

Département : Dynamiques de l'Environnement Côtier  
Laboratoire : Ecologie Benthique

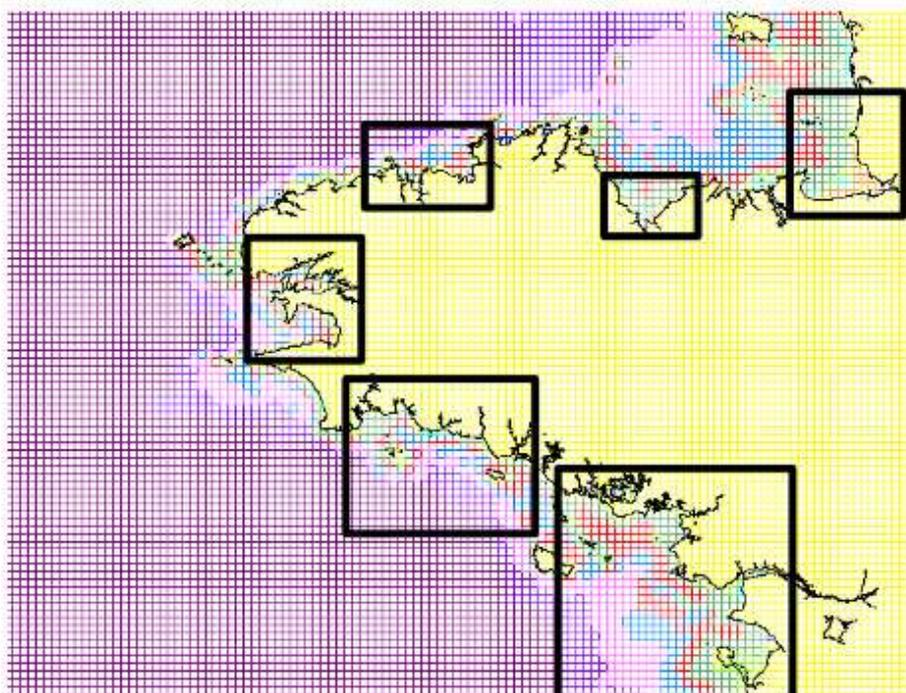
Morgan DUSSAUZE, Alain MÉNESGUEN

Date : décembre 2008

RST DYNECO/EB/08-08/AM

lframer

Simulation de l'effet sur l'eutrophisation côtière bretonne de 3 scénarios de réduction des teneurs en nitrate et phosphate de chaque bassin versant breton et de la Loire.



<b>Numéro d'identification du rapport :</b> RST.DYNECO/EB/n° 08-06		<b>date de publication :</b>	
<b>Diffusion :</b> libre <input type="checkbox"/> restreinte: <input type="checkbox"/> interdite: <input type="checkbox"/>		<b>nombre de pages :</b> 160	
<b>Validé par :</b> BACHER Cédric (responsable de programme Ifremer)		<b>bibliographie :</b> 6 références	
		<b>illustration(s) :</b> 139 figures	
		<b>langue du rapport:</b> français	
<b>Titre et sous-titre du rapport :</b>			
Simulation de l'effet de 3 scénarios de réduction des teneurs en nitrate et phosphate de chaque bassin versant breton et de la Loire sur l'eutrophisation côtière bretonne			
Contrats : convention AELB n°070107601		Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/>	
Région Bretagne n°060107006962/00001216		Rapport définitif <input type="checkbox"/>	
<b>Auteur(s) principal(aux) :</b> nom, prénom DUSSAUZE Morgan, MÉNESGUEN Alain		Organisme / Direction / Service, laboratoire IFREMER Département « DYNamiques de l'Environnement CÔtier » Laboratoire « Écologie Benthique »	
<b>Cadre de la recherche :</b>			
Programme : DYSCO		Convention :	
Projet : MODECOGEN		Autres (préciser) : Commandes conjointes de la Région Bretagne et de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne	
<b>Résumé :</b> Cette étude subventionnée par la région Bretagne et l'Agence de l'Eau Loire Bretagne avait pour but de déterminer par la modélisation mathématique les aires d'influence marine de la plupart des bassins versants bretons et l'effet de scénarios d'abattement des apports en nitrate de chaque bassin versant sur la biomasse en phytoplancton et sur les marées vertes. Le modèle mathématique ECO-MARS3D été appliqué à une emprise contenant la Bretagne (qui sert en mode opérationnel à fournir les prévisions quotidiennes sur le site internet <a href="http://www.previmer.org/previsions/production_primaire/modele_eco_mars3d_bretagne">http://www.previmer.org/previsions/production_primaire/modele_eco_mars3d_bretagne</a> ) et à 6 zooms permettant de représenter plus finement les eaux côtières. L'étude a mis en évidence: <ul style="list-style-type: none"> <li>• un très faible effet d'une diminution des apports en nitrate sur les diatomées.</li> <li>• un effet plus sensible sur les dinoflagellés mais seulement à partir d'une diminution d'au moins 75 % des apports en nitrate.</li> <li>• une très forte influence du panache de la Loire sur toute la Bretagne sud et ouest, pouvant entrer légèrement en Manche lors des crues.</li> <li>• Une diminution des apports en nitrate et phosphate de la Vilaine aurait peu d'effet sur le phytoplancton si elle n'est pas couplée avec une réduction des apports de la Loire.</li> <li>• la responsabilité de certaines rivières dans l'établissement de marées vertes. C'est le cas du Yar dont les apports azotés provoquent la marée verte sur la plage de Saint-Efflam; c'est également le cas du Douron, responsable de celle du fond de Baie de Locquirec. Au contraire, certaines marées vertes comme celles de la Baie de Saint-Brieuc ou du Moulin Blanc en rade Brest ne peuvent pas être imputées à une seule rivière.</li> </ul>			
<b>Abstract :</b> This study commissioned by the Région Bretagne and the Agence de l'Eau Loire Bretagne aimed at assessing on a mathematical modelling basis the marine influence of most of watersheds in Brittany, and the impact of 4 scenarios of reduction of the loadings of each of these watersheds on the phytoplanktonic biomass and ulva mass proliferation. The ecological 3D model ECO-MARS3D has been applied to a domain containing Brittany (which is also used in an operational mode for putting everyday the 2day-forecasts on the website: <a href="http://www.previmer.org/previsions/production_primaire/modele_eco_mars3d_bretagne">http://www.previmer.org/previsions/production_primaire/modele_eco_mars3d_bretagne</a> ) and to 6 zooms which enabled a finer representation of coastal waters. This study highlighted the fact that: <ul style="list-style-type: none"> <li>• a nitrate reduction for any river has no effect on diatom biomass.</li> <li>• a nitrate reduction has a more sensible effect on dinoflagellate biomass but only in case of a reduction of at least 75% of nitrate loading.</li> <li>• the plume of Loire river extends widely along the coasts of south- and western Brittany, and can enter the English Channel after the high flows</li> <li>• a nitrate and phosphate reduction for Vilaine would have few effect on phytoplanktonic biomass if it is not coupled with a nitrate and phosphate reduction for Loire.</li> <li>• some rivers are mainly responsible for some green tides. It is the case for the rivers Yar and Douron which are respectively responsible for the ulva blooms of Saint-Efflam beach and Douron's estuary. However, some green tides like these of Bay of Saint-Brieuc or Moulin Blanc cove in the Bay of Brest cannot be imputed to one river particularly.</li> </ul>			
<b>Mots-clés :</b> Bretagne, bassins versants, eaux côtières, nitrate, phosphate, marée verte, ulve, diatomée, dinoflagellé, modèle mathématique.			
<b>Keywords :</b> Brittany, watersheds, coastal waters, nitrate, phosphate, green tide, ulva, diatom, dinoflagellate, mathematical model.			

Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Nom : DUSSAUZE Morgan Date : 09/12/2008 Visa	Nom : DE ROECK Yann-Hervé Date : 09/12/2008 Visa 	Nom : BACHER Cédric Date : 09/12/2008 Visa 

Cette étude subventionnée par la région Bretagne et l'Agence de l'Eau Loire Bretagne avait pour but de modéliser en utilisant le modèle ECO-MARS 3D l'effet de scénarios d'abattement des apports en nitrate des rivières bretonnes sur la biomasse en phytoplancton et sur les marées vertes. Ce travail a été divisé en 4 étapes :

- Création de 6 modèles locaux, à partir d'un modèle global contenant la Bretagne afin de représenter finement la mer côtière Bretonne (Baie du Mont Saint-Michel, Baie de Saint-Brieuc, Baie de Lannion et Morlaix, Rade de Brest et Baie de Douarnenez, Bretagne Sud sauf la Baie de Vilaine et un dernier zoom comprenant l'estuaire de la Vilaine et de la Loire).
- Calibration de chaque zoom afin d'obtenir une représentation satisfaisante de l'évolution temporelle de la chlorophylle et des différents nutriments.
- Détermination des zones d'influence marine de la Loire et de la Vilaine sur le modèle général et de chacun des bassins versants contenus dans les modèles locaux.
- Simulation, pour chaque bassin versant, de l'effet de diverses concentrations en nitrate sur les biomasses de phytoplancton et sur les ulves dans la zone d'influence marine de ce bassin versant.

Les principaux résultats sont les suivants:

- En période de débit normal, la Loire enrichit de manière importante le sud de la Bretagne (apports dilués entre 20 et 100 fois en Baie de Vilaine) et son influence marine peut s'étendre jusqu'aux abers (ses apports y sont alors dilués entre 200 et 1000 fois). En période de crue, son influence peut s'étendre jusqu'en Bretagne Nord (apports dilués entre 200 et 1000 fois en Baie de Lannion).
- En période de débit normal, l'influence de la Vilaine est principalement localisée en Baie de Vilaine (apports dilués moins de 10 fois au niveau de son embouchure et dilués entre 100 et 200 fois au centre de la Baie de Vilaine). Son influence peut s'étendre jusqu'aux Glénan où ses apports sont dilués entre 200 et 1000 fois.
- Quel que soit le bassin versant, une diminution des apports en nitrate n'a quasiment aucun effet sur les diatomées (dont la croissance est contrôlée par la silice).
- L'effet d'une diminution des apports en nitrate d'une des rivières a un effet plus sensible sur les dinoflagellés, mais **un abattement de la biomasse moyenne ou maximale en dinoflagellés ne serait vraiment visible qu'à partir d'une diminution d'au moins 75 % des apports en nitrate** .
- Les apports en nitrate de la Loire auraient un effet important en Baie de Douarnenez, puisqu'un retour à des rejets de l'ordre de 1,5 mg/L de ses apports y entraîne une diminution de 50% du maximum de dinoflagellés.
- Une diminution seule des apports de la Vilaine aurait peu d'effet sur la biomasse en phytoplancton en sud Bretagne. L'effet est plus visible dans le cas d'une diminution des apports de la Loire (20-25% d'abattement du maximum de dinoflagellés au niveau de son estuaire pour un retour à des rejets en nitrate de l'ordre de 1,5 mg/L); 35% en Baie de Vilaine). **Par conséquent, une diminution des apports en nitrate et phosphate de la Vilaine serait peu utile si elle n'est pas couplée à une diminution des apports de la Loire.**
- Pour les mêmes raisons, **une diminution des apports de n'importe quelle rivière du sud Bretagne aurait très peu d'effet sur le phytoplancton.**
- **Une diminution des apports azotés peut s'avérer efficace pour réduire les marées vertes sur certains sites.** Les différents scénarios de diminution confirment la responsabilité spécifique de certaines rivières dans l'établissement de marées vertes. **C'est le cas du Yar dont les apports azotés provoquent la marée verte sur la plage de Saint-Michel-en-grève; c'est également le cas du Douron, responsable de celle du fond de Baie de Locquirec.** Au contraire, sur d'autres sites, une diminution des apports azotés d'une seule rivière aura un effet limité sur la marée verte. C'est le **cas de la Baie de Saint-Brieuc où seule une diminution simultanée des apports azotés (nitrate+ammonium) du Gouët et du Gouessant pourrait provoquer un abattement vraiment significatif de la biomasse en ulves** (environ 20% d'abattement de la marée verte pour un retour de l'une des 2 rivières à 1,5 mg/L de nitrate ; plus de 80% d'abattement pour le retour simultané des 2 rivières à 1,5mg/L de nitrate). C'est également le **cas de la marée verte du Moulin Blanc en Rade de Brest, assez peu sensible à une diminution des apports de l'Elorn** (abattement d'environ 20% de la marée verte pour un retour à 1,5 mg/L de nitrate).

# Table des matières

Introduction.....	6
1.Proliférations de phytoplancton et marées vertes.....	7
2.Présentation du modèle ECO-MARS3D.....	9
2.1.Brève description du modèle hydrodynamique.....	9
2.2.Description des différents domaines de modélisation.....	9
2.3.Forçages aux limites des domaines de modélisation.....	12
2.4.Description du modèle biogéochimique.....	14
2.5.Validation.....	16
3.Résultats.....	28
3.1.Situation actuelle et situation pristine.....	28
3.2.Zones d'influence marine des bassins versants.....	33
3.3.Scénarios de diminution des apports en nitrate.....	36
3.4.Résultats.....	36
Conclusion.....	40
ANNEXE 1: Fiches par zoom et par bassin versant.....	41
I.ZOOM BAIE DU MONT SAINT-MICHEL.....	42
I.1.Couesnon.....	42
I.2.Sée.....	46
I.3.Sélune.....	50
II.ZOOM BAIE DE SAINT-BRIEUC.....	54
II.1.Gouët.....	54
II.2.Gouessant.....	58
II.3.Urne.....	62
III.ZOOM BAIE DE MORLAIX/BAIE DE LANNION.....	67
III.1.Horn.....	67
III.2.Penzé.....	71
III.3.Dourduff.....	75
III.4.Jarlot.....	79
III.5.Douron.....	83
III.6.Yar.....	87
III.7.Léguer.....	91
IV.ZOOM RADE DE BREST/BAIE DE DOUARNENEZ.....	96
IV.1.Aulne.....	96
IV.2.Elorn.....	100
IV.3.Mignonne.....	104
IV.4.Lapic.....	108
IV.5.Kerharo.....	111
V.ZOOM BRETAGNE SUD.....	115
V.1.Odet.....	115
V.2.Aven.....	119
V.3.Moros.....	123
V.4.Laïta.....	127
V.5.Blavet.....	131
V.6.Scorff.....	135
VI.LOIRE.....	139
VII.VILAINE.....	143
VIII.ZOOM ESTUAIRE VILAINE / ESTUAIRE LOIRE.....	148
ANNEXE 2: Équations du modèle biogéochimique.....	156
REFERENCES.....	160

## Introduction

Le littoral breton est soumis depuis quelques décennies à d'importants apports en nutriments (azote,phosphore,...) par ses différents bassins versants. Ces apports enrichissent les eaux côtières et provoquent chaque année des proliférations algales de deux sortes:

- des marées vertes d'ulves très côtières apparaissant vers le mois d'avril et perdurant jusqu'à la fin de l'automne, principalement dans des baies qui proposent des conditions environnementales et géographiques favorables à leur croissance à savoir des baies peu profondes, confinées et/ou à faible dérive résiduelle vers le large (Ménèsquen et al, 2001) et alimentées par des apports terrigènes d'azote.
- des proliférations phytoplanctoniques d'espèces diverses (diatomées, dinoflagellés) dont certaines peuvent être toxiques.

Revenir aux rejets des rivières d'il y a un siècle n'est pas envisageable. Néanmoins, la réduction des apports en nitrate (et/ou phosphate) peut avoir au delà d'un certain seuil un impact non-négligeable sur les proliférations algales.

Cette étude se propose donc de déterminer par la modélisation (modèle hydrodynamique/biologique ECO-MARS 3D) le bassin récepteur marin de la plupart des bassins versants breton et, pour chacun de ces bassins récepteurs, de calculer l'effet de différents scénarios de réductions des apports en azote et de phosphore sur les biomasses de phytoplancton (diatomées, dinoflagellés,...) et sur la biomasse des ulves pour les sites sensibles.

Faute de temps, les scénarios de réduction n'ont pas été effectués pour toutes les rivières, notamment les abers finistériens, le Jaudy, le Trieux, l'Arguenon et quelques autres rivières du sud Bretagne. L'ensemble des rivières modélisées est présenté dans la partie 2. **Pour la même raison, le rôle du phosphore a été peu étudié, excepté pour les cas de la Loire, la Vilaine, l'Aulne et l'Elorn pour lesquelles des simulations de réduction phosphore/nitrate ont été effectuées. L'année de référence est l'année 2002, considérée comme étant une année hydrologique moyenne.**

Les modèles locaux effectués permettent une représentation plus fine de la mer côtière bretonne et sont nécessaires pour déterminer les effets de petits bassins versants sur le phytoplancton et les marées vertes. Néanmoins, la résolution est toujours relativement grossière pour la modélisation de la croissance des ulves et même si la dynamique des ulves est bien représentée dans cette étude, une modélisation plus fine nécessiterait un maillage de l'ordre de la centaine de mètres (ce qui est actuellement réalisé par le CEVA avec le même modèle (version spécifique MARS-ulve)) sur certains sites sensibles aux marées vertes).

**Cette étude, que ce soit pour le cas des ulves ou celui du phytoplancton, ne remplacera donc pas des études plus fines focalisées spécifiquement sur des plages ou des estuaires, qui nécessiteraient un maillage beaucoup plus fin notamment pour les rivières du sud Bretagne. Elle a toutefois le mérite d'apporter une indication sur les teneurs à atteindre pour observer une diminution sensible des proliférations.**

La première partie de ce rapport concerne la présentation du modèle, sa validation ainsi que les différentes emprises qui sont utilisées pour l'étude. La seconde partie présente les principaux résultats obtenus, notamment la zone d'influence marine des rivières bretonnes, ainsi que les scénarios d'abattement les plus significatifs. La dernière partie présente les résultats des abattements pour chaque bassin versant sous forme de fiches.

# 1. Proliférations de phytoplancton et marées vertes.

Actuellement, les concentrations dans les rivières bretonnes sont en moyenne 30 mg/L de nitrate et 0,3 mg/L de phosphate. Ces apports de nutriments à la mer côtière sont responsables de proliférations phytoplanctoniques et macroalgales, sous la forme de marées vertes d'ulves.

Les proliférations phytoplanctoniques sont présentes partout en Bretagne avec plus ou moins d'intensité (figure 1). La zone la plus touchée est la Bretagne Sud principalement en raison de courants de marée moins forts qu'en Bretagne Nord, d'une stratification thermohaline estivale et d'un enrichissement important en nutriments dans les panaches de la Loire et de la Vilaine. Ces conditions sont particulièrement propices pour les dinoflagellés (phytoplancton non-siliceux) contrôlés par la teneur des eaux en sels azotés et dont la croissance est facilitée dans les eaux peu brassées de Bretagne Sud contrairement à la Bretagne Nord, où les dinoflagellés sont quasi-inexistants sauf si on excepte les estuaires des abers finistériens, de la rivière de Morlaix, de la Penzé et de la Rance.

Les diatomées (phytoplancton siliceux) sont globalement présentes partout en Bretagne, notamment en Bretagne Nord, où les courants de marées sont plus forts et les eaux beaucoup plus brassées que dans le sud. Dans ces conditions, les diatomées se développent plus facilement que les dinoflagellés.

Le phénomène des marées vertes consiste en l'accumulation estivale de biomasse algale. Cette prolifération, sporadique jusqu'aux années 70, est depuis devenue régulière. Actuellement, on estime à environ 50 000 tonnes de poids frais la biomasse d'ulves en juillet sur le littoral breton. Les marées vertes les plus importantes sont recensées en Côte d'Armor (Baie de Saint-Brieuc, plage de Saint-Michel en Grève,...) et dans le Finistère (fond de Baie de Douarnenez, Baie de Concarneau,...) (figure 2) (CEVA, 2002). Ces sites possèdent des conditions environnementales et géographiques qui permettent à la marée verte de se constituer et de se maintenir en été. Les sites touchés sont des zones peu profondes (Baie de Concarneau, fond de Baie de Douarnenez) à forts balancements de marées (Baie de Saint-Brieuc) qui procurent aux thalles une forte accessibilité à la lumière, élément indispensable à leur croissance qui s'effectue à partir du printemps, période où l'éclairement est suffisant (c'est pourquoi on trouve très peu d'ulves en Baie du Mont Saint-Michel en partie en raison de sa très forte turbidité). Ces sites sont également soumis à de forts apports en nutriments qui sont les autres éléments indispensables à la croissance des ulves. Un suivi de la teneur en azote et en phosphore a montré que l'azote est l'élément limitant de la croissance des ulves. En effet, leur teneur azotée subit une chute à partir du printemps qui atteint un niveau qui ne permet plus leur croissance à partir du mois de juillet. L'autre condition qui permet à la marée verte de se maintenir est le confinement hydrodynamique, là où le courant résiduel (c'est-à-dire le mouvement net au bout d'un cycle de marée) est très faible. Ceci explique que des sites pourtant ouverts vers le large, comme la Baie de Saint-Brieuc ou le fond de baie de Douarnenez, mais qui ne possèdent pas une capacité dispersive suffisante, sont particulièrement touchés, alors que des zones comme la rade de Brest ou le golfe du Morbihan, apparemment fermées mais dont les forts courants de marée assurent un mélange rapide sur une zone étendue, sont relativement peu touchées.

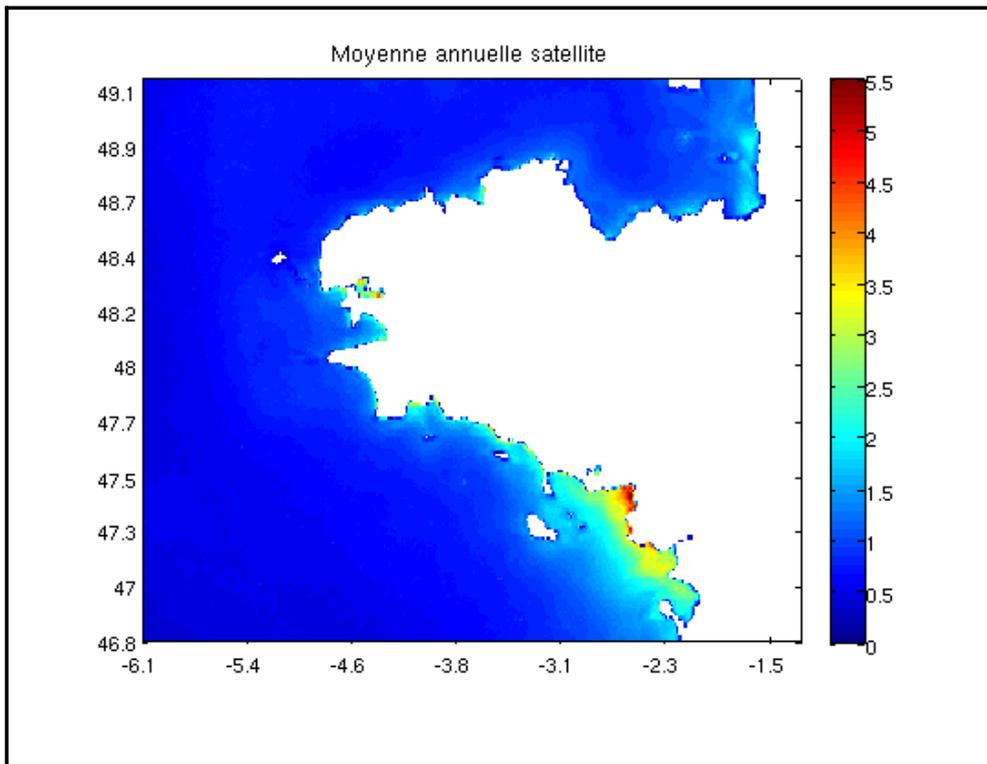


figure 1: Moyenne annuelle (moyennée sur 10 ans) de la chlorophylle dans les eaux de surface autour de la Bretagne.

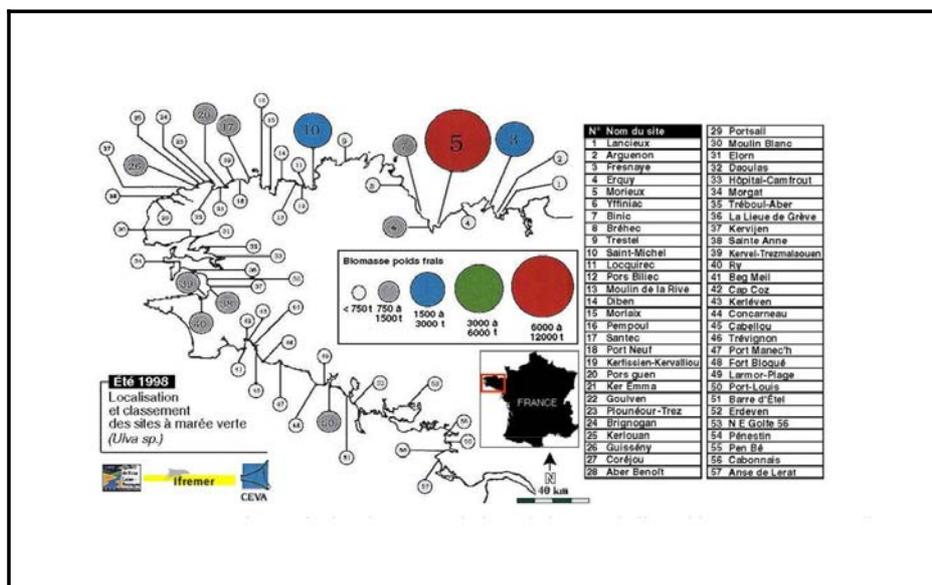


figure 2: Carte semi-quantitative des accumulations d'ulves sur le littoral breton en été 1998 (les cercles ont une surface proportionnelle à la biomasse estimée d'après photographies aériennes et vérité-terrain, et portent le numéro du site dans le tableau ci-contre); données IFREMER/CEVA.

## 2. Présentation du modèle ECO-MARS3D

L'outil utilisé afin de calculer les effets des abattements en nitrate est le modèle ECO-MARS 3D. Il est composé d'un modèle hydrodynamique en trois dimensions MARS3D (3D hydrodynamical Model for Application at Regional Scale) développé à IFREMER [Lazure et Dumas, 2008] auquel on a couplé un modèle biogéochimique simulant à la fois les proliférations phytoplanctoniques (diatomées, dinoflagellés) et les proliférations d'ulves (macroalgues vertes).

### 2.1.Brève description du modèle hydrodynamique

MARS est un modèle aux différences finies fondé sur la résolution des équations de Navier-Stokes, inspiré du modèle de Blumberg et Mellor (1987). Il est basé sur la séparation des modes barotrope et barocline et fonctionne selon le principe des emprises emboîtées. Un modèle 2D de rang 0 (couvrant la zone Atlantique-Nord-Ouest et mer du Nord) donne les conditions aux limites en élévation de la surface libre à un modèle de rang 1 (figure 3). Les forçages entre l'océan et l'atmosphère sont calculés à l'aide des données du modèle ARPEGE de Météo France qui fournit tous les paramètres (température de l'air, vent, pression, couverture nuageuse, humidité relative) permettant de disposer de forçages météorologiques réalistes.

