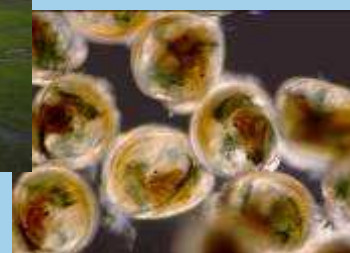


ECOESTUA

RAPPORT D'ÉTUDES



Rédacteurs : Hélène Laguerre, Marie Czamanski et Florent Arnaud

ECOESTUA : Mieux connaître et faire connaître la qualité de l'eau, de la rivière à l'estuaire, à partir du suivi des sels nutritifs et du plancton, pour répondre aux enjeux de reconquête de qualité de l'eau et de protection d'espèces endogènes - Etude sur la rivière de l'Odet (Finistère)

SOMMAIRE

1. Description de l'étude - rappels	4
▶ 1.1 – CONTEXTE DE L'ÉTUDE	4
▶ 1.2 – PROBLÉMATIQUE	4
▶ 1.3 – OBJECTIFS	5
▶ 1.4 – PARTENARIATS	5
2. Matériel et méthodes	6
▶ 2.1 – SITE DE L'ÉTUDE	6
▶ 2.2 – ÉCHANTILLONNAGE	6
▶ 2.3 – ANALYSE DES ÉCHANTILLONS	7
2.3.1 – SELS NUTRITIFS	7
2.3.2 – PHYTOPLANCTON	7
2.3.3 – ZOOPLANCTON	7
2.3.4 – AUTRES ACTIONS	7
▶ 2.4 – ANALYSE DES DONNÉES	7
3. Résultats	8
▶ 3.1 – DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES	8
▶ 3.2 – PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES	8
3.2.1 – DEBIT, TEMPERATURE, SALINITE	8
3.2.2 – VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLE DES SELS NUTRITIFS	10
3.2.3 – RAPPORT DE REDFIELD.	12
▶ 3.3 – PHYTOPLANCTON	15
3.3.1 - PHYTOPLANCTON TOTAL ET COMPOSITIONS PHYTOPLANCTONIQUES	15
3.3.2 – SUCCESSIONS PHYTOPLANCTONIQUES SAISONNIERES	16
3.3.3 – ANALYSE CANONIQUE DES CORRESPONDANCES	20
▶ 3.4 – ZOOPLANCTON	21
▶ 3.5 – POSE DE COLLECTEURS À HUITRES PLATES DANS L'ODET	24

4. discussion	25
▶ 4.1 - CONTEXTE	25
▶ 4.2 - VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES DES SELS NUTRITIFS	25
▶ 4.3 - VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES DU PHYTOPLANCTON	27
▶ 4.4 - DYNAMIQUE DES SELS NUTRITIFS ET DU PHYTOPLANCTON SUR L'ODET	28
▶ 4.5 - BLOOMS DE PSEUDO-NITZSCHIA SP.	29
5. Communication et formation	31
▶ 5.1 – PARTICIPATION À DES ÉVÈNEMENTS	31
▶ 5.2 – COMMUNICATION SUR LE PROJET DANS LE TERRITOIRE	31
▶ 5.3 – FORMATIONS	32
▶ 5.4 – AUTRES INTERVENTIONS	33
▶ 5.5 – PRODUCTION DE RESSOURCES PEDAGOGIQUES	34
▶ 5.6 – ACCOMPAGNEMENT, CONSEILS	34
6. Conclusion et perspectives	33
Bibliographie	35

Annexes

1. Introduction et rappel du projet

► 1.1 – CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Le phytoplancton, ou plancton végétal, est le premier maillon des chaînes alimentaires aquatiques, son étude est donc essentielle pour appréhender le fonctionnement des écosystèmes estuariens, milieux parmi les plus productifs et sites de nurserie de nombreuses espèces animales. Son abondance, sa diversité et sa composition dépendent de différents facteurs tels que la courantologie, la climatologie, les sels nutritifs et la qualité de l'eau. De la terre vers la mer, les bassins versants apportent les sels nutritifs indispensables au développement du phytoplancton mais également des produits phytosanitaires et engrais qui perturbent ces équilibres fragiles.

Un gisement naturel d'huîtres plates « le banc du Perennou » est présent dans l'Odet. Après une baisse massive des stocks liés à des parasitoses dans les années 1970 et à une mauvaise qualité d'eau, un soutien à la ressource avait été entrepris par l'ancien Cempama, établissement public national du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, aujourd'hui rattaché à AGROCAMPUS OUEST.

L'objet de cette étude est de mieux connaître et de faire connaître la qualité de l'eau dans les écosystèmes estuariens, notamment en étudiant les flux de sels nutritifs (nitrates, phosphates et silicates) apportés par le bassin versant de l'Odet et les variations des populations phytoplanctoniques.



L'étude sur le continuum rivière – estuaire – océan est une démarche originale qui nécessite l'acquisition de données au préalable. En effet, les milieux aquatiques marins d'une part et dulcicoles (d'eau douce) d'autre part sont relativement bien connus, contrairement à l'interface entre les deux qui reste peu suivie. A terme, cette étude devrait permettre de rendre compte des flux réels de sels nutritifs (nitrates, phosphates et silicates) arrivant à l'estuaire, d'étudier les impacts anthropiques sur les bassins versants, et de les corrélérer avec la biologie des milieux aquatiques récepteurs. Ce projet contribue donc à **une meilleure connaissance et évaluation de cette interface entre terre et mer**, qui est une des priorités régionale voire nationale de renforcement de la recherche. D'autre part, un soutien à la ressource en naissains d'huître plate sera conduit, en partenariat avec les conchyliculteurs de l'Odet.

Dans le cadre de ce suivi, **des animations**, ainsi que **des formations à destination des acteurs du territoire** : grand public et usagers de l'Odet, plaisanciers, élus locaux, professionnels de l'agriculture, de la pêche et de la conchyliculture seront menées. Les sites des différents partenaires seront utilisés selon leur pertinence, l'outil pédagogique alimenté en eau de mer de Beg Meil pour des séances de découvertes, formations et d'information à la biologie marine (expérimentations pédagogiques sur les pesticides et le phytoplancton, réensemencement en soutien de la ressource en naissain d'huîtres plates, observation du plancton...), ou encore des formations, animations sur les thématiques aquaculture, agriculture et environnement menées conjointement avec la ferme de Kerlavic pour illustrer les interactions terre – mer....

Les professionnels de l'agriculture, de l'aquaculture et de la pêche, en lien direct avec le milieu, sont de plus en plus demandeurs de connaissances scientifiques et d'accompagnement pour mieux comprendre leur milieu de production et ainsi mieux le gérer durablement.

► 1.2 – PROBLÉMATIQUE

Reconquête de la qualité de l'eau : Suivi de la qualité d'eau chimique et biologique de l'Odet et mise en corrélation des variations entre sels minéraux et phytoplancton, banc d'huîtres plates.

Depuis la disparition du gisement d'huîtres plates sauvages de l'Odet, un Schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) a été mis en place et a notamment pour objectif la reconquête de la qualité d'eau, nécessaire à la pérennisation du banc d'huîtres sauvages, fleuron de la Bretagne, et plus globalement de l'ensemble de l'écosystème. Pour évaluer la qualité d'eau et le potentiel biologique de l'estuaire, il est nécessaire de suivre les flux

en sels nutritifs apportés par le bassin versant en parallèle avec la composition en phytoplancton, élément à la base des chaînes alimentaires aquatiques et nourriture des huîtres. L'étude est basée sur le suivi depuis Quimper jusqu'à l'estuaire, sur le **continuum rivière – estuaire – océan**. Il s'agit de la zone estuarienne, longue de 17km, 3 sites de prélèvement ont été positionnés le long de ce continuum.

Ce projet d'observation, de suivi et d'analyse s'inscrit également dans les objectifs **de la charte des espaces côtiers bretons** et concourt à la mise en œuvre de « **l'amélioration de la préservation et de la valorisation du patrimoine naturel de la zone côtière** », « **l'accélération de la restauration des masses d'eau côtières** » et « **l'amélioration de la sauvegarde de la vie humaine et la gestion des risques environnementaux en zones côtières** ». Les étapes suivantes d'information, de formations, d'accompagnement sont indispensables à la sensibilisation à l'environnement et à la bonne compréhension des écosystèmes, pour accompagner l'ensemble des acteurs du territoire concerné.



Estuaire de l'Odet, Sainte Marine - Photos : H. Laguerre

► 1.3 – OBJECTIFS

Objectif général :

La finalité du projet est de contribuer à une meilleure qualité de l'eau dans les écosystèmes estuariens, dont dépendant de nombreuses activités économiques, agricoles, conchylicoles, touristiques, nautiques...

Objectifs opérationnels :

- Assurer un suivi de la qualité chimique et biologique de l'Odet : acquisition de données (sels nutritifs : nitrates, phosphates et silicates ; variations de populations phytoplanctoniques de l'estuaire), corrélations et réensemencement en naissain d'huîtres plates. A terme, cette étude devrait permettre d'aider à la définition du bon état écologique de l'estuaire. Une autre application de cette étude serait la mise en place d'un outil de signal d'alerte pour prévenir les phénomènes de phytoplanctons toxiques.
- Favoriser le dialogue et le partage des connaissances entre le monde scientifique (IUEM, AGROCAMPUS OUEST) et les acteurs des territoires des zones estuariennes (professionnels, élus, associations, enseignants...) via la diffusion et l'accessibilité des résultats réalisées à la phase précédente auprès d'un public initié ou non : création d'outils pédagogiques, mises en place de différentes animations, conférences ou formations pour développer des relations entre le monde scientifique et les citoyennes.

► 1.4 – PARTENARIATS

Ce projet regroupe 4 partenaires :

- AGROCAMPUS OUEST (porteur du projet)
- IUEM – Réseau Ecoflux
- Ferme de Kerlavic – Maison de l'élevage
- L'association Cap vers la Nature

D'autres partenariats existent et permettent d'enrichir les échanges ou de communiquer sur le projet : le Sivalodet (Syndicat d'aménagement et de suivi du SAGE de l'Odet), les organisations professionnelles (Sections régionales conchylicoles, comités locaux des pêches, chambres d'agriculture ...) et professionnels eux-mêmes, universités et organismes de recherche, et associations (CAP2000...).

►► **Le présent rapport présente les résultats et conclusions du projet et décrit les actions de communication réalisées.**

2. Matériel et méthodes

L'étude consiste en un suivi en parallèle des variations en sels nutritifs (nitrates, phosphates et silicates) et des compositions phytoplanctoniques, afin de mieux comprendre le fonctionnement de l'estuaire, des échanges terre – mer, et d'appréhender les problèmes d'eutrophisation en aval (blooms de phytoplanctons nuisibles ou toxiques, marées vertes).

► 2.1 – SITE DE L'ÉTUDE

L'Odet est un fleuve côtier, un des plus importants du Finistère (fig.1), avec un bassin versant total de 715 m² et une longueur de 66,2 km. Son débit à Quimper fluctue entre 16,7 m³/s en hiver et 1,57 m³/s en été (source : banque Hydro, référence station Kervir : J4231911, www.hydro.eaufrance.fr/). Un SAGE a été mis en place sur l'Odet en 2007. Le bassin versant est constitué principalement de roches métamorphiques (granite) ; le sol présente donc une perméabilité très faible favorisant les écoulements de surface et le ruissellement, mais très peu d'infiltration. Sa partie estuarienne est longue de 17 km entre les villes de Quimper (limite de salure des eaux) et de Sainte-Marine et Bénodet (embouchure), il s'agit d'un estuaire mésotidal, présentant des niveaux de turbidité importants (selon : Etat des lieux, Bassin Loire-Bretagne, 2004).

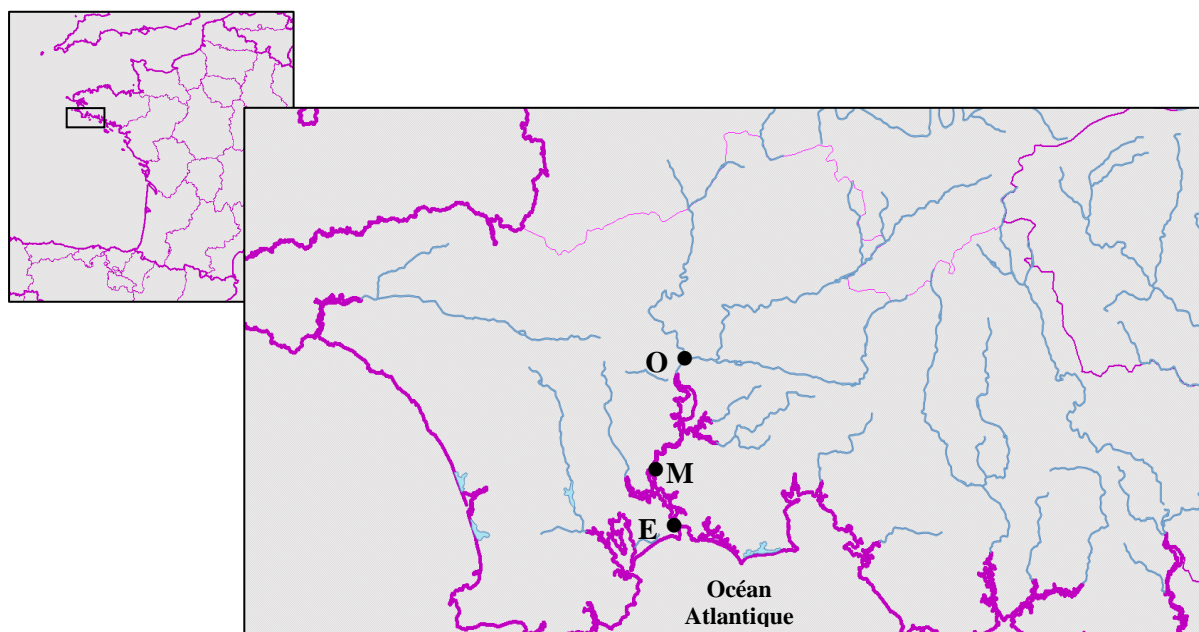


Fig. 1. Localisation de l'Odet (Sud-Finistère) et des 3 points de prélèvements, de l'amont vers l'aval : Quimper (Q), Gouesnach' (18) et Sainte-Marine (19). Fonds de carte géoportail.fr

► 2.2 – ÉCHANTILLONNAGE

3 points de prélèvement ont été choisis sur la partie estuarienne de l'Odet (fig. 2) : un point à Quimper (noté O), partie la plus amont de l'estuaire, limite de salure des eaux, un point médian à Gouesnach' (noté M), où se situe un gisement naturel d'huîtres plates, et un point à l'aval, Sainte-Marine (noté E), situé à l'exutoire.

Station / Code	Quimper / O	Gouesnach' / M	Sainte-Marine / E
Latitude :	47°59'33,2'' N	47°54'26,4'' N	47°52'27,0'' N
Longitude :	04°06'29,4'' O	04°08'37,6'' O	04°07'07,5'' O

Fig. 2. Coordonnées GPS des 3 points de prélèvements

Les prélèvements ont été réalisés sur ces 3 sites à une fréquence bimensuelle en hiver (novembre – mars) et hebdomadaire durant le reste de l’année (avril – octobre), depuis avril 2010 jusqu’à décembre 2011. La salinité et la température sont relevées à chaque point à l’aide d’un conductimètre (WTW Tetracon 315i). Les échantillons zooplancton, phytoplancton et sels nutritifs (nitrates, phosphates et silicates) ont été collectés en surface (premier mètre de la colonne d’eau), depuis la berge (cale), 2 heures avant la pleine mer, permettant d’avoir l’influence de la marée montante /masse d’eau marine. Le zooplancton n’est prélevé qu’au point E (exutoire). Les échantillons pour analyse des nitrates et des silicates sont placés dans des flacons en plastique, en verre pour les phosphates. Les flacons nitrates et phosphates sont conservés au congélateur (-4°C) avant analyse, et au réfrigérateur (+4°C) pour les silicates. Les échantillons de phytoplancton sont lugolés et conservés au réfrigérateur (+4°C).

► 2.3 – ANALYSE DES ÉCHANTILLONS

2.3.1 – Sels nutritifs

Les silicates sont mesurés selon la méthode de Le Corre et Tréguer (1976), à l’aide d’un auto-analyseur AAILL numérique Technicon de Braun+Luebbe et du logiciel AACE de Braun+Luebbe. Les nitrates sont analysés par le laboratoire Idhesa (habilité Cofrac) selon la norme NF EN ISO 13395. Les phosphates (dissous + SRP surface réactive phosphorus) sont mesurés selon la méthode de Murphy et Riley (1962), à l’aide d’un spectrophotomètre Shimadzu UV1700 à double faisceau, et de cuve de verre de 5 cm de trajet optique.

2.3.2 – Phytoplancton

Le phytoplancton est dénombré selon la méthode d’Utermöhl (Utermöhl, 1958). Les échantillons lugolés sont placés dans des cuves de sédimentation de 10 ml et observés, après 8h de sédimentation, au microscope inversé (ZEISS Telaval 31) aux grossissements x200 et x400. L’ensemble de la cuve est dénombrée (Sournia, 1986 ; Ricard, 1987 ; Nézan et Piclet, 2007), au niveau taxinomique de la famille ou du genre, et éventuellement de l’espèce.

2.3.3 – Zooplancton

Le zooplancton est observé au microscope photonique (Nikon Eclipse E400), après filtration sur une maille de 40µm, et identifié de l’embranchement pour les protozoaires ou à l’ordre le plus souvent. Une échelle d’abondance relative visuelle est utilisée : 0 absence, 1 présence faible (un ou 2 individus observés), 2 présence importante (plusieurs individus observés), 3 zooplancton majoritaire.

2.3.4 – Autres actions

Des collecteurs à huîtres plates ont été immergés dans l’Odet en juin 2012, sur les concessions d’un élevage de moules sur filières. Les collecteurs sont composés de coupelles chaulées, 6 lots ont été disposés en amont du point M. Cette action vise à déterminer le captage naturel présent sur l’Odet.

► 2.4 – ANALYSE DES DONNÉES

Les données brutes sont rentrées dans des tableurs Excel et utilisées d’autre part avec le logiciel Statistica pour analyse des corrélations (corrélations de Spearman) et Canoco pour une analyse canonique des corrélations. Les données météorologiques (pluviométrie, température et ensoleillement) sont issues de Météo France et Météo Bretagne, la chlorophylle totale du site Previmer.

3. Résultats

► Le suivi ECOESTUA représente 70 prélèvements au total soit :

- 210 analyses des sels nutritifs : nitrates, phosphates, silicates
- 210 analyses phytoplancton
- 70 analyses zooplancton

Les résultats et conclusions de l'étude ont été présentés à des chercheurs, aux gestionnaires du SAGE :

- Olivier Le Pape, enseignant chercheur AGROCAMPUS OUEST
- Aude Leynaert, enseignante chercheuse CNRS, Lemar
- Philippe Pondaven, enseignant chercheur, UBO-IUEM, Lemar
- Cécile Klein, enseignante chercheuse, UBO-IUEM, Lemar
- Anne-Sophie Blanchard, coordinatrice du Sivalodet
- Julien Le Dez, chargé de mission Sivalodet
- Georges Cadiou, Président du Sivalodet
- Un représentant de la police de l'eau
- André Perron, Association Eau et rivières de Bretagne

► 3.1 – DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES

Sources : Météo France et Météo Bretagne.

