

N° d'ordre : 3339

THESE

présentée à

L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LILLE

UFR de Chimie

pour obtenir le grade de

DOCTEUR

Spécialité : Spectrochimie, Molécules, Solides, Réactivité

par

Sawsan MSOKAR

**ÉTUDE DE LA MATIERE ORGANIQUE DANS DEUX ÉCOSYSTEMES
ESTUARIENS : LES ESTUAIRES DE LA SEINE ET DE L'AUTHIE**

Soutenue le 24 septembre 2003 devant la commission d'examen :

M. Jean-Claude FISCHER

Professeur

Président

M. Antoine ABOUKAIS,

Professeur

Rapporteur

Mme Sonja LOJEN

Senior Research

Rapporteur

M. Michel WARTEL

Professeur

Directeur de thèse

Introduction

Les estuaires sont des interfaces entre les continents et le milieu marin. Ce sont des zones complexes en raison de l'existence de forts gradients physico-chimiques induits par le mélange des eaux douces et des eaux salées. Elles ont une importance très grande en termes écologiques et économiques. De plus, leur fonctionnement peut être modifié, voire altéré par l'activité humaine (rejets industriels, aménagements de berges, travaux importants au niveau du bassin versant, etc.).

Les différents acides gras et stérols, constituants importants de la matière organique estuarienne, peuvent être séparés et quantifiés par chromatographie en phase gazeuse (GC). Les acides gras ont été abondamment utilisés par les géochimistes pour quantifier et identifier le phytoplancton et les bactéries dans la colonne sédimentaire et dans la colonne d'eau.

Les objectifs principaux de ce travail ont été :

- de décrire et de quantifier la matière organique lipidique (les acides gras et les stérols), dans le sédiment et dans les particules présentes dans la colonne d'eau, dans deux sites : l'estuaire de la Seine et l'estuaire de l'Authie
- d'utiliser les marqueurs biogéochimiques pour affiner l'étude de l'origine de la matière organique phytoplanctonique et bactérienne.

Le premier chapitre présente quelques généralités sur la matière organique étudiée et précise la définition des acides gras et des stérols et leur utilisation comme marqueurs biogéochimiques.

Le deuxième chapitre détaille les différentes méthodes d'analyses utilisées au cours de travail. La chromatographie en phase gazeuse associée à un détecteur par ionisation de flamme a été la technique principale utilisée.

Le troisième chapitre est consacré à l'étude de l'origine et du devenir de la matière organique lipidique présente dans les sédiments de vasières de l'estuaire de

la Seine : la vasière de Oissel, la vasière Nord et une vasière subtidale en Baie de Seine. Ces sites ont été choisis en raison principalement d'une dynamique sédimentaire différente et de paramètres de forçage des processus diagénétiques variés.

Le quatrième chapitre est entièrement orienté vers l'étude de la matière organique dans l'estuaire de l'Authie. L'emprise géographique et la contamination distinguent cet estuaire du précédent. La matière organique particulaire a été étudiée au cours d'un cycle de marée en période de bloom phytoplanctonique.

Ce travail tente d'apporter, grâce à l'utilisation de marqueurs biogéochimiques (acides gras et stérols) une contribution à une meilleure compréhension du fonctionnement des écosystèmes littoraux, thème central des préoccupations du laboratoire d'accueil « Ecosystèmes Littoraux et Côtiers » UMR CNRS 8013.

1. Les lipides

Les lipides fournissent des informations importantes sur l'activité biologique dans la colonne d'eau et les processus qui ont lieu pendant la sédimentation. Ils peuvent représenter en carbone jusqu'à 40% des organismes marins et même 60% du carbone incorporé dans les cellules phytoplanctoniques. Leur structure moléculaire joue un rôle clé dans la composition de la membrane, du stockage de l'énergie et du règlement des processus métaboliques. Aussi leur analyse des lipides peut permettre de connaître l'évolution de la source et le devenir de la matière organique.