### 2.2.Description des différents domaines de modélisation

Le modèle de rang 1 couvre toute la Bretagne (figure 3) . Il s'étend entre les latitudes 46.8° et 49.3° nord et entre les longitudes 1.3° et 6° ouest. Chaque maille carrée a un côté de 3km. L'emprise contient 121 x 92 mailles, discrétisées verticalement sur 10 niveaux sigmas, c'est à dire selon un pourcentage fixé de la hauteur d'eau totale dans la maille.

Cette résolution est suffisante pour pouvoir constater l'effet d'une diminution des apports en nutriments sur les blooms des bassins versants ayant une zone d'influence marine longue de 100km ou plus: c'est le cas des bassins versants de la Loire, de la Vilaine, et à un degré moindre ceux de l'Aulne et de l'Elorn.

En revanche, elle n'est pas assez fine pour des bassins versants ayant une zone d'influence très limitée. L'effet d'une quelconque diminution ne serait pas quantifiable. C'est pourquoi des zooms de rang 2 ont été générés afin de modéliser plus finement les effets des abattements sur les proliférations phytoplanctoniques, ainsi que les phénomènes de marées vertes qui ne sont pas distinguables sur la grande emprise. La taille des mailles pour ces emprises est de 500 mètres ou 800 mètres.

De même qu'entre le modèle de rang 0 et le modèle de rang 1, le passage entre le modèle de rang 1 et le modèle de rang 2 se fait par la fourniture des conditions aux limites en hauteurs d'eau ainsi qu'en traceurs : salinité, température, nitrate, phosphate, silicate, phytoplanctons et zooplanctons).

6 sites ont été sélectionnés afin d'y effectuer des zooms de rang 2 (figures 3 et 4) : la baie du Mont Saint-Michel, la baie de Saint-Brieuc, la baie de Lannion, la rade de Brest et la baie de Douarnenez, la Bretagne Sud moins la Baie de Vilaine et la zone comprenant l'estuaire de la Vilaine et de la Loire (mailles de 800 mètres).

Les rivières concernées par le rang 1 sont la Vilaine et la Loire. Pour les zooms de rang 2, les rivières concernées sont présentées dans le tableau 1.

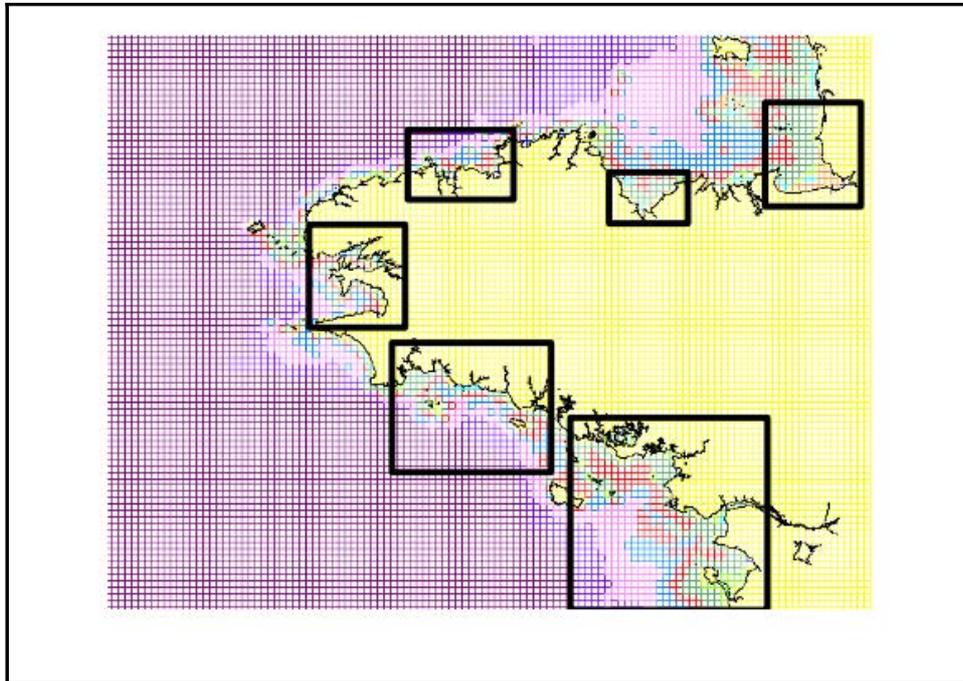


figure 3: Emprise du rang 1 et des zooms de rang 2, sur fond de bathymétrie.

<b>Zoom Baie du Mont Saint Michel</b>	-Couesnon -Sée -Sélune
<b>Zoom Baie de Saint Briec</b>	-Gouessant -Gouet -Urne
<b>Zoom Baie de Lannion/Baie de Morlaix</b>	-Horn -Penzé -Dourduff -Jarlot -Douron -Yar -Léguer
<b>Zoom Rade de Brest/Baie de Douarnenez</b>	-Elorn -Aulne -Mignonne -Lapic -Kerharo
<b>Zoom Bretagne sud</b>	-Odet -Moros -Aven -Laïta -Blavet -Scorff
<b>Zoom Vilaine/Loire</b>	-Vilaine et Loire

Tableau 1: Rivières contenues dans chaque zoom de rang 2.

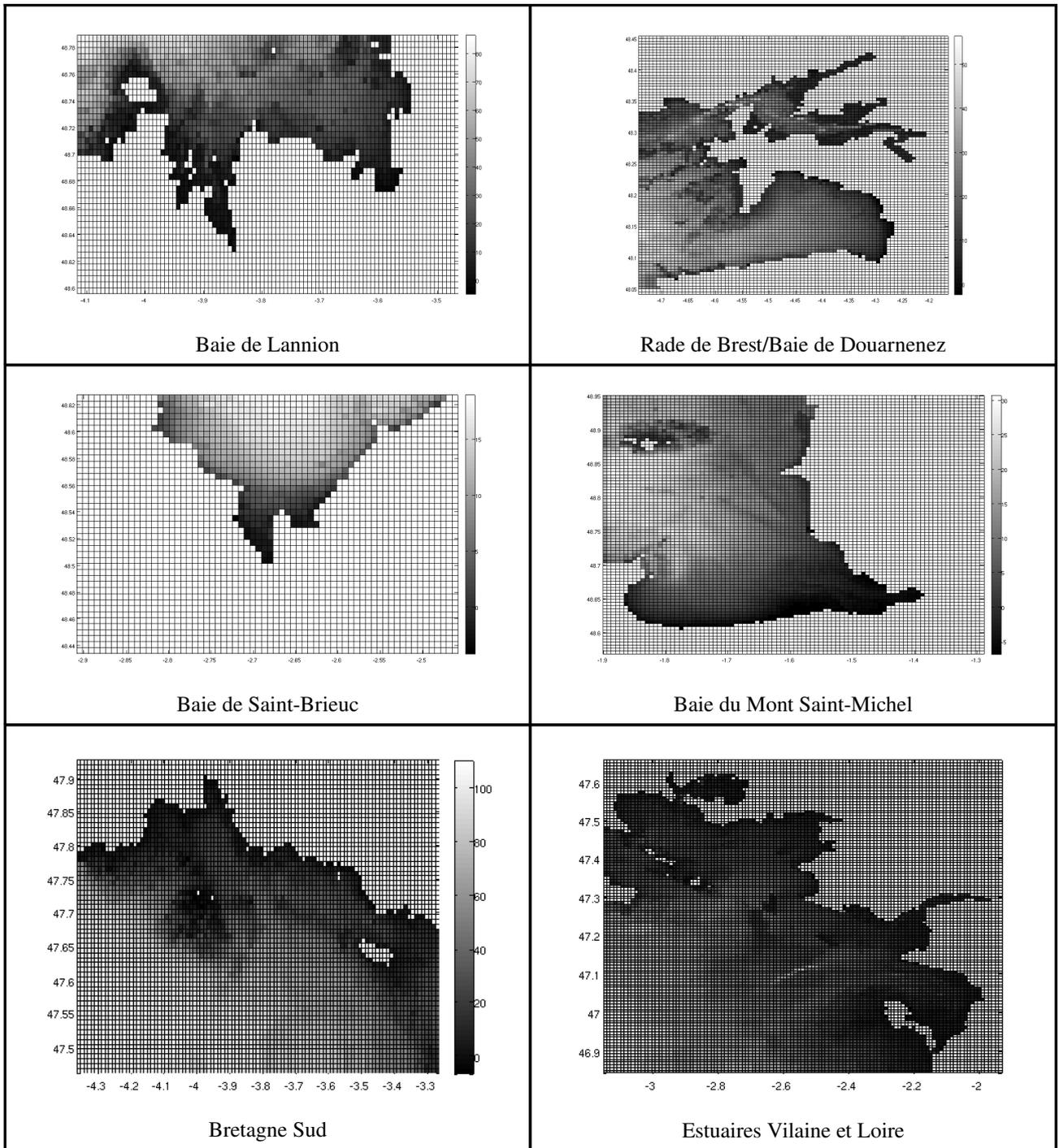


figure 4: Maillage des différents zooms de rang 2.

## 2.3. Forçages aux limites des domaines de modélisation

### 2.3.1. Forçages aux limites marines

Pour le modèle de grande emprise (rang 1), les conditions aux limites marines en nutriments, en phytoplancton et zooplancton sont issues de climatologies.

En ce qui concerne les modèles locaux (rang 2), les conditions aux limites sont générées à partir des résultats obtenus avec le rang 1. La figure 5 présente les conditions imposées en une maille de la limite marine du zoom Rade de Brest/Baie de Douarnenez.

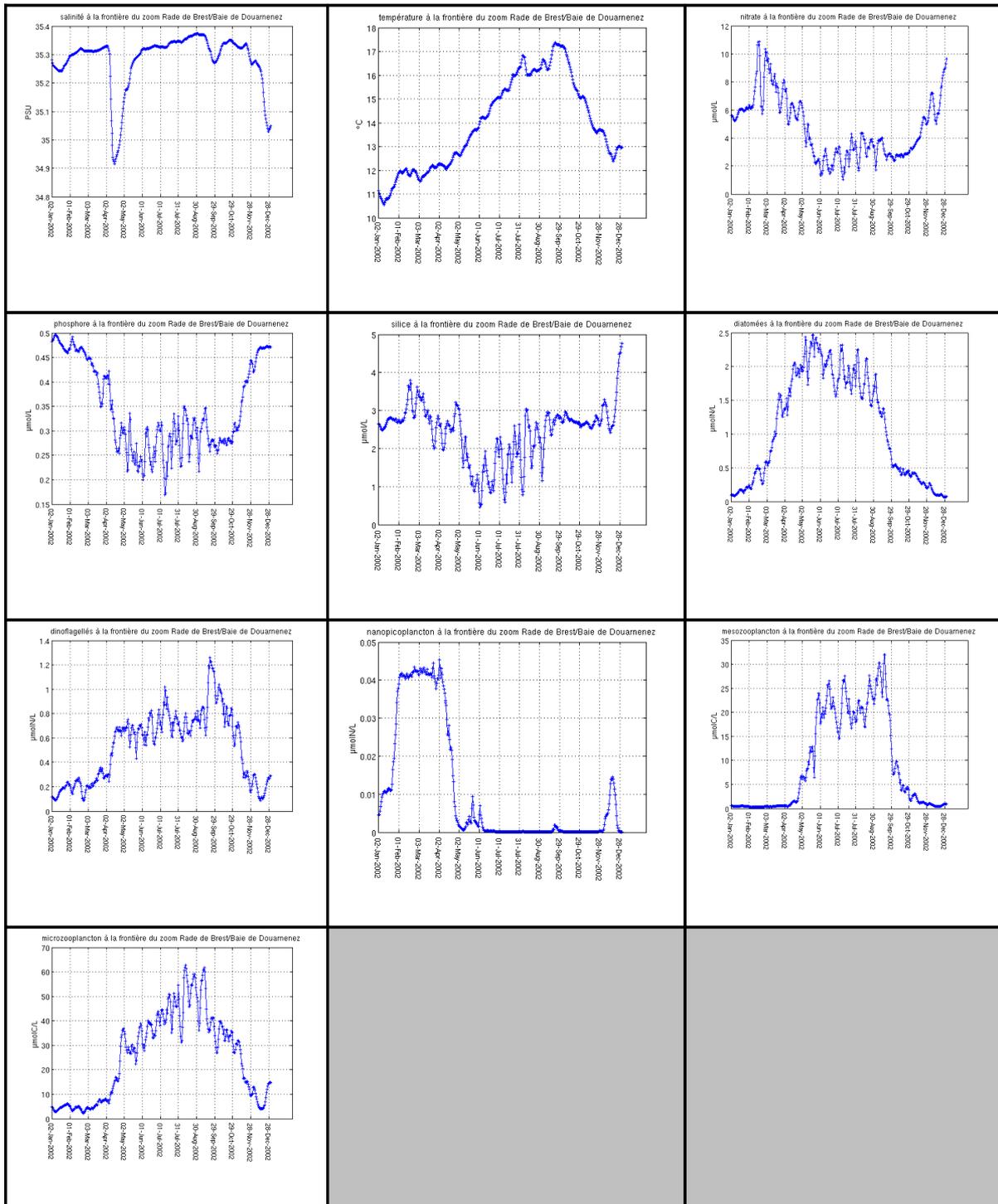


figure 5: Exemple de conditions aux limites en une maille de la frontière marine d'un zoom de rang2.

### 2.3.2. Apports des rivières

Les valeurs des rejets et des débits sont issues de mesures. Les rivières apportent du nitrate, du phosphate dissous, de la silice, du phosphate adsorbé et de la matière en suspension. Lorsque ces mesures ne sont pas disponibles, les rejets en nitrate, et en phosphate dissous sont calculés à partir d'un modèle statistique qui permet de déterminer les concentrations en fonction du débit de la rivière (Guillaud et Bourriel, sous presse). La figure 6 présente le débit et les rejets en nutriments d'une rivière utilisés pour une simulation.

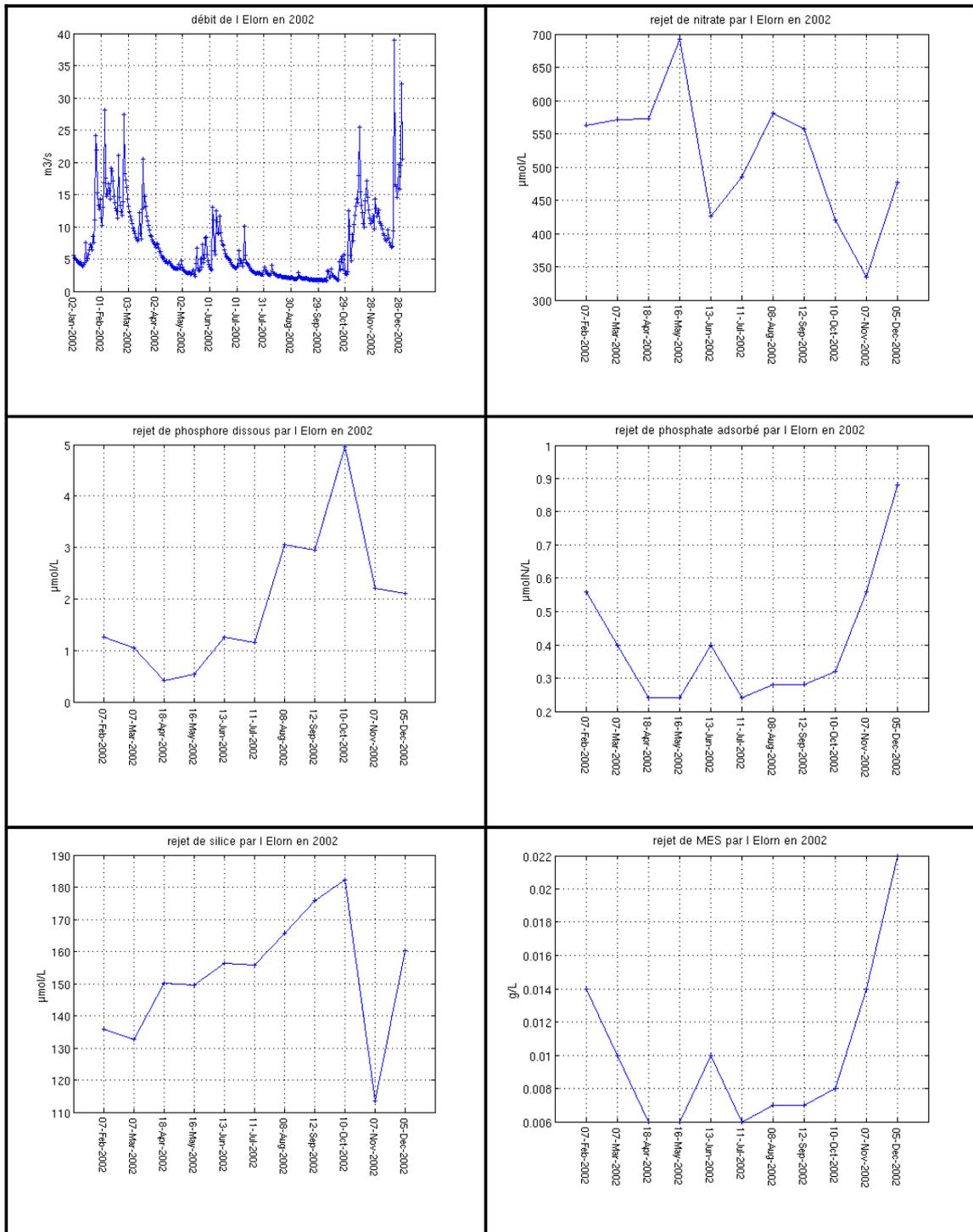


figure 6: Exemple de débit et de rejets au niveau de l'Elorn pour l'année 2002.

## 2.4. Description du modèle biogéochimique.

Le modèle biogéochimique permet de prendre en compte la compétition entre le phytoplancton et les ulves et modélise les cycles de l'azote, du phosphore et de la silice sous la forme d'un cycle NUTRIMENT > PHYTOPLANCTON > ZOOPLANCTON > DETRITIQUE. La figure 7 présente le schéma conceptuel du modèle biogéochimique. Les 20 variables d'état du modèle sont présentées dans le tableau 2. La modélisation de la croissance des ulves est basée sur le modèle de Ménesguen et al (2006). Les ulves sont divisées en 2 compartiments: les ulves en suspension et les ulves en dépôt. Ces 2 compartiments sont chacun représentés par 3 variables d'état (tableau 2). L'ensemble des équations du modèle biogéochimique est donné en annexe.

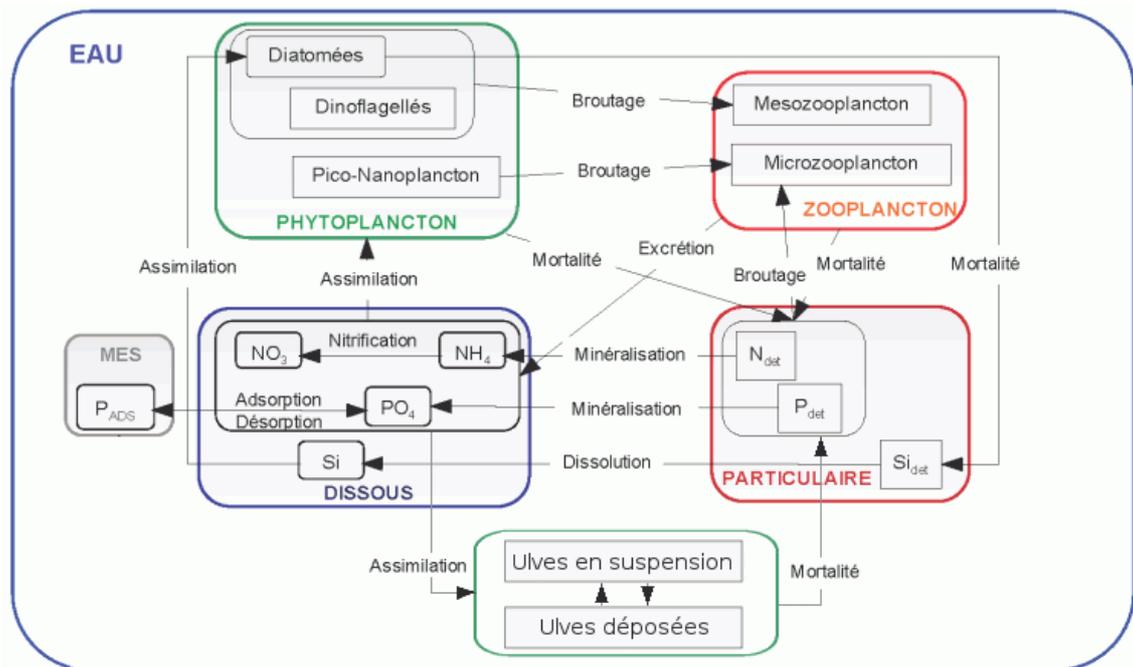


figure 7: schéma conceptuel de la partie biogéochimique du modèle.

ammonium	$\mu\text{molN.L-1}$
nitrate	$\mu\text{molN.L-1}$
silicium dissous	$\mu\text{molSi.L-1}$
phosphate dissous	$\mu\text{molP.L-1}$
phosphate adsorbé	$\mu\text{molP.L-1}$
azote des diatomées	$\mu\text{molN.L-1}$
azote des dinoflagellés	$\mu\text{molN.L-1}$
azote du nanopicoplancton	$\mu\text{molN.L-1}$
azote du mesozooplancton	$\mu\text{molN.L-1}$
azote du microzooplancton	$\mu\text{molN.L-1}$
azote détritique	$\mu\text{molN.L-1}$
silice détritique	$\mu\text{molSi.L-1}$
phosphore détritique	$\mu\text{molP.L-1}$
Matière en suspension	$\text{g.L-1}$
azote des ulves en suspension	$\text{mgN.L-1}$
azote des ulves en dépôt	$\text{mgN.L-1}$
phosphore des ulves en suspension	$\text{mgP.L-1}$
phosphore des ulves en dépôt	$\text{mgP.L-1}$
biomasse des ulves en suspension	$\text{kg.m-3}$
biomasse des ulves en dépôt	$\text{kg.m-3}$

*Tableau 2: Variables d'état du modèle.*

## 2.5. Validation

### 2.5.1. Validation du modèle global (rang 1).

Les seules séries de mesures à haute fréquence disponibles en 2001-2003 sur les côtes de Bretagne sont celles de la bouée MAREL-IROISE, opérée par l'IFREMER et l'IUEM, près du goulet de la rade de Brest.

Même si il a tendance à sous estimer la salinité et surestimer la température en été, le modèle représente assez bien leur évolution dans le rang 1 (figure 8). Le nitrate et la chlorophylle sont bien représentés (notamment la chute de concentration) (figure 9). Le nitrate est surestimé en hiver mais la modulation de sa concentration par les cycles ME/VE est bien simulée.

L'imagerie satellitaire fournit également des cartes de surface de la chlorophylle. La moyenne de chlorophylle du modèle (sur les années 2001, 2002 et 2003) est dans l'ensemble en accord avec la moyenne annuelle satellite moyennée sur 10 ans (figure 10). Néanmoins, le modèle semble être un peu trop diffusif et a donc à tendance à « étaler » la chlorophylle; d'autre part, il surestime la chlorophylle en Baie de Concarneau et au contraire sous-estime la chlorophylle dans l'estuaire de la Loire.

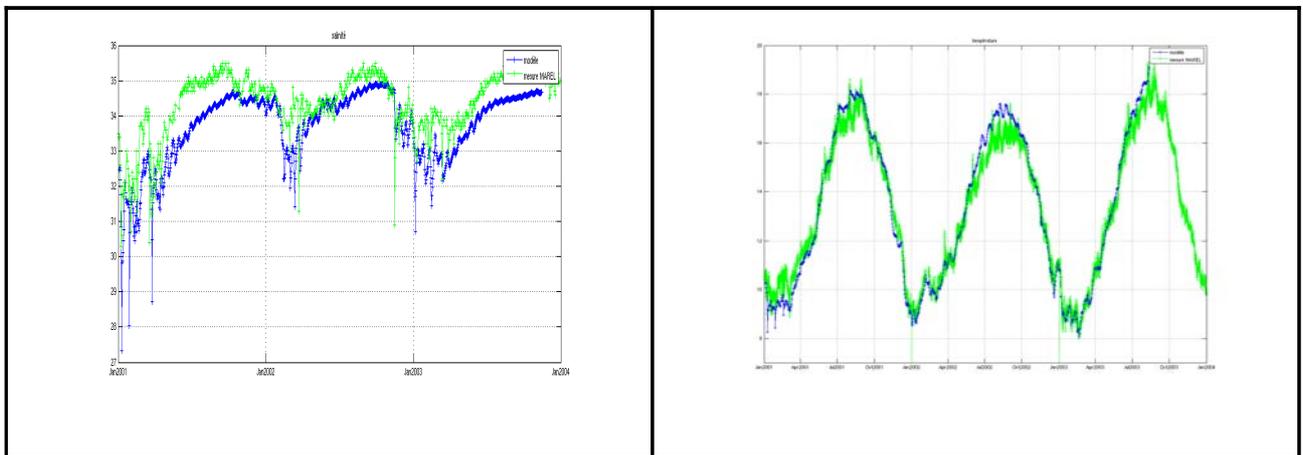


figure 8: salinité et température en rade de Brest: modèle (en bleu) et mesures MAREL à Sainte-Anne du Portzic (en vert).

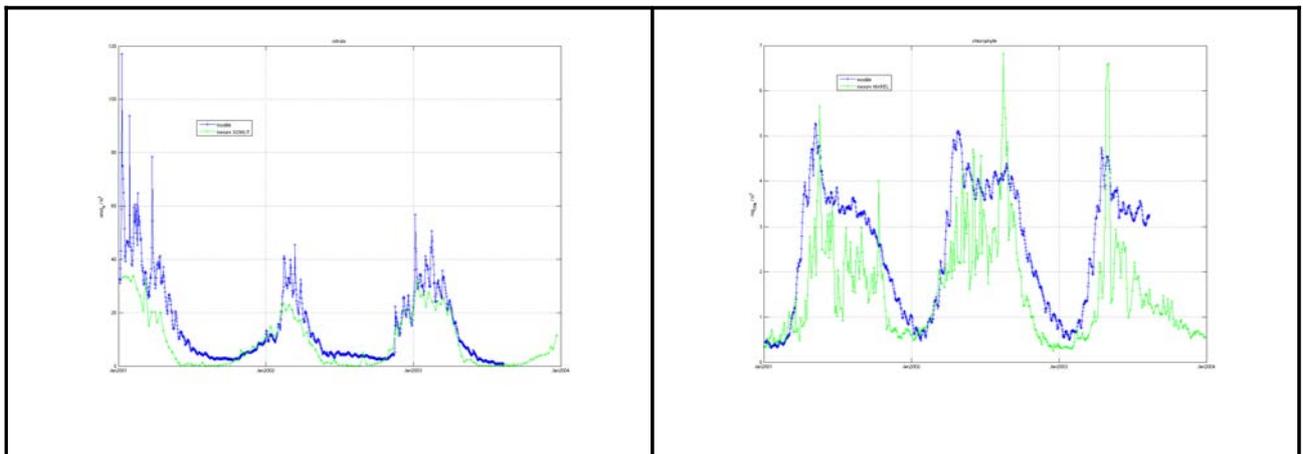


figure 9: nitrate et chlorophylle en rade de Brest: modèle (en bleu) et mesures SOMLIT à Sainte-Anne du Portzic (en vert).

