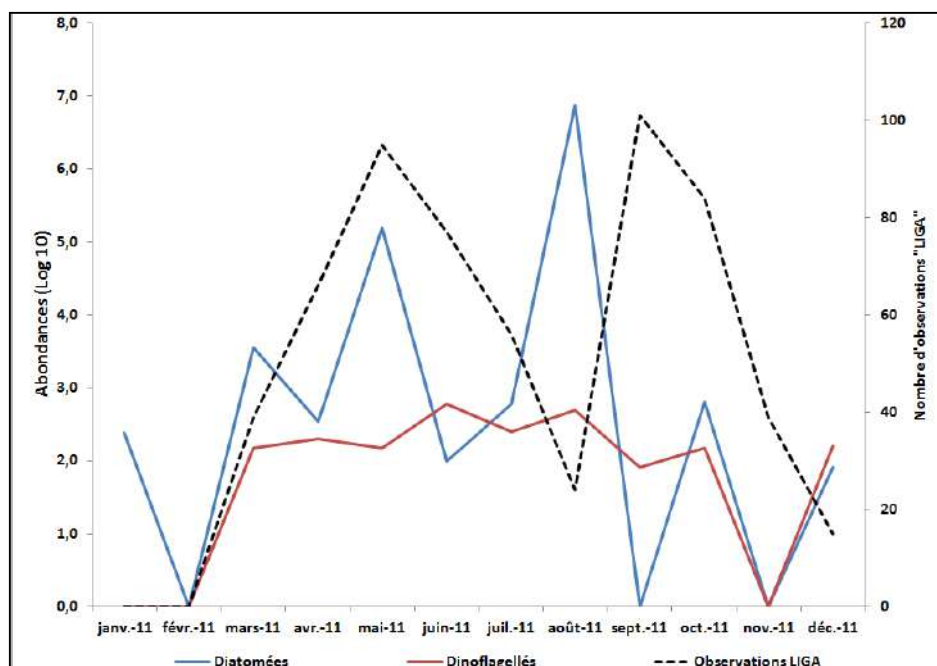


Figure 46 : Evolution de l'abondance de taxons indicateurs à Saint Jean de Luz en 2011
(Source : IFREMER/Quadrige²/REPHY)

L'abondance des dinoflagellés augmente en mars puis reste constant jusqu'en octobre. L'abondance des diatomées fluctue. On observe pics en mars, avril et août. Le pic d'observations de «LIGA» semble être simultané au pic de diatomées alors que le pic automnal est précédé d'un pic de diatomées au mois d'août.

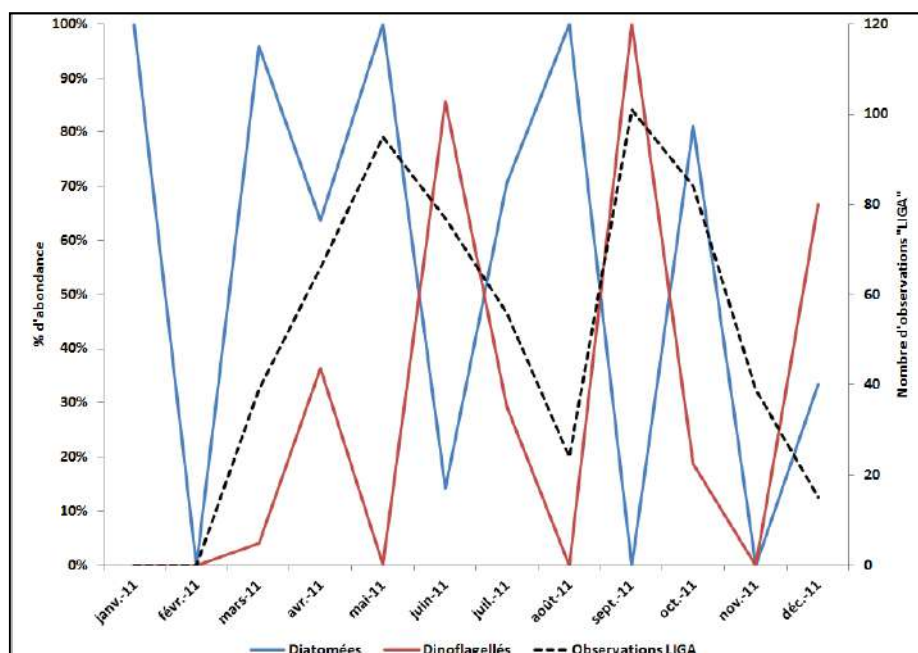


Figure 47 : Evolution des proportions d'abondance de diatomées et de dinoflagellés en 2011
(Source : IFREMER/Quadrige²/REPHY)

Les proportions fluctuent au cours de l'année. Les diatomées dominent la flore phytoplanctonique de mars à mai, de juillet à août et en octobre. Les dinoflagellés dominent la flore quand les diatomées chutent au mois de juin et septembre. Les diatomées semblent dominer la flore phytoplanctonique avant et pendant les épisodes de «LIGA» printaniers et avant l'épisode automnal alors que les dinoflagellés la dominent après l'épisode printanier et pendant l'épisode automnal.

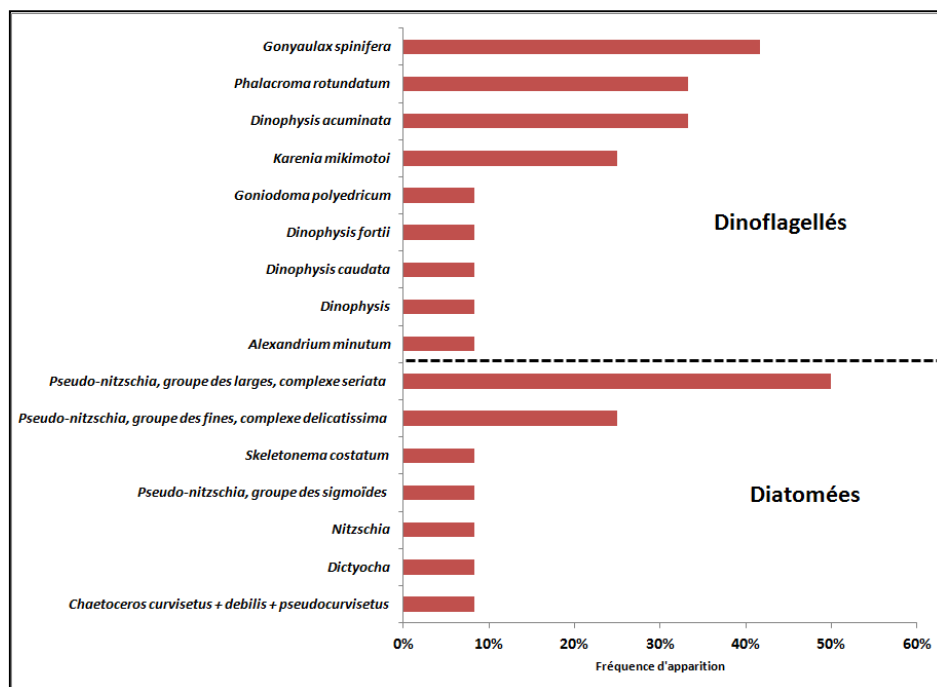


Figure 48 : Fréquence d'apparition des différents taxons phytoplanctoniques
(Source : IFREMER/Quadrige²/REPHY)

Les *Pseudo-Nitzschia* (groupe des larges de mars à juin et en août ; groupe des fines en mai, juillet et décembre) sont les diatomées les plus fréquemment rencontrées à Saint Jean de Luz. *Gonyaulax spinifera* (mars à mai, juillet et décembre), *Phalacroma rotundatum* (juin et août à octobre) et *Dinophysis acuminata* (mars à mai et décembre) sont les dinoflagellés les plus fréquemment retrouvés dans les échantillonnages.

4. Caractérisation des observations mensuelles de «LIGA»

4.1. Janvier 2011

4.1.1. Observations de «LIGA»

En janvier 2011, aucune observation de «LIGA» n'a été renseignée par les pêcheurs.

4.1.2. Conditions hydrologiques de l'Adour

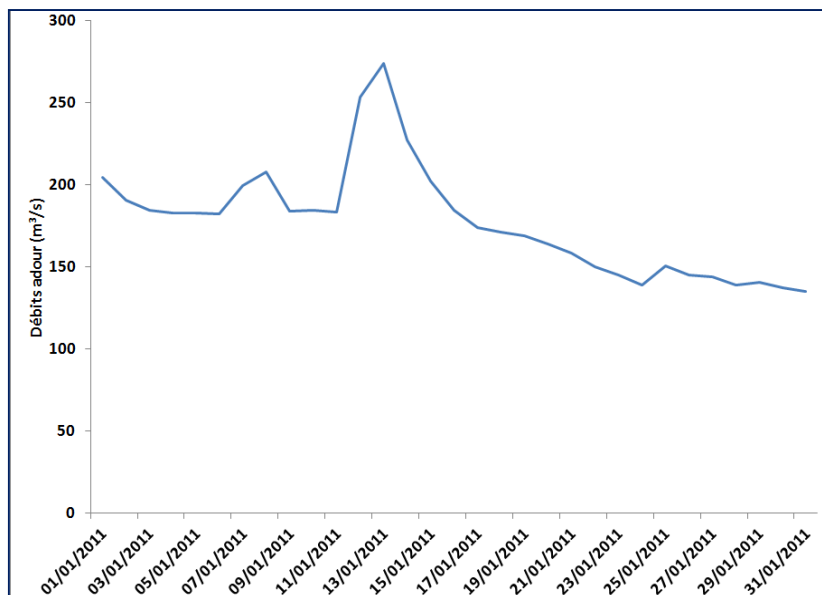


Figure 49 : Evolution des débits journaliers de l'Adour maritime en janvier 2011 (Source : BD hydro)

Les débits de l'Adour maritime sont particulièrement faibles. Le module mensuel est de 177 m³/s +/- 33,5 m³/s (moyenne 1956 – 2010 = 399 m³/s +/- 188 m³/s).

4.1.3. Conditions météorologiques

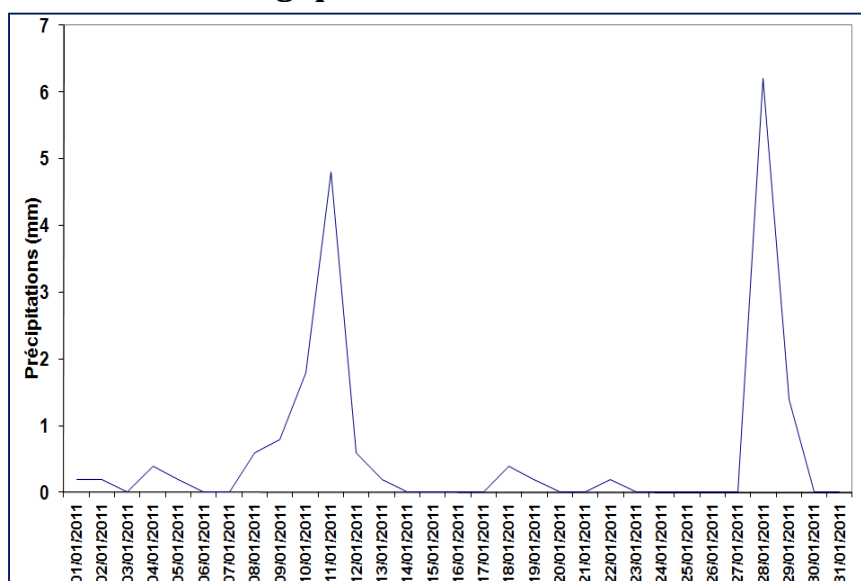


Figure 50 : Evolution des précipitations journalières en janvier 2011 (Source : Météo France)

Les précipitations du mois de janvier sont particulièrement faibles. Le cumul mensuel est de 18 mm (moyenne 1956 – 2010 = 129 mm +/- 74 mm).

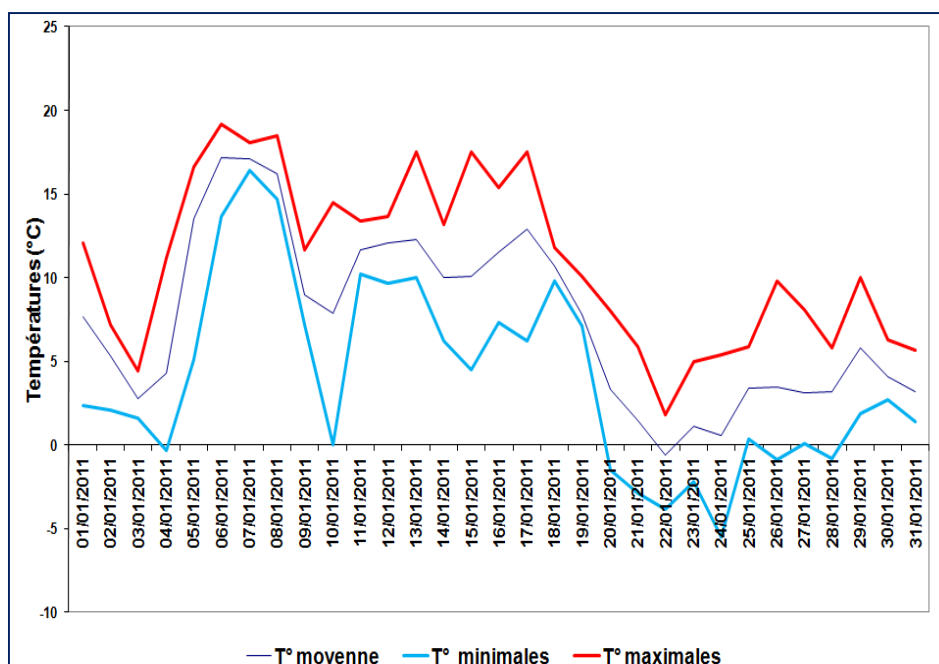


Figure 51 : Evolution des températures journalières en janvier 2011 (Source : Météo France)

Le début du mois de janvier présente des températures anormalement élevées suivies d'une période de froid à partir du 20. La température moyenne du mois de janvier 2011 est de $7,5^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ (moyenne 1956 – 2010 = $8,22^{\circ}\text{C} \pm 3,9^{\circ}\text{C}$)

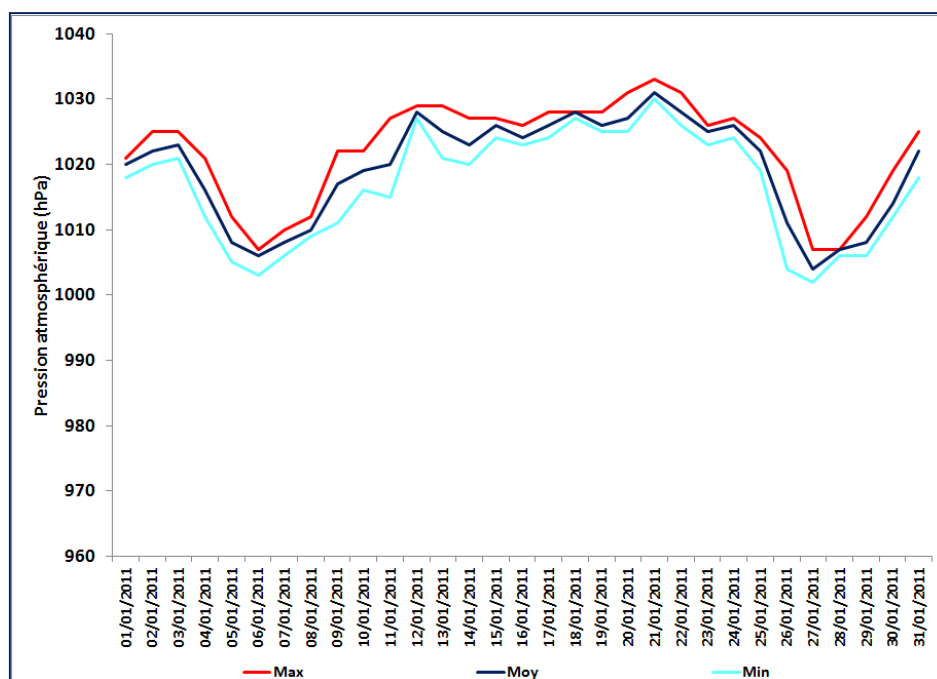


Figure 52 : Evolution journalière de la pression atmosphérique (Source : Weather underground)

Le mois de janvier 2011 est marqué par un régime pressions anormalement élevées pour la saison. La pression moyenne est de $1\,019\text{ hPa} \pm 8\text{ hPa}$.

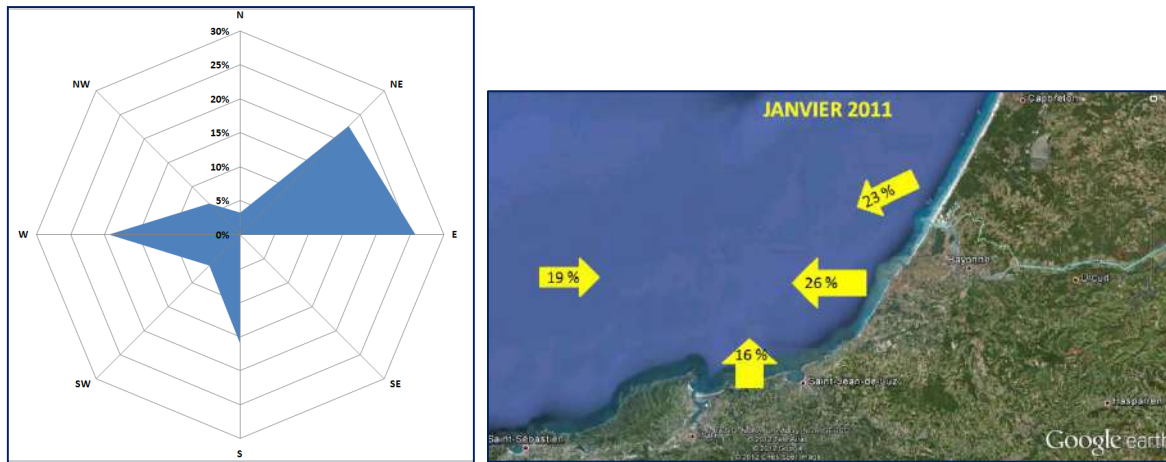


Figure 53 : Rose des vents du mois de janvier 2011 (Source : Météo France)

Les vents dominants en janvier 2011 sont respectivement de secteur Est, Nord-Est, Ouest et Sud.

4.1.4. Conditions océanographiques

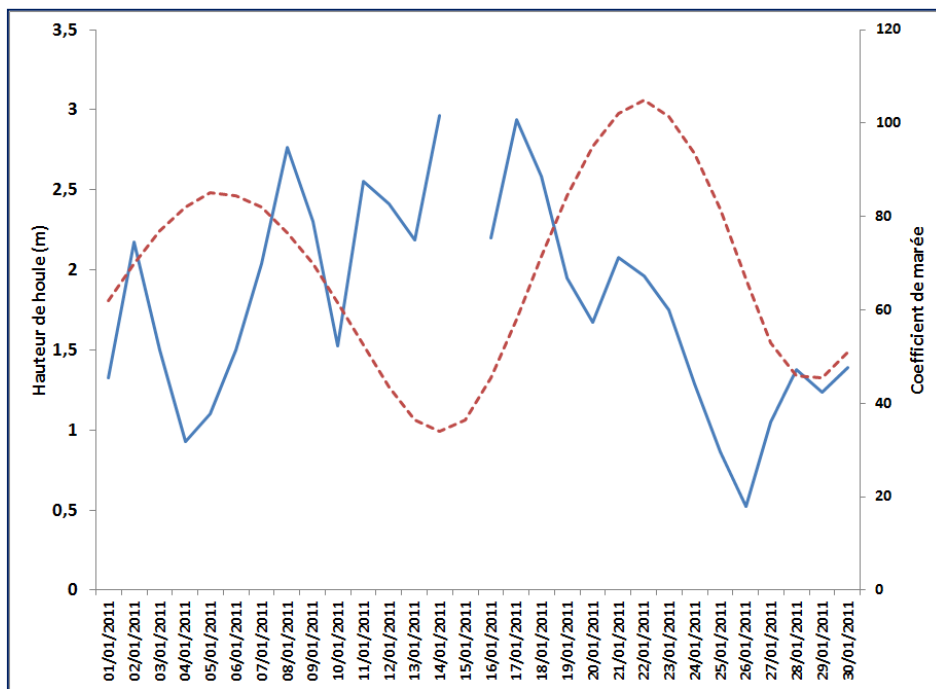


Figure 54 : Evolution de la houle journalière en janvier 2011 (Source : Windguru)

La mer est relativement agitée au mois de janvier 2011. La houle moyenne est de 1,77 m +/- 0,2 m.

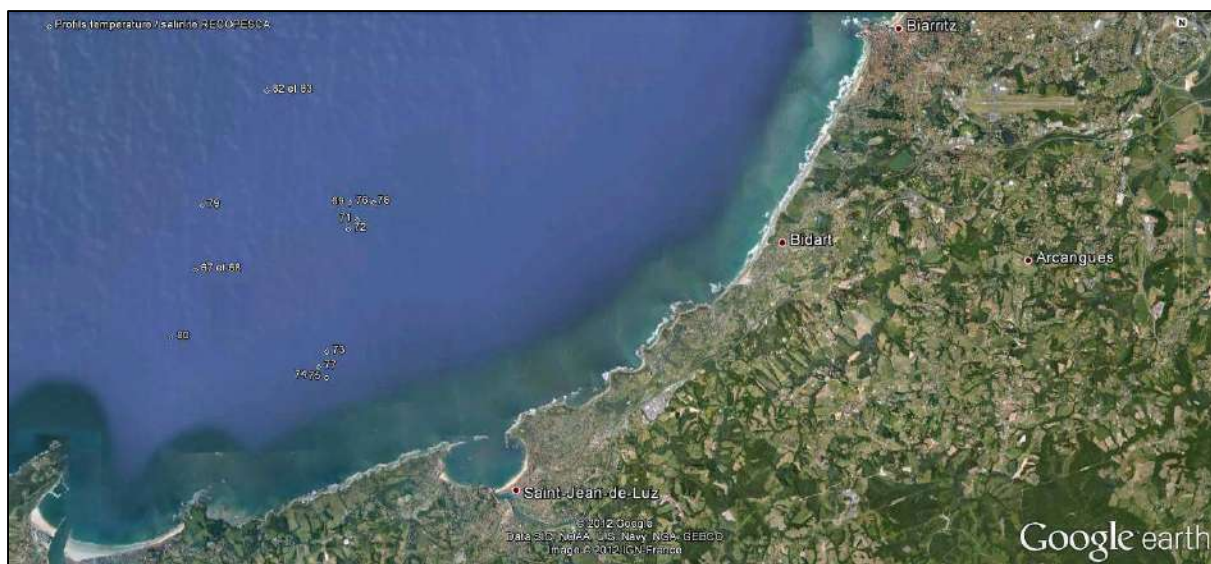


Figure 55 : Localisation des profils température salinité en janvier 2011 (Source : Google Earth / IMA)

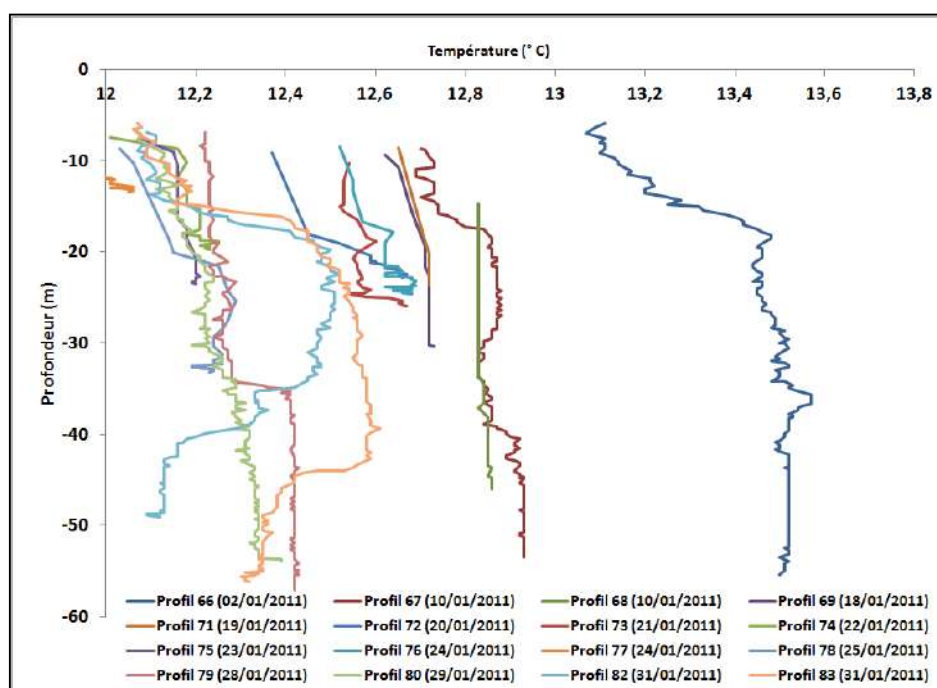


Figure 56 : Profils verticaux de température en janvier 2011 (Source : RECOPECA, Ifremer)

En janvier 2011, la température de l'eau varie entre 12 et 13°C. Les eaux de surface sont plus fraîches que les eaux du fond. Les eaux du large sont légèrement plus chaudes que les eaux côtières. Le mois de janvier est marqué par l'absence de thermocline en zone côtière et au large.

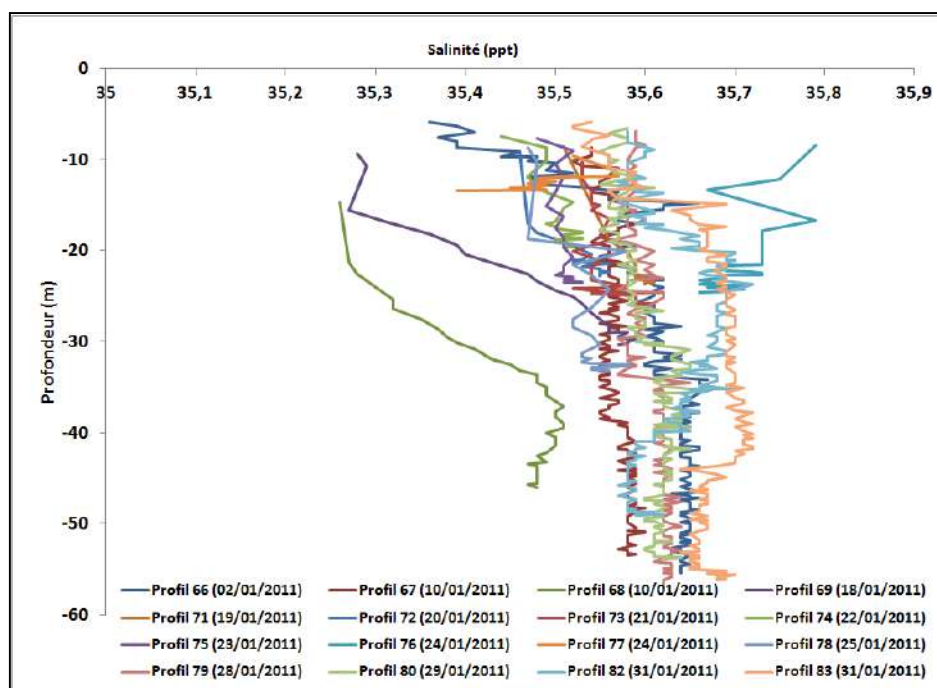


Figure 57 : Profils verticaux de salinité en janvier 2011 (Source : RECOPESCA, Ifremer)

La salinité des eaux au mois entre 35,2 et 35,8 ‰. Les eaux du fond sont plus denses que les eaux de surface. La colonne d'eau est homogène et l'halocline est absente.

4.1.5. Synthèse du mois de janvier

Le mois de janvier est caractérisé par :

- l'absence de «LIGA»,
- de faibles débits de l'Adour,
- de faibles précipitations,
- un régime de hautes pressions,
- des vents dominants d'Est et de Nord-Est ,
- une température de l'air anormalement élevée jusqu'au 20 puis une vague de froid,
- une mer relativement agitée du 05 au 20,
- l'absence de thermocline et d'halocline nette si ce n'est une légère dessalure des eaux de surface en début de mois. D'une manière générale, les eaux côtières sont plus froides et moins salées que les eaux du « large ».

4.2. Février 2011

4.2.1. Observations de «LIGA»

En février 2011, aucune observation de «LIGA» n'a été renseignée par les pêcheurs.

4.2.2. Conditions hydrologiques de l'Adour

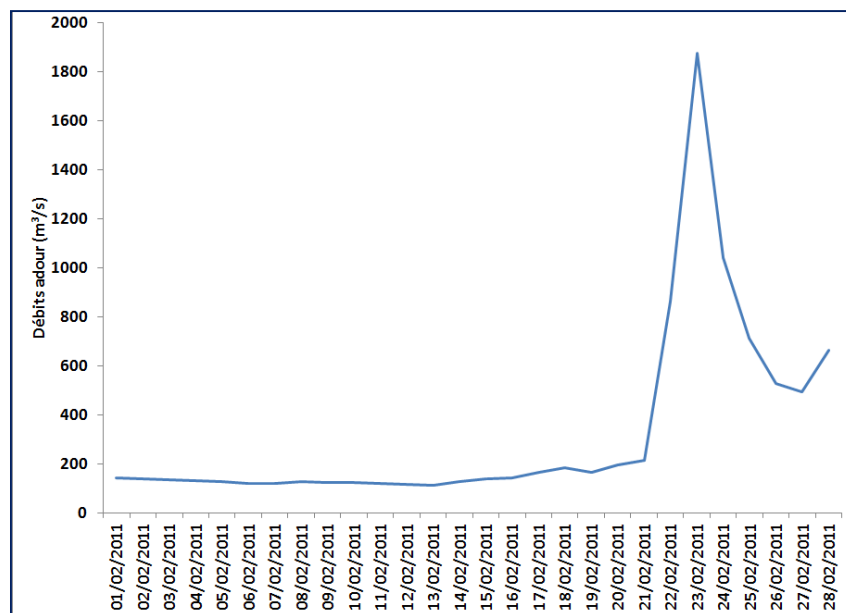


Figure 58 : Evolution des débits journaliers de l'Adour maritime en février 2011 (Source : BD hydro)

Les débits de l'Adour maritime sont classiques pour un mois de février. Le module mensuel est de $326 \text{ m}^3/\text{s} \pm 397 \text{ m}^3/\text{s}$ (moyenne 1956 – 2010 = $403 \text{ m}^3/\text{s} \pm 199 \text{ m}^3/\text{s}$). Un pic de débit est observé les 23 et 24 février avec des valeurs respectives de 1 872 et 1 041 m^3/s .

4.2.3. Conditions météorologiques

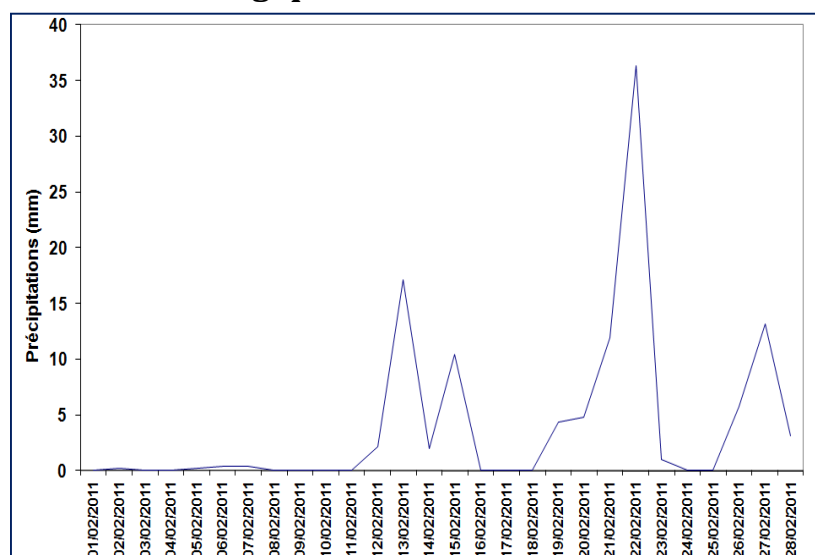


Figure 59 : Evolution des précipitations journalières en février 2011 (Source : Météo France)

Les précipitations du mois de février sont moyennes. Le cumul mensuel est de 113,4 mm (moyenne 1956 – 2010 = 108,6 mm \pm 53 mm). Le mois de février est divisé en deux périodes : une période sèche jusqu'au 11 suivie d'une période pluvieuse du 12 au 28 avec un pic le 22 (36 mm).

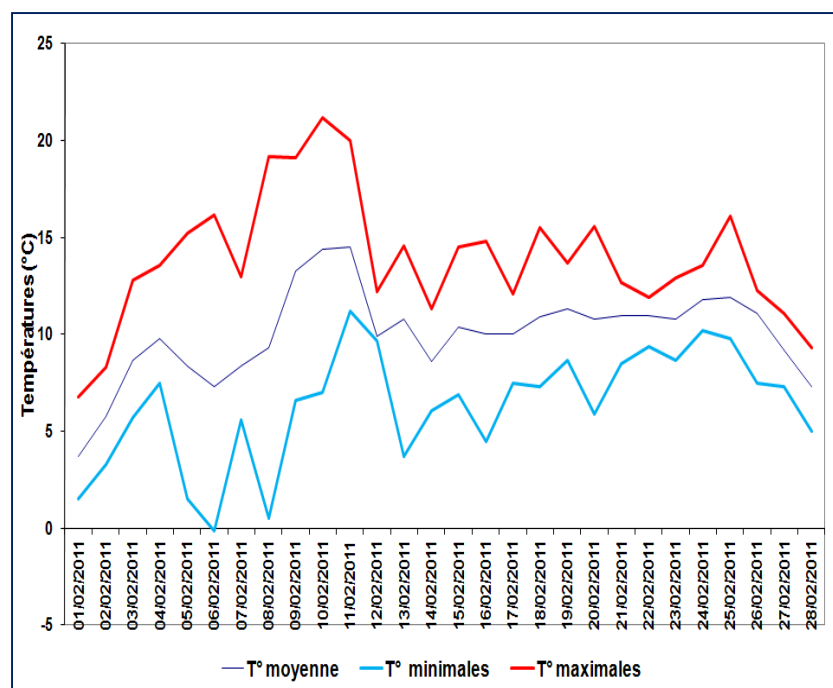


Figure 60 : Evolution des températures journalières en février 2011 (Source : Météo France)

Le début du mois de février présente des températures anormalement élevées suivies d'une période de températures de saison. La température moyenne du mois de février 2011 est de 10 °C +/- 2,3°C (moyenne 1956 – 2010 = 8,9 °C +/- 4 °C)

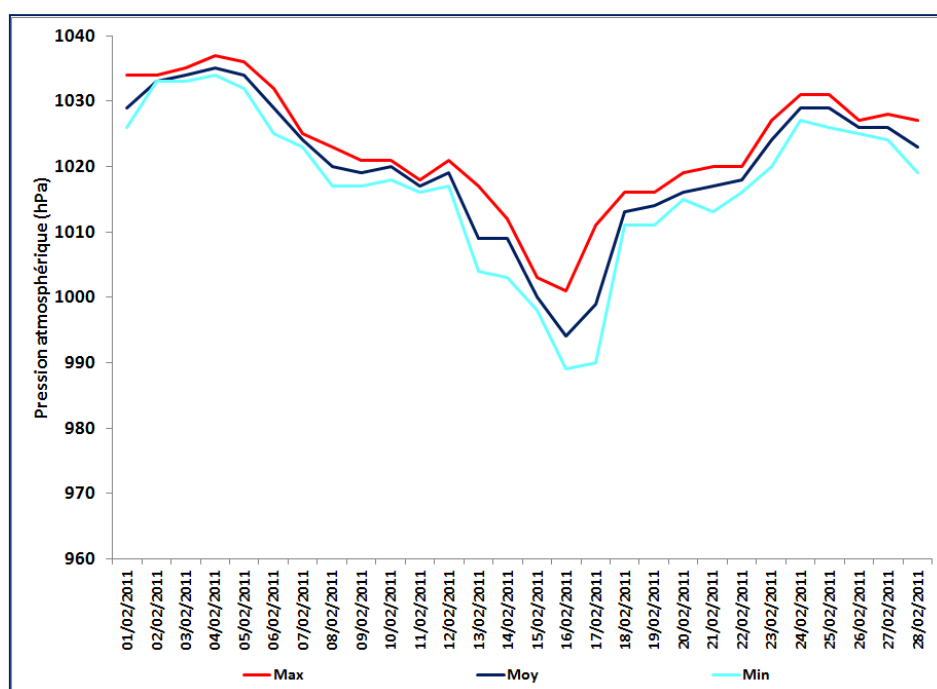


Figure 61 : Evolution journalière de la pression atmosphérique en février 2011 (Source : Weather underground)

Le mois de février 2011 est marqué par un régime de pressions anormalement élevées entrecoupées d'un système dépressionnaire du 14 au 18. La pression moyenne est de 1 020 hPa +/- 10,7 hPa.

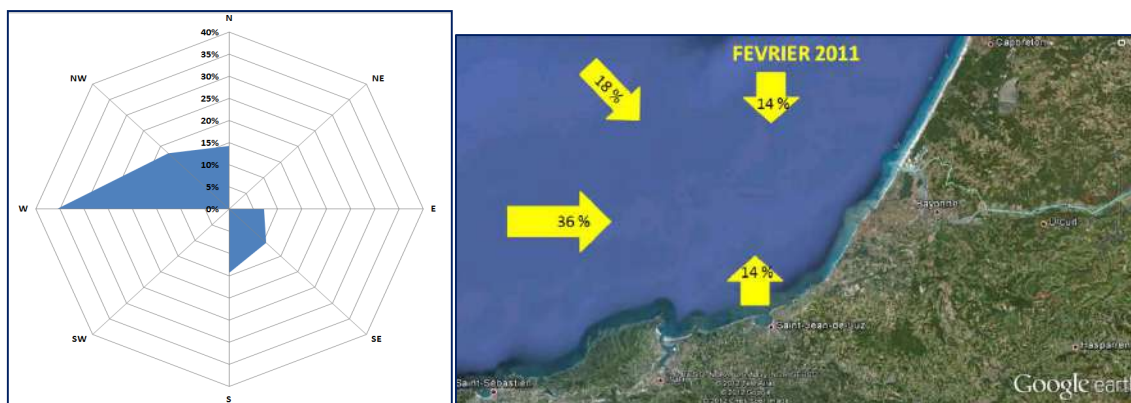


Figure 62 : Rose des vents du mois de février 2011 (Source : Météo France)

Les vents dominants en février 2011 sont de secteur Ouest, Nord-Ouest et Sud.

4.2.4. Conditions océanographiques

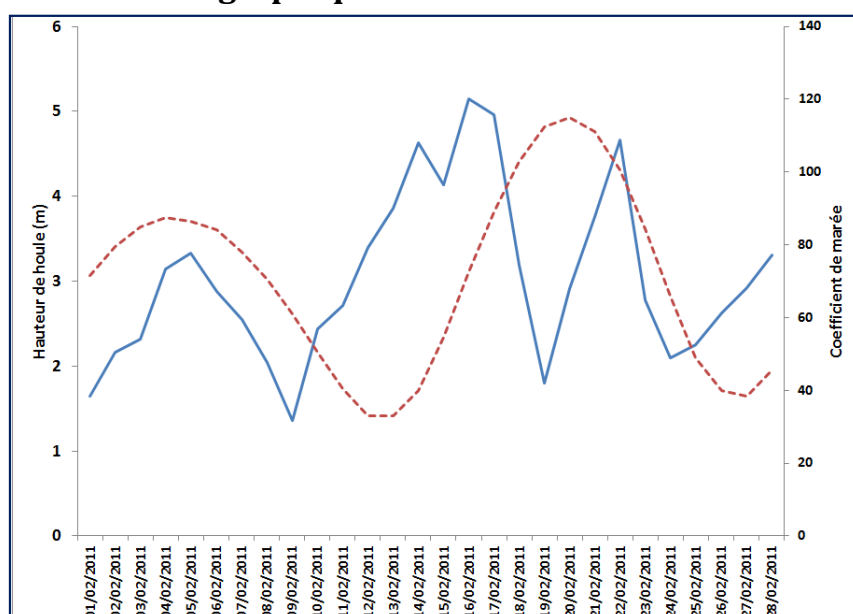


Figure 63 : Evolution de la houle journalière en février 2011 (Source : Windguru)

La mer est agitée au mois de février 2011. La houle moyenne est de 3 m +/- 1 m.

Nous ne disposons pas de profils température et salinité issues du programme RECOPECA pour le mois de février 2011.

4.2.5. Synthèse du mois de février 2011

Le mois de février est caractérisé par :

- l'absence de «LIGA»,
- de faibles débits de l'Adour jusqu'au 21 puis d'une période à forts débits,
- de faibles précipitations jusqu'au 11 et modérées du 12 au 28 avec un pic le 22 (366 mm),
- un régime de hautes pressions jusqu'au 11, une dépression du 13 au 17 suivie d'une période de haute pression,
- des vents dominants d'Ouest, Nord-Ouest et Sud,
- une température de l'air anormalement élevée jusqu'au 20 puis un rafraîchissement en fin de mois,
- une mer agitée sur l'ensemble du mois,

4.3. Mars 2011

4.3.1. Observations de «LIGA»

En mars 2011, le «LIGA» apparaît sur la zone côtière. 39 observations de pêcheurs ont été réalisées. La première observation est faite le 06 mars au sud de Biarritz. Le 26 mars, le «LIGA» est présent sur la côte proche de Capbreton.

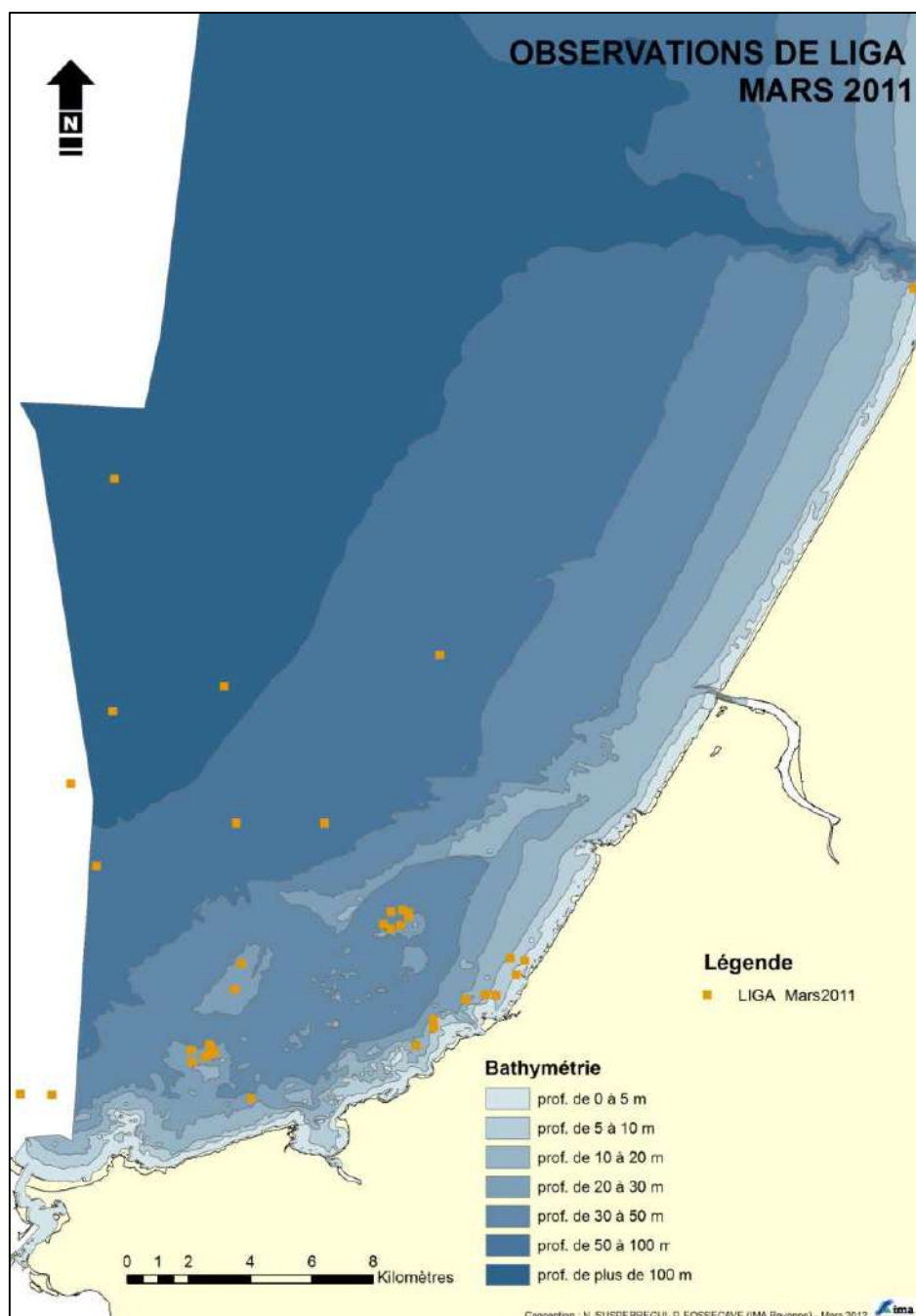


Figure 64 : Observations de «LIGA» en mars 2011

En mars 2011, le «LIGA» est principalement présent en pleine eau sur des fonds de 10 à 50 m et au fond sur des fonds inférieurs à 10 m. Certains pêcheurs se rapprochent de la côte et de la zone de déferlement afin d'éviter le «LIGA» dans ses zones battues par la houle. Les observations sont réalisées entre le 06 mars et le 31 mars 2011.

4.3.2. Conditions hydrologiques de l'Adour

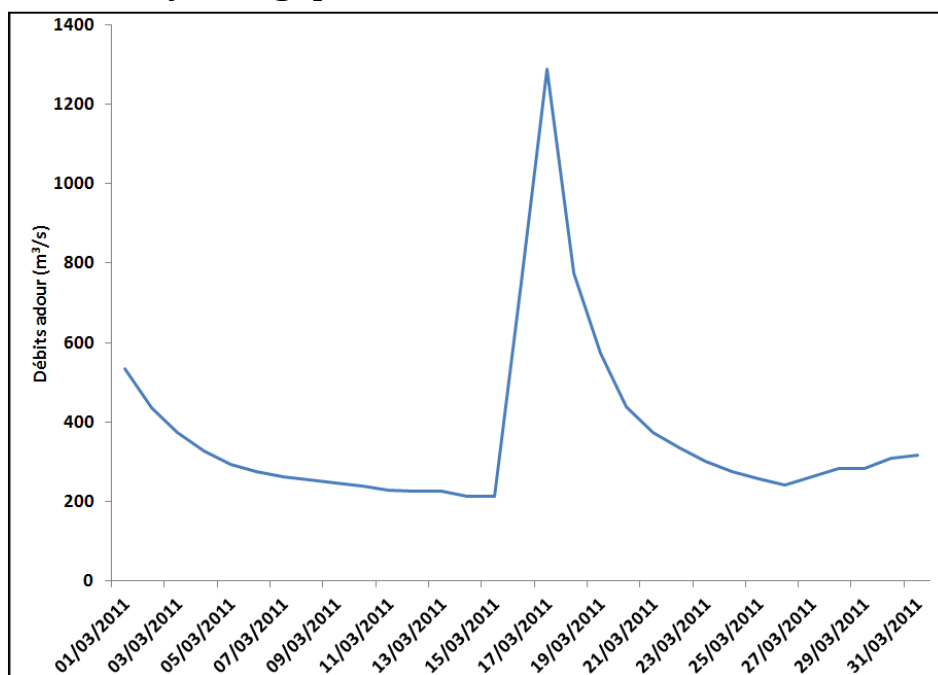


Figure 65 : Evolution des débits journaliers de l'Adour maritime en mars 2011 (Source : BD hydro)

Les débits de l'Adour maritime sont moyens pour un mois de mars. Le module mensuel est de $368 \text{ m}^3/\text{s} \pm 223 \text{ m}^3/\text{s}$ (moyenne 1956 – 2010 = $374 \text{ m}^3/\text{s} \pm 142 \text{ m}^3/\text{s}$).

4.3.3. Conditions météorologiques

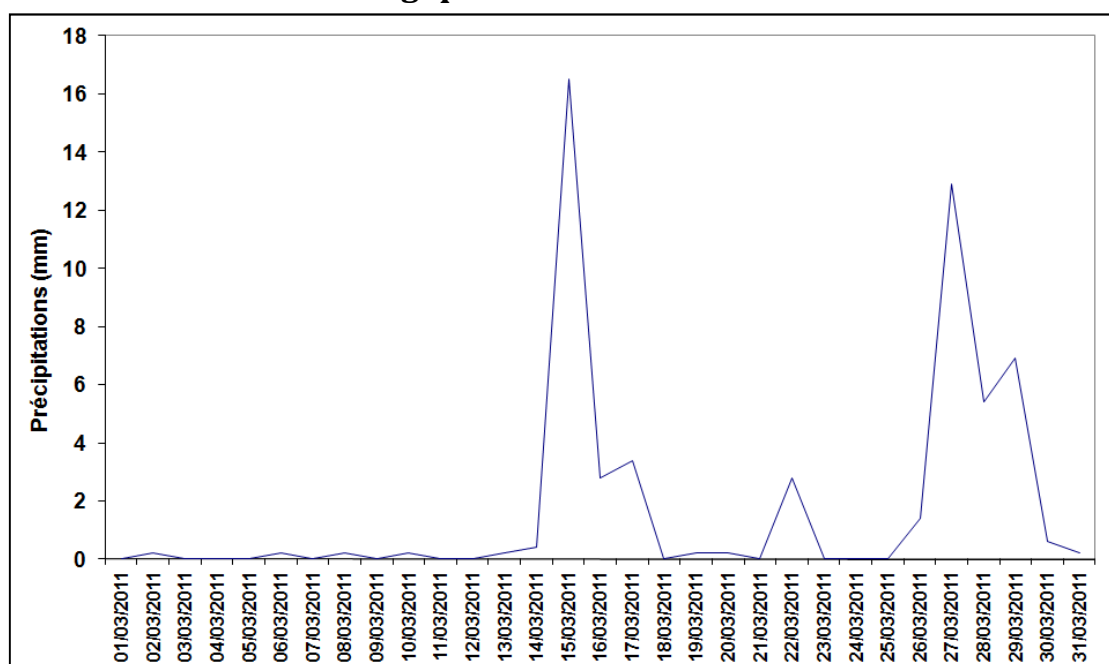


Figure 66 : Evolution des précipitations journalières en mars 2011 (Source : Météo France)

Les précipitations du mois de mars sont relativement faibles. Le cumul mensuel est de 54 mm (moyenne 1956 – 2010 = 110 mm \pm 55 mm). La première quinzaine est caractérisée par une période sèche alors que la deuxième présente deux épisodes pluvieux (16 mm le 16 et 13 mm le 27).

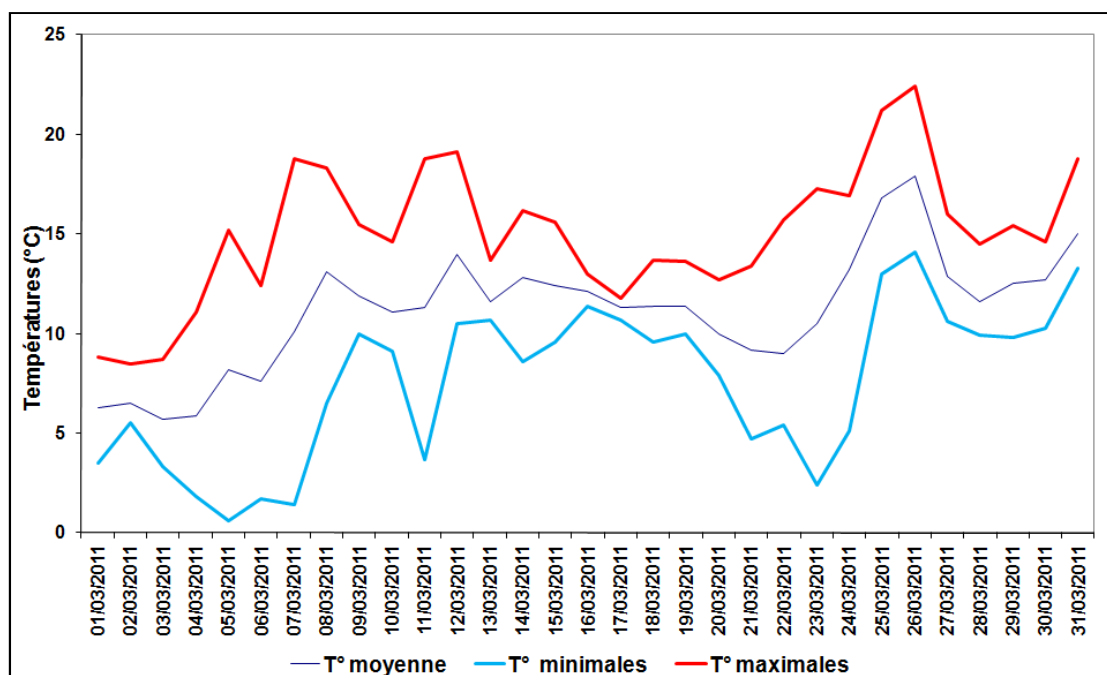


Figure 67 : Evolution des températures journalières en mars 2011 (Source : Météo France)

Le mois de mars est caractérisé par une augmentation progressive de la température. La température moyenne du mois de mars 2011 est de $11,16^{\circ}\text{C} \pm 2,9^{\circ}\text{C}$ (moyenne 1956 – 2010 = $10,6^{\circ}\text{C} \pm 3,5^{\circ}\text{C}$).

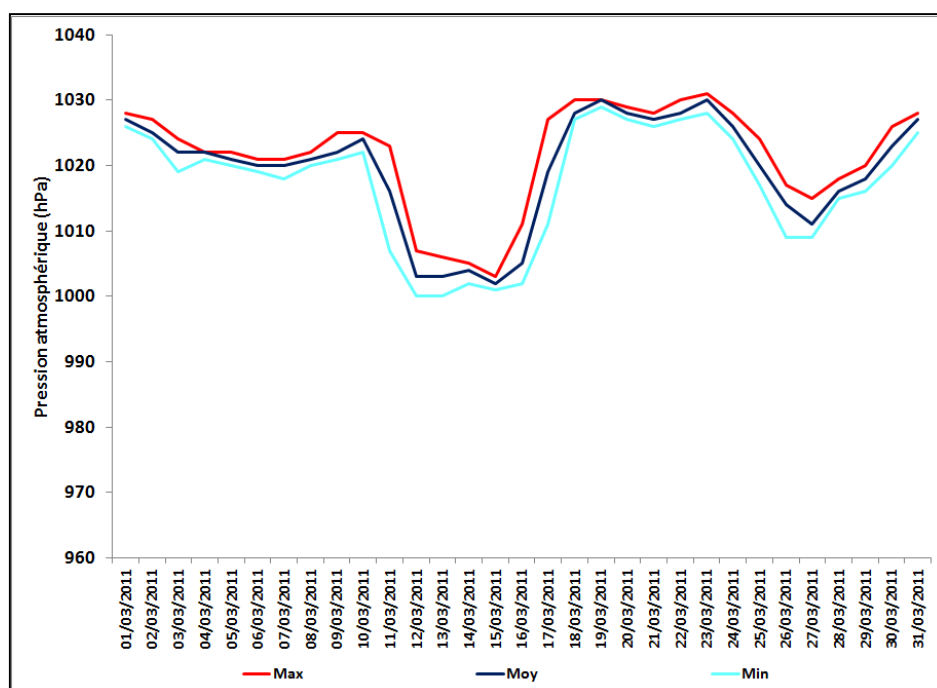


Figure 68 : Evolution journalière de la pression atmosphérique (Source : Weather underground)

Le mois de mars 2011 est marqué par un régime de pressions anormalement élevées pour la saison. La pression moyenne est de $1\,019\text{ hPa} \pm 8\text{ hPa}$.

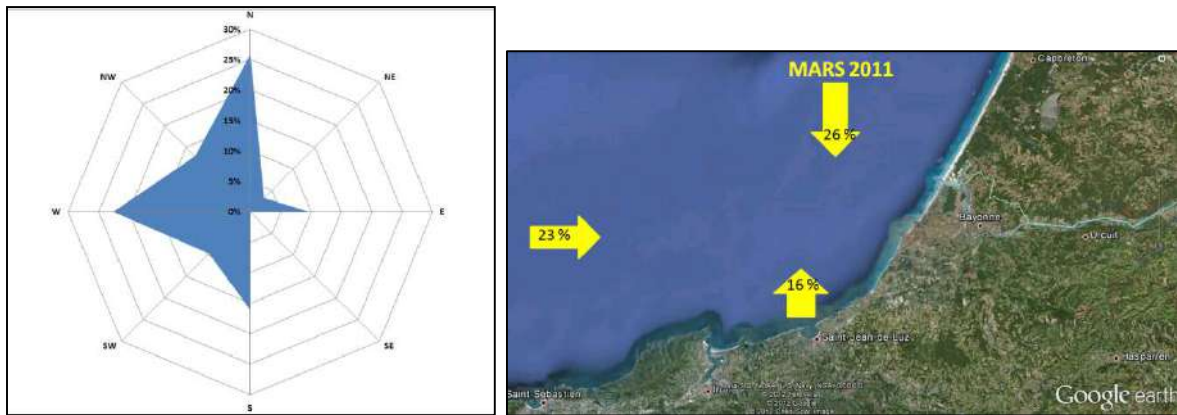


Figure 69 : Rose des vents du mois de mars 2011 (Source : Météo France)

Les vents dominants en mars 2011 sont respectivement de secteur Nord, Ouest et Sud. Les vents de Sud observés fin mars peuvent en partie expliquer la présence de «LIGA» dans la zone côtière de Capbreton.

4.3.4. Conditions océanographiques

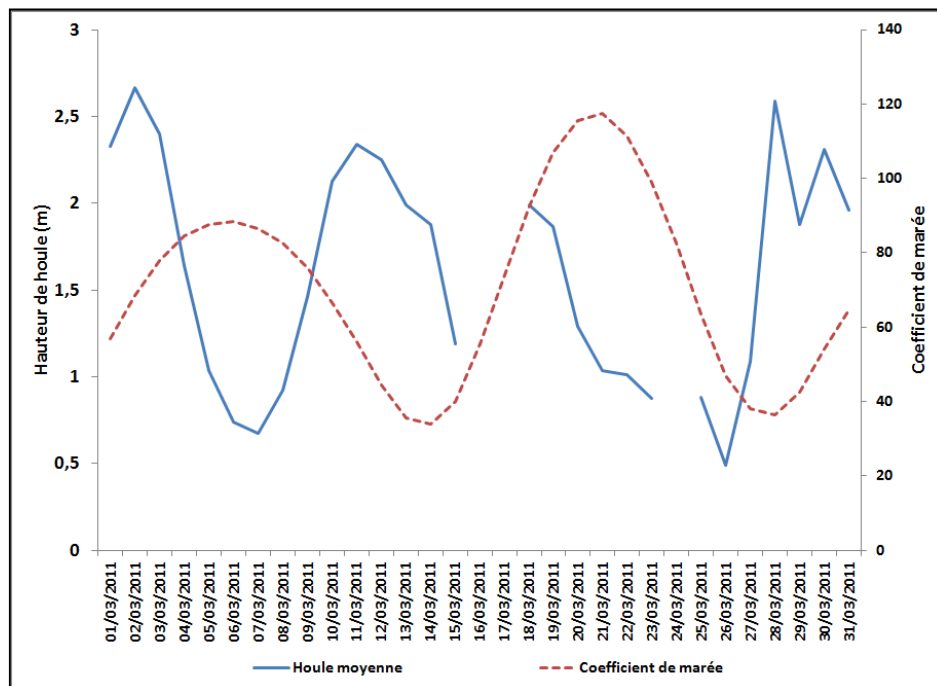


Figure 70 : Evolution de la houle journalière en mars 2011 (Source : Windguru)

La mer est relativement peu agitée. La houle moyenne est de 1,6 m +/- 0,16 m.

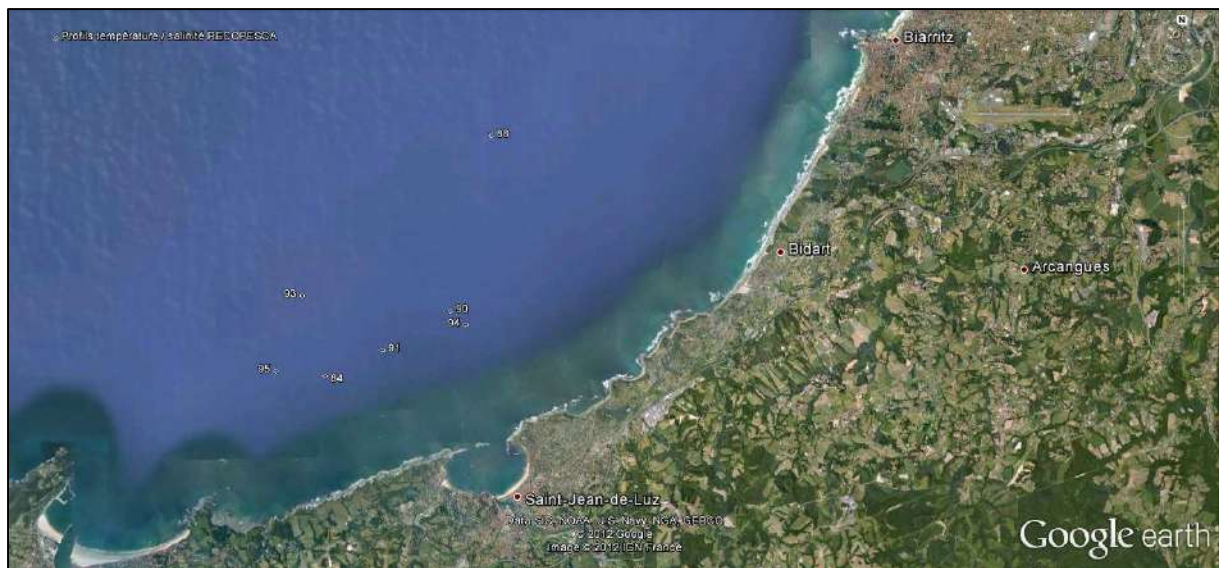


Figure 71 : Localisation des profils température salinité en mars 2011 (Source : Google Earth / IMA)

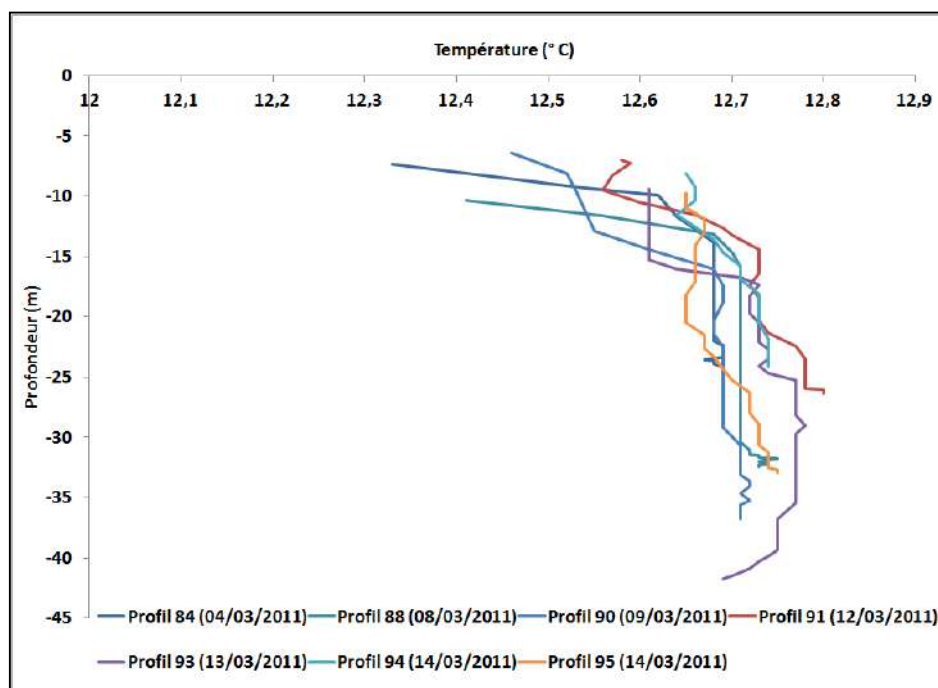


Figure 72 : Profils verticaux de la température en mars 2011 (Source : RECOPESCA, Ifremer)

La température de l'eau varie de 12,3 à 12,8 °C et est homogène sur l'ensemble de la colonne d'eau. La thermocline n'est pas encore en place lors de l'apparition du «LIGA»

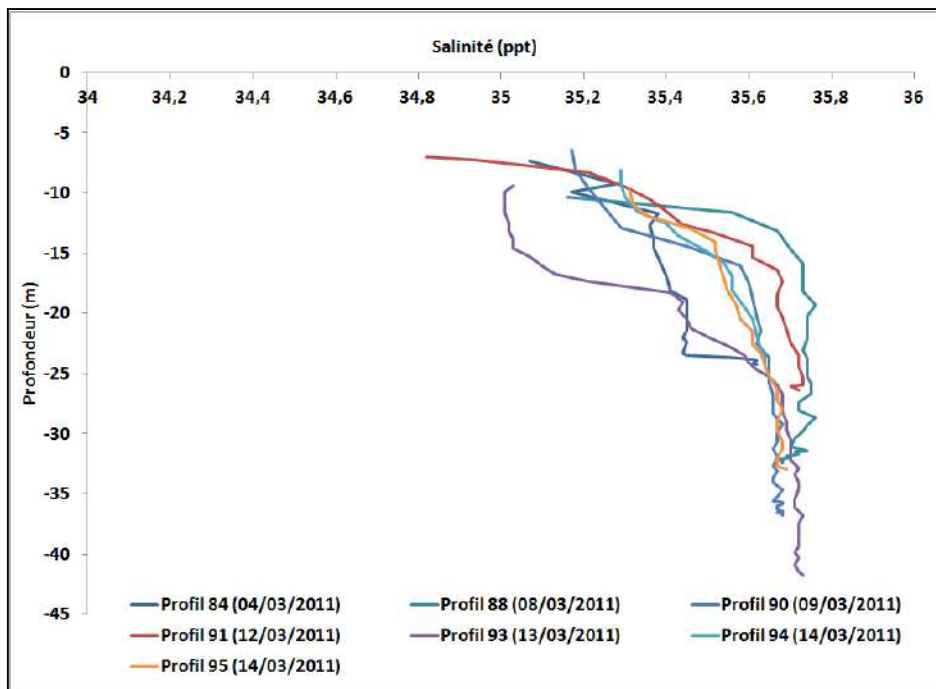


Figure 73 : Profils verticaux de la salinité en mars 2011 (Source : RECOPECA, Ifremer)

La salinité varie de 34,8 à 35,8 ‰. Les eaux sont moins salées qu'au mois de janvier. La colonne d'eau est globalement homogène et l'halocline est absente. On note une légère dessalure des eaux de surface.

4.3.5. Synthèse du mois de mars

Le mois de mars est caractérisé par :

- l'apparition de «LIGA» sur le littoral basque au début du mois de mars,
- des débits de l'Adour moyens,
- de faibles précipitations sur la première quinzaine suivies de deux épisodes orageux,
- un régime de hautes pressions,
- des vents dominants de Nord, Ouest et Sud,
- un réchauffement des températures de l'air,
- une mer relativement peu agitée,
- l'absence de thermocline et d'halocline.

4.4. Avril 2011

4.4.1. Observations de «LIGA»

En avril 2011, 66 observations de «LIGA» ont été réalisées par les pêcheurs professionnels.

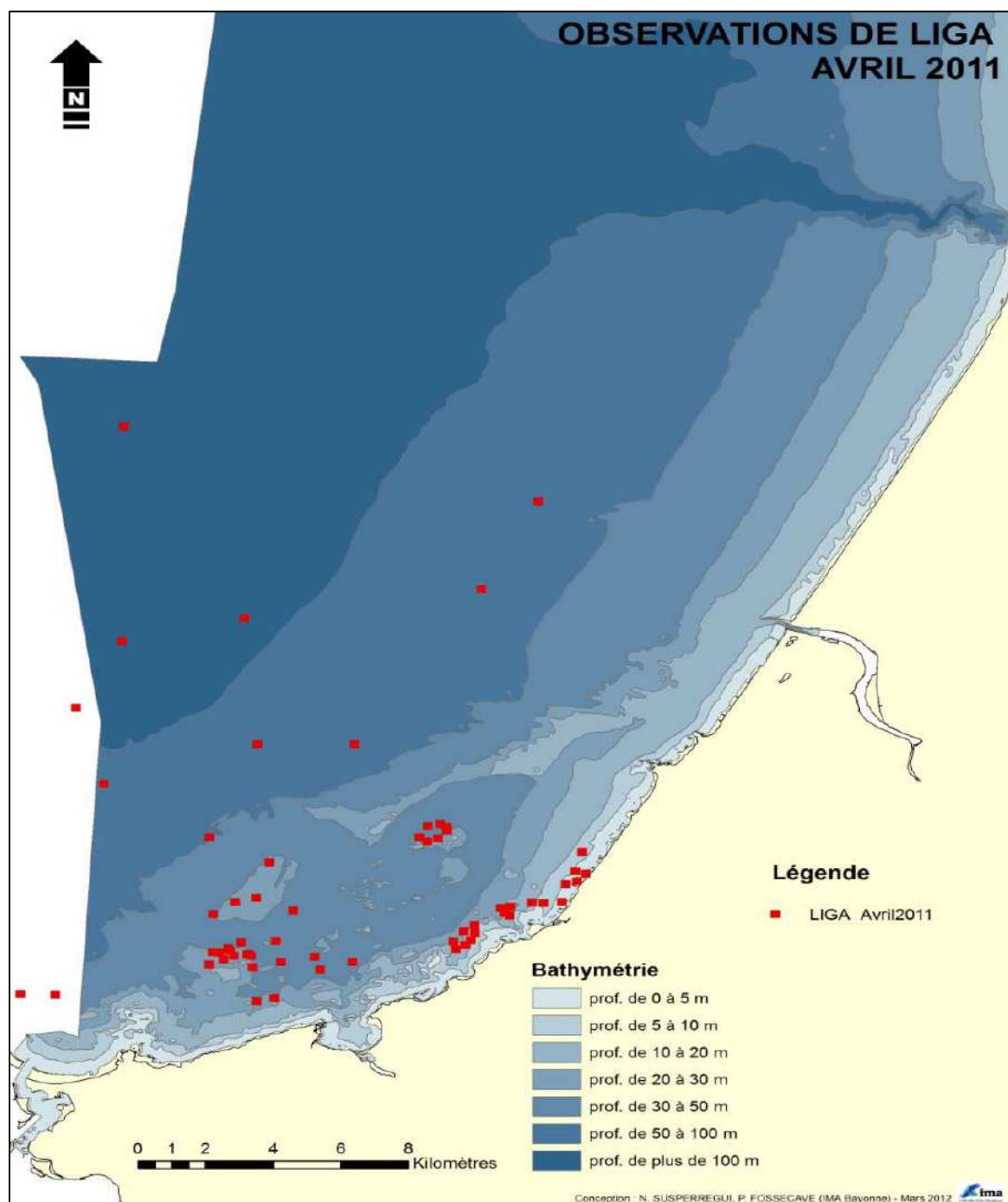


Figure 74 : Observations de «LIGA» en avril 2011

En avril 2011, le «LIGA» est principalement présent en zone côtière en pleine eau. Il est aussi ressenti au fond sur des fonds inférieurs à 10 m et supérieurs à 50 m. Les observations sont réalisées tout au long du mois d'avril.

4.4.2. Conditions hydrologiques de l'Adour

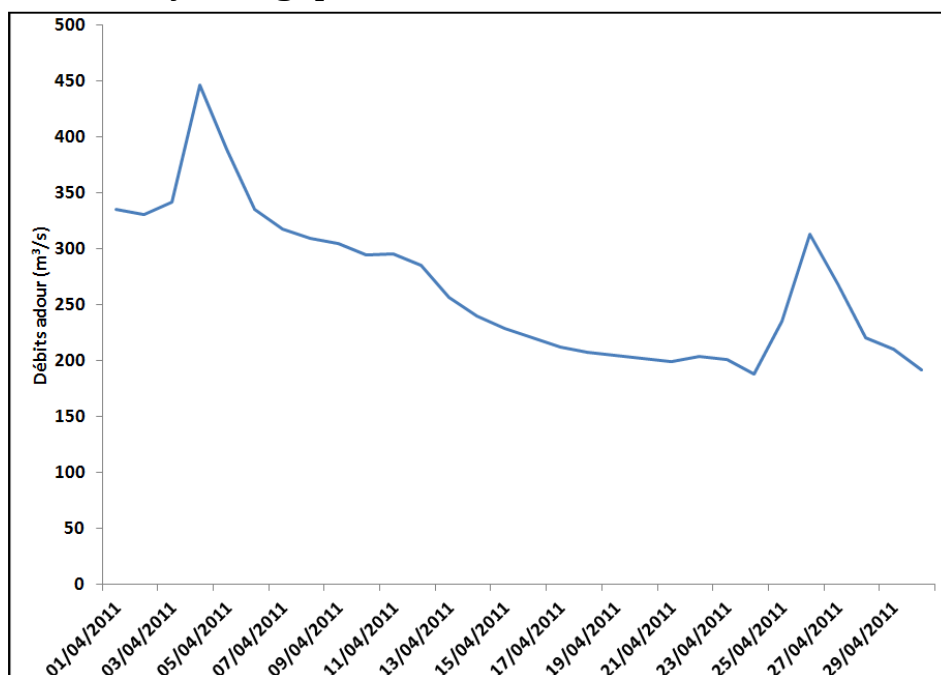


Figure 75 : Evolution des débits journaliers de l'Adour maritime en avril 2011 (Source : BD hydro)

Les débits de l'Adour maritime sont faibles pour un mois d'avril. Le module mensuel est de $266 \text{ m}^3/\text{s} \pm 66 \text{ m}^3/\text{s}$ (moyenne 1956 – 2010 = $423 \text{ m}^3/\text{s} \pm 140 \text{ m}^3/\text{s}$).

4.4.3. Conditions météorologiques

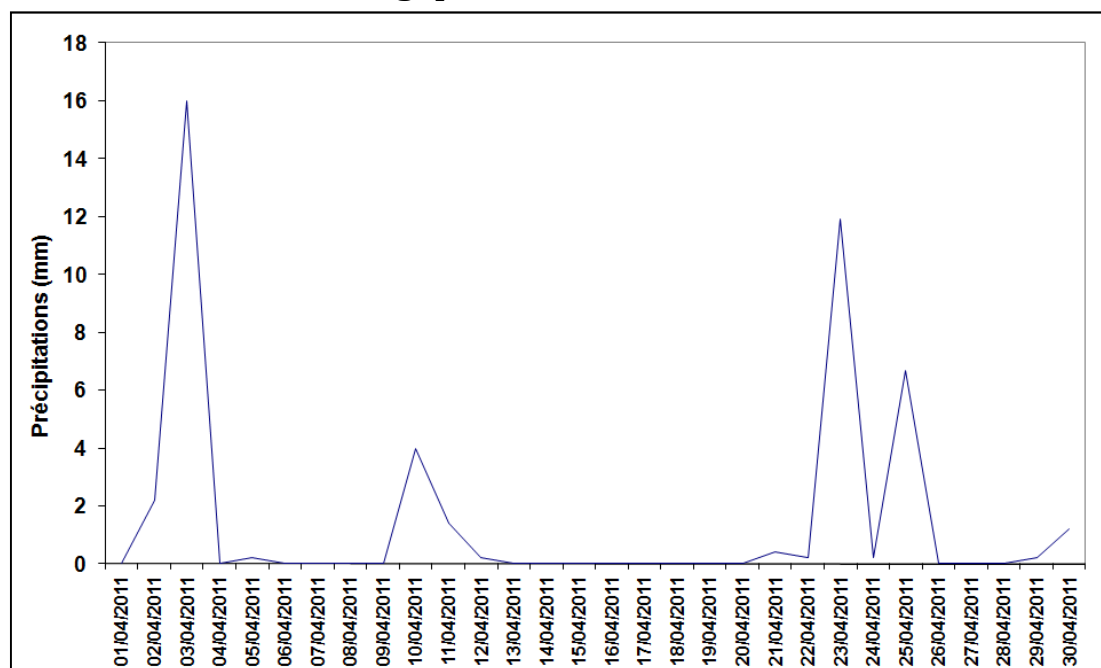


Figure 76 : Evolution des précipitations journalières en avril 2011 (Source : Météo France)

Les précipitations du mois d'avril sont relativement faibles. Le cumul mensuel est de 44 mm (moyenne 1956 – 2010 = 123 mm \pm 68 mm). Trois pics de précipitations apparaissent le 3 (16 mm), le 23 (12 mm) et le 25 (6,7 mm).

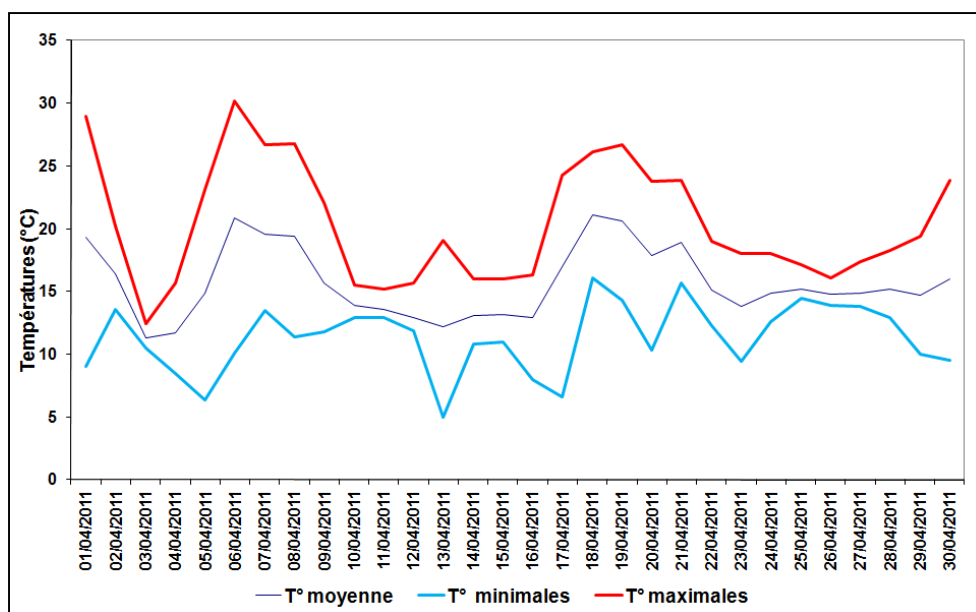


Figure 77 : Evolution des températures journalières en avril 2011 (Source : Météo France)

Le mois d'avril est caractérisé par des températures élevées pour la saison. La température moyenne du mois d'avril 2011 est de 15,7°C +/- 2,8°C (moyenne 1956 – 2010 = 12 °C +/- 3 °C).

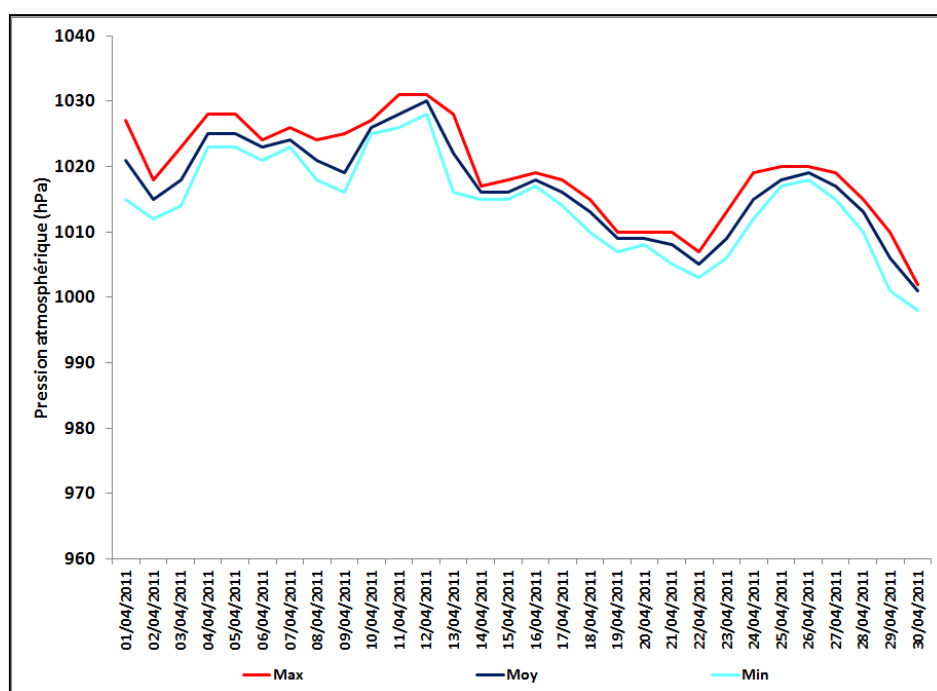


Figure 78 : Evolution journalière de la pression atmosphérique (Source : Weather underground)

Le mois d'avril 2011 est marqué par un régime de pressions atmosphériques moyennes. La pression moyenne est de 1 016 hPa +/- 7 hPa.

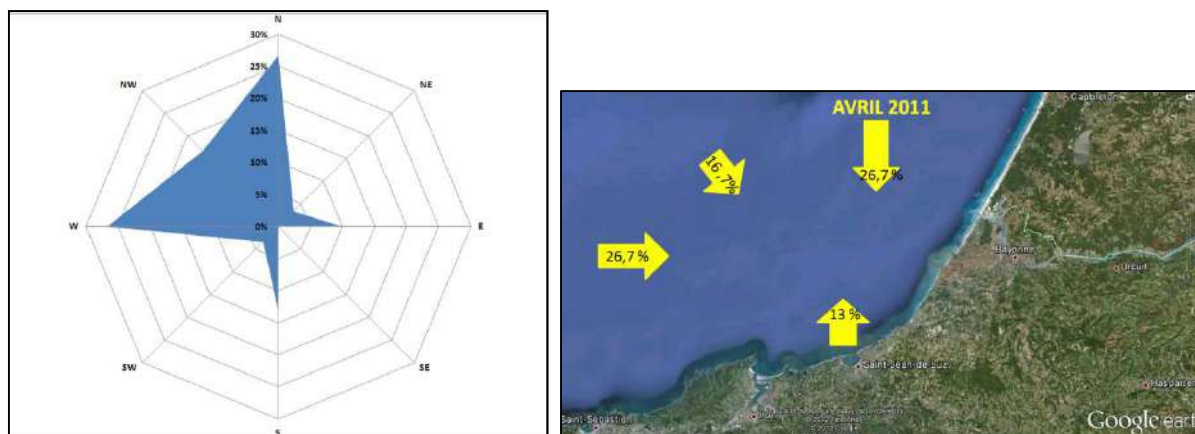


Figure 79 : Rose des vents du mois d'avril 2011 (Source : Météo France)

Les vents dominants en avril 2011 sont respectivement de secteur Nord, Ouest, Nord Ouest et Sud.

4.4.4. Conditions océanographiques

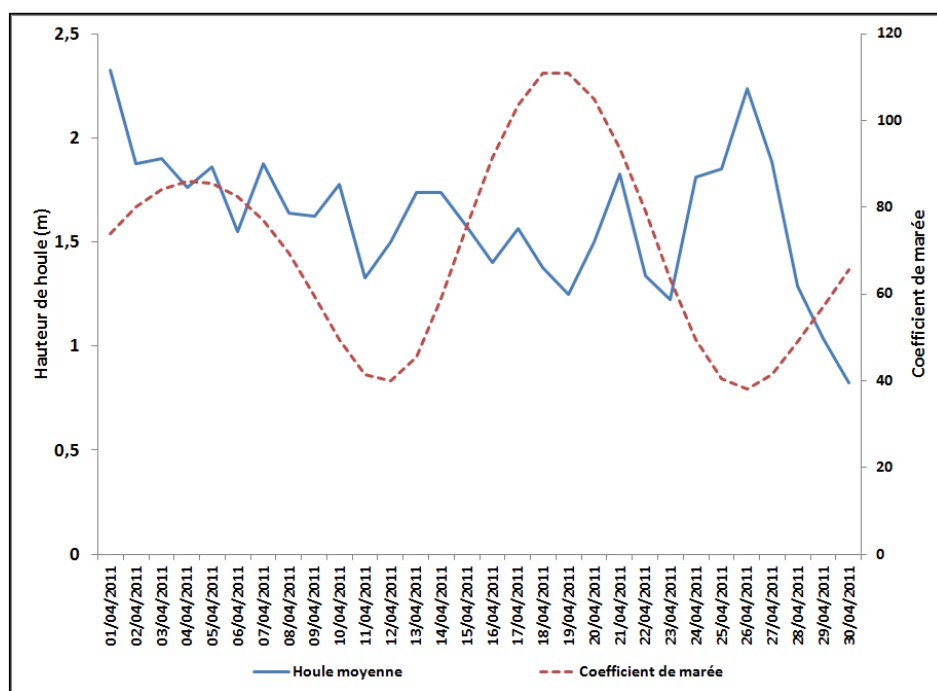


Figure 80 : Evolution de la houle journalière en avril 2011 (Source : Windguru)

La mer est relativement peu agitée. La houle moyenne est de 1,6 m +/- 0,3 m.

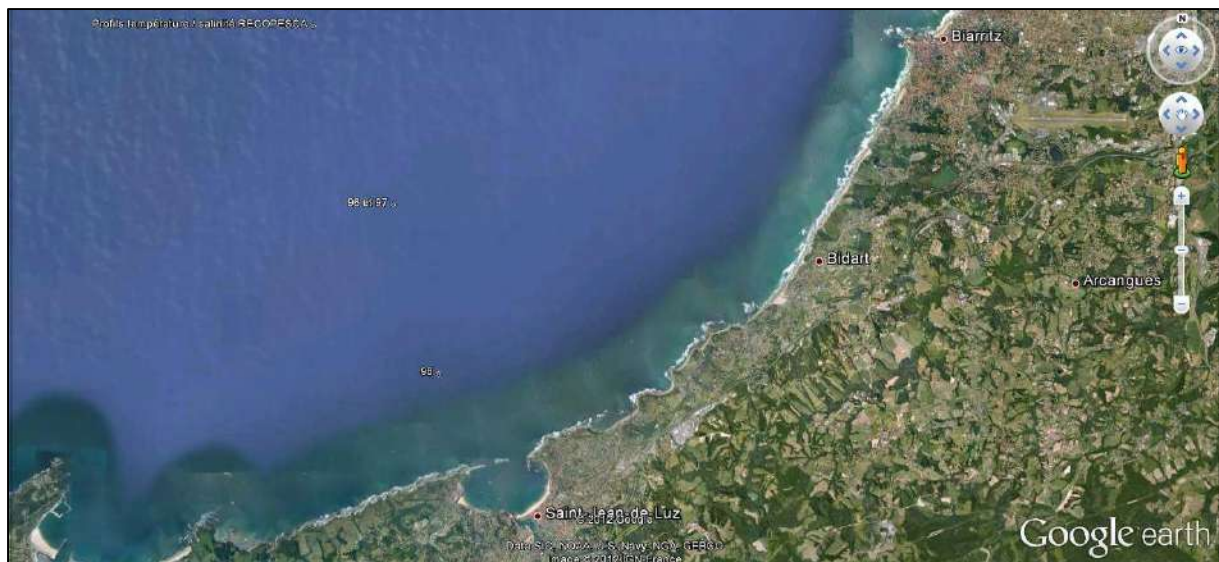


Figure 81 : Localisation des profils température salinité en avril 2011 (Source : Google Earth/ IMA)

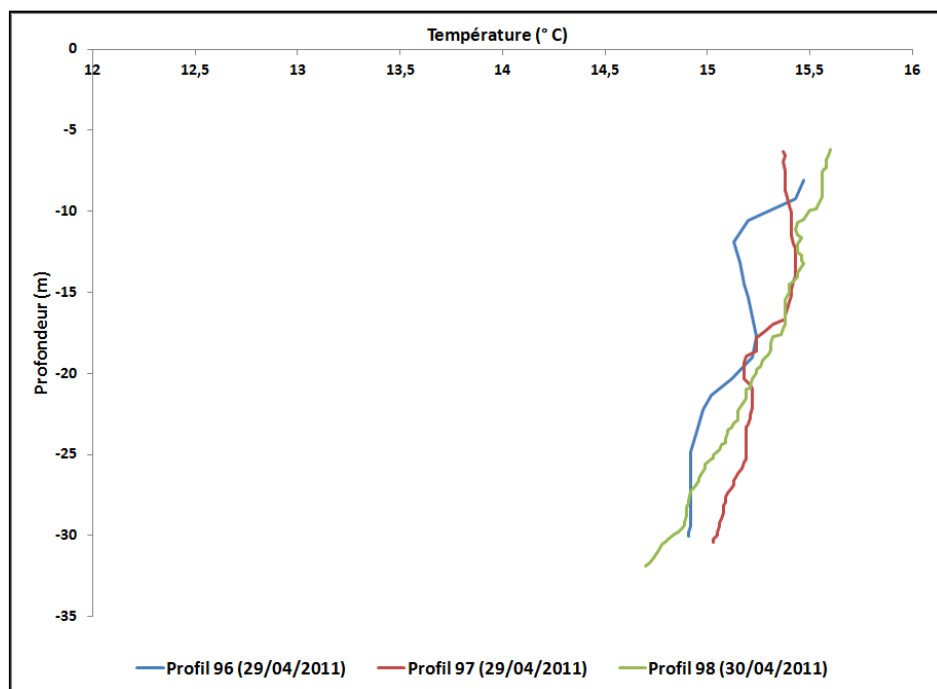


Figure 82 : Profils verticaux de la température en avril 2011 (Source : RECOPESCA, Ifremer)

La température varie entre 14,5 et 15,6 °C et traduit un réchauffement des eaux depuis mars. La température est globalement homogène sur toute la colonne d'eau, la thermocline est absente.

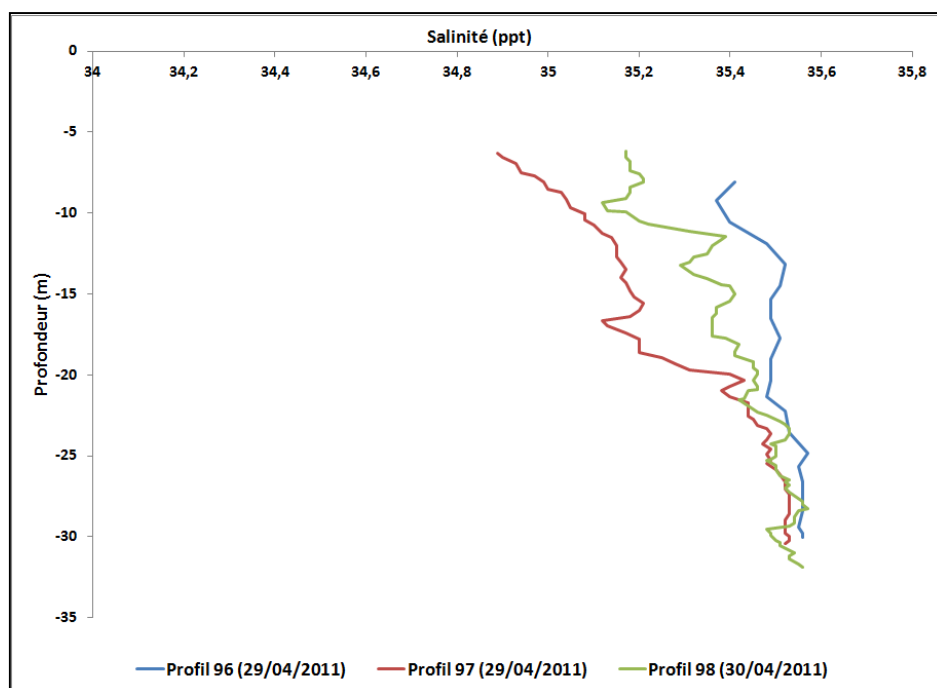


Figure 83 : Profils verticaux de la salinité en avril 2011 (Source : RECOPECA, Ifremer)

La salinité varie entre 34,8 (en surface) et 35,5 ‰ (au fond) et est homogène sur toute la colonne d'eau. L'halocline est absente.

4.4.5. Synthèse du mois d'avril

Le mois d'avril est caractérisé par :

- une augmentation de la présence du «LIGA» sur le littoral basque principalement dans la colonne d'eau,
- des débits faibles de l'Adour,
- de faibles précipitations,
- un régime de pressions moyennes,
- des vents dominants de Nord, Ouest, Nord-Ouest et Sud,
- un réchauffement des températures de l'air,
- une mer relativement peu agitée,
- l'apparition progressive d'une thermocline et une légère dessalure des eaux de surface.