Les lipides désignent toutes substances solubles dans des solvants organiques mais insolubles dans l'eau. Ils sont alors classés dans trois groupes :

- Les lipides simples insaponifiables correspondant aux stérols, acides gras libres et aux hydrocarbures.

Les lipides simples apolaires saponifiables tels que les monoglycérides (MG), triglycérides (TG), ester cuticulaire, ester de stérol et les cérides (qui donnent après saponification, au plus, deux types de composés après hydrolyse). Les

triglycérides sont les constituants des graisses dans les cellules végétales et animales. Par contre, les cires sont la constituante majeure dans les animaux planctoniques d'eau douce et marine, mais elles sont rarement présentes dans les phytoplanctons et dans les bactéries.

- Les lipides complexes (polaires) comme les glycolipides et les phospholipides. Par la saponification, ils donnent au moins trois composés. Les lipides complexes présents en grandes quantités dans les membranes cellulaires et subcellulaires.

Les lipides proviennent de différentes sources : marine, terrestre, anthropogènes. Ils se trouvent dans les organismes vivants, les particules, les sédiments et dans l'eau de mer et l'eau douce. L'importance de l'étude des lipides des algues est liée aux fait :

- Que les lipides sont une de trois classes majeures des matières organiques algales ~5-20 %.
- Que les lipides sont moins réactifs par rapport aux protéines et carbohydrates, pour cette raison, ils peuvent être considérés comme marqueurs biogéochimiques.
- Qu'ils sont sensibles aux conditions rédox et aux conditions de la dégradation.
- Et que certains lipides spécifiques caractérisent des communautés bactériennes.

On peut indiquer que la proportion de lipides par rapport aux carbonnes organiques particulaires totaux et à des biomasses autotrophes (Chla ou fluorescence) est considérée comme un indice de maturité des phytoplanctons d'un écosystème.

1.1. Les acides gras

Les acides gras sont des composés fondamentaux au sein de la matière lipidique. Ils sont des composés majeurs dans la colonne d'eau et le sédiment récent. Ils sont présents dans la matière organique sous forme estérifiée (acyl-glycérols,

cires, stérides, glycolipides et phospholipides) ou libres. Les acides gras libres sont libérés des esters naturels par hydrolyse enzymatique. Ce sont généralement des composés peu abondants dans les organismes vivants. Lorsque la proportion d'acides gras libres dépasse 25% des lipides particuliers totaux, elle peut être utilisée comme un indice de dégradation avancée de la matière organique particulaire.

Les acides gras diffèrent par leur nombre d'atomes de carbone, le nombre et la position des doubles liaisons ; les acides insaturés, grâce à leurs doubles liaisons, peuvent être oxydés rapidement, ceci peut être indiquer l'état de fraîcheur de la matière organique. A l'inverse une forte abondance en acides gras saturés, peut constituer un indice de dégradation avancée de la matière organique.

Les acides gras sont des acides organiques monocarboxyliques qui ont, pour la plupart d'entre eux une chaîne hydrocarbonée linéaire de 12 à plus de 32 atomes de carbone. Ces chaînes alkyles empêchent la solubilisation dans l'eau et donnent de la rigidité. La chaîne carbonée peut être saturée ou insaturée, de configuration *cis* pour la plupart des formes d'origine naturelle.

Il existe deux nomenclatures différentes pour numéroter les atomes de carbone :

- La nomenclature ω : les carbones de la chaîne sont numérotés par rapport au groupe méthyl terminal.
- La nomenclature Δ : les carbones sont numérotés par rapport à la fonction carboxylique.

La nomenclature que nous avons choisi est La nomenclature ω . La formule, qui caractérise les acides gras est $C_n : p\omega_x$ (n est le nombre d'atomes de carbone, p indique le nombre de doubles liaisons et x indique la position de la première double liaison localisée entre les atomes de carbone x et x+1, comptabilisés à partir du groupe méthyl terminal).