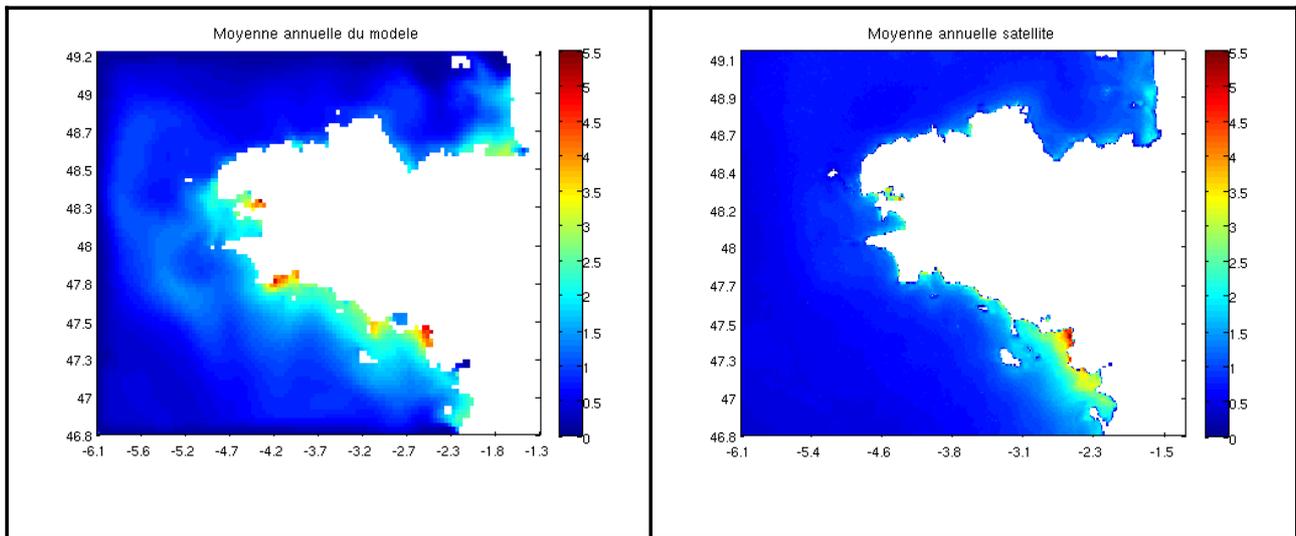


figure 10: moyenne annuelle en chlorophylle ( $\mu\text{g/L}$ ) (à gauche le résultat du modèle moyenné sur les années 2001, 2002 et 2003; à droite la mesure satellite moyennée sur 10 ans).

### 2.5.2. Validation des modèles locaux (rang 2).

La validation des différents rangs 2 a été effectuée en plusieurs étapes:

La première étape a consisté à comparer à des mesures de l'année 2002 l'évolution de la salinité et de la température (de surface) en un point de chaque zoom, afin de vérifier le réalisme hydrologique des simulations.

La deuxième étape a consisté à comparer l'évolution de la chlorophylle simulée ainsi que l'évolution des différents nutriments (de surface) avec des mesures disponibles (SOMLIT, MAREL, réseau REPHY). Les données mesurées sont issues:

- de mesures SOMLIT à Roscoff et au large de Roscoff pour le zoom Baie de Morlaix/Baie de Lannion (chlorophylle\_a, température, salinité, nitrate, silicate, phosphate dissous).
- de mesures SOMLIT et MAREL à Sainte-Anne du Portzic pour le zoom Rade de Brest/Baie de Douarnenez (chlorophylle\_a, température, salinité, nitrate, silicate, phosphate dissous).
- des mesures issues du réseau de surveillance REPHY pour les zooms de la Baie Saint-Brieuc, de la Baie du Mont Saint-Michel et de la Bretagne Sud (chlorophylle\_a, température, salinité).

Les points de mesure pour chaque zoom sont présentés figure 11.

Enfin, la dernière étape a consisté à évaluer les résultats du modèle ulves de manière qualitative, en comparant les zones du modèle où on observe un dépôt d'ulves avec les cartes de recensements effectuées par le CEVA et de manière semi-quantitative en comparant les biomasses obtenues avec les biomasses d'ulves évaluées dans les zones concernées. Cette troisième étape a été effectuée pour les zooms de la Baie de Saint-Brieuc, de Lannion, de la Rade de Brest/Baie de Douarnenez et de Concarneau.

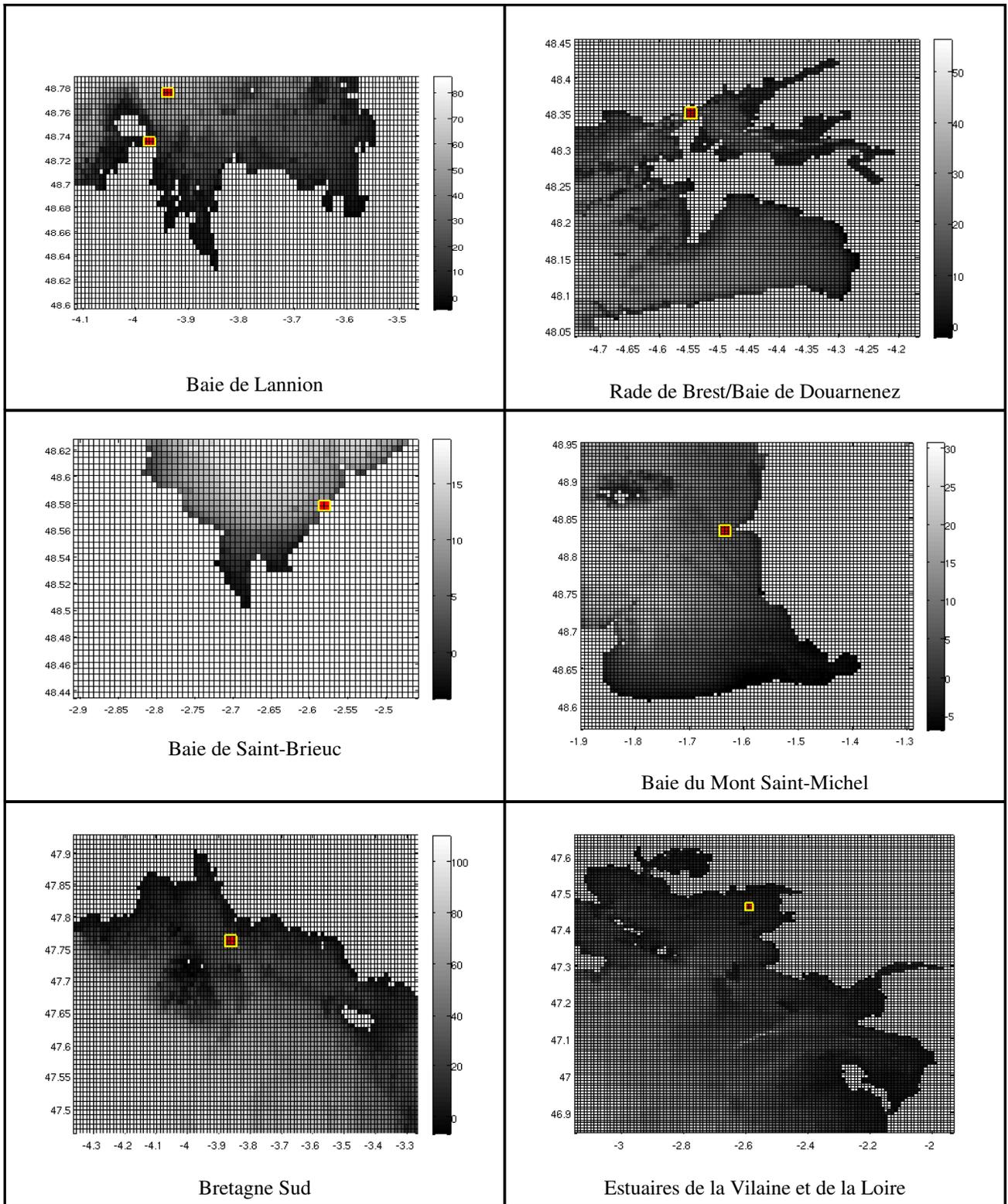


figure 11: Points de mesures utilisés pour la validation de chaque zoom de rang 2.

### 2.5.2.a. Comparaison modèle/mesure en température et salinité

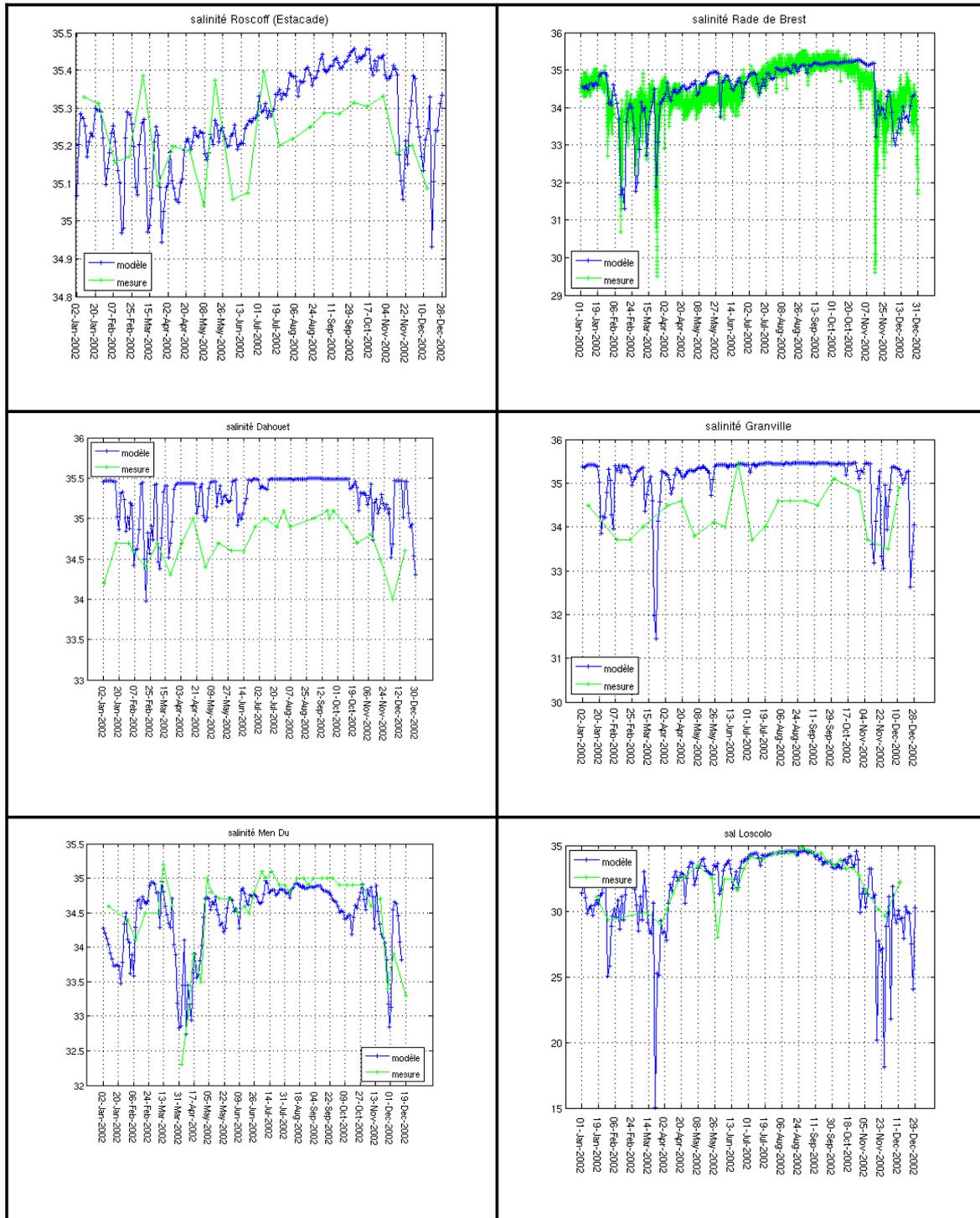


figure 12: Comparaison salinité simulée/salinité mesurée pour un point de chaque zoom: modèle (en bleu) et mesures (en vert).

Le modèle simule relativement bien l'évolution de la salinité et de la température au cours de l'année 2002. Pour la salinité (figure 12), on note que le modèle représente bien les dessalures dues aux crues hivernales. Dans l'ensemble, la salinité simulée est légèrement supérieure à la salinité mesurée pour les zooms de Bretagne Nord (Rade de Brest, Baie de Lannion, Baie de Saint-Brieuc et Baie du Mont Saint-Michel) et plutôt inférieure à la salinité mesurée pour le zoom de Bretagne Sud, très impacté par les apports de la Loire. On trouve les erreurs les plus importantes entre la simulation et la mesure dans les zooms Saint-Brieuc et Baie du Mont Saint-Michel, zooms où la salinité reste trop élevée en été (environ 35,4 à comparer à environ 35 pour la mesure). Les dessalures simulées dans le zoom Bretagne

Sud sont bien représentées. On note cependant des dessalures plus élevées à Loscolo (zoom Vilaine et Loire) comparées à la mesure. Toutefois, il est difficile de conclure étant donnée la fréquence des mesures.

En ce qui concerne les températures simulées et mesurées (figure 13), les écarts les plus importants se trouvent en été (2°C au maximum à Dahouët en Baie de Saint-Brieuc, environ 1,5 °C à Sainte-Anne du Portzic en Rade de Brest). La température hivernale simulée est très proche de la température mesurée.

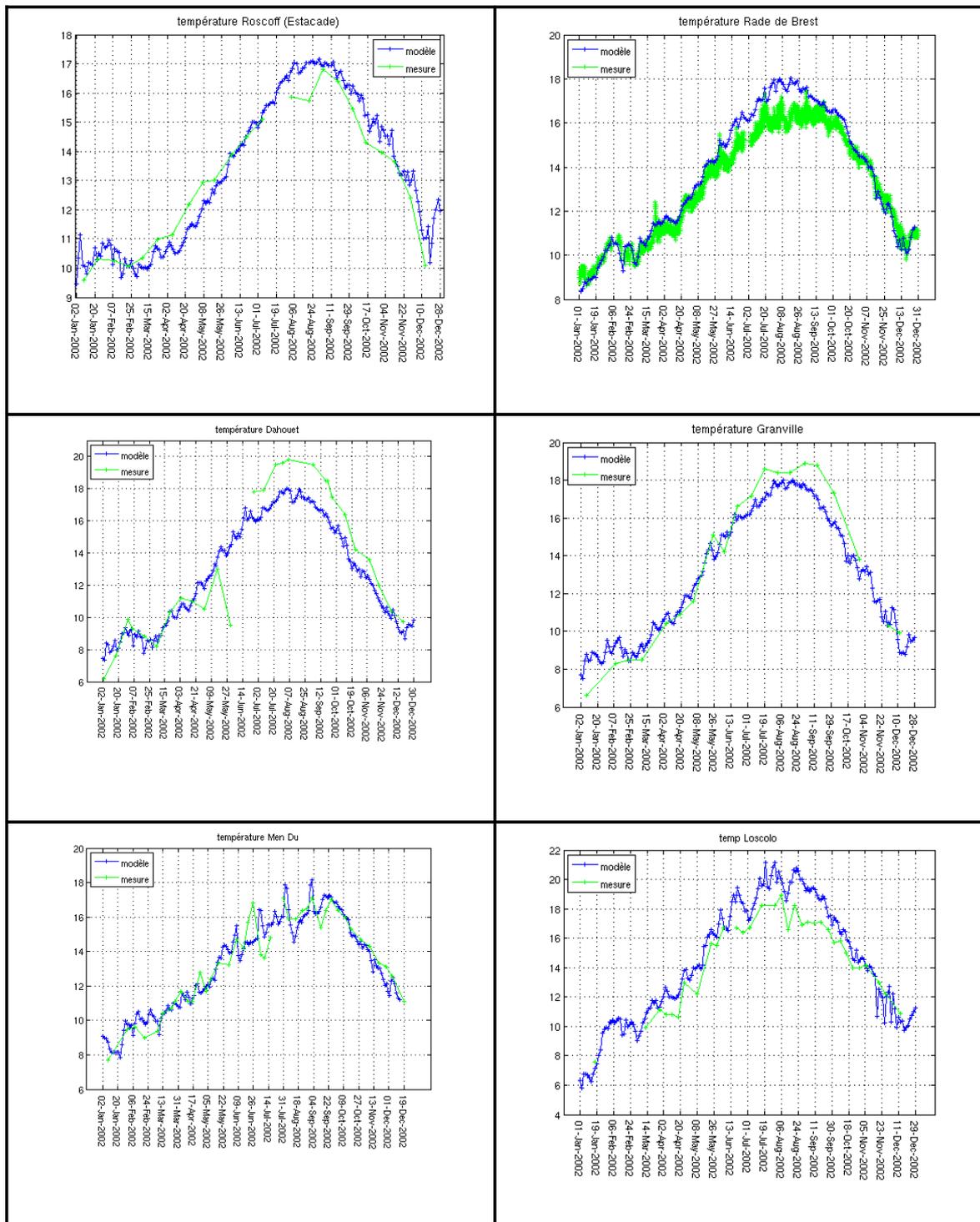


figure 13: Comparaison température simulée/température mesurée en un point de chaque zoom: modèle (en bleu) et mesures (en vert).

### 2.5.2.b. Comparaison chlorophylle+nutriments simulée/chlorophylle+nutriments mesurée.

L'évolution de la chlorophylle obtenue par simulation est dans l'ensemble en accord avec les mesures (figure 14). Le modèle simule plutôt bien l'occurrence et l'amplitude du bloom ainsi que la chute de concentration. On note toutefois que quels que soient les zooms, les concentrations en chlorophylle sont surestimées par le modèle. Cela est dû en grande partie à la difficulté à représenter une turbidité réaliste dans le modèle. En effet, celui-ci n'est pas muni d'un module de remise en suspension du sédiment. Par conséquent, la matière en suspension (MES) est forcée par une climatologie satellite qui fournit sur toute l'emprise du modèle une turbidité de base, mais qui reste irréaliste et insuffisante très près de la côte. Le relais est alors pris par la turbidité simulée des seuls panaches de rivière. Les événements de remise en suspension par la houle et les vagues ne sont donc pas représentés.

Si pour chaque zoom, on observe la répartition de la chlorophylle de manière globale sous la forme de la moyenne annuelle en chlorophylle (figure 15 et 16), et qu'on la compare avec la moyenne annuelle issue du satellite, on remarque que dans l'ensemble, le modèle représente assez bien la répartition du phytoplancton dans chaque domaine de modélisation. Cependant, comme au niveau des séries temporelles, la chlorophylle simulée est surestimée par rapport à la mesure. Cette surestimation est particulièrement notable au niveau des frontières marines où sont fournies les valeurs en chlorophylle (azote des diatomées, des dinoflagellés et nanopicoplancton) qui sont probablement surestimées. Notons cependant que les observations satellites sont peu précises près de la côte.

Dans le cas du zoom sur la Vilaine et la Loire, on note que la moyenne annuelle de chlorophylle est surestimée dans la Baie de Bourgneuf et dans le Golfe du Morbihan ainsi que dans l'estuaire de la Vilaine. On peut l'expliquer d'une part, par le fait qu'il est quasiment impossible de bien modéliser la circulation avec une maille de 800 mètres dans un espace aussi restreint que le golfe du Morbihan. Par conséquent, les sels nutritifs y sont piégés ce qui permet la croissance du phytoplancton. D'autre part, dans le cas de la Baie de Bourgneuf, l'impact des filtreurs (qui y sont très présents) sur le phytoplancton n'est pas modélisé.

Les données de mesures en nutriments n'étant pas disponibles pour tous les zooms, seuls les résultats des zooms de la rade de Brest et de la baie de Lannion ont été comparés aux mesures.

En ce qui concerne le nitrate (figure 17), on remarque que le modèle simule plutôt bien son évolution au cours de l'année 2002 quel que soit le zoom. En revanche, l'évolution du phosphate, si elle est plutôt bien représentée dans le zoom de la Rade de Brest, est quelque peu déphasée par rapport aux mesures au point SOMLIT Estacade à Roscoff. Ce constat est identique pour l'évolution du silicate au point Estacade, ce qui n'est pas le cas en à Sainte-Anne du Portzic où l'évolution du silicate est en accord avec la mesure.

De manière globale, pour les 3 nutriments, on note que les valeurs simulées sont surestimées par rapport à la mesure ce qui est certainement dû à un manque de mélange au niveau du panache des rivières. Cependant, les simulations représentent de manière plutôt réaliste la modulation de la concentration en nitrate par le cycle ME/VE, notamment en période hivernale, période où les grandes marées permettent (notamment en rade de Brest) aux panaches des rivières de s'étendre jusqu'à la station Sainte-Anne. Ailleurs, les mesures SOMLIT, trop clairsemées, ne permettent pas de conclure.

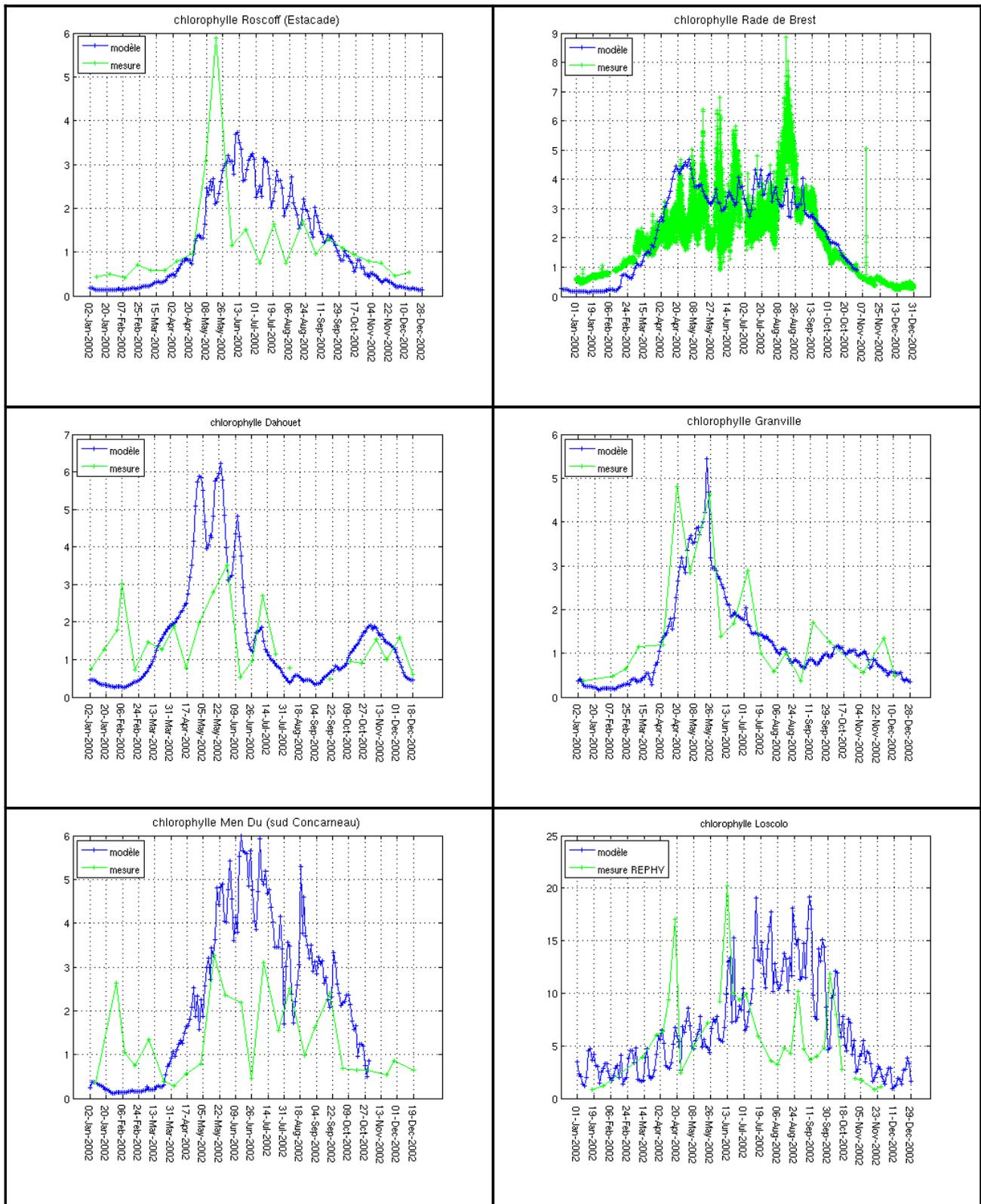


figure 14: Comparaison chlorophylle simulée/chlorophylle mesurée (en  $\mu\text{g/L}$ ) en un point de chaque zoom : modèle (en bleu) et mesures (en vert).

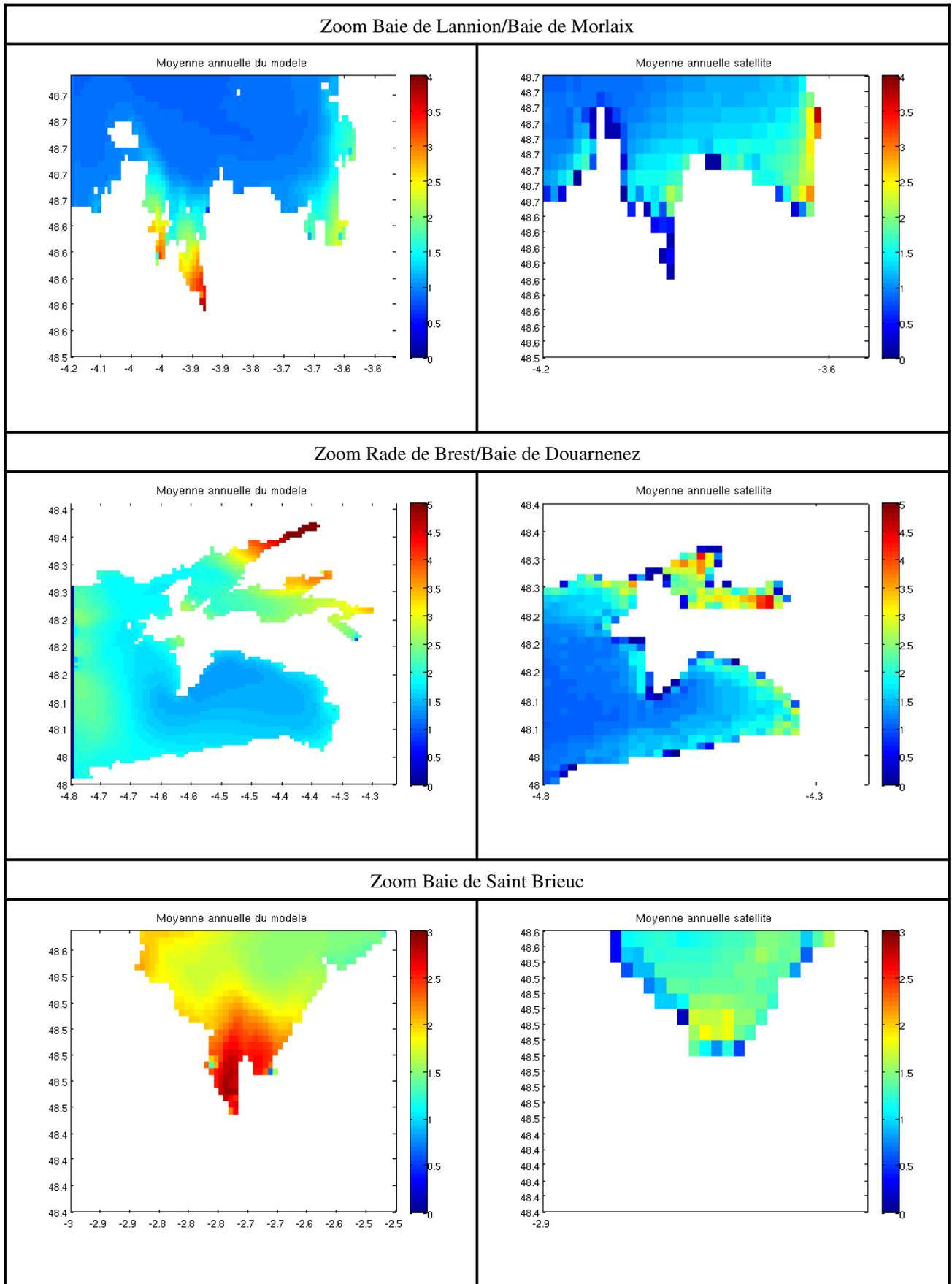


figure 15: Moyenne annuelle en chlorophylle totale (en  $\mu\text{g/L}$ ) pour l'année 2002 ( à gauche modèle; à droite satellite).