Les 2 années de suivi sont très différentes : de fortes précipitations et un fort ensoleillement en 2010, et une année sèche en 2011. L'année 2010 a été caractérisée par des saisons très marquées : un hiver très pluvieux et froid, un printemps - été très sec et ensoleillé.

L'année 2010 est marquée par des précipitations supérieures à la moyenne (années 1981 - 2010) avec +11% de précipitations sur l'ensemble de l'année. L'ensoleillement a été très important sur la majeure partie de l'année (+24%) et estimé à 1854 heures entre janvier et fin novembre, valeur supérieure à la normale (+200h environ). La période mars-juillet a été particulièrement sèche, ensoleillé et chaude (anomalie positive). Des températures en dessous des normales de saison ont été enregistrées pour les mois de janvier, août, et surtout novembre et décembre (record de froid depuis 1967), la moyenne des températures minimales a été particulièrement basse en fin d'année (+0.5°C contre 5°C).

L'année 2011 a été particulièrement sèche (-14% de précipitations) et ensoleillée (+7%), avec un printemps très estival. Les précipitations ont été globalement inférieures à la normale, sauf en février et en décembre. Le printemps (mars-juin) a été très chaud (+3,7°C en moyenne sur le mois d'avril), ensoleillé et sec, et à l'inverse, l'été (juillet-septembre) a été froid et pluvieux.

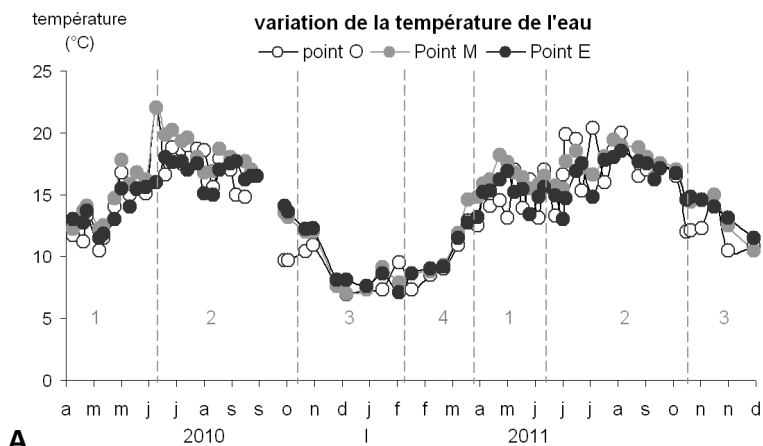
Sur les 2 années, les conditions printanières ont été favorables au développement de blooms printaniers.

► 3.2 – PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES

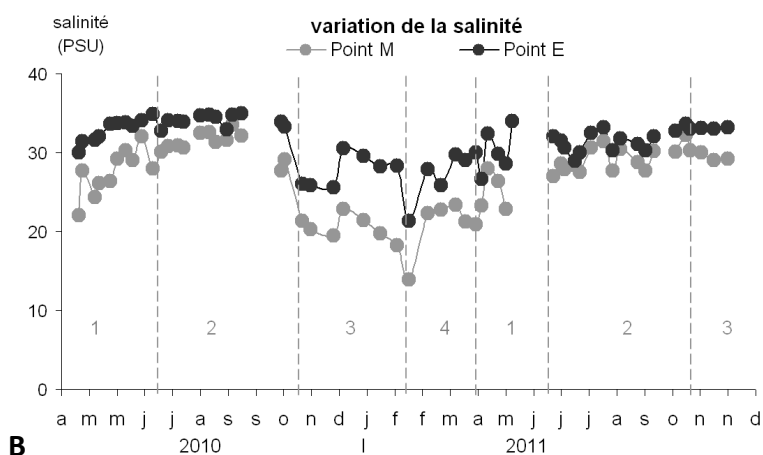
3.2.1 – Débit, température, salinité

Afin de faciliter la lecture et de comparer les résultats, les graphiques sont découpés en 4 périodes (modifié d'après Del Amo et al., 1997b) depuis avril 2010 jusqu'à décembre 2011 : la période 1 dite des blooms printaniers (du 1er avril au 10 juin), la période 2 des blooms secondaires (du 10 juin au 25 octobre), la période 3 automne-hiver (du 25 octobre au 15 février) et la période 4 de transition printanière (du 15 février au 1er avril).

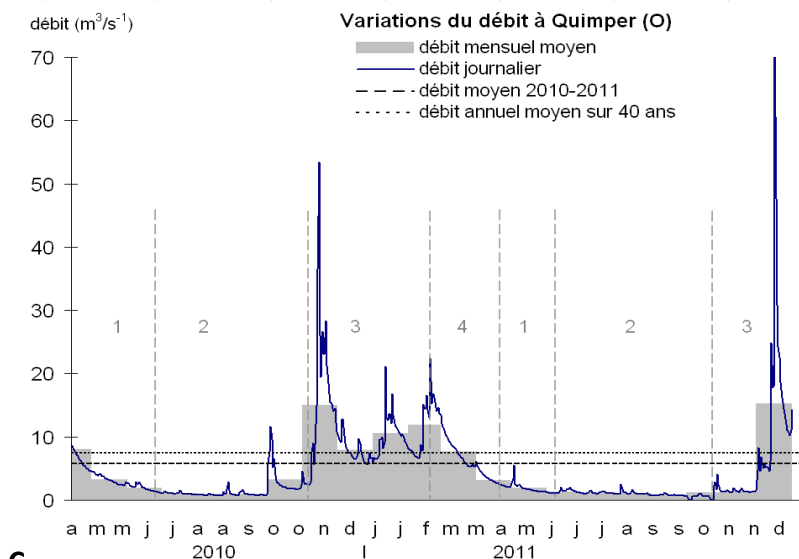
Pour l'Odet, la période d'étiage est comprise entre avril et septembre, la période de crues entre octobre et mars (fig. 3c). Le débit moyen interannuel est de $7,46 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (calculé sur 40 ans, source : Sandre). En 2010 et 2011, les débits annuels moyens de l'Odet sont inférieurs au module (sur 40 ans), avec un débit moyen de $6,96 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en 2010 et $4,83 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en 2011 (fig. 3e). En été, le débit peut attendre des valeurs journalières minimales de 0,7 et $0,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (juillet 2010 et septembre 2011) et en hiver, des valeurs journalières maximales supérieures à $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ($53,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en novembre 2010 et $73,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ décembre 2011). Le bassin versant de l'Odet est caractérisé par de fortes pentes, une perméabilité très faible, de ce fait, il favorise un écoulement rapide des eaux lors de pluie, et donc une augmentation rapide du débit ; la ville de Quimper est de fait particulièrement sujette aux crues hivernales.



A



B



C

Paramètres		Moy.	Min.	Max.	écart-type
SAL (PSU)	M	27.01	13.90	33.50	4.41
	E	31.35	21.30	35.00	2.93
TEMP (°C)	O	14.16	6.90	22.00	3.73
	M	15.24	7.00	22.00	3.48
	E	14.40	7.10	18.50	2.91
Nitrates (mg/l)	O	27.44	15.90	34.00	4.08
	M	4.35	0.80	14.00	3.36
	E	1.53	0.00	10.02	2.16
Silicates (mg/l)	O	9.08	5.59	13.16	1.39
	M	2.34	0.79	6.41	1.30
	E	1.44	0.08	4.35	1.13
Phosphates (mg/l)	O	0.09	0.00	0.20	0.06
	M	0.11	0.05	0.19	0.04
	E	0.05	0.01	0.12	0.02

D

	Valeurs 2010	Valeurs 2011	Valeurs sur 40 ans
débits en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$			
min	0,71	0,61	0,21
moy	6,96	4,83	7,46
max	55,30	73,60	165,00

E

Fig. 3. Paramètres physico-chimiques. A. suivi de la température de l'eau ; B. suivi de la salinité aux points M et E, le point le plus amont ayant une salinité ~ 0 ; C. variation du débit à Quimper (d'après les données banque hydro, station J4231911) ; D. Moyennes, minimales, maximales pour les paramètres suivis : salinité (SAL), température de l'eau (TEMP), concentrations en nitrates (N), en silicates (Si) et en phosphates (P) ; E. Valeurs moyennes de débit (données Sandre et Banque Hydro). Périodes : 1 blooms printaniers ; 2 blooms secondaires ; 3 automne/hiver, 4 transition printanière (modifié d'après Del Amo et al., 1997b).

L'eau de mer jouant un rôle de tampon thermique, les fluctuations de températures sont moins importantes à l'aval (fig. 3a et d), les masses d'eau sont moins sensibles aux variations rapides et ont une inertie plus importante (plus faible amplitude thermique et réponse plus lente). A l'inverse, l'amplitude des températures est plus importante à Quimper (températures plus faibles en hiver et plus chaudes en été), le point médian de l'estuaire a un comportement intermédiaire (température moyenne entre les valeurs des 2 autres sites). Des températures très faibles ont été enregistrées en hiver 2010, liés aux températures de l'air très froides sur le mois de décembre (nombreuses gelées et neige).

On observe des diminutions importantes de la salinité de surface (à 1 mètre de profondeur) liées aux fortes pluies constatées en février 2011 et donc au débit, la moyenne des précipitations étant largement supérieure aux normales. La salinité augmente en surface durant la période printemps été puis diminue en hiver sur les prélèvements toujours effectués à la même heure de marée (haute mer – 2 heures). Ce graphique illustre de fait les variations de salinité induites par celles du débit de l'Odet (donc de la pluviométrie), aussi bien dans l'espace (salinité plus forte à l'embouchure de l'estuaire par rapport au point M) que dans le temps (les salinités les plus fortes étant relevées lors des périodes d'étiage). Ces valeurs ne sont représentatives que pour la masse d'eau de surface (jusqu'à un mètre de profondeur) et ne peuvent être extrapolées à l'ensemble de la colonne d'eau ; la masse d'eau de plus faible densité (l'eau douce), se retrouvant piégée en surface, particulièrement lors de l'absence de facteurs de mélange des eaux (vent, mortes eaux). Les périodes de vives eaux et de mortes eaux sont également mise en évidence avec des salinités plus importantes lors des marées d'équinoxe. Les estuaires tel que l'Odet sont donc des écosystèmes particuliers où se mélangent des masses d'eaux douces et marines, avec des périodes de prédominance des unes par rapports aux autres en fonction des coefficients de marée ainsi que des valeurs de débits. Ce constat est d'autant plus marqué au milieu de l'estuaire qu'à l'exutoire (prédominance des eaux marines) ou à Quimper (prédominances des eaux douces).

3.2.2 – Variations spatio-temporelle des sels nutritifs

Les concentrations de nitrates, orthophosphates et silicates ont été mesurés aux 3 points d'avril 2010 à décembre 2011. Les nitrates et les silicates présentent des concentrations plus importantes en automne et en hiver qu'en période printanière et estivale. Ils sont limitant de mai à octobre (période d'étiage). Pour les nitrates, la moyenne des valeurs de concentrations est de 27,44 mg.l⁻¹ au point O (amont), avec des valeurs maximales supérieures à 30 mg.l⁻¹, et à l'estuaire, la moyenne est de 1,53 mg.l⁻¹ avec un maximum en hiver à 4,35 mg.l⁻¹. La concentration moyenne des silicates au point O est de 9,08 mg.l⁻¹, et le maximum de 13,16 mg.l⁻¹ en hiver, la moyenne à l'exutoire est de 1,44 mg.l⁻¹. La moyenne en orthophosphates au point O est 0,09 mg.l⁻¹ et le maximum enregistré est de 0,2 mg.l⁻¹ au même point de mesure.

Les nitrates et les silicates ont un comportement conservatif (fig. 6) le long de l'estuaire. En effet, les concentrations diminuent le long du gradient de salinité. Le profil des orthophosphates est différent, il n'y a pas de dilution le long du continuum (pas de corrélation significative avec la salinité) du fait de réactions d'adsorption/désorption de phosphate le long du gradient de salinité. D'autre part, malgré un lessivage plus important en hiver, les concentrations sont plus importantes en période estivale aux points M et E, et les concentrations plus faibles sont en hiver. Ces apports constants en phosphates et les concentrations observées aux points M et E semblent caractériser une pollution ponctuelle, observable en période estivale, en aval du point O.

Paramètres		Moy.	Min.	Max.	écart-type
Nitrates (mg/l)	O	27.44	15.90	34.00	4.08
	M	4.35	0.80	14.00	3.36
	E	1.53	0.00	10.02	2.16
Silicates (mg/l)	O	9.08	5.59	13.16	1.39
	M	2.34	0.79	6.41	1.30
	E	1.44	0.08	4.35	1.13
Phosphates (mg/l)	O	0.09	0.00	0.20	0.06
	M	0.11	0.05	0.19	0.04
	E	0.05	0.01	0.12	0.02

Fig.4. Valeurs de concentrations des sels nutritifs sur les 3 sites de l'Odet ; O. Point amont, limite de salure des eaux ; M. Point médian ; E. Embouchure.

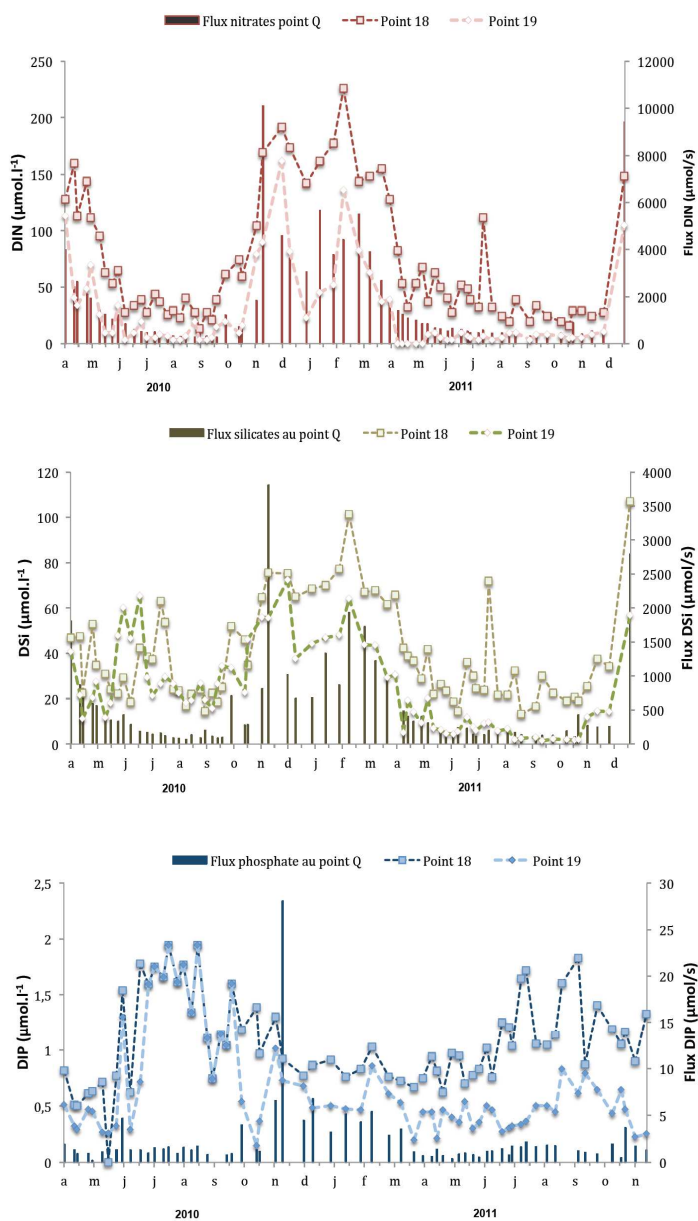


Fig. 5. Dynamique spatio-temporelle des sels nutritifs (DIN, DSI et DIP) : variations des flux à Quimper en $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ et des concentrations (en $\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) aux 2 stations aval, entre avril 2010 et décembre 2011 ; Q. Quimper, station amont ; 18. point médian de l'estuaire ; 19. Embouchure.

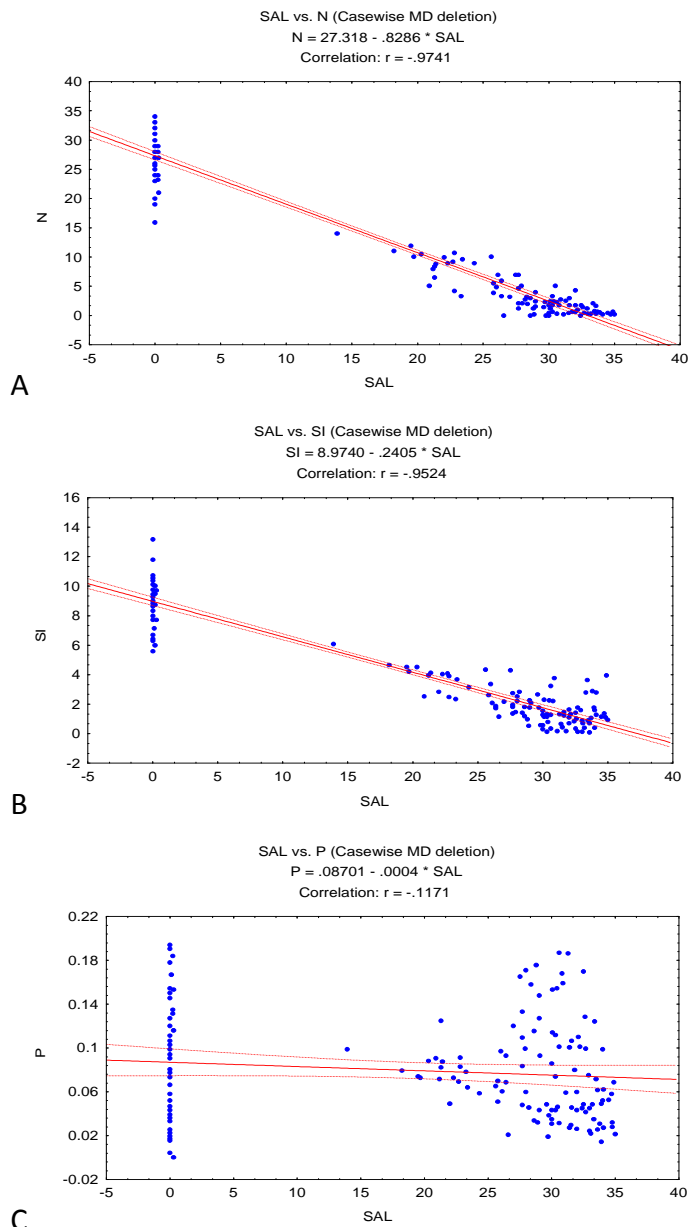


Fig. 6. Profil des sels nutritifs dans l'Odet : variations des concentrations en nitrates (A), en silicates (B) et en orthophosphates (C) en $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, en fonction du gradient de salinité (PSU), à partir des 3 sites durant la campagne de prélèvements 2010-2011; Corrélations de Spearman, p-level <0,05; droite de régression avec intervalle de confiance de 95%.