Les acides gras se subdivisent en différentes catégories :

- Les acides gras saturés avec une chaîne linéaire variant de 12 à 22 atomes de carbone.
- Les acides gras saturés lourds, qui possèdent plus de 22 atomes de carbone.
- Les acides gras ramifiés, qui ont un groupement méthyl branché en position iso ou antéiso sur la chaîne linéaire. Il existe aussi des acides gras possédant une fonction cyclique ou époxyde.
- Les acides gras insaturés, qui possèdent une double liaison ou plusieurs doubles liaisons séparées par un seul groupe CH₂.
- Les acides gras hydroxylés

1.2. Les stérols

Les stérols sont des triterpènes tétracycliques dont le squelette de base est un hydrocarbure de type perhydro-1,2-cyclopentaphénanthrène sur lequel différents radicaux peuvent être greffés. Ils ont des structures et des rôles biologiques variés. Ce sont des composés caractérisés par leur stabilité chimique et leur résistance à la biodégradation dans le milieu marin. Ils ne représentent au plus que quelques % des lipides totaux des organismes vivants, ceci se traduit donc par des teneurs relativement faibles de ces composés dans la matière organique particulaire récente.

Les stérols peuvent être divisés en sténols et stanols. Les sténols possèdent une instauration dans un des cycles de leur structure moléculaire, alors que les stanols ont leurs cycles entièrement saturés.

La nomenclature de stérol est symbolisée par un noyau polycyclique (cyclopentanophénanthrène) qui possèdent entre 27 et 30 atomes de carbones. Les dénominations β et α sont définis dans le cas où le groupe hydroxyle sur le carbone n°3 est orienté au dessus du cycle, (représenté par un tiret pointillé). Concernant la chaîne latérale, elle peut avoir une configuration β ou α .

2. L'estuaire de la Seine

Huit carottes ont été prélevées dans l'estuaire de la Seine et ceci à trois sites distincts (tableau .2). La vasière de Oissel située dans l'estuaire amont (partie fluviale de l'estuaire), la vasière Nord située dans l'estuaire moyen, c'est-à-dire dans la zone de mélange eau douce- eau de mer, et en fin à l'embouchure de l'estuaire (baie de Seine).

Les carottes sont prélevées à l'aide de tubes en polyéthylène de 30 cm de long et 10 cm de diamètre. Ces tubes sont enfoncés verticalement dans le sédiment. Après retour sur la terre ferme, les carottes sont tranchées et ensuite sont bien homogénéisées puis sont récupérées dans une barquette d'aluminium puis conservée à -20°C dans le congélateur.

Site	Vasière de Oissel			Vasière Nord			Baie de Seine	
Salinité (PSU)	$\cong 0$			(15-20)			$\cong 35$	
Date	24/09/01	22/01/02	05/03/02	03/04/01	24/10/01	04/02/02	20/03/02	24/09/02
Débit (m^3/s)	633	836	1764	2100	744	969	1111	185
Coefficients de marée	46	39	69	43	33	69	60	84

Tableau (2) : données hydrodynamiques et de quelques paramètres physiques des campagnes étudiées sur les trois sites dans l'estuaire de la Seine.

Lors de ce travail, la matière organique sédimentaire a été étudiée d'un point de vu global par l'analyse du carbone organique et d'un point de vue spécifique par l'analyse des marqueurs lipidiques.

Les teneurs en COT varient globalement entre 1 et 5%. Elles apparaissent légèrement supérieures dans les sédiments de Oissel, notamment par rapport à ceux de la vasière Nord. Les profils obtenus sont relativement verticaux avec cependant des points qui s'écartent de la moyenne. Le fait que ces sédiments subissent, de façon particulière sur chaque site, des phénomènes de dépôt – resuspension explique probablement le type de profil obtenu. Par ailleurs, la bioturbation a probablement aussi une influence dans l'homogénéisation des sédiments.

