

ifremer

## Biomasses d'ulves et flux de nutriments en baie de Douarnenez

*publié dans les actes du colloque*

Pollutions diffuses : du bassin versant au littoral  
Ploufragan, 23-24 septembre 1999

# Colloque "Pollutions diffuses : du bassin versant au littoral"

Ploufragan, 23-24 septembre 1999

---

## Biomasses d'ulves et flux de nutriments en baie de Douarnenez

Merceron M.\*, † Coïc D.\*\*\*, Talec P.\*\*

\* IFREMER, B.P. 70, 29280 Plouzané

\*\* CEVA, B.P. 3, 22610 Pleubian

### Résumé

Les plages du centre et du sud de la baie de Douarnenez sont annuellement le lieu de marées vertes au printemps et en été. Durant quatre ans les flux de nitrate des cours d'eau afférents ont été mesurés pendant la saison de croissance de ces algues (printemps et été). Le stock d'ulves échouées et présentes dans les premières vagues a été quantifié chaque été. Trois cours d'eau sur les huit étudiés apportent l'essentiel des flux azotés. Ces apports suivent une tendance décroissante au cours de la période printanière, puis estivale, et sont très variables d'une année sur l'autre. Les tonnages d'algues observés sont également très variables selon les années (de 120 à 3 400 t), et même d'un jour à l'autre selon l'orientation des vents. Le sud de la baie est cependant statistiquement plus affecté que le reste. Paradoxalement, on note ici une absence de lien entre les quantités d'azote délivrées et les quantités d'ulves observées sur les plages. Ceci est dû au caractère rectiligne de la côte qui favorise la mobilité des algues, ainsi que probablement à l'existence d'un stock d'ulves plus profond (-2 à -18 m), récemment mis en évidence. Sa grande importance (jusqu'à 10 000 t) et sa mobilité suggèrent un rôle conséquent dans le phénomène. Ce stock, dit offshore, représente vraisemblablement une forme d'extension de l'eutrophisation. A cet égard, l'ensemble de la baie constitue une unité fonctionnelle. D'un point de vue scientifique, la restauration de la qualité azotée de l'eau et la maîtrise de la marée verte en baie de Douarnenez ne devraient pas être sectorisées géographiquement. De plus, le suivi des algues nécessite d'observer simultanément les deux stocks, littoral et offshore.

Mots-clés : marée verte, ulve, nitrate, eutrophisation, baie de Douarnenez, Bretagne

### Abstract

*In spring and summer time, green tides outbreaks yearly occur on sandy beaches of the central and southern parts of the bay of Douarnenez. During four years the nitrate loadings of incoming streams were measured during the growth season of the green algae. Every summer the stock of stranded algae as well as those in the very shallow water were quantified. Three streams from the eight investigated provide the most important part of nitrogen loadings. These ones tend to diminish in the course of spring and summer. They are very different from year to year. The observed biomass of algae is also very different according to years (from 120 to 3 400 t), and even from day to day according to the wind direction. However, the southern part of the bay is more frequently affected. Surprisingly no link was found between nitrogen loadings and observed biomass of Ulva on beaches. This is*

*caused by the coastline straightness which makes the algal mobility easier, and probably also the existence of a deeper stock of Ulva (-2 to -18 m below LWST), recently discovered. Its great size (till 10 000 t) and its mobility suggest an important role in the green algal phenomenon. This so-called offshore stock, is probably one way of eutrophication enhancement. From this point of view, the whole bay must be considered as a functional unit. Scientifically speaking, the recovery of a good nitrogen quality of water and the control of green tides in the bay of Douarnenez should not be split up geographically. Moreover the algal quantification requires to assess simultaneously both the littoral and offshore stocks.*

*Key Words: green tide, Ulva, nitrate, eutrophication, bay of Douarnenez, Brittany*

## **Introduction**

En baie de Douarnenez l'existence de proliférations d'ulves, d'ampleur limitée, est repérable dès 1952 sur des photographies aériennes de l'IGN. En 1979, le phénomène devenu plus important, la presse s'en fait l'écho. Depuis 1980 des ramassages d'ulves échouées sont effectués durant l'été par plusieurs communes riveraines. Les inventaires semi-quantitatifs de marées vertes en Bretagne de 1988, 1991 et 1994 signalent la présence de quantités importantes d'algues sur les plages du fond de la baie (Piriou et Annézo, 1995).

La cause de ces proliférations, également présentes dans de nombreux autres sites bretons, a été déterminée comme étant l'augmentation des flux d'azote délivrés à la côte, le plus souvent sous forme de nitrate (Ménesguen et Piriou, 1995).

Le programme "Bassins versants et transmission des pollutions au littoral" s'est appuyé sur deux sites ateliers pour traiter du transfert du nitrate des terres agricoles à la côte (Bordenave et Merceron, dans ce volume). L'un de ces sites, le bassin versant du Kerharo, est localisé en bordure de la baie de Douarnenez. D'une superficie de 45 km<sup>2</sup>, il est essentiellement agricole. Avant de déboucher dans l'anse de Kervigen, le ruisseau longe le marais littoral du même nom. Un des motifs du choix de ce site a été justement la présence de ce marais, que des investigations préliminaires avaient révélé être le siège d'une dénitrification superficielle très active. Ces résultats ont été confirmés et détaillés dans le cadre du présent programme (Piriou *et al.*, dans ce volume).

Le suivi de la marée verte a été effectué par le Centre d'Etudes et de Valorisation des Algues (Ceva). Il a concerné les proliférations significatives d'ulves en dépôt sur l'estran et en suspension dans les premières vagues sur le littoral sud est de la baie, très régulièrement atteint. Les flux azotés correspondants ont été suivis d'abord par l'Ifremer, puis par le bureau d'Etudes Environnementales Littorales et marines (Eel). Dans un premier temps, il n'a concerné que le Kerharo et deux ruisseaux proches. Au cours des deux premières années, il s'est avéré que, contrairement à ce qui avait été observé auparavant dans d'autres sites fortement atteints (baies de Lannion et de Saint-Brieuc), les bancs d'ulves du site choisi restaient très mobiles au cours de la saison. Il en était de même pour l'ensemble des sites à ulves de la baie de Douarnenez. Au vu de ceci et à partir de 1997 le suivi des flux azotés a été élargi à ces autres sites.

En 1998, sur les indications de pêcheurs professionnels de Douarnenez, la présence de concentrations d'ulves a été recherchée au large de la zone de déferlement, par des fonds compris entre -2 et -18 mètres.