3.2.3 – Rapport de Redfield.

La variation du rapport de Redfield entre l'azote, le phosphore et la silice est un indicateur d'équilibre des sels nutritifs pour une croissance optimale du phytoplancton. Les concentrations en sels nutritifs ont été analysés avec le rapport de Redfield (Si : N : P = 16 :16 :1), afin de déterminer les éléments pouvant limiter le développement du phytoplancton, éléments dit limitant. Pour cette étude, uniquement les nitrates ont été étudié. Les concentrations en ammonium et en nitrites n'ont pas été mesurés, ils ne sont donc pas pris en compte dans ces rapports entre nutriments. De fortes teneurs en nitrates couplées à de plus ou moins fortes concentrations en phosphates au point O (point aval), suggèrent que la production primaire à l'exutoire de la rivière peut être limitée par les phosphates. Le phytoplancton océanique au contraire est limité par les nitrates. Le ratio N:P à la sortie de l'estuaire (point E) indique un rapport idéal proche du rapport de Redfield (Sigleo et Frick, 2007). Cependant, un certain nombre de points estuariens en dessous du rapport de Redfield montre une probable limitation en nitrates pendant une partie de l'année.

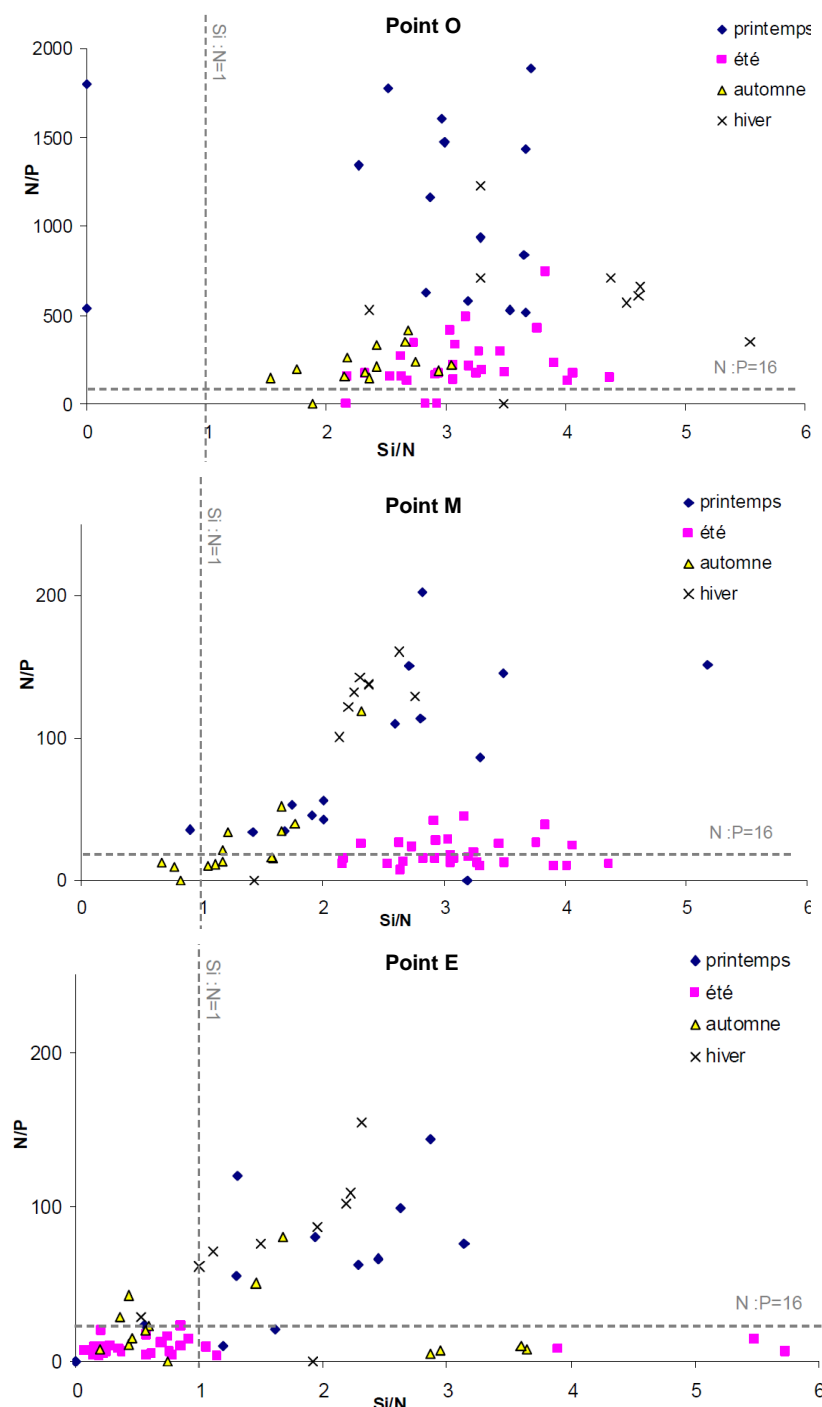


Fig. 7. Evolution des rapports de Redfield, DSi :DIN vs DIN :DIP, pendant la période avril 2010 – décembre 2011.

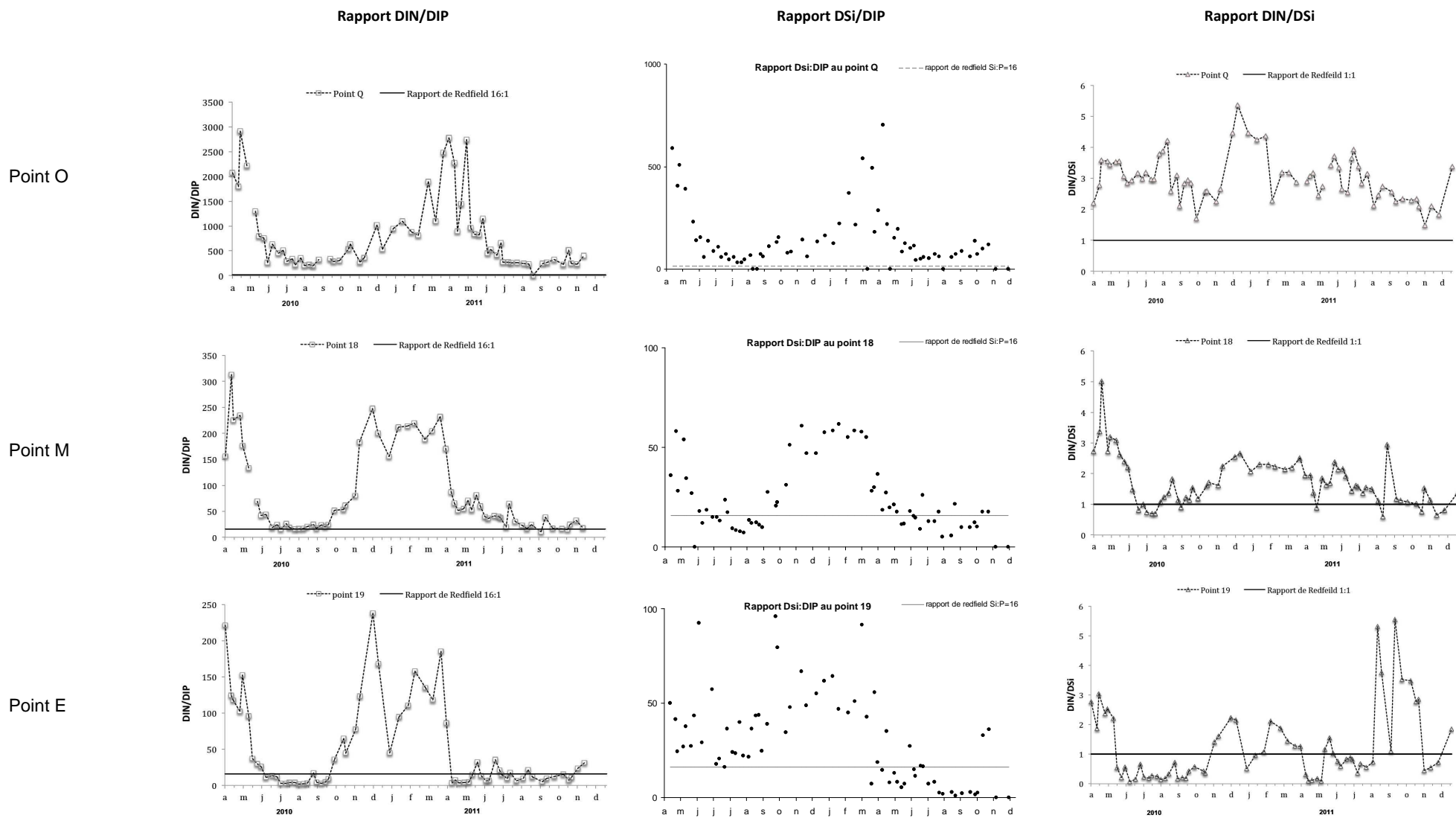


Fig. 8. Evolution des rapports DIN/DIP et DIN/DSi en comparaison du rapport de Redfield, aux 3 stations, depuis avril 2010 à décembre 2011.

L'évolution du rapport DIN/DSi sur les 2 points aval montre des conditions favorables au développement des diatomées avec des valeurs <1 pendant la période de bloom. Le rapport DSi :DIP est toujours supérieur à 16 au point amont (O), il est inférieur à 16 en période estivale pour le point M (point médian), et est inférieur à 16 au printemps-été 2011 uniquement pour le point situé à l'exutoire, il est limitant sur cette période. On remarque une grande variation entre les réactions aux 3 points en période estivale, toutefois, les valeurs hivernales montrent bien une augmentation des apports en silicates et une baisse des phosphates.

L'Odette présente donc une évolution temporelle des concentrations sels nutritifs : valeurs importantes des nitrates et des silicates pendant la période automne-hiver (forte pluviométrie, débits importants, températures basses), apportés par les eaux de ruissellement, ils deviennent limitant en période estivale. Au contraire, les concentrations à l'estuaire en phosphates sont plus importantes en période d'étiage (débits faibles, températures plus élevées, faible pluviométrie), signe probable d'une source de pollution diffuse durant cette période.

► 3.3 – PHYTOPLANCTON

3.3.1 - Phytoplancton total et compositions phytoplanctoniques

La partie estuarienne de l’Odet est une zone très productive, riche des apports du bassin versants et des apports de l’océan. Les abondances moyennes en phytoplancton sont relativement élevées, autour de 230 000 cellules par litre pour les points M et E, et de plus de 270 000 cellules/litre pour le point O (fig. 10). Les maximums correspondent aux périodes août –septembre (fin de l’été) pour le point O, et avril-mai-juin pour les 2 autres points (printemps) ; les abondances minimales étant enregistrées en période hivernale (de début novembre à début mars).

	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart-type
PHYTO_O	274 016	34 400	2 866 660	400 887
PHYTO_M	231 039	46 200	889 000	180 975
PHYTO_E	237 468	47 000	1 568 300	260 953

Fig. 10. **Abondances moyennes, minimales et maximales** (en cellules par litre) aux 3 points de prélèvement, pendant la période avril 2010-décembre 2011

L’Odet est composé majoritairement de diatomées, elles représentent en moyenne 82% d’abondance à Quimper, et une abondance moyenne sur l’année supérieure à 95% aux points M et E (fig. 11).

Phytoplanctons	Abondance moyenne (%)		[C] moyenne en cell.l ⁻¹		[C] max en cell.l ⁻¹	
<i>Point O</i>						
Diatomées	82		224 699		2 851 760	
Diatomées centriques	9,85		26 982		215 900	
<i>Melosira sp.</i>	8,72		23 885		212 800	
Diatomées pennales	72,15		197 716		2 636 560	
Cymbellacées	0,48		1 475		12 000	
Fragilacées	1,47		4 031		19 000	
Naviculacées	67,49		184 944		2557 600	
<i>Surirella</i>	0,40		1 391		9 600	
Nitzschiacées	1,49		4 327		44 000	
Chlorophycées	16,47		45 141		705 600	
<i>Closterium</i>	0,31		1 930		18 000	
<i>Cosmarium/Staurastrum/Staurodesmus</i>	0,28		1 491		13 600	
<i>Scenedesmus</i>	2,37		6 679		23 500	
<i>Selenastrum /Ankistrodesmus</i>	11,82		36 715		700 000	
Euglènes	0,74		2 262		10 400	
<i>Point M / E</i>						
Diatomées	97,23	95,77	224 246	225 796	881 000	1 550 400
Diatomées centriques	43,26	69,75	99 804	164 442	808 400	1 494 800
<i>Cerataulina sp.</i>	1,68	2,68	19 079	20 779	156 000	192 000
<i>Chaetoceros sp.</i>	9,13	21,20	21 065	55 571	184 000	418 700
<i>Guinardia sp.</i>	0,37	1,87	2 328	8 469	15 000	138 000
<i>Leptocylindrus minimum/ danicus</i>	14,14	33,29	44 994	102 177	773 800	1 460 000
Melosiracées	2,19	0,88	5 052	2 086	56 200	29 200
<i>Rhizosolenia setigera / pungens</i>	0,39	0,92	1 605	3 245	21 200	48 000
<i>Skeletonema sp.</i>	2,93	2,31	10 362	9 906	90 000	61 600
<i>Thalassiosira sp.</i>	9,45	4,44	27 354	12 451	189 200	159 000
Diatomées pennales	53,96	26,02	124 441	61 353	863 300	231 700
Cymbellacées	0,93	0,35	2 197	892	9 200	2 400
<i>Cylindrotheca closterium / Nitzschia longissima</i>	3,23	2,05	7 445	4 835	50 300	22 000
Fragilacées	1,60	0,85	3 700	1 994	16 600	21 400
Naviculacées	40,98	12,99	94 521	30 620	807 600	64 900
<i>Pseudo-nitzschia sp.</i>	4,05	8,34	13 147	23 812	100 400	212 400
<i>Thalassionema sp.</i>	0,30	0,54	2 310	3 843	9 600	18 000
Dinophycées	1,11	3,07	2 564	7 236	11 800	53 800
<i>Ceratium longipes / furca / fusus</i>	0,09	0,50	1 021	2 394	4 800	31 000
<i>Gymnodinium sp.</i>	0,08	0,19	546	752	3 200	4 000
<i>Protoperidinium sp.</i>	0,12	0,36	570	1 163	2 000	4 800
<i>Scrapsiella sp.</i>	0,32	0,80	1 075	2 247	9 000	13 300
Autres : <i>Eutreptiella sp.</i>	0,76	0,73	2 312	2 019	20 000	11 600

Fig. 11. **Principaux groupes phytoplanctoniques observés dans cette étude** : abondance relative moyenne (en pourcentage), abondance moyenne (en cellule/litre) et abondance maximale (en cellule/litre).

Au point O, les diatomées qui contribuent majoritairement à l'abondance totale sont les naviculacées (67,49%), et dans une moindre mesure *Melosira sp.* (8,72%). Les chlorophycées représentent une part relativement importante de l'abondance totale (16,47%), notamment *Ankistrodesmus sp.* avec 11,82%.

Aux points les plus à l'aval, les groupes qui contribuent le plus à l'abondance totale sont *Leptocylindrus spp.* (respectivement 14,14 et 33,29% aux points M et E), les naviculacées (40,98 et 12,99%), *Pseudo-nitzschia spp.* (4,05 et 8,34%), *Chaetoceros spp.* (*socialis, curvisetus, debilis...*) 9,13 et 21,20%) et *Thalassiosira spp.* (9,45 et 4,44%). *Pseudo-nitzschia spp.* a été présente de façon importante en 2010 (et de façon moindre en 2011), avec des abondances supérieures à 200 000 cellules par litre, sur une durée longue (avril à octobre 2010, mai à août en 2011), et un bruit de fond sur le reste de l'année (fig. 13). L'épisode *Pseudo-nitzschia* reste toutefois un événement extraordinaire, les concentrations observées étaient exceptionnelles. Les dinoflagellés représentent respectivement 1,11 et 3,07% de l'abondance totale phytoplanctonique aux points M et E, composés essentiellement de *Scropsiella spp.* et *Protoperidinium spp.* Ce sont donc les diatomées qui contribuent majoritairement à l'abondance totale phytoplanctonique de l'Odet.

Les blooms sont constitués de diatomées, les abondances en dinoflagellés sont faibles sur l'année exceptées en période estivale (juillet – août 2010, juin – septembre 2011), et début de printemps 2011 composée de *Scropsiella spp.*, mais les abondances restent toutefois bien inférieures aux diatomées.

3.3.2 – Successions phytoplanctoniques saisonnières

Les diagrammes d'abondance phytoplanctonique sont découpées en 4 périodes (d'après Del Amo et al., 1997b) depuis avril 2010 jusqu'à décembre 2011 : la période 1 dites des blooms printaniers (du 1^{er} avril au 10 juin), la période 2 des blooms secondaires (du 10 juin au 25 octobre), la période 3 l'automne-hiver (du 25 octobre au 15 février) et la période 4 de transition printanière (du 15 février au 1^{er} avril). Seules les espèces présentant une variation saisonnière et des abondances importantes sont présentées (fig. 13). Les familles telles que les Naviculacées ou Cymbellacées chez les diatomées, ou *Scropsiella* (« groupe ») et *Protoperidinium spp.* chez les dinophycées ne sont pas représentées, car elles sont présentes toute l'année, même si en concentrations inférieures en hiver. Un décalage des apparitions des espèces est observé entre les 2 années : les développements phytoplanctoniques sont légèrement plus précoces en 2011, les abondances pour la même espèces étant variables d'une année à l'autre, l'année 2010 a été particulièrement chargée en *Leptocylindrus spp.* et *Pseudo-nitzschia spp.* et dans une moindre mesure en dinophycées tout au long de l'année.

Période 1 dite des blooms printaniers : les blooms les plus importants sont observés aux points M et E, avec respectivement 867 000 cellules/litre et plus de 1,5 millions de cellules/litre. Les blooms sont constitués de diatomées centriques principalement sur cette période : un premier bloom composé de *Pseudo-nitzschia spp.* (212 000 cellules/litre) et *Chaetoceros spp.* (150 000 cellules/litre en 2010 et 274 000 en 2011) est observé, accompagné de *Cerataulina spp.*, succédé par *Leptocylindrus danicus* et *minimus*. avec 876 000 cellules/litre début juin 2010 (contre 228 000 cellules/litre en 2011). *Thalassiosira spp.* commence à se développer. Concernant les dinophycées, ce sont les petites espèces qui dominent ; des abondances proche de 10000 cellules/litres sont dénombrées pour *Karenia sp.*, et des concentrations faibles en *Dinophysis spp.* (*sp. acuminata* principalement, 3200 cellules/litre mi-mai), *Alexandrium spp.*, *Pyrophacus spp.*, et en fin de période le « groupe » *Diplopsalis* et *Gymnodinium spp.* Ces premiers blooms sont constitués majoritairement d'espèces avec un faible biovolume.

