

Contrat de Projets Etat-Région Poitou-Charentes 2007 - 2013  
Convention n° 08/RPC-A-29 du 19 mai 2008

Laboratoire Environnement-Ressources des Pertuis Charentais

**ifremer**

**Projet**  
**Développement Durable des Pertuis Charentais**

**ANALYSE DES VARIATIONS A LONG TERME DU  
MICROPHYTOPLANCTON  
DANS LES PERTUIS CHARENTAIS**

Par Nadia VIDAL

Master 1 professionnel  
« MODELISATION MATHÉMATIQUE  
ET ANALYSE STATISTIQUE »

Année universitaire 2008-2009



## COMMENTAIRES A DESTINATION DES LECTEURS

Le mémoire présenté ici a été effectué dans le cadre d'un stage de Master 1 de Mathématiques (Université de Poitiers) effectué à la Station Ifremer de La Rochelle pour l'encadrement sur le phytoplancton, et à l'Université de La Rochelle (LIENSs) pour l'encadrement sur le traitement statistique (projet COMPECO).

Il comprend une analyse des séries à long terme des données du REPHY, portant notamment sur :

- les variations hydro-climatiques, temporelles, spatiales et la recherche de cycles comme celui de l'Oscillation Nord-Atlantique (NAO),
- les variations phytoplanctoniques (abondance de cellules) temporelles et spatiales, particulièrement des deux grands groupes Diatomées et Dinoflagellés.

## **REMERCIEMENTS**

Je remercie en premier lieu mes 4 encadrants, Nathalie Niquil, Mireille Ryckaert, Valérie David et Mikhail Karpytchev, pour leur disponibilité, leur sympathie, leurs conseils et leurs encouragements. Merci à Mireille de m'avoir accueillie et intégrée au sein d'IFREMER, merci à Nathalie, Mireille et à Valérie de m'avoir aidée dans la compréhension du phytoplancton, et enfin merci beaucoup à Mikhail pour ses idées et ses cours particuliers de Mathématiques.

Un grand merci également aux membres du LER/PC de l'Houmeau pour leur accueil et en particulier à mes collègues de bureau Sylvie Margat, Anne Schmitt et Annick Derrien pour leur bonne humeur communicative.

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Structures d'accueil</b>	<b>4</b>
2.1	Laboratoire LER/PC, Ifremer . . . . .	4
2.2	Laboratoire LIENSs, CNRS/Université de La Rochelle . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Le projet COMPECO</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Matériel et méthodes</b>	<b>8</b>
4.1	Le réseau de surveillance REPHY . . . . .	8
4.2	Site d'étude : les Pertuis Charentais . . . . .	10
4.3	Le traitement des données . . . . .	11
4.3.1	Variation temporelle . . . . .	11
4.3.2	Variation spatiale . . . . .	12
4.3.3	Recherche de cycles . . . . .	12
4.3.4	Analyse Canonique des Correspondances . . . . .	13
<b>5</b>	<b>Résultats</b>	<b>15</b>
5.1	Les variations hydro-climatiques . . . . .	15
5.1.1	Variations temporelles . . . . .	15
5.1.2	Variations spatiales . . . . .	16
5.1.3	Recherche de cycles . . . . .	18
5.2	Les variations phytoplanctoniques . . . . .	19
5.2.1	Variations temporelles . . . . .	19
5.2.2	Variations spatiales . . . . .	20
5.3	Analyse Canonique des Correspondances . . . . .	22
<b>6</b>	<b>Discussion</b>	<b>25</b>
<b>7</b>	<b>Conclusions et perspectives</b>	<b>27</b>
<b>8</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>28</b>
<b>9</b>	<b>Annexes</b>	<b>29</b>

# 1 Introduction

Les Pertuis Charentais, répartis sur le littoral de la Charente-Maritime et le sud de la Vendée sont caractérisés par la richesse des écosystèmes naturels et exploités. La conchyliculture est l’emblème de l’économie littorale du département, mais également de la région Poitou-Charentes, dont les Pertuis sont la seule façade maritime. Cette richesse est le fruit de conditions favorables, notamment la protection du milieu littoral par les îles d’Oléron et de Ré, les températures clémentes avec des hivers doux, ou encore l’importance de la disponibilité des ressources nutritives dans l’eau (Gailhard, 2003).

Comprendre le développement des espèces phytoplanctoniques est un enjeu primordial tant sur le plan économique que sanitaire. En effet, certaines espèces de phytoplancton sont toxiques et doivent être particulièrement surveillées par les réseaux (phycotoxines paralysantes, amnésiantes et diarrhéiques). La trop forte présence de certaines d’entre elles peut donner lieu à des arrêts préfectoraux interdisant la pêche et le ramassage de tout coquillage dans la zone concernée, ce qui est un manque à gagner pour l’économie locale. Si des recherches ont déjà été effectuées, il y a de plus en plus de séries de données acquises entre autre par l’IFREMER non analysées, qui pourraient révéler ou confirmer des phénomènes importants pour la sauvegarde et le bon fonctionnement du littoral français.

Cette étude a été réalisée dans le but d’affiner les connaissances déjà acquises sur la variation phytoplanctonique dans les Pertuis Charentais. L’intérêt est de voir quels paramètres hydro-climatiques influencent le plus le phytoplancton dans les Pertuis et en particulier les espèces toxiques, afin de mieux comprendre les écosystèmes qui nous entourent. Ce stage a pour objectif d’amorcer un travail plus conséquent sur la variation des communautés phytoplanctoniques en relation avec les paramètres environnementaux dans les Pertuis Charentais ainsi que dans les sites du bassin d’Arcachon et de la baie du Mont-Saint-Michel.

La première partie de cette étude concerne les variations spatiales et temporelles des deux principaux paramètres hydro-climatiques : la température de l’eau et la salinité. Sept points de prélèvement du réseau de suivi à long terme du phytoplancton d’IFREMER (le REPHY), répartis dans les Pertuis Charentais, ont été sélectionnés afin de comparer les évolutions à long terme de ces paramètres, et d’analyser les variations spatiales. On s’est également intéressés à la présence de cycles pluri-annuels dans les séries afin de les comparer à l’Oscillation Atlantique Nord.

Dans un second temps, la même étude a été réalisée sur les séries à long terme de comptage de l'abondance totale de phytoplancton et des deux groupes dominants, les diatomées et les dinoflagellés, sur 4 des 7 sites étudiés en première partie. Les objectifs sont de voir si le phytoplancton se comporte de la même façon que les variables hydro-climatiques et donc de savoir s'il y a une possible relation de cause à effet.

Enfin, un travail de couplage des données hydro-climatiques avec l'abondance phytoplanctonique a été amorcé afin d'analyser l'influence des paramètres environnementaux sur la communauté phytoplanctonique des Pertuis.

## 2 Structures d'accueil

### 2.1 Laboratoire LER/PC, Ifremer

L'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER), créée en 1984, par la fusion de l'Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes (ISTPM) et du Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO), a pour vocation le développement d'un ensemble de recherches de grande ampleur pour une exploitation durable des ressources marines.

Aujourd'hui, l'IFREMER, établissement public à caractère industriel et commercial et placé sous la tutelle conjointe de différents ministères (Recherche, Agriculture et Pêche, Equipement, Environnement), concentre son action dans les domaines de la recherche, de l'expertise d'intérêt public, de la mise à disposition de moyens (flotte océanographique et développement technologique) ainsi que dans le transfert des connaissances vers les entreprises et la valorisation de ses activités.

D'importants moyens techniques et scientifiques permettent à l'institut de répondre à ses missions et celui-ci compte à son actif environ 1380 salariés, chercheurs, ingénieurs et techniciens à compétences pluridisciplinaires, 5 centres (Boulogne, Brest, Nantes, Toulon et Tahiti) et 21 stations réparties sur le littoral métropolitain et les DOM-TOM.