Le résultat des investigations précitées et les relations existant entre les flux d'azote et les proliférations d'ulves sont présentés ci-après, ainsi que les enseignements que l'on peut en tirer d'un point de vue opérationnel.

## **Méthodes**

### **Site**

La description de la baie de Douarnenez et du bassin versant du Kerharo est présentée dans une autre communication à laquelle on peut se reporter (Bordenave et Merceron, dans ce volume).

### **Flux azotés**

En baie de Douarnenez, comme ailleurs en Bretagne, l'azote inorganique constitue le principal facteur limitant la croissance des ulves (Dion et Le Bozec, dans ce volume). Le phosphore est souvent disponible en abondance dans les sédiments marins, à partir desquels il est relargué dans l'eau sus-jacente au fur et à mesure de sa consommation. En conséquence, seuls les flux d'azote minéral ont été mesurés dans cette étude. De plus, le dosage de sa forme ammoniacale a été abandonné, car, effectué initialement, il n'a représenté qu'autour de 1 % de l'azote minéral total. Ce dernier est constitué presque exclusivement de nitrate, et c'est cet ion seulement qui a été dosé.

En 1995 et 1996, seuls les ruisseaux de Kerharo, Ty-An-Quer et du Lapid ont été étudiés, puisqu'à ce moment, la mobilité des algues et de l'eau entre les différentes plages de la baie n'était pas établie. En 1997 et 1998, l'échantillonnage a été élargi aux cinq autres cours d'eau débouchant sur des plages présentant également des marées vertes, soit du nord au sud : les ruisseaux de Pentrez, de Lestrevet, de Trezmalaouen, de Kersampen et du Névet. Pour chacun des huit cours d'eau échantillonnés au total, les prélèvements ont été effectués en eau douce hors de l'influence marine, le plus près possible de l'embouchure (figure 1).

Les missions sur le terrain, d'un nombre compris entre 10 et 14 par ruisseau selon les années, se sont déroulées pendant la période de pousse des ulves, c'est-à-dire entre avril et mi-juillet (jusqu'à mi-août en 1996), selon une périodicité hebdomadaire ou bimensuelle.

Le flux de nitrate est le produit du débit par la concentration. La vitesse du courant des ruisseaux a été mesurée à l'aide d'un courantomètre à moulinet OTT. Celui-ci a été utilisé sur plusieurs verticales de la section mouillée de chaque cours d'eau. Un logiciel *ad hoc* a permis de calculer le débit à partir de ces données associées à d'autres décrivant la géométrie et la rugosité du lit. L'ion nitrate des échantillons d'eau a été dosé par un laboratoire agréé (Laboratoire municipal de Brest) dans les 24 h suivant le prélèvement et sa réfrigération immédiate.

### **Biomasses d'ulves à la côte**

Les biomasses d'ulves sur l'estran et dans les premières vagues ont été estimées en croisant les surfaces couvertes d'algues obtenues à partir de photographies aériennes avec des pesées d'algues collectées sur des surfaces unitaires, appartenant à différentes classes d'abondance, et réalisées le jour même du survol.

Jusqu'en 1996, la délimitation des surfaces en algues et leur classification par abondance étaient réalisées manuellement, à partir des vues aériennes. Sur un calque posé sur la mosaïque de photographies les surfaces des classes étaient délimitées, puis le calcul de leurs surfaces était effectué par la pesée des découpes de calques correspondantes. A partir de 1997, cette technique a été fortement améliorée en l'automatisant. Des repères visuels déployés sur l'estran et repérés géographiquement avec précision ont permis de redresser par procédé

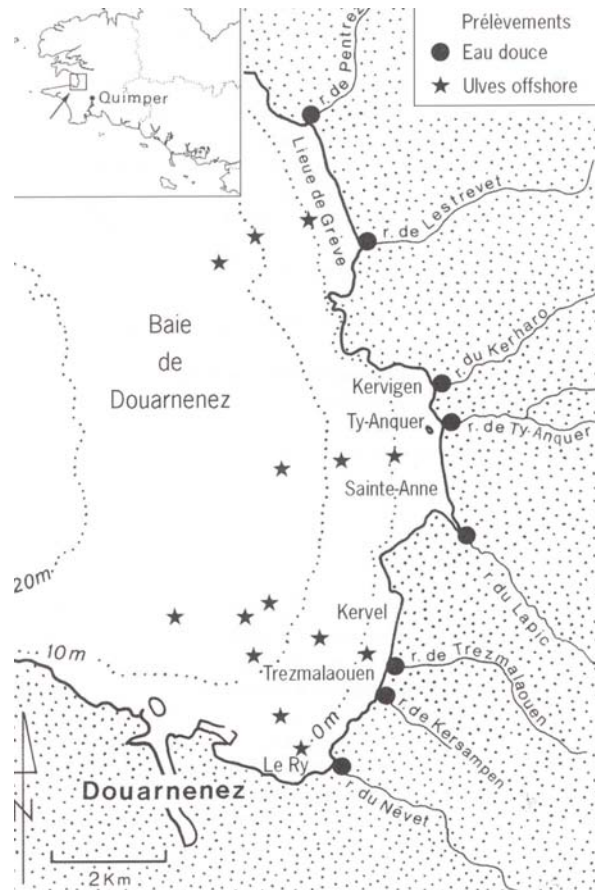


Figure 1 : Localisation des prélèvements

informatique les clichés préalablement numérisés. La classification des surfaces selon l'abondance des ulves a été réalisée automatiquement par des seuillages de la densité de la couleur verte avec, cependant, une redéfinition des seuils à chaque site. Cela a permis de sélectionner plus finement les surfaces en algues et de les discriminer mieux des surfaces en sable, notamment dans les dépôts comportant des surfaces libres d'algues ayant une forme arborescente.

Sur chaque plage les pesées sur le terrain ont été faites selon plusieurs radiales, comprenant chacune plusieurs stations. Chaque station a été échantillonnée à quatre reprises, au hasard. La surface unitaire d'échantillonnage a été d'un m<sup>2</sup>, et réduite à un quart de m<sup>2</sup> pour les de couverture d'algues supérieurs à 90 %. Après un égouttage d'une minute, les poids bruts ont été mesurés. Un des quatre échantillons a ensuite été traité en laboratoire (tri du sable, des autres espèces d'algues, etc.) et repesé. Le coefficient de correction obtenu a été appliqué aux autres échantillons de la station.

Dans les premières vagues, une sorte d'épuisette a été posée sur le fond, puis relevée après le passage de quelques vagues qui reconstituaient la distribution naturelle des algues. Trois stations de profondeur différentes ont été échantillonnées à chaque radiale.