4.5. Mai 2011

4.5.1. Observations de «LIGA»

En mai 2011, 95 observations de «LIGA» ont été réalisées par les pêcheurs professionnels.

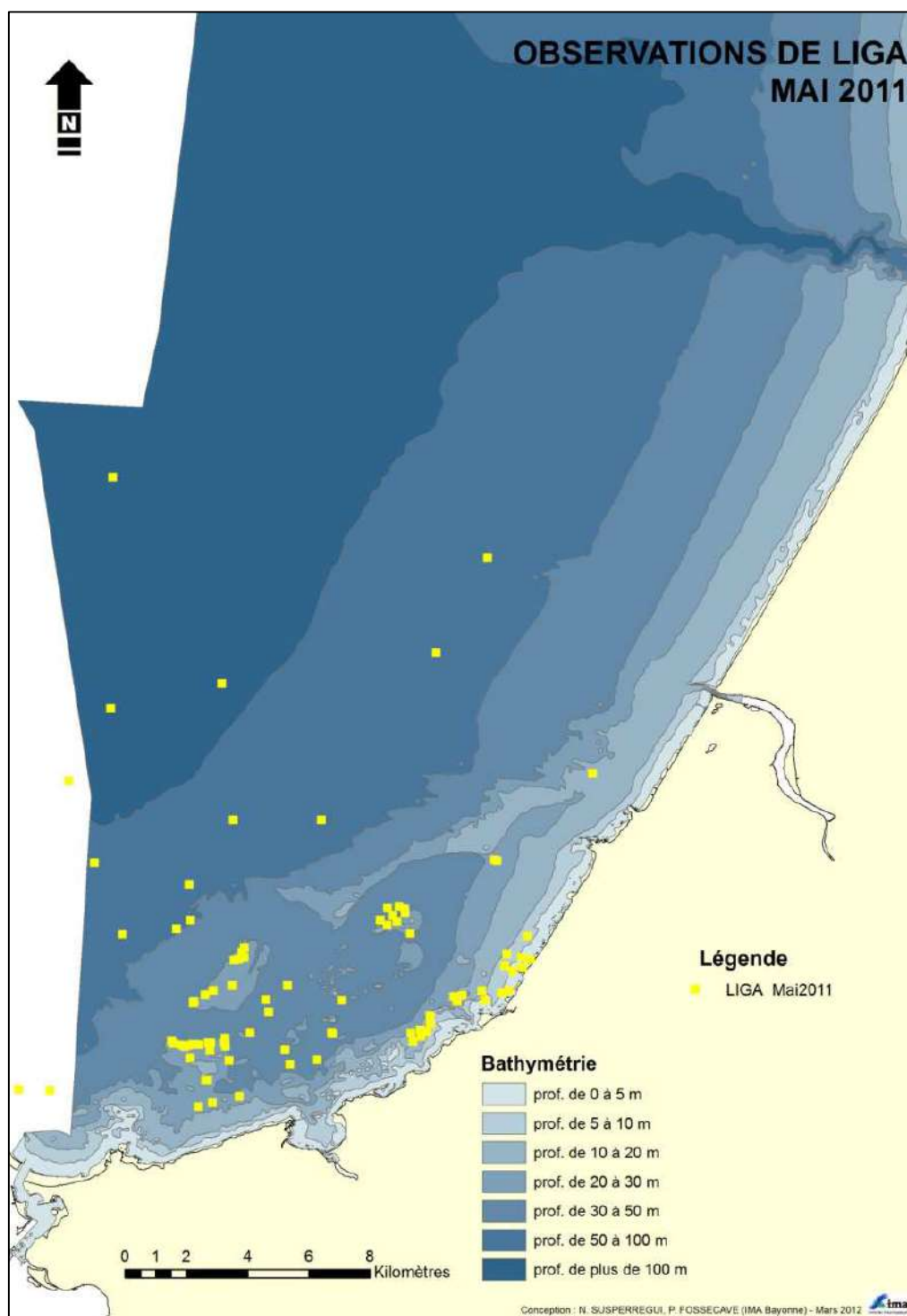


Figure 84 : Observations de «LIGA» en mai 2011

En mai 2011, le «LIGA» est principalement présent en zone côtière en pleine eau. Il est aussi ressenti au fond sur des fonds inférieurs à 10 m et supérieurs à 50 m. Les observations sont réalisées tout au long du mois de mai.

4.5.2. Conditions hydrologiques de l'Adour

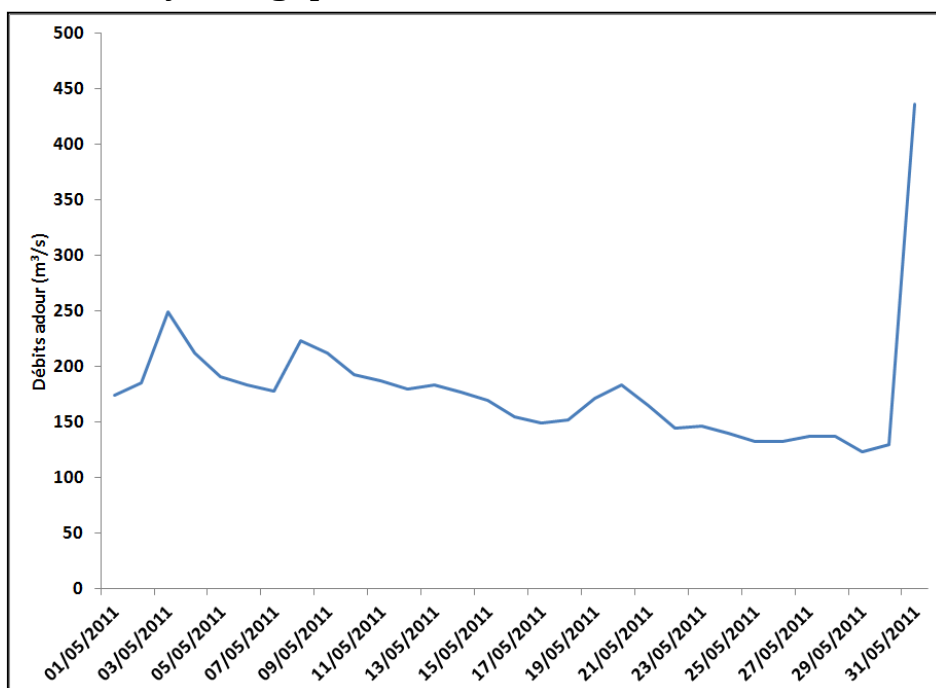


Figure 85 : Evolution des débits journaliers de l'Adour maritime en mai 2011 (Source : BD hydro)

Les débits de l'Adour maritime sont faibles pour un mois de mai. Le module mensuel est de $178 \text{ m}^3/\text{s} \pm 56 \text{ m}^3/\text{s}$ (moyenne 1956 – 2010 = $422 \text{ m}^3/\text{s} \pm 137 \text{ m}^3/\text{s}$).

4.5.3. Conditions météorologiques

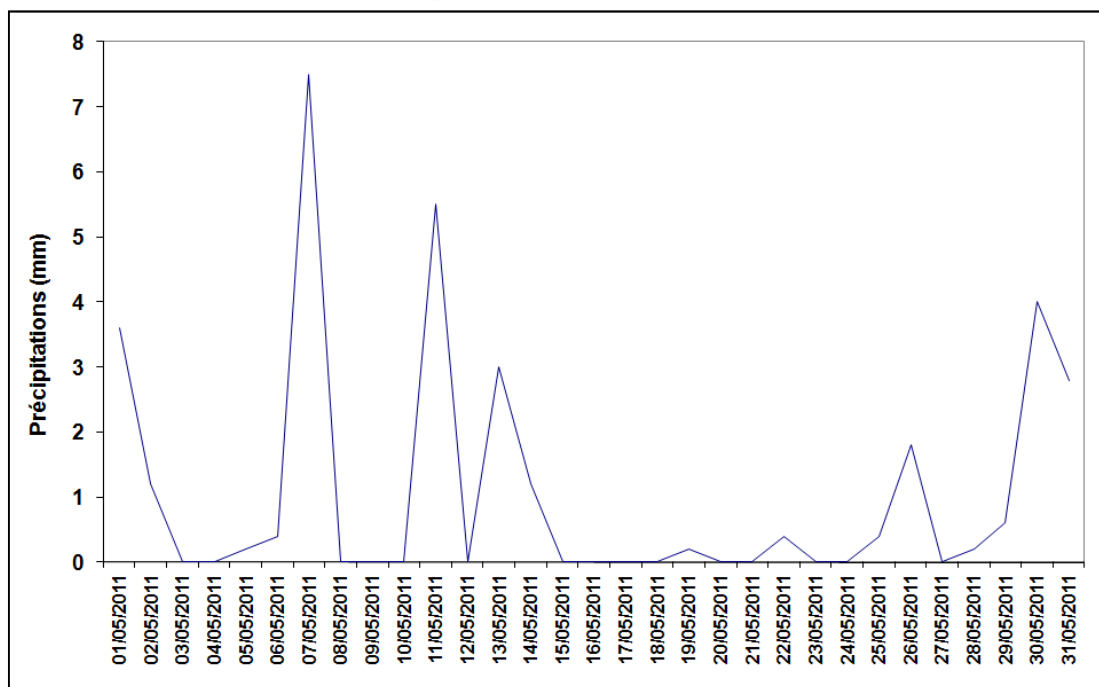


Figure 86 : Evolution des précipitations journalières en mai 2011 (Source : Météo France)

Les précipitations du mois de mai sont relativement faibles. Le cumul mensuel est de 33 mm (moyenne 1956 – 2010 = 115 mm \pm 50 mm).

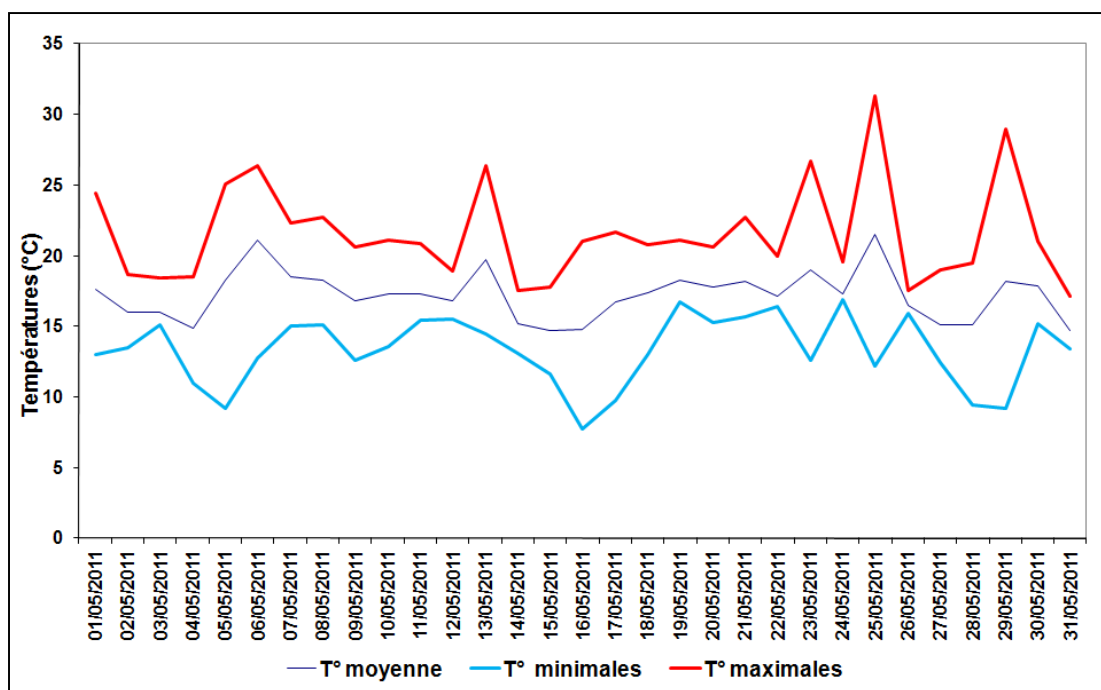


Figure 87 : Evolution des températures journalières en mai 2011 (Source : Météo France)

Le mois de mai est caractérisé par des températures élevées pour la saison. La température moyenne du mois de mai 2011 est de 17,2°C +/- 1,7°C (moyenne 1956 – 2010 = 15,2 °C +/- 3 °C).

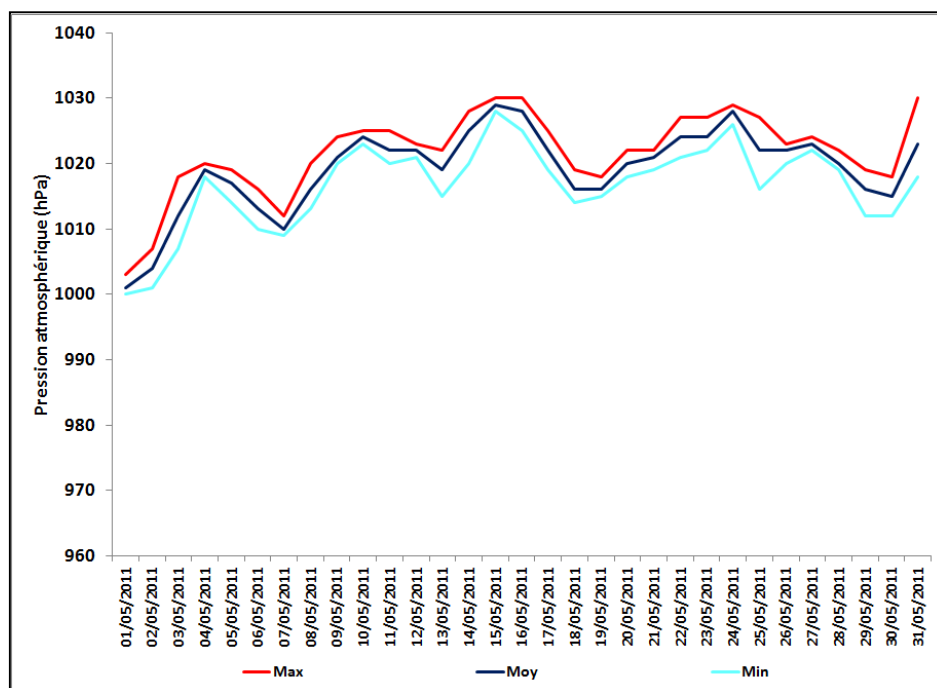


Figure 88 : Evolution journalière de la pression atmosphérique (Source : Weather underground)

Le mois de mai 2011 est marqué par un régime de hautes pressions atmosphériques. La pression moyenne est de 1 019 hPa +/- 6 hPa.

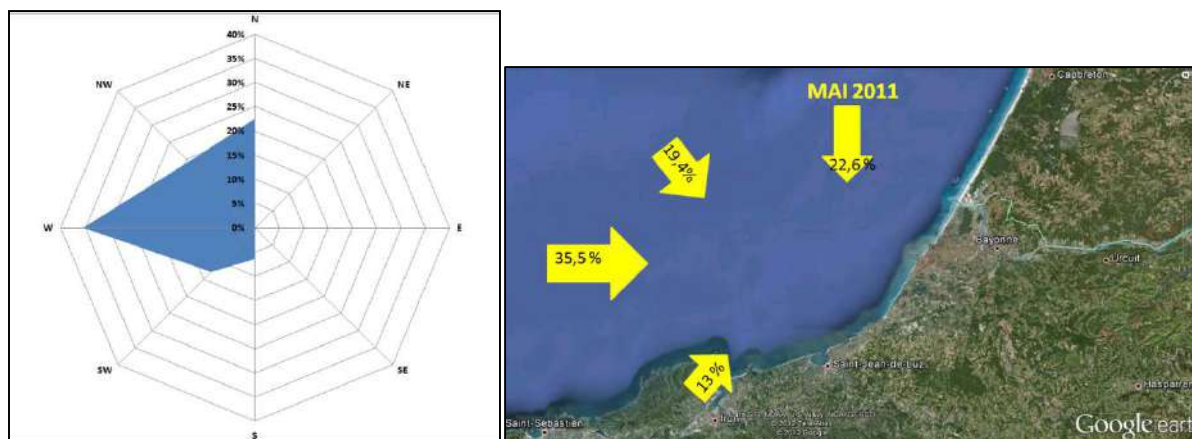


Figure 89 : Rose des vents du mois de mai 2011 (Source : Météo France)

Les vents dominants en mai 2011 sont respectivement de secteur Ouest, Nord, Nord-Ouest et Sud Ouest.

4.5.4. Conditions océanographiques

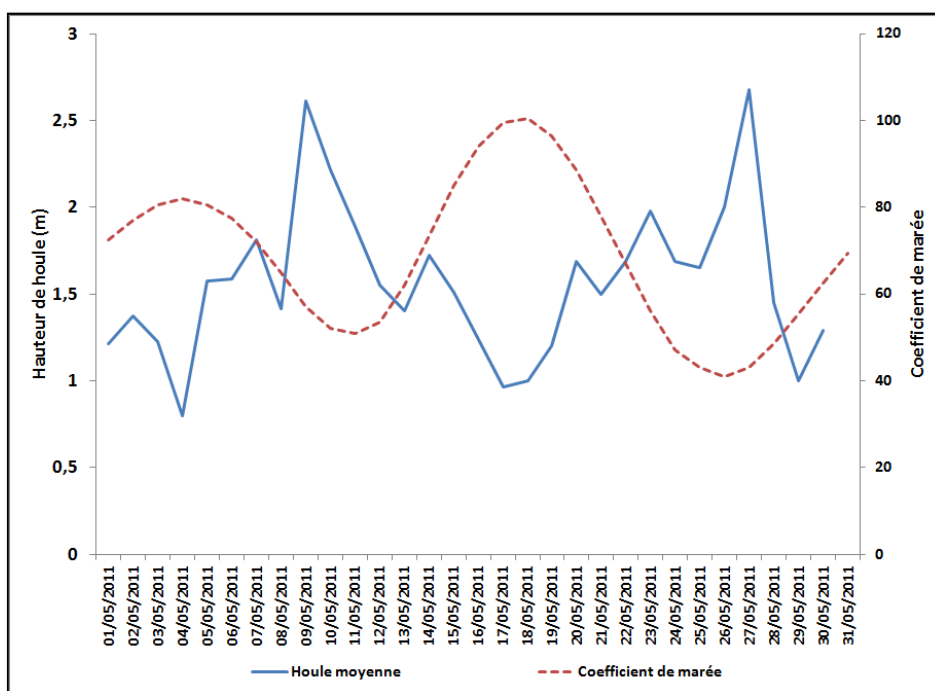


Figure 90 : Evolution de la houle journalière en mai 2011 (Source : Windguru)

En mai 2011, la mer est relativement peu agitée. La houle moyenne est de 1,56 m +/- 0,2 m. Deux épisodes de forte houle sont rencontrés les 9 et 27 mai.

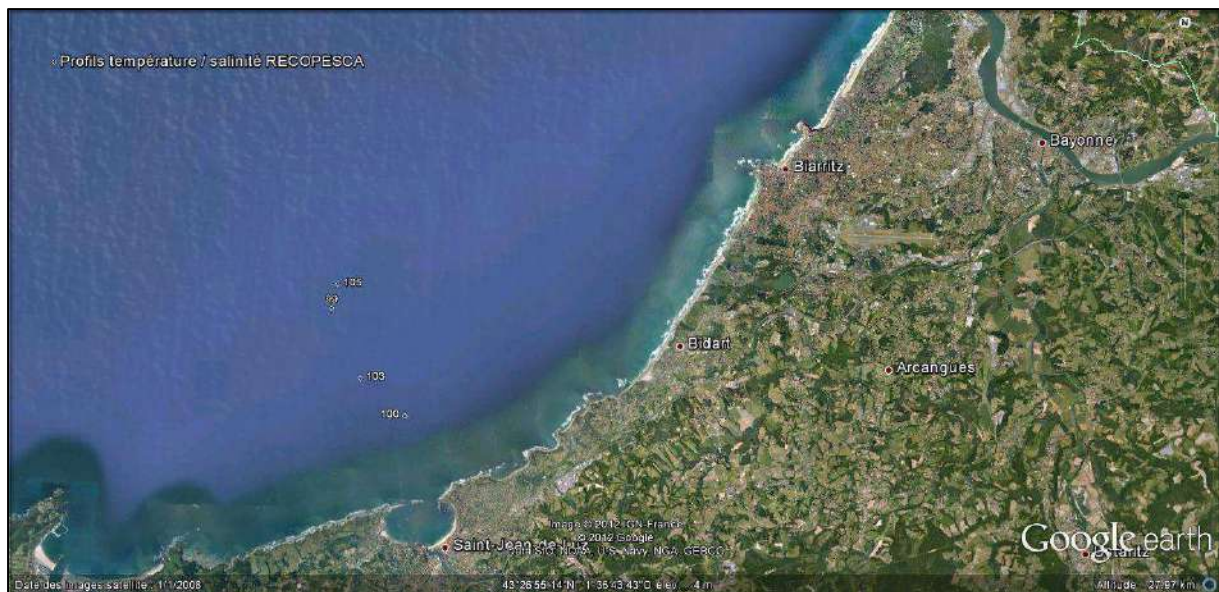


Figure 91 : Localisation des profils température salinité en mai 2011 (Source : Google Earth / IMA)

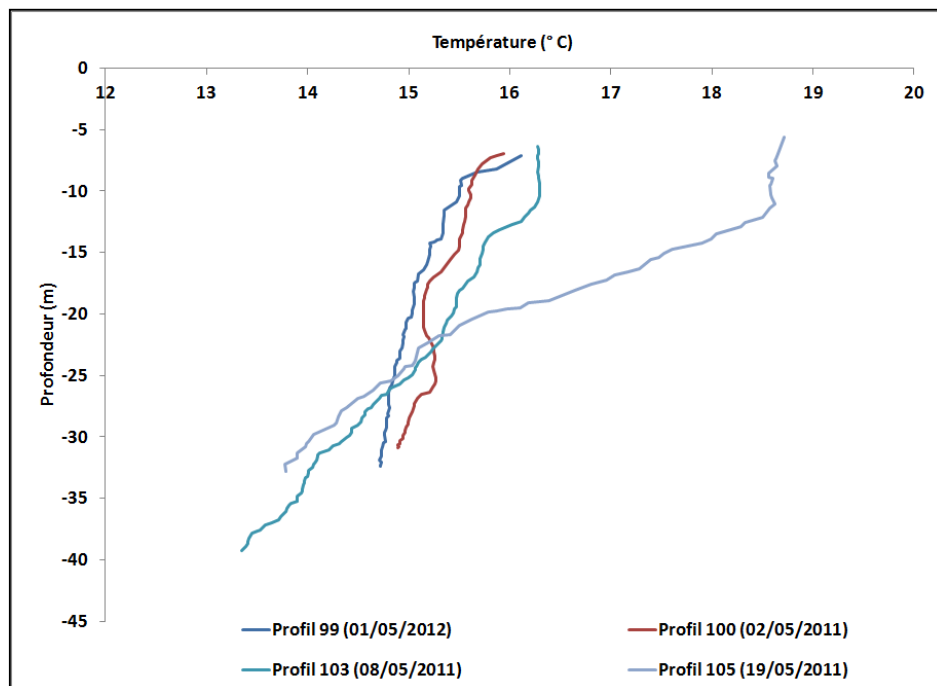


Figure 92 : Profils verticaux de la température en mai 2011 (Source : RECOPECA, Ifremer)

La température varie entre 13 et 18,8°C ce qui traduit un réchauffement des eaux depuis le mois d'avril. La thermocline se met en place petit à petit début mai (profil 103) puis est clairement présente le 19 mai (profil 105) à partir de 10-15 mètres sur des fonds de 35 mètres.

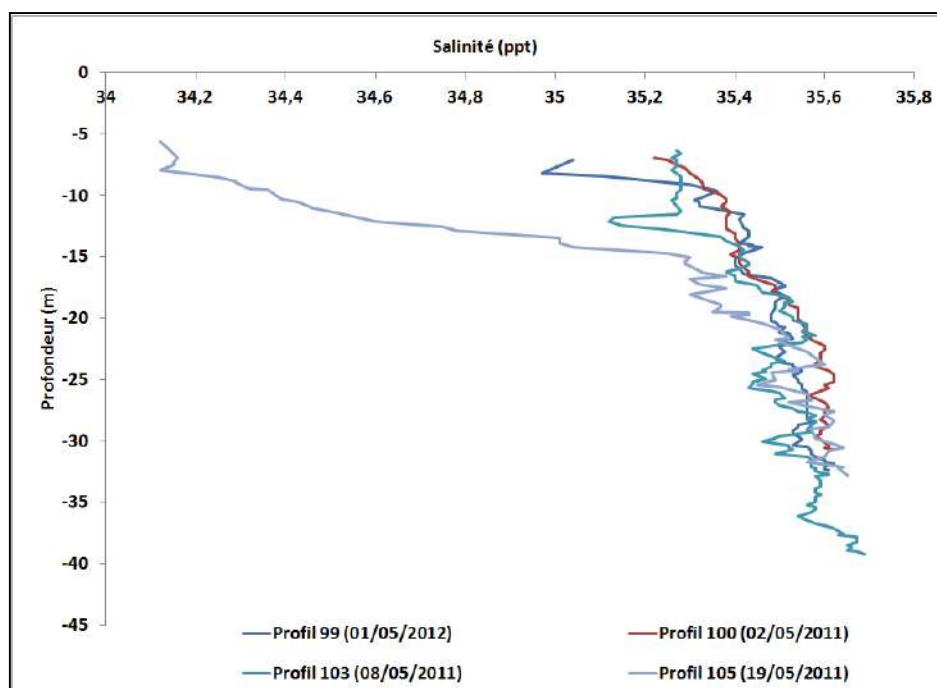


Figure 93 : Profils verticaux de la salinité en mai 2011 (Source : RECOPECA, Ifremer)

Jusqu'au 19 mai la salinité est homogène sur toute la colonne d'eau et varie entre 35 (en surface) et 35,6 ‰. Le 19 mai (profil 105), la salinité varie fortement à partir de 15 mètres, les eaux de surface étant dessalées.

4.5.5. Synthèse du mois de mai

Le mois de mai est caractérisé par :

- une augmentation de la présence du «LIGA» dans la colonne d'eau sur le littoral basque,
- des débits faibles de l'Adour,
- de faibles précipitations,
- un régime de hautes pressions,
- des vents dominants d'Ouest, Nord, Nord-Ouest et Sud,
- un réchauffement des températures de l'air,
- une mer peu agitée,
- la formation mi-mai d'une thermocline et d'une halocline entre 10 et 15 mètres de profondeur.

4.6. Juin 2011

4.6.1. Observations de «LIGA»

En juin 2011, 77 observations de «LIGA» ont été réalisées par les pêcheurs professionnels.

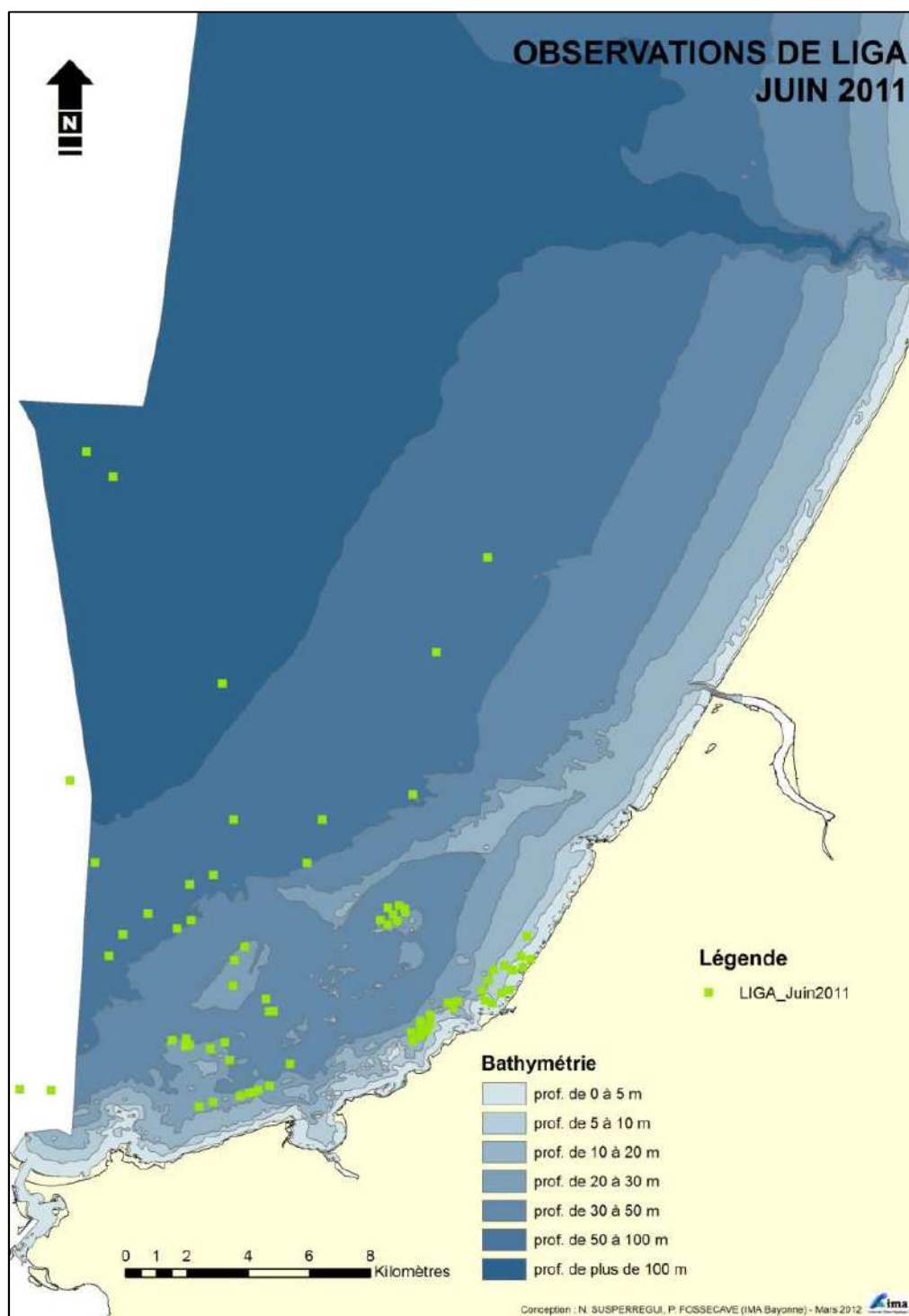


Figure 94 : Observations de «LIGA» en juin 2011

En juin 2011, le «LIGA» est principalement présent en zone côtière en pleine eau et au fond sur des fonds inférieurs à 10 m et supérieurs à 50 m. Les observations sont réalisées tout au long du mois de juin mais plus intensément dans la deuxième quinzaine.

4.6.2. Conditions hydrologiques de l'Adour

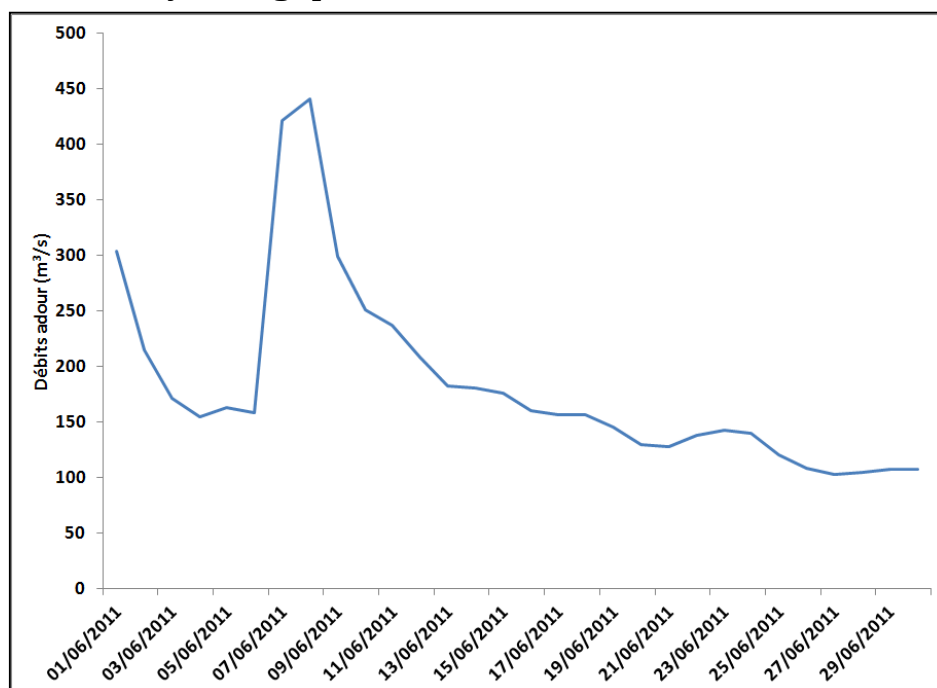


Figure 95 : Evolution des débits journaliers de l'Adour maritime en juin 2011 (Source : BD hydro)

Les débits de l'Adour maritime sont faibles pour un mois de juin. Le module mensuel est de $184 \text{ m}^3/\text{s} \pm 85 \text{ m}^3/\text{s}$ (moyenne 1956 – 2010 = $318 \text{ m}^3/\text{s} \pm 124 \text{ m}^3/\text{s}$). On observe un pic de débit le 8 juin ($440 \text{ m}^3/\text{s}$)

4.6.3. Conditions météorologiques

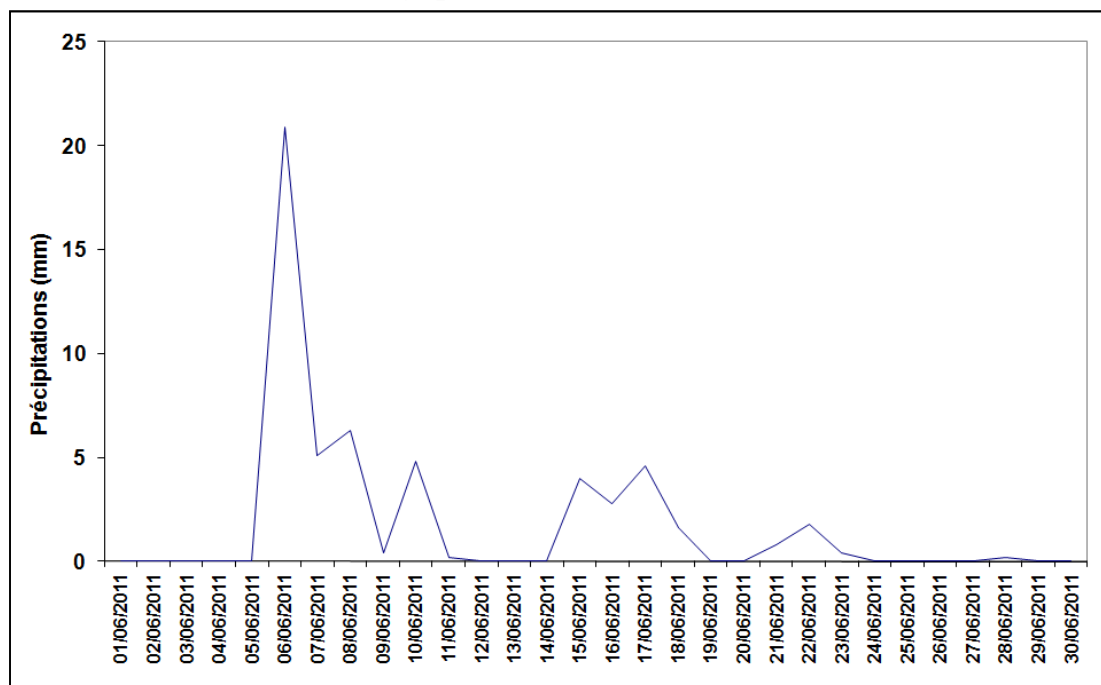


Figure 96 : Evolution des précipitations journalières en juin 2011 (Source : Météo France)

Les précipitations du mois de juin sont relativement faibles. Le cumul mensuel est de 54 mm (moyenne 1956 – 2010 = $90 \text{ mm} \pm 51 \text{ mm}$). On observe un pic de précipitation le 06 juin (21 mm).

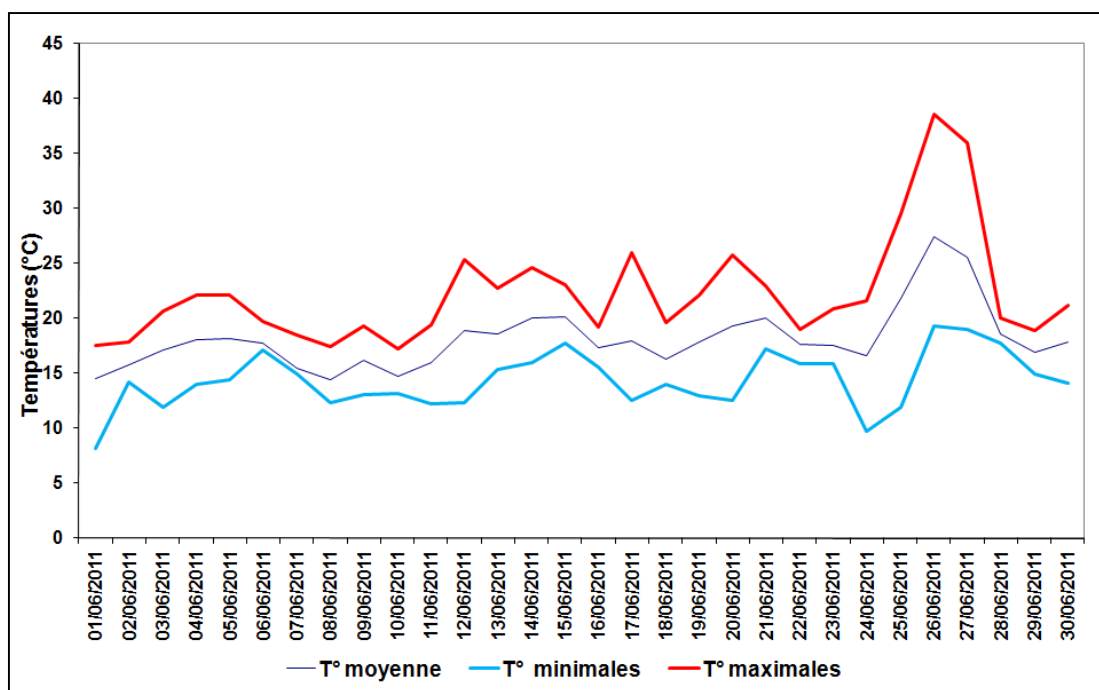


Figure 97 : Evolution des températures journalières en juin 2011 (Source : Météo France)

Le mois de juin est caractérisé par des températures de saison. La température moyenne du mois de juin 2011 est de 18,2°C +/- 2,9°C (moyenne 1956 – 2010 = 17,8 °C +/- 2,8 °C).

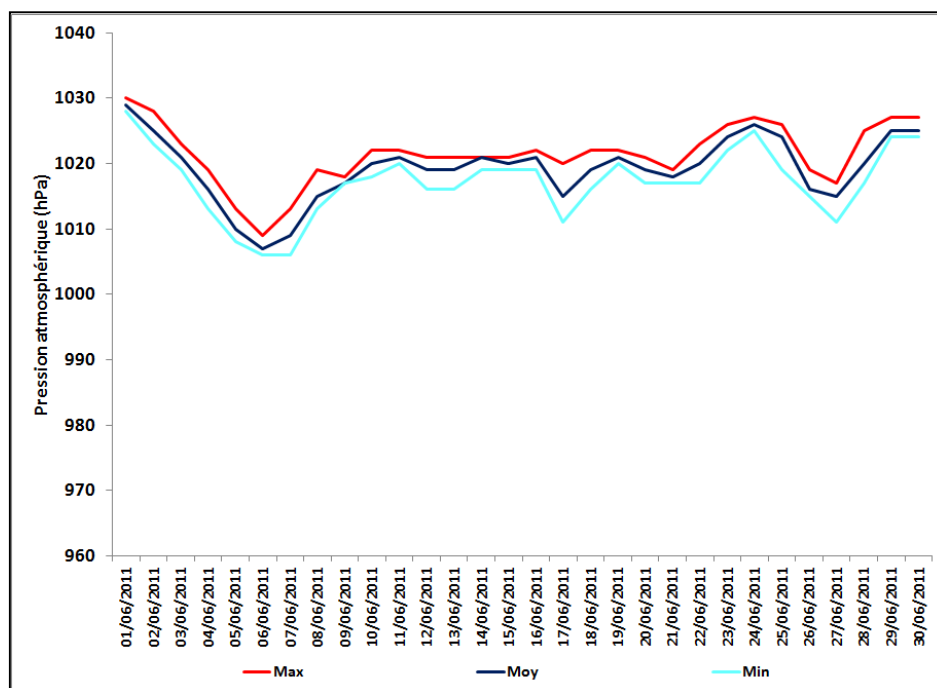


Figure 98 : Evolution journalière de la pression atmosphérique (Source : Weather underground)

Le mois de juin 2011 est marqué par un régime de hautes pressions atmosphériques. La pression moyenne est de 1 019 hPa +/- 5 hPa.

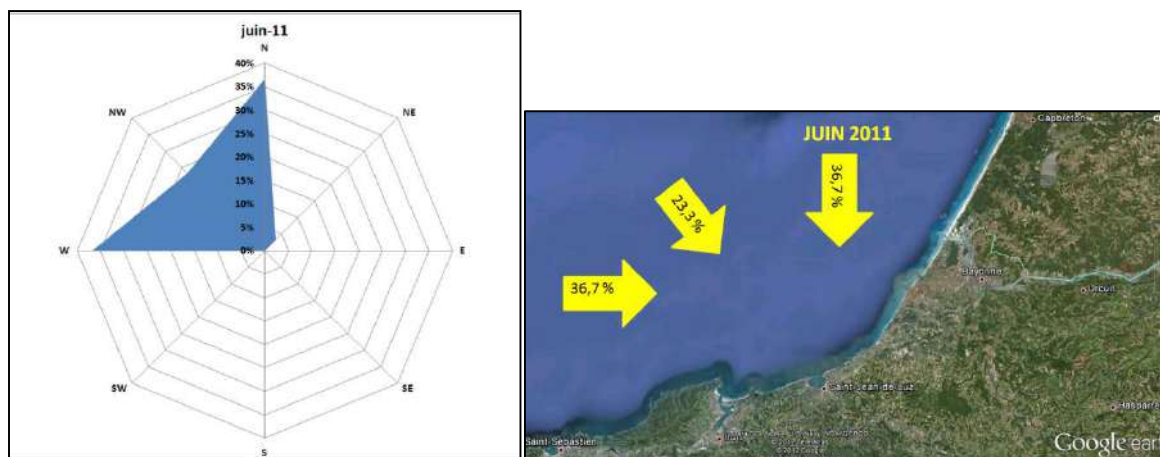


Figure 99 : Rose des vents du mois de juin 2011 (Source : Météo France)

Les vents dominants en juin 2011 sont respectivement de secteur Ouest, Nord et Nord-Ouest.

4.6.4. Conditions océanographiques

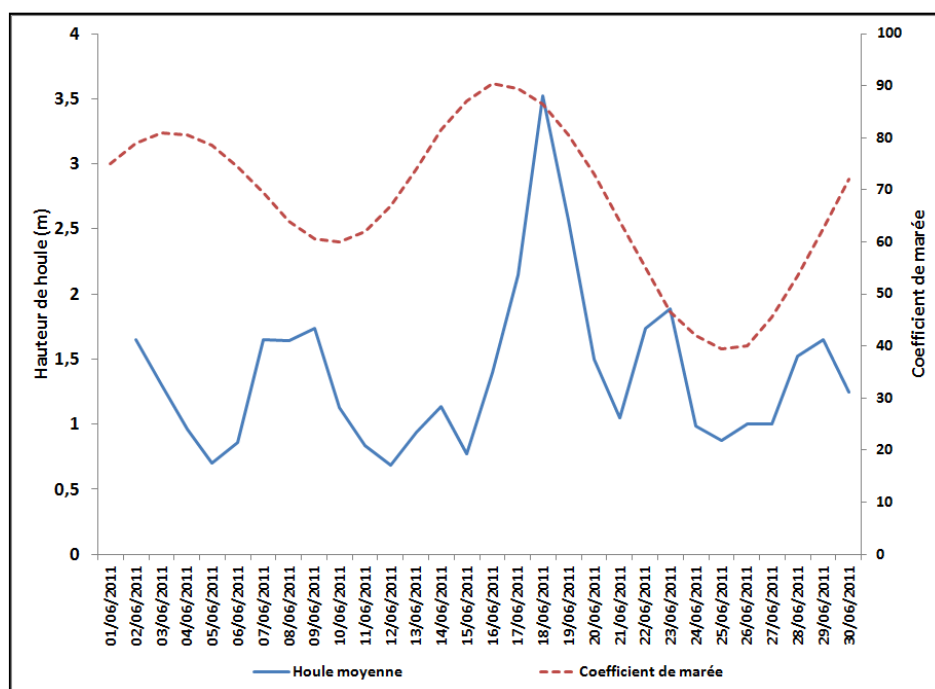


Figure 100 : Evolution de la houle journalière en juin 2011 (Source : Windguru)

En juin 2011, la mer est relativement peu agitée. La houle moyenne est de 1,4 m +/- 0,6 m. Un épisode de forte houle est survenu entre le 17 et le 19 juin.

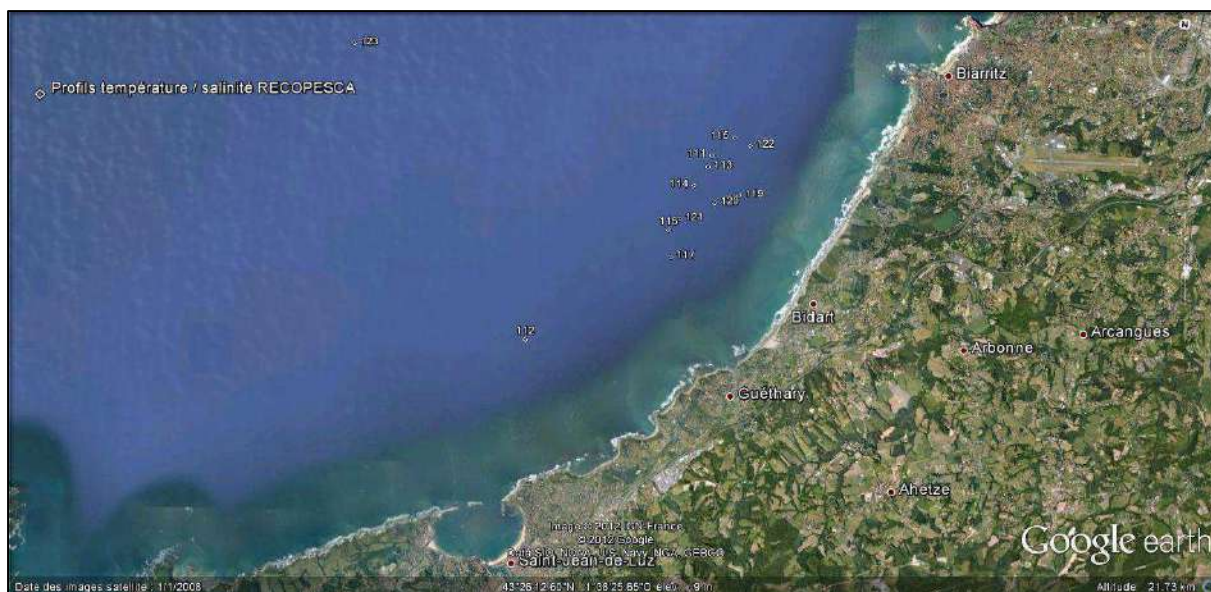


Figure 101 : Localisation des profils température salinité en juin 2011 (Source : Google Earth / IMA)

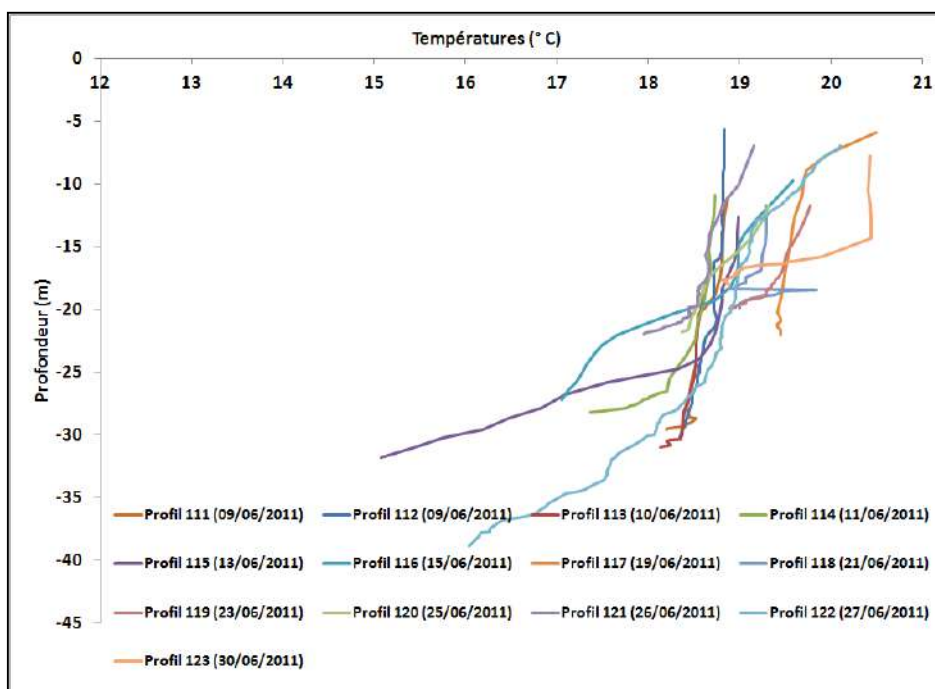


Figure 102 : Profils verticaux de la température en juin 2011 (Source : RECOPECA, Ifremer)

La température varie de 15 à 20,5 °C. La forte houle de fin mai a détruit la thermocline (profils 111 à 114). Elle réapparaît le 15 juin (profil 116) à 18 m sur un fond de 30 mètres. L'épisode de forte houle du 17 au 19 juin la détruit à nouveau (profils 117 à 119). Elle se reforme à partir du 25 juin pour être bien présente en fin de mois à 14 m sur un fond de 20 mètres (profil 123) et à 25 m sur des fonds de 40 m (profil 122).

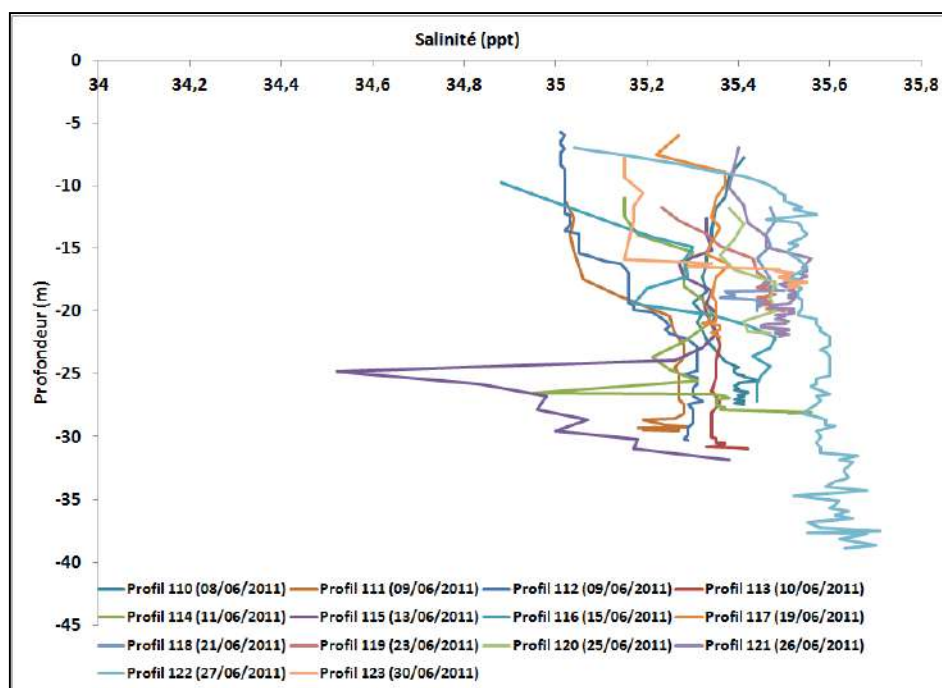


Figure 103 : Profils verticaux de la salinité en juin 2011 (Source : RECOPECA, Ifremer)

La salinité varie de 34,4 (en surface) à 35,7 ‰ (au fond). La colonne d'eau est globalement homogène tout au long du mois. Suite au fort débit de l'Adour de début juin, on observe une halocline entre le 11 (profil 114) et le 13 juin (profil 115) aux alentours de 25 m.

4.6.5. Synthèse du mois de juin

Le mois de juin est caractérisé par :

- une augmentation de la présence du «LIGA» dans la colonne d'eau et au fond sur le littoral basque,
- des débits faibles de l'Adour,
- de faibles précipitations,
- un régime de hautes pressions,
- des vents dominants d'Ouest, Nord, Nord-Ouest,
- des températures de saison,
- une mer peu agitée,
- la formation mi-juin d'une thermocline et d'une dessalure marquée des eaux de surface.

4.7. Juillet 2011

4.7.1. Observations de «LIGA»

En juillet 2011, 56 observations de «LIGA» ont été réalisées par les pêcheurs professionnels.

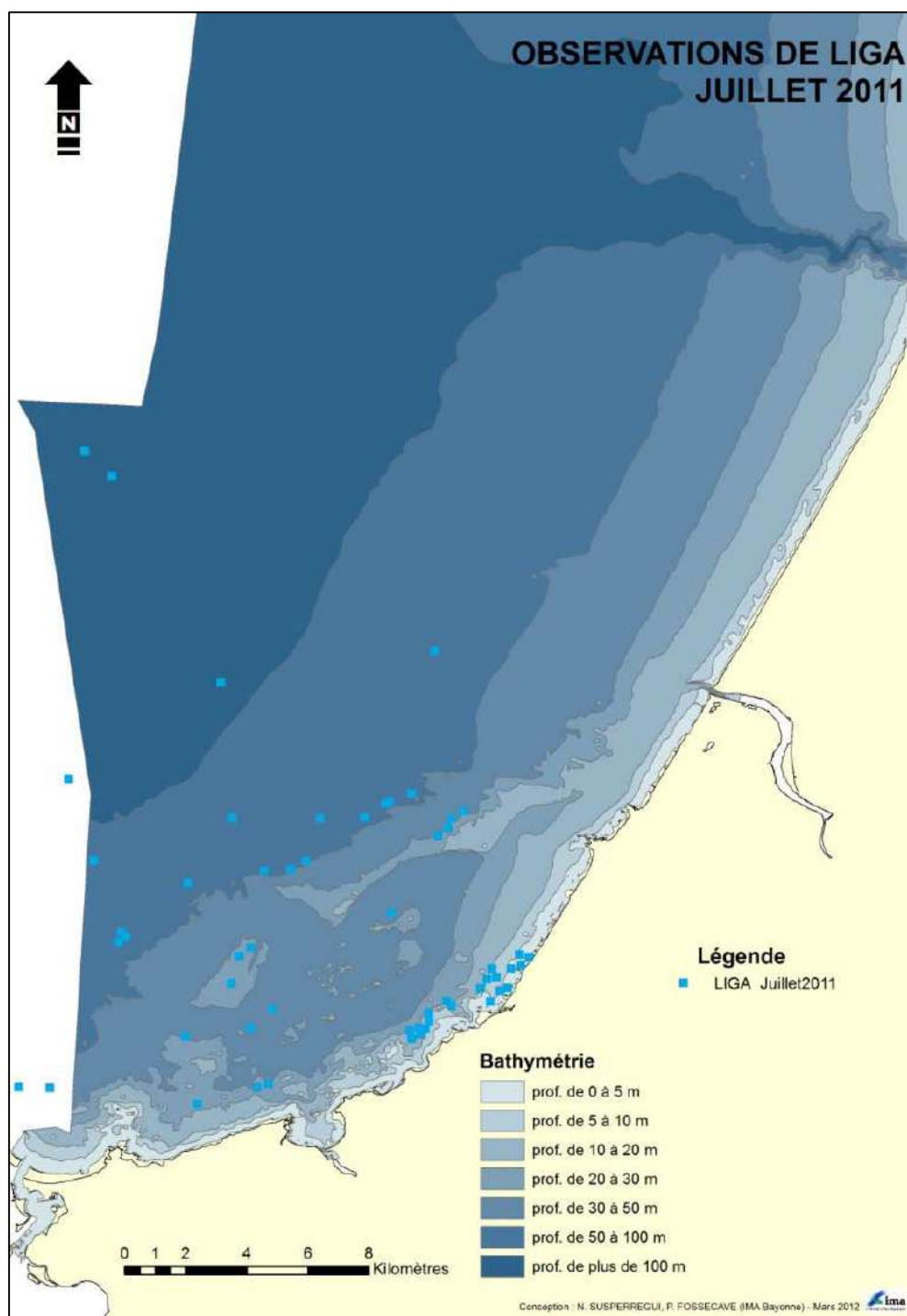


Figure 104 : Observations de «LIGA» en juillet 2011

En juillet 2011, le «LIGA» est principalement présent en zone côtière en pleine eau et au fond sur des fonds inférieurs à 10 m et supérieurs à 50 m. On note toutefois une baisse d'abondance en pleine eau et une augmentation de la fréquence sur le fond. La majorité des observations sont réalisées dans la première quinzaine.

4.7.2. Conditions hydrologiques de l'Adour

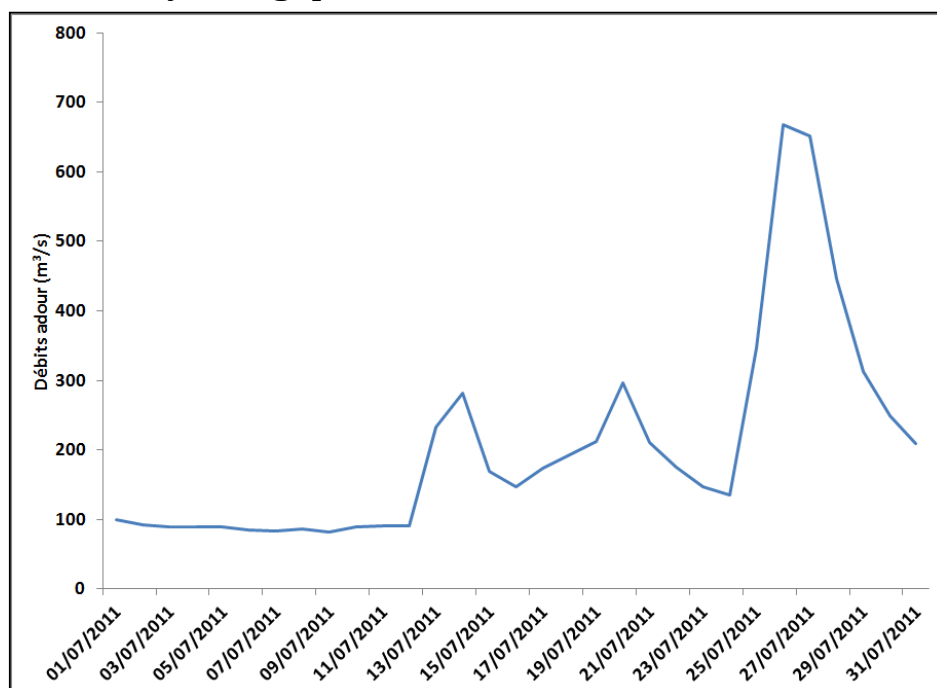


Figure 105 : Evolution des débits journaliers de l'Adour maritime en juillet 2011 (Source : BD hydro)

Les débits de l'Adour maritime sont moyens pour un mois de juillet. Le module mensuel est de $204 \text{ m}^3/\text{s} \pm 152 \text{ m}^3/\text{s}$ (moyenne 1956 – 2010 = $175 \text{ m}^3/\text{s} \pm 81 \text{ m}^3/\text{s}$). On observe 3 pics de débits les 14 ($282 \text{ m}^3/\text{s}$), 20 ($297 \text{ m}^3/\text{s}$) et 26 juillet ($668 \text{ m}^3/\text{s}$).

4.7.3. Conditions météorologiques

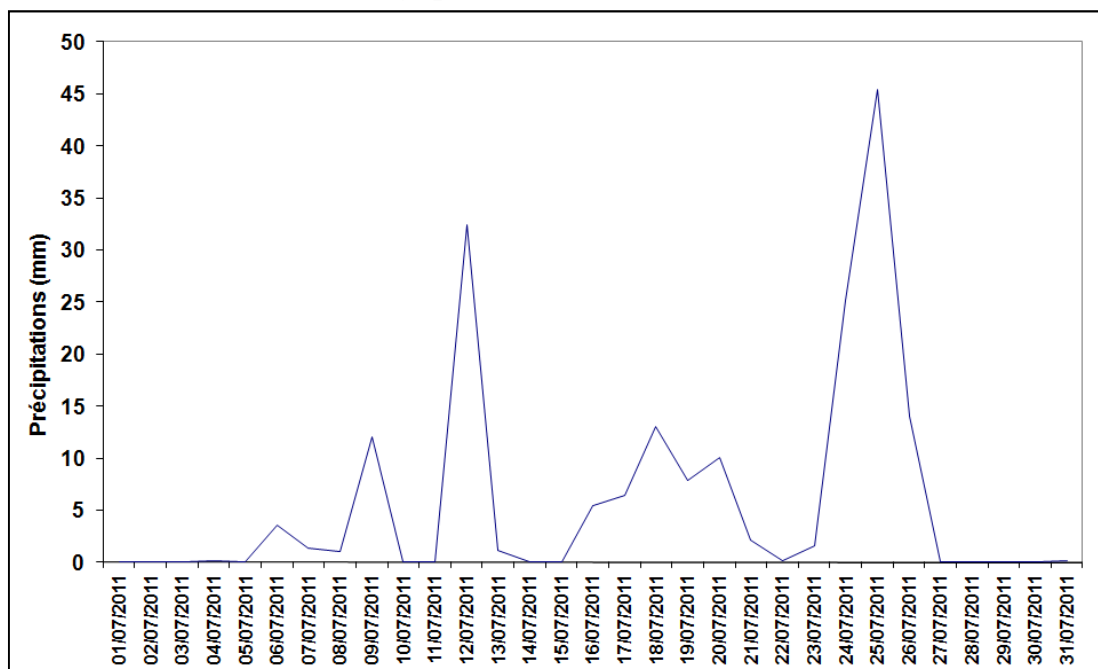


Figure 106 : Evolution des précipitations journalières en juillet 2011 (Source : Météo France)

Les précipitations du mois de juillet sont fortes. Le cumul mensuel est de 184 mm (moyenne 1956 – 2010 = 73 mm \pm 44 mm). On observe deux gros épisodes de précipitations le 12 (32 mm) et le 25 juillet (45 mm).

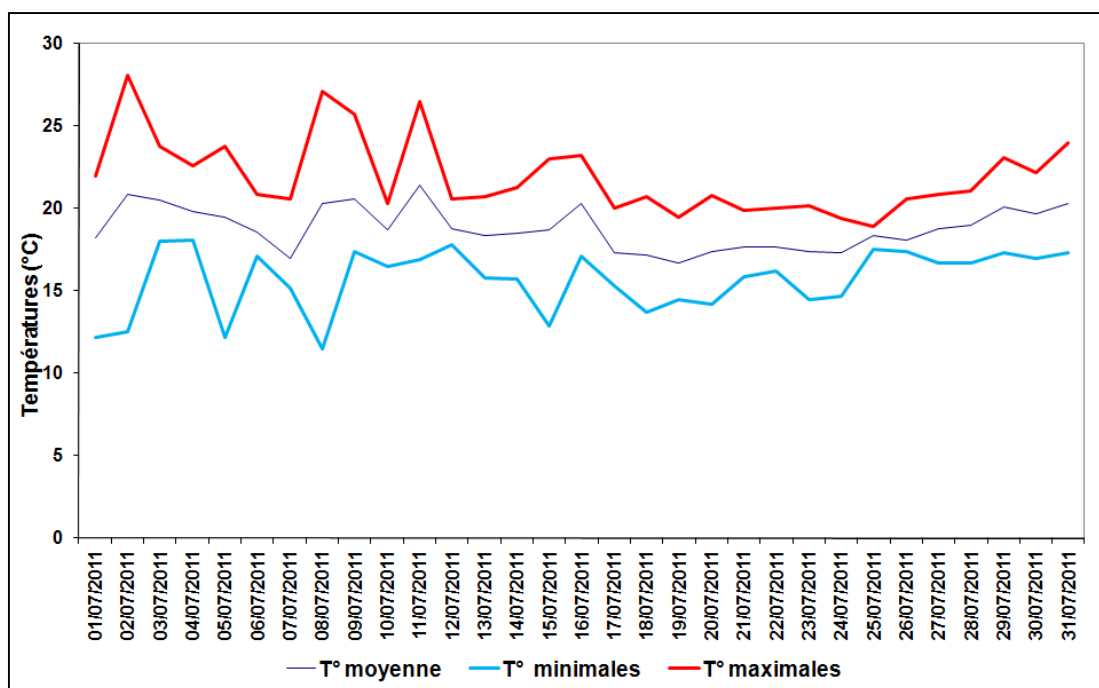


Figure 107 : Evolution des températures journalières en juillet 2011 (Source : Météo France)

Le mois de juillet est caractérisé par des températures basses pour la saison. La température moyenne du mois de juillet 2011 est de 18,8°C +/- 1,3°C (moyenne 1956 – 2010 = 19,9 °C +/- 2,5 °C).

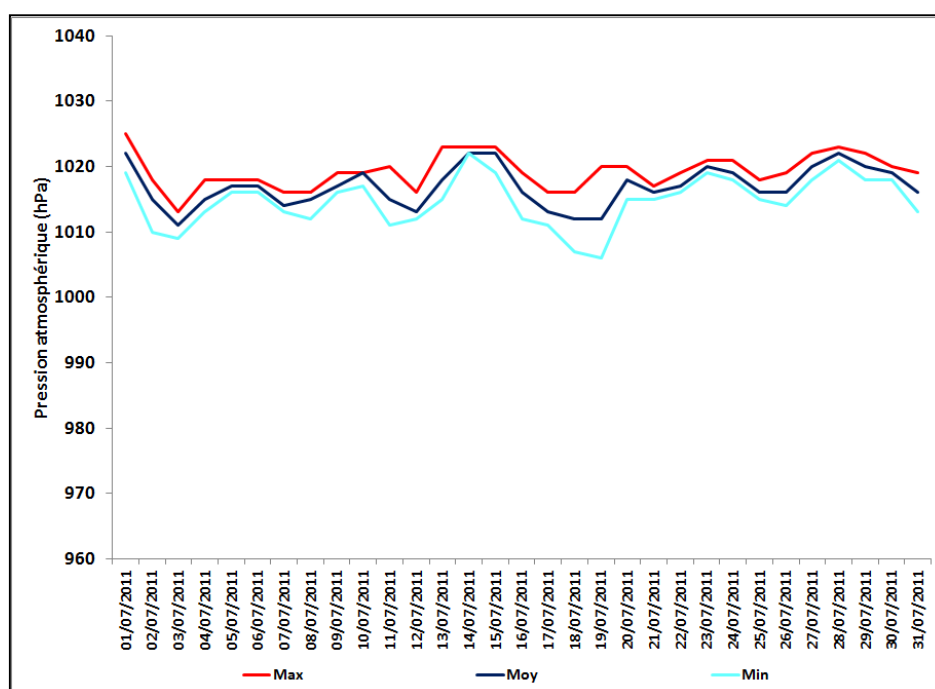


Figure 108 : Evolution journalière de la pression atmosphérique (Source : Weather underground)

Le mois de juillet 2011 est marqué par un régime de basses pressions atmosphériques. La pression moyenne est de 1 017 hPa +/- 3 hPa.

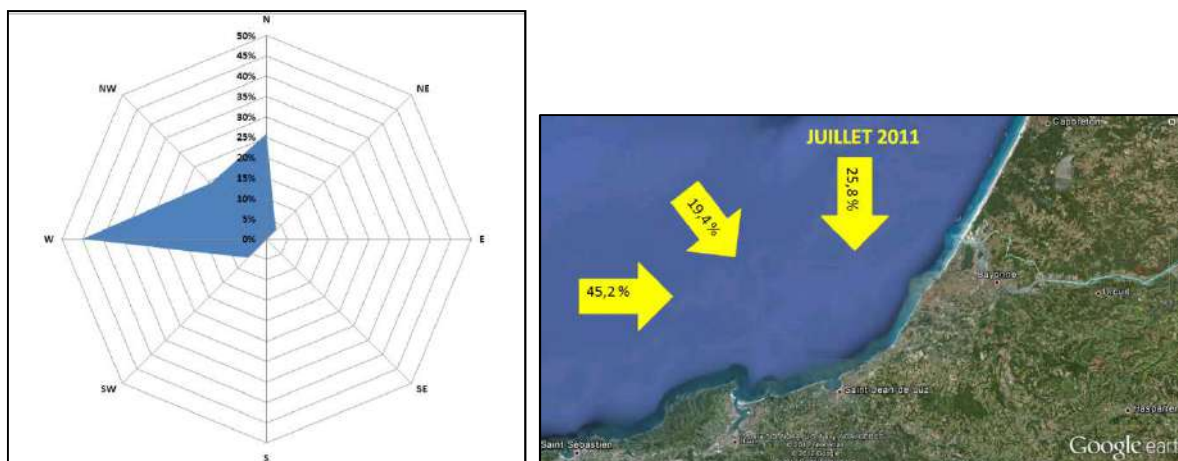


Figure 109 : Rose des vents du mois de juillet 2011 (Source : Météo France)

Les vents dominants en juillet 2011 sont respectivement de secteur Ouest, Nord et Nord-Ouest.

4.7.4. Conditions océanographiques

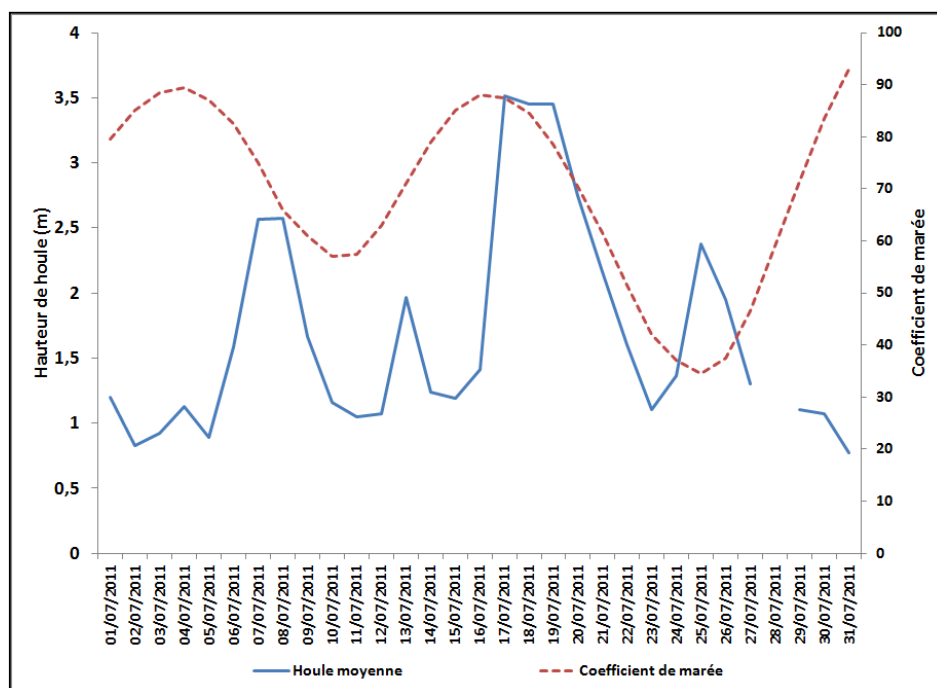


Figure 110 : Evolution de la houle journalière en juillet 2011 (Source : Windguru)

En juillet 2011, la mer est relativement agitée. La houle moyenne est de 1,7 m +/- 0,2 m. Deux épisodes de forte houle sont survenus entre le 07 et le 08 juillet et entre le 17 et le 21 juillet.

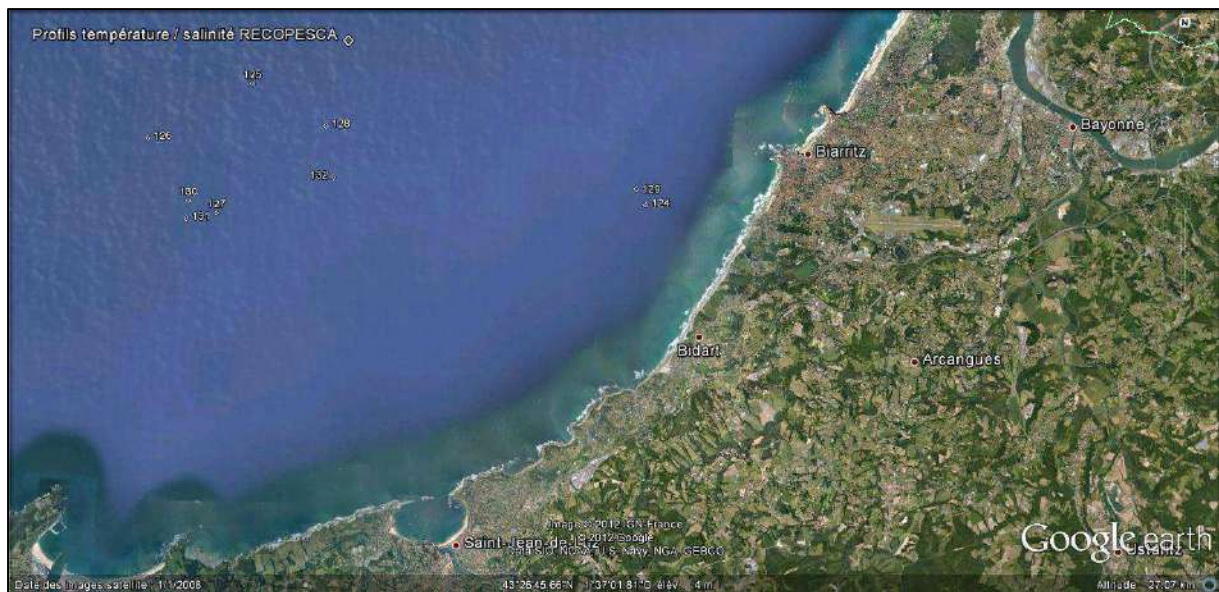


Figure 111 : Localisation des profils température salinité en juillet 2011 (Source : Google Earth / IMA)

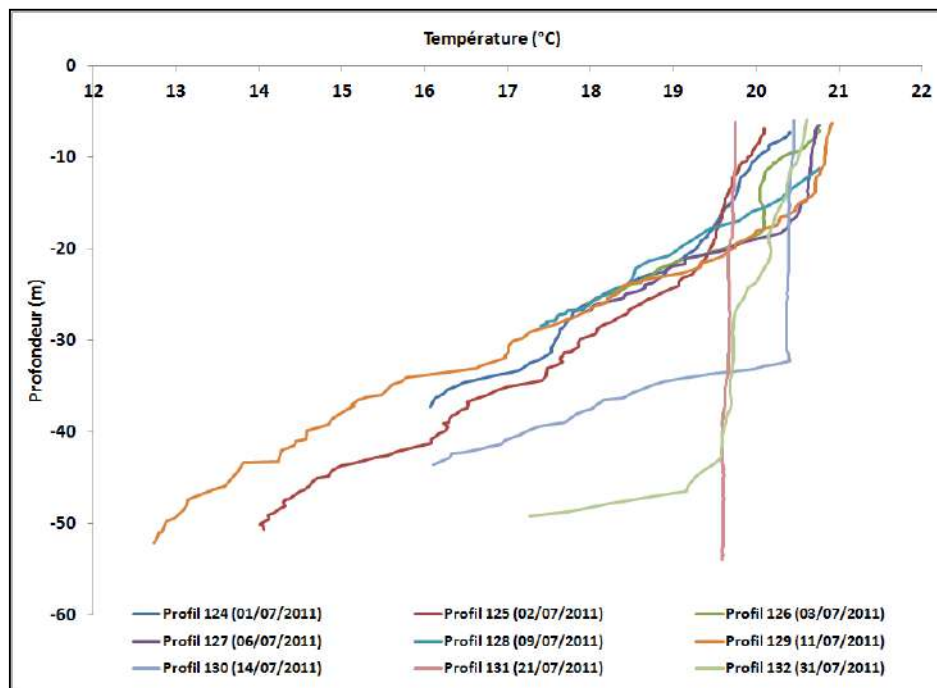


Figure 112 : Profils verticaux de la température en juillet 2011 (Source : RECOPECA, Ifremer)

La température varie de 13 °C (au fond) à 21 °C (en surface). Jusqu'au 11 juillet, la thermocline est présente entre 15 et 20 mètres (profils 124 à 129). Le 14 juillet (profil 130), elle est marquée à 32 m sur un fond de 45 m. Le 21 juillet (profil 131), la thermocline est cassée suite au fort épisode de houle ayant démarré le 17. A la fin du mois (profil 132), elle commence à se reformer à 43 m sur un fond de 50 m.

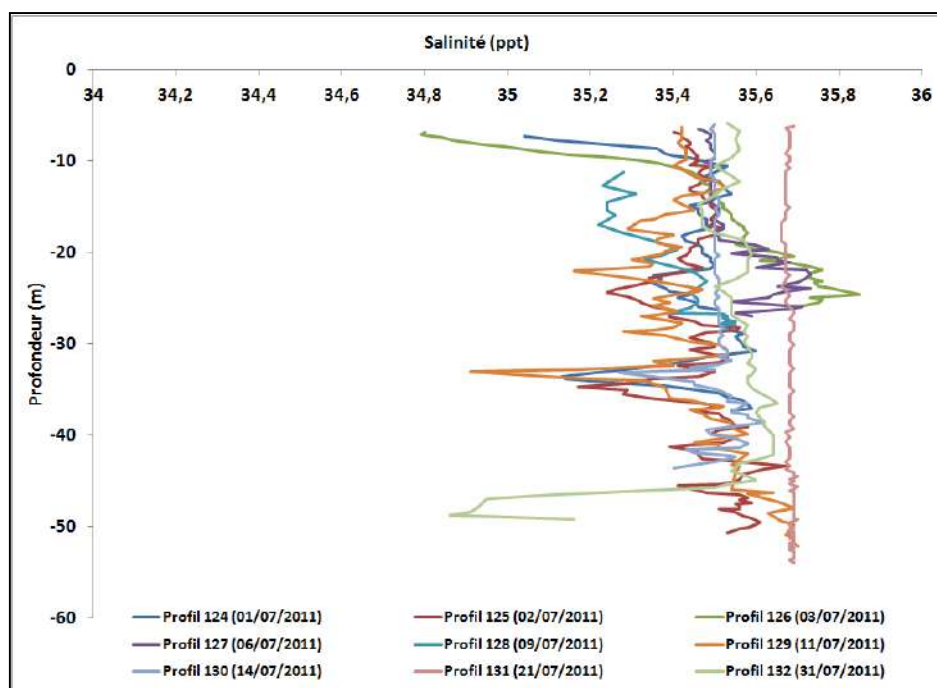


Figure 113 : Profils verticaux de la salinité en juillet 2011 (Source : RECOPECA, Ifremer)

La salinité varie entre 34,8 (en surface) et 35,8 ‰ (en pleine eau). Jusqu'au 21 juillet (profils 124 à 130), on observe une dessalure des eaux vers 35 mètres de profondeur. Le 21 juillet (profil 131), la forte houle du 17 au 21 a homogénéisé la colonne d'eau. Le 31 juillet (profil 132), on observe une colonne d'eau homogène jusqu'à 45 m puis une forte dessalure sur le fond.

4.7.5. Synthèse du mois de juillet

Le mois de juillet est caractérisé par :

- une baisse de la présence du «LIGA» dans la colonne d'eau et une augmentation de sa fréquence sur le fond,
- des débits moyens de l'Adour,
- de fortes précipitations,
- un régime de basses pressions pour la saison,
- des vents dominants d'Ouest, Nord, Nord-Ouest,
- des températures de l'air fraîches pour la saison,
- une mer relativement agitée,
- une thermocline marquée au début du mois puis cassée par l'épisode de houle de mi-juillet.

4.8. Août 2011

4.8.1. Observations de «LIGA»

En août 2011, 24 observations de «LIGA» ont été réalisées par les pêcheurs professionnels.

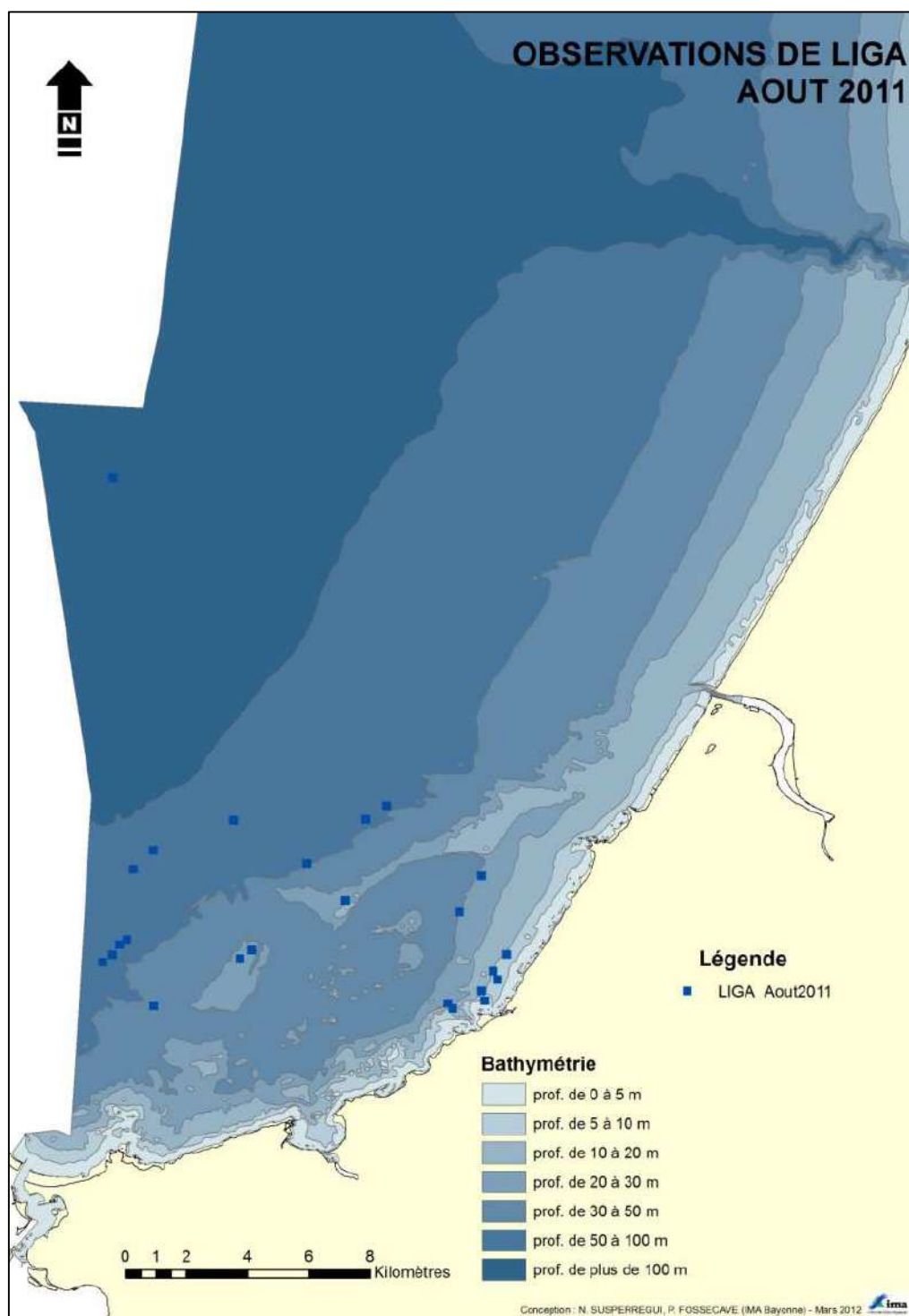


Figure 114 : Observations de «LIGA» en août 2011

En août 2011, le «LIGA» est principalement présent en zone côtière au fond. On note une baisse d'abondance en pleine eau et une augmentation sur le fond. Les observations sont réalisées ponctuellement en début du mois.

4.8.2. Conditions hydrologiques de l'Adour

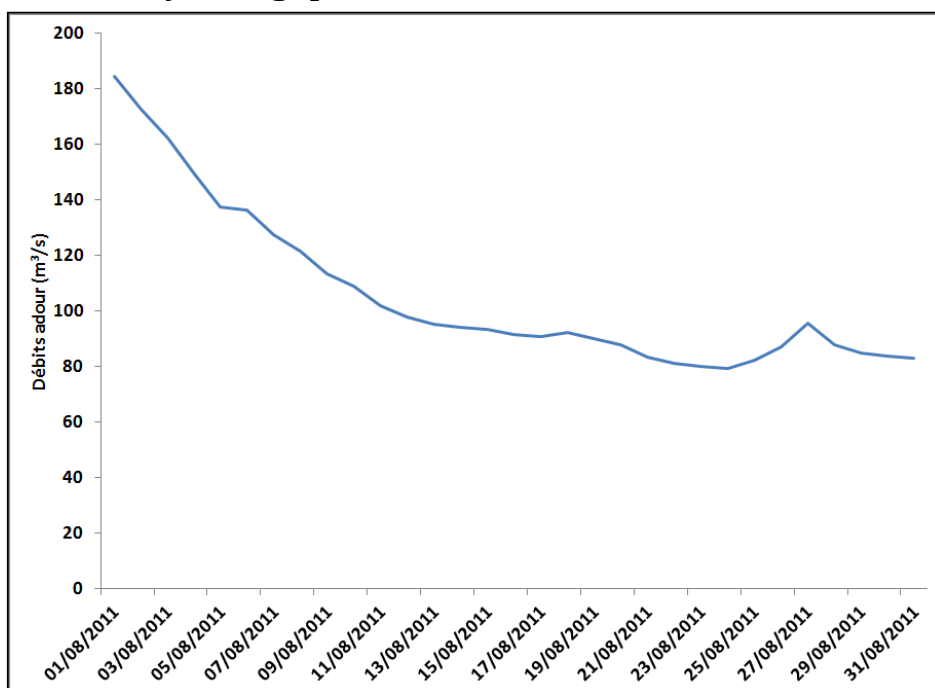


Figure 115 : Evolution des débits journaliers de l'Adour maritime en août 2011 (Source : BD hydro)

Les débits de l'Adour maritime sont moyens pour un mois d'août. Le module mensuel est de $105 \text{ m}^3/\text{s} \pm 29 \text{ m}^3/\text{s}$ (moyenne 1956 – 2010 = $122 \text{ m}^3/\text{s} \pm 69 \text{ m}^3/\text{s}$).

4.8.3. Conditions météorologiques

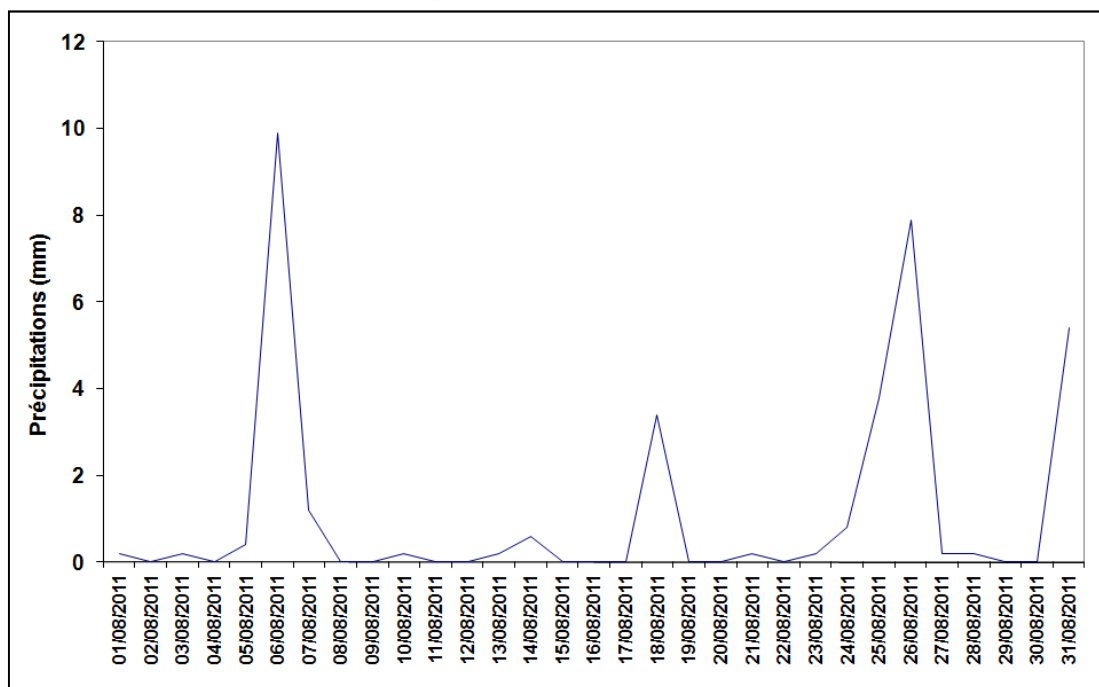


Figure 116 : Evolution des précipitations journalières en août 2011 (Source : Météo France)

Les précipitations du mois d'août sont faibles. Le cumul mensuel est de 35 mm (moyenne 1956 – 2010 = 100 mm \pm 69 mm).

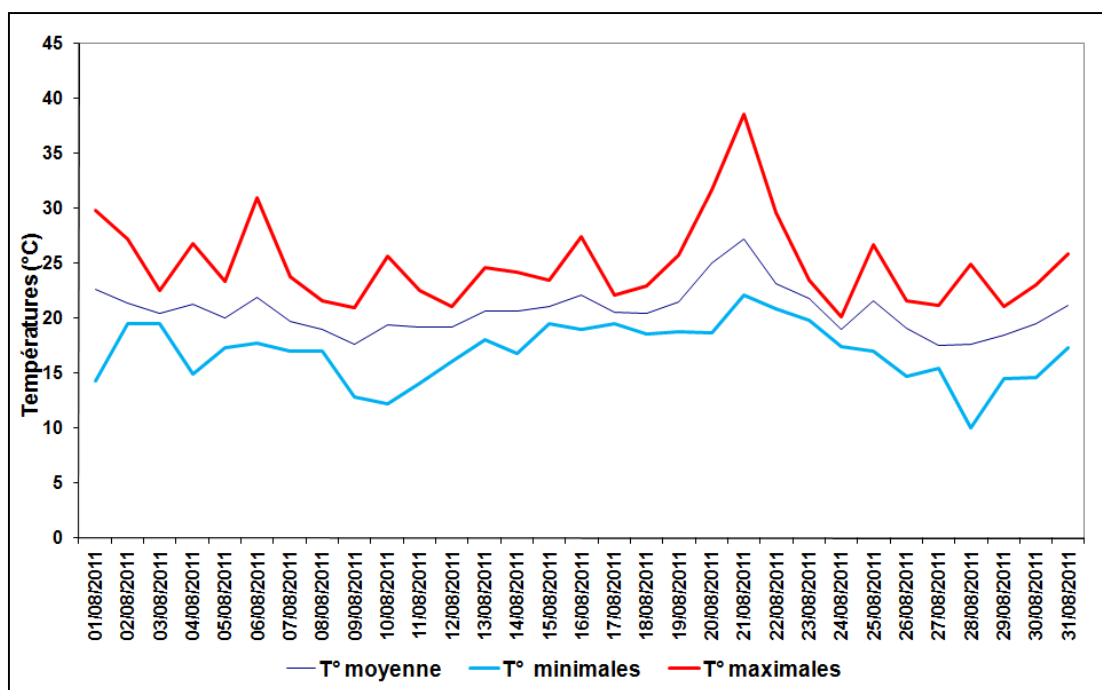


Figure 117 : Evolution des températures journalières en août 2011 (Source : Météo France)

Le mois d'août est caractérisé par des températures de saison. La température moyenne du mois d'août 2011 est de 20,6 °C +/- 2 °C (moyenne 1956 – 2010 = 20,3 °C +/- 2,4 °C).