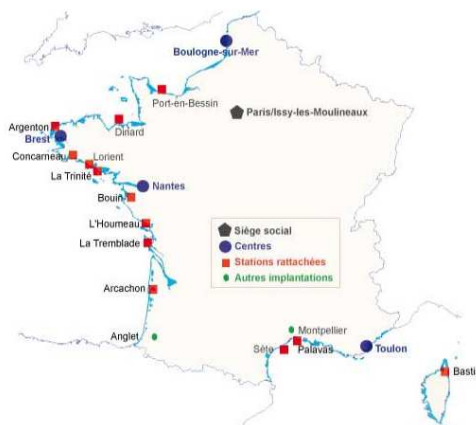


FIGURE 1 – Implantations IFREMER en France métropolitaine

Six grands thèmes, divisés en programmes pluridisciplinaires, ont été créés et couvrent la totalité des activités de recherche et d'étude, de développement technologique, de surveillance, d'expertise et de valorisation de l'institut à savoir :

- Grands équipements au service de l'océanographie
- Surveillance, usage et mise en valeur des zones côtières
- Surveillance et optimisation des ressources aquacoles
- Ressources halieutiques, exploitation durable et valorisation
- Exploration et exploitation des fonds océaniques et de leur biodiversité
- Circulation et écosystèmes marins, mécanismes, évolution et prévision

IFREMER est également constitué de "Laboratoires côtiers Environnement littoral et Ressources aquacoles " (LER), on en compte huit distribués sur 13 implantations différentes réparties sur la totalité du littoral métropolitain et l'effectif permanent avoisine les 160 personnes. Ces laboratoires ont pour principales missions l'observation du littoral (réseaux de mesure et diagnostics de surveillance), l'étude des écosystèmes littoraux et conchyliques, les recherches et études régionales intégrées dans une vision nationale, voire européenne, le suivi de la qualité des produits de l'aquaculture, la réalisation d'expertises, l'émission d'avis à l'intention des services déconcentrés de l'Etat, la valorisation et le transfert des connaissances. Ce sont les partenaires permanents des acteurs et décideurs locaux et régionaux.



FIGURE 2 – Localisation et présentation du Pertuis Charentais

Le laboratoire côtier environnement ressource des Pertuis Charentais (LER/PC), né le 1er janvier 2004 de la fusion de deux laboratoires de la Direction de l'Environnement littoral (La Rochelle et La Tremblade, Charente-Maritime)



et d'un laboratoire de la Direction des Ressources Vivantes (La Tremblade), s'inscrit dans le thème de surveillance, usage et mise en valeur des mers côtières et optimisation des ressources aquacoles. Son rayon d'action couvrant les littoraux vendéens et charentais, s'étend de St Gilles Croix de Vie (Vendée) à la rive droite de la Gironde (Fig. 2). Par la gestion de réseaux de surveillance, le LER/PC est un acteur important de la collecte d'information sur le littoral atlantique.

## **2.2 Laboratoire LIENSs, CNRS/Université de La Rochelle**

" Littoral ENvironnement et Sociétés " (LIENSs) est une Unité Mixte de Recherche (CNRS / Université de La Rochelle) qui intègre des compétences dans différents domaines scientifiques dont les sciences de l'environnement (biologie, écologie, géophysique), les sciences humaines (géographie), la chimie et les biotechnologies. Elle s'appuie sur cette pluridisciplinarité pour répondre aux enjeux du développement durable dans le cadre de ses recherches avec pour principal objet d'étude, le littoral.

Dans le cadre de la définition d'un Pôle Environnement et Développement Durable, voulu par l'Université de La Rochelle pour le contrat quadriennal 2008-2011, la création de la nouvelle unité mixte LIENSs a représenté une opération majeure de la restructuration de la recherche, opération très fortement accompagnée par le Département Environnement et Développement Durable du CNRS. Basée sur une démarche volontaire de 4 anciens laboratoires (2 unités CNRS et 2 Equipes d'Accueil), l'objectif principal consiste à développer les interfaces entre disciplines et à inventer des méthodes de travail efficaces qui permettront d'adresser de façon pertinente les problématiques du développement durable.

Réparties sur 6 équipes disciplinaires, les compétences présentes au sein de l'unité expriment leur complémentarité au sein d'axes transversaux, permettant de revendiquer à terme une contribution significative de l'Université de La Rochelle, au développement d'une ingénierie écologique au sens large.

L'UMR 6250, Littoral, Environnement et Sociétés, regroupe ainsi aujourd'hui une soixantaine d'enseignants-chercheurs et chercheurs, une vingtaine de personnels administratifs et techniques, et accueille une soixantaine de doctorants au titre de la formation pour la recherche.

### 3 Le projet COMPECO

Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet COMPECO : " Comparaison des propriétés des réseaux trophiques des ÉCOsystèmes littoraux semi-fermés à substrat meuble ", dirigé par Nathalie Niquil et dont l'objectif est l'identification des variables forçantes environnementales et anthropiques et des conséquences sur la stabilité en vue de définir des indicateurs de santé. Ce projet regroupe 16 enseignants-chercheurs majoritairement des Universités de La Rochelle, Bordeaux, 9 chercheurs IFREMER majoritairement du site de Brest, 4 doctorants et post-doctorants, ainsi que des collaborateurs européens. COMPECO est issu du programme national EC2CO (Ecosphère continentale et côtière).

Au niveau Européen, une communauté d'écologues (réseau d'excellence européen MARine Biodiversity and Ecosystem Functioning), spécialisées dans l'analyse numérique des réseaux trophiques, rédige actuellement un projet basé sur la comparaison des propriétés des réseaux trophiques des écosystèmes côtiers et l'impact de l'Homme sur leur fonctionnement, dans le but de développer ces indicateurs de santé. Le projet COMPECO s'inscrit comme complément à cette étude, recentré sur la communauté française, visant à développer l'interdisciplinarité de ces comparaisons, en se basant sur l'exploitation des résultats, modèles et séries à long terme, issus de différents réseaux d'observation et de surveillance. En effet, la comparaison des indices de fonctionnement des réseaux trophiques peut refléter à la fois l'influence de facteurs naturels et anthropiques. L'objectif est de relier entre eux des descripteurs des pressions environnementales et anthropiques de la structuration des habitats et du fonctionnement des écosystèmes.

La comparaison est basée sur 3 sites : la baie du Mont Saint Michel, le bassin de Marennes-Oléron (Pertuis Charentais), et le bassin d'Arcachon. Puis des collaborations européennes permettront d'intégrer l'estuaire du Mondego (Portugal) et la baie de Sylt-Rømø (Allemagne). Le choix de ces sites tient au fait qu'ils sont hautement documentés, avec une complémentarité interdisciplinaire, et que ce sont tous des systèmes semi-fermés à substrat meuble, ce qui structure fortement leur fonctionnement.

L'étude amorcée par ce stage sera étendue par la suite à la baie du Mont-Saint-Michel et au bassin d'Arcachon. Il a pour finalité la publication d'un article dans le cadre de COMPECO visant à analyser à long terme toutes les données accessibles grâce au réseau REPHY et à les comparer entre ces 3 sites.

## 4 Matériel et méthodes

### 4.1 Le réseau de surveillance REPHY

Le LER/PC assure le fonctionnement d'un certain nombre de réseaux de mesures à finalité patrimoniale, sanitaire, ou d'aide à la gestion des écosystèmes et des productions conchylicoles. Ces réseaux sont à vocation nationale ou régionale.

Parmi les réseaux nationaux, 2 sont chargés de la surveillance et 2 autres dédiés aux productions conchylicoles. Le REPHY est le réseau de surveillance du phytoplancton toxique et des phycotoxines et le REMI est celui de la surveillance de la qualité des eaux conchylicoles d'un point de vue microbiologique. Le REMORA (REseau Mollusques des Rendements Aquacoles) mesure les performances des élevages dhuîtres, et le REPAMO (REseau Pathologie des Mollusques) suit la santé des coquillages marins du littoral et notamment les causes de mortalités.

Le principal objectif du réseau REPHY est d'observer l'ensemble des espèces phytoplanctoniques des eaux côtières, et de recenser les événements tels que les eaux colorées, les efflorescences exceptionnelles et les proliférations d'espèces toxiques ou nuisibles pour la faune marine ainsi que de surveiller plus particulièrement les espèces produisant des toxines dangereuses pour les consommateurs de coquillages. La présence d'espèces toxiques dans l'eau est le déclencheur du suivi des toxines dans les coquillages. La couverture du REPHY est assurée par les laboratoires côtiers qui se partagent le littoral français.