Période 2 blooms secondaires : pendant cette période, des pics supérieurs à 500 000 cellules/litres sont observés, constitués dans un premier temps de *Leptocylindrus spp.*, (312 000 cellules/litre, fin juin 2010), *Chaetoceros spp.* (2^{ème} bloom, 253 000 cellules/litre mi-juillet 2010), *Thalassiosira* et *Lauderia spp.* (159 000 cellules/litres mi-juillet 2010), *Pseudo-nitzschia spp.*, présente à

concentrations encore importantes (100 000 cellules jusqu'à mi-juin puis entre 5000 et 20000 cellules/litre) et dans une moindre mesure *Skeletonema spp.* (Concentrations inférieures à 50 000 cell/litres). En fin d'été, les Rhizosoleniacées se développent, accompagnées de *Thalassionema spp.*, et dans une moindre mesure de *Ditylum brightwellii*. Pour les dinophycées, ce sont les genres *Ceratium* (avec 30 000 cellules/litre en juillet août 2010, majoritairement espèce *lineatum*), *Gymnodinium*, et *Prorocentrum* (avoisinant les 5000 cellules/litre) qui dominent, accompagnés de *Diplopsalis spp.* Ces dinoflagellés qui se développent à cette période ont un biovolume plus important. A noter qu'au point amont dulcicole (point O), des blooms importants de Chlorophycées sont observés en juillet et août, dûs majoritairement à la famille des Sélénastracées (*Ankistrodesmus sp.* notamment).

Période 3 automne-hiver : les concentrations en phytoplanctons sont faibles, et constituées majoritairement d'espèces avec des biovolumes plus importants, notamment en automne avec les genres *Coscinodiscus*, *Ditylum* et *Odontella* ou en hiver avec *Melosira*. Des abondances avoisinant les 50 000 cellules/litre de *Skeletonema spp.* sont enregistrées en janvier – février 2011. Les dinophycées sont quasi absentes pendant cette période (« groupe » *Scropsiella*, *Protoperidinium spp.*).

Période 4 de transition printanière : les concentrations en phytoplancton sont encore faibles, on a un début de transition entre les espèces à biovolume importante vers des espèces à plus faibles biovolumes (non démontré), ce sont notamment les espèces formant les blooms printaniers qui commencent à apparaître : *Chaetoceros spp.* et *Thalassiosira spp.*, avec des concentrations autour de 2000 cellules/litre.

Certaines espèces ont une préférence pour les eaux saumâtres, d'autres pour les eaux marines, cependant, les espèces présentes dans les estuaires sont pour la plupart euryhalines. Leur préférence en terme de salinité explique en partie les différences de concentrations aux points M et E, et probablement leur ordre d'apparition, même si le phénomène de marée en est un paramètre important. Pour *Thalassionema spp.*, le bloom semble apparaître en premier au point M (« saumâtre ») puis se propager au point E, d'autre part, les concentrations sont plus importantes au point M. Les abondances en *Cerataulina pelagica*, *Chaetoceros spp.*, rhizosoleniacées, *Leptocylindrus spp.*, *Pseudo-nitzschia spp.* et *Thalassionema spp.* sont plus importantes au point exutoire (E), tandis que pour *Skeletonema spp.*, les abondances sont relativement proches aux 2 points, c'est un genre euryhalin capable de supporter de grandes variations de salinité. Le point M étant situé au milieu du continuum, on observe des compositions intermédiaires entre les points O et E, même si l'influence est davantage marine. De ce fait, l'abondance en diatomées centriques est plus importante au point E, tandis que les diatomées pennales sont plus représentées au point M (naviculacées et nitzschiacées globalement, comme au point O). La plupart des dinophycées semblent avoir une origine marine et les concentrations restent plus importantes à l'exutoire, excepté pour *Prorocentrum spp.*, présent à des abondances relativement similaires aux 2 points.



Chaetoceros sp. - Photos H. Laguerre



Dinophysis acuminata et *Pseudo-nitzschia sp.* - Photos H. Laguerre

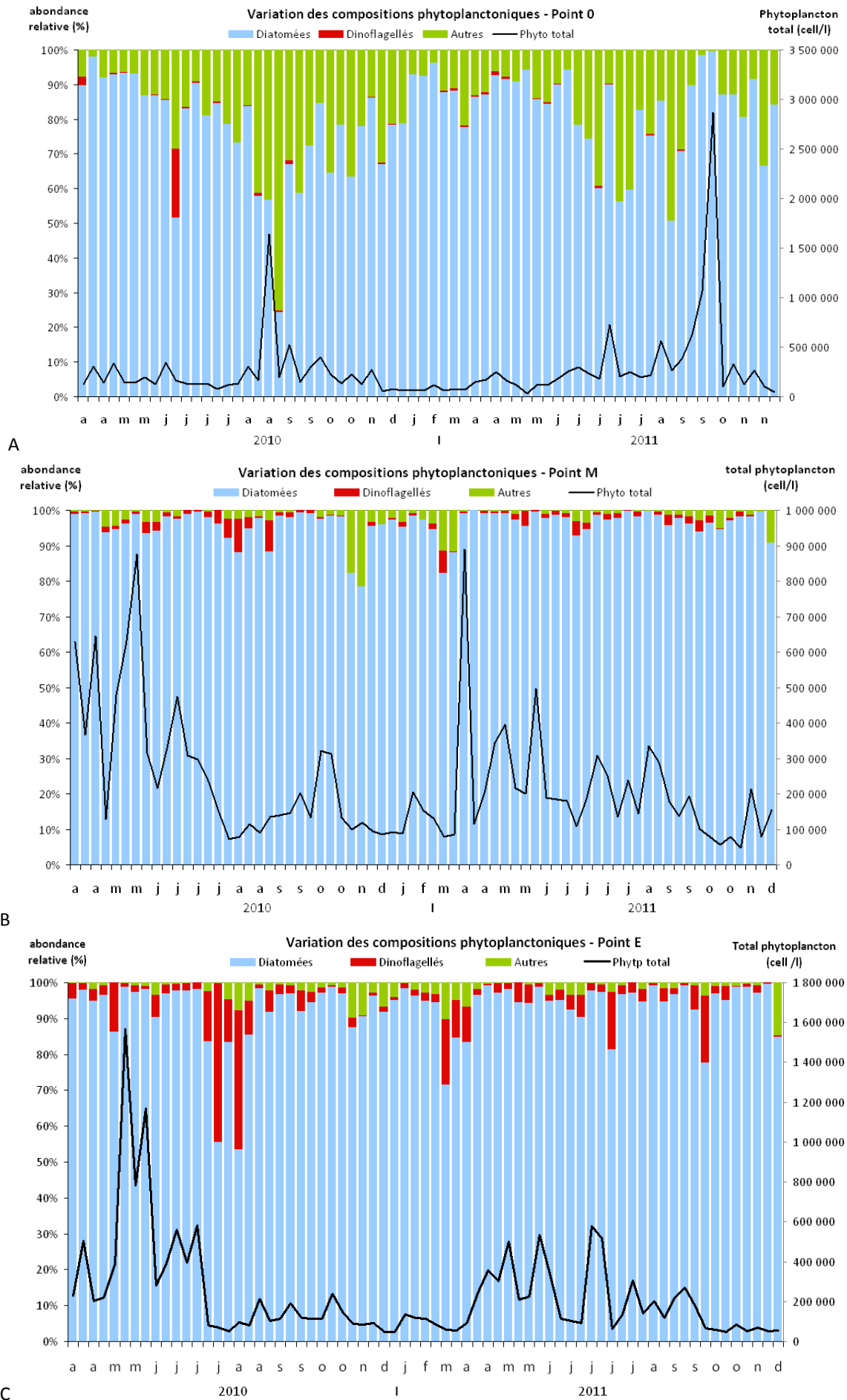


Fig. 12. Contribution des grands groupes phytoplanktoniques (diatomées, dinoflagellés et autres groupes) à l'abondance totale en phytoplankton (en cellule/litre). A : point mont O ; B : point médian M ; C : point exutoire E. pourcentage), abondance moyenne (en cell/l) et abondance maximale (en cellule/litre).

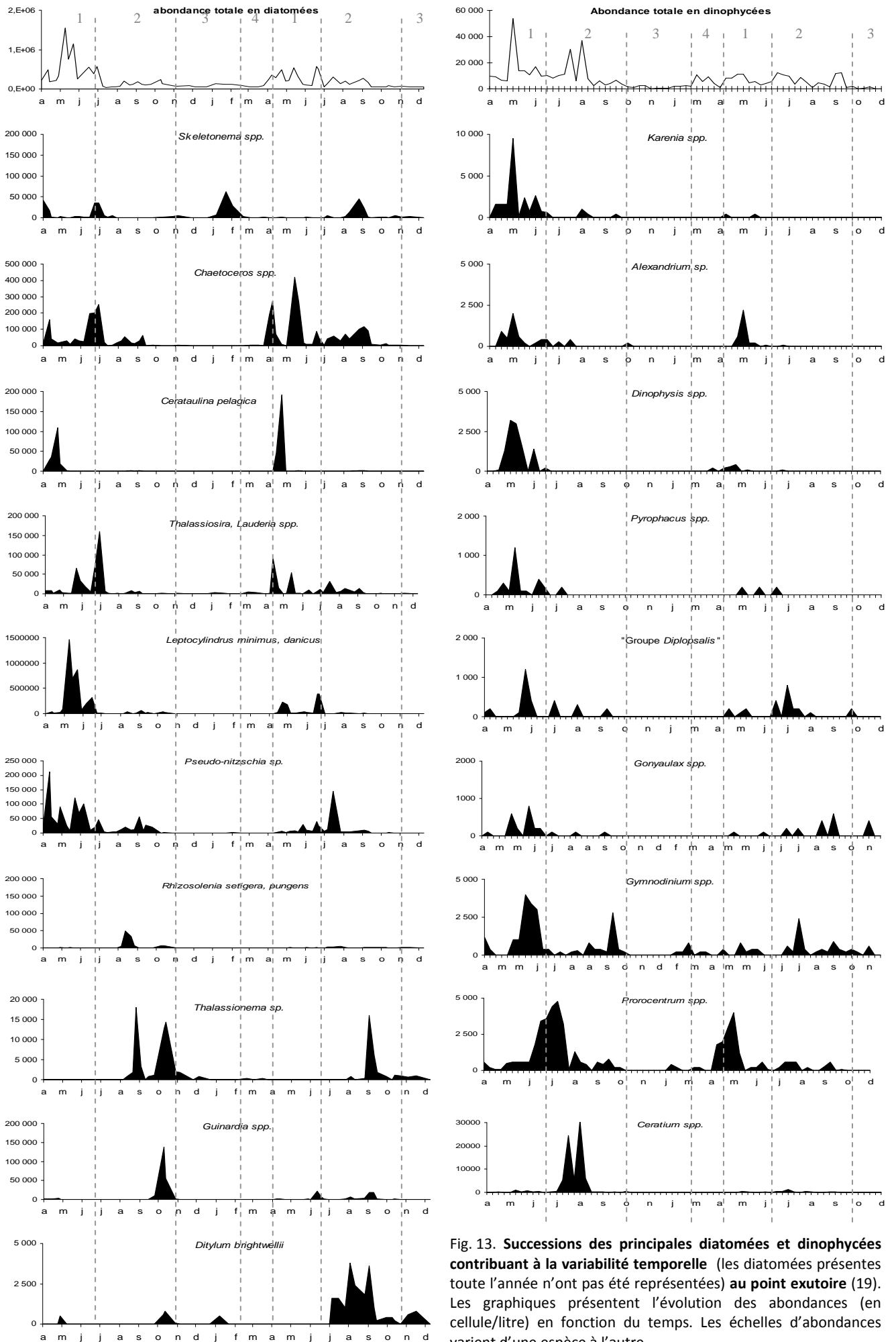
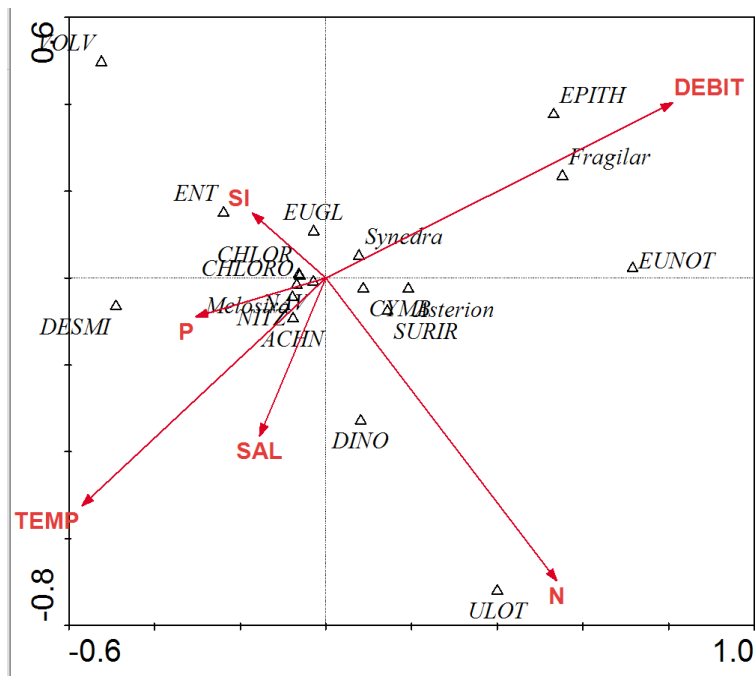


Fig. 13. Successions des principales diatomées et dinophycées contribuant à la variabilité temporelle (les diatomées présentes toute l'année n'ont pas été représentées) au point exutoire (19). Les graphiques présentent l'évolution des abondances (en cellule/litre) en fonction du temps. Les échelles d'abondances varient d'une espèce à l'autre.

3.3.3 – Analyse canonique des correspondances

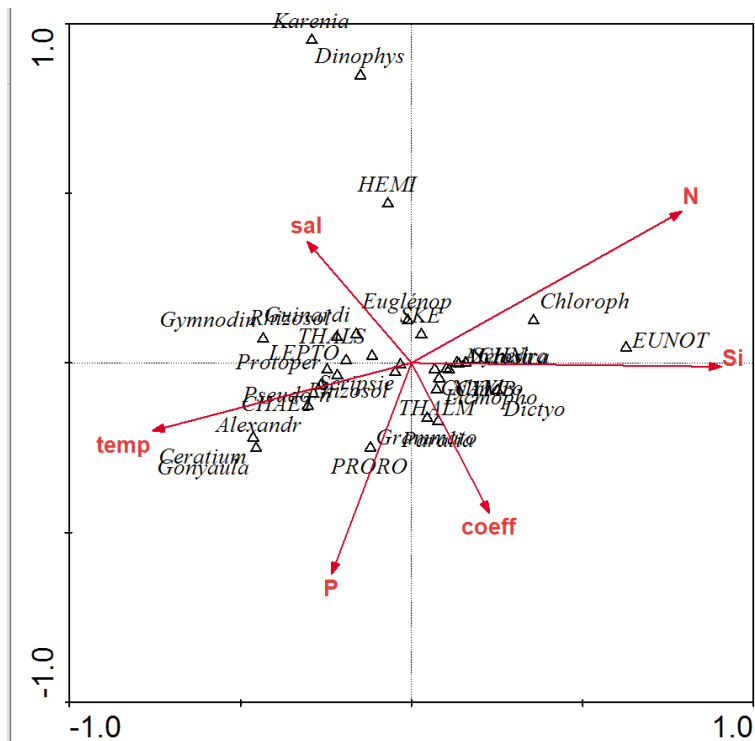
Une analyse canonique des correspondances a été effectuée sur les résultats, en utilisant d'une part les variables environnementales (salinité, débit au point O, température, coefficient de marée, concentrations en nitrates, phosphates et silicates) et d'autre part les abondances des groupes phytoplanctoniques majoritaires. Les analyses vont être refaites en incluant les précipitations et la chlorophylle totale.



Point O

P value = 0,005 → test significatif

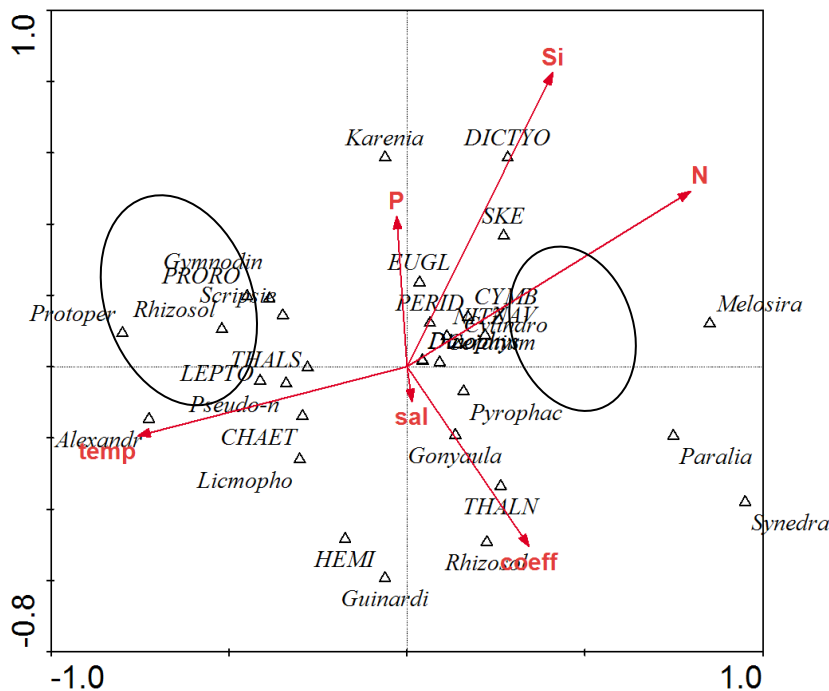
81% de la variance variables environnementale / espèces est expliqué avec 2 axes. L'axe 1 est fortement corrélé avec le débit (0,80), et secondairement avec la concentration en nitrates (0,53) et négativement avec la température (-0,57). L'axe 2 est fortement corrélé négativement avec les concentrations en nitrates (-0,69) et la température (-0,52).



Point M

P value = 0,005 → test significatif

59,2 % de la variance variables environnementale / espèces est expliqué avec 2 axes. L'axe 1 est fortement corrélé avec les concentrations en silicates (0,90), en nitrates (0,79) et négativement avec la température (-0,76). L'axe 2 est corrélé négativement avec les concentrations en phosphates (-0,62).



Point E

P value = 0,005 → test significatif

66% de la variance variables environnementale / espèces est expliqué avec 2 axes. L'axe 1 est fortement corrélé avec les concentrations en nitrates (0,8) et négativement avec la température (-0,75); L'axe 2 est corrélé les concentrations en silicates (0,82) et le coefficient de marée (0,5).

Les concentrations en nitrates sont corrélées avec les silicates (0,63) et sont corrélés négativement avec la température (-0,57).

Une opposition entre la température et les concentrations en nitrates et silicates est observées et met en évidence les variations saisonnières : les concentrations importantes de nitrates et

silicates sont présentes en hiver, quand la température est la plus basse, et inversement. Le coefficient paraît jouer un rôle important (contribution à l'axe 2), et décrirait plutôt les marées d'équinoxe.

Les phytoplanctons d'hiver sont placés à droite sur la graphique et s'opposent aux phytoplanctons estivaux et printaniers, à gauche.