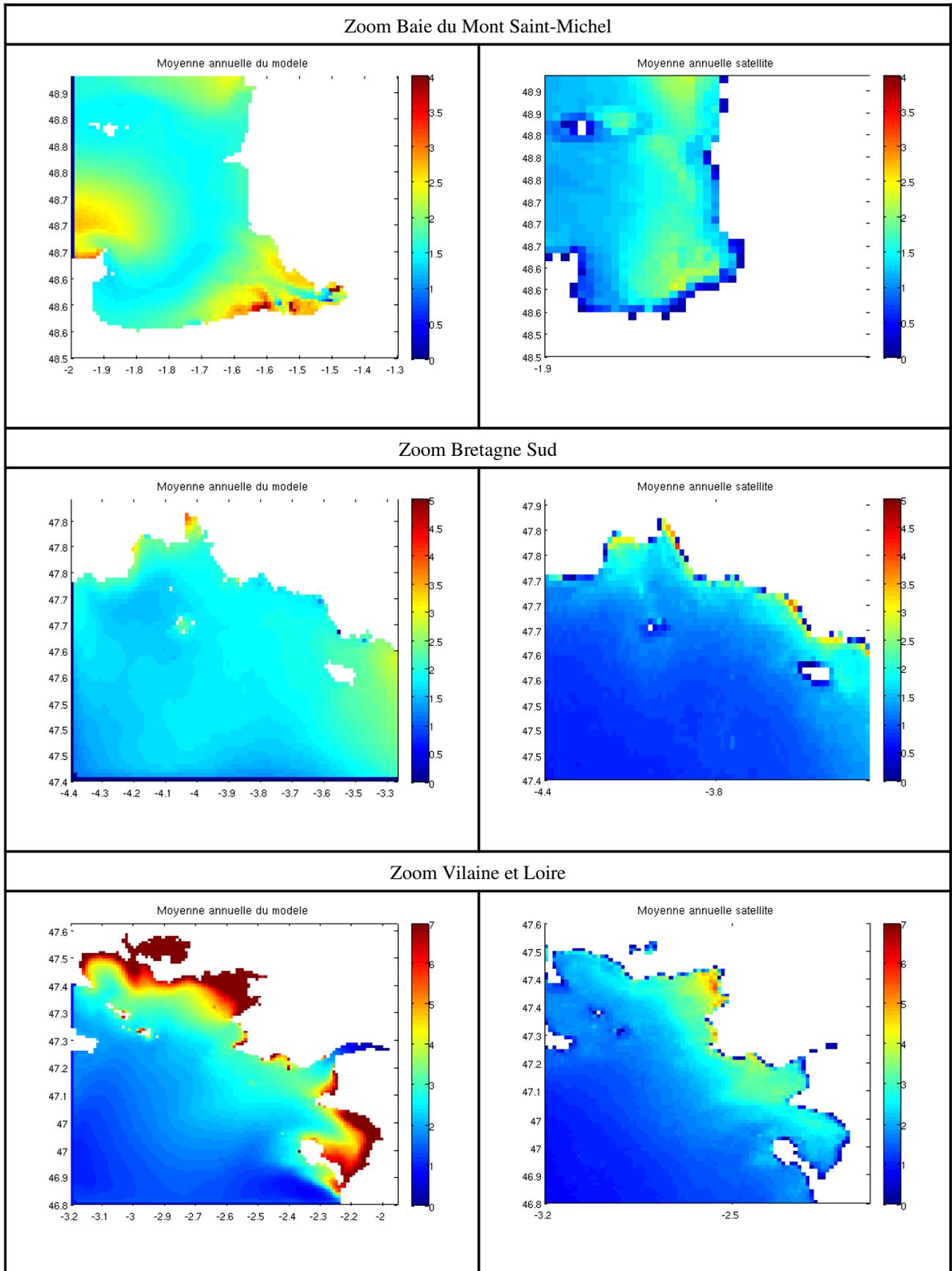


figure 16: Moyenne annuelle en chlorophylle totale (en  $\mu\text{g/L}$ ) pour l'année 2002 ( à gauche modèle; à droite satellite).

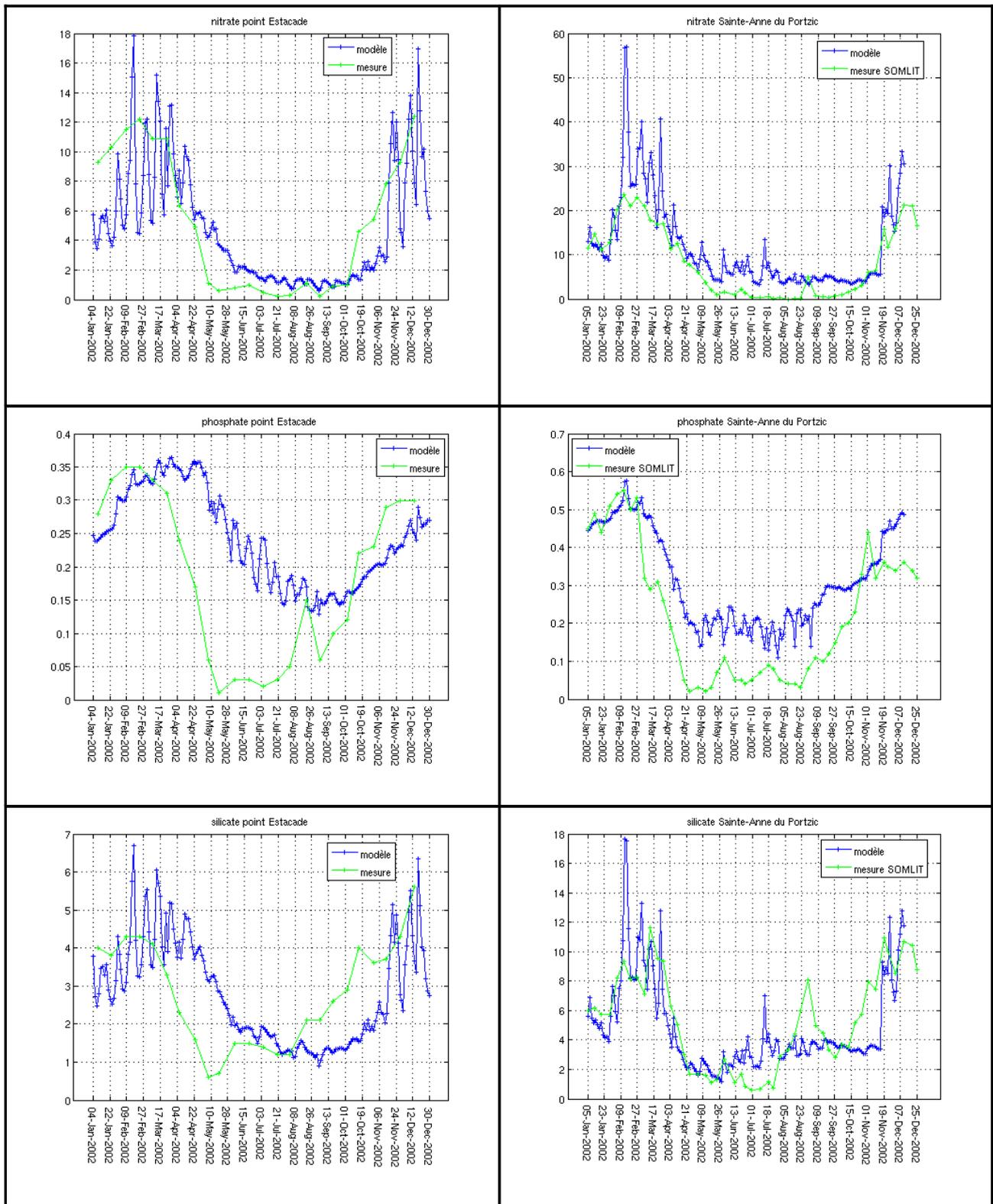


figure 17: comparaison nutriments (nitrate, phosphate, silicate) modèle/mesure ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le zoom Baie de Lannion/Baie de Morlaix (à gauche) et pour le zoom Rade de Brest/Baie de Douarnenez (à droite).

### 2.5.2.c. Validation du modèle ulves

Pour chaque domaine de modélisation, les simulations commencent avec une couverture volontairement irréaliste d'ulves en dépôt de 10 g.m<sup>-2</sup>. Le modèle se réorganise de façon à obtenir une couverture plus réaliste en permettant aux ulves de s'accumuler et de croître seulement en certains points favorables décrits en partie I.

Les résultats obtenus sont satisfaisants sur le plan qualitatif (figure 18). Les zones du modèle où les ulves s'accumulent correspondent pour la plupart aux zones recensées par le CEVA ces dernières années (figure 19). Cependant, le modèle a tendance à sous estimer le stock d'ulves déposées (environ 2000 tonnes sur la plage de Saint-Michel en grève à comparer aux 4000 tonnes estimées par le CEVA, environ 8000 tonnes en fond de baie de Saint-Brieuc à comparer aux 15000 tonnes estimées par le CEVA, environ 500 tonnes sur la plage du Moulin Blanc à Brest).

Cette sous estimation globale de la biomasse en ulves en dépôt est due d'une part à la compétition avec le phytoplancton du point de vue de l'éclairement disponible et de l'absorption des nutriments et d'autre part à une matière en suspension représentée grossièrement (utilisation d'une climatologie). Par conséquent, il se peut que près de la côte, la MES soit sous estimée ce qui peut être favorable à la croissance du phytoplancton donc défavorable aux ulves qui se verraient privées d'une certaine quantité de nutriments et d'une partie de l'énergie lumineuse (extinction lumineuse due au phytoplancton).

En Baie de Lannion, les sites où on obtient par simulation les plus grandes biomasses sont la plage de Saint-Efflam (environ 2000 tonnes de poids frais) et le fond de la Baie de Locquirec (environ 650 tonnes de poids frais). On trouve également des ulves près de l'estuaire du Léguer (50 tonnes de poids frais), de l'Horn (150 tonnes de poids frais), dans l'estuaire de la Penzé (environ 150 tonnes de poids frais) et en baie de Morlaix (500 tonnes de poids frais), ce qui est vérifié par les recensements.

En rade de Brest et Baie de Douarnenez, les zones préférentielles pour la croissance des ulves sont la plage du Moulin Blanc à Brest où on obtient une biomasse d'environ 500 tonnes et le fond de la Baie de Douarnenez pour laquelle on atteint une biomasse d'environ 5 000 tonnes.

Pour la Baie de Saint-Brieuc, les ulves sont principalement confinées en fond de Baie dans l'anse de Morieux et l'anse d'Yffiniac.

Pour le zoom de la Bretagne Sud, le modèle représente bien la présence d'ulves en fond de baie de Concarneau mais sous-estime sa biomasse (environ 2000 tonnes). Cependant, tous les cours d'eau de la baie de Concarneau ne sont pas représentés (seuls les apports en nutriments du Moros sont pris en compte). Le modèle indique également la présence d'ulves à proximité de l'Aven, près de l'embouchure du Blavet à Lorient et aux environs de Fort Bloqué ce qui est vérifié par les recensements. La biomasse en ulves semble être cependant surestimée en ce dernier endroit. On ne trouve pas de présence d'ulves près de Lorient mais ceci est expliqué par la résolution relativement grossière du zoom Bretagne Sud.

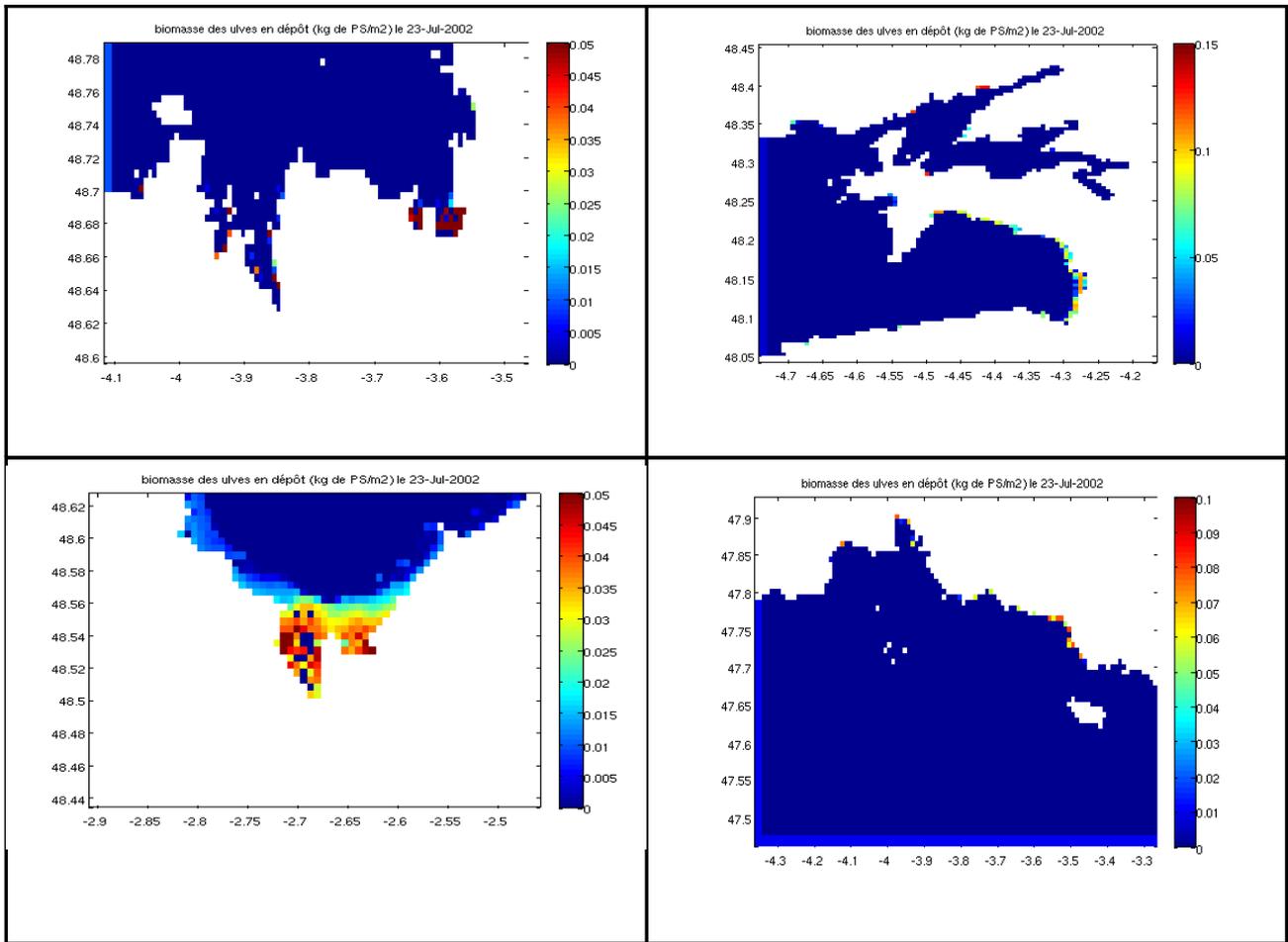


figure 18: Cartographie de la biomasse des ulves en dépôt (en kg de poids sec) pour les zooms de la Baie de Lannion/Baie de Morlaix; Rade de Brest/Baie de Douarnenez; Baie de Saint-Brieuc et Bretagne Sud en juillet 2002.

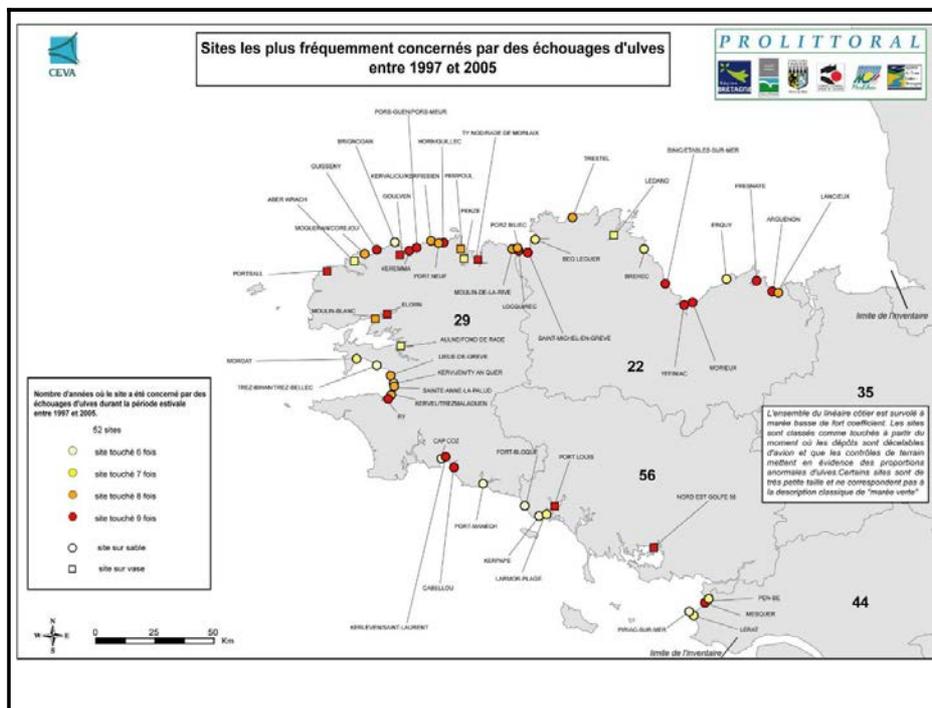


figure 19: Sites les plus fréquemment touchés par des échouages d'ulves (recensement du CEVA).

### 3. Résultats

Dans cette partie sont présentés 3 types de résultats:

- ✓ Tout d'abord, l'effet simulé d'un retour aux rejets du début du 20<sup>ème</sup> siècle (en nitrate et phosphate) sur la chlorophylle et sur les marées vertes pour tous les zooms.
- ✓ Ensuite, à titre d'exemple, quelques zones d'influence marines de bassins versants (bassins versants étendus comme ceux de la Loire et de la Vilaine, bassins versants moins vastes comme ceux de l'Aulne et du Blavet et bassins versants beaucoup plus petits comme ceux du Yar et de la Penzé).
- ✓ Les scénarios de diminution des apports en nitrate les plus représentatifs et leurs effets sur le phytoplancton et sur les éventuelles marées vertes.

#### 3.1. Situation actuelle et situation pristine.

Il semble intéressant de présenter dans cette partie, d'une part la situation actuelle simulée en ce qui concerne les concentrations en chlorophylle et d'autre part, la situation « pristine » simulée correspondant à des rejets théoriques de 1,5 mg/L pour le nitrate et 0,05mg/L en phosphate pour toutes les rivières. Cette confrontation est établie en prenant comme support l'année 2002, considérée comme une année hydrologique moyenne en ce qui concerne les débits.

Quelle que soit l'emprise (modèle global ou modèles locaux), le retour à des rejets « pristines » pour le nitrate et le phosphate a un effet sensible sur les moyennes annuelles en chlorophylle, diatomées et dinoflagellés (figures 20, 21 et 22). Dans le cas du modèle global (figure 20), l'effet sur les dinoflagellés est particulièrement flagrant puisque qu'ils ne sont quasiment plus présents en Bretagne Sud (excepté dans l'estuaire de la Vilaine) ainsi qu'en rade de Brest. L'effet sur les diatomées est moins marqué bien qu'il soit notable, notamment en Bretagne Sud, largement enrichie par la Loire et la Vilaine.

Dans le cas des modèles locaux, un retour à la situation pristine entraîne une diminution sensible de la moyenne annuelle en chlorophylle (figures 21 et 22). Pour les zooms de Bretagne nord, la diminution est essentiellement observée sur les diatomées; les dinoflagellés y étant quasi inexistantes. Dans le cas des zooms de la Rade de Brest/Baie de Douarnenez et de Concarneau, la diminution s'effectue à la fois sur les diatomées et les dinoflagellés qui y sont beaucoup plus présents, particulièrement dans les estuaires de l'Elorn et de l'Aulne, ainsi que dans l'anse de Bénodet et la Baie de Concarneau. On note qu'un retour à des rejets pristines supprime quasiment totalement la chlorophylle en Baie de Douarnenez.

En ce qui concerne les ulves en dépôt (figure 23), un retour à des rejets pristines a un effet drastique sur leur biomasse puisque qu'on observe un abattement d'environ 80% de la biomasse en fond de Baie de Saint-Brieuc, de plus de 95 % de la biomasse en baie de Morlaix et Baie de Lannion, de plus de 90% dans le fond de la Baie de Douarnenez ainsi qu'en Rade de Brest (Moulin Blanc) et de plus de 80% en Baie de Concarneau.

### 3.1.1.Effet sur le phytoplancton.

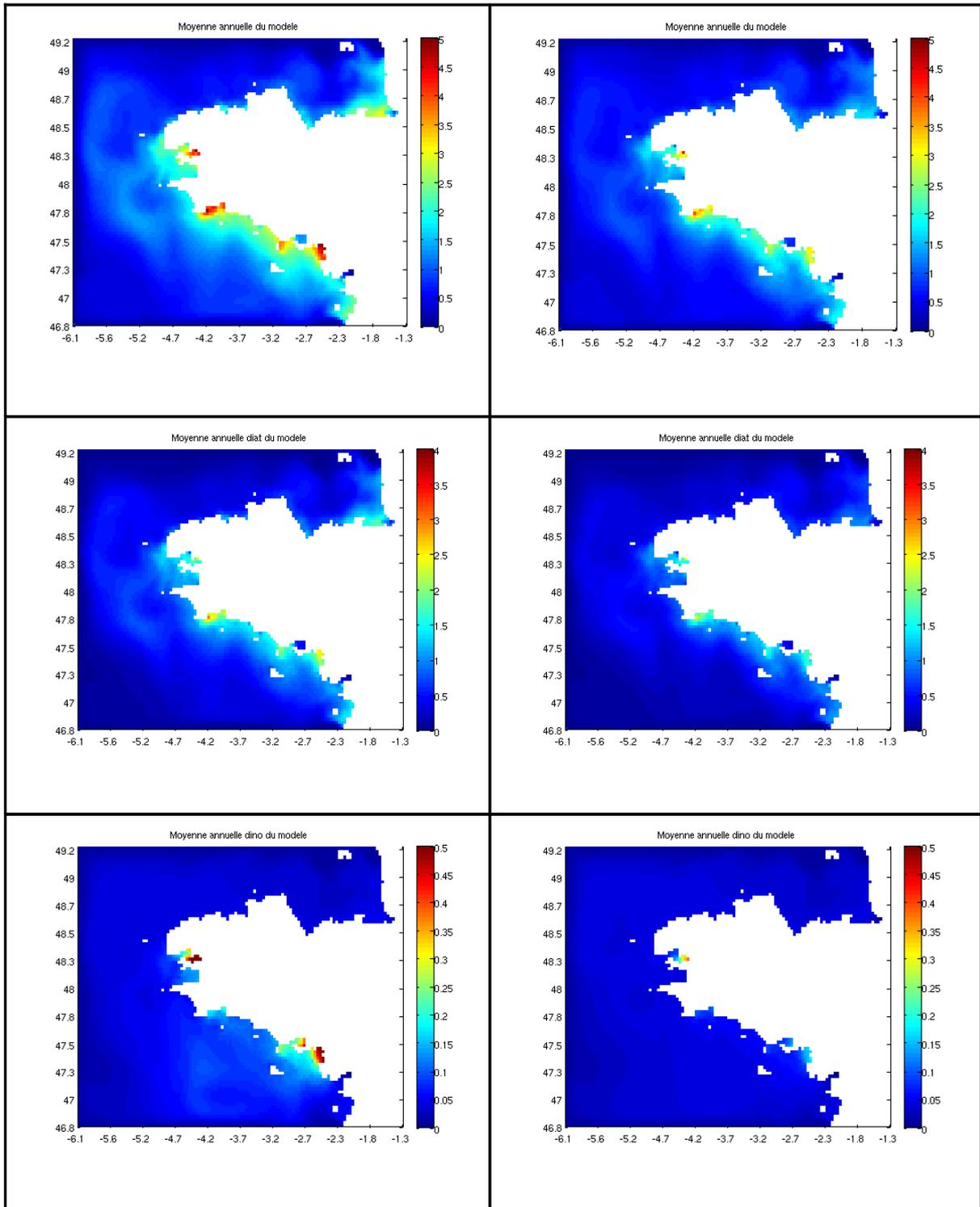


figure 20: Moyenne annuelle en chlorophylle totale ( $\mu\text{g/L}$ ), moyenne annuelle des diatomées et moyenne annuelle des dinoflagellés ( $\mu\text{mol/L}$ ) en situation actuelle (à gauche) et situation pristine (à droite) pour le modèle global (rang 1).