Les profils en acides gras totaux et en stérols totaux exprimés en $\mu\text{g}/\text{mg}$ de COT sont aussi relativement homogènes avec quelques points qui s'écartent de la tendance générale. Cependant les profils en acides gras totaux pour Oissel et la vasière Nord indiquent une décroissance systématique dans les 3 à 5 premiers cm de sédiments. Pour la Baie de Seine, les teneurs en acides gras totaux ont tendance à augmenter à partir de 15 cm de profondeur. Cette tendance est moins nette pour les stérols totaux.

L'examen des proportions des différentes catégories des acides gras laisse apparaître pour Oissel et la vasière Nord deux parties dans le sédiment, une première entre 0 et 13 cm caractérisée par la prédominance des acides gras saturés et une deuxième de 13 à 21 cm pour laquelle on observe une prédominance des acides gras saturés lourds issus des végétaux supérieurs (apports terrigènes). Pour la Baie de Seine, la composition qualitative en acides gras ne change pas dans le sédiment profond par rapport à celui de surface.

L'empreinte bactérienne est relativement similaire dans les différents prélèvements. Elle est caractérisée par la prédominance de l'aC15 :0 et de l'iC15 :0. Cette empreinte correspond à l'ensemble de la flore bactérienne. Les acides gras déterminés ici ne peuvent être utilisés pour mettre en évidence des catégories spécifiques de bactéries, telles que les sulfatoréductrices. Une étude plus précise portant à la fois sur la localisation de ces microorganismes au sein de la colonne sédimentaire et sur la recherche des acides gras minoritaires plus spécifiques de ces bactéries, au besoin en isolant spécifiquement les phospholipides, aurait peut être permis d'avoir quelques informations supplémentaires à ce sujet.

Pour ce qui est du phytoplancton, un apport de diatomées a été clairement identifié au moyen du C20 :3 ω 5 et des polyinsaturés en C16. Pour Oissel et la vasière Nord, ces apports sont localisés dans les 15 premiers cm de sédiment. Les maximums observés ne sont pas forcément en surface et ceci est probablement dû à la remise en suspension des sédiments et / ou à la bioturbation. De même, ces deux phénomènes expliquent sans doute la présence des polyinsaturés sur tout l'intervalle de profondeur pour les sédiments de la Baie de Seine. Les polyinsaturés en C18, et le C18 :2 ω 6 et le C18 :3 ω 3, peuvent aussi provenir d'un apport phytoplanctonique et notamment de chlorophycées. Comme pour les marqueurs de diatomées, dans les sédiments de la vasière Nord, ils ont tendance à disparaître au delà de 13 cm de profondeur. Par contre, ils sont présents sur tout l'intervalle de profondeur dans les sédiments de Oissel ; L'explication la plus probable ici est que l'apport phytoplanctonique est accompagné d'un apport dû aux végétaux terrestres, le C18 :2 ω 6 et le C18 :3 ω 3 étant aussi les polyinsaturés majoritaires synthétisés par les végétaux supérieurs. Les polyinsaturés en C18 sont aussi présents dans le sédiment de la Baie de Seine en faibles proportions et surtout l'intervalle de profondeur.

Les apports des végétaux supérieurs terrestres ont été mis en évidence grâce aux acides gras lourds. Ces composés sont relativement résistants à la biodégradation. Leurs proportions par rapport aux acides gras totaux sont susceptibles d'augmenter dans les sédiments qui contiennent de la matière organique biodégradée. On peut donc supposer que le sédiment profond des carottes de Oissel et de la vasière Nord (13 à 20 cm) est plus « ancien » que le sédiment sus jacent (0 à 13 cm). Pour la Baie de Seine l'apport des végétaux supérieurs est réparti de façon homogène sur toute l'épaisseur des carottes. Comme précédemment indiqué, une contribution des végétaux supérieurs caractérisés par la présence de C18 : 2 ω 6 et de C18 :3 ω 3 est probable. Par contre, l'apport des végétaux supérieurs ne se traduit pas par des proportions plus élevées en β -sitostérol.