Le LER/PC réalise des prélèvements dans le Bassin de Marennes-Oléron tout au long de l'année. Le secteur du laboratoire comporte 10 points de suivi répartis des Sables d'Olonne au sud de Marennes. Quatre points intéressent plus particulièrement cette étude : l'Eperon, Le Cornard, Boyard et Auger (Fig.3). La fréquence de ces prélèvements varie suivant la période et les résultats d'analyses. En période dite « normale », un échantillonnage est réalisé une fois par quinzaine. En période dite à « risque » (Mai-Juin) les prélèvements sont réalisés toutes les semaines.



FIGURE 3 – Points considérés dans le traitement de données

Trois types de dénombrement sont réalisés : les flores partielles indicatrices (FPI), les flores toxiques (FTOX) et les flores totales (FT), qui correspondent à l'identification et au dénombrement systématique de toutes les espèces phytoplanctoniques présentes dans la cuve. Ces FT permettent d'approfondir les connaissances sur la distribution des différents genres phytoplanctoniques dans le temps et dans l'espace, et c'est ce dénombrement qui intéresse cette étude.

Les processus du prélèvement à l'analyse sont présentés en annexe 1. Le prélèvement des échantillons d'eau en mer s'effectue à l'aide de bouteille à clapet type Hydrobios ou Niskin par les moyens nautiques d'IFREMER et à marée haute. Ces prélèvements sont fait en sub-surface, couplés aux mesures de température et de salinité de l'eau de mer. La turbidité est quant à elle mesurée au laboratoire et la mesure de la chlorophylle a est faite par fluorimétrie. L'observation et le dénombrement du phytoplancton vivant ou fixé se fait par lecture au microscope inversé. Dans le cas où la concentration du phytoplancton toxique observé s'avère être supérieure à la concentration seuil (définie par le document de prescription), des prélèvements de coquillages sont effectués sur la zone concernée afin d'en extraire les toxines, utilisées pour le test biologique. Le test biologique (ou test souris) est pratiqué sur 3 souris par toxine, révélé positif par la mort de 2 souris sur 3. Le test chimique par HPCL permet la vérification ultérieure de la toxicité potentielle des coquillages. Un arrêté préfectoral peut interdire la pêche et le ramassage de

tout coquillage dans la zone concernée suite à un test positif. La réouverture est possible après 2 tests révélés négatifs effectués sur 2 semaines consécutives.

Les données d'abondance par espèce de phytoplancton acquises par les laboratoires de l'IFREMER sont stockées dans une base appelée QUADRIGE.

## 4.2 Site d'étude : les Pertuis Charentais

Les Pertuis Charentais, situés sur la façade atlantique française, sont caractérisés par un plateau continental vaste et étendu qui induit de faibles fonds. Cette zone englobe plusieurs baies (Baie de l'Aiguillon, Baie d'Aytré, Anse de Fouras et Baie de Marennes-Oléron) et se découpe en 3 zones géographiquement distinctes (fig.2) :

→ Le Pertuis Breton, est un détroit entre l'île de Ré et le littoral vendéen dont la surface de plan d'eau représente environ 360 km<sup>2</sup> (Ifremer, 1999). Il est bordé à l'est par le littoral charentais situé au nord de La Rochelle, communique au nord-ouest avec les eaux océaniques et s'ouvre au sud vers le Pertuis d'Antioche et la baie de La Rochelle par le courreau de La Pallice.

→ Le Pertuis d'Antioche, situé entre les îles de Ré et d'Oléron correspond à la partie inférieure du Pertuis Charentais. Il s'ouvre largement sur l'océan à l'ouest et débouche sur le bassin de Marennes-Oléron au sud.

→ Le Pertuis de Maumusson est quant à lui un simple passage étroit entre l'île d'Oléron et le continent reliant le bassin de Marennes-Oléron à l'océan.

Le littoral charentais est soumis à un climat océanique tempéré, avec des précipitations concentrées d'octobre à janvier, des températures modérées et des vents dominants de secteur nord-ouest. En moyenne annuelle, la pluviométrie varie de 750 mm sur le littoral à 950 mm à l'intérieur des terres. Ces précipitations sont souvent liées aux perturbations provenant de l'Atlantique. Avec une moyenne mensuelle voisine de 40 mm, les mois de juin, juillet et août sont les plus secs (Météo France). Le rôle modérateur joué par l'océan génère des hivers doux et des étés tempérés par la brise de mer en bordure côtière. Les vents prédominants sont de secteur ouest/nord-ouest presque tout au long de l'année. Le littoral est cependant protégé par les îles et les cordons littoraux. Une légère augmentation de l'intensité du vent est parfois observée en avril et pendant la période humide avec des vents pouvant passer de secteur Est. Quant à l'ensoleillement, la Charente-Maritime est avec la Vendée, le département le plus ensoleillé de la côte atlantique.

L'aquaculture est un enjeu économique important pour la région, en effet la conchyliculture en Charente-Maritime est l'activité principale, et la

production représente près du tiers de la production nationale ostréicole et le quart de la production mytilicole. Le Pertuis Breton est placé à l'un des premiers rangs mondiaux pour la production de naissain de moules et au deuxième rang français pour la production de moules de bouchots. Près de 462 parcs à huîtres se répartissent dans le Pertuis d'Antioche, pour une production marchande de près de 5000 tonnes (Ifremer, 1999). Les points de prélèvements destinés à la surveillance ont été choisis en fonction des différents lieux de productions. Sont produites des moules de bouchots à l'Eperon, des moules de filières à Boyard et des huîtres au Cornard et à Auger.

### **4.3 Le traitement des données**

Une première base de données a été réalisée à partir d'extractions de la base de données Quadrige, elle regroupe les 7 points Auger, Boyard, le Cornard, l'Eperon, Aix, la Carrelère et la filière W pour lesquels les données de température de l'eau et de salinité ont été extraites depuis la création du point de prélèvement (fig.3).

La deuxième base de données regroupe les 4 points Flore Totale : Auger, Boyard, le Cornard et l'Eperon. Cette deuxième base contient les abondances de chaque espèce de phytoplancton pour chaque prélèvement depuis la création du point.

Les données sont échelonnées toutes les deux semaines environ, cependant elles sont hebdomadaires en Eté, période à risque pour la toxicité, et les conditions climatiques ne permettent pas une telle régularité en Hiver où beaucoup de données sont manquantes. Le premier travail a été de nettoyer les bases de données des valeurs aberrantes. Pour la base hydro-climatique, les erreurs étaient le plus souvent dues à une inversion de valeurs entre la température et la salinité. Il est beaucoup plus délicat de dire si une valeur est aberrante dans la base de données d'abondance des espèces phytoplanctoniques, la décision prise a été de laisser les valeurs plausibles au vu des techniciens de laboratoire, et de retirer celles inconcevables.

#### **4.3.1 Variation temporelle**

Afin de voir l'évolution temporelle de la température de l'eau et la salinité d'une part, et de l'abondance phytoplanctonique d'autre part, les données ont été régularisées en calculant les moyennes par mois des données, puis les valeurs manquantes ont été obtenues par interpolation linéaire. En-

fin, pour filtrer la variabilité annuelle, les moyennes mobiles avec une fenêtre glissante de 13 mois ont été calculées. Une régression linéaire sur les moyennes mobiles ainsi que la significativité de la pente à l'aide du test de Student à un risque de 5%, a permis de mettre en évidence des évolutions à long terme et des comportements similaires entre différents points.

### 4.3.2 Variation spatiale

La variation spatiale a été mise en évidence par une Analyse en Composantes Principales, à l'aide du logiciel Matlab. Cependant, les ACP sur les données de moyennes mobiles ont montré que le premier axe captait toute l'inertie du nuage : ceci est dû au fait qu'il reste les variations saisonnières qui sont bien marquées pour toutes les séries. On a donc utilisé une autre façon de filtrer ces séries : on a retiré aux moyennes par mois, les moyennes mensuelles de toute la série, ce qui a permis un centrage des données. Cette opération a été réalisée pour les paramètres hydro-climatiques ainsi que pour les séries d'abondances phytoplanctoniques.

