

**ECOLE NATIONALE
SUPÉRIEURE AGRONOMIQUE DE
RENNES**

**INSTITUT FRANÇAIS DE
RECHERCHE POUR
L'EXPLOITATION DE LA MER**

**Mémoire de fin d'études
Pour l'obtention du Certificat d'Etudes Supérieures Agronomiques
Spécialisation Halieutique**

**ETUDE INTEGREE DU SECTEUR LOIRE VILAINE :
- SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES
- ANALYSE DES PROBLÉMATIQUES**

Présenté par : Baudrier, Jérôme

Soutenu le : 28 octobre 2002

Devant le Jury

Mr Patrick Camus, IFREMER.
Mr Guy Fontenelle, ENSAR.
Mr Jean-Yves Le Gall, ENSAR.

Photo de couverture : Teneurs en chlorophylle détectées par télédétection satellitaire. Sources : les images SeaWiFS proviennent du Goddard Space Flight Center de la NASA. Elles ont été traitées au Centre IFREMER de Brest par Francis Gohin du Département d'Ecologie Côtière de la Direction de l'Environnement et de l'aménagement Littoral (DEL).



Département : Halieutique

Spécialisation : Halieutique

Enseignant Responsable :
Mr Guy Fontenelle

Cadre réservé à la Bibliothèque Centrale

Auteur(s) : Jérôme Baudrier

Organisme d'accueil : IFREMER

Adresse : 12 rue des Résistants – BP 86
56 470 LA TRINITE SUR MER

Nombre de pages : 115 ; annexe(s) : 8 p.

Responsable scientifique : Mr Patrick Camus

Année de soutenance : 2002

Titre : Etude intégrée du secteur côtier Loire Vilaine. Synthèse des connaissances - Analyse des problématiques.

Résumé : La zone côtière située entre Quiberon et Noirmoutier est placée sous l'influence des panaches de dilution des fleuves Loire et Vilaine. Elle subit depuis plusieurs décennies des dysfonctionnements liés en partie à l'eutrophisation croissante du milieu. Le territoire est ainsi unique du fait de l'ampleur de certains déséquilibres observés (phénomènes de mortalités massives de la faune en mer ouverte, nombre cumulé d'apparitions d'eaux colorées...).

D'autres problèmes environnementaux viennent perturber la pérennité des activités humaines (ensablement des baies, dégradation de la qualité des eaux littorales, diminution des ressources halieutiques...). Une synthèse des connaissances existantes était donc nécessaire sur cet espace convoité par de nombreux usages. Elle permet ensuite d'identifier les problématiques et lacunes relatives au territoire considéré.

Outre le bilan des acquis, l'étude propose un certain nombre d'axes de recherche pour pallier les insuffisances qui affaiblissent ses conclusions en matière de compréhension du milieu Loire Vilaine. Pour ce faire, l'utilisation d'outils d'investigation et d'observation du milieu marin s'avère indispensable. Un inventaire des principaux a donc été effectué avec pour optique l'amélioration des connaissances, sur le fonctionnement et la gestion de cet écosystème.

Abstract : The coastal area located between Quiberon and Noirmoutier is influenced by dilution plumes of the Loire and Vilaine rivers. Dysfunctions linked with a growing eutrophication of the environment have been observed over the last decades. Important imbalances such as massive deaths of the fauna in open embayments and more and more appearances of red tides give the area a unique character.

Other environmental problems are likely to disrupt human activities in the near future (bays silting up, quality of coastal water worsening, overfishing...). This is why there is a real need to gather information on the subject. This will make it possible to identify problems and gaps in the area.

Beside presenting pieces of information, the study offers various reflection alternatives that should help understand the complex Loire Vilaine ecosystem. To realise this study, it is necessary to investigate and observe the marine environment. For a better understanding related to the management of this ecosystem, an inventory of the main investigation tools was drawn up.

Mots clés : Loire – Vilaine – panaches de dilution – eutrophisation – déséquilibres – écosystème.

Diffusion

- non limitée
 limitée (préciser au verso)

Je soussigné Jérôme Baudrier propriétaire des droits de reproduction du résumé du présent document, autorise toutes les sources bibliographiques à signaler et publier ce résumé.

Le 30/09/2002,

Jérôme Baudrier

REMERCIEMENTS

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance à Monsieur Patrick Camus qui a encadré ce travail de fin d'études. Durant ces six mois, j'ai toujours pu bénéficier de sa pédagogie et de ses conseils avisés. Ce projet n'aurait pu voir le jour sans son aide précieuse.

J'exprime mes plus vifs remerciements à Jean Pierre Allenou, pour son entière disponibilité et la patience dont il a fait preuve pour m'expliquer les rudiments d'ArcView.

Un grand merci également à Nathalie Bernard, pour m'avoir supporté sous son toit pendant tout ce temps, ainsi qu'à Gwénaél pour son soutien dans cette épreuve...

Je tiens aussi à remercier Sophie Le Mestre, Céline Garcia, et Raoul Gabellec pour les très agréables moments passés en leur compagnie pendant et après le travail.

Je remercie chaleureusement Elisabeth Abily et Guylaine Le Mouroux pour tous les nombreux services qu'elles m'ont rendu.

Je suis extrêmement redevable à l'ensemble du personnel Ifremer pour leur accueil et la gentillesse dont ils ont fait part à mon égard. La chaleureuse ambiance qui règne dans la station aura été fortement appréciable pendant ces six mois passés à la Trinité.

Je tiens à témoigner toute ma gratitude à Vanina, pour son dévouement permanent et son entrain quotidien.

Un grand merci également à l'ensemble des personnes rencontrées lors de ce stage et qui ont accepté de m'accorder un peu de leur temps.

Et comme ce stage marque aussi la fin d'une période, je remercie tous ceux qui m'ont accompagné au cours de mes études, et qui ont marqué ces dernières années de moments inoubliables. En particulier :

*Jérôme, Sylvain, Marie, Fanny, Stéphane, à l'ENSAR ;
Armel, Bertrand, Anne Sophie, Julien, Nolwenn, Benjamin, Caroline, Nathalie, Laurent, Coralie, François, à l'IUEM ;
Erwann, Frédérique, Rozenn, Arnaud, Maude, Anthony, Jacques, Armel, Benoît, à Beaulieu.*

Et pendant toute cette période :

*Cécile, Franck, Agnès, Jacques, Delphine, Anne Sophie, Vincent, Régis, Aurélie ;
David, Sandrine, Gilles, Gaël, Lydie, Olivier, Sandrine, Philippe, Stéphane, et Amanda.*

Enfin, je ne saurais terminer cet avant propos sans avoir chaleureusement remercié mes parents qui ont tenu compte de ma motivation et m'ont toujours laissé choisir (non sans reproche !) mon orientation. Ainsi que le reste de ma famille pour leur soutien et leur gentillesse...

AVANT-PROPOS

L'étude intégrée du secteur côtier Loire Vilaine a été réalisée dans le cadre d'un stage de fin d'études en Halieutique (Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes) d'une durée de six mois (avril-octobre 2002).

Elle a été élaborée sous la responsabilité de Monsieur Patrick Camus au laboratoire de la Direction de l'Environnement et de l'aménagement Littoral Morbihan – Pays de Loire de la station Ifremer de la Trinité sur Mer.

Ce rapport est constitué de deux parties distinctes : une synthèse des connaissances (I), suivie de l'analyse des problématiques (II), sur la zone côtière reliant Quiberon à Noirmoutier.

La première partie se base essentiellement sur des recherches bibliographiques. Cette synthèse ne prétend donc en aucune façon à l'exhaustivité, du fait de la richesse des travaux existants et de l'étendue de la zone considérée. Elle pourrait aisément être complétée et actualisée.

Cet état des lieux a permis dans un second temps de dégager les priorités à mettre en œuvre au sein de la bande côtière Loire Vilaine. Elle propose des axes de recherche et des outils à développer pour améliorer la connaissance, la gestion et la préservation de cet espace sensible.

PREMIERE PARTIE

**ETUDE INTEGREE DU SECTEUR LOIRE VILAINE :
SYNTHESE DES CONNAISSANCES**

SOMMAIRE

INTRODUCTION	3
I. LA LOIRE, LA VILAINE ET LEURS APPORTS AU MILIEU MARIN	4
II. LE MILIEU PHYSIQUE.....	10
II.1. CLIMATOLOGIE	10
II.2. GEOMORPHOLOGIE DE LA ZONE LOIRE VILAINE	12
II.3. GEOLOGIE DU SECTEUR LOIRE VILAINE.....	14
II.4. BATHYMETRIE	15
II.5. HYDRODYNAMISME	15
II.6. SEDIMENTOLOGIE	18
III. HYDROLOGIE COTIERE ET OCEANIQUE	20
III.1. ETUDE DES TEMPERATURES	20
III.2. LA SALINITE	22
III.3. ETUDE DE LA TURBIDITE.....	24
III.4. ENVIRONNEMENT CHIMIQUE.....	25
III.5. LES TENEURS EN CHLOROPHYLLE SUR LE PLATEAU CONTINENTAL	28
III.6. LE PH, MARQUEUR ESTUARIEN	30
III.7. L'OXYGENE DISSOUS	30
III.8. LA CONTAMINATION CHIMIQUE DE LA MATIERE VIVANTE PAR LES POLLUANTS REMANENTS.....	32
III.9. LA SURVEILLANCE DU MILIEU MARIN	33
<i>III.9.1. Les réseaux existants</i>	<i>33</i>
<i>III.9.2. Les réseaux en cours de développement.....</i>	<i>34</i>
IV. LA DIVERSITE BIOLOGIQUE.....	35
IV.1. LA PRODUCTION PRIMAIRE SUR LE PLATEAU CONTINENTAL NORD-GASCOGNE.....	35
IV.2. LES MICROALGUES TOXIQUES ET NUISIBLES SUR LE SECTEUR LOIRE VILAINE.....	38
IV.3. LES MAREES VERTES	40
IV.4. LES POPULATIONS ZOOPLANCTONIQUES	41
IV.5. LES NOURRICERIES ET LES FRAYERES DU SECTEUR LOIRE VILAINE.....	42
IV.6. LE BENTHOS	45

V. LES ACTIVITES HUMAINES.....	47
V.1. DEMOGRAPHIE.....	47
V.2. LE TOURISME ET LES ACTIVITES DE LOISIRS	50
<i>V.2.1. Généralités</i>	<i>50</i>
<i>V.2.2. L'essor de la plaisance.....</i>	<i>52</i>
<i>V.2.3. Qualité des eaux de baignade dans la zone d'étude</i>	<i>52</i>
<i>V.2.4. La Pêche récréative dans le secteur Loire Vilaine</i>	<i>53</i>
V.3. L'OCCUPATION DU SOL ET LA PLACE DE L'AGRICULTURE	54
V.4. LE SECTEUR INDUSTRIEL.....	56
V.5. L'EXPLOITATION DES RESSOURCES MARINES.....	57
<i>V.5.1. La conchyliculture.....</i>	<i>57</i>
<i>V.5.2. La pisciculture marine</i>	<i>58</i>
<i>V.5.3. La pêche professionnelle.....</i>	<i>58</i>
<i>V.5.4. Les extractions marines.....</i>	<i>60</i>
<i>V.5.5. La saliculture</i>	<i>60</i>
V.6. INVENTAIRE PATRIMONIAL ET REGLEMENTAIRE	61
CONCLUSION.....	62
LISTE DES FIGURES.....	63
LISTE DES TABLEAUX	65

Présentation du territoire d'étude

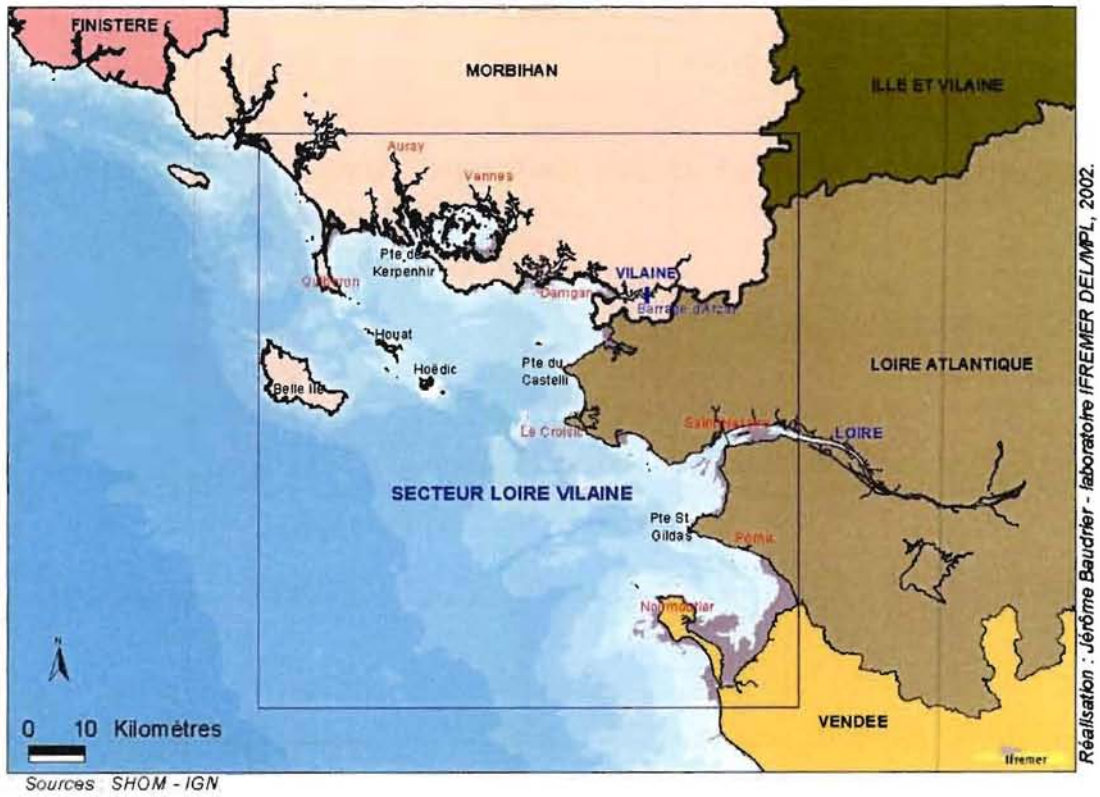


Figure 1 : Présentation de la zone d'étude Loire Vilaine.

INTRODUCTION

Le territoire d'étude « Loire-Vilaine » s'étend de la presqu'île de **Quiberon** (Morbihan – Bretagne) à la Pointe de l'Herbaudière à **Noirmoutier** (Vendée – Pays-de-la-Loire) et comprend le Mor Bras, l'estuaire externe de la Loire et la Baie de Bourgneuf (figure 1). Il s'étend de 46,5° Nord à 47,4° Nord et de 3,1° Ouest jusqu'aux rivages du secteur décrit.

La morphologie côtière y est très variée, puisque les longues plages de sable alternent avec des paysages rocheux. Le littoral est entaillé par un grand nombre de rias et d'estuaires qui sont extrêmement productifs et d'une importance fondamentale pour l'équilibre écologique de l'écosystème marin.

Le secteur Loire Vilaine marque le début du plateau continental du **Golfe de Gascogne**, qui est ouvert sur l'Océan Atlantique. Il présente de ce fait une forte diversité, reflétée par la richesse biologique de la région, incluant des espèces de poissons très divers dont bon nombre offre un intérêt commercial.

La **Loire** et la **Vilaine** constituent les principales sources d'alimentation de la région en eau douce. Elles enrichissent le milieu par leurs apports en sels nutritifs, mais le détériorent également par leur lot de contaminants plus ou moins toxiques et rémanents. De plus, les dépôts d'alluvions et de vases véhiculés ont tendance à agir comme des pièges pour ces substances nocives. Les deux fleuves reçoivent des apports diffus, qui constituent en partie les pollutions observées dans le milieu marin et littoral.

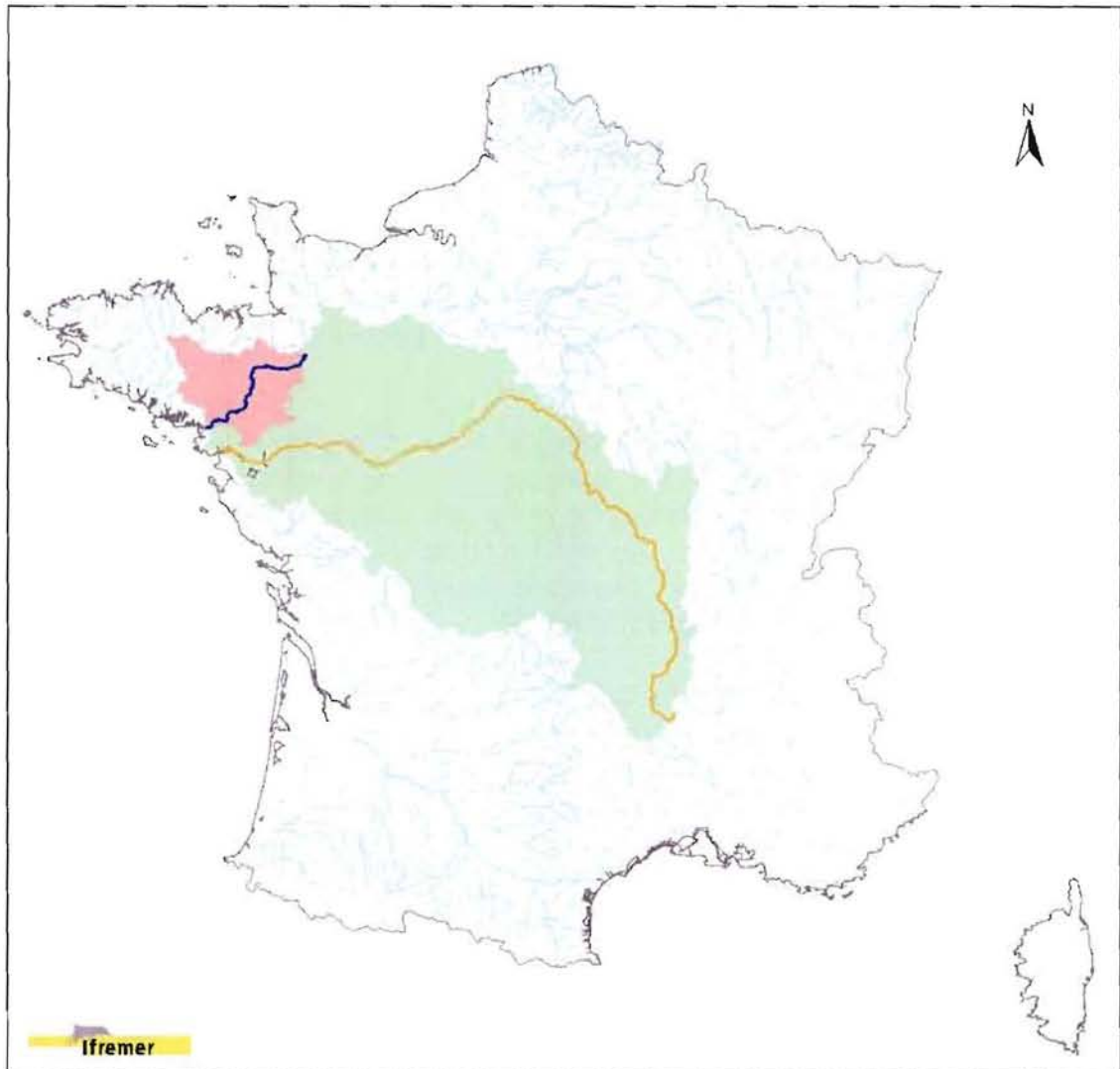
Le transport en milieu marin et estuarien est induit par les marées et le vent. Les grosses houles surviennent à l'automne et en hiver. Les tempêtes sont les principaux agents favorisant la mobilisation des sédiments sur le secteur Loire Vilaine. Les perturbations des fonds marins sont relativement de courte durée, et se produisent principalement durant les répétitions d'événements à grande énergie.

Les activités humaines sont nombreuses et leurs conséquences sur l'environnement variées. En particulier, le littoral est très attractif d'un point de vue touristique et génère une rente économique considérable. L'arrivée massive des saisonniers est aussi une source de nuisances pour l'environnement. L'occupation du sol de l'arrière pays est façonné par l'agriculture ; ses effets doivent être pris en compte dans une approche « bassins versants ».

La présente étude a été réalisée à la **Direction de l'Environnement et de l'aménagement Littoral** du laboratoire **Ifremer** Morbihan-Pays de Loire, à la station de La Trinité sur Mer. Elle rassemble les connaissances existantes sur le fonctionnement du milieu Loire Vilaine. Elle traite également des activités socio-économiques présentes sur le littoral et dans l'arrière pays. Le rapport s'articule en cinq thématiques distinctes : les fleuves Loire et Vilaine, le milieu physique, l'hydrologie, la diversité biologique, et les activités humaines.

L'ensemble des composantes du milieu n'a pu être traité du fait du temps imparti à cette étude. Seuls les éléments jugés les plus importants à la compréhension de l'écosystème Loire Vilaine ont été conservés. Le bilan des acquis a permis de proposer dans un second temps (*Etude intégrée du secteur côtier Loire Vilaine : analyse des problématiques*) un certain nombre d'axes de recherches à développer pour pallier les insuffisances liées à la compréhension du fonctionnement de cet espace sensible.

La Loire, la Vilaine et leur bassin versant dans le réseau hydrographique français



Sources : SHOM - Bd Carthage du RNDE.

Réalisation : Jérôme Baudrier - laboratoire IFREMER DELMPL, 2002.

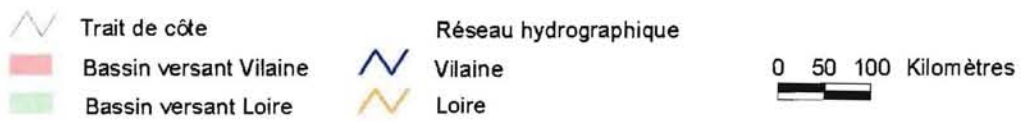


Figure 2 : La Loire et la Vilaine dans le réseau hydrographique français.

I. LES FLEUVES LOIRE ET VILAINE ET LEURS APPORTS AU MILIEU MARIN

La zone Loire Vilaine : exutoire de deux bassins versants dont l'étendue est considérable

Le bassin versant de la **Vilaine** s'étend sur **10 400 km²**, soit sur un tiers de la Bretagne. Il recouvre partiellement quatre départements (Ille et Vilaine, Côtes d'Armor, Morbihan, Loire Atlantique, ainsi que quelques communes de Maine et Loire et de Mayenne) dont la vocation est essentiellement agricole, avec prédominance de l'élevage bovin et hors-sol (porcs, volailles). La population est rassemblée dans les villes dont la plus importante est Rennes (250 000 habitants). Les industries sont localisées principalement dans les grandes agglomérations (Rennes, Vitré, Redon...).

La **Loire**, le plus long fleuve français (1 012 km), prend sa source dans le Massif Central, traverse en partie le Bassin Parisien et le Massif Armoricain avant de déboucher sur la côte atlantique. Ce fleuve et ses affluents drainent un bassin versant de **115 000 km²**, soit 1/5^{ème} du territoire métropolitain. L'estuaire de la Loire est une voie de pénétration de première importance. Il a été soumis à de nombreux aménagements qui, en modifiant sa morphologie, sont responsables des mécanismes hydrologiques et sédimentaires actuels.

Les bassins versants des deux fleuves sont marqués par l'activité humaine et reçoivent de nombreux rejets urbains, industriels et agroalimentaires, ainsi que les apports de pollutions diffuses (figure 2 : la Loire et la Vilaine dans le réseau hydrographique français).

Le barrage d'Arzal : ses conséquences sur le milieu naturel

Pour lutter contre les inondations fréquentes dans la région de Redon, un barrage a été construit à Arzal en 1970. Il a permis, par ailleurs, l'installation de la retenue d'eau de Férel de 50.10^6 m^3 qui alimente la presqu'île guérandaise, et le développement d'un tourisme nautique (Chapelle, 1991). Toutefois, les répercussions sur l'aval ont été insuffisamment évaluées. En réduisant de 50 à 10 km la longueur de l'estuaire, le volume oscillant de la marée a été diminué de 40 % et la vitesse des courants a été fortement abaissée (Le Hir *et al.*, 1986). Il en a résulté une accélération de l'envasement du chenal et des aires mytilicoles, un accroissement de la stratification verticale dans la baie et un déplacement vers la baie des fonctions estuariennes de dégradation de la matière organique et de consommation d'oxygène (Merceron, 1986).

Les aménagements réalisés sur le chenal de la Loire

Suite aux travaux d'approfondissement du chenal ligérien (creusement à la cote -13,25 m au lieu de -10 m) destinés à la construction du terminal méthanier au début des années 80, les conséquences principales ont été une remontée de la marée dynamique à Nantes. L'hypothèse d'une remontée saline légère reste controversée (Lehay, comm. pers.).

En revanche, les creusements du bassin de marée pour l'exploitation des granulats ont eut un impact dominant (70.10^6 m^3 extraits en 40 ans ; l'activité est stoppée depuis 1996). L'extraction des sédiments a entraîné un abaissement de la ligne d'eau du fleuve, une augmentation de la vitesse du courant et une accélération de l'érosion régressive entraînant la modification du profil d'équilibre du fleuve (Masson, 1987). Les nombreux aménagements ont ainsi modifié la morphologie de l'estuaire et fait évoluer ses limites hydrologiques (remontée des limites amont du front de salinité et du bouchon vaseux de plusieurs dizaines de kilomètres).

La Loire et la Vilaine : une forte variabilité saisonnière des débits, inscrite à l'intérieur de fluctuations annuelles importantes

La zone d'étude dépend fortement de l'influence des panaches de la Loire et de la Vilaine qui entraînent une variabilité importante des salinités dans les eaux côtières. Les débits moyens enregistrés sont de 80 m³/s pour la Vilaine et 890 m³/s pour la Loire. La variabilité saisonnière est extrêmement forte et soumise aux conditions climatologiques (figure 3). Avec les crues hivernales, les débits de la Vilaine dépassent les 400 m³/s, tandis que ceux de la Loire atteignent parfois 6 000 m³/s. Les périodes d'étiage estival sont prononcées (100 m³/s pour la Loire et débit quasi-inexistant en Vilaine).

Dans la figure 3, sont présentés les débits journaliers de la Loire à Montjean et de la Vilaine à Férel. Sources : Banque HYDRO/DIREN Centre-Bassin Loire-Bretagne. Extrait de Base de données IFREMER DEL AO pour la Loire ; Banque HYDRO/DIREN Centre-Bassin Loire-Bretagne – IAV pour la Vilaine.

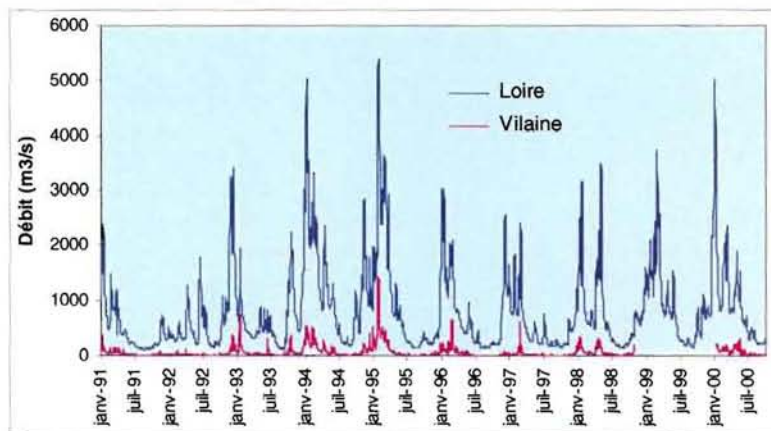


Figure 3 : Débits journaliers de la Loire et de la Vilaine (1991 – 2000).

La variabilité interannuelle est, de la même manière, directement liée aux facteurs météorologiques. A titre d'exemple, en 1992, le débit moyen de la Loire était de l'ordre de 500 m³/s, il atteint 1 000 m³/s en 1993 et 2 000 m³/s en 1988 et 1994. Quant à l'année 1995, elle a été marquée par des crues remarquables, dépassant les 5 000 m³/s (Loyer, 2001). En Vilaine, l'année 2000-2001 a été marquée par des crues centenales, exceptionnelles par les volumes en jeu et par leurs durées. Un synchronisme entre les périodes de crues des deux fleuves est observé.

Les apports en sels nutritifs : dépendance avec la climatologie

Les apports diffus, issus du lessivage et de l'érosion des terres, sont directement liés aux périodes d'étiages et de crues (tableau 1).

Débits (en m ³ /s)	100	800	3000
MES (t/j)	370	2960	11100
Ammonium (t/j)	0,8	6,4	24
Nitrites (t/j)	0,78	6,2	23
Nitrates (t/j)	134	1144	4290
Phosphore total (t/j)	2,6	20,8	78
Plomb (kg/j)	19	150	560

Tableau 1 : Variations des flux continentaux journaliers en amont de la Loire en fonction du débit observé. Sources : PANSN, 1991.

Les flux de nutriments observés sont à mettre en relation avec le débit des fleuves. Des concentrations en baisse pourront entraîner des flux plus importants lors des années humides. A contrario, les années sèches voient les apports dans le milieu marin diminuer.

Origine des sels nutritifs en Loire et Vilaine

Les concentrations en nitrate dans les rivières résultent en majeure partie des excédents azotés agricoles. Le phosphate provient de la dégradation de la matière organique et du lessivage des minéraux, mais sa principale origine est artificielle : engrais, rejets industriels et urbains (en particulier produits lessiviels).

- En **Vilaine**, 78 % du bassin versant est occupé par des terres agricoles (Moreau *et al.*, 1998). Pour l'azote, les flux annuels de sels nutritifs déversés dans la baie sont corrélés avec la superficie du bassin versant car il s'agit d'une origine essentiellement agricole (Clément, 1987). Pour le phosphore, Queguiner (1988) a mesuré une influence équivalente des rejets agricoles et des rejets urbains. L'état trophique du fleuve Vilaine, estimé par le SRAE (1984), est de type eutrophe. Les concentrations moyennes dans le fleuve sont fortes (tableau 2).

Nitrates	Azote total	Phosphates	Phosphore total	Matière organique
226 $\mu\text{mol N.L}^{-1}$ 14,01 mg.L^{-1}	335 $\mu\text{mol N.L}^{-1}$ 20,77 mg.L^{-1}	1,9 $\mu\text{mol P.L}^{-1}$ 0,18 mg.L^{-1}	7,4 $\mu\text{mol P.L}^{-1}$ 0,7 mg.L^{-1}	3,7 – 18 $\mu\text{mol C.L}^{-1}$ 0,04 – 0,21 mg.C.L^{-1}

Tableau 2 : Concentrations moyennes en azote, phosphore et matière organique dans le fleuve Vilaine. Sources : Clément, 1987.

- Dans l'estuaire de la **Loire**, les apports en azote (organique et minéral), phosphore, MES issus du bassin versant sont majoritaires par rapport aux rejets urbains et industriels des villes côtières (Nantes et St Nazaire). Toutefois, en période d'étiage, les apports par ces deux villes ne sont pas à négliger et ils peuvent constituer jusqu'à 40 % des flux de phosphore total dans l'estuaire externe. Les concentrations en nitrate dans la Loire sont supérieures à 400 $\mu\text{mol/L}$ (24,8 mg/L) en hiver et diminuent dès le printemps. Néanmoins, elles n'augmentent pas de façon significative avec l'importance du débit hivernal ; ceci caractérise une source continentale diffuse où le lessivage des sols joue un rôle important. Les concentrations en phosphate varient avec le débit et dépassent les 5 $\mu\text{mol/L}$ (0,47 mg/L) en hiver tandis qu'en été, elles oscillent entre 1 et 2 $\mu\text{mol/L}$ (0,09-0,19 mg/L) (Loyer, 2001).

Tendance évolutive des rejets

Depuis 1970, les nitrates montrent une tendance nette à l'augmentation (figure 4) en Vilaine. Concernant le phosphore, Queguiner (1988) note une augmentation des flux au cours des années 1980 sous l'effet de l'accroissement des débits et peut être de l'augmentation des apports.

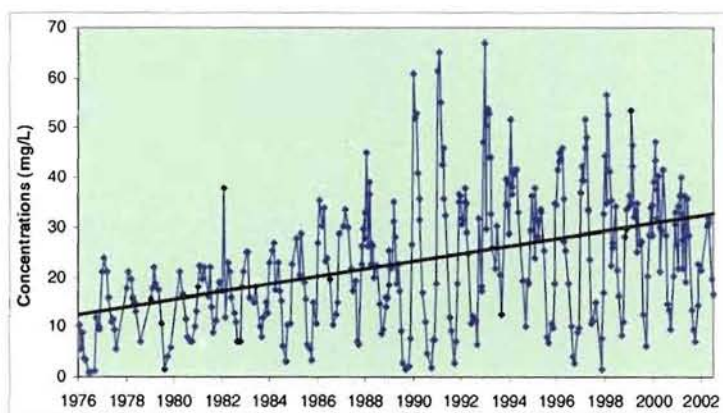


Figure 4 : Evolution des concentrations en nitrates mesurées en Vilaine, à la station de Rieux, entre 1976 et 2002. Sources : AELB.

De la même manière, une évolution croissante des concentrations en nitrate en amont de l'estuaire de la Loire a été notée depuis 1975 parallèlement à l'intensification de l'agriculture, et à cause de la faible rétention des excédents azotés par les sols. En revanche, pour le

phosphate, les concentrations restent stables, en partie du fait des grandes capacités de rétention des sols. Concernant les rejets industriels, les flux rejetés dans l'estuaire de la Loire se maintiennent dans la quasi-majorité des cas ; une amélioration a même été notée pour le phosphate, l'azote organique et les matières en suspension (Loyer, 2001).

Le calcul des flux, nécessaire à la reconquête de la qualité de l'eau

L'eutrophisation du milieu marin est due aux apports continentaux d'azote et accessoirement de phosphore, dont l'essentiel des tonnages est véhiculé par les fleuves. Il est donc primordial de connaître les quantités et leur évolution. La connaissance de ces quantités, et surtout de leurs différentes composantes, va permettre d'évaluer l'étendue du problème, d'identifier les origines (agriculture, industrie, urbanisation...) en relation avec les calculs des émissions polluantes, mais aussi de savoir si les politiques de réduction des apports mises en place sont efficaces.

Les flux annuels de sels nutritifs déversés dans le milieu marin par les deux fleuves sont importants. Ils sont de l'ordre de 16 000 tonnes d'azote et 1 030 tonnes de phosphore chaque année en Vilaine (Clément, 1987), ce qui correspond à des valeurs élevées comparées à celle des grands fleuves européens. Pour la Loire, à la fin des années 1970, le flux annuel d'azote était estimé à 67 000 tonnes et celui de phosphore à 3 900 tonnes (Sources : RNO).

Le SDAGE Loire-Bretagne : état des lieux

Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux du bassin Loire-Bretagne fixe les orientations fondamentales pour une gestion équilibrée de l'eau et une amélioration de la qualité des écosystèmes aquatiques, qu'ils soient continentaux ou littoraux. Pour cela, il définit les SAGE en identifiant en particulier les secteurs prioritaires (figure 5).

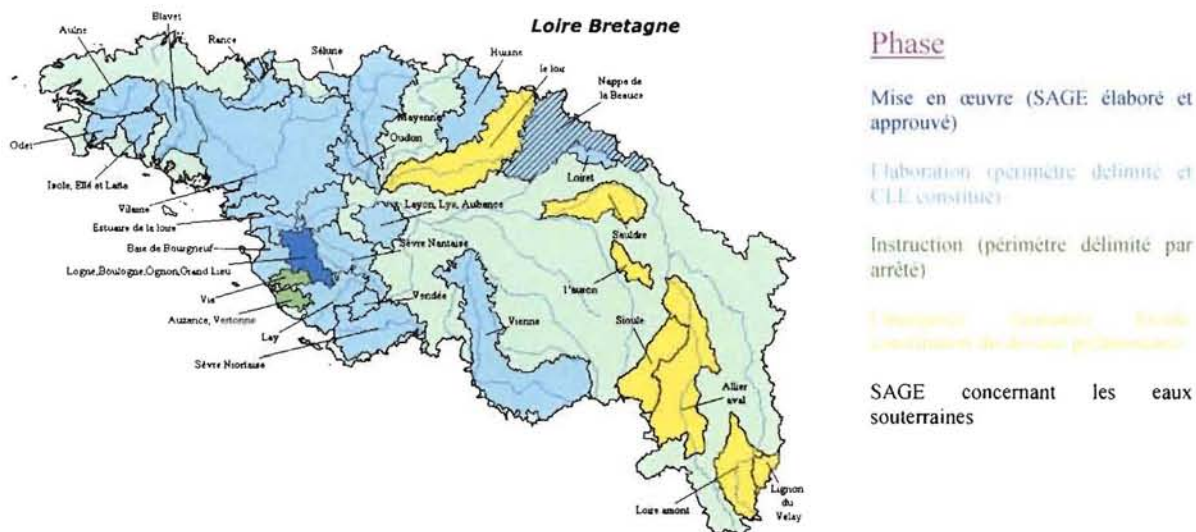


Figure 5 : Etat d'avancement des SAGE sur le bassin Loire Bretagne. Sources : <http://www.sitesage.org/lb.htm>

Les SAGE Vilaine et Estuaire de la Loire sont en cours d'élaboration. Le SAGE Vilaine prend en compte l'ensemble du bassin versant, le document définitif est prévu pour 2003. L'étendue du bassin versant de la Loire est telle qu'il existe plusieurs SAGE à son sujet. Pour l'estuaire de la Loire, le périmètre a été délimité et la CLE constituée. La loi impose que des objectifs de qualité des eaux et de quantité soient respectés en certains points définis sur chaque SAGE : les points nodaux. Le suivi régulier et continu sur ces zones permet le respect des objectifs fixés.

Dynamique sédimentaire

Les sédiments fins jouent un rôle majeur dans le transport des polluants. En moyenne, un tiers des sédiments transportés par suspension par les rivières sont piégés en permanence dans les estuaires. Environ **10⁶ tonnes** par an sont transportées par la Loire et la Vilaine. **600 000 tonnes** sont transférés au milieu marin chaque année (figure 6). La plupart des alluvions sont retenus sur le plateau continental. Les concentrations en matières en suspension varient de 10-20 mg près des côtes, à 1-5 mg au milieu du plateau (Castaing, 1981).



Figure 6 : Sédiments fins présents dans les fleuves et rivières de la côte Atlantique et transfert des matières en suspension à l'océan. Sources : Castaing, 1981.

Les concentrations des particules en suspension sont les plus fortes, aux embouchures des fleuves de la Loire et de la Gironde, où elles peuvent atteindre 100 mg/L durant les périodes de forts débits. Leur distribution et concentration sont actuellement suivies par télédétection satellitaire (Site Internet : file:///bart/COULEUR/browser/gasc/HTML/E_BROWSE.htm).

Les opérations de dragage sur les fleuves Loire et Vilaine

- En **Vilaine**, des dragages ont lieu une fois par an ou tous les deux ans. Ils sont réalisés à l'écluse du barrage d'Arzal. Les quantités prélevées sont approximativement de 20 000 m³. Les opérations ont lieu en hiver et à marée descendante, afin que la vitesse des courants soit suffisamment importante pour garantir le transport et l'exportation des sédiments (Sources : IAV).

- En **Loire**, les opérations de dragage sont réalisées par le PANSN et correspondent à l'ensemble du chenal de navigation entre Nantes et l'extrémité du chenal en mer (69 km), ainsi que les installations afférentes aux différents sites portuaires. Le recours à ces opérations s'explique par différents facteurs, dont le plus important est le respect des conditions de sécurité de la navigation.

Entre 1992 et 1999, les volumes dragués ont atteint un maximum de 15 millions de m³ en 1996, la moyenne annuelle étant aux alentours de **8-10 millions de m³**. Ils ont subi un accroissement important depuis 1993 (SOGREAH et In Vivo Environnement, 2002). Ces volumes sont indicatifs, l'hydraulicité de la Loire jointe aux contraintes économiques peut en effet induire des fluctuations.

La zone principale de clapage se situe au sud du plateau de la **Lambarde** à environ 22 km de St Nazaire. Les immersions sont une voie de transfert pour des polluants de nature microbiologique, tels que bactéries, virus ou kystes de dinoflagellés toxiques, et de substances chimiques diverses. Elle font donc l'objet d'une stricte réglementation.

Une demande de permis d'immersion des déblais de dragage pour un volume de 10 millions de m³ est en cours d'instruction. Le PANSN utilise aussi des zones de l'estuaire, naturelles ou artificielles, afin d'y déposer provisoirement des matériaux dragués (zone amont du Pont de St Nazaire, zone de clapage de Nantes –Le Pellerin, zone de dépôt à terre Chéviré).

La surface de la zone de la Lambarde est de 5 900 ha. Les volumes actuels qui y sont immergés sont en moyenne de 6 millions de m³ par an. L'analyse des incidences de clapage a fait l'objet d'une étude récente (SOGREAH, 2001). L'analyse des impacts de rejets de dragage a montré que le site d'immersion était suffisamment éloigné des secteurs utilisés pour les activités humaines et des zones sensibles et protégées. L'immersion sur ce site aurait une faible incidence sur les activités humaines et le milieu naturel.

Impact des panaches des fleuves sur la zone d'étude

L'ensemble du secteur Quiberon-Noirmoutier est sous l'influence des panaches de la Loire et de la Vilaine. La baie de Bourgneuf est moins touchée par les panaches fluviaux. En effet, les champs de courants résiduels font clairement apparaître l'absence d'un courant dirigé de l'estuaire externe de la Loire vers la baie de Bourgneuf. Les interactions sont donc occasionnelles et liées à la fois aux conditions météorologiques et hydrologiques (Lazure, 1992).

En revanche, elles pénètrent en baie de Vilaine fréquemment. Les eaux de la Vilaine enrichissent et dessalent le fond et le côté nord de la baie tandis que celles de la Loire en crue ont des effets sur la périphérie de la baie, principalement aux abords de l'île d'Hoëdic. Mais lors de certaines conditions climatologiques (vents de secteur sud) il est probable que les eaux dessalées par les apports de la Loire parviennent jusqu'aux environs de la rivière de Pénerf (Maggi *et al.*, 1986), et de la presqu'île de Quiberon.

L'importance des volumes d'eau échangés entre le Golfe du Morbihan et le reste du Mor Bras implique la pénétration des eaux fluviales qui viennent enrichir ses eaux (en période de mortes-eaux, le volume moyen transitant à chaque marée par Port Navalo est de 495 millions de m³, il s'élève jusqu'à 530 millions en période de vives-eaux ; Marcos *et al.*, 1995).

Le milieu côtier s'étendant de Quiberon à Noirmoutier est sous la dépendance des panaches de la Loire et de la Vilaine. La qualité des eaux fluviales conditionne donc celle des eaux littorales. Les variabilités saisonnières et interannuelles des débits observés et dirigés par la climatologie entraînent des conséquences primordiales sur le fonctionnement de l'écosystème marin. Celles-ci seront analysées dans l'étude hydrologique des eaux côtières. Auparavant, il est nécessaire de caractériser le milieu physique étudié.

II. LE MILIEU PHYSIQUE

II.1. CLIMATOLOGIE

Un climat fortement influencé par le milieu marin

Le climat de la zone Loire Vilaine se classe parmi les climats tempérés océaniques de la façade atlantique de l'Europe. Son étude est nécessaire car elle conditionne largement l'évolution de la structure hydrologique et hydrodynamique du secteur étudié. L'influence des vents et des courants marins modère les variations diurnes et saisonnières des températures, elle explique aussi en partie les brusques changements de temps observés.

Des températures modérées l'été, un climat doux en hiver

La température moyenne calculée (à partir des données décennales) à Vannes sur la période 1976-1999 est de 12,2°C (figure 7). Il n'y a pas de trop fortes gelées en hiver et pas d'échauffements excessifs en été : le rôle **modérateur** de la mer apparaît (échanges océan-atmosphère). Les données sur la période 1961-1990 montrent qu'il gèle en moyenne 9 jours par an à Belle Ile, 34 jours à Vannes et 35 à Nantes (Sources : Météo France).

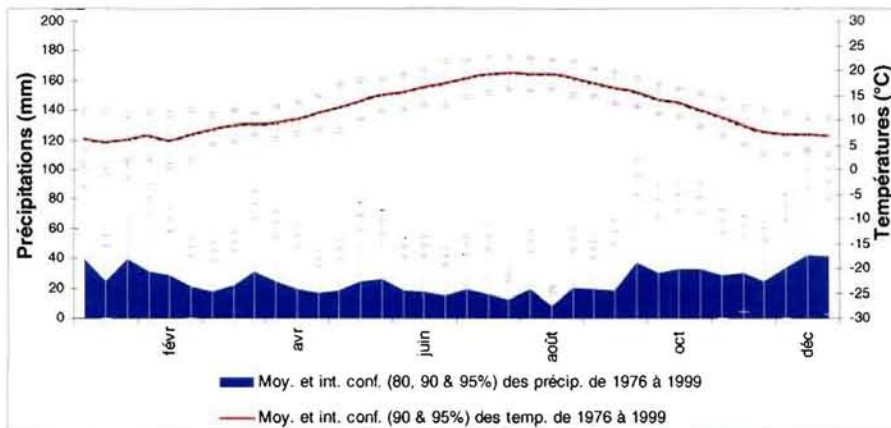


Figure 7 : Moyenne des températures et précipitations décennales à la station de Vannes (années 1976 – 1999). Sources : Météo France.

Le littoral moins pluvieux que les régions intérieures

La moyenne annuelle calculée à Vannes sur la période 1976-1999 est de 877,6 mm (figure 7). Décembre et janvier sont les mois les plus pluvieux. A Nantes, la pluviométrie annuelle minimale relevée est de 546 mm en 1953. Le maximum enregistré atteint 1 062 mm en 1966. Par comparaison, il pleut en moyenne 166 jours par an à Belle Ile, 158 à Vannes et 168 à Nantes, tandis que Rennes en compte 175 et Rostrenen 204. Les collines intérieures contrastent avec le littoral dont la pluviométrie est l'une des plus faibles de France.

Des vents de sud ouest à ouest qui prédominent une grande partie de l'année

Selon Castaing (1981), la direction des vents dominants permet de distinguer quatre types de temps principaux groupés en « temps anticycloniques » (figures 8a et 8b) et « temps dépressionnaires » (figures 8c et 8d).

- **le régime d'est à sud** (figure 8a) représente la situation la plus fréquente en été et au début d'automne. Les perturbations contournent l'anticyclone océanique qui déborde sur le continent européen et n'affectent généralement pas la France. Le temps est sec, les températures assez élevées, les vents faibles et la mer belle, mais on note la présence de houles longues provenant du large.

- Les types de **temps de nord-est à est** s'observent lorsque la zone anticyclonique se développe de façon méridienne (figure 8b), ce qui est le plus fréquent à la fin de l'hiver et au printemps. La circulation des masses d'air se fait dans le sens nord-sud. Ce sont des situations de mauvais temps, la mer est instable, des coups de vents de nord-est à est surviennent fréquemment provoquant des mers fortes.

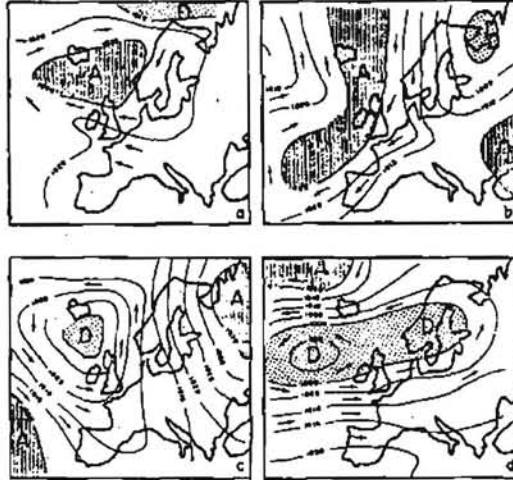


Figure 8 : Les régimes de temps dominants sur l'Atlantique. Sources : Castaing, 1981.

- Les types de **temps de nord-ouest à nord** s'observent lorsque l'anticyclone est centré au nord des Açores et la zone dépressionnaire sur la mer du Nord (figure 8c). Ces perturbations ont lieu en toutes saisons mais avec un maximum d'intensité en hiver où elles se succèdent alors à un rythme rapide. A l'avant et au passage des dépressions, les vents sont de sud ouest à ouest. Ils amorcent ensuite une rotation : les vents de nord ouest à l'arrière des perturbations sont irréguliers et soufflent en rafales ; la mer est agitée à forte avec des houles importantes.

- Les **régimes d'ouest** (figure 8d) sont courants en Europe occidentale durant toute l'année (ils représentent le tiers des types de temps). Ils ont lieu lorsque la circulation s'effectue d'ouest en est en bordure des hautes pressions de l'Europe du Sud. En hiver, leur importance relative s'accroît. Les régimes d'ouest donnent fréquemment des tempêtes, notamment sur la côte atlantique où la mer est alors forte ou très forte.

Le diagramme ci-contre (figure 9) présente la rose des vents de la station de Lann-Bihoué (Lorient) pour la période 1951-1980. Les vents dominants proviennent bien du sud-ouest. Viennent ensuite les vents de nord-est principalement au printemps.

Les vents forts sont fréquents et surviennent tous les mois de l'année. La fréquence est de 6 à 8 jours par mois en automne - hiver, et de 1 à 4 jours par mois les autres saisons pour ce qui concerne les vents supérieurs à 16 m/s. Les périodes de calme (vitesse du vent au sol inférieure à 2 m/s) représentent 10 % du temps de l'année.

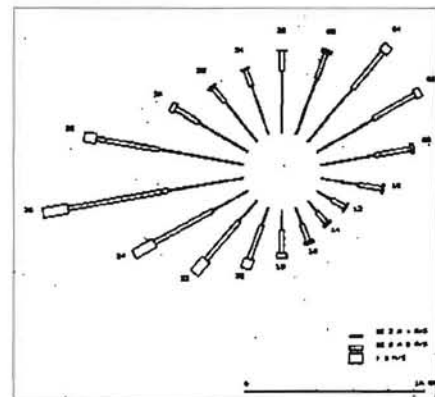
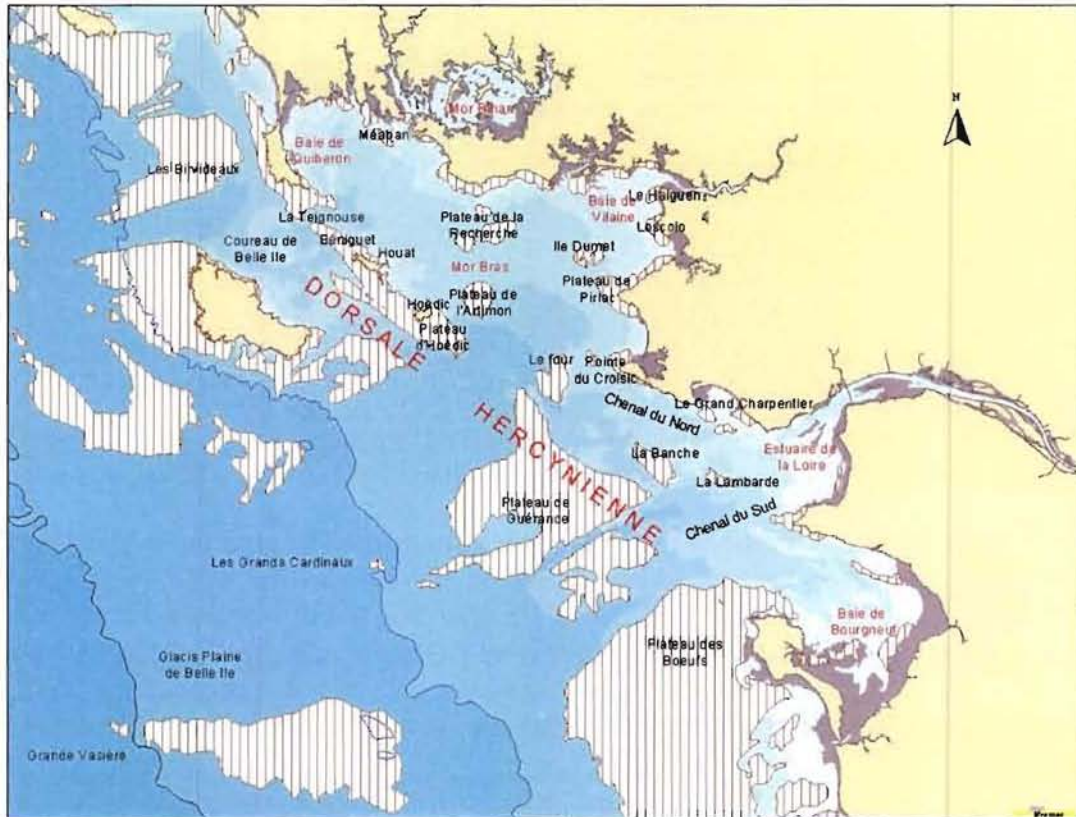


Figure 9 : Rose des vents à Lann Bihoué. Sources : Météo France

Géomorphologie du secteur Loire Vilaine



Réalisation : Jérôme Baudrier - laboratoire IFREMER DEL/MPL, 2002.

Sources : SHOM - BRGM.

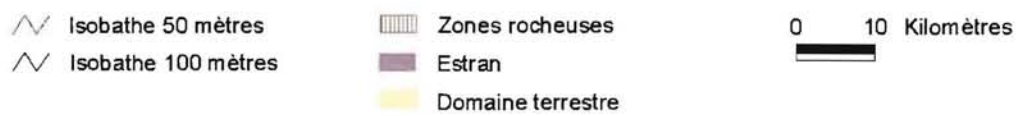


Figure 10 : Description géomorphologique du secteur Loire Vilaine.

Pour le secteur Belle Ile – Noirmoutier, Darchen (1974) a réalisé une étude à partir des observations effectuées au sémaphore « Le Talut » à Belle Ile au cours de la période 1951-1960. La présence des types de temps dépressionnaires est bien notée sur toute l'année et avec un maximum d'intensité en hiver. D'autre part, les types de temps anticycloniques de régime nord est à est peuvent s'observer également à la fin de l'hiver et au printemps.

Une houle très présente dans le Golfe de Gascogne

L'amplitude de la houle est directement liée aux éléments climatologiques et surtout au vent, de plus il faut relever la proportion de vents de secteur sud-ouest à nord-ouest capable de lever une houle importante et orientée vers le littoral. Il apparaît alors une fréquence hivernale non négligeable de vents forts de secteurs sud ouest à nord ouest de novembre à février (Cassanet, 1981). En ce qui concerne le large, les résultats du modèle de la Météorologie nationale qui simule l'évolution de la houle sous l'action du vent en différents points du Golfe de Gascogne montrent que les houles prédites sont rarement inférieures à 1,5 m et que leur hauteur excède rapidement 3 m pendant les mois d'été.

Le régime hydraulique des fleuves Loire et Vilaine se caractérise par une grande variabilité aux échelles saisonnières et annuelles, variabilité directement liée à celle des conditions météorologiques de la région. De l'ampleur des précipitations et des crues hivernales engendrées dépendra la quantité d'éléments nutritifs apportés au milieu marin et nécessaire par la suite au développement de la production primaire, maillon indispensable de la chaîne alimentaire.

II.2. GEOMORPHOLOGIE DE LA ZONE LOIRE VILAINE

Deux grandes régions morpho-sédimentologiques bien distinctes

L'essentiel de la description des caractéristiques géomorphologiques du secteur allant de Quiberon à Noirmoutier a été tiré des travaux de Vanney (1977). Le domaine armoricain est constitué de deux grands ensembles (figure 10) :

- Vers le large, une « *échine dorsale rocheuse hercynienne* » d'où émergent les hauts fonds et les îles de Houat, Hoëdic, Belle Ile et Noirmoutier. Cette barrière joue un rôle important dans la limitation des échanges entre la zone côtière et la mer (Jegou et Salomon, 1988).
- Touchant les côtes, une *dépression pré-littorale*, formée d'une série de cuvettes peu profondes ; ce sont la *baie de Quiberon*, la *baie de Vilaine*, l'*estuaire de la Loire*, et la *baie de Bourgneuf*.

Le prolongement nord aquitain fait suite au domaine armoricain. Il est occupé dans sa partie médiane par la « *grande vasière* », puis dans sa partie interne en contact avec le socle armoricain, par une série de terrasses fluviales anciennes, dites « *glacis-plaines* ».

L'échine dorsale hercynienne : un rempart efficace contre les houles du large

La dorsale pré-littorale, d'orientation NW-SE, s'étend du sud du pays bigouden à l'est de Hoëdic (Pinot, 1974). Elle est constituée des *chaussées bretonnes* comprenant les îles et coureux, ainsi que des *plateaux vendéens* plus au sud.

L'encadrement rocheux du *coureau de Belle Ile*, caractérisé par la présence d'accumulations sédimentaires, est essentiellement constitué par deux formations différenciées : les *chaussées*

de Quiberon (la *Teignouse*, *Béniguet*, *Houat*, *Hoëdic*...) et les roches de l'ouest et du sud : c'est d'abord le grand ensemble des *Birvideaux*, puis vient ensuite la grande voûte anticlinale de Belle Ile.

Les différents plateaux sont successivement du Nord au Sud : le *plateau du Four et de la Banche*, le *plateau de Guérande* et la *chaussée des Bœufs* à l'ouest de Noirmoutier. Cet ensemble forme l'une des plus vastes surfaces rocheuses des côtes atlantiques françaises.

Les dépressions littorales : cuvettes de décantation colmatées de sédiments sablo-vaseux

Collectant les eaux des fleuves côtiers, la dépression pré-littorale subit directement les influences estuariennes de la Vilaine et de la Loire. On peut y distinguer deux régions à caractéristiques locales différentes : le *Mor Bras* et l'ensemble des *chenaux pro-ligériens*. Les différences sont estompées sous l'effet égalisateur de l'envasement. Le *Golfe du Morbihan* apparaît comme une identité propre dans cet ensemble.

La baie de Quiberon est la partie occidentale la moins creuse du *Mor Bras*, sauf aux abords des chaussées méridionales. Lemoine (1989) y estime un taux de sédimentation annuelle d'environ 0,5 à 1 cm / an. La baie de Vilaine est une dépression plus ample où la faiblesse de l'hydrodynamisme explique l'importance qu'y revêt l'envasement. Diverses marges rocheuses et caps se distinguent : pointe du *Halguen*, de *Loscolo*, du *Croisic*, plateau de *Piriatic* et le haut fond de *Dumet*. La dépression croisicaise est l'une des plus vastes dépressions de vase fine existant au voisinage des côtes atlantiques françaises.

Les *chenaux pro-ligériens* sont constitués de trois dépressions ayant un certain nombre de traits communs liés au voisinage de la Loire. Le *chenal du nord* et le *chenal du sud* sont largement ouverts vers le large, tandis que la baie de Bourgneuf est partiellement isolée des influences océaniques. Le *chenal du sud* se compose de l'embouchure de la Loire (ou estuaire externe) et du *chenal extérieur* appelé les Bouquets.

Si la région des Bouquets connaît une stabilité certaine, il n'en est pas de même pour l'embouchure de la Loire qui pose, pour la navigation maritime, un grave problème. La *Baie de Bourgneuf* présente une individualité très marquée. En effet, protégée des houles du large par l'île de Noirmoutier, elle est par contre le siège d'échanges avec les eaux d'origine ligériennes du fait de sa large ouverture vers le nord ouest. Elle communique avec l'océan par un étroit passage, le goulet de Fromentine.

Les régions centrales ou le véritable commencement de l'océan Atlantique

Les régions situées entre la côte sauvage de Belle Ile et approximativement les isobathes 80 – 90 m sont occupées par de nombreuses roches isolées. Fait alors suite la partie médiane de la plate-forme constituée de deux types de fond : des « sables et graviers roux piquetés de noir » dans les régions appelées *glacis plaine*, de la « vase molle » dans la partie située plus au large et dénommée « *Grande Vasière* ». Le *glacis-plaine* de Belle Ile est parfaitement limité par la présence de plateaux rocheux à l'amont et de vase à l'aval.

La présence de la dorsale hercynienne sépare les régions typiquement côtières du domaine plus océanique. Elle conditionne l'hydrodynamisme, globalement faible au sein des dépressions pré-littorales, ce qui renforce encore plus l'influence des panaches de la Loire et de la Vilaine dans ces secteurs abrités.