La pollution due aux rejets urbains est mise en évidence par la présence de coprostanol, notamment dans le sédiment supérieur (0 à 11 cm) de Oissel. La pollution due aux rejets urbains apparaît moindre au niveau de la vasière Nord. Peut

être est ce dû au fait qu'elle soit située latéralement par rapport au chenal de la Seine. Enfin cette pollution est retrouvée au sortir de l'estuaire dans la Baie de Seine.

Enfin, la diagenèse de la matière organique dans le sédiment n'est pas mise en évidence par les évolutions des rapports stanols/sténols.

3. L'estuaire de l'Authie

Dans ce travail, cinq campagnes de prélèvements menées en 2001 dans l'estuaire de l'Authie seront analysées et discutées. Chaque campagne a été réalisée au port de la Madelon et les prélèvements d'eau et de particules ont été réalisés au cours d'un cycle de marée.

Date	12/03/01	09/04/01	09/05/01	06/06/01	18/09/01
Débit (m ³ /s)	17,7	22,5	19,6	15,1	11,4
coefficients de marée	111	110	96	86	113

Tableau (3). Synoptique des missions réalisées dans l'estuaire de l'Authie

L'échantillonnage d'eau est réalisé au moyen de tuyaux en téflon reliés à une pompe permettant d'aspirer l'eau de mer. Grâce à ce système installé sur la berge, des prélèvements ont été réalisés dans l'estuaire en surface et au fond. Chaque prélèvement est récupéré dans une bouteille en verre puis différentes filtrations sont réalisées immédiatement sur le terrain et ceci pour analyser le carbone et l'azote organiques particulaires (COP et NOP), la chlorophylle a (Chl a), les phéopigments (Phéo) et les lipides particulaires. Les échantillons permettant de déterminer les matières en suspensions MES cependant été récupérés séparément dans des flacons, puis filtrés ultérieurement au laboratoire.

Pour l'analyse du COP et du NOP, les filtrations sont réalisées sur des filtres en fibre de verre GF/F WHATMAN de porosité moyenne de 0,7 μm et de diamètre 25 mm préalablement grillés à 450 °C. pour la chlorophylle a (Chl a) et les phéopigments (Phéo), les échantillons sont filtrés sur des filtres en fibre de verre GF/C WHATMAN de porosité moyenne 1,2 μm et de diamètre 47 mm. 1 à 2 ml d'une suspension de carbonate de magnésium à 1 % sont ajoutés en fin de filtrations afin de prévenir une acidification des pigments. Pour les lipides, les échantillons sont filtrés sur des filtres en fibre de verre GF/F WHATMAN de diamètre moyen 47 mm préalablement grillés à 450 °C. Après la filtration les échantillons sont stockés à – 20°C jusqu'aux analyses.

Lors de chaque campagne, un prélèvement de sédiment superficiel a été réalisé à proximité du site de prélèvement, et ceci à marée basse.

Le travail mené vise à comprendre le fonctionnement biogéochimique et écologique de l'estuaire de l'Authie, c'est à dire la circulation et la transformation des éléments biogènes (C, N et P) et des matières organiques. Le cycle de l'azote revêt une importance considérable. Les processus de reminéralisation et la dégradation de la matière organique peuvent être quantifiées.

Les teneurs en sel azotés diminuent pendant les périodes de pré-bloom et bloom phytoplanctoniques. Ce qui apparaît être logique en raison de leur absorption par le phytoplancton. Les processus de reminéralisation sont bien établis en juin et en septembre. Ce qui peut être confirmé par l'augmentation des teneurs en sel azoté.

Durant ce travail, on peut proposer le passage d'un régime de production autotrophe au régime de production pré-oligotrophe. Les eaux marines couvrent globalement une gamme plus large en MOP que celles relevées dans les eaux douces. Alors, il est possible de confirmer la présence des processus des régénérations responsables de la diminution des stocks de MOP.

Le bloom phytoplanctonique printanier a été vérifié au cours de cette étude suivant deux échelles de temps : les variations à petite échelle de temps (pendant un cycle de marée) et les variations saisonnières.