Les plages étudiées ont été la Lieue de Grève, les anses de Kervigen et de Ty-Anquer, la grève de Sainte-Anne, celles de Kervel, de Trezmalaouen, et l'anse du Ry (figure 1).

### Volumes d'ulves ramassés sur l'estran

Les volumes d'ulves collectés sur l'estran ont été obtenus auprès des services départementaux du Finistère qui centralisent ces données de ramassage provenant de chaque commune concernée. Des états datés et localisés sont en effet envoyés au département pour subventionnement d'une fraction des frais engagés. L'unité de comptage est le camion (huit mètres cubes ou plus). En même temps que les algues vertes d'autres algues ou du sable sont

très souvent enlevés. Le sable coquillier est en effet apprécié des agriculteurs chez qui une partie des volumes collectés est épandue. Le Ceva considère qu'en moyenne les ulves ne représentent que 80 % de la masse collectée.

### **Biomasses d'ulves offshore**

La quantification du stock "profond" a été réalisée en 1998. Entre 8 et 14 stations ont été échantillonnées à quatre reprises selon un rythme mensuel, de mai à août (fig. 1).

A partir des indications recueillies auprès des pêcheurs, les investigations se sont portées sur une bande en forme de "J" parallèle à la côte. Elle est comprise entre la zone de déferlement (environ 2 m de profondeur) et l'isobathe des 18 m, avec une limite nord au droit de Pentrez, et une limite sud au droit de Douarnenez. Les fonds y sont essentiellement sableux et coquilliers, parfois agrémentés de ripple-marks ou de quelques affleurements schisteux. Des populations très denses d'ophiures et de coquillages sont présentes par places.

A chaque station, positionnée par GPS différentiel, une caméra vidéo montée sur troïka a été traînée pendant quelques minutes pour déterminer la présence ou l'absence d'ulves posées sur le fond. En effet les thalles ne sont pas fixés au substrat et possèdent une flottabilité légèrement négative. En cas de présence significative, des plongeurs ont collecté les algues sur une distance de 10 m à l'aide d'un minichalut. L'ouverture du filet était de 1 m de largeur sur 0,20 m de hauteur. Chaque prélèvement a été tripliqué. Les échantillons récoltés ont été essorés durant une minute et pesés immédiatement.

Les biomasses mesurées par unité de surface à chaque station ont été multipliées par des aires centrées sur chaque station dans la limite de la bande côtière décrite plus haut. Les tonnages d'algues fraîches égouttées ainsi calculés pour les différentes aires ont été sommés.

Lors des missions de juin, juillet et août certaines conditions de milieu ont été mesurées en quelques occasions (température, salinité, éclaircissement, teneurs en nitrate et ammonium).

## **Résultats**

### **Flux azotés**

#### ■ Évolution printanière

A titre d'exemple la figure 2 représente l'évolution printanière en 1998 des flux azotés des trois principaux cours d'eau : le Névet, le Laptic et le Kerharo. Durant la première quinzaine d'avril des précipitations tendent à augmenter les débits (surtout celui du Kerharo) qui diminuent durant le reste de la période. Les concentrations de nitrate, généralement comprises entre 30 et 60 mg/l, croissent jusqu'au 6 mai, comme il est normal en fin d'épisode de fort débit. Elles diminuent ensuite très lentement. Le Kerharo, de teneur intermédiaire entre celles du Laptic et du Névet, n'a pas fait l'objet cette année là d'une dérivation partielle vers le marais de Kervigen pour dénitrification.

Les flux de nitrate des cours d'eau sont compris entre 2 et 7,5 t NO<sub>3</sub>/j en début de période et s'abaissent ensuite pour arriver autour de 1 t/j à partir de fin mai. Les débits constituent visiblement le facteur principal de leur variation. L'évolution printanière des débits, des teneurs en nitrate et des flux suit chaque année une tendance similaire.

#### ■ Évolution interannuelle

L'évolution interannuelle des flux de nitrate est illustrée par l'exemple du Laptic (figure 3). Les débits de printemps et d'été évoluent entre 1995 et 1998 dans une gamme allant de 0,05 à 1,25 m<sup>3</sup>/s. Les années 1995 et 1998 ont vu les plus forts débits, en milieu et en début de printemps respectivement. Par contre, 1996 et surtout 1997 ont été plus sèches.