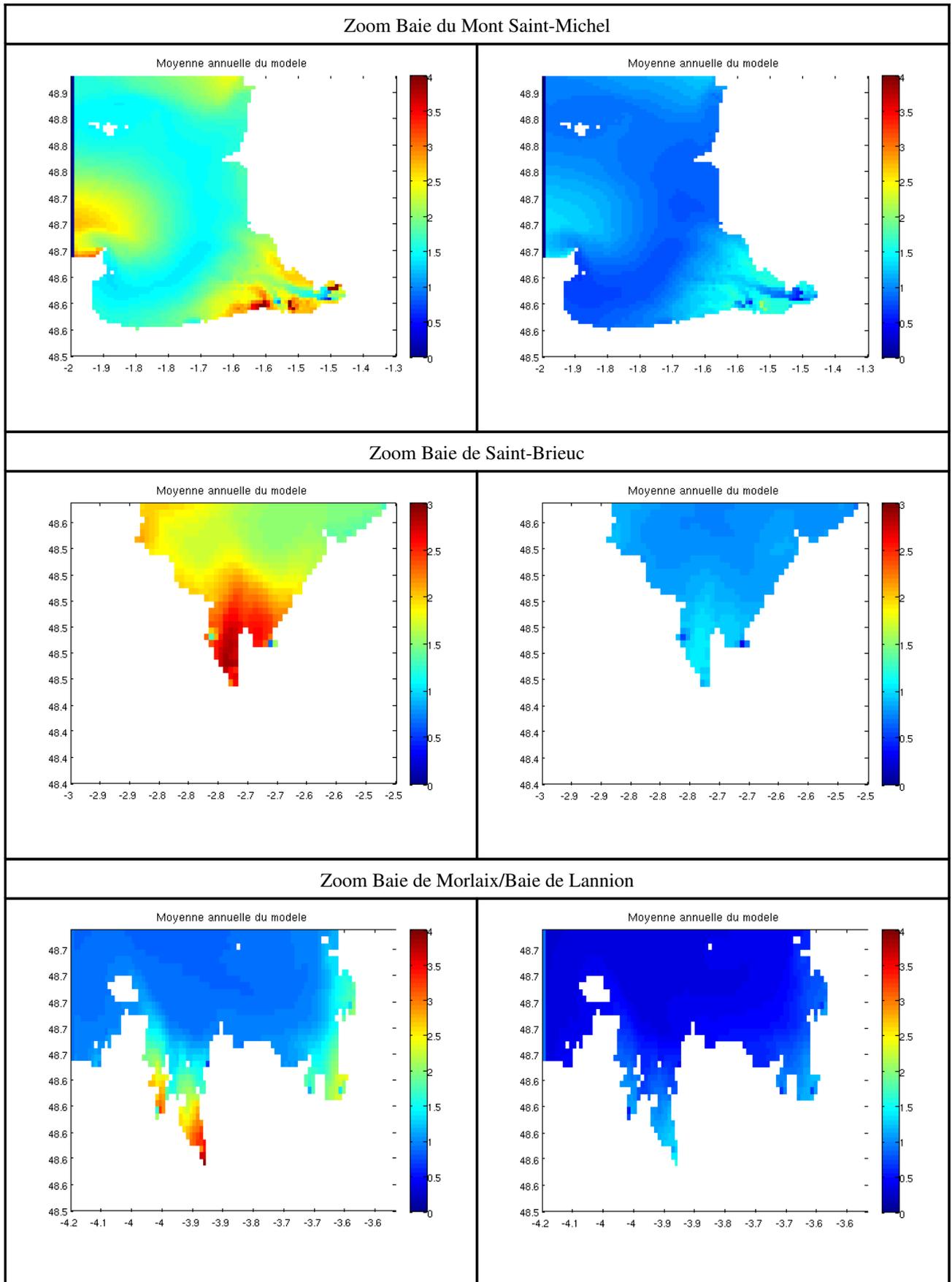


figure 21: Moyenne annuelle de la chlorophylle totale (en µg/L) en situation nominale (à gauche) et en situation pristine (à droite) pour les emprises de Bretagne Nord.

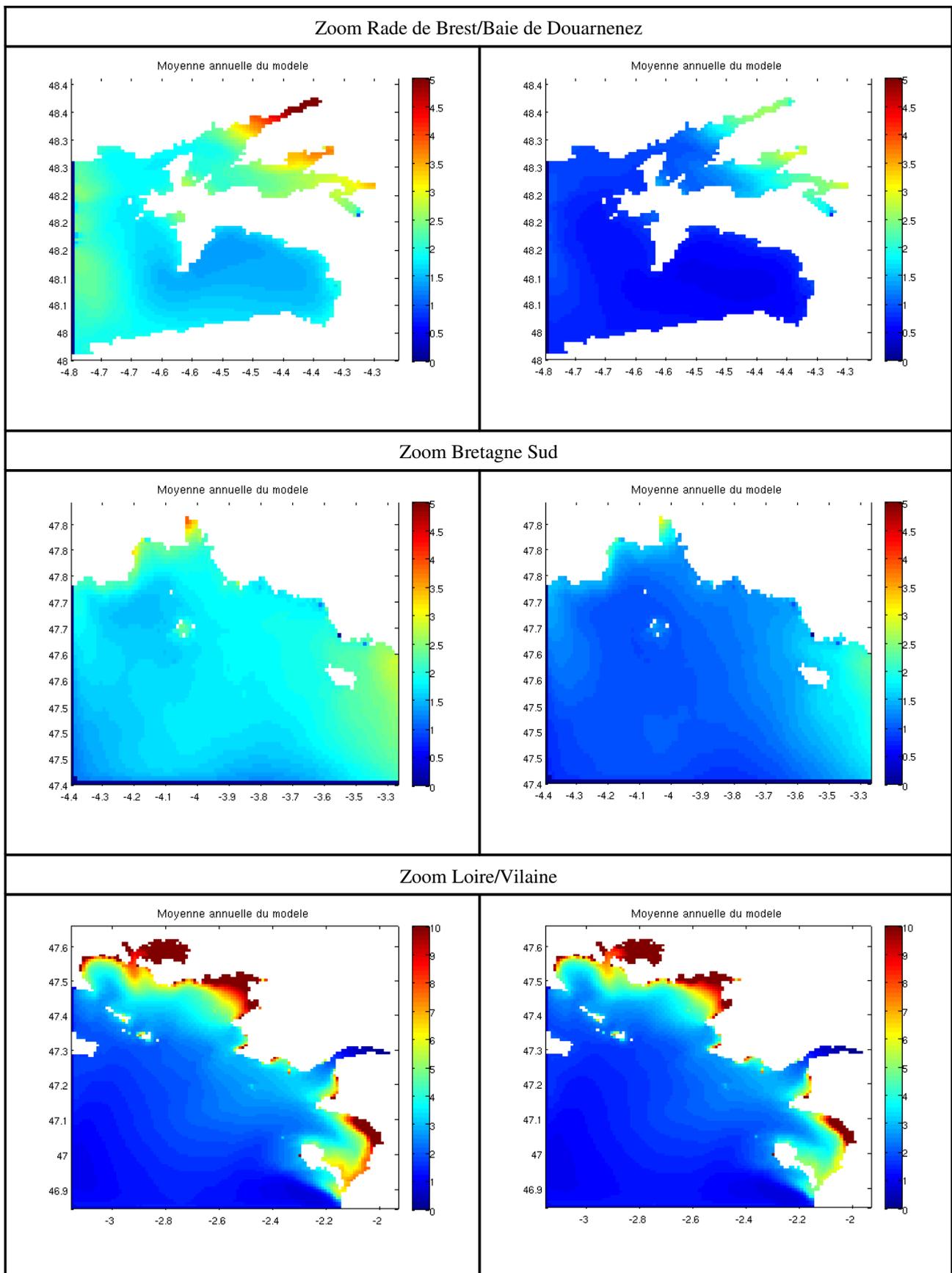


figure 22: Moyenne annuelle de la chlorophylle totale (en  $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale (à gauche) et en situation pristine (à droite) pour les emprises de la Rade de Brest/Baie de Douarnenez et de Bretagne Sud.

### 3.1.2.Effet sur les marées vertes.

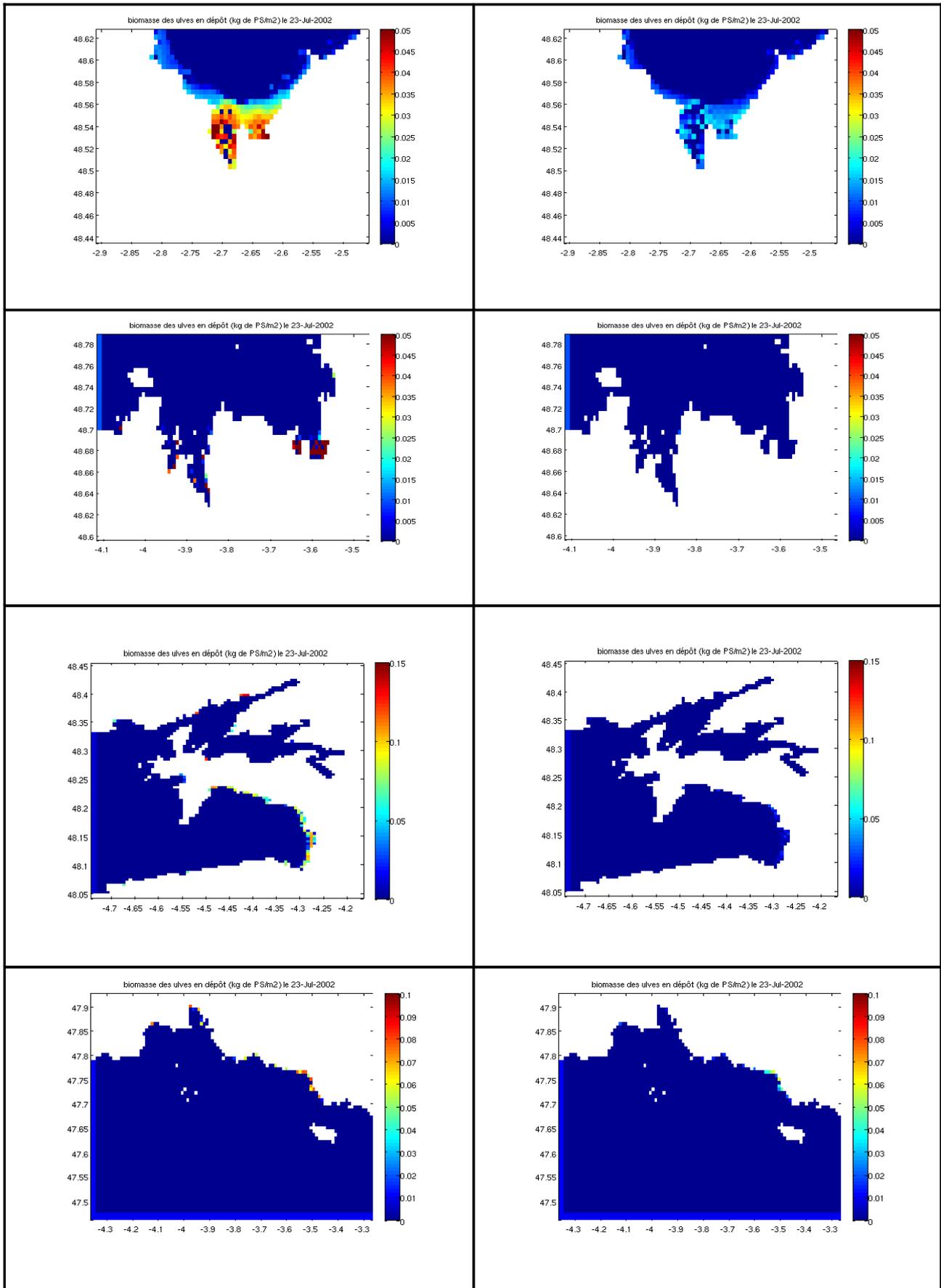


figure 23: Ulves en dépôt pour les zooms de la Baie de Lannion/Baie de Morlaix; Rade de Brest/Baie de Douarnenez; Baie de Saint-Brieuc et Concarneau en juillet 2002 (à gauche situation nominale; à droite situation pristine).

### 3.2.Zones d'influence marine des bassins versants.

En chaque maille du domaine (modèle global et modèles locaux), le modèle fournit la série temporelle de la concentration du traceur. Pour une maille donnée (figure 24), si on calcule la moyenne journalière de la concentration du traceur sur la colonne d'eau, on obtient une série temporelle (figure 25) qui peut être ordonnée par ordre croissant afin de construire la fonction de répartition des valeurs (figure 25-droite), dont on déduit la médiane et les percentiles 10 et 90. Dans le cas de la figure 25, le percentile 90 dans cette maille est égale à 0,46, le percentile 50 à 0,17 et le percentile 10 à 0,07).

Les zones d'influence marines spécifiques de chaque bassin versant sont présentées sous la forme de cartes représentant les percentiles 10, 50 (médiane) et 90 des concentrations d'un traceur supposé conservatif et correspondant à un rejet fictif dans la rivière considérée de concentration constante et égale à 1. On obtient ainsi les panaches de dilution de chaque rivière pour 3 cas caractéristiques: étiage (percentile 10), crue (percentile 90) et situation moyenne (médiane). Les percentiles ont été calculés sur 3 années (2001, 2002 et 2003) correspondant respectivement à une année humide, moyenne et sèche en ce qui concerne les précipitations et les débits des rivières. La carte du percentile 50 représente le panache des concentrations atteintes au moins 50% du temps au cours de ces 3 années. La carte du percentile 10 représente le panache des concentrations minimales dépassées 90 % du temps et la carte du percentile 90 représente le panache des concentrations maximales dépassées seulement 10 % du temps.

**5 zones sont représentées pour chaque percentile; la zone 1 (couleur rouge) correspond à un apport dilué moins de 10 fois; la zone 2 (couleur orange) correspond à un apport dilué entre 10 et 20 fois; la zone 3 (couleur jaune) correspond à un apport dilué entre 20 et 100 fois, la zone 4 (couleur verte) à un apport dilué entre 100 et 200 fois et la zone 5 (couleur vert clair) à un apport dilué entre 200 et 1000 fois.**

Bien que ces cartes soient obtenues à partir d'un traceur conservatif, ce qui ne correspond pas exactement au devenir réel du rejet d'un nutriment, et que les isolignes obtenues ne correspondent également pas à un panache ayant « physiquement » pu être observé, elles donnent toutefois une très bonne indication de l'influence marine des rivières et c'est à partir de ces zones d'influence que sera calculé l'effet des abattements en nitrate sur les biomasses algales. Les figures 26 et 27 présentent quelques exemples de panache de dilution obtenus avec la méthode décrite précédemment. La figure 26 met bien en évidence l'influence prépondérante de la Loire sur l'enrichissement de la mer côtière bretonne, du sud de la Bretagne jusqu'à la Baie de Douarnenez. L'influence de la Vilaine est limitée principalement à la Baie de Vilaine. Par le biais des zooms, les zones d'influence de bassins versants moins vastes (Aulne, Blavet...), voire même très peu étendus (Gouessant, Yar...), ont été déterminés comme le montre la figure 27.

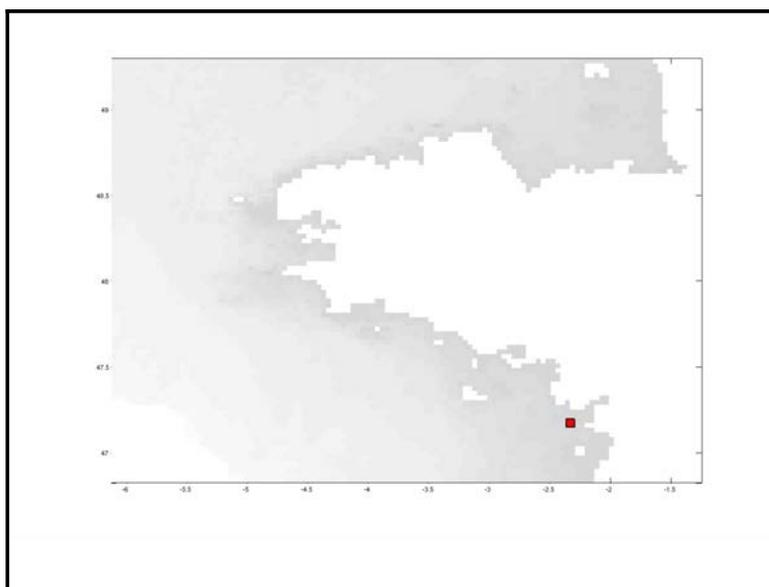


figure 24: Point dans l'estuaire de la Loire.

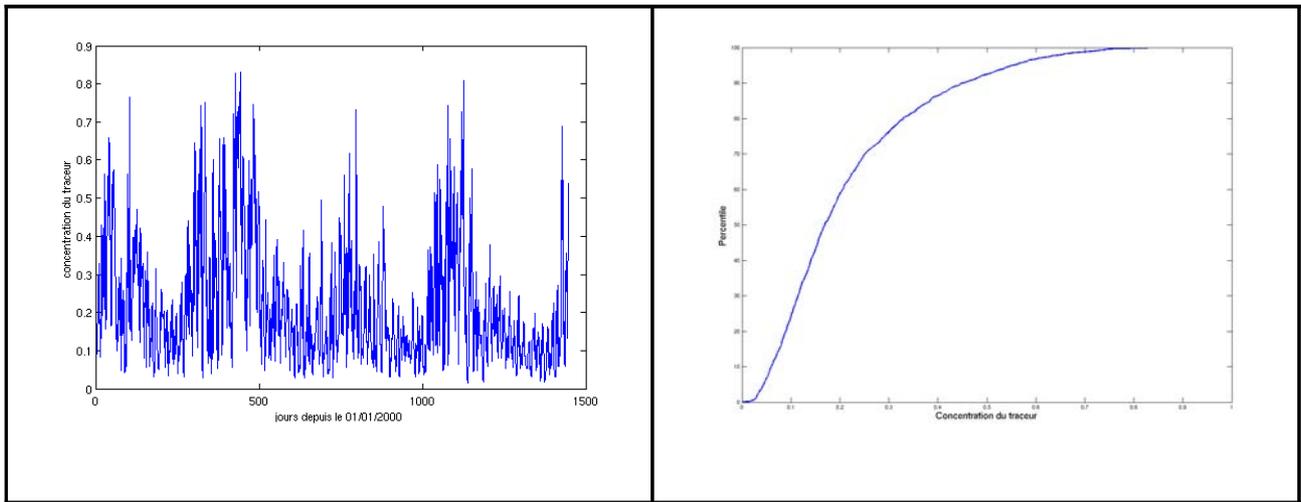


figure 25: série temporelle journalière des concentrations moyennes du traceur sur la colonne d'eau (à gauche) et fonction de répartition (à droite), pour un point situé dans l'estuaire de la Loire.

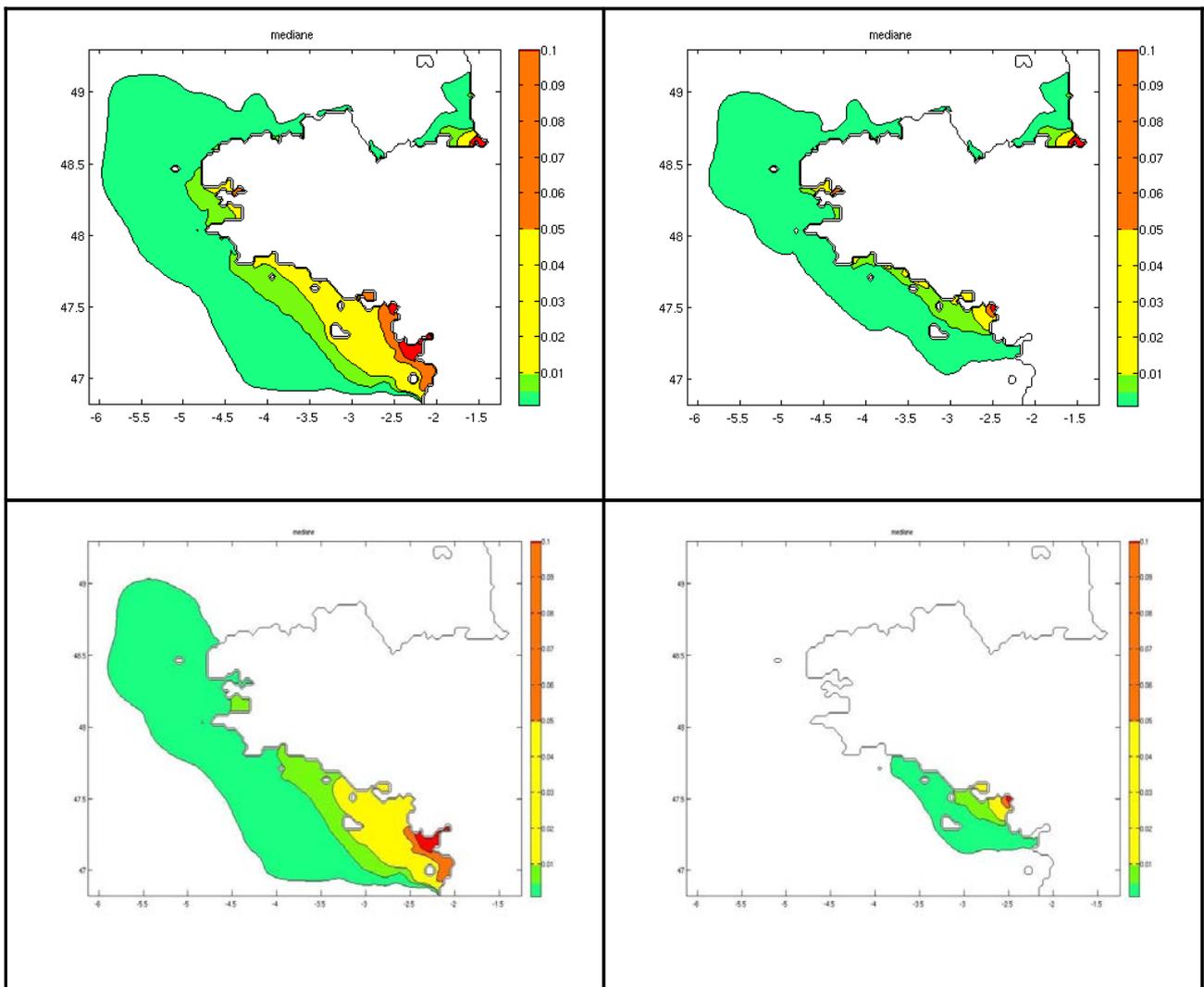


figure 26: médiane de la concentration d'un traceur issu de toutes les rivières bretonnes (en haut à gauche); de toutes les rivières moins la Loire (en haut à droite); de la Loire (en bas à gauche) et de la Vilaine (en bas à droite).

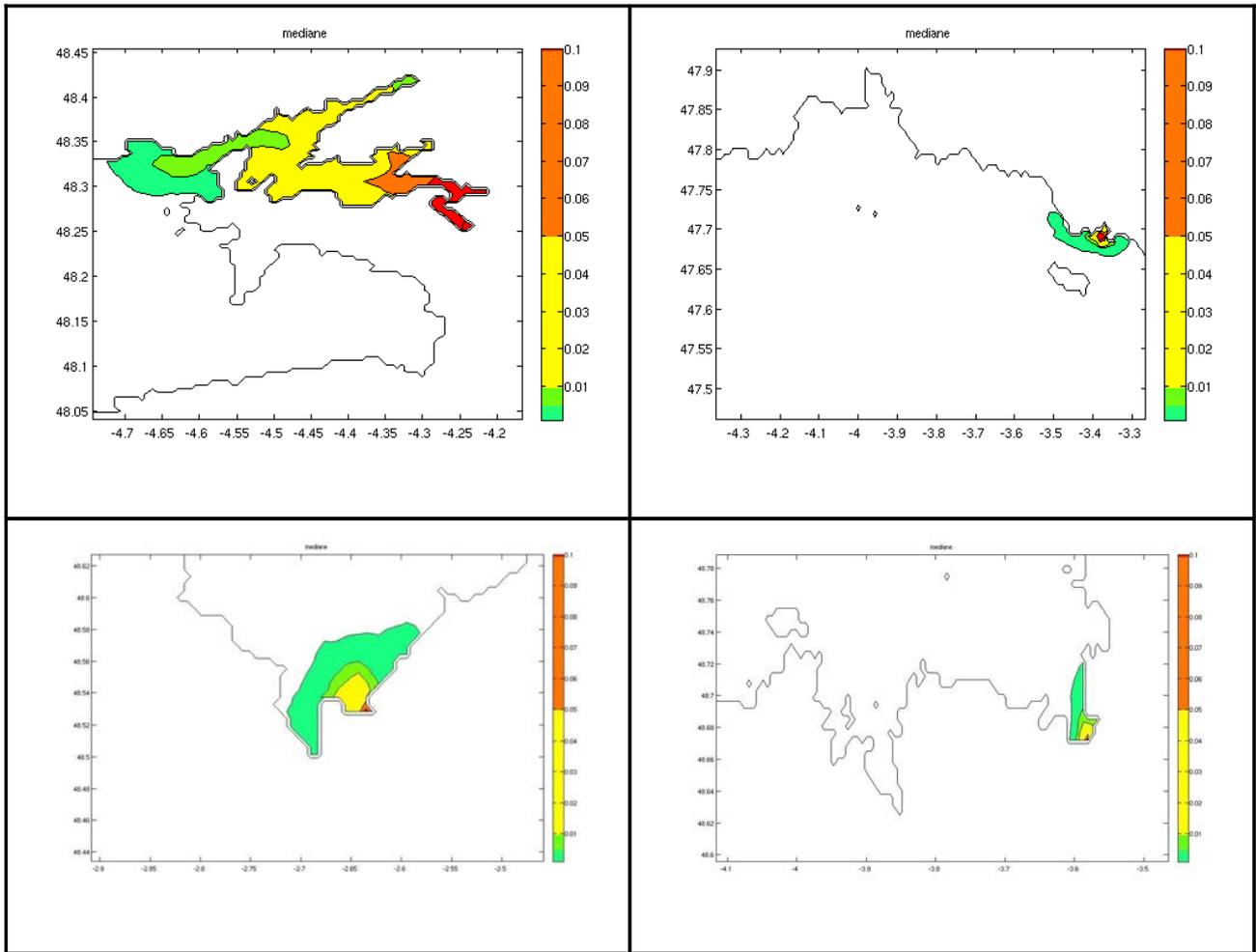


figure 27: médiane de la concentration d'un traceur issu de l'Aulne (en haut à gauche); du Blavet (en haut à droite); du Gouessant (en bas à gauche) et du Yar (en bas à droite).

### ***3.3.Scénarios de diminution des apports en nitrate.***

Cette dernière partie présente les résultats des différents scénarios de diminution sur la biomasse algale (phytoplanctons et ulves selon les bassins versants). **Ces abattements sont calculés relativement à l'année 2002, considérée comme une année hydrographique moyenne.** 4 scénarios de diminution des apports en nitrate sont appliqués:

- une simulation avec les rejets actuels soit 0% d'abattement.
- une simulation avec les rejets actuels abattus de 50%.
- une simulation avec les rejets actuels abattus de 75%.
- une simulation avec les rejets « pristines » qui correspondent aux rejets naturels du début du 20<sup>e</sup> siècle soit environ 1,5 mg/L de nitrate.

Sur chaque zone du panache de dilution médian (correspondant au percentile 50) est calculé l'effet d'une diminution sur :

- la moyenne annuelle de la biomasse en dinoflagellés (moyenne annuelle, sur la période productive c'est à dire entre mars et octobre, de la concentration en azote des dinoflagellés exprimée en µg/L);
- la moyenne annuelle de la biomasse en diatomées (moyenne, sur la période productive, de la concentration en azote des diatomées exprimée en µg/L);
- le maximum annuel de dinoflagellés (moyenné sur chaque zone et exprimé en µg/L);
- le maximum annuel de diatomées (moyenné sur chaque zone et exprimé en µg/L).

Pour les bassins versants concernés, l'effet d'une diminution des apports en nitrate sur une marée verte est également calculé après 2 ans de simulation.