### 4.3.3 Recherche de cycles

Le troisième travail a consisté à étudier la présence de cycles dans les séries de température et de salinité. En effet, beaucoup d'articles parlent de cycles correspondant à ceux de l'Oscillation Atlantique Nord (NAO) pour de telles séries.

L'Oscillation Atlantique Nord désigne un phénomène atmosphérique et océanique basé sur l'Atlantique Nord. Ceci consiste en un va-et-vient, dans la direction nord-sud, d'air au-dessus des régions arctiques et islandaises vers la ceinture subtropicale près des Açores et de la péninsule ibérique. Ce va-et-vient a pour conséquences :

- des changements de la pression au sol de telle façon que quand la pression est plus élevée dans la ceinture subtropicale, elle est moins élevée au pôle, et réciproquement
- des variations des vents d'ouest moyens
- des influences sur le climat (températures, précipitations) tout autour du bassin atlantique, et tout particulièrement sur l'Europe.

L'indice NAO mesure la différence de pression atmosphérique entre l'Anticyclone des Açores et la dépression d'Islande. L'Oscillation Nord Atlantique présente

des cycles pluriannuels prépondérant de 8 ans et secondaire de 2,5-3 ans (DAVID, 2006).

Afin d'extraire les cycles prédominants à partir des séries de données, la méthode la plus simple et efficace est la transformée de Fourier rapide (Fast Fourier Transform). La FFT repose sur le principe selon lequel toute série limitée de données classées chronologiquement, peut bien être rapprochée en décomposant ces données en une série de vagues sinusoïdales. Chaque vague sinusoïdale a une longueur de cycle, une amplitude, et une relation en termes de phase avec les autres vagues sinusoïdales qui lui sont propres.

A l'aide du logiciel Matlab, les transformées de Fourier, appelées spectres, ont été calculées pour les séries filtrées avec les deux méthodes différentes. Les pics les plus importants correspondent aux cycles les plus marqués des séries étudiées (de moins d'une demi fois la longueur de la série). L'exemple du spectre de la salinité lissée à l'Eperon est fourni en annexe 2.

#### **4.3.4 Analyse Canonique des Correspondances**

L'analyse canonique des correspondances est une méthode souvent utilisée pour analyser les relations espèces-milieu en écologie. Le but est de voir si les variables descriptives, ici la température de l'eau, la salinité et la turbidité, peuvent aider à expliquer les comptages observés pour les différentes espèces de phytoplancton.

Cette méthode consiste à comprendre les combinaisons linéaires qui existent entre un groupe de variables à expliquer, ici les abondances d'espèces de phytoplancton, et un autre groupe de variables explicatives, les paramètres hydro-climatiques ; il s'agit donc de déterminer les corrélations linéaires entre ces deux groupes. Pour cela, chaque série d'abondance par espèce est prédite par une régression multiple sur les séries de température de l'eau, de salinité ainsi que de turbidité aux mêmes dates. Pour mettre en oeuvre cette méthode, les 247 espèces de phytoplancton identifiées dans les Pertuis représentent chacune une colonne du tableau espèces, et les 3 variables environnementales une colonne du tableau milieu.

R fournit en sortie les sous-espaces sur lesquels sont projetées d'une part les espèces, d'autre part les variables hydroclimatiques, ce qui permet d'identifier les corrélations entre les deux.



Ce qui va nous intéresser ensuite c'est le pourcentage de variance expliquée par l'ACC qui correspond à :  $\% \text{ variance expliquée} = \frac{\sum vpc}{\sum vp}$   
où  $vp$  sont les valeurs propres de l'Analyse Factorielle des Correspondances du tableau espèces et  $vpc$  sont les valeurs propres canoniques, c'est-à-dire les valeurs propres de l'ACC.

Le logiciel R a été utilisé pour tester la corrélation entre les variables hydro-climatiques et les comptages à l'aide de simulations de Monte-Carlo.

## 5 Résultats

### 5.1 Les variations hydro-climatiques

#### 5.1.1 Variations temporelles

Le calcul des régressions linéaires sur les données de moyennes mobiles avec fenêtre glissante de 13 mois a été réalisé sur 3 périodes différentes, ceci est dû au fait que les séries ne commencent pas toutes en même temps, et l'accroissement d'une série ne peut être comparable à une autre que sur une même période. La p-valeur indique si la pente de la régression est significative par le test de Student à un risque de 5%. Voici un exemple à l'Eperon pour la température de l'eau aux trois périodes considérées :

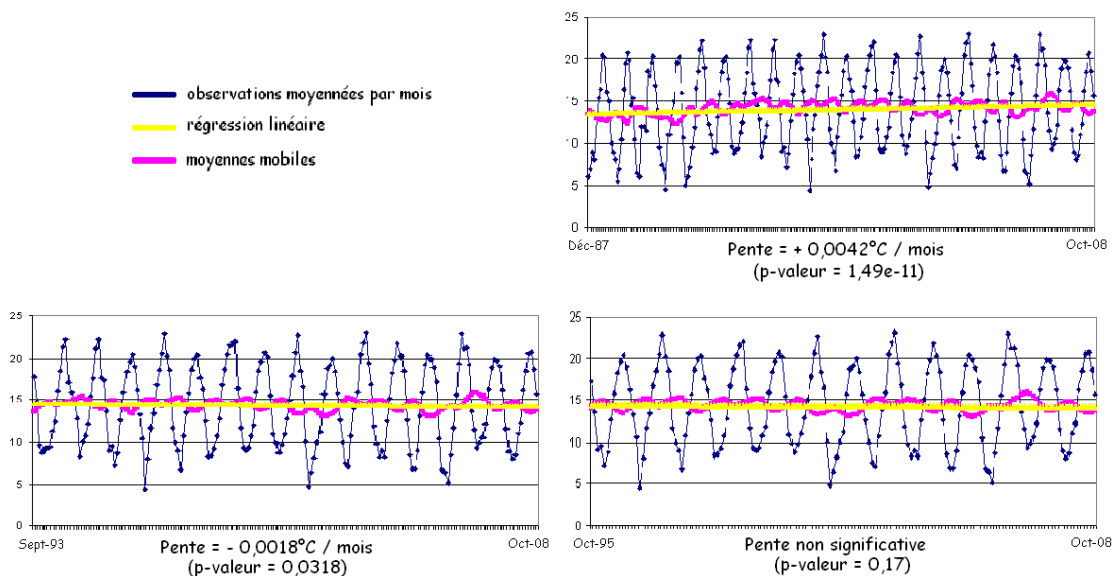


FIGURE 4 – Régressions linéaires des séries de température de l'eau à l'Eperon sur les 3 périodes considérées

Les résultats pour chaque point ont été répertoriés dans le tableau suivant. La moyenne de chaque série est indiquée afin d'avoir un autre point de comparaison. Enfin, lorsque la pente est significative, l'accroissement de la série sur la période considérée a été noté.