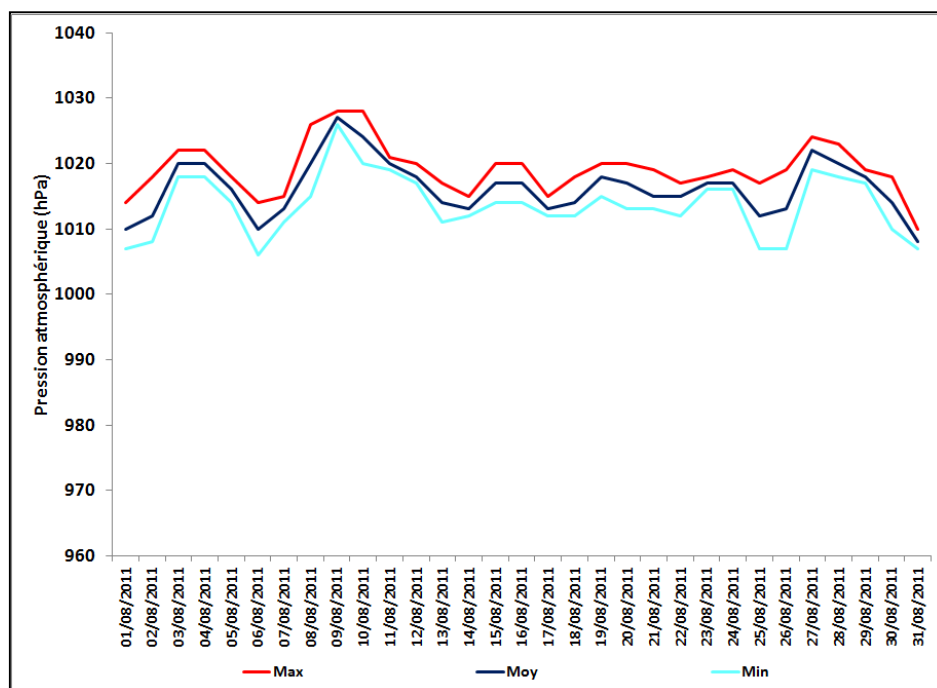


Figure 118 : Evolution journalière de la pression atmosphérique (Source : Weather underground)

Le mois d'août 2011 est marqué par un régime de basses pressions atmosphériques. La pression moyenne est de 1 016 hPa +/- 4 hPa.

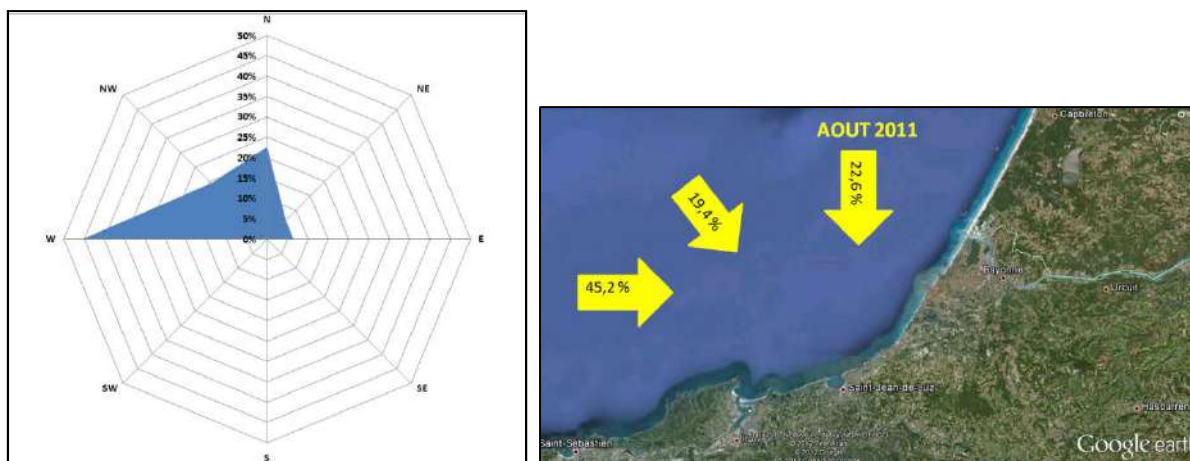


Figure 119 : Rose des vents du mois d'août 2011 (Source : Météo France)

Les vents dominants en août 2011 sont respectivement de secteur Ouest, Nord et Nord-Ouest.

4.8.4. Conditions océanographiques

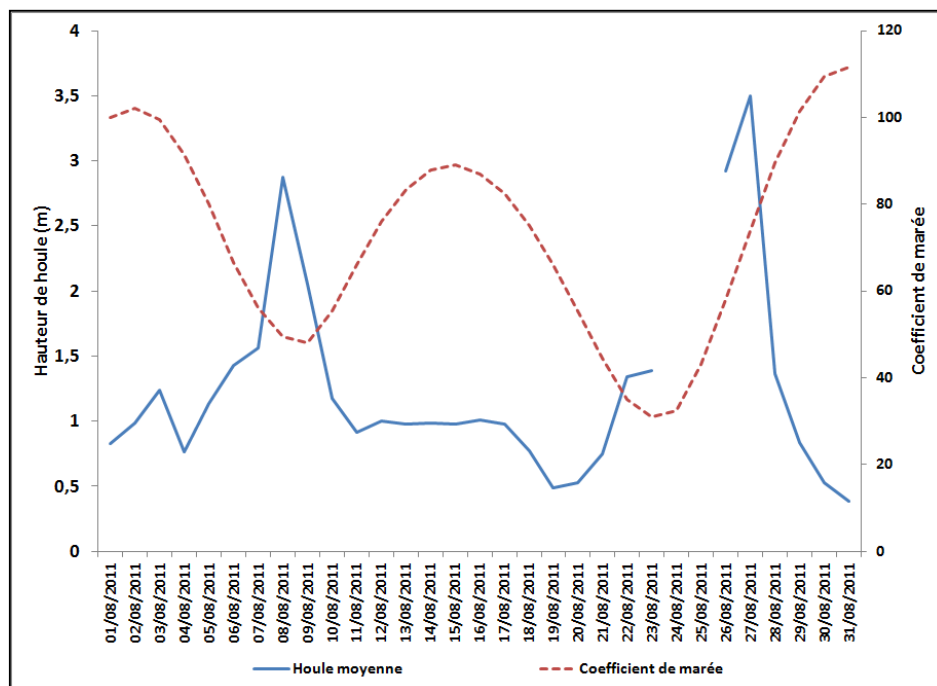


Figure 120 : Evolution de la houle journalière en août 2011 (Source : Windguru)

En août 2011, la mer est relativement peu agitée. La houle moyenne est de 1,2 m +/- 0,2 m. Deux épisodes de forte houle sont survenus entre le 08 et le 09 août et entre le 26 et le 27 août.

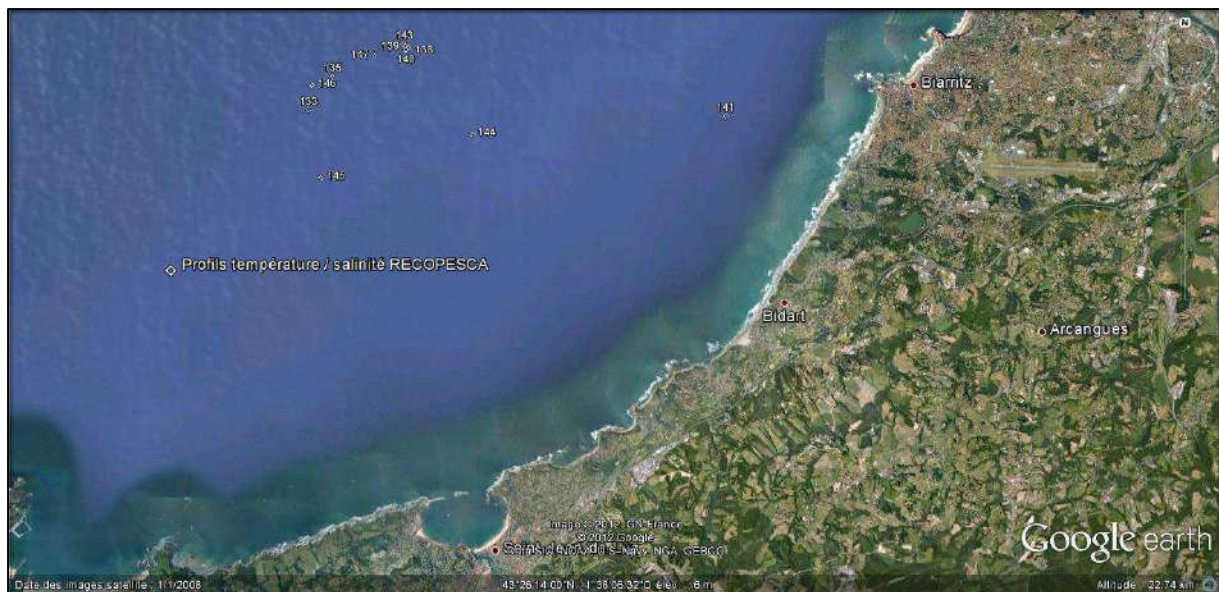


Figure 121 : Localisation des profils température salinité en août 2011 (Source : Google Earth / IMA)

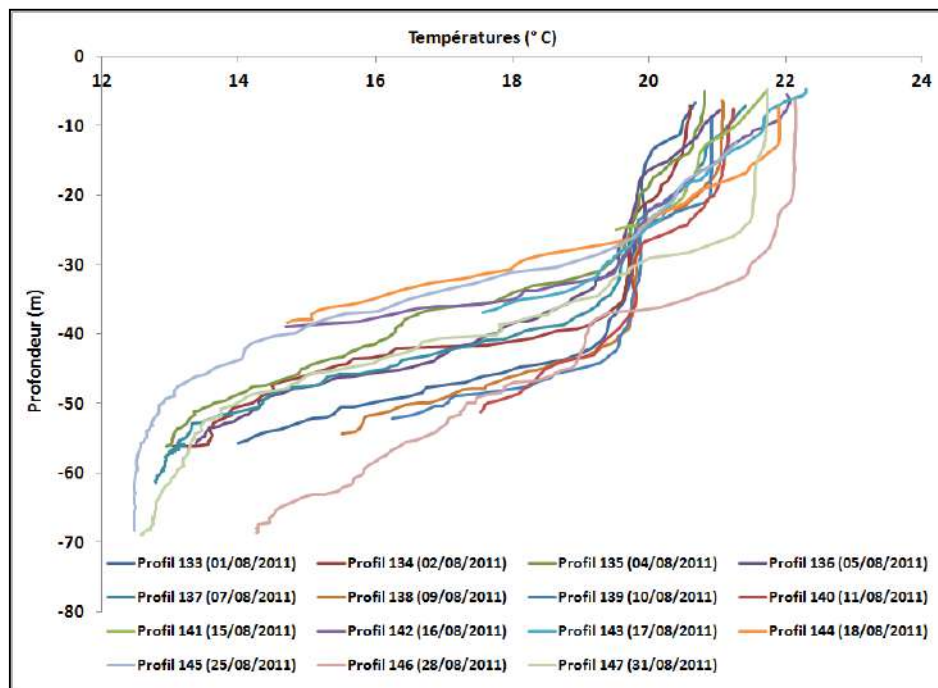


Figure 122 : Profils verticaux de la température en août 2011 (Source : RECOPECA, Ifremer)

La température varie de 12,4 °C (au fond) à 22,3 °C (en surface). La thermocline est bien marquée entre 15 et 30 mètres selon les profondeurs.

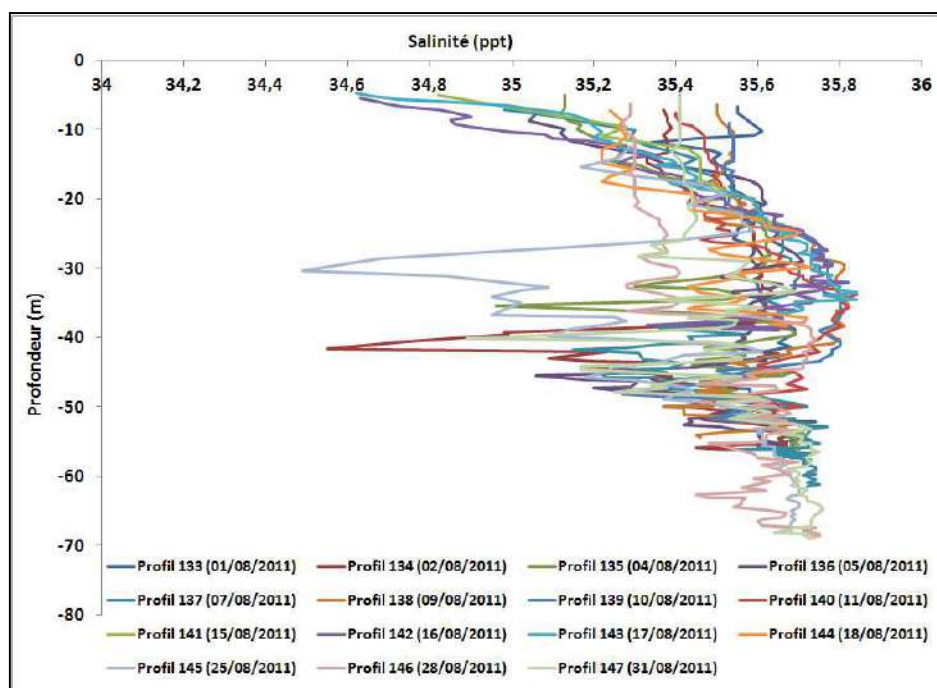


Figure 123 : Profils verticaux de la salinité en août 2011 (Source : RECOPECA, Ifremer)

La salinité varie de 34,4 (en surface) à 35,8 ‰ (en pleine eau). On observe des dessalures marquées en pleine eau (35 à 40 m) début août (profils 133 à 137) puis à 30 m le 25 août (profil 145).

4.8.5. Synthèse du mois d'août

Le mois d'août est caractérisé par :

- une baisse d'abondance du « LIGA » et une augmentation de sa fréquence sur le fond,
- des débits moyens de l'Adour,
- de faibles précipitations,
- un régime de basses pressions pour un mois d'août,
- des vents dominants d'Ouest, Nord, Nord-Ouest,
- des températures de l'air de saison,
- une mer peu agitée,
- une thermocline marquée et une faible dessalure des eaux de surface.

4.9. Septembre 2011

4.9.1. Observations de «LIGA»

En septembre 2011, 101 observations de «LIGA» ont été réalisées par les pêcheurs professionnels.

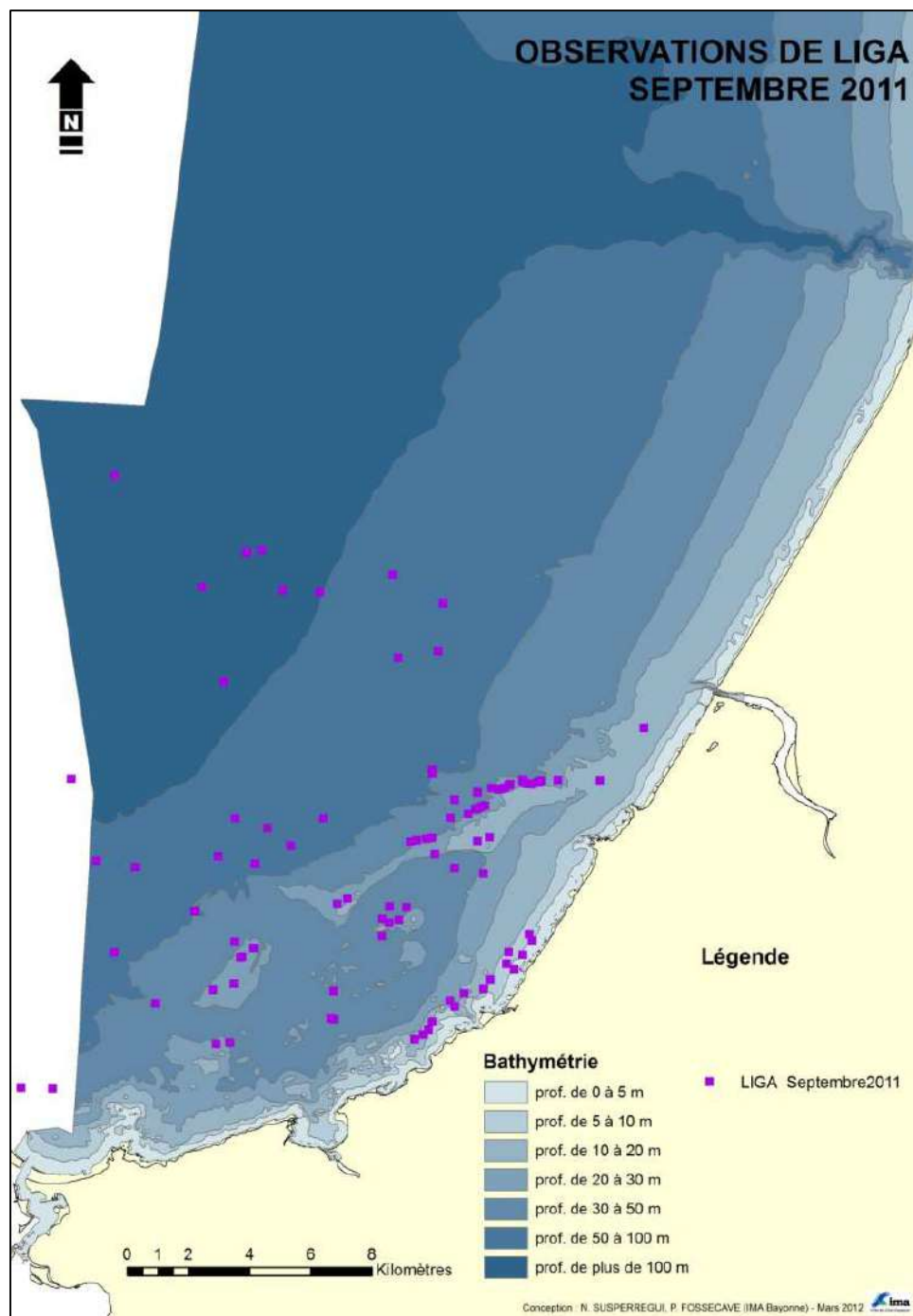


Figure 124 : Observations de «LIGA» en septembre 2011

Dans la première quinzaine de septembre 2011, le «LIGA» est principalement présent au fond et son abondance est en baisse. Lors de la deuxième quinzaine, il réapparaît en abondance dans la colonne d'eau. Selon le témoignage des pêcheurs, il n'a jamais été aussi abondant que pendant cette deuxième quinzaine.

4.9.2. Conditions hydrologiques de l'Adour

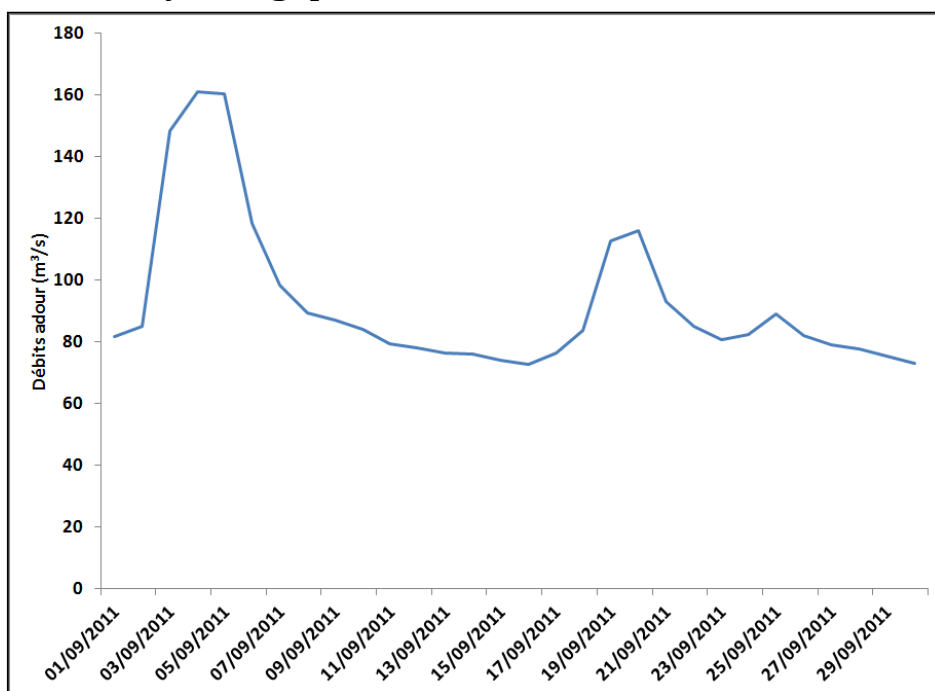


Figure 125 : Evolution des débits journaliers de l'Adour maritime en septembre 2011 (Source : BD hydro)

Les débits de l'Adour maritime sont faibles pour un mois de septembre. Le module mensuel est de $92 \text{ m}^3/\text{s} \pm 25 \text{ m}^3/\text{s}$ (moyenne 1956 – 2010 = $129 \text{ m}^3/\text{s} \pm 60 \text{ m}^3/\text{s}$). On observe deux pics de débit le 4 ($161 \text{ m}^3/\text{s}$) et le 20 septembre ($116 \text{ m}^3/\text{s}$).

4.9.3. Conditions météorologiques

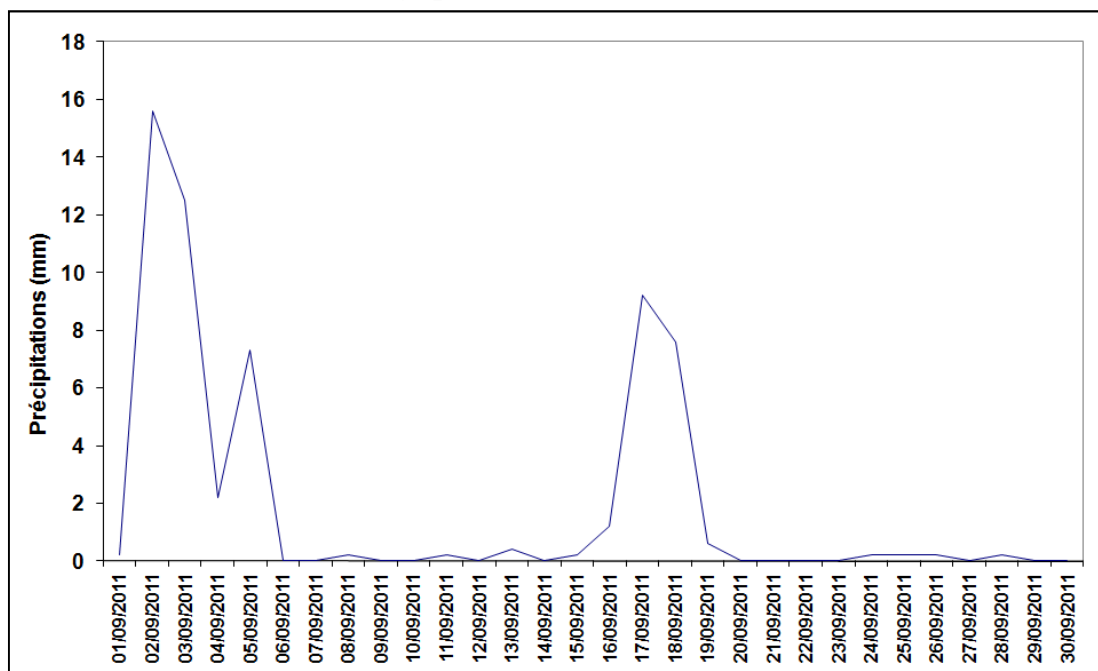


Figure 126 : Evolution des précipitations journalières en septembre 2011 (Source : Météo France)

Les précipitations du mois de septembre sont faibles. Le cumul mensuel est de 58 mm (moyenne 1956 – 2010 = $130 \text{ mm} \pm 81 \text{ mm}$). On observe deux épisodes orageux le 2 (15,6 mm) et le 17 (9,2 mm).

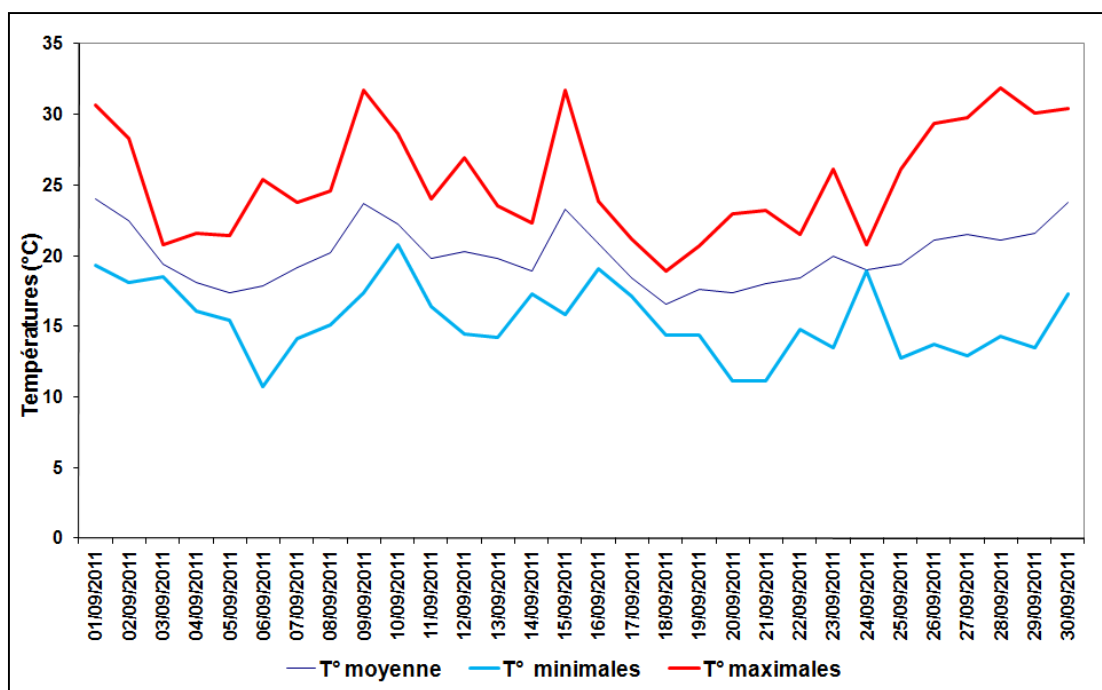


Figure 127 : Evolution des températures journalières en septembre 2011 (Source : Météo France)

Le mois de septembre est caractérisé par des températures élevées pour la saison. La température moyenne du mois de septembre 2011 est de 20 °C +/- 2 °C (moyenne 1956 – 2010 = 18,6 °C +/- 2,9 °C).

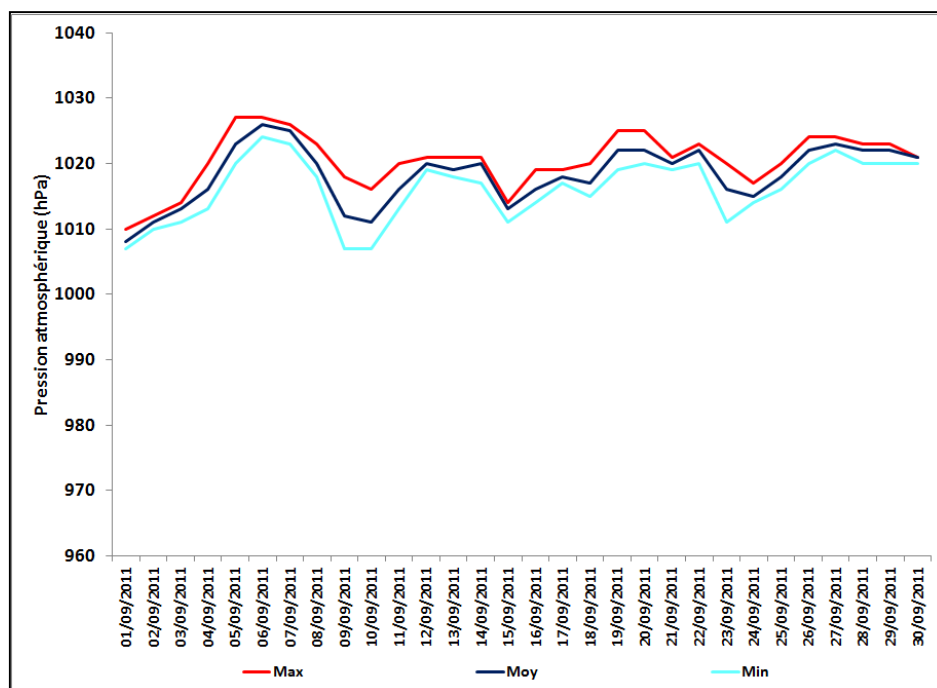


Figure 128 : Evolution journalière de la pression atmosphérique (Source : Weather underground)

Le mois de septembre 2011 est marqué par un régime de moyennes pressions atmosphériques. La pression moyenne est de 1 018 hPa +/- 4,5 hPa.

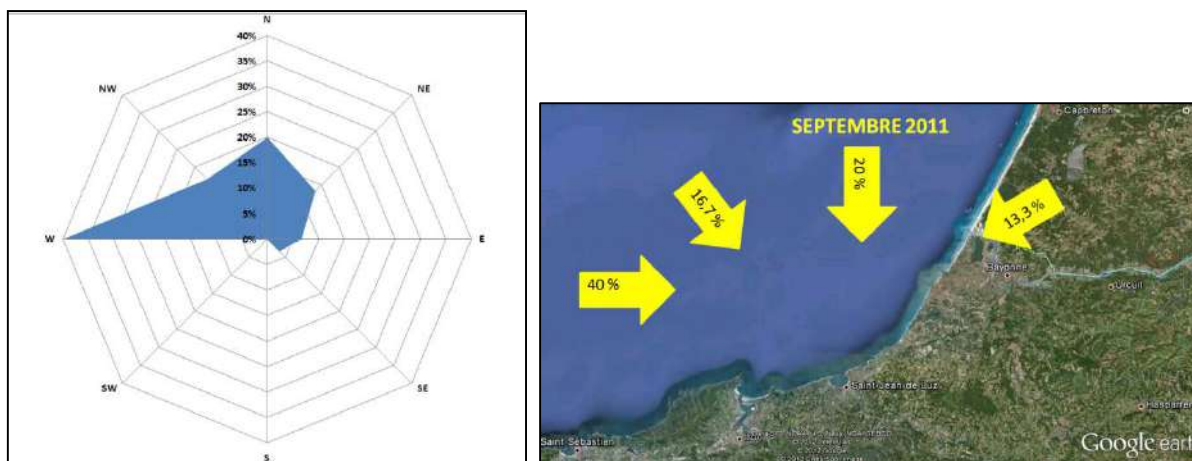


Figure 129 : Rose des vents du mois de septembre 2011 (Source : Météo France)

Les vents dominants en septembre 2011 sont respectivement de secteur Ouest, Nord, Nord-Ouest et Nord-Est.

4.9.4. Conditions océanographiques

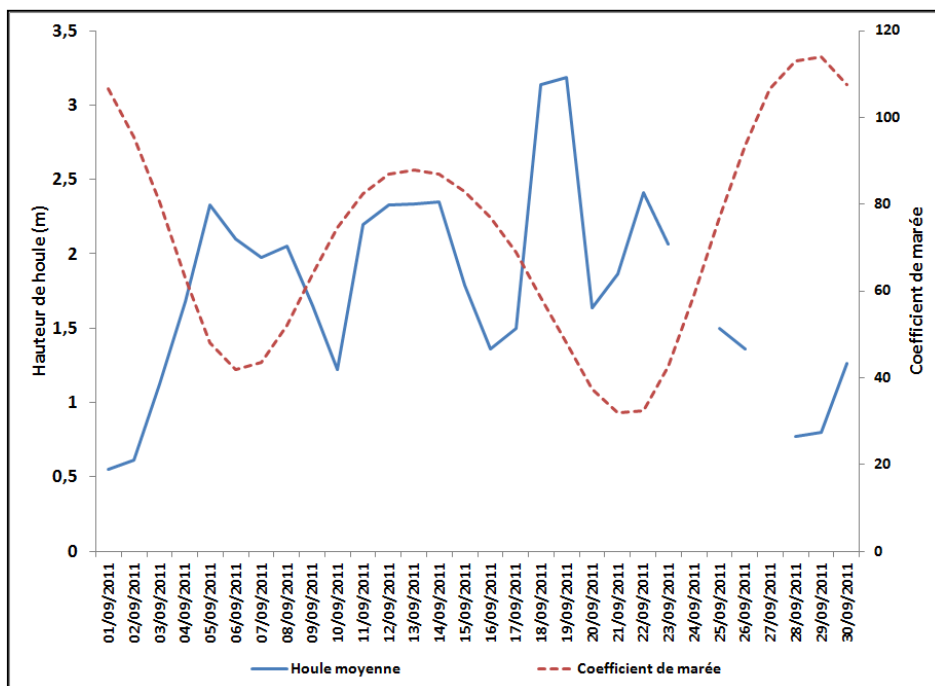


Figure 130 : Evolution de la houle journalière en septembre 2011 (Source : Windguru)

En septembre 2011, la mer est relativement agitée. La houle moyenne est de 1,8 m +/- 0,6 m. Trois épisodes de forte houle sont survenus entre le 05 et le 06 septembre, entre le 11 et le 14 septembre puis les 18 et 19 septembre. Le «LIGA» est réapparu en abondance après ce dernier épisode.



Figure 131 : Localisation des profils température salinité en septembre 2011
(Source : Google Earth / IMA)

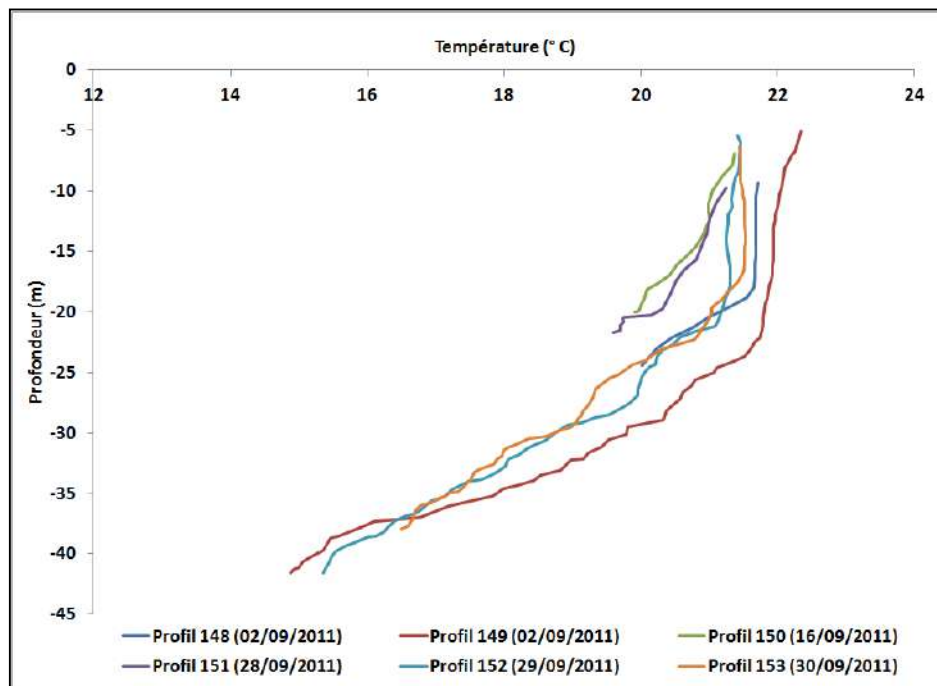


Figure 132 : Profils verticaux de la température en septembre 2011 (Source : RECOPECA, Ifremer)

La température varie de 14,8 (au fond) à 22,4 ° C (en surface). La thermocline reste bien marquée aux alentours de 15 à 20 m selon la profondeur du site.

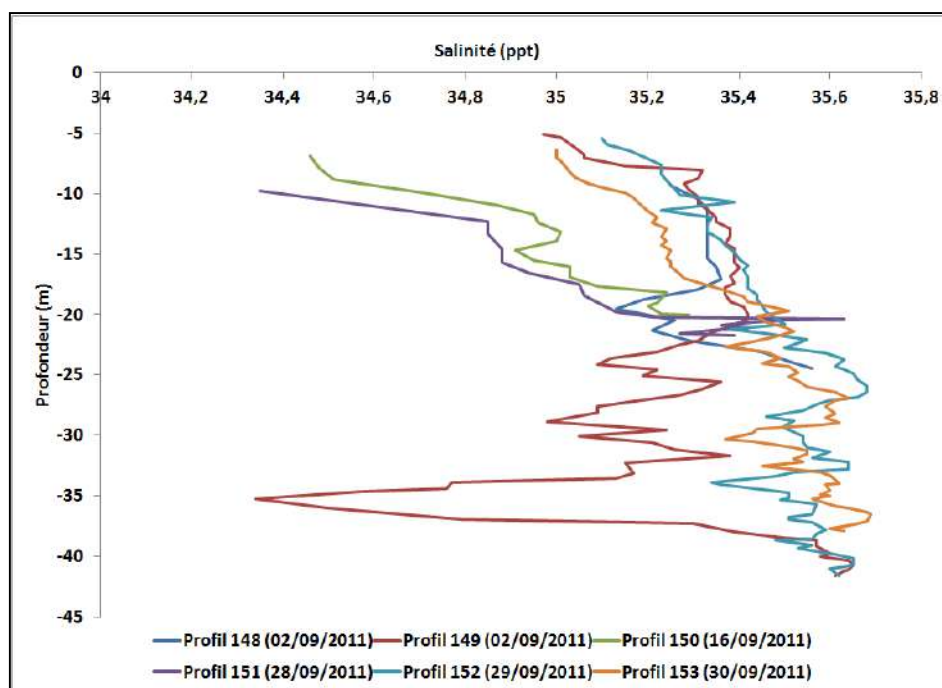


Figure 133 : Profils verticaux de la salinité en septembre 2011 (Source : RECOPECA, Ifremer)

La salinité varie de 34,3 (en surface) à 35,7 ‰ (en pleine eau). Le 19 septembre 2011, on observe une dessalure marquée des eaux de surface. Au début du mois, on observe une dessalure des eaux à 19 m sur des fonds de 25 m (profil (148)) et à 35 m sur des fonds de 40 m. A partir du 16 septembre (profil 150) et jusqu'au 28 septembre (profil 151), on observe une dessalure nette des eaux à partir de 10 m de profondeur.

4.9.5. Synthèse du mois de septembre

Le mois de septembre est caractérisé par :

- une augmentation de la présence du «LIGA» dans la colonne d'eau dans la deuxième quinzaine,
- des débits faibles de l'Adour,
- de faibles précipitations,
- un régime de moyennes pressions,
- des vents dominants d'Ouest, Nord, Nord-Ouest et Nord-Est,
- des températures de l'air élevées pour la saison,
- une mer relativement agitée,
- la présence d'une thermocline et d'une dessalure marquée des eaux pélagiques début septembre et de surface de mi à fin septembre.

4.10. Octobre 2011

4.10.1. Observations de «LIGA»

En octobre 2011, 84 observations de «LIGA» ont été réalisées par les pêcheurs professionnels.

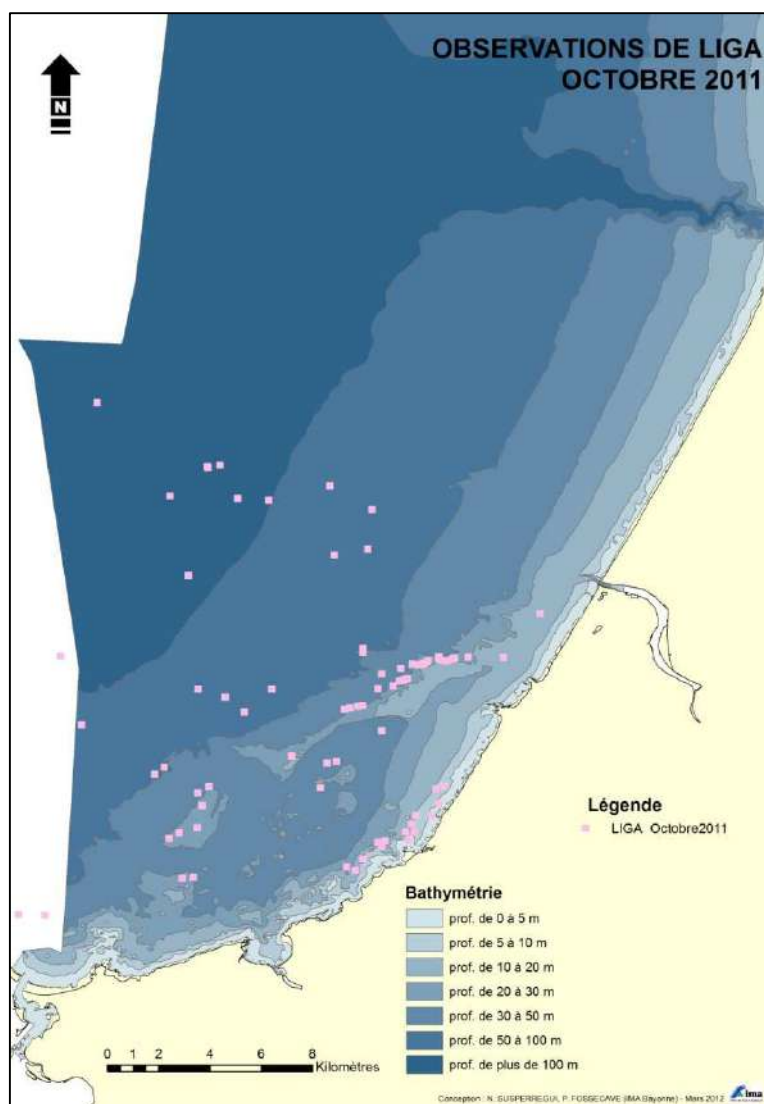


Figure 134 : Observations de «LIGA» en octobre 2011

En octobre 2011, le «LIGA» est présent en abondance en pleine eau et apparait peu à peu sur des fonds inférieurs à 10 m et supérieurs à 50 m. Le LIGA est présent tout au long du mois.



Figure 135 : Exemple de "LIGA" prélevé le 13 octobre 2011

4.10.2. Conditions hydrologiques de l'Adour

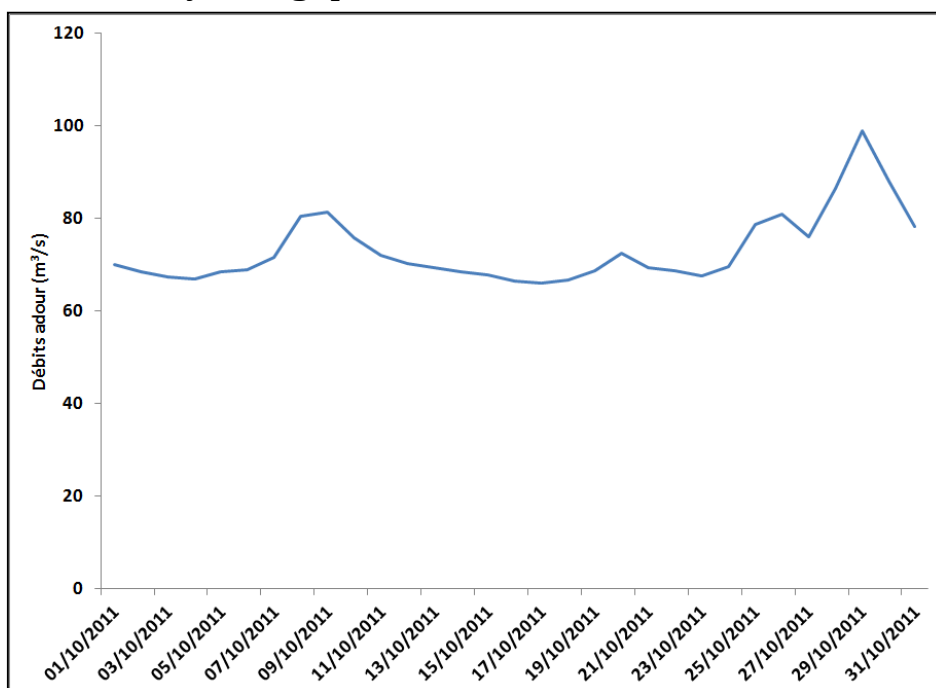


Figure 136 : Evolution des débits journaliers de l'Adour maritime en octobre 2011 (Source : BD hydro)

Les débits de l'Adour maritime sont faibles pour un mois d'octobre. Le module mensuel est de $73 \text{ m}^3/\text{s} \pm 8 \text{ m}^3/\text{s}$ (moyenne 1956 – 2010 = $199 \text{ m}^3/\text{s} \pm 148 \text{ m}^3/\text{s}$). On observe un pic de débit le 29 octobre ($100 \text{ m}^3/\text{s}$).

4.10.3. Conditions météorologiques

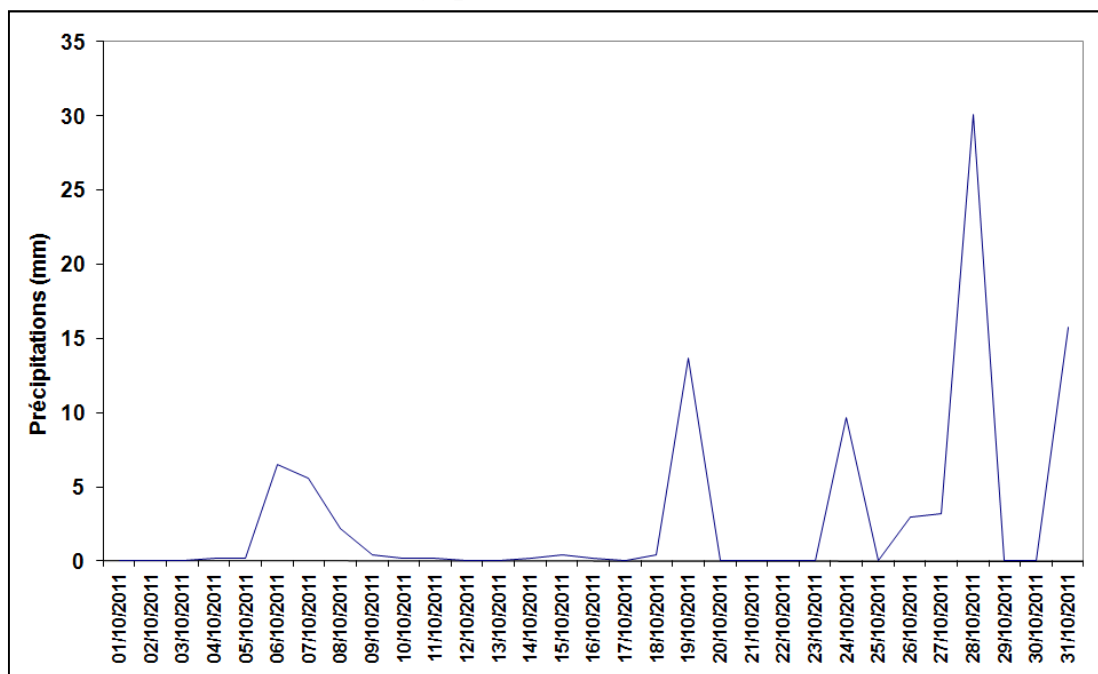


Figure 137 : Evolution des précipitations journalières en octobre 2011 (Source : Météo France)

Les précipitations du mois d'octobre sont relativement faibles. Le cumul mensuel est de 92 mm (moyenne 1956 – 2010 = 144 mm \pm 99 mm). On observe un gros épisode orageux le 28 octobre (30 mm).

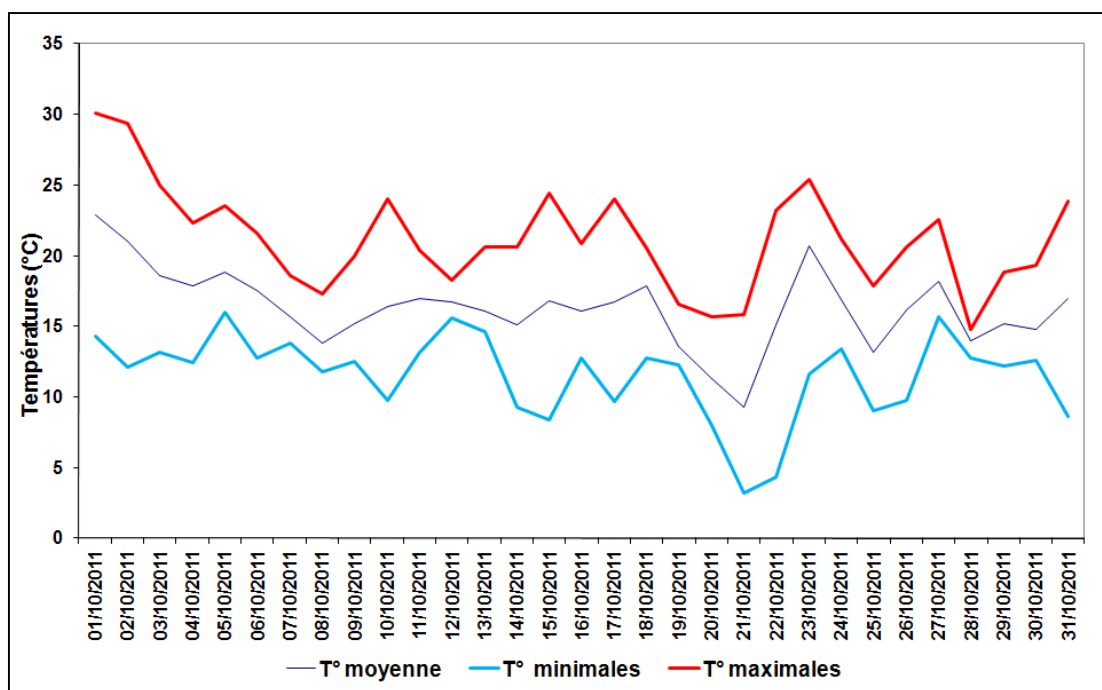


Figure 138 : Evolution des températures journalières en octobre 2011 (Source : Météo France)

Le mois d'octobre est caractérisé par des températures légèrement élevées pour la saison. La température moyenne du mois d'octobre 2011 est de 16,3 °C +/- 2,7 °C (moyenne 1956 – 2010 = 15,6 °C +/- 3,4 °C).

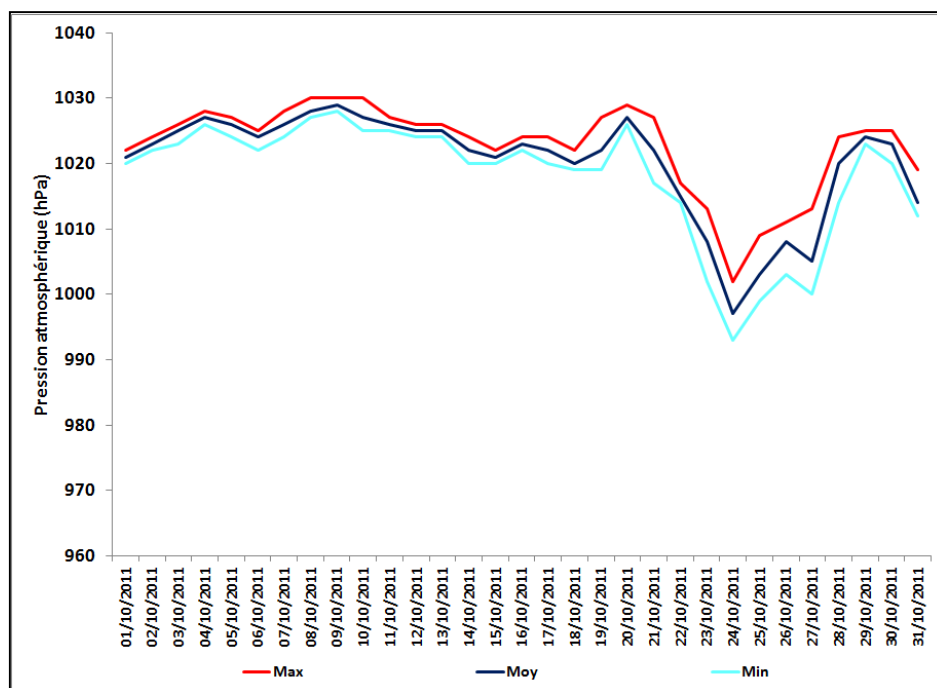


Figure 139 : Evolution journalière de la pression atmosphérique (Source : Weather underground)

Le mois d'octobre 2011 est marqué par un régime de très hautes pressions atmosphériques jusqu'au 21 puis un système dépressionnaire du 22 au 27 suivi à nouveau d'un système de hautes pressions. La pression moyenne est de 1 020 hPa +/- 8 hPa.

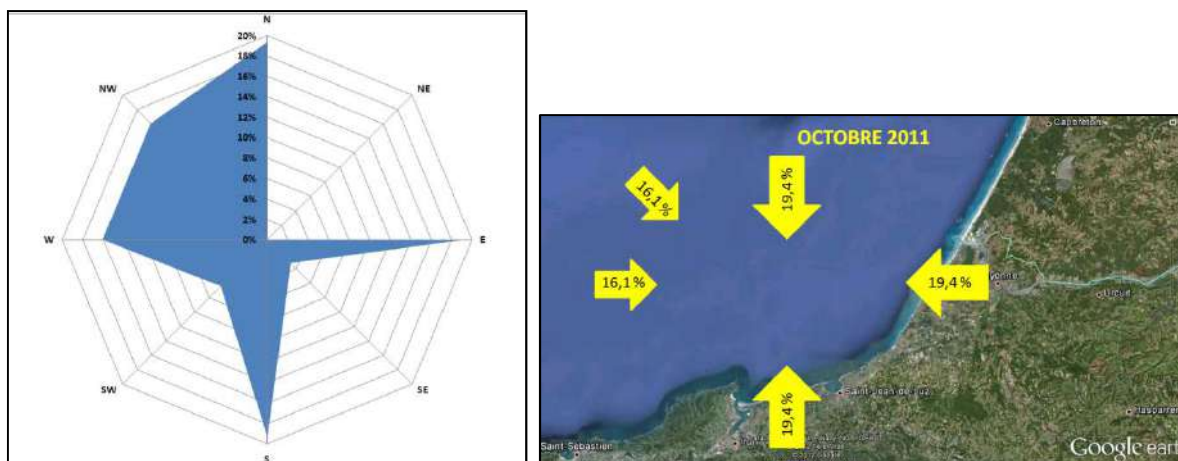


Figure 140 : Rose des vents du mois de octobre 2011 (Source : Météo France)

Les vents dominants en octobre 2011 sont respectivement de secteur Nord, Sud, Est, Ouest et Nord-Ouest.

4.10.4. Conditions océanographiques

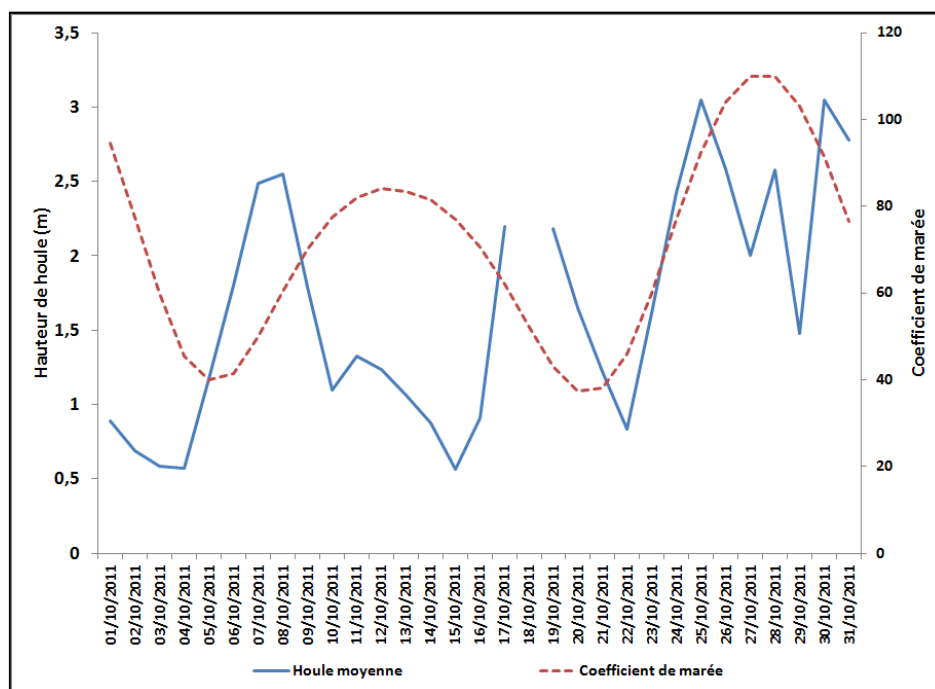


Figure 141 : Evolution de la houle journalière en octobre 2011 (Source : Windguru)

En octobre 2011, la mer est relativement peu agitée. La houle moyenne est de 1,6 m +/- 0,4 m. Un épisode de forte houle est survenu entre le 6 et le 8 octobre et du 25 au 30.

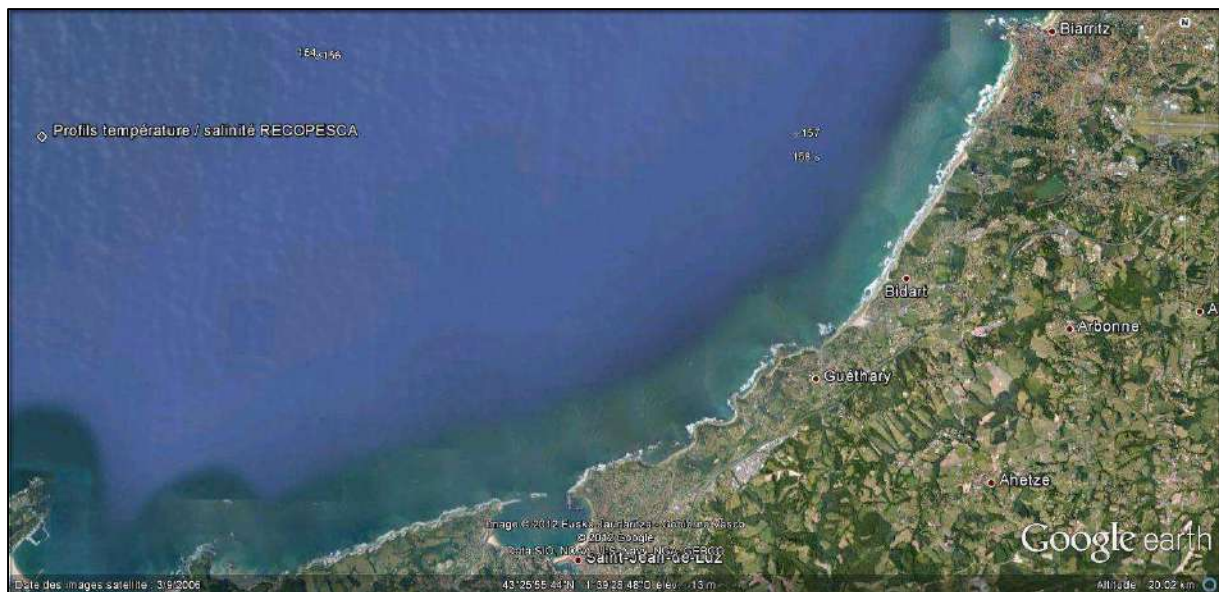


Figure 142 : Localisation des profils température salinité en octobre 2011 (Source : Google Earth / IMA)

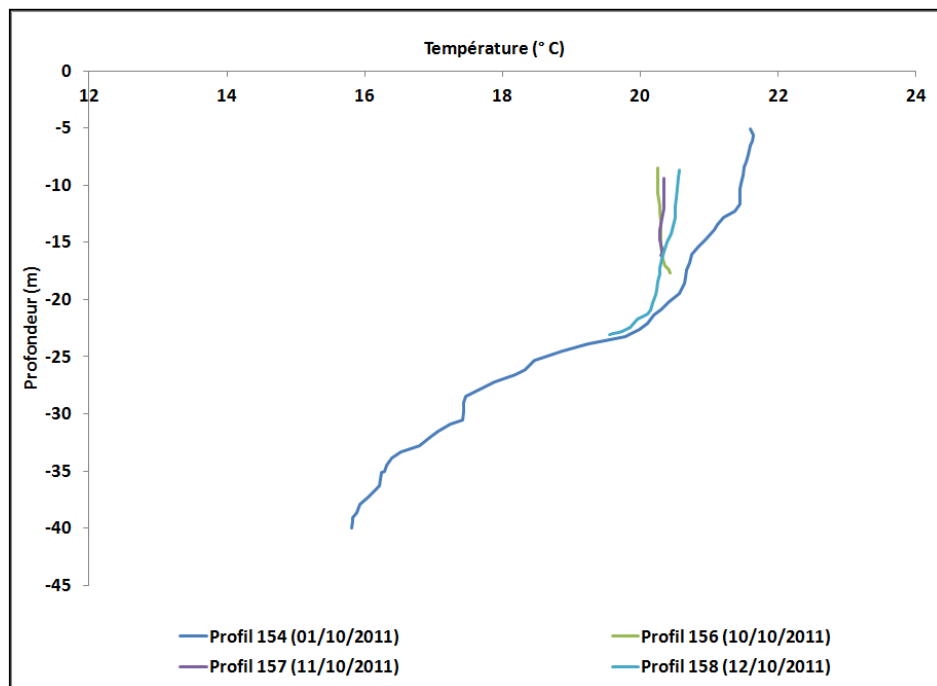


Figure 143 : Profils verticaux de la température en octobre 2011 (Source : RECOPECA, Ifremer)

La température varie de 15,8 (au fond) à 21,6 °C (en surface). La thermocline est présente entre 20 et 25 m au début du mois d'octobre (profil 154). L'épisode de houle du début du mois l'a ensuite déstructurée.

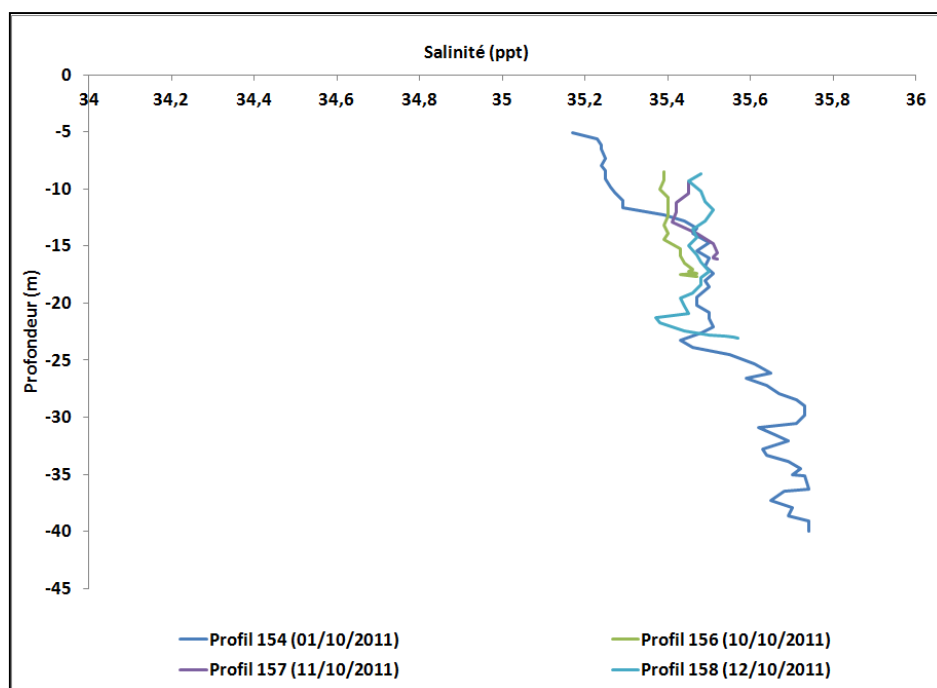


Figure 144 : Profils verticaux de la salinité en octobre 2011 (Source : RECOPECA, Ifremer)

La salinité varie de 35,2 (en surface) à 35,7 ‰ (au fond). La colonne d'eau est homogène.

4.10.5. Synthèse du mois d'octobre

Le mois d'octobre est caractérisé par :

- la présence du «LIGA» principalement en pleine eau sur le littoral basque,
- des débits faibles de l'Adour,
- de faibles précipitations,
- un régime de hautes pressions,
- des vents dominants de Nord, Sud et Est,
- des températures de l'air légèrement supérieures aux normales saisonnières,
- une mer peu agitée,
- la présence d'une thermocline au début du mois et l'absence d'halocline.

4.11. Novembre 2011

4.11.1. Observations de «LIGA»

En novembre 2011, 39 observations de «LIGA» ont été réalisées par les pêcheurs professionnels.

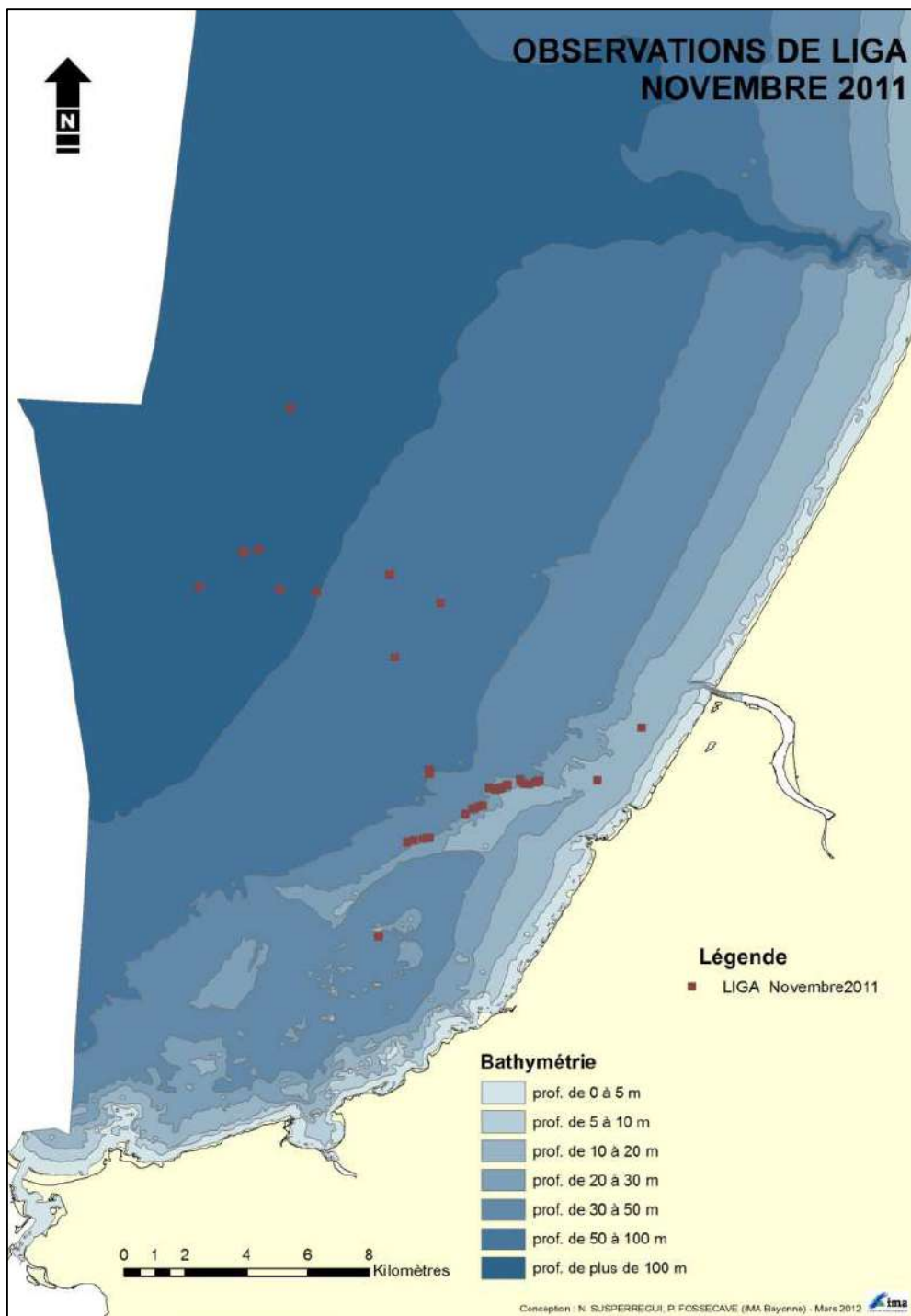


Figure 145 : Observations de «LIGA» en novembre 2011

En novembre 2011, le «LIGA» est principalement présent en zone côtière en pleine eau et au fond sur des fonds inférieurs à 10 m et supérieurs à 50 m. Toutes les observations sont faites dans la deuxième quinzaine de novembre.

4.11.2. Conditions hydrologiques de l'Adour

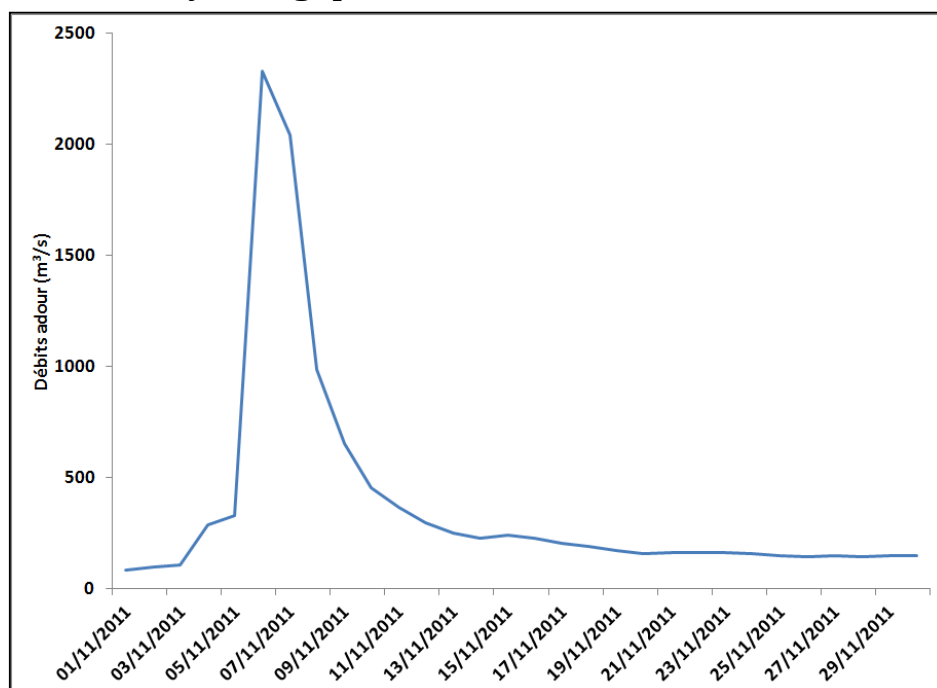


Figure 146 : Evolution des débits journaliers de l'Adour maritime en novembre 2011 (Source : BD hydro)

Les débits de l'Adour maritime sont de saison pour un mois de novembre. Le module mensuel est de $374 \text{ m}^3/\text{s} \pm 525 \text{ m}^3/\text{s}$ (moyenne 1956 – 2010 = $303 \text{ m}^3/\text{s} \pm 166 \text{ m}^3/\text{s}$). On observe un pic de débit le 6 novembre ($2326 \text{ m}^3/\text{s}$)

4.11.3. Conditions météorologiques

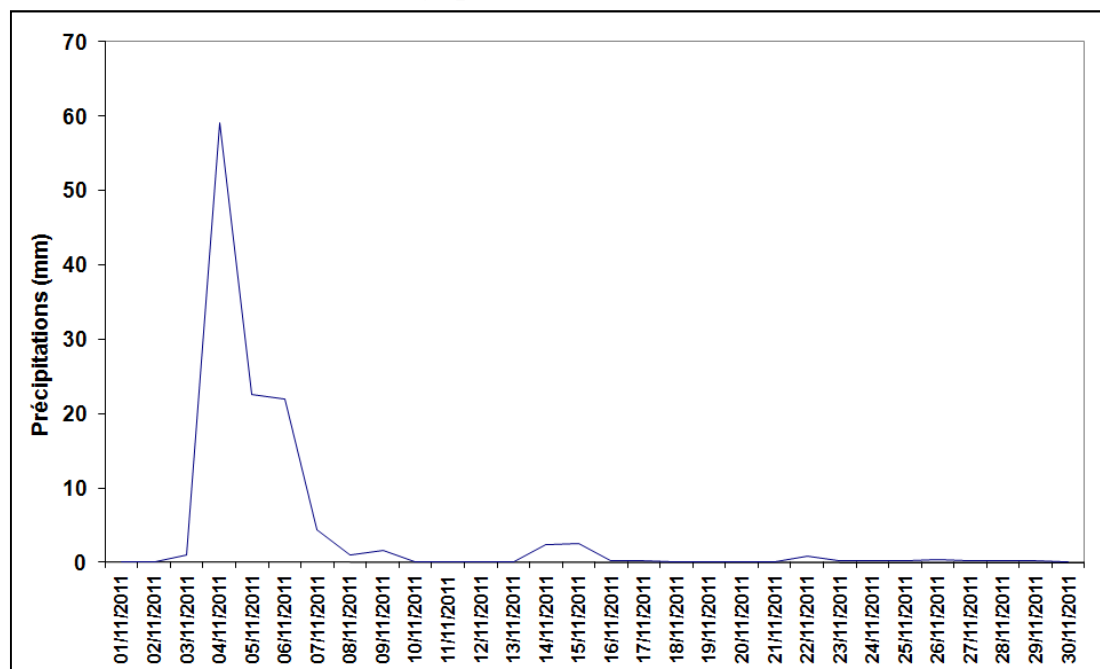


Figure 147 : Evolution des précipitations journalières en novembre 2011 (Source : Météo France)

Les précipitations du mois de novembre sont de saison. Le cumul mensuel est de 119 mm (moyenne 1956 – 2010 = 184 mm \pm 101 mm). On observe un pic de précipitation le 04 novembre (59 mm).

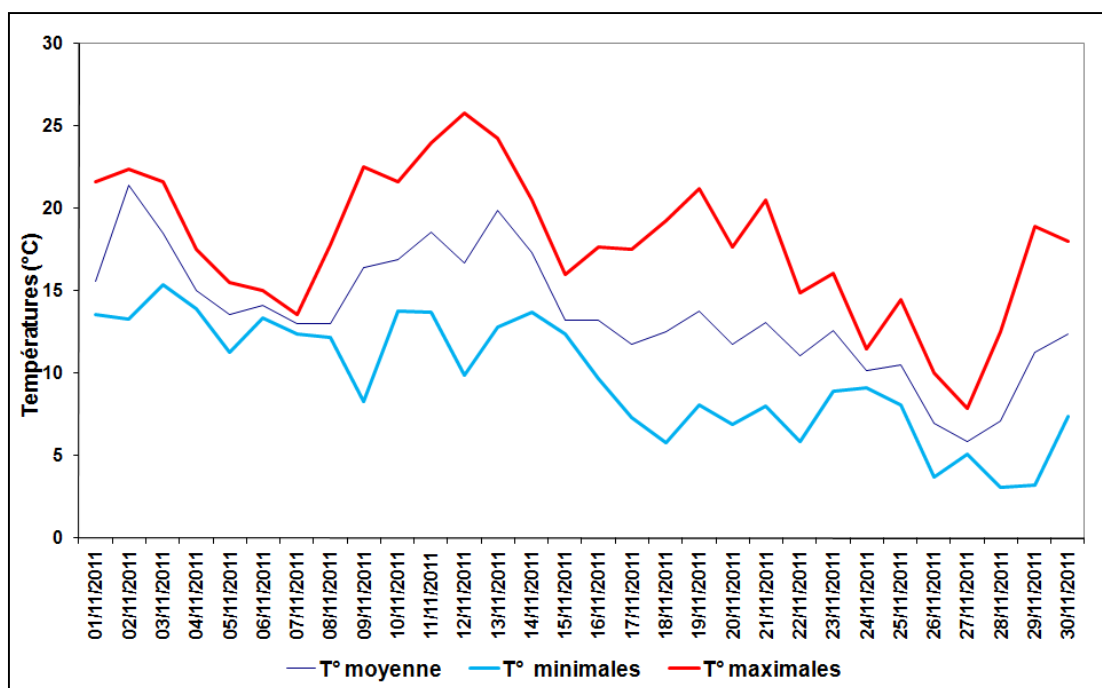


Figure 148 : Evolution des températures journalières en novembre 2011 (Source : Météo France)

Le mois de novembre est caractérisé par des températures légèrement élevées pour la saison. La température moyenne du mois de novembre 2011 est de 13,6 °C +/- 3,6 °C (moyenne 1956 – 2010 = 11 °C +/- 3,7 °C).

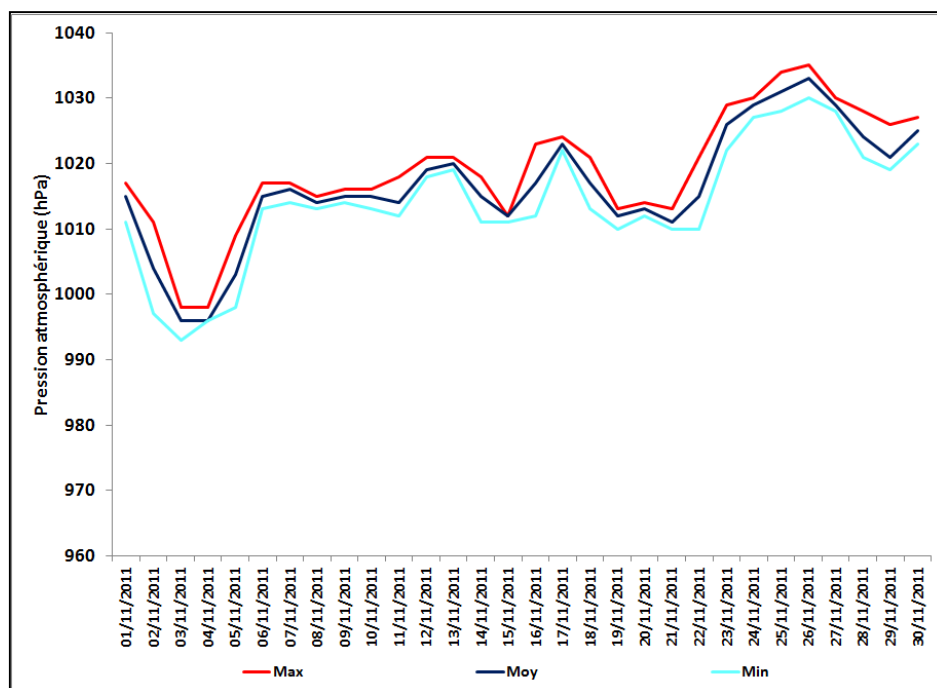


Figure 149 : Evolution journalière de la pression atmosphérique (Source : Weather underground)

Le mois de novembre 2011 est marqué par un régime de basses pressions du 01 au 05 suivie d'une période de pressions moyennes du 6 au 22 et d'un période de très hautes pressions du 23 au 30. La pression moyenne est de 1 016 hPa +/- 8 hPa.

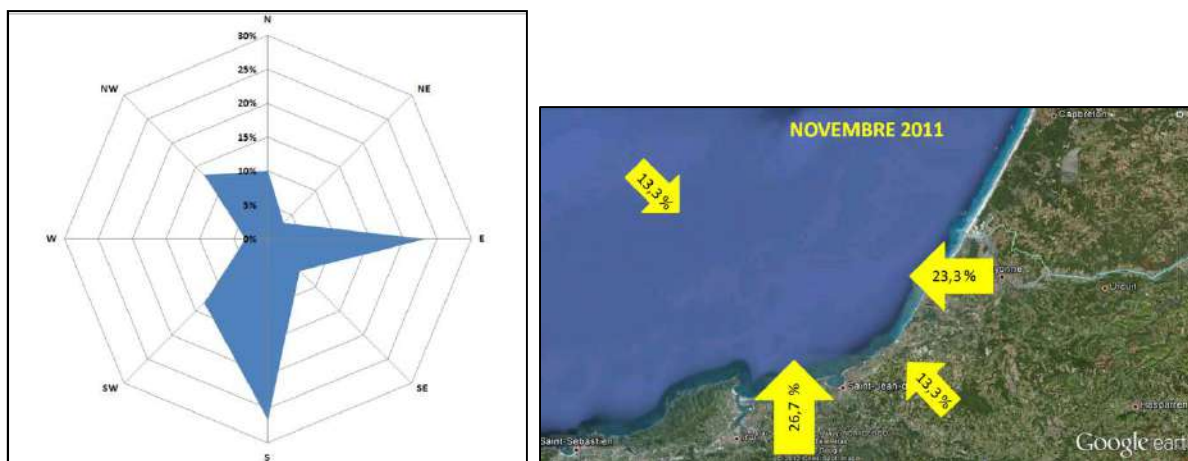


Figure 150 : Rose des vents du mois de novembre 2011 (Source : Météo France)

Les vents dominants en novembre 2011 sont respectivement de secteur Sud, Est, Sud-Ouest et Nord-Ouest.

4.11.4. Conditions océanographiques

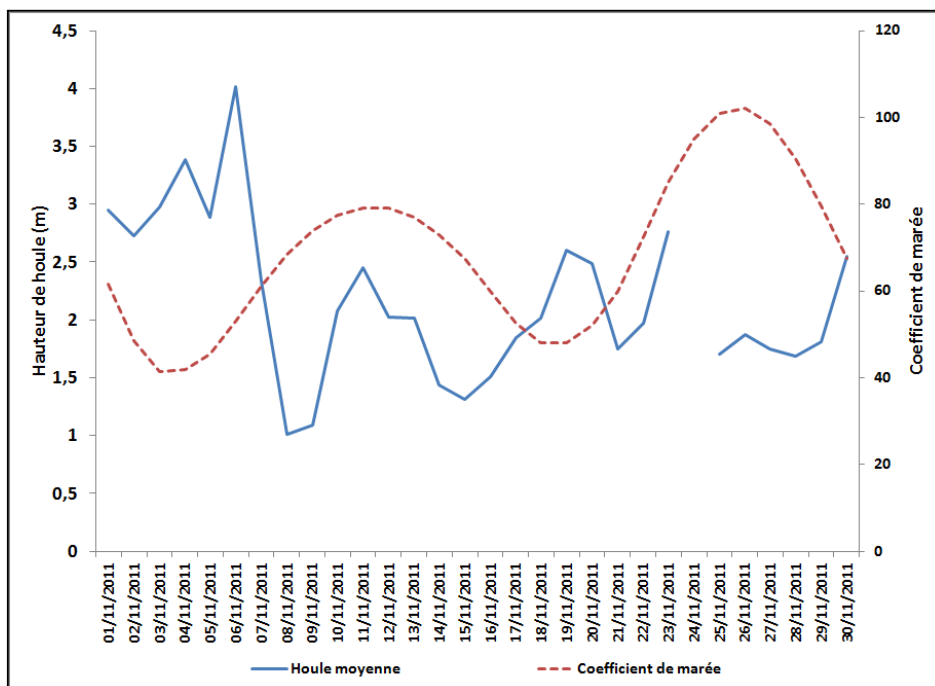


Figure 151 : Evolution de la houle journalière en novembre 2011 (Source : Windguru)

En novembre 2011, la mer est agitée. La houle moyenne est de 2,2 m +/- 0,7 m. Un épisode de forte houle est survenu début novembre.

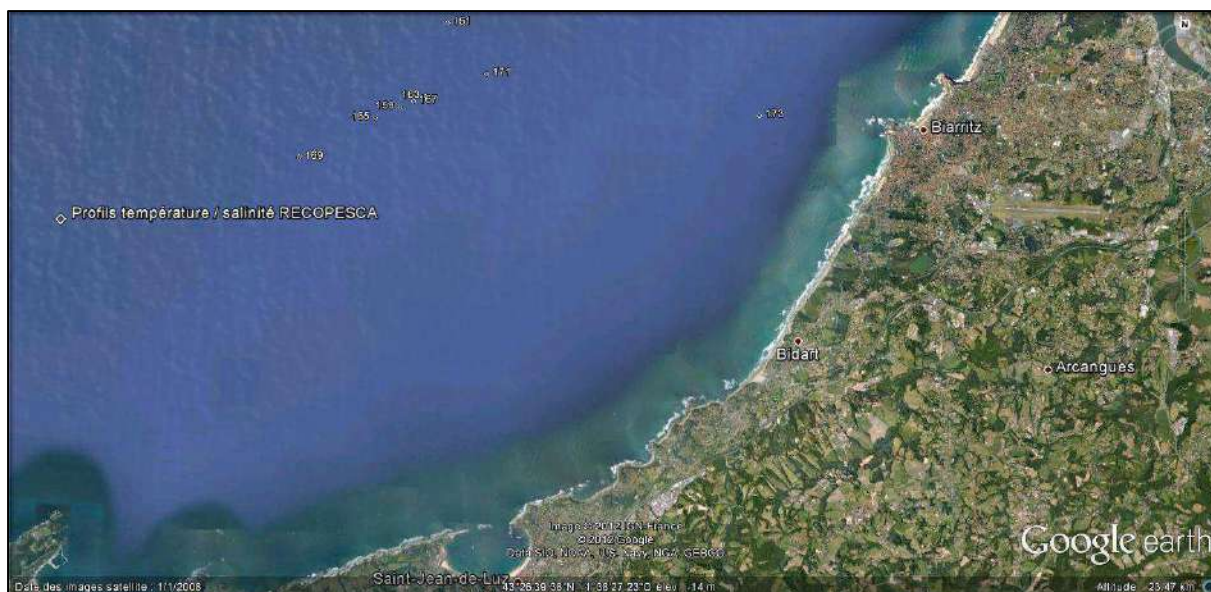


Figure 152 : Localisation des profils température salinité en novembre 2011
(Source : Google Earth / IMA)

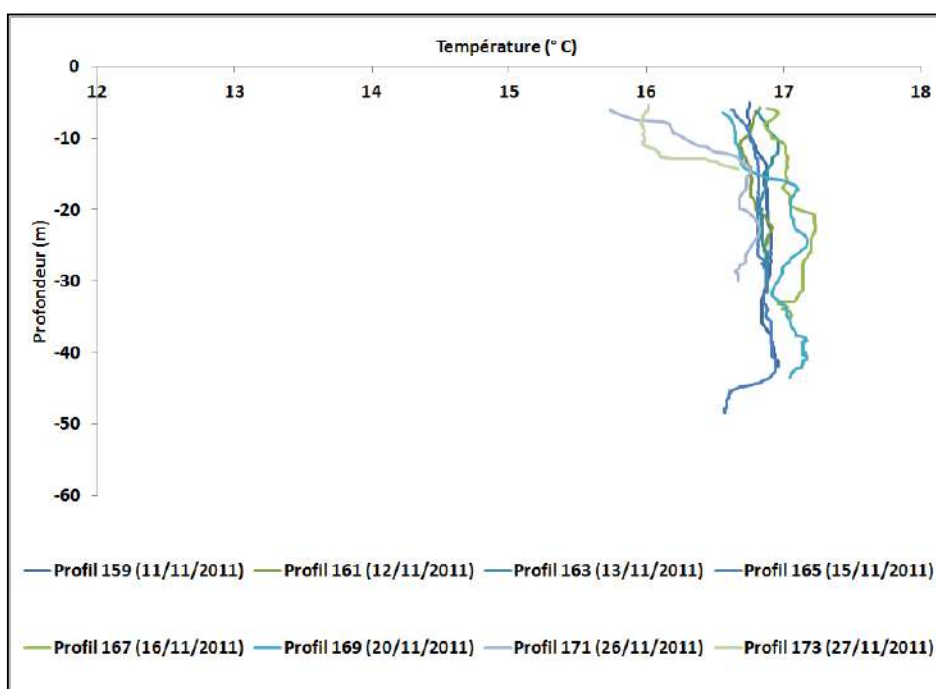


Figure 153 : Profils verticaux de la température en novembre 2011 (Source : RECOPECA, Ifremer)

La température de l'eau varie entre 15,7 °C (en surface) et 17,2 °C (en pleine eau). Elle est homogène dans la colonne d'eau durant tout le mois. A la fin du mois (profils 171 et 173), les eaux superficielles au dessus de 12 m sont plus froides que le reste de la colonne d'eau.

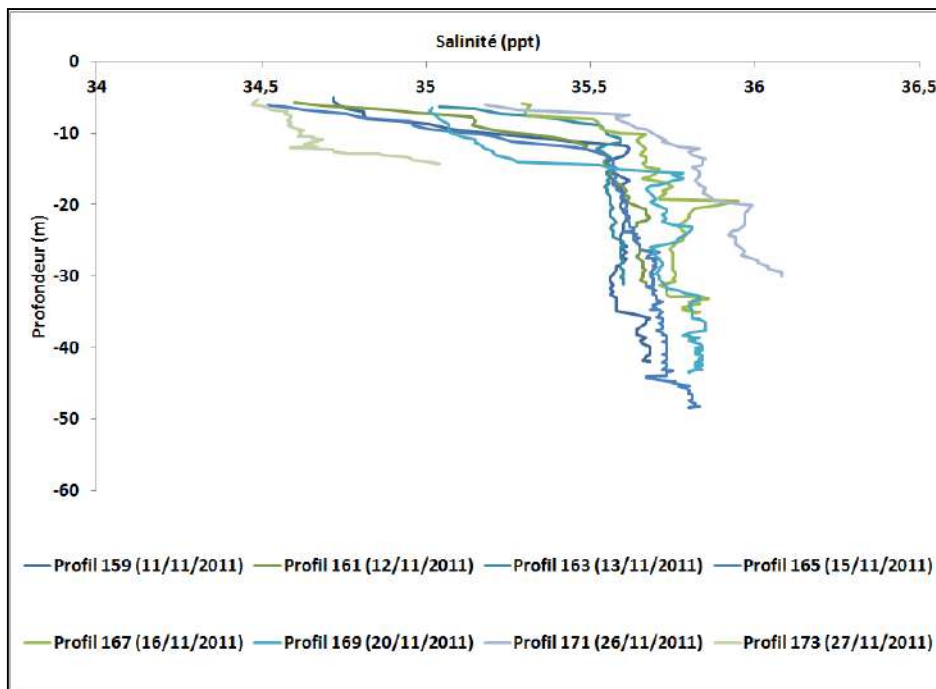


Figure 154 : Profils verticaux de la salinité en novembre 2011 (Source : RECOPECA, Ifremer)

La salinité varie de 34,5 (en surface) à 36 ‰ (au fond). On observe une dessalure des eaux superficielles à partir de 10 à 15 m selon le site.

4.11.5. Synthèse du mois de novembre

Le mois de novembre est caractérisé par :

- une baisse de présence du «LIGA» sur le littoral basque puis une réapparition en fin de mois dans la colonne d'eau,
- des débits moyens de l'Adour,
- des précipitations moyennes pour la saison,
- un régime de pressions moyennes avec alternance de basses et très hautes pressions en fin de mois,
- des vents dominants de Sud, Est et Sud-Ouest,
- un réchauffement des températures de l'air,
- une mer agitée,
- la formation fin novembre d'une thermocline inversée (les eaux de surface sont plus froides que les eaux du fond) et d'une dessalure marquée des eaux de surface.

4.12. Décembre 2011

4.12.1. Observations de «LIGA»

En décembre 2011, 15 observations de «LIGA» ont été réalisées par les pêcheurs professionnels.