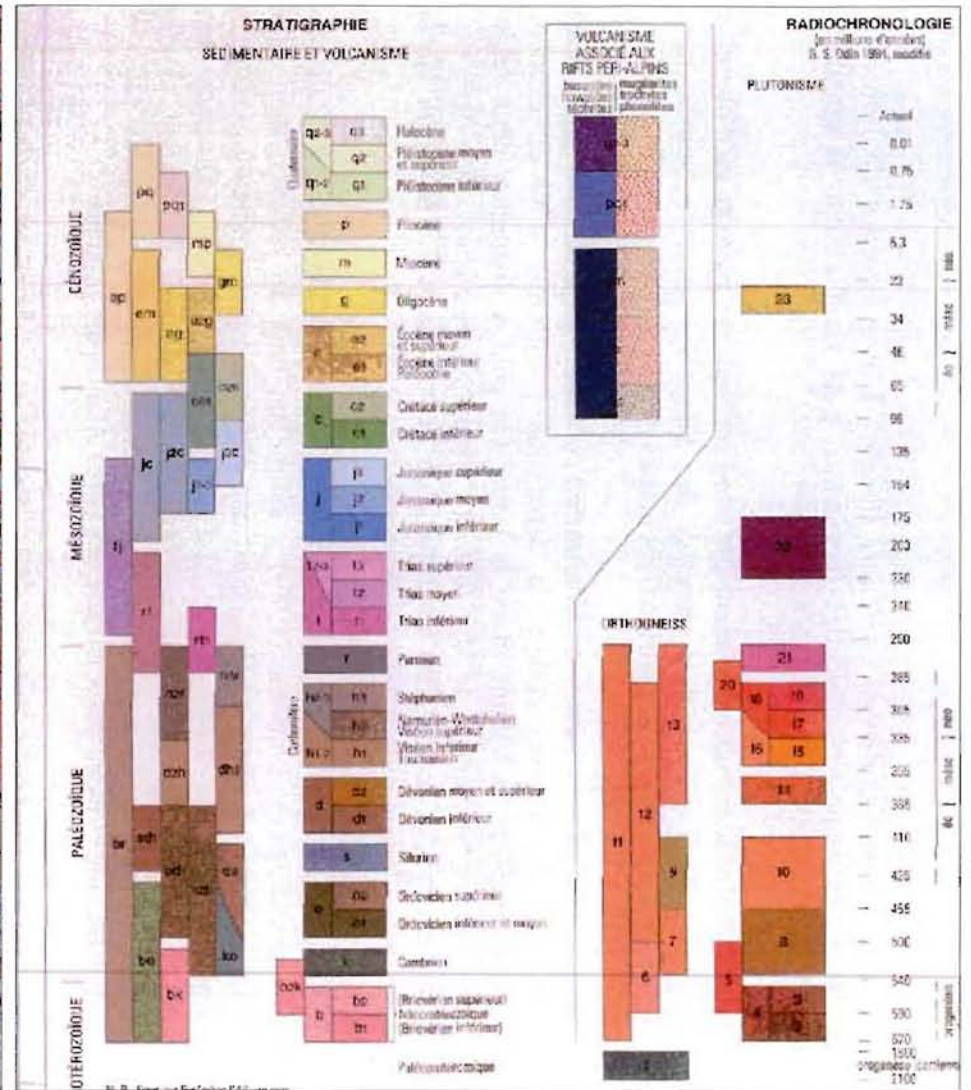
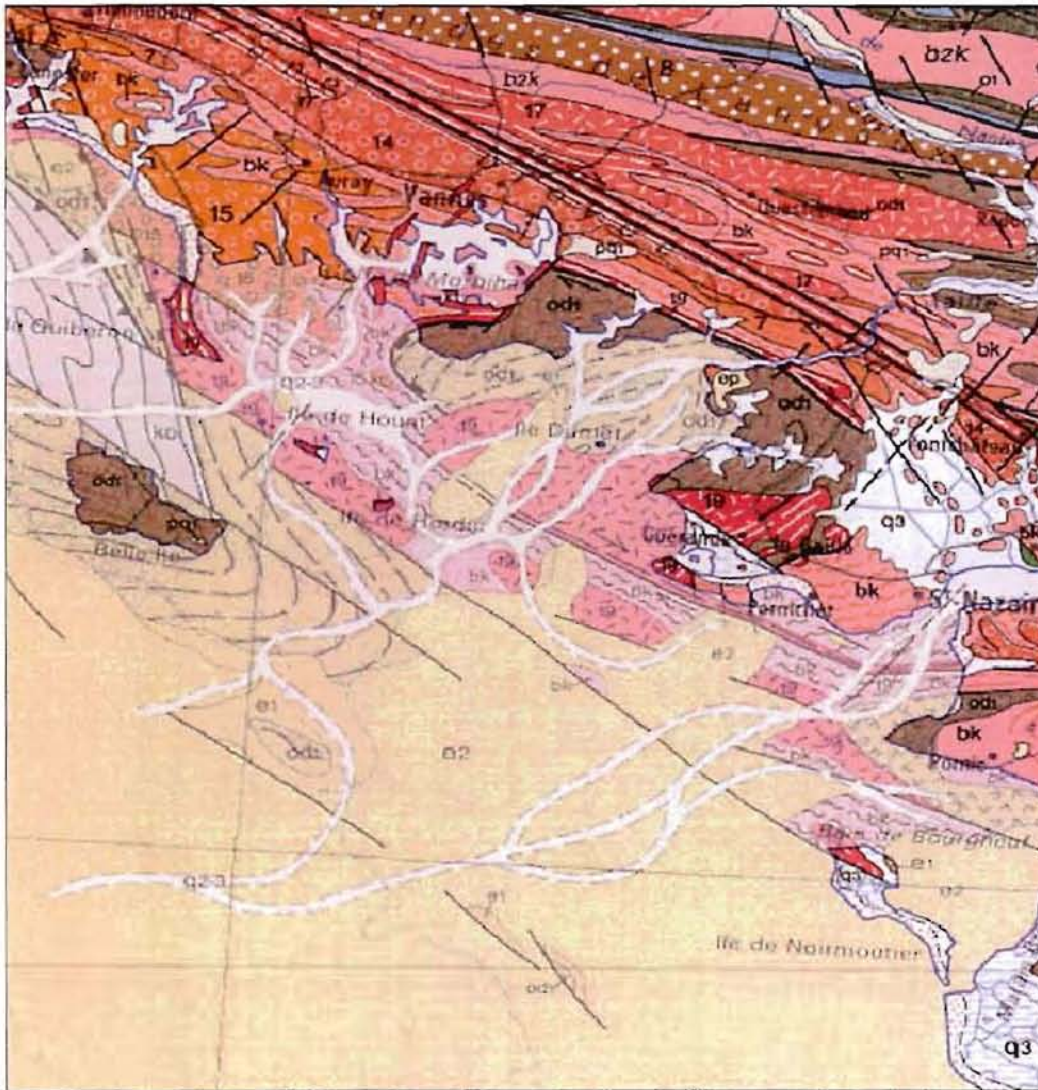


Figure 11 : Carte géologique du secteur Loire Vilaine (Sources : BRGM).

II.3. GEOLOGIE DU SECTEUR LOIRE VILAINE

Une compartimentation nette : la zone pré littorale et le plateau continental

Le précontinent armoricain comprend une zone pré littorale façonnée dans les roches du socle hercynien et un plateau externe constitué d'une couverture de terrains secondaires et tertiaires (figure 11). La zone pré littorale n'est que le prolongement des terres émergées et porte de nombreuses traces de **palléovallées**, sa morphologie est très irrégulière et présente de nombreux reliefs façonnés dans les roches du socle. Le plateau continental, modelé aux dépens des roches post-paléozoïques généralement calcaires, ne présente que des reliefs modérés (Hommeril *et al.*, 1972).

Le socle armoricain immergé

Le socle submergé entre les îles des Glénans et Noirmoutier est constitué essentiellement de roches cristallophylliennes (micaschistes et gneiss) et de granitoïdes variés. Les matériaux cristallophylliens permettent de distinguer trois groupes principaux : le groupe de Belle Ile, le groupe de la Vilaine, le groupe de Noirmoutier. Le groupe de Belle Ile est caractérisé par une masse de schistes et de grès. Le groupe de la Vilaine comprend des micaschistes à muscovite, chlorite, quartz et biotite. Le métamorphisme de haut degré (basse à moyenne pression/haute température) caractérise principalement les gneiss de Noirmoutier, ainsi que les micaschistes du groupe de la Vilaine (Audren et Jegouzo, 1975).

La baie de vilaine présente une couverture sédimentaire reposant sur un substratum constitué soit de roches magmatiques et métamorphiques mises en place lors de l'orogénèse hercynienne, soit de roches sédimentaires éocènes (Horn *et al.*, 1966). Les principaux affleurement de leucogranites sont localisés en rade du Croisic et au sud de l'île Dumet ; ils forment enfin une échine discontinue de la presqu'île de Quiberon au nord de l'île de Noirmoutier (Audren et Lefort, 1977). L'alignement rocheux unissant Quiberon à Houat est tout entier taillé dans les granites à deux micas.

La couverture sédimentaire post-paléozoïque

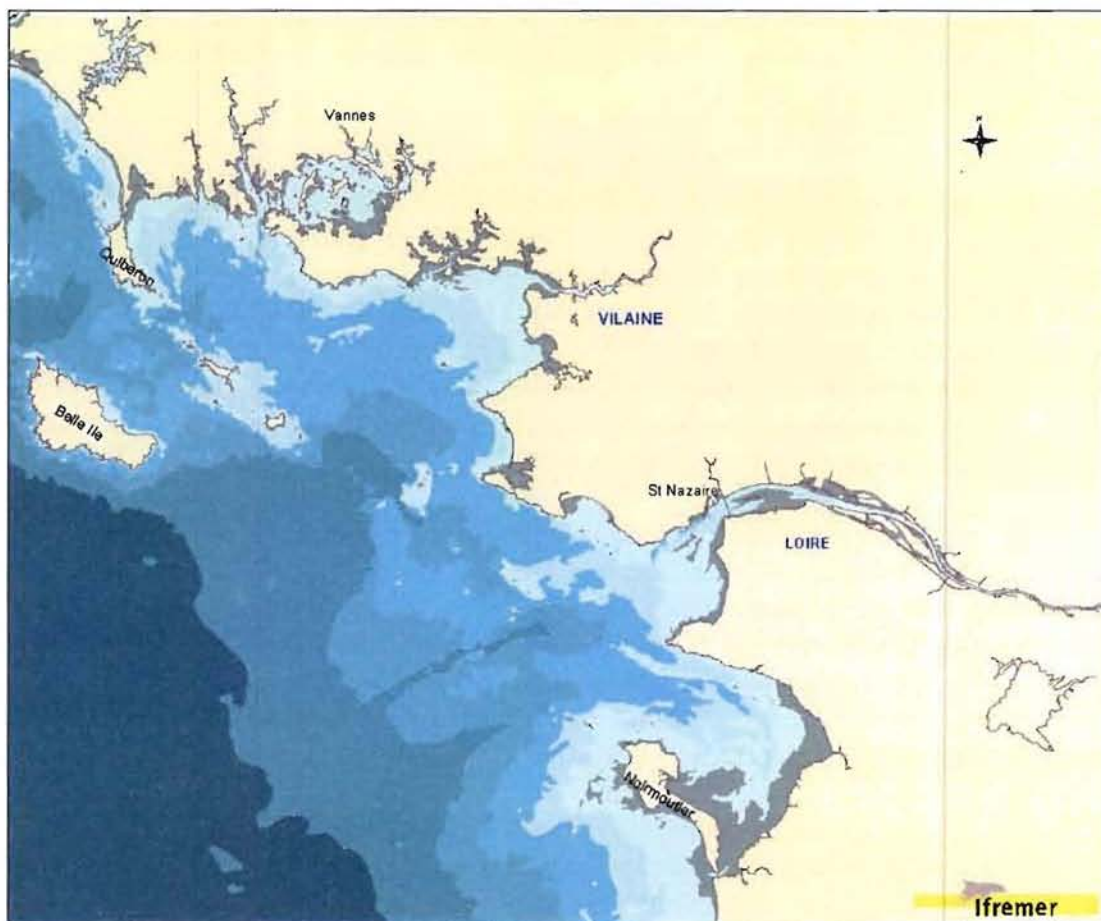
La couverture sédimentaire post-paléozoïque ceinture le socle armoricain pour émerger dans l'île de Noirmoutier. La démarcation est constituée pour l'essentiel par des formations tertiaires lutéciennes. Elle se présente sous la forme d'un prisme sédimentaire s'épaississant assez régulièrement vers le large, depuis l'Yprésien jusqu'au Pliocène.

Au SE d'une ligne passant approximativement par l'embouchure de la Loire, et les confins NW des îles de Noirmoutier et d'Yeu, cette disposition se complique quelque peu par la remontée du socle à Yeu et Rochebonne et l'apparition d'assises sédimentaires plus anciennes datant du Jurassique et du Crétacé supérieur (Bouysse et Horn, 1972).

L'histoire géologique du secteur côtier allant de Quiberon à Noirmoutier a été en partie déterminée par les fleuves Loire et Vilaine. En effet, les anciennes vallées ont influencé les faciès sédimentaires actuels, particulièrement ceux de la dépression pré littorale.

Il y a 10 000 ans par exemple, l'ancienne ligne de rivage se situait au sud de Quiberon et d'Hoëdic. Les trois rivières d'Auray, de Vannes et de Noyal confluaient à la sortie du Golfe du Morbihan et constituaient un affluent de la Vilaine qui se jetait dans la mer au passage de la Teignouse. Les divers épisodes de régression/transgression ont donc marqué la géologie du secteur d'étude.

Bathymétrie du secteur Loire Vilaine



Sources : SHOM.



Figure 12 : Bathymétrie du secteur côtier Loire Vilaine.

Réalisation : Jérôme Baudrier - laboratoire IFREMER DELMPL, 2002.

II.4. BATHYMETRIE

La caractéristique essentielle de la bathymétrie dans le secteur Loire-Vilaine est sa faible profondeur. En effet, les dépressions pré littorales ne dépassent jamais 20 m (figure 12). Les profondeurs maximales sont trouvées au sud de Belle Ile où l'isobathe 50 m fait rapidement suite à ceux de 20 et 30m.

La faiblesse de la bathymétrie enregistrée dans l'ensemble des dépressions littorales implique que l'ensemble de la colonne d'eau réagira plus rapidement aux variations hydrologiques (température, salinité...) et présentera une homogénéité plus grande. Cependant, la stabilité des masses d'eaux est aussi influencée par les conditions hydrodynamiques rencontrées.

II.5. HYDRODYNAMISME

Un hydrodynamisme complexe...

Les études menées lors des vingt dernières années (Langlois, 1982 ; Lazure, 1992 ; De Nadaillac et Breton, 1986 ; Lazure et Salomon, 1991 ; Salomon et Lazure, 1988) ont permis de cerner les principaux traits de la circulation marine dans le Mor Bras et à ses abords.

La région Loire Vilaine est très complexe au plan de l'hydrodynamisme car plusieurs facteurs indépendants s'y combinent. La **marée**, par son action quotidienne, induit une circulation particulière. La **Loire** et la **Vilaine** interviennent par les volumes d'eau qu'ils apportent et les gradients de densité générés. Les **facteurs météorologiques** tiennent une place non négligeable : l'ensoleillement est assez fort en période estivale et entraîne une stratification thermique saisonnière du printemps à l'automne qui se superpose à la stratification haline générée par les cours d'eau ; le vent joue un rôle notable et est par essence très changeant.

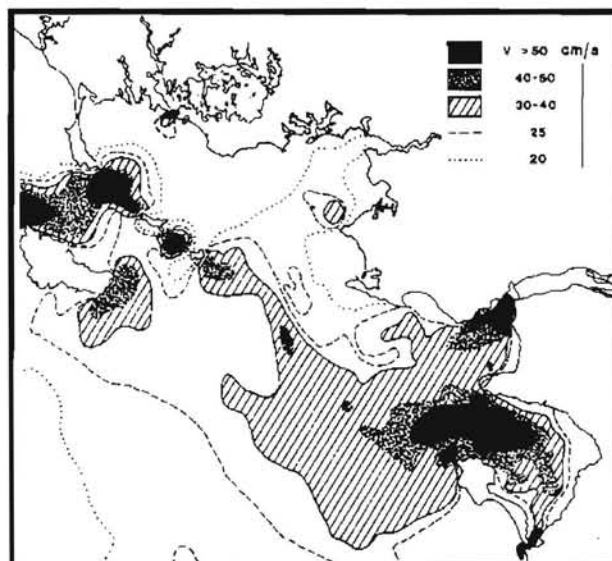
Le rôle de la marée

L'influence de la marée est beaucoup moins forte qu'en Bretagne Nord, où elle permet un mélange de la masse d'eau sur la verticale durant toute l'année. La marée est semi-diurne sur le plateau continental atlantique et possède les caractéristiques d'une onde stationnaire légèrement progressive du sud vers le nord. Elle apparaît comme l'un des principaux facteurs dynamiques du secteur Loire Vilaine, mais son influence est spatialement inégale.

Les courants de marée les plus violents ($> 50 \text{ cm.s}^{-1}$) sont situés sur le passage et la chaussée de la Teignouse, à l'entrée du Golfe du Morbihan, dans le goulet de Fromentine, ainsi que dans l'estuaire de la Loire (figure 13).

Entre les îles et Noirmoutier, les courants instantanés sont assez forts, puis décroissent à nouveau au large.

Figure 13 (ci-contre) : Carte de distribution de la vitesse maximale des courants de marée dans le secteur Loire-Vilaine, en condition de marée moyenne (coefficient 70) (d'après Salomon et Lazure, 1988).

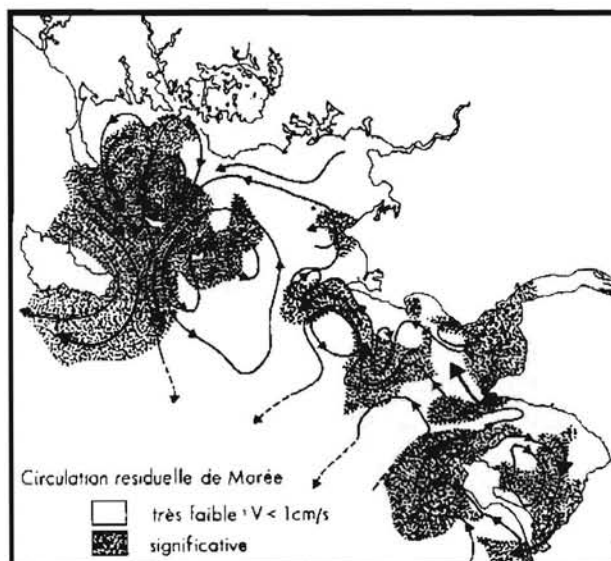


L'intensité des courants de marée est faible dans le Mor Bras (la vitesse maximale des courants pour une marée moyenne ne dépasse pas 25 cm.s^{-1}).

Le **courant résiduel** dû à la marée seule est faible au large et pratiquement nul dans la baie de Vilaine (figure 14).

A l'exception de la Baie de Quiberon, le Mor Bras n'est le siège que de courants très faibles, inférieurs au centimètre par seconde. Par périodes de vent calme et de débit fluvial faible, les masses d'eau sont donc quasiment stagnantes et leur renouvellement très lent.

Figure 14 (ci-contre) : Schéma de circulation résiduelle de marée (d'après Salomon et Lazure, 1988).



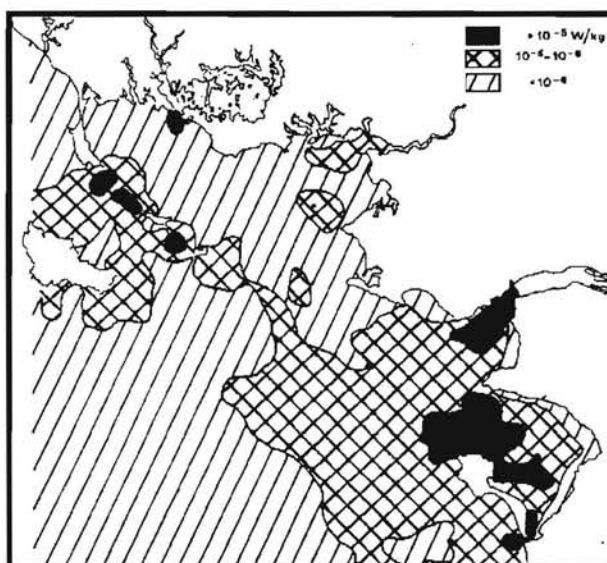
La modélisation numérique bidimensionnelle de la marée a montré que les courants résiduels de marée étaient significatifs autour de Belle Ile, au voisinage de l'estuaire de la Loire et au fond de la baie de Bourgneuf. La chaussée des îles se signale également par une série de tourbillons : tourbillons cycloniques centré sur la Teignouse, à l'est d'Hoëdic et à l'ouest d'Houat, et tourbillons anticycloniques au nord d'Houat, autour d'Hoëdic, sur le plateau du Four, la Banche, et surtout le Pilier et les Bœufs.

L'effet de l'énergie dissipée par la marée sur la colonne d'eau

La marée est le facteur dominant en baie de Bourgneuf alors qu'elle devient beaucoup plus faible dans la baie de Vilaine, où la circulation induite par le vent est prépondérante.

Le calcul de l'énergie dissipée par unité de masse permet de distinguer trois zones (figure 15).

Figure 15 (ci-contre) : Carte de distribution de l'énergie dissipée par la marée dans le secteur Loire-Vilaine, en condition de marée moyenne (coefficient 70) (d'après Salomon et Lazure, 1988).



- une zone favorable à l'installation d'une stratification thermique estivale précoce et marquée (énergie dissipée $< 10^{-6} \text{ W.Kg}^{-1}$). Il s'agit du Mor Bras et de la zone du large.
- une zone où la densité d'énergie turbulente produite par les courants de marée est la plus grande ($P > 10^{-5} \text{ W.Kg}^{-1}$) : le secteur des îles, l'estuaire de la Loire et la Baie de Bourgneuf. Dans ces zones, il y a une situation mélangée permanente.

- une zone de transition correspondant à une stratification tardive au printemps et à une homogénéisation automnale précoce.

En période d'établissement ou de disparition des structures thermiques, le Mor Bras et l'estuaire de la Loire, stratifiés (ce dernier à cause du débit fluvial), se trouvent isolés des zones du large également stratifiées, par la barrière d'eau mélangée qui s'étend de Quiberon à Noirmoutier.

L'importance du vent en Baie de Vilaine

Compte tenu du rôle négligeable de la marée dans la circulation du Mor Bras, la circulation résiduelle est essentiellement dominée par le vent en baie de Vilaine. Il interagit fortement avec la bathymétrie. Dans des conditions de vent soutenu de secteur nord-est ou sud-ouest, les temps de renouvellement des eaux peuvent être très faibles. Les conditions climatiques de cette zone, surtout en période estivale, semblent donc favorables au maintien des eaux dans la Baie de Vilaine (le nombre de jours de vents faibles ou nuls varie selon les saisons).

Le rôle considérable de la circulation haline en période de crue

La circulation induite par les gradients de densité est faible généralement, sauf en période de crue, où les gradients de densité dus aux apports massifs d'eau douce peuvent donner lieu à une circulation thermohaline importante. Une circulation des eaux de surface est observée, elle est principalement dirigée vers l'ouest et le nord ouest à la sortie des estuaires de la Loire et de la Vilaine. Les courants de densité sont du même ordre de grandeur que ceux créés par un vent moyen. Les panaches issus des deux fleuves, sont en partie dépendants de l'intensité, de la direction et de la persistance du vent.

Une circulation générale régie par tous ces facteurs

Les eaux marines pénètrent dans le secteur d'étude selon deux voies : depuis le nord ouest entre Quiberon et Belle Ile ; depuis le Sud-Est, au large de Noirmoutier. Le retour de ces eaux vers le large s'effectue au Sud-Est de Belle Ile, par le goulet de Fromentine, et dans la zone centrale au large du Croisic. Cependant, s'il est vrai que les eaux ne peuvent que sortir par Fromentine et entrer par la Teignouse, tous les cas de figures sont possibles pour le reste en fonction du vent.

Les eaux marquées par la Loire (hors débit de crue) descendent dans l'estuaire en direction de la pointe de St Gildas, pénètrent peu en baie de Bourgneuf. La salinité de la baie est néanmoins plus influencée par les eaux de la Loire que par les petits cours d'eau s'y jetant (Gouleau, 1968). Elles s'orientent ensuite vers le nord-ouest, en direction du Croisic : une partie du flux se dirigerait vers le large (au sud ouest) ; une seconde partie, plus faible, prendrait une direction nord, puis ouest à l'intérieur du Mor Bras.

Si le débit de la Loire devient important, une stratification s'établit, le panache se répand sur une mince couche de surface et la force de Coriolis, associée aux gradients de densité, renforce le mouvement précédent en direction du nord-ouest, puis vers le nord, à l'intérieur de la baie de Vilaine.

Les eaux issues de la Vilaine stagnent longuement en Baie de Vilaine sauf durant des épisodes de vent soutenu. Elles se dirigent lentement vers l'ouest le long de la presqu'île de Rhuys puis sont évacuées du Mor Bras le long de l'île d'Houat. Compte tenu des tourbillons permanents de la baie de Quiberon et de la chaussée des îles, il est probable qu'une partie de ces masses d'eau se trouve à nouveau recyclée dans le Mor Bras.

Carte des sédiments superficiels de la région Loire Vilaine.

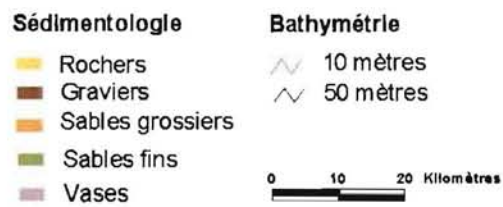
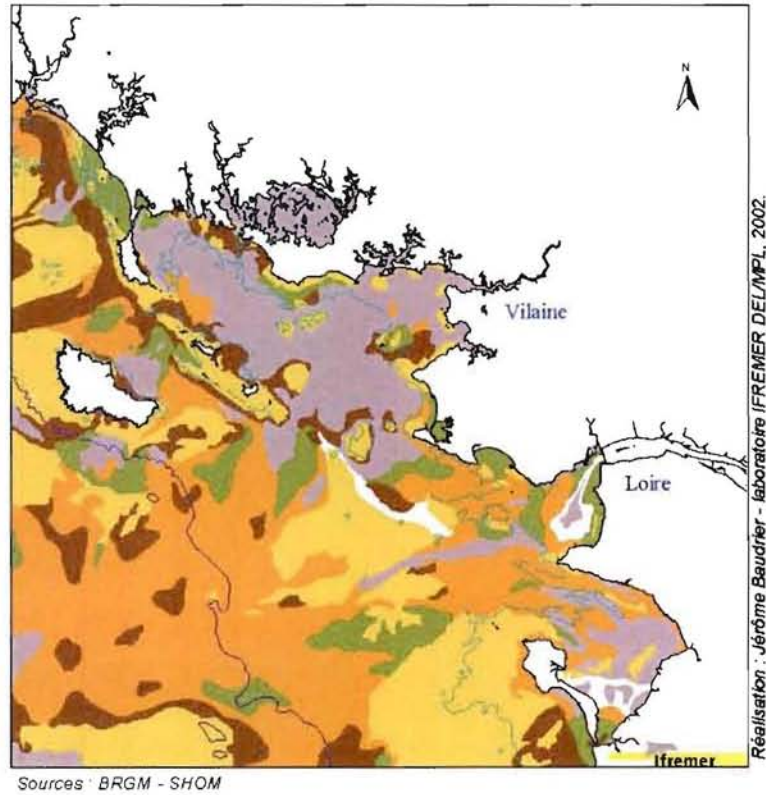


Figure 16 : Sédimentologie du secteur Loire Vilaine.

Le cas spécifique du golfe du Morbihan

Le golfe du Morbihan, enserré par la presqu'île de Rhuys, et protégé par Quiberon et les îles des houles de l'Ouest, est écarté de la circulation océanique générale. Toutefois, une fraction importante de la sédimentation fine du Golfe est allochtone et provient de la Loire et de la Vilaine. En raison de l'étranglement du goulet, les courants de marée à l'entrée du golfe sont parmi les plus violents du littoral français.

Ils pénètrent dans le golfe et sont déviés selon deux directions principales : vers le nord ouest d'une part et vers le nord est d'autre part. Malgré la faiblesse des marnages, les volumes d'eau oscillants entre le golfe et l'océan à chaque marée sont conséquents. Les courants qui empruntent le réseau hydrographique préexistant s'atténuent ensuite assez rapidement. Au delà de l'île d'Arz, ils deviennent faibles (Marcaillou *et al.*, 1996).

L'hydrodynamisme permet de distinguer les secteurs sensibles à la stratification des autres où le brassage de la colonne d'eau entraîne son homogénéisation. Les conditions les plus stables sont rencontrées en baie de Quiberon, à l'est du golfe du Morbihan, en baie de Vilaine et dans la partie orientale de la baie de Bourgneuf.

II.6. SEDIMENTOLOGIE

Les courants de marées guident la répartition des sédiments

Au nord de la Bretagne, les cailloutis et les graviers abondent, tandis qu'au sud, l'opposition est marquée par l'importance de la vase. Les différences observées sont imposées par la vitesse des **courants de marée**. En revanche, l'influence des **houles** venues de l'Atlantique est plus accentuée qu'en Manche. Elle permet de distinguer nettement l'opposition morphologique et sédimentaire entre la zone pré littorale et le plateau continental proprement dit, séparés par la dorsale hercynienne, dans le secteur Loire Vilaine.

Une origine remontant au Quaternaire

La carte de répartition des sédiments sur la marge sud-armoricaine montre l'importance des dépôts vaseux (figure 16) provenant d'apports fluviaux successifs et variés au cours du Quaternaire, en partie exondés lors des régressions et immergés pendant les épisodes de transgression. Ces sédiments résiduels, auxquels s'ajoutent les sables siliceux littoraux, sont contaminés par des débris organogènes, zoogènes et phycogènes (Hommeril *et al.*, 1972). Les apports actuels sont faibles (suspension et matériel organogène essentiellement).

La zone pré littorale envasée

Les dépressions de la zone pré littorale comportent en grande majorité des dépôts vaseux et pélitiques : vases fines dans les parties les plus profondes et les mieux protégées (centre du Mor Bras par exemple), vases sableuses ailleurs. Cette vase existe beaucoup plus rarement au dessus de 15 m de fond ; son dépôt est alors lié à la présence d'écrans brisant les houles. Les vallées qui sillonnent la zone pré littorale sont tapissées de sédiments pélitiques dans leur partie centrale.

En se rapprochant du rivage, le tri marin a localement constitué des accumulations sableuses (sables fins à grossiers) faisant face aux houles. Des fonds rocheux, et, à la côte, des falaises, sont aussi observés dans les endroits non ensablés. Entre les vallées, et notamment sur la ride pré littorale qui porte les îles, des massifs rocheux où vivent des coquillages sont présents. Ces massifs comprennent donc des sables zoogènes d'origine propre, de plus en plus broyés quand on s'éloigne des reliefs (Hommeril *et al.*, 1972).

Les inquiétudes face à l'évolution récente des faciès sédimentaires côtiers

L'évolution dynamique du nord de la baie de Quiberon inquiète. Elle se prête à une sédimentation active et un ensablement est observé. La diminution d'ensemble des vases s'expliquerait par l'apport massif d'autres composantes granulométriques (pollution du sédiment par des apports sableux d'origine biogène) (Lemoine, 1989).

Depuis la création du barrage d'Arzal, l'envasement de l'estuaire de la Vilaine ne fait que s'intensifier et pose également de nombreux problèmes aux usagers de cette zone.

La Baie de Bourgneuf est aussi le siège de phénomènes d'envasement, dont l'amplitude est variable ; leur origine est à l'heure actuelle mal comprise. Pour Gouleau (1968), c'est l'action conjuguée de l'érosion des côtes et d'anciennes alluvions, l'altération des roches et les apports en éléments fins par la Loire qui ont participé au comblement de la baie.

Le cas particulier du Golfe du Morbihan

La sédimentologie du Golfe du Morbihan est constituée pour moitié environ de particules fines (taille inférieure à 40 μ). L'autre moitié est formée de particules moins cohésives : sablons, sables fins à grossiers et graviers (Marcaillou *et al.*, 1996). Les auteurs soulignent l'existence de deux grandes zones. A l'Ouest, les sédiments sont nettement dominés par la fraction grossière qui se développe dans et en bordure des chenaux qu'empruntent les courants de marée. Pour le bassin oriental, la tendance apparaît totalement inversée et s'explique par l'atténuation de l'hydrodynamisme : il y a beaucoup moins de particules grossières et la fraction fine (argiles et silts) devient prépondérante.

Le plateau continental : la zone des reliefs façonnés dans l'Eocène

En Bretagne Sud, une dépression périphérique presque continue des Sables d'Olonne aux Glénans est observée (Hommeril *et al.*, 1972). Les fonds, sous Belle Ile, sont majoritairement constitués de sédiments vaseux. A l'est, les coquilles engendrent un sable zoogène abondant situé à moins de 40 m de profondeur, et il s'y ajoute, quand le substrat est calcaire, des miettes de roches détachées par l'action des lithophages. Cette zone est de plus en plus profonde vers l'ouest, et les sédiments qui la recouvre sont différents selon la profondeur.

Les reliefs y sont taillés dans l'Eocène (70 m sous Belle Ile) et, si leurs sommets sont généralement nus, ce n'est que vers 110 m de fond, tout à fait à l'ouest, que la nappe des sables du large (sables zoogènes et terrasses alluviales) les masque en majeure partie. En aval des reliefs, mais uniquement à l'est, cette zone comporte des sédiments particuliers : sables et graviers roux des glacis-plaines (Vanney, 1969). Le glacis-plaine de Belle Ile montre le passage des formations externes les plus grossières aux plus fines situées à l'amont (région des Cardinaux) (Vanney, 1977).

En dehors des marges, la Grande Vasière est formée par un complexe où se trouvent intimement mêlés du sable fin et des pélites, associés en proportion variable, mais qui donne à l'ensemble une uniformité frappante. En moyenne, l'échantillon type de la Grande Vasière est fait de 2 % de graviers, 78 % de sables, 20 % de pélites (Vanney, 1969).

La répartition des sédiments est liée à l'hydrodynamisme et à l'histoire géologique de la zone Loire Vilaine. Les secteurs envasés correspondent bien aux zones marquées par des conditions hydrologiques stables au sein de la colonne d'eau. Celles-ci seront donc plus sensibles à l'eutrophisation et aux autres formes de perturbations anthropiques.

150.1 160.1 170.1 180.1 190.1 200.1 210.1 220.1 230.1 > in 0.1°C



Figure 17a : températures de surface au 06/01/99



Figure 17b : températures de surface au 17/03/99

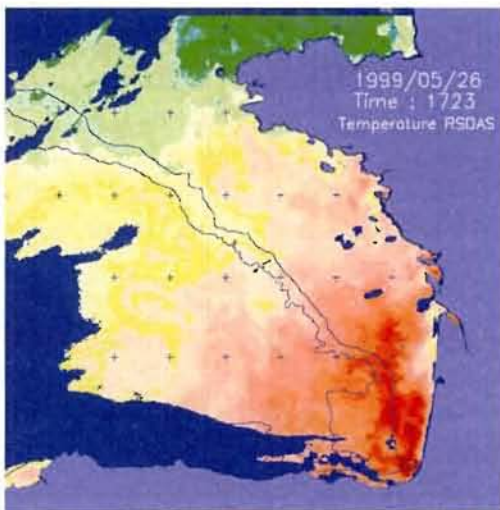


Figure 17c : températures de surface au 26/05/99

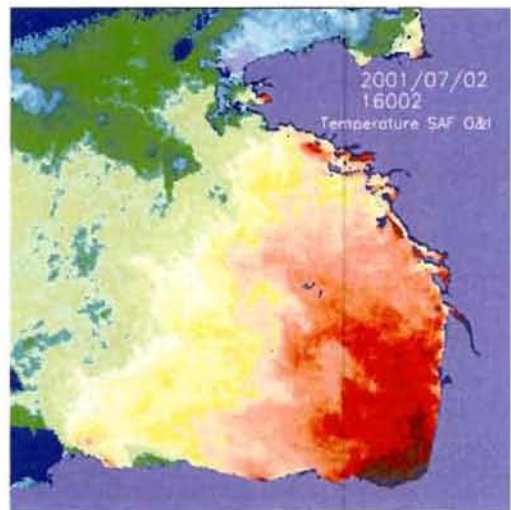


Figure 17d : températures de surface au 02/07/01

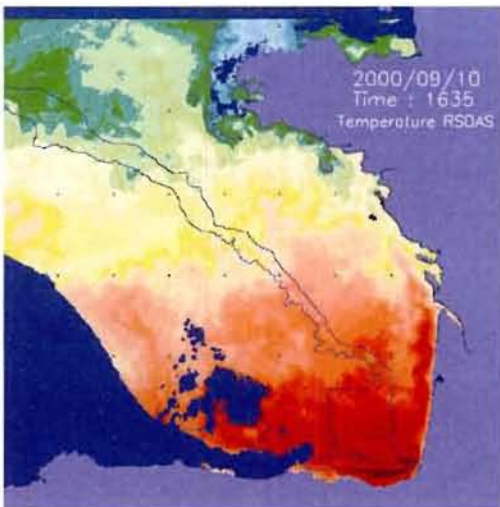


Figure 17e : températures de surface au 10/09/00

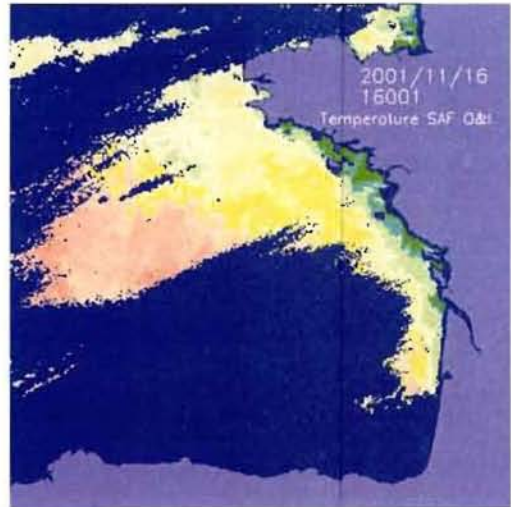


Figure 17f : températures de surface au 16/11/01

Figure 17 : Températures de surface analysées par télédétection satellitaire. Sources : Les images SeaWiFS proviennent du Goddard Space Flight Center de la NASA. Elles ont été traitées au Centre IFREMER de Brest par Francis Gohin du Département d'Ecologie Côtière de la Direction de l'Environnement et de l'aménagement Littoral (DEL) (file:///bart/COULEUR/browser/gasc/HTML/E_BROWSE.htm).

III. HYDROLOGIE COTIERE ET OCEANIQUE

III.1. ETUDE DES TEMPERATURES

Des maxima de température sur le secteur Loire Vilaine

L'observation des cartes du réchauffement des zones côtières permet de mettre en évidence la différence de comportement thermique des eaux du nord et du sud Bretagne, qui est essentiellement liée à l'intensité du **mélange** vertical des masses d'eaux par les courants de marée. Le secteur Loire-Vilaine, présente l'élévation de température la plus importante au printemps pour la région bretonne ; elle se poursuit également en été (Jegou, 1993).

Des eaux très hétérogènes selon la profondeur et l'hydrodynamisme

Les eaux côtières n'ont pas le même profil selon l'épaisseur de la colonne d'eau. Les fonds supérieurs à 30 mètres, caractérisés par l'eau du large, présentent une thermocline en période estivale. Sur les fonds inférieurs à 30 mètres, la température est plus fluctuante. Deux situations sont observées : dans les régions bien brassées, la température est très peu différente dans toute la hauteur d'eau, une situation d'homothermie (ou presque) est observée. Au contraire, les eaux à l'abri des fortes houles du large sont plus chaudes en surface ; la courbe thermique est alors oblique (Glémarec, 1969). Les eaux littorales sont situées dans les régions très peu profondes (moins de 15 m généralement), les variations ne sont plus seulement saisonnières mais aussi journalières et marégraphiques.

Une évolution saisonnière de la structure thermique marquée

La structure thermique du plateau continental présente une variabilité interannuelle au niveau des températures de surface et montre une corrélation assez nette avec la climatologie.

- **Hiver.** Le trait majeur est le refroidissement généralisé des températures. La carte des isothermes de surface est marquée par une décroissance de la valeur des isothermes du bord du plateau vers le littoral, les eaux froides sont situées à la côte tandis que les eaux plus chaudes se trouvent au large (figure 17a). Les valeurs les plus faibles de la partie Nord-Gascogne se concentrent de Quiberon à la baie de Bourgneuf (influence des fleuves Loire et Vilaine). La carte des isothermes au voisinage du fond montre une large similitude avec la carte des isothermes de surface : décroissance de la température du talus vers la côte et valeurs plus froides de la Vendée à Quiberon (Le Cann, 1982).

- **Printemps.** Courant mars, l'effet du réchauffement terrestre apparaît : la zone froide est située en position intermédiaire entre les eaux littorales en cours de réchauffement et les eaux marines chaudes (figure 17b). Généralement, le mois d'avril montre une homogénéisation des températures. Il n'y a plus de différenciation entre les eaux côtières et les eaux du large. En mai (figure 17c), l'inversion thermique a lieu : les eaux côtières sont plus chaudes, les eaux du large sont plus fraîches (Jegou et Salomon, 1988).

La caractéristique principale de cette saison est le développement de la thermocline saisonnière du bord du plateau, où elle apparaît début avril, vers la côte qu'elle atteint en mai. Il faut noter la présence au fond, au sud de Belle Ile, d'un « noyau froid », de faible température : le **bourrelet froid**. Il est constitué d'une masse d'eau isolée entre les isobathes 50 et 120 m, avec une température variant entre 11 et 12°C du printemps à l'automne (Vincent et Kurc, 1969 ; Vincent, 1973).

- **Eté.** Le réchauffement de surface amorcé en mai s'est partout accentué mais à des degrés divers suivant la zone (figure 17d). Plus au large, il faut noter la présence de « l'upwelling » de bord de plateau qui refroidit les eaux de surface. Les traits qui commençaient à se marquer vers la mi-mai se sont accentués en été. Les températures ont partout augmenté. Le bourrelet froid s'est quelque peu réduit. L'immersion de la thermocline, ainsi que son épaisseur, s'accroît de la côte vers le large (Le Cann, 1982).

- **Automne.** Les situations de fin d'été et de début d'automne voient la seconde inversion thermique de l'année (figures 17e et 17f). Un réchauffement de la zone littorale, sous l'influence des conditions climatiques estivales et de la pénétration du flux atlantique chaud du large le long des côtes, est cependant remarqué. Il se traduit par l'apparition d'un **lobe chaud** qui occupe toute la tranche d'eau, de la surface au fond (Vincent, 1973). Au voisinage des estuaires, apparaissent des inversions de températures entre la surface et le fond. La température est quasiment homogène de la surface au fond en zone côtière. La disparition de la thermocline saisonnière est amorcée (Le Cann, 1982).

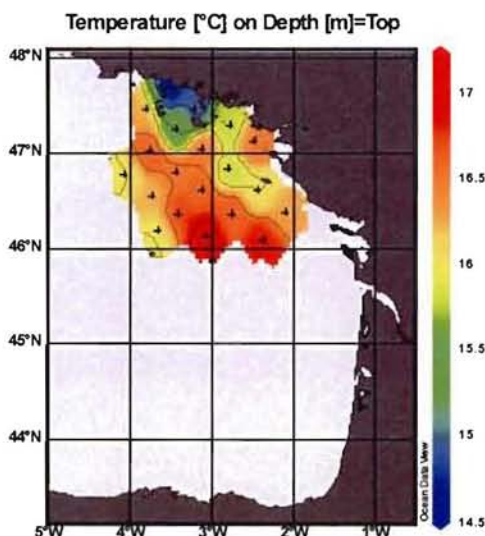
Un cycle annuel thermique sur le plateau continental d'une remarquable régularité

L'étude de la variabilité interannuelle montre que les températures changent, mais les caractères de la structure thermique se retrouvent d'une année sur l'autre. Les zones possibles d'apparition de fronts thermiques vont se localiser au voisinage de Quiberon, de l'estuaire de la Loire et de Noirmoutier (Le Cann, 1982).

La disposition d'ensemble des masses d'eau en présence reproduit un schéma annuel caractérisé principalement par deux formations hydrologiques :

- dans l'axe du plateau, un bourrelet froid permanent bien déterminé du printemps à l'entrée de l'hiver. Les températures de fond révèlent son extension qui peut présenter une variabilité interannuelle et proviendrait du régime des vents (Puillat *et al.*, 2001).
- entre ce bourrelet et le littoral, sur toute la tranche d'eau, un lobe chaud qui, à partir de l'été, s'étend vers le nord pour atteindre son extension maximale en automne (Vincent, 1973).

Les études passées révèlent également la présence à méso-échelle (échelle horizontale : 10-100 km ; échelle spatiale : semaine au mois) d'un **upwelling** en Bretagne sud (figure 18).



Il est lié aux vents de nord-nord-ouest agissant pendant quelques jours. Ces vents poussent les eaux de surface côtières de faibles salinités vers le large (dérive d'Ekman), générant un upwelling côtier où les eaux salées sont déplacées du fond vers la surface (Puillat *et al.*, 2001).

Figure 18 (ci-contre): Températures de surface en juin 1997 et localisation de l'upwelling (Sources : Puillat *et al.*, 2001).

III.2. LA SALINITE

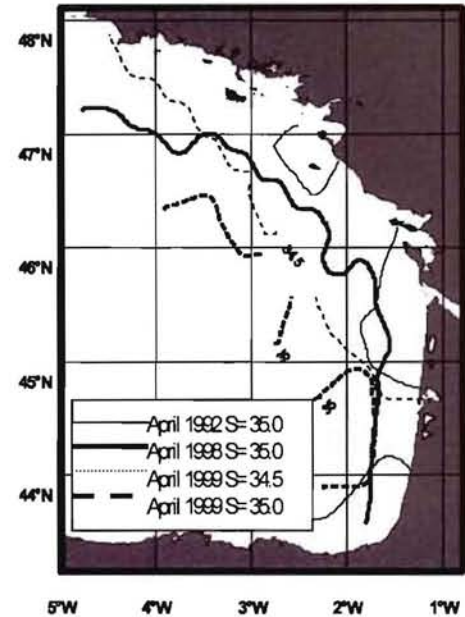
La distribution de la salinité sur le plateau continental est fortement influencée par les panaches des fleuves, ainsi que par la circulation induite par le vent. L'influence de la Loire jusqu'en mer d'Iroise a été démontrée à la suite de campagnes de mesures sur le plateau armoricain au cours desquelles des tâches d'eaux dessalées ont pu être repérées (Morin, 1984).

De fortes variabilités saisonnières et interannuelles des salinités de surface

La diffusion des eaux de surface de faibles salinités ($S < 35$) varie fortement selon les années (figure 19). En avril 1992, les eaux dessalées localisées le plus près de la côte correspondent aux plus faibles débits fluviaux enregistrés durant les années 90.

La situation contraire est représentée en avril 1999 où les faibles salinités s'étendent le plus au large (synergie entre forts débits fluviaux et vents de nord-ouest forts) (Puillat *et al.*, 2001). Les variations à l'échelle interannuelle sont donc liées à la variabilité des débits des fleuves, du bilan évaporation moins précipitations et des champs de courants résiduels.

Figure 19 (ci-contre) : variabilité interannuelle des panaches fluviaux. Situations d'avril 1992, 1998 et 1999 (Source : Puillat *et al.*, 2001).



Des cartes de salinités saisonnières moyennes de surface ont été construites en combinant 4 à 6 années de données (figure 20).

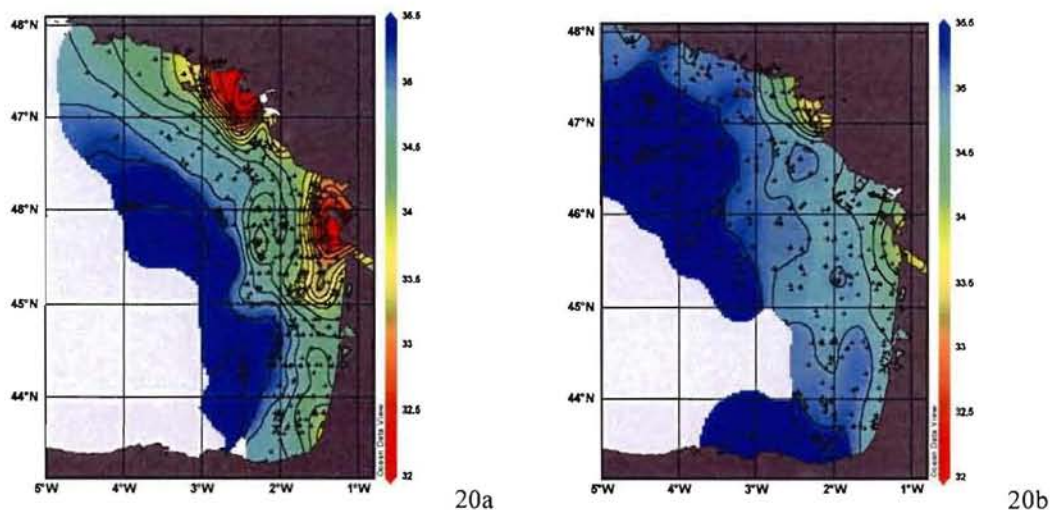


Figure 20 : Salinités moyennes au printemps (20a) et à l'automne (20b). Sources : Puillat *et al.*, 2001.

Des différences nettes sont observées entre les situations de printemps et automne. En général, les panaches restent collés à la côte en hiver car les vents dominants (SW) renforcent l'effet de la force de Coriolis. En revanche, ils se propagent au printemps (les vents passent au nord ouest et s'opposent à la dérive de Coriolis), les eaux dessalées bordent alors toute la côte française sur une largeur de 50 à 100 km de large (figure 20a). En automne, cette bande est moins marquée et a quasiment disparu en Bretagne Sud (figure 20b) (Puillat *et al.*, 2001).

Des bulles « d'eau douce » dans l'eau salée...

Les conditions météorologiques (vents et débits fluviaux) sont également responsables de la formation en surface de structures à méso-échelle : les **lentilles d'eau dessalées**. Elles s'échappent des eaux déversées par la Loire lors d'un brusque changement de la direction des vents. La faiblesse des courants de marée permet l'apparition de ces structures atypiques (longueur verticale : de la surface à 40 m de profondeur ; longueur horizontale : 50 à 100 km ; durée : une semaine au moins) (Lazure, comm. pers.). Un tel phénomène a lieu régulièrement au printemps, les poches d'eau peu salées naissent et perdurent plusieurs semaines le temps d'être diluées dans l'eau de mer. Elles joueraient un rôle essentiel pour certains processus biologiques de transfert du large vers la côte.

bilan spatio-temporel de la salinité et de la température sur le plateau continental

Une description de l'évolution des phénomènes hydrologiques a été réalisée par Lazure et Jegou (1998) sur la base du modèle hydrodynamique « Mars ». En hiver, la distribution en température et en salinité est homogène. Les pluies d'hiver et les vents de secteur sud entraînent la formation de la stratification haline ; les eaux fluviales prennent une direction nord sous l'effet des courants baroclines (figure 21).

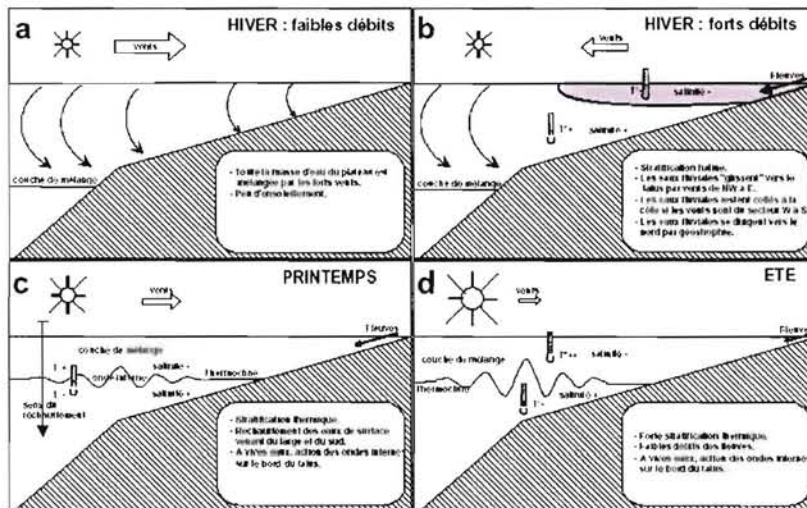


Figure 21 : Schéma de fonctionnement du plateau continental atlantique avec les forçages physiques et météorologiques. D'après Lampert, 2001.

Le printemps (mars-avril) est la période de transition entre les conditions hivernales (eaux fluviales collées à la côte) et estivales (dispersion des eaux fluviales vers le large grâce à l'apparition des vents de secteurs nord). La pycnocline créée par les eaux dessalées agit comme une barrière entre les eaux de surface et de fond, ce qui favorise le refroidissement des couches superficielles. Les eaux océaniques sont donc plus chaudes que celles du plateau en hiver. En été, le réchauffement progressif des eaux de surface se fait du large vers la côte et du sud vers le nord.

D'une stratification haline, il y a passage à une stratification thermique, d'autant plus que les débits des fleuves atteignent leur minimum en période estivale. L'augmentation de la stratification des eaux permettra aux eaux de surface de « glisser » sur les eaux profondes d'origine océanique vers le large. Lors du réchauffement saisonnier, la thermocline sépare les eaux chaudes de surface de celles froides du fond, cependant, sur le site appelé « grande vasière », une structure froide et salée reste insensible aux variations météorologiques, c'est le « bourrelet froid » (Vincent et Kurc, 1969 ; Vincent, 1973).

III.3. ETUDE DE LA TURBIDITE

L'imagerie satellitale et la mesure des matières en suspension

Tout comme la chlorophylle et les températures de surface, l'utilisation des données satellitaires, après un traitement par algorithme spécifique, permet d'étudier la **turbidité** de la colonne d'eau. Les deux images ci-dessous représentent les résultats obtenus en 2001 pour une situation hivernale (figure 22a) et un cas estival (figure 22b).

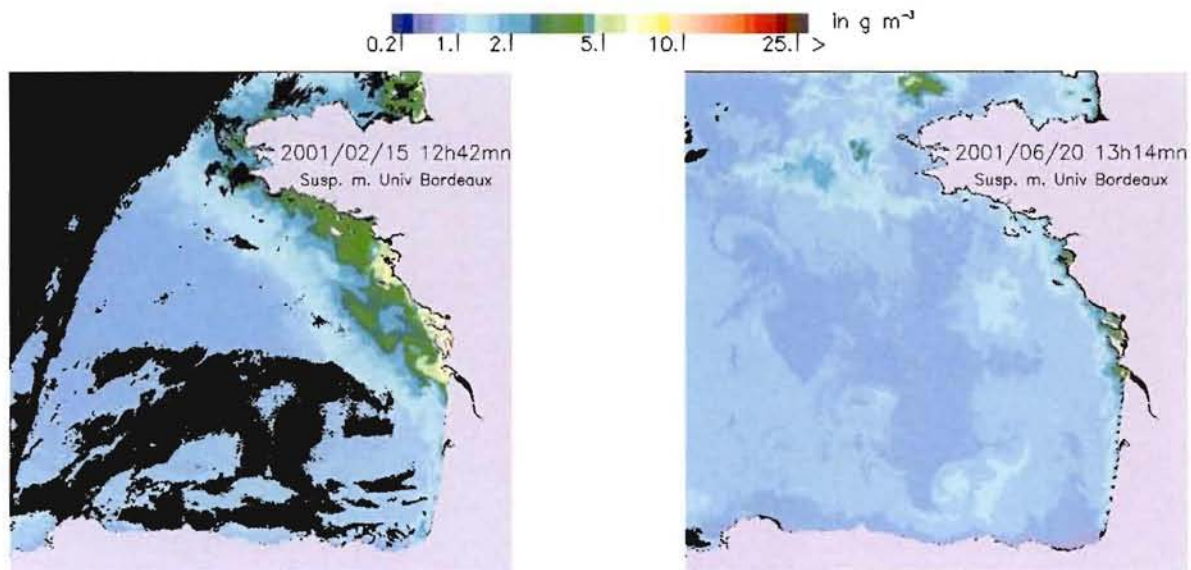


Figure 22a : Matières en suspension au 15/02/01

Figure 22b : Matières en suspension au 20/06/01

Figure 22 : Télédétection satellitale de la MES. Sources : Les images MES de SeaWiFS ont été traitées au Centre IFREMER de Brest par Francis Gohin du Département d'Ecologie Côtière de la DEL à partir de l'algorithme proposé par Jean-Marie Froidefond de l'Université de Bordeaux.

L'hiver, les concentrations atteignent 15 mg/L dans les secteurs côtiers. Les zones soumises à l'influence des panaches fluviaux voient leur turbidité augmenter très significativement. D'une certaine manière, les MES sont un bon marqueur de l'évolution des eaux douces dans l'Atlantique. Les apports terrigènes de la Vilaine et de la Loire se traduisent par une décroissance des MES de l'estuaire vers le large.

Les eaux centrales du Golfe de Gascogne sont très peu concernées par une augmentation de la turbidité, celle-ci existe mais demeure faible. L'été, les fleuves sont en étiage, la zone côtière retrouve quasiment les teneurs rencontrées au large. Seules certaines baies par nature envasées (Baie de Bourgneuf par exemple ; figure 22b), ainsi que les débouchés d'estuaires, conservent des valeurs élevées de turbidité (5 à 10 mg/L).

Des concentrations de matières en suspension imputables aux variations climatologiques

L'étude de la turbidité met en évidence une variabilité saisonnière et une variabilité interannuelle des concentrations (figure 23).

Celles-ci sont en effet pour une grande part dépendante des conditions météorologiques. Durant la période hivernale, l'augmentation des teneurs en MES (et surtout en Matière Inorganique Particulaires) est consécutive aux débits fluviaux et aux apports dus au ruissellement le long des bassins versants. Par ailleurs, le vent peut induire une remise en suspension des sédiments et contribuer à l'augmentation de la turbidité, notamment dans les zones de faible profondeur (baie, golfe, estuaire, ria...).

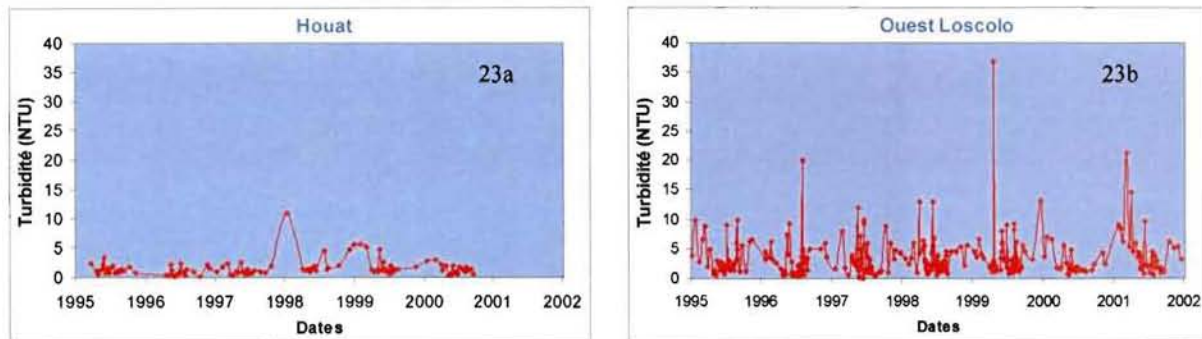


Figure 23 : Mesure de la turbidité à Houat (23a) et en baie de Vilaine (23b). Sources : RNO.

Au contraire, en été, ces teneurs décroissent rapidement avec la réduction du débit de la Loire et de la Vilaine. Certains pics sont néanmoins observés, ils correspondent à la sédimentation des efflorescences phytoplanctoniques (la part de Matière Organique Particulaire est alors plus élevée) ou à une augmentation soudaine des apports fluviaux. La concentration en phytoplancton constitue un facteur d'atténuation de la lumière, qui devient prépondérant quand les eaux sont claires. La variabilité interannuelle qui peut être observée est également due aux variations des conditions climatologiques d'une année sur l'autre.

Au passage, il convient de remarquer les différences observées entre Houat, où les concentrations en matériel en suspension ne dépassent jamais 10 mg/L, et Ouest Loscolo, situé plus près du rivage, et qui présente des eaux beaucoup plus turbides (figure 23). La très grande majorité des concentrations en MES sur le littoral sont inférieures à 10 mg/L, une faible proportion pouvant atteindre quelques dizaines de milligrammes par litre. Ces fortes valeurs sont trouvées dans le panache des fleuves. En milieu estuarien, la gamme de concentrations en MES est très étendue et dépasse fréquemment 100 mg/L dans la plupart des cas, pouvant aller jusqu'à plus de 1000 mg/L.

III.4. ENVIRONNEMENT CHIMIQUE

Evolution des sels nutritifs sur le plateau continental sud armoricain

Lampert (2001) a calculé la moyenne générale des concentrations de surface par nutriment pour l'ensemble du plateau continental (zones Li, Le, Gi, Ge, figure 24). Les données sont tirées des campagnes Modycot d'avril, juin, septembre 1999 et mars 2000. Une diminution régulière des concentrations moyennes en azote (nitrate + nitrite) est observé depuis l'hiver ($N = 10,42 \mu\text{M}$ ou $0,64 \text{ mg/L}$) jusqu'à la fin de l'été ($N = 0,11 \mu\text{M}$ ou $0,006 \text{ mg/L}$).

Les concentrations en phosphate de surface montrent la même tendance saisonnière que celle observée par l'azote nitrique, cependant les valeurs moyennes sont bien plus faibles. L'acide silicique présente une diminution de sa moyenne de l'hiver vers l'été comme pour les autres nutriments, mais la fin de l'été montre une nette augmentation.

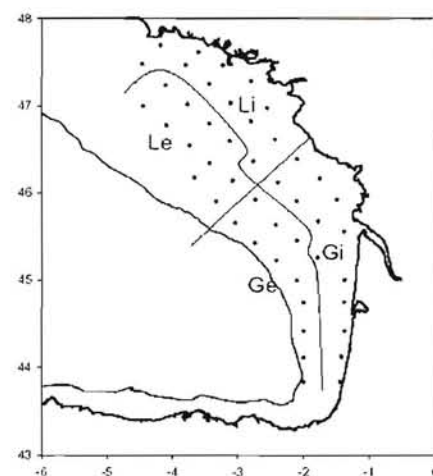


Figure 24 : découpage du plateau continental atlantique. Sources : Lampert, 2001.

Loyer (2001), à partir des mêmes campagnes, a étudié les concentrations en sels nutritifs dans chacun des quatre secteurs. Les résultats pour les zones **Loire interne** « Li » et **Loire externe** « Le » (la limite étant l'isobathe 100 m) sont rassemblés dans le tableau 3.

Situation hivernale			Situation printanière						Situation estivale		
Mars 2000			Avril 1999			Juin 1999			Septembre 1999		
N	P	Si	N	P	Si	N	P	Si	N	P	Si
22.2	0.46	11.8	9.29	0.04	0.6	1.78	0.09	0.93	0.13	0.05	2.27
6.55	0.36	3.14	1.7	0.07	0.48	0.16	0.07	0.78	0.11	0.05	0.58

Tableau 3 : Concentrations moyennes en nutriments ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) calculées dans les zones **Loire interne** et **Loire externe**. Sources : Loyer, 2001.

La tendance observée dans la zone Li est semblable à celle rencontrée sur l'ensemble du plateau, avec néanmoins des valeurs plus importantes. La zone sous influence des apports ligériens (Li) est la plus riche en sels nutritifs en période hivernale et les concentrations en nitrate, phosphate et silicate sont deux fois plus importantes que celles des eaux sous l'influence des apports girondins (Loyer, 2001).

En avril, les concentrations en nitrate ont chuté dans les eaux du large ($1,7 \mu\text{mol.l}^{-1}$) mais elles restent fortes dans les eaux côtières ($9,29 \mu\text{M}$), alors que les stocks en phosphate et silicates semblent déjà épuisés dans ces deux zones. En juin, les teneurs en nitrate connaissent une chute importante et les valeurs des concentrations en phosphate et silicate restent faibles. En fin d'été, les teneurs en phosphate et nitrate sont pour la première fois semblables au large et dans les eaux côtières. Les concentrations en silicates, quant à elles, connaissent une augmentation dans la zone Loire Interne.

Il existe un enrichissement des eaux côtières par rapport aux eaux du large, relié aux apports fluviaux. Les distributions des sels nutritifs et de la salinité sont d'ailleurs étroitement liées. Des teneurs exceptionnellement élevées sont mesurées dans les rivières en Bretagne. Lorsque ces teneurs sont prises en considération, l'enrichissement des eaux du plateau continental paraît cependant relativement modeste (Morin *et al.*, 1991).

Processus biologiques et physiques expliquant le cycle observé au large

En hiver, le manque d'activité biologique permet le renouvellement des stocks de sels nutritifs. Au printemps, les efflorescences se développent sur tout le plateau continental et consomment rapidement le phosphate et le silicate disponibles, qui deviennent limitants dans le milieu.

Le stock hivernal de nitrate n'est épuisé qu'en été, comme ceux de phosphate et de silicate et les espèces présentes sont celles capables de bien utiliser les faibles concentrations en nutriments provenant des fleuves (en étiage) et issues du recyclage bactérien dans la couche de surface. Des processus de régénération du phosphate permettent l'épuisement complet du stock de nitrate ; ces concentrations en phosphate restent faibles et relativement constantes durant l'été. A la fin de l'été, toute la production est limitée par l'azote et le phosphate.

La régénération de l'acide silicique est perceptible sur tous les secteurs, elle témoigne des processus de régénération. La stabilité de la colonne d'eau est peu à peu détruite au cours de l'automne par l'arrivée des coups de vent. Cette situation favorise les blooms automnaux, moins intenses que ceux du printemps et qui se poursuivront jusqu'à ce que le mélange devienne trop intense et/ou l'ensoleillement ne soit plus suffisant.