### ***3.4.Résultats.***

Plusieurs résultats peuvent être mis en évidence:

- Une diminution des apports en nitrate de n'importe quelle rivière a très peu d'effet sur les diatomées. Cela est observé aussi bien pour une diminution des apports de la Loire que pour une diminution des apports d'une rivière comme la Sée (figure 28).
- Ensuite, une diminution des apports en nitrate de la Loire a un impact non négligeable sur les biomasses moyennes et maximales en dinoflagellés dans le sud de la Bretagne (figure 29 et 30). Cet impact est ressenti jusqu'en Baie de Douarnenez où un retour des rejets en nitrate à 1,5 mg/L entraîne une diminution de 50% du maximum de dinoflagellés.
- Une diminution des apports en nitrate de n'importe quelle autre rivière a un effet relativement sensible sur les dinoflagellés. Cependant, **un abattement de la biomasse moyenne ou maximale en dinoflagellés ne sera vraiment visible qu'à partir d'une diminution d'au moins 75 % des apports en nitrate** (figures 29 et 30).

**On note pour certains scénarios de réductions une augmentation de la biomasse, surtout pour les diatomées, très peu sensibles aux réductions des apports en nitrate. Ceci peut être expliqué par la compétition entre les différents compartiments (diatomées, dinoflagellés, nanopicoplancton, ulves). L'augmentation est d'ailleurs dans quasiment tous les cas seulement de l'ordre de 1% voir de 0.1 %.**

- Une diminution des apports azotés peut s'avérer efficace pour réduire les marées vertes sur certains sites. C'est le cas pour le Yar et le Douron, respectivement responsables de la marée verte sur la plage de Saint-Michel-en-grève et en fond de Baie de Locquirec. Un retour à 1,5 mg/L de nitrate dans ces 2 rivières permettrait de réduire la marée verte de 75% à Saint-Michel-en-grève et de 90% en fond de Baie de Locquirec (figure 31). Pour réduire ces 2 marées vertes de moitié, il faudrait revenir à des rejets de l'ordre 6-7 mg/L de nitrate.
- Sur d'autres sites, une diminution des apports azotés d'une seule rivière aura un effet limité sur la marée verte. C'est le cas de la Baie de Saint-Brieuc où seule une diminution simultanée des apports azotés (nitrate + ammonium) du Gouët et du Gouessant pourrait provoquer un abattement vraiment significatif de la biomasse en ulves (environ 15 % d'abattement de la marée verte pour un retour de l'une des 2 rivières à 1,5 mg/L de nitrate-plus de 80% d'abattement pour le retour simultané des 2 rivières à 1,5mg/L de nitrate). C'est également le cas de la marée verte du Moulin Blanc en Rade de Brest, très peu sensible à une diminution des apports de l'Elorn (abattement d'environ 10% de la marée verte pour un retour à 1,5 mg/L de nitrate) (figure 32).

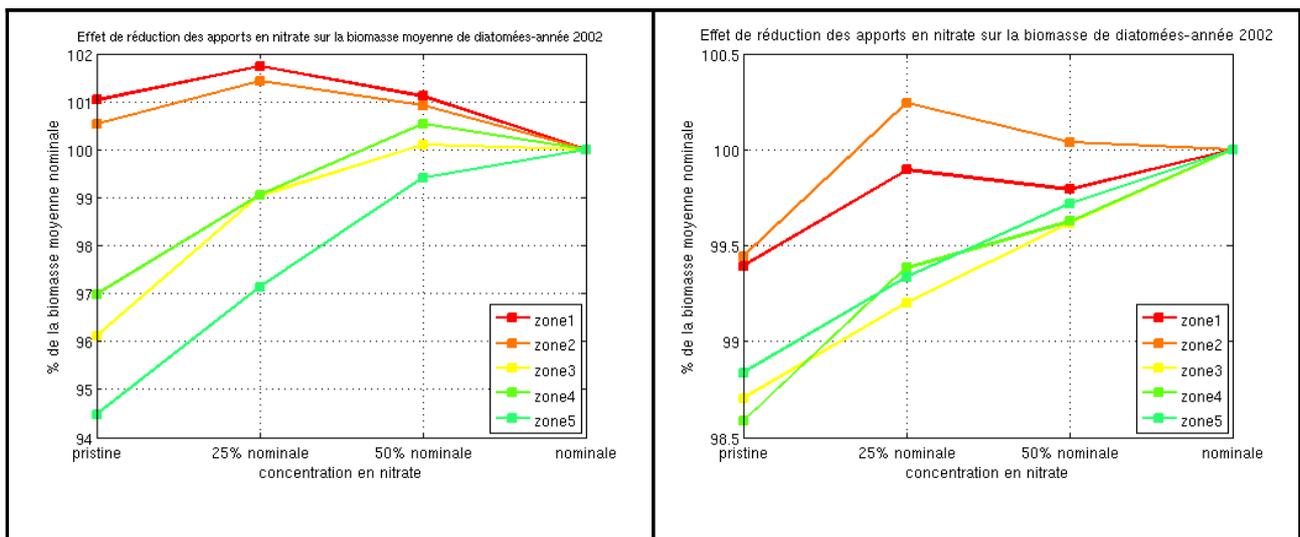


figure 28: Effet des abattements sur la biomasse moyenne en diatomées (à gauche abattement sur la Loire; à droite abattement sur la Sée) sur leurs zones d'influence respectives.

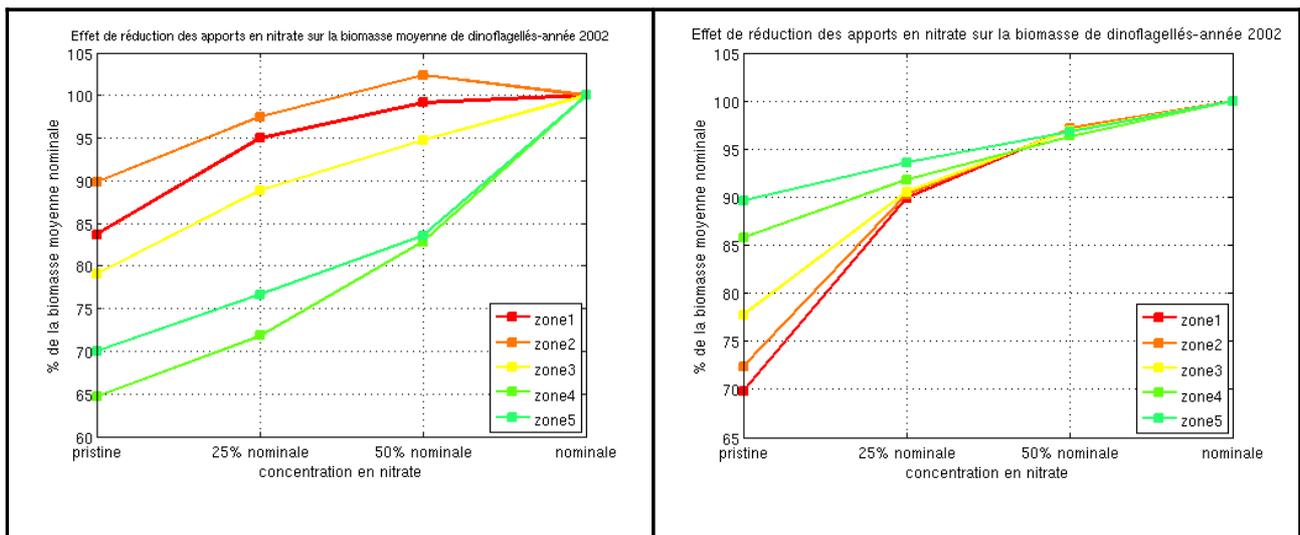


figure 29: Effet des abattements sur la biomasse moyenne en dinoflagellés (à gauche abattement sur la Loire; à droite abattement sur la Penzé).

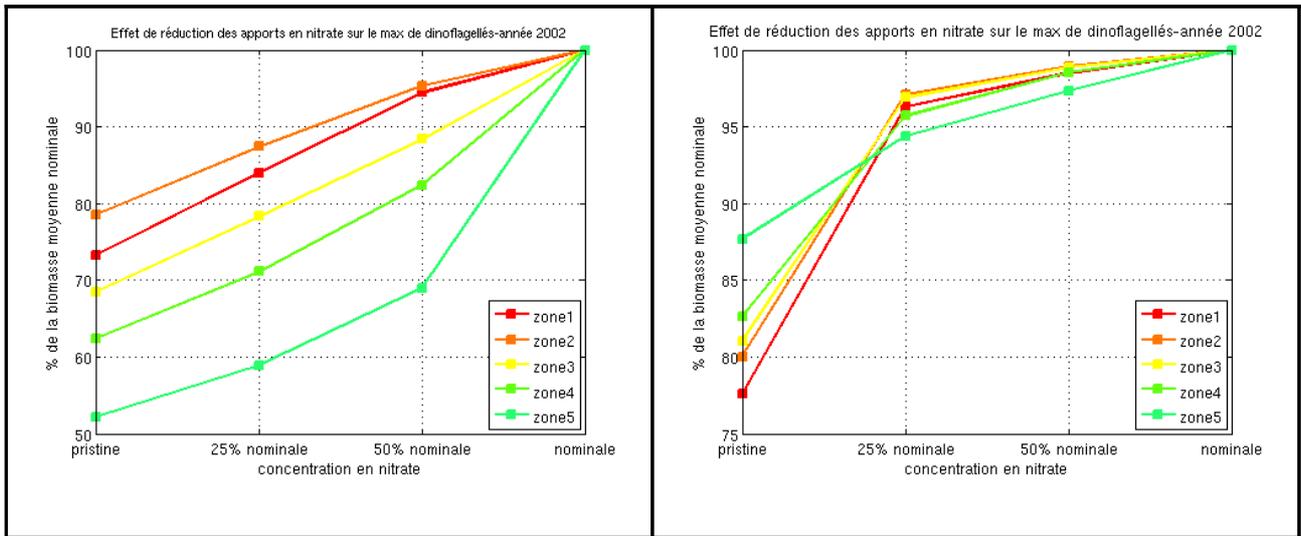


figure 30: Effet des abatements sur la biomasse maximum en dinoflagellés (à gauche abatement sur la Loire; à droite abatement sur la Penzé).

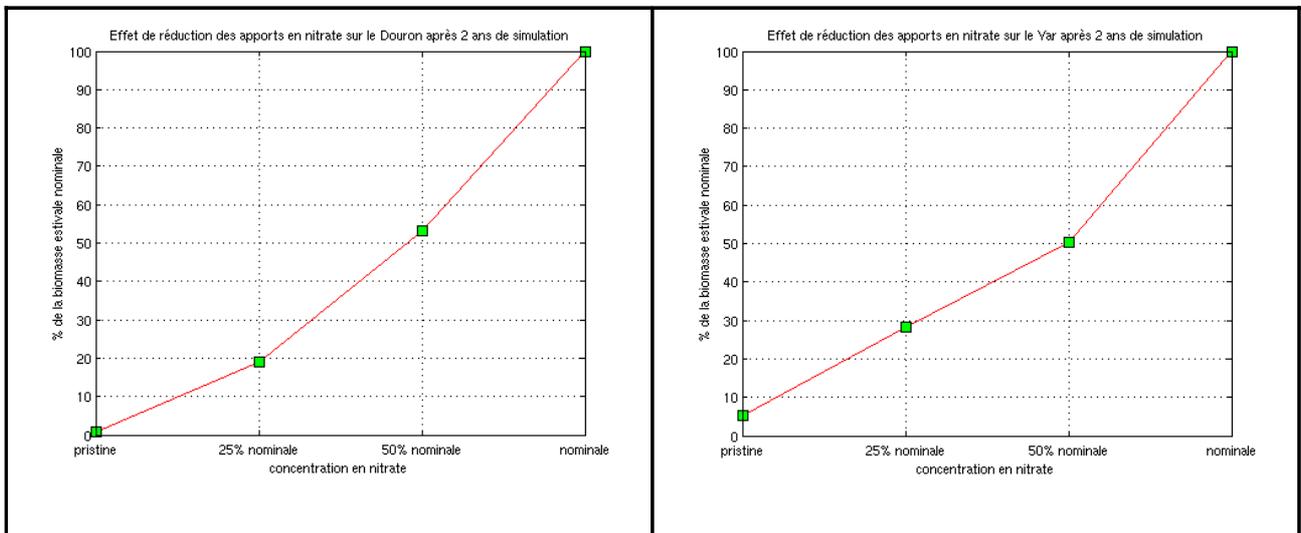


figure 31: Effet des abatements sur la biomasse estivale d'ulves (à gauche en Baie de Locquirec; à droite sur la plage de Saint-Michel-en-grève) dans le cas de rivières spécifiquement responsables de la marée verte (à gauche abatement sur le Douron; à droite abatement sur le Yeu).

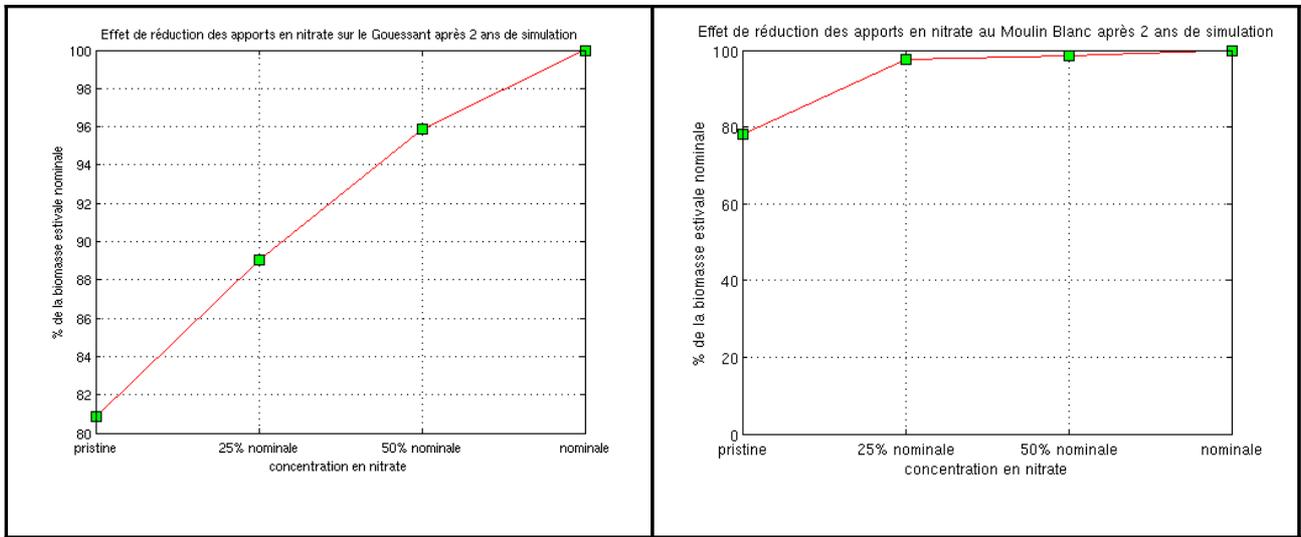


figure 32: Effet des abattements sur la biomasse estivale d'ulves (à gauche en Baie de Saint-Brieuc; à droite sur la plage du Moulin Blanc) dans le cas de rivières n'étant pas les seules responsables de la marée verte locale (à gauche abattement sur le Gouessant; à droite abattement sur l'Elorn).

## Conclusion

Le but de cette étude était, en utilisant le modèle ECO\_MARS 3D qui permet la modélisation combinée de la croissance du phytoplancton et des ulves, de tester différents scénarios d'abatement du nitrate sur la plupart des bassins versants bretons. Ces différents scénarios ont été effectués aussi bien pour des bassins versants très importants (Loire, Vilaine) que pour des bassins versants très peu étendus (Yar, Horn, Gouessant..).

Des zooms ont été effectués et calibrés afin de représenter finement la mer côtière bretonne (Baie du Mont Saint-Michel, Baie de Saint-Brieuc, Baie de Lannion et Morlaix, Rade de Brest et Baie de de Douarnenez, Bretagne Sud sauf la Baie de Vilaine). Ainsi, les zones d'influence marine de chaque bassin versant ont pu être déterminées à partir d'un traceur conservatif rejeté par chacune des rivières.

Les abattements ont permis de déterminer le rôle important des apports en nitrate de la Loire sur la croissance du phytoplancton dans le sud Bretagne. En effet, une diminution des apports en nitrate de n'importe quelle rivière du sud de la Bretagne (de la Vilaine à l'Odet) n'a quasiment aucune influence si les apports de la Loire ne sont pas également diminués. Au contraire, une diminution des apports de la Loire a un effet non négligeable sur les dinoflagellés en sud Bretagne notamment en Baie de Douarnenez où le maximum annuel de dinoflagellés est réduit de 50% pour un retour à des rejets pristines de la Loire (correspondant à 1,5 mg/L de nitrate).

**Une diminution cumulée des apports en nitrate et phosphate de la Loire ET de la Vilaine serait nécessaire pour observer une diminution sensible en Baie de Vilaine.**

Concernant l'effet d'une diminution des apports sur les diatomées, un abatement quel qu'il soit n'a quasiment aucune incidence sur leur biomasse. Leur croissance est en effet contrôlée par la silice. Pour les dinoflagellés, l'effet est un peu plus sensible mais n'est visible qu'à partir d'une diminution d'au moins 75% des apports d'une rivière.

Une diminution des apports azotés peut s'avérer efficace pour réduire les marées vertes sur certains sites. Les différents scénarios de diminution confirment la responsabilité spécifique de certaines rivières dans l'établissement de marées vertes. C'est le cas du Yar dont les apports azotés provoquent la marée verte sur la plage de Saint-Michel-en-grève; c'est également le cas du Douron, responsable de celle du fond de Baie de Locquirec. Au contraire, sur d'autres sites, une diminution des apports azotés d'une seule rivière aura un effet limité sur la marée verte. C'est le cas de la Baie de Saint-Brieuc où seule une diminution simultanée des apports azotés (nitrate+ammonium) du Gouët et du Gouessant pourrait provoquer un abatement vraiment significatif de la biomasse en ulves (environ 15 % d'abatement de la marée verte pour un retour de l'une des 2 rivières à 1,5 mg/L de nitrate - plus de 80% d'abatement pour le retour simultané des 2 rivières à 1,5mg/L de nitrate). C'est également le cas de la marée verte du Moulin Blanc en Rade de Brest, très peu sensible à une diminution des apports de l'Elorn (abatement d'environ 10% de la marée verte pour un retour à 1,5 mg/L de nitrate).

**Comme il a été indiqué dans l'introduction, cette étude, que ce soit pour le cas des ulves ou celui du phytoplancton, ne remplacera donc pas des études plus fines focalisées spécifiquement sur des sites restreints, plage ou estuaire. Outre un maillage beaucoup plus fin, ces études réclameraient aussi une prise en compte plus fine des apports terrigènes (ruisseaux, rejets de STEP,...).**

**Le modèle peut certainement être amélioré: en effet, la surestimation diffuse de la production primaire pourrait probablement être réduite par une meilleure simulation des vitesses de chute des matières détritiques ainsi qu'une meilleure représentation de l'évolution de ces matières détritiques une fois atteinte la couche de fond.**

## ANNEXE 1: Fiches par zoom et par bassin versant

Les fiches de chaque bassin versant se composent de 3 parties:

- Tout d'abord, une brève description du bassin versant.
- Ensuite, la présentation des zones d'influence en mer du bassin versant.
- Enfin, les scénarios de diminution des apports en nitrate du bassin versant.

Les sources des chiffres présentés sont les suivantes :

- ✓ les données relatives au climat (pluies efficace cumulée, pluie efficace cumulée/km<sup>2</sup>=pluies efficace cumulée/surface), leurs surfaces sont tirées du rapport d'Aurrousseau *et al.* (1996), "Les bassins versants de Bretagne et leur charge polluante".
- ✓ les pourcentages lithologiques sont issus du travail réalisé par le BRGM sur le Finistère, intitulé "Étude du rôle des eaux souterraines dans les processus d'apport de nitrates à la mer" (Bouchon, 1996). Quelques surfaces de bassins versants, non disponibles dans les ouvrages consultés, ont été calculées grâce au SIG des bassins versants bretons du BRGM.
- ✓ les modules, débits d'étiage et de crue proviennent de "l'Inventaire des débits trimestriels spécifiques des bassins versants littoraux bretons" réalisé en 1993 par le cabinet *Saunier Eau et Environnement* ; le paramètre "% sout." correspond à une estimation de la contribution des réservoirs souterrains dans la formation des débits, obtenue en effectuant le rapport entre le débit d'étiage et le module (approximation qui peut-être considérée comme assez représentative, mais qui varie selon les années ; ici, c'est une valeur moyenne, sur 20 ans).
- ✓ les indices de prolifération algale sont tirés de la "Cartographie des zones sensibles à l'eutrophisation : Cas des côtes bretonnes" réalisée par l'Ifremer. L'indice 10 de marées vertes (indice semi-quantitatif) est calé par rapport au maximum observé (baie de Saint-Brieuc) ; les indices de proliférations phytoplanctoniques correspondent au nombre d'efflorescences observées entre 1975 et 1990.
- ✓ les chiffres présentés dans le récapitulatif des scénarios d'abattelements sont établis à partir des séries temporelles des apports en nitrate de chaque rivière sur l'année 2002. Le rejet « pristine » est supposé constant.

# I. ZOOM BAIE DU MONT SAINT-MICHEL

## I.1. Couesnon

### I.1.1. Présentation du cours d'eau.

Débouchant en baie du Mont Saint-Michel, le Couesnon se situe sur un bassin versant majoritairement schisteux, hormis pour les affluents de rive droite issus du massif granitique de Fougères dont les débits spécifiques d'étiage sont parmi les plus élevés de Bretagne. L'agriculture est intensive ; l'élevage bovin prédomine. Malgré l'implantation de prairies, le taux de nitrates reste élevé. La qualité des eaux relativement aux paramètres nitrate et phosphore est jugée très mauvaise (*critères Agence de l'Eau Loire-Bretagne*). Deux prises d'eau sont situées en Ille et Vilaine sur le Couesnon : l'une dessert Rennes, l'autre alimente les environs d'Antrain. Sur cette dernière, on observe une pollution importante par le nitrate et les pesticides ; de plus, 90% de la pollution est d'origine industrielle. Trois foyers de pollution sont relevés : ce sont les agglomérations de Fougères, Saint Brice en Cogles et Antrain.

Climat	Pluie efficace cumulée		Pluie efficace cumulée/km <sup>2</sup>		Surface totale
	307481 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /an		268 mm		1146 km <sup>2</sup>
Géologie	% granite	% schiste	% micaschiste	% gneiss	% sout.
	45%	55%			9 %
Hydrométrie	Module		Débit d'étiage		Débit de crue
	10.2 m <sup>3</sup> /s		0.9 m <sup>3</sup> /s		108 m <sup>3</sup> /s
Sensibilité du site	<i>Marées vertes</i>		non signalé		
	<i>phytoplancton</i>		0<indice<2		

Tableau 3: Présentation succincte du bassin versant du Couesnon.

### I.1.2.Zone d'influence du panache du Couesnon.

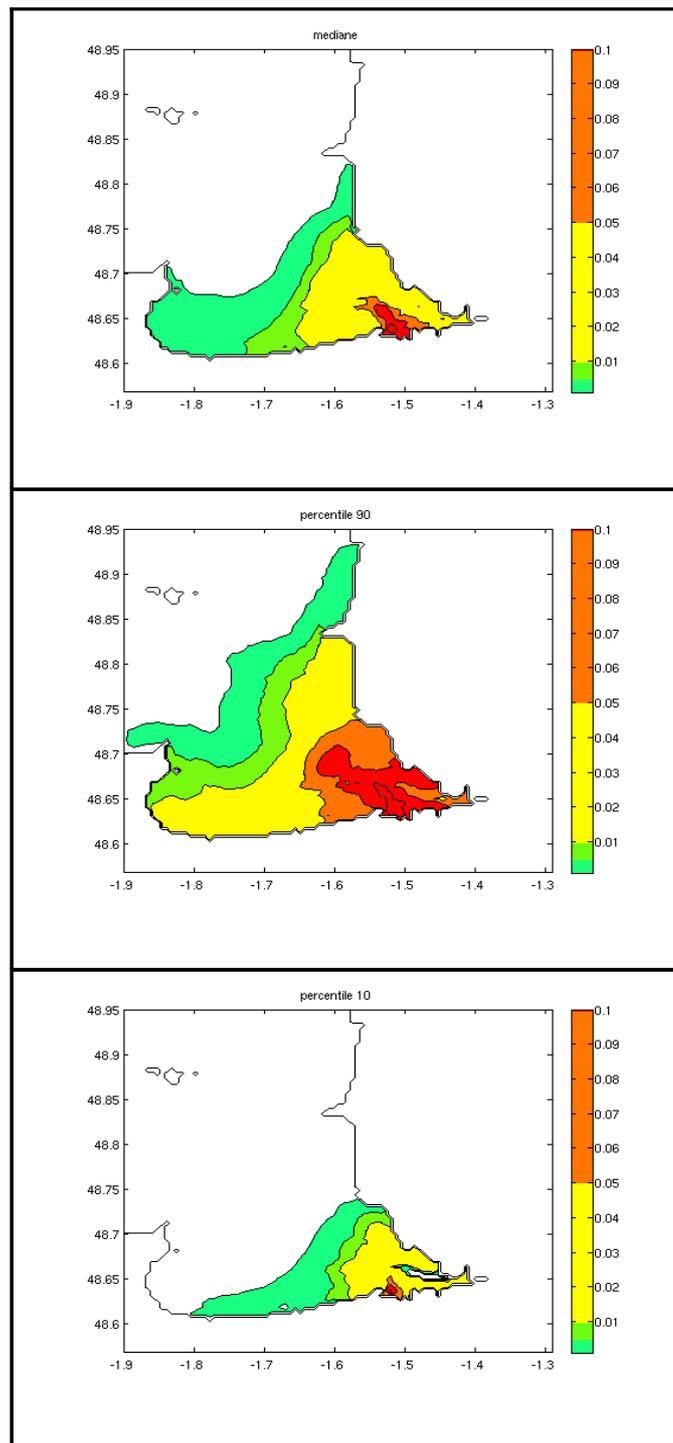


Figure 33: Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu du Couesnon.

L'influence marine du Couesnon est exclusivement localisée en fond de baie du Mont Saint-Michel(figure 33). Pour un débit moyen, le panache s'étend jusqu'à la pointe du Grouin, et atteint quasiment Granville. Cependant, seule une zone extrêmement proche de l'embouchure du Couesnon semble fortement impactée (apports dilués moins de 10 fois). En période de crue, son influence peut s'étendre au delà de la pointe du Grouin et le long du Cotentin. En période d'étiage, le panache n'atteint pas la pointe du Grouin et reste localisé en fond de baie.