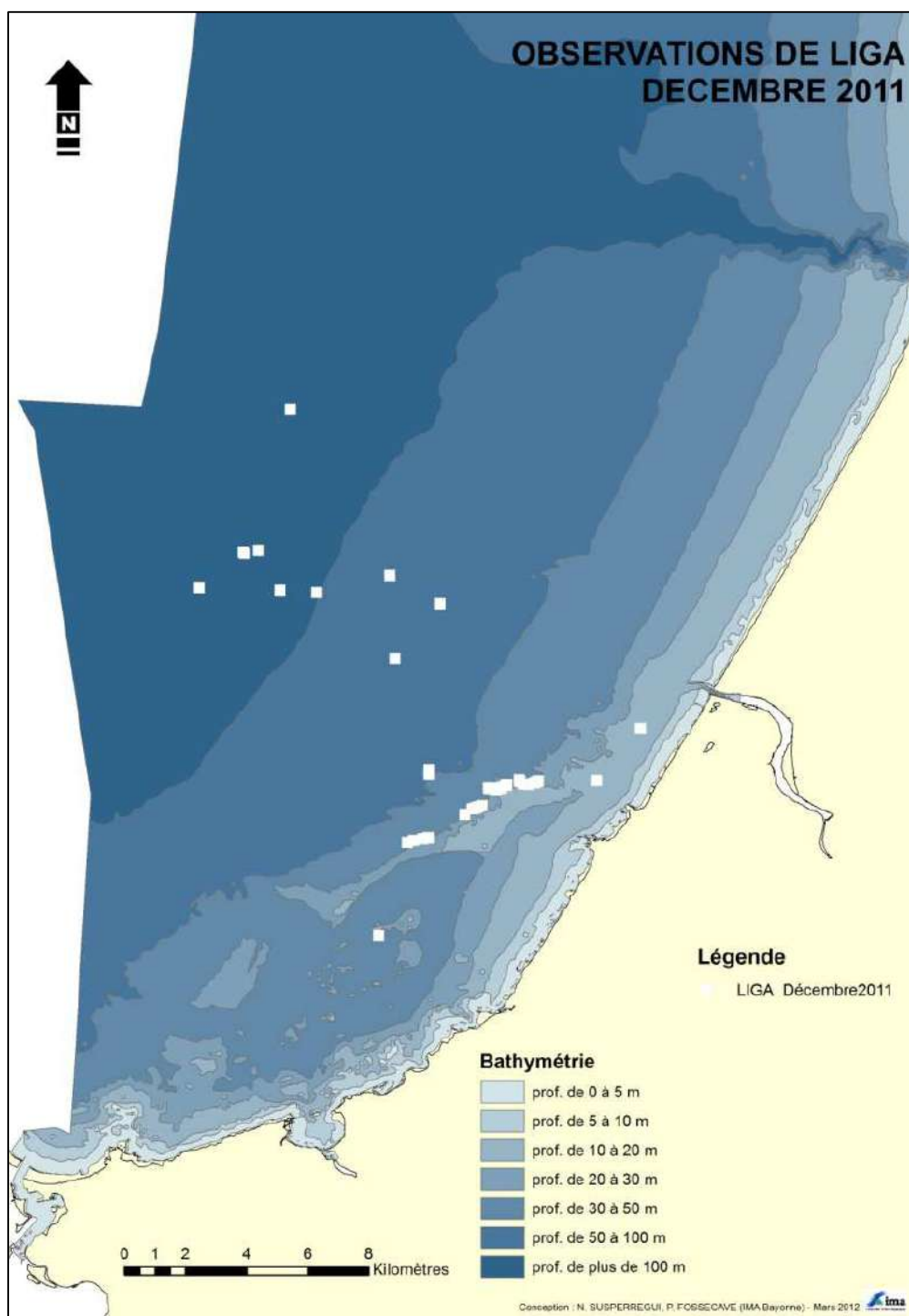


Figure 155 : Observations de «LIGA» en décembre 2011

En décembre 2011, le «LIGA» est principalement présent en zone côtière en pleine eau et au fond sur des fonds inférieurs à 10 m et supérieurs à 50 m. Toutes les observations sont faites dans la première semaine de décembre.

4.12.2. Conditions hydrologiques de l'Adour

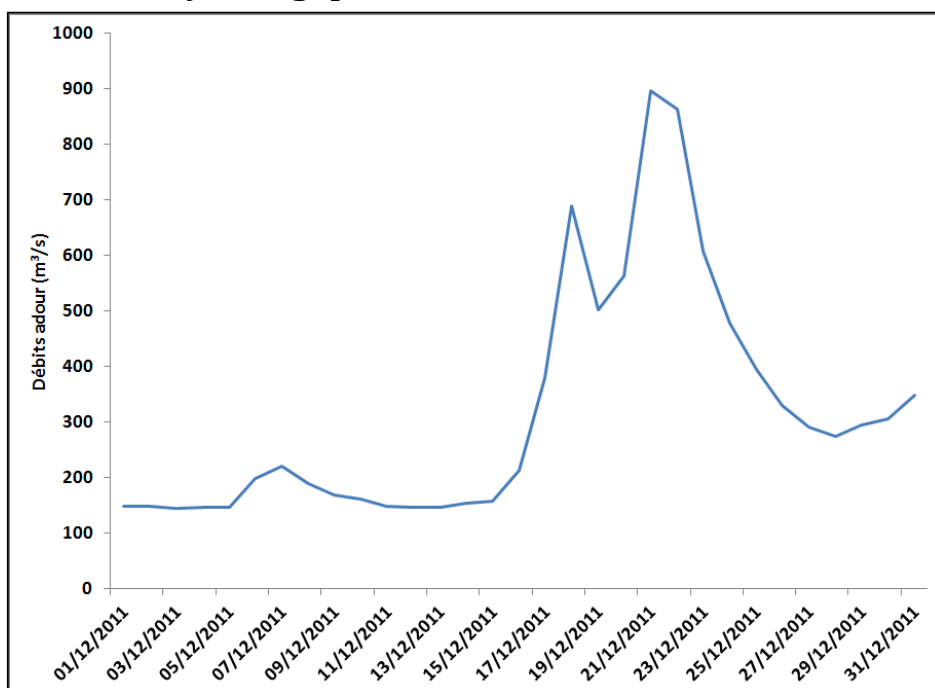


Figure 156 : Evolution des débits journaliers de l'Adour maritime en décembre 2011 (Source : BD hydro)

Les débits de l'Adour maritime sont relativement faibles pour un mois de décembre. Le module mensuel est de $318 \text{ m}^3/\text{s} \pm 213 \text{ m}^3/\text{s}$ (moyenne 1956 – 2010 = $401 \text{ m}^3/\text{s} \pm 237 \text{ m}^3/\text{s}$). On observe deux pics de débit le 18 ($688 \text{ m}^3/\text{s}$) et le 21 décembre ($895 \text{ m}^3/\text{s}$).

4.12.3. Conditions météorologiques

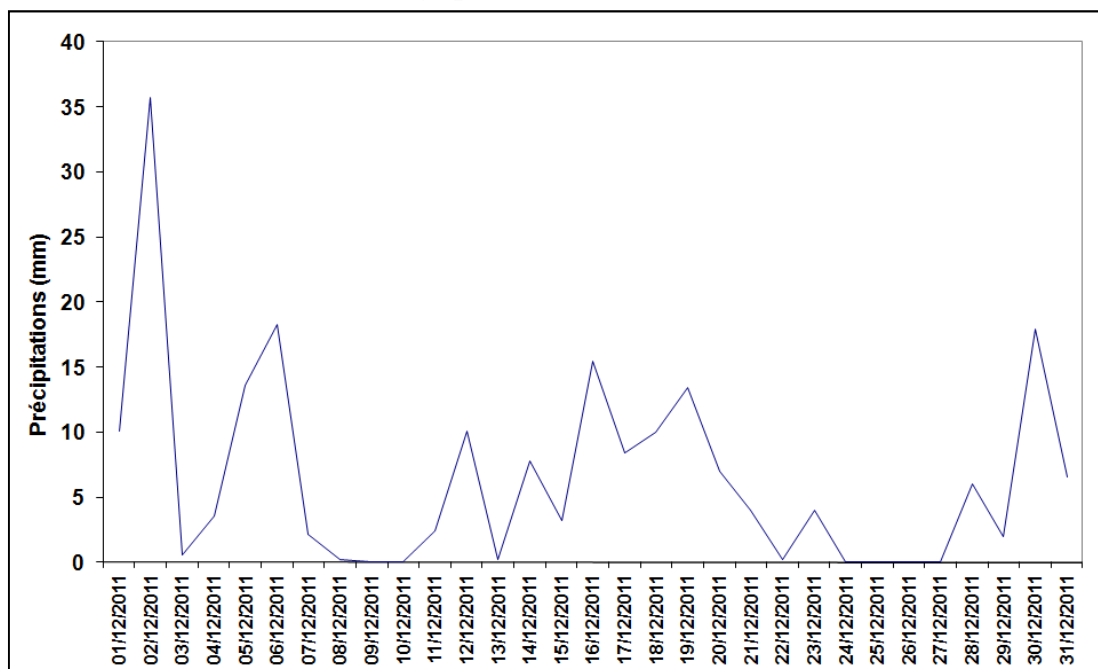


Figure 157 : Evolution des précipitations journalières en décembre 2011 (Source : Météo France)

Les précipitations du mois de décembre sont de saison. Le cumul mensuel est de 203 mm (moyenne 1956 – 2010 = 155 mm \pm 74 mm). On observe un pic de précipitation le 02 décembre (35,7 mm).

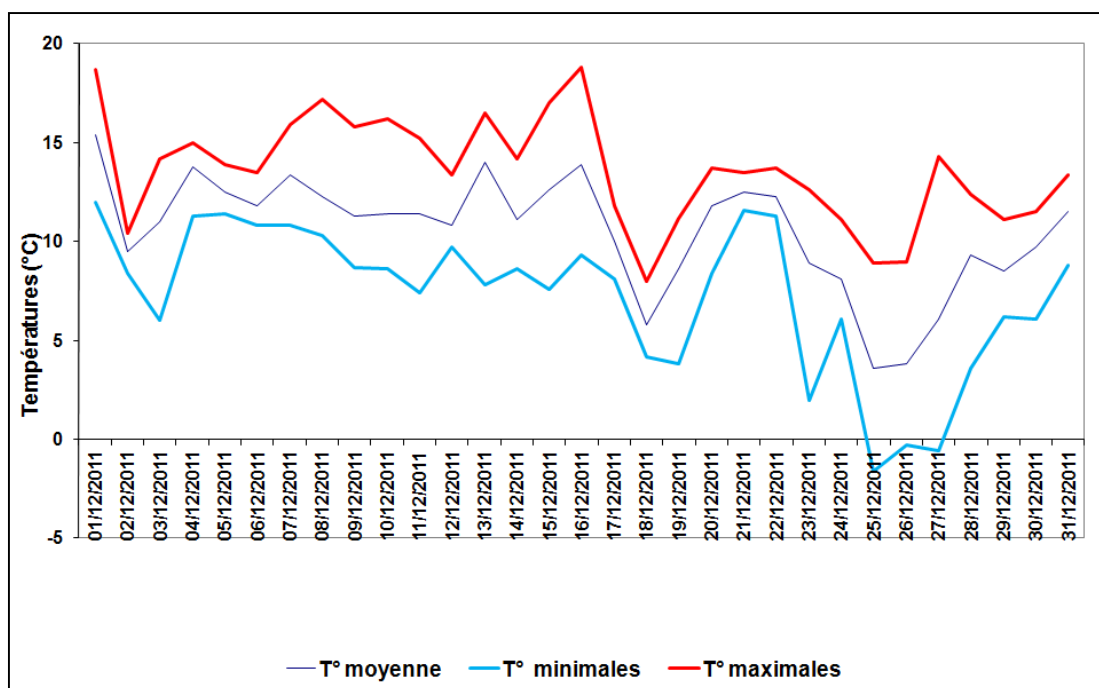


Figure 158 : Evolution des températures journalières en décembre 2011 (Source : Météo France)

Le mois de décembre est caractérisé par des températures légèrement élevées pour la saison. La température moyenne du mois de décembre 2011 est de 10,5 °C +/- 2,8 °C (moyenne 1956 – 2010 = 8,7 °C +/- 4 °C).

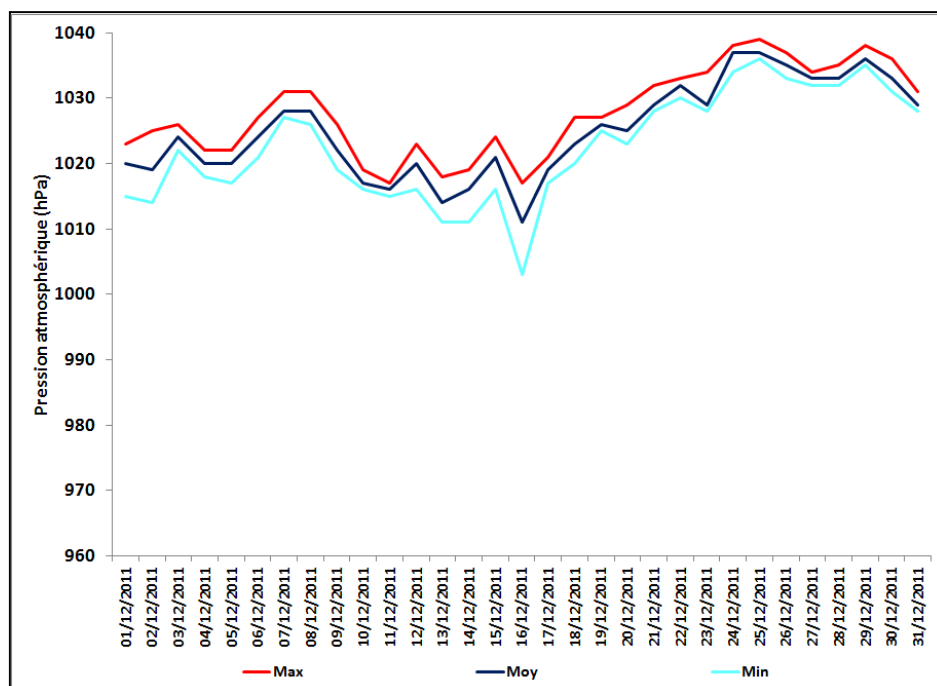


Figure 159 : Evolution journalière de la pression atmosphérique (Source : Weather underground)

Le mois de décembre 2011 est marqué par un régime de très hautes pressions atmosphériques. La pression moyenne est de 1 025 hPa +/- 7 hPa.

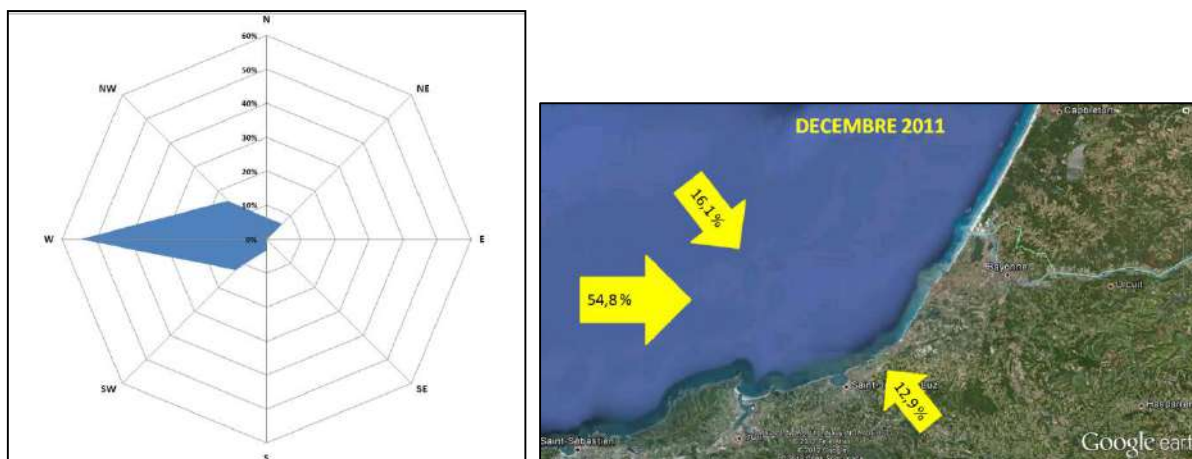


Figure 160 : Rose des vents du mois de décembre 2011 (Source : Météo France)

Les vents dominants en décembre 2011 sont respectivement de secteur Ouest, Nord-Ouest et Sud-Ouest.

4.12.4. Conditions océanographiques

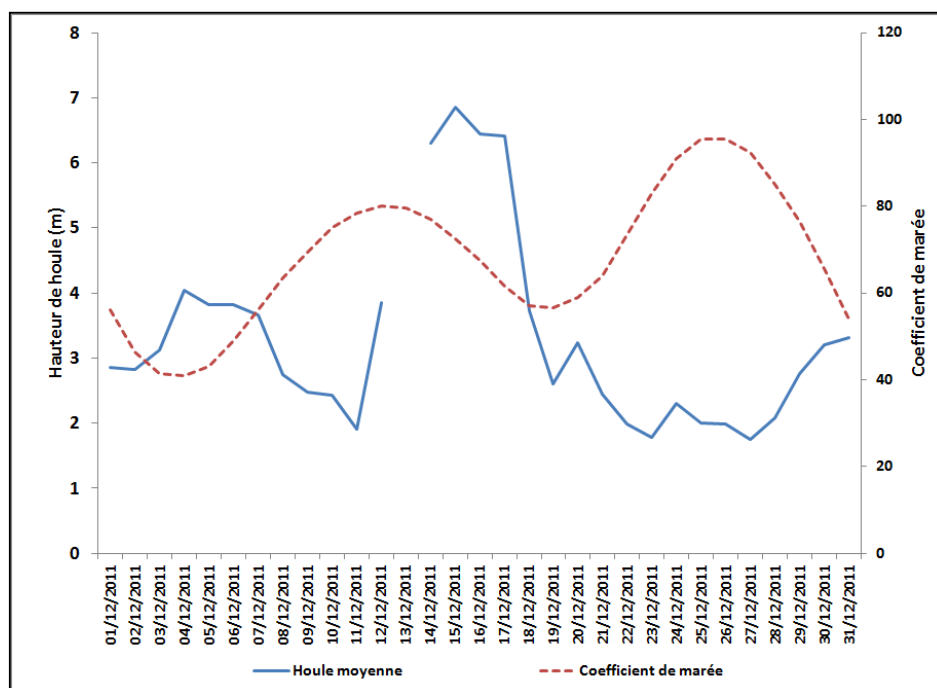


Figure 161 : Evolution de la houle journalière en décembre 2011 (Source : Windguru)

En décembre 2011, la mer est très agitée. La houle moyenne est de 3,3 m +/- 0,3 m. Un épisode de forte houle est survenu entre le 10 et le 19 décembre.

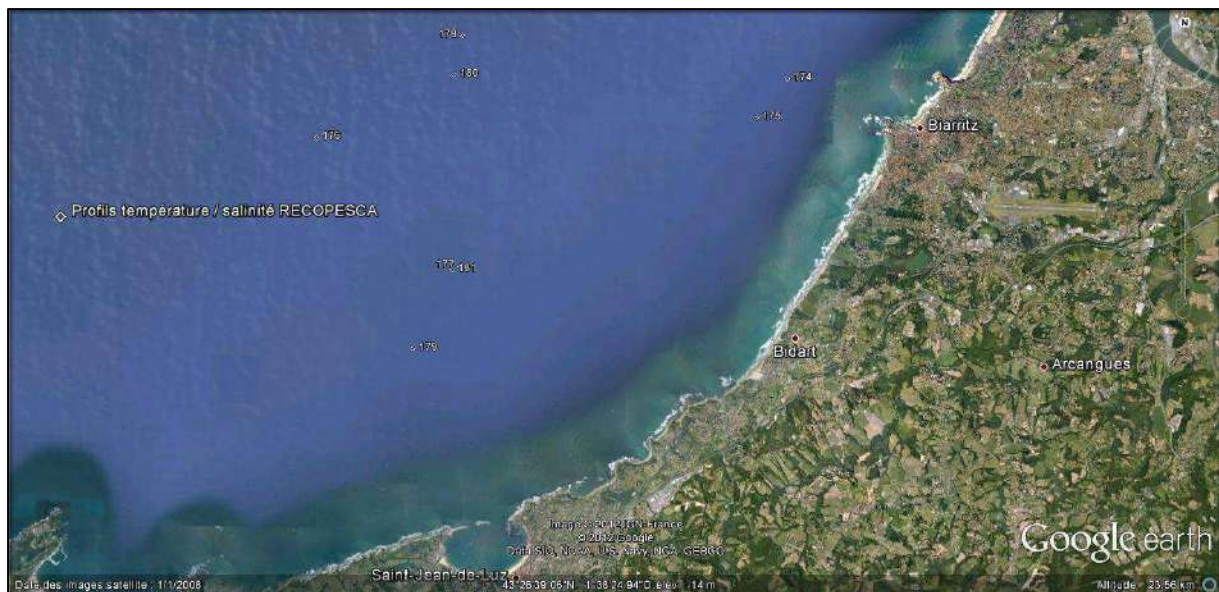


Figure 162 : Localisation des profils température salinité en décembre 2011
(Source : Google Earth / IMA)

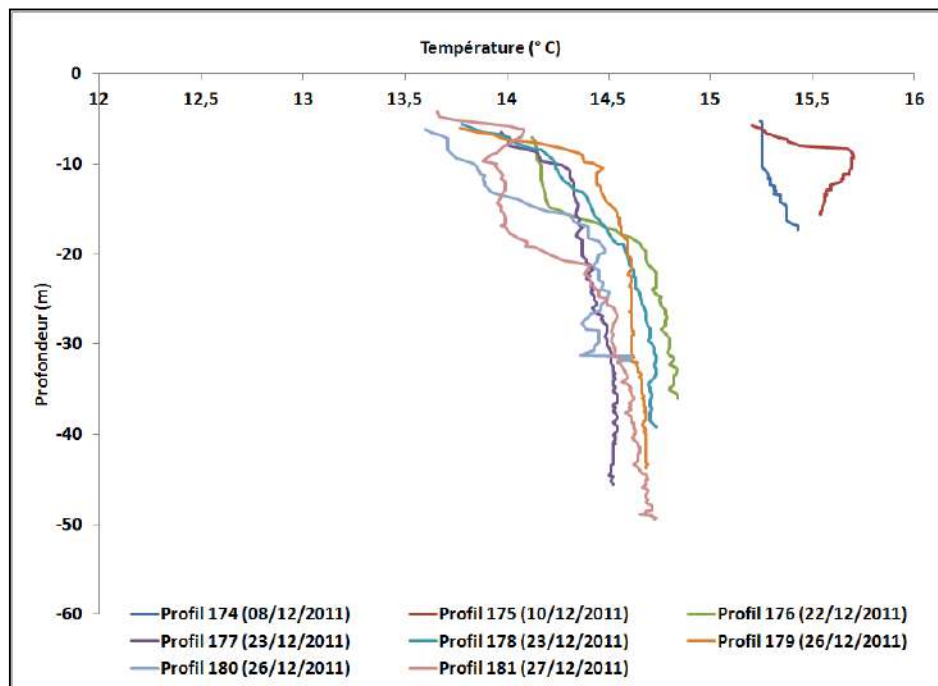


Figure 163 : Profils verticaux de la température en décembre 2011 (Source : RECOPECA, Ifremer)

La température varie de 13,6 °C (en surface) à 15, 7 °C (en pleine eau au début du mois). A partir de 10 à 15m, les eaux superficielles sont plus fraîches que les eaux du fond.

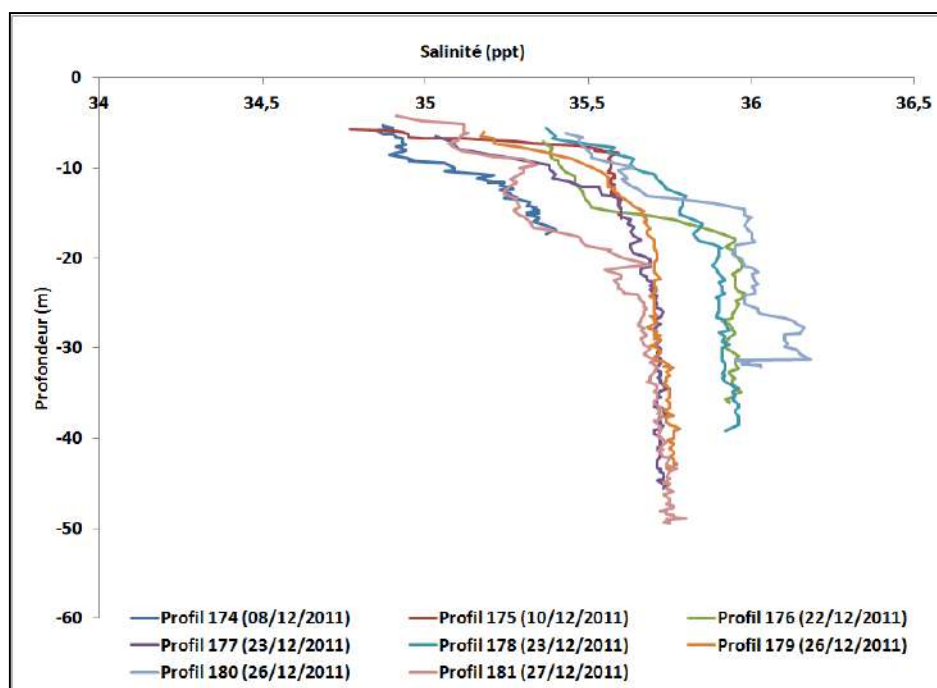


Figure 164 : Profils verticaux de la salinité en décembre 2011 (Source : RECOPECA, Ifremer)

La salinité varie de 34,7 (en surface) à 36,2 ‰ (en pleine eau). On observe une dessalure des eaux superficielles à parti de 10 à 15 m de profondeur.

4.12.5. Synthèse du mois de décembre

Le mois de décembre est caractérisé par :

- une persistance du « LIGA » pendant la première semaine de décembre,
- des débits faibles de l'Adour,
- des précipitations de saison,
- un régime de très hautes pressions,
- des vents dominants d'Ouest, Nord-Ouest et Sud-Ouest,
- des températures de l'air légèrement supérieures aux normales saisonnières,
- une mer très agitée,
- l'absence de thermocline et la présence d'halocline.

4.13. Janvier 2012

4.13.1. Observations de «LIGA»

En janvier 2012, 1 observation de «LIGA» a été réalisée par les pêcheurs professionnels.

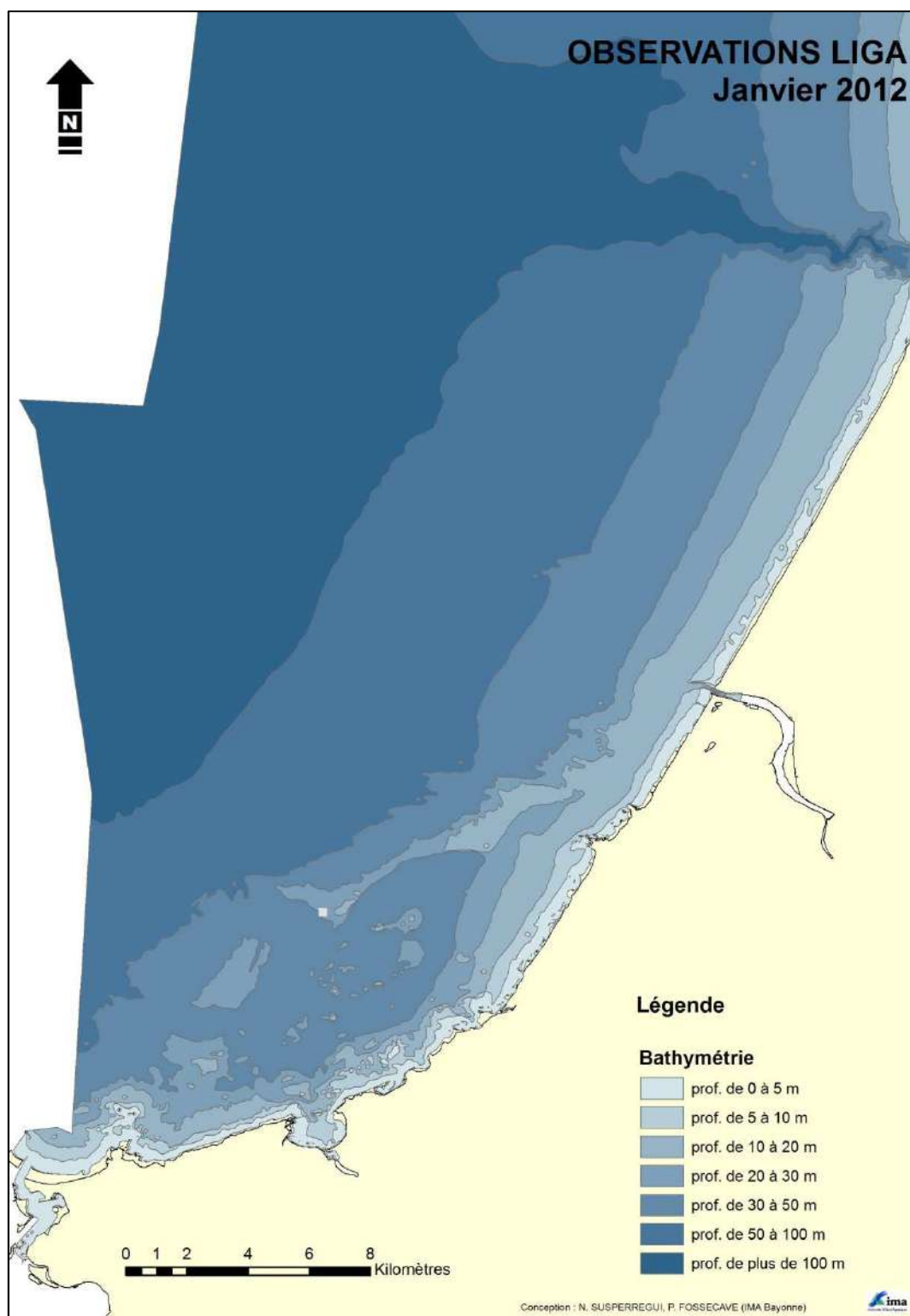


Figure 165 : Observations de «LIGA» en janvier 2012

Le «LIGA» a été observé en pleine eau le 25 janvier 2012 à une profondeur d'environ 10 m.

4.13.2. Conditions hydrologiques de l'Adour

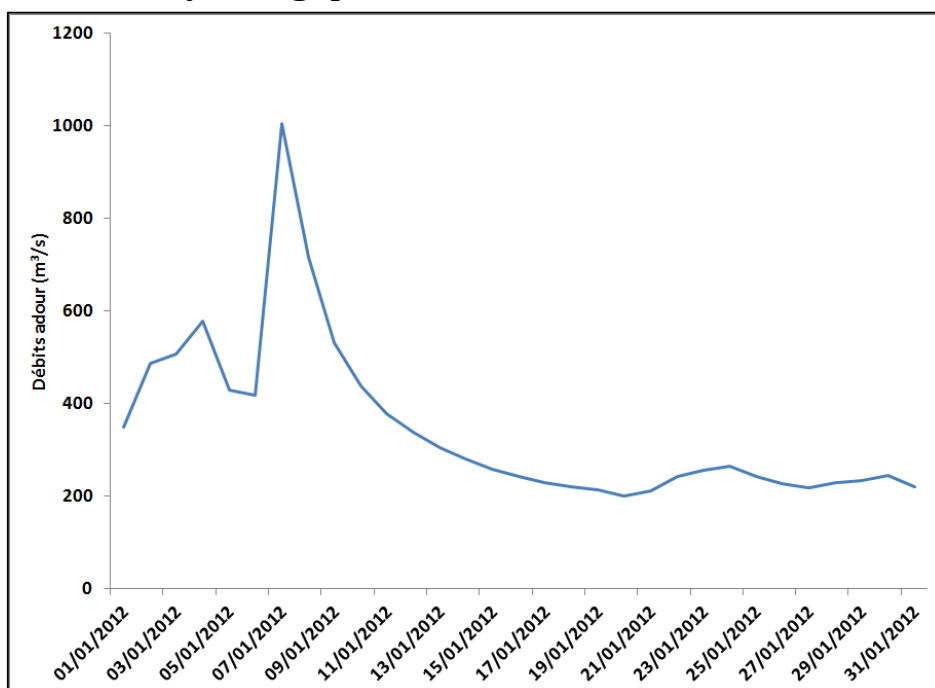


Figure 166 : Evolution des débits journaliers de l'Adour maritime en janvier 2012 (Source : BD hydro)

Les débits de l'Adour maritime sont de saison pour un mois de janvier. Le module mensuel est de $345 \text{ m}^3/\text{s} \pm 178 \text{ m}^3/\text{s}$ (moyenne 1956 – 2010 = $399 \text{ m}^3/\text{s} \pm 188 \text{ m}^3/\text{s}$). On observe deux pics de débit le 4 ($577 \text{ m}^3/\text{s}$) et le 07 janvier ($1004 \text{ m}^3/\text{s}$).

4.13.3. Conditions météorologiques

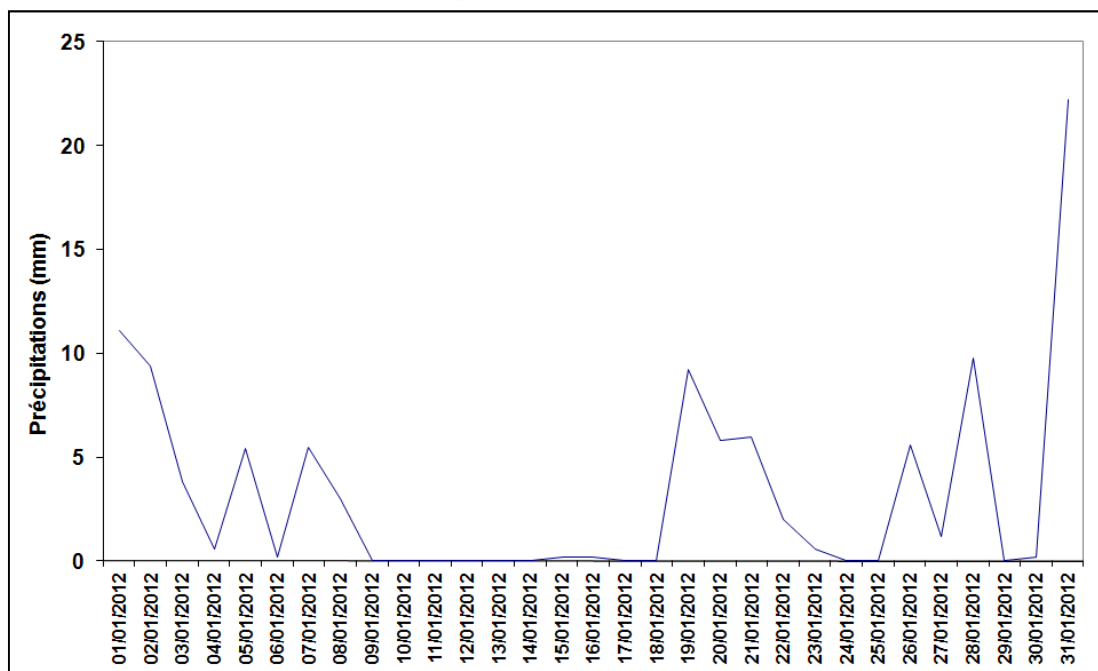


Figure 167 : Evolution des précipitations journalières en janvier 2012 (Source : Météo France)

Les précipitations du mois de janvier sont de saison. Le cumul mensuel est de 102 mm (moyenne 1956 – 2010 = 129 mm \pm 74 mm). On observe un gros pic de précipitation le 31 janvier (22,2 mm).

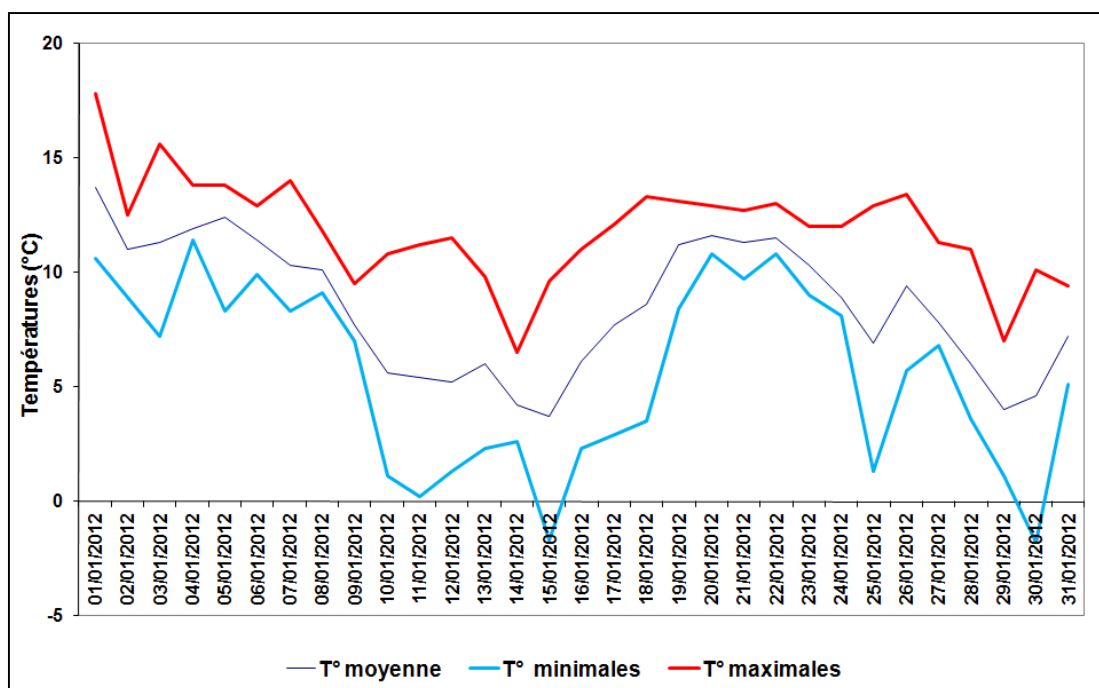


Figure 168 : Evolution des températures journalières en janvier 2012 (Source : Météo France)

Le mois de janvier est caractérisé par des températures de saison. La température moyenne du mois de janvier 2012 est de 8,5 °C +/- 2,9°C (moyenne 1956 – 2010 = 8,2 °C +/- 3,9 °C).

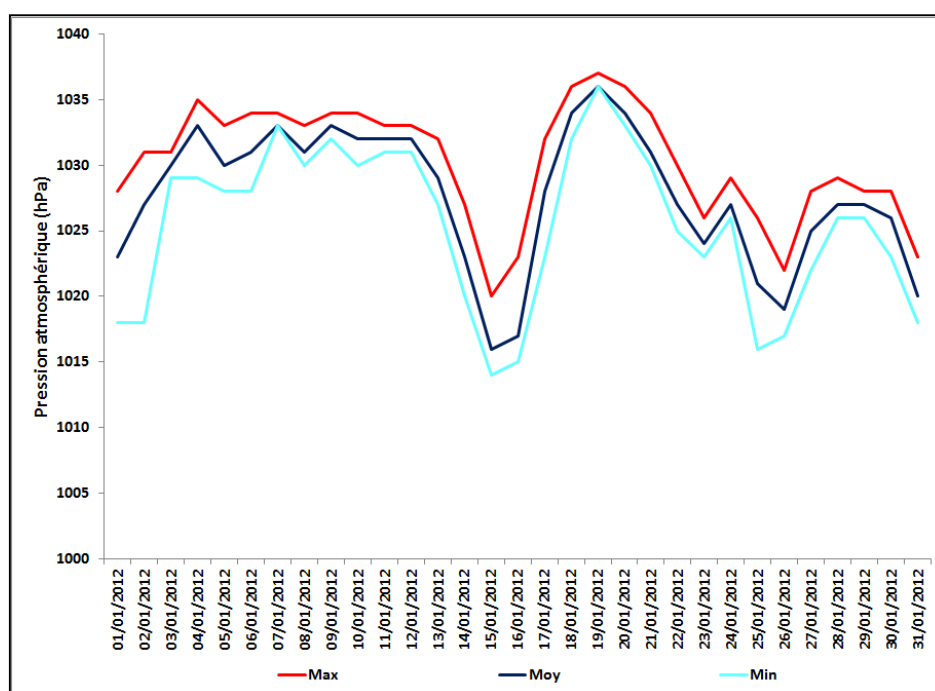


Figure 169 : Evolution journalière de la pression atmosphérique (Source : Weather underground)

Le mois de janvier 2012 est marqué par un régime de très hautes pressions atmosphériques. La pression moyenne est de 1 028 hPa +/- 5 hPa.

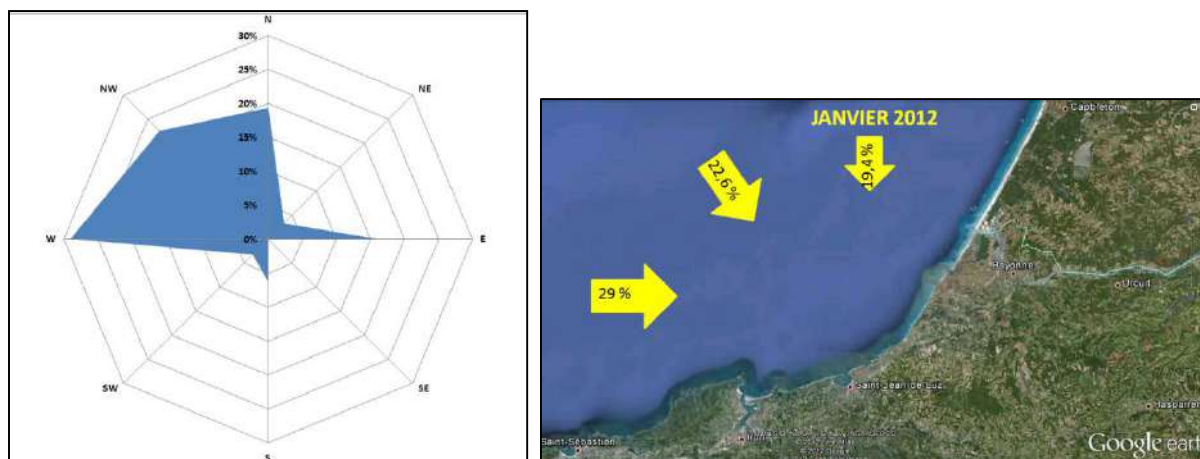


Figure 170 : Rose des vents du mois de janvier 2012 (Source : Météo France)

Les vents dominants en janvier 2012 sont respectivement de secteur Ouest, Nord-Ouest et Nord.

4.13.4. Conditions océanographiques

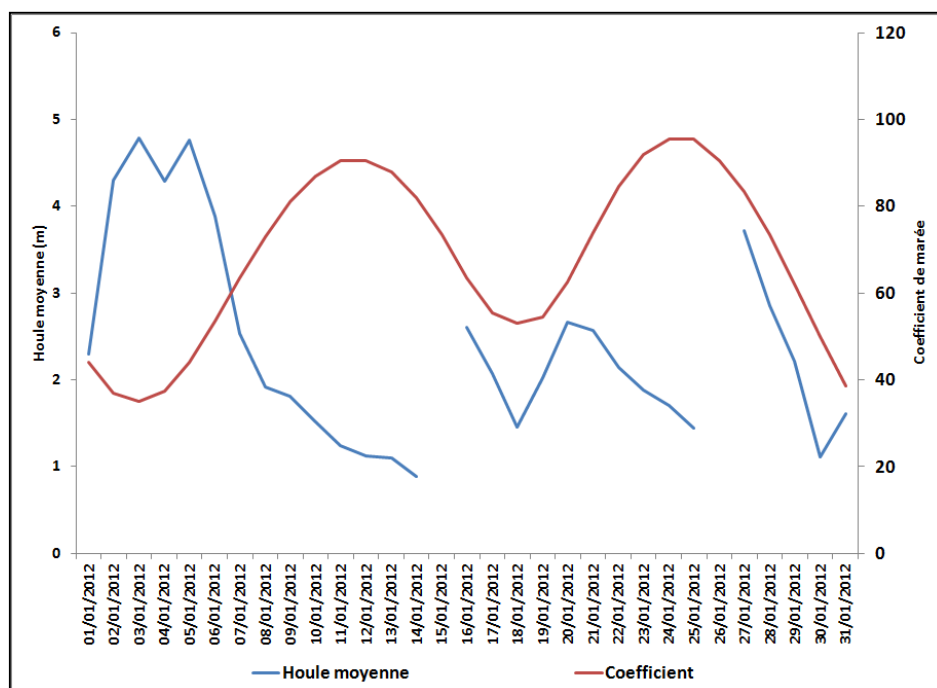


Figure 171 : Evolution de la houle journalière en janvier 2012 (Source : Windguru)

En janvier 2012, la mer est agitée. La houle moyenne est de 2,4 m +/- 1,1 m. Un épisode de forte houle est survenu début janvier.

Nous n'avons pas pu récupérer auprès de l'Ifremer les profils température salinité pour l'année 2012 acquis dans le cadre du programme RECOPECA.

4.13.5. Synthèse du mois de janvier

Le mois de janvier est caractérisé par :

- une apparition ponctuelle de « LIGA » en pleine eau le 25 janvier,
- des débits moyens de l'Adour,
- des précipitations moyennes,
- un régime de très hautes pressions,
- des vents dominants d'Ouest, Nord-Ouest et Nord,
- des températures de l'air de saison,
- une mer agitée,

4.14. Février 2012

4.14.1. Observations de «LIGA»

En février 2012, 1 observation de «LIGA» a été réalisée par les pêcheurs professionnels.

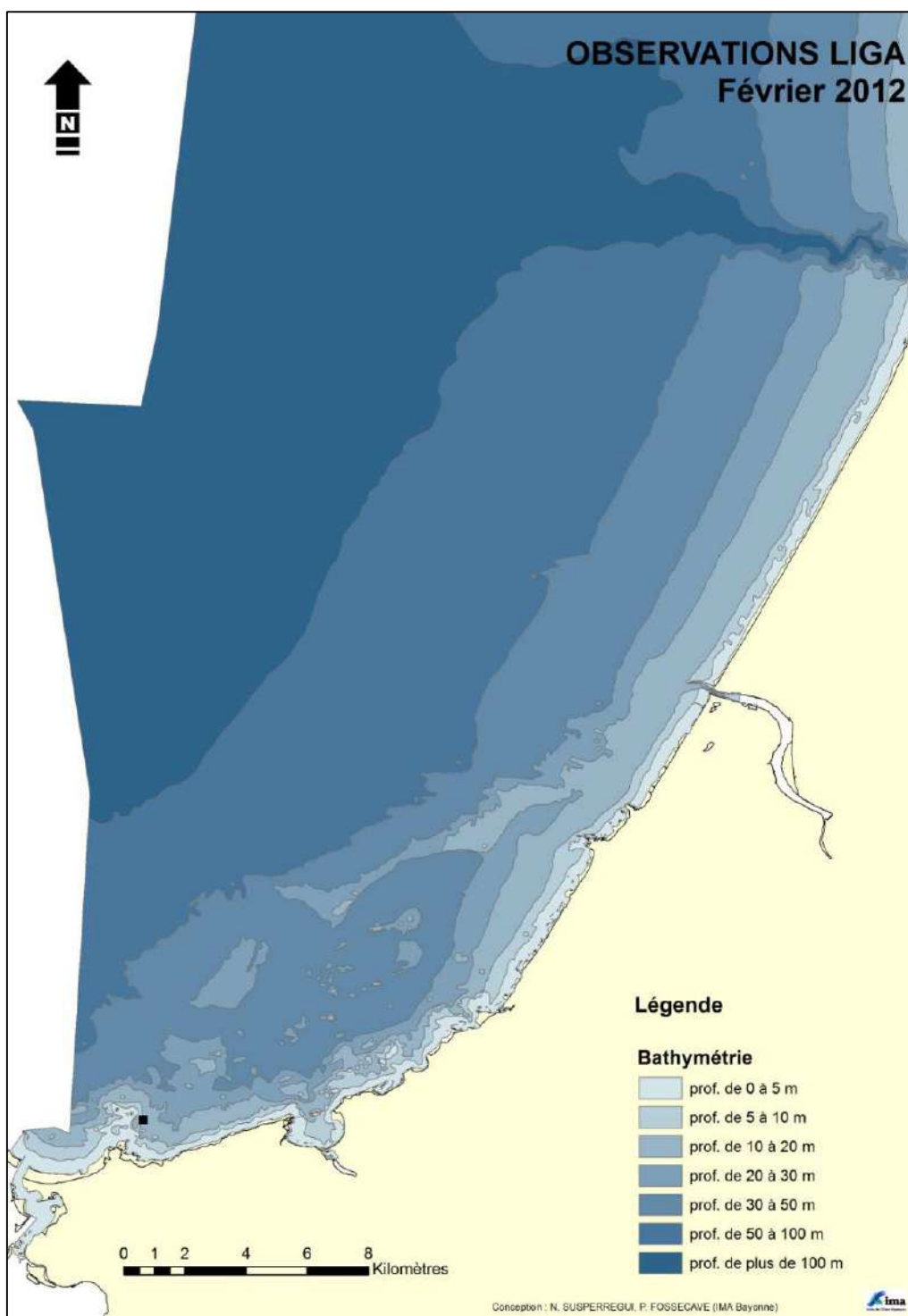


Figure 172 : Observations de «LIGA» en février 2012

En février 2012, le «LIGA» a été détecté le 23 février en pleine eau à une profondeur d'environ 7 m.

4.14.2. Conditions hydrologiques de l'Adour

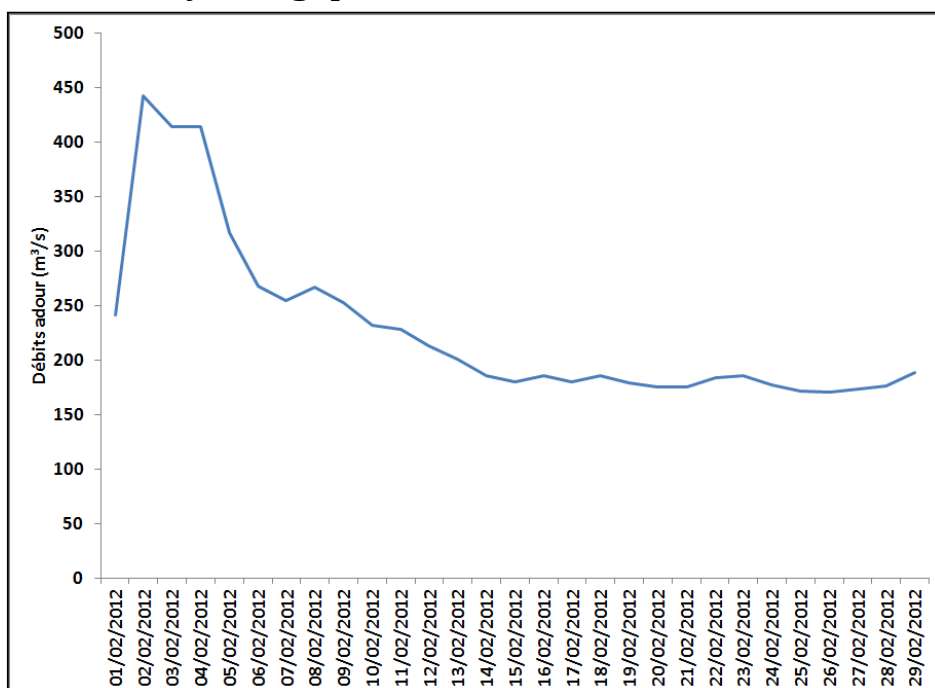


Figure 173 : Evolution des débits journaliers de l'Adour maritime en février 2012 (Source : BD hydro)

Les débits de l'Adour maritime sont faibles pour un mois de février. Le module mensuel est de $228 \text{ m}^3/\text{s} \pm 77 \text{ m}^3/\text{s}$ (moyenne 1956 – 2010 = $403 \text{ m}^3/\text{s} \pm 199 \text{ m}^3/\text{s}$). On observe un pic de débit le 2 février ($442 \text{ m}^3/\text{s}$).

4.14.3. Conditions météorologiques

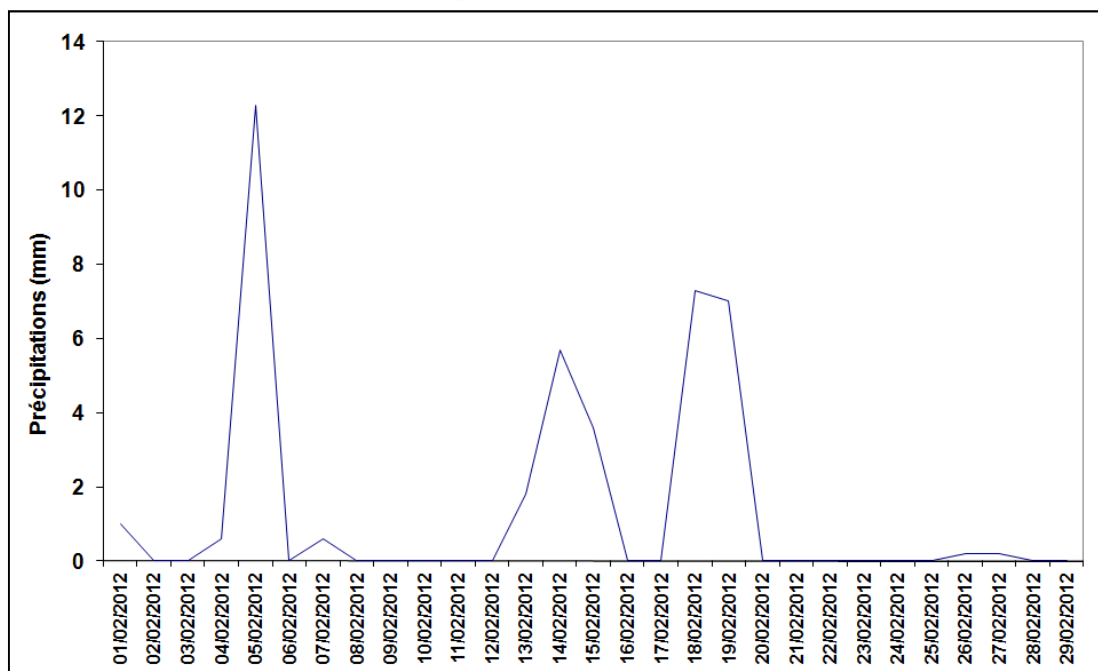


Figure 174 : Evolution des précipitations journalières en février 2012 (Source : Météo France)

Les précipitations du mois de février sont relativement faibles. Le cumul mensuel est de 40 mm (moyenne 1956 – 2010 = $108 \text{ mm} \pm 53 \text{ mm}$). On observe un pic de précipitation le 05 février (12 mm).

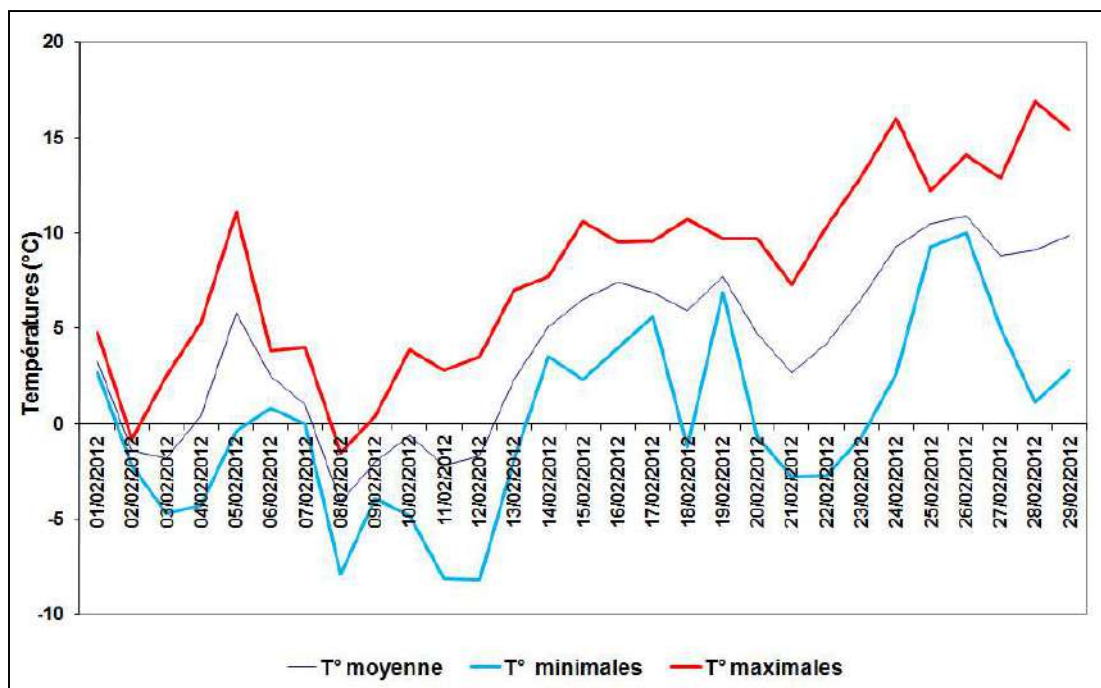


Figure 175 : Evolution des températures journalières en février 2012 (Source : Météo France)

Le mois de février est caractérisé par des températures froides pour la saison. La température moyenne du mois de février 2012 est de 4 °C +/- 4,4 °C (moyenne 1956 – 2010 = 8,9 °C +/- 4 °C). On observe un réchauffement continu des températures depuis le 12 février.

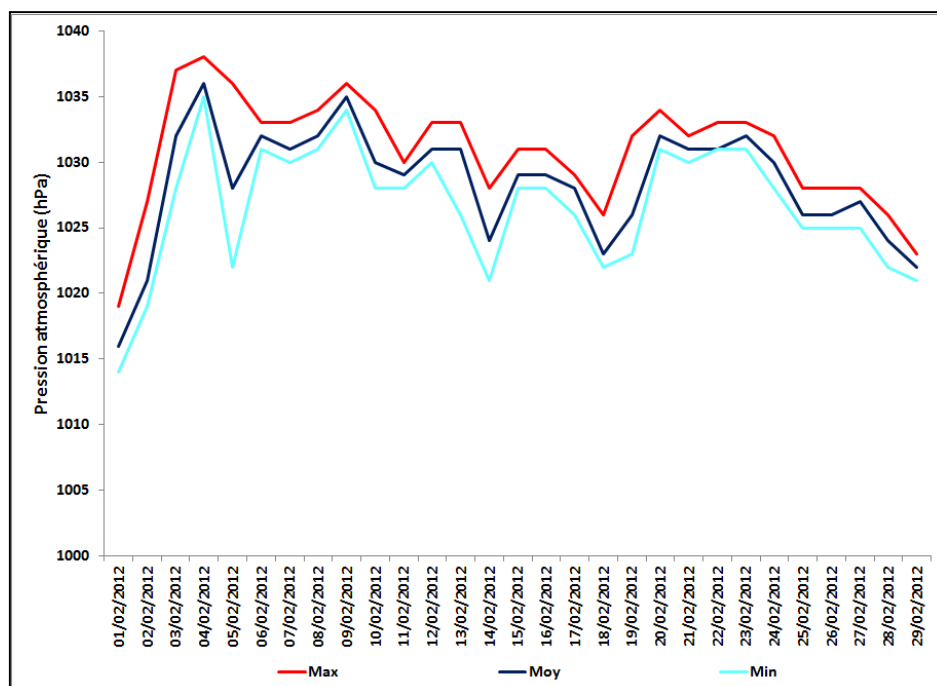


Figure 176 : Evolution journalière de la pression atmosphérique (Source : Weather underground)

Le mois de février 2012 est marqué par un régime de très hautes pressions atmosphériques. La pression moyenne est de 1 028 hPa +/- 4 hPa.

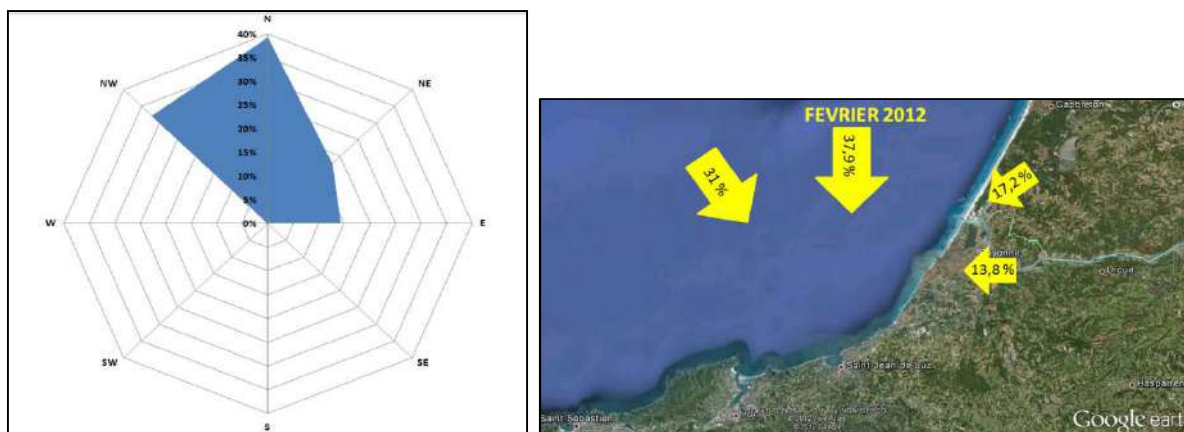


Figure 177 : Rose des vents du mois de février 2012 (Source : Météo France)

Les vents dominants en février 2012 sont respectivement de secteur Nord, Nord-Ouest, Nord-Est et Est.

4.14.4. Conditions océanographiques

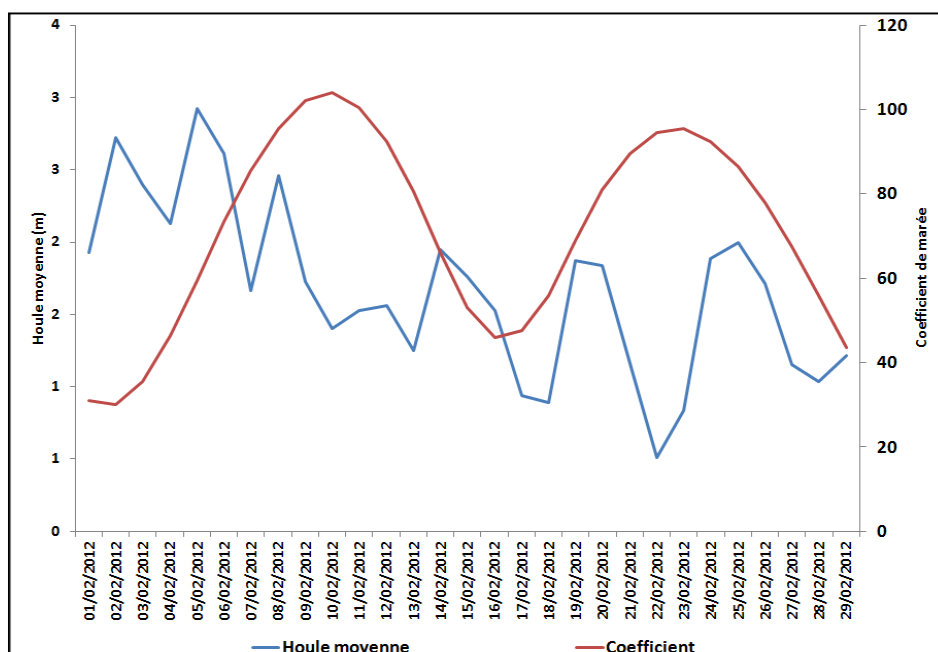


Figure 178 : Evolution de la houle journalière en février 2012 (Source : Windguru)

En février 2012, la mer est relativement peu agitée. La houle moyenne est de 1,7 m +/- 0,6 m. Un épisode de forte houle est survenu début février.

4.14.5. Synthèse du mois de février

Le mois de février est caractérisé par :

- une apparition ponctuelle de « LIGA » le 23 février en pleine eau,
- des débits faibles de l'Adour,
- de faibles précipitations,
- un régime de très hautes pressions,
- des vents dominants d'Ouest, Nord-Ouest et Nord-Est,
- des températures de l'air froides,
- une mer peu agitée à partir de mi-février,

4.15. Mars 2012

4.15.1. Observations de «LIGA»

En mars 2012, 24 observations de «LIGA» ont été réalisées par les pêcheurs professionnels suite ou simultanément à des marées rouges.

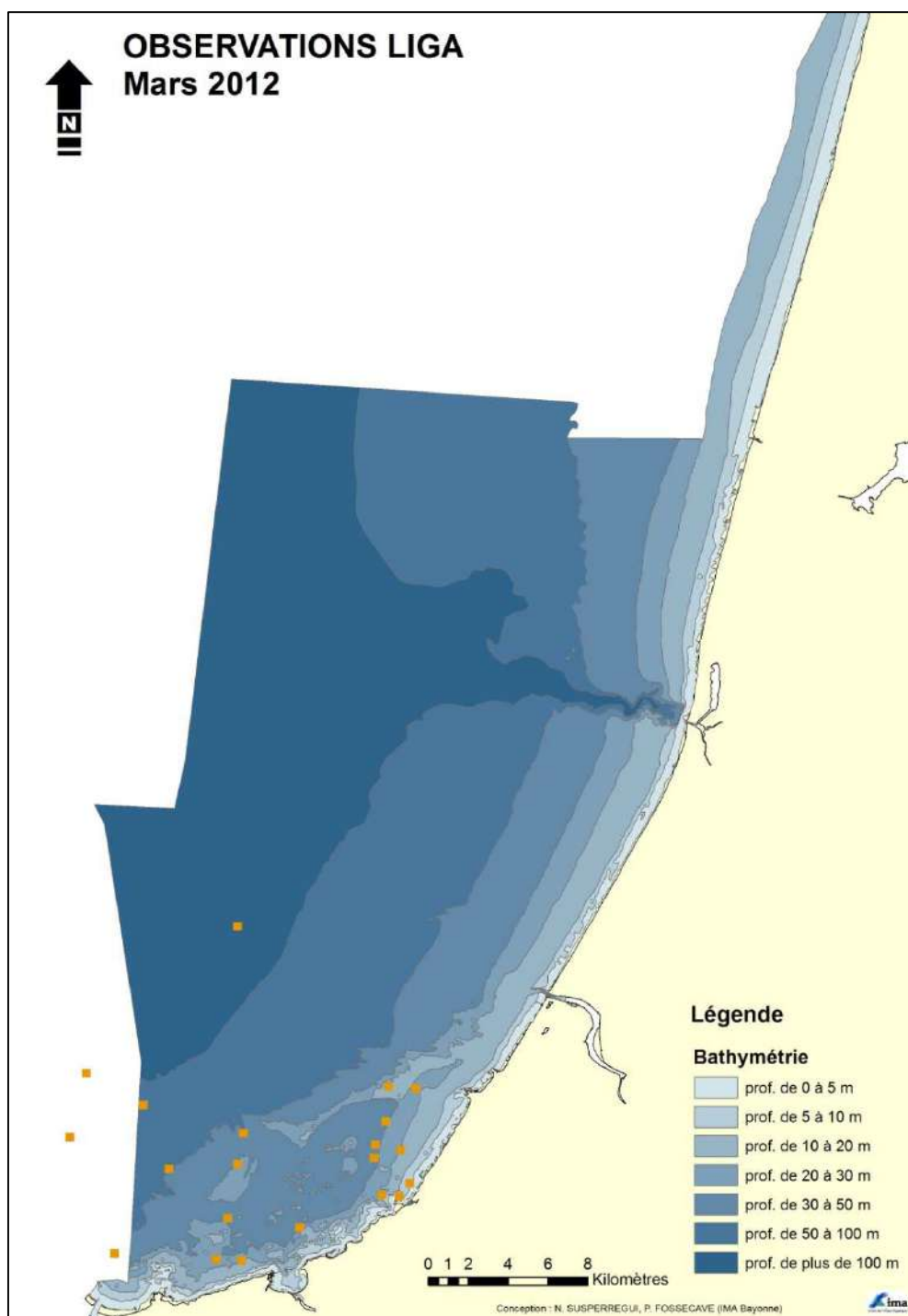


Figure 179 : Observations de «LIGA» en mars 2012

En mars 2012, le «LIGA» est principalement présent dans la partie littorale du sud Adour en pleine eau sur la zone côtière et au fond vers le large. Les observations concernent la deuxième quinzaine du mois.

4.15.2. Conditions hydrologiques de l'Adour

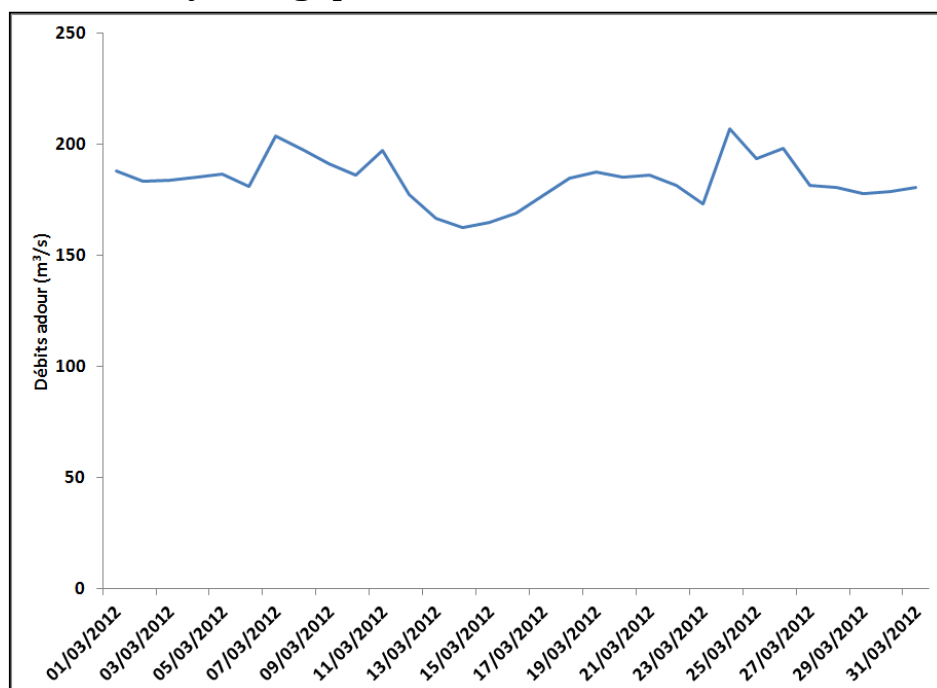


Figure 180 : Evolution des débits journaliers de l'Adour maritime en mars 2012 (Source : BD hydro)

Les débits de l'Adour maritime sont faibles pour un mois de mars. Le module mensuel est de $184 \text{ m}^3/\text{s} \pm 10 \text{ m}^3/\text{s}$ (moyenne 1956 – 2010 = $374 \text{ m}^3/\text{s} \pm 146 \text{ m}^3/\text{s}$). Aucune crue de l'Adour n'a contribué au bloom phytoplanctonique de début mars.

4.15.3. Conditions météorologiques

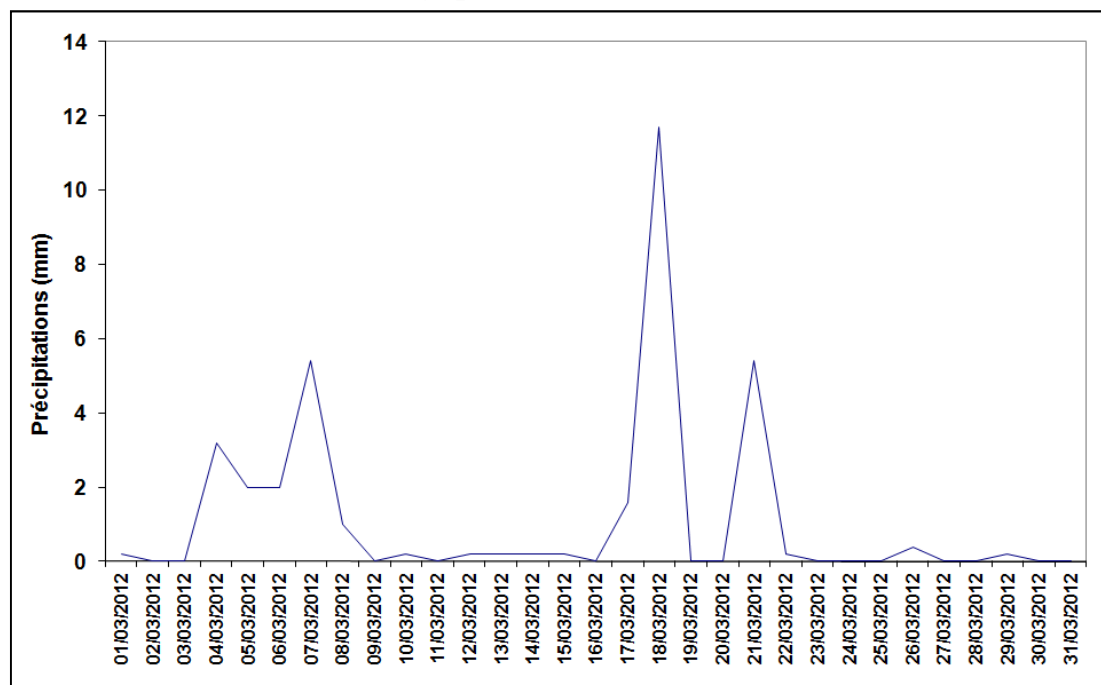


Figure 181 : Evolution des précipitations journalières en mars 2012 (Source : Météo France)

Les précipitations du mois de mars sont faibles. Le cumul mensuel est de 34 mm (moyenne 1956 – 2010 = 110 mm \pm 55 mm). On observe un pic de précipitation le 18 mars (11,7 mm).

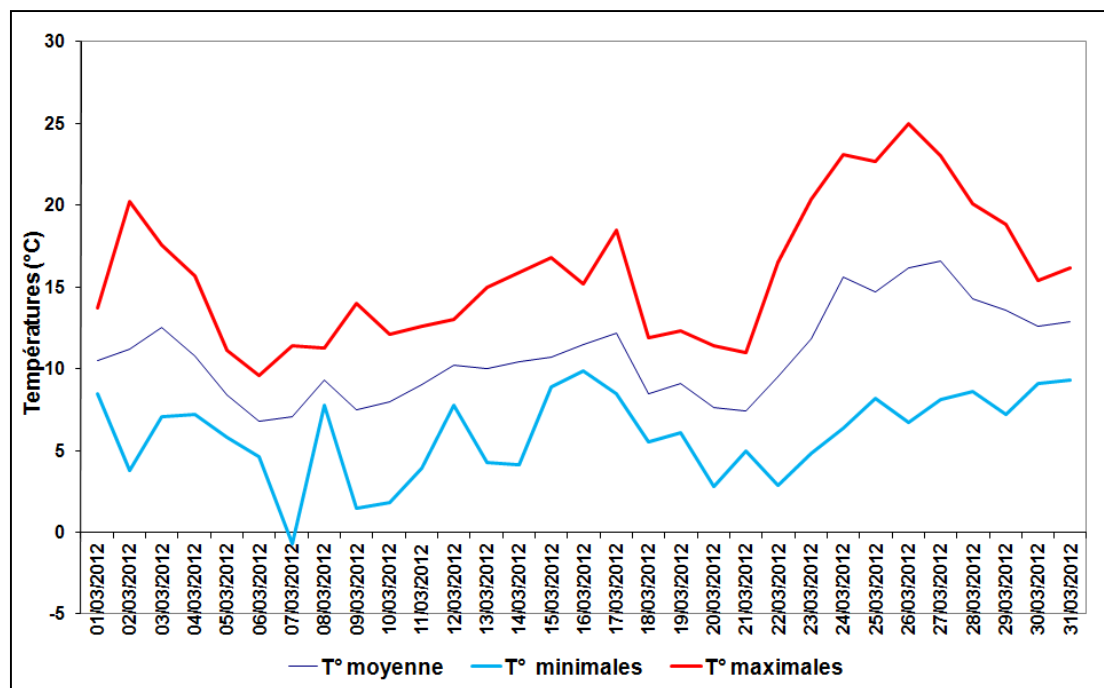


Figure 182 : Evolution des températures journalières en mars 2012 (Source : Météo France)

Le mois de mars est caractérisé par des températures de saison. La température moyenne du mois de mars 2012 est de 10,8 °C +/- 2,7°C (moyenne 1956 – 2010 = 10,6 °C +/- 3,5 °C). Le réchauffement de début mars a pu contribuer à la photosynthèse et donc à la production phytoplanctonique caractérisée par des eaux rouges.

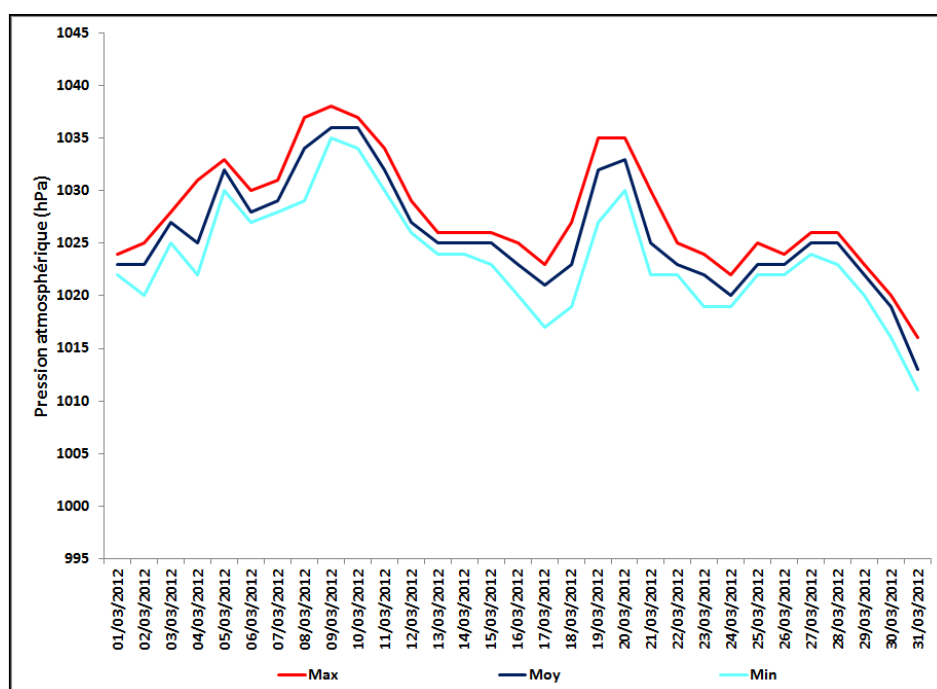


Figure 183 : Evolution journalière de la pression atmosphérique (Source : Weather underground)

Le mois de mars 2012 est marqué par un régime de hautes pressions atmosphériques. La pression moyenne est de 1 026 hPa +/- 5 hPa. Le régime de haute pression (beau temps) de début mars peut avoir contribué à la photosynthèse et donc à la production phytoplanctonique caractérisée par des eaux rouges.

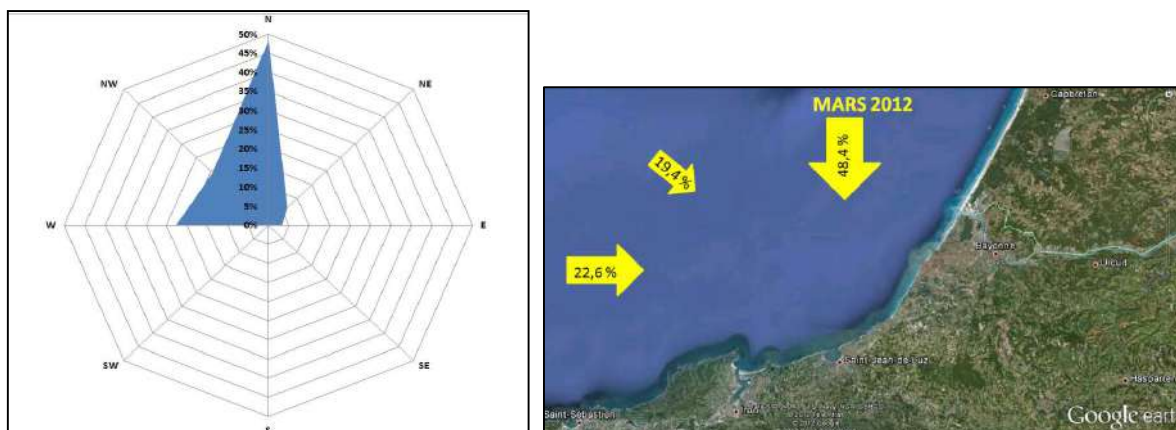


Figure 184 : Rose des vents du mois de mars 2012 (Source : Météo France)

Les vents dominants en mars 2012 sont respectivement de secteur Nord, Ouest et Nord-Ouest.

4.15.4. Conditions océanographiques

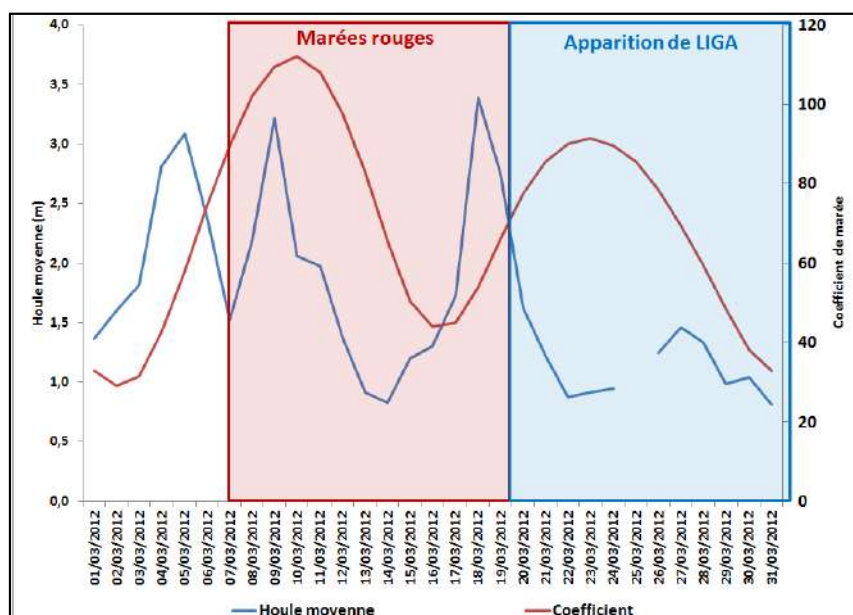


Figure 185 : Evolution de la houle journalière en mars 2012 (Source : Windguru)

En mars 2012, la mer est relativement peu agitée. La houle moyenne est de 1,7 m +/- 0,7 m.

4.15.5. Synthèse du mois de mars

Le mois de mars est caractérisé par :

- l'apparition de marées rouges de début à mi-mars, et du «LIGA» en pleine eau sur le littoral basque,
- des débits faibles de l'Adour,
- de faibles précipitations,
- un régime de hautes pressions,
- des vents dominants d'Ouest, Nord et Nord-Ouest,
- des températures de l'air de saison,
- une mer peu agitée,

4.16. Avril 2012

4.16.1. Observations de «LIGA»

En avril 2012, 15 observations de «LIGA» ont été réalisées par les pêcheurs professionnels.

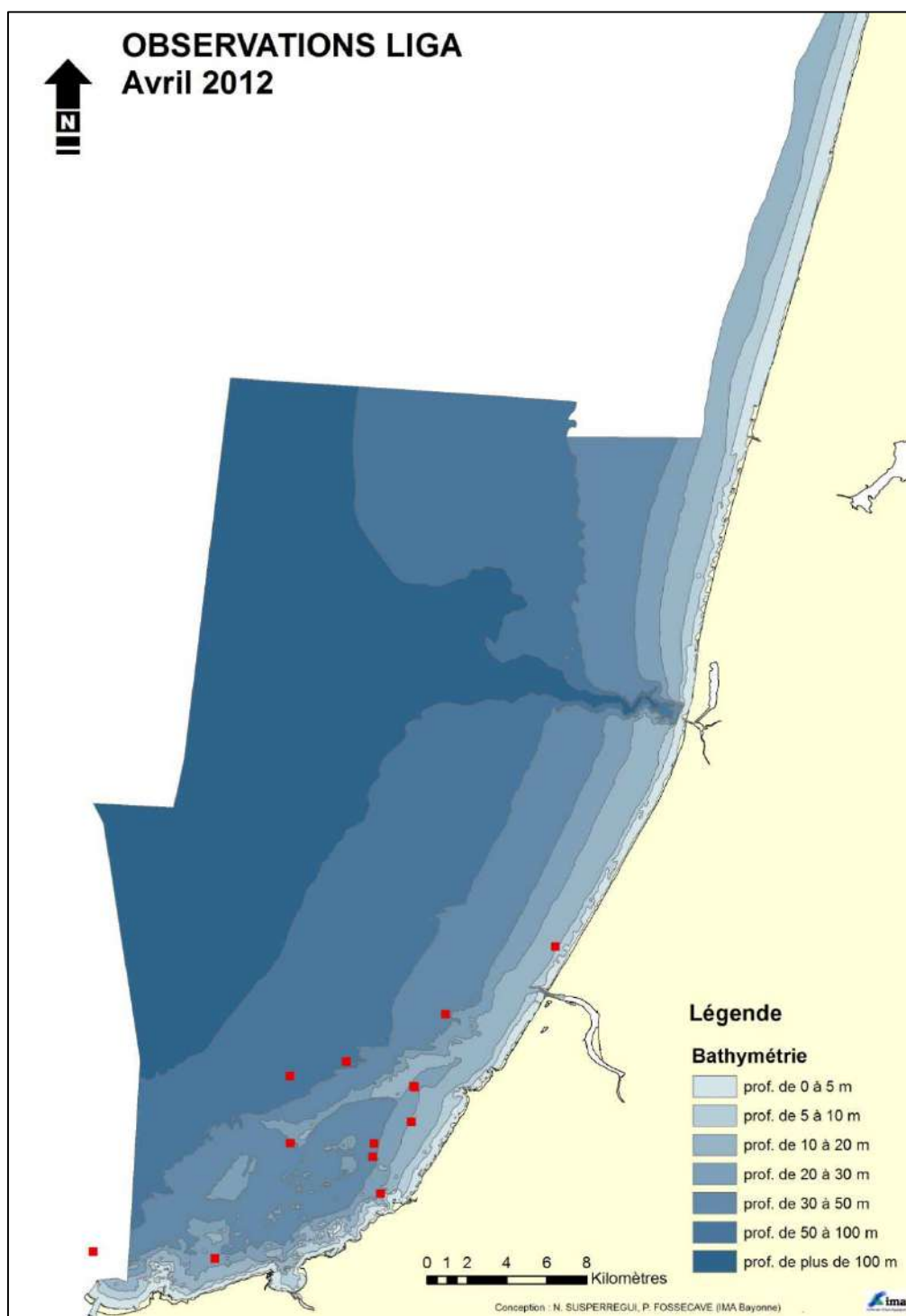


Figure 186 : Observations de «LIGA» en avril 2012

Elles ont tous été réalisées au début du mois d'avril. Le mauvais temps et la houle ont considérablement diminué les sorties de pêche. Lors de la reprise d'une activité plus soutenue, du 22 au 30 avril, le «LIGA» est absent des filets.

4.16.2. Conditions hydrologiques de l'Adour

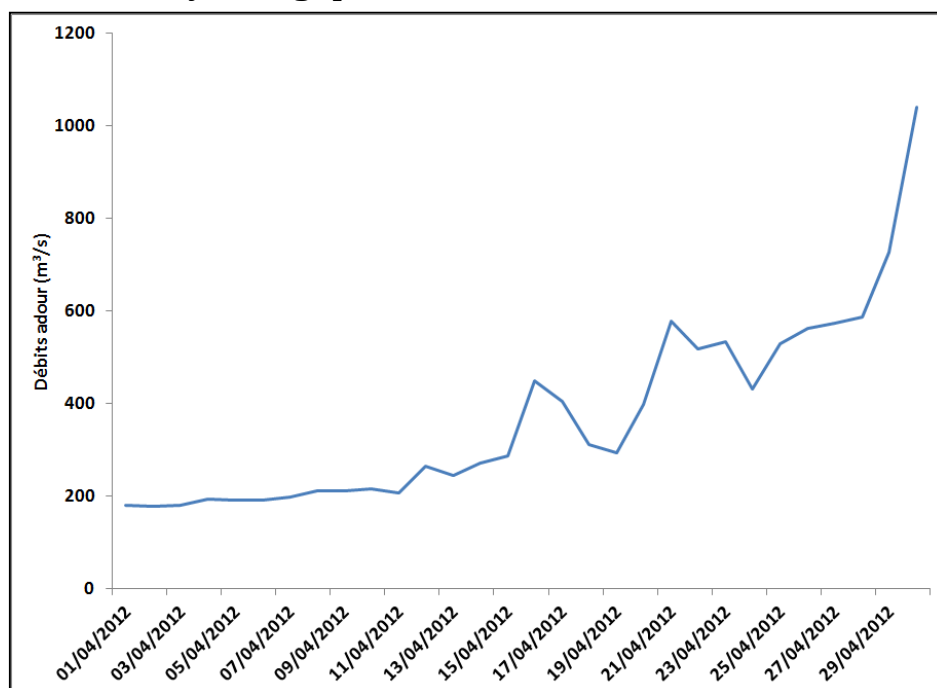


Figure 187 : Evolution des débits journaliers de l'Adour maritime en avril 2012 (Source : BD hydro)

Les débits de l'Adour maritime sont de saison pour un mois d'avril. Le module mensuel est de $372 \text{ m}^3/\text{s} \pm 204 \text{ m}^3/\text{s}$ (moyenne 1956 – 2010 = $423 \text{ m}^3/\text{s} \pm 140 \text{ m}^3/\text{s}$). On observe un pic de débit le 30 avril ($1\,040 \text{ m}^3/\text{s}$).

4.16.3. Conditions météorologiques

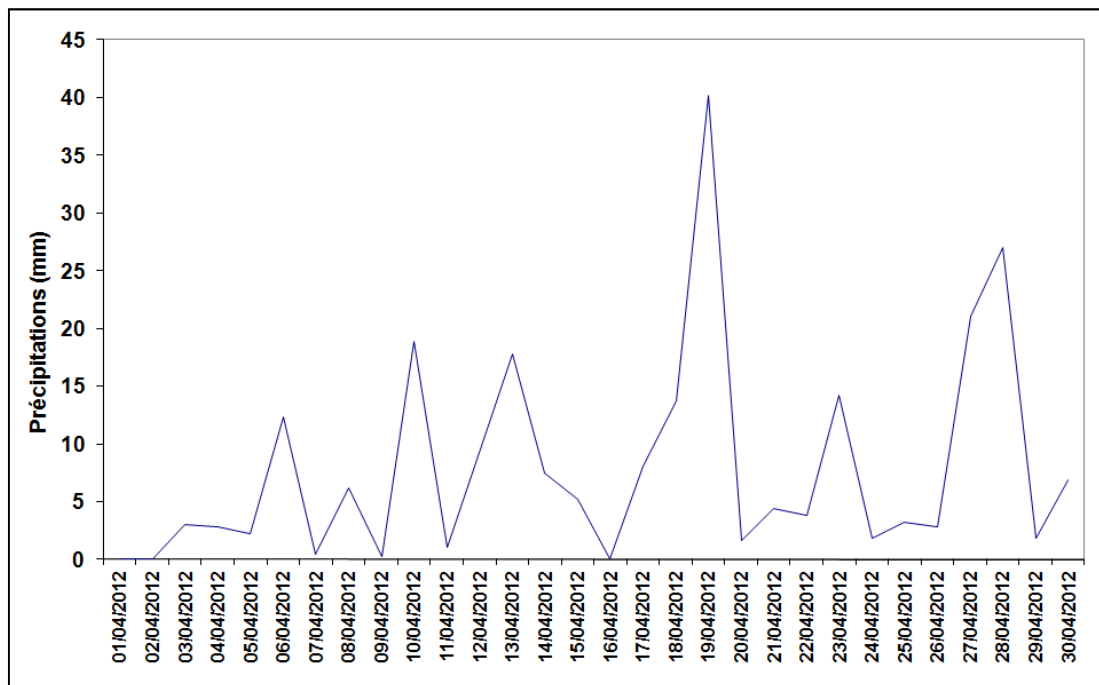


Figure 188 : Evolution des précipitations journalières en avril 2012 (Source : Météo France)

Les précipitations du mois d'avril sont élevées. Le cumul mensuel est de 237 mm (moyenne 1956 – 2010 = $123 \text{ mm} \pm 68 \text{ mm}$). On observe un pic de précipitation le 19 avril (40 mm).

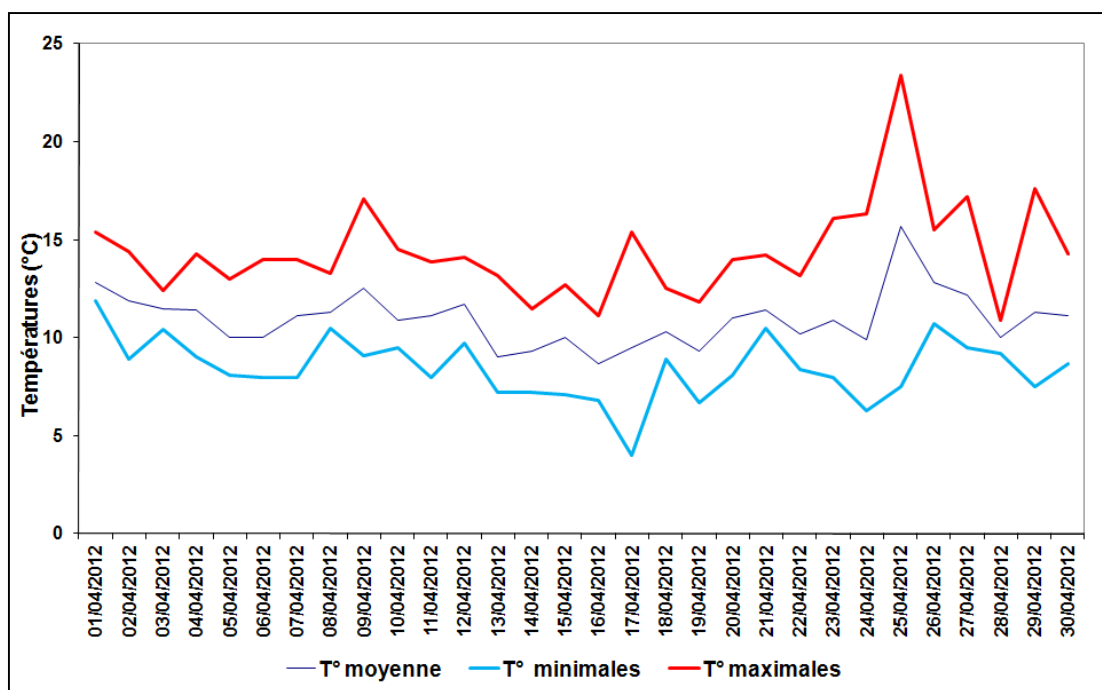


Figure 189 : Evolution des températures journalières en avril 2012 (Source : Météo France)

Le mois d'avril est caractérisé par des températures fraîches. La température moyenne du mois d'avril 2012 est de 11°C +/- 1,4°C (moyenne 1956 – 2010 = 12 °C +/- 3 °C).