Evolution des sels nutritifs à la côte

La figure 25 représente l'évolution des nitrates à l'embouchure de l'estuaire externe de la Loire.

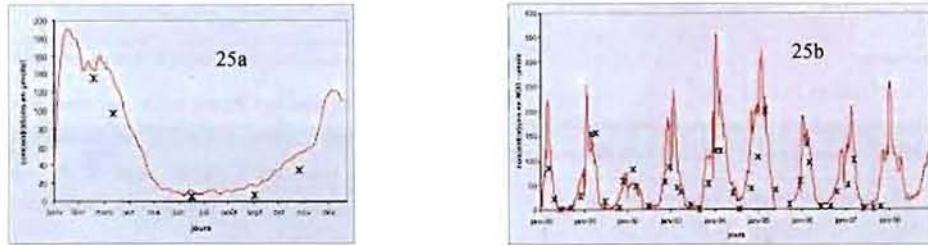


Figure 25 : Evolution du nitrate dans l'estuaire externe de la Loire en 1996 (fig. 25a) et de 1990 à 1998 (fig. 25b). Sources : Loyer, 2001.

Les teneurs en nitrate à l'embouchure de l'estuaire de la Loire sont caractérisées par une forte variabilité saisonnière (figure 25a). Les concentrations hivernales sont très élevées ($>150 \mu\text{mol.L}^{-1}$, soit $9,3 \text{ mg.L}^{-1}$) à cause des apports en période de crue. Au printemps, la consommation par le phytoplancton entraîne une chute des concentrations. Elles restent faibles en été (de l'ordre de $5 \mu\text{mol.L}^{-1}$, soit $0,31 \text{ mg.L}^{-1}$). La période automnale est marquée par une augmentation des teneurs (diminution de la biomasse algale et reprise des apports fluviaux).

La figure 25b représente les variations interannuelles des concentrations de nitrates, elles sont très importantes et s'expliquent par les variations climatologiques d'une année sur l'autre. Les concentrations de phosphate suivent le même schéma général. Seules les concentrations varient : pour l'année 1996, les teneurs maximales enregistrées atteignent $3,3 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ($0,31 \text{ mg.L}^{-1}$) tandis que l'été, elles sont inférieures à $0,5 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ($0,047 \text{ mg.L}^{-1}$).

Par comparaison, les concentrations en nitrates peuvent dépasser $50 \mu\text{M}$ ($3,1 \text{ mg.L}^{-1}$) en Baie de Vilaine et être supérieures à $200 \mu\text{M}$ ($12,4 \text{ mg.L}^{-1}$) dans l'estuaire (Clément, 1987). Là aussi, les teneurs diminuent dès le début du printemps mais sont susceptibles de remonter rapidement lors des crues de la Loire et de la Vilaine. Lors de la période productive, en surface, il y a un épuisement quasi-total des sels nutritifs avec des teneurs inférieures à $1 \mu\text{M}$ ($0,06 \text{ mg.L}^{-1}$), sauf dans l'estuaire où les concentrations restent en permanence élevées (10 à $50 \mu\text{mol/L}$ durant l'été, soit $0,62$ à $3,1 \text{ mg.L}^{-1}$).

Le modèle expérimenté par Loyer (2001) souligne la prédominance des processus de relargage de nutriments par les sédiments l'été ainsi que les processus de minéralisation de la matière organique détritique dans la colonne d'eau. Dans le Mor Bras et en Loire, à partir du mois de juillet, plus de la moitié de la production primaire est basée sur la régénération. A l'inverse, durant le printemps et à l'automne, la croissance phytoplanctonique est essentiellement due aux apports des bassins versants qui rendent le système très productif.

Le rôle des sels nutritifs à la côte

En période printanière le facteur lumière contribue à la dominance des diatomées qui sont plus efficaces que les dinoflagellés aux faibles éclaircissements. Par la suite, la limitation par les sels nutritifs est l'un des principaux facteurs de différenciation entre les deux groupes de microalgues. Suite à la consommation de la silice pendant la période de croissance des diatomées, les concentrations diminuent et deviennent limitantes, favorisant ainsi le développement des espèces non siliceuses.

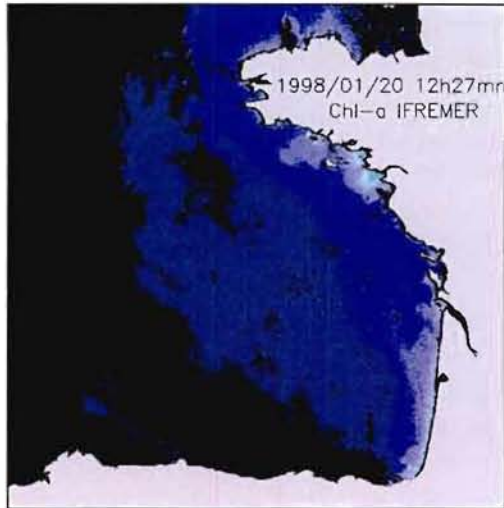


Figure 26a : Teneurs en chlorophylle au 20/01/98

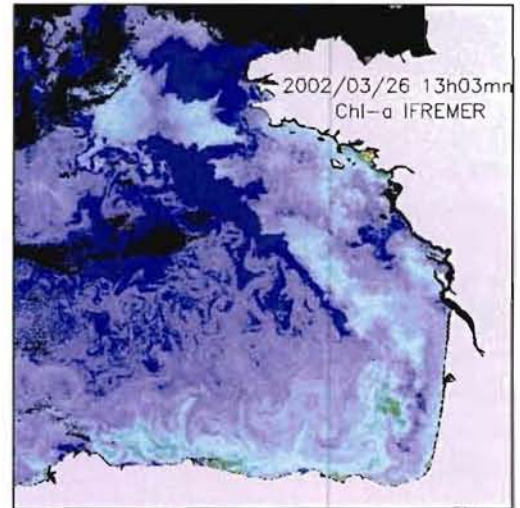


Figure 26b : Teneurs en chlorophylle au 26/03/02

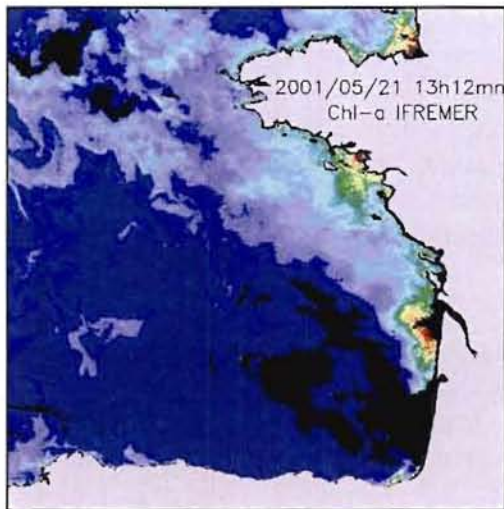


Figure 26c : Teneurs en chlorophylle au 21/05/01

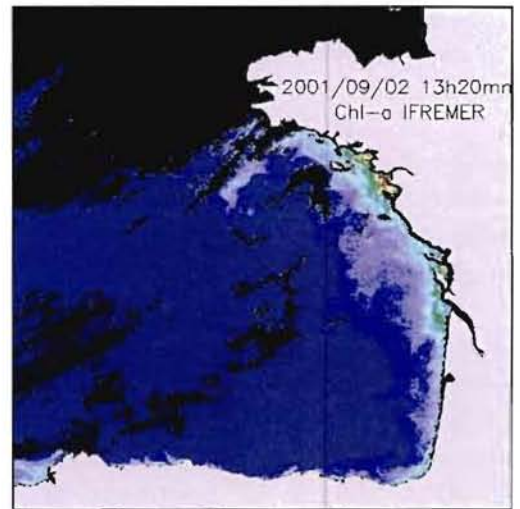


Figure 26d : Teneurs en chlorophylle au 02/09/01

Figure 26 : Teneurs en chlorophylle détectées par télédétection satellitaire. Sources : les images SeaWiFS proviennent du Goddard Space Flight Center de la NASA. Elles ont été traitées au Centre IFREMER de Brest par Francis Gohin du Département d'Ecologie Côtière de la Direction de l'Environnement et de l'aménagement Littoral (DEL) (file:///bart/COULEUR/browser/gasc/HTML/E_BROWSE.htm).

De plus les dinoflagellés sont favorisés par rapport aux diatomées du fait de leur affinité pour l'ammonium. Durant la période printanière, l'azote disponible pour la croissance algale est majoritairement composé de nitrate d'origine fluviale. Mais en période estivale, le stock de nitrate hivernal est presque intégralement épuisé et l'azote présent sous forme d'ammonium dans la colonne d'eau est issu de la régénération.

Evolution des facteurs nutritifs limitants dans le panache de la Loire et plus au large

L'exemple des diatomées illustre la complexité du rôle des éléments nutritifs. La silice est le premier nutriment à devenir limitant dans le panache de la Loire. Cette limitation est rapidement relayée par une limitation printanière forte par le phosphate. Durant l'été, l'azote devient à son tour limitant. Plus au large, la silice est elle aussi le premier élément à devenir limitant, mais cette fois l'azote montre dès le printemps un très fort effet limitant, ce qui n'est pas observé au niveau des panaches. Ainsi dans le panache de la Loire, le phosphate joue un rôle majeur dans la limitation du bloom printanier à diatomées tandis que plus au large, c'est l'azote qui devient le premier élément limitant (Loyer, 2001). La dynamique diffère donc selon le lieu et selon les espèces phytoplanctoniques considérées.

III.5. LES TENEURS EN CHLOROPHYLLE SUR LE PLATEAU CONTINENTAL

L'influence majeure des fleuves sur la production primaire

Pour étudier les populations phytoplanctoniques, Lampert (2001) a sectorisé le plateau continental en quatre parties (figure 24). Les plus fortes concentrations en **chlorophylle a** dans les eaux de surface, ainsi que les concentrations moyennes, ont été enregistrées dans les zones internes (Li et Gi). Les coupes verticales de la radiale Loire-Vilaine d'avril et juin 1999 ont mis en évidence une bonne concordance des fortes concentrations en chlorophylle avec les faibles salinités. Selon les conditions météorologiques, les apports ligériens en nitrate de l'année peuvent effectivement être responsables de plus de 20 % de la production phytoplanctonique dans les eaux centrales du plateau (Loyer, 2001).

Un cycle annuel constant : schéma typique du développement du phytoplancton

La production primaire est limitée en hiver par les basses températures de l'eau, la faible énergie lumineuse disponible et le fort brassage sur la verticale. La majeure partie des apports fluviaux ont alors lieu (entre les mois d'octobre et de mars), les teneurs en chlorophylle sont faibles sur le plateau et à la côte (figure 26a). En mars – avril, les eaux se réchauffent et l'énergie lumineuse devient suffisante pour que la production primaire augmente. Les efflorescences sont plus intenses en zone côtière mais les concentrations au large augmentent également (figures 26b et c).

Les principaux blooms apparaissent, provoquant l'épuisement des sels nutritifs. En période estivale, du fait des phénomènes de reminéralisation, le milieu est suffisamment riche pour permettre le développement des efflorescences phytoplanctoniques. Elles sont limitées par la filtration des suspensivores (figure 26d). Les teneurs en chlorophylle diminuent en automne avec le refroidissement généralisé, la déstratification des eaux et l'augmentation des conditions de turbidité.

Une variabilité saisonnière de la production phytoplanctonique très marquée

Les profils d'évolution de la chlorophylle en zone côtière ont été dressés à partir des données du REPHY (figure 27). En hiver et à l'automne, les concentrations phytoplanctoniques sont comprises entre 1 et 2 $\mu\text{g/L}$ à la côte, elles sont inférieures à 1 $\mu\text{g/L}$ au large (figure 26). L'apparition des poussées phytoplanctoniques concerne dans un premier temps les eaux

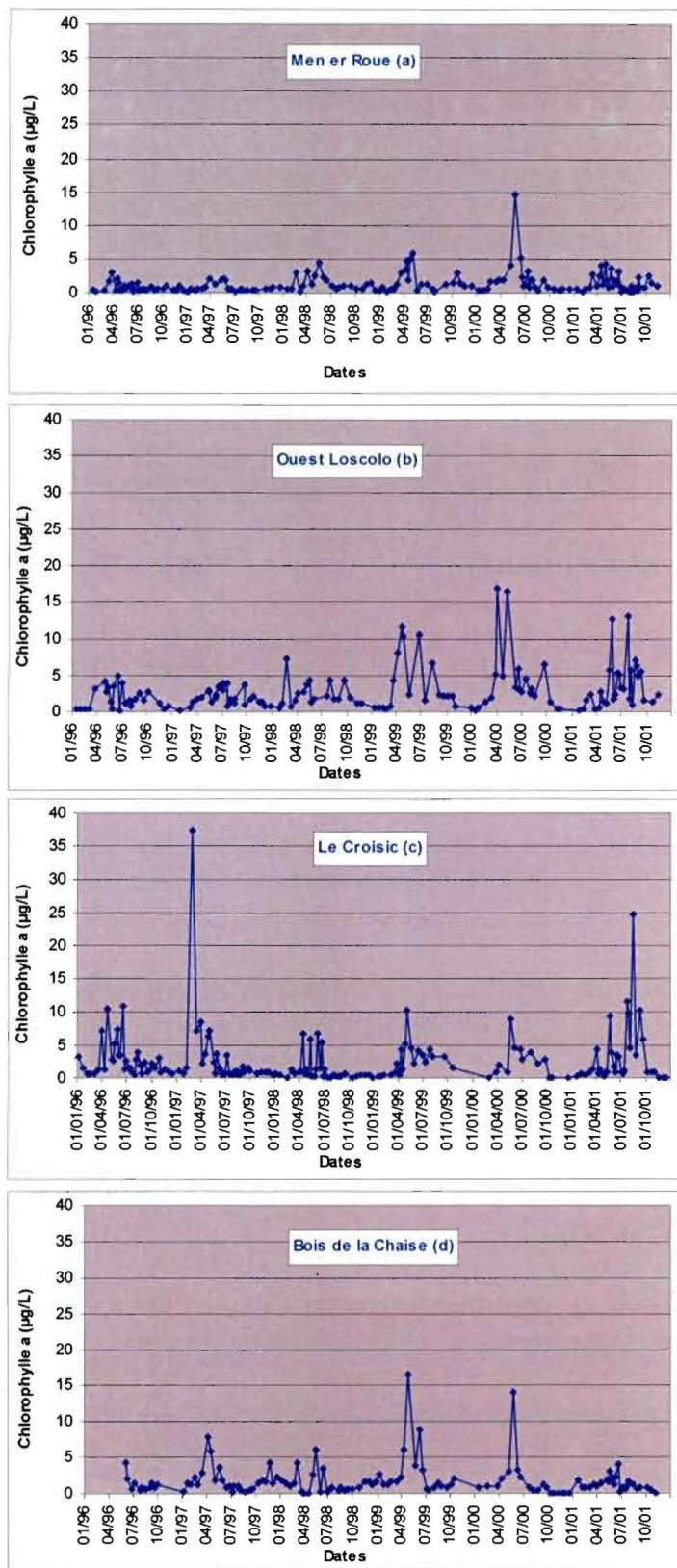


Figure 27 : Evolution de la chlorophylle en zone côtière entre 1996 et 2001 : a- en baie de Quiberon, b- en baie de Vilaine, c- en Loire, d- en sortie de baie de Bourgneuf. Sources : REPHY / IFREMER – banque QUADRIGE.

côtières enrichies par les rivières (de fin mars à avril). Ceci est dû à la stratification haline déjà en place et au réchauffement plus rapide des masses d'eaux situées à la côte. Les phénomènes observés sont majoritairement influencés par les conditions climatiques (vent, intensité des pluies, ensoleillement...) qui causent des variations interannuelles. Les facteurs limitant la production primaire suivent aussi un cycle saisonnier.

L'influence des fleuves prolonge le bloom printanier et à chaque période de dessalure correspond généralement un pic de chlorophylle. En baie de Quiberon (figure 27a), pour l'année 2001, le premier pic chlorophyllien correspond à la dessalure engendrée par les crues hivernales. Il est limité en importance par les basses températures et les faibles luminosités. Le pic de plus forte ampleur, en mai, correspond à l'arrivée des eaux de la Loire et de la Vilaine pendant la crue printanière.

En été, l'absence de nouvel apport de nutriment limite les concentrations phytoplanctoniques. Il est à noter que le phytoplancton de la baie de Quiberon subit une forte prédation par les huîtres, ce qui peut expliquer les plus faibles teneurs observées (Videau, 1993). A l'échelle du plateau, après les crues, les vents décollent le panache chlorophyllien de la côte et la zone productive s'étend vers le large (figures 26b et 26c).

Il y a cependant un décalage d'environ deux mois entre l'apparition du bloom dans les zones de fronts halins côtiers et les eaux centrales du plateau. Les valeurs observées en zone côtière sont sans commune mesure avec celles enregistrées au large. Les productions dépassent parfois 15 $\mu\text{g/L}$, ce qui n'est jamais rencontré dans les eaux centrales du plateau continental. D'une manière générale, la zone soumise uniquement à la stratification thermique est faiblement productive. La variabilité saisonnière des concentrations en chlorophylle a est plus faible dans les zones externes du plateau.

Evolution interannuelle de la production primaire

Les flux de nitrate les plus importants observés en Loire correspondent au maximum de production phytoplanctonique (figure 28). Toutefois, ce flux annuel ne permet pas d'expliquer la totalité de la variabilité observée dans les niveaux de production.

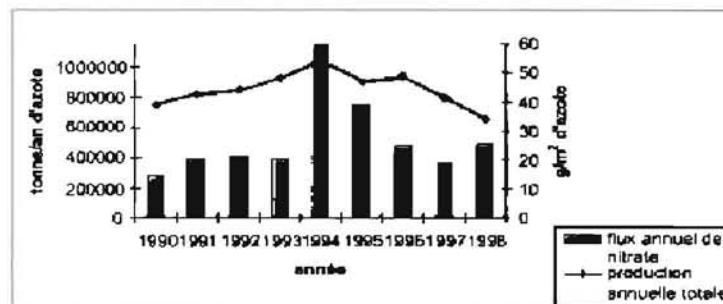


Figure 28 : Evolution des productions annuelles totales et des flux de nitrate en Loire. Sources : Loyer, 2001.

D'autres facteurs comme les flux de sels nutritifs non azotés, les apports marins et les vents jouent très certainement un rôle important et pondèrent l'influence des apports en nutriments sur les niveaux de production. Loyer (2001) a mis en évidence la part importante des **fluctuations météorologiques** sur la dynamique de l'écosystème. Les niveaux de production sont gouvernés par l'interaction entre les apports en sels nutritifs et les conditions climatologiques (vents, débits et ensoleillement).

III.6. LE PH, MARQUEUR ESTUARIEN

En milieu marin, le pH des eaux non polluées oscille normalement entre **8 et 8,5** du fait de la production biologique. Sur la période 1996 – 2001, la moyenne au point « Bouée Heuler » est de 7,97 (figure 29) et est caractéristique d'un pH en milieu marin côtier. L'emplacement des stations échantillonnées en Loire est donné par la figure 32.

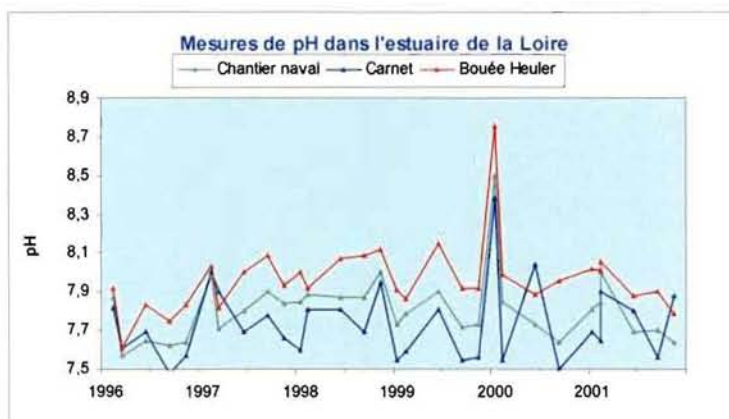


Figure 29 : pH mesuré sur une radiale de la Loire entre 1996 et 2001 (Sources : RNO).

Plus les mesures sont réalisées vers l'amont et moins le pH est élevé : sa valeur moyenne est de 7,81 face au chantier naval et 7,74 à la station Carnet. Le pH en milieu estuarien est donc inférieur à celui trouvé en mer. Les valeurs de pH sont représentatives de la majorité des grands estuaires, compte-tenu de la nature très différente des bassins versants des fleuves (densités de populations, industries, agriculture).

III.7. L'OXYGENE DISSOUS

L'oxygène dissous au point Fort de Lève a été mesuré (figure 30). La valeur moyenne sur ce point est de 6,45 mg/L, les teneurs mesurées en surface et au fond de la colonne d'eau sont semblables. L'oxygène dissous des eaux côtières et marines reste généralement élevé car la demande biochimique en oxygène de ces eaux est faible.

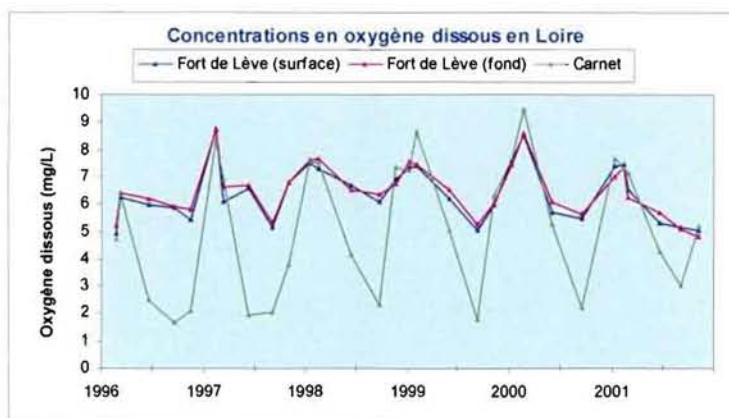


Figure 30 : Oxygène dissous mesuré en Loire (Sources : RNO).

Il est rare d'observer des teneurs de moins de 4 mg/L en milieu marin côtier. Seuls des incidents ponctuels dans le temps et l'espace, comme une stratification de densité en saison productive, peuvent conduire à une anoxie totale des eaux de fond.

Les mesures dans l'estuaire de la Loire montrent une grande variabilité. Elles sont minimales l'été (juin à septembre) et augmentent ensuite pour atteindre les mêmes valeurs que celles rencontrées dans l'estuaire externe de la Loire. La valeur moyenne est de 5,23 mg/L, soit plus faible que celle trouvée dans les eaux côtières.

Les taux d'oxygène sont parfois inférieurs à 2 mg/L : ces périodes de désoxygénations sont essentiellement dus à l'oxydation de la matière phytoplanctonique produite dans le bassin versant de la Loire et ne proviennent donc pas d'un processus d'eutrophisation au sein même de l'estuaire.

Le cas particulier des crises dystrophiques du Mor Bras

L'analyse des mortalités massives de poissons en 1982, réalisée par Merceron (1987), et résumée par Chapelle (1991), a montré qu'il s'agissait d'une asphyxie provoquée par un déficit en oxygène des eaux de fond de la baie de Vilaine.

Pendant la deuxième moitié du mois de juillet 1982, deux épisodes successifs d'orage sur le bassin versant ont généré, par le biais de crues de la Vilaine, une stratification haline dans la baie et un enrichissement des eaux de surface par les sels nutritifs déversés. Le temps calme et ensoleillé qui a suivi chaque crue a permis un développement intense en surface de phytoplancton colorant les eaux.

Après le premier bloom, le phytoplancton se trouvant dans la couche de fond n'a plus disposé d'assez de lumière, la pénétration ayant été réduite par la biomasse chlorophyllienne en surface, et la respiration l'a emporté sur la photosynthèse. Par ailleurs, la matière organique formée lors du premier bloom était en partie en voie de dégradation. Ces deux processus ont entraîné une forte consommation d'oxygène au fond. Les échanges ayant été réduits avec la surface (pycnocline) et avec le large (courants faibles), le déficit en oxygène s'est accru rapidement.

Seul le mauvais temps survenu début août a permis le retour à un bilan en oxygène positif par mélange vertical et latéral de la colonne d'eau. Depuis 1982, cette situation catastrophique s'est reproduite en 1995 (Belin et Raffin, 1998), et elle a été favorisée par le développement d'un bloom à *Gymnodinium cf. nagasakiense*, toxique pour la faune marine. Des hypoxies printanières et estivales sont fréquemment observées au fond de la baie.

C'est ainsi qu'en août 1999 lors d'un bloom de *Gymnodinium chlorophorum* des déficits marqués en oxygène dissous ont été observés (Allenou *et al.*, 2000). Ils ont mis en évidence une nouvelle fois la très grande sensibilité de la baie au risque d'**eutrophisation**.

Il apparaît donc que la baie de Vilaine, du fait des apports importants de sels nutritifs par les fleuves, et de la faiblesse des facteurs hydrodynamiques (courants de marée et circulation résiduelle faible) est un site favorable au développement de crises dystrophiques à l'occasion de conditions météorologiques particulières (faible mélange vertical).

Malgré le caractère exceptionnel des mortalités observées en 1982, leur réapparition est possible dès que seront à nouveau réunies les mêmes conditions climatologiques et hydrologiques ; les déficits chroniques en oxygène en témoignent.

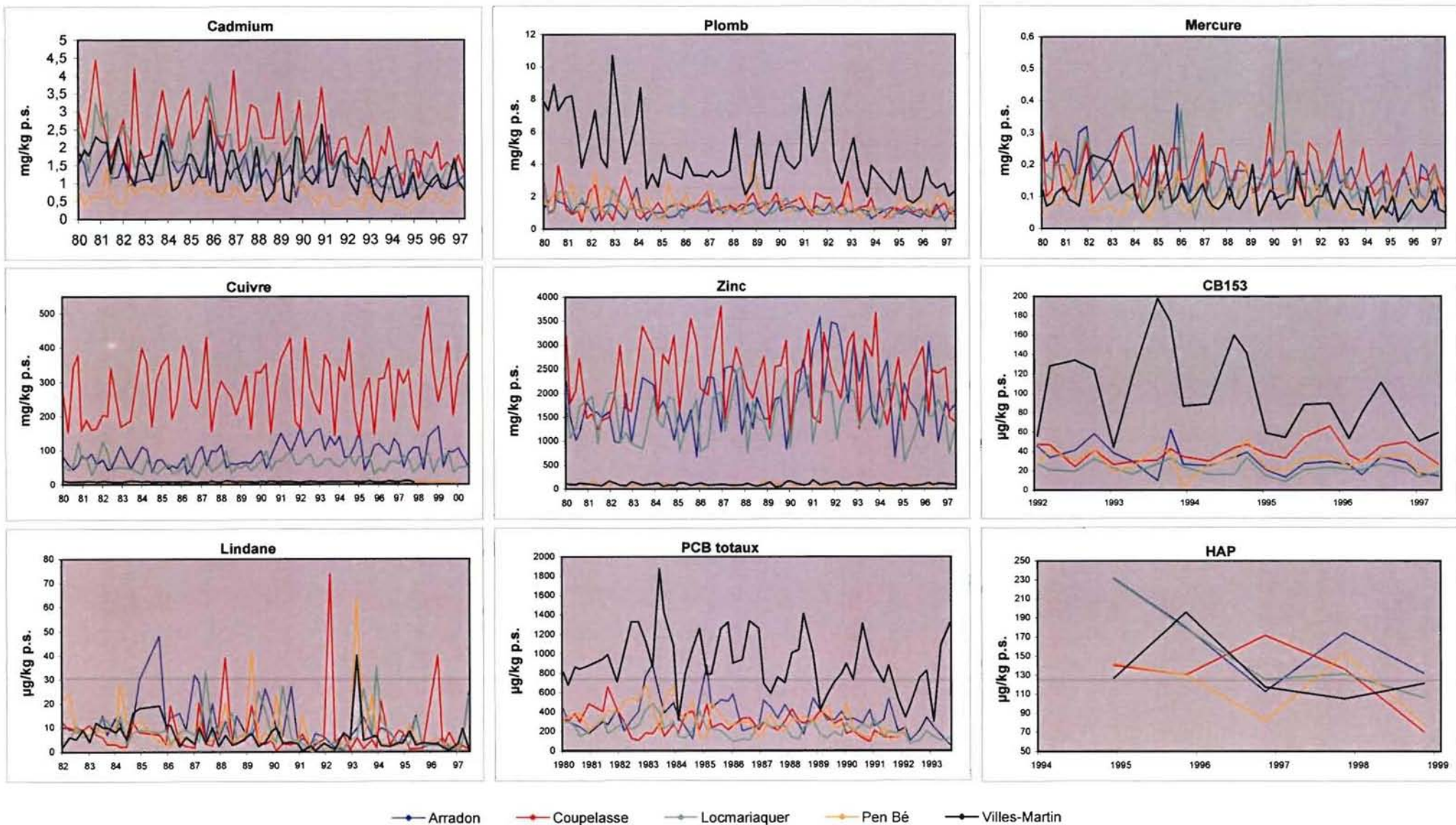


Figure 31 : Résultats RNO sur cinq sites du secteur Loire Vilaine. Sources : IFREMER / banque QUADRIGE.

III.8. LA CONTAMINATION CHIMIQUE DE LA MATIÈRE VIVANTE PAR LES POLLUANTS REMANENTS

Le **RNO** a été mis en place avec pour premier objectif l'évaluation des niveaux et des tendances des polluants, ainsi que les paramètres généraux de la qualité du milieu marin. La figure 31 représente l'évolution des paramètres retenus sur cinq points de surveillance. Les stations sont cartographiées sur la figure 32. Pour les HAP, la station Villes-Martin a été remplacée par celle de la Pointe de Chemoulin car les données étaient plus complètes.

Les paramètres retenus ici ont été sélectionnés pour leur toxicité ou leur rémanence. Les résultats pour les métaux concernent le cadmium (Cd), le plomb (Pb), le zinc (Zc), le cuivre (Cu) et le mercure (Hg). Les contaminants organiques sont donnés par les PCB (polychlorobiphényles), le lindane (γ -Hexachlorocyclohexane), le CB 153 et les HAP (hydrocarbures polyaromatiques).

Les métaux sont exprimés en mg par kg de poids sec de chair de coquillage (mg.kg^{-1} , p.s.), alors que les organohalogénés (CB 153, lindane, PCB totaux) et les hydrocarbures sont donnés en $\mu\text{g.kg}^{-1}$, p.s.

Les analyses ont été effectuées sur des huîtres creuses pour les sites Arradon, Locmariaquer et Coupelasse, alors que ce sont des moules qui ont été utilisées à Pen Bé, Villes Martin et Pointe de Chemoulin. Une distinction doit être faite entre les deux bivalves pour le cadmium, le zinc et le cuivre. L'interprétation des courbes est donnée par le tableau 4 ; dans l'ordre sont portées pour chaque polluant les valeurs minimales et maximales, la moyenne (en rouge), et la tendance significative qui a pu être dégagée des observations. La période d'échantillonnage est donnée par la figure 31.

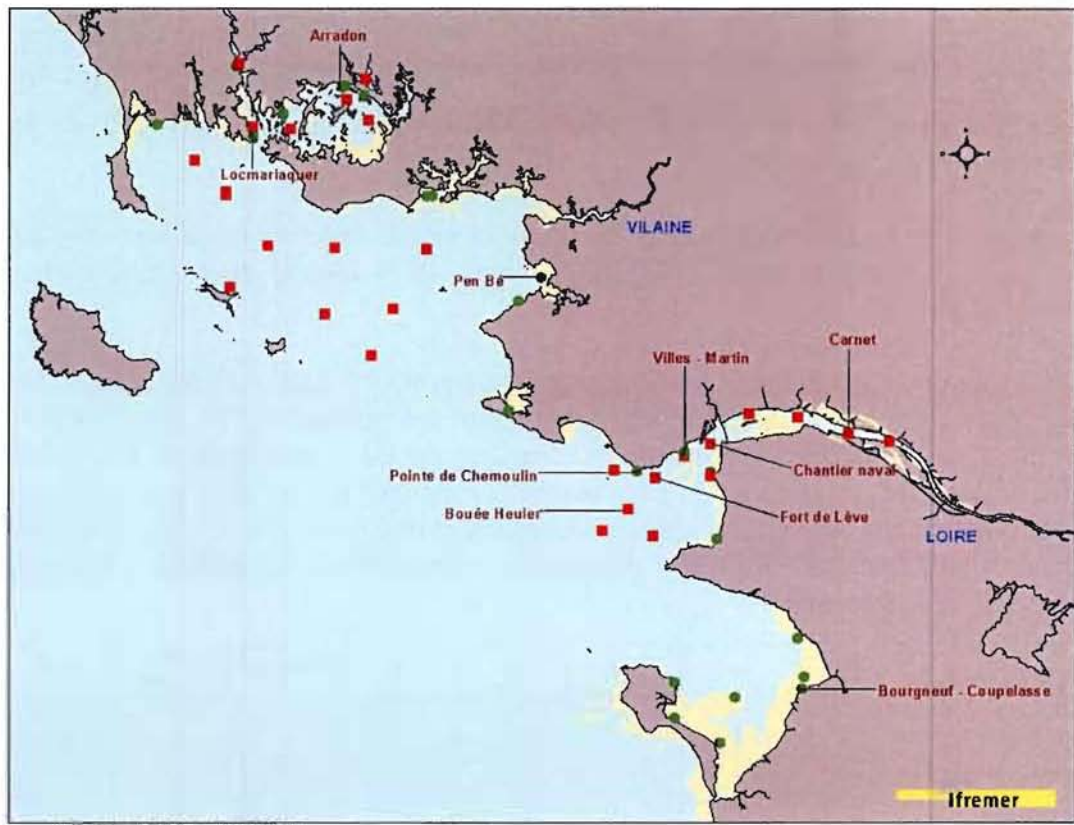
Qualité												
	Très bonne	Bonne	Médiocre	Zn	Cu	Cd	Hg	Pb	PCB totaux	γ -HCH (lindane)	CB153	Σ HAP*
Arradon				658 - 3584 1815.9	31 - 169,8 89.9	0,45 - 2,38 1.3	0,04 - 0,39 0.16	0,5 - 2,5 1.2	55 - 890 361	0,4 - 48 10.1	8,8 - 62,9 28.9	112,6 - 231,7 166.2
Locmariaquer				503 - 2541 1543.1	21 - 125,1 61	0,47 - 3,8 1.5	0,03 - 0,6 0.14	0,6 - 2,6 1.2	70 - 488 218.1	0,2 - 35,2 8.4	9 - 33,5 21.4	106,2 - 230,8 154.6
Pen Bé				43 - 171 90.6	4,5 - 12,7 6.7	0,28 - 1,56 0.6	0,01 - 0,22 0.09	0,4 - 4,2 1.5	120 - 685 322.3	0,2 - 63,3 8.2	3,2 - 52,3 28.5	77,4 - 152,2 116.7
Villes-Martin				40 - 185 97.2	5 - 11,2 8.1	0,47 - 2,76 1.3	0,02 - 0,26 0.1	1,6 - 10,7 4.4	300 - 1874 918.8	0,2 - 40 6.2	44,1 - 197,6 98.4	105 - 195,7 133.1
Coupelasse				1130 - 4065 2342.1	134,6 - 517,4 280.1	0,94 - 4,45 2.2	0,08 - 0,33 0.18	0,4 - 3,9 1.4	90 - 658 276.5	0,2 - 73,7 7.6	24,2 - 65,9 39.1	70,1 - 171,7 129.7

Tableau 4 : Les principaux contaminants du secteur Loire Vilaine : résultats (* Σ HAP représente la somme des 16 HAP mesurés par le réseau de surveillance).

Les HAP ne disposent pas de grille de lecture pour déterminer la qualité des eaux vis à vis de leur concentration. Lors du suivi Erika, le seuil d'alerte était donné pour une valeur de $500 \mu\text{g.kg}^{-1}$, p.s et le seuil d'exclusion pour $1\ 000 \mu\text{g.kg}^{-1}$, p.s. L'ensemble des résultats étant inférieurs à $200 \mu\text{g.kg}^{-1}$, p.s., la qualité a été considérée comme bonne.

Dans l'ensemble, la qualité des eaux littorales est très satisfaisante. Les problèmes principaux concernent **l'estuaire de la Loire** qui présente des concentrations élevées en plomb et en organohalogénés.

Localisation des stations du Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin



Sources : SHOM - IFREMER.

-  Trait de côte
 -  Domaine maritime
 -  Estran
 -  Domaine terrestre
 -  Programme RNO Hydrologie
 -  Programme RNO Matière Vivante
- 0 10 20 Kilomètres

Réalisation : Jérôme Baudrier - laboratoire IFREMER DEL/MPL, 2002.

Figure 32 : Les stations RNO sur le secteur Loire Vilaine.

III.9. LA SURVEILLANCE DU MILIEU MARIN

La surveillance est la mesure répétée d'un paramètre du milieu, de l'activité d'organismes ou de contaminants, ou de l'effet direct ou indirect d'un polluant. Chaque réseau a un objectif précis ; ceux présents dans la zone Loire Vilaine sont brièvement décrits ci-dessous.

III.9.1. Les réseaux existants

- **RNO : Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin**

L'ensemble des activités du **RNO** est coordonné par l'Ifremer pour le compte du Ministère chargé de l'Environnement. La figure 32 représente l'emplacement des stations d'échantillonnage de la zone Loire Vilaine.

- **REPOM : REseau de surveillance des POrts Maritimes.**

Le fonctionnement du **REPOM** est assuré par les CQEL. Il a pour objectifs la connaissance patrimoniale et le suivi de la qualité des milieux portuaires, ainsi que l'évaluation de l'impact des activités portuaires sur le milieu. Les prélèvements concernent le sédiment et la colonne d'eau.

- **REPHY : REseau de surveillance du PHYtoplancton et des phycotoxines**

Le **REPHY** a été créé par l'Ifremer avec pour objectifs d'observer l'ensemble des espèces phytoplanctoniques des eaux côtières, et recenser les événements exceptionnels (eaux colorées par exemple), ainsi que de surveiller en particulier les espèces produisant des toxines dangereuses pour les consommateurs de coquillages. Les points suivis dans le secteur Loire Vilaine sont représentés sur la figure 36.

- **REMI : REseau de contrôle Microbiologique**

Le **REMI** a été mis en place par l'Ifremer en 1989. Sur le littoral français, les zones de production conchylicole sont soumises à un classement de salubrité. Le réseau a pour objet la validation continue du classement de ces zones par l'évaluation des niveaux de contamination fécale et leur évolution mesurée dans les coquillages. Il a donc un objectif de santé publique et un objectif d'évaluation environnementale des tendances à moyen terme. Le REMI concerne les gisements naturels et les zones de production exploitées par les professionnels (cartographie des points suivis : figure 55).

- **Le Réseau de la qualité des eaux de baignade**

La gestion du **réseau de la qualité des eaux de baignade** est assurée par chaque DDASS. Les eaux sont classées en quatre classes, selon les critères définis par la Directive n°76/160/CEE du 8 décembre 1975 du Conseil des Communautés Européennes, modifiée en droit français par le décret n° 81/324 du 7 avril 1981. Le ministère chargé de la santé a la responsabilité de l'organisation et de la coordination de la surveillance des eaux de baignade. 167 plages sont contrôlées par les agents des services santé-environnement des DDASS sur le secteur étudié, ce qui fait une moyenne de près de 3 plages par commune.

- **Le Réseau de la qualité bactériologique des gisements naturels de coquillages**

Le réseau pêche à pied de loisir est chargé de la surveillance de la qualité bactériologique des gisements naturels de coquillages. Sa gestion est confiée aux DDASS. Il ressemble fortement au réseau REMI de l'Ifremer. Les points suivis sont cartographiés sur la figure 55.

- **OPERA : Observatoire PERmanent de la RAdioactivité dans l'environnement**
Les données obtenues dans le cadre de l'**OPERA** sont à la base de nombreux travaux de recherches sur l'environnement. L'objectif recherché est de déterminer et de comprendre les processus régissant les distributions spatio-temporelles et les transferts des radionucléides d'origine naturelle et artificielle, dans les différents milieux. Concarneau est une des stations d'observation de la façade atlantique.
- Le Réseau de mesures de la qualité des eaux des estuaires bretons
En Bretagne, un **réseau de mesures de la qualité des eaux des estuaires bretons** a vu le jour en 1999. Son principal objectif est d'apporter des informations sur la qualité patrimoniale des eaux estuariennes. Il vise également à conseiller les responsables des collectivités territoriales dans leur prise de décisions concernant la préservation des milieux aquatiques.
- Le Réseau de suivi des Ulves
Le **réseau de suivi des ulves** est financé par l'AELB sur le littoral breton. Cet inventaire constitue un préalable à des actions de reconquête de la qualité de l'eau qui sont envisagées sur plusieurs bassins versants générant des marées vertes, en établissant la variabilité interannuelle du phénomène due aux conditions météorologiques. Le travail est sous-traité au CEVA. Les sites touchés sont décrits par la figure 42.

III.9.2. Les réseaux en cours de développement

- **MAREL : Mesures Automatisées en Réseau pour l'Environnement Littoral**
Le réseau **MAREL** permet l'acquisition haute fréquence des paramètres physiques, chimiques et biologiques propres au milieu littoral ou marin. Elle permet de prendre en compte la très haute variabilité des caractéristiques de l'environnement côtier. Les mesures sont automatisées. L'implantation d'une station de ce type en baie de Vilaine pourrait voir le jour à partir de 2003.
- **REBENT : REseau BENThique**
Une réflexion est en cours actuellement pour la mise en place d'un **réseau benthique** national, avec le développement d'un pilote breton. Le principe d'un Avant Projet Sommaire appliqué à la Bretagne est issu de la réflexion du groupe de travail mis en place par la DIREN afin d'établir un cahier des charges du suivi de l'impact de l'Erika sur le milieu. Il sera chargé de développer une approche patrimoniale des milieux littoraux.

La surveillance des écosystèmes côtiers est nécessaire pour contrôler les contaminants qui s'accumulent tout au long de la chaîne trophique. Ceux-ci sont majoritairement déversés par les fleuves. Elle permet également d'identifier les niveaux de contamination microbiologique. Le suivi des paramètres hydrologiques est indispensable à la compréhension du fonctionnement de l'écosystème. Il permet de mettre en évidence le rôle déterminant des panaches fluviaux dans les processus biologiques et dysfonctionnements du milieu.

Avant tout, la température, la salinité, la turbidité, les concentrations en éléments nutritifs... sont étroitement liées aux conditions météorologiques. Les valeurs de chlorophylle varient aussi de façon importante selon les années en fonction des conditions climatologiques qui se répercutent sur la structure des panaches de la Loire et de la Vilaine. Quoi qu'il en soit, l'enrichissement du milieu par les fleuves est à la base d'une forte productivité biologique.

IV. LA DIVERSITE BIOLOGIQUE

IV.1. LA PRODUCTION PRIMAIRE SUR LE PLATEAU CONTINENTAL NORD-GASCOGNE

De nombreux travaux sur la production primaire ont eu lieu antérieurement mais l'essentiel de l'analyse a été tirée de l'étude récente de Lampert (2001). La dynamique du phytoplancton sur le plateau continental sera d'abord abordée afin de comprendre ensuite les phénomènes se déroulant à la côte (et traités dans une seconde partie).

Les cycles phytoplanctoniques du plateau continental atlantique français

Les groupes dominants sur l'ensemble du plateau continental atlantique français ont été étudiés à partir des campagnes **Modycot**. Les diatomées sont présentes toute l'année sur le plateau continental (20 à 51 % de la biomasse totale). Les principaux genres répertoriés dans le secteur de la Loire étaient *Leptocylindrus*, *Chaetoceros*, *Cerataulina*, *Skeletonema*, *Rhizosolenia*, *Pseudo-Nitzschia*, *Thalassiosira* et *Coscinodiscus*.

Au printemps, les efflorescences se développent. Les grandes cellules de diatomées font place aux petites cellules, les flagellés deviennent de plus en plus nombreux. En été, ils sont à leur développement maximum. Les dinoflagellés observés ont été *Gymnodinium*, *Ceratium*, *Katodinium* et *Scrippsiella*. *Gyrodinium*, *Prorocentrum*, *Dinophysis* et *Alexandrium* ont été souvent relevés mais à de plus faibles abondances.

De juin à septembre, l'augmentation des températures favorise le développement de cyanobactéries autotrophes, qui peuvent représenter jusqu'à la moitié de la biomasse phytoplanctonique sur le plateau continental en fin de saison estivale. Près des côtes où le niveau en nutriments est maximum, ce sont les diatomées qui restent dominantes. En automne quelques blooms sont observés, moins intenses que ceux du printemps et qui se poursuivront jusqu'à ce que le mélange devienne trop intense et/ou l'ensoleillement ne soit plus suffisant. Les prymnésiophytes et algues vertes sont présentes en toutes saisons à des pourcentages variant entre 5 et 30 % et les cryptophytes sont observées dans les conditions hivernales.

Lampert a observé sur la radiale Loire Vilaine l'étagement marqué des classes algales (figure 33). Une variabilité selon le gradient côte large est observée, ainsi qu'en fonction de la bathymétrie. La moitié extérieure du plateau est caractérisée par une couche de surface délimitée par la pycnocline située vers 30-40 m de profondeur. En dessous de la pycnocline, les peuplements sont plus diversifiés.

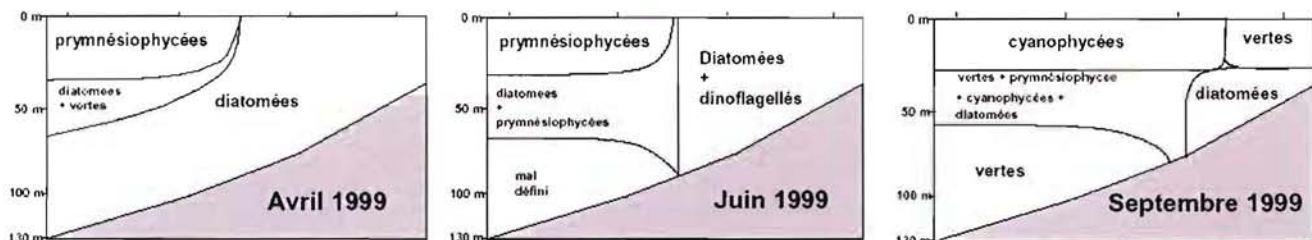


Figure 33 : Distribution schématique des principales classes dominantes pour les campagnes d'avril, juin et septembre 1999. Sources : Lampert, 2001.

La zone côtière est homogène depuis la surface et jusqu'au fond en avril et juin 99, où les diatomées sont dominantes (avec des dinoflagellés en juin). En septembre, la stratification thermique atteint la zone côtière.

La sectorisation diatomées près des côtes et prymnésiofycées au large met en évidence deux zones avec un comportement trophique différent : une zone côtière plus dominée par la production nouvelle et une zone extérieure vivant davantage sur la production régénérée. La petite taille des prymnésiofycées et l'utilisation optimale des faibles concentrations en nutriments les rend plus compétitifs dans les eaux oligotrophes situées au large.

La variabilité spatio-temporelle des classes de taille des microalgues

La figure 34 représente l'évolution des pourcentages de classes de taille en fonction de la structure hydrodynamique de la masse d'eau. Trois classes sont étudiées en écologie phytoplanctonique : le **pico-** (0,2-2 μm), le **nano-** (2-20 μm) et le **microphytoplancton** (20-200 μm) représenté essentiellement par les diatomées et les dinoflagellés.

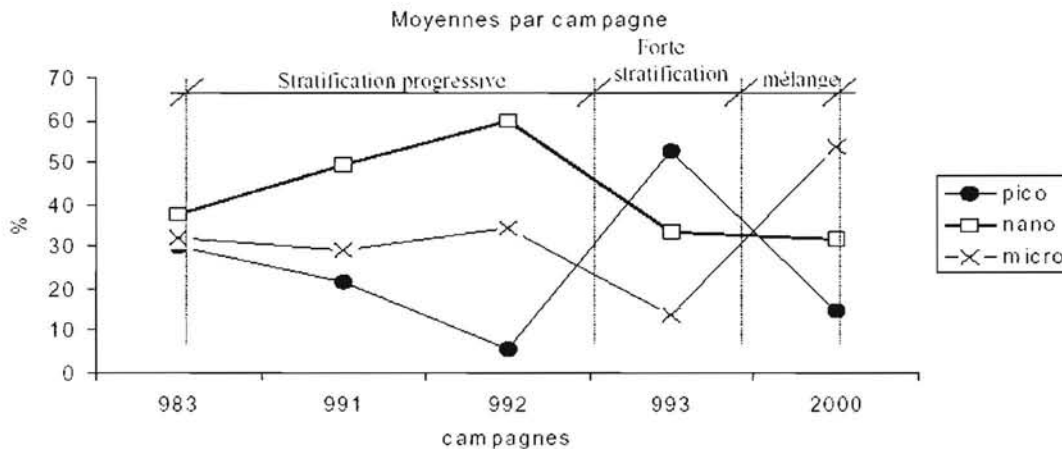


Figure 34 : Evolution temporelle des pourcentages par classe de taille de la biomasse totale en relation avec la stratification de la masse d'eau. Sources : Lampert, 2001.

Quand la masse d'eau est bien mélangée, le pourcentage de microphytoplancton est maximum et le picophytoplancton minimum. Cette situation s'inverse en condition de forte stratification thermique. Le nanophytoplancton reste toujours relativement stable. L'évolution depuis le bloom printanier vers les conditions oligotrophes et stratifiées de l'été, montre une augmentation de la fraction nanophytoplanctonique et une diminution du picophytoplancton.

La variabilité interannuelle dans la distribution des classes phytoplanctoniques

Sur le plateau continental atlantique, la variabilité interannuelle est forte. Les forçages physiques, essentiellement le vent, la pluie et l'ensoleillement, vont déterminer l'extension des panaches et leur importance. La stabilité de la masse d'eau entraîne une variabilité saisonnière et interannuelle. En hiver, la réponse du phytoplancton est donc directement liée aux conditions environnementales, mais par la suite, c'est cette biomasse algale qui va conditionner le milieu et les successions par la diminution des nutriments et par la production de composés organiques. Les classes algales et les espèces se suivent selon les conditions météorologiques et l'histoire biologique qui les succède (Lampert, 2001).

La dynamique phytoplanctonique à la côte diffère de celle du large

Les mesures du REPHY (figure 35) montrent que les diatomées dominent la floraison printanière et automnale sur le littoral. Ce bloom est généralement suivi par une efflorescence faible et rapide du pico-nanophytoplancton en mai grâce à l'ammonium généré durant le bloom printanier. En été, l'écosystème se structure autour de deux grands groupes de phytoplancton : diatomées et dinoflagellés. Les dinoflagellés apparaissent en début de période estivale. Ils dominent pendant une courte période l'été. A la côte, le REPHY observe un retour des petites diatomées en septembre et octobre.

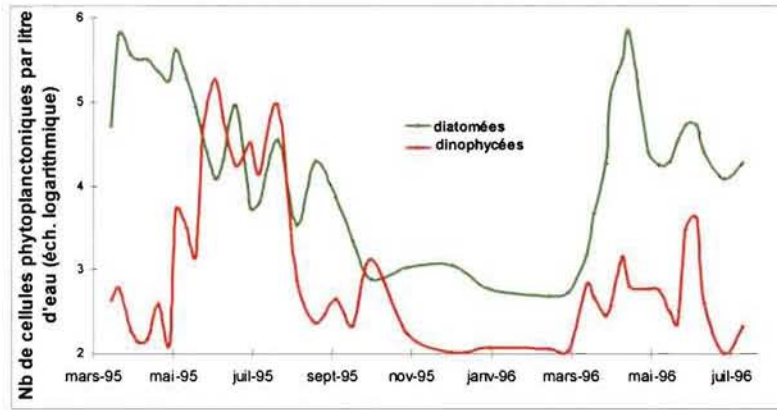


Figure 35 : Flore observée dans le golfe du Morbihan et en baie de Quiberon (Sources : Le Gallic, 1997).

Au large, une dominance du groupe des diatomées est également observée au printemps (figure 33), rapidement suivie par l'importance du nano-picoplancton qui succède à la chute du bloom printanier à diatomées. En période estivale, les cellules de petites tailles deviennent dominantes par rapport au microphytoplancton, c'est la situation inverse de celle qui se déroule sur le littoral. En fin d'été, la biomasse de nanophytoplancton se trouve au large, contrairement à ce qui est observé à la côte. Il existe donc une nette prédominance du microphytoplancton dans les environnements riches en sels nutritifs, et une domination des peuplements nanophytoplanctoniques dans les eaux oligotrophes.

L'étendue du rôle écologique du microphytobenthos

La prise en compte du microphytobenthos date seulement d'une quinzaine d'années. Sa part dans la production primaire totale est d'autant plus grande que les zones intertidales sont étendues et dépourvues de végétation macrophytique d'une part, et que certaines caractéristiques physiques (forte turbidité, faible temps de résidence des masses d'eau...) concourent à limiter la production phytoplanctonique.

L'étude réalisée par Guarini en 1998 sur les vasières du bassin de Marennes-Oléron identifie 7 genre principaux appartenant quasiment tous à l'ordre des Pennales (diatomées pennées). Les genres *Navicula* et *Nitzschia* prédominent ; *Gyrisigma*, *Pleurosigma*, *Surirella*, *Cocconeis*, *Diploneis* sont présents mais dans des concentrations moindres. Cette composition est relativement typique des peuplements de diatomées épipéliques des vases fines.

Elles constituent un **maillon trophique principal**. En effet, en début d'exondation diurne, les microphytes migrent massivement vers la surface. Lorsque la lumière devient insuffisante ou juste avant le flot, la migration nette s'inverse. Le microphytobenthos fait donc l'objet d'une prédation significative par les suspensivores lors de leur remise en suspension dans la colonne d'eau, et par les déposivores à la surface du sédiment ou en profondeur.

Comparaisons des valeurs de production primaire

Les estimations de la production phytoplanctonique annuelle de la baie de Quiberon (60 à 150 gC/m²/an) ont montré que celle-ci se situait parmi les zones côtières les moins productives de Bretagne, alors que le stock hivernal d'azote est comparable à celui d'autres sites. La compétition par les macroalgues et la prédation par les huîtres expliquent en partie ces observations (Videau, 1993). La production en Baie de Vilaine a été estimée entre 240 et 260 gC/m²/an par Clément en 1986, ce qui la place au niveau des zones côtières **eutrophes**. Le Golfe du Morbihan se situe entre les deux puisque les mesures réalisées en 1995 conduisent à une production primaire de 204 gC/m²/an (Le Rouzic et Bertru, 1996).

Localisation des stations du REPHY sur le secteur Loire Vilaine

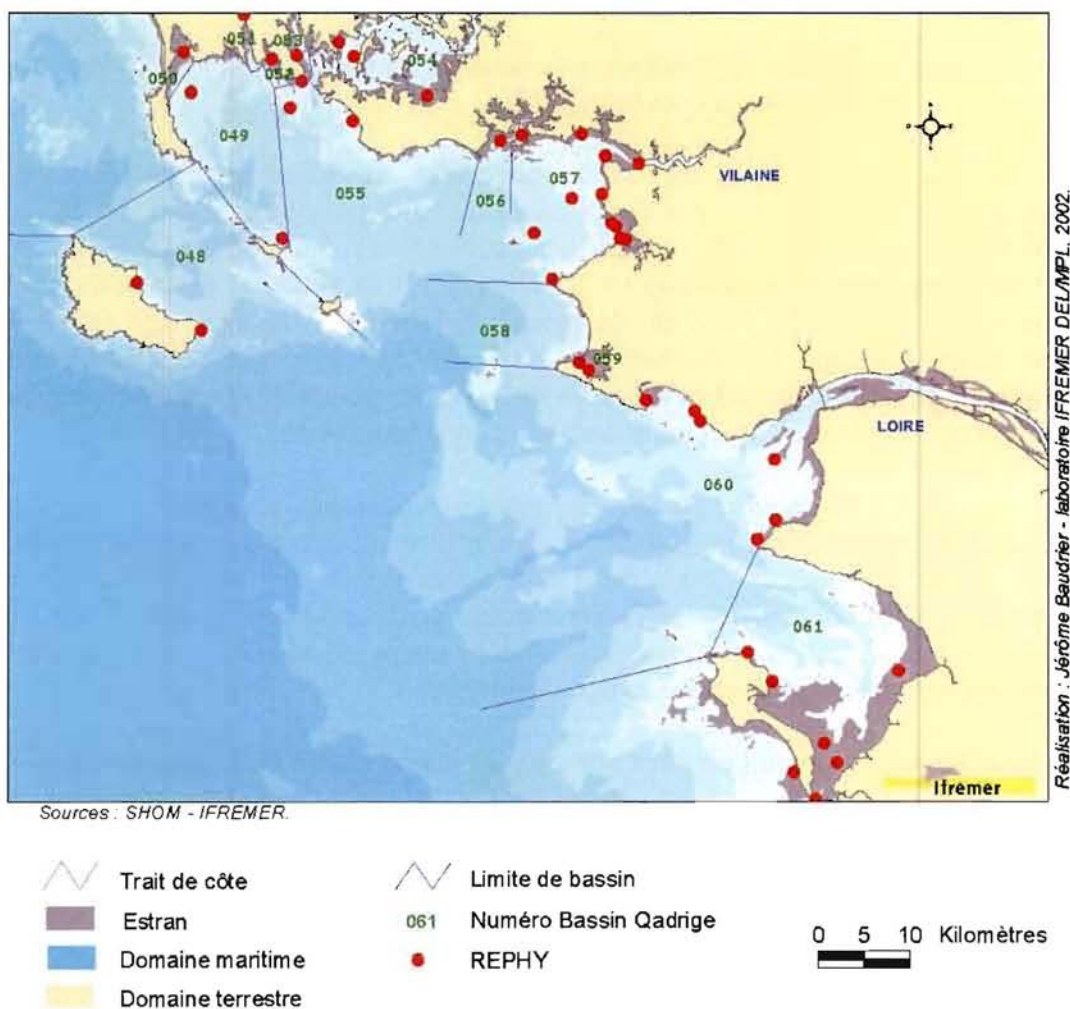


Figure 36 : Localisation des stations REPHY sur le secteur Loire Vilaine

IV.2. LES MICROALGUES TOXIQUES ET NUISIBLES SUR LE SECTEUR LOIRE VILAINE

Pourquoi une surveillance du phytoplancton ?

Des proliférations importantes de certaines espèces se produisent régulièrement, notamment au printemps, formant parfois des « eaux colorées », de la couleur des pigments des cellules phytoplanctoniques. Ces efflorescences sont des phénomènes naturels, mais ils sont parfois amplifiés par un enrichissement important du milieu. La surveillance est assurée par le REPHY (figure 36) de l’Ifremer.

Parmi les nombreuses espèces constituant le phytoplancton, quelques unes produisent des toxines (appelées **phycotoxines**) qui peuvent :

- soit agir directement sur les organismes vivants dans le milieu (animaux et végétaux) ;
- soit être concentrées, sans effet pour eux, par des prédateurs primaires qui acquièrent une toxicité pour leurs propres consommateurs.

Les espèces toxiques pour les consommateurs dans la zone Loire Vilaine

Trois genres phytoplanctoniques dangereux pour les consommateurs ont été observés en France métropolitaine : *Dinophysis*, dont plusieurs espèces produisent des toxines diarrhéiques (ou **DSP**), *Alexandrium* dont les espèces *A. minutum* et *A. tamarense* créent des toxines paralysantes (ou **PSP**) et deux espèces appartenant au genre *Pseudo-nitzschia* (*P. pseudodelicatissima* et *P. multiseriis*) qui produisent des toxines amnésiantes (**ASP**).

Le secteur Loire Vilaine a uniquement été touché par des interdictions de vente de coquillages, dues aux toxines diarrhéiques. Les espèces produisant des PSP et ASP sont toutefois présentes, mais en nombre trop faible pour présenter un risque pour les consommateurs de coquillages. La figure 37 récapitule le nombre d’occurrences des espèces de phytoplancton par site durant la période 1987-1995 (sauf pour *Alexandrium* : 1988-1995).

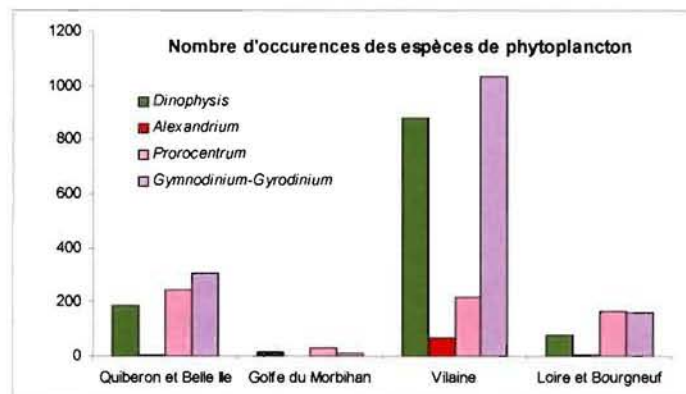
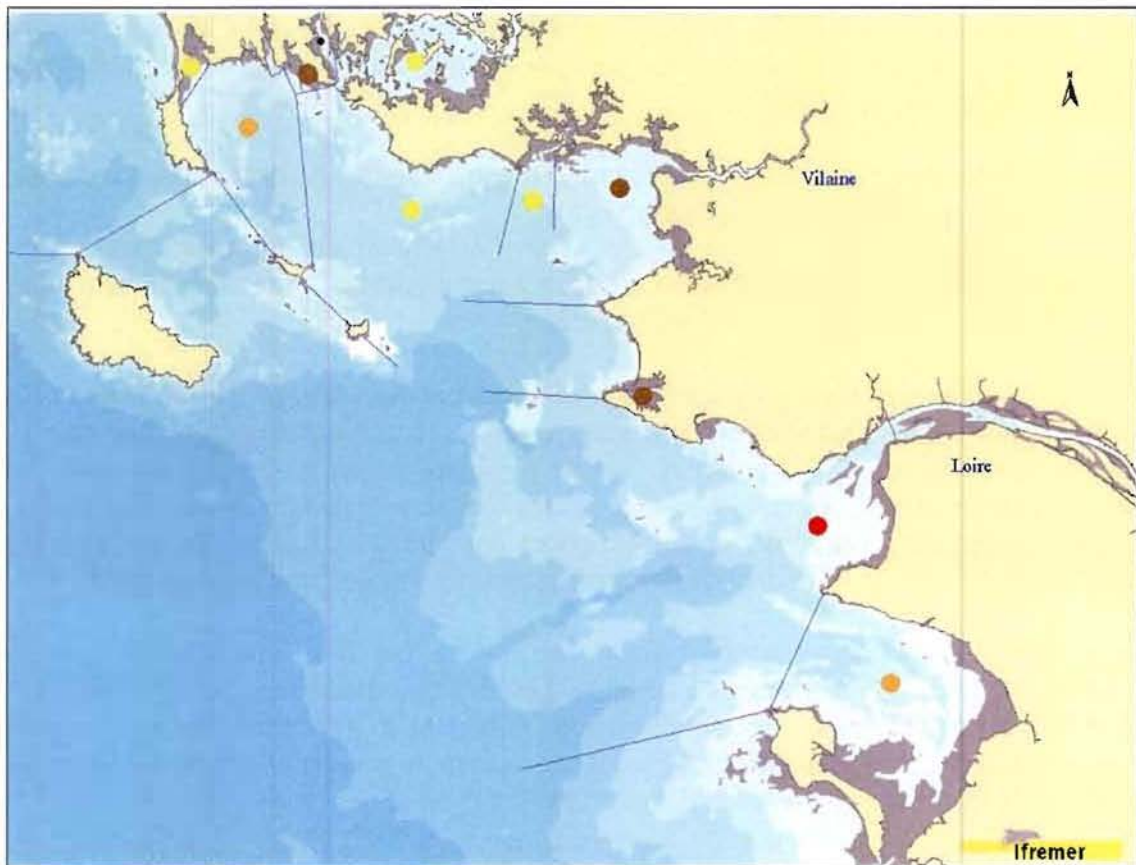


Figure 37 : Nombre d’occurrences des genres *Dinophysis*, *Alexandrium*, *Prorocentrum* et *Gymnodinium – Gyrodinium* sur chacun des sites étudiés. Sources : REPHY.