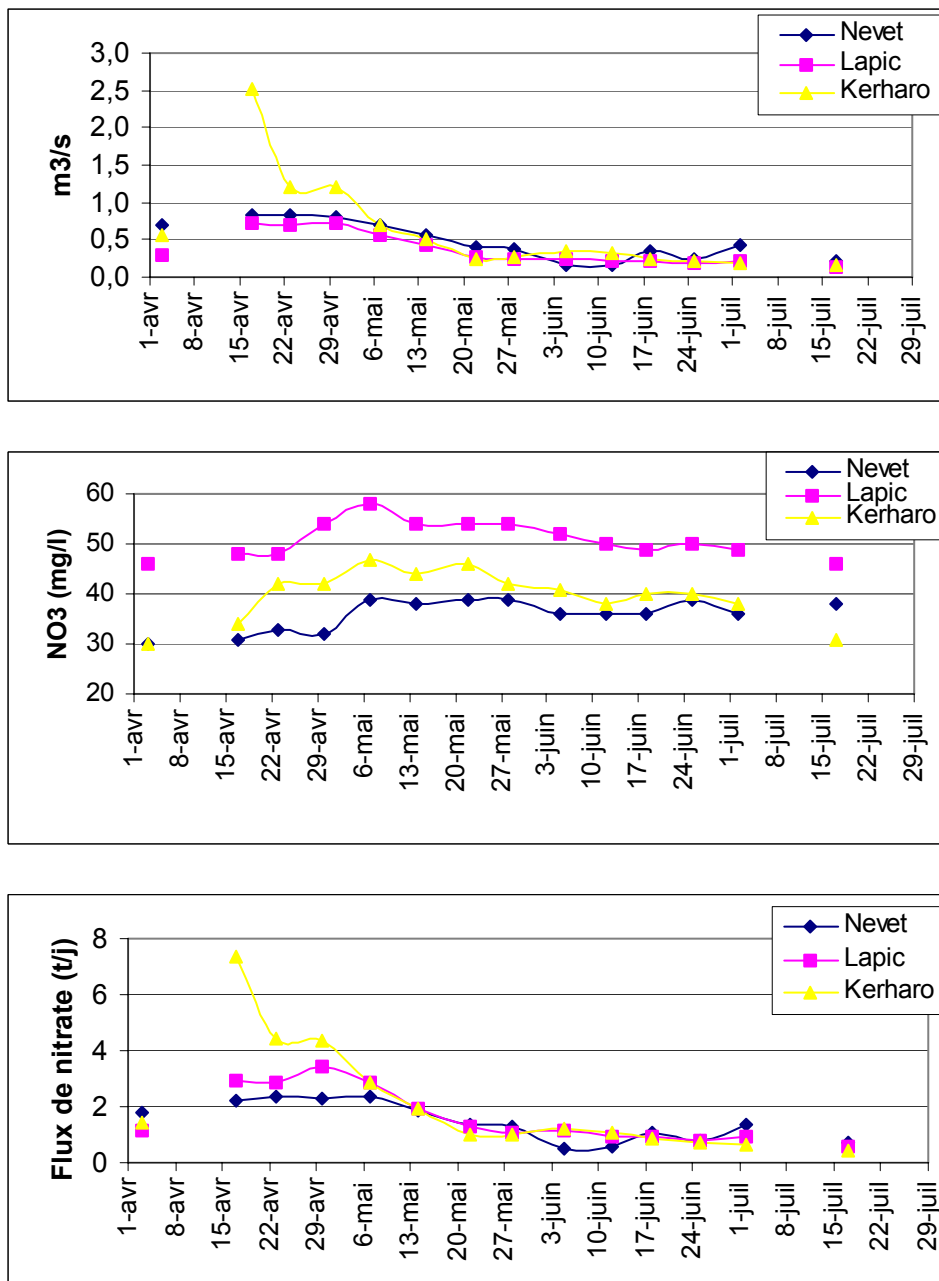


Figure 2 – Évolution printanière des débits, des concentrations et des flux de nitrate (année 1998).

Les concentrations de nitrate se sont toutes situées entre 35 et 69 mg/l. Les niveaux peuvent différer notablement et de façon relativement constante entre deux années. Ainsi 1997 présente tout au long du printemps un déficit d'environ 20 mg/l par rapport à 1995. Les deux autres années sont intermédiaires. On peut noter la baisse sensible de concentration d'avril 1995, causée par l'augmentation du débit, suivie d'une remontée lors de la décrue.

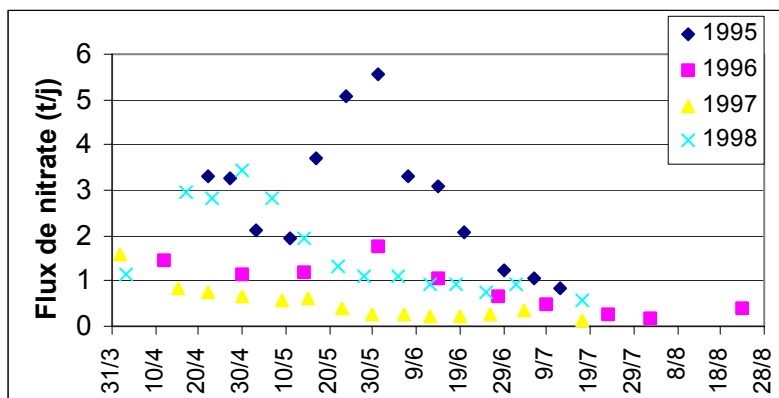
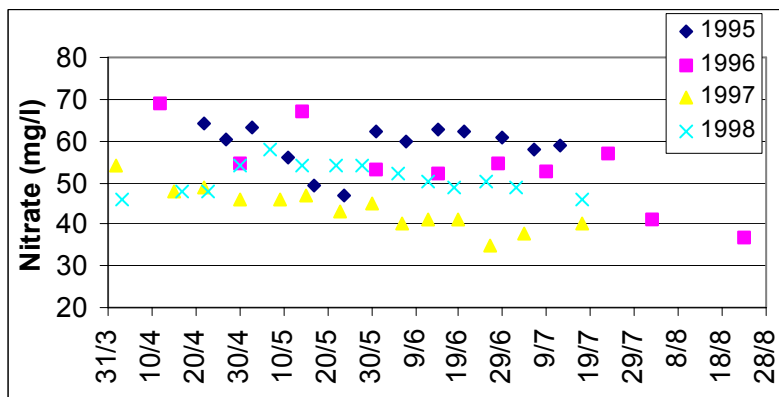
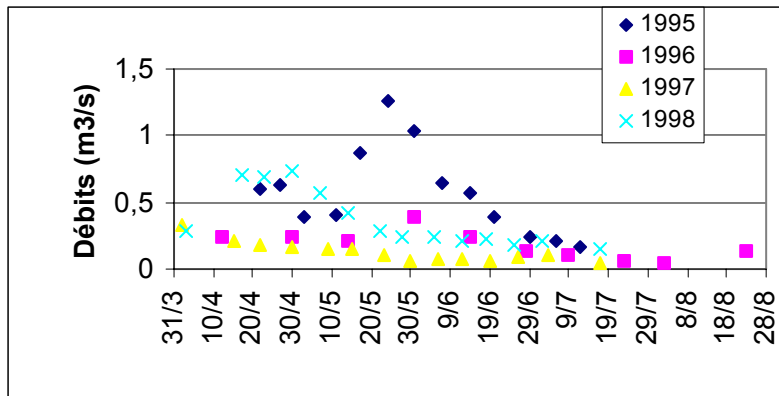


Figure 3 – Évolution interannuelle des débits, des concentrations et des flux de nitrate du Laptic.

Comme les débits, les flux d'azote tendent à diminuer au cours de la saison. En instantané et sur toute la période, ils se situent entre 0,2 et 5,5 t/j. Le flux moyen de nitrate apporté par le Laptic en mai et juin, période de croissance maximum des ulves, peut évoluer dans un rapport de 1 à 8 entre deux années contrastées comme 1997 et 1995 (tableau 1).

1995	1996	1997	1998
3,125	1,170	0,391	1,592

Tableau 1 : Flux moyens de nitrate délivrés par le Laptic en baie de Douarnenez en mai et juin (en t/j).



Au total, ce sont donc environ 187,5 t de nitrate qui ont été apportées par le Laptic en mai et juin 1995 contre 23,5 t en 1997. Le Laptic est l'un des trois cours d'eau les plus importants de la baie.

- Comparaison des différents cours d'eau

La comparaison des flux de nitrate des différents ruisseaux investigués en centre et sud de la baie de Douarnenez est illustrée par leur évolution au cours de l'année 1997 (figure 4). A l'évidence, trois d'entre eux apportent l'essentiel des flux, le Névet, le Laptic et le Kerharo. Les cinq autres sont nettement moins importants.