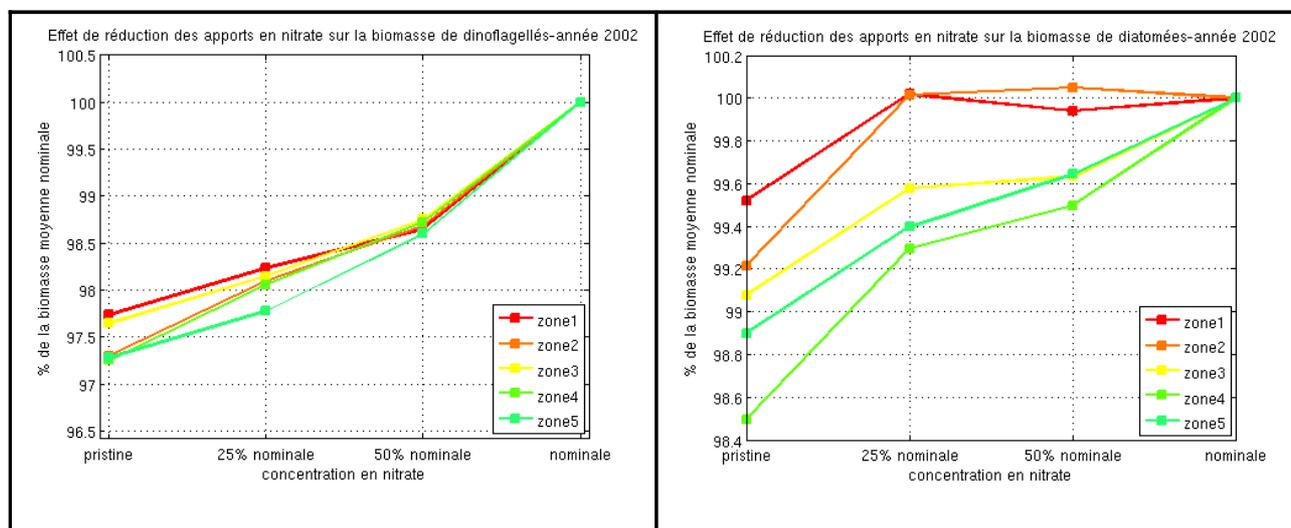
### I.1.3.Scénarios d'abattement en nitrate sur le Couesnon.

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	37 mg/L	47 mg/L	21 mg/L
50 %	18,5 mg/L	23,5 mg/L	10,5 mg/L
25 %	9,25 mg/L	11,75 mg/L	5,25 mg/L
pristine	1,5 mg/L	1,5 mg/L	1,5 mg/L

Tableau 4: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate sur le Couesnon pour l'année 2002.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1	0,16	0,7	4,7	15
zone 2	0,25	1	4,7	15
zone 3	0,16	1,1	3,9	10,3
zone 4	0,16	0,5	2,3	6,4
zone 5	0,16	0,45	2,3	5,5

Tableau 5: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale et pour chaque zone de dilution en situation médiane.



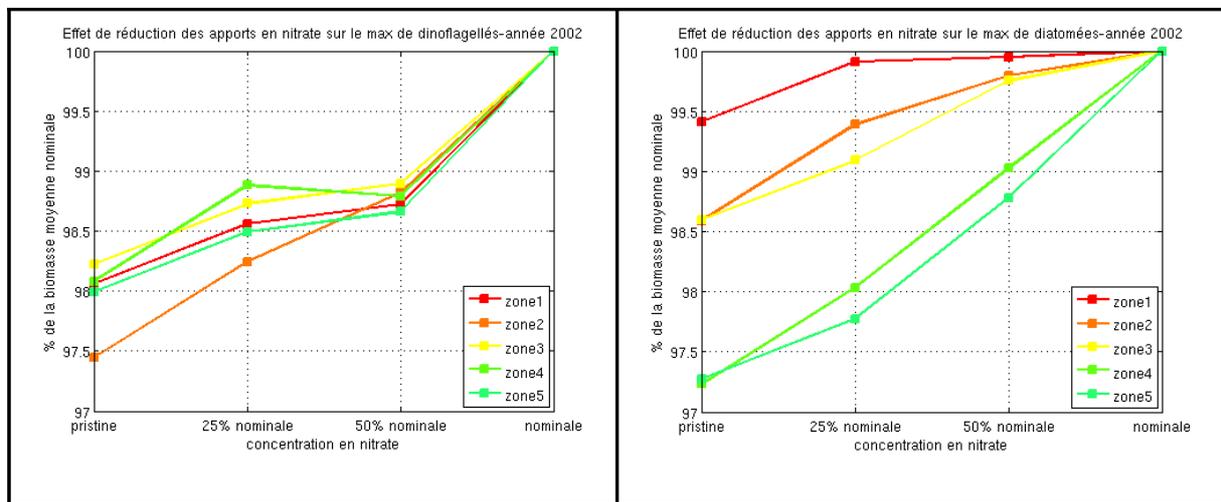


Figure 35: Effet des réductions des apports de nitrate par le Couesnon sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

Une diminution des apports en nitrate de la part du Couesnon n'aurait que peu d'effets sur la biomasse moyenne en dinoflagellés et diatomées ainsi que sur les concentrations maximum (figures 34 et 35). Notons que les dinoflagellés sont quasi-inexistants en baie du Mont Saint-Michel du fait de sa turbidité très élevée et de la présence de forts courants de marée qui favorisent le brassage des eaux. Il est donc normal de ne pas noter un impact d'une quelconque diminution sur leur biomasse. La croissance des diatomées étant contrôlée par la silice, une diminution des apports en nitrate n'a que très peu d'effets.

## I.2. Sée

### I.2.1. Présentation du cours d'eau.

Le bassin versant de la Sée est couvert en grande partie par des prairies. L'écoulement est libre jusqu'à l'exutoire. Il est à noter que ce bassin versant est caractérisé par un fort ruissellement. Il est encaissé entre deux grands massifs granitiques qui s'étendent d'est en ouest. La pluviométrie moyenne annuelle y est très forte : supérieure à 1000 mm/an. Les réserves en eau de ce bassin versant sont faibles. L'activité agricole y est importante, 92% du territoire est couvert par des surfaces agricoles utiles. Cette activité est dominée par l'élevage : on a recensé près de 85000 têtes de bovins en 1988. En 1994, on a déterminé que 140 km<sup>2</sup> étaient consacrés à la culture de céréales dont 115 km<sup>2</sup> de maïs.

Climat	Pluie efficace cumulée		Pluie efficace cumulée/km <sup>2</sup>		Surface totale
	213183 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /an		387 mm		551.2 km <sup>2</sup>
Géologie	% granite	% schiste	% micaschiste	% gneiss	% sout.
Hydrométrie	Module		Débit d'étiage		Débit de crue
	12 m <sup>3</sup> /s		1.1 m <sup>3</sup> /s		m <sup>3</sup> /s
Sensibilité du site	<i>Marées vertes</i>				
	<i>Phytoplancton</i>		Indice 3		

Tableau 6: Présentation succincte du bassin versant de la Sée.

### I.2.2. Zone d'influence du panache de la Sée.

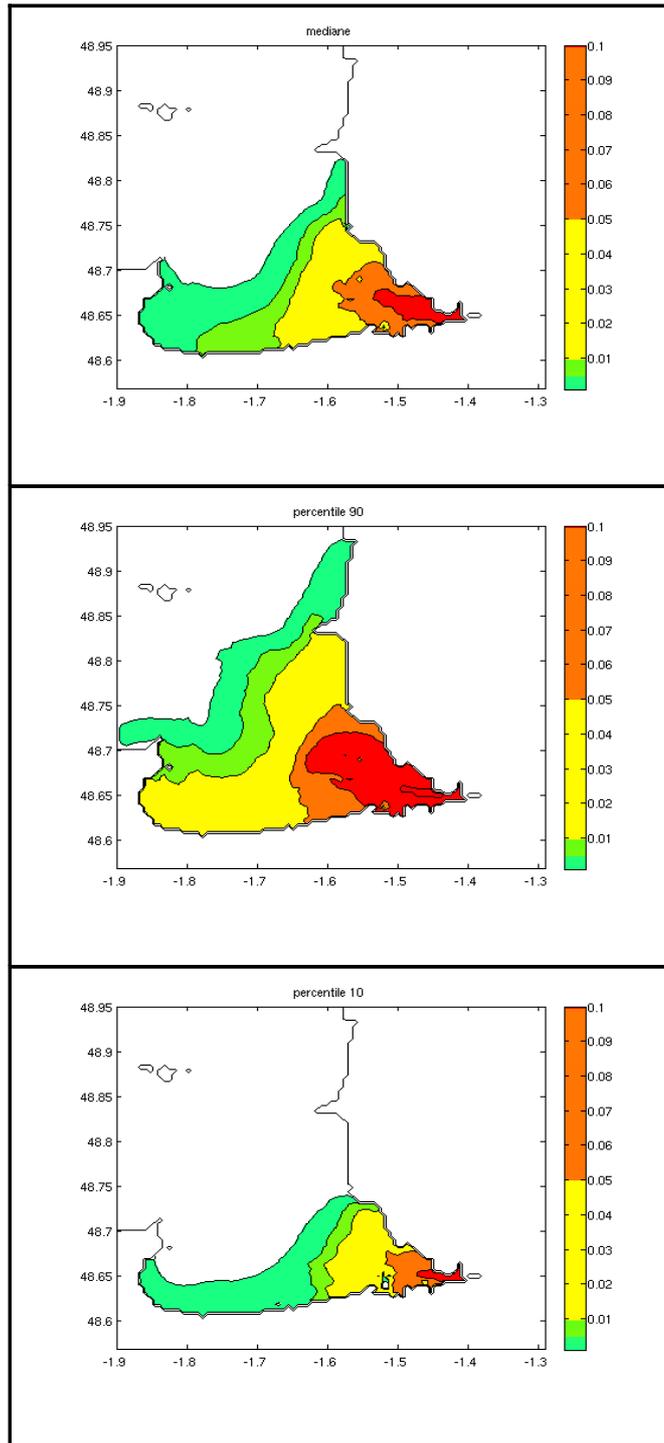


Figure 36: Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu de la Sée.

L'influence marine de la Sée est quasi similaire à celle du Couesnon (figure 36). Pour un débit moyen, le panache reste localisé en fond de baie et seule la partie Sud-Est de la baie, très proche de l'embouchure de la Sée, est enrichie de manière importante. Le fond de baie est impacté jusqu'à Cancale. En période de crue, son influence peut s'étendre au delà de la pointe du Grouin et le long du Cotentin. En période d'étiage, le panache n'atteint pas la pointe du Grouin et reste localisé en fond de baie.

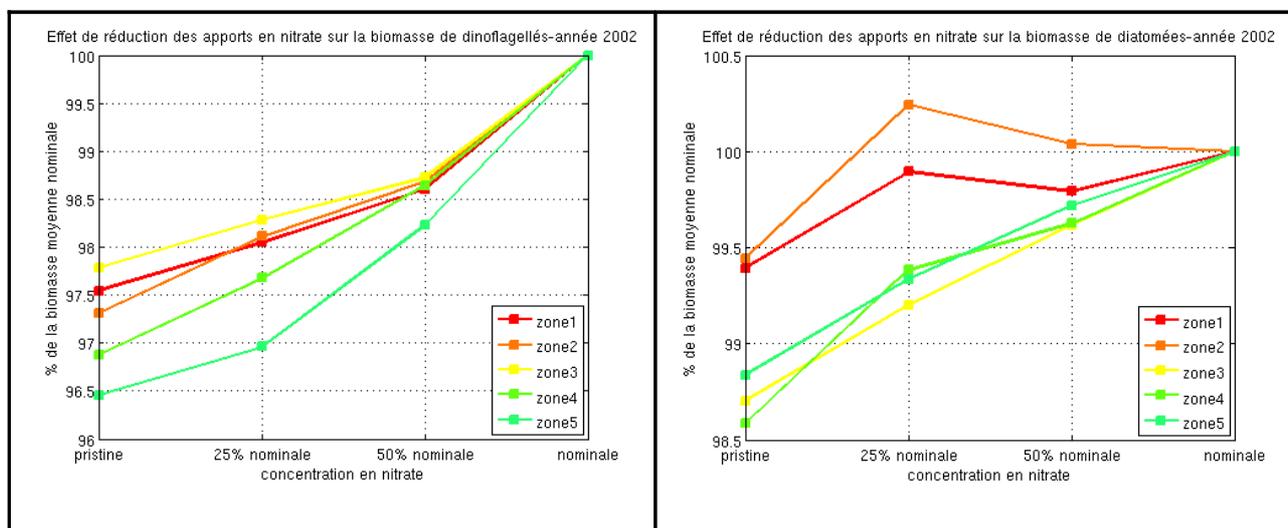
### I.2.3.Scénarios d'abattement en nitrate sur la Sée.

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	24,8 mg/L	24,8 mg/L	24,8 mg/L
50 %	12,4 mg/L	12,4 mg/L	12,4 mg/L
25 %	6,2 mg/L	6,2 mg/L	6,2 mg/L
pristine	1,5 mg/L	1,5 mg/L	1,5 mg/L

Tableau 7: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate sur la Sée pour l'année 2002.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1	0,16	0,7	4,7	15
zone 2	0,25	1	4,7	15
zone 3	0,16	1.1	3,9	10.3
zone 4	0,16	0,5	2,3	6,4
zone 5	0,16	0,45	2,3	5,5

Tableau 8: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale et pour chaque zone de dilution en situation médiane.



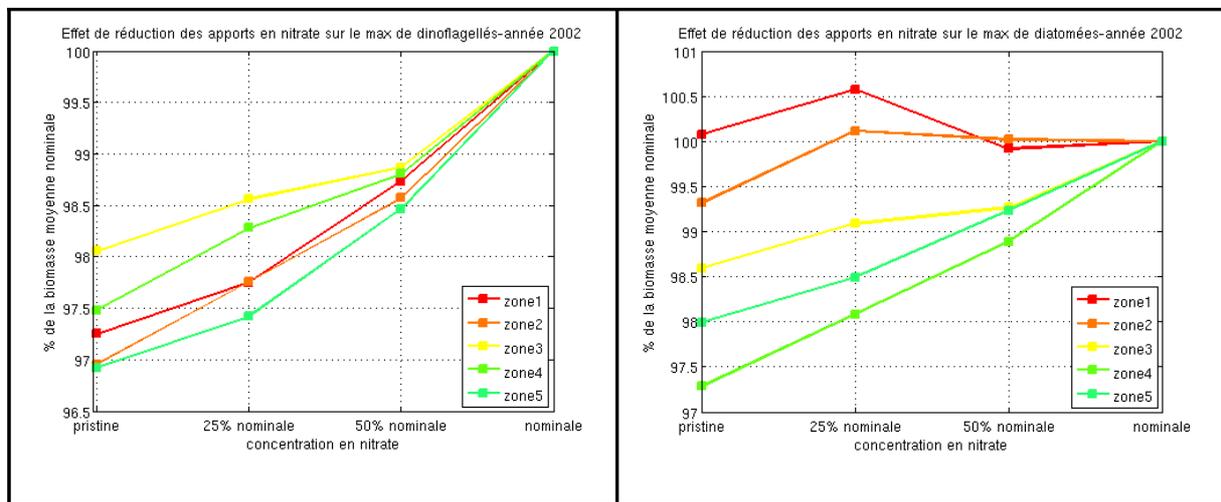


Figure 38: Effet des réductions des apports de nitrate par la Sée sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

Pour les mêmes raisons que celles évoquées pour le Couesnon, un abattement des apports en nitrate de la Sée a très peu d'effets sur la biomasse moyenne en dinoflagellés et diatomées (figures 37 et 38).

## I.3. Sélune

### I.3.1. Présentation du cours d'eau.

La Sélune prend sa source à 140m d'altitude, et s'étend sur 68km de long. Elle est coupée par deux barrages EDF à la Roche-qui-boit et Vezin, l'écoulement est donc contraint par ces barrages. 55 % de la zone couverte par son bassin versant sont occupés par des surfaces agricoles (prairie, terres cultivées). L'impact anthropique est fort, d'après certaines études, la majeure partie des flux azotés sont d'origine agricole.

Climat	Pluie efficace cumulée		Pluie efficace cumulée/km <sup>2</sup>	Surface totale	
	318517 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /an		344 mm	926.5 km <sup>2</sup>	
Géologie	% granite	% schiste	% micaschiste	% gneiss	% sout.
Hydrométrie	Module		Débit d'étéage		Débit de crue
	12.9 m <sup>3</sup> /s		1.6 m <sup>3</sup> /s		m <sup>3</sup> /s
Sensibilité du site	<i>Marées vertes</i>	?			
	<i>Phytoplancton</i>	Indice 3			

Tableau 9: Présentation succincte du bassin versant de la Sélune.

### I.3.2. Zone d'influence du panache de la Sélune.

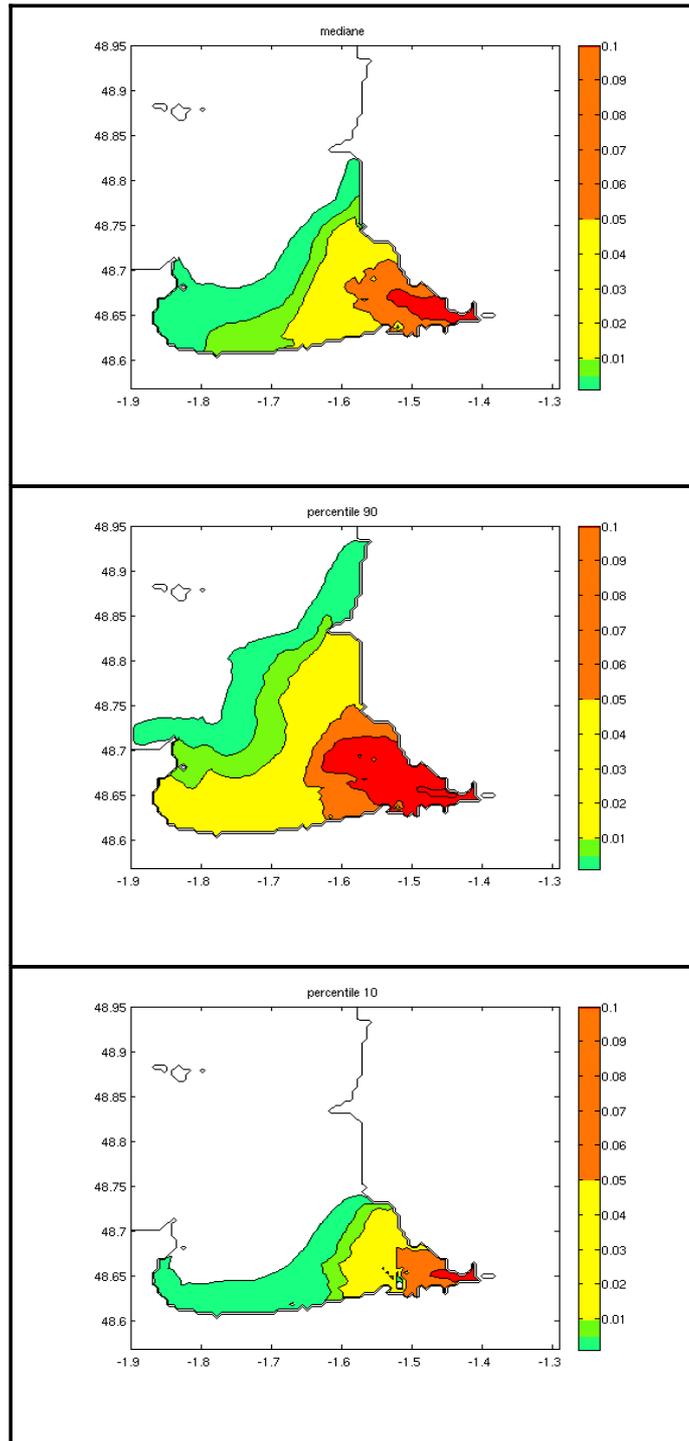


Figure 39: Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu de la Sélune.

La zone d'influence marine de la Sélune est quasiment identique à celle de la Sée (figure 39), ce qui est expliqué par le fait que les embouchures des 2 rivières sont très proches et que leurs débits sont quasiment identiques (ils le sont pour les simulations effectuées).

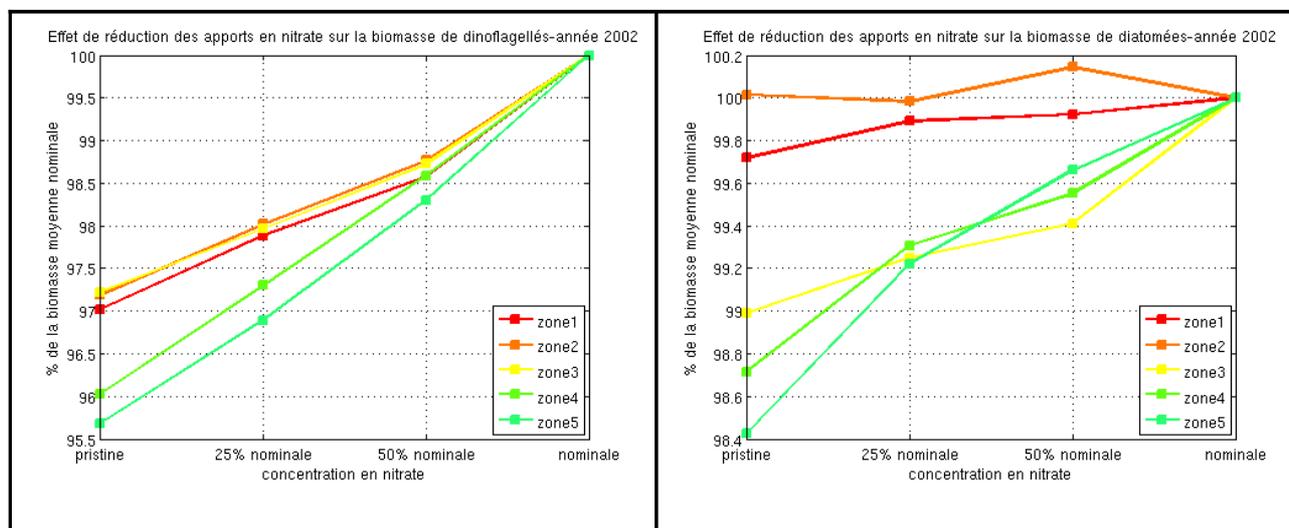
### I.3.3.Scénarios d'abattement en nitrate sur la Sélune.

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	24,8 mg/L	24,8 mg/L	24,8 mg/L
50 %	12,4 mg/L	12,4 mg/L	12,4 mg/L
25 %	6,2 mg/L	6,2 mg/L	6,2 mg/L
pristine	1,5 mg/L	1,5 mg/L	1,5 mg/L

Tableau 10: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate sur la Sélune pour l'année 2002.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1	0,16	0,7	4,7	15
zone 2	0,25	1	4,7	15
zone 3	0,16	1.1	3,9	10.3
zone 4	0,16	0,5	2,3	6,4
zone 5	0,16	0,45	2,3	5,5

Tableau 11: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale et pour chaque zone de dilution en situation médiane.



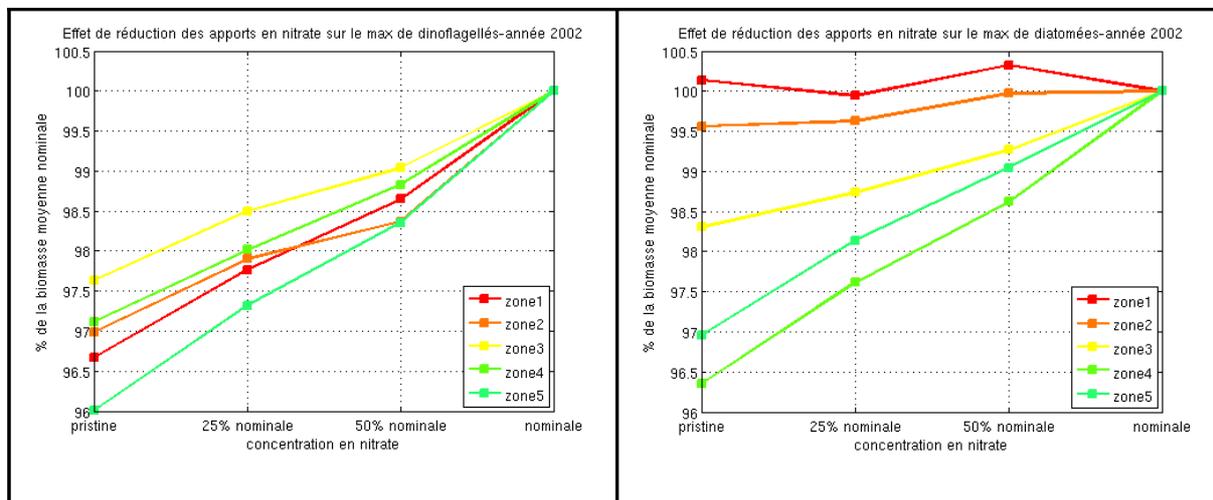


Figure 41: Effet des réductions des apports de nitrate par la Sélune sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

Pour les mêmes raisons que celles évoquées pour le Couesnon, un abattement des apports en nitrate de la Sélune a très peu d'effets sur la biomasse moyenne en dinoflagellés et diatomées (figures 40 et 41).

## BILAN

La baie du Mont Saint-Michel est soumise à d'importants apports en nitrate de la part du Couesnon, de la Sée et de la Sélune. Une très forte turbidité et un renouvellement important des masses d'eaux de la baie font que les concentrations en phytoplancton y sont relativement faibles. Cependant, une réduction, même importante (jusqu'au niveau pristine) des teneurs en nitrate d'une seule de ces 3 principales rivières ne permettrait pas d'observer un effet sensible sur la biomasse en phytoplancton (à peine 2% d'abattement).

**Par conséquent, seule une action simultanée sur les 3 bassins versants permettrait d'observer un abattement notable sur les diatomées (plus de 50% d'abattement de la biomasse moyenne pour un retour simultané des 3 rivières à des teneurs en nitrate d'environ 1,5  $\text{mg/L}$ ).**

## II. ZOOM BAIE DE SAINT-BRIEUC

### II.1. Gouët

#### II.1.1. Présentation du cours d'eau.

Né sur les formations granitiques de Quintin, le Gouët se jette du côté ouest de la baie de Saint-Brieuc. Il alimente la retenue de la Méaugon, deuxième réserve d'eau potable du département (approvisionnement de l'agglomération briochine). La retenue présente des problèmes d'eutrophisation : des centres de déphosphatation ont été mis en place, et les eaux de la retenue sont réoxygénées en profondeur. Présence d'activités industrielles (abattoirs, laiteries). La qualité de la Maudouve (affluent rive gauche) est fortement dégradée par la présence d'élevages avicoles.

Le bassin du Gouët a été retenu comme bassin d'action renforcé dans le cadre du programme Bretagne Eau Pure n°2. Par ailleurs, le sous-bassin de la Noë Sèche a été retenu comme bassin de démonstration.

Climat	Pluie efficace cumulée		Pluie efficace cumulée/km <sup>2</sup>		Surface totale	
	93203 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /an		370 mm		251.9 km <sup>2</sup>	
Géologie	% granite	% schiste	% micaschiste	% gneiss	% sout.	
	60%	35%	5%	0%	4.3 %	
Hydrométrie	Module		Débit d'été		Débit de crue	
	2.9 m <sup>3</sup> /s		0.3 m <sup>3</sup> /s		38 m <sup>3</sup> /s	
Sensibilité du site	<i>Marées vertes</i>		en fond de baie de St-Brieuc, très importantes ; indice 10			
	<i>Phytoplancton</i>		0<indice<2			

Tableau 12: Présentation succincte du bassin versant du Gouët.