La Baie de Vilaine se caractérise par un nombre élevé d’occurrences des différentes espèces phytoplanctoniques. Elles y trouvent des conditions favorables à leur développement (il est à noter que ces espèces appartiennent toutes à la classe des dinophycées ou dinoflagellés). A contrario, le Golfe du Morbihan présente un faible nombre d’occurrence.

Concernant *Alexandrium*, les observations montrent que, sur le littoral de Bretagne Nord, *A. minutum* ne devient toxique que s’il se développe en quantité importante : au minimum 100 000 cellules par litre. Depuis 1988, indépendamment des épisodes de toxicité, *A. minutum*

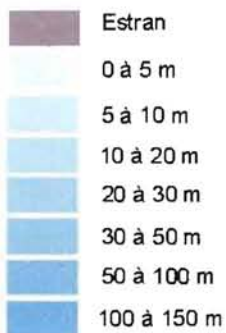
Alexandrium minutum, concentration maximale par bassin (période 1989 - 2001).



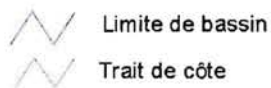
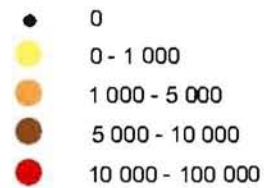
Sources : IFREMER - SHOM

Réalisation : Jérôme Baudrier IFREMER laboratoire DEL/MPL, 2002.

Bathymétrie



Concentration (en cellules par litre)



0 10 Kilomètres



Figure 38 : Concentrations maximales relevées par bassin pour l'espèce *Alexandrium minutum*. Source : REPHY.

est observé épisodiquement et à faible concentration sur les côtes sud-bretonnes, principalement en juin et juillet (Belin et Raffin, 1998). La figure 38 indique les concentrations maximales par bassin d'*Alexandrium minutum* au cours de la période 1989-2001. Les secteurs qui montrent les concentrations les plus élevées sont la Baie de Vilaine, le traict du Croisic et l'estuaire externe de la Loire.

Depuis 1984, indépendamment des épisodes de toxicité, *Dinophysis* est observé quasiment chaque année sur l'ensemble des sites de la zone Quiberon-Noirmoutier. La figure 39 présente les durées de fermeture cumulées sur la période 1984-1995 pour cause de toxicité DSP.

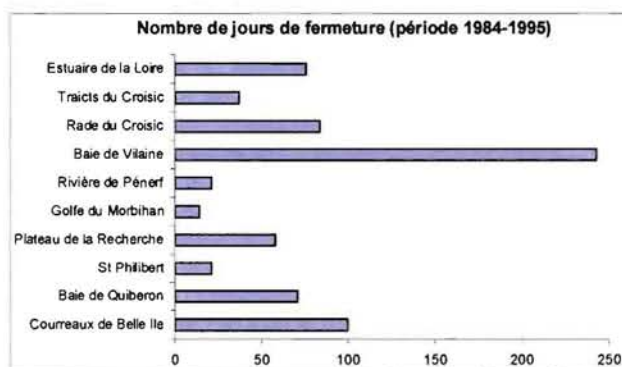


Figure 39 : Les durées de fermetures pour phycotoxines DSP en Loire Vilaine. Sources : Belin et Raffin, 1998.

Les zones les plus touchées sont la Baie de Vilaine et les Coureux de Belle Ile. La rade du Croisic, l'estuaire de la Loire et la baie de Quiberon présentent aussi des durées de fermetures conséquentes, mais réparties sur deux années seulement. Le Golfe du Morbihan est peu touché (14 jours en 1990), tandis que certains sites n'ont subi aucune fermeture (le Pô, rivière de Crac'h, rivière d'Auray, et la baie de Bourgneuf).

Les concentrations maximales de *Dinophysis spp.* ont été illustrées sur la figure 40. Les plus importantes sont toujours enregistrées en baie de Vilaine. La présence des toxines DSP en quantité dangereuse est observée avec des concentrations variables de *Dinophysis* dans l'eau. Pour la baie de Vilaine par exemple, les concentrations sont généralement supérieures à 1 000 cellules par litre, mais de nombreux cas associent l'absence de toxines avec quelques milliers de cellules par litre (Belin et Raffin, 1998). Les données permettent d'identifier les secteurs sensibles aux fortes proliférations de *Dinophysis*. Il s'agit de la Baie de Vilaine surtout, mais aussi de l'estuaire externe de la Loire, du secteur du Croisic et des Coureux de Belle Ile.

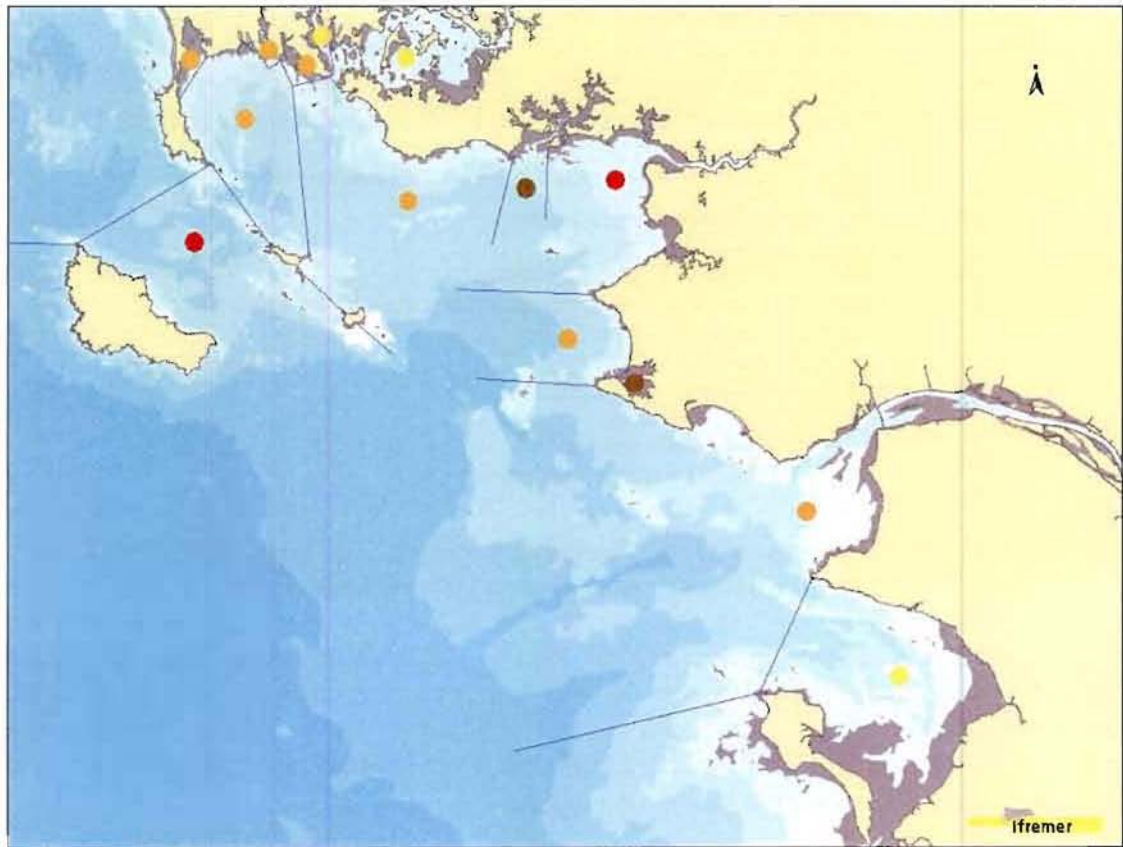
Les espèces toxiques et nuisibles pour la faune marine

Certaines espèces marines sont dangereuses pour les organismes marins. Leur mode d'action sont de trois types :

- privation d'oxygène : la prolifération rapide, suivie de la mortalité et de la décomposition massive de la population phytoplanctonique, conduit à une hypoxie voire une anoxie du milieu ;
- lésions mécaniques des branchies, accompagnées d'une hypersécrétion de mucus, provoquant des troubles respiratoires ;
- effets toxiques par les toxines produites par certaines espèces.

Le recensement de certains cas de mortalités d'animaux marins enregistrés dans le secteur Loire Vilaine depuis 1982, a été effectué. Ils sont rassemblés dans le tableau 5.

Dinophysis spp., concentration maximale par bassin (période 1984 - 2001)



Sources : IFREMER - SHOM

Réalisation : Jérôme Baudrier IFREMER laboratoire DEL/MPL, 2002.

Bathymétrie	
	Estran
	0 à 5 m
	5 à 10 m
	10 à 20 m
	20 à 30 m
	30 à 50 m
	50 à 100 m
	100 à 150 m

Concentration (en cellules par litre)	
	0
	0 - 1 000
	1 000 - 5 000
	5 000 - 10 000
	10 000 - 100 000
	Trait de côte
	Limite de bassin

0 5 10 Kilomètres

Figure 40 : Concentrations maximales relevées par bassin pour les espèces *Dinophysis* spp. Source : REPHY.

Année	Bassin	Date	Conséquences et commentaires	Espèces phytoplanctoniques	Références
1982	Baie de Vilaine	juillet -août	Eaux colorées en brun et marron. Mortalités massives d'animaux marins		Maggi, 1984
1984	Rade du Croisic Traicts du Croisic	mai	Mortalités de naissain	<i>Gymnodinium splendens</i> <i>Oxyrrhis marina</i> Cryptophycées	Berthomé et Lassus, 1985
1991	Rade du Croisic Traicts du Croisic	août-septembre	Eau de couleur verte, mortalités de jeunes soles	<i>Gymnodinium chlorophorum</i>	Belin et Raffin, 1998
1992	Baie de Quiberon Baie de Vilaine	juin-août	Quelques mortalités de naissain de palourdes	<i>Gymnodinium cf. nagasakiense</i>	ICES, 1993
1995	Baie de Quiberon	fin juin	Emission de larves d'huîtres plates anéanties	<i>Gymnodinium cf. nagasakiense</i>	Belin et Raffin, 1998
	Rivière de Crach	juin-juillet	Mortalités de congres, de juvéniles d'huîtres plates ; et de palourdes en bassin		
	Baie de Vilaine	juillet	Eaux colorées en brun et rouge. Mortalités massives d'animaux marins		
	Estuaire Loire	début juillet	Mortalités d'éperlans, plies, anguilles, soles		
	Baie de Bourgneuf	mi juillet	Mortalités de coques, congres, vers		

Tableau 5 : Mortalités d'animaux marins liées à des proliférations phytoplanctoniques.

La Baie de Vilaine a été le siège des phénomènes de mortalité les plus importants. En 1982, 30 à 50 tonnes de poissons furent ramassés sur les côtes (Maggi, 1984). Les espèces touchées sont diverses : arénicoles, coques, palourdes, moules, congres, soles, mullets, anguilles, bars... La Baie de Vilaine présente un ensemble de manifestations (tendance chronique à la désoxygénation, eaux colorées...) traduisant l'eutrophisation croissante du milieu.

IV.3. LES MAREES VERTES

Les marées vertes correspondent à des proliférations de **chlorophycées** de type *Ulva* et *Enteromorpha*. Elles résultent d'un phénomène d'eutrophisation du milieu qui conduit à des amas importants d'algues vertes, couvrant des estrans entiers et pouvant être définitivement rejetés en haut de la plage. Leur dégradation constitue alors une nuisance olfactive et visuelle.

Les marées vertes : une spécificité bretonne

L'évolution croissante des apports azotés, dont l'origine est essentiellement agricole, dans les eaux littorales contrôle l'extension du phénomène. L'importance de l'élevage en Bretagne a entraîné l'enrichissement des cours d'eau et des zones côtières en nitrates, ce qui explique la présence de nombreux sites à algues vertes dans cette région.

Les conditions favorables à la prolifération de ces algues opportunistes

Pour que le phénomène de marée verte se déclenche, trois conditions principales doivent être réunies. Il nécessite des apports excessifs en sels nutritifs, des faibles profondeurs et des conditions hydrodynamiques favorables à la rétention de ces nutriments. Les sites sont ainsi fréquemment localisés à l'exutoire des rivières bretonnes.

Les marées vertes dans le secteur Loire Vilaine

La figure 41 présente le nombre de sites touchés par les marées vertes pour les quatre départements bretons et la Loire Atlantique (inventaire jusqu'à La Baule). Le Finistère est le plus touché par le nombre d'évènements recensés. Les Côtes d'Armor et le Morbihan suivent pratiquement à égalité ensuite.

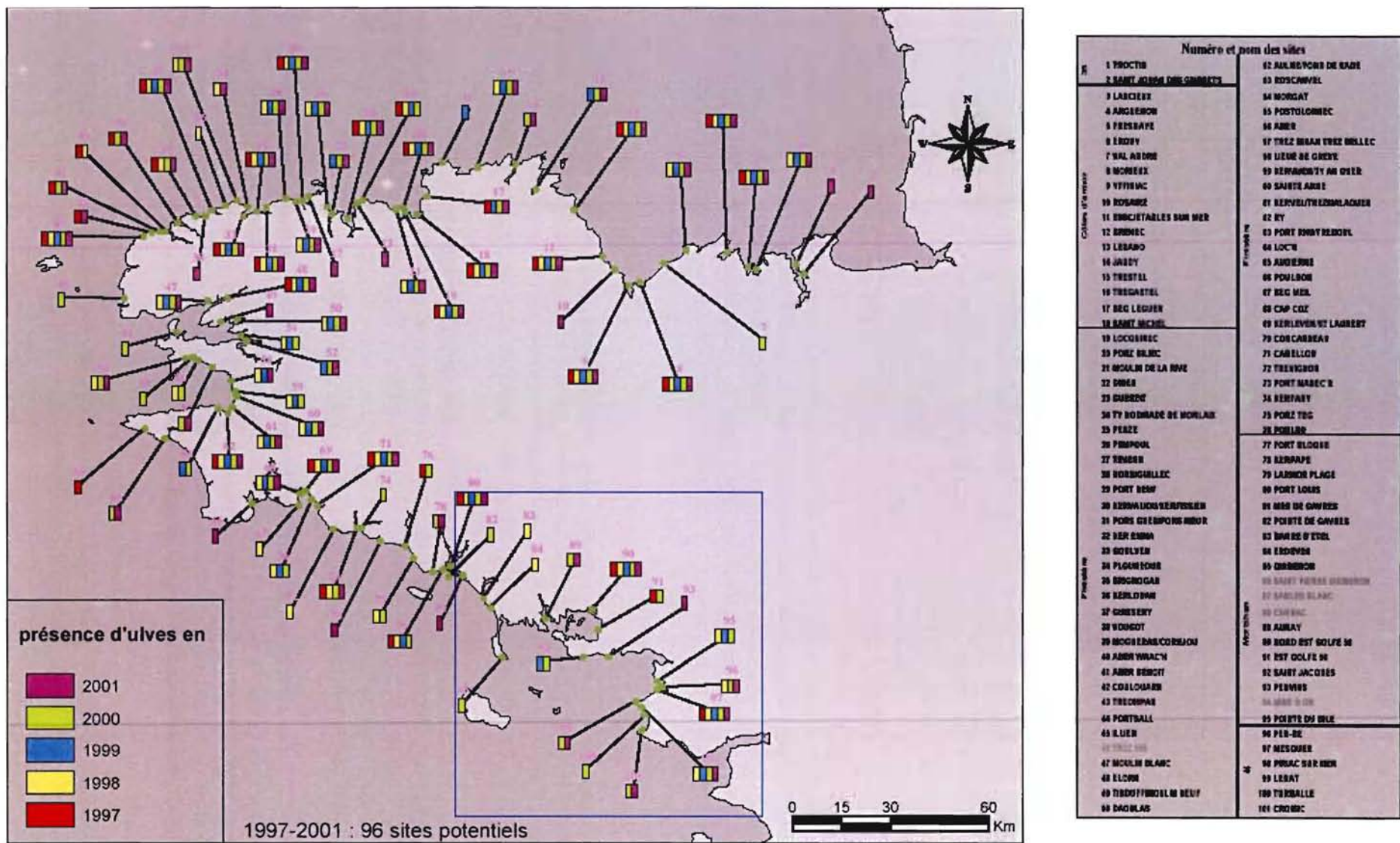


Figure 42 : Inventaire des sites à marées vertes (*Ulva sp.*) de 1997 à 2001. Sources : CEVA – Agence de l'eau Loire – Bretagne.



Figure 41 : Nombre de sites à Ulves recensés sur la base des données 1997 à 2001. Sources : CEVA-AELB.

Cependant, l'étude des biomasses montre que le Finistère et les Côtes d'Armor sont les plus touchés, bien loin devant les autres départements. L'inventaire n'a pas été étendu au sud de la Baule, les proliférations de chlorophycées y étant très rares.

La localisation des sites touchés sur le secteur Loire Vilaine est donnée par la figure 42. La tendance sur la zone étudiée est à l'augmentation du nombre de sites observés, c'est pourquoi il est nécessaire de suivre des programmes de **reconquête de la qualité de l'eau**.

IV.4. LES POPULATIONS ZOOPLANCTONIQUES

Les espèces rencontrées dans le secteur Loire Vilaine

Une étude a été réalisée au cours de quatre campagnes trimestrielles de la « Pélagia » sur le plateau continental du Golfe de Gascogne en 1971 et 1972 (Beaudouin, 1975). Il y a eut très peu de travaux depuis. Les principales espèces pêchées dans la moitié septentrionale du Golfe de Gascogne sont rassemblées dans le tableau 6.

Printemps	Été	Automne
<i>Calanus helgolandicus</i> <i>Pseudocalanus elongatus</i> <i>Temora longicornis</i> <i>Metridia lucens</i> <i>Centropages typicus</i> <i>Acartia clausi</i>	<i>Calanus helgolandicus</i> <i>Eucalanus elongatus</i> <i>Clausocalanus arcuicornis</i> <i>Ctenocalanus vanus</i> <i>Centropages typicus</i> <i>Acartia clausi</i> <i>Corycaeus anglicus</i>	<i>Calanus finmarchicus</i> <i>Paracalanus parvus</i> <i>Clausocalanus arcuicornis</i> <i>Euchaeta hebes</i> <i>Clytemnestra scutellata</i>

Tableau 6 : répartition saisonnière des copépodes dans le nord du golfe de Gascogne (au-dessus de 46°N). Sources : Beaudouin, 1975.

Ces espèces ont un caractère très néritique. En particulier, les deux copépodes *Temora longicornis* et *Acartia clausi* peuplent massivement les eaux côtières de la zone Loire Vilaine.

D'autres ont un caractère plutôt océanique mais leur abondance dans la zone côtière varie en fonction des mouvements saisonniers de l'eau atlantique. Elles s'adaptent alors aux conditions de température et de salinité des eaux côtières ; c'est le cas de *Rhincalanus nasutus*, *Candatia armata* et *Oncaea sp.*

Le secteur septentrional du Golfe de Gascogne, approximativement limité par la Loire, comporte des espèces soit tempérées, soit boréales venant de la Manche et, occasionnellement, d'autres espèces portées par le courant lusitanien venant de la profondeur.

IV.5. LES NOURRICERIES ET LES FRAYÈRES DU SECTEUR LOIRE VILAINE

Le rôle essentiel des zones côtières pour la pérennisation de la pêche professionnelle

Plusieurs études menées lors de ces dernières années se sont intéressées aux zones côtières particulièrement importantes pour les ressources halieutiques. Les résultats présentent les nurseries et frayères des espèces benthiques et démersales ayant un intérêt commercial (Guérault *et al.*, 1997 ; Guérault *et al.*, 2000) ; ils sont résumés dans le tableau 7.

Nourriceries (espèces allochtones)			
Golfe du Morbihan	Baie de Vilaine	Estuaire de la Loire	Baie de Bourgneuf
anguille	cèteau	flet	
griset			griset
seiche	seiche		
bar	bar		
	pie		pie
	rouget		rouget
	merlan	merlan	merlan
tacaud	tacaud	tacaud	tacaud
sole	sole	sole	sole
Nourriceries - Frayères (espèces autochtones)			
Golfe du Morbihan	Baie de Vilaine	Estuaire de la Loire	Baie de Bourgneuf
		éperlan	
	casseron	casseron	
	étrille		étrille
	bouquet	bouquet	bouquet
	crevette grise	crevette grise	crevette grise

Tableau 7 : Liste des espèces constantes utilisant les zones côtières du secteur Loire-Vilaine comme nurseries et frayères. Sources : Guérault *et al.*, 1997 ; Guérault *et al.*, 2000.

Au total, ce sont 16 espèces différentes qui fréquentent les baies côtières de la zone Loire-Vilaine. La préservation de ces milieux riches et fragiles est vitale pour la reproduction et la croissance de ces espèces exploitées.

La baie de Vilaine accueille le plus grand nombre d'espèces halieutiques

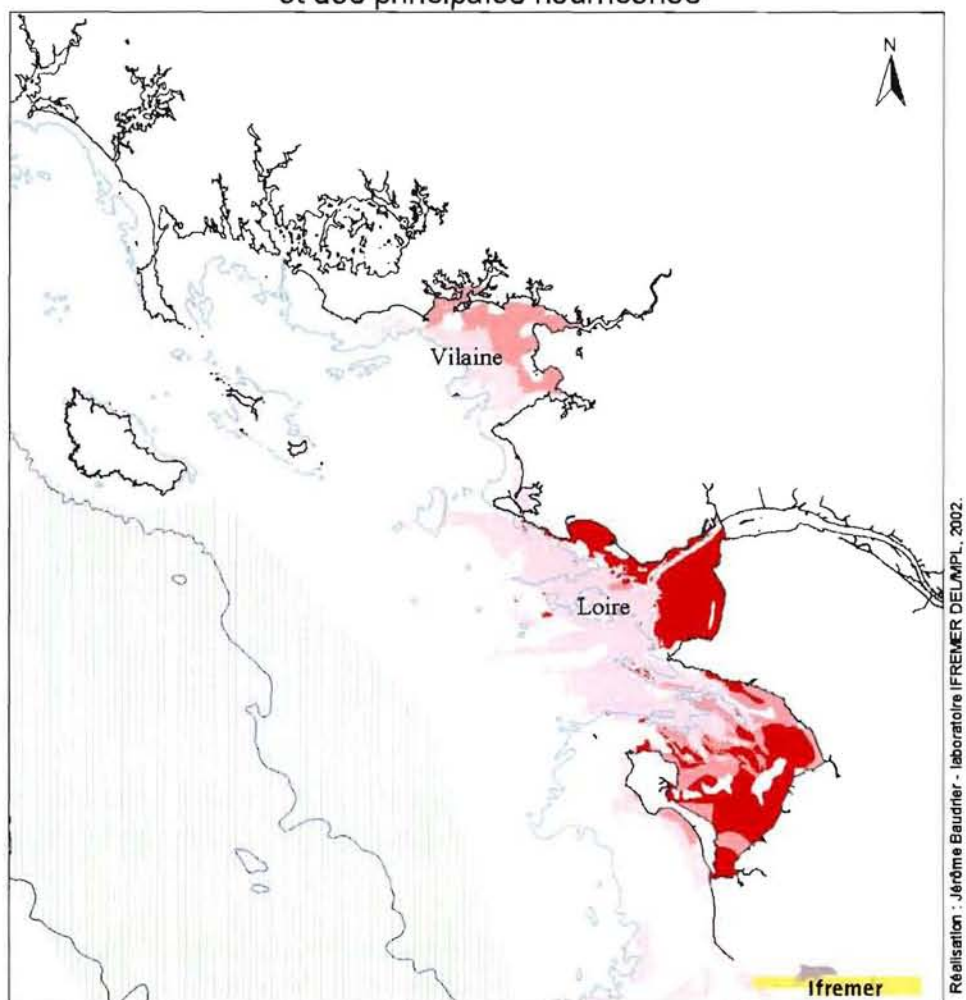
La baie de Vilaine constitue une nurserie pour huit espèces ; elle sert de frayère et de nurserie pour trois espèces de crustacés et une de mollusque. La diversité des espèces fréquentant la Baie de Vilaine est ainsi plus grande que celle rencontrée dans les autres zones côtières échantillonnées. Parallèlement à ces études, une liste exhaustive des espèces capturées lors des échantillonnages a été dressée dans l'optique d'un suivi de la richesse spécifique, celle-ci a montré une **réduction du peuplement halieutique** de la baie de Vilaine depuis les années 1980 (Guérault *et al.*, 1999).

L'exemple d'un poisson plat amphihalín : le flet (Platichthys flesus flesus)

L'étude de Masson (1987) s'étend du bassin versant de la Loire au domaine marin. Dans les régions les plus côtières de la baie de Vilaine à la baie de Bourgneuf, les flets (appartenant surtout aux groupes 0 et 1) sont observés toute l'année, ce sont les zones de nurseries. Plus au large, sur les zones représentées par les triangles Dumet-Hoëdic-Le Four et Belle Ile-Hoëdic-Le Four, l'espèce n'est présente qu'au moment de la reproduction entre janvier et avril. Ces secteurs abritent donc les frayères.

Entre l'île d'Yeu et Belle Ile, les larves de flets sont capturées à la fin du mois de mars sur des fonds compris essentiellement entre 30 et 50 mètres. Elles pénètrent dans l'estuaire de la Loire à compter de la fin de la première quinzaine de mars (Gascuel, 1985). Au cours de leur

Localisation de la frayère à soles de la région Nord Gascogne et des principales nurriceries



Réalisation : Jérôme Baudrier - laboratoire IFREMER DELMPL, 2002.

Sources : SHOM, données IFREMER laboratoire ECOHAL (D. Le Page/C. Koutsikopoulos).



Figure 43 : Localisation des nurriceries et de la frayère à soles du secteur Loire Vilaine.

migration annuelle, les géniteurs se dirigent vers ces aires de ponte où ils se concentrent pour se reproduire. Ils quittent ensuite les frayères et rejoignent l'ensemble des milieux colonisés par les adultes (bassin fluvial, estuaire, domaine marin). Les frayères de rougets, merlans, soles... sont elles aussi éloignées de la côte (secteur de Belle Ile).

Le cas particulier des frayères à soles situées au large

La sole présente une écophase juvénile estuarienne dans les quatre zones citées préalablement. Ses frayères sont localisées au large. Une cartographie (figure 43) a donc été réalisée afin de visualiser l'emplacement de la frayère et la répartition de l'abondance au sein des nourriceries. Le choix de cette espèce réside aussi dans le fait qu'elle présente une haute valeur commerciale et qu'elle est trouvée partout à l'échelon national.

La migration des soles à l'âge de deux ou trois ans vers les frayères a lieu en hiver. L'éloignement des frayères de la côte constitue une adaptation locale et représente le meilleur compromis pour les géniteurs. Une même frayère est donc composée du mélange des individus des nourriceries côtières. La nature du sédiment, la profondeur et les conditions hydrologiques plus stables et moins sévères sont les trois facteurs déterminants (Koutsikopoulos, 1991).

Les ressources pélagiques dans le secteur Loire Vilaine

Une cartographie des aires de frai des sardines, sprats et anchois a été effectuée entre 1969 et 1973 (Arbault et Lacroix, 1977a). La **température** est un facteur majeur dans l'étude de la localisation des frayères. Les périodes et aires de ponte sont fluctuantes au cours des différentes années.

La période de ponte des sardines s'effectue dès l'hiver, elle décline en été et reprend en automne. Les larves sont toujours sensiblement dans les mêmes eaux que le frai, mais plus dispersées, elles ont tendance à s'éloigner des côtes. Les œufs de sardines sont pélagiques et leur survie est partiellement fonction de la température des eaux de surface ; leur répartition peut dépendre des températures des eaux de fond, car les géniteurs de cette espèce se rassemblent en profondeur à la période de frai. Il se produit un véritable pullulement d'œufs au printemps.

La frayère s'étendant des côtes morbihannaises à la Gironde est riche et bien développée chaque année (figure 44). En été, les œufs sont rares et rassemblés sur les côtes de Bretagne Sud. La partie médiane est la seule à rester constamment infertile, ceci pourrait être relié à la présence du bourrelet froid.

La reproduction du sprat commence en automne, la période du maximum se situant en hiver dans les eaux de 8 à 10,5°C, où les œufs et larves sont pêchés simultanément. En hiver, la frayère se localise chaque année de la pointe de Penmarc'h à la Gironde (figure 45), elle est très proche du littoral. Le frai en automne s'effectue de Quiberon à Noirmoutier, il s'agit toujours d'une ponte très côtière.

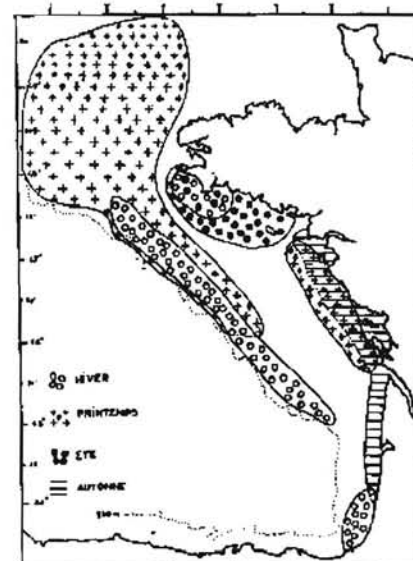


Figure 44 : carte schématique des frayères de *Sardina pilchardus* aux différentes saisons. Sources : Arbault et Lacroix, 1977a.

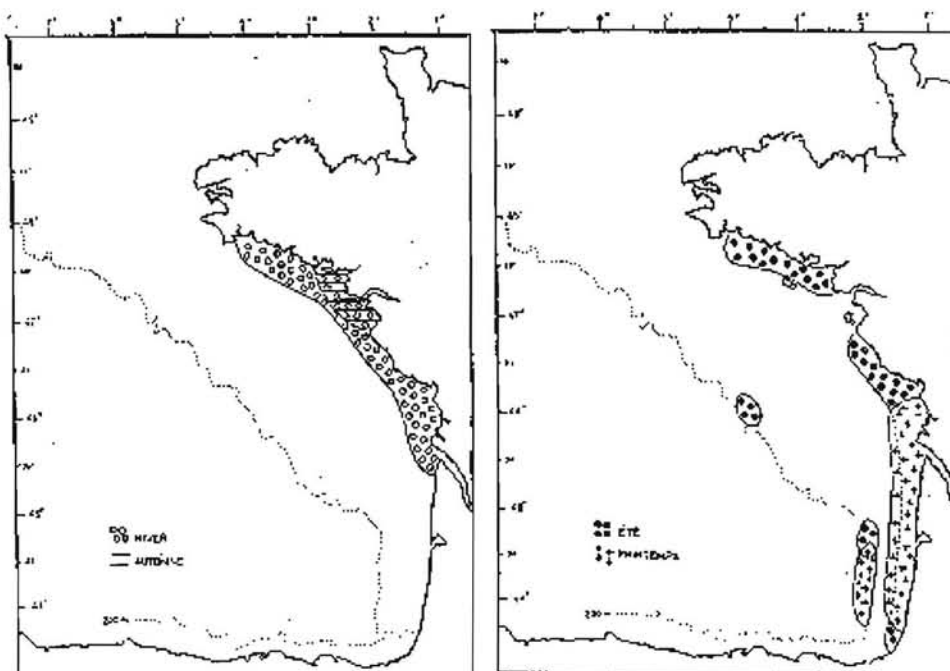


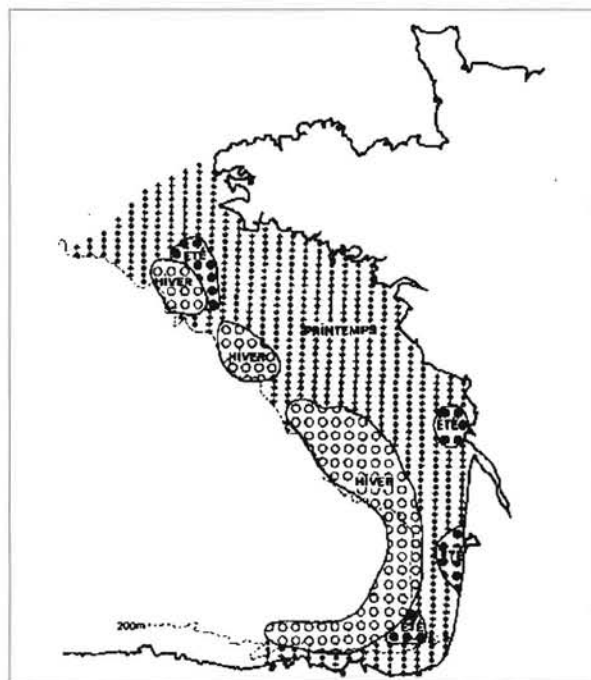
Figure 45 : Cartes schématiques des frayères de poissons aux différentes saisons. A gauche : *Sprattus sprattus* ; à droite : *Engraulis encrasicolus*. Sources : Arbault et Lacroix, 1977a.

L'anchois se reproduit dans des eaux relativement chaudes (de 14 à 20°C) : la présence d'œufs se limite au printemps et à l'été. Au printemps, la zone côtière entre l'île de Ré et le sud du golfe de Gascogne est constamment très riche en œufs. Les aires de reproduction sont plus réduites en été et disséminées dans tout le golfe. Leur présence est en particulier remarquée entre Penmarc'h et l'estuaire de la Loire.

Le maquereau est une espèce à ponte essentiellement printanière, les rassemblements de reproducteurs s'effectuant dès que la température de l'eau atteint 10,5°C au voisinage du fond (Arbault et Lacroix, 1977b).

L'aire de reproduction est alors très vaste et recouvre la totalité du plateau continental (figure 46). Pour les autres saisons, le nombre d'œufs récoltés est plus faible et concerne peu le secteur Loire-Vilaine.

Figure 46 (ci-contre) : Carte schématique des frayères de *Scomber scombrus* aux différentes saisons. Sources : Arbault et Lacroix, 1977b.



IV.6. LE BENTHOS

Les peuplements rencontrés sur la zone Loire Vilaine

L'étude réalisée par Glémarec sur le plateau continental Nord Gascogne fait office de référence en ce qui concerne les peuplement de fonds de l'ensemble du secteur Loire Vilaine. Des études sporadiques ont été menées par la suite, elles ont permis de compléter ce premier inventaire. Le but de cette partie n'est pas de détailler avec précision la répartition des biocénoses. Seuls les principaux peuplements les plus représentatifs du secteur côtier ont été décrits au cours de ce chapitre, l'analyse étant tirée des travaux de Glémarec (1969).

L'hydrodynamisme guide la répartition des biocénoses dans le golfe du Morbihan

La partie orientale du golfe du Morbihan est fortement envasée et présente des peuplements à *Nucula turgida* - *Melinna palmata* et *Nucula turgida* - *Abra nitida*. Dans la partie centrale, *Nucula nucleus* est présente. Au débouché de la rivière de Vannes, des sables grossiers à *Tapes aureus* sont suivis par des fonds à *Venus verrucosa*. Dans le chenal reliant l'île d'Arz et l'île aux Moines, les vases compactes sont caractérisées par *Melinna palmata* et *Amphicteis gunneri* ; puis au sud des vases molles à *Nucula turgida* et *Turritella communis* se distinguent.

La partie occidentale est connue pour ses courants importants. La gravelle à *Venus verrucosa* et *Tapes rhomboides* est présente, ainsi que des fonds de *Lithothamnium solutum*. Cette endofaune peut être recouverte de banc d'ophiures : *Ophiothrix fragilis* et *Ophiocolina nigra*. Le chenal central est dépourvu de toute couverture sédimentaire.

Une mosaïque très diversifiée dans le Mor Bras

Le fond de la baie de Quiberon est marqué par des sables moyens à *Spisula ovalis*, ils sont limités vers le large par une bande de maërl (*Lithothamnium corallioides*) à *Venus verrucosa* – *Tapes rhomboides*. Au débouché de la rivière de Crac'h, le maërl s'envase et *Eunice vittata* prédomine avec *Stylarioides eruca*. Plus à l'est, la vase devient sableuse avec *Maldane* et dans un stade ultérieur d'ensablement, c'est le peuplement à *Turritella communis* – *Owenia fusiformis* qui apparaît. Les mêmes peuplements sont retrouvés dans la partie occidentale de la baie. La partie externe contient des sables envasés à *Abra alba*.

Une vasière à *Maldane* et *Haploopsis* occupe toute la partie centrale du Mor Bras et s'infiltrer vers l'est de part et d'autre du plateau de la Recherche en baie de Vilaine. Dans l'axe du chenal du Mor Bihan et au nord de cet ensemble, une vase à *Abra alba* est présente. La vasière est limitée à sa périphérie par une bande de sables envasés à *Turritella communis* ou à *Ampelisca spinipes*.

En baie de Vilaine, le « delta » sous-marin du fleuve est composé de sables très fins et envasés à *Pectinaria Koreni* et *Acrocnida brachiata* avec un noyau à *Diogenes pugilator* et *Donax trunculus*. De part et d'autre, les chenaux sont constitués de vase molle à *Nucula turgida* et *Sternopsis scutata*, l'endofaune y est très pauvre. Dans la partie occidentale, des sables plus grossiers à *Spisula elliptica* et *Owenia* entourent des sables envasés à *Turritella communis* et des sables fins à *Venus gallina*. La partie occidentale de la baie de Vilaine est composée d'une immense vasière caractérisée par *Oerstergrenia digitata*, *Virgularia tuberculata* et *V. mirabilis*.

A l'ouest de la rade du Croisic, deux espèces caractéristiques de la Grande Vasière apparaissent, ce sont *Brissopsis lyrifera* et *Goneplax rhomboides*. La rade du Croisic est composé d'un cordon de sable, un tombolo identique à celui de Quiberon, qui se prolonge par

des gravelles et sables grossiers à *Spisula ovalis*. Des sables envasés à *Turritella communis*, *Owenia fusiformis*, *Spisula subtruncata* et *Magelona allenii* sont rencontrés entre cette plage sous-marine et la vasière à *Maldane-Haploops*.

Les fonds pauvres des chenaux de la Loire

Les vases du Mor Bras pénètrent la partie occidentale du chenal Nord de la Loire. A l'exception des sables envasés à *Turritella – Ampelisca spinipes* situés près du plateau du Four, les sédiments sablo-graveleux sont azoïques, sauf pour quelques populations localisées de *Spisula ovalis*. Près des massifs rocheux, des gravelles sales à *Hyalinoecia bilineata – Pista cristata* se distinguent également, ainsi que des vases sableuses caractérisées par *Venus gallina*, *Acrocnida brachiata*, *Cultellus pelluciduse* et *Macra corallina*.

La fosse du Croisic taillée dans le banc rocheux de Guérande est précédée dans sa partie orientale d'une avant-fosse qui s'enfonce dans les sables azoïques de l'estuaire de la Loire. Le côté estuarien est formé de sables envasés à *Turritella communis* enfermant un noyau de vase compacte à *Barnea candida*. Vers l'ouest, la succession est la suivante : sables à *Ampelisca spinipes* auxquels la *Turritella* peut se joindre, vases à *Maldane* et *Haploops*. Au nord, une bande de vase dominée par des sables sales à *Abra alba – Cultellus* s'incère. La fosse présente des vases à *Maldane* auxquelles se joignent les *Amphiura* qui demeurent seules à l'extrémité de ce couloir ouvert au large sur des sables grossiers.

Le chenal du sud présente à l'est un peuplement monospécifique à *Spisula ovalis* situé dans sables et graviers. Des gravelles à *Amphioxus – Venus fasciata* bordent ce chenal au large de la baie de Bourgneuf et entourent des *Amphioxus*, des *Spisula*, ainsi que des *Tellina pygmaea*. Plus à l'ouest, le chenal se resserre et les sables grossiers à *Echinocyamus – Tellina pygmaea – Dentalium vulgare* apparaissent. Il se prolonge vers le large par des sables moyens à *Nephtys cirrosa* et *Ophelia borealis*.

La Baie de Bourgneuf : des bancs sableux au centre, des sédiments envasés à l'ouest

L'entrée de la baie est constituée de gravelles à *Venus fasciata – Tapes rhomboides – Tellina crassa*, prolongées par des sables moyens à *Nephtys cirrosa – Ophelia borealis – Trivisia fabesi*. Ils sont entourés par plusieurs bancs, composés de sédiments mixtes très pauvres dont la faune est dominée par *Nucula nucleus*, *Terebellides*, *Atelecyclus undecimdentatus*. Ils sont aussi présents sous la pointe de Saint Gildas et séparés de la baie de Pornic par une bande de sables moyens. Il faut noter la présence de bancs de maërl (*Lithothamnium calcareum*), sur ce peuplement et de *Tapes rhomboides*, adossé au plateau rocheux de Noirmoutier.

Les sédiments du fond de la baie de Bourgneuf sont constitués de vases à *Nucula turgida* et *Abra alba*. A l'ouest du chenal de la Pierre, se trouve une vase sableuse comprenant des *Lanina conchylega*. Les autres chenaux sont constitués de vase à *Barnea candida*, plus au sud avec des *Abra alba*, et au centre avec des *Melina palmata*.

La forte productivité de l'écosystème Loire Vilaine et les conditions physiques rencontrées sont responsables de la diversité biologique observée. La richesse du milieu a permis l'essor des activités de pêche et de conchyliculture sur l'ensemble du secteur ; elles sont dépendantes de la qualité des eaux côtières. Lors de ces vingt dernières années, l'attractivité du littoral s'est considérablement accrue. L'usage fonctionnel de la bande côtière située entre Quiberon et Noirmoutier a reculé au profit des activités de loisirs, ce qui a entraîné l'arrivée massive d'une population nouvelle.

V. LES ACTIVITES HUMAINES

V.1. DEMOGRAPHIE

Le dynamisme démographique du Morbihan et de la Loire Atlantique

Avec près de 644 000 habitants en 1999 (figure 47), le Morbihan présente la seconde plus **forte croissance démographique** parmi les départements bretons. Cette progression s'explique essentiellement par une forte attractivité : le solde migratoire est excédentaire de près de 17 000 personnes sur la décennie 90 (Di Carlo, 2000).

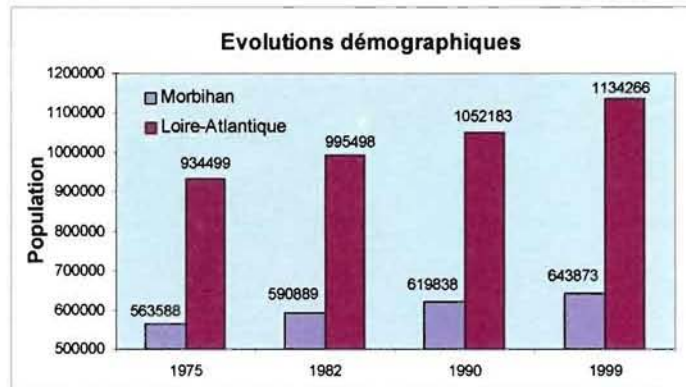


Figure 47 : Evolutions démographiques dans le Morbihan et en Loire Atlantique (Sources : INSEE).

La population en Loire Atlantique s'élève, quant à elle, à 1 134 266 habitants, soit 80 000 de plus qu'en 1990. Elle contribue pour la moitié du gain total des Pays de la Loire et est l'un des départements français les plus **dynamiques** en terme de croissance.

Près de trois habitants sur quatre vivent dans l'espace urbain

Le zonage en aires urbaines se révèle être un bon outil pour l'analyse des dynamiques territoriales. Pour les Pays de la Loire, 70 % de la population habite l'espace à dominante urbaine (Riezou, 2001). Les aires urbaines les plus importantes sur la zone Quiberon-Noirmoutier sont **Vannes**, **Saint Nazaire** et **Nantes**.

A titre d'exemple, la population urbaine s'est accrue de 70 000 personnes en Loire Atlantique. L'essentiel de cette augmentation concerne l'aire urbaine de Nantes qui a progressé de plus de 1 % par an. L'agglomération nantaise compte désormais plus de 543 000 habitants (269 000 pour la ville seule), 47 000 de plus qu'en 1990 (Fraboul, 1999).

La forte attractivité du littoral et des grandes agglomérations

Depuis 1990, deux grandes tendances ont marqué le grand ouest en matière de peuplement. En premier lieu, les populations les plus jeunes et par voie de conséquence les naissances, ont eu tendance à se concentrer dans les plus grandes villes au détriment des autres territoires. Rennes et Nantes en sont l'illustration et ont connu une croissance remarquable (figure 48).

D'autre part, les zones côtières confirment leur bonne santé démographique, essentiellement grâce à un solde migratoire fortement positif (Delavelle et Oger, 1999). Les situations les plus marquées sont celles des littoraux sud-bretons jusqu'à la côte vendéenne, soit le secteur Loire Vilaine. Dans le Morbihan, la ceinture des communes bordant le golfe a vu la proportion des personnes arrivées au cours de la décennie 90 la plus élevée (Di Carlo, 2000).

Les communes littorales du secteur Loire Vilaine



Sources : IGN - RNDE (Bd-Carthage).

- | | |
|--|--|
| Communes littorales | Ile et Vilaine |
| Trait de côte | Loire Atlantique |
| Domaine maritime | Morbihan |
| Estran | Vendée |

0 10 20 Kilomètres

Figure 49 : Communes ayant le statut 1A (loi Littoral) sur le secteur allant de Quiberon à Noirmoutier

Réalisation : Jérôme Baudrier - laboratoire IFREMER DEL/IMPL, 2002.

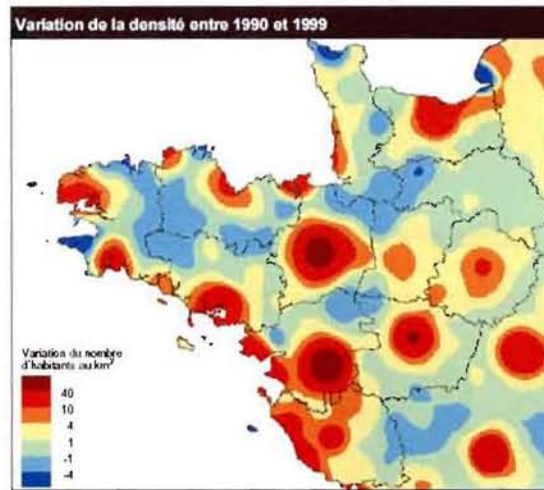


Figure 48 : Variations de la densité de population entre 1990 et 1999. Sources : INSEE.

En Loire Atlantique, la croissance de la population entre 1990 et 1999 est due à une attractivité plus grande, en particulier des communes du littoral (presqu'île Guérandaise et Pays de Retz) mais aussi de Nantes. Moins d'un habitant sur cinq réside dans l'espace rural. Elle découvre pourtant des réalités diverses : des communes en déclin au nord, d'autres en fortes expansions sur le littoral ou dans le vignoble (Fraboul et Joseph, 1999).

Un vieillissement de la population généralisé, mais encore plus marqué sur le littoral

Dans le Morbihan comme ailleurs, la population vieillit. Pour la première fois, le recensement de 1999 montre qu'il y a davantage de personnes de plus de 60 ans que de moins de 20 ans, ces derniers représentent désormais moins d'un quart de la population (Di Carlo, 2000).

Néanmoins, il faut distinguer d'une part les zones à dominante touristique, qui attirent des personnes plutôt âgées (communes bordant le golfe du Morbihan par exemple), et d'autre part, les pôles urbains, comme Vannes, où l'essentiel des nouveaux arrivants est constitué de familles composées d'un ou plusieurs actifs et d'enfants. Le profil migratoire des deux départements est donc caractérisé par l'attractivité pour les actifs et les retraités.

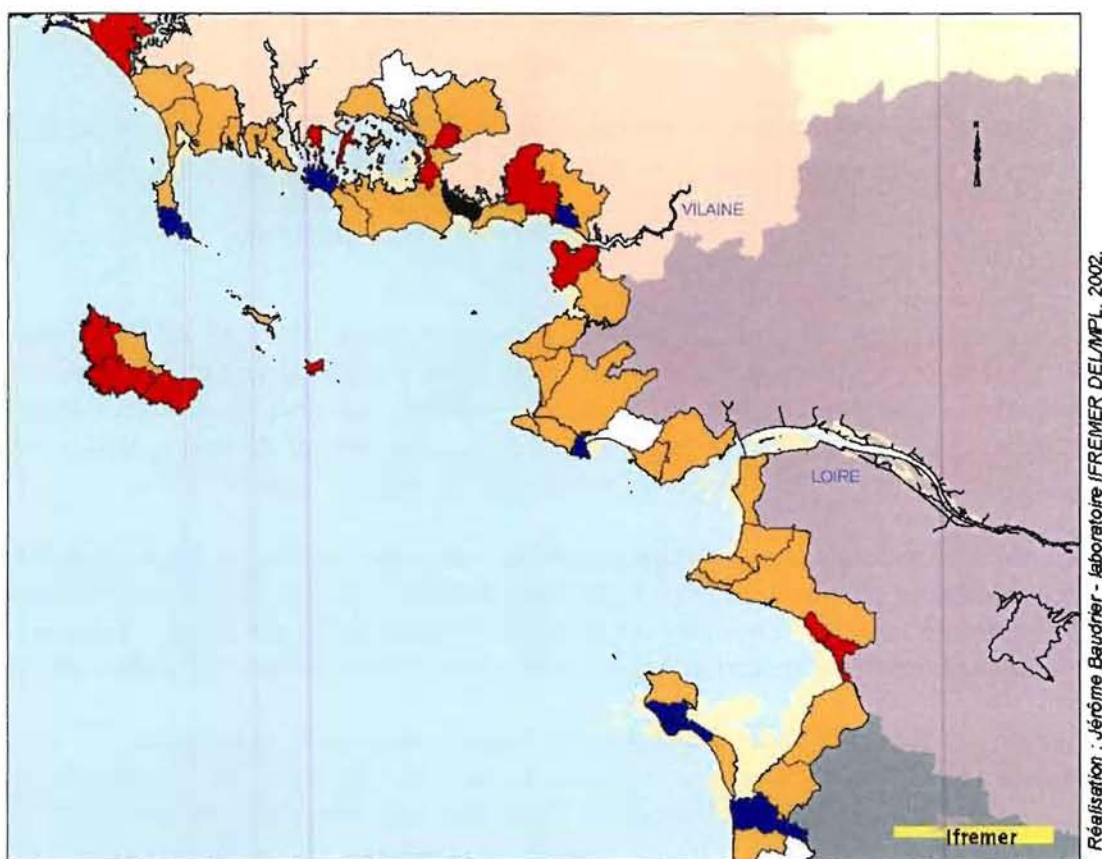
L'évolution démographique des communes littorales du secteur Quiberon - Noirmoutier

Au sens du décret du 25 août 1979 concernant l'aménagement du littoral, les communes du littoral au sens strictes (statut 1A) sont au nombre de 33 dans le Morbihan, 18 en Loire Atlantique et 6 en Vendée, sur la zone d'étude (figure 49). L'ensemble de ces communes côtières compte 290 177 personnes en 1999, contre 250 836 en 1982 (+ 15,7 %).

Par la suite, les communes vendéennes n'ont pas été prises en compte car elles sont trop peu nombreuses. La population morbihannaise a augmenté de près de 9 % entre 1982 et 1999 ; celle de Loire Atlantique a connu une progression de 13,9 %. Parallèlement à cette évolution, les communes littorales morbihannaises ont vu leur population progresser de 24,1 %, alors que celles de Loire Atlantique ont une croissance de seulement 10,7 % (figure 50).

Un fort contraste est donc observé entre les deux départements. Le littoral morbihannais a connu une explosion démographique de ces résidents permanents, alors que l'augmentation en Loire Atlantique est peu importante. Pour le Morbihan, les communes côtières étudiées comptent 18,2 % de la population totale du département, celles de Loire Atlantique représentent 16 % du poids départemental.

Logements raccordés à un réseau collectif d'assainissement



Sources : INSEE - IGN (Inventaire communal de 1998).

Part des logements raccordés
à un réseau d'assainissement

- Non réponse
- Non raccordé
- De 25 à 50 %
- De 50 à 95 %
- Plus de 95 %

Département

- Ille et Vilaine
- Loire Atlantique
- Morbihan
- Vendée

∧ Trait de côte

- Domaine maritime
- Estran

0 10 20 Kilomètres

Réalisation : Jérôme Baudrier - laboratoire IFREMER DEL/MPL, 2002.

Figure 51 : L'assainissement des eaux usées sur le secteur côtier Quiberon-Noirmoutier.

Les résultats sont toutefois à prendre avec précaution, car l'attrait du littoral ne s'arrête pas aux communes typiquement côtières. Pour une analyse plus complète, les communes limitrophes situées à une quinzaine de kilomètres de la mer pourraient être étudiées.

Durant ces vingt dernières années, les arrivées ont transformé les communes littorales, lieux de villégiature jusqu'alors, en lieux de résidence permanente, notamment pour jeunes retraités. Cette attractivité profite aussi largement à ces communes limitrophes.

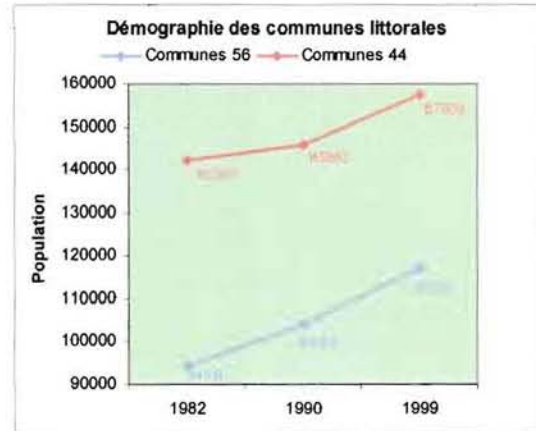


Figure 50 : Evolution de la démographie des communes littorales du Morbihan et de Loire Atlantique. Sources : INSEE.

Le Morbihan reste un département qui doit son attractivité essentiellement à son littoral, celle de la Loire Atlantique est due également à la métropole nantaise.

Les apports domestiques au milieu marin

Malgré le nombre et l'hétérogénéité des sources de pollution microbiologique affectant la bande côtière, les rejets résiduels urbains paraissent avoir un impact prépondérant sur la qualité du milieu. Aux matières fécales présentes dans les effluents et émises quotidiennement par l'homme sont en effet associés les **germes fécaux**.

Quel que soit la nature de l'agglomération, le nombre moyen de germes émis est estimé à environ **10¹⁰ coliformes fécaux** par habitant et par jour (Cargouët, 1998). Il faut y ajouter les particules virales pathogènes dont les flux varient fortement d'un jour à l'autre.

Les principales formes d'apports d'eaux usées sont :

- les rejets directs non raccordés au réseau d'assainissement ;
- les rejets des assainissements autonomes défectueux, en zone côtière ;
- les rejets de stations d'épuration ;
- les débordements potentiels des postes de relèvement ;
- le by-pass des stations d'épuration ;
- la surverse des déversoirs d'orage (eaux de ruissellement mêlées aux eaux usées).

Sur l'ensemble des communes littorales étudiées, seule une n'était pas équipée d'une station d'épuration. Il s'agit du Tour du Parc, située dans le Morbihan. Elle ne possède pas non plus de réseau d'assainissement (Sources : inventaire communal 1998 de l'INSEE).

La figure 51 représente la proportion des logements raccordés à un réseau d'assainissement. La grande majorité des communes se situent dans la tranche de 50 à 95 % d'habitations reliées. Elles sont beaucoup mieux équipées que les communes situées dans l'arrière pays.

L'enjeu actuel est de gérer les flux non contrôlés, en optimisant les taux de raccordement aux réseaux d'assainissement. La difficulté rencontrée pour les communes situées entre Quiberon et Noirmoutier réside principalement dans l'afflux touristique qu'elles supportent à chaque saison estivale.

V.2. LE TOURISME ET LES ACTIVITES DE LOISIRS

V.2.1. Généralités

Une activité en partie dépendante de la météorologie et de la qualité de l'environnement

Les conditions climatologiques sont toujours un facteur déterminant dans le choix de la destination touristique (notamment en dernière minute) et le prolongement du séjour. Une **météorologie** favorable permet donc l'enregistrement de meilleurs résultats et conditionne en grande partie la saison touristique dans le secteur Loire Vilaine.

L'ensemble de la zone a été très perturbée en 2000 par la catastrophe de l'Erika. En Loire Atlantique, les limites du développement touristique sont ainsi apparues : l'argument principal, les plages, s'est trouvé quasiment invendable entamant sérieusement le potentiel du département. Le Morbihan a enregistré des diminutions de 20 % des nuitées entre avril et septembre, suite au naufrage du pétrolier (CDT 56, 2002).

Les solutions envisagées pour éviter des saisons touristiques faibles

L'attractivité du secteur Quiberon-Noirmoutier est essentiellement due à la présence de la mer et à la clémence du climat puisque l'ensemble du littoral Loire Vilaine atteint et dépasse 2 000 heures de soleil par an, ce qui correspond à un niveau d'insolation comparable à celui du Sud-Ouest aquitain (CG 56 et CDT 56, 1997b).

En Loire Atlantique, des pistes sont à l'essai pour diversifier les secteurs attractifs : tourisme de découverte économique nazairien, attrait de certaines villes comme Nantes, valorisation de l'estuaire de la Loire... Les objectifs dans le Morbihan sont le développement du tourisme intérieur et l'étalement de l'activité sur l'année. La fréquentation des cantons intérieurs n'est que de 9 % contre 91 % pour les cantons littoraux (CG 56 et CDT 56, 1997b).

La conjoncture actuelle apparaît comme une opportunité intéressante pour les professionnels du tourisme. En effet, les premières conséquences de l'application de l'accord sur la Réduction du Temps de Travail semblent se faire ressentir : elle bénéficie aux courts séjours et week-ends prolongés. La mise en œuvre des 35 heures a aussi pour conséquences un réétalement de la fréquentation perceptible tout au long de la saison.

Poids du tourisme dans la zone Loire Vilaine et importance du littoral

Le poids économique du tourisme dans le Morbihan représente entre **6 et 9 milliards de francs** (0,91 à 1,37 milliards d'Euros) et induit 12 000 emplois directs et indirects en haute saison estivale. C'est la seconde activité économique après l'agro-alimentaire qui rapporte environ 13 milliards de francs (CG 56 et CDT 56, 1997a). La capacité d'accueil est d'environ 483 230 lits touristiques, répartis en 159 670 lits marchands et 323 560 lits non marchands (64 712 résidences secondaires, situées en majorité sur le littoral).

L'importance des résidences secondaires en Loire Atlantique est équivalente (66 000), tandis que le nombre de lits marchands atteint seulement 89 000 unités. Là encore, l'attractivité du littoral est sans conteste puisque 78 % de cette offre est située sur la côte et presque 8 nuitées sur 10 sont en bord de mer (CDT 44, 2002). La consommation touristique est estimée à **5,5 milliards de francs** (838 millions d'Euros) et nécessite plus de 13 000 emplois touristiques en moyenne sur l'année et près de 23 000 emplois saisonniers.

Sur la figure 52, l'implantation des résidences secondaires est clairement définie. Leur concentration est très importante entre Quiberon et Noirmoutier sur la bande de territoire d'environ 20 km de large qui longe la côte. La densité dépasse 100 résidences par kilomètre carré sur les cantons de Quiberon, Sarzeau, La Baule... Certaines communes au bâti très dense, comptent même essentiellement des résidences secondaires, leur proportion dépassant 75 % des logements (Damgan et Arzon par exemple) (Roussel M., 2000).

La fréquentation en 2001 dans le Morbihan a été de près de 4,5 millions de visiteurs (ce qui évalue à plus de 34 millions le nombre de nuitées réalisées), dont près d'1/4 d'étrangers.

Les sites privilégiés sont Carnac – Quiberon (2 millions de visiteurs), le golfe du Morbihan (2 millions de visiteurs) et les îles : Arz, Belle Ile (500 000 visiteurs), Groix, Houat, Hoëdic et l'Île aux Moines (300 000 visiteurs) (sources : CDT Morbihan).

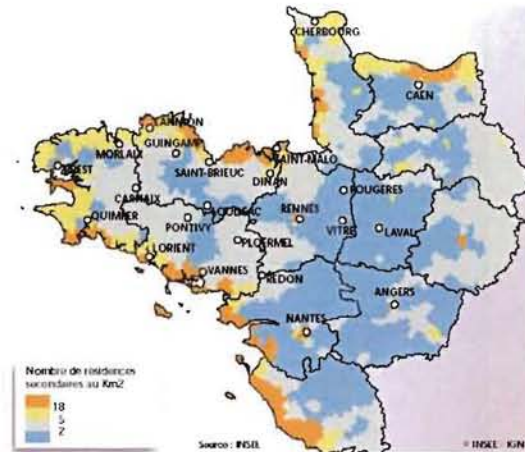


Figure 52 : Densité de résidences secondaires dans l'ouest de la France. Sources : INSEE.

En Loire Atlantique, 17 millions de nuitées ont été enregistrées en 2000 (sources : CDT 44). Les stations balnéaires renommées (la Baule, Pornichet, Le Pouliguen, Pornic,...), les ports du Croisic et de Piriac-sur-Mer, sans oublier Saint Nazaire, attirent une majorité de touristes.

Origine de la clientèle française et étrangère

En excluant la clientèle bretonne (très importante), la clientèle française du Morbihan est à près de 80 % originaire géographiquement du quart Nord Ouest de la France. L'essentiel des nuitées étrangères sont originaires de Grande Bretagne (41 %), d'Allemagne (27 %), de Belgique et du Luxembourg (20 %) (sources : IPSOS Régions Tourisme). Ce sont donc essentiellement les pays limitrophes qui constituent les principaux bassins émetteurs.