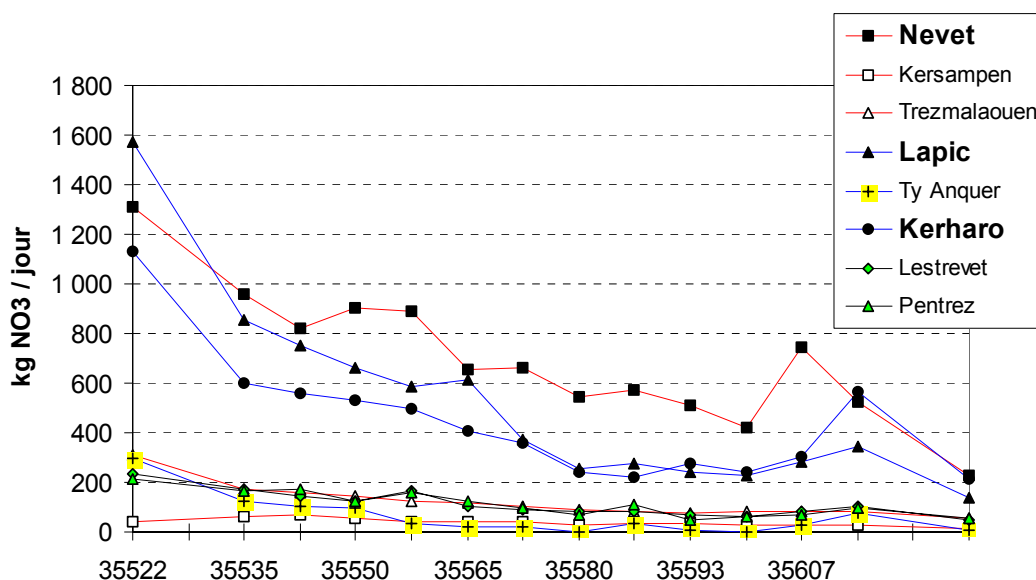


Figure 4 – Évolution des flux journaliers de nitrate (année 1997).

- Apports totaux de mai et juin

Pour l'ensemble des cours d'eau le flux moyen de nitrate en mai et juin des quatre dernières années est représenté sur le tableau 2.

	1995	1996	1997	1998
Laptic+Ty Anquer+Kerharo	6,75	2,31	0,76	3,59
Tous les ruisseaux	(11,32)	(3,88)	1,74	6,02

Tableau 2 – Flux moyens de nitrate en mai et juin des ruisseaux se jetant en baie de Douarnenez en t/j. Les valeurs entre parenthèses sont extrapolées à partir des données de 1998.

Les valeurs de l'ensemble des ruisseaux en 1995 et 1996 ont été extrapolées à partir de celles du sous-groupe Laptic, Ty Anquer, Kerharo, en utilisant le ratio observé en 1998, le flux de cette année là étant le plus proche. Entre 1995 et 1997 le rapport des flux est de 6,5.

D'une façon générale, les apports de nitrate à la baie de Douarnenez tendent à diminuer au cours du printemps et du début de l'été, suivant en cela les débits. D'une année sur l'autre des écarts notables dans les teneurs d'un même ruisseau sont constatés. Les principaux apports sont le fait du Névet, du Laptic et du Kerharo. Globalement les flux moyens de nitrate de mai

et juin se situent entre 1,74 et 11,32 t/j selon les années. Ces apports sont répartis entre huit ruisseaux et ne s'accompagnent pas d'une forte dessalure ni d'un panache turbide, comme cela serait le cas d'un fleuve.

## Ulves

- Ulves observées

Les tonnages d'ulves estimés sur l'estran et dans les premières vagues dans les différents sites observés durant quatre ans sont figurés dans le tableau 3.

	(17/7) 1995	(1/8) 1996	(1/8) 1997	(16/6) 1998
Lieue de Grève	0	0	12	632
Kervigen	0	4	0	13
Ty Anquer	446	180	0	17
Ste Anne	625	528	1	832
Kervel	183	108	0	28
Trezmalaouen	183	1105	27	957
Anse du Ry	0	247	77	906
Total	1437	2172	117	3385

Tableau 3 Quantités d'ulves observées sur l'estran et dans les premières vagues en baie de Douarnenez, en tonnes.

La variabilité est importante entre les totaux annuels, ainsi que dans la répartition des tonnages entre les sites. Cette variabilité spatio-temporelle est confirmée par les observations des riverains. Une notation quotidienne de l'abondance des ulves estimée visuellement durant une saison sur les plages de Kervigen, Ty-Anquer et Sainte-Anne durant l'été 1996 a été effectuée et l'a confirmé également.

Localement, il est connu, et nous avons nous-mêmes observé plusieurs fois, que les vents d'est favorisent les échouages d'ulves sur les plages, et les vents d'ouest leur disparition des plages et leur retour en mer dans la mesure où le coefficient de marée le permet.

Dans ce contexte d'instabilité, il semble que les plages de la partie sud de la baie (Kervel, Trezmalaouen et Le Ry) soient statistiquement les plus fréquemment sujettes aux échouages d'ulves.

- Ulves ramassées

La chronique des volumes d'ulves ramassés est présentée à la figure 5. Les cubages varient fortement selon les années. 1988 et 1996 présentent les plus fortes valeurs, 10 000 et 14 000 m<sup>3</sup> respectivement.

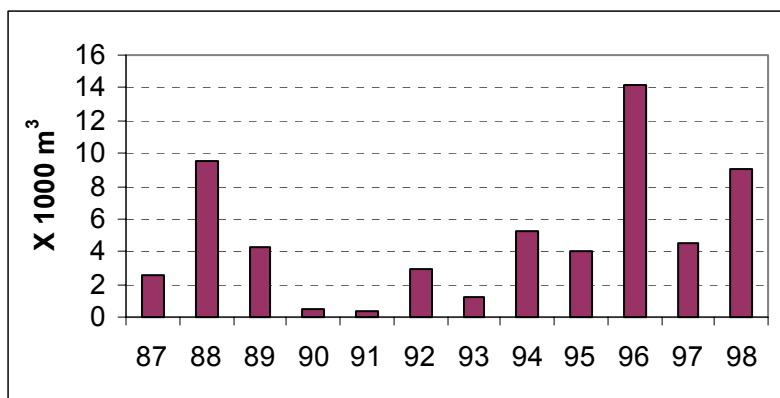


Figure 5 – Volumes d'ulves ramassés en baie de Douarnenez.