		Déc 1987 - Oct 2008 (251 mois)			Sept 1993 - Oct 2008 (182 mois)		
		Pente (p-valeur)	Moyenne	$\Delta$ (série)	Pente (p-valeur)	Moyenne	$\Delta$ (série)
Température de l'eau	Auger				-0,0024 (0,00224)	14,42	-0,44
	Boyard		14,37		-0,0016 (0,0736)	14,45	
	Cornard	0,0007 (0,190)	14,11	+1,04	-0,0018 (0,0318)	14,37	-0,32
	Eperon	0,0042 (1,49e-11)	14,11		-0,002 (0,0172)	14,37	-0,36
	Aix		14,48	+0,31	-0,0017 (0,0384)	14,59	-0,31
	Carrelère	0,0013 (0,0164)	14,48		-0,0004 (0,583)	14,25	
	Fillière W						
Salinité	Auger				0,0084 (1,01e-11)	32,4	+1,52
	Boyard		32,39		0,0052 (7,4e-5)	32,21	+0,95
	Cornard	-0,0008 (0,428)	31,48	+2,28	0,0080 (1,78e-5)	31,76	+1,45
	Eperon	0,0091 (3,67e-13)	31,48		0,0042 (0,00538)	31,57	+0,77
	Aix		31,94		0,0099 (1,48e-8)	31,65	+1,8
	Carrelère	-0,0013 (0,265)	31,94		0,0042 (0,000659)	32,87	+0,76
	Fillière W						

		Oct 1995 - Oct 2008 (157 mois)		
		Pente (p-valeur)	Moyenne	$\Delta$ (série)
Température de l'eau	Auger	-0,0028 (0,00694)	14,8	-0,44
	Boyard	-0,0025 (0,0106)	14,38	-0,40
	Cornard	-0,0014 (0,211)	14,42	
	Eperon	-0,0015 (0,17)	14,34	
	Aix	-0,001 (0,284)	14,32	
	Carrelère	-0,0008 (0,464)	14,54	
	Fillière W	0,0007 (0,489)	14,2	
Salinité	Auger	0,0068 (2,84e-8)	32,51	+1,07
	Boyard	0,0055 (0,000232)	32,57	+0,86
	Cornard	-0,0004 (0,775)	32,4	
	Eperon	0,0034 (0,151)	31,96	
	Aix	-0,0012 (0,502)	31,74	
	Carrelère	0,0054 (0,013)	31,87	+0,84
	Fillière W	0,0011 (0,475)	32,99	

Si la température a augmenté depuis 1987 aux points la Carrelère et l'Eperon, l'inversion de cette tendance est visible depuis 1993, où une faible baisse à tous les points considérés est notée. La hausse de température dans les Pertuis Charentais aurait donc eu lieu entre 1987 et 1993. Si cette remarque reste encore à confirmer par de plus amples analyses, il est aisé de conclure que les points significatifs se comportent de la même façon en terme de température de l'eau.

En ce qui concerne la salinité, il est clair qu'elle a tendance à augmenter quels que soient la période et le point considérés. Le comportement est donc uniforme dans les Pertuis au niveau de ces deux paramètres hydro-climatiques.

### 5.1.2 Variations spatiales

Voici les plans 1-2 et 2-3 des ACP des séries filtrées de la température de l'eau et de la salinité :

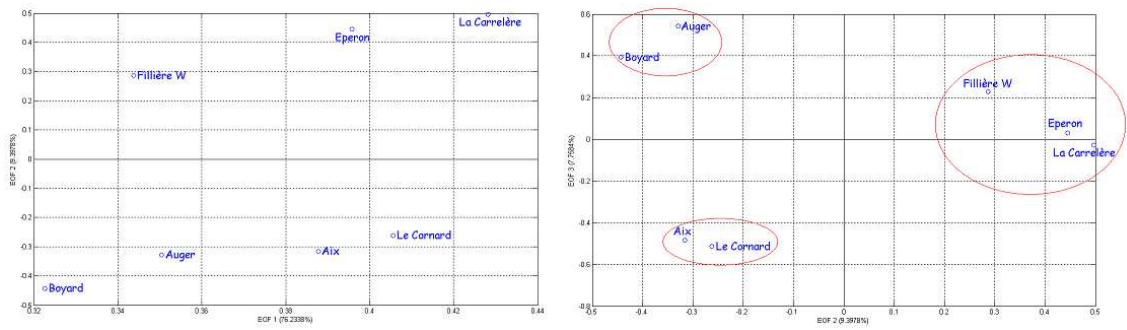


FIGURE 5 – Plans 1-2 et 2-3 de l'ACP sur les données de température de l'eau

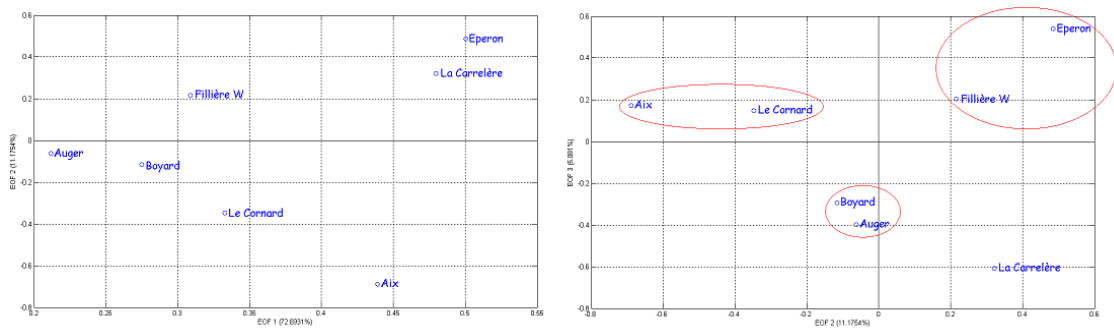


FIGURE 6 – Plans 1-2 et 2-3 de l'ACP sur les données de salinité de l'eau

Pour les deux ACP, l'axe 2 sépare nettement les points du Pertuis Breton de ceux du Pertuis d'Antioche, tandis que l'axe 1 représente la position d'Ouest en Est, c'est-à-dire ordonne les points des plus océaniques aux plus terrestres.

Dans le plan 2-3 de chaque ACP, on a clairement trois masses d'eau qui apparaissent au sein du Pertuis Charentais : les trois sites du Pertuis Breton, l'Eperon, la Carrelère et la filière W, les points Aix et le Cornard, et les deux points les plus au sud, Boyard et Auger.



FIGURE 7 – Les Pertuis Charentais répartis en trois masses d'eau

### 5.1.3 Recherche de cycles

Le tableau suivant regroupe les principaux pics de la transformée de Fourier des séries de moyennes mobiles d'une part et de moyennes par mois centrées par la moyenne mensuelle d'autre part.

	Auger (1995)	Boyard (1993)	Cornard (1987)	Eperon (1987)	Aix (1990)	Carrelère (1987)	fillière W (1991)
Salinité	13,08	7,58	7,03	6,97	5,9167	6,97	8,04
Moyennes Mobiles	4,36	3,03	3,01	2,99	3,55	2,99	3,22
Salinité	14,08	3,23	7,36	7,3	6,25	7,3	8,54
Moyennes par mois centrées	3,52	1,47	3,15	3,13	1,44	1,46	1,42
par la moyenne mensuelle	1,56	8,08	1,47	1,46	1,1	3,13	1,14
			0,53		3,125	1,15	
Température	3,27	3,03	1	1	0,99	0,99	1
Moyennes Mobiles	1	1,01	3,02	3,51	2,97	4,18	3,22
Température	2,82	3,23	2,77	22,08	3,14	0,48	1,71
Moyennes par mois centrées	1,76	1,8	4,43	1,84	0,94	3,13	2,85

Dans chacun des cas, l'un des pics remarquables à tous les points correspond à un cycle d'environ 3 ans que ce soit pour la température de l'eau ou pour la salinité. Ce cycle peut être directement mis en relation avec le cycle secondaire de la NAO de 2,5-3 ans.

Le deuxième pic visible pour la plupart des points correspond à un cycle de 6 à 8 ans pour la salinité. Seul le point Auger n'a pas ce pic, mais ceci peut être dû au fait que la série ne commence qu'en 1995 soit 13 années de données, ce qui ne permet de voir que des cycles inférieurs à 6 ans.

On peut donc avancer que ces cycles de 7 ans environ et de 3 ans sont des conséquences des effets de la NAO sur les Pertuis. D'autres articles ont déjà mis en évidence l'influence de la NAO sur la côte atlantique française (DAVID, 2006).

## **5.2 Les variations phytoplanctoniques**

Seuls les points Auger, Boyard, le Cornard et l'Eperon sont ici considérés, ce sont les 4 points de prélèvements Flore Totale du REPHY dans les Pertuis Charentais. Les proportions de diatomées, dinoflagellés et autres pour les 4 points ainsi que les abondances moyennes par mois sont fournies en annexes 3 et 4.