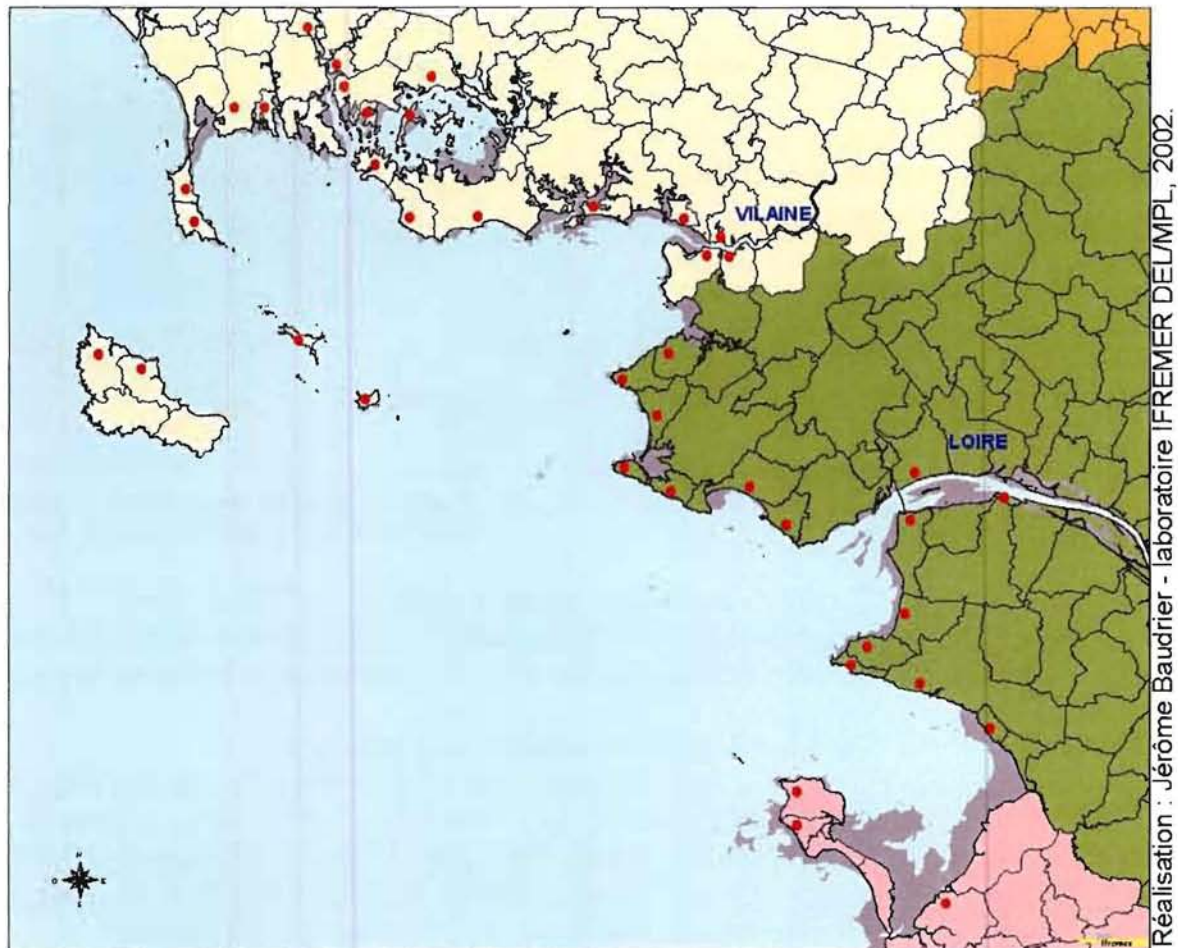
Pour la Loire Atlantique, la clientèle française vient des régions proches : 45 % des séjours sont le fait de résidents de Bretagne, Pays de la Loire, Haute et Basse-Normandie, Centre. Le deuxième bassin de clientèle est la région parisienne. Les touristes étrangers représentent 22 % des nuitées ; le premier marché est représenté par la Grande Bretagne (CDT 44, 2002).

La fréquentation étrangère de l'île de Noirmoutier est dominée par les allemands. Les belges représentent environ un quart des estivants, suivent ensuite les anglais, irlandais, suisses et hollandais. Les français viennent en majorité d'Île de France, puis des Pays de la Loire. Les autres régions d'origine sont surtout le Centre et la Bretagne (RIET, 2001).

Une clientèle majoritairement aisée

En Morbihan, la clientèle touristique est essentiellement familiale (près d'un séjour sur deux). Les cadres et les professions intellectuelles supérieures constituent la catégorie la plus représentée suivie par les professions intermédiaires. Les plus de 55 ans représentent 27,1 % de la clientèle totale. Les résidences secondaires personnelles génèrent les plus longs séjours du département avec 17,3 jours (sources : IPSOS Régions Tourisme).

Localisation des ports de plaisance du secteur Loire Vilaine



Réalisation : Jérôme Baudrier - laboratoire IFREMER DELMPL, 2002.

Sources : SHOM - IGN - INSEE

- | | | | | |
|--|-------------------|--|------------------|--|
| | Trait de côte | | Ile et Vilaine | |
| | Estran | | Loire Atlantique | |
| | Domaine maritime | | Morbihan | |
| | Port de plaisance | | Vendée | |

Figure 53 : Les communes du littoral Loire Vilaine dotées d'un port de plaisance.

De la même manière, la Loire Atlantique est assimilée à une destination surtout familiale. Le touriste en Loire Atlantique a entre 25 et 49 ans, reflet de cette fréquentation familiale. En revanche, les moins de 25 ans sont mal représentés, conséquence du trop faible nombre de manifestations et de l'animation locale insuffisante. 22 % des séjours sont le fait de membres de classe moyenne supérieure, cadres ou profession libérale (CDT 44, 2002).

Les spécificités des communes littorales situées entre Quiberon et Noirmoutier

Les communes étudiées ont toutes la particularité d'avoir une forte activité touristique ; celle-ci a des conséquences sur leurs finances locales. Elles se distinguent donc des autres par un niveau de budget par habitant plus élevé. Ceci contribue à la transformation des activités économiques, qui sont de moins en moins traditionnelles et qui se tournent vers l'accueil des estivants (aménagement et gestion de gîtes ruraux par exemple) (Hamon, 1998).

Les problèmes engendrés par le tourisme

Le secteur Loire Vilaine subit chaque année une arrivée massive de touristes en juillet, août et septembre. Ces concentrations spatiales et temporelles ont un impact sur les territoires. L'immigration touristique génère diverses pollutions, consomme de l'espace et participe à la surexploitation de certaines ressources (menace pour la faune et la flore). De plus en plus, des concurrences et conflits d'usage sont observés entre touristes et professionnels de la mer.

V.2.2. L'essor de la plaisance

40 communes sont équipées d'infrastructures portuaires destinées à la plaisance sur la côte comprise entre Quiberon et Noirmoutier (figure 53). Cependant, elle est encore réservée à une population aisée. L'activité génère des retombées économiques très intéressantes. En Loire Atlantique, les ports de plaisance disposent de 8 000 places (Source :CDT 44). 50 608 bateaux sont immatriculés dans le Morbihan (www.morbihan.cci.fr).

L'essor de la plaisance provoque des conflits d'usage avec les autres activités nautiques, mais aussi avec les professionnels de la mer. Dans certains secteurs, comme le Golfe du Morbihan par exemple, la situation devient critique.

V.2.3. Qualité des eaux de baignade dans la zone d'étude

Pour l'ensemble des 57 communes littorales du secteur Quiberon-Noirmoutier, 167 plages sont contrôlées par les agents des services santé-environnement des DDASS (figure 54).

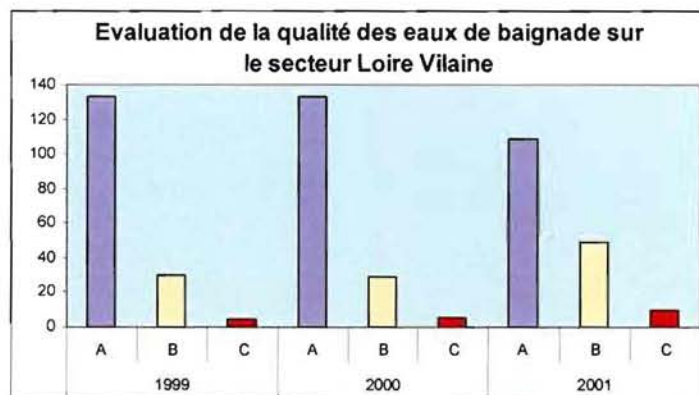
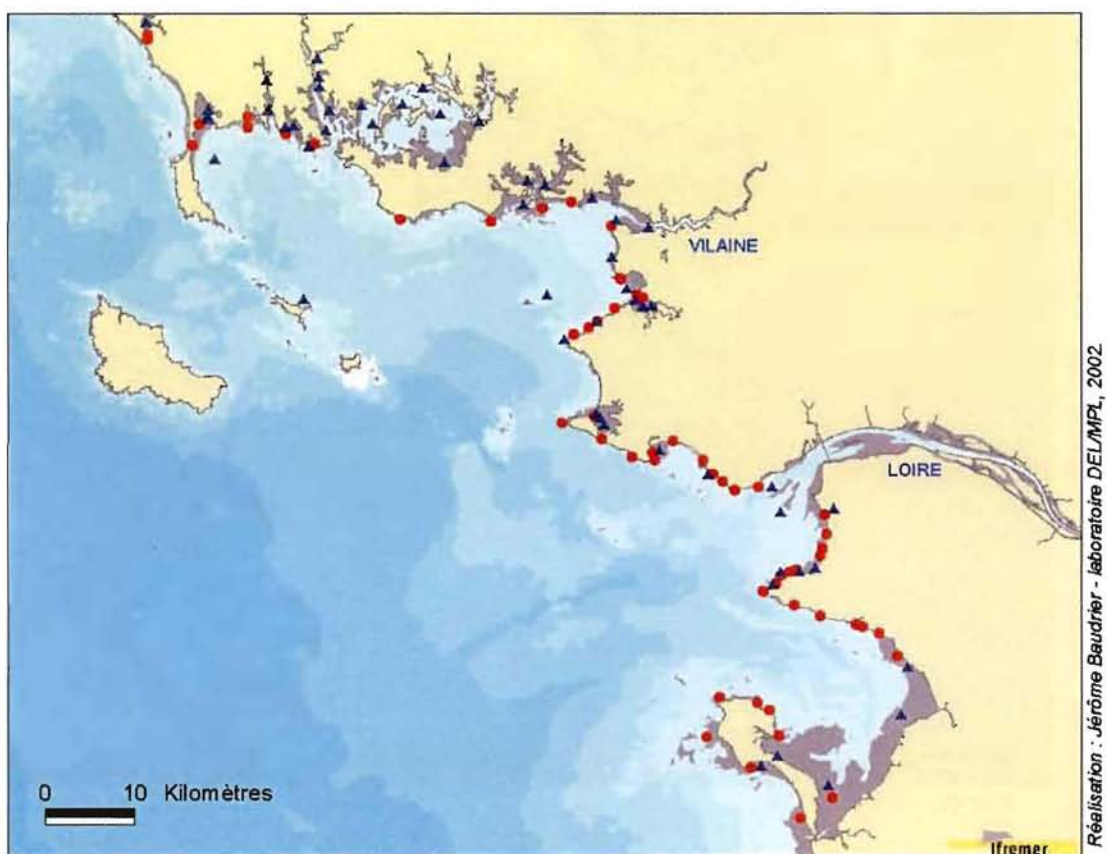


Figure 54 : Résultats de la surveillance de la qualité des eaux de baignade du secteur Loire Vilaine. Sources : <http://baignades.sante.gouv.fr/index.htm>.

Surveillance microbiologique des coquillages sur le secteur Loire Vilaine








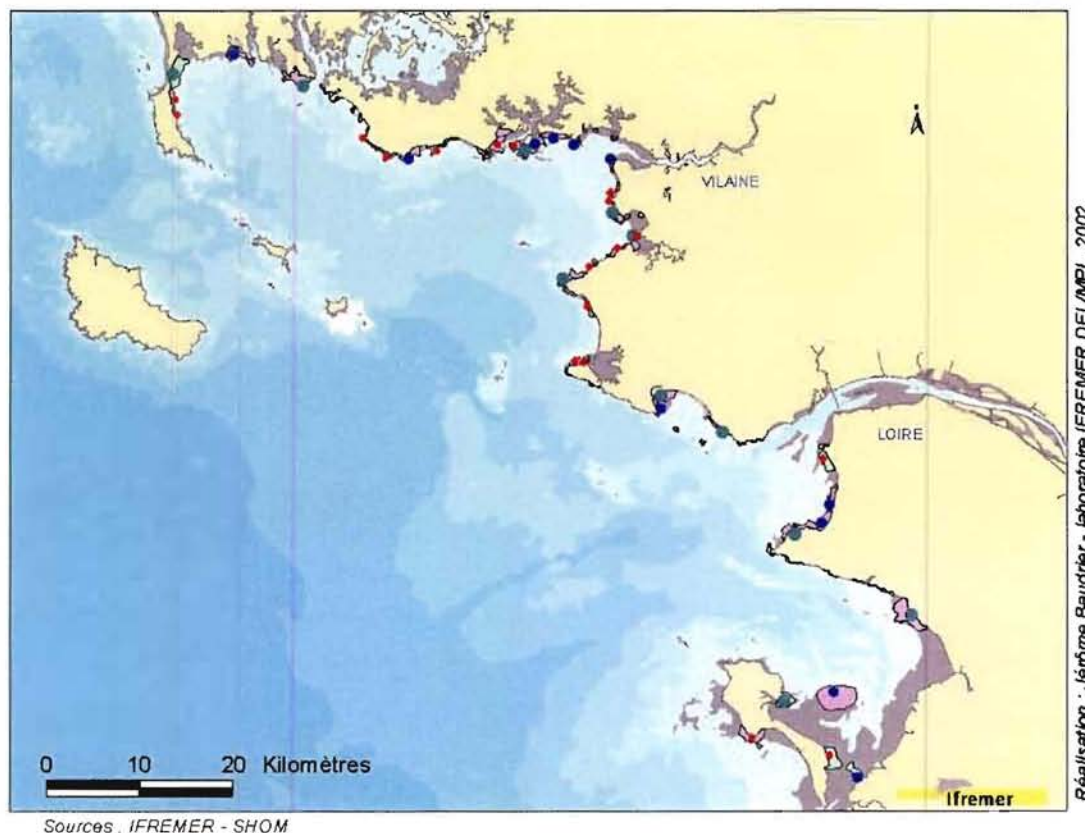
- | | |
|---|---|
|  Domaine terrestre |  Réseau REMI de l'IFREMER |
|  Estran |  Réseau de suivi des zones de pêche à pied des DDASS |
|  Trait de côte | |

Figure 55 : Localisation des points d'échantillonnage du réseau de suivi des zones de production conchylicoles et de pêche à pied.

La pêche récréative dans le secteur Loire Vilaine



- Groupe de 100 à 250 pêcheurs
- Groupe de 251 à 500 pêcheurs
- Groupe de plus de 500 pêcheurs
- Pêche sur les rochers
- Pêche sur le sable
- Estran
- Domaine terrestre

Figure 56 : Fréquentation des gisements de pêche à pied récréative durant les grandes marées de juillet et août 1997.

Les eaux classées en catégories A ou B sont conformes aux normes européennes. Sur la période 1999-2001, 3,6 % des plages ont été classées en catégorie C (eau pouvant être momentanément polluée). Il n'y a eut aucun classement en eau de mauvaise qualité (D). L'année 2001 présente une diminution du nombre de plages en A. Ceci est dû essentiellement aux plages morbihannaises. Néanmoins, le passage de A à B se fait très facilement.

Les plages de la zone Loire Vilaine sont de bonne qualité dans l'ensemble. Dans le Morbihan, celles qui ont fait l'objet d'une diminution de qualité doivent être surveillées, afin d'identifier si le déclassement a pour origine une pollution ponctuelle, ou si la source des dégradations est régulière. Dans ce cas, des solutions d'**assainissement** doivent être recherchées.

V.2.4. La Pêche récréative dans le secteur Loire Vilaine

L'amélioration du réseau de suivi des zones de pêche à pied

La pêche récréative est une composante essentielle du tourisme littoral. Elle doit nécessairement être prise en compte dans les politiques d'aménagement de la bande côtière. Les gisements naturels fréquentés par les pêcheurs à pied font aujourd'hui l'objet d'un suivi de qualité régulier. La surveillance est assurée par les DDASS et par l'Ifremer (figure 55).

Une étude menée durant les grandes marées de juillet et août 1997 (Maggi *et al.*, 1998) permet d'appréhender l'importance de la pression exercée par les pêcheurs sur le milieu naturel. Elle avait pour but l'identification des zones très fréquentées ne faisant pas l'objet d'un suivi de la qualité des coquillages, afin d'actualiser les réseaux. Elle met en évidence les secteurs où des actions en faveur de l'amélioration de la qualité du littoral nécessitent d'être mises en place (maîtrise de l'urbanisme, de l'assainissement collectif ou autonome...).

Sur la carte (figure 56), les gisements représentés ne sont fréquentés que par des groupes de plus de 10 pêcheurs à pied. Belle Ile et le Golfe du Morbihan ont été survolés par faible coefficient de marée (93). Celui-ci peut expliquer la faible présence de pêcheurs, les données n'ont donc pas été prises en compte.

Une activité très prisée des estivants et de la population locale

La fréquentation globale sur secteur côtier Loire Vilaine est de **16 480 pêcheurs** (sans compter les groupes de moins de 10 personnes), elle confirme l'attractivité qu'offre la pêche récréative aux estivants et habitants de la région.

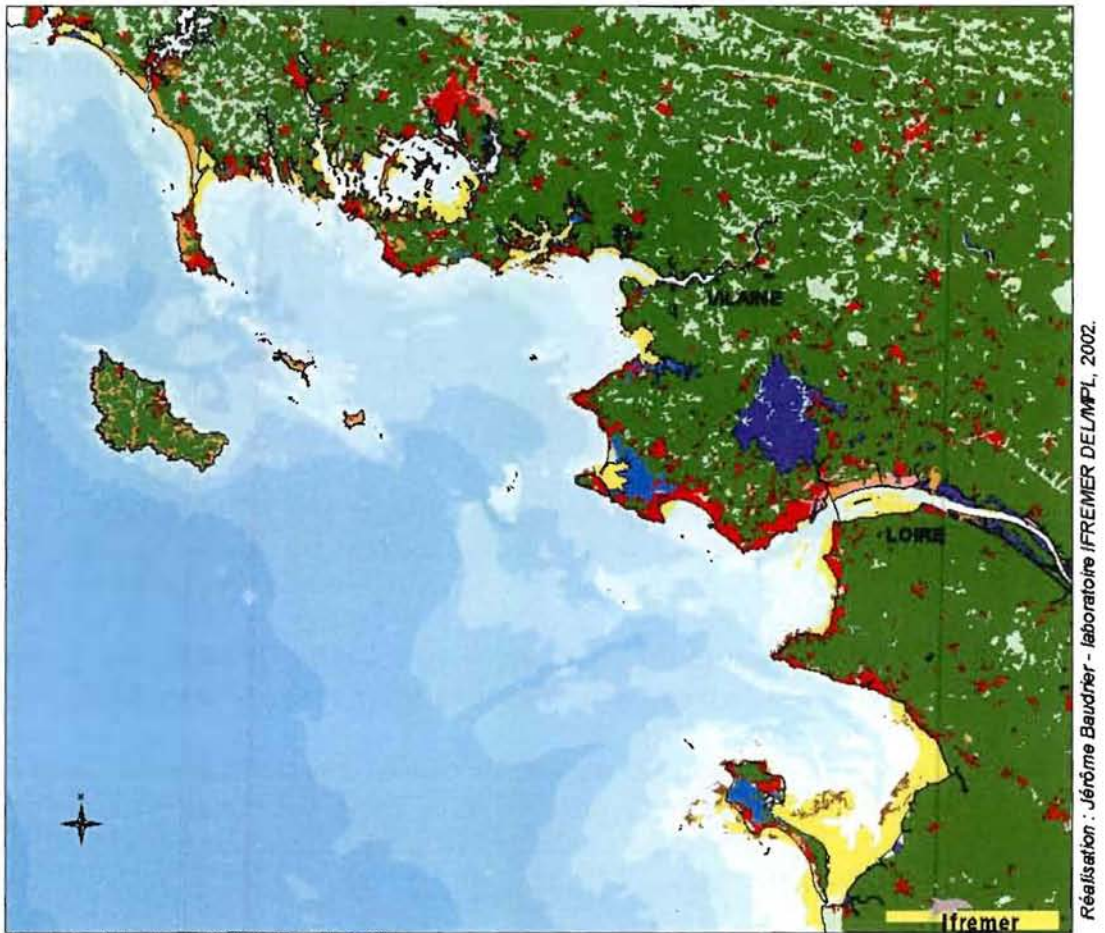
Les campagnes menées sur le secteur Loire-Vilaine ont permis de dénombrer 40 secteurs fréquentés par plus de 100 pêcheurs à pied, dont :

- 18 par 100 à 250 pêcheurs ;
- 11 par 251 à 500 pêcheurs ;
- 11 par plus de 500 pêcheurs.

Parmi ces 40 gisements : 8 sont surveillés à la fois par la DDASS et l'Ifremer, 13 sont contrôlés par la DDASS et 19 ne sont pas surveillés.

L'intégralité des sites fréquentés par plus de 500 pêcheurs font l'objet d'une surveillance. Sur la totalité des gisements, 52 % font l'objet d'une surveillance microbiologique. Pour les sites contrôlés par la DDASS au 31 décembre 2000 entre Quiberon et Noirmoutier, les zones de pêche à pied étaient toutes tolérées ou autorisées (Agence de l'eau Loire Bretagne *et al.*, 2001).

Occupation du sol sur le secteur Loire Vilaine



Sources : Bd-carto de l'IGN (Edition 3, 1998).

Nature

Territoires artificiels

- Bâti
- Zone industrielle, commerciale, de communication ou de loisirs
- Carrière, décharge

Agriculture et prairie

- Prairie, pelouse, et toute culture hormis vigne et verger
- Vigne, verger

Forêt et espace semi-naturel

- Forêt
- Végétation naturelle basse ligneuse, maquis, garrigue, lande, broussailles
- Plage, dune, sable, gravier, galet ou terrain nu sans couvert végétal
- Rocher, éboulis

Territoires artificiels

- Marais, tourbière
- Marais salant
- Eau libre

0 5 10 Kilomètres



Réalisation : Jérôme Baudrier - laboratoire IFREMER DELMPL, 2002.

Figure 57 : L'occupation du sol sur le littoral et dans l'arrière pays du secteur Loire Vilaine

V.3. L'OCCUPATION DU SOL ET LA PLACE DE L'AGRICULTURE

L'occupation du sol entre Quiberon et Noirmoutier

L'occupation du sol est originale : des territoires agricoles où prairies et petites cultures sont prépondérantes, aux côtes qui offrent une grande diversité, le secteur terrestre situé entre Quiberon et Noirmoutier présente une variété de paysages et un patrimoine très riche (figure 57). En Loire Atlantique, la superficie agricole représente 60 % du territoire. Le poids de l'**agriculture**, en façonnant le paysage, reste donc essentiel dans l'occupation de l'espace.

Les territoires artificialisés (zones urbanisées, industrielles, commerciales...) représentent une faible superficie par rapport aux zones agricoles, ils sont bien implantés sur le littoral. Les prairies et cultures façonnent l'essentiel de l'arrière-pays Loire Vilaine. Les massifs forestiers sont clairsemés et répartis surtout dans le Morbihan.

Les milieux semi-naturels occupent une surface non négligeable grâce à ces forêts, mais surtout de par la surface occupée par les plages et les massifs dunaires du littoral. En Bretagne, ils représentent 33 % du linéaire côtier avec des ensembles remarquables comme Quiberon ou Sarzeau dans le Morbihan (Le Roho, 1999). Ils regroupent aussi landes, broussailles, et végétation clairsemée. Les zones humides se situent surtout en Loire Atlantique et sont représentées par les marais, tourbières et marais salants.

Photographie de l'agriculture prise par le recensement de l'année 2000

Les tendances observées depuis 1970 sont confirmées : les exploitations sont moins nombreuses, plus grandes et plus spécialisées. Les formes sociétaires se développent, contribuant à l'essor de la main-d'œuvre salariée (figure 58).

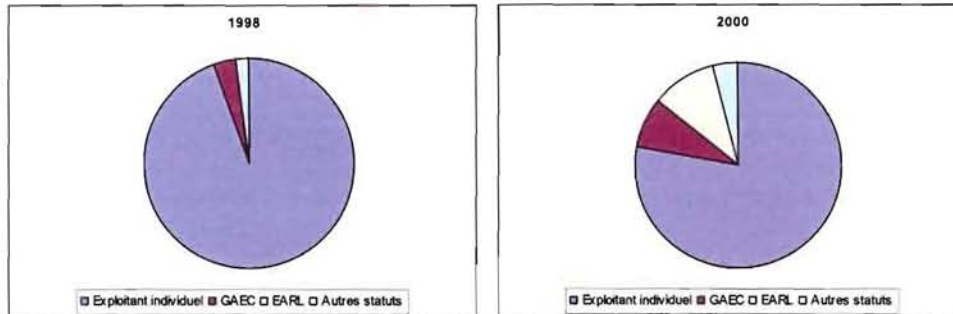


Figure 58 : Evolution entre 1998 et 2000 du statut des exploitations agricoles. Sources : Agreste, 2001.

Malgré la faiblesse du nombre d'arrivées de jeunes, les nombreux départs en retraite et préretraite ont contribué au rajeunissement de la population des chefs d'exploitation et coexploitants. Le mouvement des actifs permanents suit celui des exploitations et **diminue** donc progressivement (figure 59).

Dans le Morbihan, au cours des douze dernières années, le mouvement de cessation d'activité s'est traduit par une diminution de 43 % du nombre des exploitations agricoles et de la population agricole familiale. Cette dernière représente 6 % de la population totale du département contre 11 % en 1988. Les superficies libérées par les cessations d'activité ont permis un agrandissement significatif des exploitations du département (+ 60 à 80 % depuis 1988). La zone plus littorale bordant le golfe se détache avec moins de 60 % d'accroissement de surface. La superficie moyenne est de **33 ha** en 2000.

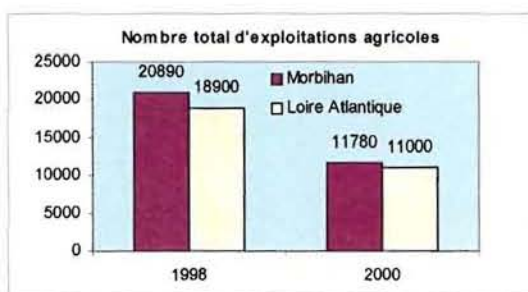


Figure 59 : Evolution du nombre d'exploitations agricoles dans les départements du Morbihan et de Loire Atlantique. Sources : Agreste, 2001.

En Loire Atlantique, la disparition de 8 000 d'entre elles a aussi permis un agrandissement important de la taille des exploitations restantes. La superficie moyenne actuelle atteint **37 ha** (24 en 1888, 20 en 1979 et 16 en 1970).

La prédominance de l'élevage

La Bretagne et les Pays de la Loire concentrent la **moitié** des élevages hors-sol spécialisés. En Morbihan, 8 exploitations sur 10 pratiquent l'élevage, dont deux la production avicole. L'orientation bovins-lait est la première du département avec 3 570 exploitations, soit 30 % du total. Le Morbihan se caractérise par l'importance de sa production de volailles de chair, poulets et dindes notamment (tableau 8).

	Morbihan	Loire Atlantique
Bovins	426 798	516 802
Equidés	6 346	9 429
Caprins	4 408	3 481
Ovins	22 676	41 079
Porcins	1 326 989	247 327
Volaille	27 686 619	8 479 083

Tableau 8 : Effectifs du cheptel vif dans les départements du Morbihan et de Loire Atlantique en 2000. Sources : Agreste, 2001.

En Loire Atlantique, sur les 20 dernières années, les effectifs de vaches laitières ont été divisés par deux et les vaches allaitantes ont doublé. Les élevages bovins s'agrandissent tandis que le cheptel ovin a diminué de moitié. Les effectifs de volailles ont augmenté de 60 % ; les porcs continuent eux aussi leur progression avec 27 000 places de truies, soit deux fois plus qu'en 1988. L'élevage laitier reste la première orientation des exploitations professionnelles.

L'importance des cultures destinées à l'élevage : les céréales et les fourrages

Les terres labourables s'étendent au détriment des surfaces en herbe. L'abandon de l'herbe a été facilité par la réforme de la **Politique Agricole Commune** de 1993. L'orientation végétale majoritaire dans le Morbihan regroupe les céréales, oléagineux et protéagineux. Les producteurs de fruits, de fleurs ou de cultures maraîchères représentent 2 % de l'ensemble des exploitants (figure 60).

En Loire Atlantique, les superficies fourragères sont prépondérantes et occupent les 2/3 de la SAU, elles ont cependant reculé lors de ces 12 dernières années. Pendant la même période, les surfaces de maïs ont diminué (-33 %) mais également les prairies, alors que les cultures industrielles et des autres céréales (hors maïs) ont augmenté. Il y a un développement des cultures légumières et horticoles. En viticulture, la progression des vignes d'appellation (AOC) compense la diminution des autres vignes.

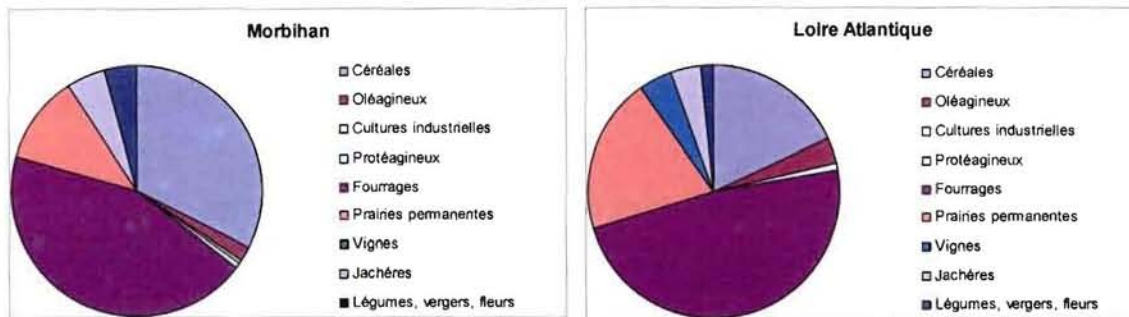


Figure 60 : Les principales cultures en Loire Atlantique et dans le Morbihan. Sources : Agreste, 2001.

Du lait à la viande, du muscadet à la mâche ou au muguet, la variété des productions agricoles en Loire Atlantique est une richesse du département.

V.4. LE SECTEUR INDUSTRIEL

Le Morbihan se caractérise par une grande diversité industrielle (hors IAA), et une spécificité : la **construction navale militaire**. Le département a une longue tradition maritime et abrite de ce fait de nombreux chantiers nautiques. Le Morbihan compte 211 567 bâtiments industriels (www.morbihan.cci.fr). Les salariés de l'industrie sont 40 677 et représentent un poids de **21,1 %** dans l'effectif salarié total (contre 2,7 % pour le secteur primaire, 6,4 % pour le BTP, 13,8 % pour le commerce et 56 % pour les Services).

Le secteur agro-alimentaire est le mieux représenté avec 16 383 industries. Les autres secteurs sont la chimie, la parachimie, le caoutchouc, les plastiques (4 184 industries) ; la métallurgie (3 608 industries) ; la construction navale (3 579 industries) ; l'équipement mécanique, l'automobile (2 610 industries) ; l'équipement électrique, électronique (2 119 industries) ; l'industrie du bois et du papier (1 654 industries) (Sources : INSEE).

L'agro-alimentaire représente ainsi 40 % des emplois du secteur industriel avec 15 600 salariés. Dans ce domaine d'activité, il y a 150 entreprises de plus de 10 salariés qui regroupe les industries de transformation animale, les filières lait et farine, l'alimentation animale, la fabrication de plats cuisinés... Sur les 535 établissements de 10 salariés et plus, 11 comptent 500 personnes au moins, tandis qu'une entreprise domine largement les autres avec 2000 emplois ; il s'agit de la Direction des Constructions Navales (sources : CCIM).

Les caractéristiques principales du Morbihan sont retrouvées en Loire Atlantique qui constitue le premier pôle national de construction navale et l'un des leaders européens dans le secteur de l'**agroalimentaire**. De plus, elle arrive en 4^{ème} position pour l'aéronautique. Deux établissements industriels dépassent le seuil des 2 000 salariés : les chantiers de l'Atlantique et l'Aérospatiale basés tous les deux à Saint Nazaire. Ils complètent le panorama régional des très grands établissements industriels (Baudry et Minaud, 2000).

La construction navale et l'industrie nautique comptent 18 000 emplois directs (105 entreprises), l'agro-alimentaire 11 500 (1 330 établissements), l'aéronautique 4 500, la plasturgie 12 400 salariés, le bois 25 000 emplois et la mécanique 8 500 emplois directs (www.nantes-developpement.com). Le socle industriel est basé dans l'agglomération nantaise puisque 26 % des emplois de type industriel y sont concentrés. Sur la dernière période, le secteur Bâtiment – Travaux Publics enregistre une forte croissance, traduisant le dynamisme global de l'économie locale.

Les cultures marines dans le secteur Loire Vilaine

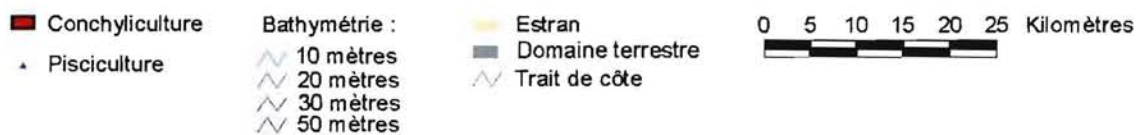
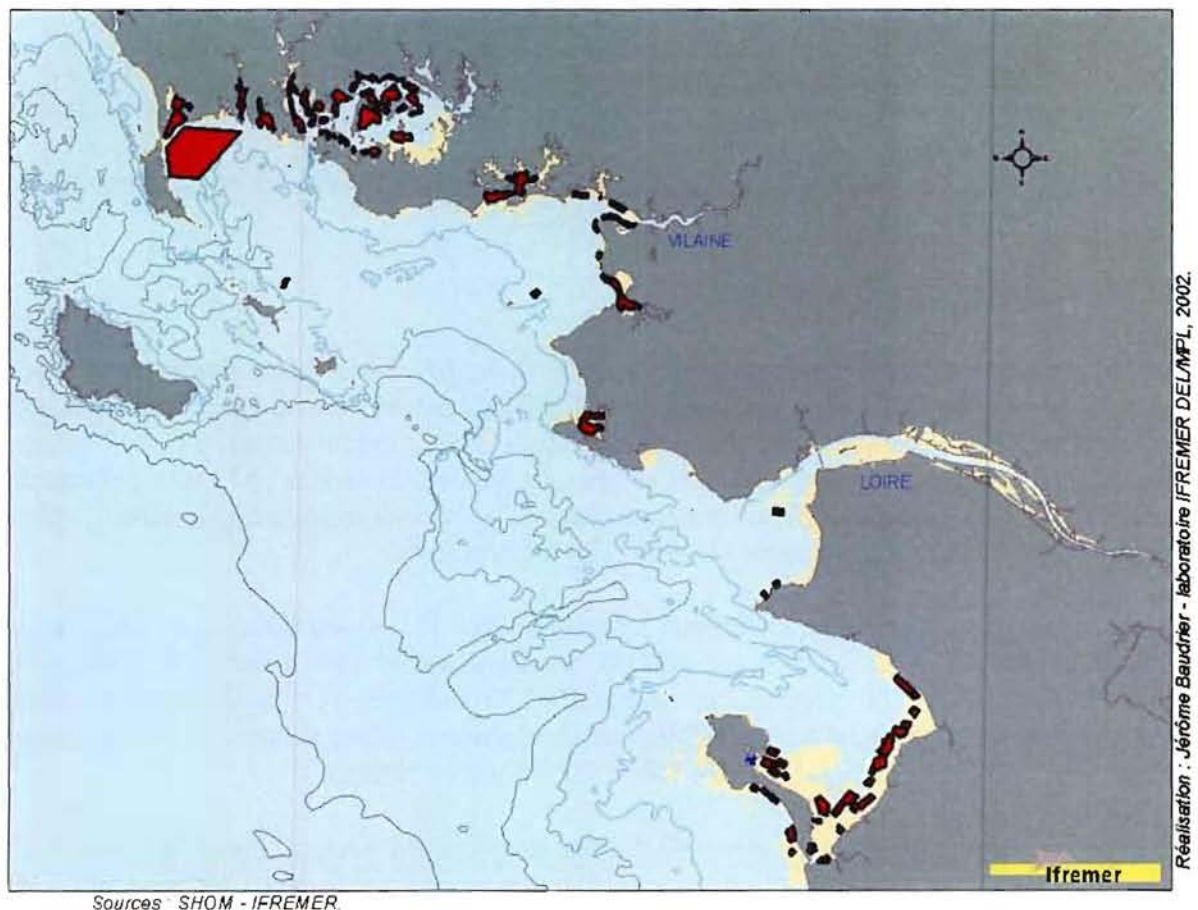


Figure 61 : L'aquaculture dans le Mor Bras, l'estuaire externe de la Loire et la Baie de Bourgneuf

V.5. L'EXPLOITATION DES RESSOURCES MARINES

V.5.1. La conchyliculture

Une activité qui nécessite des conditions hydrodynamiques particulières

Les secteurs de production se concentrent dans des zones protégées des vents dominants et de la houle dans lesquelles les apports nutritifs du milieu permettent une bonne croissance des coquillages. De ce fait, les rivières et les baies de la zone côtière Loire Vilaine représentent les sites privilégiés de développement de la conchyliculture (figure 61).

Le Morbihan : premier centre conchylicole du secteur Loire Vilaine

Le Morbihan comprend 5 386 ha de parcs, 5 700 concessions et 29,5 km de bouchots. 666 concessionnaires ont été dénombrés. La surface de parcs est très importante, du fait de la présence des concessions en baie de Quiberon (plus de 2500 ha). La pyramide des âges des concessionnaires morbihannais est vieillissante : 45 % des personnes ont plus de 50 ans. La majorité des surfaces sont utilisées pour l'élevage de l'huître.

La production estimée du département du Morbihan est de **24 500 tonnes**, générant un chiffre d'affaires de 51 ME, selon la répartition suivante :

- ostréiculture : 20 000 tonnes d'huîtres creuses et 500 tonnes d'huîtres plates ;
- mytiliculture : 2 000 tonnes ;
- divers coquillages : 1 300 tonnes (sources : CAAM / SRC Bretagne Sud).

Cette zone est aussi une région de captage, sur l'estran ou en eaux profondes. Elle approvisionne ainsi en naissain d'autres centres ostréicoles en France et à l'étranger.

Une production tournée vers les fousseurs au nord de la Loire

La partie de la Loire Atlantique intégrée dans la circonscription de la SRC Bretagne Sud comprend 279 ha de parcs, 468 concessions et 34,8 km de bouchots. L'activité est à 50 % tournée vers les fousseurs, elle est donc plus sensible aux problèmes sanitaires. Les concessionnaires de moins de 30 ans sont peu nombreux (3) par rapport aux 30-50 ans (38) qui constitue la majorité des conchyliculteurs. La production est d'environ **1 000 tonnes** de moules, **800 tonnes** d'huîtres creuses et **3 500 tonnes** pour les autres mollusques (dont une majorité de coques). Sources : CAAM / SRC Bretagne Sud.

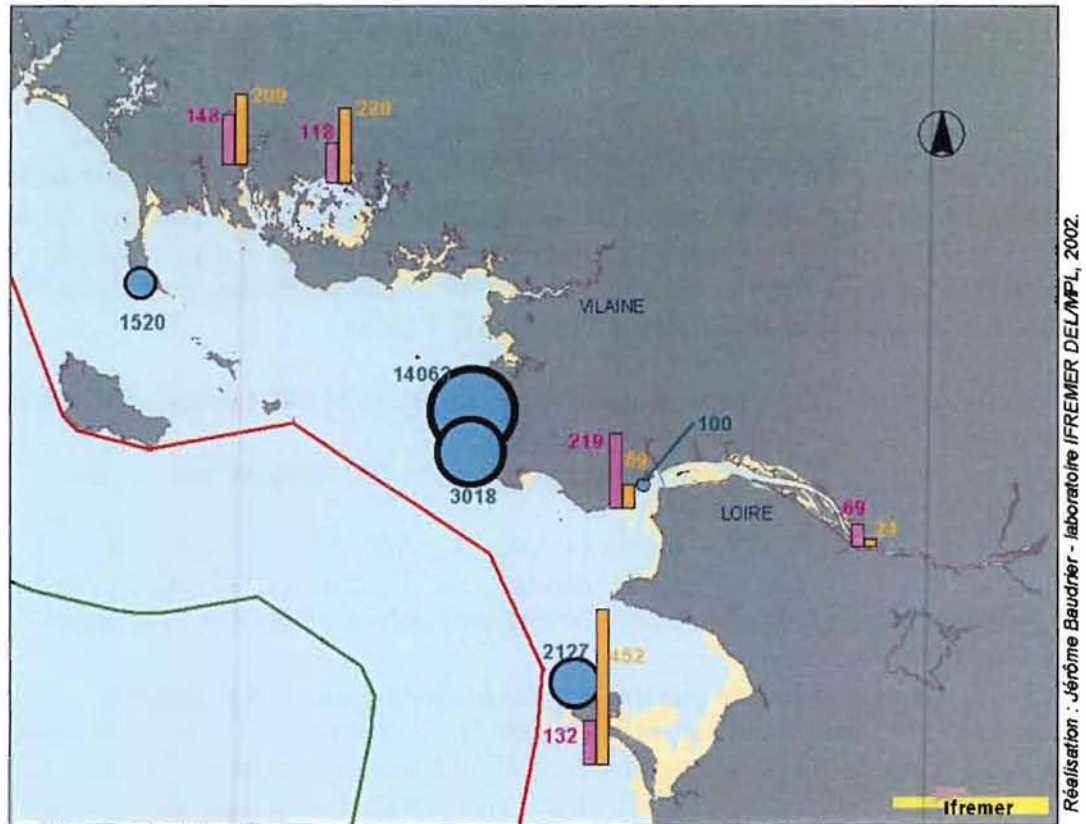
De l'estuaire de la Loire à Noirmoutier...

Depuis l'estuaire de la Loire jusqu'à la baie de l'Aiguillon, la production atteint **12 000 tonnes** d'huîtres et **1 000 tonnes** de moules. La section régionale représente plus de 90 % de l'activité ostréicole des Pays de la Loire et occupe 1 300 ha en 3 300 parcelles dont 400 ha de claires. La production de l'île d'Yeu a quasiment disparu suite à la catastrophe de l'Erika. La pyramide des âges est vieillissante, 35% des conchyliculteurs sont âgés de plus de 45 ans. La baie de Bourgneuf a fait de l'affinage sa spécialité grâce aux variations de salinité et aux apports nutritifs engendrés par l'estuaire de la Loire.

Bilan : deux régions conchylicoles distinctes

Le secteur Loire Vilaine tient une place importante dans la conchyliculture française (plus de 40 000 tonnes produites sur les 210 000 tonnes nationales). Au nord de la Loire, les proliférations phytoplanctoniques toxiques portent atteinte à la profession. Au sud, la qualité de l'eau sur le plan bactériologique comme sur le plan phytotoxique est irréprochable. Les difficultés rencontrées sont dues à la mauvaise croissance des coquillages. De fortes gênes liées à l'envasement sont rencontrées sur l'ensemble de la zone.

La pêche professionnelle dans le secteur Loire Vilaine



Sources : SHOM - IFREMER.



Figure 62 : La pêche professionnelle dans la bande côtière du secteur Loire Vilaine.

V.5.2. La pisciculture marine

Les fermes aquacoles sont très peu nombreuses dans le secteur Loire Vilaine. Il faut noter la présence sur l'île de Noirmoutier d'un élevage (hors-sol) de **turbots** (figure 61). Dans la rivière d'Auray, un élevage de **bars** est également à signaler.

V.5.3. La pêche professionnelle

Une flottille de petite taille et vieillissante

La majorité de la zone d'étude se situe dans la bande côtière (zone des 12 milles ; figure 62). Les données utilisées ont été tirées du Système d'Information Halieutique (SIH). Elles ne traitent que des navires inscrits au **POP** dont la liste est quasi-exhaustive. L'extraction a été réalisée pour l'année 2000 et à partir des Quartiers des Affaires Maritimes (QAM) d'Auray (AY), Vannes (VA), Nantes (NA), Saint Nazaire (SN) et de Noirmoutier (NO).

Le nombre total de navires inscrits au POP est de **686**. Ils constituent une jauge de 769 891 tjb, une puissance de 76 916 KW. Leur longueur moyenne est de 7,96 mètres et leur âge moyen de 21,6 ans. Le nombre et la puissance des navires par (QAM) sont donnés par la figure 63.

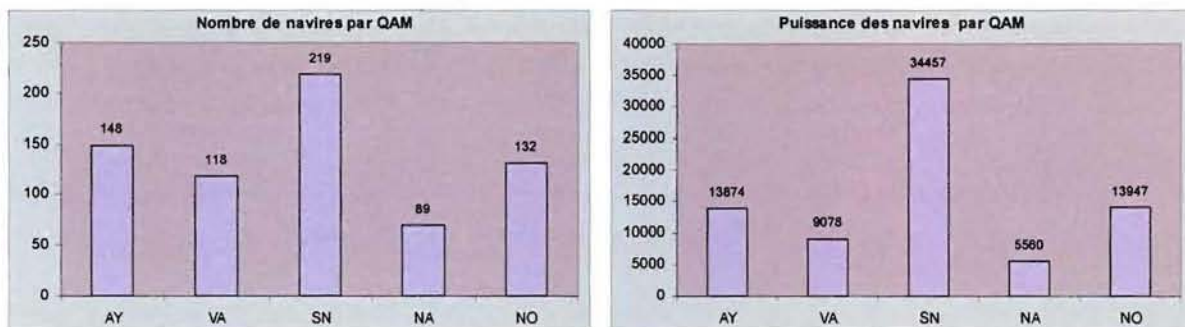


Figure 63 : Répartition du nombre de navires et de la puissance totale par QAM. Sources : IFREMER / SIH.

Le quartier de Saint Nazaire regroupe à lui seul près de la moitié de la puissance totale avec un tiers des navires (la puissance moyenne est de 157,3 KW par navire). Nantes possède au contraire le plus petit effectif de bateaux, ils sont de plus beaucoup moins puissants (80,6 KW par pièce) et les plus âgés (26,2 ans de moyenne). La flottille la plus récente est trouvée à Noirmoutier (17,6 ans), elle possède la deuxième puissance moyenne (105,7 KW par bateau).

Des métiers très diversifiés

La figure 64 représente la part de chaque métier pratiqué dans le secteur Loire Vilaine.

Le métier le plus représenté est le chalut de fond, suivi par les engins dormants (filet, casier, palangre et divers). Chacun d'entre eux représente au minimum 1 200 « mois-navires ».

Le chalut pélagique est aussi utilisé (804 mois), beaucoup plus que la drague et la ligne dont l'effort de pêche est semblable (respectivement 486 et 455 mois). Les métiers très peu pratiqués sont la senne, le chalut jumeau et la plongée.

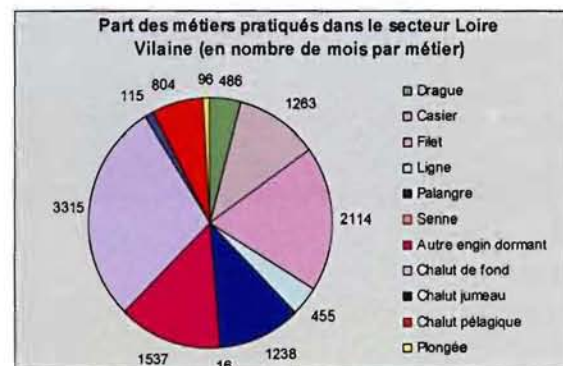


Figure 64 : Répartition des différents métiers sur le secteur Loire Vilaine. Sources : IFREMER.

Des particularités propres à chaque quartier

Afin de visualiser les particularismes de chaque région, les métiers ont été séparés en deux catégories : ceux dont l'effort de pêche est inférieur à 500 mois et les autres (figure 65).

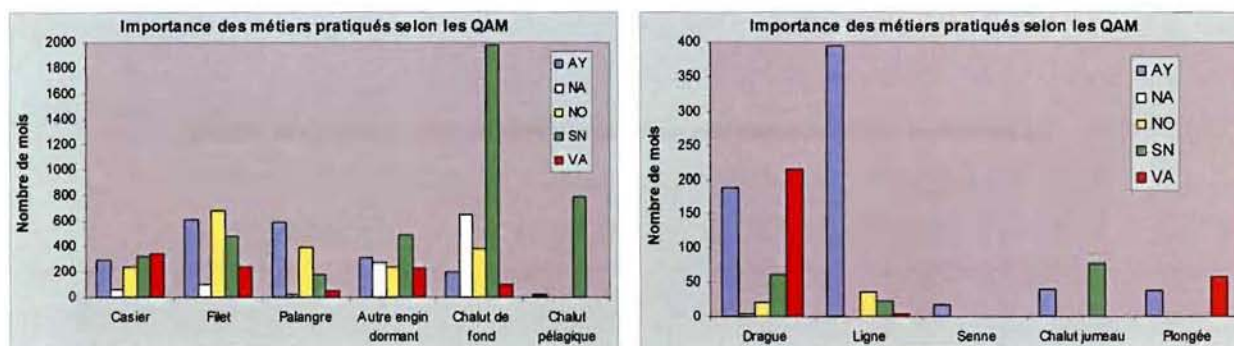


Figure 65 : Importance des métiers pour chaque quartier d'immatriculation. Sources : IFREMER / SIH.

Le quartier de Saint Nazaire regroupe la quasi-totalité des chaluts pélagiques, ainsi que la grande majorité des chaluts de fond et jumeaux (flottilles de la Turballe et du Croisic). La ligne est utilisée presque en exclusivité par les navires d'Auray, ils sont les seuls à pratiquer la senne. Ils sont remarqués aussi par l'importance de la drague, tout comme Vannes. Ces deux quartiers sont uniques pour la pêche en plongée. Le casier, le filet, la palangre et les autres engins dormants sont exploités en proportion semblable dans chaque quartier.

Les productions débarquées : nature et poids économique

Les productions de chaque criée ont été rassemblées dans le tableau 9. Les débarquements effectués à Saint Nazaire sont constitués d'une majorité de civelles. Les tonnages, très faibles, ont une valeur économique importante : 107 tonnes pour 5 305 KE (Sources : Le Marin).

Criée	Tonnage	Valeur (KE)
Quiberon	1371	6355
La Turballe	14146	27735
Le Croisic	3033	13553
Noirmoutier	2278	12868

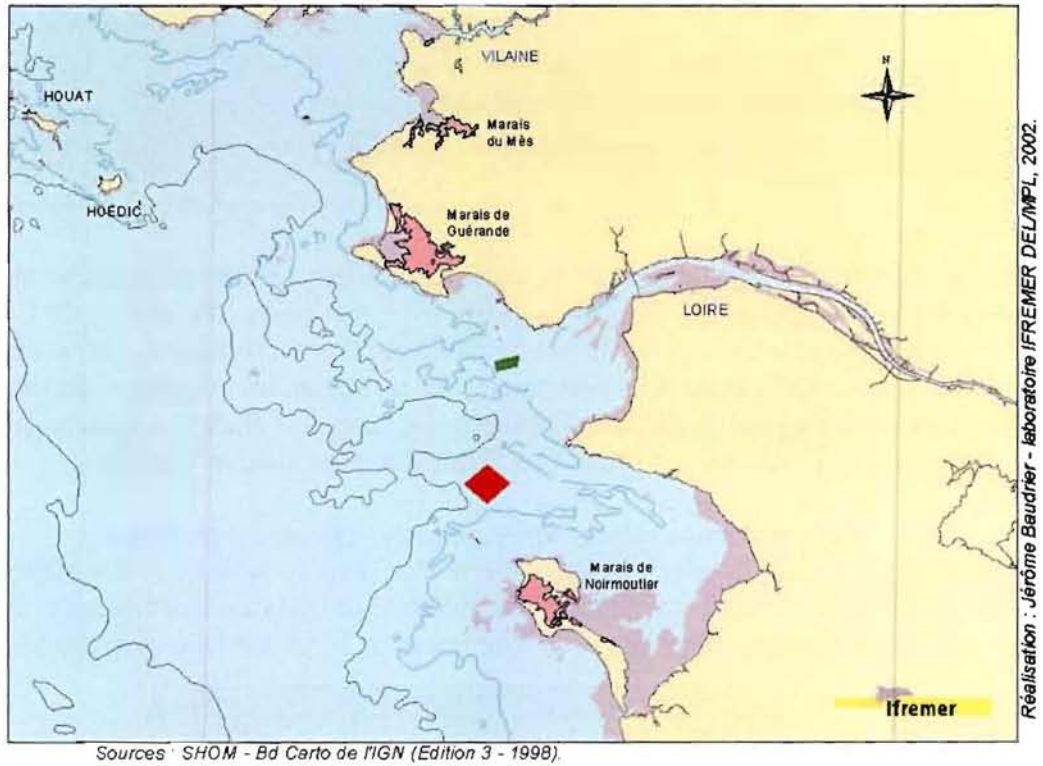
Tableau 9 : Production débarquée dans chaque criée pour l'année 2000. Sources : Annuaire des Halles à Marée.

La criée de La Turballe est la plus importante ; près de 15 000 tonnes y sont apportées chaque année, soit deux fois plus que la somme des débarquements des trois autres criées. Les moyennes des productions des principales espèces ont été calculées à partir de l'annuaire des Halles à Marée (années 1999 et 2001). A Quiberon, le congre arrive en tête avec 201 T, suivi de la coquille (135 T), puis de la seiche (117 T), de la langoustine (95 T), du bar de ligne (93 T), de la sole (92 T), du tourteau (86 T), du griset (79 T) et de l'araignée (56 T).

Pour Le Croisic, la seiche prédomine (471 T) ; puis viennent la langoustine (329 T), le crabe (308 T), la sole (268 T) et le casseron (189 T). A Noirmoutier, la sole constitue la majorité des apports (613 T), les principales autres espèces sont le congre (373 T), la seiche et le casseron (292 T), le bar de ligne et de filet (151 T).

La Turballe se distingue des autres criées par l'importance des débarquements, constitués essentiellement de pélagiques. L'anchois domine largement les autres productions avec plus de 7 000 T, puis suivent la sardine (1 420 T), le chinchard (1261 T), le maquereau (792 T), le thon (812 T), et le bar (506 T).

La saliculture et l'exploitation des matériaux marins dans le secteur Loire Vilaine



Exploitation des ressources marines

- Gisement du Pilier
- Gisement des Charpentiers
- Saliculture

Bathymétrie

- Estran
- 10 mètres
- 20 mètres
- 50 mètres

0 10 Kilomètres

Figure 66 : La saliculture et les extractions marines dans le secteur côtier Quiberon-Noirmoutier.

V.5.4. Les extractions marines

Les zones d'extraction au sein du secteur Loire Vilaine sont données par la figure 66. Elles sont toutes deux utilisées pour le prélèvement de **sables et graviers siliceux**.

L'exploitation du site des Charpentiers, d'une superficie de 2 km², est soumise à un quota de **2,5 millions de tonnes** par an. Trois sociétés utilisent cette zone : Sablières de l'Atlantique, SARELO et CETRA. Entre 1997 et 2001, le prélèvement n'a été que de 300 000 T environ, il n'y a pas de saisons d'interruption (sources : Préfecture de Loire Atlantique ; DRIRE Pays de la Loire).

La demande du groupement d'extracteurs pour le site du Pilier, situé au sud de l'estuaire de la Loire, est de **3,4 Millions de tonnes**, soit environ 2 Millions de m³. L'autorisation a été donnée par décret du 9 avril 1998. Le gisement, d'une superficie de 8,2 km², est exploité toute l'année par les sociétés suivantes : Sablières de l'Atlantique, STFMO, CETRA, SARELO, DTM et Sabliers de l'Odet (sources : Préfecture de Loire Atlantique ; DRIRE Pays de la Loire).

Les conséquences des extractions sur le milieu marin feront l'objet de travaux de suivi prévus en 2003.

V.5.5. La saliculture

Les zones de production sont représentées sur la figure 66. En Loire Atlantique, les marais salants occupent une surface de 2 000 ha. Ils sont répartis entre les communes de Guérande, La Turballe, Batz-sur-Mer, Mesquer, Saint-Molf et Assérac. Ce bassin de production (bassins du Mès, 300 ha, et de Guérande, 1700 ha) est aujourd'hui « cultivé » par **250 paludiers**, dont le nombre augmente régulièrement, au fur et à mesure que sont remises en état des salines à l'abandon.

Ceci s'explique en partie par l'obtention pour le sel de Guérande depuis 1991 du label rouge : il s'est refait une image de marque très porteuse après deux décennies de déclin. Sur les 250 exploitants, 165 ont choisi d'adhérer à la Coopérative « les Salines de Guérande ». Ils exploitent 6 000 œillets et dégagent un chiffre d'affaires de 12 179 KE (sources : Terre de Sel, Guérande).

La saliculture est également réalisée sur l'île de Noirmoutier. Les sauniers (appellation différente de celle des producteurs de Guérande) sont **95 coopérateurs et environ 20 producteurs indépendants**. La production était d'environ 1 500 T habituellement, elle est en baisse depuis trois ans à cause du mauvais temps qui a sévi (sources : Maison du Sel, Noirmoutier).

Cette activité se situe au premier rang avec la conchyliculture pour la qualité de l'eau. Des problèmes ont eut lieu avec les chasseurs auparavant ; ils sont en partie réglés depuis que la chasse est autorisée seulement après la récolte du sel. Cependant, le problème des plombs perdus dans les salines demeure et constitue une source de contamination du milieu.

Des conflits engendrés par l'activité touristique existent également car les marais sont des propriétés privées et des randonnées (à pied ou à vélo) sur les talus sont couramment observées, ce qui engendre des dégradations sur ces espaces sensibles.

Protection du milieu naturel sur le secteur côtier Loire Vilaine

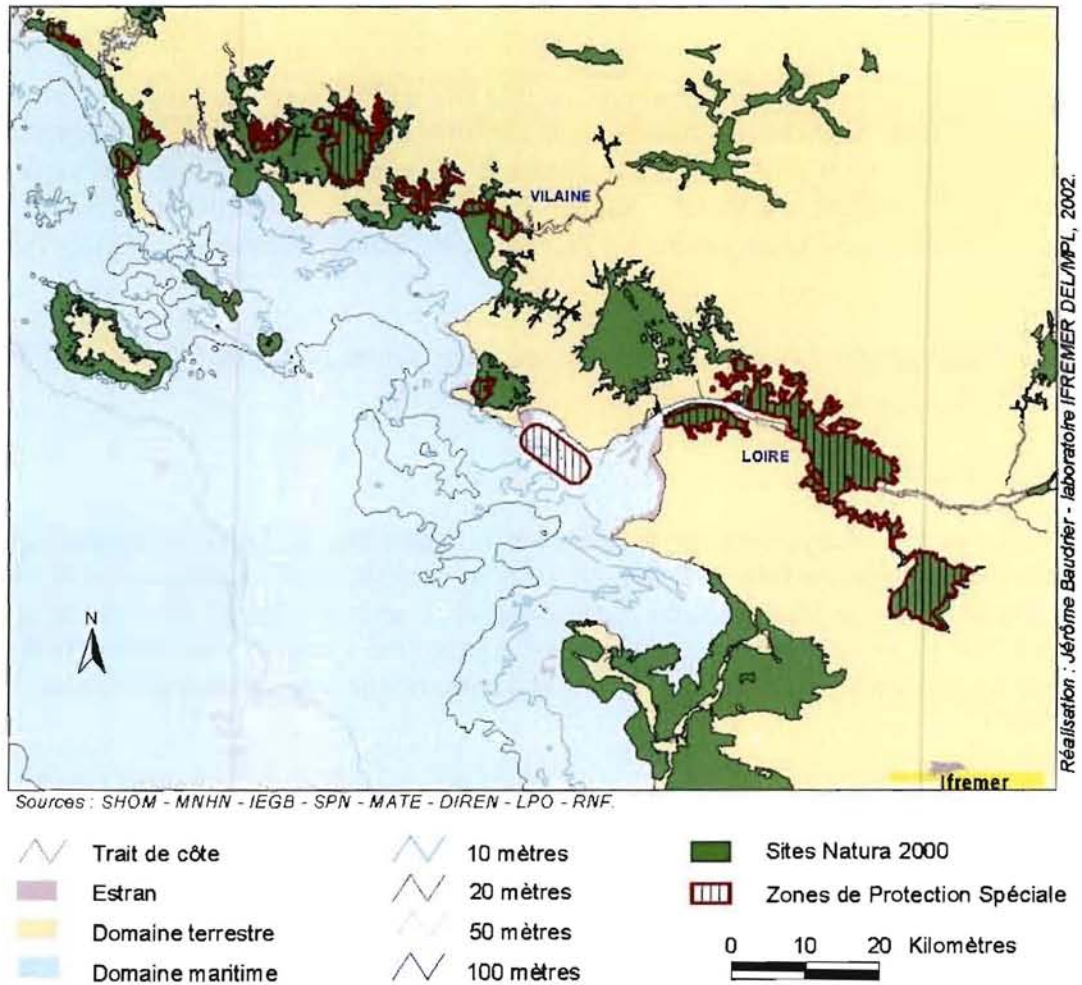


Figure 67 : Localisation des sites NATURA 2000 (Directive « Habitats ») et des Zones de Protection Spéciale (Directive « Oiseaux ») sur le secteur Loire Vilaine.

V.6. INVENTAIRE PATRIMONIAL ET REGLEMENTAIRE

Le secteur Loire Vilaine est très riche au plan biologique. Les cartes des **zones protégées** du proche littoral sont ici présentées. Elles sont issues de la base de données réalisée par le muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN/SPN/IEGB) qui a numérisé les emprises d'un ensemble de zones protégées en relation avec le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, les DIREN et la LPO.

- Figure 67 : Représentation des Sites **Natura 2000** (Directive européenne « Habitats ») et des **Zone de Protection Spéciale** (désignées pour l'application de la directive « Oiseaux »).
- Figure 68 : Localisation des **ZNIEFF I et II**.
- Figure 69 : Cartographie des **Réserves Naturelles** (Marais de Séné et Lac de Grand-Lieu) et du **Parc Naturel Régional** (marais de Grande Brière).
- Figure 70 : Sites **RAMSAR** (concernant les zones humides d'importance internationale au point de vue écologique, botanique, zoologique, limnologique ou hydrologique) et **ZICO**.

Les secteurs les plus protégés et réglementés sont :

- Le Golfe du Morbihan
- L'Etier de Pénerf
- La Baie de Vilaine
- Les Traicts et Marais Salants de la presqu'île Guérandaise
- Le Marais de Brière
- L'Estuaire de la Loire
- Le Lac de Grand-Lieu
- La Baie de Bourgneuf et le Marais Breton
- Les Marais Salants de Noirmoutier.

Ils témoignent de l'importance considérable de ces zones humides dans l'équilibre écologique de l'écosystème. L'objectif sur ces espaces sensibles est de conjuguer protection du patrimoine naturel et développement socio-économique.

L'attractivité de la zone littorale Quiberon - Noirmoutier a entraîné une croissance démographique forte et une diversification des usages du milieu marin. Le développement des activités de loisirs génère aujourd'hui une rente économique considérable. Elles rentrent fréquemment en compétition avec les activités traditionnelles s'exerçant sur la bande côtière.

La protection de ce patrimoine riche et sensible peut aussi provoquer des conflits d'usage. De plus, les politiques de protection se superposent sur les territoires cités préalablement, sans limites communes, avec des objectifs sinon contradictoires, en tous cas complémentaires. Les contraintes superposées deviennent difficiles à gérer pour les administrations en charge de ces réglementations, et parfois aussi pour les habitants et usagers des zones concernées.