■ Relation entre quantités d'ulves et flux azotés

Du fait de l'instabilité des algues sur les plages, la relation entre flux azotés et quantités d'ulves a été recherchée à l'échelle de l'ensemble des ruisseaux et des plages considérés globalement (figure 6). Durant les quatre années d'étude aucune relation linéaire ne semble exister entre les flux azotés et les ulves ramassées en baie de Douarnenez. En ce qui concerne celles observées, il en est de même. Le coefficient de leur corrélation avec les flux azotés n'est que de 0,26.

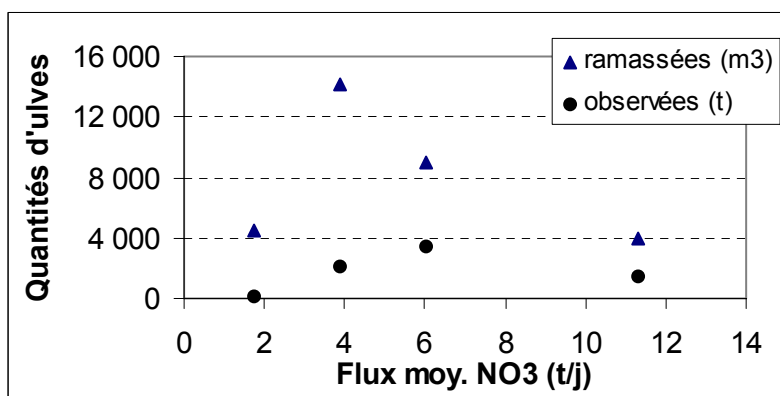


Figure 6 – Relation entre le flux moyen de nitrate en mai et juin (t/j) et les quantités d'ulves ramassées et observées.

**Biomasse d'ulves "offshore"**

L'estimation de la biomasse d'ulves offshore, effectuée de mai à août 1998, est présentée dans le tableau 4.

mai	juin	juillet	août
200	9 650	7 200	1 200

Tableau 4 Masses d'ulves offshore estimées en baie de Douarnenez en 1998 (en t).

L'évolution temporelle est marquée et semble suivre un schéma comparable à ce qui est observé en général sur les estrans des sites étudiés ailleurs.

Le tonnage maximum, estimé en juin, est voisin du cubage cumulé ramassé durant la saison 1998. Bien que la masse volumique des thalles soit légèrement supérieure à un, on considère souvent qu'un m<sup>3</sup> ramassé correspond à 0,8 t d'algues, compte tenu du sable enlevé avec les algues (cf. ci-dessus).

La biomasse offshore mesurée par unité de surface a été très variable selon les stations et les dates. Les plus fortes concentrations ont été rencontrées en juillet par -12 m (C.M.), au nord-nord-ouest du Ry (1,6 kg de poids frais essoré par m<sup>2</sup>). Il s'agissait d'un tapis d'environ 10 cm d'épaisseur, couvrant presque entièrement le fond sableux. Les plongeurs ont constaté qu'une turbulence même modérée suffit à remettre temporairement les algues en suspension.

L'espèce très majoritairement présente dans les échantillons était *U. rotundata* (Dion, com. pers.).

De juin à août et à un mètre au-dessus du fond, les températures ont été comprises entre 14,4 et 17,5 °C. En juillet et août, une thermocline a été observée à 4 m de profondeur aux stations situées le plus au large ; elle correspondait à un écart de 2 à 3 °C entre la surface et le fond.

Pour la même période la salinité au fond a varié entre 34,4 et 34,9 P.S.S.. La différence entre le fond et la surface n'était que de 0,1 à 0,2 P.S.S. au large, et nulle près de la côte.

En juillet et août, l'éclairement mesuré au fond a été compris entre 38 et 200 µE/s/m<sup>2</sup>, selon la couverture nuageuse et la profondeur de la colonne d'eau. Aux stations situées au large, les coefficients d'extinction ont varié entre 0,135 et 0,205 m<sup>-1</sup>. A cette période et à proximité de la côte, la concentration d'azote inorganique (N-NO<sub>3</sub> + N-NH<sub>4</sub>) s'est située entre 5 et 6 µM, et au mois de juin elle se situait autour de 2 à 3 µM.

## Discussion

### Flux de nitrate

Les flux de nitrate mesurés en baie de Douarnenez entre avril et juillet-août sont essentiellement influencés par les débits qui sont décroissants sur la période. Cependant les concentrations décroissent également, mais légèrement. Cela correspond très probablement à une contribution relative plus importante des eaux profondes, issues de l'aquifère (cf. Talbo et Watremez, dans ce volume). Le pas de temps hebdomadaire des mesures qui a été adopté ne permet sans doute pas d'appréhender tous les épisodes de crue. En effet la faible taille des bassins versants et la nature schisteuse de certains d'entre eux induisent des temps de réponse aux précipitations brefs. Durant ces épisodes, la concentration en nitrate est d'abord abaissée par dilution par les eaux de ruissellement peu chargées, avant de remonter sous l'effet des apports hypodermiques assez concentrés (fig. 3). Globalement, le flux délivré durant une crue est supérieur à celui de la même période en régime normal. Il y a donc ici un risque de sous-estimation. Cependant une comparaison des flux que nous avons observés sur le Kerharo avec ceux calculés sur le même cours d'eau par l'Inra (à partir de l'enregistrement continu des débits, et de mesures de nitrate bimensuelles et d'autres calées sur les épisodes de crue) nous a permis de constater que l'écart était faible.

L'élargissement des stations de mesure de flux de nitrate de trois à huit cours d'eau à partir de 1997 a laissé de côté deux autres ruisseaux qui se jettent dans le Port-Rhu de Douarnenez : le Stalas et le Kervern. Néanmoins, même s'ils sont lagunés dans le Port-Rhu et ne sont pas exactement au droit d'un site de prolifération d'ulves, ils participent *a priori* significativement aux apports en baie, puisque leur bassin versant est de superficie comparable à celui du Névet ou du Lapic.

Au total les flux mesurés peuvent être considérés comme légèrement sous-estimés. Ils comportent cinq contributeurs plus importants que les autres : le Kerharo, le Laptic, le Névet, le Stalas et le Kervern.

### **Ulves sur l'estran**

L'espèce la plus fréquemment rencontrée est *U. rotundata* (Dion, comm. pers.).