► 3.4 – ZOOPLANCTON

Les crustacés sont le groupe taxonomique le plus représenté sur l'année (37,95%, fig. 14) à l'exutoire de l'Odét. Parmi les crustacés, ce sont les copépodes (photo ci-dessous) qui sont le plus largement présents (26,31%); les mollusques et les protozoaires ont également des abondances importantes (respectivement 14,26 et 14,88%). Les chordés (surtout *Oikopleura dioica*) ont une abondance de 5,45 % et les larves d'annélides polychètes une abondance relative moyenne de 6,40 % (fig.14).

Le zooplancton est plus abondant pendant les périodes printemps-été (avril à fin août), les abondances diminuent de façon importante en hiver (fig. 17). Le développement des populations zooplanctoniques se fait de façon concomitante avec les efflorescences phytoplanctoniques : un bloom phytoplanctonique est suivi par une multiplication des zooplanctons herbivores (notamment les copépodes et les larves de mollusques) qui va consommer le phytoplancton, on a donc une succession phytoplancton zooplancton. Les coquillages filtreurs ont également un impact important (non présenté).

Les abondances les plus importantes sont celles de zooplanctons permanents tels que les copépodes ou les protozoaires (fig. 16).

Les copépodes sont globalement plus abondants en automne-hiver, toutefois des variabilités au sein de la sous-classe des copépodes semblent exister. En effet, les copépodes calanoides dominent les autres ordres de copépodes, d'autre part, la composition en copépodes varie en fonction des saisons : les copépodes de l'ordre des calanoides sont plus abondant en hiver et au printemps, les copépodes cyclopoïdes en printemps - été et les copépodes harpacticoides en été-automne (non

Zooplancton	Abondance relative (%)
Crustacés	37,95
copépodes	26,31
cirripèdes	9,64
décapodes	0,21
branchiopodes	1,78
Mollusques	14,26
gastéropodes	8,07
bivalves	6,18
Chordés	5,45
Cnidaires	3,88
Annélides polychètes	6,40
Echinodermes	1,15
Bryozoaires	1,36
Protozoaires	14,88
tintinnidés	6,50
foraminifères	5,24
radiolaires	1,47
Rotifères	1,57

Fig. 14. Abondances relatives moyennes des grands groupes zooplanctoniques à l'exutoire, d'avril 2010 à décembre 2011.

démonstré). Le zooplancton permanent *Oikopleura dioica* est présent de mars à octobre et paraît relativement eurytherme. Les zooplanctons temporaires tels que les larves de balanes, annélides polychètes et les mollusques sont présents sur une grande partie de l'année, les périodes de reproduction étant relativement larges et les espèces nombreuses. Les cnidaires, échinodermes et bryozoaires sont présents sur de courtes périodes de l'année, lorsque les conditions sont les plus favorables à leur développement, reproduction (avril – septembre). Les larves de bivalves sont présentes en grand nombre d'avril à fin août, quand la température de l'eau est supérieure à 14°C (fig. 17) ; différentes espèces sont possibles mais plus majoritairement : *Mytilus edulis* (pontes le plus souvent de mars à juin), *Cerastoderma edule* et *Acanthocardia sp.* (pontes le plus souvent de mai à août), *Ostrea edulis* et *Crassostrea gigas* (pontes de mai à août), qui sont les bivalves que l'on retrouve couramment dans l'Odet.



Un copépoïde calanoïde : zooplancton permanent.
Photo H. Laguerre

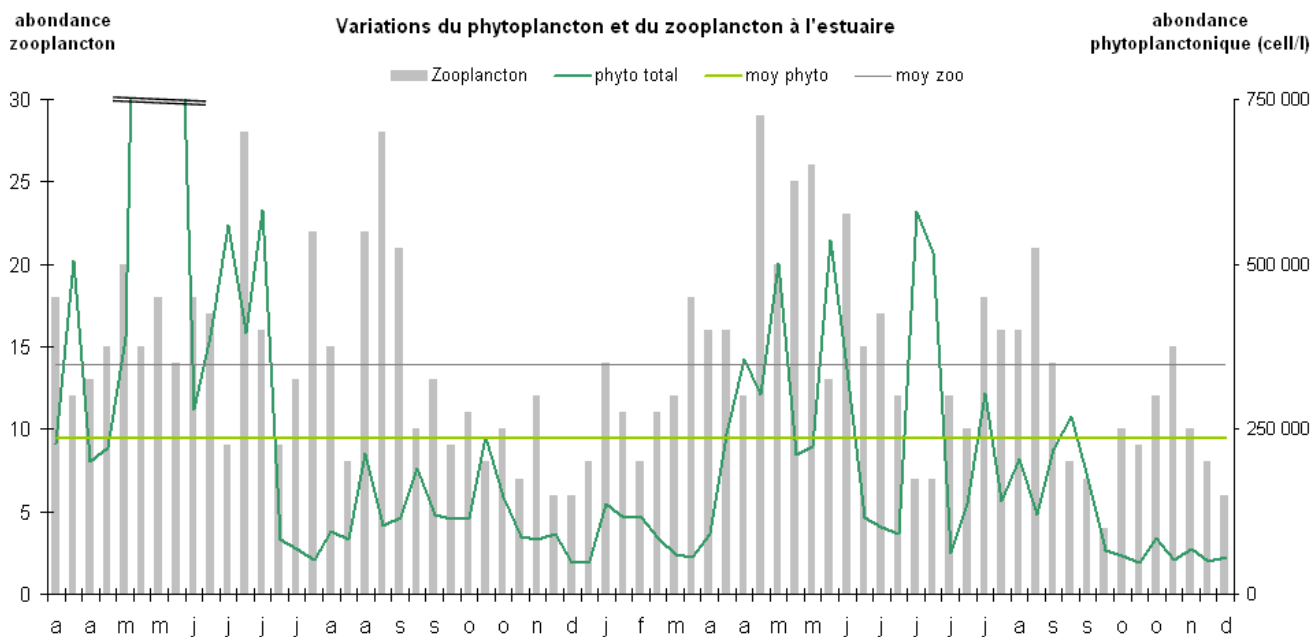


Fig. 15. **Succession phytoplancton total – zooplancton.** Suivi du phytoplancton total et de l'abondance du zooplancton à l'exutoire (point E). Les linéaires correspondent aux moyennes du phytoplancton total (en cell/l) et du zooplancton. Echelle d'abondance du zooplancton visuelle : 0-10 abondance faible ; 10-20 abondance moyenne ; >20 abondance importante du zooplancton

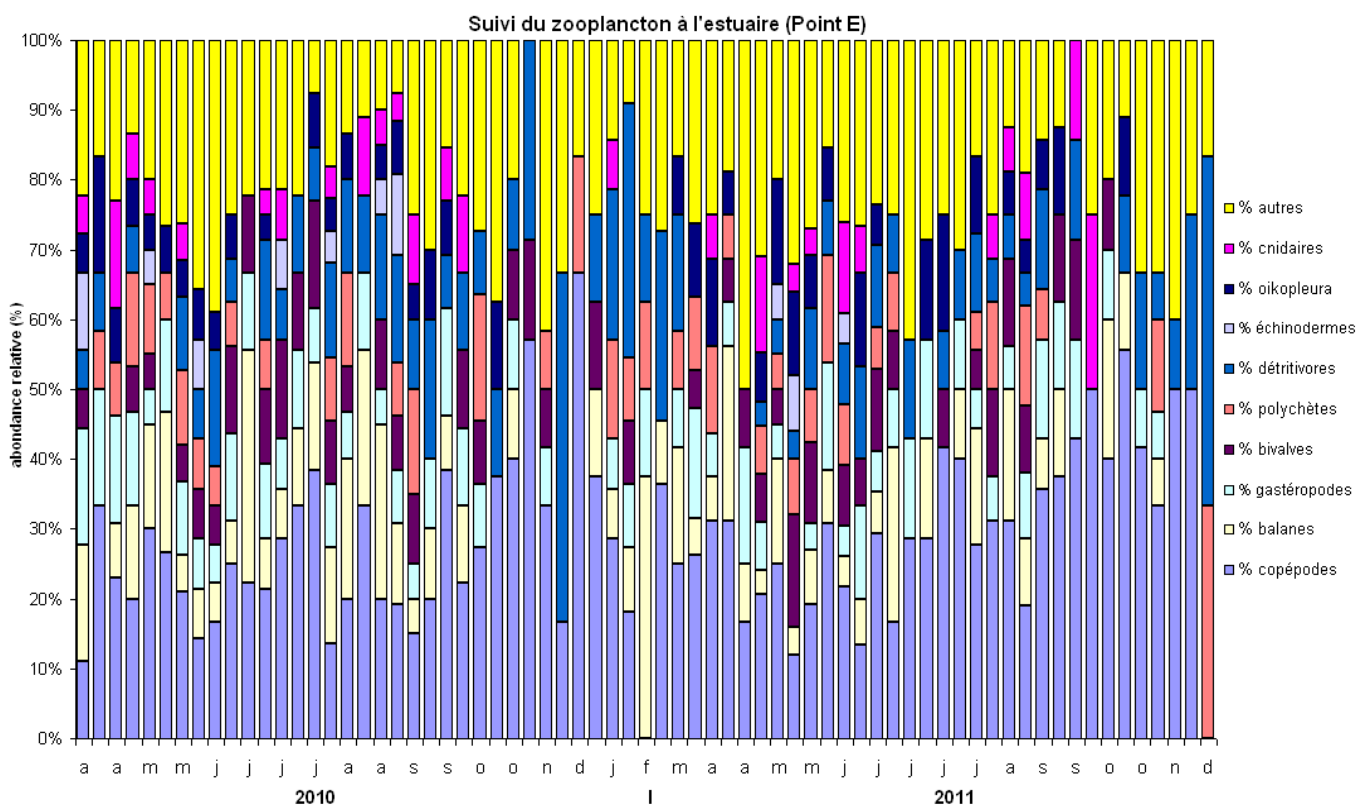


Fig. 16. **Evolution de la composition relative en zooplancton à l'estuaire (point E),** d'avril 2010 à décembre 2012. *Le groupe « détritivores » référencé dans ce graphique sont constitués de rotifères, ciliés et tintinnidés.

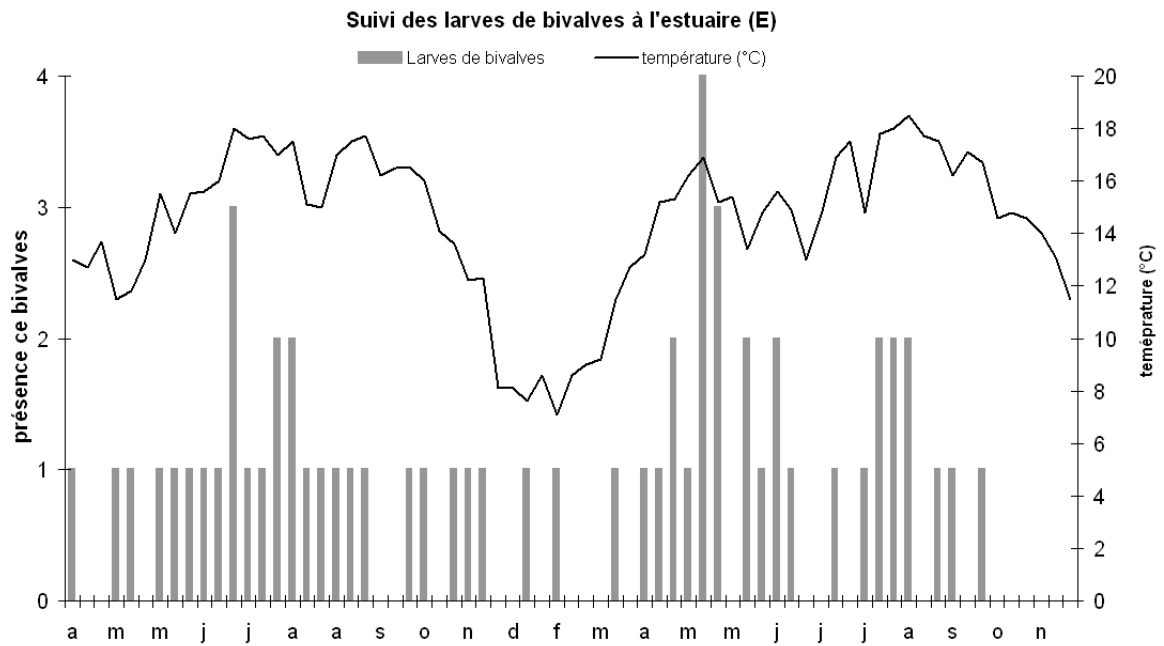


Fig. 17. Evolution de l'abondance de larves de bivalves et de la température à l'estuaire (Point E) – échelle d'abondance par appréciation visuelle : 0 absence ; 1 présence faible ; 2 présence modérée ; 3 forte présence ; 4 zooplancton majoritaire

► 3.5 – POSE DE COLLECTEURS À HUITRES PLATES DANS L'ODET

Les 6 lots de coupelles chaulées ont été récupérés en novembre 2012 afin de dénombrer les huîtres plates fixées dessus.

Un fouling très important a été observé sur les coupelles : algues, crustacés, bivalves, annélides, bryozoaires, ... La très petite taille des bivalves fixés sur les coupelles a empêché une identification précise des huîtres plates. Quelques huîtres plates ont été observées. De ce fait, les coupelles vont être remises à l'eau pour l'hiver et le dénombrement sera effectué au printemps, avant la période de reproduction.



Coupelles récupérées en novembre 2012

4. Discussion

► 4.1 – CONTEXTE

La problématique des nitrates et de l'eutrophisation est au premier plan en Bretagne. Avec des flux moyens d'azote de 75 000 t/an et des flux spécifiques moyens de 25 kg/ha/an, la Bretagne se place parmi les premiers exportateurs d'azote dans les estuaires et les océans (Aurousseau 2003). Cette eutrophisation va avoir pour conséquence le développement des marées vertes et la prolifération du phytoplancton nuisible (Aminot et al, 2001a et b, Cloern 2001). Les échouages d'algues fraîches (Ulvoïdes) représentent en moyenne 70 000 t/an sur les côtes bretonnes. En 2011, des mortalités animales anormales ont été observées à proximité des échouages d'algues dans les Côtes d'Armor : 36 sangliers morts, 3 ragondins et 1 blaireau. L'hypothèse très vraisemblable de ces mortalités serait liée à une intoxication au H₂S, résultant de la décomposition des algues vertes (Rapport Ineris 2011). Dans le phénomène des marées vertes, il s'agit bien des nitrates qui sont en cause, les stocks de phosphore étant constants et importants (stocké dans les sédiments : capacité du phosphore à d'adsorber sur les particules et notamment les sédiments), c'est l'azote qui est limitant (Dion et Le Bozec 1999, Menesguen 2003), d'autre part, la consommation des sels nutritifs par les algues est selon le rapport Si :N :P = 16 :16 :1 0. L'exutoire de l'Odet est situé dans la Baie de Bénodet, situé à 10 km de la Baie de Concarneau, identifié comme un important bassin versant algues vertes.

► 4.2 – VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES DES SELS NUTRITIFS

Le nitrate (NO₃⁻) est une forme chimique de l'azote particulièrement soluble dans l'eau. Il pénètre dans le sol par percolation pour être principalement véhiculé par les eaux souterraines. Toutefois, le ruissellement superficiel ou les écoulements de subsurfaces peuvent également être vecteur de nitrates. La résultante de la combinaison des facteurs naturels biotiques (consommation, nitrification et dénitrification,...) et abiotiques (précipitations, érosion,...) influençant les flux de nitrates permet de mettre en évidence quatre types de variations des concentrations caractéristiques des rivières Finistériennes : la période de crue, le cycle annuel, les variations interannuelles de quelques années et les grandes tendances sur quelques décennies (Martin et al, 2004). Les variations des concentrations saisonnières en nitrates enregistrés sur le bassin versant de l'Odet présentent un cycle dit classique avec des valeurs relativement importantes en période hivernales (moyennes de 30,7 mg.l⁻¹ en sortie d'hiver) et des minima de concentrations enregistrés en période d'étiage. Les concentrations moyennes annuelles sont relativement importantes avec une moyenne de 27,44 mg.l⁻¹ sur la durée de la campagne de prélèvement (avril 2010 – décembre 2011). Toutefois ces valeurs sont inférieures à la réglementation de 50 mg.l⁻¹ tirée de la directive eau potable (16/06/1975) concernant la qualité minimum requise des eaux superficielles destinées à la production d'eau alimentaire, en raison de problème de santé publique. Dans partie en amont de l'estuaire, au point O, des valeurs supérieures à cette réglementation sont observées. D'autre part, ces concentrations ont un comportement conservatif le long du continuum estuarien, avec des

Des références géographiques pour le diagnostic
D'après Howarth et al. 1996, complété pour la Bretagne par Aurousseau 2000-2008



concentrations inversement corrélé à la salinité. Les fortes valeurs en nitrates contribuent à l'eutrophisation de l'estuaire et à l'apport d'azote dans l'océan. Les flux d'azotes sont plus importants en période hivernale, liés aux fortes précipitations et aux débits, provoquant le ruissellement et l'écoulement en subsurface des nitrates issus des terres agricoles. Les nitrates ont donc une origine terrigène et principalement agricole. Ces apports hivernaux et printaniers en nitrates vont donc favoriser les efflorescences phytoplanctoniques au printemps, jusqu'à ce que l'élément devienne limitant en période estivale.

Les apports dans les rivières d'acide orthosilicique (Si(OH)_4), appelé couramment silicates, proviennent essentiellement de l'altération des roches et des sols par les pluies. Ce phénomène naturel peut être accéléré par l'augmentation de la teneur des eaux de pluies en acide carbonique (H_2O , CO_2). Les plantes et les microorganismes des sols participent également aux processus d'altération des minéraux silicates en relarguant du CO_2 dans le milieu (Meunier, 2003). Outre cette origine lithogénique dans les eaux, les silicates présents dans les eaux des rivières peuvent être d'origine biologique et provenir de la dissolution des frustules de diatomées ou de phytolithes. L'importance du silicium tient au rôle joué par les diatomées dans le cycle du carbone et dans le fonctionnement des écosystèmes. Les diatomées sont des microalgues qui disposent d'une enveloppe siliceuse et ont de ce fait besoin de l'élément silicium sous forme dissoute (d'autres groupes utilisent également le silicium à savoir : les Radiolaires qui comportent un endosquelette siliceux ou encore les Dictyochophycées comportant une cuirasse siliceuse épaisse). Elles jouent un rôle fondamental dans le fonctionnement des zones côtières des régions tempérées et leur importance dans la production primaire totale (premier maillon de la chaîne alimentaire) est souvent considérée comme un indice d'une bonne santé écologique d'un écosystème. La disponibilité en silicates, et particulièrement la disponibilité relative en silicates, nitrates et phosphates, est essentielle pour ces organismes. Les diatomées consomment les silicates, les nitrates et les phosphates dans des proportions bien précises. Or, pour une quantité constante de silicium apportée par les rivières, les apports croissants d'azote et de phosphore modifient cet équilibre naturel et une fois que les diatomées se sont multipliées en consommant tous les silicates du milieu, il restera encore des nutriments azotes et phosphores dans l'eau, mais plus de silicium. Ce sont alors d'autres espèces qui viennent consommer le phosphore et l'azote, tels que les dinoflagellés. Les silicates présentent des concentrations relativement importantes en hiver, et sont limitant en période estivale, limitant les développements de certaines diatomées. Effectivement, certaines diatomées sont plus ou moins sensibles aux concentrations en silicates, les baisses de concentrations en silicates dissous provoquent parfois une production accrue de toxines, notamment chez certaines espèces du genre *Pseudo-nitzschia* (Fehling).....