Protection du milieu naturel sur le secteur côtier Loire Vilaine

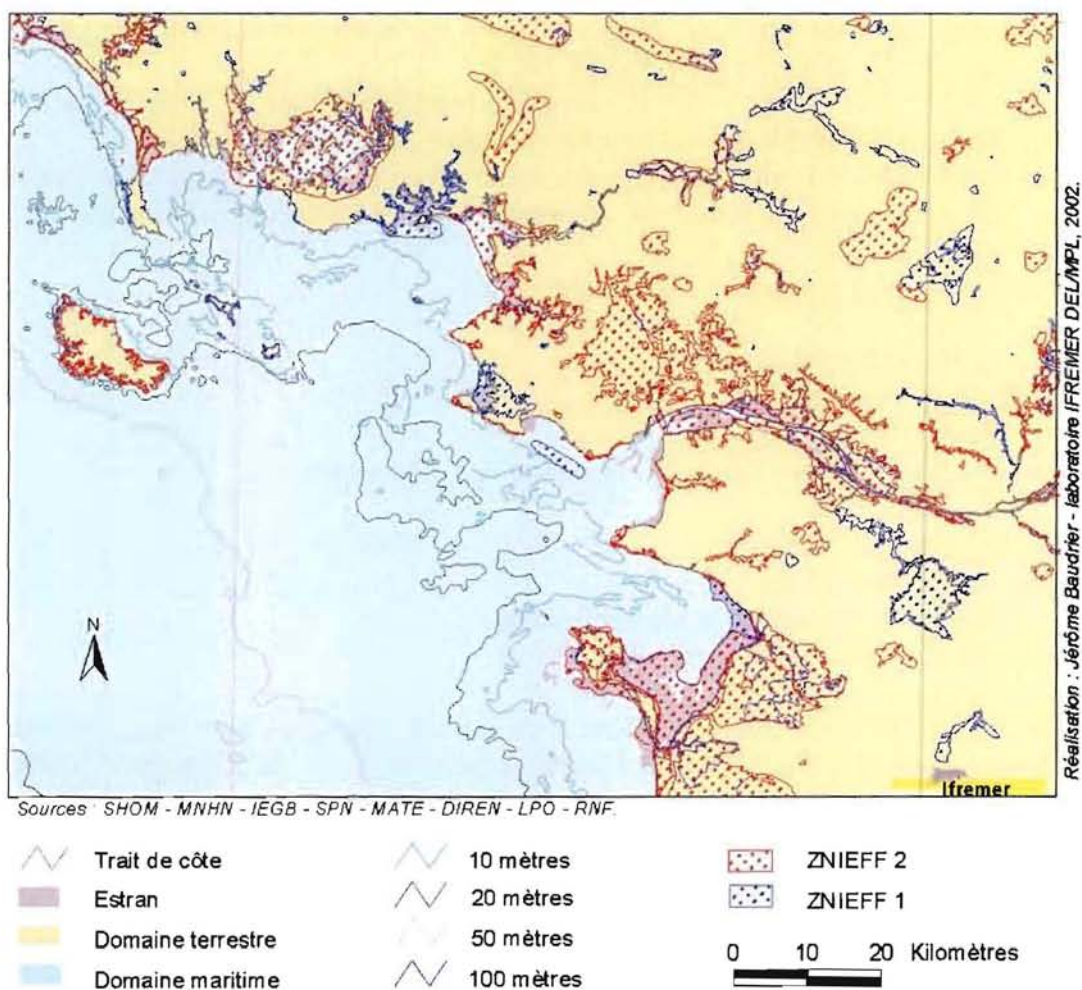


Figure 68 : Localisation des ZNIEFF de type I et II sur le territoire Loire Vilaine.

Protection du milieu naturel sur le secteur côtier Loire Vilaine

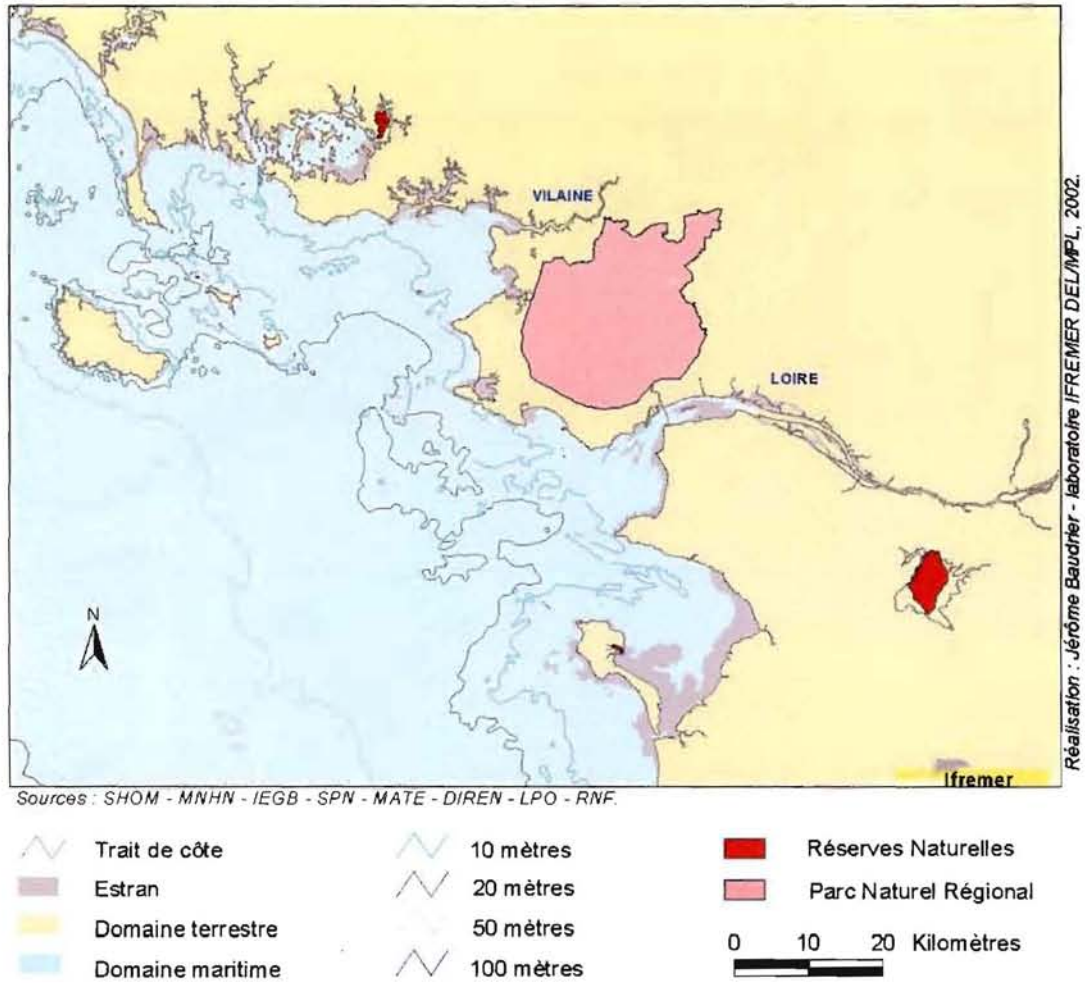


Figure 69 : Localisation du Parc Naturel Régional et des Réserves Naturelles de France sur le territoire Loire Vilaine.

Protection du milieu naturel sur le secteur côtier Loire Vilaine

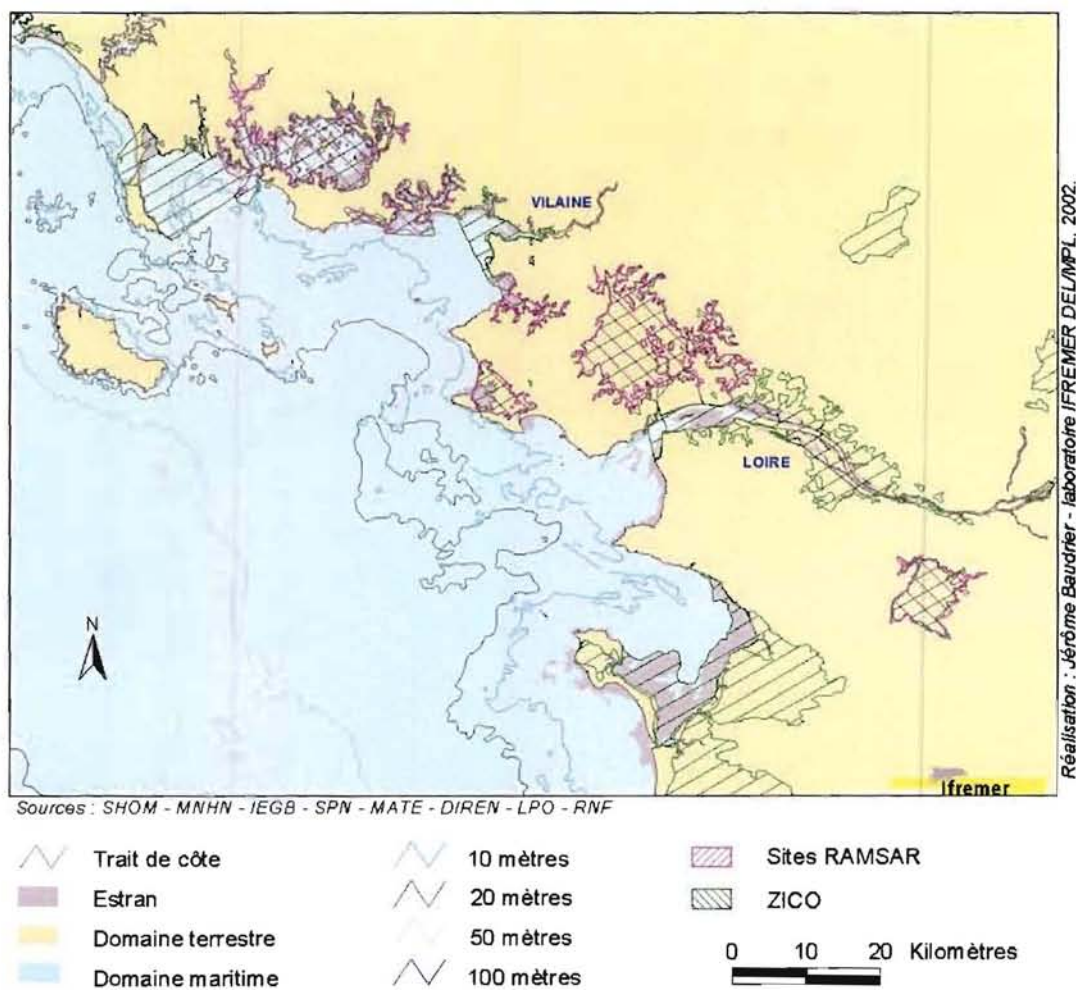


Figure 70 : Localisation des sites RAMSAR et des Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux sur le secteur côtier Loire Vilaine.

CONCLUSION

Le fonctionnement de l'écosystème Loire Vilaine est régi par la circulation océanique sur le plateau continental et les fleuves. Les apports de ces derniers déterminent en particulier la dynamique phytoplanctonique, qui est à la base du réseau trophique.

Les zones d'estuaires, lieu de rencontre entre les eaux fluviales et marines, constituent des sites particulièrement riches au point de vue écologique. Ils concentrent les rejets déversés par les nombreuses activités humaines situées sur les bassins versants de la Loire et de la Vilaine.

La contamination par les métaux, les toxiques chimiques, les composés organiques et minéraux associés aux activités urbaines et agricoles, ainsi qu'aux sources industrielles, touche ces secteurs sensibles.

L'eutrophisation est un problème préoccupant dans certains endroits. Sur l'ensemble du territoire, une augmentation des proliférations algales est observée. Elles sont liées à l'enrichissement des eaux côtières par les nutriments apportés principalement par les panaches fluviaux.

La climatologie est un facteur clef qui détermine les flux de sels nutritifs dans le milieu marin et les conditions hydrodynamiques rencontrées au sein de la colonne d'eau.

L'étude des processus physiques et de leurs conséquences sur le milieu est donc indispensable à la compréhension du fonctionnement de l'écosystème. Les recherches qui convergent vers cet objectif permettront d'améliorer la gestion, tant terrestre que marine, de l'espace concerné.

La diversité biologique rencontrée sur la région Loire Vilaine est forte, ce qui explique les nombreuses aires protégées présentes, et l'attractivité démographique que suscite le littoral.

La pérennité des activités humaines dépend de cette richesse patrimoniale et de la préservation de l'écosystème marin. L'attrait de la zone provoque bien souvent des tensions et conflits d'usage entre les différents utilisateurs de la bande côtière, dont les intérêts divergent. Ils constituent également un frein à la gestion harmonieuse de l'environnement côtier.

Le concept de gestion intégrée des zones côtières (Integrated Coastal Zone Management) est progressivement apparu pour tenter d'améliorer cette situation. L'enjeu des programmes de gestion intégrée est de concilier le développement des activités humaines, réparties en secteurs très diversifiés, avec la protection des écosystèmes.

L'instauration d'une telle stratégie de développement durable pourrait être envisagée sur certains secteurs du littoral Quiberon-Noirmoutier. Pour ce faire, les problématiques principales rencontrées sur la zone Loire Vilaine doivent être analysées. C'est l'objet de la seconde partie de l'étude traitée à la suite de ce document.

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : Présentation de la zone d'étude Loire Vilaine
- Figure 2 : La Loire et la Vilaine dans le réseau hydrographique français
- Figure 3 : Débits journaliers de la Loire et de la Vilaine sur la période 1991-2000
- Figure 4 : Evolution des concentrations en nitrates mesurées en Vilaine entre 1976 et 2002
- Figure 5 : Etat d'avancement des SAGE sur le bassin Loire Bretagne
- Figure 6 : Dynamique sédimentaire des fleuves et rivières de la côte atlantique française
- Figure 7 : Moyenne des températures et précipitations décennales (1976-1999) à la station de Vannes
- Figure 8 : Les régimes de temps dominants sur l'Atlantique
- Figure 9 : Rose des vents à la station météorologique de Lann Bihoué (Lorient)
- Figure 10 : Géomorphologie de la zone côtière Loire Vilaine
- Figure 11 : Carte géologique du secteur Loire Vilaine
- Figure 12 : Bathymétrie de la zone d'étude Loire Vilaine
- Figure 13 : Carte de distribution de la vitesse maximale des courants de marée dans le secteur Quiberon-Noirmoutier, en condition de marée moyenne
- Figure 14 : Schéma de circulation résiduelle de marée dans la zone Loire Vilaine
- Figure 15 : Carte de distribution de l'énergie dissipée par la marée dans le secteur Quiberon-Noirmoutier, en condition de marée moyenne
- Figure 16 : Sédimentologie du secteur Loire Vilaine
- Figure 17 : Températures de surface analysées par télédétection satellitaire
- Figure 18 : Températures de surface en juin 1997 : localisation de l'upwelling de Bretagne Sud
- Figure 19 : Variabilité interannuelle des panaches fluviaux de la Loire et de la Vilaine
- Figure 20 : Salinités moyennes de surface enregistrées au printemps et à l'automne sur le plateau continental du golfe de Gascogne
- Figure 21 : Schéma de fonctionnement du plateau continental atlantique français avec les forçages physiques et météorologiques
- Figure 22 : Matières en suspension analysées par télédétection satellitaire le 15 février 2001 et le 20 juin 2001
- Figure 23 : Mesure de la turbidité à Houat et en baie de Vilaine
- Figure 24 : Découpage du plateau continental atlantique français
- Figure 25 : Evolution du nitrate dans l'estuaire externe de la Loire en 1996 et de 1990 à 1998
- Figure 26 : Teneurs en chlorophylle détectées par télédétection satellitaire sur le plateau continental atlantique français
- Figure 27 : Evolution de la chlorophylle en zone côtière entre 1996 et 2001
- Figure 28 : Evolution des productions annuelles totales et des flux de nitrate en Loire
- Figure 29 : pH mesuré sur une radiale de la Loire entre 1996 et 2001
- Figure 30 : Oxygène dissous mesuré en Loire
- Figure 31 : Résultats de la qualité des eaux côtières sur cinq sites du secteur Loire Vilaine
- Figure 32 : Localisation des stations de surveillance du RNO
- Figure 33 : Distribution schématique des principales classes dominantes du plateau continental atlantique français (campagnes d'avril, juin et septembre 1999)
- Figure 34 : Evolution temporelle des pourcentages par classe de taille de la biomasse phytoplanctonique totale en relation avec la stratification de la masse d'eau
- Figure 35 : Flore observée dans le golfe du Morbihan et en baie de Quiberon

- Figure 36 : Localisation des stations de surveillance du REPHY
- Figure 37 : Nombre d'occurrences des genres *Dinophysis*, *Alexandrium*, *Prorocentrum* et *Gymnodinium-Gyrodinium* sur chacun des sites de la zone Loire Vilaine
- Figure 38 : Concentrations maximales relevées par bassin pour l'espèce *Alexandrium minutum*
- Figure 39 : Les durées de fermetures pour cause de phycotoxines DSP sur le secteur Loire Vilaine
- Figure 40 : Concentrations maximales relevées par bassin pour les espèces *Dinophysis spp.*
- Figure 41 : Nombre de sites à Ulves recensés sur la Bretagne (1997-2001)
- Figure 42 : Inventaire des sites à marées vertes de 1997 à 2001
- Figure 43 : Localisation des nourriceries et frayères à soles de la région Nord-Gascogne
- Figure 44 : Carte schématique des frayères de *Sardina pilchardus*
- Figure 45 : Cartes schématiques des frayères de *Sprattus sprattus* et *Engraulis encrasicolus*
- Figure 46 : Carte schématique des frayères de *Scomber scombrus*
- Figure 47 : Evolutions démographiques dans le Morbihan et en Loire Atlantique
- Figure 48 : Variations de la densité de population entre 1990 et 1999 dans l'Ouest de la France
- Figure 49 : Communes littorales du secteur Loire Vilaine
- Figure 50 : Evolution de la démographie des communes littorales du Morbihan et de Loire Atlantique
- Figure 51 : Part des logements situés en bordure littorale et reliés à un réseau d'assainissement
- Figure 52 : Densité de résidences secondaires dans l'ouest de la France
- Figure 53 : Les ports de plaisance du littoral Loire Vilaine
- Figure 54 : Résultats de la surveillance de la qualité des eaux de baignade du secteur Loire Vilaine
- Figure 55 : Localisation des points d'échantillonnage du réseau de suivi des zones de production conchylicoles et de pêche à pied
- Figure 56 : Fréquentation des gisements de pêche à pied récréative durant les grandes marées de juillet et août 1997
- Figure 57 : L'occupation du sol sur le littoral et dans l'arrière pays du secteur Loire Vilaine
- Figure 58 : Evolution entre 1998 et 2000 du statut des exploitations agricoles
- Figure 59 : Evolution du nombre d'exploitations agricoles dans les départements du Morbihan et de Loire Atlantique entre 1998 et 2000
- Figure 60 : Les principales cultures en Loire Atlantique et dans le Morbihan
- Figure 61 : L'aquaculture dans le secteur Loire Vilaine
- Figure 62 : La pêche professionnelle dans la bande côtière du secteur Loire Vilaine
- Figure 63 : Répartition du nombre de navires et de la puissance totale par quartier d'immatriculation
- Figure 64 : Répartition des différents métiers sur le secteur Loire Vilaine
- Figure 65 : Importance des métiers pour chaque quartier d'immatriculation
- Figure 66 : La saliculture et les extractions marines dans le secteur Loire Vilaine
- Figure 67 : Inventaire patrimonial et réglementaire – zones Natura 2000 et ZPS
- Figure 68 : Inventaire patrimonial et réglementaire – ZNIEFF 1 et 2
- Figure 69 : Inventaire patrimonial et réglementaire – Réserves naturelles et PNR
- Figure 70 : Inventaire patrimonial et réglementaire – sites RAMSAR et ZICO

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau I : Variations des flux continentaux journaliers en amont de la Loire en fonction du débit observé
- Tableau II : Concentrations moyennes en azote, phosphore et matière organique en Vilaine
- Tableau III : Concentrations moyennes en nutriments calculées dans les zones Loire Interne et Loire Externe
- Tableau IV : Les principaux contaminants du secteur Loire Vilaine : résultats
- Tableau V : Mortalités d'animaux marins associées à des proliférations phytoplanctoniques
- Tableau VI : Répartition saisonnière des copépodes dans le nord du golfe de Gascogne
- Tableau VII : Liste des espèces constantes utilisant les zones côtières comme nourriceries et frayères
- Tableau VIII : Effectifs du cheptel vif dans les départements du Morbihan et de Loire Atlantique en 2000
- Tableau IX : Production débarquée dans chaque criée du secteur Loire Vilaine pour l'année 2000

DEUXIEME PARTIE

**ETUDE INTEGREE DU SECTEUR LOIRE VILAINE :
ANALYSE DES PROBLEMATIQUES**

SOMMAIRE

INTRODUCTION	68
I. MATERIEL ET METHODES	70
I.1. PRESENTATION DU LABORATOIRE D'ACCUEIL	70
<i>I.1.1. L'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER.....</i>	<i>70</i>
<i>I.1.2. La station de la Trinité-sur-Mer.....</i>	<i>70</i>
I.2. DEMARCHE SUIVIE POUR LA REALISATION DE L'ETUDE	71
<i>I.2.1. Une synthèse des connaissances sur le secteur Loire Vilaine</i>	<i>71</i>
<i>I.2.2. Un travail d'enquête auprès des usagers du territoire concerné.....</i>	<i>71</i>
<i>I.2.3. La recherche des outils destinés à améliorer l'état des connaissances de la bande côtière Loire Vilaine.....</i>	<i>71</i>
II. RESULTATS. LE SECTEUR COTIER LOIRE VILAINE : PROBLEMATIQUES - OUTILS D'ETUDE	72
II.1. LE DECOUPAGE DU SECTEUR LOIRE VILAINE EN SECTEURS HOMOGENES	72
<i>II.1.1. Choix des descripteurs utilisés.....</i>	<i>72</i>
<i>II.1.2. Description des paramètres physiques</i>	<i>72</i>
<i>II.1.3. Création des zones cohérentes du littoral Loire Vilaine</i>	<i>73</i>
II.2. BILAN DE SANTE DES ZONES COTIERES – ACTIONS A ENTREPRENDRE.....	74
<i>II.2.1. Le Golfe du Morbihan.....</i>	<i>74</i>
<i>II.2.2. La baie de Quiberon</i>	<i>76</i>
<i>II.2.3. La baie de Vilaine</i>	<i>77</i>
<i>II.2.4. L'estuaire externe de la Loire.....</i>	<i>80</i>
<i>II.2.5. La baie de Bourgneuf.....</i>	<i>82</i>
<i>II.2.6. Le secteur intermédiaire</i>	<i>83</i>
<i>II.2.7. Le secteur du large.....</i>	<i>84</i>
II.3. PROBLEMATIQUES TOUCHANT L'ENSEMBLE DU SECTEUR COTIER LOIRE VILAINE	85
<i>II.3.1. L'étude des peuplements marins.....</i>	<i>85</i>
<i>II.3.2. Le renforcement de la surveillance du milieu marin</i>	<i>87</i>
<i>II.3.3. Les activités humaines</i>	<i>89</i>

II.4. LES OUTILS NECESSAIRES A LA COMPREHENSION ET A LA GESTION DE L'ECOSYSTEME ..91

<i>II.4.1. Les outils de gestion.....</i>	<i>91</i>
II.4.1.a. L'effort de pêche et son évaluation par les enquêtes	91
II.4.1.b. Le recensement conchylicole	91
II.4.1.c. Les autres inventaires	91
<i>II.4.2. Les outils d'observation et de surveillance du milieu.....</i>	<i>92</i>
II.4.2.a. Les campagnes océanographiques	92
II.4.2.b. Les campagnes aériennes.....	92
II.4.2.c. Les réseaux de surveillance.....	93
<i>II.4.3. Les outils de compréhension et de prévision</i>	<i>96</i>
II.4.3.a. Télédétection	96
II.4.3.b. Modélisation	97
II.4.3.c. Système d'Information Géographique	98
<i>II.4.4. Les outils institutionnels et juridiques</i>	<i>99</i>
II.4.4.a. Le Système d'Evaluation de la Qualité.....	99
II.4.4.b. Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux.....	99
II.4.4.c. Les Schémas de Mise en Valeur de la Mer	100
II.4.4.d. Les aires protégés.....	100
II.5. SYNTHESE.....	100

III. DISCUSSION - CONCLUSION..... 101

BIBLIOGRAPHIE 105

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX 114

ANNEXES 115

INTRODUCTION

La zone côtière située entre Quiberon et Noirmoutier est soumise à l'influence des panaches des fleuves **Loire** et **Vilaine**. Elle constitue le réceptacle des effluents naturels et des rejets effectués par les activités humaines sur les bassins versants des deux fleuves. Elle est également soumise à la circulation océanique du plateau continental Nord-Gascogne et aux apports des upwellings côtiers.

La qualité des eaux littorales est donc en étroite dépendance avec les apports d'origine terrestre. Les activités maritimes, dont la forte diversité résume à elle seule l'enjeu engendré par la préservation de ce milieu fragile, peuvent aussi causer des dégradations au milieu marin.

Depuis plusieurs décennies, des **dysfonctionnements** au sein de l'écosystème côtier se font remarquer, particulièrement en baie de Vilaine qui présente des signes manifestes d'eutrophisation. Les déséquilibres de production primaire sont mis en évidence par les proliférations d'algues vertes, l'observation d'eaux colorées, l'augmentation des occurrences de phytoplancton toxiques et nuisibles... Ils mettent en péril les **activités humaines** locales (pêche, conchyliculture, tourisme), dont l'importance socio-économique est considérable.

Il existe également d'autres problèmes **environnementaux** qui génèrent des nuisances aux divers usages de la bande côtière, comme :

- l'envasement de certaines baies ou estuaires, parfois en relation avec des aménagements ;
- la dégradation de la qualité bactériologique des eaux côtières ;
- la diminution des ressources halieutiques ;
- la dégradation des biotopes...

A cela s'ajoutent de nombreux **conflits** entre les différents utilisateurs du littoral dont les intérêts divergent pour un même territoire.

La présente étude se propose de dresser un état des lieux des connaissances existantes dans la zone du Mor Bras, de l'estuaire externe de la Loire et de la baie de Bourgneuf. Le secteur retenu couvre la région comprise entre Quiberon et Noirmoutier. Elle a été réalisée à la station **Ifremer** de La Trinité sur Mer, à la **Direction** de l'Environnement et de l'aménagement Littoral au laboratoire Morbihan-Pays de Loire.

Ce projet a pour objectif, outre la synthèse des acquis et des travaux en cours, d'identifier les problématiques rencontrées sur la zone étudiée. Des rencontres auprès des acteurs scientifiques, techniques et économiques ont été mises en place à cet effet.

Ce travail permettra ainsi d'orienter les futurs projets de recherche qui permettront l'acquisition de connaissances complémentaires grâce au développement de nouveaux **outils** performants (modélisation, Système d'Information Géographique, télédétection) et procédures administratives (SMVM, PNR...).

Ceux-ci doivent venir en appui aux usagers et décideurs du secteur Mor Bas pris au sens large dans cette étude pour les aider à gérer collectivement et au mieux cet espace sensible et convoité.

L'observation des **perturbations économiques** ayant pour origine **l'environnement littoral**, ainsi que la trop faible prise en considération du **milieu côtier** par rapport au reste du plateau continental Nord-Gascogne, sont à l'origine de ce projet.

De plus, les études sectorielles ne permettent pas de cerner les différentes composantes de l'écosystème. L'idée était donc de développer une **approche globale et pluridisciplinaire** sur cette zone, en prenant en compte **l'influence de la Loire et de la Vilaine** (les études sont généralement restreintes à un seul des deux fleuves).

Les méthodes d'investigation et d'analyse qui ont été utilisées sont d'abord présentées. La description de la zone allant de Quiberon à Noirmoutier, ainsi que les fleuves Loire et Vilaine et leur impact sur l'écosystème, a été décrite dans la première partie du travail (*Etude intégrée du secteur côtier Loire Vilaine : synthèse des connaissances*).

Elle a permis de mettre en évidence les problématiques principales rencontrées sur le territoire concerné. C'est l'objet de la seconde partie du présent rapport, qui a été complétée par l'identification des outils (disponibles ou en voie de développement) les mieux adaptés pour tenter de répondre à ces questions.

Pour cela, un zoom a été effectué sur plusieurs secteurs distincts au sein de la bande côtière. Ceux-ci ont été préalablement définis par des critères précis, afin que les identités spatiales retenues soient les plus cohérentes possibles, d'un point de vue physique et biologique. Les problématiques rencontrées et les axes de recherche prioritaires à développer sur chacun de ces sous-ensembles ont alors pu être dégagés.

La majorité du temps imparti à ce rapport a été consacrée aux recherches bibliographiques relatives au milieu Loire Vilaine. Une des premières limites est donc posée par l'étendue des informations collectées. L'essentiel du travail se base sur des études effectuées principalement durant les vingt dernières années et ne traite que rarement des recherches antérieures.

Ce travail constitue une identification de l'état récent ou actuel des connaissances, et n'aborde pas l'évolution du milieu au cours du temps. De plus, l'ensemble de la littérature, très abondante sur le sujet, n'a pu être consulté.

Une autre limite est constituée par l'éventail des personnes rencontrées puisque la plupart des entretiens ont été réalisés avec des scientifiques. Ils ont été les premiers interrogés puisque l'essentiel du travail reposait sur la compréhension du milieu étudié. La vision des usagers et gestionnaires de ce riche patrimoine est peu exposée.

Enfin, la liste étendue des outils employés et le nombre considérable de problématiques décrites n'ont pu aboutir à une synthèse exhaustive. Seuls les éléments jugés les plus importants à la compréhension de l'**écosystème Loire Vilaine** ont été conservés.

I. MATERIEL ET METHODES

I.1. PRESENTATION DU LABORATOIRE D'ACCUEIL

I.1.1. L'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER

L'**Ifremer**, est né de la fusion du Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO) et de l'Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes (ISTPM) en 1984 (annexe 1 : liste des sigles et abréviations employés). Cet organisme au statut *EPIC*, placé sous la tutelle conjointe des ministères de la Recherche, de l'Agriculture et de la Pêche, de l'Equipement, des Transports et du Logement, et plus récemment de l'Ecologie et du Développement Durable, compte plus de 1700 employés.

Les activités de l'Ifremer sont pluridisciplinaires. Il a une mission scientifique : la connaissance, la mise en valeur, la protection de l'environnement marin et un rôle de conseiller auprès de l'état, des professionnels de la mer et d'autres organismes scientifiques pour favoriser le développement socio-économique du monde maritime et des collectivités locales.

L'Ifremer s'appuie sur quatre directions :

DRV	TMSI	DRO	DEL
Direction des Ressources Vivantes	Direction de la Technologie Marine et des Systèmes d'Information	Direction des Recherches Océaniques	Direction de l'Environnement et de l'aménagement Littoral

En outre, l'Ifremer a la charge de développer et de gérer les équipements océanographiques, dont la flotte française comprenant huit navires de recherche et deux submersibles. C'est le seul organisme français à vocation uniquement maritime.

Les multiples programmes menés convergent vers un objectif commun : améliorer les connaissances liées à l'écosystème marin et à son exploitation pour mettre en œuvre une gestion durable des ressources maritimes.

I.1.2. La station de la Trinité-sur-Mer

La station de la Trinité-sur-Mer dépend du centre de Brest. Elle regroupe 20 personnes réparties en 2 laboratoires :

- le laboratoire des Ressources Aquacoles (RA) de la DRV. Il mène des activités de surveillance spécialisées sur la physiologie et la pathologie des coquillages.
- le laboratoire côtier Morbihan – Pays de Loire de la DEL. Il assure une mission de conseiller auprès des professionnels de la mer, des collectivités locales et départementales, et gère aussi le suivi de la qualité des eaux côtières de la Laïta (limite Finistère – Morbihan) à la Vie (Vendée) grâce à ses réseaux de surveillance (annexe 2).

I.2. DEMARCHE SUIVIE POUR LA REALISATION DE L'ETUDE

I.2.1. Une synthèse des connaissances sur le secteur Loire Vilaine

L'essentiel du travail a consisté à réunir toutes les informations disponibles au sujet de la zone Loire Vilaine. Un état des lieux réalisé à partir des recherches bibliographiques a ainsi été accompli. Il fait l'objet de la première partie du rapport : *Etude intégrée du secteur côtier Loire – Vilaine : synthèse des connaissances*. Toutes les références utilisées ont donc été jointes à la présente étude. Elle a permis de dégager les **problématiques** prioritaires à traiter sur le territoire d'étude.

I.2.2. Un travail d'enquête auprès des usagers du territoire concerné

Ce travail d'inventaire a été accompagné de la réalisation d'**enquêtes** auprès des acteurs intéressés par le secteur d'étude. Les entretiens ont concerné essentiellement le milieu scientifique, mais aussi les professionnels de la mer (annexe 3 : liste des personnes contactées). Pour des raisons techniques, les interviews de la majorité des professionnels ont été menées par téléphone.

Les fiches de synthèse ne sont pas jointes à ce document, en partie pour des raisons de confidentialité. Pour une vision plus complète, les collectivités locales auraient dû être consulté. Le manque de temps et l'étendue du secteur Quiberon-Noirmoutier ont limité cette démarche.

Les questions aux **scientifiques** visaient les programmes de recherche en cours dans le secteur Loire Vilaine, ainsi que ceux en préparation ou programmés. Elles ont permis de récolter des informations sur le fonctionnement de l'écosystème. Elles avaient pour objectif également d'identifier les organismes traitant de sujets semblables sur la zone d'étude. Les rencontres ont permis de dégager les questions d'actualité les plus pertinentes (annexe 4).

Les enquêtes auprès des **professionnels** étaient destinées à évaluer l'importance du secteur représenté, et portaient donc sur l'activité en elle-même. Elles ont permis d'identifier quelles étaient les acquisitions de connaissances complémentaires à faire. Les interviews avaient aussi pour but de mettre en lumière les principaux problèmes rencontrés, qu'ils soient d'origine environnementale ou sociale. Certains points de blocage ont été signalés.

I.2.3. La recherche des outils destinés à améliorer l'état des connaissances de la bande côtière Loire Vilaine

Les rencontres ont permis de prospecter les **outils** utilisés, ainsi que ceux en cours de développement, pour améliorer les connaissances du secteur Quiberon-Noirmoutier. L'identification des outils disponibles actuellement résulte aussi des recherches bibliographiques effectuées.

L'étude suit donc la démarche suivante : l'état des connaissances a été préalablement établi. Il a permis d'identifier un certain nombre de problématiques ; elles sont classées par grands secteurs rencontrés : *la baie de Quiberon, le golfe du Morbihan, la baie de Vilaine, l'estuaire externe de la Loire, la baie de Bourgneuf, le secteur intermédiaire et le secteur du large*. Une fois celles-ci connues, les outils les mieux adaptés pour tenter de résoudre les questions les plus pertinentes ont été recherchés.

II. RESULTATS. LE SECTEUR COTIER LOIRE VILAINE : PROBLEMATIQUES - OUTILS D'ETUDE

Outre la synthèse des acquis, l'étude fait le point sur la recherche et les réflexions menées actuellement. Cependant, cette vision globale nécessite d'être précisée. En effet, le territoire est très étendu et présente de nombreuses zones pouvant être isolées les unes des autres. Certaines problématiques sont propres à chacune d'entre elles. Dans un premier temps, nous avons donc cherché à découper la zone côtière allant de Quiberon à Noirmoutier en **secteurs homogènes**, selon des critères précis.

II.1. LE DECOUPAGE DU SECTEUR LOIRE VILAINE EN SECTEURS HOMOGENES

L'objectif de ce découpage est d'identifier des zones cohérentes sur tout le littoral Loire Vilaine. Une *zone cohérente se définit comme une entité spatiale qui possède des caractéristiques physiques et biologiques semblables*. Elle détermine un écosystème local, plus ou moins riche et fragile, qui va réagir sensiblement de la même façon aux agressions liées notamment aux usages anthropiques marins et terrestres.

II.1.1. Choix des descripteurs utilisés

La carte de distribution de l'énergie dissipée par la marée dans le secteur Loire Vilaine (**figure 15, partie 1**) permet de distinguer trois zones : le *Mor Bras*, un *secteur intermédiaire* et le *secteur du large*. Le schéma de circulation résiduelle de marée (**figure 14, partie 1**) montre que le Mor Bras ne peut être une unité à part entière, un zonage plus précis doit donc porter sur les zones côtières situées entre Quiberon et Noirmoutier.

Les thèmes de découpage seront basés sur les *caractéristiques physiques du milieu* car ceux-ci vont conditionner la répartition de la faune et de la flore. Les descripteurs physiques choisis seront au nombre de deux, afin de ne pas surcharger les paramètres à prendre en compte. Il s'agit de la **vitesse maximale des courants en marée moyenne** et de la **bathymétrie**.

L'intensité de l'hydrodynamisme est un critère capital puisqu'il détermine les conditions hydrologiques rencontrées au sein de la colonne d'eau et qu'il guide la répartition des sédiments. La *marée* est l'un des principaux facteurs dynamiques du secteur Loire Vilaine.

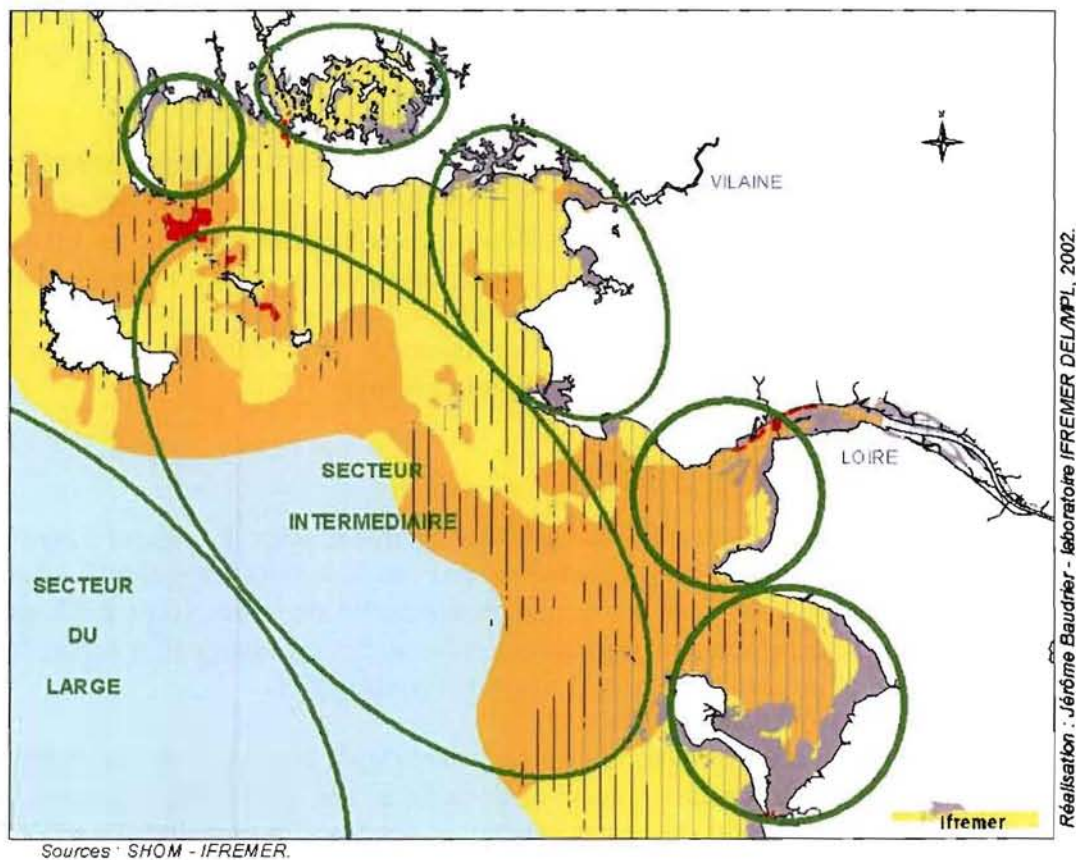
La *bathymétrie* est également prise en compte car cette étude s'intéresse au domaine côtier. Les changements observés au sein de la colonne d'eau sont donc fonction de l'hydrodynamisme, mais aussi de la profondeur, surtout pour les étages médio- et infralittoral. Ces milieux sont en effet eurythermes avec de fortes amplitudes saisonnières, mais aussi journalières et marégraphiques. La bathymétrie permet en outre de fixer une limite au large.

II.1.2. Description des paramètres physiques

- **La vitesse maximale des courants, en marée moyenne**





Les vitesses de courant ont été regroupées en classe. Les données proviennent de la modélisation numérique des courants de la côte bretonne (Ifremer, 1999), tandis que pour les sites s'étendant de la pointe de Saint Gildas au goulet de Fromentine, elles sont produites par le SHOM.

Découpage du secteur Loire Vilaine en zones cohérentes



Sources : SHOM - IFREMER.

Bathymétrie :

-  Trait de côte
-  Estran
-  Profondeur de 0 à 10 mètres
-  Profondeur de 10 à 20 mètres

Vitesse maximale des courants :

-  Faible
-  Moyenne
-  Forte

0 10 Kilomètres



Réalisation : Jérôme Baudrier - laboratoire IFREMER DEL/AMPL, 2002.

Figure 1 : Découpage du secteur Loire Vilaine en zones cohérentes.

L'hydrodynamisme est décrit par trois classes selon l'intensité des vitesses maximales :

- vitesse de courant < 0,3 m/s : intensité **faible** ;
- vitesse de courant compris entre 0,3 et 0,8 m/s : intensité **moyenne** ;
- vitesse de courant > 0,8 m/s : intensité **forte**.

La figure 1 montre bien, comme vu lors de la synthèse des connaissances, la faiblesse de l'hydrodynamisme dans le Mor Bras, et l'augmentation de son intensité au sud du Croisic.

• La bathymétrie

Elle provient des données du SHOM et indique sur la figure 1 les secteurs compris entre 0 et 10 m et ceux de plus de 10 m. L'ensemble de la zone Loire Vilaine possédant une faible bathymétrie, les sites retenus sont ceux dont la profondeur n'excède pas 15 mètres.

II.1.3. Création des zones cohérentes du littoral Loire Vilaine

Le croisement des deux thèmes choisis permet d'identifier 5 zones cohérentes : le **golfe du Morbihan**, la **baie de Quiberon**, la **baie de Vilaine**, l'**estuaire externe de la Loire** et la **baie de Bourgneuf**.

Le découpage a aussi été influencé par les activités humaines, les zones habituellement citées dans la bibliographie... De plus, la délimitation de chacun des secteurs n'a pas pour vocation d'être précise et fixe. En effet, elle pourra être assignée ultérieurement en fonction des problématiques rencontrées et des projets de recherche ou de gestion mis en place.

Par comparaison, un zonage est en cours d'élaboration dans la bande côtière française pour l'application de la **Directive Cadre sur l'Eau** (Directive 2000/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2000). Son objectif est l'atteinte d'un bon état écologique et chimique des masses d'eau en 2015. Elle nécessite préalablement l'élaboration d'une typologie des eaux côtières et de transition (<http://www.ifremer.fr/envlit/actualite/2002041002.htm>).

Pour cela, les paramètres physiques retenus ont été l'énergie potentielle (indice de stratification) et la vitesse des courants résiduels. Les zones identifiées ont été le *golfe du Morbihan*, le *secteur Belle Ile-Houat-Hoëdic*, la *baie de Vilaine*, l'*estuaire Loire* et la *baie de Bourgneuf* (Lazure, comm. pers.). Cependant, les travaux ne sont pas terminés, et le zonage est en cours de validation.

Des critères liés à la sédimentologie vont être ajoutés afin de préciser encore plus les limites des secteurs ainsi définis. Cette première ébauche confirme toutefois la cohérence du découpage réalisé sur l'écosystème Loire Vilaine.

Une remarque peut cependant être effectuée sur ce zonage, d'après les observations de Corlay : à l'analyse horizontale définissant les structures spatiales connectées par des marges, des discontinuités et des interfaces, doit se surajouter aussi un emboîtement vertical des divers pouvoirs de décision (<http://agro.roazhon.inra.fr/dep/halieut/manifest/rencontres/Journal.html>).

Ces interdépendances n'ont pas été prises en compte dans notre découpage. Il faudrait pour cela mettre en place une analyse systémique. Le littoral doit aussi être considéré comme une interface avec trois compartiments en continuité à considérer : mer côtière, estran, et littoral (<http://geolittomer.univ-nantes.fr/Compo/corlay.html>). Ceci implique de développer une vision maritime sur les problématiques d'origine terrestres.

II.2. BILAN DE SANTE DES ZONES COTIERES – ACTIONS A ENTREPRENDRE

Les problématiques principales, ressortant des diverses rencontres effectuées et de l'état des lieux réalisé sur le secteur Loire Vilaine, ont été listées pour chaque entité spatiale préalablement déterminée. Leur analyse permet de faire le point sur les actions qu'il serait bon d'entreprendre par la suite, en vue de préserver les ressources naturelles, la qualité du milieu et d'améliorer la cohabitation entre usagers du littoral.

En parallèle, le **secteur du large** (au sud de Belle Ile), dont les propriétés sont différentes de celles identifiées avec les sous-ensembles précédents, fera l'objet d'une partie spécifique. Un **secteur intermédiaire**, soumis en permanence aux panaches fluviaux et ayant des caractéristiques distinctes des zones côtières et de celles du large, sera également étudié.

II.2.1. Le Golfe du Morbihan

Conflits d'usage

Les nombreux conflits d'usage observés dans le golfe du Morbihan sont dus en particulier à la *saturation de l'espace de navigation, aux infrastructures nautiques, aux espaces ostréicoles, aux zones de pêche à pied et embarquées (professionnelles et récréatives), ainsi qu'à la sécurité sur le plan d'eau* (Bossier, 2002). La mise en place d'un **Schéma de Mise en Valeur de la Mer** constitue l'opportunité de prendre des mesures de gestion communes à l'ensemble des usagers pour améliorer la cohabitation dans le golfe du Morbihan et réguler les usages.

De ce fait, il représente un site favorable à l'instauration d'un processus de gestion intégrée. Le concept d'**Aménagement Intégré des Zones Côtières** (Integrated Coastal Zone Management) est progressivement apparu pour tenter de concilier le développement des activités humaines, réparties en secteurs très diversifiés, avec la protection des écosystèmes.

Il consiste en un processus continu et dynamique visant à rapprocher les intérêts des différents acteurs. Les instruments, tels que le SMVM, le PNR et le comité de pilotage Natura 2000, sont des outils pouvant servir au démarrage d'une telle démarche. De nombreuses données numérisées sont déjà disponibles et peuvent alimenter un SIG.

Outils : SMVM, NATURA 2000, PNR, Inventaires, SIG...

Eutrophisation

La production primaire de **204 gC/m²/an** mesurée par Le Rouzic et Bertru (1996) *ne pose pas d'inquiétude* concernant l'eutrophisation du milieu (annexe 5 : comparaison de quelques valeurs en Bretagne). Des études récentes (Allenou *et al.*, 2002) confirment ces observations. De plus, le fort hydrodynamisme rencontré dans la partie occidentale du golfe limite sérieusement les risques d'accumulation de fortes biomasses algales et la désoxygénation des masses d'eau.

Néanmoins, la *présence de marées vertes* est régulièrement observée dans les estuaires et aux débouchés des rivières de Vannes et d'Auray (Piriou *et al.*, 1995). Des travaux récents sur les principales stations d'épuration ont permis de réduire localement ces développements de macroalgues vertes (Camus, 1998).

La surveillance des secteurs calmes et plus sensibles du golfe permettrait une meilleure appréhension des risques locaux d'eutrophisation. Des études sur ces points pourraient également être mises en place, afin d'étudier des scénarios de réduction des marées vertes (études Bretagne Eau Pure II sur le Loch, études Bassins Versants en cours d'élaboration...).

Le golfe du Morbihan pourrait être un site atelier particulièrement intéressant pour la mise en place de travaux de **modélisation de la production macroalgale**. En effet le fonctionnement du modèle écologique (Leblond *et al.*, 2001) nécessite le couplage entre un modèle hydrodynamique et un modèle géochimique. Or, des travaux sur la modélisation hydrodynamique du golfe du Morbihan ont déjà été réalisés (Marcos *et al.*, 1995).

Outils : REPHY, Réseau Algues vertes (CEVA-AELB), Modélisation de la production macroalgale, Bassins Versants, Bretagne Eau Pure II, Programmes apports, Autocontrôle STEP...

Biodiversité

Le golfe du Morbihan représente *un patrimoine très riche sur le plan de la diversité biologique*. Un projet de Parc Naturel Régional est actuellement en cours. Les gestionnaires doivent donc veiller à assurer la conservation de cet espace fragile dans le contexte d'une croissance maîtrisée. Les problèmes sont liés à l'expansion urbaine et à ses effets environnementaux et socio-économiques sur la zone côtière.

Outils : PNR, NATURA 2000, ZNIEFF, Comité RAMSAR, ZICO, ZPS, SIG.

Qualité des eaux

Les rivières qui débouchent dans le Golfe du Morbihan sont de *qualité microbiologique médiocre*. L'identification des secteurs où l'**assainissement** autonome des eaux usées fait défaut doit être réalisée afin de prendre des mesures en conséquence pour améliorer leur fonctionnement après les récents efforts sur l'assainissement collectif.

Pour cela, le modèle hydrodynamique développé par Marcos *et al.* (1995) est un outil intéressant à exploiter. Il permet en effet de modéliser le devenir des coliformes fécaux et autres bactéries d'origine humaine ou animale. Des simulations permettent de distinguer les zones épargnées des zones plus sensibles. Il est nécessaire à l'optimisation des rejets des STEP. Une opération est déjà en cours avec le SIAEP de Vannes Ouest sur 8 STEP.

Outils : REMI, Réseau de surveillance de la pêche à pied récréative, Réseau de surveillance de la qualité des eaux de baignade, SEQ, Modélisation hydrodynamique, Autocontrôle STEP.

Dynamique sédimentaire

Une tendance à l'**envasement** de certains secteurs abrités est remarquée depuis plusieurs années (Marcaillou *et al.*, 1996). Il est causé en partie par l'emprise de la conchyliculture dans certaines zones. Les tables abandonnées doivent être retirées, afin de ne pas constituer un frein aux courants ou être disposées parallèlement aux veines d'eaux. Une actualisation fine de la bathymétrie s'avère nécessaire pour valider ou non les zones de dépôts et d'érosion.

Outils : LIDAR, Photographies aériennes, Modélisation hydro-sédimentaire, bathymétrie SHOM.

II.2.2. La baie de Quiberon

Capacité trophique du milieu

La baie de Quiberon est un site *unique* au niveau national. Elle est caractérisée par l'élevage des huîtres en eau profonde, l'unicité de la situation étant représentée par la faible profondeur, l'espèce élevée, le mode d'élevage et les quantités produites (**10 000 tonnes par an** environ).

La connaissance des stocks cultivés est un élément essentiel pour l'analyse des performances d'élevage. Or, aucune campagne d'estimation des stocks n'a été effectuée. Elle devrait permettre de réaliser une évaluation de la capacité trophique de l'écosystème baie de Quiberon et apporterait une aide considérable aux gestionnaires de cette zone.

Une campagne à cet effet est prévue en 2003. Elle pourrait être complétée d'une modélisation dynamique couplant physique (hydrodynamisme, sédimentologie) et biologie (production primaire, croissance des mollusques).

Outils : Campagnes en mer, REMORA, MOREST, Modélisation Production Primaire, Recensement conchylicole.

Génétique des mollusques

Les **épizooties** récurrentes empêchent la culture de l'huître plate (Goupil, 1992). Il faudrait développer des souches résistantes aux parasites *Marteilia refringens* et *Bonamia ostreae* pour que la relance de l'élevage de l'huître plate soit assurée. Les travaux de recherche développés à l'Ifremer La Tremblade semblent prometteurs et des nouveaux tests sont prévus l'an prochain chez les professionnels en baie de Quiberon.

Outil : REGEMO, REPAMO.

Espèces invasives et proliférantes

L'augmentation de la biomasse de *crépidules* en baie de Quiberon est un problème inquiétant (Guiheneuf, 1992). La prospection de la localisation des concentrations de crépidules pourrait être menée, afin d'apprécier l'ampleur de la **compétition** (spatiale et trophique) causée par cette espèce. Egalement, des observations relatives à l'introduction de nouvelles espèces prédatrices, les bigorneaux perceurs japonais *Ocenebrellus inornatus* et *Rapana venosa*, doivent être suivies avec vigilance.

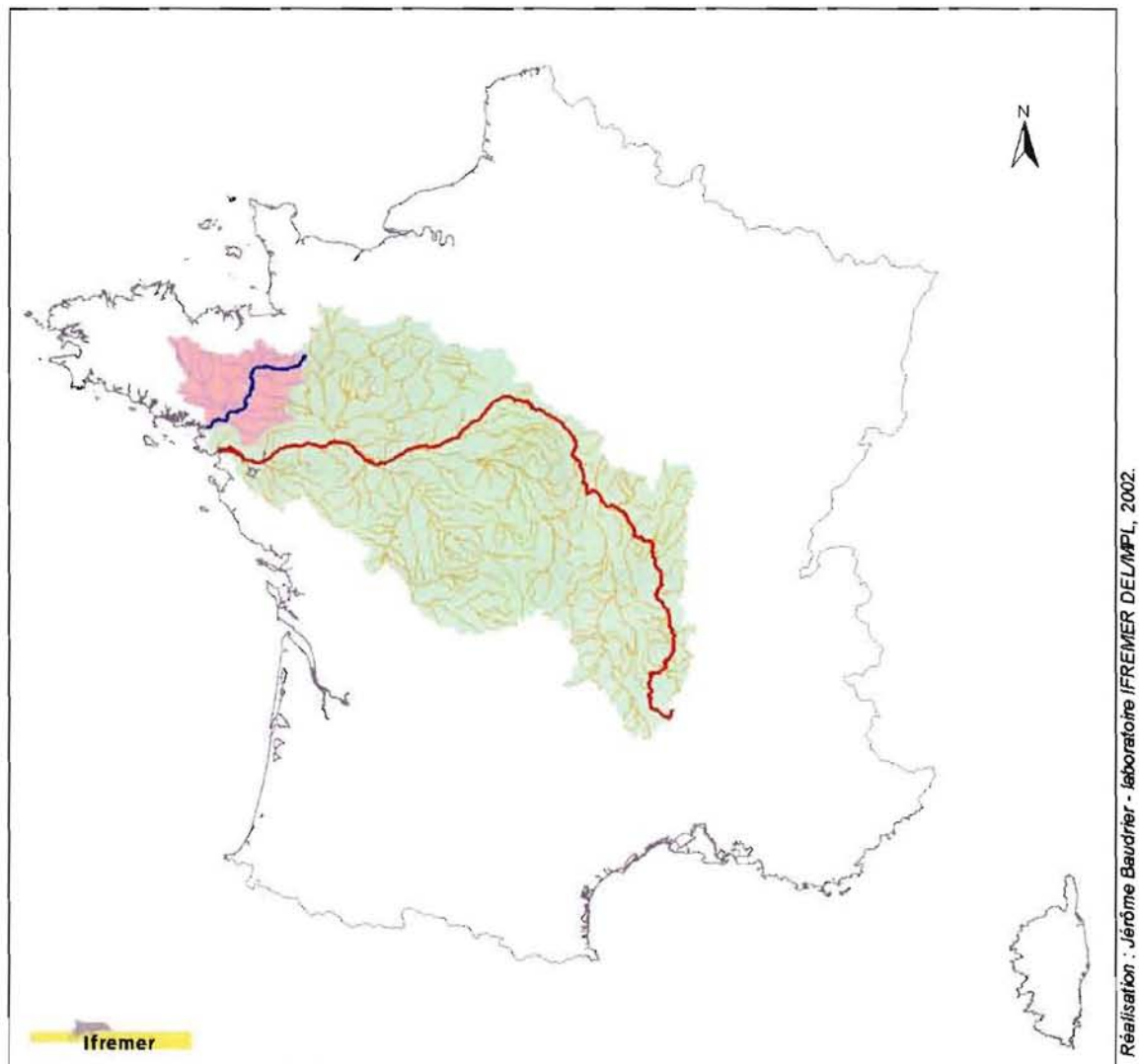
Outil : Campagnes en mer, Sonar latéral, Photographies aériennes, REBENT.

L'envasement de la baie de Quiberon

L'envasement de la baie de Quiberon a été constaté (Lemoine, 1989) et inquiète les conchyliculteurs. Les travaux doivent porter sur le **déterminisme** de ce phénomène, et sur ses conséquences futures pour les professionnels et usagers de la bande côtière. Les moyens permettant de lutter contre l'envasement doivent faire l'objet d'études particulières.

Outils : LIDAR, Modélisation hydrosédimentaire, Photographies aériennes, Bathymétrie fine, Suivi sédimentaire.

Le réseau hydrographique des bassins versants de la Loire et de la Vilaine.



Sources : SHOM - Bd Carthage du RNDE.

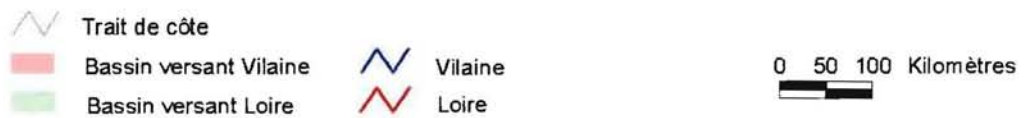


Figure 2 : Etendue des bassins versants des fleuves Loire et Vilaine

II.2.3. La baie de Vilaine

Eutrophisation

La baie de Vilaine est un des *secteurs du littoral français les plus sensibles à l'eutrophisation*, en témoignent les proliférations de microalgues, le niveau atteint par la production primaire moyenne annuelle (**240 à 260 gC/m²/an** ; Clément, 1986 – annexe 5), les dysfonctionnements observés (hypoxies par exemple) et les phénomènes de marées vertes.

Le bassin versant de la Vilaine (figure 2) s'étend sur 10 400 km², soit un tiers de la Bretagne (Chapelle, 1991). Les connaissances à améliorer concernent les *apports de nutriments au milieu marin*. Elles portent sur leur **nature** d'une part (quantités précises) et sur la compréhension de leur **impact** sur l'écosystème marin et ses ressources vivantes.

En effet, les conclusions de l'ensemble des travaux mettent l'accent sur une nécessaire réduction, sur l'ensemble du bassin versant de la Vilaine, des apports industriels et urbains de phosphore, et des apports agricoles d'azote et de phosphore. Elles préconisent aussi un contrôle des stocks sédimentaires de phosphore (Queguiner, 1988 ; Clément, 1987).

Cependant, un désaccord entre les scientifiques à propos du rôle du phosphore est observé (Ménesguen, comm. pers.). *Un consensus relatif au contrôle des biomasses des microalgues existe entre l'azote et le phosphore*. La description du cycle de cet élément doit être affinée, en particulier pour mieux prendre en compte les processus de régénération dans la colonne d'eau et dans le sédiment. Le cycle du phosphore présente en effet, par rapport au cycle de l'azote, une phase sédimentaire et particulaire dont le rôle est plus important.

Outils : REPHY, Réseau de suivi des ulves (CEVA-AELB), Réseau National de Bassin, ROSLIT, SEQ, Modélisation, Télédétection, SAGE.

Envasement de la baie et stratification de la colonne d'eau

Les complications écologiques engendrées par la *retenue d'Arzal* sont multiples et bon nombre de dysfonctionnements observés en baie de Vilaine au cours de ces vingt dernières années lui sont en partie imputables.

Ce barrage a renforcé le caractère stratifié de la Vilaine et des eaux de la baie ; le temps de résidence moyen de l'eau douce dans l'estuaire a été raccourci, le bouchon vaseux a subi une diminution, la retenue a également provoqué un abattement de la vitesse des courants de marées provoquant un envasement de l'estuaire et une stagnation des eaux (Merceron, 1985). L'envasement est un processus naturel dans la baie, mais la construction du barrage (en 1970) l'a fortement accéléré (IAV, 1995).

Un programme pourrait être mis en place, afin d'optimiser le régime des lâchers d'eau douce du barrage. Un modèle numérique a déjà été mis en place (Le Hir *et al.*, 1986) ; il montrait que pour des scénarios de lâchers très divers, les flux de stratification étaient très analogues. Une modélisation tridimensionnelle plus précise pourrait être expérimentée. Les résultats seraient vérifiés par de nombreuses mesures in-situ.

Une **modélisation sédimentaire** pourrait également être envisagée pour effectuer des prévisions sur l'évolution du faciès sédimentaire (une forte demande est relevée pour ces travaux). Toutefois, un tel projet se heurte à des difficultés techniques et de faisabilité.

Outils : Photographies aériennes, LIDAR, SAGE, Modélisation hydrosédimentaire, SIG.

Qualité des eaux

Certaines zones sont *strictement interdites à la pêche et à l'élevage* : le fond de la rivière de Pénerf, l'étier de Billiers et un tronçon de la Vilaine (juste à l'aval du barrage), principalement en raison des apports d'eaux douces incompatibles avec l'élevage des bivalves. Des résultats moyens pour la *salubrité des eaux de baignade et des plages* ont également été obtenus (SAGE Vilaine, 2001). Des mesures doivent être entamées pour poursuivre la lutte contre les pollutions diffuses et améliorer la qualité des rejets domestiques et industriels.

Concernant les apports de *toxiques chimiques*, un modèle de transport de contaminants pourrait être mis en place. La toxicité à long terme des substances polluantes dans l'environnement est mal connue. Aucune action n'est planifiée pour évaluer l'impact de quantités qui n'entraînent pas d'intoxications aiguës immédiates, mais qui s'accumulent au cours du temps. De plus, les « effets synergiques » qui sont à l'origine des perturbations de l'écosystème sont encore très peu évalués. La complexité de telles études réside pour partie sur la durée des simulations à entreprendre.

La baie de Vilaine est très sensible aux *efflorescences phytoplanctoniques de Dinophysis sp.*, qui provoquent des intoxications diarrhéiques chez l'homme. Les travaux concernant le déterminisme de ses occurrences constituent une des priorités sur ce secteur en raison des incidences sanitaires et économiques. Seul un modèle fin de circulation tridimensionnelle couplé avec les données météorologiques devrait permettre de comprendre les mécanismes de transfert large-côte puis la résidence du *Dinophysis* dans les eaux côtières.

Le projet d'installation d'une bouée **MAREL** permettant le suivi automatisé des paramètres hydrologiques (chlorophylle, oxygène dissous, sels nutritifs, turbidité), ainsi que des mesures d'ordre météorologiques (vent, température) et hydrodynamiques (courants, houle), apporterait une aide considérable à la réalisation de ces études.

Outils : Réseau de surveillance de la qualité des eaux de baignade, réseau de surveillance de la qualité bactériologique des gisements naturels de coquillages, REMI, RNO, RNB, REPHY, SEQ, Télédétection, Modélisation, Météorologie, AUV, MAREL, SAGE Vilaine.

Les peuplements halieutiques de la baie de Vilaine

L'abondance annuelle des juvéniles de soles est corrélée à la quantité d'eau douce qui parvient dans l'estuaire au cours de la période qui précède l'arrivée des larves à la côte. L'étude de leur répartition spatiale a montré que plus le début d'année était pluvieux (débits fluviaux plus forts) et plus la zone de nourricerie s'étendait vers le large.