La communauté phytoplanctonique est majoritairement composée de diatomées. Il y a très peu de phytoplancton en Hiver, et la communauté est multipliée par 8 à 10 pendant la période chaude. Le point Eperon est le plus peuplé tandis que les trois autres points sont équivalents. Les dinoflagellés apparaissent surtout de Mai à Octobre. Proportionnellement, c'est le point Cornard qui en est le plus peuplé avec au mois de Juin environ 70% de dinoflagellés en moyenne.

### **5.2.1 Variations temporelles**

Afin de voir les évolutions de l'abondance totale du phytoplancton et de l'abondance des diatomées et des dinoflagellés, les régressions linéaires sur les séries de moyennes mobiles ont de nouveau été calculées, et ceci sur trois périodes.

		Oct 1987 - Oct 2008			Sept 1993 - Oct 2008		
		Pente (p-valeur)	Moyenne	$\Delta$ (série)	Pente (p-valeur)	Moyenne	$\Delta$ (série)
Abondance totale	Auger				376,3 (4,6e-3)	2e5	+6,8e4
	Boyard				466,1 (4,5e-3)	2,2e5	+8,4e4
	Cornard	749,6 (4,9e-16)	1,9e5	+1,9e5	2619,3 (<2e-16)	3,5e5	+4,7e5
	Eperon	2329,8 (<2e-16)	2,7e5	+5,9e5			
Diatomées	Auger				542 (3,6e-5)	1,6e5	+9,8e4
	Boyard				685,6 (1e-6)	1,5e5	+1,2e5
	Cornard	632,1 (2,9e-16)	1,3e5	+1,6e5	2760,9 (<2e-16)	3,2e5	+5e5
	Eperon	2287,6 (<2e-16)	2,5e5	+5,8e5			
Dinoflagellés	Auger				-89,8 (1e-3)	2,5e4	-1,6e4
	Boyard				-191,2 (0,12)	6,2e4	
	Cornard	106,1 (0,11)	5,2e4		-114,7 (7,5e-5)	2,1e4	-2,1e4
	Eperon	29,1 (0,08)	1,7e4				

		Oct 1995 - Oct 2008		
		Pente (p-valeur)	Moyenne	$\Delta$ (série)
Abondance totale	Auger	269,8 (0,21)	2,3e5	
	Boyard	168,5 (0,32)	2,1e5	
	Cornard	158,9 (0,46)	2,3e5	
	Eperon	2784,9 (1,3e-11)	3,8e5	+4,3e5
Diatomées	Auger	1004,8 (6e-5)	2e5	+1,6e5
	Boyard	618,9 (3,2e-4)	1,7e5	+9,6e4
	Cornard	790,5 (2,2e-5)	1,6e5	+1,2e5
	Eperon	2996 (8,5e-13)	3,5e5	+4,7e5
Dinoflagellés	Auger	-210 (2,9e-7)	2,5e4	-3,3e4
	Boyard	-270,5 (<2e-16)	2,8e4	-4,2e4
	Cornard	-577 (3,2e-4)	6,8e4	-9e4
	Eperon	-159,3 (2,4e-5)	2e4	-2,5e4

Il est clair que tous les points se comportent de la même façon quels que soient la période et le comptage considérés. En effet, l'abondance totale est en augmentation à tous les points considérés avec une hausse plus importante à l'Eperon. Il en est de même pour l'abondance des diatomées qui subit à peu près la même augmentation que l'abondance totale. Seule l'abondance des dinoflagellés est en diminution sur les deux dernières périodes, et de nouveau tous les points subissent cette baisse.

### 5.2.2 Variations spatiales

L'enjeu est maintenant de voir si les trois masses d'eau mises en évidence par les ACP sur les paramètres hydrologiques se retrouvent dans les séries de comptage. Pour cela, de nouvelles ACP ont été réalisées sur les données d'abondance totale, de nombre de diatomées et de nombre de dinoflagellés pour les 4 points Flore Totale.

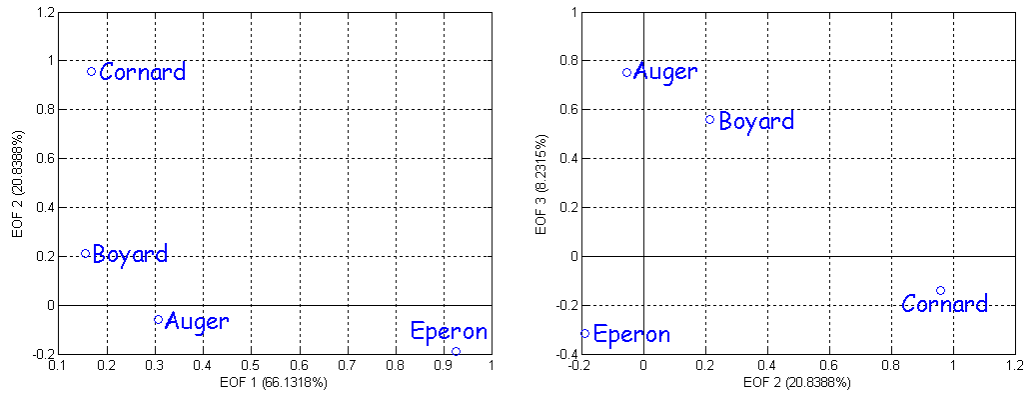


FIGURE 8 – Plans 1-2 et 2-3 de l’ACP sur les données d’abondance totale du phytoplancton

Pour l’abondance totale, l’axe 1 sépare les 3 points du Pertuis d’Antioche de l’unique point du Pertuis Breton. De plus, Auger et Boyard restent proches dans les deux plans.

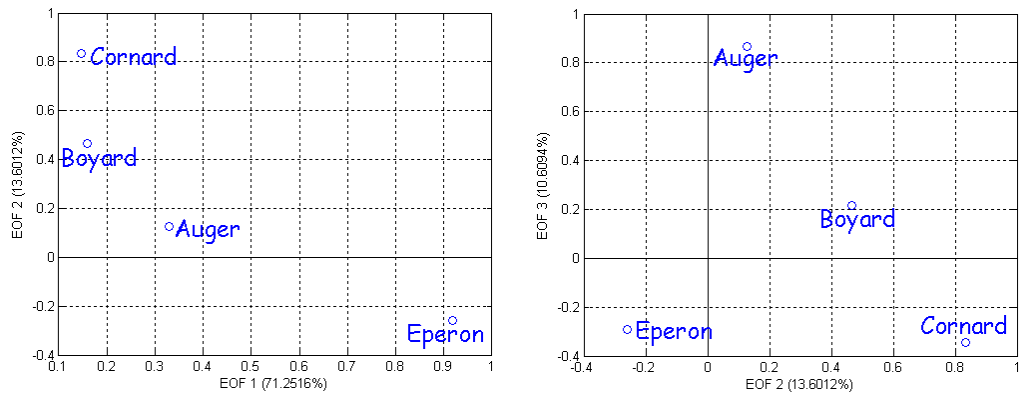


FIGURE 9 – Plans 1-2 et 2-3 de l’ACP sur les données d’abondance de diatomées

De nouveau l’axe 1 sépare les deux pertuis pour l’abondance de diatomées, et il en est de même pour l’axe 2. Dans le plan 2-3, on constate un regroupement Auger/Boyard qui sont tous deux positivement corrélés aux deux axes.