Dans ce rapport, les orthophosphates (HPO_4^{2-} et H_2PO_4^-) correspondent au phosphore total inorganique dissous (plus une partie du phosphore particulaire), plus communément appelés les phosphates. Ils sont biodisponibles et directement assimilables par les végétaux contrairement aux autres complexes phosphores qui doivent subir une transformation au préalable (souvent précipités sous des formes insolubles). En effet, le phosphore est caractérisé par une grande complexité comportementale car il interagit avec certains éléments comme le fer, l'aluminium ou encore le calcium pour former des complexes particuliers non biodisponibles et qui sédimentent rapidement. Les différentes formes de phosphore présentes dans un milieu sont liées aux caractéristiques physico-chimiques des eaux (pH, température, potentiel redox,...) ; ainsi la disponibilité du phosphore est maximale quand le pH est environ de 6,5 (Quemeneur, 1987) ; en sol acide comme c'est le cas en Bretagne où la roche mère granitique est composée de granit. Ainsi, contrairement aux nitrates ou aux silicates, les phosphates ont tendance à être adsorbés à la surface de particules organiques ou minérales et ne se trouvent pas principalement à l'état libre dans le sol, mais sous forme de complexes insolubles. Il en résulte un transfert préférentiel de complexes phosphorés vers la rivière par l'intermédiaire du ruissellement de surface, et non par infiltration comme pour les composés

dissous, sauf dans certains cas comme pour les sols saturés qui, par lixiviation, peuvent enrichir les nappes phréatiques (Poss, 2007). Les apports naturels de phosphates dans les eaux des rivières proviennent essentiellement de l'érosion des sols et des déjections animales. Par opposition, les apports anthropiques de phosphore en provenance des rejets domestiques, industriels et piscicoles sont directement exportés dans le milieu, tandis que le phosphore d'origine agricole aura tendance à être concentré à la surface du sol avant de rejoindre le milieu aquatique (Buchet, 2000). La majeure partie de l'année, les apports diffus d'origine agricole priment sur les apports ponctuels dus à l'urbanisme et aux industries (notamment depuis l'installation d'unités de traitement du phosphore et depuis la diminution des lessives contenant des orthophosphates), sauf en période de sécheresse ou de forte affluence touristique où ces apports (notamment agglomérations et piscicultures) contribuent alors, de façon importante aux teneurs dans les eaux des rivières. Le comportement des orthophosphates (dissous et une part du phosphate particulaire) est donc différent : il n'a pas un comportement conservatif, d'autre part, même si les flux sont plus importants en hiver au point Q, de fortes concentrations sont observées en été aux points les plus aval, tandis que les concentrations à Q sont plus faibles. Ceci indique que l'on a un apport hivernal lié à la pluviométrie, mais qu'une autre source d'orthophosphates existe en période estivale, il s'agit d'une pollution ponctuelle dont l'origine est située en aval de la ville de Quimper. La présence d'orthophosphates dissous est parfois signe de dysfonctionnement d'une station d'épuration ou d'un problème d'assainissement individuel, tandis que la présence de phosphates particulaire est plutôt liée à l'érosion, l'agriculture (engrais phosphatés favorisant la production de racines chez la pomme de terre ou la betterave et la production de graines, épandages de lisiers et de fumiers de volaille...) ou à un relargage du phosphore adsorbé sur le sédiment par exemple. La région de Quimper est fortement urbanisée et sa population est multipliée en été, lié au tourisme très important sur la côte, un problème d'assainissement (public ou individuel) est donc fortement probable, même si l'origine agricole y contribue sûrement (pratiques agricoles en lien notamment avec l'ensilage du maïs, enrichissement en phosphore généralement en mai).

► 4.3 – VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES DU PHYTOPLANCTON

L'estuaire de l'Odet est une zone très productive avec une abondance phytoplanctonique moyenne de $237\,468\text{ cell/l}^{-1}$ à l'exutoire, un minimum de $47\,000\text{ cell/l}^{-1}$ et un maximum de $1,5 \cdot 10^6\text{ cell/l}^{-1}$. Les diatomées dominent très largement en terme de diversité et de biomasse sur toute l'année dans l'Odet (95% abondance relative à l'exutoire). On observe 2 types de variations : dans le temps, il s'agit des variations saisonnières, et dans l'espace entre les 3 points échantillonnés. Sur l'année, le point exutoire présente une abondance plus importante (même si la moyenne est plus faible, car liée à un bloom très important au point O), lieu d'échanges entre les masses marines et les apports riches en nutriments du bassin versant. Les variations d'abondances des groupes phytoplanctoniques font apparaître des successions saisonnières, dans lesquelles les biovolumes et les comportements des espèces s'organisent. Ainsi, en hiver, les abondances totales sont faibles et constituées très majoritairement de diatomées à biovolumes importants (surtout chez les diatomées centriques avec *Coscinodiscus spp.* ou *Ditylum spp.*), de diatomées pennales (abondance relative supérieure à 70%), les espèces tychoplanctoniques sont assez présentes liées aux forts débits, courants et vents (comme *Melosira spp.* et *Grammatophora spp.*). Les dinophycées sont très peu présents durant cette période. La période dite de transition printanière ou fin d'hiver est donc intermédiaire : les espèces à fortes capacités de prolifération (formant les blooms) vont commencer à apparaître, ce sont des espèces à biovolume faible, vivants en chaînes, et pour la majorité des diatomées centriques. Ainsi, *Chaetoceros spp.*, *Thalassiosira spp.* et *Leptocylindrus spp.* commencent à se multiplier. Les dinoflagellés présents sont *Scrpsiella spp.* et *Protoberidinium spp.* majoritairement, genres présents toute l'année. La période des blooms printaniers est celle qui comporte les plus fortes abondances phytoplanctoniques et voient le développement d'espèces en chaînes de petite taille, comme *Pseudo-nitzschia spp.*, *Chaetoceros spp.*, *Cerataulina pelagica*, *Leptocylindrus spp.* et *Thalassiosira spp.* Ce sont

principalement des diatomées centriques qui dominent, excepté en 2010 lié à l'importante prolifération de *Pseudo-nitzschia spp.* Les dinophycées présentes sont constituées de Gymnodinales et de *Dinophysis spp.* principalement. Le période des blooms secondaires voit l'évolution d'espèces coloniales de petites tailles à des espèces de taille plus importante et vivant seules. Les espèces proliférant lors des blooms printaniers sont encore présentes en début de période, les dinophycées vont de multiplier en période estivale et notamment *Ceratium spp.*, *Gonyaulax spp.* et *Gymnodinium spp.* C'est à cette période que les dinoflagellés sont les plus diversifiés et abondants, même si les diatomées dominent. Au point le plus amont, dulcicole, cette période est caractérisée non pas par le développement de dinophycées mais de chlorophycées.

Cependant, certains groupes taxonomiques sont observés toute l'année, chez les diatomées et les dinophycées, quelque soit la saison et sont donc moins sensibles aux variations de températures, photopériode ou de concentrations en sels nutritifs par exemple. Il s'agit notamment du « groupe Scripsiella », des naviculacées, et des fragilariacées, dont beaucoup d'espèces benthiques peuvent être observés suite à de forts coups de vent ou marées (espèces dites tychoplanctoniques).

► 4.4 – DYNAMIQUE DES SELS NUTRITIFS ET DU PHYTOPLANCTON SUR L'ODET

L'année peut être divisée en 4 périodes (modifié d'après Del Amo 1997), dérivées des saisons en fonction des caractéristiques hydrologiques (débit), physico-chimiques et phytoplanctoniques du site étudié : l'automne-hiver, la période de transition printanière, les blooms printaniers et les blooms secondaires. En fonction des caractéristiques de l'environnement de l'Odét, les périodes ont été modifiées (fig.18). Chaque période présente une certaine homogénéité : phytoplanctons caractéristiques, valeurs de concentrations et rapports des sels nutritifs, conditions hydrologiques et météorologiques.

Caractéristiques	3/ automne-hiver 25 octobre – 15 février	4/ transition printanière 15 février – 1 ^{er} avril	1/ blooms printaniers 1 ^{er} avril – 10 juin	2/ blooms secondaires 10 juin – 25 octobre
Météo, débit	Précipitations et débits ↗ Températures mini ↓ Ensoleillement mini ↓ Photopériode mini ↓	Précipitations et débits → Températures faibles ↗ Ensoleillement faible ↗ Photopériode ↗	Précipitations et débit ↘ Températures ↑ Ensoleillement ↗ Photopériode ↗	Pluviométrie et débit ↘→ Températures max ↗→ Ensoleillement max ↗→ Photopériode →
Sels nutritifs	N ↗ (4,11 ±3,19 mg.l ⁻¹) Si ↗ (2,61 ±1,21 mg.l ⁻¹) P → (0,05 ±0,02 mg.l ⁻¹) DSi/DIN = 1,02 DIN/DIP = 69,16 DSi/DIP = 49,45	N → (3,77 ±1,40 mg.l ⁻¹) Si → (2,33 ±0,50 mg.l ⁻¹) P ↘ (0,04 ±0,02 mg.l ⁻¹) DSi/DIN = 0,65 DIN/DIP = 94,46 DSi/DIP = 62,41	N ↘ (1,46 ±1,84 mg.l ⁻¹) Si ↘ (1,20 ±0,93 mg.l ⁻¹) P ↘ (0,04 ±0,02 mg.l ⁻¹) DSi/DIN = 1,08 DIN/DIP = 36,10 DSi/DIP = 30,59	N ↘→ (0,47 ±0,30 mg.l ⁻¹) Si ↘→ (1,08 ±0,93 mg.l ⁻¹) P ↗ (0,05 ±0,02 mg.l ⁻¹) DSi/DIN = 2,81 DIN/DIP = 10,42 DSi/DIP = 25,57
Phytoplancton	Abondances totale ↘ 79 175 cell.l ⁻¹ Stratégie « r »* Espèces à biovolume ↗ Cellules isolées	Abondances totale faible ↘ 69 233 cell.l ⁻¹ Stratégie « r »* Espèces à biovolume ↘ Cellules isolées	Abondances très fortes ↑ 435 659 cell.l ⁻¹ Stratégie « c »* Espèces à biovolume ↘ Espèces en chaîne	Abondances fortes → 197 426 cell.l ⁻¹ Stratégie « s »* Espèces à biovolume ↗
Diatomées:	Pennales (+70%) Naviculacées Fragilariacées <i>Coscinodiscus spp.</i> <i>Ditylum brightwellii</i> <i>Odontella spp.</i> <i>Melosira spp.</i>	Pennales majoritairement <i>Chaetoceros spp.</i> <i>Thalassiosira spp.</i> Naviculacées	Centriques majoritairement <i>Pseudo-nitzschia spp.**</i> <i>Chaetoceros spp.</i> <i>Cerataulina pelagica</i> <i>Leptocylindrus spp.</i> <i>Thalassiosira spp.</i>	<i>Leptocylindrus spp.</i> <i>Chaetoceros spp.</i> <i>Thalassiosira spp.</i> <i>Pseudo-nitzschia spp.**</i>
Dinoflagellés:	≈ 0	≈ 0 <i>Scripsiella</i> <i>Protoperdinium sp.</i>	<i>Scripsiella spp.</i> <i>Protoperdinium spp.</i> <i>Karenia spp.</i> <i>Dinophysis spp.</i>	<i>Ceratium spp.</i> <i>Gonyaulax spp.</i> <i>Gymnodinium spp.</i> <i>Prorocentrum spp.</i>
Zooplancton	Abondances totale ↘ Copépodes Protozoaires Rotifères	Abondances totale ↗ Copépodes Larves de cirripèdes Protozoaires Rotifères Larves de polychètes Larves de gastéropodes	Abondances totale ↗ Copépodes Larves de cirripèdes Larves de gastéropodes Larves de bivalves Tuniciers	Abondances totale ↗ Copépodes Larves de cirripèdes Larves de gastéropodes Larves de bivalves Gélatineux (Cnidaires, Cténophores et Tuniciers)

Fig. 19. Résumé des caractéristiques des 4 périodes à l'exutoire. Valeurs moyennes et calculées au point 19 (exutoire) ;

*selon le modèle c-s-r de Reynolds (Reynolds, 1988)

** la présence en 2010 de *Pseudo-nitzschia* à des concentrations supérieures à 200 000 cellules/litre est un épisode exceptionnel, même si le genre est très fréquent.

En fonction de la période de présence et des caractéristiques des genres phytoplanctoniques observés, des hypothèses quant à leur comportement et à leur stratégie peuvent être avancées : selon le modèle K-r de « Margalef-Mandala » (Margalef, 1978) et le modèle c-s-r de Reynolds (Reynolds, 1988). Le « modèle de Margalef-Mandala » divise le phytoplancton en 2 groupes selon leur stratégie : la stratégie « r » caractérisant des espèces présentes pendant la période de mélange des eaux et de fortes concentrations en nutriment, comme pour les diatomées, et la stratégie « K » pour les zones oligotrophes et avec des eaux stratifiées qui caractérisent plutôt les dinoflagellés. Ce modèle est utilisé en zone tempérée et démontre les successions diatomées/dinoflagellés. Le « modèle de Reynolds » présente 3 types de stratégies décrivant les phytoplanctons : les phytoplanctons type « c » (colonists invasives) qui sont caractérisés par des petites tailles, des croissances rapides, un rapport S/V important et dominant dans les eaux stratifiées avec des concentrations importantes en sels nutritifs biodisponibles ; les phytoplanctons « r » (ruderals), qui sont de forme allongée et pointue, avec un haut rapport S/V qui leur permet de capter beaucoup de lumière même en eau turbide, en présence de fortes concentrations en sels nutritifs ; les phytoplanctons « s » (stress tolerant) qui sont de grandes espèces, avec un ratio S/V petit, une croissance faible, présents en zone oligotrophique et avec beaucoup de lumière, et pouvant utiliser des stratégies comme la mixotrophie ou effectuer des migrations vers la lumière et/ou vers les sels nutritifs. Les différentes stratégies correspondent à différentes périodes de l'année. Le modèle de « Margalef-Mandala » est applicable à l'estuaire de l'Odet, toutefois, les conditions sont plus favorables aux diatomées, avec peu de stratification des eaux, une turbidité relativement importante, plus favorables aux diatomées (Smayda). Selon le modèle de Reynolds, les phytoplanctons « s » sont plutôt présents en période estivale dans l'Odet (dite des blooms secondaires) où les sels nutritifs vont être limitants, la luminosité importante, les blooms moins importants (fig. 19) ; les phytoplanctons « c » vont plutôt caractériser les espèces présentes pendant la période des blooms printaniers où les concentrations en sels nutritifs sont importantes, ce sont de petites espèces, à forte capacité de prolifération. Les phytoplanctons du type « r » (de friche) seraient plutôt les phytoplanctons hivernaux, présents dans les périodes de faibles abondances phytoplanctoniques, où les apports en nutriments sont importants, la luminosité est faible et la turbidité importante (tempêtes, courants...), avec des formes allongées (Fragilariacées et Naviculacées). Dans le cas de l'Odet, les successions phytoplanctoniques sont assez caractéristiques, en lien avec les comportements et les variations saisonnières.

► 4.5 – BLOOMS DE *PSEUDO-NITZSCHIA SPP.*

Pseudo-nitzschia est une diatomée pennale comportant des espèces potentiellement toxiques (Bates et al., 1998 ; Bates, 2000), produisant de l'acide domoïque, responsable du syndrome ASP (Amnesiant shellfish poisoning) lors d'ingestion de coquillages contaminés. L'acide domoïque est une neurotoxine agissant comme antagoniste du glutamate et va s'attaquer au système nerveux central, provoquant diarrhées, confusions, pertes de mémoire, comas, voire la mort. Les premiers cas d'intoxication à l'acide domoïque ont été observés en 1987 au Canada (Lefebvre 2009), la faune marine peut être touchée également. Des blooms de diatomées du genre *Pseudo-nitzschia* ont été très importants en 2010 et en 2011, à des périodes de l'année différentes. En 2010, les blooms de *Pseudo-nitzschia spp.* ont été observés entre avril et juin, avec un maximum à plus de 100 000 cellules/litre en avril ; les concentrations sont restées relativement importantes sur la majeure partie de l'année (« bruit de fond »). En 2011, les abondances augmentent à partir du mois de juin et les blooms majeurs sont observés au mois d'août, avec des abondances importantes (>140 000 cellules/litre). Les décalages entre les 2 années peuvent être dus aux facteurs environnementaux (climatiques, ...) ou à la présence

d'espèces différentes de *Pseudo-nitzschia*, les différentes espèces du genre *Pseudo-nitzschia*. ne se développant pas à la même période (Fehling et al., 2005). Les facteurs environnementaux jouent un rôle important dans la distribution, la croissance et la toxicité chez *Pseudo-nitzschia*. L'expression de la toxicité peut évoluer en fonction des concentrations en nutriments, et la production d'acide domoïque augmente en cas de limitation en silicates et en phosphates pour *P. multiseriata* (Pan et al. 1996, Bates 1998) et *P. seriata* (Fehling et al, 2004b), et la production d'acide domoïque chez *P. australis* est corrélée négativement avec les rapports Si :N et Si :P (Anderson et al, 2006).

Les efflorescences de *Pseudo-nitzschia* et des autres phytoplanctons toxiques ont également un impact économique sur les activités de conchyliculture, pêche embarquée (notamment les campagnes de pêche à la coquille Saint Jacques en Baie de Concarneau), pêche à pied professionnelle et pêche récréative (tourisme), en provoquant des fermetures sanitaires et des interdictions de pêche et de vente.

5. Communication et formation

↳ *Vers une meilleure connaissance des acteurs des zones estuariennes des enjeux de la qualité de l'eau sur l'ensemble des activités économiques*

Un des objectifs principaux du projet est de rendre la science et la recherche accessible à tous, de communiquer sur le projet (résultats, partenaires, financeurs...) via des animations, des formations ou des séances de d'information.

▶ Les activités de l'association Cap vers la Nature et de la Ferme de Kerlavic sont présentées en annexe.

▶ 5.1 – PARTICIPATION À DES ÉVÈNEMENTS

2010

- Diffusion des documents pour des événementiels autour de la qualité de l'eau et du monde maritime (Transat au départ de Saint Malo, stand de la région Bretagne 2010).

2011

- Animation débat lors du Festiv'algues à Pleubian (22) le 20 mai : présentation du projet, explication du phénomène d'eutrophisation, utilisation de la mallette pédagogique d'analyse des sels nutritifs et observation du plancton local. Public : scolaires et grand public + distribution des posters pédagogiques du projet (Hélène Laguerre, Florent Arnaud).