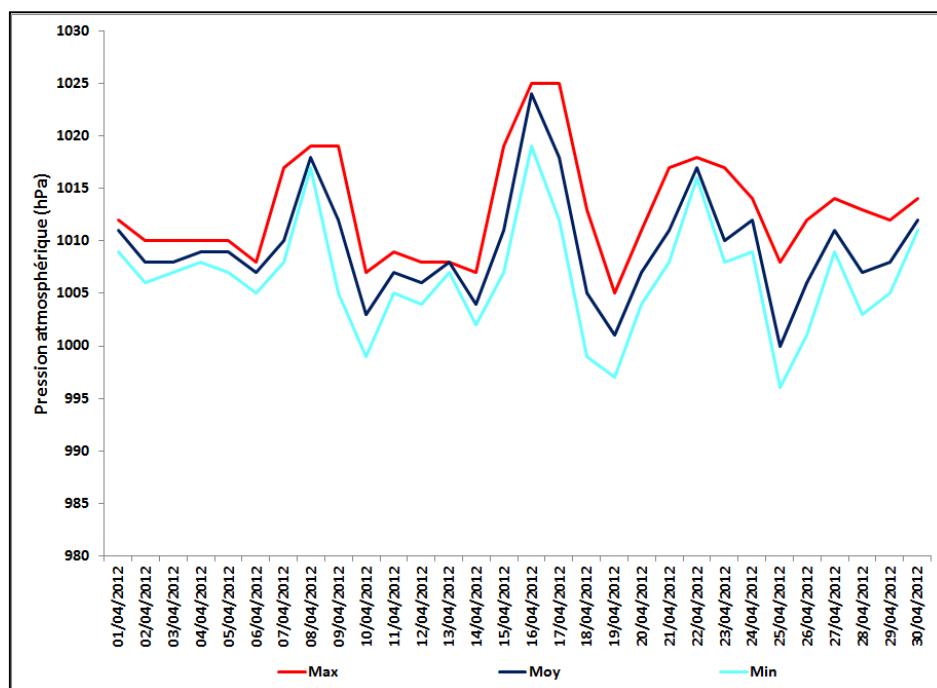


Figure 190 : Evolution journalière de la pression atmosphérique (Source : Weather underground)

Le mois d'avril 2012 est marqué par un régime de basses pressions atmosphériques. La pression moyenne est de 1 009 hPa +/- 5 hPa.

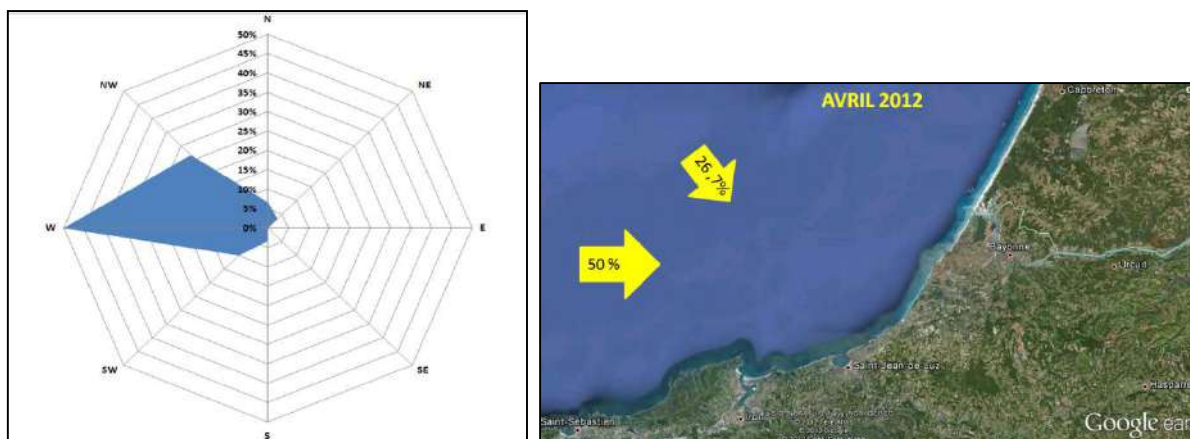


Figure 191 : Rose des vents du mois d'avril 2012 (Source : Météo France)

Les vents dominants en avril 2012 sont respectivement de secteur Ouest et Nord-Ouest.

4.16.4. Conditions océanographiques

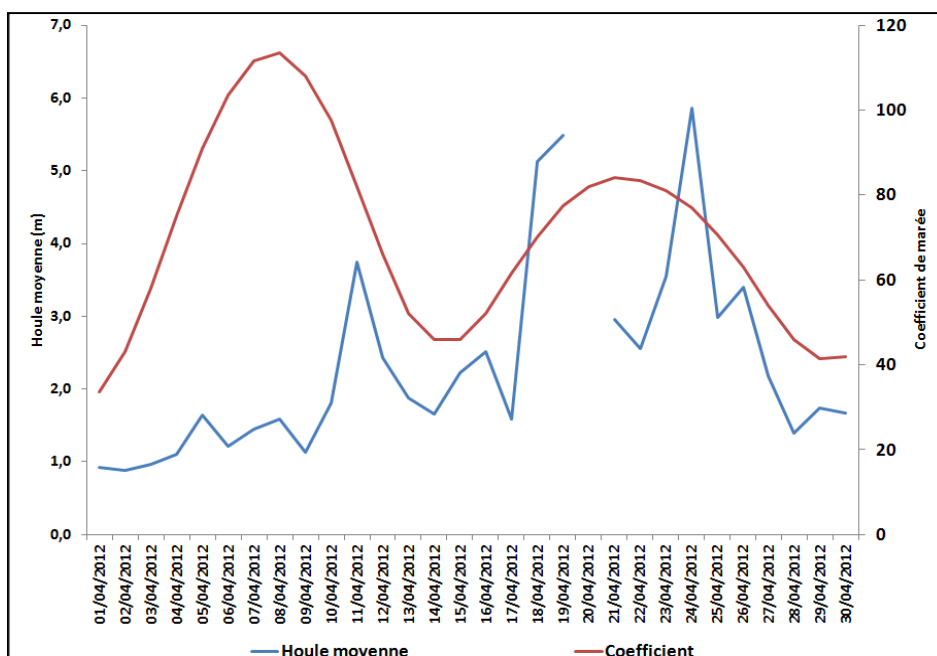


Figure 192 : Evolution de la houle journalière en avril 2012 (Source : Windguru)

En avril 2012, la mer est agitée. La houle moyenne est de 2,3 m +/- 1,3 m. Deux épisodes de forte houle sont survenus entre le 11 et le 12 avril et le 18 et le 26 avril.

4.16.5. Synthèse du mois de avril

Le mois d'avril est caractérisé par :

- une présence du «LIGA» en pleine eau au début du mois,
- des débits de l'Adour de saison,
- de très fortes précipitations,
- un régime de basses pressions,
- des vents dominants d'Ouest et Nord-Ouest,
- des températures de l'air fraîches pour la saison,
- une mer agitée,

4.17. Mai 2012

4.17.1. Observations de «LIGA»

En mai 2012, 51 observations de «LIGA» ont été réalisées par les pêcheurs professionnels.

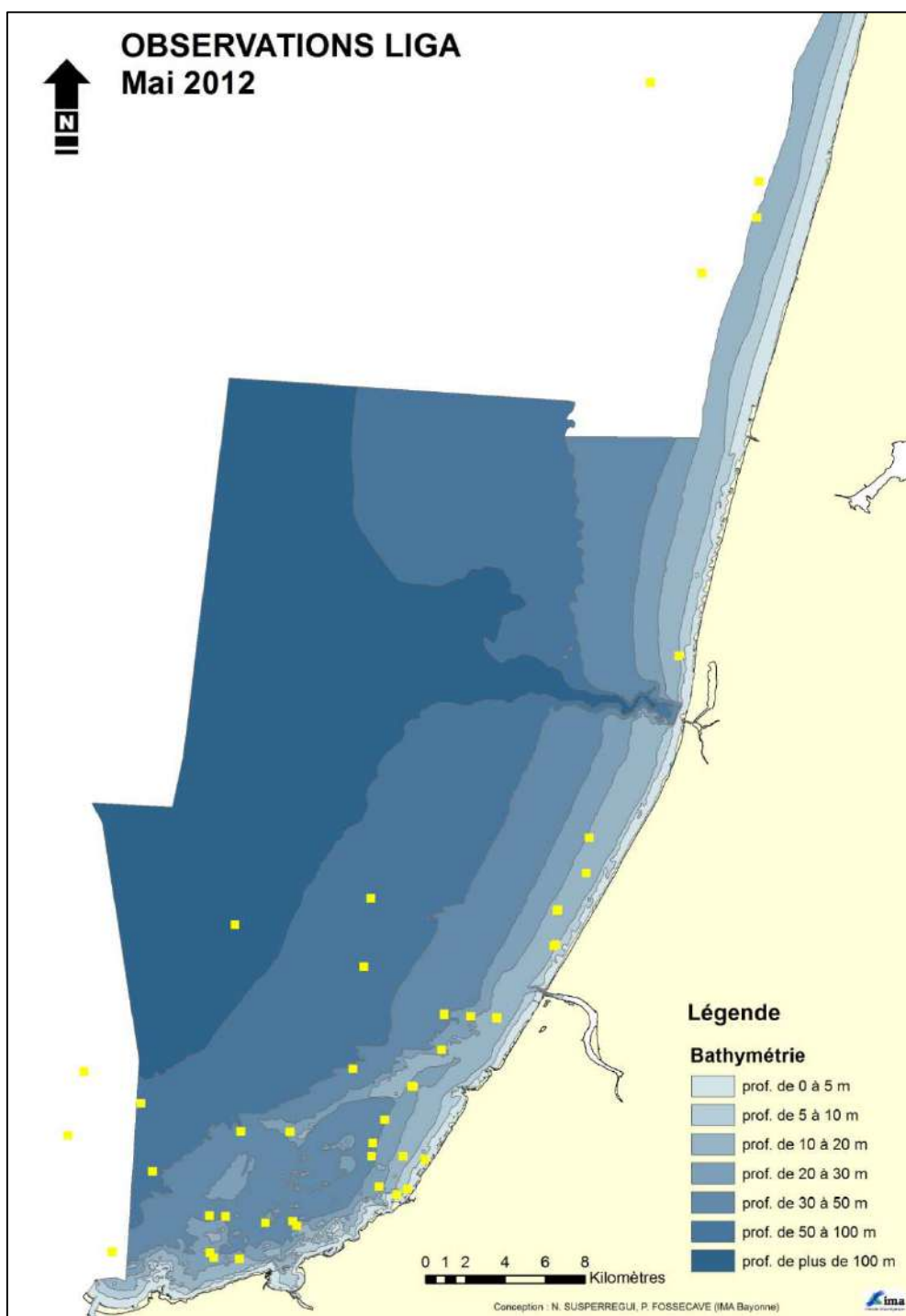


Figure 193 : Observations de «LIGA» en mai 2012

Le «LIGA» est absent du 1^{er} au 4 mai puis réapparaît le 5 sur le littoral basque en pleine eau. Le 8 mai, sa présence est associée à une présence abondante de salpes. On le retrouve de façon régulière tout au long du mois de mai. De forts courants de sud le poussent vers le littoral sud landais.

4.17.2. Conditions hydrologiques de l'Adour

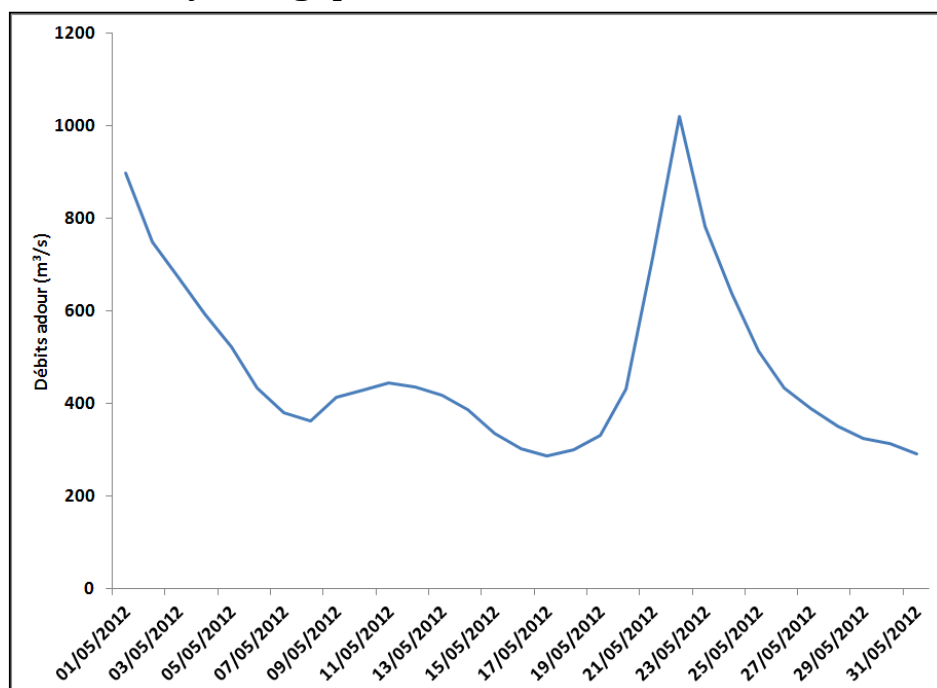


Figure 194 : Evolution des débits journaliers de l'Adour maritime en mai 2012 (Source : BD hydro)

Les débits de l'Adour maritime sont moyens pour un mois de mai. Le module mensuel est de $480 \text{ m}^3/\text{s} \pm 189 \text{ m}^3/\text{s}$ (moyenne 1956 – 2010 = $422 \text{ m}^3/\text{s} \pm 137 \text{ m}^3/\text{s}$). On observe un pic de débit le 22 mai ($1\,019 \text{ m}^3/\text{s}$).

4.17.3. Conditions météorologiques

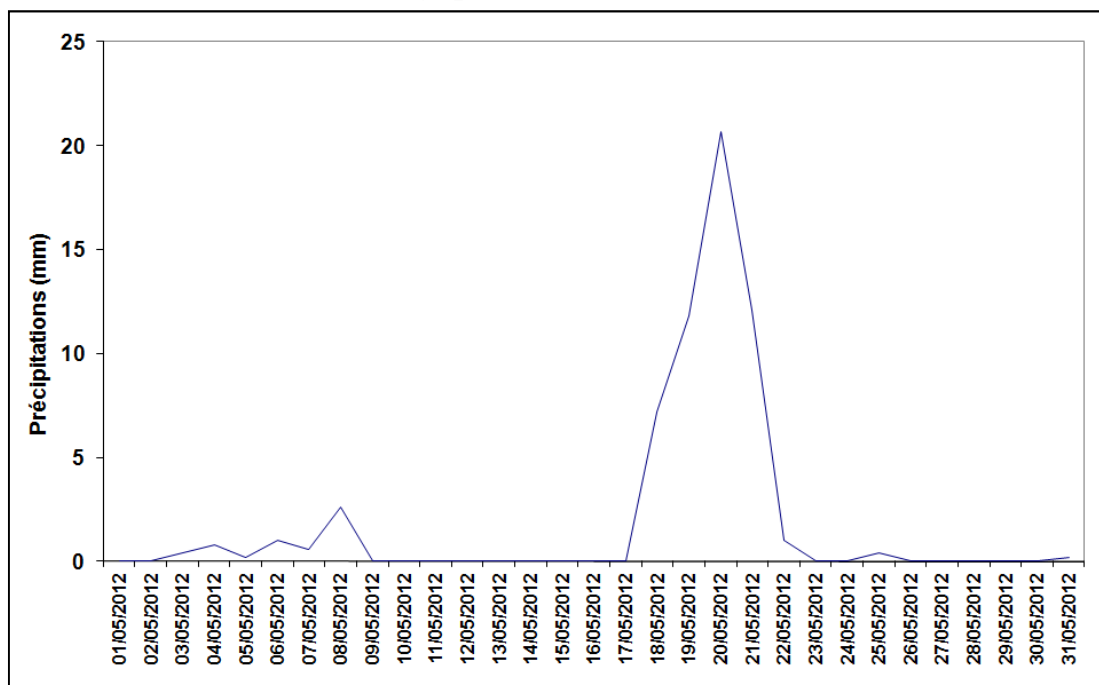


Figure 195 : Evolution des précipitations journalières en mai 2012 (Source : Météo France)

Les précipitations du mois de mai sont relativement faibles. Le cumul mensuel est de 59 mm (moyenne 1956 – 2010 = 115 mm \pm 51 mm). On observe un pic de précipitation le 21 mai (21 mm).

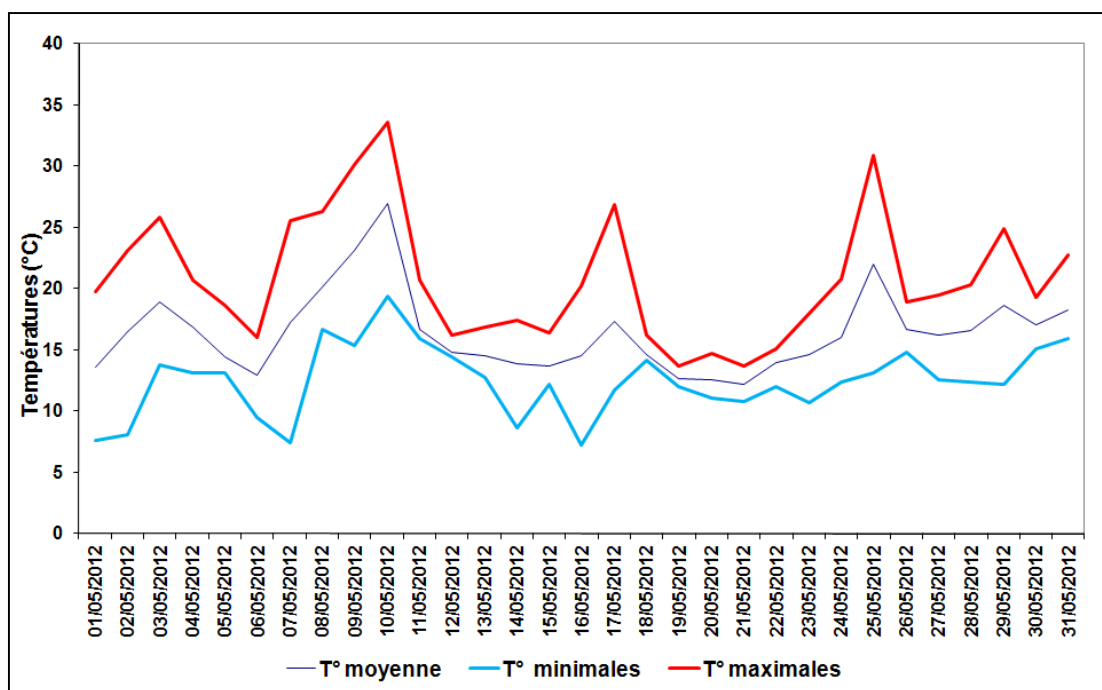


Figure 196 : Evolution des températures journalières en mai 2012 (Source : Météo France)

Le mois de mai est caractérisé par des températures de saison. La température moyenne du mois de mai 2012 est de 16,4 °C +/- 3,3°C (moyenne 1956 – 2010 = 15,2 °C +/- 3 °C).

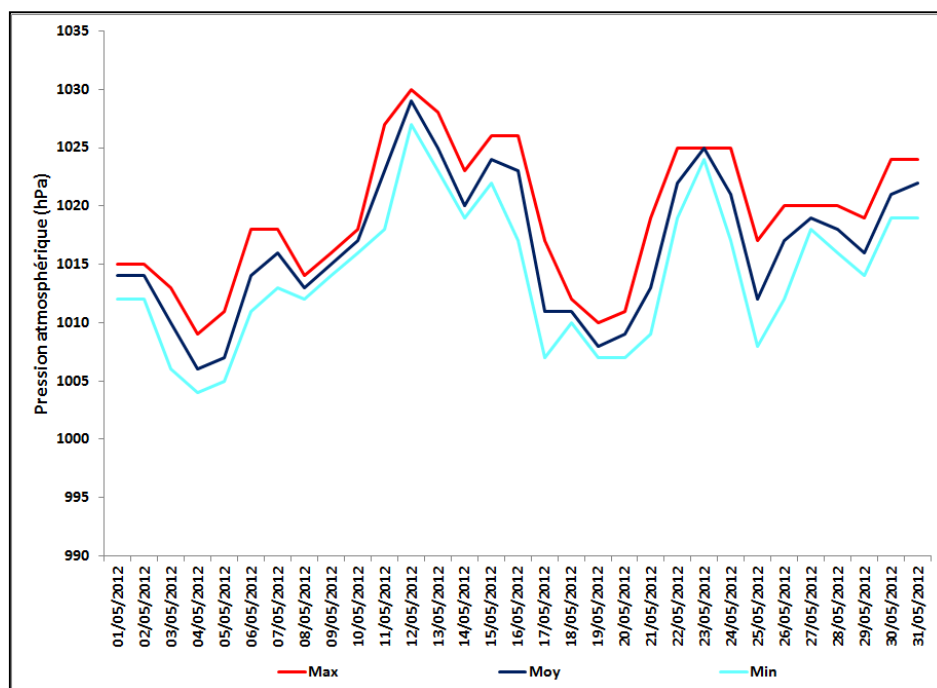


Figure 197 : Evolution journalière de la pression atmosphérique (Source : Weather underground)

Le mois de mai 2012 est marqué par un régime de moyennes pressions atmosphériques. La pression moyenne est de 1 016 hPa +/- 6 hPa.

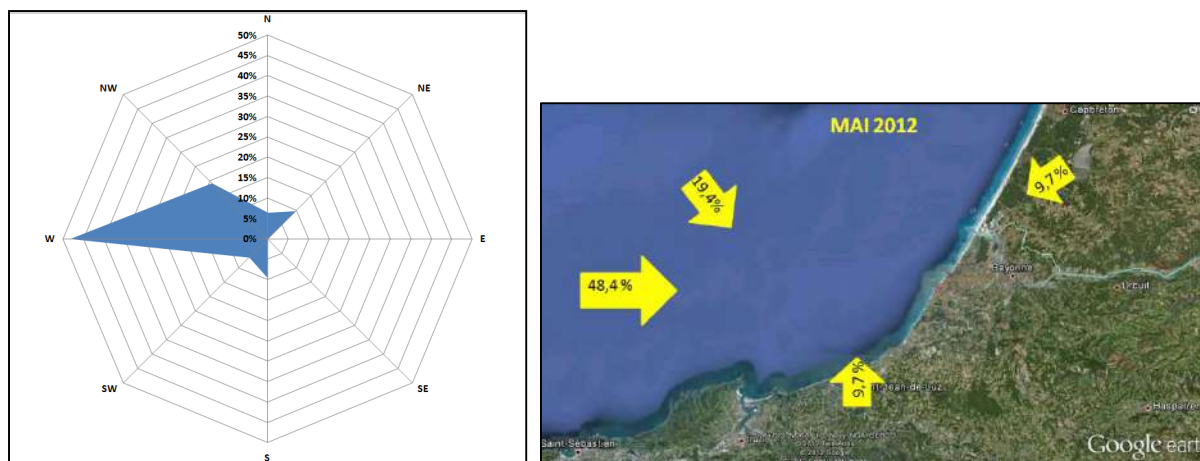


Figure 198 : Rose des vents du mois de mai 2012 (Source : Météo France)

Les vents dominants en mai 2012 sont respectivement de secteur Ouest et Nord-Ouest.

4.17.4. Conditions océanographiques

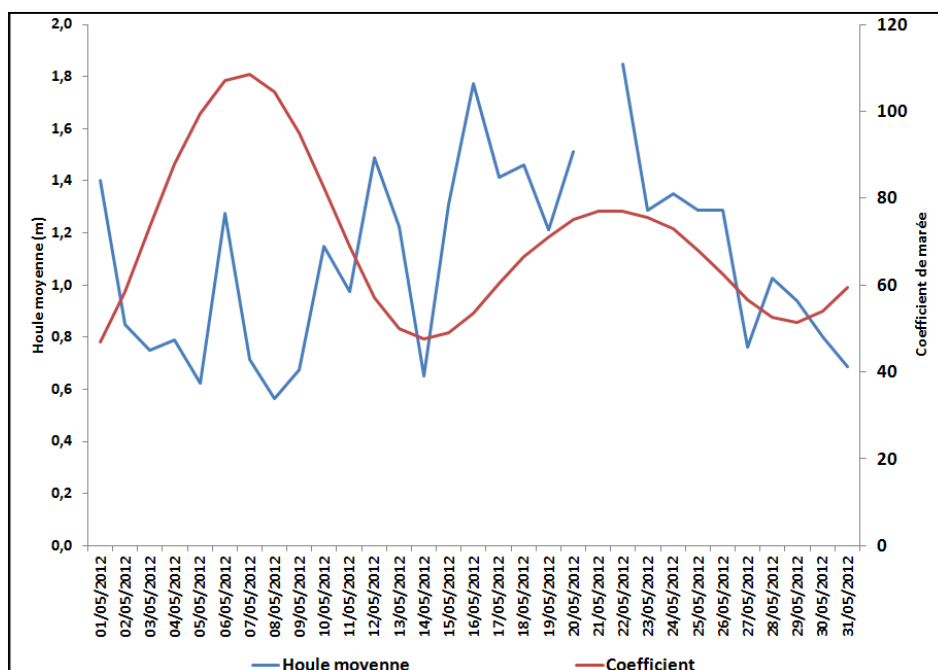


Figure 199 : Evolution de la houle journalière en mai 2012 (Source : Windguru)

En mai 2012, la mer est peu agitée. La houle moyenne est de 1,1 m +/- 0,3 m.

4.17.5. Synthèse du mois de mai

Le mois de mai est caractérisé par :

- une augmentation de la présence du «LIGA» sur le littoral basque,
- des débits moyens de l'Adour,
- de faibles précipitations,
- un régime de moyennes pressions avec alternance de hautes et basses pressions,
- des vents dominants d'Ouest et Nord-Ouest,
- des températures de l'air de saison,
- une mer peu agitée,

4.18. Juin 2012

4.18.1. Observations de «LIGA»

En juin 2012, 68 observations de «LIGA» ont été réalisées par les pêcheurs professionnels.

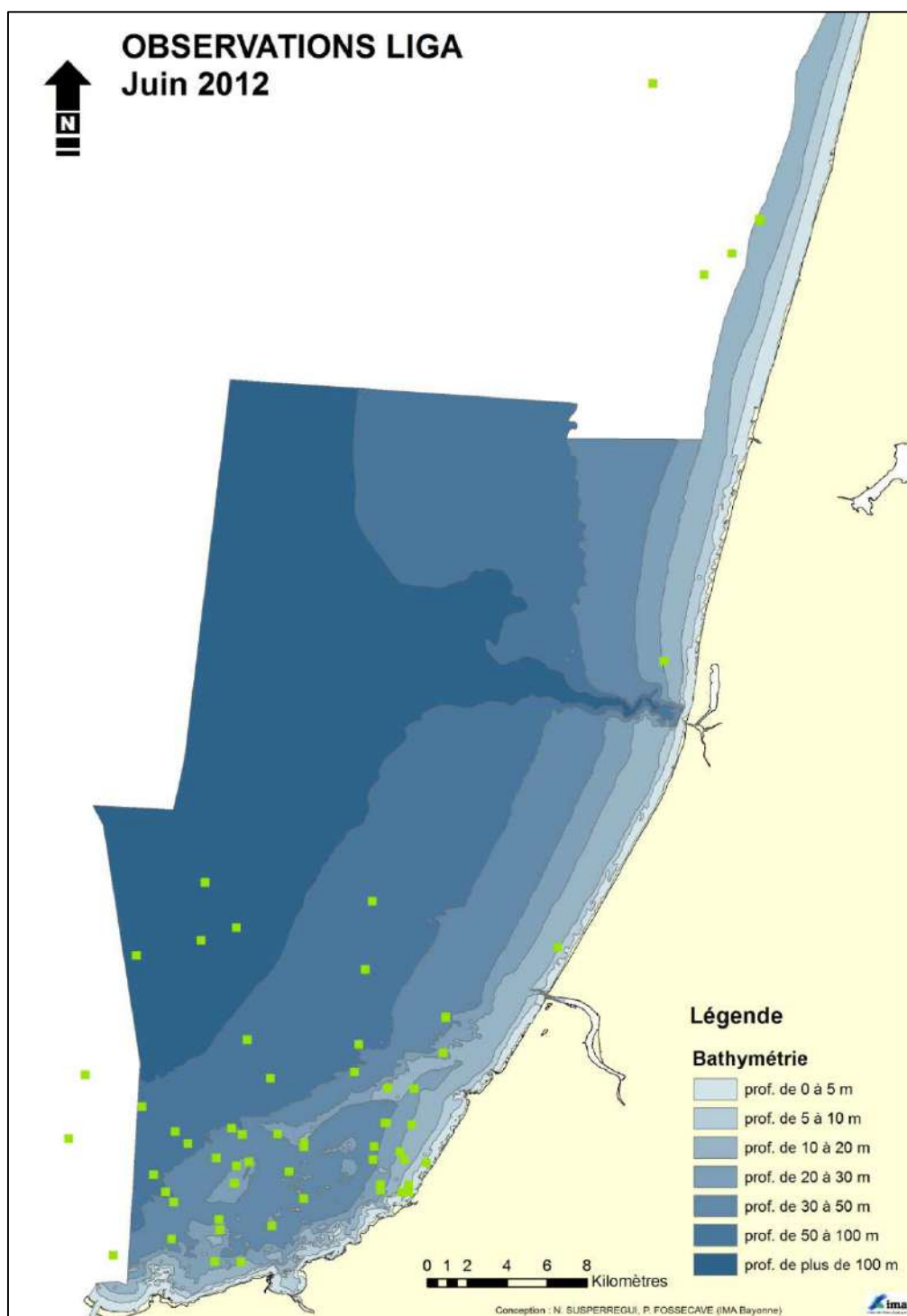


Figure 200 : Observations de «LIGA» en juin 2012

En juin 2012, le «LIGA» est présent tout le mois. On le retrouve principalement en zone côtière en pleine eau et au fond sur des fonds inférieurs à 10 m et supérieurs à 50 m. De forts courants de sud le poussent jusqu'au nord de la fosse de Capbreton.

4.18.2. Conditions hydrologiques de l'Adour

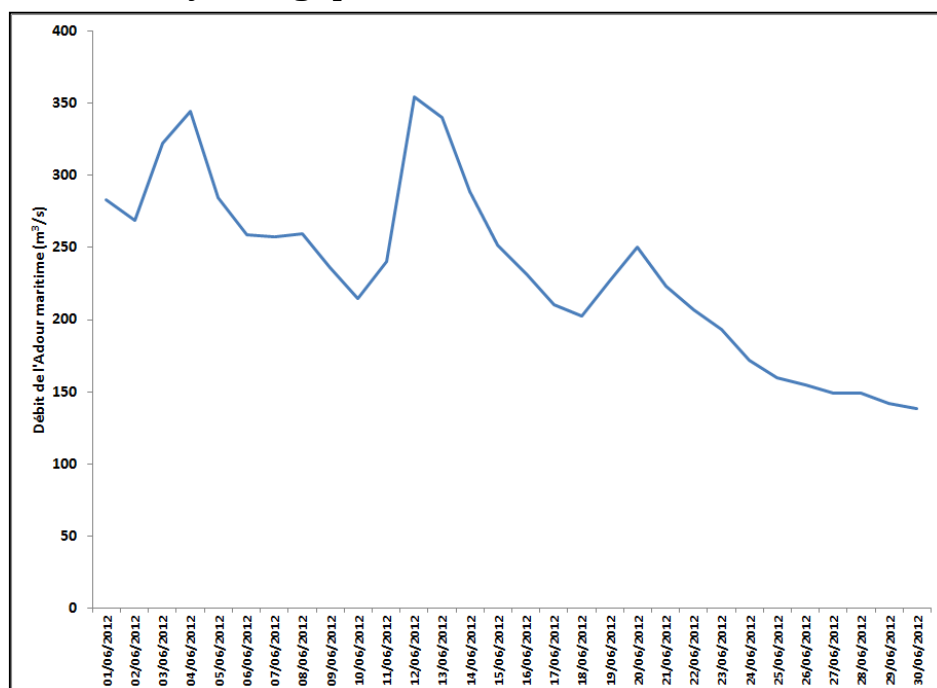


Figure 201 : Evolution des débits journaliers de l'Adour maritime en juin 2012 (Source : BD hydro)

Les débits de l'Adour maritime sont faibles pour un mois de juin. Le module mensuel est de $234 \text{ m}^3/\text{s} \pm 61 \text{ m}^3/\text{s}$ (moyenne 1956 – 2010 = $318 \text{ m}^3/\text{s} \pm 124 \text{ m}^3/\text{s}$). On observe deux pics de débit le 4 juin ($344 \text{ m}^3/\text{s}$) et le 12 ($354 \text{ m}^3/\text{s}$).

4.18.3. Conditions météorologiques

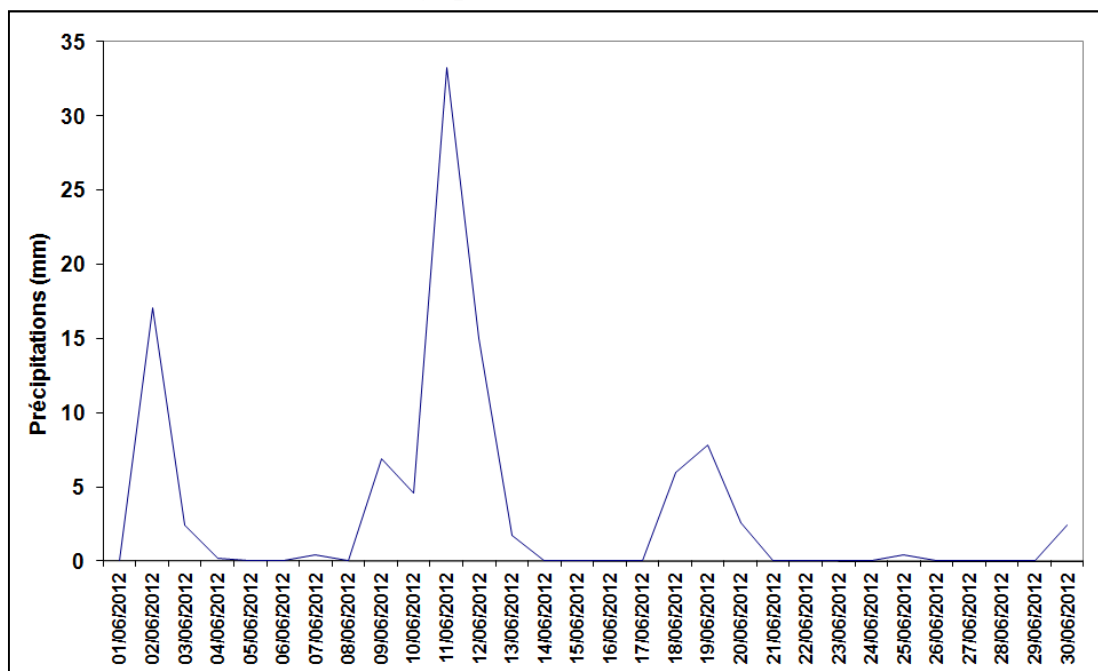


Figure 202 : Evolution des précipitations journalières en juin 2012 (Source : Météo France)

Les précipitations du mois de juin sont de saison. Le cumul mensuel est de 101 mm (moyenne 1956 – 2010 = 90 mm \pm 51 mm). On observe 3 pics de précipitation le 02 (17 mm), le 11 (33,3 mm) et le 19 juin (7,8 mm).

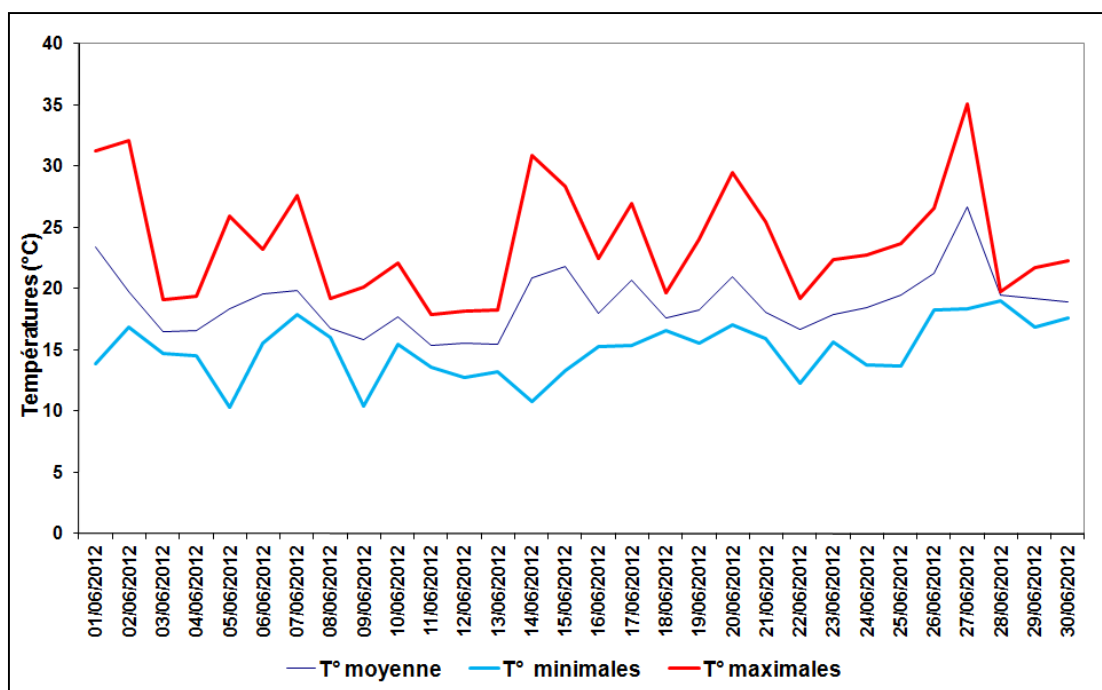


Figure 203 : Evolution des températures journalières en juin 2012 (Source : Météo France)

Le mois de juin est caractérisé par des températures de saison. La température moyenne du mois de juin 2012 est de 18,8°C +/- 2,5°C (moyenne 1956 – 2010 = 17,8 °C +/- 2,8 °C).

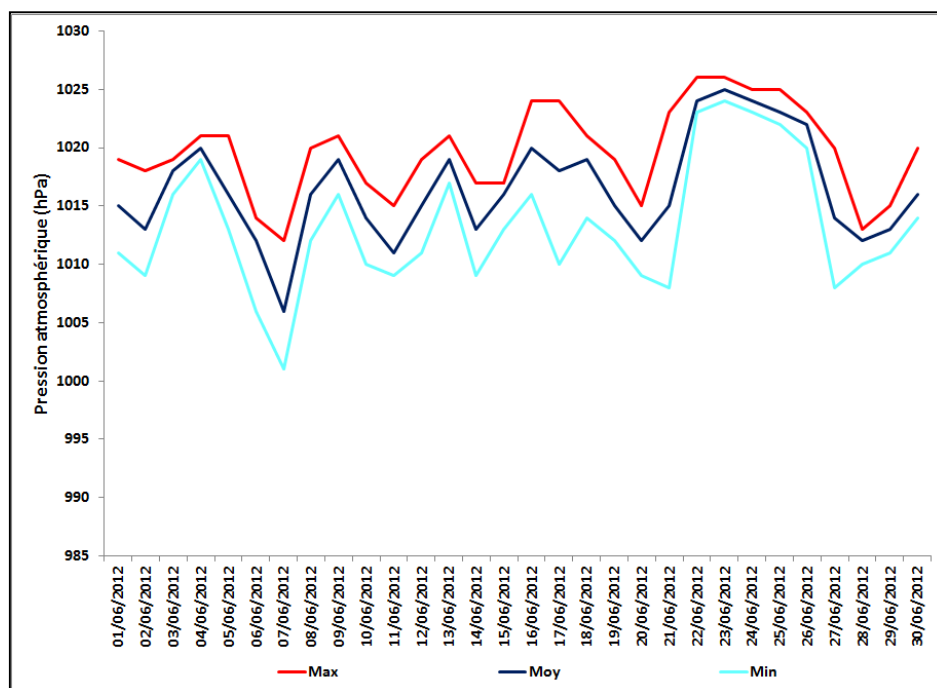


Figure 204 : Evolution journalière de la pression atmosphérique (Source : Weather underground)

Le mois de juin 2012 est marqué par un régime de pressions atmosphériques moyennes. La pression moyenne est de 1 016 hPa +/- 4 hPa.

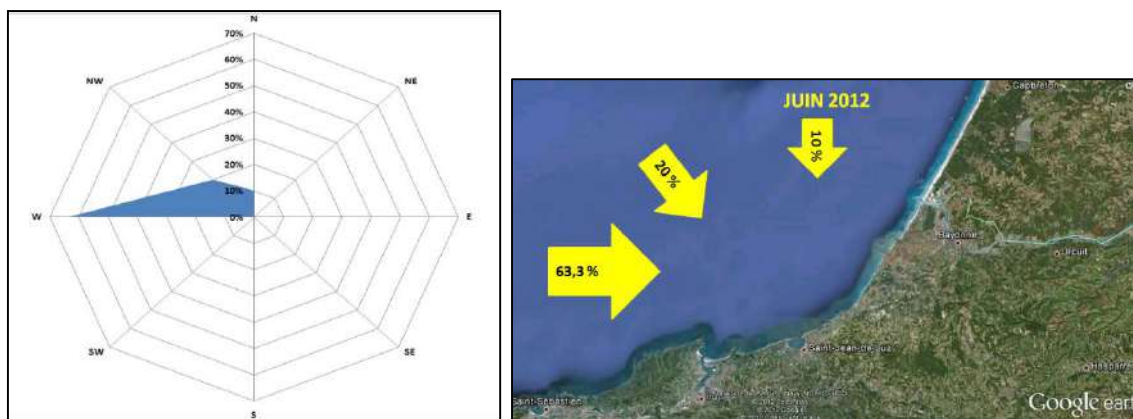


Figure 205 : Rose des vents du mois de juin 2012 (Source : Météo France)

Les vents dominants en juin 2012 sont respectivement de secteur Ouest, Nord-Ouest et Nord.

4.18.4. Conditions océanographiques

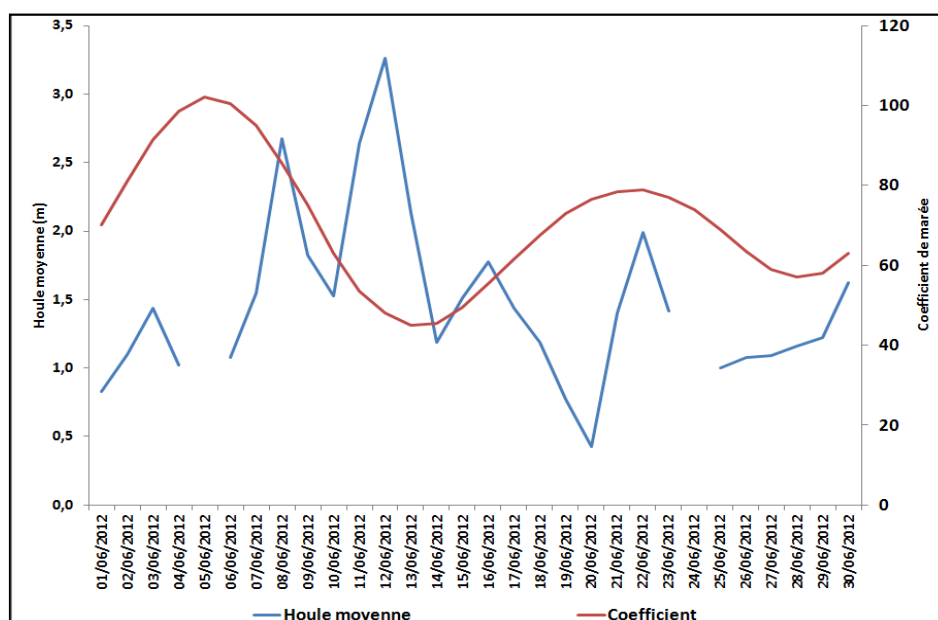


Figure 206 : Evolution de la houle journalière en juin 2012 (Source : Windguru)

En juin 2012, la mer est peu agitée. La houle moyenne est de 1,5 m +/- 0,6 m. Deux épisodes de forte houle sont survenus le 8 juin et entre le 11 et le 13 juin.

4.18.5. Synthèse du mois de juin

Le mois de juin est caractérisé par :

- une augmentation de la présence du «LIGA» en pleine eau sur le littoral basque,
- des débits faibles de l'Adour,
- de précipitations de saison,
- un régime de pressions moyennes,
- des vents dominants d'Ouest, Nord-Ouest et Nord,
- un réchauffement des températures de l'air,
- une mer peu agitée,
- la présence d'une faible thermocline à 5 mètres de profondeur à la fin du mois

5. Conclusions sur les observations des pêcheurs

La présence de «LIGA» dépendant de plusieurs facteurs océaniques, climatiques et environnementaux, nous avons confronté les observations mensuelles des pêcheurs avec les facteurs dont nous disposons sur la période janvier 2010 – décembre 2011. Pour cela, nous avons réalisé une analyse factorielle discriminante afin de dégager les tendances climatiques, océaniques et environnementales qui sont associées à la présence du «LIGA». Le nombre d'observations des pêcheurs ont été codées en « 0 = absence », « 1 = présence faible », « 2 = présence forte ».

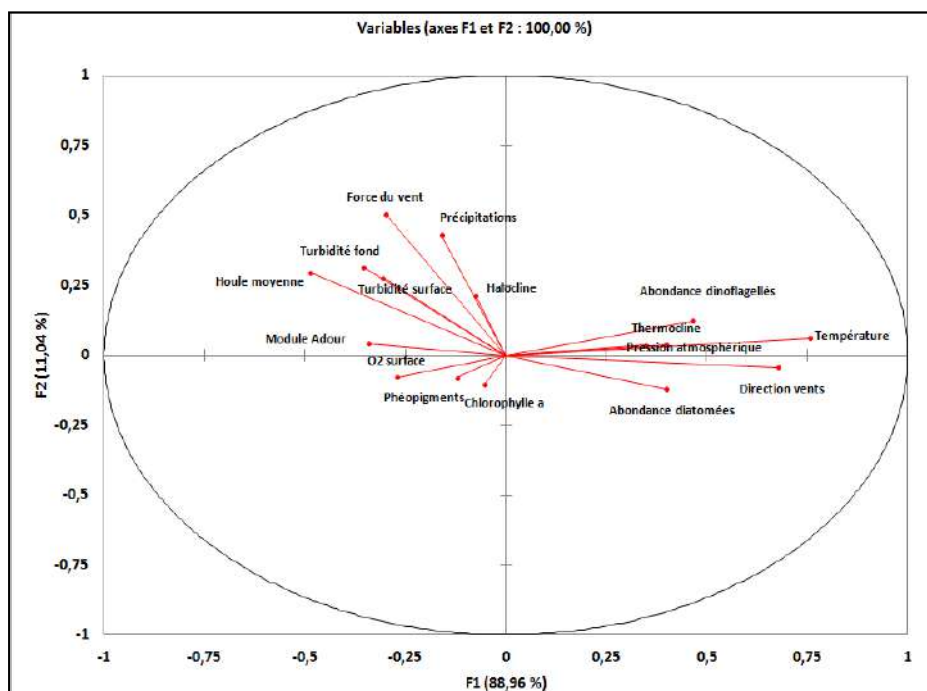


Figure 207 : Cercle des corrélations entre variables

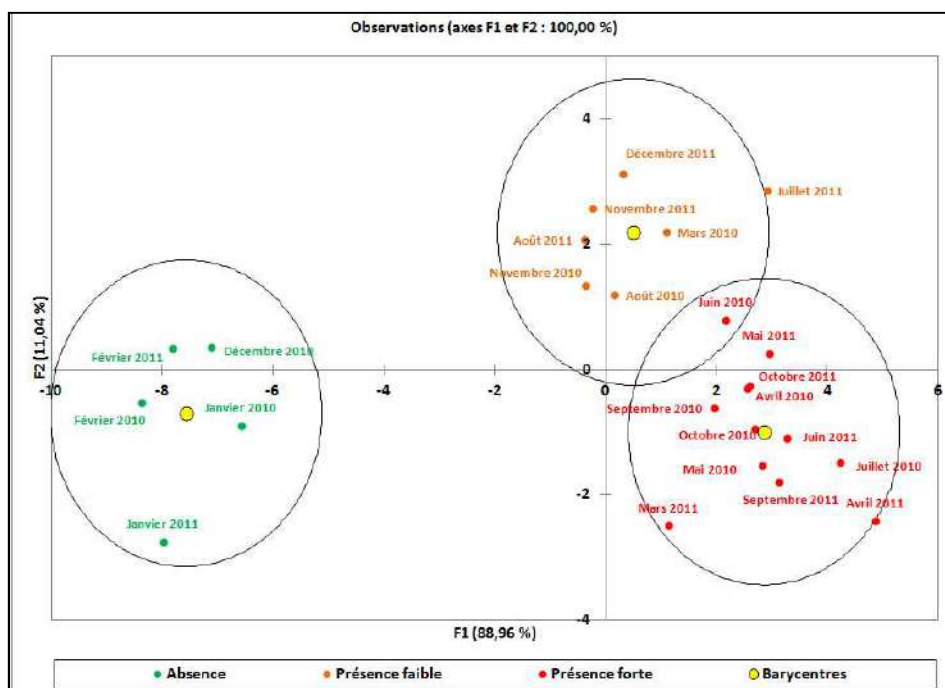


Figure 208 : Distribution des observations de "«LIGA»"

L'analyse statistique discrimine bien les trois situations de «LIGA».

La présence forte de «LIGA» sur la zone d'étude correspond à des mois avec :

- des hautes pressions atmosphériques,
- des températures élevées,
- une thermocline marquée,
- des vents dominants de secteurs ouest à nord,
- de faibles précipitations,
- de faibles débits de l'Adour,
- de faibles vitesses du vent,
- une mer peu agitée,
- une forte abondance de diatomées ou de dinoflagellés,
- une turbidité faible,
- une concentration en chlorophylle a et en phéopigments faible en surface
- une halocline absente.

A l'inverse, l'absence de «LIGA» sur la zone d'étude correspond à des mois avec :

- de fortes précipitations,
- de forts modules de l'Adour,
- une mer agitée,
- une halocline marquée,
- des vents dominants de secteur est à sud,
- des températures fraîches,
- une hausse de la turbidité
- une thermocline absente,
- de basses pressions atmosphériques.

Ces tendances doivent être affinées d'une part en augmentant le nombre d'observations (échantillon = 24 mois) et d'autre part en augmentant le nombre de variables climatiques, océaniques ou environnementales pouvant avoir une influence sur la formation du «LIGA». C'est pourquoi il faut s'inscrire dans une logique de suivi pluri - annuel du phénomène. Idéalement, il faudrait réduire le pas de temps des observations et suivre quotidiennement les observations des pêcheurs ainsi que les facteurs qui peuvent influencer sur sa présence.

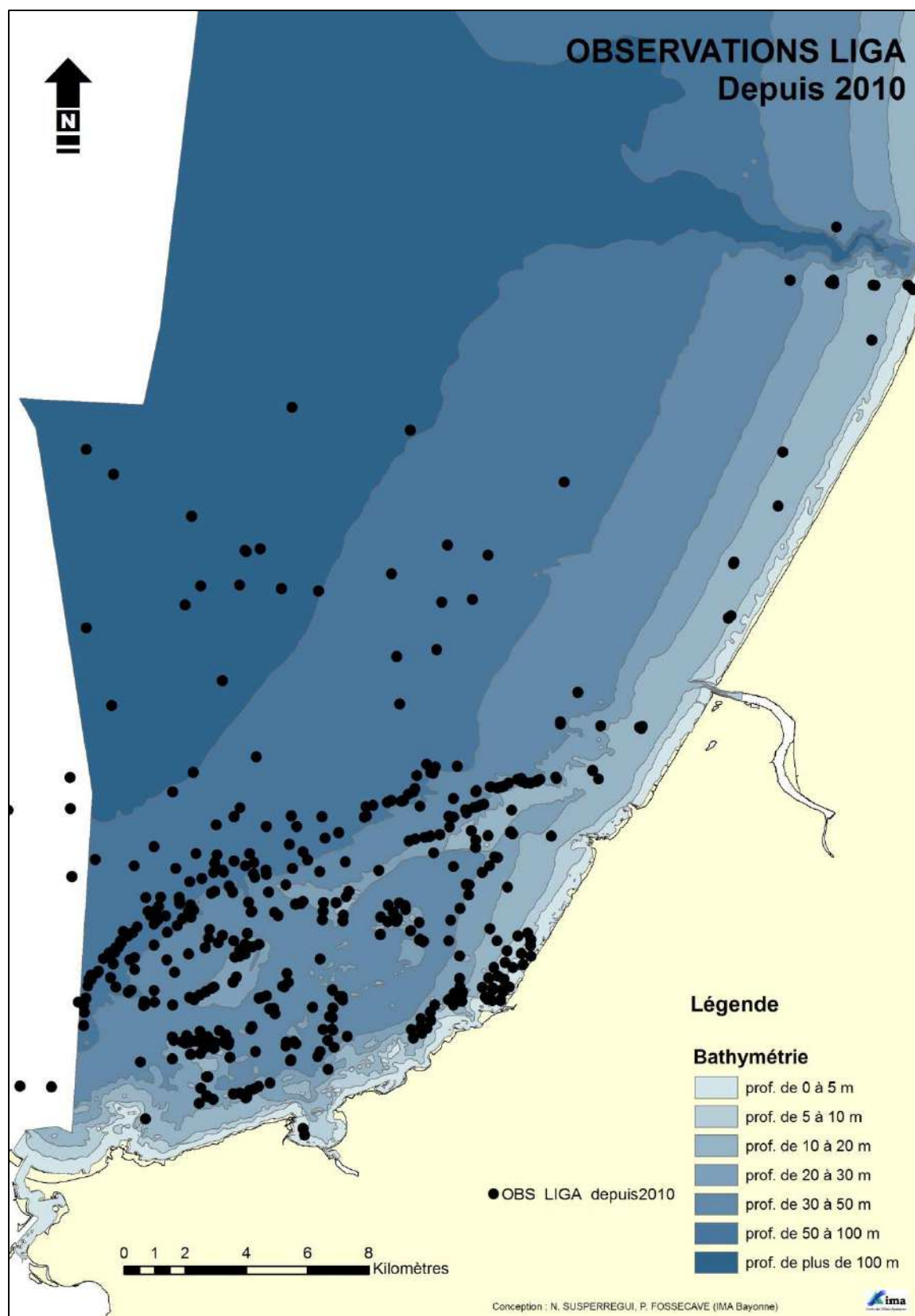


Figure 209 : Cartographie des observations de LIGA par les pêcheurs depuis 2010

La cartographie démontre que le LIGA est principalement un phénomène côtier de la zone littorale du sud de l'Adour.

Chapitre 3 : Préparation du programme de recherche, état des connaissances de phénomènes similaires dans le monde

1. Introduction sur la synthèse bibliographique

Lors de l'étude 2010, des recherches ont été entreprises sur la connaissance de phénomènes similaires en France sans succès. Bien que deux phénomènes pouvant s'y apparenter aient été explorés dans l'estuaire de la Gironde et dans le bassin d'Arcachon, cela a permis de conclure que le «LIGA» était la résultante de mécanismes différents que ceux rencontrés dans le nord de l'Aquitaine. Le «LIGA» étant une appellation locale attribuée par les pêcheurs, il semble compliqué de trouver de la bibliographie relatant de sa présence ailleurs dans le monde.

Au préalable du programme de recherche en construction et à la lumière des résultats obtenus lors de l'étude 2010, il semble essentiel de constituer un fond bibliographique scientifique robuste qui permettra d'émettre les hypothèses de travail à la base du programme de recherche.

C'est pourquoi nous avons engagé une étude bibliographique internationale sur l'état des connaissances des phénomènes de création de substances colloïdales en mer, de biofilms bactériens et de production de mucus en relation avec :

- Des composants biologiques : bactéries, phytoplancton, zooplancton,
- Des apports organiques : matières en suspension, matière organique, sels nutritifs,
- Des évolutions climatiques : adaptation et/ou prolifération d'espèces, persistance et/ou pathogénicité

2. Contexte

L'étude «LIGA» 2010 a apporté un certain nombre d'éléments de réponse concernant sa composition, sa localisation, ses impacts et ses conditions d'apparition.

Il s'agit d'**agrégats colloïdaux** renfermant une grande diversité d'organismes vivants ou inertes d'origines variées. Il est principalement composé de matière organique, de **bactéries, de diatomées et de plancton gélatineux** (polypes d'hydrozoaires) ainsi que de débris d'origine marine ou continentale. Ils présentent des facteurs **d'enrichissement importants en matière organique**.

Ces agrégats se situent proche de la côte **dans la zone euphotique**, entre deux eaux, avec une **tendance à l'accumulation dans la zone de thermocline estivale**. Bien que se trouvant dans le compartiment pélagique, on y retrouve fréquemment des organismes benthiques en nombre ce qui sous-entend le rôle joué par la turbulence côtière et la remise en suspension des sédiments.

Les premiers épisodes de «LIGA» sont signalés, depuis maintenant deux ans, **à la fin de l'hiver** correspondant **à la période de production phytoplanctonique** côtière. Ces agrégats persistent durant la période estivale et disparaissent au début de l'hiver lorsque l'hydrodynamisme côtier homogénéise les eaux. En 2010, une efflorescence phytoplanctonique locale a été constatée pendant l'été alors que cette saison est reconnue comme étant une période de faible production.

A la lumière de ces nouveaux éléments, et en préalable d'un programme de recherche visant à comprendre l'origine et la compréhension de la dynamique temporelle et spatiale du «LIGA» sur le littoral basque, il est apparu important aux partenaires du projet de constituer un fond bibliographique robuste sur des manifestations similaires dans le monde.

C'est pourquoi, le présent rapport se propose de synthétiser les connaissances mondiales acquises sur :

- la formation d'agrégats colloïdaux en zone côtière et les mécanismes mis en jeu,
- la contribution de la fraction vivante dans la formation de ces agrégats,
- les relations entre ces agrégats et la fraction vivante (bactéries, phytoplancton, zooplancton),
- les incidences de ces agrégats sur la chaîne trophique, l'écosystème pélagique et les activités humaines.

3. Généralités sur les agrégats colloïdaux en milieu marin

Pour mémoire, l'étude 2010 a démontré que le «LIGA» pouvait être assimilé à un agrégat colloïdal à fort pouvoir cohésif maintenu en suspension dans la colonne d'eau.



Figure 210 : Observations de «LIGA» après prélèvement et *in situ*

L'étude des « **agrégats organiques** » et de leur rôle dans l'écosystème océanique a débuté il y a 40 ans avec les travaux de Riley (1963). La nature biochimique de ce matériel est alors inconnue. Cependant Riley observe **une étroite relation entre la présence des diatomées et celle de ces agrégats qui tendaient à accroître leur taille par adsorption ou coagulation.**

En 1970, Gordon décrit la présence de **particules organiques transparentes** (de 5 à 10 μm), riches en hydrates de carbone (sucres).

Wiebe et Pomeroy (1972) utilisent le bleu Alcian, un colorant des polysaccharides pour observer « des agrégats floculants ressemblant à du mucus ». **Ces agrégats frais et nouvellement formés sont observés en période de forte croissance phytoplanctonique.**

La **fraction colloïdale de carbone organique** dans les océans du monde constitue l'un des **plus grands réservoirs de carbone de la planète**, dépassant considérablement en quantité le carbone «vivant» emmagasiné dans la biomasse du phytoplancton, du macrobiote (toutes les espèces commerciales), du zooplancton et des bactéries (Hedges 1987, Farrington 1992). Elle est **produite en grande partie par l'exsudation passive ou active du phytoplancton** et peut représenter jusqu'à 58% du carbone photo-synthétisé (Baines & Pace 1991, Biddanda & Benner 1997, Nagata 2000). Le continuum en taille et les méthodes d'analyses des gels marins sont présentés en annexe 2.

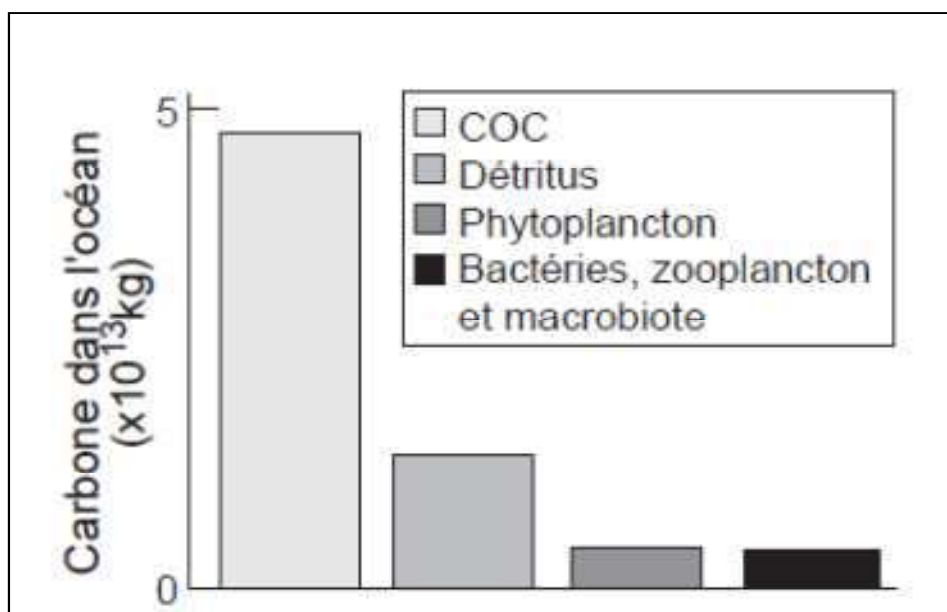


Figure 211 : Carbone organique colloïdal (COC), carbone détritique et les trois sources majeures de carbone « vivant » (phytoplancton, macrobiote, zooplancton et biomasse bactérienne) dans les océans du monde. Le COC est défini uniquement en fonction de la taille et est constitué de particules et d'agrégats de carbone organique dont le diamètre se situe entre 0,001 et 1 mm.

En plus du fait que ce carbone organique colloïdal (COC) forme une partie importante du bilan du carbone océanique et planétaire, **une portion substantielle de ce COC est réactif et est dégradé par la respiration**, d'où une libération de carbone sous forme de CO₂ (Amon et Benner, 1994; Kepkay, 1994). **La respiration des bactéries** et d'autres membres de la communauté microbienne y est particulièrement intense

À l'échelle planétaire, cette migration vers les profondeurs du carbone agrégé est **un élément clé de la « pompe biologique »** (Longhurst et al., 1995) qui absorbe le CO₂ atmosphérique à la surface de l'océan et l'emmagasine sous forme de carbone organique « fixé » dans les profondeurs.

Les agrégats macroscopiques (> 500 µm) de **détritus, d'organismes vivants et de matière inorganique**, communément appelés neige marine (Suzuki et Kato, 1953), sont des **micro - environnements** et des **agents de transport vertical** importants dans l'océan.

En Méditerranée Nord-Occidentale (Copin-Montégut & Avril 1993) et en mer des Sargasses (Carlson et al. 1994), **le pool de MOD s'accumule dans la zone euphotique depuis la floraison printanière jusqu'à la fin de l'été**. L'accumulation d'un tel pool de MOD riche en carbone, coïncide avec une période où l'azote est fortement limitant et implique un rapport C/N d'assimilation par le phytoplancton de l'ordre de 14. Un tel rapport d'assimilation a été observé durant les floraisons printanières (Sambrotto et al., 1993, Sambrotto & Langdon 1994) et durant l'été (Williams 1995, Marchal et al., 1996, Copin-Montégut, 2000), en mesurant les variations simultanées des concentrations du carbone inorganique dissous (CID) et du nitrate en surface. Ainsi, l'assimilation par le phytoplancton du CID par rapport à celui des nitrates, dépasserait considérablement le rapport C/N de 106/16 (soit 6,6), caractéristique de la composition spécifique des organismes marins (Redfield et al. 1963). L'utilisation du rapport C/N de Redfield pour convertir la production nouvelle (basée sur les nitrates) en carbone, sous-estimerait donc la production nette de carbone organique de plus de 50% (Sambrotto et al., 1993). Ce processus a été défini comme étant une **«surconsommation apparente de carbone par le phytoplancton»** (Toggweiler 1993).

L'une des hypothèses émise à ce sujet suggère que la matière organique libérée durant la photosynthèse ne combine pas le carbone et l'azote dans les proportions moléculaires décrites par le rapport de Redfield (Toggweiler 1993, Copin-Montégut 2000). En effet, puisque la biomasse phytoplanctonique présente un rapport C/N égal à 6,63 (106/16), il est supposé que le surplus de carbone organique serait émis via la production extracellulaire. Ceci implique la formation d'un pool de matière organique riche en carbone circulant dans le système avec un rapport C/N anormalement élevé.

Kepkay et *al.* (1997) ont montré que la matière organique colloïdale (MOC), produite lors des floraisons printanières, présente un rapport C/N élevé, supérieur à 13. Il semble que **la source principale de ce pool de matière** serait **l'assemblage d'exopolymères (tels que les polysaccharides) exsudés par le phytoplancton et les bactéries**. Dans l'eau de mer, ces exopolymères sont capables de s'aligner et se lier par l'intermédiaire de ponts cationiques pour **former les TEP** (Alldredge et *al.* 1993). Puisque ces particules sont formées par **coagulation de ces exopolymères** riches en carbone (Mari & Burd 1998), elles présentent un rapport C/N élevé en particulier en période oligotrophe. Ainsi, le pool de matière organique circulant dans les océans avec un rapport C/N élevé, formé consécutivement à la photo-assimilation du CID en surface, est représenté par l'ensemble des particules exopolymériques transparentes (TEP).

3. Observations de phénomènes similaires dans le monde

Un phénomène similaire est signalé pour la première fois en 1729 en Adriatique. Les pêcheurs d'Adriatique l'appellent « mare sporco » (mer sale) car leurs filets sont colmatés par des agrégats muqueux.

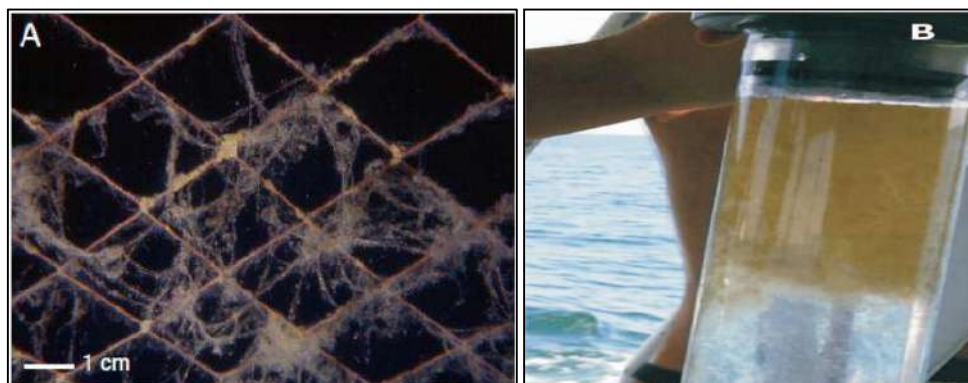


Figure 212 : Exemple d'agrégats sur filets en mer tyrrhénienne (a) (Giani et *al.*, 2012) et de prélèvements (b) (Danovaro, 2009)

En Adriatique, ces événements sont documentés **depuis la fin du 19^{ème} siècle jusqu'en 1930** dans des intervalles d'environ 10-20 ans (Fonda-Umani et *al.*, 1989), puis de façon de moins en moins fréquente au cours des décennies successives. Toutefois, **depuis la fin des années 1980, le phénomène s'est reproduit avec une ampleur croissante une fréquence anormalement élevée** (1988, 1989, 1991, 1997, 2000-2004; Degobbi et *al.*, 1995; Najdek et *al.*, 2002; Cozzi et *al.*, 2004. Precali et *al.*, 2005; CMR, Rovinj, données non publiées; Danovaro, 2009). Les agrégats de l'Adriatique Nord sont uniques au monde par leur taille et leur persistance (Alcoverro, 2000).

Pour la Méditerranée, selon Danovaro (2009), les rapports historiques indiquent que **l'apparition de ces événements s'accroît et se répand dans plusieurs régions au-delà de la mer Adriatique**, où il a été documenté pour la première fois.

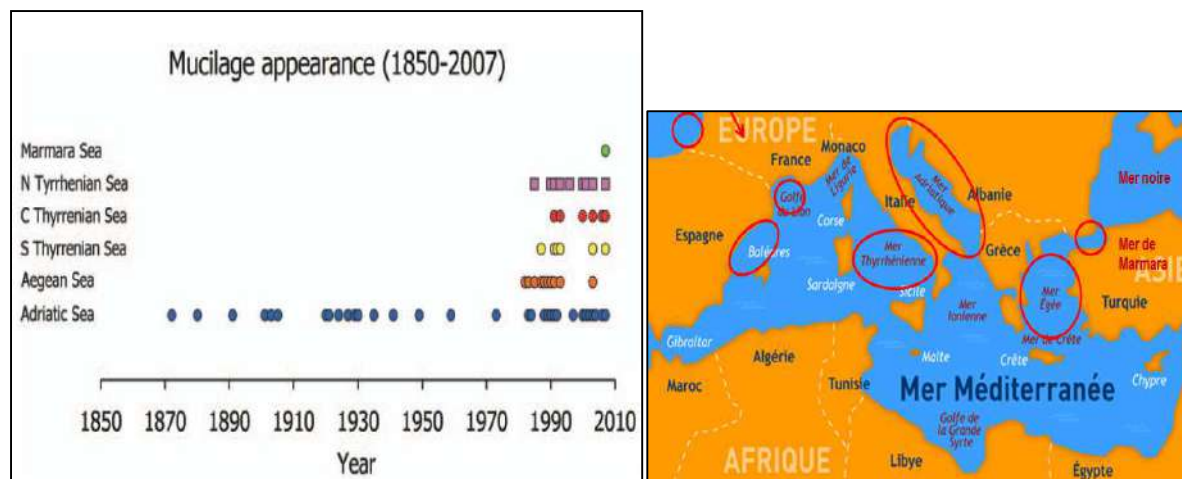


Figure 213 : Régions de Méditerranée où les agrégats ont été localisés et années d'apparition (Danavaro, 2009)

La formation d'agrégats n'est pas étroitement liée à la présence de conditions eutrophes. En effet, plusieurs foyers d'agrégats ont été récemment observés dans les mers oligotrophes comme la mer Egée. Des événements similaires ont été observés en mer de Marmara depuis les années 90. Ils sont souvent signalés par les pêcheurs. Le plus important d'entre eux date de 1992, dans la partie ouest de la mer, près de la baie d'Erdek où des plongeurs ont pu filmer le phénomène.



Figure 214 : Régions du monde où le phénomène est documenté

Selon Schiaparelli 2007, le phénomène est documenté en mer du Nord, et en mer de Tasmanie. Il s'interroge sur l'aspect cyclique du phénomène. En effet, en Nouvelle Zélande, Mac Kenzie et *al.* (2002) ont mis en évidence un cycle de 20 ans depuis les années 1860. En Adriatique Nord, les « mucilages » sont réapparus après une décennie de phénomène de marées rouges (Giani et *al.*, 2005 ; Totti et *al.*, 2005)

En Adriatique, **les événements muqueux** sont un phénomène caractérisé par la **formation de macroagrégats de différentes formes et dimensions** (jusqu'à plusieurs mètres) dans la colonne d'eau supérieure et à de **longs fronts gélatineux** pouvant s'étendre sur des dizaines de kilomètres (Stachowitsch et *al.*, 1990). Ils se produisent rarement dans l'océan alors qu'ils s'étendent relativement souvent sur de grandes surfaces dans le nord de l'Adriatique.

Le fort taux de carbone organique des exsudats cellulaires, formés d'un assemblage de glucides, conduit à la formation de **différents types d'agrégats (tailles, formes et couleurs)**. Ils apparaissent dans la colonne d'eau **sous formes de floes, de filaments, de nuages ou de couches superficielles crémeuses ou gélatineuses** (Stachovitsch et *al.*, 1990).

Selon des approches chimiques et microbiologiques, Bongiorni et *al.* (2007) différencient 9 types d'agrégats réunis dans 3 grands groupes de stade de vie.

Tableau 1 : Classification des agrégats collectés en mer Adriatique selon la taille et la forme (Bongiorni, 2007) (macro floes ; stringers = limons ; Stringers/cobweb = limons/toile d'araignée ; cobweb = toile d'araignée ; Ribbons = filaments ; Clouds = nuages ; False bottom = faux fond ; Anoxic false bottom = Faux fond anoxique ; Creamy surface layer = Couche crémeuse de surface)

Type of aggregate	Latitude (N)	Longitude (E)	Size (m) and shape
Macroflocs	44° 40'	12° 94'	0.01–0.05 m, subspherical
Stringers	43° 90'	13° 44'	0.01–0.25 m, elongated, comet-shaped
Stringers/cobwebs	44° 33'	14° 08'	Elongated, web-like aggregates
Cobwebs	44° 72'	13° 80'	10s of meters, web-like aggregates
Ribbons	43° 90'	13° 44'	0.1–1 m, elongated
Clouds	43° 80'	13° 28'	0.5–4 m, elongated, subspherical
False bottom	44° 43'	13° 04'	Dense layer of stringers and macroflocs at pycnocline
Anoxic false bottom	43° 34'	13° 34'	Anoxic dense layer at pycnocline
Creamy surface layer	43° 80'	13° 28'	Stringers formed, creamy layer floating at or below surface



Figure 215 : Exemple de macro floes (0,1 à 3 cm)
(Source : Région d'Emilie Romagne, 2008)



Figure 216 : Exemples de filaments (1 à 20 cm)
(Source : Région d'Emilie Romagne, 2008)

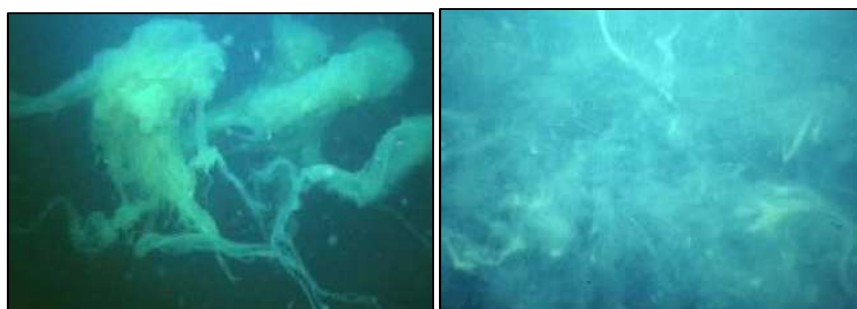


Figure 217 : Exemples de toiles d'araignée (10 à 150 cm)
(Source : Région Emilie Romagne, 2008)

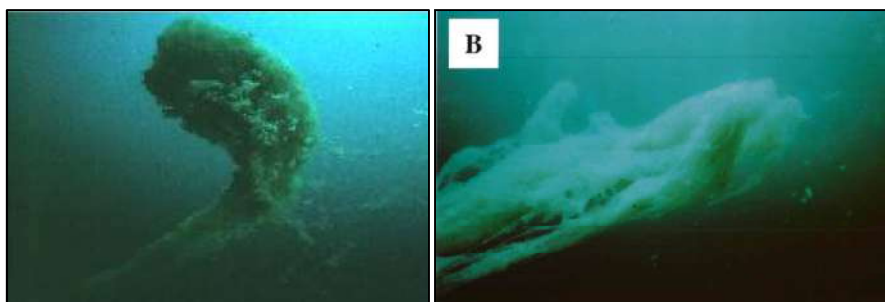


Figure 218 : Exemples de nuages pélagiques (3 à 4 m)
(Source : Région d'Emilie Romagne, 2008 et Kaltenbock, 1992)



Figure 219 : Exemples de couches superficielles crémeuses (Source : Région Emilie Romagne, 2008)

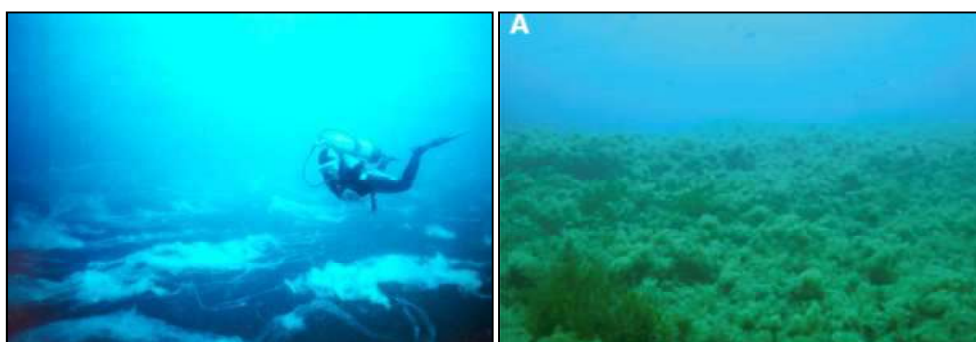


Figure 220 : Exemples de faux fonds (Source : Svelitic, 2011 ; Schiaparelli, 2007)

Les agrégats peuvent apparaître dans la couche de surface, dans la colonne d'eau ou sur le fond marin. Les différentes formes d'agrégats échantillonnés en Adriatique sont référencées en annexe 3.

Dans les eaux eutrophes peu profondes de la mer Adriatique, les agrégats apparaissent dans les **couches superficielles** de la colonne d'eau et sont produits par les organismes planctoniques, la plupart sont des **diatomées et des dinoflagellés** (Herndl et Peduzzi, 1988; Rinaldi et *al.*, 1995 ; Pompei et *al.*, 2003).

A l'inverse, dans les eaux oligotrophes de la mer Tyrrhénienne, ils se développent sous la thermocline et sont principalement produits par les **algues filamenteuses benthiques** (Calvo et *al.*, 1991 ; Innamorati, 1991 et 1995; Rinaldi et *al.*, 1995; Giuliani et *al.*, 2005). Toutefois, des agrégats pélagiques y ont également été signalés (Lorenti et *al.*, 2005).

Leurs différentes couleurs, tailles et assemblages dépendent de :

- leur composition biologique et chimique,
- leur stade de maturation (cf. figure 228),
- leur âge,
- les caractéristiques de la colonne d'eau,
- les conditions environnementales et hydrodynamiques.

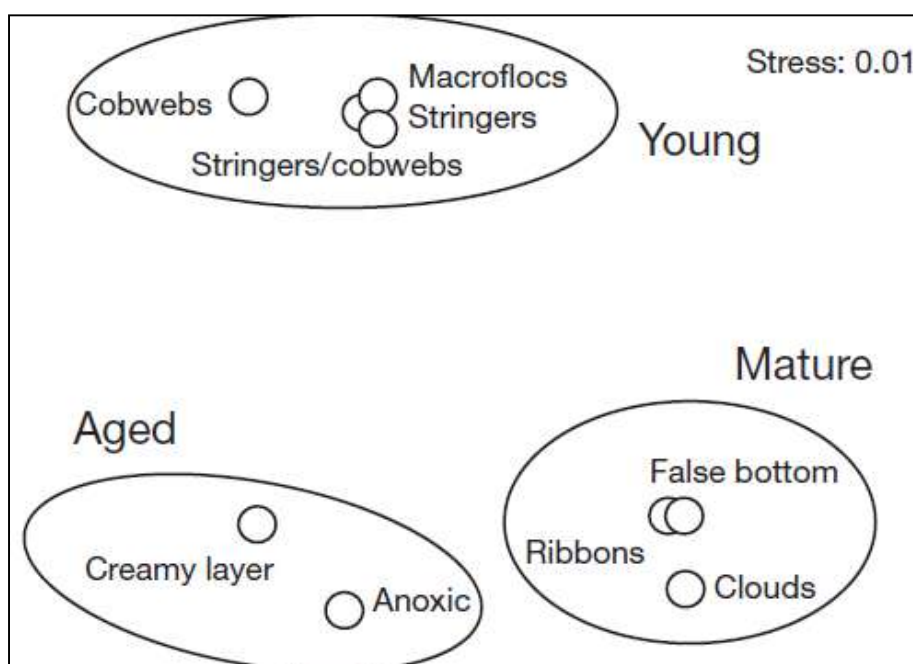


Figure 221 : Représentation multidimensionnelle, basée sur des paramètres microbiologiques (abondance virale et procaryote, biomasse procaryote, la production de carbone, β -glucosidase, aminopeptidase et les activités phosphatases alcalines). (Source : Bongiorno, 2007)

Ils sont continuellement soumis à des transformations microbiennes, chimiques et photochimiques.

4. Formation des agrégats colloïdaux marins

Un certain nombre de processus biologiques et physiques contribuent à la production de colloïdes marins (Niven et *al.*, 1997). Selon Turk (2010), le processus de formation des agrégats est le résultat de la **combinaison entre activité microbienne et conditions environnementales**. Pour d'autres auteurs, la production d'agrégats est le résultat pathologique d'une hyperproduction algale en réponse à une infection microbienne (Innamorati et *al.*, 2001).

Les agrégats peuvent être définis comme des **assemblages de microorganismes et de leurs produits extracellulaires à une surface biotique ou abiotique** (Davey et O'Toole, 2000). De nombreuses études ont montré des concentrations élevées de **carbone organique dissout** en période de forte production primaire (Fonda Umani et *al.*, 2007) et une **accumulation de polysaccharides dissouts et colloïdaux** résistants à la dégradation (Azam et *al.*, 1999) comme matériaux de base des agrégats.

Les colloïdes (particules entre 1 nm et quelques micromètres de diamètre) peuvent être produits par :

- **l'excrétion de polymères par le phytoplancton** ; c'est une des voies de production de carbone organique colloïdal (COC) les plus directes. Une fois libérés, ces exopolymères peuvent prendre de nombreuses formes (Hoagland et *al.*, 1993), le plus souvent celles de **microfibrilles de polysaccharides**. On pense que ces microfibrilles demeurent dans la fraction colloïdale (submicronique) pour seulement une courte période (heures ou jours) parce qu'elles sont **aggrégées par la turbulence** pour former des **particules exopolymériques transparentes (TEP)**. Dans la partie ouest de la Méditerranée, en zone oligotrophique, la **production extracellulaire peut représenter jusqu'à 23,5% de la production primaire nette totale à la profondeur du maximum de chlorophylle a** (Fernández et *al.*, 1994).
- **lyse cellulaire pendant l'autolyse** (Azam et Cho, 1987) ou lors d'une **infection virale** (Suttle et *al.*, 1990; Suttle et Chan, 1993), et sont **générés au cours de la dégradation physique et biologique des grands agrégats** (Hunt, 1980; Eppley et *al.*, 1981; McCave, 1984; Sherr, 1988; Smith et al, 1992; Tranvik et *al.*, 1993; Wells and Goldberg, 1993).

Cette **agglutination des fibrilles en agrégats**, de même que la **respiration bactérienne** (Amon et Benner, 1994; Kepkay, 1994), ont pour effet de chasser le carbone organique colloïdal (COC) des eaux de surface. Toutefois, **la respiration est le principal processus biologique régulant la production nette de COC**, c'est-à-dire la quantité restante qui migrera vers les profondeurs.

Il existe des gradients d'agrégation qui vont de la neige marine dans la couche de pycnocline à la formation de masses gélatineuses de surface incluant des stades intermédiaires tels que des limons, des nuages et des surfaces crémeuses (Stachowitsch et *al.*, 1990 ; Herndl et *al.*, 1992). Dans cette couche, **le temps de résidence des agrégats est prolongé** ce qui augmente la probabilité de leur collision et de leur adhésion.

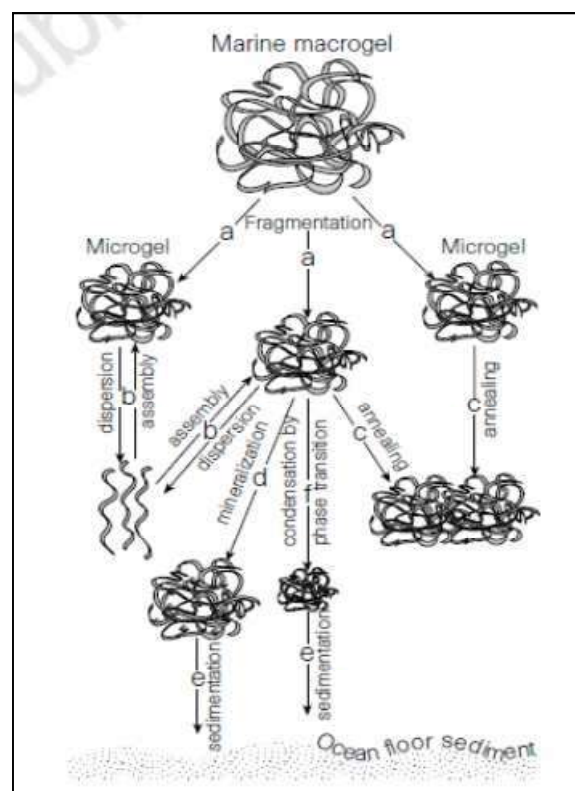


Figure 222 : Processus de transformation des polymères libres et des gels marins (Source : Chin, 1998)

Les gels de polymères marins résultent de la fragmentation partielle des gels sécrétés par le phytoplancton ou d'autres organismes (a), ou de l'assemblage de polymères marins libres (Matière Organique Dissoute) (b). Le processus d'assemblage est réversible, et les microgels peuvent être facilement redispersés par l'intermédiaire des processus physiques, chimiques ou biologiques (b). Les gels marins peuvent s'agréger et former des gels de polymères plus stables (c). Leur structure complexe leur permet de fusionner avec des gels voisins et créer ainsi un réseau. En raison de leurs propriétés poly-anioniques, les gels marins concentrent le calcium et peuvent subir la minéralisation (d), ce qui augmente leur densité et leur vitesse de sédimentation (e). Un résultat moins probable dans l'océan, mais qui ne peut pas être écarté a priori, est que les microgels peuvent se condenser en gel de polymères en phase de transition à haute pression, basse température et / ou en présence de polluants organiques (f). La densité élevée qui en résulte de microgels condensés pourrait également augmenter leur flux vertical vers les sédiments (e). Les deux minéralisations cristalline et / ou par condensation pourrait potentiellement faire des microgels réfractaires à la biodégradation.

4.1. Production de particules exopolymériques transparentes (TEP)

L'étude des Particules Exopolymériques Transparentes (TEP) fait l'objet d'une attention grandissante depuis les dix dernières années. Leur source principale est **l'exsudation de polysaccharides par le phytoplancton et les bactéries**.

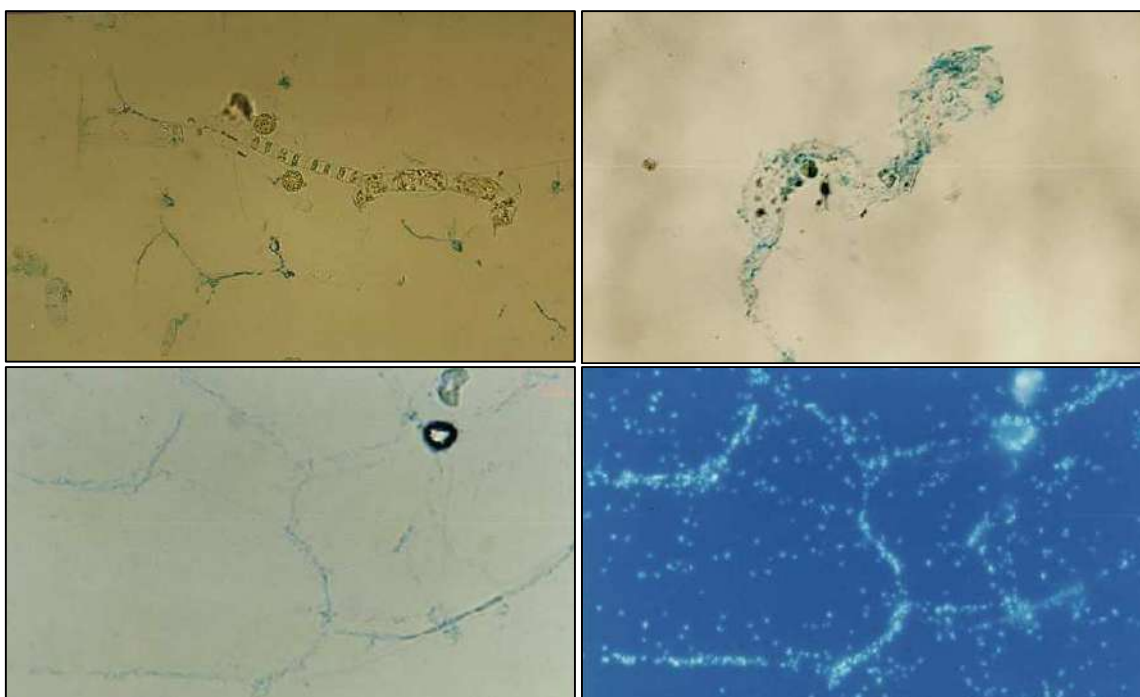


Figure 223 : Illustrations des TEP (Source : Passow, 2002) ; TEP produites par *Chaetoceros sp.* En laboratoire (en haut à gauche) ; TEP renfermant des nanoparticules (en haut à droite) ; TEP dans des prélèvements d'eau de mer (en bas à gauche) ; bactéries attachées aux TEP révélées par immunofluorescence (en bas à droite)

Ces particules formées de façon abiotique, principalement via la **coagulation de matière organique colloïdale**, sont fortement impliquées dans **les processus biogéochimiques** des milieux aquatiques. De telles substances sont capables de **s'agréger spontanément par coagulation** pour former des particules organiques telles que les TEP.

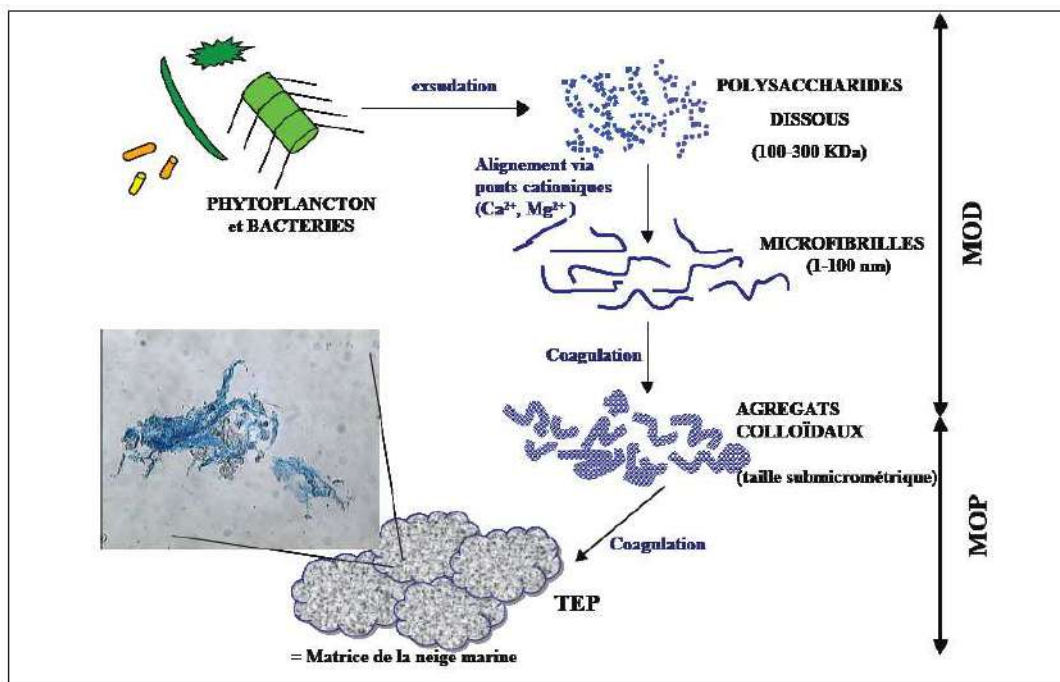


Figure 224 : Origine et mode de formation des particules exopolymériques transparentes

Les TEP sont formées par la **coagulation de précurseurs dissouts**, en particulier de colloïdes, et pourraient constituer ainsi une **alternative à la minéralisation par les bactéries**. (Alldredge et al., 1993, Zhou et al., 1998 ; Passow 2000). Elles sont particulièrement **abondantes dans la couche euphotique** (Alldredge et al. 1993 ; Mari et Kiorboe, 1996).