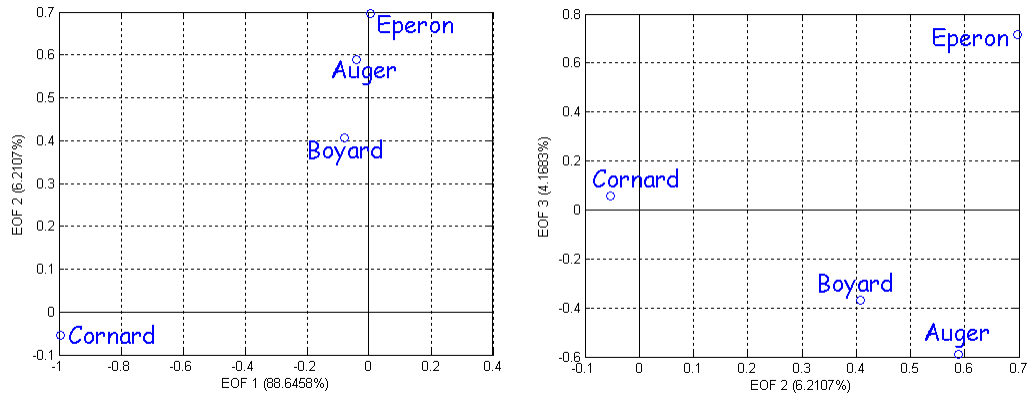


FIGURE 10 – Plans 1-2 et 2-3 de l'ACP sur les données d'abondance de dinoflagellés

C'est pour l'abondance de dinoflagellés que les trois masses d'eau réapparaissent le plus clairement. En effet, quel que soit le plan considéré, Auger et Boyard sont corrélés de la même façon avec chaque axe, tandis que le Cornard et l'Eperon leurs sont chacun opposés selon un axe différent.

Ceci confirme ce découpage en trois masses d'eau des Pertuis Charentais constaté pour les données de température de l'eau et de salinité.

### 5.3 Analyse Canonique des Correspondances

Afin de faciliter la lecture et l'interprétation des résultats de l'ACC, seules les 10 espèces les plus présentes dans les Pertuis sont représentées : *Asterionellopsis glacialis* (ASTE), *Chaetoceros* (CHAE), *Chaetoceros curvisetus + debilis + pseudocurvisetus* (CHAC), *Chaetoceros socialis* (CHAS), *Gymnodinium* (GYMN), *Lepidodinium chlorophorum* (LEPI), *Leptocylindrus* (LEPT), *Leptocylindrus minimus* (LEPM), *Prorocentrum triestinum* (PROR) et *Skeletonema costatum* (SKEL).

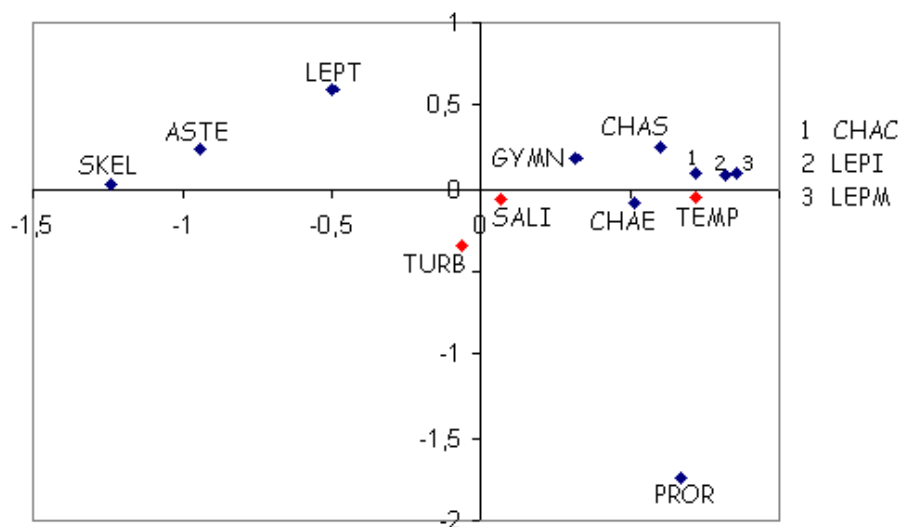


FIGURE 11 – Sortie de l'ACC représentant les 3 variables hydro-climatiques et les 10 espèces de phytoplancton les plus représentées dans les Pertuis Charentais

Si en ce qui concerne les variables salinité et turbidité, il est difficile d'avancer un quelconque résultat, en revanche il est clair que certaines espèces sont plus favorables à une température de l'eau élevée : les 3 espèces de dinoflagellés, *Gymnodinium*, *Lepidodinium chlorophorum* et *Prorocentrum triestinum*, en font partie, de même que l'espèce de diatomées *Chaetoceros*. Ce phénomène se retrouve lorsque l'on considère l'ensemble des espèces où 80% des espèces de dinoflagellés sont positivement corrélées avec la température. Ceci confirme le fait que les dinoflagellés ont besoin d'eau chaude pour se reproduire. Il est moins évident de conclure une quelconque préférence pour le groupe des diatomées beaucoup plus épars.

Le pourcentage de variance expliquée par l'ACC obtenu à l'aide du logiciel R est de 5,2%. Un test de Monte-Carlo sur 1000 simulations a été effectué afin de confirmer la corrélation entre les paramètres hydro-climatiques et les comptages d'espèces de phytoplancton. L'hypothèse nulle est l'indépendance des données hydro-climatiques et des abondances des espèces phytoplanctoniques. Voici les sorties R :

*Observation : 0.05227334*

*Based on 1000 replicates*

*Simulated p-value : 0.000999001*  
*Alternative hypothesis : greater*

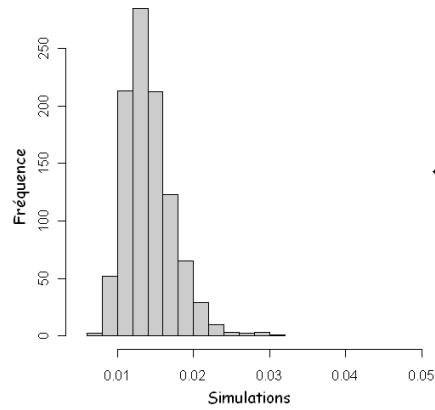


FIGURE 12 – Histogramme des simulations

La valeur observée, 0.05227334, est largement supérieure aux valeurs obtenues par simulation de Monte-Carlo, l'hypothèse nulle, soit l'indépendance au risque de 0,1% (1000 simulations), est donc rejetée.

La température de l'eau et la salinité sont donc bien corrélées aux abondances des espèces phytoplanctoniques, et les variables hydro-climatiques expliquent environ 5% de ces abondances.

## 6 Discussion

Les écosystèmes côtiers présentent des spécificités hydrodynamiques et biologiques propres, ceux-ci obéissant aux influences océaniques et aux apports continentaux. Les eaux côtières sont soumises aux cycles saisonniers de variation thermique, ainsi qu'aux variations de la profondeur de la couche de mélange, mais de nombreux autres facteurs peuvent influencer le développement des populations phytoplanctonique. Les principaux facteurs de développement sont le rayonnement et la turbidité, qui eux conditionnent des facteurs secondaires tels que la température des eaux, la quantité de lumière disponible pour le phytoplancton ou la distribution des éléments nutritifs (Queguiner). Ces différents facteurs, souvent variables suivant la localisation géographique, induisent par conséquent des variations spatiales au niveau de la diversité et de l'abondance du phytoplancton.

On a mis ici en évidence quelques points communs sur les évolutions à long terme des différents points considérés. Il est clair que la salinité va en augmentant ces dernières années et ceci dans l'ensemble des Pertuis. L'importance des variations de salinité dépend directement des débits des fleuves et rivières se jetant dans les Pertuis, eux-même sous l'influence plus ou moins directe des précipitations qui alimentent le bassin versant.

L'Oscillation Atlantique Nord est clairement un facteur déterminant dans le comportement des paramètres environnementaux du littoral français. Le fait que les périodicités de la NAO se retrouvent sur les deux paramètres environnementaux testés dans les Pertuis implique que les masses d'eau sont fortement soumises au signal climatique enregistré dans l'Océan Atlantique bien que ce signal soit difficilement perceptible dans un écosystème subissant les contraintes continentales. Contrairement aux masses d'eau de l'Atlantique Nord, l'influence de la NAO sur les masses d'eau des Pertuis ne s'exerce probablement pas directement par l'interaction avec l'atmosphère mais plutôt par les effets de la NAO sur les courants ou les précipitations (débits fluviaux) (DAVID, 2006).