L'influence des apports fluviaux apparaît donc déterminante dans le déterminisme du **recrutement** de la sole (Le Pape *et al.*, accepté ; Le Pape *et al.*, soumis). Les recherches pourraient être étendues à d'autres espèces démersales, afin d'apprécier l'ampleur des variations climatologiques sur les fluctuations des populations.

Le barrage d'Arzal constitue un *obstacle aux poissons migrateurs* et a causé des dégradations de la fonction nourricière de l'estuaire. Il bloque l'accès aux zones de pontes pour les espèces se reproduisant en rivière, et l'accès à des zones de croissance pour d'autres qui se reproduisent en mer. D'autres retenues sont présentes en amont.

Les espèces à restaurer sont principalement les salmonidés, l'anguille, la lamproie et l'alose ; elles sont de haute valeur économique (SAGE Vilaine, 2001). Les actions de suivi et de restauration de la libre circulation déjà entreprises (passes à poissons) doivent être poursuivies et évaluées.

Outils : Campagnes en mer, Enquêtes de pêche, RHP, Station fixe halieutique...

Conflits d'usage

Ils sont déterminés par l'*usage de l'espace* et concernent les usagers habituellement cités : conchyliculteurs, pêcheurs, et plaisanciers. Des tensions sont aussi relevées entre les agriculteurs qui pratiquent le drainage et les paludiers du Mès. Un conflit a émergé entre la production d'eau potable et la navigation car l'écluse est responsable de l'intrusion saline dans le plan d'eau en amont du barrage (SAGE Vilaine, 2001). Une nouvelle écluse devrait être construite pour limiter les échanges.

La mise en place du **SAGE Vilaine** et la création d'un **comité estuaire** sont l'occasion de favoriser l'échange entre les différents acteurs et de concilier les divers usages anthropiques avec la protection des écosystèmes.

Outils : SAGE Vilaine, SIG, Inventaires et recensements...

Les écosystèmes conchyliques du Croisic et de Pen Bé

Les écosystèmes conchyliques du Croisic et de Pen Bé sont des secteurs importants pour l'économie de la région et sont soumis aux problèmes déjà cités préalablement (apport des bassins versants locaux, devenir des contaminants dans le milieu, qualité des eaux et des sédiments, envasement,...). Ils sont aussi confrontés à des problèmes récurrents sur le plan zootechnique (croissance, pathologies, mortalités) et font partie des zones qui ont été les plus touchées par la marée noire de l'Erika.

Une étude coordonnée par le laboratoire DEL/Nantes est actuellement en cours et vise à mieux comprendre le fonctionnement environnemental des traicts du Croisic et de Pen Bé, tout en développant des outils opérationnels. Les autres partenaires du programme sont le laboratoire conchylique des Pays de la Loire, le Service Applications Opérationnelles (Ifremer) et le laboratoire Géolittomer (Université de Nantes). Une collaboration est souhaitée avec le SICAPG et le laboratoire Pen-Avel.

A moyen terme, l'objectif du projet est de dépasser le strict cadre de ces deux secteurs, et d'appliquer la **méthodologie** mise au point aux autres zones conchyliques de la baie de Vilaine en prenant en compte leurs problèmes spécifiques.

Outils : Modélisation courantologique, SIG, LIDAR, Programmes apports, Natura 2000.

Dragages des fleuves et exploitation des matériaux marins dans le secteur Loire Vilaine



Sources : SHOM - Bd Carto de l'IGN (Edition 3 - 1998).



Figure 3: Opérations de dragages dans les fleuves Loire et Vilaine et extractions marines.

II.2.4. L'estuaire externe de la Loire

Qualité des eaux

La qualité des eaux de l'estuaire externe de la Loire et du littoral proche est conditionnée par l'amplitude des *débits de la Loire*. En période de crue, l'impact des rejets ligériens est considérable. Les apports en germes tests posent des problèmes pour la baignade et la salubrité des coquillages (AELB, 1995). Les toxiques chimiques sont également responsables de la dégradation de la qualité des milieux côtiers.

Une quantification des apports est indispensable lors des périodes d'étiage comme de crues. Les flux hydriques de la Loire représentent en effet plus de **40 %** des apports d'eau douce du Golfe de Gascogne. Avec un débit moyen de **900 m³/s**, la Loire écoule à l'océan **25 milliards de mètres cubes** d'eau douce par an (Mauvais et Goarnisson, 1999).

Des modèles de transport de polluants permettraient de mieux gérer cet espace sensible. La distribution des contaminants dans le sédiment de l'estuaire externe serait intéressante à étudier pour estimer l'amplitude de la pollution. La question de la mise en place d'analyseurs chimiques automatisés pour la mesure *in situ* se pose dans ce contexte particulier.

Une évaluation des effets sur les ressources vivantes (exploitées ou pas) pourrait être menée. Le développement de biomarqueurs, conçus en tant qu'outils d'évaluation des effets des polluants sur les organismes marins, doit être poursuivi. Ces outils seraient adaptés à une **stratégie de dépistage d'impact chimique**.

Outils : Réseau de surveillance de la qualité des eaux de baignade, réseau de surveillance de la qualité bactériologique des gisements naturels de coquillages, REMI, RNO, RNB, SEQ, Modélisation, Biomarqueur, Cellule de mesures et de bilan Loire Estuaire, SAGE Loire.

Eutrophisation

Dans l'estuaire de la Loire, des **déficits élevés en oxygène dissous** qui font penser à la manifestation d'un phénomène d'eutrophisation sont fréquemment observés (Mènesguen *et al.*, 2001). Dans le panache de dilution du fleuve, le confinement en surface d'une couche dessalée et riche en nutriments, contribue en effet à favoriser les efflorescences de phytoplancton. Toutefois, le développement est contrebalancé par la turbidité.

Les recherches concernant la compréhension et la prévision de ces manifestations fréquentes (hypoxies, phénomènes d'**eaux colorées**...) doivent être poursuivies.

Outils : REPHY, Télédétection, Modélisation biologique, MAREL, RNB, SEQ...

Les extractions marines

Deux sites sont exploités dans le secteur Loire (figure 3) : le Pilier (quota de 3,4 millions de tonnes par an) et les Charpentiers (quota de 2,5 millions de tonnes par an). L'autorisation a été donnée par le préfet, et un suivi est en place actuellement. Les conséquences des extractions marines sur la **stabilité du littoral** et la **biodiversité** constituent toutefois une priorité.

Outils : Campagnes sédimentologiques, LIDAR, Modélisation sédimentaire, SIG.

Transports sédimentaires

Une meilleure perception des transports sédimentaires dans le chenal de la Loire et à son embouchure paraît indispensable. Elle permettrait de comprendre *l'évolution du bouchon vaseux* et de mieux définir son rôle sur la qualité de l'eau estuarienne et les dysfonctionnements engendrés (anoxies par exemple ; Migniot et Le Hir, 1997). Un modèle de transport hydrosédimentaire pourrait être mis en place, afin de simuler le déplacement du bouchon vaseux et de comprendre les mécanismes de transports liquide et solide qui conditionnent la qualité de l'eau estuarienne et marine.

Outils : LIDAR, Modélisation hydrosédimentaire, Télédétection, RNO.

Les dragages d'entretien du chenal de la Loire

Les opérations de dragage (figure 3) sont quasiment quotidiennes dans le chenal de la Loire et les volumes ont subi un fort accroissement depuis 1993 pour atteindre aujourd'hui une moyenne annuelle de **10 millions de m³** (SOGREAH et In Vivo Environnement, 2002). L'impact des dragages sur la dynamique des fleuves et les peuplements dulcicoles pourrait être précisé.

Les rejets de dragage *déposés au sud du plateau de la Lambarde* doivent être étudiés, dans la mesure où les vases créent des risques de contamination chimique et biologique du milieu et des ressources vivantes. En Loire, les sédiments ne sont pas trop contaminés, et c'est plutôt en terme de dynamique sédimentaire que se pose le problème. Le devenir des rejets est inconnu, il pourrait être recherché en élaborant différents scénarios fonction de l'hydrodynamisme.

Ce sont surtout les sédiments fins qui sont exportés : l'étude réalisée par la SOGREAH montre que 85 % des vases clapées sur La Lambarde ne restent pas en place (Oger-Jeanneret, comm. pers.). Les relations avec l'envasement de la baie de Bourgneuf n'ont pas été démontrées, mais les volumes en jeu méritent que la question soit posée.

Outils : Modélisation hydrosédimentaire, RNO, REPOM, Photographies aériennes.

Biodiversité des peuplements halieutiques

Les études relèvent l'importance de la pêche des poissons migrateurs dans l'estuaire de la Loire. La fragilité de cette activité est exprimée dans la *variabilité des captures*. Elle réside surtout dans l'importance que revêt l'exploitation de l'anguille dont l'évolution en terme de captures devient préoccupante (Guérault *et al.*, 1994). Cette évolution est susceptible de remettre en cause la rentabilité de la pêche estuarienne car la **civelle** constitue une séquence indispensable du calendrier annuel.

L'extension du Port Autonome de Nantes Saint Nazaire est à l'heure actuelle au centre des débats puisqu'il prévoit la destruction de zones humides d'un grand intérêt écologique. En cas de réalisation du projet, des mesures compensatoires doivent être prises pour préserver l'environnement. D'autant plus que les espèces de poissons en jeu, ayant une écophase estuarienne, sont capitales pour l'activité de pêche professionnelle et l'économie de certains ports de pêche.

Outils : Campagnes halieutiques, enquêtes de pêche, SAGE.

II.2.5. La baie de Bourgneuf

Envasement de la Baie

Le phénomène d'envasement est inquiétant en baie de Bourgneuf. Lors d'études sédimentaires réalisées dans le cadre du SMVM, il est indiqué que certains secteurs ont vu une sédimentation croissant de **30 à 80 cm** environ en 100 ans. L'étude menée par Grossel *et al.* (2001) atteste de la complexité des processus sédimentaires. Elle ne permet pas de distinguer la responsabilité relative des transferts de sédiments déjà présents en baie, de ceux issus de la Loire, ou d'une quelconque opération de dragage local (Saint Nazaire, Pornic...). L'influence respective du vent et des coefficients de marée a été mise en évidence.

Les recherches n'ont pas permis de porter un regard généralisable du phénomène à l'ensemble de la baie. *Le déterminisme de l'envasement* reste donc méconnu à l'heure actuelle. Les moyens de lutte doivent faire l'objet d'études particulières. La demande porte d'abord sur les outils de prévision, afin de mettre en œuvre des moyens d'action efficaces. L'acquisition d'une bathymétrie fine a été inscrite dans le cahier d'objectif Natura 2000.

Outils : Modélisation hydro-sédimentaire, Photographies aériennes, LIDAR, Altimètres...

Capacité trophique du bassin

Les performances d'élevage des huîtres en baie de Bourgneuf sont médiocres. Les *faibles productivités* observées sont en partie dues à la **turbidité** : en présence d'une forte charge particulaire, il y a activation de la fonction de tri, consommatrice d'énergie chez l'huître creuse (Haure et Baud, 1995). Les biomasses pourraient être trop élevées (estimations de 1988 : 46 343 T pour les huîtres, 6 000 T pour les moules ; Baud *et al.*, 1990). La tendance récente est à la diminution des taux de croissance et d'engraissement (Martin, comm. pers.).

L'accroissement des stocks de crépidules et d'huîtres est responsable d'une augmentation de la turbidité (pseudofécès) et de la compétition trophique. Un *modèle de capacité trophique de la baie* pourrait voir le jour pour améliorer la gestion de ce milieu de production. Il serait bon aussi de nettoyer les concessions à l'abandon, qui favorisent le captage de naissain naturel d'huîtres ainsi que la prolifération des espèces prédatrices telles que le bigorneau perceur.

Outils : REMORA, MOREST, REPAMO, REPHY, Télédétection (phytobenthos-phytoplancton), Modélisation de la capacité trophique, Recensement conchylicole.

Phytobenthos

Les études portant sur le phytobenthos sont quasiment inexistantes. Il joue pourtant un rôle essentiel pour la nutrition des bivalves élevés. Des recherches débutent en baie de Bourgneuf où les vasières sont très étendues. Les interrogations portent en particulier sur la contribution du microphytobenthos à la **capacité trophique des baies**. L'identification de l'importance de ces peuplements benthiques sur la production conchylicole, sur les poissons herbivores, les oiseaux... doit préalablement être établie. Les travaux permettront de localiser les peuplements, de quantifier la biomasse et d'identifier les principales classes de microphytobenthos.

Outil : Télédétection aéroportée.

II.2.6. Le secteur intermédiaire

Evolution des panaches fluviaux

Les panaches de dilution des fleuves Loire et Vilaine possèdent une *variabilité saisonnière et interannuelle* considérable (Puillat *et al.*, 2001). Le secteur intermédiaire est perpétuellement soumis aux apports fluviaux et se distingue des zones côtières par son influence océanique. Un zoom pourrait être effectué dans cette zone pour permettre un suivi (télédétection satellitaire) et la restitution (modélisation) des structures des panaches des fleuves, ainsi que des fronts saisonniers (halins surtout mais aussi thermiques) qui en résultent.

Outils : Modélisation hydrodynamique, Télédétection, ROSLIT, AUV.

Le fonctionnement des « structures de rétention »

Le secteur intermédiaire pourrait représenter le lieu de **formation** de structures de rétention, du fait de sa position privilégiée entre la côte et l'océan. Ces « bulles d'eaux dessalées » s'échappent des eaux fluviales, lors d'un brusque changement de direction des vents. Leur formation survient donc principalement au printemps. Elles ne se mélangent pas avec l'eau de mer, du fait de la faiblesse des courants de marée (Lazure, comm. pers.).

Les mécanismes physiques qui induisent de telles structures doivent être clairement identifiés. Leurs occurrences d'apparition, ainsi que leur variabilité annuelle et interannuelle nécessitent d'être complétées (en parallèle avec l'évolution des panaches de la Loire et de la Vilaine). Ces lentilles dessalées sont ensuite exportées vers le large ou la côte.

Outils : Modélisation hydrodynamique, Télédétection.

Rôle de l'hydrodynamisme sur la productivité biologique

Le secteur intermédiaire abrite des structures à méso-échelle (fronts, structures de rétention). *L'impact des structures temporaires* sur le fonctionnement de l'écosystème Loire Vilaine est important à déterminer, en utilisant les acquis du **Chantier golfe de Gascogne**. En effet, elles sont propices au développement biologique et influent aussi sur le devenir des larves.

L'observation de concentration des navires de pêche dans cette zone a été effectuée à partir de six années de survols exploitables entre 1989 et 1994 (Léauté, 1995). La **productivité biologique** de cette zone est confirmée par la répartition des flottilles (figure 4).

Les chalutiers pélagiques ne sont pas représentés du fait d'une activité plus importante de ces bateaux au cours de la nuit, alors que les survols avaient lieu principalement en matinée.



Figure 4 : Distribution annuelle des chalutiers de fond (en bleu) et des fileyeurs (en vert). Sources : Léauté, 1995.

Outils : Modélisation climatologique, Modélisation hydrodynamique, campagnes océanographiques, campagnes aériennes, Télédétection.

II.2.7. Le secteur du large

Le renforcement du suivi hydrologique et hydrodynamique

Les réseaux de surveillance concernent essentiellement le littoral ; leur emprise ne s'étend pas au secteur du large. Les phénomènes hydrologiques sont étudiés seulement à partir des campagnes océanographiques. Elles ne permettent pas d'analyser la *forte variabilité* des processus observés. Il serait donc intéressant de mettre en œuvre des *systèmes autonomes d'observations et de mesures*, assurant la **continuité spatiale et temporelle** (véhicule submersible AUV par exemple). Les paramètres de suivis doivent être simples et utiles à plusieurs disciplines. La surveillance nécessite d'être effectuée sur du *long terme*.

La connaissance des conditions **courantologiques** doit également être améliorée. En effet, elles constituent les *conditions aux limites ouvertes* du modèle hydrodynamique appliqué à la circulation dans le secteur Quiberon - Noirmoutier. Les mesures de vitesse et de niveaux ne sont pas en assez grand nombre sur les limites de ce secteur, les conditions sont donc calculées à partir d'un modèle de plus grande emprise (Lazure et Salomon, 1991).

La connaissance des structures physiques temporaires doit aussi être poursuivie (upwelling, fronts...). Il est nécessaire de caractériser les lentilles d'eau dessalées. Pour cela, il faut recueillir des informations sur leur taille, leur forme, leur évolution, leur durée de vie et leur extension verticale dans l'océan du large. Les caractéristiques de la zone frontière située entre le secteur intermédiaire et le domaine du large nécessitent d'être approfondies, notamment du point de vue des processus qui gouvernent les échanges entre ces deux zones.

Outils : AUV, ROSLIT, Télédétection, Modélisation hydrodynamique, Télédétection, Campagnes océanographiques.

*Le déterminisme des occurrences de *Dinophysis**

L'hypothèse de proliférations et/ou de maintien au large du *Dinophysis*, avant que les côtes ne soient touchées, a été développée par Delmas *et al.* (1993). L'apparition d'une **stratification** stable dans la colonne d'eau, qui se produirait au large avant d'être rencontrée sur la côte, serait à l'origine de ce développement précoce. La répartition de *Dinophysis sp.* correspond clairement aux panaches de dilution des 4 grands fleuves français (Ménésien *et al.*, 2001).

Or, la zone du large étudiée est favorable à l'installation d'une stratification précoce et marquée (Salomon et Lazure, 1988). Des travaux doivent être menés pour améliorer la compréhension des conditions nécessaires à sa prolifération. Les lentilles d'eau dessalées pourraient également avoir une influence sur les floraisons de *Dinophysis* et leur transfert vers la côte (« jets côtiers »). Cette possibilité mériterait d'être envisagée.

Le cycle biologique et les facteurs du milieu nécessaires à la croissance du *Dinophysis* comportent encore beaucoup de lacunes, essentiellement en raison de l'impossibilité actuelle de le cultiver en laboratoire. L'enjeu majeur réside dans la prédiction de ses apparitions. Il est également à relever la faiblesse des connaissances de **l'effet à long terme** des phycotoxines marines sur la santé humaine.

Outils : Télédétection, Modélisation, Campagnes océanographiques, REPHY...

II.3. PROBLEMATIQUES TOUCHANT L'ENSEMBLE DU SECTEUR COTIER LOIRE VILAINE

Sur le secteur Loire Vilaine, certaines problématiques sont communes à l'ensemble des zones décrites précédemment. Elles concernent la connaissance de la biodiversité, la surveillance du milieu et les activités humaines.

II.3.1. L'étude des peuplements marins

Dynamique du zooplancton

Les connaissances concernant le zooplancton sur le secteur Loire Vilaine sont quasiment inexistantes, comme pour l'ensemble du golfe de Gascogne. Il n'y a que quelques stations sur le littoral français qui réalisent des suivis de populations (SOMLIT). Actuellement, les résultats de campagnes réalisées en 2000 et 2001 sont en cours d'analyse.

La nutrition des petits pélagiques est basée essentiellement sur les populations de copépodes, brouteurs de phytoplancton et de matériel détritique. La situation est paradoxale, puisque le golfe Nord-Gascogne constitue une pêcherie très importante. *L'étude des populations zooplanctoniques permettrait d'éclairer les phénomènes de recrutement, les aléas de production...*

Il serait nécessaire pour cela de réaliser un véritable **suivi temporel** en relation avec le suivi de la production primaire. L'imagerie satellitaire pourrait être une base utile pour démarrer le travail. Il apparaît dès lors indispensable de couvrir le secteur côtier Loire Vilaine, du fait de sa forte productivité.

Outils : Campagnes océanographiques (exemple : MODYCOT), Télédétection.

Les ressources pélagiques

L'étude des pélagiques concerne le plateau continental Nord Gascogne, de la rupture de pente jusqu'à 40 m de profondeur environ. *Il faut noter la quasi-absence d'échantillonnages en zone réellement côtière* (Massé, comm. pers.). Une étude dans la zone Loire Vilaine pourrait donc apporter des informations importantes sur l'écologie de ces espèces.

Les poissons pélagiques structurent leur cycle de vie dans l'espace en relation avec les structures physiques à méso-échelle. Littaye Mariette (1990) a pu vérifier ce constat en étudiant les relations entre les fluctuations météorologiques et l'abondance des captures de germons et de sardines en Atlantique : « Une variation météorologique va induire des réponses en chaîne de toutes les composantes de l'écosystème : fluctuation du milieu physique mais changement de chaque maillon de la chaîne de production jusqu'au poisson ».

Le rôle de ces fluctuations de l'environnement physique et biologique sur la variabilité des populations exploitées est mal connu. Il est nécessaire de connaître au mieux les processus hydrologiques structurant les populations pélagiques. Ce programme constitue un des axes de recherche du **PNEC** et du **Défi Golfe de Gascogne**, il doit cependant être étendu à la zone côtière.

Outils : Télédétection, Modélisation, Campagnes océanographiques (PELGAS).

Les biocénoses benthiques

L'ensemble du secteur Loire Vilaine a été couvert par les travaux de Glémarec (1969). Depuis, le compartiment benthique a eu tendance à être oublié, alors que ses peuplements constituent un *témoin permanent de l'environnement*. Il serait intéressant de réaliser une étude sur l'ensemble de la bande côtière Quiberon-Noirmoutier, afin d'identifier les changements ayant eu lieu au sein des biocénoses au cours des trente dernières années, voire de réaliser un premier état des lieux lorsque aucun bilan n'a été effectué.

Le programme HANOUR prévoit déjà la prospection benthique des nourriceries littorales. Il serait donc bon de compléter les observations avec les secteurs non prévus dans le cadre de ce projet. Des hypothèses au sujet des variations observées au sein des peuplements pourraient ensuite être formulées, elles apporteraient des éléments nouveaux à la compréhension du fonctionnement de l'écosystème.

Outils : REBENT, Campagnes océanographiques, Télédétection aéroportée.

Les nourriceries côtières

La majeure partie des travaux au sujet des nourriceries concernent la sole en estuaire de Vilaine. Une cartographie des nourriceries littorales (golfe du Morbihan, baie de Vilaine, estuaire Loire et baie de Bourgneuf) a été réalisée sur le secteur Quiberon-Noirmoutier (Guérault *et al.*, 1997).

Celle-ci devrait faire l'objet d'une *réactualisation régulière*, afin de déterminer l'évolution du peuplement halieutique, et de distinguer d'éventuelles **perturbations** des hydrosystèmes.

Outils : Campagnes océanographiques, SIG, Station fixe halieutique.

Une richesse ornithologique de première importance

Le secteur côtier Loire Vilaine est l'une des zones ornithologiques les plus **riches** du golfe de Gascogne (oiseaux marins reproducteurs, estivants et migrateurs) (Hemery, comm. pers.).

La figure 5 montre la répartition des Plongeurs dans le Nord Gascogne.

Elle illustre l'influence du panache des deux fleuves sur la distribution de cette espèce d'oiseau. La productivité de l'écosystème marin explique la diversité ornithologique observée.

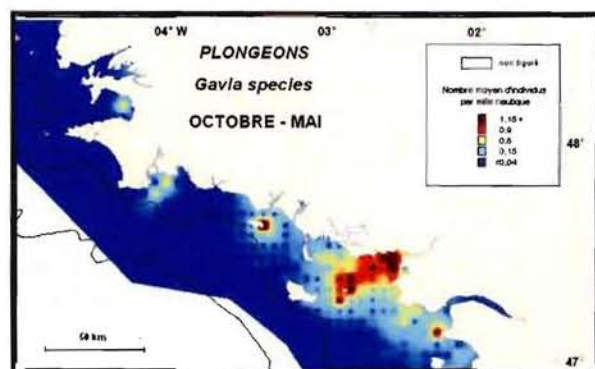


Figure 5 : Distribution spatio-temporelle des **Plongeurs** dans le Nord Gascogne (sources : comm. pers. Muséum National d'Histoire Naturelle – Biarritz. Extrait de : Castege *et al.*, 2003, *in prep.*).

L'identification des lieux les plus empruntés par les oiseaux permettra de définir les secteurs prioritaires au point de vue de la gestion et de la protection de ces espèces.

Outils : Photographies, Campagnes de comptage, Campagnes de marquage, SIG...

II.3.2. Le renforcement de la surveillance du milieu marin

Le besoin d'un suivi de mesures temporel

Si les principaux processus physiques et les structures hydrologiques associées sont identifiés sur le plateau atlantique, *leur variabilité spatiale et temporelle reste encore largement méconnue*, notamment en secteur côtier.

Les réseaux de surveillance et les campagnes en mer ne permettent pas d'apprécier la variabilité haute fréquence des structures hydrologiques. De plus, l'échantillonnage spatial n'est généralement pas assez précis et donc ne permet pas d'identifier les structures de petite taille (de l'ordre de la dizaine de km ou moins).

Il n'existe pas actuellement de suivi temporel de la structure en densité des masses d'eau, qui compléterait l'interprétation des mesures à caractère biochimique ou biologique. De plus, les études ont souvent été réalisées **aux limites du Mor Bras** pour le plateau continental (*programme Grand Défi Golfe de Gascogne*) mais très peu au sein de la zone Loire Vilaine.

Le domaine côtier étudié est caractérisé par sa **variabilité spatiale et temporelle due aux nombreux échanges avec les systèmes proches** (continent, atmosphère et sédiment). Il faut saisir cette variabilité à haute fréquence et à caractère aléatoire qui est à l'origine de la diversité observée.

Outils : ROSLIT, AUV, Télédétection, Modélisation.

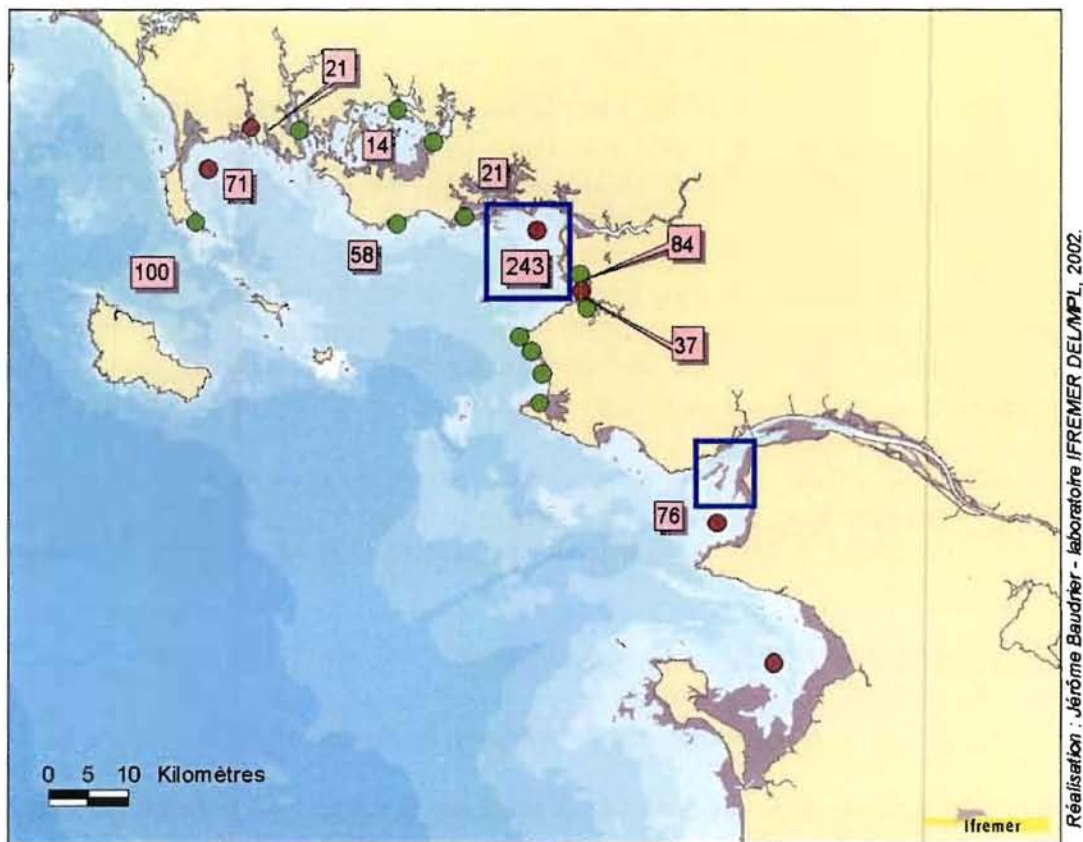
L'hydroclimat et la productivité de l'écosystème

En mer, les variations engendrées par le climat sont répercutées sur le potentiel de production biologique par les structures hydrodynamiques. Les caractéristiques et les variations de ces structures constituent **l'hydroclimat**. Il a un rôle fondamental dans les processus écologiques observés au sein de l'écosystème marin, en particulier pour le phytoplancton, le zooplancton et les larves de poissons.

Des recherches sont en cours dans le cadre du *Défi Golfe de Gascogne* piloté par l'Ifremer. Cependant, celui-ci ne s'intéresse pas ou peu au domaine côtier du plateau continental Nord Gascogne. Le projet mérite donc d'être étendu au secteur Loire Vilaine. Les relations entre les fluctuations météorologiques et la productivité de l'écosystème Loire Vilaine pourraient ainsi être mieux appréhendées.

L'objectif serait dans un premier temps de réaliser des simulations selon différents scénarios afin de déterminer l'influence des types de temps sur les structures physiques, et la circulation dans la bande côtière. Puis la variabilité interannuelle et l'évolution de l'hydroclimat du secteur Loire Vilaine pourrait être déterminées.

Outils : Modélisation climatologique, Modélisation hydrodynamique, Télédétection, RNO, REPHY, Campagnes océanographiques (exemple : GASPROD).











- | | |
|---|---|
|  Trait de côte |  Anoxies récurrentes |
|  Domaine maritime |  Prolifération de <i>Gymnodinium</i> sp ayant provoqué des mortalités d'animaux marins depuis 1992 |
|  Estran |  Sites à marées vertes |
|  Domaine terrestre |  Nombre de jours de fermeture pour DSP sur la période 1984 - 1995 |

Figure 6 : Manifestation du phénomène d'eutrophisation (Phycotoxines et Anoxies) sur le secteur Loire Vilaine.

Observatoire de l'eutrophisation et des toxines phytoplanctoniques

Nous avons considéré lors des manifestations de l'eutrophisation les développements d'algues et les fermetures liées aux toxines DSP (figure 6). Une tendance à l'augmentation du phénomène a été remarquée au cours des dernières décennies. Un observatoire spécifique pourrait être créé afin de réaliser le suivi de la qualité des eaux côtières. Il serait nécessaire afin de disposer d'un *outil de diagnostic spécifique au secteur Loire Vilaine* (et ses dysfonctionnements) et permettrait de fédérer l'ensemble des réseaux existants sur le territoire d'étude, dans le cadre notamment de la **Directive Cadre Eau** (DCE).

Outre son rôle d'observation, il aurait une fonction d'information vis à vis des structures locales de gestion et apporterait ainsi une aide à l'élaboration de programmes d'action pour la reconquête de la qualité de l'eau (optimisation des points de rejets, réduction des apports...). Plus qu'un ultime réseau de surveillance, il serait plutôt chargé de l'harmonisation des réseaux existants. La coordination des outils et des données constitue une nécessité. Il pourrait également être un moyen d'améliorer la concertation et la communication entre gestionnaires, scientifiques et professionnels.

Il aurait la charge de l'établissement d'indicateurs précis d'eutrophisation. Par exemple, les teneurs en chlorophylle sont souvent évoqués pour évaluer l'enrichissement des milieux littoraux. De grandes différences apparaissent dans les valeurs proposées suivant que sont prises en compte soit les concentrations maximales, soit les concentrations moyennes durant la période productive (Ménèsquen *et al.*, 2001). La figure 7 présente les teneurs observées en baie de Vilaine (Ouest Loscolo) et en baie de Quiberon (Men er Roué).

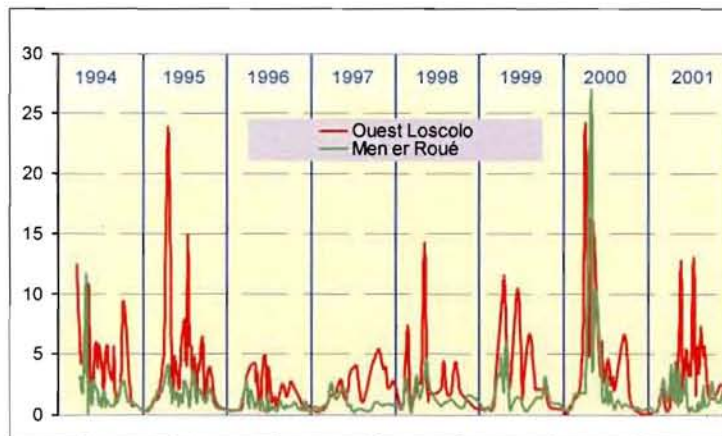


Figure 7 : Concentrations en chlorophylle en baie de Vilaine et en baie de Quiberon. Sources : REPHY.

Les valeurs seuils définies par Bricker *et al.* (1999) se basent sur les **concentrations maximales** en chlorophylle *a* : eutrophisation faible : < 5 µg/L ; eutrophisation moyenne : 5-20 µg/L ; eutrophisation élevée : 20-60 µg/L ; hyper-eutrophisation : > 60 µg/L. Selon cette classification, la baie de Quiberon est faiblement eutrophisée tandis que la baie de Vilaine l'est moyennement. Des indices plus précis pourraient être élaborés, ils ne doivent pas tenir compte uniquement des valeurs chlorophylliennes ou des concentrations en nutriments.

La prévision de l'évolution de l'état d'eutrophisation d'un milieu pourrait dorénavant s'appuyer sur des modèles numériques de cycles biogéochimiques.

Outils : Réseaux de surveillance, MAREL, Télédétection, Modélisation...

II.3.3. Les activités humaines

La pêche professionnelle

L'étendue des problèmes est très vaste et diffère selon le secteur choisi, la flottille étudiée... Les problèmes généraux sont cependant récurrents et de trois ordres principalement :

- problèmes causés par la *réduction des stocks halieutiques* ;
- problèmes causés par les *conflits d'usage* ;
- problèmes engendrés par la *dégradation de la qualité de l'eau et des dysfonctionnements constatés au sein des écosystèmes marins*.

A cela, il faut ajouter en ce moment les difficultés liées à la réforme de la Politique Commune des Pêches (PCP), ainsi que les manques d'effectifs de marins pêcheurs enregistrés.

Le diagnostic des espèces à quotas est réalisé chaque année pour l'élaboration des TAC et quotas dans le golfe de Gascogne. Cependant, ces espèces sont concernées par la pêche au large.

La majorité de la zone Loire Vilaine se situe dans la bande côtière (zone des 12 milles) : les études qui font l'objet d'un suivi ne portent principalement que sur les gisements classés. Sinon, des recherches ponctuelles évaluent l'état d'un stock afin de conseiller les professionnels sur les mesures de gestion à mettre en place.

Les acquisitions scientifiques à développer portent sur la connaissance des ressources côtières. Une appréciation fine de l'état des stocks, ainsi que de leur fonctionnement, permettrait de gérer plus efficacement la ressource. Cependant, les scientifiques et les professionnels présentent très souvent des avis opposés en matière d'évaluation des stocks, et le manque de communication est un véritable problème.

En matière d'environnement, les effets de la dégradation de la qualité de l'eau sur la reproduction des espèces, et sur leur survie, devraient faire l'objet de recherches précises. Ces études pourraient avoir lieu, notamment sous l'angle d'incidence de la dégradation des eaux et des écosystèmes littoraux servant de nourriceries aux espèces adultes exploitées plus au large.

Les futurs projets nécessitent la prise en compte de l'ensemble des espèces de l'écosystème et non pas seulement les stocks commercialisés. En effet, la production des espèces commerciales dépend non seulement de la mortalité par pêche, mais aussi des fluctuations physiques du milieu (hydroclimat) et des autres espèces présentes (figure 8).

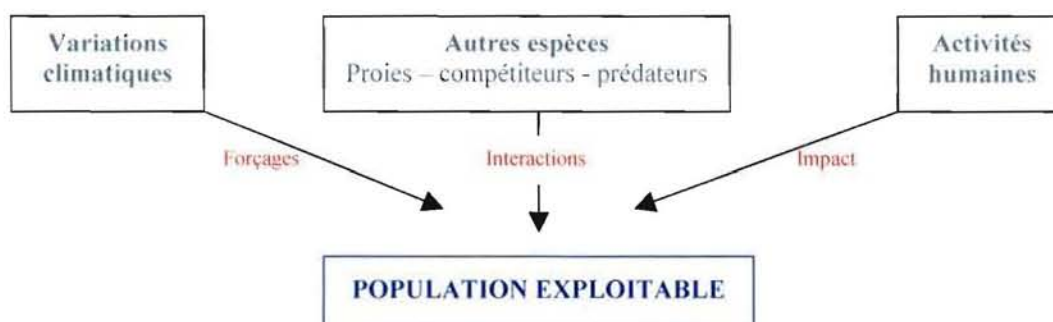
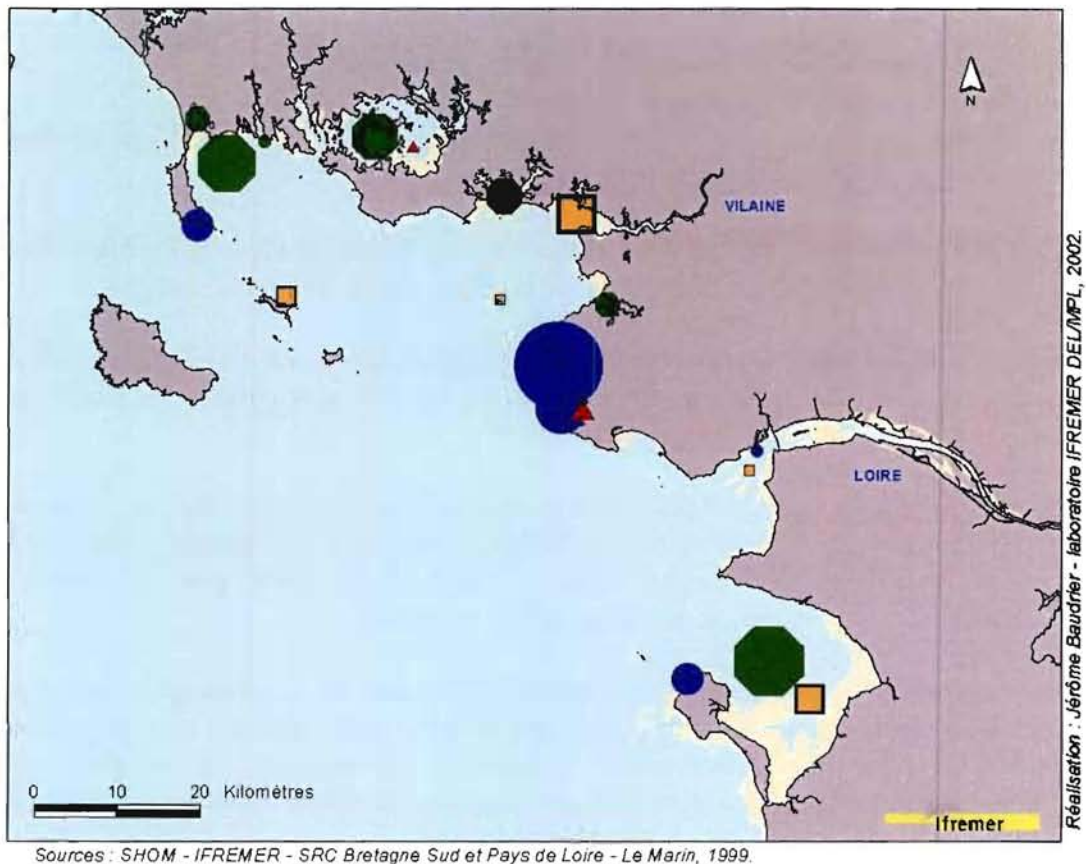
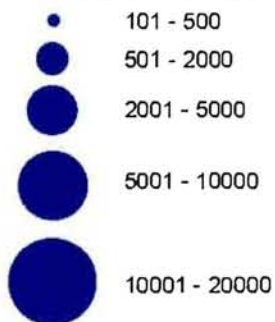


Figure 8 : Schéma présentant les interactions agissant sur les ressources halieutiques exploitées.

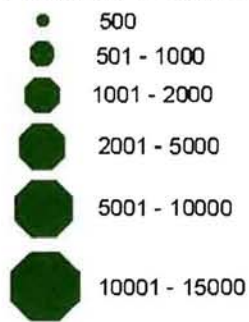
Les productions de pêche et de conchyliculture sur le secteur Loire Vilaine



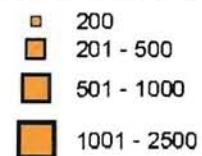
Pêche : tonnages débarqués



Production d'huîtres (tonnes)



Production de moules (tonnes)



Autres coquillages (tonnes)

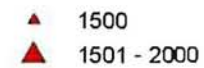


Figure 9 : La pêche et la conchyliculture sur la zone côtière Loire Vilaine.

Sur le secteur Loire Vilaine, une augmentation du nombre d'espèces à surveiller doit être effectuée ou centrée sur les espèces « sentinelles » représentatives. La fréquence temporelle et la précision spatiale des observations doit également être accrue.

Outils : Campagnes océanographiques, Enquêtes de pêche, Station fixe halieutique, Modèles de dynamique des populations...

La conchyliculture

La figure 9 représente l'importance des activités de pêche et de conchyliculture sur le secteur côtier Loire Vilaine. Les problèmes rencontrés par les professionnels au nord de la Loire sont de deux ordres principalement. D'une part, ils sont dus à *l'évolution du faciès sédimentaire* dans la zone littorale ; d'autre part, à la *prolifération de certaines espèces de microalgues toxiques*, et dans une moindre mesure, des *algues vertes*.

En baie de Bourgneuf, ils sont liés à *l'envasement* et aux gênes causées par les *mauvaises performances de croissance des mollusques*. Il faut ajouter à cela sur l'ensemble du secteur Loire Vilaine les phénomènes de *mortalité estivale*.

Des difficultés grandissantes sont apparues lors de ces vingt dernières années. Elles sont liées à l'essor de l'attractivité du littoral qui pose des problèmes de **concurrence et de compétition pour l'espace**.

Il est donc nécessaire d'améliorer l'utilisation de bases de données qui permettront d'évaluer l'évolution à moyen terme de l'occupation du domaine public maritime. L'emploi des photographies aériennes et leur archivage dans des SIG couplés aux bases de données existantes, doit contribuer à la gestion des conflits d'usage.

Les décisions d'octroi de concessions de cultures marines doivent également s'appuyer sur la connaissance du degré de saturation de la capacité trophique des bassins de production et sur les besoins des autres usagers. Une modélisation de la production primaire sur chacun des bassins conchylicoles serait nécessaire.

Outils : Recensement conchylicole, SIG, Modélisation, REMORA, MOREST.

II.4. LES OUTILS NECESSAIRES A LA COMPREHENSION ET A LA GESTION DE L'ECOSYSTEME

Les **outils** susceptibles d'apporter une aide aux scientifiques, gestionnaires et usagers du secteur côtier allant de Quiberon à Noirmoutier sont abondants et très diversifiés. Les plus usités, ainsi que ceux offrant des perspectives intéressantes pour l'avenir, ont été décrits.

Pour faciliter leur discernement, ils sont classés en quatre catégories :

- les outils de gestion ;
- les outils de surveillance et de suivi ;
- les outils de compréhension et de prévision ;
- les procédures institutionnelles et juridiques.

II.4.1. Les outils de gestion

II.4.1.a. L'effort de pêche et son évaluation par les enquêtes

La prospection des **ressources halieutiques** nécessite un ensemble de données essentiellement de trois types : statistiques de pêche, échantillonnages biologiques des captures commerciales et observations en mer (<http://www.ifremer.fr/francais/program/progd3.htm>). Ces dernières sont décrites avec les outils de surveillance du milieu marin.

- Les Statistiques de pêche

Les informations collectées concernent la production (quantités et valeurs des produits débarqués), l'effort de pêche (moyens de capture mis en œuvre) et l'activité des flottilles (métiers pratiqués au cours du temps). Les navires de plus de 10 mètres rendent leur Log Book au CRTS, tandis que les bateaux de moins de 10 mètres confient le traitement de leurs fiches de pêche à l'Ifremer.

- L'échantillonnage des captures commerciales

Des données sur la structure démographique des débarquements des navires de pêche sont collectées selon une fréquence déterminée. Les classes de taille et d'âge des captures sont ensuite analysées.

II.4.1.b. Le recensement conchylicole

Les données actuelles proviennent de l'organisation interprofessionnelle de la conchyliculture et du Centre Administratif des Affaires Maritimes. Elles sont peu précises, tant à propos des surfaces exploitées que des tonnages produits. Un **recensement conchylicole** est en cours en 2002. Les résultats ne sont pas encore disponibles mais ils seront d'une grande utilité par la suite (aide à la gestion des bassins conchylicoles par exemple).

II.4.1.c. Les autres inventaires

Les études réalisées par l'INSEE, l'IGN, AGRESTE... apportent de précieux renseignements au sujet des activités humaines et de la population. Ils permettent entre autre de mesurer l'importance de la pression exercée par ces activités sur le littoral.

Les outils suivant sont classés en fonction de l'intensité du suivi temporel réalisé et selon leur usage. L'emprise spatiale est également analysée.

II.4.2. Les outils d'observation et de surveillance du milieu

II.4.2.a. Les campagnes océanographiques

Les missions au large des côtes effectuent des prélèvements sur des points non échantillonnés habituellement par les réseaux de surveillance. Elles présentent l'inconvénient de réaliser un **suivi uniquement spatial, et non temporel**. Les campagnes en mer donnent accès à de nombreuses informations :

- *Mesures hydrologiques* : température, salinité, turbidité, MES, chlorophylle, oxygène dissous, pH, sels nutritifs, contaminants, microbiologie, courantologie...
- *Campagnes sédimentologiques*. Les recherches s'effectuent à partir des campagnes de dragage, carottage, forage qui ont lieu pour rechercher les granulats et lors des campagnes quinquennales du RNO-sédiments. L'imagerie acoustique (sismique-réflexion) est utilisée de plus en plus. Les profils acoustiques très haute résolution permettent d'identifier les sédiments. Le sondeur multifaisceau et le sonar latéral sont employés à cet effet.
- *Campagnes de levés topographiques du SHOM*. Elles étudient les variations de la bathymétrie ; les données permettent d'actualiser les cartes marines puisque les fonds marins évoluent sans cesse mais la résolution reste voisine de 0,30 m.
- *Prospection des peuplements marins* : recensement des populations halieutiques, étude du phytoplancton, échantillonnage de copépodes, étude des peuplements benthiques (observations *in situ*, sonar latéral...). Le dénombrement et l'identification des espèces demande un travail laborieux au laboratoire et fait appel à des techniques très variées selon la nature des prélèvements.

II.4.2.b. Les campagnes aériennes

Comme les campagnes en mer, les missions aériennes effectuent un **suivi spatial mais le temporel est écarté des observations**.

- LIDAR

Le **LIDAR** est une technique de laser aéroportée, permettant une télémessure très précise de l'altitude d'un point au sol (résolution : 0,10 m). Elle permet entre autre de mesurer l'ampleur des phénomènes sédimentaires. Cet outil pourrait être très utile au suivi de *l'évolution du trait de côte et de l'envasement*. Les levés bathymétriques qu'elle réalise ne peuvent être effectués en bateau.

- Les photographies aériennes

Elles apportent de nombreux renseignements : évolution du trait de côte, occupation du sol, détermination des peuplements littoraux... Elles peuvent être intégrées à un **SIG** (orthophotographies numériques).

- Télédétection aéroportée

Les photographies peuvent être traitées par **télédétection**. L'analyse des images permet l'accès à des informations variées (faciès végétaux, peuplements benthiques,...).

II.4.2.c. Les réseaux de surveillance

Le **suivi temporel** des réseaux d'usage et patrimoniaux est de meilleure qualité que dans le cadre des campagnes d'observation. Le pas de temps entre les mesures varie généralement entre la semaine et le trimestre selon les réseaux.

Les réseaux d'usage

- Réseau de surveillance de la qualité des eaux de baignade
- Réseau de la qualité bactériologique des gisements naturels de pêche récréative
- Réseau Microbiologique – classement des zones de production de coquillages (REMI).

Ces trois réseaux sont chargés de la *surveillance de la qualité des zones de production conchylicoles, de pêche à pied et des plages*. Une amélioration de la surveillance des coquillages pourrait être envisagée en y recherchant les virus et en mettant au point de nouveaux **indicateurs** plus pertinents par rapport à l'évaluation du risque sanitaire que celui utilisé actuellement, à savoir *Escherichia coli*.

- REMORA (<http://www.ifremer.fr/envlit/surveillance/cheptelsconchy.htm>)

Ce réseau évalue chaque année la survie, la croissance et la qualité de deux lots d'huîtres creuses (juvéniles et 18 mois) répartis dans les principales régions ostréicoles françaises. Le tableau 1 résume les différences observées entre les sites du secteur Loire Vilaine. Un résultat moyen est proche de la valeur moyenne nationale calculée sur estran.

	Golfe du Morbihan	Baie de Quiberon	Pénerf	Pen Bé	Baie de Bourgneuf
Croissance	vert	bleu	vert	bleu	orange
Mortalité	orange	Hétérogène	orange	orange	orange
ICM (Remplissage)	vert	bleu	vert	bleu	orange
Infestation Polydora	orange	orange	bleu	bleu	orange

Tableau 1 : Résultats du REMORA sur le secteur Loire Vilaine (légende : orange → faible ; vert → moyen ; bleu → fort). Sources : Fleury, comm. pers. Synthèse pluriannuelle REMORA 1993-2001 en cours de publication.

Les mortalités ne tiennent pas compte des occurrences de phytoplancton toxique, comme ce fut le cas par exemple en 1995 avec *Gymnodinium*. Le réseau constitue ainsi un *indicateur de santé du milieu*. L'extension du REMORA à d'autres espèces élevées (moules par exemple) pourrait être réalisée. Cela apporterait plus de précisions aux résultats déjà observés avec l'huître creuse.

- REPAMO (<http://www.ifremer.fr/envlit/surveillance/cheptelsconchy.htm>)

Il est chargé de la *surveillance zoosanitaire des cheptels conchylicoles*, selon les directives européennes (91/67 et 95/70), dont l'objet est d'éviter le transfert d'agents infectieux entre différents secteurs de production. Cette législation comporte deux aspects : surveillance des agents pathogènes déjà détectés dans les eaux nationales comme *Marteilia* et *Bonamia* et vigilance vis-à-vis des autres parasites potentiels.

- REGEMO

Le REGEMO est axé aujourd'hui sur le *suivi des performances de souches* (triploïdes ou sélectionnées), mais il sera probablement élargi dans l'avenir au suivi des ressources génétiques au sein des populations naturelles ou en élevage (polyploïdie, aneuploïdie, variabilité...).

Surveillance du littoral Loire Vilaine par les réseaux de l'IFREMER

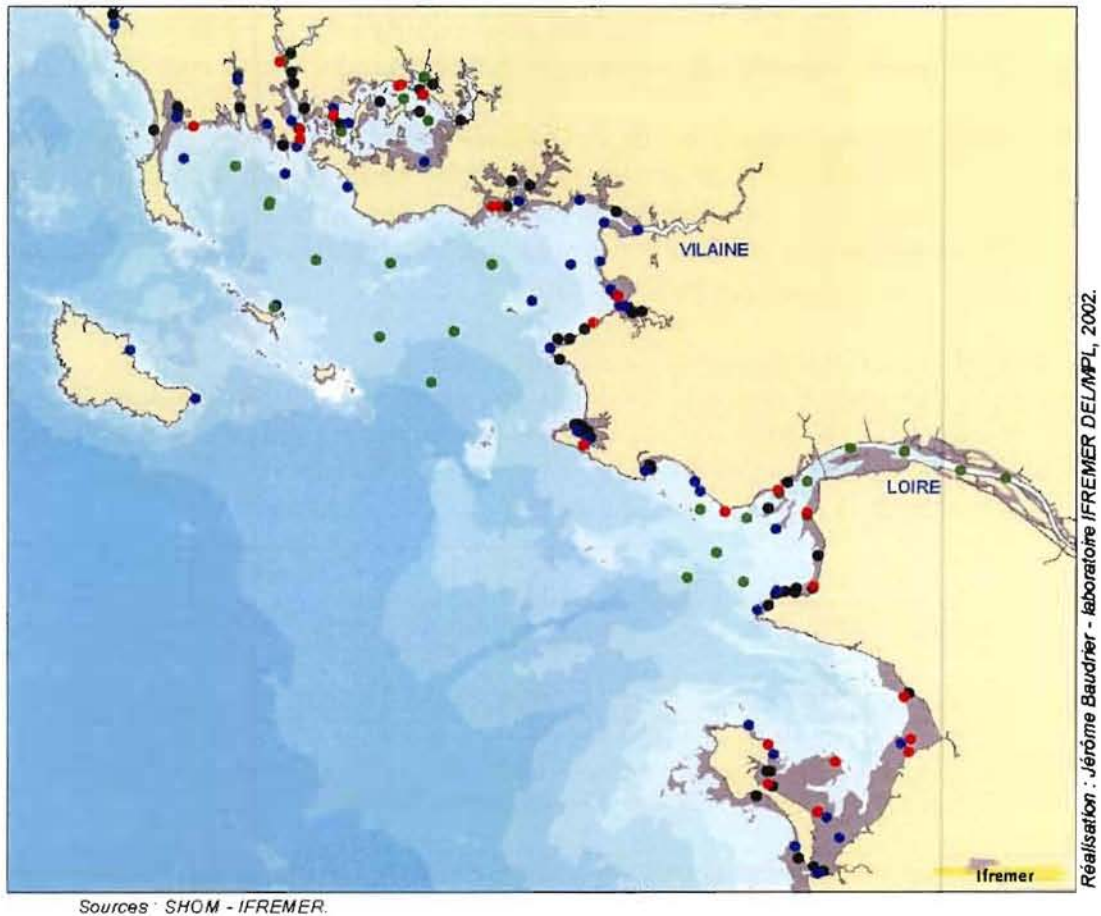


Figure 10 : Les réseaux de surveillance IFREMER sur le secteur côtier Loire Vilaine.

Les réseaux patrimoniaux

Le suivi des eaux douces

- RNB

La *qualité physico-chimique des eaux douces* est suivie dans le cadre du Réseau National de Bassin (RNB) et de réseaux particuliers co-financés par les agences de l'eau et gérés par les Conseils Généraux. Les paramètres recherchés sont les sels nutritifs, les contaminants (hydrocarbures, pesticides, métaux...), les matières organiques, la chlorophylle, l'oxygène dissous, le pH, la turbidité, les MES, les pathogènes...

Il y a 1158 stations sur le bassin Loire Bretagne. Elles ne sont pas toutes échantillonnées et les prélèvements sur chacune d'entre elles diffèrent. Sources : Agence de l'Eau Loire Bretagne.

- RHP

Le réseau hydrobiologique et piscicole (RHP) est un *outil d'évaluation de l'état écologique des milieux aquatiques dulcicoles* et de mise en évidence de l'impact des activités humaines. Pour assister ce réseau de suivi, un « indice poisson » est en cours de validation et de normalisation (Vignerot, 2001). Il permettra une évaluation globale et sur le long terme des écosystèmes d'eaux courantes. Il se base sur les peuplements piscicoles identifiés.

La surveillance de l'environnement marin

- L'état de l'existant

Les réseaux de surveillance nationaux rencontrés sur le secteur Loire Vilaine sont le RNO, le REPOM, le REPHY et OPERA. Il existe aussi des réseaux locaux spécialisés (Réseau de mesures de la qualité des eaux des estuaires bretons, réseau de suivi des ulves).

Ceux-ci contribuent à un objectif général de développement des connaissances et de suivi de l'évolution du milieu littoral. Ces réseaux ont été décrits lors de la synthèse des connaissances sur le secteur côtier Loire Vilaine (Baudrier, 2002). La surveillance assurée par les trois réseaux REMI, RNO et REPHY d'Ifremer est représentée sur la figure 10.

Dans le cadre du **REPHY**, les recherches à développer portent sur *l'utilisation des pigments chlorophylliens pour l'identification des espèces phytoplanctoniques* (Lampert, 2001). Actuellement, ce sont essentiellement des classes algales qui sont reconnues. La découverte de nouveaux pigments surnuméraires pourraient permettre d'être plus proche des espèces que de ces classes.

- REBENT

Le REBENT est un réseau en projet et en cours d'expérimentation en Bretagne, visant à réaliser la surveillance du macrobenthos. L'effort sera concentré sur les eaux territoriales et plus particulièrement dans la zone intertidale et les fonds proches. Ce réseau d'observation des biocénoses marines côtières permettra de suivre l'évolution des populations animales et végétales, afin de détecter les changements éventuels de la biodiversité et les causes qui leur sont imputables. Des mesures de gestion pourront alors être prises en conséquence (Guillaumont *et al.*, 2001).

Ces réseaux reposent sur des observations discontinues. Pour pallier aux problèmes causés par ce type d'observations, des **réseaux automatisés** se développent de plus en plus.

Les réseaux continus / automatisés

- ROSLIT

L'IFREMER propose de mettre en place un projet national intitulé : Réseau d'Observation Automatisée Haute Fréquence des Eaux Littorales « **ROSLIT** ». Avec les bouées **MAREL** par exemple, l'automatisation des mesures donne accès à de *longues séries temporelles de données haute fréquence*. L'installation d'une bouée de ce type est en projet en baie de Vilaine pour 2003-2004.

L'intérêt de la mise en place d'un *réseau de surveillance continu et automatisé* n'est plus à démontrer sur ce secteur dont la sensibilité aux apports en nutriments est forte. Il apporterait des compléments d'informations sur la dynamique phytoplanctonique, permettrait de prévenir les crises en suivant les conditions favorables à leur émergence, et pourrait aussi mesurer l'impact des lâchers d'eau douce du barrage d'Arzal.

Actuellement, des **mesures de salinité en continu** ont lieu : cinq sondes ont été implantées sur les îles atlantiques (Glénans, Houat, Yeu, Oléron nord et sud) entre 1999 et 2001. Des bouées dérivantes et immergées à différentes profondeurs (Argos par exemple) pourraient être lâchées à différents moments de l'année pour améliorer la compréhension de la variabilité de la structure des panaches des deux fleuves.

- Les véhicules sous-marins autonomes (AUV)

La mise en œuvre de ces nouveaux appareils de mesure (profileurs, poissons remorqués...) doit permettre l'accès à des informations sur la *structure verticale de la densité* (cartographie 3D de la température et de la salinité). Ils sont entièrement autonomes et peuvent emporter des capteurs spécifiques : sonar, vidéo, capteur de CTD... ainsi qu'un modem acoustique leur permettant de communiquer avec les autres appareils afin qu'ils se coordonnent et se complètent (TSM, 2000).

Cette acquisition serait bénéfique dans le but de valider les **calculs de dispersion des principaux panaches**. En effet, les campagnes de mesure sont en nombre insuffisant pour permettre une validation à l'échelle annuelle. Les caractéristiques des AUV permettraient d'améliorer la précision spatiale des campagnes récurrentes d'évaluation des stocks halieutiques ainsi que les volumes d'eau observés. Ils pourraient être très utiles à la détection des espèces démersales qui fait largement défaut actuellement sur le secteur Loire Vilaine.

La combinaison de ces deux types d'observation sur le secteur Loire Vilaine (bouée MAREL et séries de trajectoires d'AUV) est indispensable pour comprendre les propriétés du système côtier à plusieurs échelles de temps et d'espace, et surtout l'interaction de phénomènes d'échelle différente. Elle permettrait aussi la calibration des données de télédétection et des modèles utilisés ou leur ajustement par assimilation de données.

- Station fixe halieutique

Il a été envisagé dans le cadre du *Chantier Golfe de Gascogne* de concevoir une **station fixe d'intérêt halieutique** qui permettrait de recueillir des données acoustiques pendant une longue période. Elle permettrait de mieux quantifier les cycles saisonniers et d'affiner les connaissances sur le comportement des espèces. Ces stations seraient munies d'un équipement de détection horizontale et verticale

II.4.3. Les outils de compréhension et de prévision

Les outils suivants présentent l'avantage de reconstituer des observations **à la fois spatiales et temporelles**. La forme la plus aboutie est symbolisée par le **SIG** qui peut intégrer de vastes séries de données et les représenter dans un système géoréférencé. Celui-ci est alimenté par les informations pouvant être collectées par l'ensemble des outils présentés au cours de ce chapitre (II.3.).

II.4.3.a. Télédétection

La description des structures hydrologiques peut être mise en évidence par les signatures satellitales de la température de surface de l'eau par thermographies infra rouge (NOAA/AVHRR), de la couleur de l'eau (SeaWiFS) et de la rugosité de la mer (données radar) (file:///bart/COULEUR/browser/gasc/HTML/E_BROWSE.htm).

Les données *températures de surface, teneurs en chlorophylle et turbidité des eaux* sont exploitables grâce au développement de ce nouvel outil. Les résultats sont utilisés pour la validation et la calibration du modèle hydrodynamique MARS 3D (Lazure et Jegou, 1998).

La télédétection satellitaire peut s'avérer essentielle dans la compréhension du *déterminisme des efflorescences phytoplanctoniques*. Elle permet de visualiser les conditions concomitantes à un bloom, celles qui le précèdent et celles qui le suivent. La visualisation de certains processus physiques et biologiques est en effet possible (bloom planctonique, zone de front, upwelling, tourbillons ...).

La quantification de la biomasse phytoplanctonique à partir des images satellitales (par la concentration en chlorophylle *a*) donne aujourd'hui des résultats satisfaisants. L'identification des principales classes algales par leurs pigments biomarqueurs à partir des images satellitales n'est pas encore possible, sauf pour des cas exceptionnels tels que les efflorescences de coccolithophoridés (*hemilania huxleyi*) et cyanophycées (*Trichodesmium*).

D'après Lampert (2001), une nouvelle génération de capteurs multispectraux à bande passante plus étroite est en préparation et les nouveaux travaux dans le domaine de la bio-optique et le traitement du signal permettent d'espérer des résultats concrets dans les prochaines dix années à venir.

L'utilisation d'images hyperspectrales obtenues par **missions aéroportées** est en test de développement actuellement pour l'identification des populations **microphytobenthiques**. Le projet HySENS, chargé de tester le développement technologique d'utilisation de ces images hyperspectrales débute. Le sujet est très novateur, les études concernant la prise en compte du microphytoplancton dans la capacité trophique des baies sont en cours.

Les limites de la télédétection sont constituées par la **couverture nuageuse** qui empêche d'avoir accès aux observations de certains secteurs, ou de traiter les informations à certaines périodes de la journée. Le suivi spatio-temporel intégral est donc impossible dans l'état actuel des recherches.

II.4.3.b. Modélisation

Modélisation climatologique

Météo France possède des modèles atmosphériques dont les forçages sont usités dans les modèles hydrodynamiques. Le modèle Arpège est alimenté par les données météorologiques du système mondial d'observation. Une spécificité d'Arpège est sa résolution variable sur l'ensemble du globe : sa maille varie de 25 à 300 km (<http://www.cnrm.meteo.fr>).

Il permet ainsi d'élaborer des prévisions à petite échelle sur la France et à grande échelle sur le reste du monde. Pour réaliser des prévisions très fines au niveau national, Météo France utilise également un modèle à haute résolution (10 km) imbriqué à Arpège : Aladin.