En mars et avril beaucoup d'espèces profitent de l'arrivée de matières nutritives avec les dessalures de printemps et les poussées phytoplanctoniques. Les apparitions et disparitions des espèces pélagiques sont fonction de l'ensemble des conditions de l'environnement comme les changements climatiques, que modifient les conditions physico-chimiques du milieu. Aussi, il est important de noter que les apports nutritifs agissent plus sur les niveaux de biomasse algale.

Les AG peuvent permettre de distinguer les grandes populations phytoplanctoniques et bactériennes. La succession de périodes de pré-bloom et bloom est caractérisée par des valeurs d'AG largement supérieures à celles obtenues durant le post-bloom phytoplanctonique. Le changement de régime de production est visible dans la décroissance des flux des AG. Ce qui se traduit par une transition mensuelle du système vers une exportation moindre et une reminéralisation plus intense. Aucune corrélation significative entre le COP et les AG, (qui peut être attribuée à des changements dans le comportement trophique des communautés hétérotrophes), est établie pendant la période de pré-bloom et bloom. Par contre, la corrélation significative, trouvée pendant la période du post-bloom et de l'été montre que l'origine de la MOP qui sédimente est principalement phytoplanctonique. De plus, nous pouvons mettre en évidence l'influence de l'hydrodynamisme et des structures physiques du système estuarien et leurs teneurs en sel nutritifs sur les processus biologiques qui influencent le stock des AG et le développement phytoplanctonique.

Nous observons que les diatomées se développent dans les eaux marines donc des conditions de faibles disponibilités des nitrates. A l'inverse des chlorophycées qui se développent dans les eaux douces riches en nitrates.

La situation en été apparaît différente de celle observée au printemps au niveau des sédiments. La forte sédimentation des cellules algales est bien notée en

juin. En revanche, les activités bactériennes sont plus intenses en septembre. De façon générale, en comparant les teneurs de la MOP et d'AG dans la colonne d'eau et dans la surface sédimentaire, nous avons remarqué qu'elles sont plus élevées dans la colonne d'eau. Ceci peut être dû à une forte reminéralisation de la matière particulaire dans la surface sédimentaire ou à une vitesse de sédimentation très lente.

Conclusion générale

Nous nous attacherons dans cette conclusion générale à souligner les grandes lignes de ce travail qui s'inscrit dans le cadre de différents programmes de recherches pluridisciplinaires sur les écosystèmes particuliers que sont les estuaires de la Seine et de l'Authie (programmes nationaux Seineaval II et PNETOX, programmes régionaux (CPER) et internationaux (INTERREG III)).

Les études actuelles réalisées en estuaire de Seine (programme Seineaval II) ont pour principale finalité d'expliquer le rôle réellement joué par les vasières présentes sur le site. Notre contribution a porté sur l'utilisation potentielle de marqueurs biogéochimiques (acide gras et stérols) pour tenter de mieux comprendre l'origine et le devenir de la matière organique dans l'estuaire de la Seine. Dans ce but, nous avons porté notre attention sur la répartition de la matière organique lipidique au sein du sédiment. L'étude a été menée au voisinage immédiat de l'interface eau/sédiment sur des sédiments prélevés en divers sites choisis en fonction de leurs caractéristiques hydrodynamiques et/ou physico-chimiques (influence de la salinité, de divers paramètres de forçage de processus diagénétiques, etc.).

Au cours de la période 2001 et 2002, huit campagnes ont été réalisées sur l'estuaire de la Seine sur les sites suivants : vasière de Oissel (vasière soumise à une influence fluviale), vasière Nord (en zone intertidale) et une vasière subtidale en Baie de Seine. Les carottes prélevées ont en général toutes été soumises à différents cycles érosion / dépôts.

Lors de tous les prélèvements, le carbone organique total (COT), présent dans la phase solide sédimentaire, a été déterminé. Le COT peut être réparti en deux fractions : une réfractaire (difficile à dégrader), et une autre plus réactive qui regroupe, entre autres, les acides gras et les stérols. Les résultats montrent, en général une augmentation progressive du carbone organique total en fonction de la profondeur. Signalons que les activités bioturbatrices et bactériennes sont généralement présentes dans les couches sédimentaires de surface. La vasière échantillonnée en eau douce (vasière de Oissel) révèle des teneurs en COT relativement plus élevées en COT que celles relevées sur les autres sites en raison principalement des apports fluviaux.