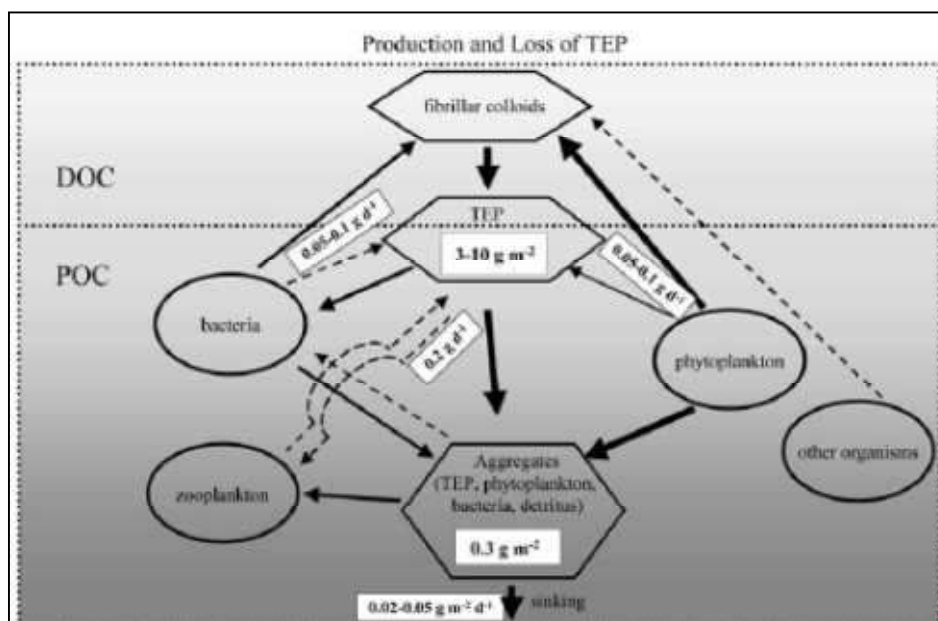


Figure 225 : Processus de production et d'utilisation des TEP dans la zone pélagique (Passow, 2002)

Les particules exopolymériques transparentes (TEP) se situent à l'interface entre le carbone organique particulaire et le carbone organique dissout. **Le phytoplancton et les bactéries libèrent des substances dissoutes qui forment des TEP**. Certaines diatomées et, éventuellement, certaines bactéries génèrent directement des TEP. Elles sont dégradées par les bactéries ou broutées par du zooplancton filtreur. Elles peuvent également former des agrégats qui sont soit consommés soit sédimentés hors de la zone euphotique.

Ces particules et leurs précurseurs semblent être

- **assimilés par les bactéries** (Norrman et *al.* 1995, Smith et *al.*, 1995, Grossart et *al.* 1998),
- **ingérés par des protozoaires filtreurs** (Shimeta 1993, Tranvik et *al.* 1993) et par des **copépodes** (Ling & Alldredge 2003).

La formation abiotique de ces particules et leur introduction dans la chaîne alimentaire représenteraient une **dérivation à la boucle microbienne**, rendant plus complexe encore notre vision du réseau trophique pélagique. Cette **nouvelle voie de transfert du carbone** est nommée « **réseau basé sur l'agrégation** » (« aggregation web », Passow 2002b). Elle inclut l'importation de carbone organique au réseau trophique via les TEP, ainsi que l'exportation de carbone organique par sédimentation de cellules phytoplanctoniques et de TEP sous forme d'agrégats (appelés également neige marine).

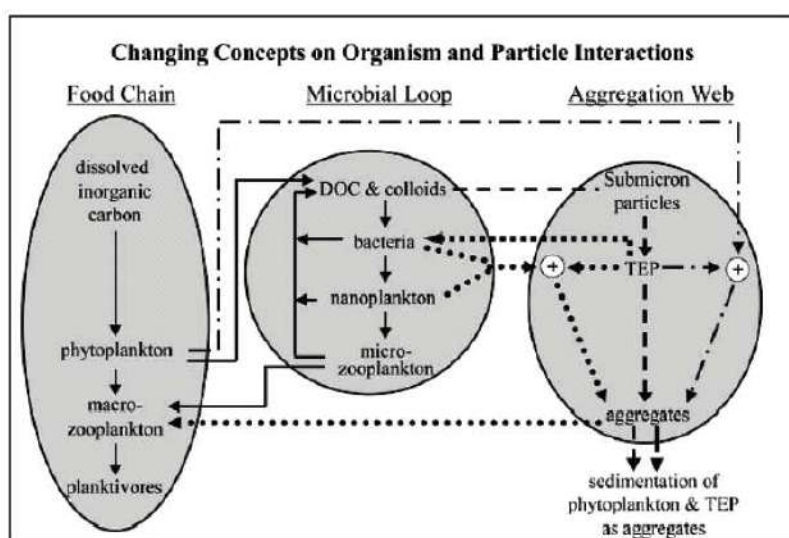


Figure 226 : Changements dans les concepts concernant les flux de carbone entre organismes et particules non vivantes, illustrant la chaîne alimentaire linéaire, la boucle microbienne et un nouveau réseau basé sur les processus d'agrégation. Schéma issu de Passow (2002).

La chaîne alimentaire décrit la fixation du carbone inorganique et son transfert depuis les producteurs primaires à des niveaux successifs des grands hétérotrophes. Dans la boucle microbienne, le carbone est recyclé en carbone organique dissout par les bactéries et le proto-zooplancton.

Dans le réseau basé sur l'agrégation, les TEP relient les particules et les organismes, dont les bactéries, le phytoplancton et les nanoflagellés menant à la formation d'agrégats. La libération de carbone organique dissout par le phytoplancton représente une connexion entre la chaîne alimentaire et la boucle microbienne. Le broutage par des grands protozoaires du mésozooplancton relie la boucle microbienne et la chaîne alimentaire classique.

Le réseau basé sur l'agrégation propose un lien supplémentaire entre la boucle microbienne et la chaîne alimentaire, parce que les TEP agrègent les petits organismes de la boucle microbienne en particules qui sont suffisamment grandes pour être broutées par le mésozooplancton (ligne en pointillé). Le réseau basé sur l'agrégation décrit la perte de particules des eaux superficielles, puisque les TEP permettent la sédimentation rapide du phytoplancton et des autres particules fines en formant de grands agrégats (tiret-point en ligne). La sédimentation de particules exopolymériques transparentes, formées à partir du carbone organique dissout fournit une voie (ligne pointillée) qui est une alternative à la dégradation microbienne (ligne coupée en cubes) et durant le mélange

hivernal, une voie de transfert du carbone organique dissout des eaux superficielles vers les eaux du fond.

Lors de sa thèse, Beauvais (2003) a étudié la dynamique annuelle des TEP en mer Méditerranée Occidentale sur un point côtier situé à l'entrée de la Rade de Villefranche sur Mer et un point au large situé à 28 miles de la côte situé sur la radiale Nice – Calvi. **Les particules exopolymériques transparentes sont présentes durant la totalité de l'année** aux deux stations.

En Méditerranée nord-occidentale l'année peut-être divisée en deux saisons hydrologiques :

- une **période mésotrophique** durant laquelle les **forts mélanges hivernaux** entraînent une remontée de sels nutritifs depuis les couches profondes, induisant une **floraison à la fin de l'hiver** (Minas et *al.*, 1988),
- une **période oligotrophique**, du **printemps à la fin de l'été**, durant laquelle la **colonne d'eau devient stratifiée et pauvre en sels nutritifs** (Béthoux et *al.*, 1988).

La **distribution saisonnière des TEP** montre globalement une **augmentation du pool de TEP à partir du printemps**. De forts volumes de TEP sont observés suite à l'efflorescence de mars et peuvent être le reflet de **processus d'agrégations entre les TEP et les cellules algales**. Les **fortes concentrations volumiques des TEP** observées au point côtier en mars, en **concomitance avec l'efflorescence phytoplanctonique**, suggèrent qu'il y a bien une **forte production de particules exopolymériques en cette période**. Il semble que **la dynamique du site contrôle le devenir du pool de TEP** (persistance en surface ou exportation vers les zones profondes).

Ce pool persiste durant la **période estivale** qui est caractérisée par un **épuisement en sels nutritifs en surface** favorisant la **production d'exopolymères par le phytoplancton** (Obornosterer & Herndl 1995). Elle coïncide aussi avec une **augmentation de la contribution relative des flagellés et du picoplancton** (cyanobactéries et prochlorophytes), **communauté phytoplanctonique possédant de faibles taux d'exportation** (Marty et *al.*, 2002). L'accumulation de TEP durant cette période est probablement contrôlée par la coagulation des produits photosynthétiques extracellulaires exsudés par ces organismes sédimentant peu et dont le métabolisme est basé sur la production de régénération. De plus, la **forte stratification thermique de la colonne d'eau** en cette période agit telle une **barrière empêchant le flux vertical de matière** ce qui modifie la dynamique des particules en augmentant le nombre des grandes particules et accélérant leur coagulation (Jackson, 1990). La **limitation en phosphore** induit un **mauvais fonctionnement du réseau trophique microbien**, entraînent l'**accumulation des TEP dans la zone de surface en été**.

Ensuite le **mélange hivernal de la colonne d'eau participe au flux vertical de TEP** induisant une **diminution de ce pool en surface**. En hiver, la **taille des TEP est plus petite** car les vents induisent une **forte turbulence, entraînant l'homogénéisation de la colonne d'eau**. De plus, il n'y a pas de forte formation de TEP en cette période.

La dynamique des TEP n'est pas fondamentalement différente entre le site côtier et le site océanique bien que **l'hydrologie plus complexe au site côtier modifie leur distribution saisonnière en favorisant les processus d'agrégations et de désagrégations**. Cependant, ces différences n'affectent pas la distribution de taille globale des TEP. Il semble que **la dynamique des TEP reflète davantage le statut trophique de l'écosystème** plutôt que des différences régionales.

La **dynamique des TEP est complexe et influencée par de nombreux paramètres physiques, chimiques et biologiques**.

La formation et le devenir des TEP dépendent principalement de :

- la communauté phytoplanctonique dominante (cf. annexe 4),
- des conditions trophiques,
- de l'hydrologie du milieu.

4.2. Sécrétion d'exopolymères en milieu marin

De nombreux organismes incluant le **phytoplancton** et les **bactéries** génèrent de larges quantités de **polysaccharides extracellulaires** (Mykkestad 1995, Aluwihare & Repeta 1999, Fajon et al., 1999, Stoderreger & Herndl 1999). Les **cyanobactéries** (Kaltenbock et Herndl, 1992) et les dinoflagellés (Pompei et al., 2003; Pistocchi et al., 2005) peuvent aussi contribuer à leur formation.

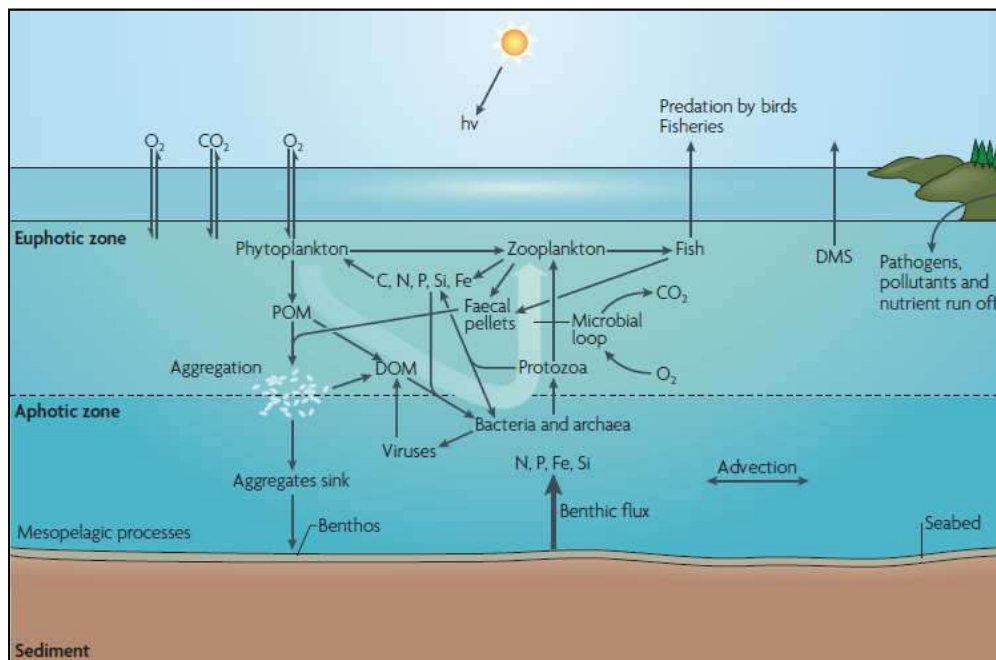


Figure 227 : Structuration microbienne des écosystèmes marins (Azam, 2007)

Une fraction importante de la matière organique qui est synthétisée par les producteurs primaires devient de la matière organique dissoute (DOM) et est utilisée presque exclusivement par les bactéries. La plupart de la matière organique dissoute est respirée en dioxyde de carbone et une fraction est assimilée et réintroduite dans la chaîne alimentaire classique (du phytoplancton au zooplancton jusqu'aux poissons). L'action des bactéries sur la matière organique joue un rôle majeur dans le cycle du carbone au travers de la matière organique dissoute. Il influence donc les échanges de dioxyde de carbone à l'interface air-mer, et son stockage à travers le transport vertical vers le fond et son flux dans les pêcheries.

Cette production extracellulaire représente une fraction considérable du carbone fixé lors de la photosynthèse. En effet, selon les études, elle peut représenter jusqu'à 58% de la production primaire (Mykkestad et al. 1989, Baines & Pace 1991, Biddanda & Benner 1997, Nagata 2000).

4.2.1. Production d'exopolymères d'origine planctonique

4.2.1.1. Production phytoplanctonique

*Pour mémoire, en 2010, les principaux taxons phytoplanctoniques rencontrés dans le «LIGA» sont respectivement des diatomées dont *Cylindrotheca closterium*, *Licmophora abbreviata*, *Nitzschia longissima*, *Striatella unipunctata*, des dinoflagellés dont *Prorocentrum micans* et des péridiniens.*

Une partie importante de la production photosynthétique du phytoplancton est **sécritée sous forme de substances exopolymères (EPS) dans le pool de carbone organique dissout** (Fogg, 1983; Baines et Pace 1991) ce qui contribue au réservoir primaire du carbone marin. Les **exsudats phytoplanctoniques** sont la **principale source de polysaccharides dissous** dans les écosystèmes marins. Il existe une **forte corrélation entre la biomasse de phytoplancton et les concentrations en polysaccharides dans les eaux superficielles** de plusieurs régions océaniques (Pakulski and Benner, 1994; Børshheim et al., 1999; Fajon et al., 1999).

Lorsque la production n'est pas associée à la dégradation biologique rapide, la matière organique dissoute libérée par les organismes marins peut :

- **soit enrichir la neige marine**
- **soit, dans des situations extrêmes, former des masses muqueuses** (Fajon et al., 1999).

Les **aldoses** sont les principales composantes de la matière organique dissoute fraîchement produite à partir de cultures de phytoplancton (Biersmith et Benner, 1998), et la **caractérisation au niveau moléculaire** des polysaccharides sécrétés fournit des informations sur **l'origine et la bioréactivité de ces biomolécules**. Les produits photosynthétiques dissous sont principalement composés de deux fractions : un **stock de glucane** qui est un homopolymère de glucose, et des **hétéropolysaccharides**.

La production de polysaccharides par le phytoplancton marin est **variable selon l'espèce, son stade de croissance et les conditions environnementales** (Myklestad and Haug, 1972; Myklestad, 1974, 1977, 1995; Chen and Wangersky, 1996; Alldredge, 1999; Penna et al., 1999).

La **limitation en phosphore** (Myklestad, 1974, 1977, 1995; Penna et al., 1999; Alcoverro et al., 2000; Staats et al., 2000) et, pour certaines espèces (Granum et al., 2002), **de l'azote** peut provoquer une **augmentation de la libération extracellulaire photosynthétique** dans des cultures de diatomées.

Une **contribution importante de certaines espèces de diatomées** associées aux phénomènes muqueux est bien connue (Revelante et Gilmartin, 1991; Degobbi et al., 1995.). Elles ont une meilleure croissance que les dinoflagellés dans les agrégats (Pompei et al., 2003 ; Tinti et al., 2007). Selon Balkis (2010), les **agrégats représentent un microenvironnement approprié au développement d'une communauté riche en microorganismes** qui est séparée de l'eau environnante (Simon et al., 2002). Toutefois, les **communautés phytoplanctoniques associées aux agrégats varient**, avec des espèces dominantes différentes, qui dépendent de la période et de la zone d'échantillonnage (Revelante et Gilmartin, 1991 ; Cabribi et al., 1992 ; Totti et al., 2005).

Cylindrotheca closterium est **souvent associée à la formation d'agrégats** (Monti et al., 1995; Alldredge, 1999; Alcoverro et al., 2000) qui conduisent à des **événements muqueux** pendant l'été dans le nord de la mer Adriatique (Regione Emilia Romagna 292-ARPA, 2002). Lors de son séjour dans la colonne d'eau, elle colonise les agrégats et est régulièrement observée comme **une espèce dominante des grands agrégats âgés** (Najdek et al., 2002).

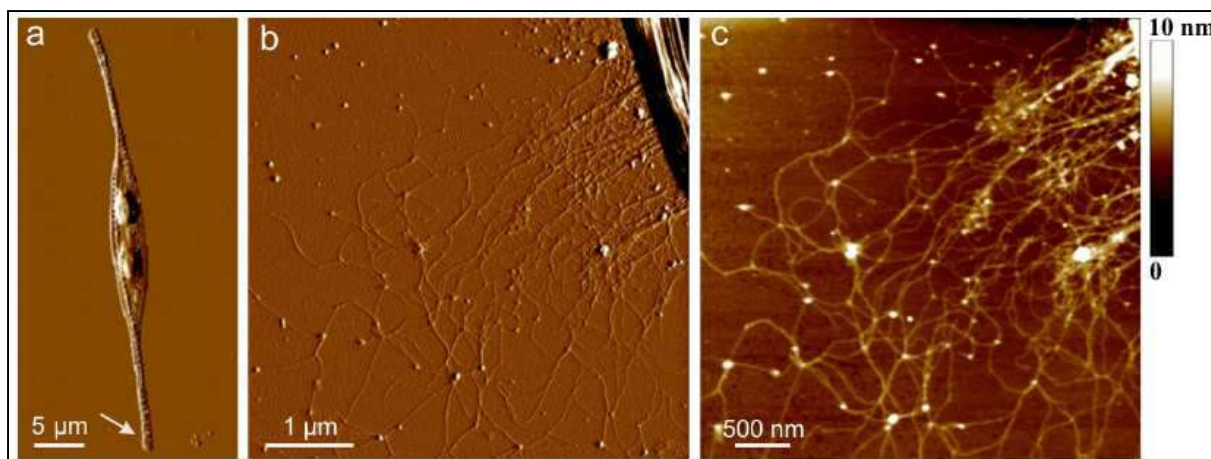


Figure 228 : Microscopie par force atomique d'une cellule de *Cylindrotheca closterium* (la flèche montre le site d'excrétion des polysaccharides) (a), les polymères excrétés attachés à l'apex du rostre (b) ; la taille des polymères sécrétés (c) (Svetlicic et al., 2011)

Compte tenu de l'importance de cette espèce, beaucoup de travaux ont été centrés sur la **caractérisation des polysaccharides qu'elle libère** (Staats et al., 1999), et / ou l'identification des **facteurs qui contrôlent leur production** tels que :

- les **déséquilibres en nutriments** (Alcoverro et al., 2000; Staats et al, 2000),
- **l'éclairement, la température** (Wolfstein et al., 2002),
- **le stade de croissance** (Staats et al, 1999 ; Alcoverro et al, 2000; Smith et Underwood, 2000),
- **l'activité bactérienne** (Grossart, 1999; Wolfstein et al, 2002.).

Dans leur étude, Ranieri et al., (2005) constatent que **le glucose est le monomère le plus abondant dans les exsudats** libérés pendant la **phase de croissance exponentielle de *Cylindrotheca closterium***. Pendant la phase stationnaire, ils constatent une diminution du glucose et une augmentation relative des hétéropolysaccharides dans les polysaccharides libérés.

Cylindrotheca closterium possède une **signature en aldoses différente des autres diatomées** selon le régime nutritif, à savoir une réduction du glucose et une augmentation relative des autres aldoses. **Sa signature en aldoses est très similaire** à celle de *Cylindrotheca fusiformis* et **celui du mucus** recueilli dans le nord de la mer Adriatique (Magaletti et al., 2004).

Une étude sur l'absorption bactérienne des exsudats de *Cylindrotheca closterium* (Puddu et al., 2003) montre que la **matière organique dissoute sécrétée dans des conditions de phosphore limitées est plus résistante à la dégradation microbienne**. A partir de ces constats, il est possible de supposer que dans **des conditions de stratification marquée et de phosphore limité**, les **exsudats de *Cylindrotheca closterium*** peuvent fournir une contribution pertinente à **l'accumulation et la persistance de matière organique dans les eaux de l'Adriatique** (Urbani et al., 2005).

Svetlicic et al. (2011) ont démontré la **capacité d'auto-agrégation des polysaccharides sécrétés par *Cylindrotheca closterium*** et leur capacité à former des réseaux de gels polymères qui ressemblent à la composition des agrégats rencontrés dans le nord de l'Adriatique. Ceci peut se réaliser en eau pure en l'absence de médiation bactérienne ou d'interactions avec des particules minérales. Les propriétés macromoléculaires des fractions isolées des polysaccharides marins révèlent un comportement polyélectrique marqué qui permet leur meilleure solubilité dans les solutions salines en favorisant l'agrégation des chaînes et la formation de gel.

Allredge (1999) remarque en Adriatique que, quand les conditions particulières favorisent la croissance abondante de *Cylindrotheca closterium* et d'autres taxons comme *Chaetoceros* et *Nitzschia*, une grande quantité de TEP est produite. Ce matériel s'agrège avec les cellules de diatomées et coule jusqu'à la **pycnocline** où il devient pélagique. Le **mucus** produit par cette espèce (*C. closterium*) est particulièrement **résistant à la dégradation** et peut **s'accumuler sur plusieurs semaines**. D'abondantes communautés microbiennes colonisent alors l'agrégat.

Selon Balkis (2010), *Cylindrotheca closterium*, *Skeletonema costatum* et *Thalassiosira rotula* sont les 3 espèces dominantes dans les agrégats de la mer de Marmara. Elles ont aussi été identifiées dans les agrégats de la baie d'Izmit (Tufekçi et al., 2010). Parmi les organismes phytoplanctoniques incriminés dans la formation d'agrégats en mer de Marmara, nous rencontrons régulièrement *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira rotula*, *Pseudo-Nitzschia sp.*, *Thalassiosira anguste-lineata*, *Dactyliosolen fragilissimus*, *Leptocylindrus danicus*, *Scrippsiella trochoidea*, *Gymnodinium sp.*, *Protoperidinium pauleni*, *Prorocentrum micans* (Balkis, 2010).

D'autre part, le dinoflagellé *Gonyaulax fragilis* prend une **part active dans le processus de formation d'agrégats** en mer Adriatique (Pompei et al., 2003 ; Pistocchi et al., 2005), en mer de Marmara (Balkis, 2010) et sur la côte grecque (Nikolaidis et al., 2006). Il apparaît au début de la formation des agrégats dans la mer de Marmara et disparaît quand les agrégats commencent à disparaître. Pompei et al., (2003) ont démontré que quelques milliers de cellules de *G. fragilis* sécrètent autant d'exopolymères que 10 millions de *C. closterium*. Selon Tufekçi et al. (2010), *Gonyaulax hyalina* et *G. fragilis* ont été identifiés comme des producteurs de mucus dans différentes mer dont la baie de Tasmanie en Nouvelle Zélande (Mc Enzie et al., 2002), les eaux catalanes, la mer Adriatique, et plus récemment le nord de la mer Egée (Nikolaidis et al., 2006). *Prorocentrum micans* est un autre producteur de mucus du groupe des dinoflagellés.

4.2.2.2. Contribution du zooplancton

Pour mémoire, en 2010, les principaux taxons zooplanctoniques rencontrés dans le «LIGA» sont respectivement les polypes d'hydrozoaires, les harpacticoïdes benthiques, des larves véligères de gastéropodes, le copépode Acartia clausi, des nématodes, des larves d'annélides et des larves véligères de bivalves. De façon saisonnière, nous avons aussi identifié des larves cornues, des copépodes du genre Oithona sp., des appendiculaires, des copépodites et des larves nauplii de copépodes.

Le zooplancton contribue directement et indirectement à la production et l'accumulation de matière organique. Le zooplancton contribue au flux de particules en formant à son tour des particules (Karl et al. 1988, Taylor 1989) via la **production de matériel fécal** ou de **structures muqueuses** (Silver et al. 1984, Davoll & Silver, 1986). Dans les systèmes marins oligotrophes, la **biomasse de phytoplancton est contrôlée par le zooplancton**. Par conséquent, le flux de particules vers le fond de l'océan profond se fait essentiellement sous forme de **pelotes fécales** (Knauer et al. 1979, Karl et al. 1988) qui sont elles mêmes des agrégats des éléments qu'elles renferment.

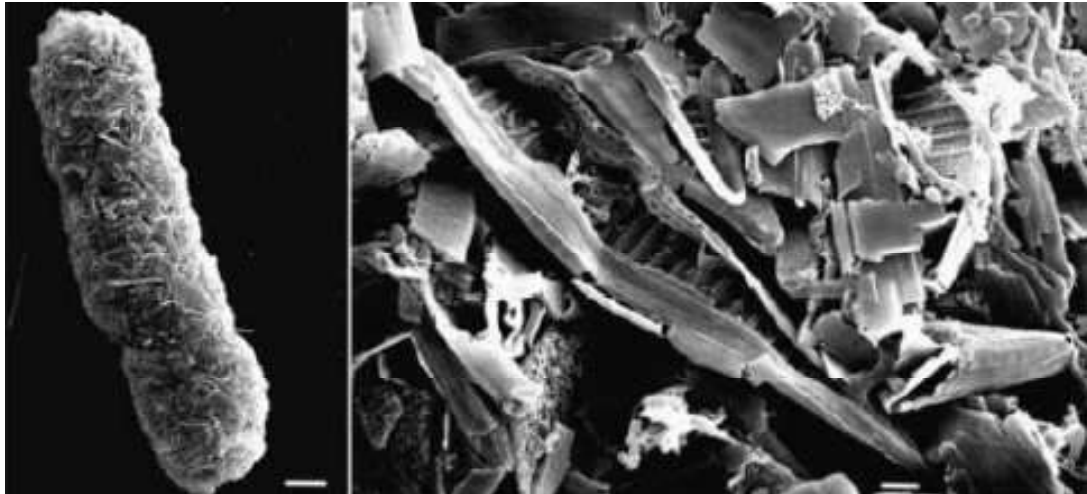


Figure 229 : Pelotes fécales du copépode *Acartia tonsa* après digestion de la diatomée toxique *Pseudo-Nitzschia multiseries* (Jefferson, 2002)

Le plancton gélatineux comme les méduses, les cténophores, les siphonophores, les salpes et les appendiculaires contribuent également à la production de substances muqueuses. Elles varient beaucoup en abondance sur un cycle annuel d'une façon plus ou moins prévisible. Leur pic est observé consécutivement au bloom phytoplanctonique printanier. Certaines années, le pic de plancton gélatineux dépasse largement le pic attendu et l'on parle alors de bloom.

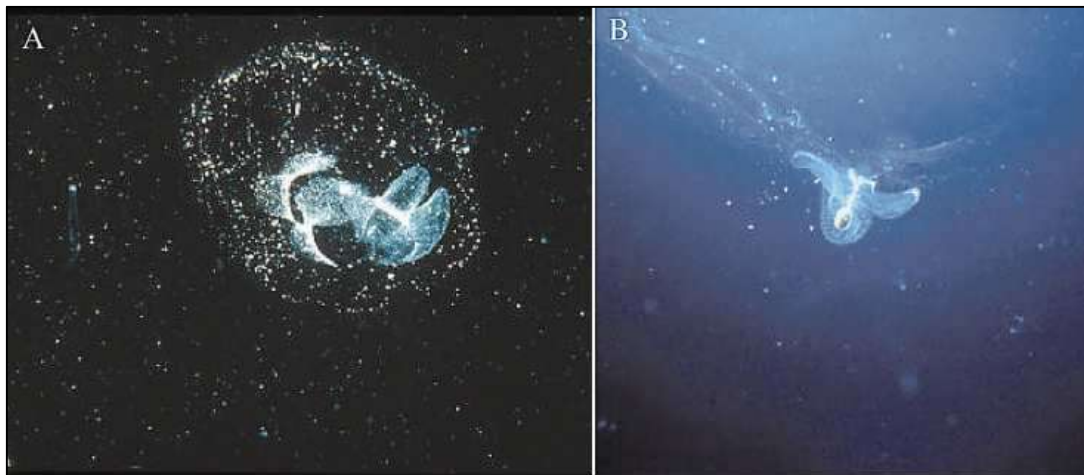


Figure 230 : Illustration d'un larvacea dans sa « maison » (à g) et du ptéropode *Gleba chordata* avec son réseau muqueux d'alimentation (Kiorboe, 2001)

Ces deux organismes zooplanctoniques produisent des agrégats mais les mécanismes diffèrent. Les larvacea filtrent les particules de l'eau environnante dont certaines sont retenues dans un filtre externe. Ils abandonnent leur « maison » de mucus régulièrement qui devient alors un agrégat chargé de particules. Les ptéropodes collectent les particules sédimentant dans un voile de mucus sécrété par l'animal. Les voiles abandonnés sont autant d'agrégats muqueux.

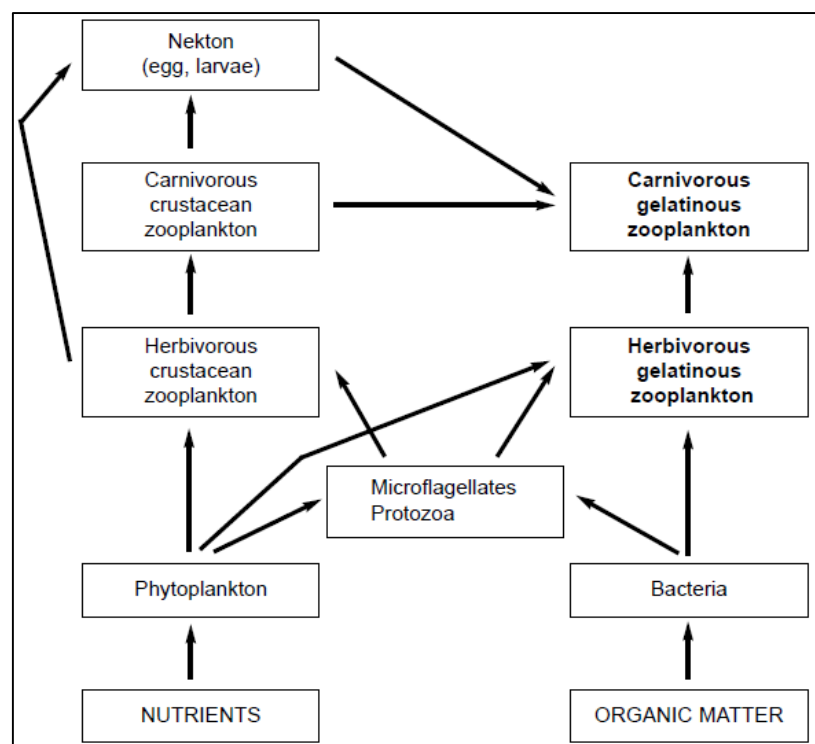


Figure 231 : Chaîne alimentaire du plancton gélatineux (Acuna, 2001)

Les agrégats sont une source de nourriture pour ce plancton gélatineux. En mangeant dans différents compartiments de l'écosystème pélagique, ils peuvent entraîner de profonds déséquilibres dans le transfert de la matière. En Adriatique, parallèlement aux marées rouges et à l'accumulation d'agrégats, les chercheurs ont régulièrement observé de grandes quantités de méduses. Les espèces mises en cause sont les siphonoméduses *Aurelia aurita*, *Chrysaora hysoscella*, *Cotylorhiza tuberculata*, *Pelagia noctulica* et *Rhizostoma pulmo*. Les hydroméduses *Aequorea forskalea* ont été rencontrées à plusieurs reprises. Les cténophores sont un autre groupe extrêmement abondant dans le nord de l'Adriatique

Tableau 2 : Evènements de production massive de plancton gélatineux sur 3 périodes entre 1971 et 2000 dans le nord de l'Adriatique (Malej, 2001) + = événement observé une fois dans la décennie, ++ = événement observé plusieurs fois dans la décennie ; +++ = événement observé chaque année. Les événements muqueux sont listés à la dernière ligne.

Organisms involved	1971-1980	1981-1990	1991-2000
<i>Aequorea forskalea</i>	+	+	++
<i>Aurelia aurita</i>	+	+	++
<i>Chrysaora hysoscella</i>		+	+
<i>Cotylorhiza tuberculata</i>	++	+	
<i>Pelagia noctiluca</i>	++	++	
<i>Rhizostoma pulmo</i>		+	+
<i>Ctenophora</i>	+	+	++
<i>Noctiluca miliaris</i>	++	++	++
<i>Creseis acicula</i>	+		+
Mucilage events		++	++

Alors que les agrégats sont de plus en plus observés dans le nord de l'Adriatique, on observe de plus en plus de blooms de plancton gélatineux. Les **déséquilibres dans les rapports des nutriments, des changements dans la composition des espèces planctoniques, et des altérations dans les transferts de matière et d'énergie entre les niveaux trophiques** se traduisent dans

plusieurs niveaux trophiques par la **résurgence d'espèces gélatineuses** qui présentent de faibles qualités nutritionnelles pour les niveaux trophiques suivants : par exemple, les colonies de *Phaeocystis* chez les producteurs primaires (Lancelot et *al.*, 2009), le noctiluque *N. scintillans* chez les producteurs secondaires (Daro et *al.*, 2008), mais aussi les méduses au détriment des poissons. Selon certains auteurs, **les méduses seraient favorisées par l'eutrophisation et les conditions de faible concentration en oxygène dissous** (Richardson et *al.*, 2009 ; Purcell et *al.*, 2007).

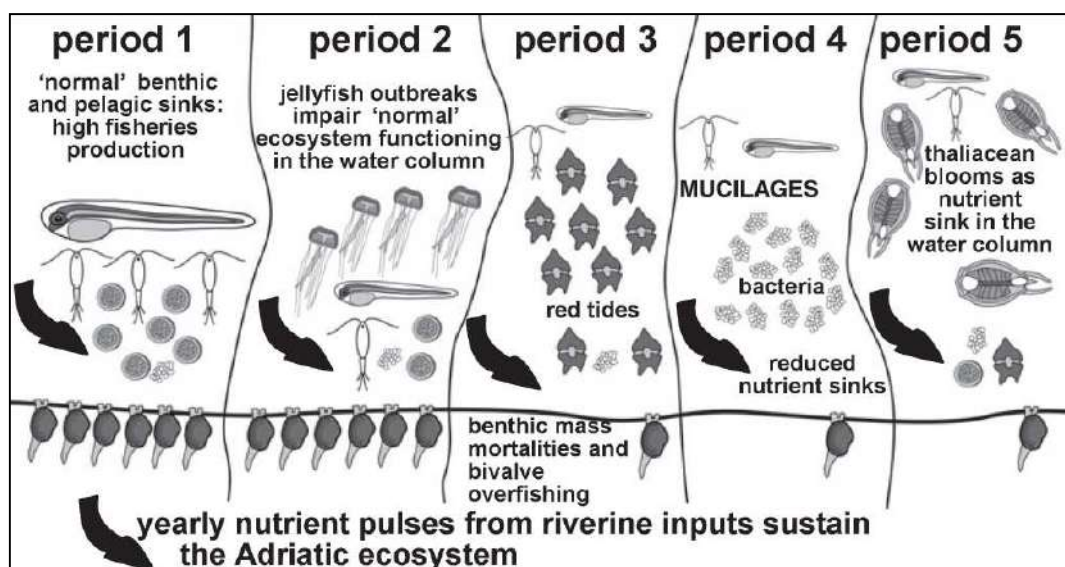


Figure 232 : Histoire écologique de la mer Adriatique (Boero et Bonsdorff, 2007)

La période 1 est marquée par les apports nutritifs qui soutiennent la production primaire puis, en cascade, le zooplancton et les organismes filtreurs, puis les espèces exploitées. A cette période, les rendements de pêche en Adriatique sont élevés. La période 2 est marquée par plusieurs années d'explosion de méduses *Pelagia noctiluca* qui impacte fortement l'écosystème pélagique en y prélevant de grandes quantités de zooplancton et d'œufs et larves de poissons. La période 3 est marquée par une réduction en éléments nutritifs, due aux épisodes d'explosion des populations de méduses, qui laisse place à des dinoflagellés opportunistes provoquant des marées rouges et des mortalités d'organismes benthiques. Les sources d'éléments nutritifs pélagiques et benthiques sont nettement réduites. La période 4 est marquée par l'utilisation d'apports nutritifs par les bactéries qui produisent des agrégats à partir des produits de leur métabolisme. La période 5 est marquée par des blooms de plancton gélatineux (tuniciers) pélagiques qui tendent à rétablir temporairement les sources d'éléments nutritifs.

Dans les environnements eutrophes, le **zooplancton ne « broute » pas efficacement** le phytoplancton, ce qui entraîne la sénescence **de ce dernier et le transfert massif de cellules en décomposition vers le fond de l'océan**. (Smetacek 1985). Le flux de particules vers le fond n'est plus réalisé par les pelotes fécales mais par les cellules de phytoplancton en décomposition non broutées. Le pâturage insignifiant d'*Acartia clausi* sur les agrégats démontré par Alexander (1992) implique que la **production primaire de phytoplancton associée aux agrégats** n'entre pas directement dans la chaîne alimentaire plantes-herbivores, comme dans l'eau environnante, mais est **utilisée par les communautés microbiennes hétérotrophes**. Seules quelques espèces associées pourraient agir comme un lien entre les métazoaires, la production primaire et les niveaux trophiques supérieurs. La biomasse élevée des organismes hétérotrophes qui utilisent les agrégats (bactéries, protozoaires et les stades larvaires des métazoaires) conduirait à une disparition rapide des agrégats si le phytoplancton ne profitait pas des éléments nutritifs libérés et ne produisait pas continuellement du mucus (avec d'autres microorganismes) conduisant à une masse de mucus constante tout au long de l'été.

La **prédation des protistes sur les populations bactériennes** de la boucle microbienne est une source importante de la **production directe de tensio-actifs** (Kujawinski et *al.*, 2002), substances très importantes impliquées dans divers processus des couches superficielles des océans comme l'adhésion cellulaire, la **coagulation de petits colloïdes** ou les échanges gazeux à l'interface air /eau. Ils peuvent être des protéines, des lipides, des glucides mais la majorité sont des polysaccharides (Passow et *al.*, 1994 ; Vojvodic et *al.*, 1996).

Un **effet indirect du zooplancton** est lié au **contrôle de l'abondance bactérienne**. En effet, les bactéries piégées dans les agrégats sont une source potentielle de nourriture. Trop petites pour être filtrées par les copépodes quand elles sont libres en suspension, elles peuvent être ingérées avec le mucus des agrégats.

Ces **agrégats riches en éléments nutritifs** dans la colonne d'eau sont une **source potentielle de nourriture pour les métazoaires planctoniques**.

Selon Alexander (1992), les métazoaires intégrés dans les agrégats sont dominés par :

- les **larves de polychètes**,
- des **juvéniles de tubulaires**,
- des **larves nauplii**,
- des **copépodes harpacticoïdes**.

La fraction principale de la communauté du zooplancton dans les agrégats se compose de **larves et de juvéniles** qui peuvent tirer parti de leur dynamisme **pour leur dispersion**. En se plaçant dans les agrégats, les larves peuvent réduire leur vitesse de sédimentation et économiser de l'énergie qui est normalement consacrée au mouvement de nage active et par conséquent améliorer leur dispersion.

Ces organismes présentent des **facteurs d'enrichissement dans les agrégats** allant de 3,5 à 765 par rapport à l'eau environnante. En termes de biomasse, les larves de polychètes dominent la communauté microzooplancton dans les agrégats.

La **communauté zooplanctonique tire bénéfice de cet habitat spécifique** que représentent les agrégats dans le milieu pélagique. Certains organismes l'utilisent comme **source de nourriture**, comme l'ont révélé les observations directes des larves de polychètes, des larves nauplii et *Temora stylifera* (Alexander, 1992). Les juvéniles d'acoèles bénéficient d'une **haute concentration en éléments nutritifs inorganiques** trouvés dans les agrégats (Kaltenbock & Herndl 1992).

4.2.2. Production d'exopolymères bactériens

Pour mémoire, en 2010, seules les bactéries indicatrices de contamination fécales ont été recherchées à savoir Escherichia coli et les entérocoques intestinaux. Elles ont été retrouvées systématiquement dans le «LIGA» à des niveaux élevés bien que les concentrations observées soient difficilement interprétables eu égard au mode d'échantillonnage.

Les **bactéries hétérotrophes** sont importantes pour l'agrégation des cellules phytoplanctoniques, en particulier les diatomées marines (Simon et *al.*, 2002 ; Grossart et *al.*, 2006).

Les bactéries colonisent rapidement les agrégats. Le ratio N/P dans les agrégats est de 16. Ce ratio est équilibré pour la croissance du phytoplancton mais est **ressenti comme un appauvrissement en phosphore pour les bactéries** (Fagerbake et *al.*, 1996). Pour maintenir leur activité dans des conditions de phosphore limitées, les bactéries **augmentent l'activité de leur phosphatase alcaline**. Les bactéries associées aux agrégats ont une capsule, constituée de polysaccharides, plus épaisse que les bactéries libres dans l'eau de mer. Ces fibrilles capsulaires sont constamment renouvelées et une **fraction considérable est excrétée dans le milieu environnant**. Ce **matériel dérivé des capsules bactériennes est réfractaire**, difficilement dégradé par les bactéries et capable de former des TEP. La nature semi-labile voire réfractaire de ce matériel peut expliquer pourquoi les **agrégats persistent dans le temps**.

Les **cyanobactéries peuvent contribuer de manière significative à la production d'agrégats** dans les eaux côtières tempérées, en particulier dans des conditions de stratification estivale, lorsque leur production dépasse celle des eucaryotes. De plus, les taux de production de cyanobactéries augmentent lorsque les cellules sont immergées dans une matrice gélatineuse, contribuant à leur tour, à la production de mucus. Dans des conditions de stratification thermique estivale et de turbulence réduite, Kaltenbock et Herndl (1992) ont montré que les **cyanobactéries sont parmi les organismes impliqués de manière significative dans la production de mucus**.

Selon Compère (1999), l'exposition de quasiment tout substrat en milieu marin conduit à une colonisation rapide de celui-ci, suivant une séquence couramment admise d'un **film primaire**, essentiellement **composé de macromolécules organiques (exopolymères, glycopotéines, acides humiques) et/ou inorganiques présentes dans le milieu ou sécrétées par les micro-organismes vivant dans ce milieu**, puis de **bactéries** et ensuite de **macro-organismes**.

Ces exopolymères ont un rôle multiple, ils assurent :

- l'attachement irréversible des micro-organismes aux surfaces,
- le piégeage d'éléments nutritifs (organiques ou inorganiques) nécessaires à la croissance bactérienne
- la protection des bactéries d'agressions de nature biochimiques, chimiques ou biologiques.

Les analyses XPS et Infrarouge rasante révèlent les **différentes étapes lors de la formation de films primaires** :

- Une adsorption de protéines,
- Une adsorption de polysaccharides,

L'attachement bactérien intervient quelques heures après l'immersion en deux étapes successives :

- **La fixation des bactéries est réversible** : elle met en jeu de faibles interactions entre le support et la cellule qui sont d'ordre électrostatiques et des forces de Van Der Waals.

- **L'adhésion des micro-organismes est rendue irréversible** par la **sécrétion de polymères extracellulaires** formant des ponts de fixation entre la cellule et la surface. L'attachement irréversible des micro-organismes met en jeu, quant à lui, des interactions de haute énergie. Les forces intervenantes sont du type dipôle-dipôle, interactions Debye, interactions ion – dipôle, liaisons hydrogène ou ponts polymériques.

Si les conditions physico-chimiques de l'interface leur sont favorables, les bactéries vont se multiplier sous forme de microcolonies. La **fusion de ces colonies** et de leurs **sécrétions de polymères** constitue le **voile bactérien ou biofilm**. Les microsalissures sont constituées d'organismes microscopiques :

- Bactéries,
- Diatomées,
- Protozoaires,
- Champignons...

Les premiers colonisateurs identifiés sont essentiellement des bacilles de petite taille, *Pseudomonas* et *Flavobacterium* (du type copiotrophes), suivis de bactéries de formes diversifiées en particulier les formes pédonculées, *Caulobacter* et *Hyphomicrobium* (de type oligotrophes).

Des études qualitatives et quantitatives de développement de biofilm bactérien réalisées sur 3 supports différents immergés en eau de mer naturelle sur le site de Sainte Anne du Portzic ont permis de mettre en évidence **de larges fluctuations saisonnières**, tant au niveau des **densités bactériennes** que des **cinétiques de colonisation**.

La température semble être le facteur prépondérant du taux de colonisation : la **période estivale** est plus propice à une **colonisation importante et rapide** que la période hivernale.

L'adhésion des bactéries, la formation du voile biologique et son développement dépendent de plusieurs facteurs :

- La physico-chimie du milieu,
- La nature du substrat,
- La micro - topographie de surface,
- **Les conditions hydrodynamiques**

La vitesse de colonisation est fortement influencée par la nature du substrat ainsi **la présence de métaux lourds retarde de façon importante le développement d'un biofilm**. De plus, les caractéristiques du substrat peuvent modifier la communauté bactérienne.

Les agrégats peuvent attirer les micro-organismes, tels que des bactéries, des protistes et les virus, ainsi que des gels, des colloïdes et des débris cellulaires. Les bactéries **peuvent inhiber les agrégats en réduisant leur viscosité grâce aux hydrolases** ou au contraire **y contribuer en produisant du mucus**. La **production et l'abondance bactérienne sont considérablement plus élevées dans les agrégats** (Müller-Niklas et *al.*, 1994) par rapport aux concentrations rencontrées

dans les eaux environnantes. Les bactéries colonisent les agrégats avec des densités variant de 10^8 à 10^9 par millilitre (Azam et Malfatti, 2007). Les bacteroidetes, bien que non mobiles, sont spécialisées dans la colonisation des agrégats.

L'expression de plusieurs ectohydrolases, comme la protéase, la lipase, la chitinase et la phosphatase, est élevée alors que celle de la glucosidase est faible. Ces enzymes digèrent la matière organique dissoute des agrégats. Toutefois, les bactéries les colonisant n'utilisent qu'une partie de la matière organique dissoute en laissant ainsi pour les bactéries libres.

Les analyses moléculaires de Danovaro (2009) ont démontré la présence d'une **grande diversité bactérienne dans les agrégats**, avec un nombre de ribotypes significativement plus élevé que dans l'eau de mer environnante.

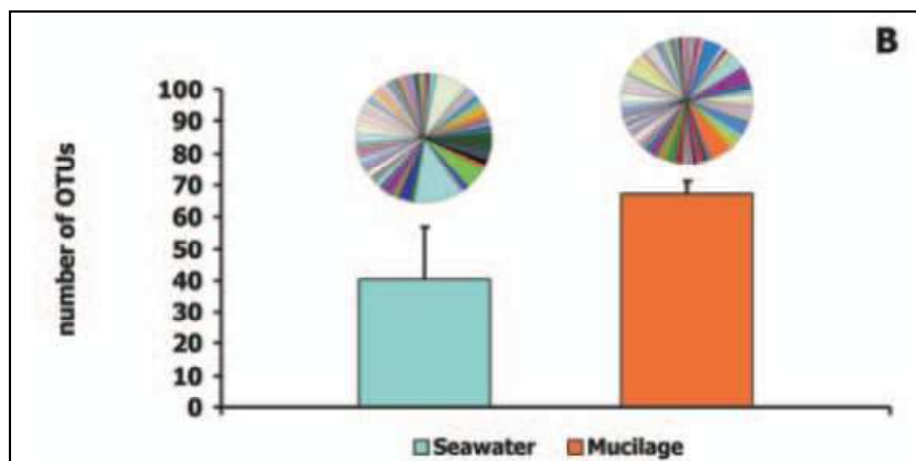


Figure 233 : Diversité bactérienne (OTUs = Operational taxonomic Units) (Danovaro, 2009)

90 % des taxons bactériens rencontrés dans les agrégats n'ont pas été retrouvés dans l'eau de mer environnante. Les analyses moléculaires basées sur l'hybridation fluorescente *in situ* ont démontré que **les agrégats renferment un grand nombre de pathogènes**. L'abondance de coliformes était 4 fois supérieure dans les agrégats que dans l'eau environnante.

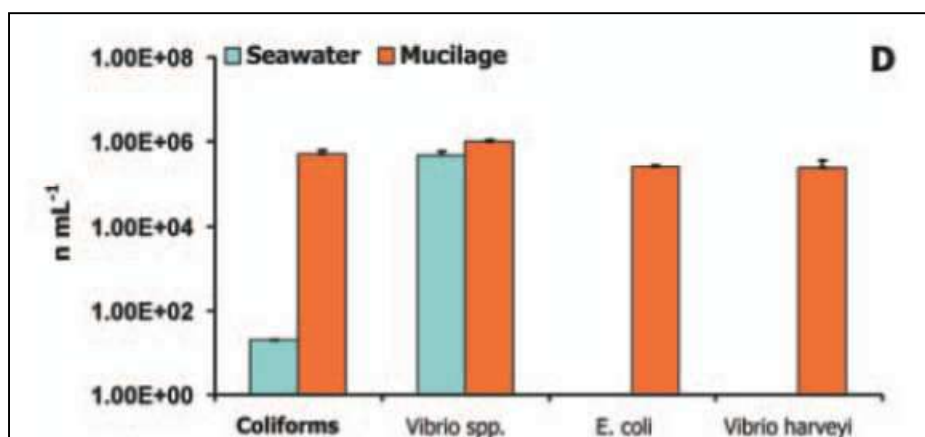


Figure 234 : Abondance de pathogènes (Danovaro, 2009)

En mer de Marmara, Balkis a observé une **corrélation positive entre la quantité de phytoplancton, de bactéries et la densité des agrégats**.

Negro et *al.* (2005) ont déterminé que les exopolysaccharides des agrégats fournissent les glucides nécessaires aux bactéries. En retour, les bactéries des agrégats sont métaboliquement plus actives. En conséquence, la présence **d'agrégats peut conduire à une augmentation des bactéries**

dans l'eau. Balkis (2010) constate que lorsque le nombre de bactéries totales est le plus élevé, la valeur d'oxygène dissout est la plus faible en raison de l'activité bactérienne.

4.3 Lyse cellulaire

Pour mémoire, en 2010, les virus n'ont pas été recherchés dans le «LIGA».

L'infection virale et la lyse cellulaire du phytoplancton sont aussi considérées comme des causes d'accumulation de polysaccharides (Baldi et al., 1997). La lyse virale influence la quantité et la qualité de matière organique dissoute qui est un précurseur des agrégats. La lyse virale augmente le pool de matière organique dissoute et particulièrement les composants polymériques et colloïdaux qui sont des précurseurs potentiels à la formation des agrégats.

Depuis 20 ans, les virus ont été identifiés **comme les formes vivantes les plus abondantes** (Bratbak et al., 1992) et **comme facteur majeur de mortalité pour le phytoplancton et le bactérioplancton** (Proctor et Fuhrman, 1990 ; Suttle et al., 1990).

La microscopie électronique à transmission (MET) est utilisée pour quantifier les virus dans les exsudats de diatomées (Bratbak et al., 1990) et dans les agrégats (Peduzzi et Weinbauer, 1993). Une méthode permet d'estimer l'abondance des virus dans les TEP en mesurant d'abord l'abondance totale des virus. Ensuite, en attachant des perles paramagnétiques aux TEP, on les retire et on mesure de nouveau l'abondance virale. La différence est le nombre de virus associés aux TEP (Mari et al., 2007).

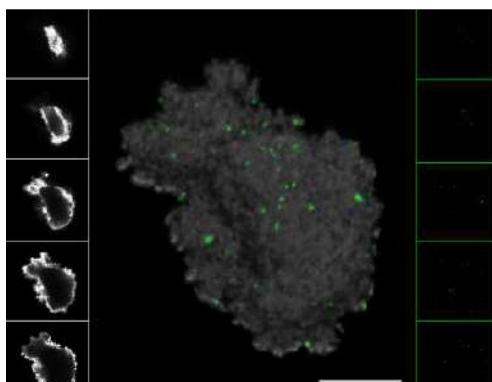


Figure 235 : Exemple de charbon dans une étude expérimentale avec de l'eau de mer filtrée à 0,2 μm (échelle 10 μm). Les virus sont en vert. Différentes sections de l'épifluorescence à droite et réflexion de la lumière à gauche. (Weinbauer et al., 2009)

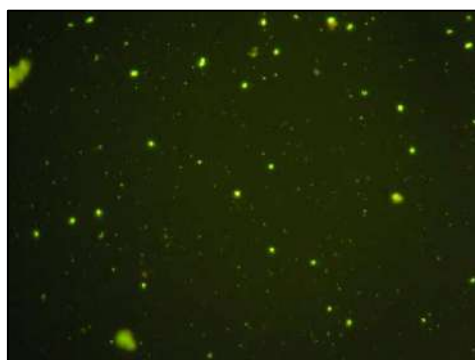


Figure 236 : Virus et procaryotes d'un agrégat de neige marine dissocié au méthanol. Les grandes particules sont des bactéries et les petites des virus (Noble et Fuhrman, 1998)

De nombreuses études ont évalué l'abondance des virus dans les agrégats et les matières en suspension. Elle varie 10^5 à 10^{11} par millilitre d'agrégats.

Tableau 3 : Abondances virales dans les particules VPR : Ratio Virus/procaryotes ; TEM : Microscope électronique à transmission ; EFM : Epifluorescence microscopique ; FCM : Cytométrie de flux ; CLSM : Microscopie à balayage laser (Weinbauer et al., 2009)

Particle type	Environment	Viral abundance (cm^{-3} or ml^{-1} of particle)	VPR	Viruses on particles (% total)	Comments	Source
Organic particles Marine	Norwegian fjord	0.3×10^7		23	Diatom slime, <i>in situ</i> , TEM	Bratbak et al. (1990)
	Northern Adriatic Sea	$5.6-8.7 \times 10^{10}$			<i>In situ</i> and experiments, TEM	Peduzzi & Weinbauer (1993)
	Northern Adriatic Sea					
	Young	$1.8-3.0 \times 10^5$	3.7-7.0		<i>In situ</i> mucilage life stages, EFM	Bongiorni et al. (2007)
	Mature	$754-1226 \times 10^7$	25.0-27.0			
	Aged	$48-876 \times 10^5$	3.8-18.3			
	SW Lagoon of New Caledonia	$1-30 \times 10^{10}$		0-40	<i>In situ</i> , magnetic removal, FCM	Mari et al. (2007a)
	North Sea			ca. 10-100	Mesocosm simulating a <i>Phaeocystis</i> bloom and decay, indirect estimation	Brussaard et al. (2005a)
Lake	Lake Constance		0.3-8.5		Experiments, EFM	Simon et al. (2002)
River	Danube River + flood plain	$0.02-0.89 \times 10^7$ (0.2×10^7)	0.22-12.90 (3.49)	0.4-35 (10.14)	<i>In situ</i> , EFM	Luef et al. (2007)
	Danube River	$0.31-54 \times 10^8$	0.2-0.8		<i>In situ</i> , CLSM	Luef et al. (2009)
	Danube River					
	Fresh leaves		0.00-4.07 (1.19)		Experiments, EFM	Kernegger et al. (2009)
	Aged leaves		0.35-2.47 (1.05)			
	River snow		0.32-3.07 (1.55)			
Black carbon	NW Mediterranean			ca. 50	Experiments with high concentrations of reference material	Cattaneo et al. (2009)
Inorganic particles Saharan dust	NW Mediterranean	Less than bacterial abundance			Studies with material collected during wet deposition event	Weinbauer et al. (2009)
Sediment	Danube River					
	Fresh sediment	0.00-1.40 (0.72)			Experiments with suspended sediments, EFM	Kernegger et al. (2009)
	Aged sediment	0.11-5.74 (2.27)				

La première étude a mis en évidence $0,3 \times 10^7$ virus par ml dans le mucus des diatomées (Bratbak et al., 1990). Dans une étude expérimentale *in situ* dans le nord de l'Adriatique, de fortes abondances de virus, allant de $5,6$ à $8,7 \times 10^{10}$, ont été retrouvées dans de grands agrégats de neige marine (Peduzzi et Weinbauer, 1993). Ces valeurs sont similaires (de $1,2$ à $8,7 \times 10^{10}$) à celles rencontrées dans des agrégats matures de la même zone (Bongiorni et al., 2007).

Les abondances virales varient selon l'âge des agrégats, les plus jeunes étant les moins colonisés. La plus forte abondance (30×10^{10} virus /ml) a été mesurée dans un agrégat de TEP dans une baie semi fermée du sud ouest du lagon de nouvelle Calédonie. Dans cette baie, plus de 40 % des virus étaient attachés aux TEP. Dans une étude expérimentale simulant un bloom de *Phaeocystis*, Brussaard et al. (2005) ont estimé qu'entre 10 et 100 % des virus pouvaient être attachés aux TEP.

Le ratio Virus / procaryotes (VPR) est un indicateur robuste utilisé pour différencier les interactions virus – procaryotes. Bongiorni et al. (2007) ont trouvé des VPR allant de 3,7 à 7 dans des jeunes agrégats, de 25 à 27 dans des agrégats matures et de 3,8 à 18,3 dans des agrégats âgés.

La qualité de l'agrégat est un facteur qui influence l'abondance virale. Mari et al. (2007) constatent que l'abondance des virus attachés aux TEP et la taille des TEP augmentent avec le temps de résidence des eaux. Ils pensent que **plus le temps de résidence des masses d'eau se prolonge et plus le temps de résidence des agrégats organiques augmente dans la colonne d'eau**. La dégradation des TEP par les procaryotes les rendent moins collantes ce qui réduit la densité des agrégats et les maintient en suspension. Ceci ralentit le transport vertical et augmente le temps d'exposition aux organismes procaryotes et viraux (Mari et al., 2007). Dans un tel schéma, **les agrégats apparaissant dans des eaux peu renouvelées restent en suspension dans la colonne d'eau**. Pendant la maturation des agrégats, les abondances de procaryotes et de virus ainsi que leur activité augmentent alors qu'elles diminuent dans les agrégats âgés.

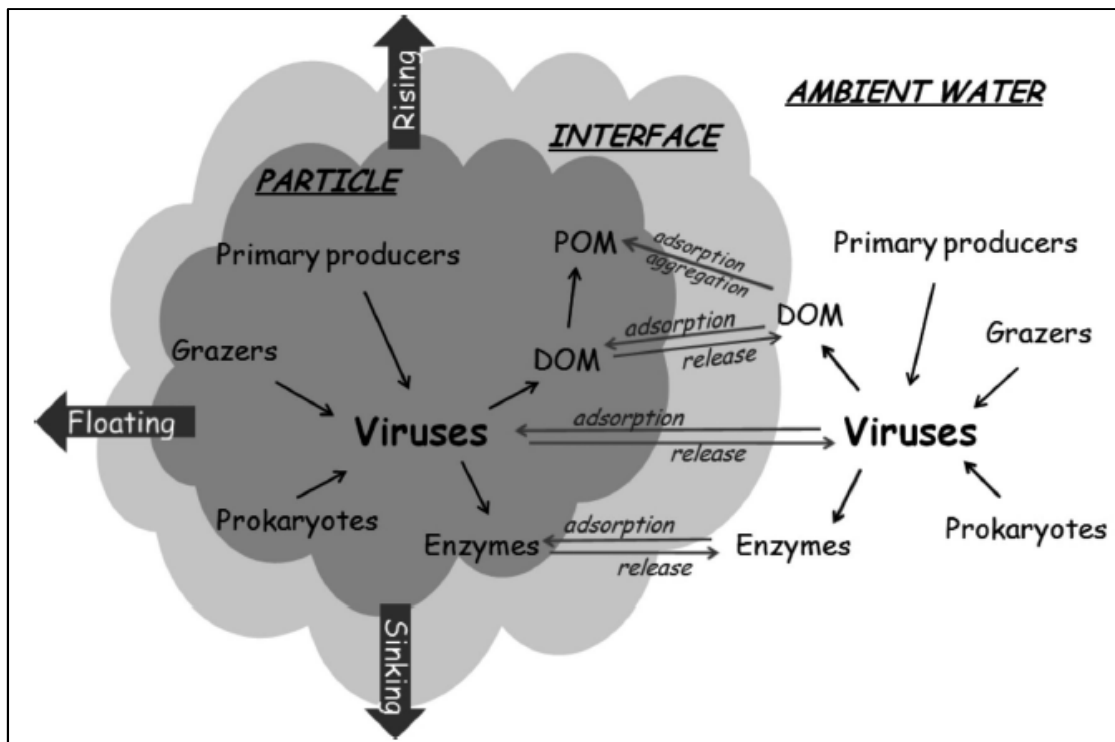


Figure 237 : Interactions possibles entre les agrégats et les virus (Weinbauer et al., 2009)

3 différents types d'interactions spatiales des virus associés aux agrégats sont définis.

- **Les processus viraux dans l'eau environnante peuvent influencer la formation ou la dissolution des agrégats.** Les virus contrôlent les blooms phytoplanctoniques et donc la formation des agrégats comme les floccs algaux. D'autre part, les produits de la lyse des algues et des procaryotes peuvent agir comme une colle biologique. Les virus peuvent agir comme un noyau de la formation des agrégats.
- **Les processus viraux comme l'adsorption ou le relargage arrivent à l'interface particule eau -environnante.** Les virus ou les produits de la lyse virale s'adsorbent sur les agrégats ou en sont relargués. L'adsorption des virus peut être une stratégie pour rencontrer des hôtes qui colonisent les agrégats. Ils peuvent donc être une source de production de virus en les sécrétant dans le milieu ambiant. De plus, les produits de la lyse peuvent être excrétés et contribuer à l'augmentation de la concentration en nutriments et à la production autour des agrégats.
- **Les processus viraux dans les agrégats influencent le devenir des agrégats.** Les produits de lyse des algues et procaryotes associés jouent le rôle de colle biologique. Les enzymes viraux comme les lysozymes peuvent dissoudre les agrégats ainsi que les enzymes produites par les procaryotes pour se défendre des virus.

4.4. Facteurs environnementaux favorisant la formation d'agrégats colloïdaux marins

Les causes et les mécanismes déclencheurs des formations d'agrégats ne sont pas encore connus. Il n'existe pas un facteur mais plutôt une **combinaison de conditions environnementales** qui favorisent la formation d'agrégats. Plusieurs hypothèses ont été évoquées.

Selon Allredge (1999), **certaines conditions favorisent la dominance saisonnière des espèces produisant de grandes quantités d'exopolysaccharides gélatineux et réfractaires**. Les conditions qui conduisent à la dominance de ces espèces sont les concentrations en nutriments et les événements de remise en suspension qui sont conditionnés par le régime des débits du Pô et les courants côtiers dans le nord de l'Adriatique. Une fois que les diatomées mises en cause sont abondantes, la formation d'agrégats muqueux nécessite **une période de mer calme et de temps ensoleillé** qui **augmentent la biomasse des diatomées** et favorisent la **stratification des eaux** ce qui conduit à une accumulation des agrégats dans la pycnocline.

Herndl et *al.* (1999) évoquent **l'interaction entre des conditions hydrologiques et biologiques** spécifiques.

Selon Faganelli et *al.* (2010), ces événements sont liés à des **changements préalables du ratio N/P de l'eau de mer** qui influence le taux de croissance et le métabolisme du phytoplancton induisant la production de matériel muqueux. L'origine phytoplanctonique est corroborée par la composition des agrégats majoritairement constitués d'hétéropolysaccharides produits par des exsudats phytoplanctoniques et la lyse cellulaire. Les observations microscopiques indiquent que **les diatomées sont des producteurs essentiels** bien que d'autres organismes phytoplanctoniques et bactériens soient présents dans les agrégats. Des **conditions océanographiques spécifiques** incluant, la **formation d'un gyre, temps de résidence des eaux élevé, développement d'une pycnocline marquée, des conditions stables et une faible turbulence**, contribuent significativement à une concentration et une agglomération des cellules phytoplanctoniques et d'autres matières organiques et minérales. **La disparition complète des agrégats correspond généralement avec un événement orageux et un changement de la stratification de la colonne d'eau et des régimes de courant.**

4.4.1. Facteurs abiotiques

Selon Degobbi (1999), les fluctuations des conditions environnementales, notamment météorologiques, hydrologiques et océanographiques jouent un rôle dans le déclenchement des phénomènes d'agrégats en Mer Adriatique. L'agrégation de la matière organique dans l'eau de mer est déterminée par les propriétés physiques et chimiques du milieu aqueux, comme :

- la température (Thornton et Thake, 1998),
- la turbulence, le cisaillement, la concentration de particules (Simon et *al.*, 2002),
- la force ionique et le pH (Chin et *al.*, 1998),
- les concentrations en cations di et trivalents (Thornton et *al.*, 1999),
- les propriétés chimiques des substances organiques (poids moléculaire, des groupes fonctionnels) et les propriétés de surface des particules (Zutic et Svetlicic, 2000).

4.4.1.1. Les conditions météorologiques

Les **hautes pressions atmosphériques** ainsi la **réduction des précipitations et de la houle** ont sont des conditions nécessaires à la formation des agrégats (Marchetti, 1990). Crisciani et *al.* (1990 et 1991) constatent une corrélation entre l'apparition d'agrégats et un **gradient de pression atmosphérique inhabituel sur la période janvier avril** qui provoque un retour des eaux du sud de la mer Adriatique vers le Nord.

En plus de l'appauvrissement en nutriments, la **sécrétion d'exsudats est renforcée par de fortes températures et irradiances solaires**. Le niveau de ces paramètres était inhabituellement élevé à la fin des années 80 grâce à des conditions météorologiques et océanographiques particulières (Herndl et *al.*, 1992).

4.4.1.2. Les apports fluviaux

Les apports fluviaux peuvent jouer un rôle **par l'apport d'eau douce** qui contribue à la stratification des masses d'eau mais aussi par **l'apport de sels nutritifs** en zone côtière.

Selon Degobbis (1999), depuis 1917, on distingue deux grands types de régimes pluriannuels du débit du Pô qui est la principale source d'apports en éléments nutritifs au nord de la mer Adriatique.

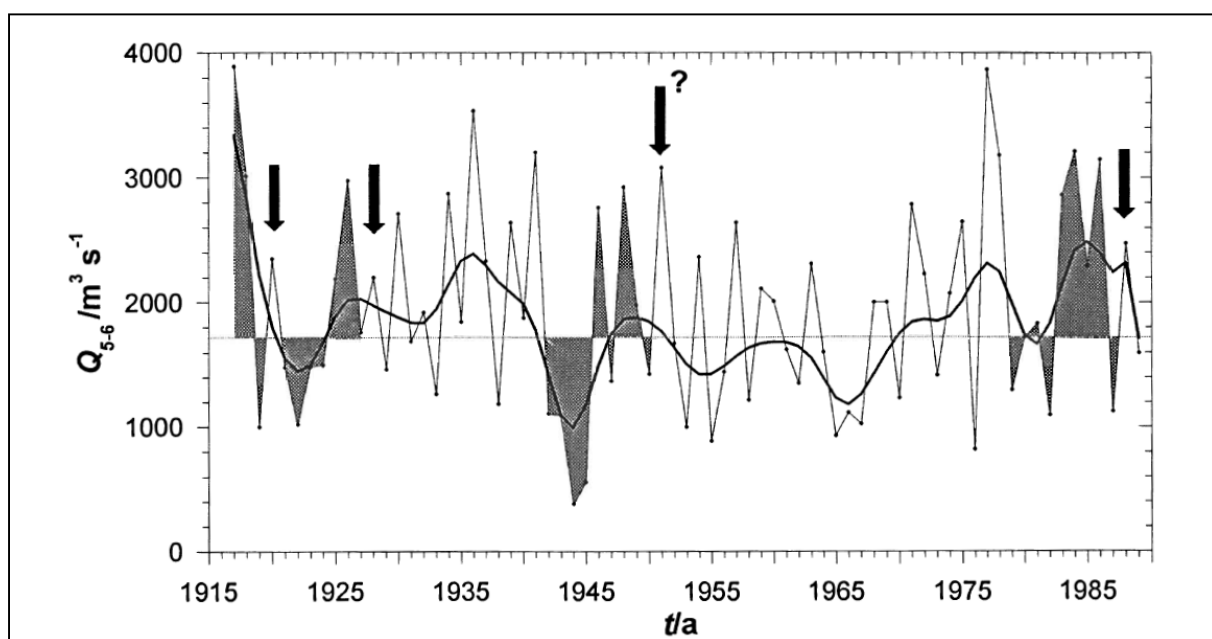


Figure 238 : Modules du Pô sur les mois de Mai –Juin sur la période 1917 – 1990.
Les apparitions d'agrégats sont marquées par des flèches noires (Degobbis et *al.*, 1995)

Durant les années 30 et du milieu des années 50 aux années 70, les débits moyens minimum et maximum pour la période mai –juin alternent de façon régulière tous les 1 ou 2 ans. En revanche, les années 20, 40 et 80 sont marquées par une diminution des apports d'eau douce lors de printemps successifs (1921 – 1924 ; 1942 – 1946 et 1979 – 1982) suivis d'années marquées par de forts débits à cette saison (1926, 1948 – 1949 ; 1983 – 1986) avec notamment des pics journaliers supérieurs à 5 000 m³/s. En général, suite à une telle succession de printemps, les agrégats apparaissent (Precali, 1998).

Les résultats suggèrent **qu'un régime particulier des apports du Pô** (eau douce et nutriments) peut avoir une **influence sur les communautés planctoniques en sélectionnant certaines espèces et en modifiant les relations dans le réseau trophique** ce qui conduit à une

production et une accumulation de mucus. De plus, **un pic d'apport d'eau douce dans des conditions de faible turbulence** peut induire un bloom intense en surface dans lequel les nutriments apportés sont rapidement utilisés. Ainsi, pendant les périodes de dégradation des blooms les exsudats à fort poids moléculaire sont produits en grande quantité (Lewin, 1955 ; Ittekkot et *al.*, 1981 ; Sondergaard et Schierup, 1982 ; Moller Jensen, 1983 ; Mykkestad et *al.*, 1989) et accumulés en l'absence de broutage efficace et d'activité microhétérotrophique.

L'hypothèse qu'un régime particulier d'apport d'eau douce, plus que les apports totaux, soit essentiel au développement du phénomène est confortée par le fait que de grandes quantités d'agrégats ne sont observées ni en période de débits du Pô extrêmement faibles (années 60), ni en période de débits extrêmement forts (1977 et 1988) ni en période de débits modérés (années 30, 50 et début des années 70).

A la fin des années 70 et au début des années 80, la concentration moyenne annuelle en orthophosphates et azote inorganique des eaux du Pô a doublé par rapport au début des années 70 (Tartari et *al.*, 1991 ; Pagnotta et *al.*, 1995). Après 1985, la **concentration en orthophosphates a graduellement diminué** probablement due à la réduction des polyphosphates dans les détergents italiens. En parallèle, la concentration en azote inorganique est restée élevée. Ainsi, **le ratio N/P** des eaux du Pô, déjà supérieur au coefficient stœchiométrique de Redfield de 16, a augmenté à la fin des années 80 jusqu'à 60. Dans les années 80 et au début des années 90, les changements de concentrations et de ratios en nutriments dans la zone côtière d'Emilie Romagne sont similaires à ceux observés dans le Pô (Rinaldi, 1998). En conséquence, la biomasse phytoplanctonique a diminué durant l'été et l'automne, de façon plus marquée depuis 1988, due à **une baisse de la fréquence de blooms des dinoflagellés**. Des changements de concentrations en nutriments et en chlorophylle a, présumés corrélés aux modifications de teneurs en nutriments du Pô, sont aussi observés dans les eaux ouvertes du nord de l'Adriatique (Degobbi et *al.*, 1998 et 1999). Du début des années 70 jusqu'à la fin des années 80, les concentrations en chlorophylle a et les taux de production primaire sont plus faibles qu'au début des années 80 quand la concentration en orthophosphates dans les eaux du Pô sont à leur maximum.

Degobbi (1999) pense que **les espèces présentant des forts taux d'exsudation ont été sélectionnées et se sont adaptées à l'augmentation de nutriments disponibles les années où le débit printanier du Pô est élevé**, ce qui précède l'apparition des agrégats. Ces espèces ont été hautement stimulées **dans des conditions réduites de mélange vertical et horizontal des eaux et d'augmentation de l'irradiance solaire** due à une **fréquence accrue de temps calmes et ensoleillés**. La croissance initiale dans des zones très restreintes au large de la rivière Po, provoquée par l'apport des nutriments en zone côtière, peut avoir, dans une phase ultérieure, été considérablement limitée par la dilution dans les eaux oligotrophes particulièrement **pauvres en orthophosphates**. Cela peut causer **des conditions de stress et favoriser l'excrétion** inhabituellement élevée de polysaccharides. En même temps, la stabilité des conditions physiques dans la colonne d'eau et l'échange réduit entre les masses d'eau favorise l'agrégation à des degrés très élevés.

D'autres auteurs ont souligné le possible rôle des **changements des conditions environnementales à l'interface panache du Pô et les eaux oligotrophiques de l'Adriatique** comme facteur de stress générant de fortes sécrétion de mucus. Ceci est cohérent avec les observations des plongeurs qui ont vu apparaître les agrégats dans la partie est oligotrophique avant la partie ouest plus eutrophique (Degobbi et *al.*, 1995). Degobbi (1995) constate que le **phénomène est plus concentré sur le front de panache du Pô** que dans les autres zones.

Les **tendances récentes à la diminution des débits du Pô** (Zanchettin et *al.*, 2008) et de l'Isonzo (Comici et Bussani, 2007) se traduisent par une **diminution de chlorophylle a dans les eaux superficielles** (Mozetic et *al.*, 2010). La **réduction des apports d'eau douce, l'interdiction de**

l'utilisation des phosphates dans les années 80 et **l'amélioration du traitement des eaux usées** ont contribué à une **modification de la concentration en nutriments en zone côtière** (Dewit et Bendoricchio, 2001). Le **phosphore et les nitrates ont diminué significativement ces 30 dernières années** (Solidoro et al., 2009). Ces changements ont du **renforcer les limitations en nutriments** dans le nord de l'Adriatique.

4.4.1.3. Les nutriments en zone côtière

Selon Danovaro et al. (2009), l'apparition d'agrégats n'est pas forcément associée à des conditions eutrophiques puisqu'ils ont été observés dans des mers oligotrophiques comme la mer Egée. **La fréquence des agrégats augmente depuis les 2 dernières décennies alors que, dans le même temps, la production primaire diminue.** On ne peut donc pas **attribuer l'augmentation du phénomène à une augmentation de production primaire** (i.e. eutrophisation).

Les **déséquilibres en nutriments** et, plus généralement, la **limitation en nutriments**, sont considérés comme des **facteurs déclenchants d'hypersécrétion et de production d'agrégats**. La formation d'agrégats au nord de l'Adriatique et dans la Mer Tyrrhénienne est observée **plus densément en période de déficit en phosphore** et moins densément en période de déficit en azote (Innamorati et al., 2001; Pompei et al., 2003). Selon Innamorati et al. (2001), **un appauvrissement en phosphore est une condition nécessaire pour l'apparition d'agrégats**, mais n'est pas le seul facteur.

La **limitation en phosphore** peut provoquer une **augmentation de la libération des polysaccharides** par des cultures de diatomées. La production d'exopolysaccharides par *Cylindrotheca closterium* est plus élevée dans des conditions limitantes de phosphore que de nitrates, peut-être en raison d'un taux plus élevé de photosynthèse dans des conditions de phosphore limitantes (Alcoverro et al., 2000).

Balkis (2010), en mer de Marmara, a rencontré les concentrations les plus élevées en éléments nutritifs dans la couche d'eau de fond où se trouvaient les agrégats. Il a démontré que les **agrégats étaient étroitement corrélés à l'augmentation d'éléments nutritifs dans l'eau de mer.**

L'appauvrissement en phosphore et un fort ratio N/P dans la mer Adriatique ont été fréquemment suggéré pour induire une accumulation de mucus (Herndl, 1992; Obernosterer et Herndl, 1995; Degobbi et al., 1999; Mykkestad, 1999). **Les taux de production de carbone organique dissous par les communautés phytoplanctoniques naturelles peut augmenter dans des conditions de concentrations limitantes en phosphore et en présence d'un fort rapport N/P** (Fogg, 1995; Degobbi et al., 1999; Mykkestad, 1999.). De plus, la matière organique dissoute sécrétée par le phytoplancton en conditions limitantes de phosphore est plus **résistante à la dégradation bactérienne** (Obernosterer et Herndl, 1995).

Une étude (Puddu et al., 2003) sur la fixation des bactéries sur le carbone organique extracellulaire libéré par *Cylindrotheca closterium* dans des conditions riches et appauvries de phosphore a démontré que les taux de croissance et la demande en carbone bactérienne sont significativement réduits dans le cas d'exsudats algaux dans des conditions appauvries en phosphore.

Le phosphore inorganique peut aussi limiter la production bactérienne (Zweifel et al., 1993; Pomeroy et al., 1995; Cotner et al., 1997). La **faible dégradabilité des polymères sécrétés**, ainsi que **l'effet de la limitation en phosphore sur l'activité métabolique** des bactéries peuvent être responsables de **l'inefficacité relative de la dégradation bactérienne.**

La formation d'agrégats démarre au printemps et est due à un **changement préalable du ratio N/P** plus qu'à la concentration individuelle des nutriments (Cozzi et al., 2004; Penna et al., 2009). Par ailleurs, dans la zone pélagique photique, la **limitation en nutriments** est considérée comme un

facteur fondamental pour le **contrôle de la composition des communautés de microorganismes**. L'accumulation de matière organique dissoute (MOD) dans les écosystèmes marins où les conditions en phosphore sont limitées provoque un **dysfonctionnement de la boucle microbienne**, les bactéries étant incapables de consommer le carbone organique dissout aussi vite qu'il est produit (Thingstad et al., 1997).

Toutefois, même s'ils jouent un rôle important, les nutriments ne peuvent être le seul facteur déclencheur.

4.4.1.4. L'hydrodynamique côtière

Selon Turk (2010), la **rétenction marquée d'eau douce** et la **stratification de la colonne d'eau** dans le nord de l'Adriatique durant l'été **semble contribuer au développement des agrégats** (Degobbi et al. 2005). De plus, l'accumulation de matière organique des agrégats est renforcée par les conditions particulières hydrologiques du nord de l'Adriatique durant l'été lorsque cette région de la mer devient isolée du reste de l'Adriatique par la **formation d'un gyre**. Ce changement provoque **une augmentation du temps de résidence de l'eau**, le **développement d'une pycnocline** et un **faible cisaillement par turbulence** (Supic et Orlic, 1999). Balkis (2010) estime que la présence d'une **forte thermocline et pycnocline**, les **conditions climatiques** et les **courants** participent activement à la formation d'agrégats en mer de Marmara.

Fanuko et al. (2010) estiment que certaines années, les régimes de courant qui conduisent à la **formation d'un gyre anticyclonique jouent un rôle majeur dans les processus d'accumulation des agrégats**. Les observations récentes pour l'ensemble nord de l'Adriatique (Russo et al., 2005) montrent que la combinaison de plusieurs conditions inhabituelles peut être un facteur déclenchant à la formation des agrégats. Il s'agit d'un **réchauffement brutal des eaux de surface en Mai-Juin**, du **déplacement vers l'est des eaux douces du delta du Pô** et de l'**intrusion d'eaux très fortement salées** provenant de Méditerranée orientale.

Selon Fanuko et al., la **saisonnalité est le facteur dominant qui contrôle la production d'agrégats**.

4.4.1.5. Le changement climatique

Les **changements saisonniers** et le **réchauffement global affectent considérablement la structure biologique des océans** (Goffart et al., 2005). Selon Degobbi et al. (1995), les **changements climatiques** apparus dans les années 80 ont **modifié les conditions hydrologiques et océanographiques**. Ceci a **influencé la dynamique des nutriments** et les **mécanismes de recyclage** ce qui a conduit à la **sélection de communautés planctoniques** capables de sécréter des polysaccharides en réponse aux changements environnementaux.

Plusieurs études (Goffart et al., 2002; Mc Quatters-Galop et al., 2007; Raitos et al., 2005; Reid et al., 2001) ont indiqué un **lien entre changement climatique et les communautés pélagiques** dont les réponses peuvent différer à l'échelle régionale. Il est signalé que la biomasse du phytoplancton dans les écosystèmes marins (Mc Quatters-Galop et al., 2007 ; Smetacek et Cloern 2008) reste élevée ou continue même d'augmenter malgré la **baisse des concentrations de nutriments et des apports continentaux**.

Selon Danovaro et al. (2009), l'analyse historique des rapports sur la mer Méditerranée indique que la **fréquence du phénomène augmente et s'étend à d'autres régions**. L'analyse de 60 ans (1950 – 2008) d'apparition du phénomène en Mer Méditerranée a démontré que des anomalies climatiques, notamment l', expliquent une grande partie de la variance de l'apparition d'agrégats sur une base annuelle ou décennale.

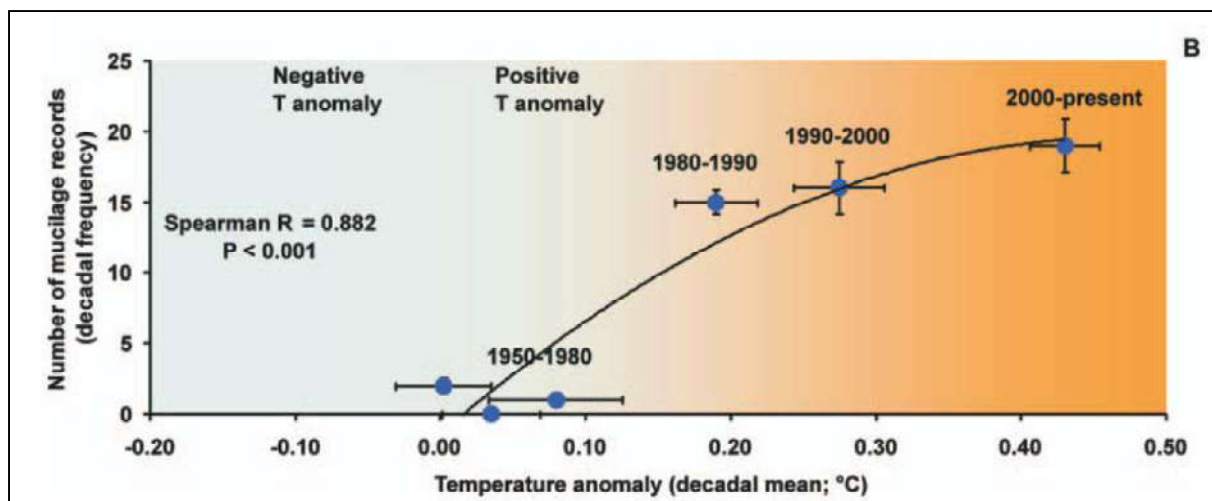


Figure 239 : Relation entre la fréquence d'événements muqueux et le changement climatique en Mer Méditerranée (Danovaro et al., 2009)

L'hypothèse du lien entre l'apparition du phénomène et l'anomalie positive de température est suggérée par son extension géographique progressive de sa persistance dans le temps. Toutefois, les anomalies de températures ne peuvent pas à elles seules prédire la fréquence d'apparition du phénomène à l'échelle d'un bassin car plusieurs facteurs peuvent favoriser la formation d'agrégats et/ou l'augmentation de leur ampleur comme le régime hydrodynamique (vitesse des courants, renouvellement d'eau), la disponibilité en oxygène... Toutefois, à la lumière du réchauffement climatique observé en mer Méditerranée, **le lien entre les anomalies climatiques et l'apparition de d'agrégats est évidente et le phénomène pourrait augmenter à l'avenir.**

Le **réchauffement des eaux de surface** influe sur les communautés de plancton dans l'océan ouvert ainsi que dans les environnements côtiers (Falkowski et Oliver 2007; Goffart et al., 2002; Hays et al., 2005). Il provoque l'augmentation de la **stratification des eaux** et donc la **réduction de l'approvisionnement en nutriments de la couche photique située en dessous de la pycnocline**. Ceci entraîne une diminution de l'abondance du phytoplancton, du moins, des grandes cellules (Richardson et Schoeman, 2004) et un **changement vers une communauté microbienne dominante** (Cushing, 1989).

4.4.2. Facteurs biotiques

4.4.2.1. Les changements de communautés phytoplanctoniques

Une analyse de données collectées depuis 1970 indique que des **changements de la composition phytoplanctonique** ont eu lieu dans le nord de l'Adriatique (Fonda Umani et al., 1992 ; Degobbis et al., 1995). Dans les années 70, *Skeletonema costatum*, *Nitzschia seriata* et *Prorocentrum micans* étaient les éléments dominants des blooms dans les eaux côtières sous influence directe des apports du Pô. Dans les années 80, dans la même zone, *Nitzschia delicatissima* et *Chaetoceros spp.* sont les espèces dominantes des blooms.

En comparaison avec les années 70, une **augmentation** significative (20 fois) de l'abondance **des diatomées printanières** et une **baisse des concentrations en orthosilicates** dans les eaux superficielles ont été observées dans les couches de surface pendant les années 80, particulièrement dans la région est de la mer qui est oligotrophique. Toutefois, **une évolution vers des espèces de diatomées plus petites contribue à maintenir le phytoplancton total au même niveau d'abondance**. Parallèlement, les **épisodes de blooms de dinoflagellés ont diminué** en partie compensés par l'augmentation des diatomées.

4.4.2.2. L'inefficacité des communautés de brouteurs

La consommation de phytoplancton pourrait jouer un rôle important sur l'apparition des agrégats (Malej et *al.*, 1995 ; Revelante et Gilmartin, 1991; Graneli et *al.*, 1999). Les observations indiquent que le **stock printanier de copépodes est surement insuffisant** pour contrôler une croissance rapide des diatomées due à des apports d'eau douce et de nutriments dans des conditions favorables (mer calme, faible dilution des eaux douces). De plus, la **pression de broutage** peut encore être **réduite en raison d'un effet dissuasif des exopolysaccharides sécrétés** dans la phase stationnaire de croissance du phytoplancton, **permettant à la population de persister et de continuer à produire des exsudats**. Les agrégats **influent négativement sur la population de larves nauplii de copépodes** qui a fortement diminué pendant les événements de 1989 et 1991 (Krsinic, 1995) tandis que les principales espèces de **copépodes adultes ne sont pas capables de consommer le phytoplancton associé aux agrégats** (Bochdansky et Herndl, 1992).

L'analyse des acides aminés du zooplancton indique que, **pendant les événements d'agrégats, ces espèces ne mangent pas** et consomment leurs réserves de graisse (Nadjek, 1997).

4.4.2.3. L'inefficacité des communautés bactériennes

La carence en nutriments peut aussi entraver la croissance bactérienne et donc la **dégradation des exsudats** quand ils sont fortement produits (Malej, 1995). De plus, la **dégradation préférentielle du phosphore organique par rapport au carbone organique** conduit à un **stockage de matières peu dégradables** incluant les polysaccharides.

5. Caractérisation physico-chimique des agrégats colloïdaux marins

Selon Turk (2010), les agrégats se composent d'une **matrice hautement structurée** contenant des **flores microbiennes** diverses, des **déchets organiques colloïdaux** et des **particules inorganiques**.

5.1. Structure physique

Du point de vue physique, les agrégats **représentent la transition entre la matière organique colloïdale (macromolécules) enfermée dans des gels (matrice) et la matière organique particulaire** (Chin et *al.*, 1998, Verdugo et *al.*, 2004, Svetlicic et *al.*, 2005). La microscopie électronique à transmission (MET) ou la microscopie électronique à balayage (MEB) permettent de révéler l'ultra-structure complexe des agrégats.

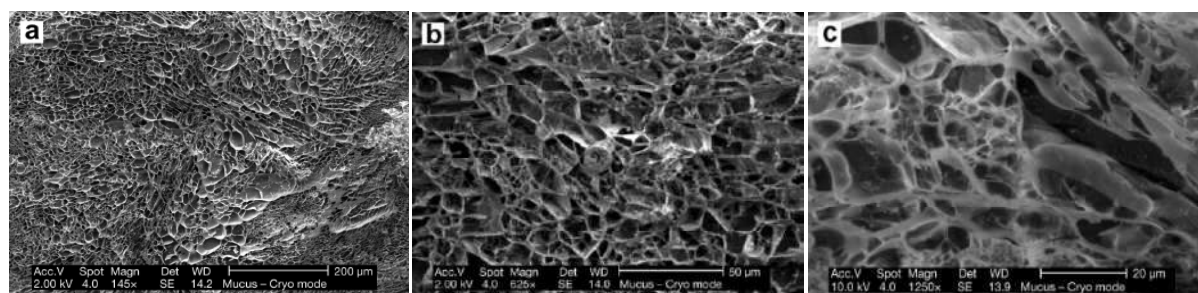


Figure 240 : Microscopie électronique à balayage de l'agrégat recueilli à 14 m de profondeur dans le golfe de Trieste le 30 Juin 2004. Les échantillons ont été préparés en utilisant la méthode de congélation haute pression (Cryo SEM, Philips XL20). (a) matériel à faible grossissement. (b) Le noyau interne de l'agrégat se compose de fibres formant des structures irrégulières semblables à des réseaux. (c) les structures du réseau sont constituées de fibres de différentes épaisseurs organisées en réseau complexe (Turk, 2010)

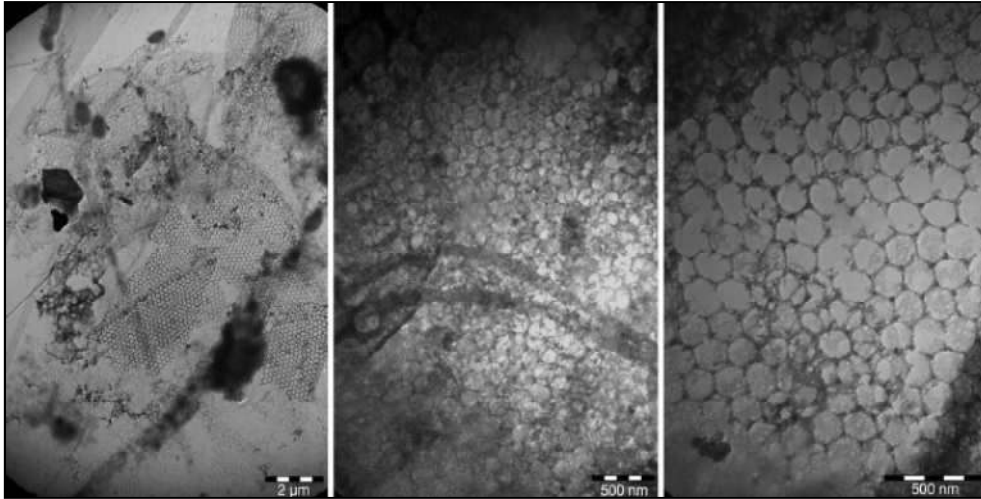


Figure 241 : Images de microscopie électronique à transmission des agrégats du nord de l'Adriatique (30 Juin 2004). Les images de couches ultra minces d'agrégats montrent une structure en nid d'abeille régulière (Jeol 100 CX microscope électronique) (Turk, 2010)

Le mécanisme de formation du gel peut inclure :

- une réticulation par liaisons covalentes,
- des associations de chaînes,
- l'aggrégation de particules (Clark et Farrer, 1995).