2012

- 2 février : journée mondiale des zones humides à Tréfiagat, interventions auprès d'élèves d'écoles primaires (Hélène Laguerre, Marie Czamanski et Simone Grass).
- 21 et 22 juin 2012 : foire à l'eau de Bréhoulou, élèves de primaire « atelier les experts ». présentation de la mallette pédagogique d'analyses des nitrates + distribution de livrets + planches de d'observation du plancton (Hélène Laguerre et Marie Czamanski)

▶ 5.2 – COMMUNICATION SUR LE PROJET DANS LE TERRITOIRE

2010

- Sensibilisation auprès des scolaires (enseignement agricole et général) avec Aurélie Rio de la ferme de Kerlavic : plusieurs séances de sensibilisation sur les bassins versants, l'agriculture et la qualité de l'eau ont été dispensées.
- Article sur le projet ECOESTUA en page régionale du journal Ouest France du 25 mai 2010.
- Présentation du projet en commission estuaire du SAGE de l'Odet, 1er juin 2010, à Agrocampus Ouest site de Beg-Meil, diaporama et visite de l'écloserie du site, (Hélène Laguerre et Florent Arnaud)
- Exposition au Festival'Odet, 26 septembre 2010, à Gouesnach sur les rives de l'Odet et animations avec le camion pédagogique « la ferme qui roule » de la Ferme de Kerlavic pour le Festival'Odet.

2011

- Présentation du projet et des premiers résultats à la CLE du SAGE de l'Odet, le 13 décembre 2011, à Ergué Gabéric (avancement du projet, résultats), Hélène Laguerre
- Intervention auprès d'élèves de 2^{nde} en formation agricole au lycée agricole de Bréhoulou (29) : Biodiversité marine, relations terre-mer, sels nutritifs et phytoplancton : collecte et observation du plancton marin et de leurs étangs pédagogiques. (Hélène Laguerre et Marie Czamanski)

2012

- Conférence pour l'association des pêcheurs plaisanciers de l'Odet à Combrit le 6 avril : le lien entre la qualité de l'eau et les activités économiques et de loisir sur l'Odet (Hélène Laguerre).



Intervention pour les pêcheurs plaisanciers de l’Odet et l’association nationale de la pêche plaisance. Un article est paru dans Ouest France en page locale.

- Intervention au Lycée agricole de Bréhoulou avec des secondes générales et des secondes pro aquaculture (mai et septembre) : la qualité de l’eau, paramètres et lien avec les activités professionnelles sur le littoral. (Hélène Laguerre et Marie Czamanski)
- Rencontre avec des élèves de primaire (école de Pleuven) et l’ORTF le 5 juin sur le site de Beg-Meil : qu’est ce que la qualité de l’eau ? Découverte du plancton.
- Restitution des résultats et actions du projet ECOESTUA devant des membres de la CLE, le 26 novembre à Quimper (Hélène Laguerre, Marie Czamanski et Simone Grass)
- A venir : un concours artistique « dessine-moi l’Odet ! » sera lancé en décembre 2012 à destination des écoles du bassin versant de l’Odet. Les gagnants seront récompensés par des lots et seront intégrés à l’exposition itinérante Ecoestua. Le Sivalodet est partenaire du concours.

Rencontres et sensibilisation au fil des prélèvements : avec pêcheurs professionnels et occasionnels, riverains, agents de communes, vacanciers, ... Ces rencontres et discussions peuvent paraître superficielles mais comme elles se déroulent de façon informelle et les acteurs voient les prélèvements, l’étude devient palpable, à leur portée car sur leur territoire et possibilité de parler avec les chargés de mission. Elles permettent d’expliquer les enjeux de qualité de l’eau, et de vaincre les représentations obstacles. De plus, il s’agit bien souvent des acteurs du territoire ou de la qualité de l’eau (pêcheurs plaisanciers et professionnels, agents des communes, chercheurs biologistes en vacances...). Il en ressort bien souvent que les riverains de l’Odet et acteurs du territoire sont curieux de la qualité de l’eau et veulent en découvrir beaucoup plus.

► 5.3 – FORMATIONS

Deux sessions de formations ont été organisées en septembre 2012 sur le thème de la qualité de l’eau et la sensibilisation à l’environnement. Les bilans de réunions, rencontres lors de salons, et une demande exprimée par plusieurs associations du REEB ont permis de faire ressortir le besoin d’en savoir plus sur la qualité de l’eau, les sels nutritifs, le phytoplancton, et la sensibilisation à l’environnement. Les animateurs nature ont rarement l’occasion de participer à des formations (disponibilité, financement...) et de se rencontrer et échanger sur cette thématique. C’est pour cela qu’une formation a été montée et proposée à l’ensemble des associations de sensibilisation à l’environnement, et plus largement aux acteurs des territoires. Une première session de 3 jours a regroupé 23 personnes d’horizons différents : associations, collectivités, aquaculteurs, individuels... La deuxième session était composée des animateurs de l’association SEPNEB – Bretagne vivante (25 personnes) et s’est déroulée sur 2 jours.



Formation sur le plancton et la sensibilisation à la qualité de l’eau : observation du plancton et prélèvements sur le terrain.

Les formations ont permis d'échanger savoirs scientifiques et pédagogiques sur le thème de la qualité de l'eau, et de se faire rencontrer des animateurs nature, qui ont peu de temps pour dialoguer entre eux et échanger sur leurs pratiques. Certains ont présenté et diffusé leurs outils pédagogiques.

Un document support de la formation a été créé et remis aux participants (documents pédagogiques, cours, ressources documentaires...).

► Le compte-rendu des formations et les contenus sont présentés en annexe.

► 5.4 – AUTRES INTERVENTIONS

2010

- journée inter-établissements du réseau Ecoflux, le 7 décembre 2010, IUEM, Brest. Présentation du projet et des activités sur l'Odet, Florent Arnaud, Hélène Laguerre, Gilles Campion et Aurélie Rio.



Présentation des métiers « de pêcheur, conchyliculteur et mytiliculteur en estuaire » ; une diversification nécessaire pour survivre de son métier par Gilles CAMPION, pêcheur sur l'estuaire de l'Odet ; Qu'est-ce que la qualité de l'eau ? Présentation du projet Ecoestua, par Hélène Laguerre ; L'agriculture et le développement durable des territoires, Aurélie Rio.

- Présentation du projet dans le cadre d'un atelier européen Grundtvig à Agrocampus Ouest Site de Beg-Meil « découvrir le littoral, du plancton à l'homme / discover the seashore, from the plankton to the human being » mercredi 1er décembre 2010, avec la Ferme de Kerlavic (Hélène Laguerre, Aurélie Rio). Les Européens inscrits au stage ont reçu les documents pédagogiques traduits sur le projet.



Visite de la ferme, présentation du bassin versant de l'Odet et présentation des sites de prélèvement

2011

- journée inter-établissements du réseau Ecoflux, le 1^{er} décembre 2011, lycée agricole de l'Aulne à Châteaulin. Présentation du projet et des activités sur l'Odet, Marie Czamanski, Hélène Laguerre et Pascal Comte. Présentation des métiers de conchyliculteur en estuaire et de leur place sur le littoral par Pascal COMTE, conchyliculteur en rade de Brest ; Qu'est-ce que la qualité de l'eau ? Présentation du projet Ecoestua, par Hélène Laguerre.
- Intervention sur le rôle écologique des estuaires et le suivi Ecoestua pour une formation du CNFPT (Centre National de la Fonction Publique Territoriale), 6 juin, Hélène Laguerre, sur le site de Beg-Meil d'Agrocampus Ouest.
- Organisation et animation de 2 séquences pédagogiques avec les étudiants de la licence professionnelle « coordination interprofessionnelle des zones côtières » sur les bassins versants, la qualité de l'eau des estuaires et les activités littorales :
 - ➔ Mardi 25 octobre : sortie terrain à Kerlavic sur le bassin versant de l'Odet, la qualité de l'eau des estuaires et les activités agricoles : Hélène Laguerre, Aurélie Rio et Marie Czamanski.

- ➔ Mercredi 26 octobre : Jeu de rôle : travailler sur le bassin versant de l'Odet en recréant une commission estuaire de SAGE. Les d'étudiants sont répartis en groupes d'acteurs de l'Odet, la séance à Kerlavic leurs a permis d'avoir une vision globale des problématiques et enjeux sur le bassin versant, Hélène Laguerre.
- Intervention dans le cadre de formations courtes auprès des professionnels maritimes sur la biologie du plancton et la qualité de l'eau : employés de conserverie (30 mars), auprès d'agents du Parc Marin d'Iroise, fédération de pêche du Finistère (25 janvier 2011). Hélène Laguerre.

2012

- La qualité de l'eau en estuaire, auprès de BTS du lycée agricole de Tours dans le cadre de leur séjour « étude du milieu » le 21 mai.
- 20 juin : réunion avec Nadine Souchard et Elena Barnovitch (sociologues) sur les projets Asosc.
- Intervention sur le plancton et la qualité de l'eau pour le collège de Pouldreuzic le 13 décembre, avec un groupe d'élèves préparant le concours « CGénial ».

► 5.5 – PRODUCTION DE RESSOURCES PEDAGOGIQUES

Des ressources pédagogiques ont été produites durant les 3 années du projet afin d'informer les usagers, le grand public et les élus du projet ECOESTUA, des posters et affichettes de présentation de l'étude ont été créés, permettant de sensibiliser à la qualité de l'eau, à la démarche scientifique tout en impliquant les acteurs du territoire au projet.

- Affiches de présentation du projet : une impression sur bâche de 90*120 cm a été faite pour les animations, conférences, salons... Des modèles miniatures ont été distribués. Les 3 documents ont également été produits en anglais.
- Diaporama animé sur ECOESTUA
- Planches et livret d'observation du plancton (fournis en annexe)
- Fiches « planctons toxiques »
- Fiches TP
- Document du participant pour les formations (documents pédagogiques, cours, ressources documentaires, photos...).

En cours d'élaboration : exposition itinérante sur les résultats du projet et plus globalement sur la qualité de l'eau. Cette exposition sera modulable et circulera dans les communes du bassin versant de l'Odet et pourra être prêtée à des associations ou collectivités dans le cadre de festivals, projets...

► 5.6 – ACCOMPAGNEMENT, CONSEILS

- Conseils auprès des gestionnaires du SAGE (réflexion sur les actions à mettre en place sur le bassin versant, communication et diffusion des résultats) et formations auprès d'associations environnementales, entreprises maritimes...
- Réflexion avec Guy Prigent sur le projet de création d'un « centre d'interprétation des algues » à côté du sillon de Talbert (22), des photographies de plancton ont été données à cette occasion pour illustrer une exposition (photos Hélène Laguerre).
- Réunion avec Ifremer station de Concarneau (28 octobre) : présentation du projet et premiers résultats.
- Conseils et formations auprès d'associations environnementales, de commissaire enquêteurs,...
- Accompagnement à la professionnalisation sur 5 jours pour Anne Blondel, permanente de l'association Observatoire du plancton à Port-Louis (détermination de plancton, le rôle des sels nutritifs, pédagogie, qualité de l'eau...). Un document support de la formation a été créé et remis à la permanente (documents pédagogiques, cours, ressources documentaires...).

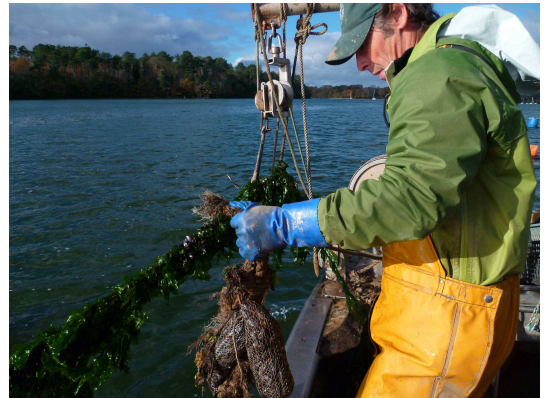
6. Conclusion et perspectives

Le projet ECOESTUA a permis de mieux connaître le fonctionnement de la partie estuarienne de l'Odet : les liens entre flux de sels nutritifs et variations des compositions phytoplanctoniques, et les variations saisonnières ont été mises en évidence. Une première caractérisation de l'estuaire de l'Odet a donc été proposée, toutefois, 2 années de données ne sont pas suffisantes pour modéliser le système. La mise en place d'une sonde dans l'estuaire avec la poursuite du suivi du phytoplancton pourrait permettre d'affiner les résultats à plus haute fréquence. L'acquisition de données supplémentaires serait primordiale pour mieux répondre aux hypothèses émises lors de cette étude et permettrait aussi de mieux comprendre le fonctionnement de l'estuaire, des temps de réponse et d'évaluer la contribution de l'Odet dans le phénomène des marées vertes. Enfin la poursuite de ces observations serait d'une grande utilité pour une surveillance spatio-temporelle sur le long terme de l'état d'eutrophisation de l'estuaire de l'Odet

Au niveau de la communication autour du projet, les actions ont permis de sensibiliser sur l'importance de l'observation scientifique et sur la qualité de l'eau les différents acteurs du territoire, mais aussi plus largement de permettre à chacun de s'approprier les savoirs pour mieux comprendre son environnement, son cadre de vie. Les formations ont été un point fort du projet, en regroupant pour la première fois les associations de sensibilisation dans une formation et dans un principe d'échange de pratiques. La présence régulière sur le terrain et la participation de professionnels a également permis de « démystifier » la recherche et de décloisonner les acteurs.

Une publication des résultats dans une revue scientifique est envisagée.

ECOESTUA : Mieux connaître et faire connaître la qualité de l'eau, de la rivière à l'estuaire, à partir du suivi des sels nutritifs et du plancton, pour répondre aux enjeux de reconquête de qualité de l'eau et de protection d'espèces endogènes...



... Contribuer à connaître et améliorer la qualité de l'eau est une garantie de la pérennité des activités économiques sur l'Odet.



Photos : Hélène Laguerre et Marie Czamanski

Bibliographie

- ALEKSANDROV S.V., 2010. Biological production and eutrophication of Baltic Sea estuarine ecosystems : The Curonian and Vistua Lagoons. *Marine Pollution Bulletin*, 61 : 205-210
- ALVES-DE-SOUZA C., GONZALE M.T., IRIARTE J.L., 2008. Functional groups in marine phytoplankton assemblages dominated by diatoms in fjords of southern Chile. *Journal of plankton research*, 30 (11) : 1233-1243
- ANDERSON C., BRZEZINSKI M.A., WASHBURN L., KUDELA R., 2006. Circulation and environmental conditions during a toxigenic *Pseudo-nitzschia australis* bloom in the Santa Barbara Channel, California. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 327 : 119-133.
- ANDERSON J.H., SCHLUTER L., AERTEBJERG G., 2006. Coastal eutrophication: recent developments in definitions and implications for monitoring strategies. *Journal of plankton research*, 28 (7) : 621-628.
- AMINOT A., 2001a. Définition opérationnelle du terme « eutrophisation ». In : L'eutrophisation des eaux marines et saumâtres en Europe, en particulier en France, A. Menesguen (coord.). Rapport IFREMER DEL/EC/01.02 janvier 2001, pp.4-5.
- AMINOT A., 2001b. Richesse en nutriments. In : L'eutrophisation des eaux marines et saumâtres en Europe, en particulier en France, A. Menesguen (coord.). Rapport IFREMER DEL/EC/01.02 janvier 2001, pp. 40-44.
- ANDERSON J., SCHLUTER L., AERTEBJERG G., 2006. Coastal eutrophication: recent developments in definitions and implications for monitoring strategies. *Journal of plankton research*, vol. 28, 7 : 621-628.
- ARHONDITSIS G.B., STOW C.A., PAERL H.W., VALDES-WEAVER L. M., STEINBERG L.J., RECKHOW K.H., 2007. Delineation of the role of nutrient dynamics and hydrologic forcing on phytoplankton patterns along a freshwater-marine continuum. *Ecological modelling*, 208: 230-246.
- AUROUSSEAU P., VINSON J., DE BARMON V., MORISSON C., PRIOUL F., 2003. Calculs des flux annuels et des flux spécifiques annuels d'azote nitrique des principaux fleuves et rivières de Bretagne. *Rapport ENSAR*, 25p.
- AUROUSSEAU P., VINSON J., 2006. Mise en évidence de cycles pluriannuels relatifs aux concentrations et aux flux de nitrates dans les bassins versants de Bretagne. Conséquences pour l'interprétation de l'évolution de la qualité de l'eau. 18p.
- BADYLAK S., PHILIPS E.J., 2004. Spatial and temporal patterns of phytoplankton composition in a subtropical coastal lagoon, the Indian River Lagoon, Florida, USA. *Journal of plankton research*, 26 (10) : 1229-1247.
- BATES S.S., GARRISON, D.L., HORNER, R.A., 1998. Bloom dynamics and physiology of domoic-acid-producing *Pseudo-nitzschia* species. In: Anderson, D.M., Cembella, A.D., Hallegraeff, G.M. (Eds.), *Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms*. Springer-Verlag, Heidelberg, pp. 268–292.
- BATES S.S., 1998. Ecophysiology and metabolism of ASP toxin production. In: Anderson, D.M., Cembella, A., Hallegraeff, G.M. (Eds.), *Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms*. Springer-Verlag, Heidelberg, pp. 405–426.
- BATES S.S., 2000. Domoic acid-producing diatoms: another genus added! *J. Phycol.* 36, 978–983.
- BIDLE K.D., AZAM F., 1999. Accelerated dissolution of diatom silica by marine bacterial assemblage. *Nature* 397: 508-512.
- BRZEZINSKI, M. A. 1985. The Si:C:N ratio of marine diatoms: Interspecific variability and the effect of some environmental variables. *J. Phycol.* 21: 347–357.
- BUCHET R., 2000, Identification des voies d'écoulement drainant les sels nutritifs et des interactions biogéochimiques intervenant lors de leur transfert aux cours d'eau. *Rapport de stage. Université de Bretagne Occidentale*. 25 p.
- CANN C., BORDENAVE P., SAINT-CAST P., BENOIST J. C., 1999. Transfert et flux de nutriments - Importance des transports de surface et de faible profondeur. In *Actes de colloques 'Pollutions diffuses : du bassin versant au littoral'*. Ifremer, 125-140.
- CANTON M., ANSCHUTZ P., POIRIER D., CHASSAGNE R., DEBORDE J., SAVOYE N. 2012. The buffering capacity of a small estuary on nutrient fluxes originating from its catchment (Leyre estuary, SW France). *Estuarine, Coastal and Shelf science*, doi:10.1016/j.ecss.2011.12.030 in press
- CHAUVAUD L., JEAN F., RAGUENEAU O., THOUZEAU G. 2000. Long-term variation of the Bay of Brest ecosystem : benthic-pelagic coupling revisited. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 200:35-48