Les profils de concentrations sédimentaires des acides gras et des stérols totaux montrent généralement une diminution en fonction de la profondeur (exception faite d'une carotte prélevée en Baie de Seine, où on observe, à partir de 15 cm, une tendance à l'augmentation en fonction de la profondeur). Ces évolutions de profils peuvent être le résultat cumulé de plusieurs phénomènes dus à l'activité bactérienne, à de la bioturbation et à la dynamique sédimentaire (érosion/déposition).

Ce travail a également tenté de mettre en évidence la présence de microorganismes dans les sédiments via les marqueurs biogéochimiques bactériens.

La série temporelle que nous avons obtenue dans les sédiments montre à l'aide de marqueurs biogéochimiques la présence de détritiques de différents groupes phytoplanctoniques au sein du sédiment. Les marqueurs détectés indiquent la présence importante de détritiques de chlorophycées dans la Vasière de Oissel (eau douce). Par contre, dans la vasière Nord et en Baie de Seine la matière organique détritique est principalement constituée de diatomées.

Les rapports stanols/stenols donnent des informations sur les processus diagénétiques. Ainsi pour les sites de prélèvement de la vasière Nord et de la vasière située en baie de Seine, les valeurs de ces rapports sont en général faibles ce qui ne permet pas de conclure quant à l'influence du compartiment bactérien (transformation des stérols en stanols) sur les processus diagénétiques. Par contre,

dans la Vasière de Oissel (exception faite de la carotte prélevée le 05/03/02), les valeurs des rapports montrent que ces processus sont bien établis sur deux tranches sédimentaires.

L'existence de coprostanol provenant des rejets urbains est bien marquée dans la Vasière de Oissel. Le flux de coprostanol (marqueur de rejets anthropiques), provenant de l'amont est expulsé en Baie de Seine. Ceci est bien mis en évidence au niveau de la carotte prélevée en baie de Seine le 24/09/02. Inversement, la Vasière Nord présente des teneurs faibles de coprostanol.

Dans l'estuaire de l'Authie, l'étude a porté sur la matière organique présente dans les sédiments superficiels et dans les particules en suspension dans la colonne d'eau. La composition de cette matière organique a été établie en tenant compte de son origine (utilisation de marqueurs biogéochimiques) au cours de cycles de marée.

La variation importante de salinité observée est principalement due à un fort épisode pluviométrique (crue).

Un apport notable de chlorophylle a est observé en mars et en avril. Il diminue ensuite nettement en mai. Ce phénomène est bien expliqué par des processus de dégradation (en mai), processus qui conduisent à des teneurs élevées en pheopigment. Le mois de mai est ainsi caractérisé par une richesse pigmentaire des eaux marines. Par contre, les eaux douces ne montrent pas cette tendance.

Les eaux douces sont directement influencées par les apports en sels nutritifs provenant des activités agricoles (ruisseau du Fliers). De façon générale, on observe une diminution des teneurs en ces sels en raison d'une consommation par la communauté phytoplanctonique pendant les périodes de pré-bloom (mars) et bloom phytoplanctoniques (avril et mai). En revanche, les concentrations en sels nutritifs augmentent en juin et septembre en raison de processus de reminéralisation provoqués par l'activité bactérienne.

L'ensemble de nos résultats a mis en évidence une relative diminution saisonnière des teneurs en acides gras.

Les marqueurs phytoplanctoniques montrent l'importance d'apports de diatomées dans les eaux marines.

L'importance des processus de sédimentation pendant l'été, est révélée par un apport élevé de carbone organique total en juin. En septembre, l'apport faible en acides gras traduit des processus de dégradation important directement corrélés à la température élevée. En mars et au cours du printemps, les apports en diatomées