Les gels de polysaccharides peuvent être construits à travers diverses interactions physiques, de type électrostatiques, dipolaires, hydrophobes, de van der Waals, de transfert de charge, de liaisons hydrogène ou encore par la formation en double hélice (Guenet, 1992). Le processus de gélification dans la formation des agrégats englobe probablement d'abord l'assemblage de polysaccharides en petits groupes de fibrilles puis dans un réseau de fibrilles en 3D (Raghavan et Cipriano 2005). L'agglomération et la stabilisation du macrogel est renforcée par l'association de colloïdes avec des cations et des particules organiques et inorganiques (Kovac et *al.* 2004, Verdugo et *al.* 2004).

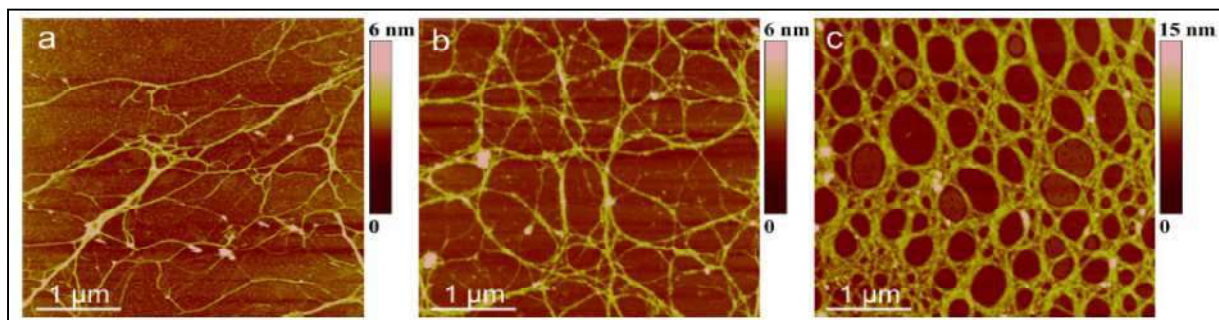


Figure 242 : Evolution du réseau de polymères dans les agrégats. Des premiers stades (a) au réseau de gel condensé des vieux agrégats (c) (Svetlicic et *al.*, 2011)

5.2. Composition chimique

La composition chimique des agrégats **dépend de la nature de la substance organique** au moment de leur formation, en termes de taille, d'âge (transformations biogéochimiques) et des **conditions environnementales** du lieu où ils se sont formés puis déplacés par les courants. Des études témoignent de la présence de **polysaccharides** (Marchetti et *al.*, 1989) dans la matrice muqueuse ainsi que de **chaînes polyméthylène** (Kovac et *al.*, 1998, 2002).

5.2.1. Composition élémentaire

Giani et *al.* (2005) ont analysé différents agrégats récoltés au nord de l'Adriatique entre 2000 et 2002. La plupart des agrégats comprennent une **fraction élevée de carbone organique**. Les analyses élémentaires ont révélé un taux de carbone organique allant de 12,5 à 32,2 %, un taux de carbone inorganique allant de 0 à 7,3 % et un taux d'azote inorganique allant de 1 à 3,7 %.

Les ratios C_{org}/N de la plupart des agrégats varient entre 7,5 et 12,6, valeurs proches de celles des matières en suspension. Des ratios plus élevés ont été retrouvés dans des agrégats plus grands probablement plus âgés.

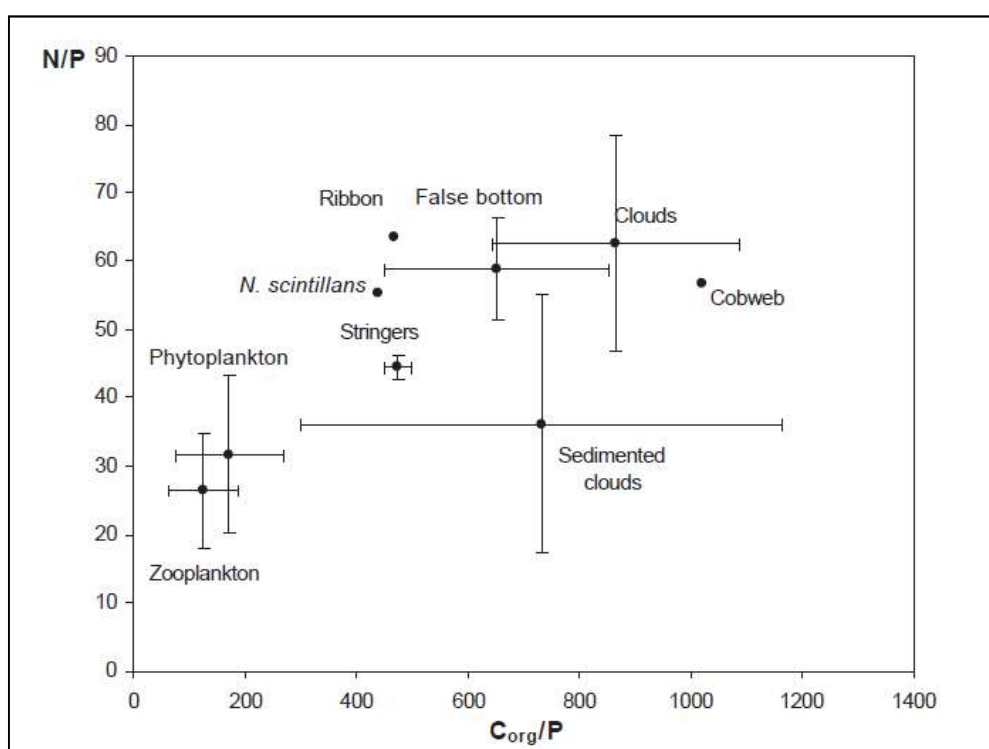


Figure 243 : Rapports carbone organique / phosphore et Azote / Phosphore dans le phytoplancton, le zooplancton et différents types d'agrégats.

Un **taux élevé de carbone organique et un ratio C_{org}/N faible** indiquent la **récente formation d'un agrégat**. En vieillissant, l'agrégat emprisonne des matières en suspension d'origine fluviale ou des sédiments remis en suspension qui augmentent la fraction inorganique.

Les **agrégats sont plus pauvres en azote et encore plus en phosphore que le plancton**. Cet appauvrissement en phosphore peut être due à l'agrégation de matière organique comme les TEP les exopolysaccharides phytoplanctoniques, ou les particules colloïdales avec une faible teneur en phosphore (Castelli et *al.*, 2002), ou à l'hydrolyse successive des orthophosphates par les phosphatases alcalines du phytoplancton ou des bactéries (kaltenboch et Herndl, 1992 ; Azam et *al.*, 1999).

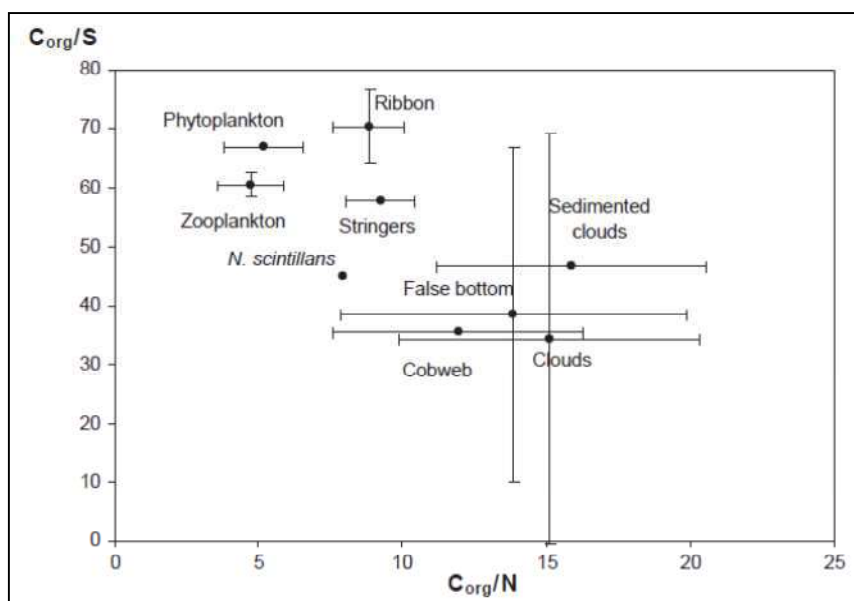


Figure 244 : Rapports carbone organique / Azote et carbone organique / sulfates dans le phytoplancton, le zooplancton et différents types d'agrégats (Giani et al., 2005)

La dégradation bactérienne peut augmenter le ratio C_{org}/N car l'hydrolyse des acides aminés est plus rapide que la dégradation des polysaccharides. **Ce ratio augmente en général avec la taille, la typologie, la densité et l'âge de l'agrégat.**

Les agrégats pélagiques ont des **ratios C_{org}/N et C_{org}/P significativement supérieurs** que les **matières particulaires en suspension** (Gismondi et al., 2002) et le **plancton** (Giani et al., 2005).

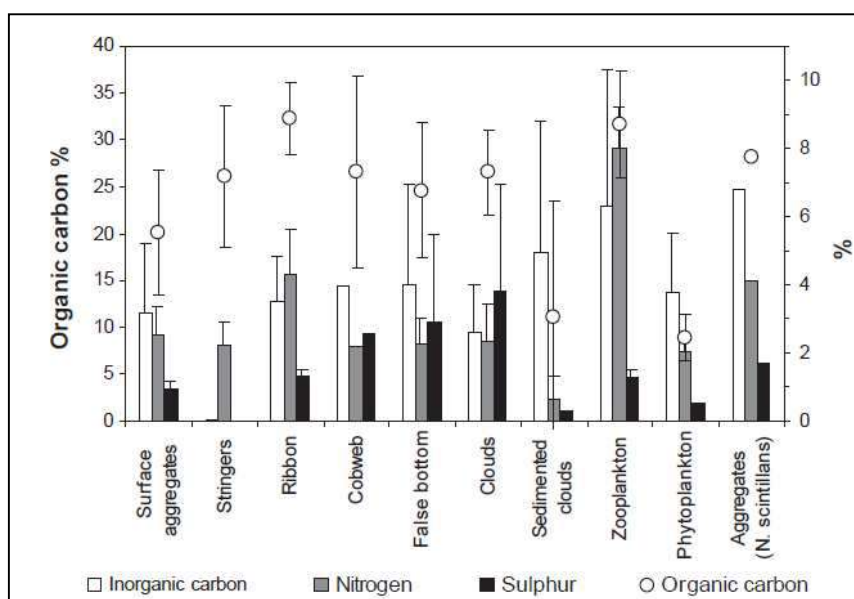


Figure 245 : Pourcentages de carbone organique, carbone inorganique, azote et sulfures dans le phytoplancton, le zooplancton et différents types d'agrégats (Giani et al., 2005)

Les agrégats présentent de fortes teneurs en carbone organique notamment les formes les plus jeunes. Dans les agrégats âgés (agrégats de surface, et nuages sédimentés), la fraction inorganique augmente avec l'emprisonnement d'organismes à squelette calcaire ou de matières en suspension riches en carbonates. Les contenus azotés provenant essentiellement des protéines et des glucides aminés sont inférieurs dans les nuages sédimentés. Le maximum de sulfures est rencontré dans les formes de nuages et de faux fonds.

5.2.2. Fraction organique

L'eau interstitielle des macroagrégats colloïdaux se compose de deux constituants de base, à savoir les glucides et les protéines alors que la présence de lipides, à savoir les composants aliphatiques, est moins évidente (Turk, 2010). Dans la plupart des agrégats, **les glucides et les protéines** constituent une partie importante de la matière organique. La quantité relative des deux fractions dépend des organismes producteurs, emprisonnés ou en pleine croissance dans la matrice et de l'activité bactérienne.

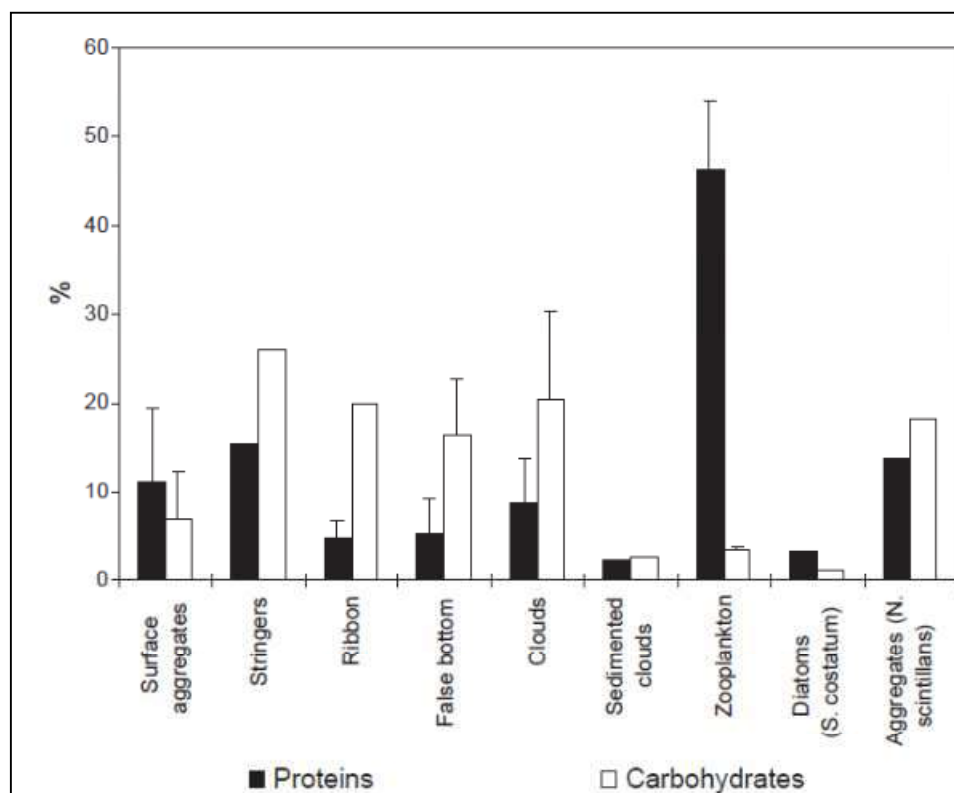


Figure 246 : Pourcentages des contenus en sucres et protéines du phytoplancton, du zooplancton et de différents types d'agrégats (Giani et al., 2005)

Les **glucides** dominent les **agrégats**, exception faite des agrégats de surface. Les protéines dominent dans le zooplancton et les diatomées. Les teneurs totales de **sucres et de protéines** dans la matrice des agrégats sont, en moyenne, respectivement de 14 et 5 % (Posedel et Faganelli, 1991 ; Faganelli et al., 1995, Penna et al., 2009).

Les teneurs en glucides et en protéines sont compensées par des **teneurs en carbone organique, en azote total et en phosphore total plus élevées**, respectivement, en moyenne, de 16,4/0,7/0,03%. Ces pourcentages sont normalement plus faibles dans des agrégats plus profonds et partiellement dégradés (moyenne des sucres totaux 7,6%, et des protéines totales 0,3%).

Des **glycosides cyanogènes** ont été détectés dans tous les échantillons, ce qui pourrait représenter la **partie importante des composés organiques azotés**, dont l'origine peut être liée à des acides aminés (Legras et al. 1990). La présence de **glucides dans toutes les fractions colloïdales** a également été confirmée par les analyses spectrales à haute absorption UV (λ = moins de 250 nm) (Binkley et Binkley, 1999 ; Giani et al., 2005 b). Les **glucides azotés** représentent une **part importante de la fraction colloïdale à haut poids moléculaire**.

Les produits photosynthétiques dissouts sont essentiellement composés de deux fractions: du **glucane de stockage**, un homopolymère de glucose, et les **hétéropolysaccharides**.

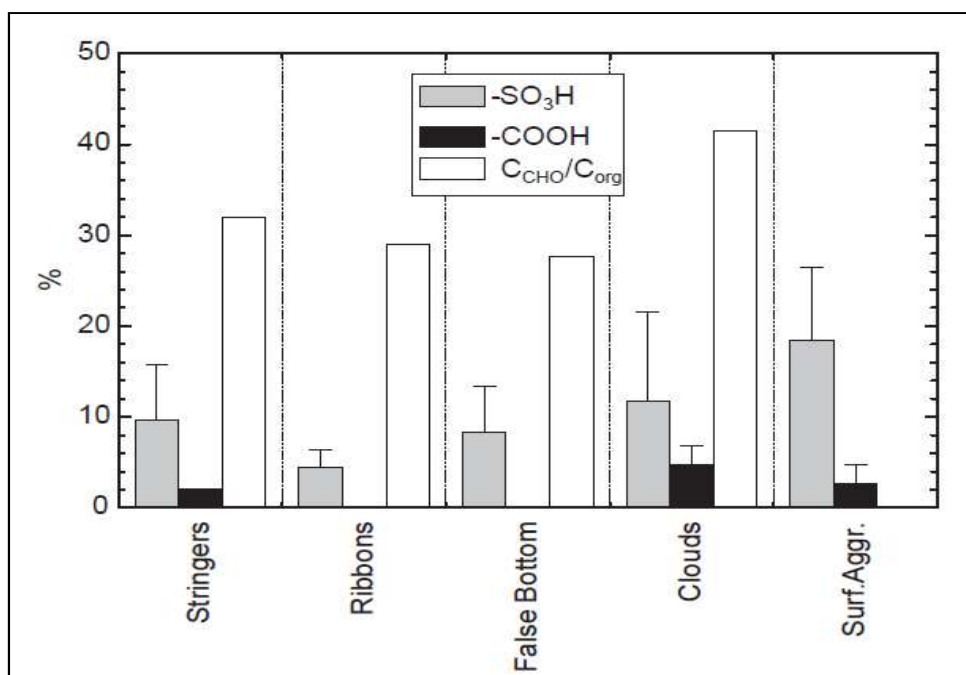


Figure 247 : Taux d'acide uronique (COOH), sulfates(SO₃H) et ratio glucides (C_{CHO})/ carbone organique dans différents types d'agrégats (Giani *et al.*, 2005)

Le ratio glucides totaux/carbone organique et le taux de sulfates augmentent avec l'âge des agrégats. A l'inverse, les taux d'acide uronique sont inférieurs au taux de sulfates et ne dépassent pas 5 % dans tous les types d'agrégats.

L'analyse chromatographique des polysaccharides mènent à un pool de six monosaccharides : le glucose, le galactose, le mannose, le xylose, le rhamnose et le fucose.

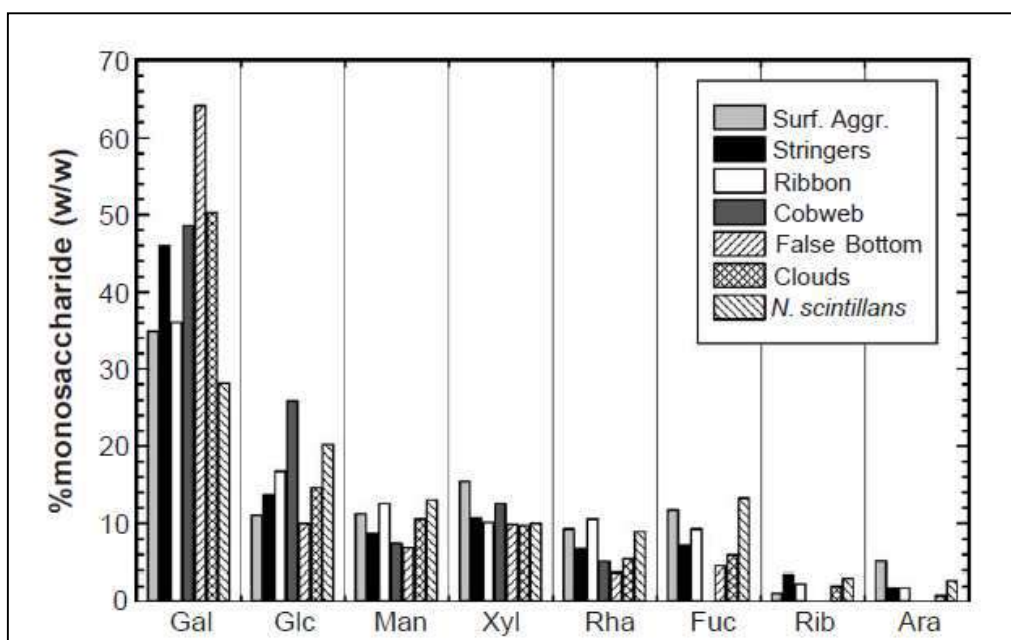


Figure 248 : Composition moyenne des agrégats en monosaccharides (Giani *et al.*, 2005)

Le galactose est le glucide dominant dans tous les types agrégats. Il est suivi du glucose exception faite des agrégats de surface où le second glucide le plus représenté est le xylose et les « faux fonds » où il égale le glucose. Le ribose et l'arabinose sont présents en faible quantité. La

similarité de composition en monosaccharides quelque soit le type d'agrégats laisse penser que le matière organique rencontrée à une même origine marine.

Dans les populations de diatomées, le taux de renouvellement du glucose dissous est le plus élevé parmi les aldoses neutres dissouts, tandis que les taux de renouvellement du galactose, du mannose, du xylose, du rhamnose et du fucose, qui constituent probablement les hétéropolysaccharides, sont semblables les uns aux autres et nettement inférieurs à celui du glucose (Hama et Yanagi, 2001).

Le degré de la dégradabilité des matières organiques dissoutes du phytoplancton est principalement fonction de la proportion relative de glucane et des hétéropolysaccharides, la fraction hétéropolysaccharides étant plus résistante à la dégradation bactérienne (Aluwihare et Repeta, 1999).

Le glucose est le principal monomère dans les **exsudats sécrétés** dans la **phase exponentielle de croissance** de *Cylindrotheca closterium*.

Pendant la **phase stationnaire de croissance**, on observe une baisse du glucose et une **augmentation des hétéropolysaccharides**. Des différences dans la signature en aldoses en relation avec le régime nutritif, à savoir une réduction en glucose et une augmentation relative des autres aldoses, ont été trouvées chez *Cylindrotheca closterium*.

Selon Faganelli et *al.* (2010), les résultats obtenus par l'hydrolyse enzymatique de la matrice des agrégats d'origine phytoplanctonique avec l'amylase, la glucosidase, la protéase, la protéinase et la lipase révèlent une décomposition rapide et simultanée des polysaccharides et des protéines et une décomposition plus lente des lipides sous forme de glycolipides. **La majorité des polysaccharides et des protéines sont biodégradables** alors que la majorité des lipides persistent et peuvent être transportés ou déposés au fond. La dégradation prononcée du lien α -glycosidique par rapport au β a été observée, probablement due à la présence de réserves polysaccharidiques algales de type α . L'hydrolyse rapide des composants organophosphorés suggère un **recyclage rapide du phosphore des agrégats**.

L'hydrolyse de la matrice des agrégats avec l' α amylase et la β glucosidase a conduit au relargage de particules inorganiques révélant une **interaction importante entre les glucides et les minéraux**. Les minéraux jouent un rôle de noyau d'agrégation dans la formation et la stabilisation des agrégats. Les **polysaccharides azotés** semblent être des constituants importants de la fraction colloïdale à fort poids moléculaire (PM) bien que les poly et oligo saccharides prévalent dans la fraction à faible PM. La dégradation des polysaccharides est réalisée plus rapidement dans la fraction à haut poids moléculaire contribuant ainsi à la préservation de l'azote organique sous forme de polysaccharides azotés moins dégradables.

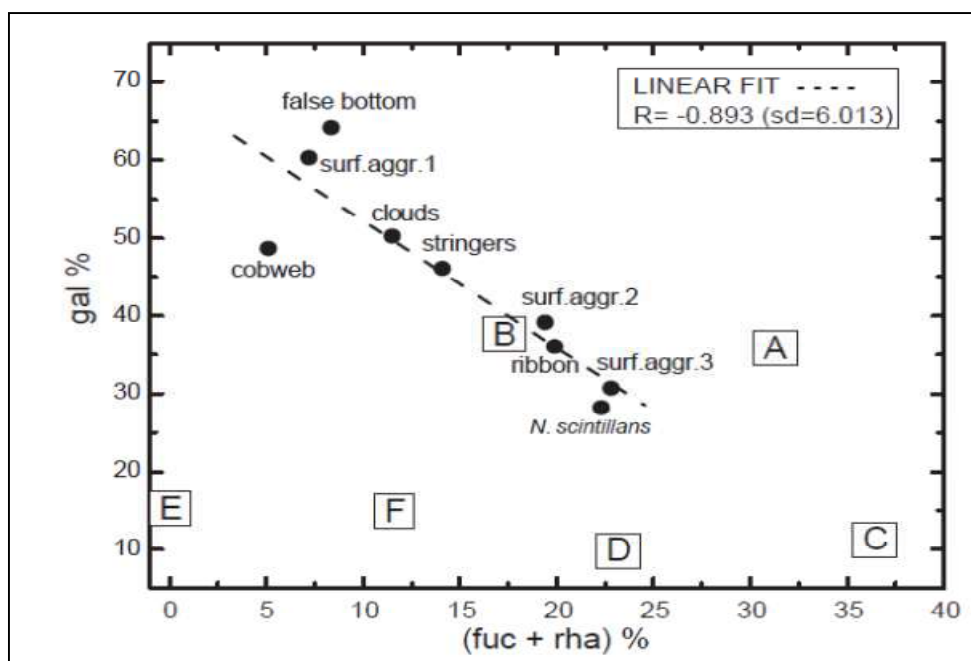


Figure 249 : Pourcentages de galactose contenu dans les agrégats comme une fonction de fucose et rhamnose. (A) *Cylindrotheca closterium*, (B) *Cylindrotheca fusiformis*, (C) *Thalassiosira pseudonana*, (D) *Skeletonema costatum* (Magaletti et al., 2004; Urbani et al., 2005), (E) P-CHO and (F) D-CHO de la communauté bactérienne hivernale dans le nord de la mer Adriatique (Giani et al., 2005).

Il est possible de discriminer les types d'agrégats à partir de leur composition élémentaire en polysaccharides.

5.2.3. Fraction inorganique

La fraction inorganique des agrégats varie beaucoup selon la zone où ils se sont formés et où ils ont été transportés.

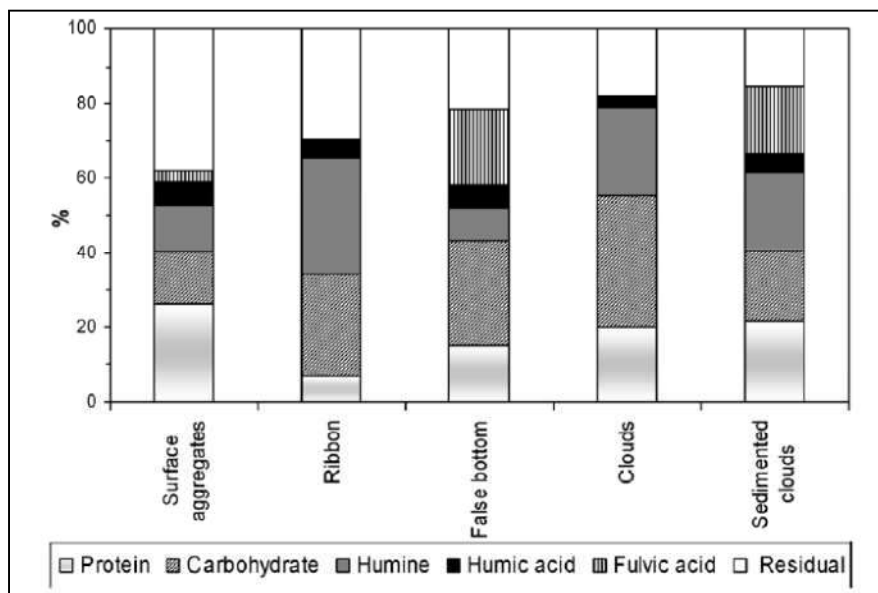


Figure 250 : Composition de la matière organique dans différents types d'agrégats (Giani et al., 2005)

Les taux d'humine représentent une partie importante de la matière organique exception faite des agrégats de surface et des faux fonds. Les taux d'acide fulvique sont importants dans les « faux fonds » et les nuages sédimentés. Les acides humiques représentent une faible part de la

matière organique totale. La fraction inorganique est donc plus importante dans les agrégats de type « faux fonds » et nuages sédimentés.

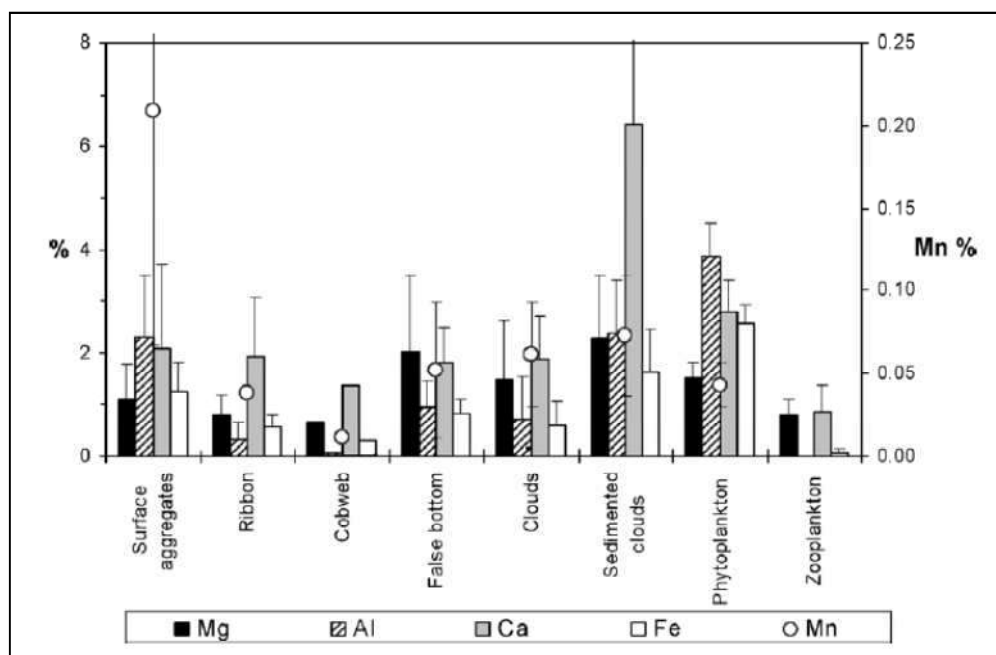


Figure 251 : Principaux métaux rencontrés dans le phytoplancton, le zooplancton et les différents types d'agrégats (Giani *et al.*, 2005)

Le **taux de calcium est inversement proportionnel au carbone organique** dans les agrégats. L'enrichissement en calcium de certains agrégats peut être attribué à des agrégats âgés qui ont capté des sédiments remis en suspension riches en débris biogènes (Coquilles, exosquelettes) qui sont formés de calcite et dolomite et qui ont enfermé des particules fluviales contenant des minéraux.

Les **acides humiques dans les agrégats sont corrélés aux teneurs en Fer**. Ceci est sûrement dû à la formation de complexes cationiques ferriques par les acides humiques puisque les constantes de stabilité sont supérieures aux cations divalents. De plus, la respiration bactérienne dans les microenvironnements anoxiques des agrégats entraîne les substances humiques à agir comme des accepteurs d'électron et leur réduction microbienne peut améliorer la capacité des microorganismes à réduire les oxydes de Fer. Les faibles teneurs en Aluminium dans la plupart des agrégats ne soutiennent pas l'hypothèse des zéolithes utilisés dans les détergents comme étant un facteur majeur de formation des agrégats.

5.3. Facteurs d'enrichissement

Pour mémoire, en 2010, les analyses de matière organique dans le «LIGA» ont révélé des enrichissements en carbone organique liés à plusieurs sources et qui ne peuvent pas être attribués aux seuls apports fluviaux.

Les agrégats emprisonnent **de fortes abondances d'un large éventail d'organismes** allant du phytoplancton au zooplancton tout en filtrant le plancton et les particules détritiques en suspension dans la colonne d'eau (Del Negro *et al.*, 2005 ; Flandre Putrle *et al.*, 2008).

Ils servent de **sites d'enrichissement en carbone organique, phéopigments et chlorophylle a** (Alldredge, 1976 ; Trent *et al.*, 1978), **de microhabitats** (Alldredge, 1972 ; Silver *et al.*, 1978) et de **sources d'hétérogénéité** à micro-échelle (Hammer *et al.*, 1975). Selon Alexander *et al.* (1992), les agrégats sont souvent **enrichis en nutriments inorganiques et organiques** (McCarthy & Goldman

1979, Shanks & Trent 1979, Herndl & Peduzzi 1988) ainsi qu'en divers organismes comme **le phytoplancton** (Knauer et al. 1982, Beers et al. 1986), **les bactéries** (Alldredge et al. 1986), **les protozoaires bactérivores** (Caron et al. 1982) et **d'autres microplancton** (Silver et al. 1978). Selon Alldredge (1979), les agrégats sont des sites d'enrichissement en **lipides, protéines et glucides**.

En termes de biomasse, des **facteurs d'enrichissement** varient de 1,5 à 1000 selon la source des agrégats (Alldredge & Gotschalk 1990). On peut donc supposer que les agrégats présente une haute activité métabolique comme cela a été montré dans un certain nombre d'études (Knauer et al. 1982, Herndl 1988).

Selon Alldredge (1979), l'enrichissement des agrégats en phytoplancton et autres micro-organismes augmente leur disponibilité comme source de nourriture.

Les analyses microscopiques de Danovaro (2009) ont révélé des abondances énormes de procaryotes et de virus. Elles étaient supérieures dans les agrégats par rapport à l'eau environnante.

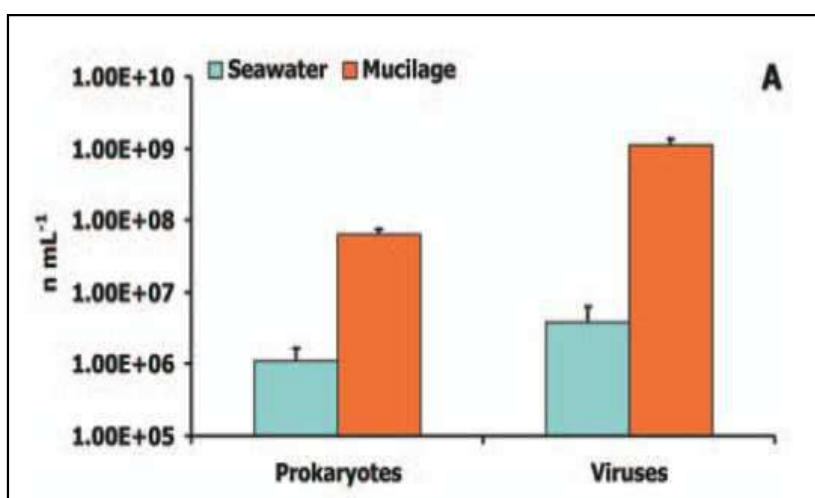


Figure 252 : Abondances de virus et de procaryotes dans les agrégats et l'eau environnante (Danovaro, 2009)

La grande abondance de procaryotes et de virus dans les agrégats est due à leur capacité de capter des formes libres vivantes dans la colonne d'eau. Ils représentent une source de molécules organiques potentiellement utilisables pour assurer le métabolisme et la croissance des procaryotes. De plus, ils augmentent la probabilité de rencontre virus-hôte. La forte abondance de virus peut influencer la dynamique des procaryotes en les tuant provoquant ainsi la sécrétion de matériel organique particulaire et dissous qui contribue au renouvellement et à la persistance des agrégats.

Les agrégats forment un micro-habitat dans lequel l'enrichissement en matière organique et en nutriments favorise la croissance phytoplanctonique (Kaltenbock et Herndl, 1992) et bactérienne (Herndl, 1992).

5.4. Composition biologique

Différents micro-organismes contribuent à la composition en matière organique des agrégats qui se forment dans le nord de la mer Adriatique. Il s'agit de :

- diatomées (Revelante et Gilmartin, 1991; Najdek et al., 2002; Kovac et al., 2002),
- dinoflagellés (Pompei et al., 2003; Pistocchi et al., 2005),
- cyanobactéries (Kaltenbock et Herndl, 1992)
- bactéries (Herndl, 1992; Azam et al., 1999; Pistocchi et al., 2005).

Toutefois, il est très difficile d'établir leur importance relative. Indépendamment de leur origine, les agrégats forment un micro-habitat dans lequel **l'enrichissement en matière organique dissoute et en nutriments favorise la croissance du phytoplancton** (Kaltenbock et Herndl, 1992) et **des bactéries** (Herndl, 1992).

Turk (2010) a révélé, par microscopie optique à épifluorescence, une communauté microbienne diversifiée liée aux agrégats.

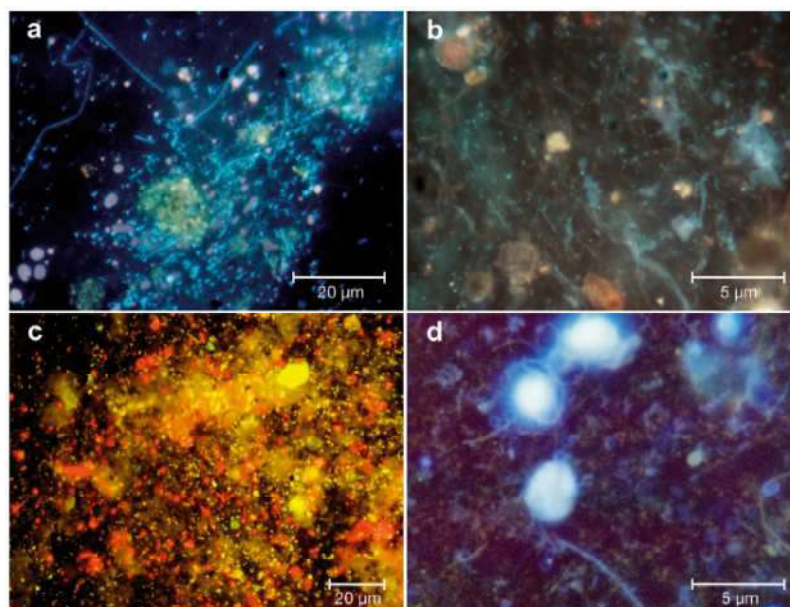


Figure 253 : Images à épifluorescence des échantillons de mucus dans le Golfe de Trieste (nord de l'Adriatique) (30 Juin 2004). Les échantillons ont été recueillis par des plongeurs, fixés au formaldéhyde, et photographiés par Olympus BH2. (a,b) DAPI (4', 6-diamino-2-phénylindole $\mu\text{g ml}^{-1}$, dernière Sigma) échantillons teints où les bactéries hétérotrophes de différentes tailles et formes sont présentées. (c) autofluorescence de nombreuses cellules de cyanobactéries et *Chlorococcus* unicellulaires au sein d'un agrégat de micro-millimètre (grossissement 200 \times). (d) les cellules de nanoflagellés typiques avec des échelles corps visible après coloration de l'échantillon au (Turk, 2010)

Les organismes les plus abondants dans les macroagrégats sont des **bactéries, des cyanobactéries, des flagellés et diverses diatomées**. Différentes études ont montré une **composition très variable en bactéries et phytoplancton** pendant les périodes de formation des agrégats dans le nord de l'Adriatique (Rath et *al.* 1998, Najdek et *al.* 2002, Kovac 2005, Flander-Putrlle et Malej 2008).

6. Dégradation des agrégats colloïdaux marins

Selon Turk (2010), **les agrégats ont un cycle de vie propre**. Ils sont initiés et croissants tant que la communauté microbienne peut tirer un avantage de l'environnement qu'ils créent. **Quand les conditions environnementales changent**, les agrégats n'offrent plus d'avantage sélectif aux microorganismes le colonisant, ils vieillissent et le processus de dégradation démarre.

Les bactéries sont les principaux décomposeurs des biopolymères dans les agrégats (Müller-Niklas et *al.*, 1994 ; Mingazzini et Take, 1995). La dégradation des agrégats est assurée par de **fortes abondances et activités bactériennes et un recyclage efficace des nutriments** qui dépendent de l'âge et du type d'agrégats (Del Negro et *al.*, 2005). **La production bactérienne d'enzymes extracellulaires** est un catalyseur important de la dégradation des matières organiques des agrégats en matière organique dissoute. Les produits de faible poids moléculaire formés (<600 Da) peuvent être pris en charge par les procaryotes hétérotrophes (Nagata, 2000, Conan et *al.* 2007) et sont des

substrats pour les transformations ultérieures, notamment les dégradations microbiennes et photochimiques, et la polymérisation (Kovac et *al.*, 1998).

La qualité de la matière organique, y compris l'équilibre C, N, P, détermine la proportion entre la production de biomasse et de reminéralisation (Obernosterer et Herndl, 1995, Del Giorgio et Cole 2000). Par ailleurs, la transformation et la dégradation des matières organiques des agrégats varient selon leur taille et leur composition (Benner 2002). La dégradation des agrégats sédimentant, dont l'eau interstitielle est enrichie en oxygène, est tributaire de leur temps de séjour (Ploug et *al.*, 1999), qui dépend de la **stratification de la colonne d'eau et de la formation d'un gyre estival** (Supić et Orlic, 1999).

6.1. Hydrolyse enzymatique des agrégats

Les **bactéries associées aux agrégats** présentent un **potentiel d'hydrolyse enzymatique très élevé** par rapport aux cellules libres de l'eau environnante (Del Negro et *al.*, 2005, Zoppini et *al.*, 2005).

Le fort potentiel d'activité de l'**aminopeptidase** suggère que **les protéines sont dégradées plus rapidement** que les autres constituants (Simon et *al.*, 2002), ce qui est en accord avec la **dégradation préférentielle connue de l'azote organique par rapport au carbone dans la neige marine** (Grossart et Ploug, 2001b) **et les agrégats** (Müller-Niklas et *al.*, 1994). Cela se traduit par une **augmentation progressive de la teneur en carbone dans les agrégats**.

Le potentiel d'activité de la **lipase**, l'une des ectoenzymes les plus actives des bactéries aquatiques (Zoppini et *al.*, 2005), est aussi très efficace dans les agrégats. Sachant que la composition en lipides des agrégats est d'environ 2 % (Penna et *al.*, 2009), les lipides hydrolysés correspondent environ à 30 % du pool lipidique total. Ainsi, **la plupart des lipides des agrégats, dont les glycolipides, persistent dans la colonne d'eau stratifiée durant l'été** (Kovac et *al.*, 2002) et se déposent sur les fonds marins ou sont transportés plus au sud vers le bassin plus profond (Fonda Umani et *al.*, 2007).

L'activité de la **glucosidase** est plus faible que celle de l'aminopeptidase. L'hydrolyse rapide du matériel protéique implique sa grande disponibilité pour les bactéries (Zoppini et *al.*, 2005). Toutefois, Danovaro et *al.* (2005) ont trouvé une forte activité de la β glucosidase dans les eaux du nord de l'Adriatique pendant un épisode estival d'agrégats. **Une baisse de l'hydrolyse des polysaccharides entraîne un enrichissement en ces composés supposés réfractaires** La **détection d'activité de la β glucosidase indique le vieillissement des agrégats** avec des ponts β glucosidiques plus réfractaires (Müller-Niklas et *al.*, 1994).

L'hydrolyse des composés organophosphorés par la **phosphatase alcaline** indique un **recyclage plus lent du phosphore par rapport à l'azote** (activité peptidase) et, par conséquent, une **limitation de la croissance bactérienne** par le phosphore dans les agrégats âgés (Zoppini et *al.*, 2005).

Les agrégats du Golfe de Trieste contiennent environ 14 % de glucides et 4 % de protéines (Penna et *al.*, 2009). Les glucides et les protéines hydrolysées par les enzymes représentent respectivement, 70 et plus de 50% du pool de glucides et de protéines contenues dans les agrégats de surface et situés dans la colonne d'eau. Ces deux constituants, probablement liés dans des glycoprotéines, peuvent être dégradés en parallèle. Les **polysaccharides résiduels, moins biodégradables**, contenant plus de ponts β glucosidiques et moins de protéines dégradables, **contribuent fortement à la persistance des agrégats**.

Ceci indique que la **dégradation, la persistance et l'accumulation des agrégats** sont **biochimiquement fractionnés** et ne peuvent pas être le seul résultat d'une faible activité de la glucosidase bactérienne observée dans le nord de l'Adriatique (Zaccone et *al.*, 2002).

La labilité **de la fraction colloïdale des agrégats dépend aussi de sa composition**. En effet, les composés polysaccharidiques de la fraction colloïdale à faible poids moléculaire semble plus dégradables que les polysaccharides azotés. La fraction à haut poids moléculaire représente une voie potentielle de réserve d'azote organique dans les colloïdes organiques marins. Parallèlement, la dégradation photochimique des agrégats colloïdaux rompt les liaisons glycosidiques, produisant ainsi des oligomères et des monomères (Kovac et *al.*, 1998).

Tous ces aspects peuvent aussi **avoir un impact important sur les interactions métaux – matière organique** conduisant à **une immobilisation des métaux et leur relargage dans le milieu marin** (Guo et Santschi, 2007).

6.2. Consommation directe des agrégats

Bien que les agrégats soient une source de nourriture enrichie, leur « grande » taille interdit leur consommation par les organismes planctoniques filtreurs. Ils sont disponibles pour les animaux planctoniques capables de mâcher (Alldredge, 1972), pour les **filtreurs gélatineux tels que les salpes et les ptéropodes** capables de les consommer entièrement et pour les **poissons de petite taille**. Les agrégats altèrent significativement la distribution en taille des particules disponibles pour les organismes brouteurs. Le phytoplancton, le micro-zooplancton et les petites particules associées aux agrégats sont alors bio-disponibles aux poissons et autres consommateurs de grandes particules.

7. Impact des agrégats colloïdaux marins sur les écosystèmes marins et les activités anthropiques

7.1. Impact sur les écosystèmes marins

7.1.1. Concentration des contaminants

Les **polysaccharides sont connus pour adsorber** efficacement les molécules chargées telles que les acides aminés ou **les métaux** (Cowen et *al.*, 1984 ; Schuster et *al.*, 1998).

La production d'agrégats à partir de colloïdes constitue un mécanisme de **concentration des contaminants chimiques** (Niven et *al.*, 1995) et est l'une des **principales voies de transport de ces contaminants** entre la surface et les eaux profondes.

Au printemps de 1995, Kepkay et Niven ont entrepris une étude conjointe de la prolifération annuelle de diatomées dans le bassin de Bedford pour déterminer le rôle des colloïdes dans le transport du carbone et des contaminants. Les résultats de mesures de l'isotope naturel ²³⁴thorium (²³⁴Th), traceur des agrégats marins et analogue des contaminants chimiques (Niven et *al.*, 1995), laissent entendre que les **colloïdes agrégés ont été un vecteur primordial du transport de contaminants vers les pétoncles**.

La **libération de carbone organique colloïdal par les diatomées** a eu pour effet de faire passer le ²³⁴Th de la fraction en solution à la fraction colloïdale. L'**agrégation des colloïdes et la formation de particules exopolymériques transparentes ont fait passer le ²³⁴Th colloïdal à une classe de taille encore supérieure, soit la fraction particulaire**. Une fois que le ²³⁴Th a atteint la fraction particulaire, **il a quitté les eaux de surface pour précipiter dans les pièges à sédiments**, ce qui a eu pour résultat une baisse globale du ²³⁴Th total

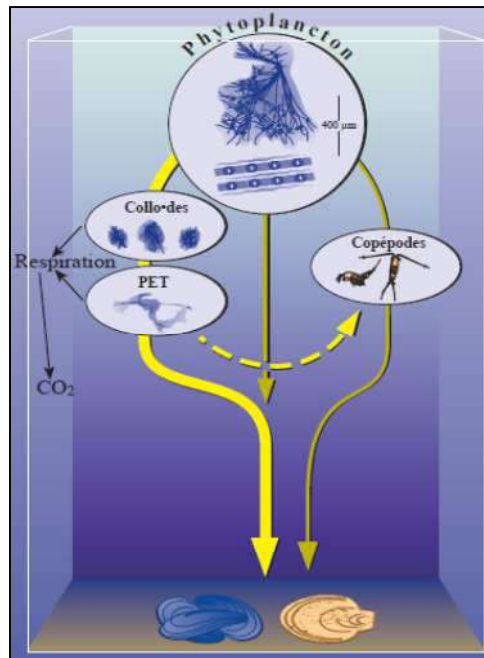


Figure 254 : Illustration des relations entre la production de colloïdes par le phytoplancton (diatomées), l'agrégation des colloïdes donnant lieu à la formation de particules exopolymériques transparentes (PET), la respiration (produisant du CO₂) et les voies possibles de consommation des colloïdes agrégés par le zooplancton (copépodes) et les mollusques benthiques (pétoncles et moules).

D'abord, les colloïdes sont dégradés par la respiration des bactéries et d'autres membres de la communauté microbienne. Ce n'est qu'après ce processus que les colloïdes résiduels encore présents sous forme d'agrégats deviennent accessibles aux filtreurs. Vu la taille énorme du stock de carbone organique colloïdal dans l'océan, une quantité substantielle de carbone pourrait entrer dans les ressources halieutiques benthiques. C'est là clairement un résultat positif de la production de colloïdes par les diatomées, mais, en même temps, l'agrégation des colloïdes peut aussi introduire des contaminants dans ces ressources. Ce rôle double des colloïdes dans le maintien des ressources vivantes traditionnelles et cultivées n'a pas été incorporé dans les modèles actuels de l'aquaculture ou de gestion de la zone côtière.

7.1.2. Impact sur les communautés benthiques

Les agrégats représentent un danger pour les communautés benthiques (Schiaparelli et *al.*, 2007). Sur les surfaces rocheuses, les organismes tels que les **gorgones** sont les plus touchées car leurs branches s'engluent facilement (Rinaldi et *al.*, 1995 ; Giuliani et *al.*, 2005).

Sur les fonds meubles, l'accumulation d'agrégats peut engendrer l'asphyxie des organismes peu mobiles (**crustacés et mollusques coelentérés**) en **obstruant leurs siphons**. Ils peuvent contribuer à des conditions anoxiques au niveau du fond avec le même effet négatif (Rinaldi et *al.*, 1995 ; Pellegrini et *al.*, 2003).

Le dépôt d'agrégats affecte les taxons dépendant de la lumière comme les **algues et les zooxanthelles** qui perdent leur efficacité photosynthétique et leur équilibre physiologique (Parr et *al.*, 2002).

Schiaparelli et *al.* (2007), en mer Tyrrhénienne, ont constaté le blanchiment du scleractiniaire *Cladocora caespitosa* et des algues encroûtantes telles que les Corallinacées.

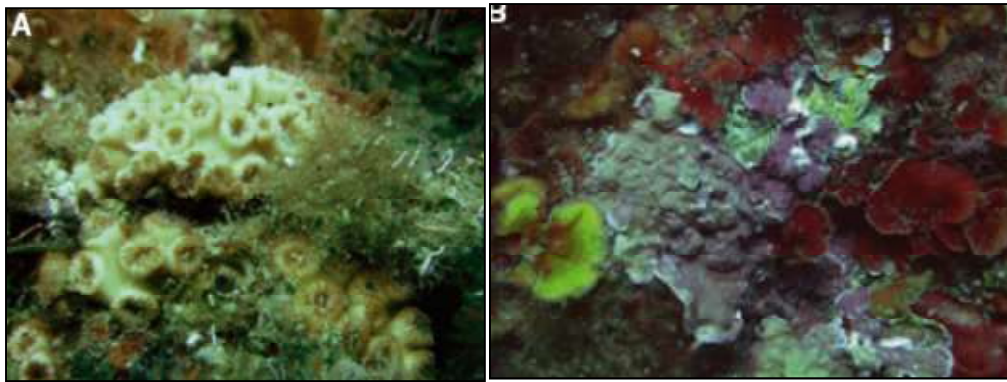


Figure 255 : Blanchiment de *Cladocora caespitosa* (à gauche) et des Corallinacées (à droite) (Schiaparelli et al., 2007)

Dans des cas plus extrêmes, ils ont constaté de fortes nécroses de l'éponge *Ircinia retidermata* ou la forte mortalité des corallites détachés de *Leptopsammia pruvoti*. Ces espèces sont présentes au Pays Basque.

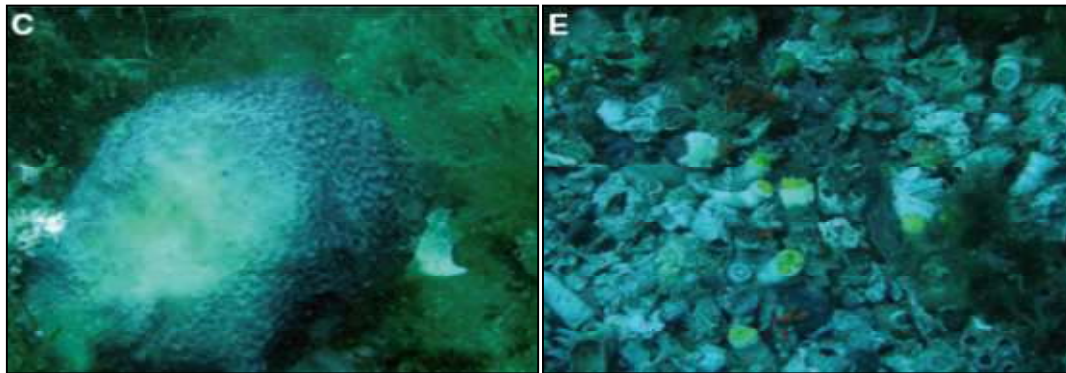


Figure 256 : Nécrose d'*Ircinia retidermata* (à gauche) et mortalités des corallites de *Leptopsammia pruvoti* (à droite) (Schiaparelli et al., 2007)

Dans certains cas, une fois déposés sur le fond de la mer, **ces agrégats recouvrent les sédiments**, s'étendent dans certains cas sur des kilomètres et **provoquent des conditions hypoxiques et / ou anoxiques** (Precali, 2005).

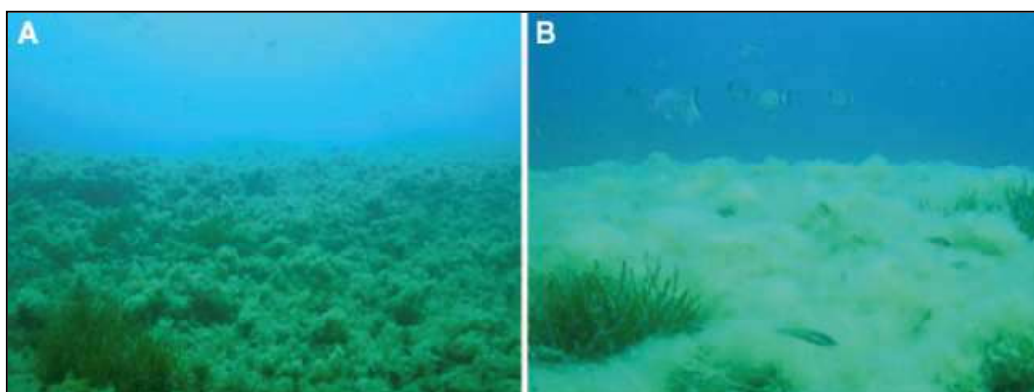


Figure 257 : Vue d'un même fond avant (à gauche) et pendant (à droite) un épisode d'agrégat (Schiaparelli, 2007)

Par conséquent, l'asphyxie des organismes benthiques, y compris le necton associé au fond (Danovaro, 2005) provoque de graves dommages économiques aux activités de tourisme et de pêche (Rinaldi, 1995).

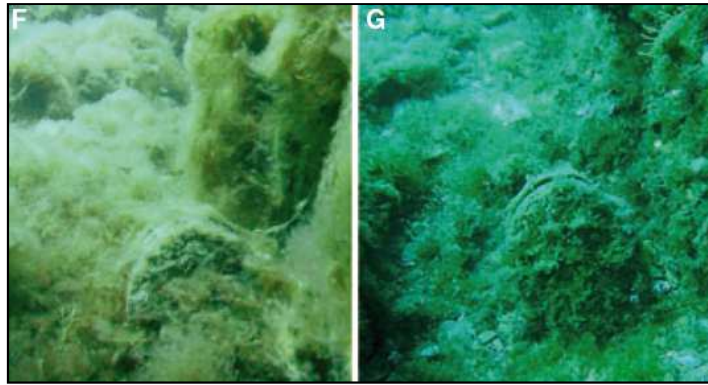


Figure 258 : Bivalve *Pennis nobilis* pendant (à gauche) et après (à droite) un épisode d'agrégats (Schiaparelli, 2007)

A long terme, les impacts sur les communautés benthiques peuvent avoir un impact sur toute la chaîne alimentaire et induire des pertes économiques liées à l'exploitation de ces espèces et celles en dépendant.

Certains taxons phytoplanctoniques emprisonnés dans les agrégats sont connus pour produire des toxines. Une fois sédimentés, ces agrégats sont disponibles pour les organismes filtreurs. En recouvrant les fonds, les agrégats perturbent les systèmes de filtration des organismes benthiques. Ces derniers filtrent le phytoplancton toxique et cela peut conduire à de fortes mortalités d'organismes filtreurs et à des troubles de santé humaine liés à leur consommation.

7.1.3. Impact sur l'écosystème pélagique

La production d'exopolysaccharides phytoplanctoniques a un **effet réfractaire** sur le zooplancton brouteur. Ces organismes utilisent donc **leurs réserves lipidiques et le taux de reproduction du micro et mézozoplancton diminue** quand ils sont emprisonnés dans les agrégats ce qui peut expliquer la faible concentration de ces organismes dans les eaux (Bochdansky & Herndl 1992, Krsinik 1995). Cette baisse d'abondance des organismes zooplanctoniques est **préjudiciable à l'équilibre de toute la chaîne alimentaire**.

La présence d'agrégats est associée à un grand nombre d'organismes gélatineux. Exception faite des **appendiculaires**, le zooplancton gélatineux brouteur n'est pas constant dans l'eau. Leur présence massive est souvent considérée comme un événement déclenché par un bloom phytoplanctonique. Comme le corps de ces animaux est principalement composé d'une matrice gélatineuse, les prédateurs potentiels doivent en ingérer une grande quantité pour en voir un retour énergétique limité. Ils contribuent donc à une **modification du transfert énergétique dans l'écosystème pélagique**.

Les **cnidaires et les cténophores** sont les principaux représentants du zooplancton gélatineux carnivore. Ils entrent en **compétition alimentaire** avec d'autres organismes zooplanctoniques et les petits poissons planctonophages. Ils sont aussi des **prédateurs de nombreux poissons en consommant leurs œufs ou leurs larves**. Ceci entraîne de **profonds déséquilibres** dans le réseau trophique pélagique (Boero, 2001).

7.2. Impact sur les activités humaines

Les agrégats colloïdaux suscitent une inquiétude croissante dans les zones côtières en raison de leurs **conséquences socioéconomiques** (Danovaro et al., 2009). Stachowitsch et al. (1990) et Degobbis et al. (1995) évoquent des **effets néfastes sur la pêche locale, le tourisme et les organismes benthiques**.

En Adriatique, selon Degobbis et *al.* (1999), Malej et *al.* (2001 et 2003), Danovaro et *al.* (2009), l'accumulation de grandes quantités d'agrégats des zones de plus de 10 000 km² :

- gêne la pratique de la pêche,
- diminue la qualité de l'eau des plages avec des conséquences pour le tourisme,
- affecte le flux de matière organique entre les communautés planctoniques
- cause des mortalités locales de la macrofaune sédentaire.

7.2.1. Sur l'activité touristique

L'activité touristique dépend étroitement de la qualité de l'environnement. Ainsi, à Rimini, dans les années 90, **l'apparition des agrégats, leur médiatisation ont entraîné une baisse du tourisme estimée entre 50 et 60 %.**



Figure 259 : Baigneur au milieu d'un agrégat de surface sur la côte d'Emilie Romagne en juin 2003 (Région Emilie Romagne, 2008)

De nombreux prix réduits ont été proposés pour essayer de maintenir une économie touristique. Face à cette catastrophe économique, la réponse initiale a été de traiter les symptômes plutôt que les causes en utilisant des barrages flottants. Le moyen par lequel Rimini retrouvera sa notoriété dépendra essentiellement de sa capacité à résoudre le problème des agrégats et à réaliser du marketing touristique afin de contrebalancer l'image négative (Becheri, 1991).

La présence d'agrégats semble favoriser la présence d'organismes gélatineux tels que les méduses. Généralement, méduses et tourisme ne font pas bon ménage. Le tourisme en Méditerranée est lié à la visite des côtes et à la baignade prolongée. Quand la baignade est perçue comme une activité dangereuse, les touristes s'en vont et les visiteurs potentiels ne viennent pas. Le dommage économique est évident et peut être très lourd pour les zones côtières dont le principal revenu est le tourisme (Acuna, 2001).

7.2.2. Sur la pêche

L'impact le plus évident est le colmatage des filets. En remontant de grandes quantités d'agrégats et d'organismes gélatineux, les filets subissent de forts dommages. Après l'apparition de ces phénomènes, les zones de pêche habituelles deviennent généralement inadéquates. Les dommages économiques sont facilement mesurables en termes de perte de jours d'activité, de réduction des captures ou de dégradation du matériel (Acuna, 2001).

Un second impact moins évident est que les organismes gélatineux rentrent en compétition alimentaire avec les poissons. La présence accrue de ces organismes gélatineux augmente leur prélèvement d'énergie dans la chaîne alimentaire ce qui porte atteinte au flux de matière et d'énergie disponible pour le phytoplancton, les brouteurs et les niveaux supérieurs. Ils diminuent donc la nourriture disponible pour les espèces exploitées. Le dommage économique engendré est plus difficilement quantifiable (Acuna, 2001).

Un dernier impact est **la prédation directe des organismes gélatineux sur les œufs et larves de poissons**. L'impact sur la dynamique des populations de poisson a été à plusieurs reprises démontré.

7.2.3. Sur les activités industrielles

Lorsqu'ils sont présents en grande quantité, les agrégats provoquent le colmatage des systèmes de pompage d'eau de mer des industries côtières et des centrales nucléaires nécessaires à leur refroidissement ce qui engendre une diminution de leur production.

7.3. Impact sur la santé humaine

Les analyses moléculaires de Danovaro (2009) ont révélé une **grande quantité de coliformes totaux et d'*Escherichia coli*** qui sont des indicateurs communs de **présence de pathogènes**. La présence de tels germes dans les agrégats suggère qu'ils peuvent potentiellement avoir des effets sur la santé humaine. La **capacité des agrégats à concentrer de fortes abondances de bactéries pathogènes** coïncide avec l'apparition de dermatites et autres syndromes humains associés au contact avec les agrégats. Il semble que la matrice organique complexe des agrégats offre des micro-niches aux pathogènes favorisant ainsi leur colonisation et leur survie (Rath, 1998).

Si le phénomène continue à augmenter en fréquence et en durée et à s'étendre à d'autres zones côtières de la mer Méditerranée, il pourrait résulter une augmentation et une extension de certaines maladies marines avec un impact potentiel sur la santé humaine (Patz et al., 2005).

La présence importante associée d'organismes gélatineux peut aussi avoir des conséquences sur la santé humaine. En effet, certaines méduses de Méditerranée comme l'hydrozoaire *Olindias sp.*, le scyphozoaire *Pelagica noctiluca* et le cubozoaire *Carybdea marsupialis* infligent des brûlures douloureuses. Les baigneurs mais aussi les pêcheurs manipulant ces substances gélatineuses dans leurs filets peuvent subir ces piqûres.

Dans le passé, le paradigme du « *Vibrio cholerae* » a représenté le premier exemple important des effets en cascade du changement climatique sur la santé humaine (Colwell, 1996). En effet, le *Vibrio cholerae* vit attaché à l'exosquelette des copépodes marins qui dépendent des blooms phytoplanctoniques pour leur nutrition qui sont eux-mêmes influencés par le changement climatique (Colwell, 1996).

Danovaro et al. (2009) proposent les **agrégats comme un nouveau paradigme de l'altération des écosystèmes** due à l'effet synergique du changement climatique et le mauvais usage du milieu marin. Ils représentent d'une part la réponse symptomatique de l'écosystème marin à des impacts anthropiques directs et indirects, et d'autre part, **un support potentiel d'expansion de virus et de bactéries**, y compris les formes pathogènes qui sont nocifs pour la santé des humains et des organismes marins.

8. Synthèse de la bibliographie

Les phénomènes d'agrégats sont bien documentés en Adriatique où ils ont été signalés pour la première fois en 1729 par les pêcheurs. Durant ces dernières décennies, il tend à augmenter en intensité, à persister dans l'année et à s'étendre à d'autres mers de la mer Méditerranée. Les agrégats peuvent prendre 9 formes différentes, allant de l'agrégat pélagique au recouvrement benthique, selon leur composition, leur stade de maturation et les conditions environnementales. Ils sont métaboliquement très actifs et représentent une dérivation de la boucle microbienne perturbant ainsi le cycle du carbone dans les océans, l'équilibre des réseaux trophiques ainsi que le flux de particules et de contaminants des eaux superficielles vers les eaux profondes. Ils apparaissent en général après un bloom de diatomées.

Il semble que les modifications de régimes des fleuves et de la courantologie côtière, l'augmentation de la température aient sélectionné des communautés phytoplanctoniques essentiellement composées de diatomées capables de produire des exopolysaccharides. Le principal facteur à l'origine des agrégats est l'exsudation de polysaccharides par le phytoplancton et les bactéries. Les déséquilibres en nutriments et la limitation en phosphore sont les principaux facteurs identifiés comme vecteurs de stress du phytoplancton engendrant une sécrétion de polysaccharides. Des conditions environnementales particulières comme une faible turbulence, une forte irradiance solaire, de hautes pressions atmosphériques favorisent l'assemblage des particules, l'apparition d'une pycnocline et le maintien de ces agrégats dans les couches superficielles. Une fois assemblées, ces microfibrilles muqueuses produisent des particules exopolymériques transparentes qui sont une source de matière organique dissoute dégradée par les bactéries. Ces dernières et les virus, par la lyse cellulaire et l'autolyse, produisent à nouveau des polysaccharides et libèrent des nutriments ce qui peut expliquer la persistance du phénomène pendant l'été. La dégradation préférentielle des bactéries rend une partie de ce pool de matière dissoute réfractaire et non biodégradable ce qui contribue au maintien de particules dans les eaux. Le phytoplancton emprisonné dans ces agrégats, habituellement consommé sous forme libre par le zooplancton, n'est pas accessible aux communautés de brouteurs qui ne régulent donc plus leur abondance.

Les agrégats sont des micro-habitats présentant des facteurs d'enrichissement en matière organique, sels nutritifs, bactéries, virus, phytoplancton, zooplancton et larves. Ils représentent des abris osmotiques pour les bactéries et virus, des facteurs de transport et de dispersion pour les larves et juvéniles, une source de nourriture pour le zooplancton et le plancton gélatineux.

Chapitre 4 : Préparation du programme de recherche, présentation du programme de recherche «LIGA» en sud Aquitaine, causes et conséquences du développement de «neige marine» sur la côte Basque et le sud des Landes, proposition de programme de recherche 2012 – 2015

1. Introduction

Les pêcheurs travaillant à proximité du littoral basque et sud-landais constatent depuis de nombreuses années la présence d'une substance visqueuse, localement appelée «LIGA», colmatant occasionnellement leurs filets de pêche, principalement en fin d'hiver / début du printemps et en fin d'été / début d'automne. Depuis le milieu des années 2000, le phénomène tend à s'accroître et à persister tout au long de l'année. Depuis 2010, une étude du développement du «LIGA» sur la côte Basque a été proposée en réponse à la demande des pêcheurs professionnels du quartier maritime de Bayonne. Un programme pluridisciplinaire porté par l'IMA (Institut des Milieux Aquatiques) a permis d'en réaliser une première description. Il s'agit d'une substance colloïdale qui se développe près de la côte, entre deux eaux, et abrite une grande variété de taxons animaux et végétaux (bactéries, protozoaires, phytoplancton, zooplancton, larves, œufs, vers, débris continentaux, débris végétaux...) d'origine variée (marine, continentale, pélagique, benthique). Sa forte teneur en matière organique ne peut pas être expliquée uniquement par les apports exogènes (cours d'eau).

Des phénomènes comparables sont décrits en mer Adriatique. La formation d'agrégats marins a pour principales origines la lyse cellulaire (Azam et Cho, 1987) et l'excrétion d'exopolymères phytoplanctoniques agrégés en particules exo polymériques transparentes (TEP, Hoagland et *al.*, 1993). Les facteurs qui contrôlent cette production d'exopolysaccharides sont les déséquilibres en nutriments (Alcoverro et *al.*, 2000), l'éclairement et la température (Wolfstein et *al.*, 2002), le stade de croissance de certaines diatomées (Staats et *al.*, 1999) et l'activité bactérienne (Grossart, 1999). Ces agrégats sont souvent enrichis en nutriments inorganiques et organiques (Mc Carthy & Goldman 1979), phytoplancton (Knauer et *al.* 1982), bactéries (Alldredge et *al.* 1986), protozoaires bactériophages (Caron et *al.* 1982) et autres microplancton (Silver et *al.* 1978). Leur production à partir de colloïdes constitue un mécanisme de concentration des contaminants chimiques (Niven et *al.*, 1995) et est l'une des principales voies de transport de ces contaminants entre la surface et les eaux profondes.

Les travaux réalisés depuis 2010 sur le littoral Basque ont permis de commencer à identifier la composition de cette substance colmatant leurs filets de pêche, mais ils n'ont pas permis de comprendre les mécanismes déclenchant sa formation et son évolution au cours du temps. Le rôle joué par les déplacements des masses d'eau dans sa dynamique spatio-temporelle n'a pas encore pu être examiné. Enfin, il est envisageable que ce phénomène puisse s'amplifier au cours des prochaines années, avec des conséquences qu'il est actuellement difficile d'évaluer.

L'objectif général de ce projet est de le décrire et de le comprendre correctement, ne serait-ce que pour prévoir ses périodes d'apparition, sa distribution, ses risques éventuels d'expansion, les risques qu'il présente pour l'environnement et les populations et de proposer des mesures d'adaptation et, à terme, d'éventuelles actions curatives.

2. Contexte du programme de recherche

Ce programme de recherche s'appuie sur les résultats de l'étude 2010 et sur la bibliographie internationale présentée précédemment. Il répond à l'origine à une demande émanant du Comité Départemental des Pêches Maritimes et des Elevages Marins Pyrénées-Atlantiques Landes. Dans le cadre du réseau de Recherche Littorale d'Aquitaine, la Fédération de Recherche Milieux et Ressources Aquatiques de l'UPPA (MIRA), avec l'aide de l'IMA, a préparé un projet basé sur un partenariat pluridisciplinaire avec des acteurs variés (Universitaires, Associations, Bureaux privés, Comités socio-professionnels), pour répondre aux problématiques scientifiques et sociétales liées au phénomène.

Ce programme a été intégré au projet « Perturbations et Milieux Aquatiques Littoraux Aquitains » (PERMALA) présenté à l'Appel d'Offre Recherche Région en janvier 2012. Ce dernier devrait permettre de financer au mieux 60 % de l'équipement et 50 % des thèses nécessaires au bon déroulement du programme, sous réserve que des cofinancements soient trouvés par ailleurs. Les dépenses de fonctionnement (analyses, salaires...) ne sont pas éligibles à l'Appel d'Offre Recherche Région et doivent faire l'objet d'un financement à part entière afin que les travaux puissent être réalisés.

Outre la présentation des objectifs et du déroulement du programme de recherche proposé, la présentation du présent dossier a pour objectif de rassembler les financements nécessaires au cofinancement de l'Appel d'Offre Recherche de la Région Aquitaine et au financement du fonctionnement du programme.

3. Objectifs du programme de recherche

Les principales conclusions de l'étude 2010 ont permis de proposer un programme de recherche basé sur une seule campagne d'échantillonnage qui se déroulera sur un cycle annuel (§ 4.1). A partir de cette campagne, il sera possible d'analyser **la dynamique fonctionnelle du «LIGA» et ses implications sanitaires** (§ 4.2) en répondant aux questions suivantes : quels sont les mécanismes et les organismes mis en jeu dans sa formation et son évolution ? Quelles sont ses origines ? Quels sont les facteurs biotiques et abiotiques qui contrôlent son développement ? Est-il un concentrateur de polluants ? Représente-t-il un risque sanitaire ?

Les travaux en cours dans le domaine de la modélisation et de la détection acoustique permettront d'étudier **la dynamique spatiale du «LIGA»** (§ 4.3) et de déterminer le rôle des masses d'eau dans sa formation et sa dynamique spatiale ?

Enfin, une étude de l'historique et de la représentation sociale du «LIGA», couplée avec l'analyse à long terme des évolutions du sud du Golfe de Gascogne permettra de reconstituer **la dynamique historique du «LIGA»** (§ 4.4) et de répondre aux questions suivantes : Quelle est la représentation du phénomène par les usagers de l'espace maritime ? Est-il possible de reconstituer des indicateurs historiques de présence ? Si oui, existe-t-il un lien avec les évolutions des réseaux trophiques ou des forçages climatiques et/ou anthropiques ?

4. Déroulement du programme de recherche

4.1. Stratégie d'échantillonnage

Il est prévu deux fréquences d'échantillonnage du «LIGA» :

- Un **échantillonnage en routine** dont les objectifs seront de **suivre la dynamique saisonnière** du phénomène **sur un cycle annuel entier**, chose qui n'a pas été réalisée en 2010,
- Un **échantillonnage intensifié lors des périodes de forte apparition** du phénomène (Mars et septembre) dont les objectifs seront **d'identifier les organismes pionniers et de comprendre les mécanismes à l'origine de sa formation**.

4.1.1. Echantillonnage en routine

- **Période prévue:** Novembre 2012 – Novembre 2013,
- **Durée :** 12 mois.
- **Fréquence :** 1 échantillon par mois, de préférence synchronisé avec le réseau d'observation SOMLIT en cours de structuration sur le site de l'estuaire de l'Adour.
- **Nombre de sites échantillonnés :** 2 sites côtiers (profondeur 30 m) à équivalente distance de l'embouchure de l'Adour ont été choisis. Il s'agit d'un site régulièrement impacté (sud Adour) et d'un site épisodiquement impacté (Nord Adour – Sud Capbreton). Le choix de ces sites permettra de relier les résultats obtenus à la dynamique du panache de l'Adour.

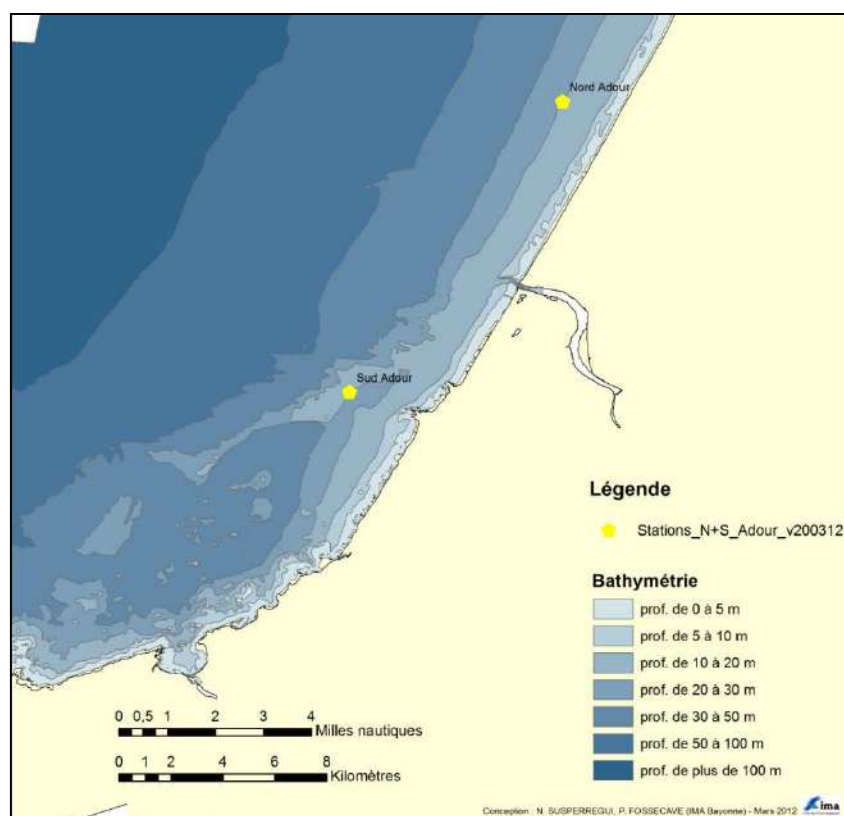


Figure 260 : Localisation des points d'échantillonnage sur la zone côtière

- **Profondeur d'échantillonnage :** L'échantillonnage «LIGA» aura lieu à une profondeur qui sera déterminée au préalable par un profil vertical de la colonne d'eau à l'aide d'une sonde multi-paramètres (max de chlorophylle a, max de turbidité). Parallèlement à ces

échantillonnages de «LIGA», des prélèvements supplémentaires d'eau de surface (1m) et de fond seront récoltés pour analyser la matière organique particulaire (MOP) et la matière organique dissoute (MOD) colloïdale, les signatures isotopiques et microbiologiques du phytoplancton (surface) et des sédiments remis en suspension (fond), et leur rôle dans la formation du phénomène.

- **Matériel d'échantillonnage** : Trois types d'engins d'échantillonnages seront nécessaires. Il s'agit de :
 - Bouteille Niskin : Elle permettra de prélever instantanément l'eau et les agrégats à la profondeur souhaitée. Elle permettra de récolter le matériel nécessaire aux analyses de microbiologique, de matière organique, de phytoplancton et de microzooplancton.
 - Bouteille GO FLO téflonnée : Elle permettra de prélever instantanément l'eau et les agrégats à la même profondeur que précédemment. Elle permettra de récolter le matériel nécessaire aux analyses de contaminants.
 - Trait horizontal de filet à plancton : Il permettra de récolter le macrozooplancton à la même profondeur que les échantillons précédents.

- **Nombre total d'échantillons en routine :**

Echantillonnage «LIGA» : 12 prélèvements * 2 sites * 1 profondeur = **24 échantillons**.

Prélèvements supplémentaires (MOD, MOP et signatures isotopiques) : 12 prélèvements * 2 sites * 3 profondeurs = **72 échantillons**.

- **Analyses réalisées** : Les analyses suivantes seront réalisées sur les échantillons récoltés :
 - Composition microbiologique par approche moléculaire (EEM, UPPA)
 - Communautés microbiennes photo-autotrophes par analyse optique et cytométrie de flux (ECOBIOC, UMR EPOC, IMA),
 - Composition du microzooplancton (ECOBIOC, UMR EPOC, IMA),
 - Composition du macrozooplancton (LAPHY)
 - Analyses de la matière organique particulaire (ECOBIOC, UMR EPOC)
 - Analyses de la matière organique dissoute (LPTC, UMR EPOC),
 - Analyses de la matière inorganique dissoute / colloïdale : nutriments (nitrates, nitrites, ammonium, phosphates et silicates) (ECOBIOC, UMR EPOC),
 - Analyses des contaminants (LCABIE, UPPA), Un premier screening sera réalisé afin d'identifier les familles de contaminants présentes dans le «LIGA». Seules les familles pertinentes de contaminants seront suivies et pas de façon systématique.
 - Expériences d'activité biologique et rôle des nutriments (ECOBIOC, UMR EPOC)

4.1.2. Echantillonnage intensifié en forte période d'apparition de « LIGA »

- **Période** : 2 périodes de forte apparition de «LIGA», à déterminer selon les conditions (mars et septembre en 2010 et 2011),
- **Durée** : 2 * 4 semaines.
- **Fréquence** : 2 échantillons par semaine
- **Nombre de sites échantillonnés** : 1, seul le site régulièrement impacté (sud Adour) sera échantillonné en forte période d'apparition du phénomène.
- **Profondeur d'échantillonnage** : idem §4.1.1. Echantillonnage en routine.
- **Matériel d'échantillonnage** : idem §4.1.1. Echantillonnage en routine.

- **Nombre total d'échantillons en période de forte apparition du «LIGA»:**
Echantillonnage «LIGA» : 2 campagnes * 8 prélèvements * 1 site * 1 profondeur = **16 échantillons**.
Prélèvements supplémentaires (MOD, MOP et signatures isotopiques) : 2 campagnes * 8 prélèvements * 1 site * 3 profondeurs = **48 échantillons**.
- **Analyses réalisées** : idem §4.1.1. Echantillonnage en routine.

Cette stratégie d'échantillonnage permettra de :

- mettre en évidence le niveau de base du phénomène en période de faible activité biologique et ses grandes évolutions à l'échelle d'un cycle annuel,
- de suivre les épisodes de prolifération avec une précision satisfaisante,
- de comparer deux sites côtiers plus ou moins impactés à égale distance de l'embouchure de l'Adour

4.2. Dynamique fonctionnelle du «LIGA»

4.2.1. Rôle, origine et fonctionnement des communautés biologiques

Il s'agit d'identifier les différentes communautés biologiques présentes au sein du «LIGA» et de comprendre le rôle qu'elles jouent dans la formation de ces agrégats. Diverses approches et outils seront utilisés.

4.2.1.1. Structure et diversité génétique des 3 domaines du vivant

Les objectifs sont de :

- **déterminer la structure et la composition microbiologique** du «LIGA» (Bacteria/Archaea/Eukarya),
- **suivre la dynamique saisonnière et intra saisonnière** du «LIGA» et comparer la composante microbienne des différents compartiments afin de déterminer les causes du développement ou de la régression du «LIGA»,
- **identifier les composants microbiologiques ayant une conséquence sanitaire** (pathogènes, *E. coli*).

Equipes impliquées : Equipe Environnement et Microbiologie (EEM), IPREM UMR 5254, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA), Duran R., Lauga B., Guyonneaud R., Karama S

La structure et la composition des communautés microbiennes seront caractérisées par des approches moléculaires de métagénomique. Dans un premier temps la dynamique structurale des communautés microbiennes sera suivie par une approche d'empreinte moléculaire (T-RFLP) permettant d'établir les corrélations entre structure des communautés microbiennes et conditions environnementales. Dans un deuxième temps, la composition des communautés microbiennes sera établie par pyroséquençage des gènes ribosomiques sur les échantillons sélectionnés pour leur représentativité au sein du «LIGA».

4.2.1.2. Diversité taxinomique des composantes planctoniques

Les objectifs sont de :

- **déterminer la structure des communautés microbiennes photo-autotrophes** à la base de la composition du «LIGA» (eucaryotes et procaryotes), et ses **variations saisonnières**,

- **mesurer et suivre** au cours du temps l'activité **biologique de ces organismes** pour estimer leur rôle dans la formation du phénomène,
- **déterminer le rôle de la disponibilité en nutriments** dans la formation de «LIGA», soit en tant que possible cause d'une production accrue d'exopolymères par le phytoplancton en conditions de stress, soit en tant que facteur favorisant le développement de certaines espèces au détriment des autres et entraînant des déséquilibres au sein des niveaux trophiques supérieurs par cascade trophique,
- **décrire la structure des communautés hétérotrophes** présentes au sein du «LIGA» : bactéries et zooplancton (proto et métazoaires),
- **analyser les interrelations possibles entre les différents compartiments** du «LIGA», en particulier le rôle des bactéries et du zooplancton dans l'auto-entretien du phénomène «LIGA»,
- **décrire l'ensemble de la dynamique saisonnière** du «LIGA» pour comprendre son développement,
- identifier les **composants planctoniques pouvant avoir des conséquences sanitaires** (toxicité).

Equipes impliquées : Ecologie et Biogéochimie des Ecosystèmes Côtiers (ECOBIOC), UMR CNRS 5805 EPOC, Université de Bordeaux 1, Del Amo Y., Sautour B., David V., Jude F. ; Institut des Milieux Aquatiques (IMA) : Susperregui N. ; Laboratoire d'Analyses de Prélèvements hydrobiologiques (LAPHY) J. D'Elbée J.

L'identification des différentes composantes et leurs variations seront appréhendées grâce à l'optique et à la cytométrie en flux. Des études de processus supplémentaires permettront de déterminer leur activité biologique au sein du «LIGA» et **le possible rôle de stress nutritifs dans la formation de ces agrégats.**

L'étude des communautés biologiques devrait permettre de :

- identifier tous les micro-organismes participant à la formation du «LIGA»,
- distinguer les organismes pionniers à l'origine de la formation du «LIGA» des organismes opportunistes qui profitent de cette niche écologique,
- renseigner sur l'origine naturelle ou anthropique du «LIGA». Dans le premier cas, l'étude aura pour objectif de prévoir le phénomène, dans le second cas, elle proposera des actions curatives visant à diminuer le phénomène en zone côtière.
- préciser l'impact sanitaire de la composante biologique du «LIGA», en fonction des espèces identifiées et de leurs concentrations (germes pathogènes, *Escherichia coli*, phytoplancton toxique) sur le milieu aquatique et ses ressources ainsi que sur les activités humaines (pêche, baignade) et la nécessité de sa prise en compte ou non dans la gestion de ces activités.

Les expériences d'enrichissement/déséquilibre en nutriments devraient permettre de :

- déterminer leur rôle dans la formation du «LIGA»,
- déterminer la nécessité de faire un bilan de ces derniers en zone côtière (sources, quantités, périodes...) afin, à terme, de proposer des actions curatives visant à diminuer le phénomène.

4.2.2. Rôle et origine de la matière organique particulaire et dissoute

Les objectifs sont de :

- **quantifier la matière organique particulaire et dissoute ainsi que les TEP** de la colonne d'eau,
- **déterminer l'origine** (continentale vs marine) **et les sources** (phytoplancton, sédiments remis en suspension, matériel continental, débris de macrophytes) **constituant la MOP** de la colonne d'eau et du «LIGA», à l'aide de leurs signatures élémentaires et isotopiques et de les confronter à une approche optique,
- **déterminer l'origine** (terrestre vs phytoplanctonique) **de la MOD** colloïdale étant potentiellement un constituant du «LIGA», à l'aide de l'étude de ses propriétés optiques (absorption, fluorescence) couplée pour quelques échantillons à des fractionnements en fonction de la taille des molécules par ultrafiltration tangentielle en utilisant plusieurs seuils de coupure en cascade ou encore par « flow field flow fractionation » (AF4) fractionnement possible du nm à quelques 10µm,
- **décrire leurs variations spatio-temporelles** afin d'investiguer les mécanismes de formation du «LIGA» et son évolution spatio-temporelle.

Equipe impliquées : ECOBIOC, UMR CNRS 5805 EPOC, Université de Bordeaux 1, Savoye N., Bichon S., Costes L. ; LPTC, UMR CNRS 5805 EPOC, Université Bordeaux 1, Parlanti E., Cordier M.A. ; Plateforme isotopique, UMR CNRS 5805 EPOC, Université de Bordeaux 1, Thiao Layel L.

L'étude de la matière organique particulaire et dissoute du «LIGA» devrait permettre de :

- **déterminer l'origine** (continentale ou marine) **et les sources potentielles** (phytoplancton, remises en suspension des sédiments, apport continental),
- **renseigner sur l'origine naturelle ou anthropique du phénomène. Dans le premier cas, l'étude aura pour objectif de prévoir le phénomène, dans le second cas, elle proposera des actions curatives visant à diminuer le phénomène en zone côtière.**

4.2.3. Présence de contaminants et réactivité

Les transferts de substances d'origine anthropique dans le milieu naturel sont particulièrement importants dans les régions estuariennes. Les études réalisées dans le cadre de programmes de recherche précédents montrent que la contamination de l'Adour et de son hydrosystème reste modérée. Cependant, plusieurs familles de polluants (Hydrocarbures Aromatiques, Polycycliques, composés organométalliques) présentent des niveaux de concentration relativement préoccupants. De même, des concentrations élevées en PolyChloroBiphényles (PCB) et pesticides ont été aussi récemment déterminés dans des anguilles donnant lieu à une interdiction de pêche. Dès lors, se pose **la question du rôle que peut jouer le «LIGA» dans ces phénomènes de transfert, d'accumulation ou de transformation des contaminants.**

Le «LIGA» est un agrégat colloïdal (TEP, polysaccharides,...) riche en matière organique qui peut servir de support pour des microorganismes hétérotrophes et autotrophes. De fait, il peut représenter non seulement un piège pour les contaminants mais également un réacteur privilégié pour leurs transformations voire leur assimilation par ces premiers maillons de la chaîne trophique. Cet aspect du projet vise à caractériser les contaminants associés au «LIGA» et à mieux appréhender leur réactivité au sein de cet assemblage.

Les deux objectifs principaux du travail proposé sont de :

- **Déterminer si le «LIGA» est un piège à contaminants** : Différentes familles de contaminants seront recherchées par des techniques chromatographiques couplées à des détecteurs de spectrométrie de masse (GC-ICPMS, GC-MS, GC-MSMS,...), on peut citer les composés organométalliques, les PCB, les HAP et certains pesticides. D'autre part, il est envisagé de fractionner les suspensions prélevées à différents seuils de coupure (0,45µm, 350 kDa, 30 kDa, 5kDa, par ultrafiltration par exemple) et de déterminer les concentrations en polluants dans ces différentes fractions. Ceci permettra d'avoir une première information sur les composantes du «LIGA» responsables du piégeage des contaminants.
- **Déterminer si le «LIGA» est un réacteur pour leur dégradations/transformations biotiques ou abiotiques** : cet aspect nécessitera la réalisation d'expériences en batch. Des incubations à l'aide de contaminants marqués isotopiquement seront mises en œuvre afin de déterminer les cinétiques, les constantes de complexation et/ou de transformation vis à vis des différentes familles de contaminants. Cet aspect du travail permettra peut-être d'amener des éléments de réponse sur la réactivité intrinsèque du «LIGA» et d'expliquer en partie son caractère urticant avéré.

Equipe impliquées : Laboratoire de Chimie Analytique Bio Inorganique et Environnement (LCABIE) et Equipe de Chimie Physique (ECP), UMR 5254 IPREM, UPPA : Monperrus M., Pigot T.

L'analyse des contaminants dans le «LIGA» devrait permettre de :

- vérifier la présence de contaminants dans le «LIGA»,
- identifier les familles de contaminants significativement présentes dans le «LIGA»,
- évaluer le rôle de concentrateur et/ou de réacteur de dégradation des contaminants,
- évaluer le caractère biodisponible (forme chimique) des contaminants et donc leur potentiel transfert dans la chaîne alimentaire par bioaccumulation,
- préciser l'impact sanitaire de la composante chimique du «LIGA», en fonction des contaminants identifiés, de leurs concentrations et de leurs formes chimiques sur le milieu aquatique et ses ressources ainsi que sur les activités humaines (pêche, baignade) et la nécessité de sa prise en compte ou non dans la gestion de ces activités

4.3. Etude de la dynamique spatiale du «LIGA»

Il s'agit de comprendre où se localisent ces agrégats sur le littoral et dans la colonne d'eau et comment ils se déplacent. Diverses approches de détection et de modélisation seront utilisées.

4.3.1. Détection et quantification du «LIGA» dans la colonne d'eau par méthodes acoustiques

La détection du phénomène par l'utilisation d'échosondeurs est en cours de validation (résultats définitifs en fin du 1^{er} semestre 2012). Cette opération est donc actuellement présentée comme une perspective dans le § 4-5 ci-après. Elle sera mise en œuvre et renégociée avec les partenaires du programme selon les résultats de ces essais.

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

Les objectifs sont de :

- valider en profondeur le modèle du panache de l'Adour à partir de travaux existants (images satellites, station vidéo du phare de Biarritz, collaboration avec l'AZTI),
- utiliser le modèle afin d'étudier la dynamique du panache estuarien sur le long terme,
- mettre ces résultats en lien avec la dynamique spatiale et temporelle du «LIGA».

Equipe impliquée : Interaction Vagues Sédiments (IVS), SIAME, UPPA, Maron P., Morichon D., Abadie S.

L'étude de la dynamique spatiale du «LIGA» devrait permettre de :

- **comprendre le rôle joué par les masses d'eau dans sa formation** (panaches continentaux, stratification verticale, fronts de salinité) et sa **diffusion** latérale sur la zone côtière et verticale dans la colonne d'eau,
- **développer, à terme, un outil de prévision à destination des usagers** de l'apparition des épisodes de «LIGA» et leur dispersion sur la zone côtière et dans la colonne d'eau.

4.4. Etude de la dynamique historique du «LIGA»

Ce volet s'appuie, d'une part sur une **étude de l'historique et de la représentation sociale du «LIGA»** et, d'autre part, sur l'analyse à long terme de l'évolution des réseaux trophiques, des pressions anthropiques et des facteurs climatiques dans le sud du golfe de Gascogne. Ces analyses à long terme s'inscrivent à différents niveaux :

- une **collecte des données et de la bibliographie existantes** et une **analyse descriptive de l'évolution** à long terme des **réseaux trophiques**, des **pressions anthropiques** et des **facteurs climatiques** dans le sud du Golfe de Gascogne,
- une **mise en perspective de ces évolutions à long terme avec**, le cas échéant, **les indicateurs fiables de l'historique du phénomène**,
- une **analyse des évolutions récentes** en regard des observations de «LIGA» faites depuis 2010.