Si les diatomées sont en développement, gonflant ainsi les chiffres d'abondance totale de phytoplancton à chaque point, les dinoflagellés sont en régression au moins depuis ces 15 dernières années. Ce résultat mériterait d'être appuyé par une recherche plus avancée sur les besoins des dinoflagellés pour se développer, afin de voir quel phénomène provoque cette baisse.

Même s'il y a des tendances globales au sein des Pertuis Charentais, ils

sont clairement divisés en trois masses d'eau conditionnées entre autre par les débits des fleuves et rivières ainsi que par la géographie locale. Ces masses d'eau se définissent, non seulement d'un point de vue hydro-climatique, mais également d'un point de vue biologique.

Il est possible que certains biais se soient glissés dans cette étude. Effectivement, le dénombrement et l'identification du phytoplancton n'ont pas toujours été effectués par la même personne au fil des années depuis la mise en oeuvre du REPHY. Une Assurance Qualité a vu le jour au sein du LER/PC en 2005, attestant de méthodes de travail reconnues et formalisées dans une documentation qualité. Ceci permettra à l'avenir une plus grande fiabilité des données issues de Quadrigé.

## 7 Conclusions et perspectives

Les résultats de cette étude montrent toute la complexité des écosystèmes composant les Pertuis Charentais. Si la proximité fait qu'ils subissent des variations identiques à l'échelle européenne, d'un point de vue local, on constate des différences dues aux impacts des fleuves et rivières ainsi qu'à l'océan.

Les paramètres hydro-climatiques conditionnent le développement du phytoplancton. Mieux comprendre les relations est primordial tant sur le plan économique que sanitaire. Les enjeux montrent l'intérêt de développer les analyses et de les réaliser sur tous les sites pour lesquels on a suffisamment de données. Cette étude est une amorce à un travail beaucoup plus important, étendu aux sites du bassin d'Arcachon et à la baie du Mont-Saint-Michel. La mise en place de l'Assurance Qualité au sein d'IFREMER et la longueur des séries peut engendrer une recherche approfondie et fiable, qui pourrait devenir un support intéressant et encore jamais réalisé en ce qui concerne ces sites.

## 8 Bibliographie

GAILHARD I., 2003. Analyse de la variabilité spatio-temporelle des populations microalgales côtières observées par le Réseau de Surveillance du Phytoplancton et de Phycotoxines (REPHY). Thèse de doctorat. Université d'Aix-Marseille II.

BLENCKNER T., HILLEBRAND H., 2002. North Atlantic Oscillation signatures in aquatic and terrestrial ecosystems - a meta-analysis. Erken Laboratory, Department of Limnology, Evolution Biology Centre, Uppsala University, Sweden.

ALVES-DE-SOUZA C., GONZALES M-T, IRIARTE J-L, 2008. Functional groups in marine phytoplankton assemblages dominated by diatoms in fjords of southern Chile. Instituto de Biología Marina, Universidad Austral de Chile.

MANTUA N., 2004. Methods for detecting regime shifts in large marine ecosystems. Climate Impacts Group, Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Oceans, University of Washington, Seattle.

OTTERSEN G., 2001. Ecological effects of the North Atlantic Oscillation. Institute of Marine Research, Norway.

GARRIC J., 2006. Influence des facteurs hydroclimatiques sur la diversité et l'abondance du phytoplancton dans les Pertuis Charentais. Université de Perpignan.

SILVERIO N., 2005. Séries chronologiques.

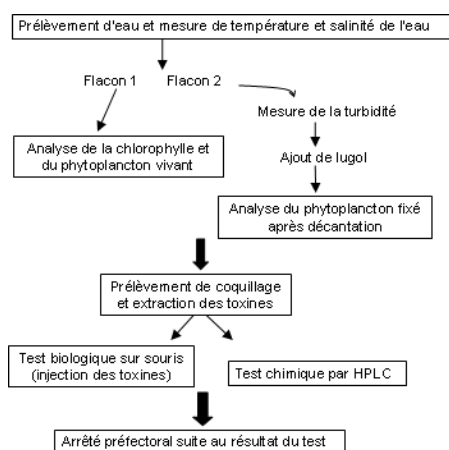
WOEHLING D., 2005. Seasonal and longer term trends in sea temperature along the French North Sea coast, 1975 to 2002. IFREMER Centre de Nantes.

DAVID V., 2006. Dynamique spatio-temporelle du zooplancton dans l'estuaire de la Gironde et implications au sein du réseau trophique planctonique. Laboratoire d'Océanographie Biologique, Université Bordeaux 1.

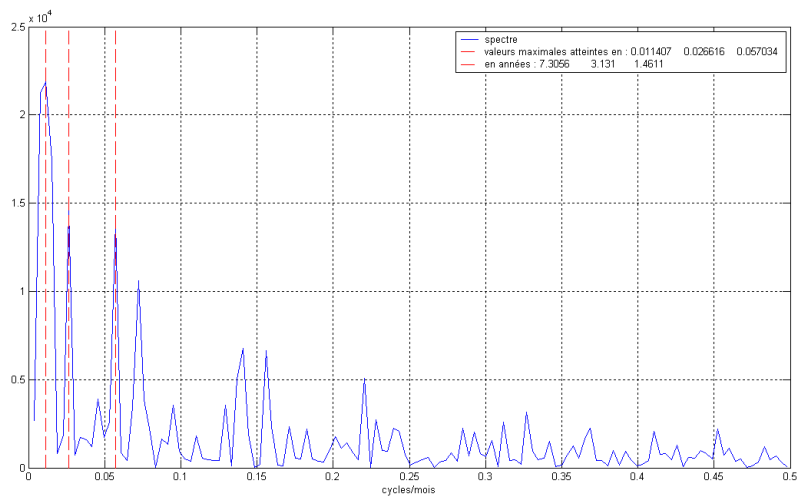
QUEGUINER, B., Structure et Fonctionnement des Écosystèmes Pélagiques Marins. Centre d'Océanologie de Marseille.

## 9 Annexes

### ANNEXE 1 : Prélèvements et analyses réalisés par le REPHY

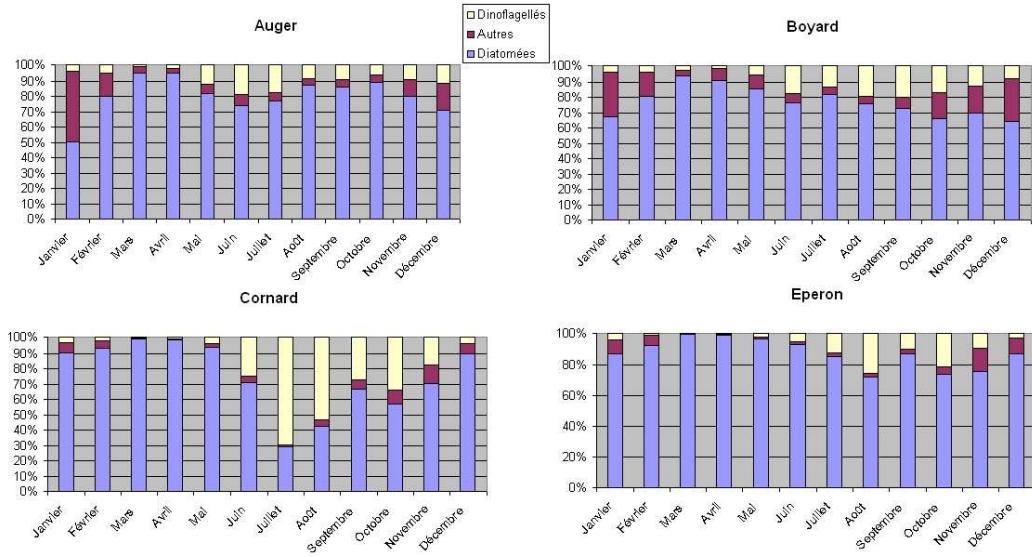


### ANNEXE 2 : Spectre de la salinité lissée à l'Eperon (méthode des moyennes mensuelles)





ANNEXE 3 : Proportion moyenne par mois  
Diatomées/Dinoflagellés/Autres aux 4 points Flore Totale



ANNEXE 4 : Abondance moyenne par mois du phytoplancton aux 4 points Flore Totale