Les tonnages observés ponctuellement sur les plages du centre et du sud de la baie de Douarnenez ont évolué entre 120 et 3 400 tonnes entre 1995 et 1998. Ils présentent donc une forte irrégularité selon les années. La localisation des biomasses est extrêmement variable, à la fois dans l'espace et au cours de la saison. Alors que les sites étudiés auparavant (baies de Lannion et de Saint-Brieuc) présentaient une assez grande stabilité, ici c'est plutôt la variabilité des situations qui s'est révélée être la règle. Sur chaque plage à chaque marée la biomasse peut disparaître, ou revenir en plus ou moins grande quantité. L'instabilité paraît relativement plus forte au nord de la zone qu'au sud. Statistiquement la plage du Ry subit des échouages plus souvent que les autres.

Les algues sont véhiculées par les courants, qui sont eux-mêmes commandés par le vent, à défaut de l'être par la marée (Obaton et Garreau, dans ce volume). Le fait que les pointes rocheuses qui séparent les anses ou les plages ne se poursuivent pas vers le large au delà du niveau des basses mers de vives-eaux facilite la circulation des algues, de même que l'allure générale assez rectiligne de la côte.

Plus précisément, il semble que ce soit par vent de terre que les algues aient tendance à s'échouer, et qu'en régime d'ouest elles soient susceptibles de repartir des plages. Cela fait penser à une circulation de type bicouche, où l'eau de fond transportant les algues circulerait en sens inverse de celle de surface qui serait entraînée par le vent. Mais, on ignore encore comment les algues sont en fait déplacées par les courants, et comment elles-mêmes modifient le déplacement des masses d'eau lorsqu'elles sont en quantités élevées (augmentation de la viscosité apparente de l'eau ?).

La précision de la méthode de quantification des ulves de l'estran a été fortement améliorée par la standardisation du traitement des algues avant leur pesée sur le terrain, et par l'automatisation du traitement des clichés aériens (CEVA, 1997). Il subsiste néanmoins quelques biais affectant les observations ainsi pratiquées. L'impossibilité de s'affranchir des opérations assez lourdes de terrain implique un coût relativement élevé de chaque opération, et a déterminé son caractère unique au cours d'une saison. Par ailleurs, les survols aériens nécessitent des conditions météorologiques qui ne sont pas toujours réunies en Bretagne. A ce point de vue les survols de l'IGN sont particulièrement exigeants. Cela doit s'harmoniser avec la disponibilité de plusieurs équipes de terrain travaillant simultanément sur plusieurs sites, le jour du passage de l'avion. Pour éviter le risque de pratiquer l'opération au lendemain d'un ramassage, et pour, de plus, appréhender la biomasse près de son maximum saisonnier, il faut pouvoir opérer entre la mi-juin et la mi-juillet. Concilier toutes ces contraintes n'a jamais été facile, et a parfois été impossible.

### **Cumul des cubages ramassés**

Les volumes d'ulves ramassés en baie de Douarnenez au cours de chaque saison s'échelonnent entre 4 000 et plus de 14 000 m<sup>3</sup>. Antérieurement, le minimum a eu lieu en 1991 (quelques centaines de m<sup>3</sup>). Comme les échouages, les ramassages sont très variables, avec également une occurrence plus élevée dans l'angle sud ouest de la baie, semble-t-il.

Un certain nombre de biais peuvent les affecter. La décision de ramasser appartient à chaque municipalité riveraine qui engage les travaux et les frais. La fraction non remboursée par le Conseil Général du Finistère peut décourager les communes les moins riches, d'autant que le nettoyage de la plage est susceptible d'advenir naturellement d'un jour à l'autre sous

l'influence des vents. La pression des habitants pour faire enlever les algues peut être plus ou moins accentuée selon les sites. D'autre part, en même temps que les algues un certain volume de sable, variable et mal connu, est également exporté des plages. Enfin, les produits ramassés sont le plus souvent, soit épandus sur des terres agricoles, soit mis en décharge. La facilité pour leur trouver une issue peut également influencer sur la fréquence de ramassage.

### **Ulves offshore**

Un stock d'ulves, situé entre 2 et 18 m sous le zéro des cartes marines, a pu être mis en évidence en baie de Douarnenez et faire l'objet d'une première quantification à quatre reprises en 1998. L'augmentation de ce stock offshore entre mai et juin semble très rapide, comme celle du stock d'estran constatée antérieurement en baie de Lannion ou de Saint-Brieuc. La technique de quantification utilisée ("chalutage" par plongeurs) est localement précise, mais lente. Le nombre de stations étudiées est ainsi limité et la précision sur l'ensemble de la zone investiguée en souffre. L'Ifremer étudie actuellement le moyen d'accélérer la méthode de quantification de ces stocks offshore.

Le faible coefficient d'extinction et l'albédo du sable procurent un éclaircissement au fond *a priori* suffisant pour autoriser la croissance des ulves, même à plus de dix mètres de profondeur, lors de nos investigations. La température est également favorable. L'azote mesuré à un mètre au-dessus du fond est en quantité limitée, comparable avec celle rencontrée en mer d'Iroise à la même saison.

Des bancs profonds d'ulves ont été signalés dans d'autres secteurs de la baie de Douarnenez, près de la pointe de la Chèvre. Sur des sites autres que cette baie, leur existence est signalée par les pêcheurs. L'hypothèse explicative avancée est que la capacité physique de certains sites d'estran à transformer l'azote en ulves est dépassée (à cause de l'auto-ombrage des algues, par exemple), et que le stock offshore représente une forme d'extension de la prolifération vers le large.

En baie de Douarnenez, la pêche côtière subit l'impact négatif du stock offshore : colmatage massif des filets dormants ou traînants et des dragues, appâts de traîne rendus non pêchants, etc.. Depuis quelques années la limite de pêche effective est repoussée de plus en plus loin vers le large à la belle saison (J.C. Guillou, comm. pers.). L'impact de ce stock sur les espèces pêchables et sur l'écosystème est encore inconnu. Les données issues de la littérature sont favorables pour certaines d'entre elles (abri des poissons juvéniles vis-à-vis de la prédation, production primaire accrue), défavorables pour d'autres (hypoxies nocturnes dans la strate d'ulves posée sur le fond, toxicité pour les larves de crustacés, etc.).

### **Unicité de fonctionnement de la baie de Douarnenez**

L'espèce d'ulve présente au large est le plus souvent la même que celle présente sur l'estran (*U. rotundata*). Nous avons constaté la grande mobilité du stock littoral d'ulves. On peut logiquement supposer que lors des transits latéraux des algues une partie au moins pourrait franchir la zone de déferlement, et être transportée au large. Le déferlement constitue ordinairement une barrière hydrodynamique qui s'oppose aux transferts de matériel entre l'estran et le large. Dans certaines conditions (faible houle par exemple) cette barrière pourrait être franchie et des échanges entre les deux stocks d'ulves se produire. Ainsi, pour pouvoir appréhender correctement l'importance de la prolifération sur le site et son évolution au cours d'opérations de reconquête de la qualité des eaux douces qui s'y déversent, il semble nécessaire de quantifier les deux stocks, littoral et offshore, et cela de façon simultanée et avant le début des ramassages estivaux.