- CLOERN J.E., 1996. Phytoplankton bloom dynamics in coastal ecosystems: A review with some general lessons from sustained investigation of San Francisco Bay, California. *Reviews of Geophysics* 34, 127:168.
- CLOERN J.E., 1999. The relative importance of light and nutrient limitation of phytoplankton growth: a simple index of coastal ecosystem sensitivity to nutrient enrichment. *Aquatic Ecology* 33, 3:15.
- CLOERN J.E., DUFFORD R. 2005. Phytoplankton community ecology: principles applied in San Francisco Bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 285 : 11-28.
- CONLEY DJ (2000) Biogeochemical nutrient cycles and nutrient management strategies. *Hydrobiologia* 410:87-96
- CONLEY DJ, SCHELSKE CL, STOERMER EF (1993) Modification of the biogeochemical cycle of silica with eutrophication. *Mar Ecol Prog Ser* 101:179-192
- CONLEY D.J., 2000. Biogeochemical nutrient cycles and nutrient management stratégies. *Hydrobiologia*, 410 : 87-96.
- CONLEY D. J., PEARL W. H., HOWARTH W. R., BOESCH D. F., SEITINGER S. P. HAVENS K.E., LANCELOT C. LIKENS G. E., 2009. Controlling eutrophication : nitrogen and phosphorus. *Sciences* vol. 323.
- DAVIDSON K., FEHLING J. 2006. Modelling the influence of silicon and phosphorus limitation on the growth and toxicity of *Pseudo-nitzschia seriata*. *African Journal of Marine Science*, 28 (2) : 357-360.
- DION P., LE BOZEC S., 1999. Contenu tissulaire des ulves en azote et phosphore comme facteurs limitants de leur croissance en baie de Douarnenez. In : *Pollutions diffuses : du bassin versant au littoral*, M. Merceron (coord.). Actes de colloques IFREMER n°24 : 77-85.
- DEL AMO Y. (1996) Dynamique et structure des communautés phytoplanctoniques en écosystème côtier perturbé; cinétiques de l'incorporation de silicium par les diatomées. Thèse de doctorat, Université Bretagne Occidentale, Brest
- DEL AMO Y, LE PAPE O, TREGUER P, QUEGUINER B, MENESGUEN A, AMINOT A (1997a) The impacts of high-nitrate freshwater inputs on macrotidal ecosystems: I-Seasonal evolution of nutrient limitation for the diatom-dominated phytoplankton of the Bay of Brest (France). *Mar Ecol Prog Ser* 161:213-224
- DEL AMO Y, QUEGUINER B, TREGUER P, BRETON H, LAMPERT L (1997b) The impacts of high-nitrate freshwater inputs in macrotidal ecosystems: II-The specific role of the 'silicic acid pump' in the year-round dominance of diatoms in the Bay of Brest (France). *Mar Ecol Prog Ser* 161:225-237
- DORIOZ J. M., AUROUSSEAU P., BOURRIE G., 2009. Le phosphore dans l'environnement : bilan des connaissances sur les impacts, les transferts et la gestion environnementale, Institut océanographique, 331p.
- DOUARD A.S., 2002 Recueil de données hydrologiques et géologiques sur les bassins versants ECOFLUX. Réseau ECOFLUX, 48p.
- DUCROTOY J.P., 2008, Pre-étude à l'établissement de mesures de maintien et de restauration des fonctionnalités de la Seine aval et des milieux connexes, GIP, Seine Aval, 98p.
- FEHLING J., DAVIDSON K., BOLCH C., BATES S. 2004. Growth and domoic acid production by *Pseudo-nitzschia seriata* (Bacillariophyceae) under phosphate and silicate limitation. *Journal of phycology*, vol. 40, 4 : 674-683.
- FEHLING, J., GREEN, D., DAVIDSON, K., BOLCH, C.J., BATES, S.S., 2004b. Domoic acid production by *Pseudo-nitzschia seriata* (Bacillariophyceae) in Scottish waters. *J. Phycol.* 40, 674-683.
- FEHLING J., DAVIDSON K., BATES S. 2005. Growth dynamics of non-toxic *Pseudo-nitzschia delicatissima* and toxic *P. seriata* (Bacillariophyceae) under simulated spring and summer photoperiods. *Harmful Algae*, 4 : 763-769.
- FEHLING J., DAVIDSON K., BOLCH C.J., BATES S.S., 2004. Growth and domoic acid production by *Pseudo-nitzschia seriata* (Bacillariophyceae) under phosphate and silicate limitation. *Journal of phycology*, vol. 40, n°4 : pp. 674-683.
- FRAIKECH M., BERRAHO A., RAMDANI M., CHAFIK A., SERGHINI M., MOUKRIM A., 2005. Evolution spatio-temporelle des dinoflagellés dans la baie d'Agadir, Maroc. *Marine Life*, vol. 15 (1-2) : 19-27.
- FRANCOIS O., 1994. Modélisation empirique des transferts de phosphore dans des bassins versants ruraux. *Mémoire de DAA génie de l'environnement, option transferts hydriques et énergétiques. Cemagref, Ensa Rennes*, p64.
- GAILHARD I., DURBEC J.P., BELIAEFF B., SABATIER R. 2003. *C. R. Biologies*, 326 : 853-863.
- GLE C., DEL AMO Y., SAUTOUR B., LABORDE P., CHARDY P. 2008. Variability of nutrients and phytoplankton primary production in a shallow macrotidal coastal ecosystem (Arcachon Bay, France). *Estuarine, coastal and shelf science*, 76 : 642-656.

- GLIBERT P.M., SEITZINGER S., HEIL C., BURKHOLDER J., PARROW M., CODISPOTI L., KELLY V. 2005. The role of eutrophication in the global proliferation of harmful algal blooms, new perspectives and news approaches. *Oceanography*, 18 (2) : 198-209.
- GLIBERT P.M., ALLEN J.I., BOUWMAN A.F., BROWN C., FLYNN K., LEWITUS A., MADDEN C. 2010. Modeling of HABs and eutrophication: status, advances, challenges. *Journal of marine systems*, 83:262-275.
- GUILLAUD J.F., BOURIEL L., 2006. Relation concentration-débit et évolution temporelle du nitrate dans 25 rivières de la Région Bretagne (France). *Revue des sciences de l'eau*, 20 (2) : 213-226.
- GUILLEMANT C., 2003. Etude comparative de cinq bassins versants suivis par le réseau ECOFLUX. Rapport de stage. Réseau ECOFLUX, 57p.
- HALLEGRAEFF G.M., REID D.D., 1986. Phytoplankton species successions and their hydrological environment at a coastal station of Sydney. *Australian journal of marine and freshwater research*, 37 (3) : 361-377.
- Hallegraeff GM (1993) A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia* 32:79-99
- HEISLER J., GLIBERT P.M. et al, 2008. Eutrophication and harmful algal blooms: a scientific consensus. *Harmful Algae*, 8 : 3-13.
- HORNER, R.-A., A Taxonomic Guide To Some Common Marine Phytoplankton, Editions Biopress Limited, Bristol, 2ème édition 2005, 195 p.
- IFREMER, 2001. L'eutrophisation des eaux marines et saumâtres en Europe, en particulier en France, A. Menesguen (coord.). Rapport IFREMER DEL/EC/01.02 janvier 2001. 59 pp.
- IGNATIADIS L., GOTSIS-SKRETAS O., PAGOU K., KRASAKOPOULOU E., 2009. Diversification of phytoplankton community structure and related parameters along a large-scale longitudinal east-west transect of the Mediterranean Sea. *Journal of plankton research*, 31 (4): 411-428.
- JACQUES, G., *Ecologie du plancton*, Editions Lavoisiers, Paris, 2006, 283p. (collection Tec & Doc).
- JEGOU R., 1999. Analyse et interprétation des teneurs en sels nutritifs des rivières finistériennes pour l'année 98-99. Rapport de stage. Réseau ECOFLUX, 46p.
- JOUENNE F., LEFEBVRE S., VERON B., LAGADEUC Y., 2007. Phytoplankton community structure and primary production in small intertidal estuarine-bay ecosystem (estern English Channel, France). *Marine Biology*, 151 : 805-825.
- KOCUM E., UNDERWOOD, G.J.C., NEDWELL, D.B., 2002. Simultaneous measurement of phytoplanktonic primary production, nutrient and light availability along a turbid, eutrophic UK east coast estuary (the Colne Estuary). *Marine Ecology Progress Series* 231, 1:12.
- LARINK, O. & WESTHEIDE, W., *Coastal Plankton, Photo Guide for European Seas*, Editions Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 2006, 143p.
- LE BAILL C., POULINE P., 2007, Evolution des nitrates sur les bassins versants du réseau ECOFLUX. *Rapport de stage. IUEM*. p23.
- LE CORRE, P., TREGUER, P., 1976, Contribution à l'analyse automatique des sels nutritifs dans l'eau de mer, pp. 57-101.
- LEMERCIER B., La pollution par les matières phosphorées en Bretagne, sources, transfert et moyens de lutte, étude bibliographique, rapport DIREN, 2003.
- LE PAPE O (1996) Modelisation des cycles biogéochimiques des éléments limitant la production phytoplanctonique en rade de Brest. Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Rennes, Rennes
- LE PAPE O, DEL AMO Y, MENESGUEN A, AMINOT A, QUEGUINER B, TREGUER P (1996) Resistance of a coastal ecosystem to increasing eutrophic conditions: the Bay of Brest (France), a semi-enclosed zone of western Europe. *Cont Shelf Res* 16:1885-1907
- LEVASSEUR M., THERRIAULT J.C., LEGENDRE L., 1984. Hierarchical control of phytoplankton succession by physical factors. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 19:211-222.
- LOIR, M., *Guide des diatomées*, Editions Delachaux et Niestlé, Paris, 2004, 239p. (collection les guides du naturaliste).
- LOUREIRO S., GARCES E., FERNANDEZ-TEJEDOR M., VAQUE D., CAMP J., 2009. *Pseudo-nitzschia spp. (Bacillariophyceae)* and dissolved organic matter (DOM) dynamics in the Ebro Delta (Alfacs Bay, NW Mediterranean Sea). *Estuarine, coastal and shelf science*, vol. 83, N°4 : pp. 539-549.
- MARGALEF R (1978) Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanol Acta* 1: 493-509

- MARGALEF, R. (1963). On certain unifying principles in ecology. *Am. Nat.* 97: 357-374
- MARGALEF, R. (1967). Some concepts relative to the organization of plankton. *Oceanogr. mar. Biol. A. Rev.* 5: 257-289
- MARTIN-JÉZÉQUEL, V., M. A. BRZEZINSKI, AND M. HILDEBRAND. 2000. Silicon metabolism in diatoms: Implications for growth. *Journal of Phycology* 36:821-840.
- MARTIN C, 2003. Mécanismes hydrologiques et hydrochimiques impliqués dans les saisonnières des teneurs en nitrate dans les bassins versants agricoles : approche expérimentale et modélisation. Thèse. INRA Rennes. p255.
- MARTIN., AQUILINA L., GASCUEL-ODOUX C., MOLENAT J., FAUCHEUX M. AND RUIZ L. 2004. Seasonal and inter-annual variations of nitrate and chloride in stream waters related to spatial and temporal patterns of groundwater concentrations in agricultural catchments, *Hydrological Processes*, 18, 1237-1254
- MENESGUEN A., 1992. Modelling coastal eutrophication: the case of French Ulva mass blooms. *Sci Total Environ. (Suppl)* : 979 - 992.
- MENESGUEN A., 2003. Les "marées vertes" en Bretagne, la responsabilité du nitrate. <http://www.ifremer.fr/envlit/documentation/documents.htm>.
- MENESGUEN A., SALOMON J.C., 1998. Eutrophication modelling as a tool for fighting against Ulva coastal blooms. In : B.A. Schreffler and O.C. Zienkiewicz, (eds) *Computer Modelling in Ocean Engineering*. Balkema, Rotterdam, pp 443 - 450.
- MENESGUEN A., CHAPPELLE A. 2001. La modélisation, outil de compréhension de la dynamique de l'eutrophisation. In : L'eutrophisation des eaux marines et saumâtres en Europe, en particulier en France, A. Menesguen (coord.). Rapport IFREMER DEL/EC/01.02 janvier 2001, pp 27-31.
- MEROT P., BOURGUET M., LEUCHE M., 1981. Analyse d'une crue à l'aide du traçage naturel par l'oxygène 18, mesure dans les pluies, le sol, le ruisseau. *CATENA* 8, 6981. *Rapport 2009*
- MEUNIER J.-D, 2003, Le rôle des plantes dans le transfert du silicium à la surface des continents, *C. R. Geoscience* 335
- MOLENAT J., GASCUEL-ODOUX C., 2002. Modelling flow and nitrate transport in groundwater for the prediction of water travel times and of consequences of land use evolution on water quality. *Hydrological Process*, 16 : 479-492.
- MURPHY, J., RILEY, JP, 1962, A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters, *Analytica chem. Acta* (27), p31 à 36.
- PAINTING, S.J., DEVLIN, M.J., MALCOLM, S.J., PARKER, E.R., MILLS, D.K., MILLS, C., TETT, P., WITHER, A., BURT, J., JONES, R., WINPENNY, K., 2007. Assessing the impact of nutrient enrichment in estuaries: Susceptibility to eutrophication. *Marine Pollution Bulletin* 55, 74e90.
- PAN, Y., SUBBA RAO, D.V., MANN, K.H., 1996. Changes in domoic acid production and cellular chemical composition of the toxigenic diatom *Pseudo-nitzschia multiseries* under phosphate limitation. *J. Phycol.* 32, 371-381.
- PAN, Y., BATES, S.S., CEMBELLA, A.D., 1998. Environmental stress and domoic acid production by *Pseudo-nitzschia*: a physiological perspective. *Nat. Toxins* 6, 127-135.
- PAULET Y. M., RAGUENEAU O., 2008, Une goutte d'eau dans l'océan, n° special, eau & rivière.
- PEARSON TH, ROSENBERG R (1978) Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr Mar Biol Annu Rev* 16:229-311
- PIRIOU J. Y., SOUCHU P., 2001. Le rôle des bassins versants dans le calendrier des apports terrigènes de nutriments. In Rapport IFREMER 'L'eutrophisation des eaux marines et saumâtres en Europe, en particulier en France'. Ifremer, 23-26.
- POULET SA, IANORA A, MIRALTO A, MEIJER L (1994) Do diatoms arrest embryonic development in copepods? *Mar Ecol Prog Ser* 111:79-86
- QUEGUINER B (1982) Variations qualitatives et quantitatives du phytoplancton dans un ecosysteme eutrophe fortement soumis aux effets des marées: La rade de Brest. These 3ème cycle, Université Bretagne Occidentale, Brest
- RAGUENEAU, O., E. DE BLAS VARELA, P. TRE'GUER, B. QUE'GUINER, AND Y. DEL AMO. 1994. Phytoplankton dynamics in relation to the biogeochemical cycle of silicon in a coastal ecosystem of western Europe. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 106: 157-172.
- RAGUENEAU, O., L. CHAUVAUD, A. LEYNAERT, G. THOUZEAU, Y.-M. PAULET, S. BONNET, A. LORRAIN, J. GRALL, R. CORVAISIER, M. LE HIR, F. JEAN, AND J. CLAVIER. 2002a. Direct evidence of a biologically active coastal silicate pump: Ecological implications. *Limnology and Oceanography* 47(6):1849-1854.

- REDFIELD AC, KETCHUM BH, RICHARDS FA (1963) The influence of organisms on the composition of sea-water. In: Hill MN (ed) The sea, Vol 2. The composition of sea-water comparative and descriptive oceanography. Interscience Publishers, New York, p 26-77
- REYNOLDS, C. S. (1988) Functional morphology and the adaptive strategies of freshwater phytoplankton. In Sandgren, C. D. (ed.), Growth and Reproductive Strategies of Freshwater Phytoplankton. Cambridge University Press, pp. 388–433.
- REYNOLDS, C. S., HUSZAR, V., KRUK, C. et al. (2002) Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. J. Plankton Res., 24, 417–428.
- RICARD, M., Atlas du phytoplancton, vol. 2 : Diatomophycées, Editions du CNRS, Paris, 1987, 294p.
- SAHRAOUI I., GRAMI B., BATES S.S., BOUCHOUICHA D., CHIKHAOUI M.A., MABROUK H.H., HLAILI A.S., 2012. Response of potentially toxic *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyceae) populations and domoic acid to environmental conditions in a eutrophied, SW Mediterranean coastal lagoon (Tunisia). Estuarine, coastal and shelf science, 102-103 : 95-104.
- SCHNETZER A. , MILLER P.E., SCHAFFNER R.A., STAUFFER B.A., JONES B.H., WEISBERG S.B, DIGIACOMO P.M., BERLSON W.M., CARON D.A., 2007. Blooms of *Pseudo-nitzschia* and domoic acid in the San Pedro Channel and Los Angeles harbor areas of the southern California Bight, 2003–2004. Harmful Algae, 6 : 372–387
- SMAYDA, T. J. (1963). Succession of phytoplankton. and the ocean as an holocoenotic environment. In: Oppenheimer. C. H. (ed.) Symposium on marine microbiology. Thomas, Springfield, p. 260-274
- SMAYDA, T.J., 1997. Harmful algal blooms: their ecophysiology and general relevance to phytoplankton blooms in the sea. Limnology and Oceanography 42, 1137e1153.
- SMAYDA, T. J. AND REYNOLDS, C. S. (2001) Community assembly in marine phytoplankton; application of recent models to harmful dinoflagellate blooms. J. Plankton Res., 23, 447–461.
- SOURNIA, A., Atlas du phytoplancton marin, vol. 1 : Cyanophycées, Dictyochophycées, Dinophycées, Raphidophycées, Editions du CNRS, Paris, 1986, 219p.
- TEXERAUD S., POULINE P., 2007. Le réseau ECOFLUX : Présentation des bassins versants. Fiches techniques. *Rapport de stage. IUEM*. p53.
- THIEU V., BILLEN G., GARNIER J., BENOIT M., 2011. Nitrogen cycling in a hypothetical scenario of generalised organic agriculture in the Seine, Somme and Scheldt watersheds. Reg. Environ. Change, 11:359-370.
- TODD, C.-D., LAVERAK, M.-S. & BOXSHALL, G.-A., Coastal Marine Zooplankton, Editions Cambridge University Press, 2ème edition 1996, 106p.
- TREGOUBOFF, G. & ROSE, M., Manuel de Planctonologie Méditerranéenne, Tome 1 : Texte, Editions CNRS, Paris, 1978. 587p.
- TREGOUBOFF, G. & ROSE, M., Manuel de Planctonologie Méditerranéenne, Tome 2 : Planches, Editions CNRS, Paris, 1978.
- TREGUER P., LHUILLERY M. et VIARD F., 2009, Changement climatique et impacts sur les écosystèmes marins de l'ouest de la France, Conseil Scientifique de l'Environnement de Bretagne, 32p.
- TURNER R.E., RABALAIS N.N, JUSTIC D. and DORTCH Q., 2002, Global patterns of dissolved N, P and Si in large rivers, *Biogeochemistry*, 64: 297–317.
- UTERMÖHL, H., (1958) Zur Vervollkomnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitt. Int. Ver. Limnol., 9, 1–38.
- WAFAR, M.V.M., LE CORRE, P., BIRRIEN, J.L., 1983. Nutrients and primary production in permanently well-mixed temperate coastal waters. Estuarine, Coastal and Shelf Science 17, 431:446.