Modélisation hydrodynamique

Le principal outil utilisé est le modèle hydrodynamique **Mars 3D**, conçu à l'IFREMER pour la façade atlantique française (Lazure et Jegou, 1998). La résolution spatiale est de 5 km x 5 km et il comporte 10 couches sur la verticale. Il reproduit la circulation générale du plateau continental du golfe de Gascogne et l'extension des panaches des principales rivières de la côte atlantique française.

Les simulations réalistes sont réalisées en forçant le modèle avec les données (vents, flux solaires) issues du modèle ARPEGE de Météo France. *Les points faibles sont marqués par les termes d'entrée qui dirigent le fonctionnement de l'écosystème : apports atmosphériques et fluviaux ; conditions aux limites ouvertes.* La qualité et la quantité des intrants atmosphériques sont peu connues. Connaissant l'importance des échanges entre la couche de surface et l'air, il serait intéressant d'approfondir les connaissances à ce sujet.

Le modèle est validé par des campagnes à la mer (à l'aide de mesures de température et de salinité). Il n'y a pas de réelles mesures courantologiques ; elles seraient nécessaires mais elles ne sont pas prévues pour le moment. L'installation de suivis de mesures automatisées (température, salinité, courantologie, houle...) permettrait d'affiner considérablement la précision des résultats issus des simulations. La modélisation se révèle être un outil très utile à la mise en œuvre de programme de **reconquête de la qualité de l'eau**.

Modélisation biologique

- Modélisation de la production microalgale

Le modèle développé dans le travail de thèse de Loyer (2001) représente de façon satisfaisante la **production primaire sur le plateau continental**, en fonction de la stratification de la colonne d'eau, de l'épaisseur de la couche euphotique et des apports fluviaux en éléments nutritifs. Il est donc couplé au modèle hydrodynamique.

Un raffinement de ce modèle en baie de Vilaine est effectué actuellement avec une maille de 1,6 km afin de reproduire les blooms phytoplanctoniques estivaux. Le but est de déterminer dans un premier temps quelles ont été les années critiques en terme d'eutrophisation (grâce aux concentrations en oxygène dissous), afin d'effectuer des simulations sur ces périodes bien précises et de comparer les résultats avec les mesures issues du réseau de surveillance REPHY et des campagnes océanographiques.

- Modélisation de la production macroalgale

Un modèle écologique tri-dimensionnel a été développé par Leblond *et al.*, 2001. Il permet de déterminer tant en terme quantitatif que qualitatif les **lieux de croissance et d'échouage des ulves** ainsi que leurs sources d'alimentation en azote inorganique. Son fonctionnement nécessite un couplage entre un modèle hydrodynamique 3D et un modèle biogéochimique, visant à reproduire les deux grandes formes d'algues impliquées dans les phénomènes d'eutrophisation : le phytoplancton et les macrophytes chlorophycées.

- Modèle de dynamique des populations de pélagiques

Le développement d'un nouveau modèle de dynamique des populations est prévu dans le cadre du Grand Défi Golfe de Gascogne pour effectuer des projections à court terme et à moyen terme sur les stocks de pélagiques. Le court terme permettra d'apprécier des situations de l'année suivante en fonction des observations réalisées l'année en cours. Le moyen terme simulerait *l'évolution des populations de pélagiques pour différents scénarios climatiques et en fonction de l'intensité de l'effort de pêche.*

Modélisation sédimentaire

Les matières en suspension interviennent sur le développement de la production primaire et sont mal simulées, ce qui induit des biais dans l'analyse des résultats. Un sous-modèle de transport sédimentaire va être élaboré sur le Golfe de Gascogne et ajouté au modèle biologique développé par Loyer (2001). Un affinage de ce modèle est prévu pour fin 2002 dans le secteur allant de Penmarc'h à Noirmoutier. Il simulera la remise en suspension des particules et la **turbidité** dans la zone Loire-Vilaine (Le Hir, comm. pers.).

Modélisation de la capacité trophique

Des modèles secondaires prédisent la croissance des coquillages à partir du niveau de la **production primaire** et de la **biomasse des mollusques** (élevés ou sauvages) du bassin. Ils apportent une aide aux professionnels pour gérer au mieux les stocks d'élevage et adapter les biomasses cultivées à la productivité de l'écosystème.

II.4.3.c. Système d'Information Géographique

Cet outil est conçu pour permettre *l'import et la mise en forme cohérente de données spatialisées* de toute nature issues d'observations et mesures (milieu naturel physique, milieu biologique, zones d'activités humaines, limites et zones de réglementation, limites techniques...) qui intéressent le domaine maritime proprement dit, les estrans, le littoral, et l'arrière pays.

Les données acquises au cours des études sont saisies dans une base de données **géoréférencées**. Elles doivent être actualisées au fur et à mesure. Ce système peut également être connecté aux outils de modélisation numérique afin de permettre la représentation de données issues de simulation, ou de la télédétection.

Son utilisation permet d'apporter une aide à la gestion des écosystèmes en juxtaposant l'ensemble des activités humaines présentes sur un même territoire. Cependant, il est dépendant des nombreuses données collectées, de leur précision et de leur réactualisation. C'est un outil **d'intégration spatio-temporel**.

II.4.4. Les outils institutionnels et juridiques

Ils utilisent les données collectées par les outils de gestion et de surveillance, qui permettent l'amélioration des connaissances du milieu. Ils peuvent être des outils d'analyse (SEQ), de gestion (SMVM) ou de protection (PNR). Leur rôle est souvent multiple, comme l'illustrent les SMVM ou les SAGE (gestion, réglementation, protection...). Dans cette partie, seuls les principaux outils rencontrés sur le secteur Loire Vilaine seront détaillés.

II.4.4.a. Le Système d'Evaluation de la Qualité

Différents descripteurs ont été choisis pour établir une grille de lecture permettant de définir la qualité de l'eau douce, mais aussi de la caractériser grâce à des descripteurs caractéristiques. Le **SEQ Cours d'Eau** permet d'évaluer l'évolution du milieu sur le long terme, il fonctionne depuis juin 1999.

C'est un *système d'exploitation de données*, utilisant celles des réseaux de surveillance. Sa mise en place fait suite à une circulaire du Ministère de l'Environnement. Le SEQ Biologie et le SEQ Milieu physique ne sont pas encore opérationnels.

Actuellement, les scientifiques (coopération Agences de l'Eau – Ifremer) tentent de reproduire ce schéma aux **eaux marines côtières**. L'objectif est d'aboutir à un classement des eaux littorales, essentiellement en vue de leur aptitude à la biologie.

Un rapprochement avec le REBENT serait alors très intéressant à effectuer. En effet, il pourrait être envisagé par la suite de corréliser les caractéristiques ainsi décrites du milieu avec des peuplements de référence. Une comparaison pourrait alors être effectuée pour évaluer les éventuelles évolutions du système sur le long terme. L'impact des activités humaines sur les qualités fonctionnelles des écosystèmes aquatiques pourrait alors être mis en évidence.

II.4.4.b. Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

Les SAGE en cours fixent des orientations à suivre pour une amélioration de la qualité des écosystèmes aquatiques. Le suivi régulier et continu de certaines zones prioritaires permet le respect des objectifs fixés. Les SAGE Vilaine et Estuaire de la Loire prévoient la mise en place d'actions de restauration des milieux aquatiques (<http://www.sitesage.org/lb.htm>).

L'instauration du *SAGE Vilaine* est l'occasion de développer des projets visant à améliorer le fonctionnement de la retenue d'Arzal. Le principe premier est cependant une action de restauration et de protection de la qualité de l'eau potable, ce qui implique que les dispositions seront essentiellement prises en amont.

L'estuaire est également pris en compte et il est prévu de dégager des solutions limitant les nuisances causées par l'envasement, de construire une nouvelle écluse limitant les intrusions salines et de retrouver des eaux estuariennes de bonne qualité (objectif : 90 % de plages en catégorie A) (SAGE Vilaine, 2001).

Un **comité estuaire** est déjà en place pour coordonner les opérations. Les dysfonctionnements observés en baie de Vilaine ne pourront être résolus sans que des mesures efficaces ne soient prises dans l'estuaire mais aussi sur l'ensemble du bassin versant.

II.4.4.c. Les Schémas de Mise en Valeur de la Mer

Institués par la **loi n° 83-8 du 7 janvier 1983** (relative à la répartition des compétences entre les communes, les départements, les régions et l'état) et précisés par la **loi littoral du 3 janvier 1986**, les SMVM déterminent la vocation des différentes zones sur l'espace maritime et sur l'espace terrestre avoisinant, et précisent les contraintes qui s'y rapportent, notamment les mesures de protection du milieu marin (DIREN *et al.*, 1998).

Le **décret du 5 décembre 1986** relatif au contenu et à l'élaboration de ces SMVM stipule qu'ils ont pour objectif d'arbitrer sur le littoral et en mer, les conflits d'usage entre les différentes activités qui s'exercent sur ces espaces.

II.4.4.d. Les aires protégées

Les Réserves Naturelles, les PNR, les zones Natura 2000, les territoires du Conservatoire du Littoral... ont un objectif de **protection environnementale**. Ils pourraient constituer des sites pilotes à l'élaboration de pratiques soucieuses de l'environnement tout en autorisant le développement raisonné des activités humaines. Le PNR envisagé sur le golfe du Morbihan pourrait à ce titre constituer un outil d'**animation** des mesures de protection en place.

En effet, les limites de ces outils apparaissent fréquemment lors de leur superposition sur un même territoire. Ils entraînent des contraintes pour les organismes gestionnaires ainsi que pour les usagers, du fait des différences observées entre les frontières des zonages et les objectifs des programmes.

II.5. SYNTHÈSE

De l'analyse des principaux outils et problématiques, plusieurs remarques émanent :

- Une *harmonisation* et une *complémentarité* des programmes et réseaux de surveillance du littoral permettraient de gérer plus efficacement le secteur côtier Loire Vilaine, notamment pour des problématiques locales. Ceci implique l'organisation d'un **partenariat** autour des réseaux et une meilleure coopération entre les différents organismes scientifiques et techniques ainsi qu'avec les acteurs locaux.
- Sur le secteur côtier Quiberon-Noirmoutier, l'importance d'un éventuel *programme inter-régional* qui prendrait en compte les apports de la Loire et de la Vilaine pour étudier les dysfonctionnements qu'ils engendrent.
- Une *diffusion* de certains outils, tels la modélisation, dans les laboratoires côtiers semble nécessaire pour améliorer leur compétence et leur rôle de conseiller auprès des collectivités locales.
- Une amélioration dans la *communication*, la *valorisation* et la *vulgarisation* des résultats de la surveillance (bulletins, site Internet) mériterait d'être réalisée.
- Il se pose un réel problème de *dialogue* et de *concertation* entre le milieu scientifique et les professionnels de la mer. Des mesures doivent être prises pour renouer les contacts. Les professionnels pourraient par exemple être associés à la formulation des questions et aux études menées par les scientifiques. C'est déjà le cas dans le cadre des SMVM et PNR.

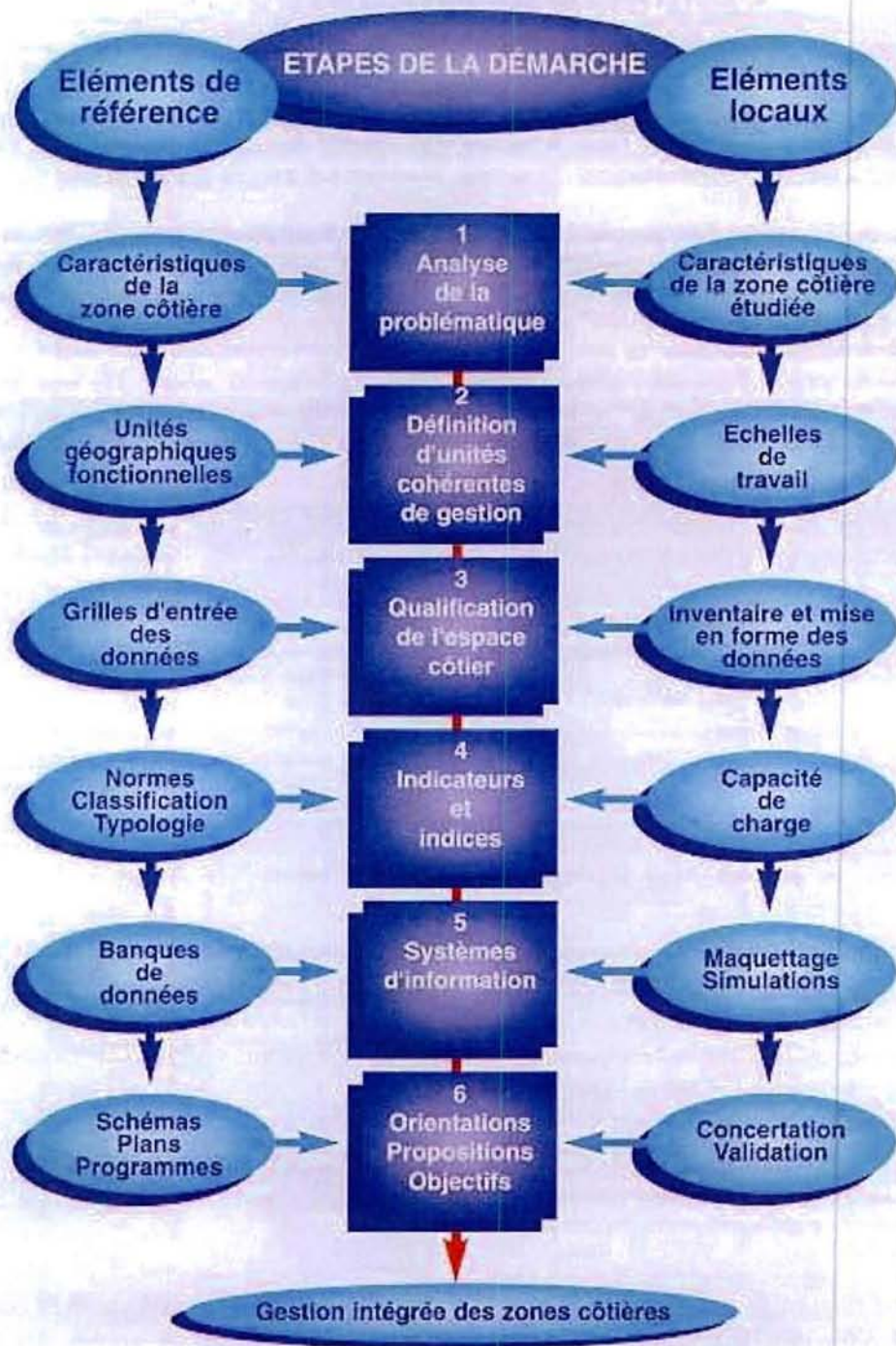


Figure 11 : Schéma général de la démarche méthodologique, comportant six étapes successives. Sources : UNESCO, 1997.

III. DISCUSSION - CONCLUSION

Les tableaux suivants résument pour les cinq secteurs côtiers cités préalablement, les usages rencontrés (tableau 2) et l'ampleur des perturbations observées (tableau 3). Ils sont tirés des recherches bibliographiques, mais aussi des interviews (annexe 3) menées au cours de l'étude. Plus qu'une caractérisation de chaque sous-ensemble, ils illustrent plutôt la diversité observée sur le littoral Loire Vilaine. La mise en place d'un éventuel processus de gestion intégrée de la bande côtière serait donc difficile sur une zone aussi étendue et diversifiée.

Usages. Fréquentation :	Fréquentation :				
	Absence	Faible	Moyenne	Forte	
Conchyliculture					
Pêche professionnelle côtière et estuarienne					
Loisirs aquatiques (baignade, plongée, chasse, surf, planche, ski, kayak...)					
Pêche à pied récréative					
Pisciculture					
Saliculture					
Extractions marines					
Clapage en mer					
Transport maritime (marchandises - passagers)					
Alimentation en eau autres usages (thalassothérapie...)					

Tableau 2 : Importance des usages dans le secteur côtier Loire Vilaine

Perturbations	Nature		Baie de Quiberon	Golfe du Morbihan	Baie de Vilaine	Estuaire Loire	Baie de Bourgneuf
	Faible	Moyenne					
Qualité sanitaire							
Eutrophisation							
Géomorphologie							
Déséquilibre écologique							
Compétition - conflits d'intérêts ou d'usage							

Tableau 3 : Les perturbations rencontrées dans le secteur côtier Loire Vilaine

En revanche, chaque zone côtière prise séparément pourrait faire l'objet d'une telle démarche. La première étape est l'élaboration concertée de plans de gestion. Ces derniers doivent être mis en œuvre par l'ensemble des acteurs de l'environnement : décideurs, gestionnaires, usagers et scientifiques.

La démarche méthodologique nécessaire à la phase d'élaboration des plans de gestion est représentée par la figure 11 (UNESCO, 1997). Une synthèse des connaissances (ou étude intégrée) et une analyse des problématiques sont indispensables au début du processus.

La présente étude aura à cet effet présenté les caractéristiques principales de la zone côtière Quiberon-Noirmoutier, les travaux en cours et les axes de recherche qu'il serait utile de développer. Elle pourrait ainsi constituer une première étape permettant de définir les problématiques les plus pertinentes touchant chaque secteur côtier étudié.

Bilan

Le fonctionnement de l'écosystème Loire Vilaine est placé sous la dépendance des *apports fluviaux*. Les activités humaines présentes dans l'arrière pays comme sur le littoral sont concernées par les perturbations anthropiques et naturelles de cet espace, du fait des contaminations drainées par les bassins versants.

Les concentrations élevées en polluants chimiques, composés organiques et éléments nutritifs affectent surtout les *estuaires de la Loire et de la Vilaine*. Une réduction des rejets telluriques, ou un traitement adéquat, permettrait d'améliorer la qualité des eaux estuariennes et côtières.

L'eutrophisation apparaît être un problème préoccupant sur l'ensemble de la zone. Les estuaires Loire et Vilaine sont particulièrement touchés. Ils sont aussi très sensibles aux proliférations phytoplanctoniques massives conduisant à des hypoxies et aux occurrences des espèces toxiques et nuisibles.

Il apparaît donc que les deux fleuves jouent un rôle important dans les processus biologiques et dysfonctionnements rencontrés sur le secteur côtier allant de Quiberon à Noirmoutier.

L'étude met en évidence que pour caractériser et comprendre ces phénomènes, de nombreux **outils** sont actuellement disponibles ou en cours d'expérimentation. Parmi ceux-ci, l'utilisation de la **modélisation** apporte déjà des réponses et elle n'a pas encore révélé l'étendue de ses possibilités.

Pour le moment, les *termes d'entrée* constituent les points faibles de ces modèles. Il s'agit en particulier pour la zone Loire Vilaine des conditions aux limites ouvertes (circulation générale sur le plateau atlantique), ainsi que la qualité et la quantité des apports fluviaux (limites internes) et atmosphériques.

Développement

Les recherches actuelles visent à affiner perpétuellement la précision des résultats de ces modèles, afin de reproduire le plus fidèlement possible les observations en milieu naturel. La **téledétection** offre également une aide considérable. Dans l'avenir, grâce à l'utilisation de nouvelles caméras satellitales et des techniques mathématiques en émergence, il sera possible de caractériser la composition des efflorescences phytoplanctoniques.

Les possibilités offertes par la combinaison de ces nouvelles technologies novatrices sont déjà perçues. Des avancées rapides dans la connaissance du fonctionnement de l'écosystème sont fortement probables. Ces outils modernes doivent donc être diffusés des laboratoires thématiques de l'Ifremer vers les *laboratoires côtiers*.

Les mesures in-situ sont de plus en plus nécessaires d'une part à la modélisation croissante des écosystèmes littoraux, et d'autre part à la calibration et à la validation des systèmes de téledétection.

Mais les réseaux de surveillance actuels montrent leurs limites car ils reposent sur des pas de temps discontinus, et parfois même irréguliers. La mise en œuvre de **systèmes autonomes d'observations et de mesures**, assurant la continuité spatiale et temporelle, est ainsi apparue nécessaire sur le secteur côtier Loire Vilaine.

Ils permettront également de s'affranchir des mauvaises conditions météorologiques, du manque de disponibilité des agents et de réactivité du laboratoire, ou de l'éloignement des points non suivis, pour l'acquisition de la vérité mer. L'utilisation des outils de téléopération et de surveillance automatisés s'avère donc primordiale.

Connaissant l'importance des apports fluviaux dans la zone d'étude, la priorité est constituée par le suivi de la qualité des eaux littorales. Cette surveillance pourrait être mise en place avec les moyens humains et techniques disponibles et permettrait l'établissement d'un diagnostic de l'eutrophisation.

Pour cela, il faudrait commencer par coordonner l'ensemble des organismes sur ce projet commun. Une harmonisation des réseaux de surveillance serait nécessaire. Cette veille environnementale aurait aussi un objectif d'amélioration de la connaissance.

La **Directive Cadre sur l'Eau** constitue à cet égard une opportunité puisque ses objectifs sont d'élaborer une politique durable et intégrée, tant pour la protection et l'amélioration de la qualité de l'environnement que pour l'utilisation prudente et rationnelle de la ressource en eau (pour consommation et autres usages). Elle prend en compte les eaux terrestres et littorales.

Les **SEQ** opérationnels ou en cours de développement, des cours d'eau, des plans d'eau et des eaux littorales sont dans l'esprit de la Directive et visent à évaluer l'état des masses d'eaux. Leur mise en application pourrait favoriser une coordination entre les différents partenaires.

Une vulgarisation et une diffusion des résultats mériteraient alors d'être entamées. A ce sujet, le **Réseau d'Information sur l'Environnement en Bretagne** (RIEB) doit constituer un portail d'information sur toutes les thématiques de l'environnement régional pour organiser et valoriser la production de données. Les objectifs sont d'améliorer l'information, de développer les échanges et d'aider à la décision et à l'évaluation des politiques publiques.

L'étude réalisée sur le secteur Loire Vilaine met en évidence l'intérêt que présenterait un tel réseau à un niveau inter-régional. Il répondrait aussi aux objectifs fixés par les lois de décentralisation inscrites au programme du gouvernement actuel.

Perspectives

Ce rapport montre qu'il serait nécessaire de développer les recherches sur le secteur intermédiaire, beaucoup moins étudié que la zone littorale et que celle du large. Il est pourtant le siège des transferts côte-large, mal connus à l'heure actuelle, mais dont l'importance est considérable.

Il serait souhaitable de renforcer l'investigation des aspects socio-économiques liés aux activités humaines et qui n'ont été que peu abordés au cours de cette étude. En particulier, l'utilisation d'indicateurs, tirés d'enquêtes ou de recensements, permettrait de mieux évaluer la pression anthropique sur le milieu naturel.

Ils pourront en particulier être intégrés aux SIG en cours de développement (golfe du Morbihan par exemple). Ces données sont à l'heure actuelle insuffisantes et ne permettent pas de prendre en compte l'importance de l'ensemble des usages anthropiques.

La compréhension de l'écosystème côtier Loire Vilaine, à l'aide des nombreux outils présentés et de ceux qui pourraient être instaurés, viendra en appui aux gestionnaires et décideurs de ce territoire fragile.

Elle est indispensable à l'élaboration des plans de gestion destinés aux processus de **Gestion Intégrée des Zones Côtières**. L'élaboration du découpage du littoral allant de Quiberon à Noirmoutier avait pour but aussi de caractériser des secteurs où la mise en place d'une telle démarche serait envisageable.

Un programme pilote a d'ailleurs déjà été mené par la Commission Environnement Littoral sur le Golfe du Morbihan (CEL, 2002). Il portait sur l'analyse des processus de gestion mis en œuvre, l'usage des textes réglementaires et des outils institutionnels, ainsi que l'identification des sources de blocage.

Avant d'envisager la création d'un tel processus, il serait utile de commencer par fédérer l'ensemble des scientifiques autour par exemple d'un « **Groupe de Recherche Scientifique et Technique** ».

L'étude démontre en effet qu'il existe un réel manque de coordination et de communication dans le monde de la recherche, et que des coopérations performantes permettraient un développement plus rapide de la connaissance des écosystèmes étudiés. L'objectif développé par la surveillance du milieu, ainsi que la mise en place du *SEQ* et de la *DCE*, pourrait constituer une première étape dans cette démarche.

La nécessité de la mise en place d'études pluridisciplinaires n'est plus à démontrer. C'est l'objectif des récents programmes développés, tel le *Défi Golfe de Gascogne*. Cependant, ce dernier constitue une première ébauche sur le plateau continental atlantique français puisque la zone côtière est peu traitée, alors qu'elle représente un enjeu économique indispensable pour de nombreuses activités humaines.

De plus, l'intérêt que présente le projet pour les professionnels et usagers de la bande côtière est difficilement perceptible. Les futurs programmes devraient donc être montés en concertation avec les différents acteurs puisqu'ils interviennent directement sur le territoire et qu'ils en dépendent bien souvent. Leurs observations empiriques du milieu naturel pourraient accompagner (d'une manière qu'il reste à définir) les futurs programmes de recherche.

Une des suites à ce travail qui pourrait être envisagée serait la recherche d'**indicateurs d'état et d'évolution** pour l'ensemble des thématiques abordées. Ils permettraient ainsi la mise en exergue des **niveaux** et des **tendances** concernant les apports des fleuves, la diversité biologique, les activités humaines...

Ce travail serait d'autant plus d'actualité qu'il pourrait être relié aux études menées sur la **Directive Cadre sur l'Eau**. En effet, elle vise dans un premier temps à effectuer une *typologie des masses d'eau*, puis à *caractériser leur état*. Cette deuxième étape nécessitera le développement d'indicateurs précis.

Enfin, ce document pourrait servir de base à la mise en place d'un **PNEC**, qui prendrait place dans la bande côtière Loire Vilaine, et compléterait ainsi les acquis du *Grand Défi Golfe de Gascogne*. Les interactions entre la zone littorale et le reste du plateau continental pourraient alors être recherchées.

BIBLIOGRAPHIE

Agence de L'eau Loire Bretagne, 1995. Incidence des crues de Loire sur la qualité des eaux littorales de Loire-Atlantique, 29 p.

Agence de l'eau Loire Bretagne, DDASS Ille et Vilaine, Côtes d'Armor, Finistère, Morbihan, Loire-Atlantique, Vendée, Charente-Maritime, 2001. Surveillance microbiologique des coquillages. Pêche à pied récréative, secteur grand ouest, suivi 2000. 21 p. + cartes.

Allenou J.P., Camus P., Bouget J.F., Joly J.P., 2002. Etude de l'état trophique du Golfe du Morbihan et croissance des huîtres creuses. Rapport IFREMER, Schéma de Mise en Valeur de la Mer, 69 p.

Allenou J.P., Chauvin J., Dimeet J., 2000. Laboratoire de la Trinité sur Mer. Résultats de la surveillance de la qualité du milieu marin littoral. Edition 1999, 49 p.

Arbault S., Lacroix N., 1977a. Œufs et larves de clupéidés et engraulidés dans le golfe de Gascogne (1969-1973). Distribution des frayères. Relations entre les facteurs du milieu et la reproduction. *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*, **41** (3) : pp. 227-254.

Arbault S., Lacroix N., 1977b. Variations de l'abondance des œufs et larves de maquereau dans le golfe de Gascogne (1964-1973). *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*, **41** (3) : pp. 255-269.

Audren C., Lefort J.P., 1977. Géologie du plateau continental sud armoricain entre les îles de Glénan et de Noirmoutier. Implications géodynamiques. *Bull. Soc. Géol. France*, (7), **XIX**, n°2, pp. 395-404.

Baud J.P., Lefrançois J., Haure J., 1990. Evaluation des stocks d'huîtres (*Crassostrea gigas*) et des stocks de moules (*Mytilus edulis*) sur les gisements naturels et en élevage sur bouchots dans la baie de Bourgneuf (année 1988). Rapport IFREMER, 65 p.

Baudry P., Minaud N., 2000. Pays de la Loire : une industrie bien présente. INSEE Pays de la Loire, référence n°29, mars 2000, pp. 37-39.

Beaudouin J., 1975. Copépodes du plateau continental du golfe de Gascogne en 1971 et 1972. *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*, **39**, pp. 121-169.

Belin C., Raffin B., 1998. Les espèces phytoplanctoniques toxiques et nuisibles sur le littoral français de 1984 à 1995, résultats du REPHY (réseau de surveillance du phytoplancton et des phycotoxines). Rapport IFREMER RST.DEL/MP-AO 98-16 (2 tomes), 283 p.

Birrien J.L., 1987. Cycle de variations des éléments nutritifs et du phytoplancton en baie de Douarnenez et dans les secteurs adjacents : importance du front côtier de l'Iroise. Université de Bretagne Occidentale, Thèse de 3^{ème} cycle, 160 p.

Bouysse P., Horn R., 1972. La géologie du plateau continental autour du Massif Armoricaïn. *Bulletin du BRGM*, **4**, n°2, pp. 3-17.

Berthomé J.P., Lassus P., 1985. Inventaire des phénomènes d'eaux colorées et des apparitions de dinoflagellés toxiques sur les côtes françaises en 1984. Rapport de l'Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, non paginé.

Bosser K., 2002. Nautisme et concurrences liées à l'accessibilité au plan d'eau du Golfe du Morbihan. Développement d'un Système d'Information Géographique. Rapport IFREMER ; Schéma de Mise en Valeur du Golfe du Morbihan, 112 p.

Bricker S.B., Clement C.G., Pirhalla D.E., Orlando S.P., Farrow D.R.G., 1999. National Estuarine Eutrophication Assessment. Effects of Nutrient Enrichment in the Nation's Estuaries. NOAA, National Ocean Service, Special Projects Office and the National Centers for Coastal Ocean Science. Silver Spring, MD., 71 p.

Camus P., 1998. Evaluation des performances épuratoires des stations d'épuration de Séné (Le Ranquin) et Vannes (Kermain, Le Prat, Tohannic) et de leur impact sur le golfe du Morbihan. Année 1996 – 1997 – Rapport de synthèse IFREMER PC/EL n°238, 32 p.

Cargouët G., 1998. Gestion des apports microbiologiques sur le littoral. Risques sanitaires – Moyens d'action – Approche méthodologique. Mémoire Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieur de Limoges, 54 p.

Cassanet J., 1981. Etude par télédétection des températures et turbidités des eaux au large de la Loire Atlantique. Collection de l'Ecole Normale Supérieure de jeunes filles, Mémoire n°21.

Castaing P., 1981. Le transfert à l'océan des suspensions estuariennes – cas de la Gironde. Université de Bordeaux I, Thèse de doctorat d'état, 529 p.

CASTEGE I. *et al.*, in prep. 2003. Atlas de la répartition spatio-temporelle et évolution numérique (1976-2002) des populations d'oiseaux marins dans les eaux côtières de Golfe de Gascogne. MNHN (Ed.). Paris.

Commission Environnement Littoral, 2002. Pour une approche intégrée de gestion des zones côtières. Initiatives locales – Stratégie nationale. Rapport au gouvernement, 81 p. (annexes comprises), *sous presse*.

Chapelle A., 1991. Modélisation d'un écosystème marin côtier soumis à l'eutrophisation : la baie de Vilaine (Sud Bretagne). Etude du phytoplancton et du bilan en oxygène. Université Paris 6, Th. doct. Océanogr. Biol., 202 p.

Clément J.C., 1986. Hydrologie et production primaire en Baie de Vilaine en 1984 : conditions nutritionnelles et évolution de la productivité de l'écosystème. Rapport scientifique de l'association halieutique du Mor Bras – *Cahiers du Mor Bras*, **12**, 135 p.

Clément J.C., 1987. Impact des conditions hydrologiques et nutritionnelles sur l'évolution de la production primaire en baie de Vilaine. Synthèse des données acquises sur la période 1982-1985. *Cahiers du Mor Bras*, **21**, 242 p.

Comité Départemental du Tourisme du Morbihan, 2002. Observatoire départemental du tourisme. Bilan de la saison touristique en Morbihan. Année 2001. 19 p.

- Comité Départemental du Tourisme de Loire Atlantique, 2002. Loiratlantourisme. 8 p.
- Conseil Général Morbihan et Comité Départemental du Tourisme du Morbihan, 1997a. Schéma départemental de développement et d'aménagement touristiques pour le Morbihan. 60 p.
- Conseil Général Morbihan et Comité Départemental du Tourisme du Morbihan, 1997b. Le tourisme - Etat des lieux - Bilan des développements 1979-1994 - Forces et faiblesses. 60 p.
- Darchen J., 1974. Eléments climatologiques des côtes de France métropolitaines. Météorologie Nationale, monographie n°93.
- De Nadaillac G., Breton M., 1986. Les Courants en Baie de Vilaine : synthèse des résultats. Rapport IFREMER, DERO-86.02-EL, 34 p.
- Delmas D., Herbland A., Maestrini S.Y., 1993. Do *Dinophysis* spp. Come from the « open sea » along the French Atlantic coast ? Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea. Smayda and Shimizu Eds. Elsevier, 489-494.
- Di Carlo L., 2000. Recensement de la population 1999 : Morbihan. *Octant*, **83**, septembre 2000, pp. 22-27.
- DIREN BRETAGNE, PREFECTURE DE REGION BRETAGNE, CONSEIL REGIONAL DE BRETAGNE, 1998. La Bretagne : des hommes, un territoire. Atlas de l'environnement, 99 p.
- Delavelle S., Oger P., 1999. Evolutions démographiques dans le grand ouest : quand Nantes et Rennes tirent la croissance. *Octant*, **79**, octobre 1999, pp. 16-17.
- Fraboul S., 1999. Loire Atlantique : un département dynamique à l'image de Nantes. INSEE Pays de la Loire, référence n°27, septembre 1999, pp 24-26.
- Fraboul S., Joseph S., 2000. Le littoral garde la cote. INSEE Pays de la Loire, référence n°29, mars 2000, pp. 9-12.
- Gascuel D., 1985. Contribution à l'étude écologique des estuaires du littoral atlantique français : la faune accompagnatrice de la civelle. Univ. de Rennes I, thèse de docteur-ingénieur, 330 p.
- Glémarec M., 1969. Les peuplement benthiques du plateau continental Nord Gascogne. Université de Bretagne Occidentale, Thèse de doctorat d'état, 152 p.
- Gouleau D., 1968. Etude hydrologique et sédimentologique de la baie de Bourgneuf. Caen : Faculté des sciences - Th. 3e cycle Océanogr., 193 p.
- Goupil V., 1992. Les Cultures marines dans le golfe du Morbihan et en baie de Quiberon : les acteurs sociaux et l'aval de la filière. Faculté de lettres et de sciences humaines, Nantes, Mém. Maîtrise Géogr., 193 p.

Grossel H., Aujoulat V., L'Yavanc J., Ratiskol G., 2001. « PESCA – JALONS – PORNIC ». Etude sédimentaire de l'estran conchylicole en baie de Bourgneuf. Rapport IFREMER ; convention FEDER-PESCA n° 98 R 448 du 12 mai 1998, 69 p.

Guarini J.M., 1998. Modélisation de la dynamique du microphytobenthos des vasières intertidales du bassin de Marennes-Oléron. Effets des synchroniseurs physiques sur la régulation de la production. Université Pierre et Marie Curie (Paris 6), Thèse de doctorat, Océanologie biologique, 197 p.

Guérault D., Désaunay Y., Alléno J.P., 1999. Evolution du peuplement halieutique de la baie de la Vilaine au cours des décennies 80 et 90 et qualité de l'habitat estuarien. 4^{ème} Congrès International Limnologie-Océanographie. Variabilités temporelles au sein des hydrosystèmes. Bulletin de la Société Limnienne de Bordeaux. Résumé des communications. Tome 27, fascicule spécial.

Guérault D., Désaunay Y., Beillois P., Prouzet P., Martinet J.P., Cuende F.X., 1994. Les pêches professionnelles dans les estuaires de la Loire et de l'Adour. IFREMER, Repères océan, n° 6, 78 p.

Guérault D., Dorel D., Désaunay Y., 1997. Cartographie des nourriceries littorales de poissons du golfe de Gascogne – Rapport d'étude 95-II-01-02 financé par le Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation.

Guérault D., Dorel D., Désaunay Y., 2000. Cartographie des nourriceries littorales des espèces d'intérêt halieutique de la baie de Vilaine (années 1996 et 1997). Rapport interne IFREMER, laboratoire ECOHAL/Nantes, 34 p.

Guiheneuf S., 1992. Les Cultures marines dans le golfe du Morbihan et la baie de Quiberon : le parcellaire et les techniques. Faculté de Lettres et de Sciences Humaines, Nantes, Mém. Maîtrise Géogr., 231 p.

Guillaumont B., Hamon D., Hily C., 2001. Réseau Benthique (REBENT). Développement d'un pilote breton. Elaboration de l'Avant Projet Sommaire (APS). Rapport IFREMER RST.DEL, 111 p.

Hamon A., 1998. Les spécificités financières des communes touristiques. *Octant*, 75, novembre 1998, pp. 12-17.

Haure J., Baud J.P., 1995. Approche de la capacité trophique dans un bassin ostréicole (baie de Bourgneuf). Rapport IFREMER, 103 p.

Hommeril P., Larssonneur C., Pinot J.P., 1972. Les sédiments du précontinent armoricain. *B.S.G.F.*, (7), XIV, pp. 237-247.

Horn R., Vanney J.R., Boillot G., Bouysse P., Leclaire L., 1966. Résultats géologiques d'une prospection sismique par la méthode « boomer » au marge du massif armoricain méridional. *C.R. Acad. Sc. Paris*, t. 263, pp. 1560-1563.

Institution d'Aménagement de la Vilaine, 1995. Etude de l'envasement de l'estuaire de la Vilaine. Rapport final du cabinet ERAMM et de l'association RIVAGES, 106 p.

ICES, 1993. French National Report on Algal Blooms for 1992. Report of the Working Group on Phytoplankton and the Management of their Effects. C.M. 1993. / ENV : 7. Ref. L.

Jegou A. M., 1993. Cartographie de la température de surface de la mer sur les côtes bretonnes. Rapport IFREMER DEL-93.12, 41 p.

Jegou A. M., Salomon J.C., 1988. Télédétection Loire-Vilaine. Rapport IFREMER DERO-88.01-EL, 58 p.

Koutsikopoulos C., 1991. Recrutement de la sole (*Solea solea*, L.) du golfe de Gascogne : Influence de l'hydrologie et de l'hydrodynamisme. Th. Océanogr. Biol., UBO, 134 p.

Langlois G, 1982. Etude courantométrique et hydrologique de la région côtière située entre les îles de Belle Ile et de Noirmoutier. Université de Bretagne occidentale - Th. 3^{ème} cycle, 185 p.

Lampert L., 2001. Dynamique saisonnière et variabilité pigmentaire des populations phytoplanctoniques dans l'Atlantique Nord (Golfe de Gascogne). Université de Bretagne Occidentale, Thèse d'Océanographie Biologique, 294 p.

Lazure P., 1992. Etude de l'hydrodynamique de la baie de Bourgneuf. Rapport IFREMER DEL-92.24, 20 p.

Lazure P., Jegou A.M., 1998. 3D modelling of seasonal evolution of Loire and Gironde plumes on Biscay Bay continental shelf. *Oceanol. Acta*, **21**, (2), pp. 165-177.

Lazure P., Salomon J.C., 1991. Etude par modèles mathématiques de la circulation marine entre Quiberon et Noirmoutier. *Oceanol. Acta*, actes du colloque international sur l'environnement des mers épicontinentales. Lille 20-22 mars 1990, vol. sp. n°11, 93-99.

Léauté J.P., 1995. Les flottilles de pêche du golfe de Gascogne vues du ciel ! *Equinoxe*, **54**, pp. 19-26.

Leblond I., Ménesguen A., Le Hir P., Cugier P., L'Yavanc J., 2001. Modélisation mathématique micro- et macro-algale en Rade de Brest. Application à l'étude de scénarios de réduction de la marée verte à ulves de l'Anse du Moulin Blanc. Rapport de contrat CUB/IFREMER 00/2.210 127, 113 p.

Le Cann B, 1982. Evolution annuelle de la structure hydrologique du plateau continental au sud de la Bretagne. Modélisation numérique. Université de Bretagne Occidentale, Thèse Docteur-Ingénieur, Brest, 252 p.

Le Hir P., Duchene C., Merel A., De Nadaillac G., Merceron M., Breton M., 1986. Impact du régime d'Arzal sur la stratification à l'embouchure de la Vilaine – Etude par modélisation numérique. Rapport IFREMER DERO-86.36-EL, 35 p.

Le Gallic Y., 1997. Distribution du phytoplancton dans le Golfe du Morbihan et la Baie de Quiberon (années 1995-1996). Mémoire IUT Génie de l'Environnement, Brest, 20 p.

Lemoine G., 1989. Etude sédimentaire de la baie de Quiberon : la zone ostréicole en eau profonde et ses abords. Rapport IFREMER, 102 p.

Le Pape O., Désaunay Y., Guérault D. (Accepté). Relationship between fluvial discharge and sole (*Solea solea*, L.) recruitment in the Bay of Biscay (France). Study of an estuarine nursery ground and application on a stock scale. *ICES Marine Science Symposia*.

Le Pape O., Chauvet F., Désaunay Y., Guérault D. (Soumis). Relationship between interannual variations of the river plume and the extent of nursery grounds for the common sole (*Solea solea*, L.) in Vilaine Bay. Effects on recruitment variability. *Journal of Sea Research*.

Le Roho Y., 1999. L'occupation du sol en Bretagne. *Octant*, 77, avril 1999, pp. 18-23.

Le Rouzic B., Bertru G., 1996. Etude des algues microscopiques (phytoplancton). Détermination de la production photosynthétique, évaluation des facteurs limitants et du risque d'eutrophisation. Pré-contrat de baie du golfe du Morbihan, 61 p.

Littaye Mariette A., 1990. Approche modélisatrice des relations entre les fluctuations météorologiques et l'abondance des captures de deux espèces pélagiques, le germon (*Thunnus alalunga*) et la sardine (*Sardina pilchardus*) dans le nord-est Atlantique. Université de Bretagne Occidentale, Th. Doct. Oceanogr. Halieut., 199 p.

Loyer S., 2001. Modélisation de la production phytoplanctonique dans la zone côtière atlantique enrichie par les apports fluviaux. Univ. Paris 6, Th. Doct. Oceanogr. Biol., 232 p.

Maggi P., 1984. Bilan des mortalités d'organismes marins de l'été 1982 en baie de Vilaine : les mortalités massives de poissons en baie de Vilaine. *Cahiers du Mor-bras*, 1, 18 p.

Maggi P., Chapron V., Ratiskol G., 1998. Evaluation de la fréquentation des zones de pêche récréative durant des grandes marées de 1997 : résultats des campagnes menées sur le littoral compris entre la baie du Mont-Saint-Michel (Ille-et-Vilaine) et la pointe de Châtelailon (Charente-Maritime) – Rapport interne IFREMER DEL/Nantes/98.19, 39 p.

Maggi P., Mastouri A., Truquet I., Soulard L., Cadiou Y., Le Paul C., Giboire L., 1986. Facteurs hydroclimatiques et apparitions d'eaux colorées, en baie de Vilaine, durant l'année 1984. Rapport IFREMER DERO-86.06-MR, 65 p.

Marcaillou B., Camus P., Daniel F., 1996. Caractéristiques sédimentaires du golfe du Morbihan : granulométrie, teneurs en eau, matière organique et phosphore. Observatoire départemental de l'environnement du Morbihan (ODEM), 46 p.

Marcos F., Janin J.M., Le Saux J.M., 1995. Modélisation hydrodynamique du Golfe du Morbihan. Laboratoire National d'Hydraulique (EDF), 46 p.

Masson G., 1987. Biologie et écologie d'un poisson plat amphihaline, le flet (*Platichthys flesus flesus* Linné, 1758) dans l'environnement ligérien : distribution, démographie, place au sein des réseaux trophiques. Université de Bretagne Occidentale, Thèse de doctorat, 344 p.

- Mauvais J.L., Goarnisson R., 1999. L'état de l'environnement sur la façade atlantique : bilans et prospectives. Rapport IFREMER, 140 p.
- Ménesguen A., Aminot A., Belin C., Chapelle A., Guillaud J.F., Joanny M., Lefebvre A., Merceron M., Piriou J., Souchu P., 2001. L'eutrophisation des eaux marines et saumâtres en Europe, en particulier en France. Rapport IFREMER DEL/EC/01.02 pour la Commission Européenne – DG.ENV.B1, 59 p.
- Merceron M., 1985. Impact du barrage d'Arzal sur la qualité des eaux de l'estuaire et de la baie de Vilaine. Rapport IFREMER DERO-85.06-EL, 31 p.
- Merceron M., 1986. Etude la matière organique et demande en oxygène des sédiments en baie de Vilaine. *Cahiers du Mor Bras*, **22**, pp. 1-30.
- Merceron M., 1987. Mortalités de poissons en baie de Vilaine (juillet 1982) : causes, mécanismes, propositions d'action. Rapport IFREMER/DERO-87.14-EL, 100 p.
- Moreau S., Bertru G., Buson C., 1998. Seasonal and spatial trends of nitrogen and phosphorus loads to the upper catchment of the River Vilaine (Brittany) : Relationships with land and use. *Hydrobiologia*, **373**, pp. 1-3.
- Morin, 1984. Evolution des éléments nutritifs dans les systèmes frontaux de l'Iroise : assimilation et régénération ; relation avec les structures hydrologiques et les cycles de développement du phytoplancton. Université de Bretagne Occidentale, Thèse de Doctorat de Chimie Marine, 220 p.
- Morin P., Le Corre P., Marty Y., L'Helguen S., 1991. Evolution saisonnière des éléments nutritifs et du phytoplancton sur le plateau continental armoricain (Europe du Nord-Ouest). *Oceanologica Acta*, **14**, (3), pp. 263-279.
- Migniot C., Le Hir P., 1997. Rapport de synthèse de l'Association pour la Protection de l'Environnement de l'Estuaire de la Loire, 1984-1994. Vol. 1 : Hydrosédimentaire, 83 p.
- Pinot J.P., 1974. Le précontinent breton entre Penmarc'h, Belle-Ile et l'escarpement continental : étude géomorphologique. Université de Bretagne Occidentale, Th. Etat Géogr., 256 p.
- Piriou J.Y., Chapron V., Annézo J.P., 1995. Mesures de flux nutritifs et inventaires d'algues vertes en 1995. Pré-contrat de baie « Golfe du Morbihan », 26 p.
- Puillat I., Lazure P., Jégou A.M., Planque B., 2001. Mesoscale, interannual, and seasonal hydrological variability over the French continental shelf of the Bay of Biscay during the 90s. *ICES Journal of Marine Science*, sous presse.
- Queguiner B., 1988. Synthèse scientifique du programme pluriannuel 1983-1988 de la commission quadripartite chargée de l'aménagement halieutique et de la protection hydrobiologique de la baie de Quiberon-Vilaine. Association Halieutique du Mor-Bras, 134 p.

- Queguiner B., Tréguer P., 1984. Studies on the phytoplankton in the Bay of Brest (Western Europe). Seasonal variations in composition, biomass and production in relation to hydrological and chemical features (1980–1982). *Botanica Mar.*, **27**, pp. 449-459.
- RIET (Réseau d'Information Economique du Tourisme), 2001. La fréquentation touristique de l'île de Noirmoutier. Bilan de mai à septembre 2001. 8 p.
- Riezou G., 2001. La structuration de l'espace urbain en Bretagne. *Octant*, **60**, mai 2001, pp. 1-4.
- Rouxel M., 2000. Résidences secondaires : les pieds dans l'eau. *Octant*, **82**, juin 2000, pp. 14-18.
- SAGE Vilaine, 2001. Projet de Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux.
- Salomon J.C., Lazure P., 1988. Etude par modèle mathématique de quelques aspects de la circulation marine entre Quiberon et Noirmoutier. Rapport IFREMER DERO-88.26-EL, 104 p.
- SOGREAH, 2001. Demande d'autorisation d'immersion de déblais de dragage – site de la Lambarde. Rapport d'étude.
- SOGREAH, In Vivo Environnement, 2002. Etude d'incidence des dragages d'entretien du port Autonome de Nantes-Saint-Nazaire. Rapport provisoire n° 711054.
- S.R.A.E. Bretagne, 1984. Qualité des eaux dans la retenue d'Arzal en 1983. *Cahier du Mor Bras*, **2**, 34 p.
- TSM, 2000. Recueil des contributions aux journées TSM 2000 : Journées prospectives sur la téléopération sous-marine pour l'observation et la surveillance du milieu marin – 22 et 23 novembre 2000, La Seyne Sur Mer, France.
- UNESCO, 1997. Guide méthodologique d'aide à la gestion intégrée de la zone côtière. 47 p.
- Vanney J.R., 1969. Le précontinent du centre du golfe de Gascogne : recherches géomorphologiques. Thèse, Ecole Prat. Hautes Etudes, Dinard, 365 p.
- Vanney J.R., 1977. Géomorphologie de la marge continentale sud –armoricaïne. Paris : SEDES (Publications de la Sorbonne. N. S. Recherches ; 21) - XXV- 473 p.
- Videau C., 1993. Phytoplancton de la Baie de Quiberon et facteurs nutritifs limitant la production primaire. Université de Bretagne Occidentale, Brest, 92 p.
- Vignerot T., 2001. Réseau hydrobiologique et piscicole Loire-Bretagne. Synthèse des données 1999. Agence de l'Eau Loire Bretagne, Conseil Supérieur de la Pêche, 66 p.
- Vincent A., 1973. Les variations de la situation thermique dans le Golfe de Gascogne en 1969 et 1970. *Revue des Travaux de l'ISTPM*, **37** (1), pp. 5-18.

Vincent A., Kurc G., 1969. Hydrologie. Variations saisonnières de la situation thermique du Golfe de Gascogne en 1967. *Revue des Travaux de l'ISTPM*, 33 (1), pp. 79-96.

Wafar M., 1981. Nutrients, primary production and dissolved and particulate matter in well-mixed temperate coastal waters (Bay of Morlaix, Western English Channel). Université Paris VI, Thèse de 3^{ème} cycle, 223 p.

Cartes :

Audren C., Jegouzo P., 1975. Feuille de la Roche Bernard. 1/50 000, n° 449. Notice explicative, 38 p.

Cartes sédimentologiques des côtes de France au 1/100 000, feuilles de Lorient - Saint Nazaire – Ile d'Yeu.

Sources Internet :

Agreste Loire Atlantique ; Agreste Morbihan, 2001 : www.agrest.agriculture.gouv.fr

Agence de l'eau Loire Bretagne : <http://www.eau-loire-bretagne.fr>

CCI Morbihan : www.morbihan.cci.fr

Centre National de Recherches Météorologiques : <http://www.cnrm.meteo.fr>

Comité National de la Conchyliculture : www.cnc-France.com

IFREMER : www.ifremer.fr

INSEE : <http://www.recensement.insee.fr>

Ministère de la Santé : <http://www.sante.gouv.fr>

Ministère de l'Environnement : www.environnement.gouv.fr

Nantes Saint Nazaire - la métropole atlantique : www.nantes-developpement.com

Réseau des Comités des Pêches et des Elevages Marins : www.comite.peches.fr

SAGE Loire Bretagne : <http://www.sitesage.org/lb.htm>

SHOM : <http://www.shom.fr/>

Téledétection : file:///bart/COULEUR/browser/gasc/HTML/E_BROWSE.htm

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

FIGURES

- Figure 1 : Découpage du secteur Loire Vilaine en zones cohérentes
- Figure 2 : Etendue des bassins versants des fleuves Loire et Vilaine
- Figure 3 : Opérations de dragages dans les fleuves Loire - Vilaine et extractions marines
- Figure 4 : Distribution annuelle des chalutiers de fond et des fileyeurs dans le secteur Loire Vilaine
- Figure 5 : Distribution spatio-temporelle des Plongeurs dans le Nord Gascogne
- Figure 6 : Etat de l'eutrophisation sur le secteur Loire Vilaine
- Figure 7 : Concentrations en chlorophylle en baie de Vilaine et en baie de Quiberon
- Figure 8 : Schéma présentant les interactions agissant sur les ressources halieutiques exploitées
- Figure 9 : Pêche et conchyliculture dans le secteur Loire Vilaine
- Figure 10 : La surveillance assurée par les réseaux de l'Ifremer dans le secteur Loire Vilaine
- Figure 11 : Démarche méthodologique destinée à l'élaboration des plans de gestion

TABLEAUX

- Tableau I : Résultats du REMORA sur le secteur Loire Vilaine
- Tableau II : Importance des usages dans le secteur côtier Loire Vilaine
- Tableau III : Les perturbations rencontrées dans le secteur côtier Loire Vilaine

ANNEXES

- Annexe 1 : Liste des sigles et abréviations employées
- Annexe 2 : Le laboratoire Morbihan-Pays de Loire
- Annexe 3 : liste des personnes rencontrées
- Annexe 4 : Exemple de questionnaire destiné aux scientifiques
- Annexe 5 : Comparaison de quelques valeurs de production annuelle phytoplanctonique ($\text{gC}/\text{m}^2/\text{an}$) mesurées en Bretagne

Annexe 1 : Liste des sigles et abréviations employés

A

- ADASEA : Association Départementale pour l'Aménagement des Structures des Exploitations Agricoles
- AELB : Agence de l'Eau Loire Bretagne
- AO : Applications Opérationnelles
- AOC : Appellation d'Origine Contrôlée
- ASP : Amnesic Shellfish Poison
- AUV : Autonomous Underwater Vehicles
- AVHRR : Radiomètre Avancé à Très Haute Résolution

B

- BRGM : Bureau de Recherche Géologique et Minière
- BTP : Bâtiments et Travaux Publics

C

- CAAM : Centre Administratif des Affaires Maritimes
- CCI : Chambre de Commerce et d'Industrie
- CCIM : Chambre de Commerce et d'Industrie du Morbihan
- CDT : Comité Départemental du Tourisme
- CERSAT : Centre ERS d'Archivage et de Traitement
- CG : Conseil Général
- CNRM : Centre National de Recherches Météorologiques
- CNEXO : Centre National pour l'Exploitation des Océans
- CEVA : Centre d'Etude et de Valorisation des Algues
- CLE : Commission Locale de l'Eau
- CLPM : Comité Local des Pêches Maritimes
- CRTS : Centre Régional d'étude et de Traitement de la Statistique
- CZCS : Scanner Couleur de Zone Côtière

D

- DCE : Directive Cadre sur l'Eau
- DDASS : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales
- DEL : Direction de l'Environnement et de l'aménagement du Littoral
- DIREN : Direction Régionale de l'Environnement
- DPM : Domaine Public Maritime
- DRIRE : Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement
- DRV : Direction des Ressources Vivantes
- DRO : Direction des Ressources Océaniques
- DSP : Diarrheic Shellfish Poison

E

- ENSAR : Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes
- EPIC : Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial
- ERS : Satellite de Télédétection Européen

G

- GOES : **S**atellite **E**nvironnemental **G**éostationnaire **O**pérationnel

H

- HANOUR : Rôle de l'hydroclimat et de la qualité du milieu sur la fonctionnalité des **H**abitats côtiers en tant que **N**ourriceries de sole
- HAP : **H**ydrocarbures **A**romatiques **P**olycycliques
- HySENS : **H**yperspectral **S**ENSor project

I

- IAA : **I**ndustries **A**gro-**A**limentaires
- IAV : **I**nstitut d'**A**ménagement de la **V**ilaine
- ICM : **I**ndice de **C**hair **M**oyen
- ICZM : **I**ntegrated **C**oastal **Z**one **M**anagement
- INSEE : **I**nstitut **N**ational de la **S**tatistique et des **E**tudes **E**conomiques
- ISOMER : **I**nstitut des **S**ubstances et **O**rganismes de la **M**ER
- IFREMER : **I**nstitut **F**rançais de **R**echerche pour l'**E**xploitation de la **M**ER
- IUEM : **I**nstitut **U**niversitaire **E**uropéen de la **M**er
- ISTPM : **I**nstitut **S**cientifique et **T**echnique des **P**êches **M**aritimes

L

- LIDAR : **L**ight **D**etection **A**nd **R**anging
- LPO : **L**igue de **P**rotection des **O**iseaux

M

- MAREL : **M**esures **A**utomatisées en **R**éseau pour l'**E**nvironnement **L**ittoral
- MES : **M**atières **E**n **S**uspension
- MNHN : **M**uséum **N**ational d'**H**istoire **N**aturelle
- MOREST : **M**ORTalités **E**STivales d'huîtres creuses

N

- NASA : **A**dministration **N**ationale de l'**A**éronautique et de l'**E**Space
- NOAA : **N**ational **O**ceanic and **A**tmospheric **A**dministration

O

- OPERA : **O**bservatoire **P**ermanent de la **R**adioactivité dans l'environnement

P

- PANSN : **P**ort **A**utonomie de **N**antes-**S**aint-**N**azaire
- PCB : **P**oly**C**hloro**B**iphényles
- PNEC : **P**rogramme **N**ational d'**E**nvironnement **C**ôtier
- PNR : **P**arc **N**aturel **R**égional
- POP : **P**rogramme d'**O**rientation **P**luriannuel
- PSP : **P**aralytic **S**hellfish **P**oison

Q

- QAM : **Q**uartier des **A**ffaires **M**aritimes

R

- RA : Ressources Aquacoles
- RADAR : **RA**dio **D**etection **A**nd **R**anging
- REBENT : **RE**seau **B**ENThique
- REGEMO : **RE**seau de suivi des performances **GE**nétiques des **MO**llusques
- RIET : **RÉ**seau d'**I**nformations **E**conomiques du **T**ourisme
- RNO : **Ré**seau **N**ational d'**O**bservation de la qualité du milieu marin
- RNB : **Ré**seau **N**ational de **B**assin
- REMI : **RE**seau de contrôle **MI**crobiologique
- REMORA : **RE**seau **MO**llusques des **RE**ndements Aquacoles
- REPAMO : **RE**seau **PA**thologique des **MO**llusques
- REPOM : **RE**seau de surveillance des **PO**rts **MA**ritimes
- REPHY : **RE**seau de surveillance du **PHY**toplancton et des phycotoxines
- RHP : **Ré**seau **H**ydrobiologique et **P**iscicole
- ROSLIT : **Ré**seau d'**Ob**Servation automatisée haute fréquence des eaux **LIT**torales

S

- SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
- SAU : Superficie Agricole Utile
- SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
- SEQ : Système d'Evaluation de la Qualité
- SIAEP : Syndicat Intercommunal d'Adduction en Eau Potable
- SIG : Système d'Information Géographique
- SIH : Système d'Information Halieutique
- SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
- SMIDAP : Syndicat **MI**xte pour le **D**éveloppement de l'**A**quaculture et de la **P**êche des Pays de Loire
- SMVM : Schéma de Mise en Valeur de la Mer
- SOMLIT : Service d'Observation en Milieu **LIT**toral
- SRAE : Service **R**égional d'**A**ménagement des **E**aux
- SRC : Section **R**égionale Conchylicole
- STEP : **ST**ation d'**E**puration

T

- TAC : Totaux Admissibles de Captures
- TMSI : Direction de la Technologie Marine et des Systèmes d'Information

Z

- ZICO : Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux
- ZNIEFF : Zones Naturelles d'Intérêt Faunistique et Floristique
- ZPS : Zone de Protection Spéciale

Annexe 2 : Zone d'intervention du laboratoire Morbihan – Pays de Loire

- Zone d'intervention du **laboratoire Ifremer DEL MPL** : de la **Laïta** (limite Morbihan – Finistère) à la **Vie** (Vendée).
- Implantation des deux laboratoires côtiers : **La Trinité sur Mer** et **Nantes**.



Annexe 3 : liste des personnes et structures interviewées

Rencontres :

- Allenou J.P. : IFREMER
- Arrondeau J.P. : IAV
- Barillé L. : ISOMER
- Bassoullet P. : IFREMER
- Bellouis M. : IFREMER
- Camus P. : IFREMER
- Chaumery C. : IUEM
- Denis J. : IFREMER
- Dréano A. : SRC Bretagne Sud
- Galtier L. : BRGM
- Gohin F. : IFREMER
- Guérault D. : IFREMER
- Guillaud J.F. : IFREMER
- Guillaumont B. : IFREMER
- Grouhel A. : IFREMER
- Kerléo V. : SRC Pays de Loire
- Lazure P. : IFREMER
- Le Pape O. : IFREMER
- Le Corre P. : IUEM
- Le Hir P. : IFREMER
- Leloc'h F. : IUEM
- Le Mao P. : IFREMER
- Loarer R. : IFREMER
- Martin J.L. : IFREMER
- Massé J. : IFREMER
- Mazurié J. : IFREMER
- Ménesguen A. : IFREMER
- Menier D. : GEOSCIENCES - UBS
- Merrien C. : IFREMER
- Oger-Jeanneret H. : IFREMER
- Pajot R. : SMIDAP
- Peronnet I. : IFREMER
- Planque B. : IFREMER
- Talidec C. : IFREMER
- Veron V. : ENSAR

Entretiens téléphoniques :

- Agence de l'Eau Loire Bretagne
- Affaires Maritimes de Noirmoutier
- Affaires Maritimes de Saint Nazaire
- Affaires Maritimes de Vannes
- CCI Morbihan
- CCI Loire Atlantique
- CDT Morbihan
- CDT Loire Atlantique
- CLPM Auray-Vannes
- CLPM La Turballe
- CLPM Le Croisic
- CLPM Noirmoutier
- CRPM Bretagne
- DDASS Morbihan
- DDASS Loire Atlantique
- DRIRE Loire Atlantique
- Maison du Sel – Noirmoutier
- Terre de Sel - Guérande
- Office de Tourisme de Noirmoutier
- Port Autonome de Nantes Saint Nazaire
- Préfecture de Loire Atlantique

Annexe 4 : Exemple de questionnaire destiné aux scientifiques

FICHE ENQUETE

Personne rencontrée :

Organisme - Laboratoire :

Coordonnées :

Discipline traitée :

Thème de la rencontre :

Nombre de personnes employées ?

Moyens disponibles (budget, équipement) ?

Noms des différents organismes qui travaillent sur la zone Loire-Vilaine et traitent de sujets d'études semblables :

Coopération avec ces organismes ?

Outils d'étude utilisés et nécessaires à la compréhension du fonctionnement de l'écosystème ?

Quels sont les outils d'étude à développer pour améliorer les compétences du laboratoire ?

Etudes réalisées dans la zone Loire Vilaine concernant cette discipline ? PASSE

Quels sont les programmes en cours aujourd'hui... ACTUEL

Etudes prévues par la suite ? FUTUR

Domaines non (ou mal) maîtrisés et qui nécessiteraient des recherches complémentaires ?

Quelle est la question fondamentale et pertinente à résoudre sur la zone Loire-Vilaine ?

Annexe 5 : Production annuelle phytoplanctonique sur quelques sites bretons

Site	Production primaire annuelle	Références
Baie de Quiberon	60-150 gC/m²/an	Videau, 1993
Baie de Morlaix	183 gC/m²/an	Wafar, 1981
Golfe du Morbihan	204 gC/m²/an	Le Rouzic et Bertru, 1996
Baie de Vilaine	240-260 gC/m²/an	Clément, 1986
Rade de Brest	255-280 gC/m²/an	Quéguiner et Tréguer, 1984
Baie de Douarnenez	290 gC/m²/an	Birrien, 1987

*Impression : Service TMSI/IDM/RIC
IFREMER – Centre de Brest
BP 70 – 29280 Plouzané
Tél. : 02 98 22 45 40*