La mobilité du stock littoral en baie de Douarnenez implique que son développement peut se faire successivement sur différentes plages, alimentées chacune par un cours d'eau différent. Ou encore, à supposer que les algues restent en place, cela implique qu'elles peuvent être

nourries, au moins partiellement, par des flux provenant d'ailleurs que du ruisseau débouchant sur place. Ainsi, en s'en tenant au stock d'ulves de l'estran, il serait vain de chercher à traiter séparément les proliférations observées sur chaque plage, en ne traitant que le ruisseau directement afférent. C'est en fait l'ensemble des proliférations et des apports à la baie qu'il convient de prendre en compte de façon globale. Ceci est encore plus fondé si l'on considère comme possibles les échanges entre le stock littoral d'ulves et le stock offshore.

Ce fonctionnement unitaire du phénomène d'eutrophisation du fond de la baie de Douarnenez est induit par sa géomorphologie et aussi par son très faible courant résiduel de marée qui occasionne les temps de résidence de l'eau sur place sans doute les plus longs de Bretagne. La fragilité qui en découle se traduit par une eutrophisation probablement en cours d'expansion actuellement.

Rappelons que ce site est aussi le plus régulièrement touché de Bretagne par les floraisons de phytoplancton toxique, depuis que le réseau de surveillance (REPHY) a été instauré en 1984.

## Conclusions

La forte sensibilité de la baie de Douarnenez au phénomène d'eutrophisation est illustrée, entre autres, par l'ancienneté et l'importance des proliférations d'algues vertes du genre *Ulva*. La cause en est l'augmentation des flux de nitrate d'origine terrestre, superposée à un contexte naturel défavorable (géomorphologie et courants).

Par rapport aux autres sites touchés par le même phénomène, le site étudié présente une singularité, la très grande mobilité de son stock littoral d'ulves. La quantification annuelle de ce dernier est ici très variable, et en apparence mal reliée aux apports azotés mesurés lors de la saison de pousse. La mise en évidence en 1998 d'un autre stock, situé à distance de la côte et pondéralement important, peut constituer l'explication de la variabilité du stock littoral.

D'un point de vue opérationnel, le site présente une unicité fonctionnelle en ce qui concerne l'eutrophisation. Il s'ensuit, au vu des éléments scientifiques connus aujourd'hui, que des mesures de reconquête de la qualité de l'eau douce visant à maîtriser les marées vertes en baie de Douarnenez devront s'attacher plutôt à l'importance relative des apports d'azote qu'à leur situation géographique.

Par ailleurs la quantification des ulves doit concerner à la fois le stock offshore et le stock littoral. Du fait de leur mobilité et des probables échanges entre ces deux stocks, ils doivent impérativement être mesurés simultanément.

La prolifération d'ulves au large constitue vraisemblablement une forme d'extension du phénomène d'eutrophisation. Des indices de l'existence du même phénomène dans d'autres sites existent. Des efforts devraient être portés sur l'amélioration de la méthode de quantification du stock offshore. Si l'on a une idée qualitative des obstacles qu'il constitue pour la pêche, il reste que sa croissance, sa limitation, ses déplacements et son impact sur la ressource halieutique et l'écosystème sont inconnus.

## Références bibliographiques

Ceva, 1994. Suivi saisonnier des teneurs en azote et en phosphore dans les algues vertes de la baie de Douarnenez en 1994. Rapport de contrat Ceva-Ifremer n° 94 2 431405 Del, non paginé.

- Ceva, 1995. Vérité-terrain associée à l'estimation de la biomasse des algues proliférantes en baie de Douarnenez. Rapport de contrat Ceva-Ifremer n° 95 2 431108 Del, 18 pp.
- Ceva, 1996. Suivi de l'eutrophisation en baie de Douarnenez. Estimation de la biomasse en algues vertes (mission réalisée le 1 août 1996). Rapport de contrat Ceva-Ifremer n° 96 2 431420 Del, 5 pp. + annexes.
- Ceva, 1996. Suivi de l'eutrophisation en baie de Douarnenez. Evolution de la composition chimique des ulves en 1996. Rapport de contrat Ceva-Ifremer n° 96 2 431420 Del, 13 pp.
- Ceva, 1997. Quantification des biomasses d'algues vertes en place au sud-est de la baie de Douarnenez (mission du 1 août 1997). Rapport de contrat Ceva-Ifremer, n° 96 2 431417 Del, 18 pp. + annexes.
- Ceva, 1997. Expérimentation d'une méthode d'évaluation "automatique" des biomasses d'algues vertes à partir de photographies aériennes scannerisées. Rapport Ceva, 31 pp + annexes.
- CEVA, 1998. Quantification des biomasses d'algues vertes en place au sud est de la baie de Douarnenez (mission réalisée le 16 juin 98). Rapport de contrat Ceva-Ifremer, n° 98 2 431410 Del, 11 pp. + annexes.
- Coïc, D., 1998. Suivi des flux de nitrate en baie de Douarnenez au cours du printemps-été 1998. Contrat n° 97 2 431409 Del, Rapport Eel, 20 pp. + annexes.
- Coïc, D., 1997. Suivi des flux de nitrate en baie de Douarnenez au cours du printemps-été 1997. Contrat n° 2 431 407 Del, Rapport Eel, 18 pp. + annexes.
- Garreau, P., 1993. Conditions hydrodynamiques sur la côte nord-Bretagne. Rapport Ifremer, Del 93.02, 20 p.
- Ménesguen, A. et Piriou, J.-Y., 1995. Nitrogen loadings and macroalgal (*Ulva sp.*) mass accumulation in Brittany (France). *Ophelia*, 42, 227-237.
- Obaton, D., 1996. Caractéristiques hydrodynamiques du littoral sud Bretagne. Rapport Ifremer, Del 96.05, 23 pp.
- Piriou, J.-Y. et Annézo, J.-P., 1995. Evaluation des proliférations d'algues vertes sur le littoral breton en juin 1994. Rapport Ifremer à l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, n° 95.05 Del, 31 pp. + annexes.
- Trotoux, G., 1994. Etude des flux nutritifs en baie de Douarnenez. Mémoire de stage I.U.T. Biologie Appliquée de Brest, 20 pp. + annexes.