4.4.1. Historique et représentation du phénomène «LIGA»

Les objectifs sont de :

- **analyser la sémantique du terme «LIGA»**, son ou ses origines et tous les termes associés,
- **reconstituer l'historique du phénomène «LIGA»** afin de le mettre en relation avec les évolutions biologiques (réseaux trophiques) et des pressions anthropiques et climatiques,
- **identifier les modifications éventuelles des usages** de l'espace maritime induites par le phénomène,
- **appréhender la représentation du phénomène par les usagers des espaces maritimes**, c'est à dire comprendre en quoi le phénomène peut conditionner une modification des pratiques et quelles sont les stratégies d'adaptation adoptées par les usagers «réguliers» (pêcheurs, surfeurs...).

Equipe impliquée : Laboratoire Société Environnement et Territoires (SET), UMR CNRS 5603, UPPA, Clarimont S., Tran T., Délétraz G., Ronflard E.

La méthodologie repose sur la combinaison d'une enquête qualitative auprès de personnes dites ressources (temps 1) et d'une enquête quantitative (temps 2) auprès d'un public plus large d'utilisateurs de l'espace maritime. Les résultats de ce travail conditionneront les actions suivantes (4.5.2. à 4.5.4.).

L'étude de l'histoire et de la représentation du «LIGA» devrait permettre de :

- **construire des indicateurs historiques de présence de «LIGA»,**
- **confronter ces indicateurs à l'évolution des communautés biologiques (§ 4.4.2.1. et 4.5.2.), des forçages climatiques (§ 4.4.3.2.) et anthropiques (§ 4.4.3.1.) afin de tester d'éventuelles corrélations,**
- **identifier la gêne, les modifications de pratiques et la stratégie d'adaptation induites auprès des utilisateurs,**

4.4.2. Lien avec les évolutions des réseaux trophiques

La pertinence et l'importance de ces opérations décrites au § 4.4.1. ci-dessus dépend fortement de la capacité que nous aurons à reconstituer un historique fiable du phénomène «LIGA» au cours des dernières décennies). Elle ne sera réalisée que si les résultats de cette partie sont satisfaisants.

4.4.2.1. Lien avec les communautés planctoniques

L'objectif est de :

- **collecter les données historiques existantes** sur la zone d'étude,
- **analyser l'évolution à long-terme** des compartiments pour lesquels des séries chronologiques sont disponibles (a minima zooplancton et jeunes stades de poissons) afin de détecter si :
 - des changements particuliers se sont opérés au cours des dernières années de façon comparable à d'autres systèmes adjacents de l'arc Atlantique (estuaire de la Gironde),
 - ces phénomènes pourraient être associés aux proliférations de «LIGA» déterminées par les enquêtes.

Ce travail doit permettre d'émettre des hypothèses quant aux conditions de mise en place du «LIGA» et ses conséquences sur les compartiments biologiques. Ces hypothèses pourraient ensuite être testées par le biais des suivis *in situ*.

Equipes impliquées : ECOBIOC, UMR CNRS 5805 EPOC, Université de Bordeaux 1, David V., Sautour B., Del Amo Y., Savoye N.

L'analyse des communautés planctoniques devrait permettre de :

- **évaluer l'évolution des grands groupes planctoniques (diatomées, dinoflagellés, zooplancton...) sur la zone d'étude,**
- **confronter cette évolution avec les indicateurs historiques de présence de «LIGA», l'évolution des forçages climatiques et anthropiques,**
- **analyser les effets causes/conséquences de cette évolution sur l'augmentation de fréquence et de persistance du phénomène sur la zone côtière**

4.4.2.2. Lien avec les communautés nectoniques

Cette opération est également présentée comme une perspective dans le § 4-5 ci-après.
Elle sera mise en œuvre selon les résultats des études historiques.

4.4.3. Lien avec les forçages anthropiques et climatiques

4.4.3.1. Forçages anthropiques

L'objectif est de :

- **collecter les données historiques existantes sur les apports de nutriments en zone côtière** et analyser, dans la mesure du possible, l'évolution de ces apports et leur concentration en milieu côtier,
- **synthétiser l'historique des mesures de gestion des pêches** prises sur la zone concernée,
- **mettre en relation ces évolutions avec les évolutions biologiques observées** et les indicateurs historiques de «LIGA».

L'analyse des forçages anthropiques devrait permettre de :

- évaluer l'évolution des apports de nutriments ainsi que leurs concentrations en zone côtière,
- évaluer l'évolution des mesures de gestion de pêche des grands groupes fonctionnels de poisson,
- tester des corrélations avec les changements biologiques observés (§ 4.4.2.1. et 4.5.1.) et les indicateurs historiques de présence de «LIGA» (§ 4.4.1.),
- évaluer le rôle joué par les forçages anthropiques sur l'augmentation de fréquence et la persistance dans le temps du phénomène.

4.4.3.2. Forçages climatiques

L'objectif est de :

- **analyser l'évolution des conditions climatiques** dans les zones côtières du sud du golfe de Gascogne,
- **mettre en relation ces évolutions climatiques avec les évolutions biologiques observées,**
- a minima, un point bibliographique sera associé à une exploitation des bases de données biologiques existantes afin de mettre en relation les indicateurs historiques de présence et les variations climatiques observées.

L'analyse des forçages climatiques devrait permettre de :

- évaluer les changements climatiques observés sur la zone côtière du sud du Golfe de Gascogne,
- analyser une éventuelle corrélation avec les changements biologiques observés (§ 4.4.2.1. et 4.5.1.) et les indicateurs historiques de présence de «LIGA» (§ 4.4.1.),
- évaluer le rôle joué par les forçages climatiques sur l'augmentation de fréquence et la persistance dans le temps du phénomène.

4.5. Perspectives en cours de programme

Parmi les opérations décrites ci-dessus, deux ne peuvent actuellement être affichées dans le cadre de ce programme car elles ne seront mises en œuvre que si d'autres travaux en cours ou à entreprendre donnent des résultats satisfaisants. Des financements spécifiques seront alors recherchés. Les participants sont donc cités ici pour mémoire.

4.5.1. Quantification du «LIGA» dans la colonne d'eau par méthodes acoustiques

La détection du phénomène par l'utilisation d'échosondeurs est en cours de validation (résultats définitifs en fin du 1^{er} semestre 2012). Si cette méthode s'avère concluante, l'objectif sera de décrire précisément la dynamique spatiale et temporelle du phénomène lors de campagnes à la mer afin de produire un jeu de données empiriques permettant de valider les futures prévisions issues du couplage des modélisations physiques et biologiques.

Equipes envisagées : (LRHA : Caill-Milly N., Sanchez F. ; LMA : Bru N. ; IMA

La détection et la quantification du «LIGA» par méthode acoustique devrait permettre de :

- valider/calibrer les résultats obtenus par le modèle hydrodynamique (§ 4.3.2.) par des campagnes de terrain,
- participer à l'élaboration d'un outil de prévision d'apparition et de localisation du «LIGA»

4.5.2. Lien entre dynamique du «LIGA» et les réseaux trophiques : communautés nectoniques

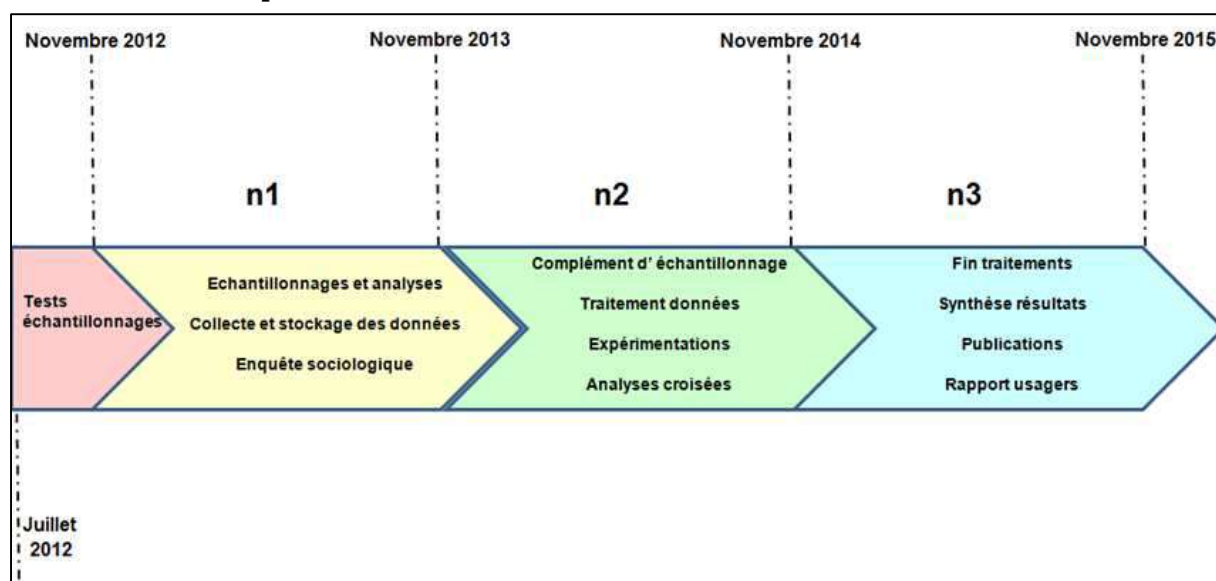
Cette opération ne sera initiée que si les indicateurs de présence historique du «LIGA» sont considérés comme suffisamment fiables. L'objectif est de réaliser une analyse temporelle des données de captures des pêcheurs professionnels (données déclaratives par rectangle statistique) afin de les relier avec les indicateurs de présence historique du «LIGA».

Equipes envisagées : (LRHA : Caill Milly N. ; LMA : Bru N. ; CRPMEM Aquitaine : Cave M. ; IMA :).

L'analyse des communautés nectoniques devrait permettre de :

- évaluer l'évolution des grands groupes fonctionnels de poissons (planctonophages, prédateurs..) à l'aide des indicateurs halieutiques (CPUE) disponibles sur la zone d'étude,
- confronter cette évolution avec les indicateurs historiques de présence de «LIGA», l'évolution des forçages climatiques et anthropiques,
- analyser les effets causes/conséquences de cette évolution sur l'augmentation de fréquence et de persistance du phénomène sur la zone côtière

4.6. Calendrier prévisionnel



- **Année n-1** : Automne 2012 : Test de l'efficacité des engins d'échantillonnage pour prélever le «LIGA», validation de la possibilité de détecter le «LIGA» par sondeur acoustique dans le cadre de l'étude 2011
- **Année 1** : (Novembre 2012 - Novembre 2013) Echantillonnages et analyses des prélèvements, stockage des données récoltées, collecte des informations existantes sur les communautés planctoniques, ichtyologiques, les mesures de nutriments en eau douce et littorale et les paramètres climatiques, enquête sociologique sur la représentation du phénomène,
- **Année 2** : (Novembre 2013 - Novembre 2014) Compléments éventuels d'échantillonnage, traitement des données recueillies, expérimentations sur les conditions nutritives, analyse croisées des données «LIGA»/ SHS / courantologie,
- **Année 3** : (Novembre 2014 - Novembre 2015) Fin des traitements de données, synthèse, publications, rédaction d'un document à destination des usagers

4.7. Gouvernance du programme

Cette action regroupe un grand nombre d'intervenants. Elle a été élaborée dans la continuité du programme pluridisciplinaire porté depuis 2010 par l'IMA. Elle s'appuiera sur 2 structures de pilotage :

- **un comité scientifique** qui rassemblera les **acteurs scientifiques du dossier**. Il se réunira **au moins 2 fois par an** et chaque fois que ce sera nécessaire pour faire le point des actions en cours et **proposer des ajustements ou des réorientations en fonction des résultats** des travaux. **Il pourra être étendu à des invités**. La première réunion de ce comité aura lieu au cours du 1^{er} trimestre 2012, en particulier pour décider précisément des modalités de l'échantillonnage.
- **un comité de pilotage** qui rassemblera l'ensemble des parties prenantes de ce dossier. Il se réunira au moins une fois par an, plus en cas de réorientation de certaines perspectives. Un bilan des travaux sera présenté et les réorientations éventuelles et les modalités de leur mise en œuvre seront débattues.

5. 5. Budget prévisionnel

Le budget est présenté en € HT exception faite de l'IMA dont les coûts sont nets puisqu'il n'est pas assujéti à la TVA. Une prise en charge des dépenses d'équipement a été sollicitée dans le cadre de l'Appel d'Offre Recherche Région à hauteur de 60 % pour les équipements, 100 % pour une thèse et 80 % pour les dépenses des « Sciences Humaines et Sociales ».

5.1. Dépenses

5.1.1. Dépenses globales

Thème	Action	Equipe	Coût de fonctionnement	Coût de personnel	Coût d'équipement	Coût de thèse	Coût total	Coût annuel
Dynamique fonctionnelle du LIGA	Echantillonnages	MIRA	0 €	0 €	44 600 €	0 €	44 600 €	14 867 €
		IMA	32 200 €	0 €	0 €	0 €	32 200 €	10 733 €
	Structure et diversité génétique des 3 domaines du vivant	EEM	67 400 €	88 526 €	0 €	98 000 €	253 926 €	84 642 €
	Diversité et dynamique taxonomique du phytoplancton	ECOBIOC	15 000 €	153 137 €	0 €	0 €	168 137 €	56 046 €
	Diversité et dynamique taxonomique du microzooplancton	ECOBIOC						
	Analyses et interprétation phytoplancton et microzooplancton	IMA	70 800 €	0 €	0 €	0 €	70 800 €	23 600 €
	Diversité et dynamique taxonomique du macrozooplancton	LAPHY	22 724 €	0 €	0 €	0 €	22 724 €	7 575 €
	Rôle et origine de la matière organique particulaire + nutriments	ECOBIOC/plateforme isotope	15 436 €	65 774 €	0 €	0 €	81 210 €	27 070 €
	Rôle et origine de la matière organique dissoute et colloïdale	LPTC	8 060 €	59 715 €	0 €	0 €	67 775 €	22 592 €
	Analyse croisées des résultats d'échantillonnage	IMA	48 000 €	0 €	0 €	0 €	48 000 €	16 000 €
	Présence de contaminants et réactivité*	LCABIE / ECP	0 €	86 971 €	76 800 €	0 €	163 771 €	54 590 €
Dynamique spatiale du liga	Compréhension et prévision de la dynamique du panache de l'Adour	IVS	0 €	85 754 €	0 €	0 €	85 754 €	28 585 €
Dynamique historique du liga	Historique et représentation du Liga***	SET	35 958 €	176 040 €	0 €	0 €	211 998 €	70 666 €
	Lien avec les forçages anthropiques	IMA	2 500 €	0 €	0 €	0 €	2 500 €	833 €
	Lien avec les forçages climatiques	IMA	2 500 €	0 €	0 €	0 €	2 500 €	833 €
	Lien avec les réseaux trophiques (communautés planctoniques)	ECOBIOC	2 500 €	0 €	0 €	0 €	2 500 €	833 €
Gestion du projet	Rédaction (Rapports, publications)	IMA	60 000 €	0 €	0 €	0 €	60 000 €	20 000 €
	Frais déplacements	IMA	15 000 €	0 €	0 €	0 €	15 000 €	5 000 €
	Coordination du projet	IMA	24 000 €	0 €	0 €	0 €	24 000 €	8 000 €
		MIRA	0 €	45 900 €	0 €	0 €	45 900 €	15 300 €
Coût total			422 078 €	761 817 €	121 400 €	98 000 €	1 403 295 €	467 765 €
* 60 % du coût de l'équipement du LCABIE sont éligibles à l'AOR Région Aquitaine ** 80 % du coût de fonctionnement du SET sont éligibles à l'AOR Région Aquitaine								

5.1.2. Dépenses par actions et calendrier d'action

Action	Coût de fonctionnement	Coût de personnel	Coût d'équipement	Coût de thèse	Coût total	%
Dynamique fonctionnelle du Liga	279 620 €	454 123 €	121 400 €	98 000 €	953 143 €	68%
Dynamique spatiale du Liga	0 €	85 754 €	0 €	0 €	85 754 €	6%
Dynamique historique du Liga	43 458 €	176 040 €	0 €	0 €	219 498 €	16%
Gestion du projet	99 000 €	45 900 €	0 €	0 €	144 900 €	10%
Total	422 078 €	761 817 €	121 400 €	98 000 €	1 403 295 €	100%

Catégorie	Année 1	Année 2	Année 3	Sous-Total	Total
Echantillonnages	76 800 €			76 800 €	953 143 €
<i>Structure et diversité génétique des 3 domaines du vivant*</i>	95 875 €	95 875 €	62 175 €	253 925 €	
<i>Diversité et dynamique taxonomique du phytoplancton</i>					
<i>Diversité et dynamique taxonomique du microzooplancton</i>	60 046 €	57 046 €	51 046 €	168 138 €	
<i>Analyses et interprétation phytoplancton et microzooplancton</i>	23 600 €	23 600 €	23 600 €	70 800 €	
<i>Diversité et dynamique taxonomique du macrozooplancton</i>	11 362 €	11 362 €		22 724 €	
<i>Rôle et origine de la matière organique particulaire + nutriments</i>	28 925 €	29 425 €	22 860 €	81 210 €	
<i>Rôle et origine de la matière organique dissoute et colloïdale</i>	22 592 €	22 592 €	22 592 €	67 776 €	
<i>Analyse croisées des résultats d'échantillonnage</i>		24 000 €	24 000 €	48 000 €	
<i>Présence de contaminants et réactivité**</i>	105 790 €	28 990 €	28 990 €	163 770 €	
Compréhension et prévision de la dynamique du panache de l'Adour	28 584 €	28 585 €	28 585 €	85 754 €	85 754 €
<i>Historique et représentation du Liga***</i>	105 999 €	105 999 €		211 998 €	219 498 €
<i>Lien avec les forçages anthropiques</i>			2 500 €	2 500 €	
<i>Lien avec les forçages climatiques</i>			2 500 €	2 500 €	
<i>Lien avec les réseaux trophiques (communautés planctoniques)</i>			2 500 €	2 500 €	
<i>Rédaction (Rapports, publications)</i>	20 000 €	20 000 €	20 000 €	60 000 €	144 900 €
<i>Frais déplacements</i>	5 000 €	5 000 €	5 000 €	15 000 €	
<i>Coordination du projet</i>	23 300 €	23 300 €	23 300 €	69 900 €	
Total	607 873 €	475 774 €	319 648 €	1 403 295 €	1 403 295 €

5.1.3. Dépenses par poste

Poste de dépense	Montant total (HT)	%	Montant annuel (HT)
Fonctionnement	422 078 €	30%	140 693 €
Salaires	761 817 €	54%	253 939 €
Equipement	121 400 €	9%	40 467 €
Thèse	98 000 €	7%	32 667 €
Total	1 403 295 €	100%	467 765 €

5.1.4. Dépenses par partenaire

Partenaires	Montant total (HT)	%	Montant annuel (HT)
IMA	255 000 €	18%	85 000 €
EEM	253 926 €	18%	84 642 €
ECOBIOC	251 847 €	18%	83 949 €
SET	211 998 €	15%	70 666 €
LCABIE / ECP	163 771 €	12%	54 590 €
IVS	85 754 €	6%	28 585 €
LPTC	67 775 €	5%	22 592 €
MIRA	90 500 €	6%	30 167 €
LAPHY	22 724 €	2%	7 575 €
Total	1 403 295 €	100%	467 765 €

5.2. Recettes

5.2.1. Recettes globales

Catégorie	Montant total (HT)	%	Montant annuel (HT)
Autofinancement personnel (UPPA, Université Bordeaux 1)	761 817 €	55%	253 939 €
Autofinancement équipement (UPPA, Univ BORDEAUX 1)	18 360 €	1%	6 120 €
Service Recherche Région Aquitaine (AOR)	193 288 €	14%	64 429 €
Agence de l'Eau Adour Garonne	150 000 €	11%	50 000 €
Service Environnement Région Aquitaine	150 000 €	11%	50 000 €
<i>Cofinancement à trouver</i>	<i>129 830 €</i>	<i>9%</i>	<i>43 277 €</i>
Total	1 403 295 €	101%	467 765 €

A ce jour, nous sommes en recherche d'un co-financement de 43 277 € / an sur 3 ans (9 %) pour financer le budget du programme et le démarrer. Pour cela le Conseil Général des Pyrénées Atlantiques et France Filière Pêche, deux cofinanceurs potentiels, ont été approchés.

5.2.2. Recettes par action

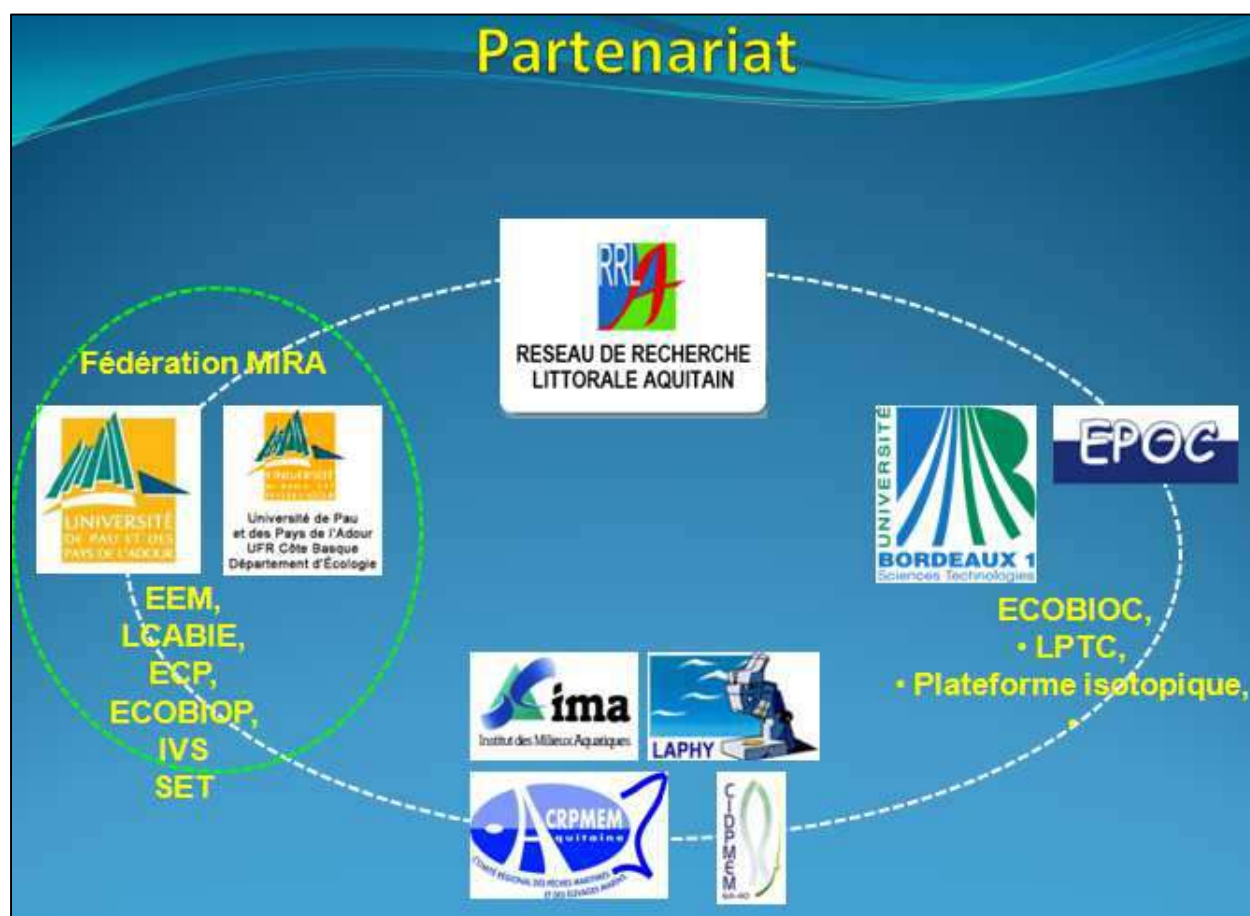
Thème	Action	Poste de dépense	Structure	Autofinancement Universités	Service Recherche Région	Service Environnement Région	Agence de l'eau	France Filière Pêche	Sous total	Total
Dynamique fonctionnelle du LIGA	Echantillonnage	Equipement	MIRA		26 760 €		17 840 €		44 600 €	76 800 €
		Fonctionnement	IMA					32 200 €	32 200 €	
	Structure et diversité génétique des 3 domaines du vivant	Thèse	EEM		98 000 €				98 000 €	253 926 €
		Fonctionnement	EEM			33 700 €	33 700 €		67 400 €	
		Salaires	EEM	88 526 €					88 526 €	
	Diversité et dynamique taxonomique du phytoplancton et du microzooplancton	Fonctionnement	ECOBIOC			7 500 €	7 500 €		15 000 €	168 137 €
		Salaires	ECOBIOC	153 137 €					153 137 €	
	Analyses et interprétation phytoplancton et microzooplancton	Fonctionnement	IMA			23 600 €	23 600 €	23 600 €	70 800 €	70 800 €
	Diversité et dynamique taxonomique du macrozooplancton	Fonctionnement	LAPHY			11 362 €	11 362 €		22 724 €	22 724 €
	Rôle et origine de la matière organique particulaire + nutriments	Fonctionnement	ECOBIOC			7 718 €	7 718 €		15 436 €	81 210 €
		Salaires	ECOBIOC	65 774 €					65 774 €	
	Rôle et origine de la matière organique dissoute et colloïdale	Fonctionnement	LPTC			4 030 €	4 030 €		8 060 €	67 775 €
		Salaires	LPTC	59 715 €					59 715 €	
	Analyse croisée des résultats d'échantillonnage	Fonctionnement	IMA					48 000 €	48 000 €	48 000 €
Présence de contaminants et réactivité	Salaires	LCABIE	86 971 €					86 971 €	163 771 €	
	Equipement	LCABIE	18 360 €	46 080 €	6 180 €	6 180 €		76 800 €		
Dynamique spatiale du LIGA	Compréhension et prévision de la dynamique du panache de l'Adour	Salaires	IVS	85 754 €					85 754 €	85 754 €
Dynamique historique du LIGA	Historique et représentation du LIGA	Fonctionnement	SET		22 448 €	6 755 €	6 755 €		35 958 €	211 998 €
		Salaires	SET	176 040 €					176 040 €	
	Lien avec les forçages anthropiques	Fonctionnement	ECOBIOC			1 250 €	1 250 €		2 500 €	2 500 €
	Lien avec les forçages climatiques	Fonctionnement	IMA					2 500 €	2 500 €	2 500 €
	Lien avec les réseaux trophiques (communautés planctoniques)	Fonctionnement	IMA					2 500 €	2 500 €	2 500 €
Gestion du projet	Rédaction (Rapports, publications...)	Fonctionnement	IMA			34 905 €	17 065 €	8 030 €	60 000 €	60 000 €
	Frais déplacements	Fonctionnement	IMA			5 000 €	5 000 €	5 000 €	15 000 €	15 000 €
	Coordination du projet	Fonctionnement	IMA			8 000 €	8 000 €	8 000 €	24 000 €	24 000 €
		Salaires	MIRA	45 900 €					45 900 €	45 900 €
Total				780 177 €	193 288 €	150 000 €	150 000 €	129 830 €	1 403 295 €	
%				56%	14%	11%	11%	9%	100%	

5.2.3. Recettes par organisme

Catégorie	Partenaire	Autofinancement Universités	Service Recherche Région	Service Environnement Région	Agence de l'eau	France Filière Pêche	Total	%
UPPA	MIRA	45 900 €	26 760 €		17 840 €		90 500 €	6%
	% financement MIRA	51%	30%		20%		100%	
	EEM	88 526 €	98 000 €	33 700 €	33 700 €		253 926 €	18%
	% financement EEM	35%	39%	13%	13%		100%	
	IVS	85 754 €					85 754 €	6%
	% financement IVS	100%					100%	
	LCABIE	105 331 €	46 080 €	6 180 €	6 180 €		163 771 €	12%
	% financement LCABIE	64%	28%	4%	4%		100%	
Université Bordeaux 1	SET	176 040 €	22 448 €	6 755 €	6 755 €		211 998 €	15%
	% financement SET	83%	11%	3%	3%		100%	
	LPTC	59 715 €		4 030 €	4 030 €		67 775 €	5%
	% financement LPTC	88%		6%	6%		100%	
Partenaires privés	ECOBIOC	218 911 €		16 468 €	16 468 €		251 847 €	18%
	% financement ECOBIOC	87%		7%	7%		100%	
	LAPHY			11 362 €	11 362 €		22 724 €	2%
	% financement LAPHY			50%	50%		100%	
	IMA			71 505 €	53 665 €	129 830 €	255 000 €	18%
	% financement IMA			28%	21%	51%	100%	
	Total	780 177 €	193 288 €	150 000 €	150 000 €	129 830 €	1 403 295 €	100%
	%	56%	14%	11%	11%	9%	100%	

6. Partenariat

1 réseau de recherche, 1 fédération de recherche, 2 universités, 9 équipes de recherche, 2 instituts privés sont mobilisés sur la problématique « LIGA ». Cela représente 30 personnes.



Réseau de Recherche littorale en Aquitaine

- Benoit Sautour

UPPA - FR 4155 MIRA

UMR 5254 - IPREM, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Equipe Environnement et Microbiologie (EEM)

- Robert Duran
- Béatrice Lauga
- Rémi Guyoneaud
- Solange Karama

Laboratoire de Chimie Analytique Bio Inorganique et Environnement (LCABIE)

- Mathilde Monperrus

Equipe de Chimie Physique (ECP)

- Thierry Pigot

UMR 1224 - ECOBIOP

- Philippe Gaudin

SIAME

Equipe Interactions Vagues Structures (IVS)

- Philippe Maron
- Stéphane Abadie
- Denis Morichon

Partenaires de MIRA :

Institut des Milieux Aquatiques (IMA)

- Nicolas Susperregui
- Laurent Soulier
- Laurent Dubois
- Josiane Popvsky
- Pascale Fossecave

Laboratoire d'Analyses de Prélèvement Hydrobiologiques (LAPHY)

- Jean d'Elbée

UPPA - UMR 5603

Laboratoire Société Environnement Territoire (SET)

- Sylvie Clarimont
- Délétraz Gaëlle
- Tao Tran
- Emilie Ronflard

Bordeaux 1 - UMR EPOC

ECOLOGIE et BIOLOGIE des Systèmes Côtiers (ECOBIOC) :

- Yolanda Del Amo
- Valérie David
- Florence Jude
- Nicolas Savoye
- Sabrina Bichon
- Laurence Costes

Laboratoire de Physico et Toxico Chimie de l'environnement (LPTC)

- Edith Parlanti
- Marie Ange Cordier

Plateforme isotopique

- Loïc Thiao Layel

Bibliographie

- Alcoverro T, Conte E, Mazzella L., 2000, Production of mucilage by the Adriatic epipelagic diatom *Cylindrotheca closterium* (Bacillariophyceae) under nutrient limitation. J Phycol ; 36 : 1087– 95,
- Allredge A.L., 1979, The chemical composition of macroscopic aggregates in two neretic seas, Limnol. Oceanogr., 24(5), 1979, 855-866,
- Allredge A.L., Cole, J. J., Caron, D. A., 1986, Production of heterotrophic bacteria inhabiting macroscopic organic aggregates (marine snow) from surface waters. Limnol. Oceanogr. 31: 68-78,
- Allredge A.L., Gotschalk C.C., 1988, In situ settling behavior of marine snow, Limnol. Oceanogr., 33(3), 1988. 339-351,
- Allredge A.L., Gotschalk C.C., 1990, The relative contribution of marine snow of different origins to biological processes in coastal waters. Contin. Shelf Res. 10: 41-58,
- Allredge A.L., Passow U., Logan B.E., 1993, The abundance and significance of a class of large, transparent organic particles in the ocean. Deep-Sea Research I 40: 1131-1140,
- Allredge A.L., Passow U., Haddock S.H.D., 1998, The characteristics and transparent exopolymer particle (TEP) content of marine snow formed from thecate dinoflagellates, Journal of Plankton Research, Vol.20, n°3, p.393-406,
- Allredge A.L., 1999, The potential role of particulate diatom exudates in forming nuisance mucilaginous scums. Ann Ist Super Sanita` ; 35 : 397– 400,
- Aluwihare LI & Repeta DJ, 1999, A comparison of the chemical characteristics of oceanic DOM and extracellular DOM produced by marine algae. Marine Ecology Progress Series 186:105-117,
- Amblard C., Boisson J.C., Bourdier G., Fontvielle D., Gayte X., Sime-Ngando T., 1998, Ecologie microbienne : des virus aux protozoaires, Revue des Sciences de l'Eau, n° spécial, p 145 – 162,
- Amon R.M.W., Benner R., 1996, Bacterial utilization of different size classes of dissolved organic matter. Limnology and Oceanography 41(1):41-51,
- Artolozaga I., Santamaria E., Lopez A., Ayo B., Iriberry J., 1997, Succession of bacterivorous protists on laboratory-made marine snow, Journal of Plankton Research Vol.19 no.10 pp.1429-1440,
- Azam, F. and Cho B.C., 1987, Bacterial utilization of organic matter in the sea. Sot. Gen. Microbial. 41: 261-281.
- Azam F, Smith DC, Steward GF & Hagström A, 1993, Bacteria-organic matter coupling and its significance for oceanic carbon cycling. Microbial Ecology 28:167-179,
- Azam F., Steeward G., Smith D, Ducklow H. W., 1994, Significance of bacteria on carbon fluxes in Arabian sea, Proc. Indian Acad. Sci. (Earth Planet Sci.), Vol 103, n°2, p 341 – 351,

Azam F.; Fonda-Umani S.; Funari E., 1999, Significance of bacteria in the mucilage phenomenon in the northern Adriatic Sea. *Ann. Ist. Super. Sanità*, Vol. 35, p 411–419,

Azam F., Malfatì F, 2007, Microbial structuring of marine ecosystems, *Nature*, Volume 5, p 782 – 791

Azetsu-Scott K., Passow U., 2004, Ascending marine particles: Significance of transparent exopolymer particles (TEP) in the upper ocean, *Limnol. Oceanogr.*, Vol. 49, n° 3, p 741–748,

Baines SB & Pace ML, 1991, The production of dissolved organic matter by phytoplankton and its importance to bacteria: Patterns across marine and freshwater systems. *Limnology and Oceanography* 36:1078-1090,

Baldi F., Minacci A., Saliot A., Mejanelle L., Mozetic P., Turk V., Malej A., 1997, Cell lysis and release of particulate polysaccharides in extensive marine mucilage assessed by lipid biomarkers and molecular probes, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 153, p 45 – 57,

Balkis N., Atabay H., Turetgen I., Albayrak S., Balkis H., Tufekçi V., 2010, Role of single-celled organisms in mucilage formation on the shores of Buyukada Island(the Marmara Sea) , *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, page 1 of 11,

Beauvais S., 2003, « Etude des particules exopolymériques transparentes(TEP) en milieu marin », Thèse de Doctorat de l'Université de Paris VI, 175 p + annexes,

Beers J.R., Trent J.D., Reid F.M.H., Shanks A.L., 1986, Macroaggregates and their phytoplanktonic components In the Southern California Bight. *J. Plankton Res.* 8. 475-487,

Berman T., Passow U., 2007, Transparent Exopolymer Particles (TEP): an overlooked factor in the process of biofilm formation in aquatic environments, *Nature*,

Béthoux JP, Prieur L & Bong JH, 1988, Le courant Ligure au large de Nice. *Oceanologica Acta* 9:59-67,

Bhaskar P. V., Bhosle N.B., Bacterial extracellular polymeric substance (EPS) : a carrier of heavy metals in the marine food chain, *National Institute of Oceanography, Dona Paula*, 28 p,

Bhaskar P. V., Bhosle N.B., 2005, Microbial extracellular polymeric substances in marine biogeochemical processes, *Current science*, Vol. 88, n° 1, p 45 – 53

Biddanda B.A., Pomeroy L.R., 1988, Microbial aggregation and degradation of phytoplankton-derived detritus in seawater. I. Microbial succession, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 42, p 79 – 88,

Biddanda B & Benner R., 1997, Carbon, nitrogen, and carbohydrate fluxes during the production of particulate and dissolved organic matter by marine phytoplankton. *Limnology and Oceanography* 42:506-518,

Blazina M., Nadjek M., Fuks D, Smoljaka N, 2011, Microbial communities in northern Adriatic mucilaginous aggregates: insight into the early phase of aggregate formation, *Hydrobiologia*, Vol. 658, p 213–220,

Bochdansky A.B., Herndl G.J., 1992a, Ecology of amorphous aggregations (marine snow) in the Northern Adriatic Sea. Zooplankton interactions with marine snow, Marine Ecology Progress Series, vol 87, p 135 – 146,

Bochdansky A.B., Herndl G.J., 1992b, Ecology of amorphous aggregations (marine snow) in the Northern Adriatic Sea. V. Role of fecal pellets in marine snow, Marine Ecology Progress Series, vol 89, p 297 – 303,

Boehme J., Wells M., 2006, Fluorescence variability of marine and terrestrial colloids: Examining size fractions of chromophoric dissolved organic matter in the Damariscotta River estuary, Marine Chemistry 101, p 95–103,

Børsheim KY, Mykkestad SM, Snelli JA., 1999 , Monthly profiles of DOC, mono-and polysaccharides at two locations in the Trondheims fjord (Norway) during two years. Mar Chem; 63 : 255– 272,

Børsheim KY, Vadstein O, Mykkestad SM, Reinertsen H, Kirkvold S ,Olsen Y., 2005, Photosynthetic algal production, accumulation and release of phytoplankton storage glucides and bacterial production in a gradient in daily nutrient supply, Journal of plankton research, Vol 27, n°8, p 743– 755,

Brachvogel T., Schweitzer B., Simon M., 2001, Dynamics and bacterial colonization of microaggregates in a large mesotrophic lake, Aquatic Microbial Ecology, Vol. 26, p 23–35

Buesseler K.O., 1998, The decoupling of production and particulate export in the surface ocean, Global biogeochemical cycles, Vol. 12, n°2, p 297 – 310,

Burd A.B., Moran S.B., Jackson G.A., 2000, A coupled adsorption-aggregation model of the POC/²³⁴Th ratio of marine particles, Deep-Sea Research, Vol. 47, p 103-120,

Caron, D. A., Davis, P. G , Madin, L. P., Sieburth, J. McN., 1982, Heterotrophic bacteria and bacterivorous protozoa In oceanic macroaggregates. Science 218: 795-797,

Chen W., Wangersky P.J., 1996, Rates of microbial degradation of dissolved organic carbon from phytoplankton cultures. J Plankton Res; Vol. 18 , p 1521– 1533,

Chun Chin W., Orellana M.V., Verdugo P., 1998, Spontaneous assembly of marine dissolved organic matter into polymer gels, Nature, Vol. 391, p 568 – 572,

Compère C., 1999, Biofilms en milieu marin, Techniques Sciences et Méthodes n°11, p 48 – 54,

Comte S., 2005, Interactions entre des exopolymères extraits de biomasses épuratoires et les métaux, Thèse de Doctorat de l'Université de Limoges, 111 p,

Connor V.M., 1986, The use of mucous trails by intertidal limpets to enhance food resources, Biol Bull. N° 171 , p 548 – 564,

Conrad A., 2004, Accumulation de molécules organiques modèles par des agrégats de type boues activées, Thèse de Doctorat de l'Université de Nancy I, 240 p,

Cormier M., Bassoulet Ph., Pommepuy M., 1984, Étude au microscope électronique à balayage des relations entre bactéries et matières en suspension en milieu marin, Actes de colloque de Bactériologie Marine, p 237 – 241,

Corzo A., Morillo J.A., Rodríguez S, 2000, Production of transparent exopolymer particles (TEP) in cultures of *Chaetoceros calcitrans* under nitrogen limitation, Aquatic Microbial Ecology, Vol. 23, p 63 – 72,

Cotner J.B., Ammerman J.W., Peele E.R., Bentzen E., 1997, Phosphorous limited bacterioplankton growth in the Sargasso Sea. Aquat Microb Ecol, Vol. 13, p 141– 149,

Cozzi, S., Ivancic, I., Catalano, G. et al. (2004) Dynamics of the oceanographic properties during mucilage appearance in the Northern Adriatic Sea: analysis of the 1997 event in comparison to earlier events. J. Mar. Syst., 50, 223–241,

Dade W.B., Self R.L., Pellerin N.B., Moffet A., Jumars P.A., Nowell A.R.M., 1996, The effects of bacteria on the flow behavior of clay seawater suspensions, Journal of Sedimentary Research, Vol. 66, n°1, p 39 – 42

Dai M.H., Benitez-Nelson C.R., 2001, Colloidal organic carbon and ²³⁴Th in the Gulf of Maine, Marine Chemistry, Vol. 74, p 181 -196,

Danovaro R., Armeni M., Luna G.M., Corinaldesi C., Dell’Anno A. ,2005, Exo-enzymatic activities and dissolved organic pools in relation with mucilage development in the Northern Adriatic Sea. Science of the Total Environment 353: 189–203,

Danovaro R., Fonda Umani S., Pusceddu A., 2009, Climate Change and the Potential Spreading of Marine Mucilage and Microbial Pathogens in the Mediterranean Sea, PLoS ONE, Vol. 4, n° 9, p 1 – 8,

Davoll, P. J., Silver, M. W., 1986, Marine snow aggregates: life history sequence and microbial community of abandoned larvacean houses from Monterey Bay, California. Mar. Ecol. Prog. Ser. 33: 111-120,

De Brouwer J.F.C., Stal L.J., 2002, Daily fluctuations of exopolymers in in culture of the benthic diatoms *Cylindrotheca closterium* and *Nitzschia sp.*, Journal Of Phycology, Vol 38, p 464 – 472,

Decho A.W.,Lopez G.R., 1993, Exopolymer microenvironments of microbial flora: Multiple and interactive effects on trophic relationships, Limnol. Oceanogr., Vol.38, n°8, p 1633-1645,

Decho A.W., Visscherb P.T., Reid R.P., 2005, Production and cycling of natural microbial exopolymers (EPS) within a marine stromatolite, Elsevier, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 219, p 71–86,

Degobbiis, D., Fonda-Umani, S., Franco, P., 1995, Changes in the northern Adriatic ecosystem and the hypertrophic appearance of gelatinous aggregates. Sci. Total Environ., n° 165, p 43–58,

Degobbiis D., Malej A., Fonda Umani S., 1999, The mucilage phenomenon in the northern Adriatic Sea A critical review of the present scientific hypotheses. Ann Ist Super Sanita` ; 35 : 373– 81,

Degobbi, D., Precali, R., Ivancic, I. et al. (2000) Long-term changes in the northern Adriatic ecosystem related to anthropogenic eutrophication. *Int. J. Environ. Pollut.*, 13, 495–533,

De Philippis R., Sili C., Faraloni C., Vincenzini M., 2002, Occurrence and significance of exopolysaccharide producing cyanobacteria in the benthic mucilaginous aggregates of the Tyrrhenian Sea (Tuscan Archipelago), *Annals of Microbiology*, Vol. 52, p 1-11,

Descy J.P., Leporcq B., Viroux L., François L., Servais P., 2002, Phytoplankton production, exudation and bacterial reassimilation in the River Meuse, *Journal Of Plankton Research*, Vol. 24, n°3, p 161 – 166,

Dilling L., Brzezinski M.A., 2004, Quantifying marine snow as a food choice for zooplankton using stable silicon isotope tracers, *Journal of Plankton Research*, Vol. 26, n°9, p 1105 - 1114,

Ding Y.X., Hung C.C., Santaschi P.H., Verdugo P., Chin, W.;C., 2009, Spontaneous assembly of exopolymers from phytoplankton, *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, Vol. 20, p 741–747,

Duflos M., 2006, Biogéochimie des lipides en milieu marin côtier anthropisé. Baie de Marseille – Méditerranée, Thèse de Doctorat de l'Université de Méditerranée, 204 p,

Engel A., 2000, The role of transparent exopolymer particles (TEP) in the increase in apparent particle stickiness (a) during the decline of a diatom bloom, *Journal of Plankton Research*, Vol. 22, no.3, p.485–497

Eyrolle F., BENAÏM J.Y., 1993, Importance de la fraction colloïdale de la matière organique dissoute pour le transport des métaux dans les eaux de surface d'Amazonie centrale, *Actes de Colloque sur les grands bassins fluviaux*, p 437 – 464,

Faganeli J., Mohar B., Kofol R., Pavlica V., Marinšek T., Rozman A., Kovač N., Šurca Vuk A, 2010, Nature and lability of Northern Adriatic macroaggregates, *Marine Drugs*, Vol. 8, p 2480–2492,

Fajon C., Cauwet G., Lebaron P., Terzic S., Ahel M., Malej A., 1999,. The accumulation and release of polysaccharides by planktonic cells and the subsequent bacterial response during a controlled experiment. *FEMS Microbiol Ecol* ; 29 : 351–63,

Fandino L.B., Riemann L., Steward G.F., Long R.A., Azam F., 2001, Variations in bacterial community structure during a dinoflagellate bloom analyzed by DGGE and 16S rDNA sequencing, *Aquatic microbial ecology*, Vol. 23, p 119 – 130,

Fanuko N., Valcic M., Skenderovic J., 2008, Relationship between the mucilage phenomenon and some concomitant environmental variables in the northern Adriatic lagoon of Stella Maris (Croatia), *Pomorstvo*, Vol.22, n°1, p 73 – 87,

Floge S.A., Wells M.L., 2007, Variation in colloidal chromophoric dissolved organic matter in the Damariscotta Estuary, Maine, *Limnol. Oceanogr.*, Vol. 52, n°1, p 32–45,

Fogg G.E., 1995, Some speculations on the nature of the pelagic mucilage community in the northern Adriatic Sea. *Sci Total Environ* ; 165 : 59– 63,

Fonda-Umani S., Ghirardelli E. and Specchi M., 1989, Gli episodi di “mare sporco” nell’Adriatico dal 1729 ai giorni nostri. Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia, Direzione Regionale Dell’ambiente, Trieste, pp. 178,

Fonda-Umani S., Beran A., Parlato S., Virgilio D., Zollet T., De Olazabal A., Lazzarini B., Cabrini M., 2004, *Noctiluca scintillans* MACARTNEY, in the Northern Adriatic Sea: long-term dynamics, relationships with temperature and eutrophication, and role in the food web, *Journal of Plankton Research*, Vol. 26, n° 5, p 545 – 561,

Gagnon C., Turcotte P., 2007, Rôle des colloïdes dans la spéciation physique des métaux dans un panache majeur de dispersion d’eaux usées municipales, *Journal of Water Science*, vol. 20, n° 3, p. 275-285,

Garmendia M., Borja A., Muxika I., 2008, Long-term environmental, climatic and anthropogenic factors affecting subtidal soft-bottom benthic communities, within the Basque coast, *Azti Tecnalia, Revista de Investigacion Marina*, 30 p,

Giani M., Bderto D., Zangrando V., Castelli S., Sist P., Urbani R, 2005, Chemical characterization of different typologies of mucilaginous aggregates in the Northern Adriatic Sea, *Science of the Total Environment*, 353, 232 - 246,

Ginout B., 2008, Les communautés microbiennes pélagiques du lagon du Grand Récif de Toliara (Madagascar) : Influence des forçages anthropiques, Rapport de stage de Master II de l’Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 29 p,

Green E.P., Dagg M.J., 1997, Mesozooplankton associations with medium to large marine snow aggregates in the northern Gulf of Mexico, *Journal of Plankton Research* Vol.19,n°.4 pp.435-447,

Gordon D.C.J., 1970, A microscopic study of organic particles in the North Atlantic Ocean. *Deep-Sea Research* 17:175-185,

Granum E., Kirkvold S., Mykkestad S.M., 2002, Cellular and extracellular production of glucides and aminoacids by the marine diatom *Skeletonema costatum*: diel variations and effects of N depletion. *Mar Ecol Prog Ser* ; 242 : 83– 94.

Grossart H.P., Simon M., 1997, Formation of macroscopic organic aggregates (lake snow) in a large lake: The significance of transparent exopolymer particles, phytoplankton, and zooplankton, *Limnology and oceanography*, Vol. 42, n°8, p 1651 – 1659,

Grossart H.P., Simon M., 1998, Bacterial colonization and microbial decomposition of limnetic organic aggregates (lake snow). *Aquatic Microbial Ecology* 15:127-140,

Grossart H.P., 1999, Interaction between marine bacteria and axenic diatoms (*Cylindrotheca fusiformis*, *Nitzschia laevis*, and *Thalassiosira weissflogii*) incubated under various conditions in the lab. *Aquat. Microb. Ecol.*, 19, 1–11,

Grossart H.P., Riemann L., Azam F., 2001, Bacterial motility in the sea and its ecological implications, *Aquatic Microbial Ecology*, Vol. 25, p 247–258,

- Grossart H.P., Kjørboe T., Tang K.W., Allgaier M., Yam E.M., H. Ploug, 2006, Interactions between marine snow and heterotrophic bacteria: aggregate formation and microbial dynamics, *Aquatic microbial ecology*, Vol. 42, p 19–26,
- Guo L., Santschi P.H., 1997, Isotopic and elemental characterization of colloidal organic matter from the Chesapeake Bay and Galveston Bay, *Marine Chemistry* 59, p 1-15,
- Gustafsson O., Andersson P., Roos P., Kukulska Z., Broman D., Larsson U., Hajdu S., Ingri J., 2004, Evaluation of the collection efficiency of upper ocean sub-photic-layer sediment traps: a 24-month in situ calibration in the open Baltic Sea using ^{234}Th , *Limnol. Oceanogr.: Methods*, Vol. 2, p 62–74,
- Hamadouche N., 2003, Interactions des bactéries marines responsables de la formation des biosphères avec des matériaux biospécifiques, Thèse de Doctorat de l'Université de Paris VIII, 235 p,
- Hansen J.L.S., Kjørboe T., 1997, Quantifying interspecific coagulation efficiency of phytoplankton, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 159, p 75 – 79,
- Herndl G.J., 1988a, Ecology of amorphous aggregations (marine snow) in the Northern Adriatic Sea. Microbial density and activity in marine snow and its implication to overall pelagic processes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 48: 265-275,
- Herndl G.J., Peduzzi P., 1988b, Ecology of amorphous aggregations (marine snow) in the Northern Adriatic Sea: I. General considerations. *P.S.Z.N.I. Mar. Ecol.* 9: 79-90,
- Herndl G.J., Peduzzi P., Fanuko N., 1989, Benthic community metabolism and microbial dynamics in the Gulf of Trieste, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 53, p 169 – 178,
- Herndl G.J., 1992, Marine snow in the northern Adriatic Sea: possible causes and consequences for a shallow ecosystem. *Mar Microb Food Webs* ;6 : 149–72,
- Herndl G.J., Arrieta J.M., Stoderreger K, 1999, Interaction between specific hydrological and microbial activity leading to extensive mucilage formation in the northern Adriatic sea, *Ann. 1st Super. Sanita*, Vol 35, n°3, p 405 – 409
- Hoagland K, Rosowski J, Gretz M, Roemaer S (1993) Diatom extracellular polymeric substances: Function, fine structure, chemistry, and physiology.
- Ifremer, 2002, La surveillance des rejets urbains en Méditerranée _ Guide méthodologique, Rapport d'étude pour l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, 35 p,
- Jackson G.A., 1990, A model of the formation of marine algal flocs by physical coagulation processes. *Deep-Sea Research* 37:1197-1211,
- Jefferson T.T., 2002, Zooplankton fecal pellets, marine snow and sinking phytoplankton blooms, *Aquatic Microbial Ecology*, Vol. 27, p 57–102,
- Jenkinson I.R., Bopi A. Biddanda B.A., Turley C.M., Abreu P.C., Riebesell U., Smetacek V.S., 1991, Rheological properties of marine organic aggregates: importance for vertical flux, turbulence and microzones, *Oceanologica Acta sp.*, n°11, p 101 – 107,

- Joubert L.M., Woolfaardt G.M., Botha A., 2006, Microbial Exopolymers Link Predator and Prey in a Model Yeast Biofilm System, *Aquatic Microbial Ecology*, Vol. 52, p 187 – 197,
- Kaltenböck E., Herndl G.J., 1992, Ecology of amorphous aggregations (marine snow) in the Northern Adriatic Sea. IV. Dissolved nutrients and autotrophic community associated with marine snow. *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 87, p 147–159,
- Kamburska L., Fonda- Umani S., 2006, Long-term copepod dynamics in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea): recent changes and trends, *Climate Research*, Vol. 31, p 195–203,
- Karl D.M., Knauer G.A., Martin J.H., 1988,. Downward flux of particulate organic matter in the ocean: a particle decomposition paradox. *Nature* 332: 438 - 441,
- Kepkay P.E., Niven S.E.H., Milligan T.G., 1993, Low molecular weight and colloidal DOC production during a phytoplankton bloom, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 100, p 233-244,
- Kepkay P.E., 1994, Particle aggregation and the biological reactivity of colloids. *Marine Ecology Progress Series* 109:293-304,
- Kepkay P.E., Niven S.E.H., Colloïdes, carbone et contaminants dans les eaux côtières, *Recherche*, p 73 – 75,
- Kepkay R.E., Niven S.E.H., Jellett J.F., 1997, Colloidal organic carbon and phytoplankton speciation during a coastal bloom, *Journal of Plankton Research* Vol.19, n°.3, p.369-389,
- Kiorboe T., Tiselui P., Mitchell-Innes B., Hansen J.L.S., Visser A.W., Mari X., 1998, Intensive aggregate formation with low vertical flux during an upwelling-induced diatom bloom, *Limnol Oceanogr.*, Vol. 43, p 104-116
- Kiorboe T., 2001, Formation and fate of marine snow : small scale processes with large scale implications, *Scientia marina*, vol 65, p 57 – 71,
- Knauer G., Martin J.H., Bruland K.W., 1979, Fluxes of particulate carbon, nitrogen, and phosphorus in the upper water column of the northeast Pacific. *Deep Sea Res.* 26: 97-108,
- Knauer G.A., Hebel D., Cipriano F, 1982,. Marine snow: major site of primary production in coastal waters. *Nature* 300: 630-631,
- Kovac N. , Mozetic P., Trichet J., Défarge C., 2005, Phytoplankton composition and organic matter organization of mucous aggregates by means of light and cryo-scanning electron microscopy,
- Laboratorio di biologia marina – Aurisina –Trieste, Eutrophication and mucus aggregates in the North Adriatic Sea, *Rapport d'étude*, 12p,
- Leppard G.G., 1999, Structure, function, activity, relationships in marine snow : current understanding and research thrusts, *Ann. 1st. Super. Sanita*, Vo.35, n°3, p 389 – 395,
- Ling S.C., Alldredge A.L., 2003, Does the marine copepod *Calanus pacificus* consume transparent exopolymer particles (TEP)? *Journal of Sea Research* 25:507-515

- Logan B.E., Passow U., Alldredge A.L., Grossart H.P., Simon M., 1995, Rapid formation and sedimentation of large aggregates is predictable from coagulation rates (half-lives) of transparent exopolymer particles (TEP). *Deep-Sea Research II* 42:203-214,
- Long R.A., Azam F., 1996, Abundant protein-containing particles in the sea, *Aquatic Microbial Ecology*, Vol.10: 213-221,
- Martin P., 1983, Comparative studies on oligotrophic and heterotrophic marine bacteria, Thèse de Doctorat à l'Université de Montréal, 86 p,
- Marty J.C., Chiavérini J., 2002, Seasonal and interannual variations in phytoplankton production at DYFAMED time-series station, northwestern Mediterranean Sea. *Deep-Sea Research II* 49:2017-2030,
- Mc Carthy J.J., Goldman J.C., 1979,. Nitrogenous nutrition of marine phytoplankton in nutrient-depleted waters. *Science* 203: 670-671,
- Magaletti E., Urbani R., Sist P., Ferrari C.R., Cicero A.M., 2004, Abundance and chemical characterization of extracellular glucides released by the marine diatom *Cylindrotheca fusiformis* under N- and P-limitation. *Eur J Phycol* ; 39 : 133– 42,
- Malej A., Peterlin B., Cermelj B., 2001, Quantification of mucilage-associated suspended matter in the Gulf of Trieste (Adriatic Sea). *Ann. Ser. Hist. Nat.*, 11, 43–51,
- Malej A., Mozetic P., Turk V., 2003, Changes in particulate and dissolved organic matter in nutrient-enriched enclosures from an area influenced by mucilage: the northern Adriatic Sea. *J. Plankton Res.*, 25, 949–966.
- Manganelli M., Funari E., 2003, Le mucillagini nel Mar Adriatico: ruolo dei possibili agenti causali e dei fattori ambientali, *Ann Ist Super Sanità*, Vol. 39, n°1, p 77-95,
- Mari X., Kiørboe T., 1996, Abundance, size distribution and bacterial colonization of transparent exopolymeric particles (TEP) during spring in the Kattegat. *Journal of Plankton Research* 18:969-986,
- Mari X., Burd A., 1998, Seasonal size spectra of transparent exopolymeric particles (TEP) in a coastal sea and comparison with those predicted using coagulation theory, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 163, p 63 – 76,
- Mari X., 1999, Carbon content and C/N ratio of transparent exopolymeric particles (TEP) produced by bubbling exudates of diatoms, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 183, p 59 – 71,
- Mari X., Dam H.G., 2004a, Production, concentration, and isolation of transparent exopolymeric particles using paramagnetic functionalized microspheres, *Limnol. Oceanogr.: Methods* 2, p 13–24,
- Mari X., Rassoulzadegan F., 2004b, Role of TEP in the microbial food web structure : Grazing behavior of a bacterivorous pelagic ciliate, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 279, p 13 – 22,
- Mieszkina S., 2010, Diagnostic moléculaire de l'origine des contaminations fécales dans l'environnement littoral - Développement de marqueurs Bactéroidales spécifiques de l'hôte, Thèse de Doctorat de l'Université de Bretagne Occidentale, 344 pages,

Minas H.J., Minas M., Coste B., Gostan J., Nival P., Bonin M.C., 1988, Production de base et de recyclage; une revue de la problématique en méditerranée. *Oceanologica Acta* 9:155-162,

Monti M., Welker C., Dellavalle G., Casaretto L., Fonda Umani S., 1995, Mucus aggregates under natural and laboratory conditions: a review. *Sci Total Environ* ; 165 : 145– 54,

Moulin V., 1995, Importance des phases colloïdales et particulates presents dans les environnements marins, *Radioprotection*, Vol. 30, n° 2, p 233 – 246,

Mozetič P., Solidoro C., Cossarini G., Socal G., Precali R., Francé J., Bianchi F., De Vittor C., Smolaka N., Umani S.F., 2010, Recent Trends Towards Oligotrophication of the Northern Adriatic: Evidence from Chlorophyll a Time Series, *Estuaries and Coasts*, Vol. 33, p 362–375,

Muller-Niklas G., Herndl G.J., 1992, Activity of fecal coliform bacteria measured by 4-methylumbelliferyl- P-I)-glucuronide substrate in the northern Adriatic Sea with special reference to marine snow, *Marine Ecology Progress series*, Vol 89, p 305-309,

Myklestad S, Haug A., 1972, Production of glucides by the marine diatom *Chaetoceros affinis* var *willei* (Gran) Hustedt I Effect of the concentration of nutrients in the culture medium. *J Exp Mar Biol Ecol* ; 9 : 125– 36,

Myklestad S., 1974, Production of glucides by marine planktonic diatoms I Comparison of nine different species in culture. *J Exp Mar Biol Ecol* ; 15 : 261– 74,

Myklestad S., 1977, Production of glucides by marine planktonic diatoms II Influence of the N/P ratio in the growth medium on the assimilation ratio, growth rate, and production of cellular and extracellular glucides by *Chaetoceros affinis* var *willei* (Gran) Hustedt and *Skeletonema costatum* (Grev) Cleve. *J Exp Mar Biol Ecol* ; 29 : 161– 79,

Myklestad S., Holm-Hansen O., Vaarum K.M., Volcani B.E., 1989, Rate of release of extracellular amino acids and glucides from the marine diatom *Chaetoceros affinis*. *Journal of Plankton Research* 11:763-773,

Myklestad S., 1995, Release of extracellular products by phytoplankton with special emphasis on polysaccharides. *Sci Total Environ* ;165 : 155–64,

Myklestad S., 1999, Phytoplankton extracellular production and leakage with considerations on the polysaccharide accumulation. *Ann Ist Super Sanita`* ; 35 : 401– 415.

Nagata T., Kirchman D.L., 1992, Release of macromolecular organic complexes by heterotrophic marine flagellates, *Marine Ecology Progress Series*, Vol.83, p 233 – 240,

Nagata T., 2000, Production mechanisms of dissolved organic matter, *Microbial ecology of the oceans*. DL Kirchman (ed.) Wiley-Liss New York. p121 - 152,

Najdek M., 1993, Factors influencing fatty acid and hydrocarbon composition of sedimenting particles in the northeastern Adriatic Sea. *Mar. Chem.*, 41, 299–310,

Najdek M., Degobbi D., Miokovic D., 2002, Fatty acid and phytoplankton compositions of different types of mucilaginous aggregates in the northern Adriatic. *J. Plankton Res.*, 24, 429–441,

- Nadjek M., Blazina M., Djakovac T., Kraus R., 2005, The role of the diatom *Cylindrotheca closterium* in a mucilage event in the northern Adriatic Sea: coupling with high salinity water intrusions, Journal of Plankton research, Vol 27, n° 9, p 851–862,
- Nival P., Nival S., 1976, Particle retention efficiencies of an herbivorous copepod *Acartia clausi* (adult and copepodite stages): effects on grazing. Limnol. Oceanogr. 21. 24-38,
- Niven S.E.H., KEPKAY P.E. , BORAIE A., 1995, Colloidal organic carbon and colloidal ²³⁴Th dynamics during a coastal phytoplankton bloom. Deep-Sea Res. II 42: 257-273
- Niven S.E.H., Kepkay P.E., Bugden J.B.C., 1997, The role of TEP in the ²³⁴Th scavenging during a coastal diatom bloom. Radioprotection-Colloques. 32: 213-218,
- Norrman B., Zweifel U.L., Hopkinson C.S., Fry B., 1995, Production and utilization of dissolved organic carbon during an experimental diatom bloom. Limnology and Oceanography 40:898-907,
- Obernosterer I., Herndl G.J., 1995, Phytoplankton extracellular release and bacterial growth: dependence on the inorganic N/P ratio. Mar Ecol Prog Ser ; 116 : 247– 57,
- Pagnotta R., Pettine M., Puddu A, 1999, General features of the Adriatic sea : the key role of carbone cycling, Ann.1st Super. Sanita, Vol.35, n°3, p 365 – 372,
- Pakulski J.D., Benner R., 1994, Abundance and distribution of carbohydrate in the ocean. Limnol Oceanogr ; 39:930– 40,
- Passow U., Alldredge A.L., 1994, Distribution, size and bacterial colonization of transparent exopolymer particles (TEP) in the ocean. Marine Ecology Progress Series 113:185-198,
- Passow U., Alldredge A.L., Logan B.E., 1994, The role of particulate carbohydrate exudates in the flocculation of diatom blooms, Deep Sea Research, Vol. 41, n°2, p 335 – 357,
- Passow U., Alldredge A.L., 1999, Do transparent exopolymer particles (TEP) inhibit grazing by the euphausiid *Euphausia pacifica* ?, Journal of Plankton Research, Vol.21, n°.11, p.2203–2217,
- Passow U., 2000, Formation of transparent exopolymeric particles, TEP, from dissolved precursor material. Marine Ecology Progress Series, Vol. 192, p 1-11,
- Passow U., 2002, Transparent exopolymer particles (TEP) in aquatic environments. Progress in Oceanography 55:287-333,
- Penna A., Berluti S., Penna N., Magnani M., 1999, Influence of nutrient ratios on the in vitro extracellular polysaccharide production by marine diatoms from the Adriatic Sea. J Plankton Res ; 21 : 1681– 1690.
- Penna N., Kovac N., Ricci F., Penna A., Capellaci S., Faganelli J., 2009, The Role of Dissolved Glucides in the Northern Adriatic Macroaggregate Formation Acta Chim. Slov., Vol. 56, p 305 – 314,
- Pomeroy L.R., Deibel ., 1980, Aggregation of organic matter by pelagic tunicates, Limnol. Oceanogr., Vol. 25, n°4, p 643-652,

Poulain P. M., Kourafalou V.H., Cushman-Roisin, B., 2001, Northern Adriatic Sea. Physical Oceanography of the Adriatic Sea. Past, Present and Future. Kluwer Academic Publications, Dordrecht, pp. 143–165.

Pistocchi R., Cangini M., Totti C., Urbani R., Guerrini F., Romagnoli T., Sist P., Palamidesi S., Boni L., Pompei M., 2005, Relevance of the dinoflagellate *Gonyaulax fragilis* in mucilage formations of the Adriatic Sea, Science of the Total Environment,

Plante C.J., 2000, Role of bacterial exopolymeric capsules in protection from deposit-feeder digestion, Aquatic Microbial Ecology, Vol. 21, p 211-219,

Pomeroy L.R., Sheldon J.E., Wad S.M., Peters F., 1995, Limits to the growth and respiration of bacterioplankton in the gulf of Mexico. Mar Ecol Prog Ser ; 117 : 259– 68,

Precali R., Giani M., Marini M, Grilli F., Ferrari C.R., 2005, Mucilaginous aggregates in the Northern Adriatic in the period 1999–2002: typology and distribution. Science of the Total Environment 353: 10–23,

Prieto L., Sommer F., Stibor H., Koeve W., 2001, Effects of planktonic copepods on transparent exopolymeric particles (TEP) abundance and size spectra, Journal of Plankton Research, Vol. 23, n° 5, p 515 – 525,

Puddu A., Zoppini A., Fazi S., Rosati M., Amalfitano S., Magaletti E., 2003, Bacterial uptake of DOM released from P-limited phytoplankton. FEMS Microbiol Ecol ; 46(3) : 257– 268.

Radakovitch O., Frignani M., Giuliani S., Montanari R., 2003, Temporal variations of dissolved and particulate ²³⁴Th at a coastal station of the northern Adriatic Sea, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 58, p 813–824,

Ramaiah N., Yoshikawa T., Furuya K., 2001, Temporal variations in transparent exopolymer particles (TEP) associated with a diatom spring bloom in a subarctic ria in Japan, Marine Ecology Progress Series, Vol. 212, p 79–88,

Regione Emilia Romagna—ARPA. Struttura Oceanografica Daphne, (2002), Eutrofizzazione delle acque costiere dell’Emilia Romagna, Rapporto Regione Emilia Romagna—Arpa, . 200 p,

Regione Emilia Romagna—ARPA. Struttura Oceanografica Daphne, (2003), Eutrofizzazione delle acque costiere dell’Emilia Romagna, Rapporto Regione Emilia Romagna—Arpa, . 48 p,

Regione Emilia Romagna—ARPA. Struttura Oceanografica Daphne, (2005), Eutrofizzazione delle acque costiere dell’Emilia Romagna, Rapporto Regione Emilia Romagna—Arpa, . 185 p,

Regione Emilia Romagna—ARPA. Struttura Oceanografica Daphne, (2006), Eutrofizzazione delle acque costiere dell’Emilia Romagna, Rapporto Regione Emilia Romagna—Arpa, . 184 p,

Regione Emilia Romagna—ARPA. Struttura Oceanografica Daphne, (2007), Eutrofizzazione delle acque costiere dell’Emilia Romagna, Rapporto Regione Emilia Romagna—Arpa, . 184 p,

Regione Emilia Romagna—ARPA. Struttura Oceanografica Daphne, (2008), Eutrofizzazione delle acque costiere dell’Emilia Romagna, Rapporto Regione Emilia Romagna—Arpa, . 192 p,

- Revelante N., Gilmartin M., 1991, The phytoplankton composition and population enrichment in gelatinous "macroaggregates" in the northern Adriatic during the summer of 1989. *J. Exp. Mar. Biol.Ecol.*, 146, 217–233,
- Riebesell U., 1991a, Particle aggregation during a diatom bloom. Biological aspects, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 69, p 281 – 291,
- Riebesell U., 1991b, Particle aggregation during a diatom bloom. Biological aspects, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 69, p 273 – 280,
- Riemann L., Steward G.F., Azam F., 2000, Dynamics of Bacterial Community Composition and activity during a Mesocosm Diatom Bloom, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 66, n°2, p 578 – 587
- Riley G.A., 1963, Organic Aggregates in seawater and the dynamics of their formation and utilization. *Limnology and Oceanography* 8:372-381,
- Rinaldi A., Vollenweider R.A., Montanari G., Ferrari C.R., Ghetti A., 1995, Mucilages in Italian seas: the Adriatic and Tyrrhenian Seas, 1988–1991. *Science of the Total Environment* 165: 165–183,
- Rubio C., 2002, Compréhension des mécanismes d'adhésion des biofilms en milieu marin en vue de la conception de nouveaux moyens de prévention, Thèse de Doctorat de l'Université de Paris VI, 216 p,
- Russo A., Maccaferri S., Djakovac T., (in press) Meteorological and oceanographic conditions in the northern Adriatic Sea during the period June 1999 – July 2002: influence on the mucilage phenomenon. *Sci. Total Environ.*
- Salot A., Andrié C., Jullien D., Lorre A., Marty J.C., Scribe P., 1984, Dégradation bactérienne de la matière organique dans les eaux de mer : approche par les marqueurs biogéochimiques, *Bactériologie marine*, éditions CNRS, 6 p,*
- Schiaparelli S., Castellano M., Povero P., Sartoni G., Cattaneo-Vietti R., 2007, A benthic mucilage event in North-Western Mediterranean Sea and its possible relationships with the summer 2003 European heatwave: short term effects on littoral rocky assemblages, *Marine Ecology*, Vol. 28, p 341–353,
- Schuster S., Herndl G.H., 1995, Formation and significance of transparent exopolymeric particles in the northern Adriatic Sea, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 124, p 227-236,
- Shanks A.L., Trent J.D., 1979,. Marine snow: microscale nutrient patches. *Limnol. Oceanogr* 24: 850-854,
- Shanks A.L. , Del Carmen K.A., 1997, Larval polychaetes are strongly associated with marine snow, *Marine Ecology Progresse Series*, Vol. 154, p 211-221,
- Shimeta J., 1993, Diffusional encounter of submicrometer particles and small cells by suspension feeders. *Limnology and Oceanography* 38:456-465
- Simon M., Grossart H.P., Schweitzer B., Ploug H., 2002, Microbial ecology of organic aggregates in aquatic ecosystems, *Aquatic Microbial Ecology*, Vol. 28, p 175–211,

- Silver M.W., Shanks A.L., Trent J.D., 1978, Marine snow: microplankton habitat and source of small-scale patchiness in pelagic populations. *Science* 201: 371-373,
- Silver M.W., Gowing M.M., Brownlee D.C., Corliss J.O., 1984, Ciliated protozoa associated with oceanic sinking detritus. *Nature* 309: 246-248
- Smetacek V., 1985, Role of sinking in diatom life-history cycles: ecological, evolutionary and geological significance. *Mar. Biol.* 84: 239-251,
- Smith D.C., Steward G.F., Long R.A., Azam F., 1995, Bacterial mediation of carbon fluxes during a diatom bloom in a mesocosm. *Deep-Sea Research II* 42:75-97,
- Smith D.J., Graham J.C., Underwood J.C., 1998, Exopolymer production by intertidal epipelagic diatoms. *Limnol.Oceanogr.*, 43, 1578–1591,
- Smith D.J., Underwood J.C., 2000, The production of extracellular glucides by estuarine benthic diatoms: the effect of growth phase and light and dark treatment. *J. Phycol.*, 36, 321–333,
- Solis-Weiss V., Aleffi I.F., Bettoso N., Rossin P, Orel G., 2007, The benthic macrofauna at the outfalls of the underwater sewage discharges in the gulf of Trieste, *Annales Ser. Hist. Nat.*, n°17, p 1 – 16,
- Staats N., De Winder B., Stal L.J., 1999, Isolation and characterization of extracellular polysaccharides from the epipelagic diatoms *Cylindrotheca closterium* and *Navicula salinarum*. *Eur. J. Phycol.*, 34, 161–169,
- Staats N., Stal L.J., Mur LR., 2000, Exopolysaccharide production by the epipelagic diatom *Cylindrotheca closterium*: effects of nutrient conditions. *J Exp Mar Biol Ecol* ; 249 : 13–27,
- Stachowitsch M., Fanuko N., Richter M., 1990, Mucus aggregates in the Adriatic Sea: an overview of stages and occurrences. *PSZNI Mar Ecol* ; 11 : 327– 350,
- Stachowitsch M., Riedel B., Zuschin M., Machan R., 2007, Oxygen depletion and benthic mortalities: the first in situ experimental approach to documenting an elusive phenomenon, *Limnol. Oceanogr. Methods*, p 344–352
- Stal L.J., De Brouwer JFC, 2003, Biofilm formation by benthic diatoms and their influence on the stabilization of intertidal mudflats, *Berichte – Forschungszentrum TERRAMARE*, No. 12, extended Abstract, 3 p,
- Stemmann L., Prieur L., Legendre L., Taupier-Letage I., Picheral M., Guidi L., Gorsky G., 2008, Effects of frontal processes on marine aggregate dynamics and fluxes: An interannual study in a permanent geostrophic front, *Journal of Marine Systems*, Vol. 70, p 1–20,
- Supic N., Orlic M., Degobbi D., Dakovac T., Krajcar V., Precali R., 2003, Occurrence of the Istrian Coastal Countercurrent in 2000, a year with a mucilage event, *Geofizika*, Vol. 18-19, 2001-2002, p 45 – 57
- Stoderegger K.E., Herndl G.J., 1999, Production of exopolymeric particles by marine bacterioplankton under contrasting turbulence conditions. *Marine Ecology Progress Series* 189:9-16,

Susperregui N, D'Elbée J., Maton V., Rihouey D., Maneux E, Etcheber H., Sautour B., Othéguy P., Maron P, Monperrus M., Soulier L., Gallet F., 2010, Etude d'une substance appelée «LIGA» sur le littoral basque : identification, origine et facteurs influençant son apparition, rapport d'étude FEDER/IMA, 88 p + annexes

Svetličić V.*, Žutić V, Mišić Radić T, Pletikapić G., Hozić Zimmermann A., Urbani R., 2011, Polymer Networks Produced by Marine Diatoms in the Northern Adriatic Sea, *Marine Drugs*, Vol. 9, p 666-679,

Tedesco L., Socal G., Bianchi F., Acri F., Veneri D., Vichi1 M., 2007, NW Adriatic Sea biogeochemical variability in the last 20 years (1986–2005), *Biogeosciences*, Vol. 4, p 673–687,

Teira E., Serret P., Fernández E., 2001, Phytoplankton size-structure, particulate and dissolved organic carbon production and oxygen fluxes through microbial communities in the NW Iberian coastal transition zone, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 219, p 65–83,

Tomasino M.G., 1996, Is it feasible to predict “slime blooms” or “mucilage” in the northern Adriatic Sea, *Ecological Modelling*, Vol; 84, p 189 – 198,

Thornton D.C.O., Santillo D., Thake B., 1999, Prediction of Sporadic Mucilaginous Algal Blooms in the Northern Adriatic Sea, *Marine Pollution Bulletin* Vol. 38, n° 10, p. 891 – 898,

Thornton D. C.O., 2002, Diatom aggregation in the sea: mechanisms and ecological implications. *Eur. J. Phycol.*, 37, 149–161,

Tranvik L.J., Sherr E.B., Sherr B.F., 1993, Uptake and utilization of 'colloidal DOM' by heterotrophic flagellates in seawater. *Marine Ecology Progress Series* 92:301-309,

Turk V., Hagström A., Kovac N., Faganeli J., 2010, Composition and function of mucilage macroaggregates in the northern Adriatic, *Aquatic microbial ecology*, Preprint

Umani S.F., Del Negro P., Larato C, De Vittor C., Cabrini M., Celio M., Falconi C., Tamberlich F., 2007 Major inter-annual variations in microbial dynamics in the Gulf of Trieste (northern Adriatic Sea) and their ecosystem implications, *Aquatic Microbial Ecology*, Vol. 46, p 163–175

Underwood G.J.C., Paterson D.M., 2003, The Importance of Extracellular Carbohydrate Production by Marine Epipelagic Diatoms, *Elsevier, Botanical Research*, Vol. 40, p 183 – 240,

UNEP, 1995, Evaluation de l'état d'eutrophisation en Mer Méditerranée, Plan d'action pour la Méditerranée, 225 p

Urbani R., Magaletti E., Sist P., Cicero A.M., 2005, Extracellular glucides released by the marine diatoms *Cylindrotheca closterium*, *Thalassiosira pseudonana* and *Skeletonema costatum*: Effect of P-depletion and growth status, *Science of the total environment*,

Verdugo P., Alldredge A.L., Azam F., Kirchman D.L., Passow U., Santschi P.H., 2004, The oceanic gel phase: a bridge in the DOM–POM continuum, *Elsevier, Marine Chemistry* 92, p 67–85,

Vichi M., May W., Navarra A., 2009, Response of a complex ecosystem model of the northern Adriatic Sea to a regional climate change scenario, *Climate research*, Vol. 24, p 141–158,

Weinbauer M.G., Bettarel Y., Cattaneo R., Luef B., Maier C., Motegi C., Peduzzi P., Mari X., 2009, Viral ecology of organic and inorganic particles in aquatic system : avenues for further research, *Aquatic Microbial Ecology*, Vol. 57, p 321 – 341,

Weiss P., Schweitzer B., Amann R., Simon M., 1996, Identification In Situ and Dynamics of Bacteria on Limnetic Organic Aggregates (Lake Snow), *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 62, n°6, p. 1998–2005,

Wetz M.S., Wheeler P.A., 2007, Release of dissolved organic matter by coastal diatoms, *Limnol. Oceanogr.*, Vol. 52, n°2, p 798–807,

Wiebe J.W., Pomeroy L.R., 1972, Microorganisms and their association with aggregates and detritus in the sea: a microscopic study. *Proceedings of the IBP-UNESCO Symposium on Detritus and its role in aquatic ecosystems. Memorie. Inst. Ital. Idrobiol.*, 29 : 325-352,

Wingender J., Neu T.R., Flemming H.C., 1999, What are bacterial extracellular polymeric substances? In *Microbial Extracellular Polymeric Substances—Characterization, Structure and Function* ; Springer-Verlag: Heidelberg, Germany, p. 1–20,

Wolfstein K., De Brouwer J.F.C., Stal, L.J., 2002a, Biochemical partitioning of photosynthetically fixed carbon by benthic diatoms during short-term incubations at different irradiances. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 245, 21–31,

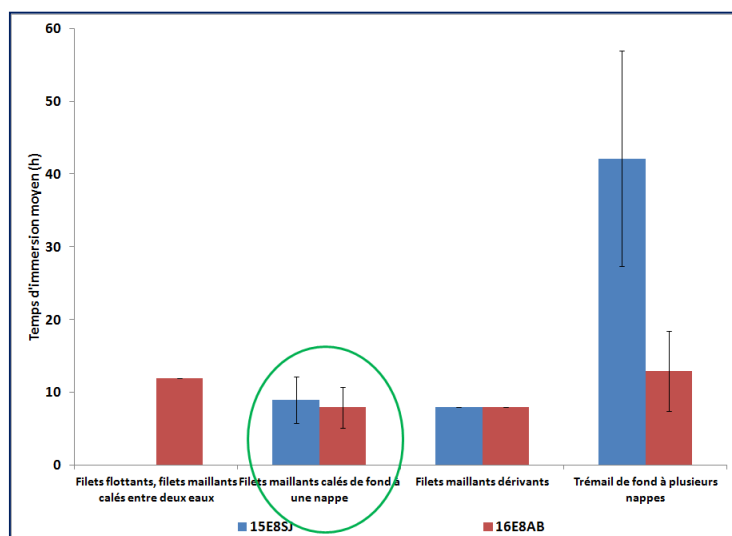
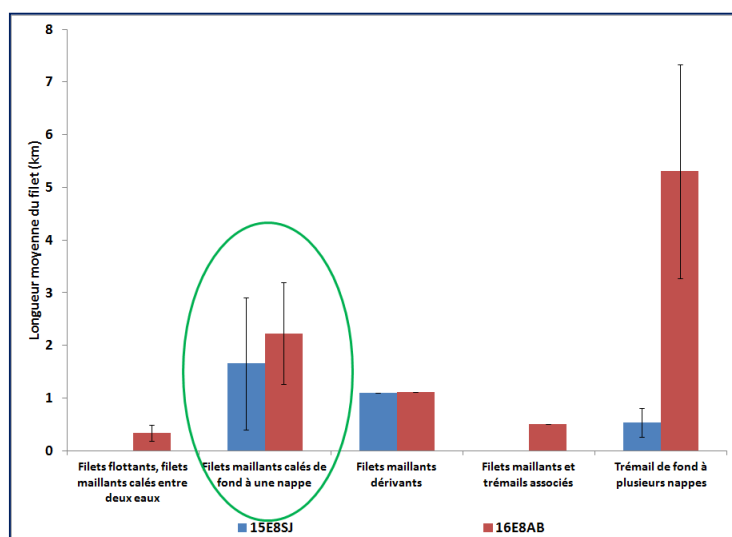
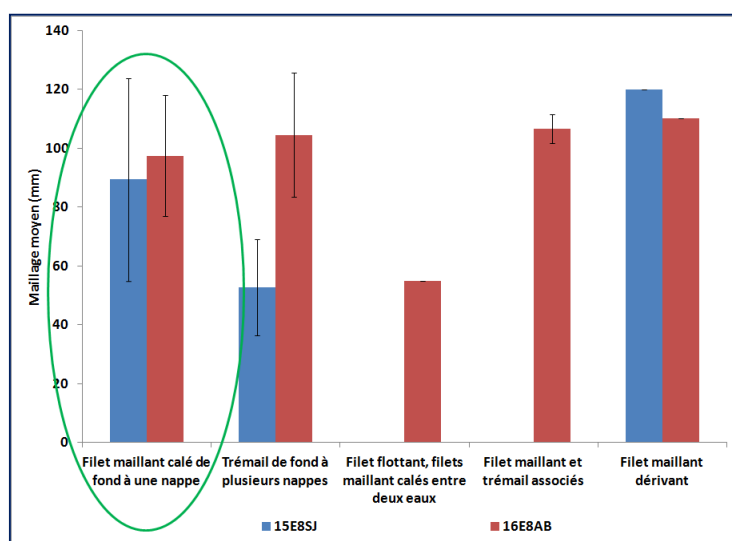
Wolfstein K., Stal L.J., 2002b, Production of extracellular polymeric substances (EPS) by benthic diatoms: effect of irradiance and temperature, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 236, p 13 – 22,

Zhou J., Mopper K., Passow U., 1998, The role of surface-active glucides in the formation of transparent exopolymer particles by bubble adsorption of seawater. *Limnology and Oceanography* 43:1860-1871,

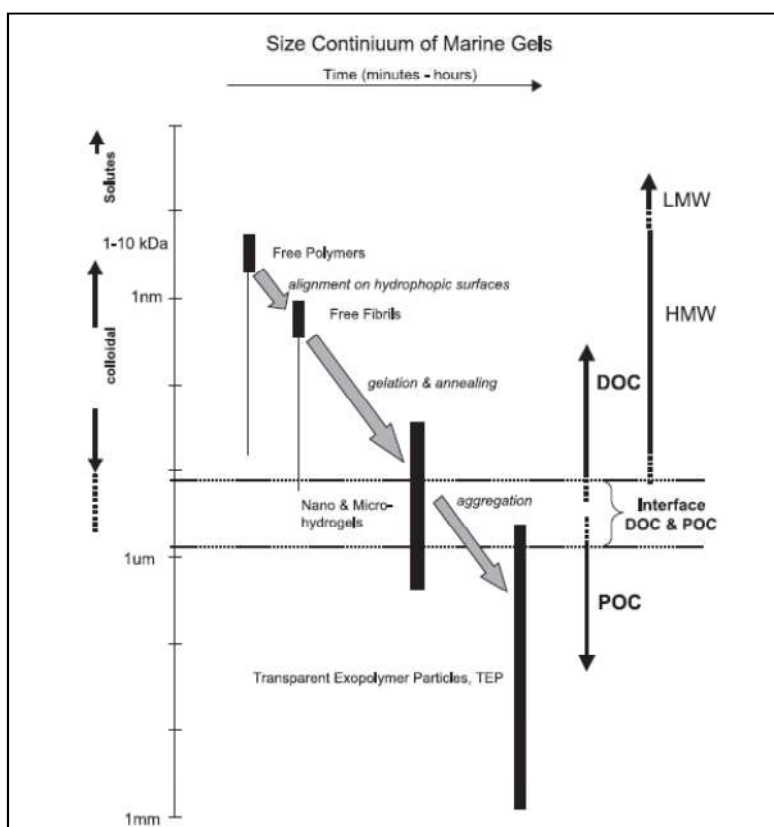
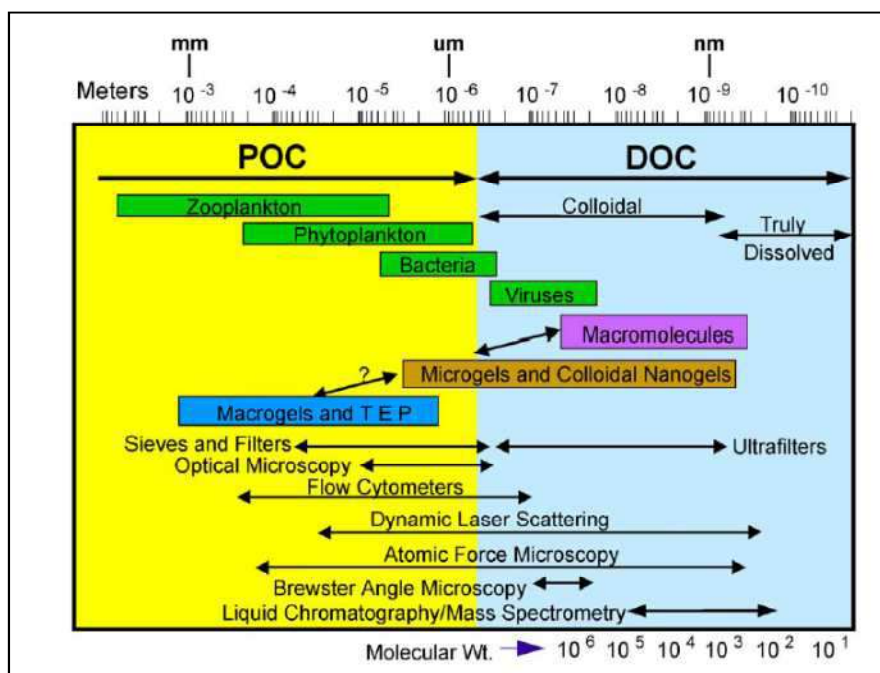
Zweifel U.L., Norrman B., Hagström A., 1993, Consumption of dissolved organic carbon by marine bacteria and demand for inorganic nutrients. *Mar Ecol Prog Ser* ;101:23– 32.

ANNEXES

Annexe 1 : Caractéristiques des filets utilisé sur la zone d'étude



Annexe 2 : Continuum en taille de la matière organique dissoute et particulaire et méthodes d'analyse



Annexe 3 : Exemple de formes d'agrégats échantillonnés (Giani et *al.*, 2005)

Mucilage sampling data				
Type of mucilaginous aggregate	Location	Date (month day year)	Depth of sampling (m)	Number of samples
Surface aggregate	C09b	June 15, 2000	Surface	1
	1009	July 3, 2001	Surface	1
	2009	July 3, 2001	Surface	1
	611	July 3, 2001	Surface	1
	A3V	July 4, 2001	Surface	1
Stringer	A4V	July 4, 2001	Surface	1
	BAG1	June 9, 2000	10, 20	2
	CB	July 11, 2002	2	1
	B06	June 4, 2002	15, 19	4
Ribbon	C04	June 5, 2002	22	4
	A07	July 5, 2001	14	1
	C04	June 24, 2002	2	1
	A07	July 8, 2002	20	1
Cobweb	A09	July 8, 2002	10	1
	CB	July 11, 2002	10	1
	C12	June 26, 2002	10	2
	B15	June 27, 2002	20	1
False bottom	B03	June 21, 2000	8	1
	A11	July 8, 2002	8	1
	A7	July 8, 2002	8	1
	CB	July 18, 2002	11	1
Cloud	B4V	July 18, 2002	10	1
	C08b	June 15, 2000	17	1
	BC01	June 20, 2000	5	2
	B03	June 21, 2000	12	1
Sedimented cloud	B13	July 6, 2000	15	1
	A07	July 5, 2000	8	1
	A07	June 13, 2002	8	2
	C02	June 24, 2002	10	1
	CB	July 30, 2002	10	1
	B4V	July 11–18–30, 2002	7, 13, 12	3
	B03	June 21, 2000	20	1
	B15	July 6, 2000	45	1
	B07	June 27, 2002	42	1
	CB	July 30, 2002	24	1
	B04	July 30, 2002	30	1
Zooplankton	Po delta	January–February 2002	Vertical haul	6
Phytoplankton	Po delta	February–April 2002	Surface horizontal haul	8
Aggregates dominated by <i>N. scintillans</i>	K1	June 13, 2002	Surface	1

Annexe 4 : Production de TEP par différentes espèces planctoniques (Passow, 2002)

Species	TEP/cell vol./vol. ($\mu\text{m}^3 \mu\text{m}^{-3}$)	TEP/cell vol./vol. Xeq. μm^{-3}	TEP/chl.a $\mu\text{gXeq.} \mu\text{g}^{-1}$	Reference
<i>Chaetoceros neogracile</i> ^a	(6.81) ^b	NV	NV	Passow and Alldredge, 1994
<i>Chaetoceros neogracile</i> , Milford collect.	NV	(36*10 ⁻⁹)	NV	Waite et al., 1995
<i>Chaetoceros affinis</i>	0.05–53.83 ^c	NV	NV	Kiorboe and Hansen, 1993
<i>Chaetoceros affinis</i> , CCMP 159	NV	22*10 ⁻⁹	24–350 ^d	Passow, 2002
<i>Chaetoceros</i> sp., NS isolate	NV	9*10 ⁻⁹	4–22	Passow, 2002
<i>Coscinodiscus</i> sp.	NV	NV	NV	Kiorboe and Hansen, 1993
<i>Melosira mummuloides</i> (benthic)	NV	2*10 ⁻⁹	0–70	Passow, 2002
<i>Nitzschia angularis</i>	(2.06) ^b	NV	NV	Passow and Alldredge, 1994
<i>Nitzschia angularis</i>	NV	0.9*10 ⁻⁹	11–200	Passow, 2002
<i>Nitzschia</i> sp., isolate from SBC	NV	25–31*10 ⁻⁹	1–5	Passow, 2002
<i>Nitzschia closterium</i>	NV	(0.2*10 ⁻⁹)	NV	Engel and Schartau, 1999
<i>Skeletonema costatum</i>	0.01–0.75	NV	NV	Kiorboe and Hansen, 1993
<i>Skeletonema costatum</i> , axenic	0.70–4.54	NV	NV	Kiorboe and Hansen, 1993
<i>Stephanopyxis turris</i> CCMP 815	NV	26*10 ⁻⁹	9–3700	Passow, 2002
<i>Thalassiosira weissflogii</i>	(13.19) ^b	NV	NV	Passow and Alldredge, 1994
<i>Thalassiosira weissflogii</i>	NV	3*10 ⁻⁹	63–334	Passow, 2002
<i>Thalassiosira rotula</i> , Meunier, NS isolate	NV	3.6*10 ⁻⁹	2–5	Passow, 2002
<i>Rhodomonas baltica</i>	0.08–0.49	NV	NV	Kiorboe and Hansen, 1993
<i>Emiliana huxleyi</i> , non-calcifying strain PMC92d,	NV	1*10 ⁻⁹	1–7	Passow, 2002
<i>Tetraselmis suecia</i> , benthic, M.EIbrächter	NV	27*10 ⁻⁹	5–20	Passow, 2002
<i>Phaeocystis antarctica</i>	NV	NV	148–2720	Hong et al., 1997
<i>Gonyaulax polydera</i> (CCMP 406)	NV	20*10 ⁻⁹	1–70	Passow, 2002

NS: North Sea; SBC: Santa Barbara Channel California, USA; NV: No value; TEP also appeared in batch cultures of *Cylindrotheca fusiformis* (Grossart, 1999), *Aphanizomenon ovalisporum* (Grossart, Berman, Simon & Pohlmann, 1998) and *Thalassiosira nordenskiöldii* (Passow & Wassmann, 1994), but the amount was not quantified.

^a Name changed from *C. gracilis*.

^b Calculated from TEP area (mm^2) per vol. cells (mm^3). Because encased volume of TEP is estimated, the volume calculations overestimate TEP (Kiorboe & Hansen, 1993).

^c In a parallel culture maximum value reached was only 1.67 instead of 53.83.

^d Average range of three replicate experiments, which yielded similar results.