### II.1.2.Zone d'influence du panache du Gouët.

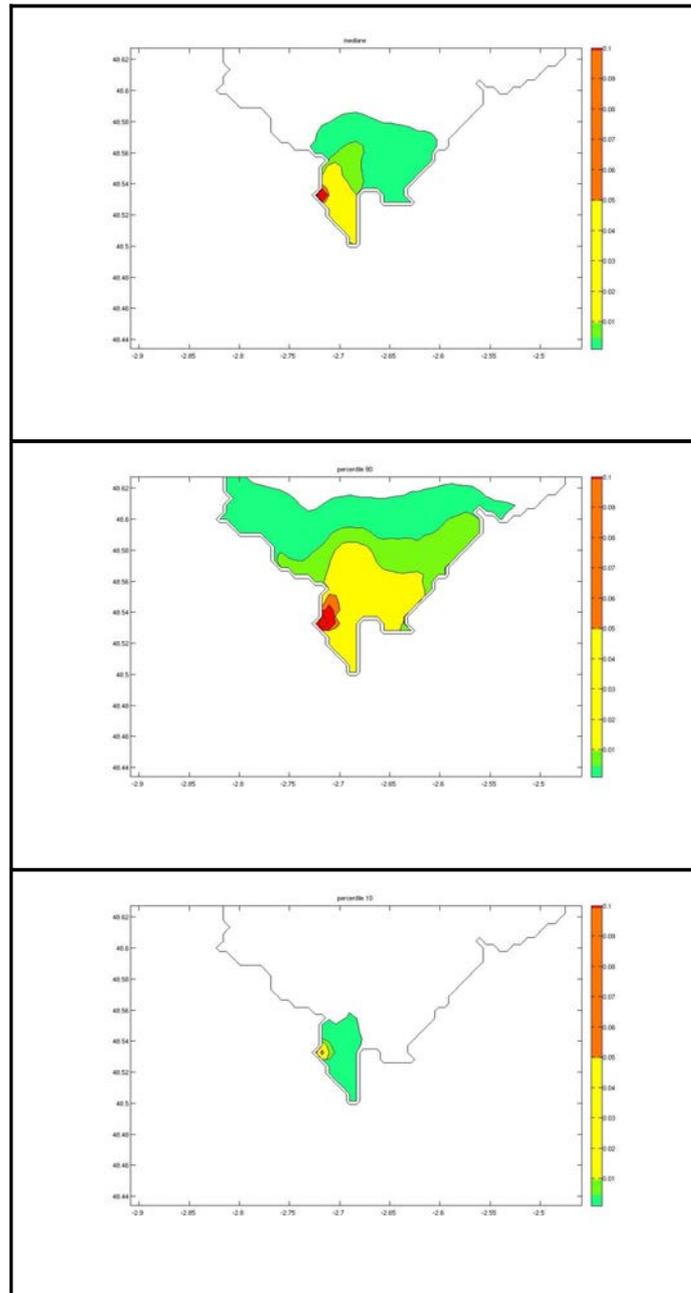


Figure 42: Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu du Gouët.

Pour un débit moyen (figure 42-percentile 50), le Gouët enrichit principalement l'anse d'Yffiniac. Ses apports sont cependant rapidement dilués (apports dilués moins de 10 fois dans une zone très proche de l'embouchure du Gouët; apports dilués entre 20 et 100 fois ans l'anse d'Yffiniac). L'enrichissement de l'anse de Morieux est plus faible (apports dilués entre 200 et 1000 fois).

En période de crue, les apports du Gouët sont dilués entre 20 et 100 fois au niveau de l'anse de Morieux. La zone la plus enrichie reste l'anse d'Yffiniac (apports dilués moins de 10 fois au niveau de l'embouchure jusqu'à une dilution entre 20 et 100 fois dans le fond de l'anse).

### II.1.3.Scénarios d'abattement en nitrate sur le Gouët.

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	33 mg/L	39 mg/L	24 mg/L
50 %	16,5 mg/L	19,5 mg/L	12 mg/L
25 %	8,25 mg/L	9,75 mg/L	6 mg/L
pristine	1,5 mg/L	1,5 mg/L	1,5 mg/L

Tableau 13: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate sur le Gouët.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1	0,2	0,5	2,5	8,9
zone 2	0,2	0,5	2,5	8,9
zone 3	0,2	0,5	2,5	8,9
zone 4	0,2	0,5	2,5	8,9
zone 5	0,2	0,5	2,5	8,9

Tableau 14: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale et pour chaque zone de dilution en situation médiane.

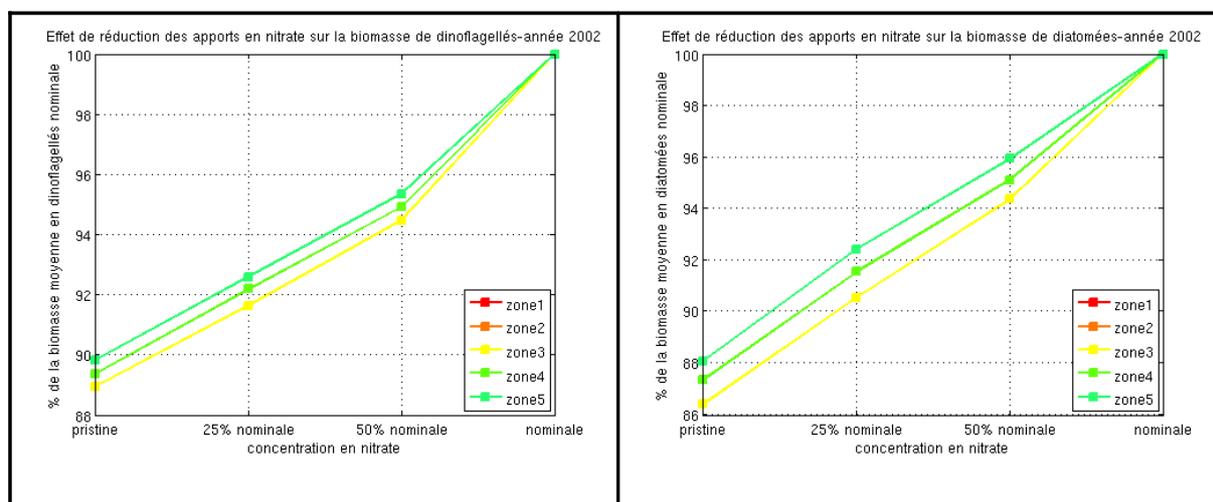


Figure 43: Effet des réductions des apports de nitrate par le Gouët sur la moyenne annuelle de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et pour chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

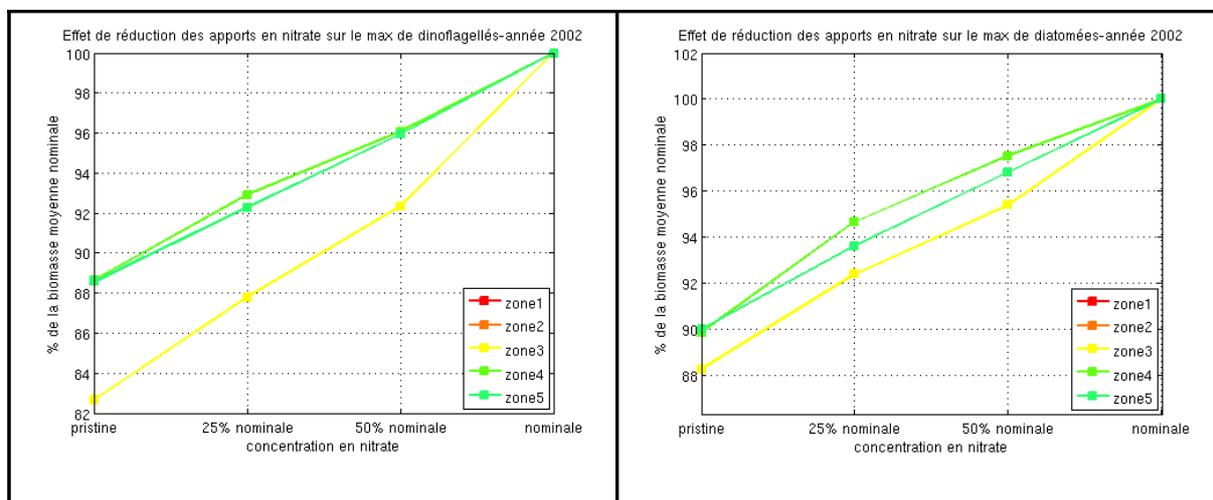


Figure 44: Effet des réductions des apports de nitrate par le Gouët sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

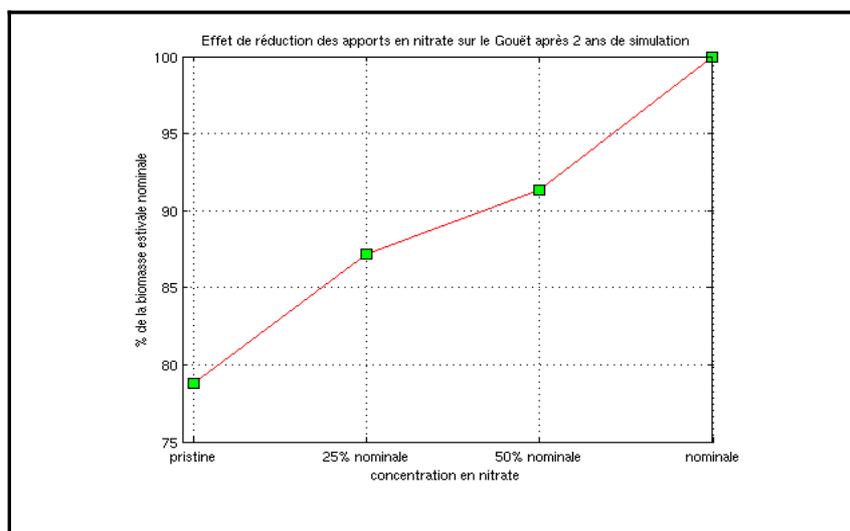


Figure 45: Effet de la réduction des apports en nitrate par le Gouët sur la biomasse estivale d'ulves.

Selon le modèle, les biomasses en phytoplancton et en ulves seraient assez peu sensibles à une diminution des apports en nitrate du Gouët (figures 43 et 44). Une diminution de 50% des apports en nitrate entraînerait un abattement de 10 % de la biomasse moyenne en dinoflagellés et un abattement d'environ 5% de la biomasse en diatomées. Un retour aux rejets pristine entraînerait respectivement un abattement de 18% et de 12% de la biomasse en dinoflagellés et diatomées (Notons que les dinoflagellés sont très peu présents en Baie de Saint-Brieuc, ce qui n'est pas le cas des diatomées qui y sont présentes de manière non-négligeable avec un pic à  $2,5 \mu\text{g/L}$  à Dahouët en 2002).

Concernant l'effet sur les ulves (figure 45), une diminution de 50% des apports provoquerait un abattement de 8% de la biomasse estivale alors qu'un retour aux rejets pristine amènerait une diminution de 22% de la biomasse.

## II.2.Gouessant

### II.2.1.Présentation du cours d'eau.

Le Gouessant coule dans le département des Côtes d'Armor ; il se jette dans le fond de la baie de Saint-Brieuc. Le bassin du Gouessant est marqué par l'importance des élevages porcins. Le secteur est également fortement drainé. A noter la prise d'eau de l'agglomération et l'impact des rejets de la station d'épuration de Lamballe ; de plus, de nombreux rejets ne sont pas raccordés.

Climat	Pluie efficace cumulée		Pluie efficace cumulée/km <sup>2</sup>		Surface totale
	111080 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /an		261 mm		425.5 km <sup>2</sup>
Géologie	% granite	% schiste	% micaschiste	% gneiss	% sout.
	30%	60%	0%	10%	4.3 %
Hydrométrie	Module		Débit d'étéage		Débit de crue
	2.8 m <sup>3</sup> /s		0.12 m <sup>3</sup> /s		75 m <sup>3</sup> /s
Sensibilité du site	<i>Marées vertes</i>	très importantes (baie de St-Brieuc), indice 10			
	<i>Phytoplancton</i>	0<indice<2			

Tableau 15: Présentation succincte du bassin versant du Gouessant.

## II.2.2.Zone d'influence du panache du Guessant.

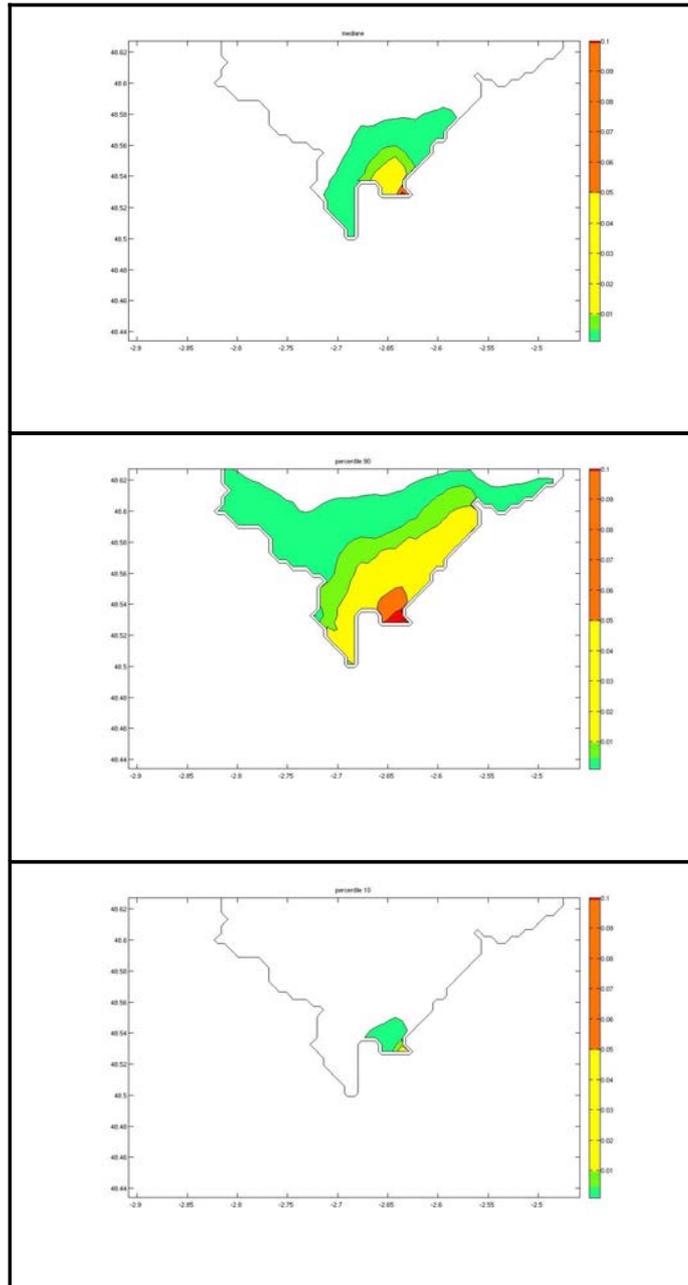


Figure 46: Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu du Guessant.

Le Guessant enrichit principalement l'anse de Morieux. Pour un débit moyen (figure 46-percentile 50), ses apports sont peu dilués dans une zone très proche de son embouchure (moins de 10 fois). En revanche, ils le sont dans l'anse voisine d'Yffiniac où la dilution est entre 200 et 1000 fois.

En période de crue, l'influence du Guessant s'étend sur tout le fond de baie et ses apports sont dilués entre 20 et 100 fois dans l'anse d'Yffiniac.

### II.2.3.Scénarios d'abattement en nitrate sur le Gouessant.

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	28,3 mg/L	52 mg/L	5,44 mg/L
50 %	14,1 mg/L	26 mg/L	2,7 mg/L
25 %	7 mg/L	13 mg/L	1,85 mg/L
pristine	1,5 mg/L	1,5 mg/L	1,5 mg/L

Tableau 16: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate sur le Gouessant.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1	0,15	0,45	3	9
zone 2	0,15	0,45	3	9
zone 3	0,15	0,45	3	9
zone 4	0,15	0,45	3	9
zone 5	0,15	0,45	3	9

Tableau 17: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale et pour chaque zone de dilution en situation médiane.

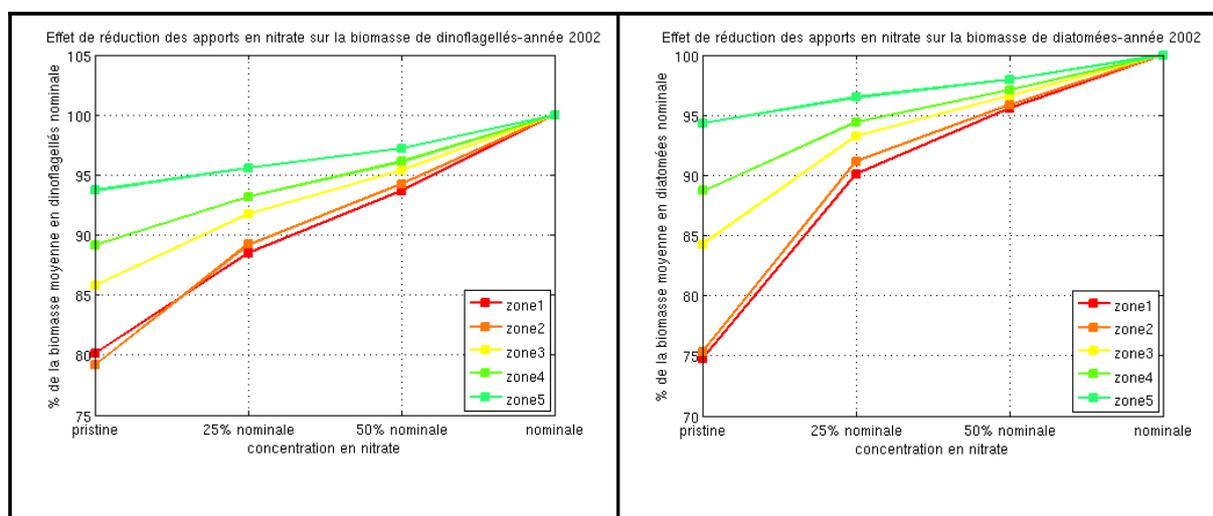


Figure 47: Effet des réductions des apports de nitrate par le Gouessant sur la moyenne annuelle de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et pour chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

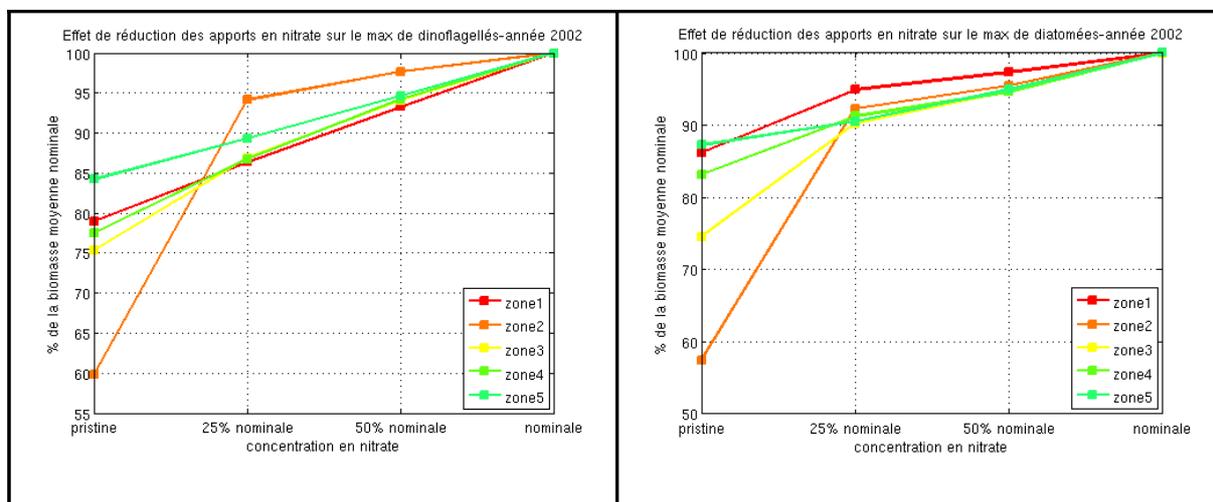


Figure 48: Effet des réductions des apports de nitrate par le Gouessant sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

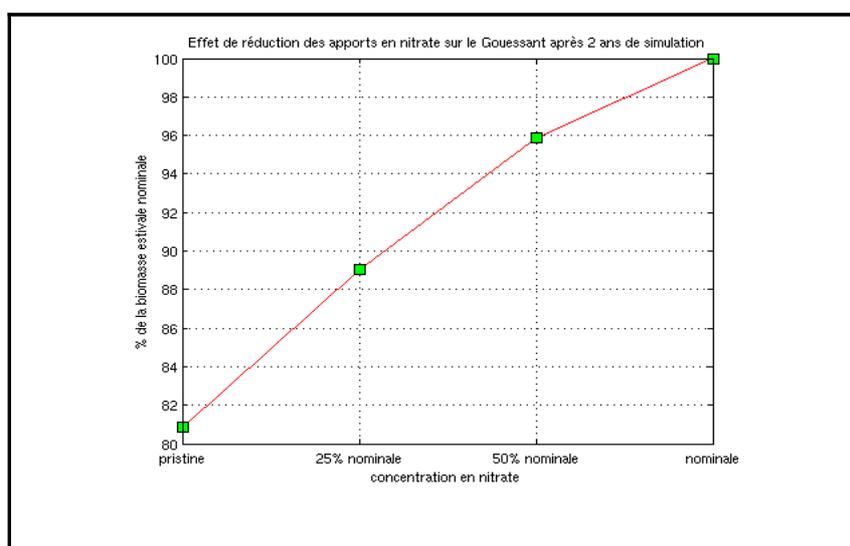


Figure 49: Effet de la réduction des apports en nitrate par le Gouessant sur la biomasse estivale d'ulves.

Les biomasses en phytoplancton et en ulves seraient assez sensibles à une diminution des apports en nitrate du Gouessant (figures 47 et 48). Un retour aux rejets pristine entraînerait respectivement un abattement de 18% et de 12% de la biomasse moyenne en dinoflagellés et diatomées (même ordre de grandeur qu'un abattement sur le Gouët); en revanche, l'effet sur le maximum annuel de dinoflagellés et de diatomées serait relativement important puisqu'un retour à des rejets pristines provoquerait un abattement supérieur à 25% du maximum (voir 40 % pour certaines zones).

Concernant l'effet sur les ulves, une diminution de 50% des apports provoquerait un abattement de 4% de la biomasse estivale alors qu'un retour aux rejets pristine amènerait une diminution de 19% de la biomasse (figure 49), ce qui est du même ordre de grandeur qu'une diminution des apports en nitrate sur le Gouët.

## II.3.Urne

### II.3.1.Présentation du cours d'eau.

Climat	Pluie efficace cumulée		Pluie efficace cumulée/km <sup>2</sup>		Surface totale
	34463 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /an		266 mm		129.56 km <sup>2</sup>
Géologie	% granite	% schiste	% micaschiste	% gneiss	% sout.
Hydrométrie	Module		Débit d'étéage		Débit de crue
	0.51 m <sup>3</sup> /s		0.061 m <sup>3</sup> /s		14.4 m <sup>3</sup> /s
Sensibilité du site	<i>Marées vertes</i>	Très importante 10 fond de baie de Saint Briec			
	<i>Phytoplancton</i>	0 < indice < 2			

Tableau 18: Présentation succincte du bassin versant de l'Urne.

### II.3.2. Zone d'influence du panache de l'Urne.

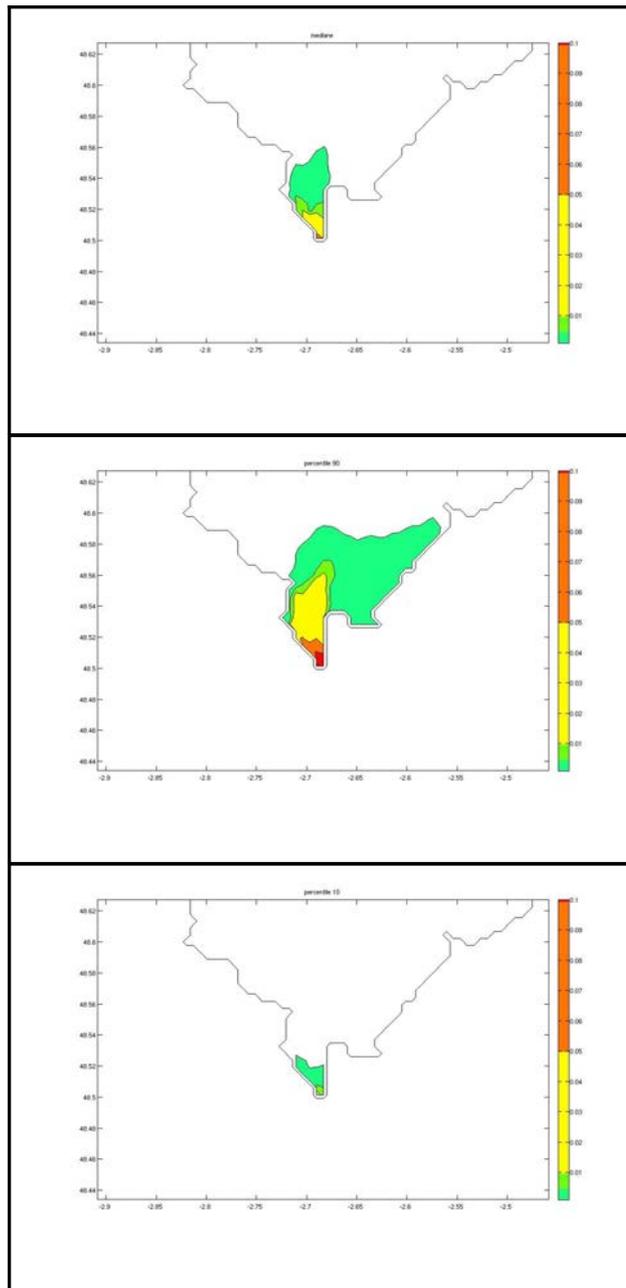


Figure 50: Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu de l'Urne.

L'influence marine de l'Urne est principalement localisée dans l'anse d'Yffiniac (figure 50-apports dilués entre 20 et 100 fois en débit moyen) et elle atteint rarement l'anse voisine de Morieux (apports dilués entre 200 et 1000 fois en période de crue). Ses apports sont rapidement dilués et seule une zone extrêmement proche de son embouchure est enrichie de manière importante (apports dilués moins de 10 fois).

### II.3.3.Scénarios d'abattement en nitrate sur l'Urne.

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	24,8 mg/L	24,8 mg/L	24,8 mg/L
50 %	12,4 mg/L	12,4 mg/L	12,4 mg/L
25 %	6,2 mg/L	6,2 mg/L	6,2 mg/L
pristine	1,5 mg/L	1,5 mg/L	1,5 mg/L

Tableau 19: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate sur l'Urne.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1				
zone 2				
zone 3	0,2	0,45	2,8	9
zone 4	0,2	0,45	2,8	9
zone 5	0,2	0,45	2,8	9

Tableau 20: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale et pour chaque zone de dilution en situation médiane .

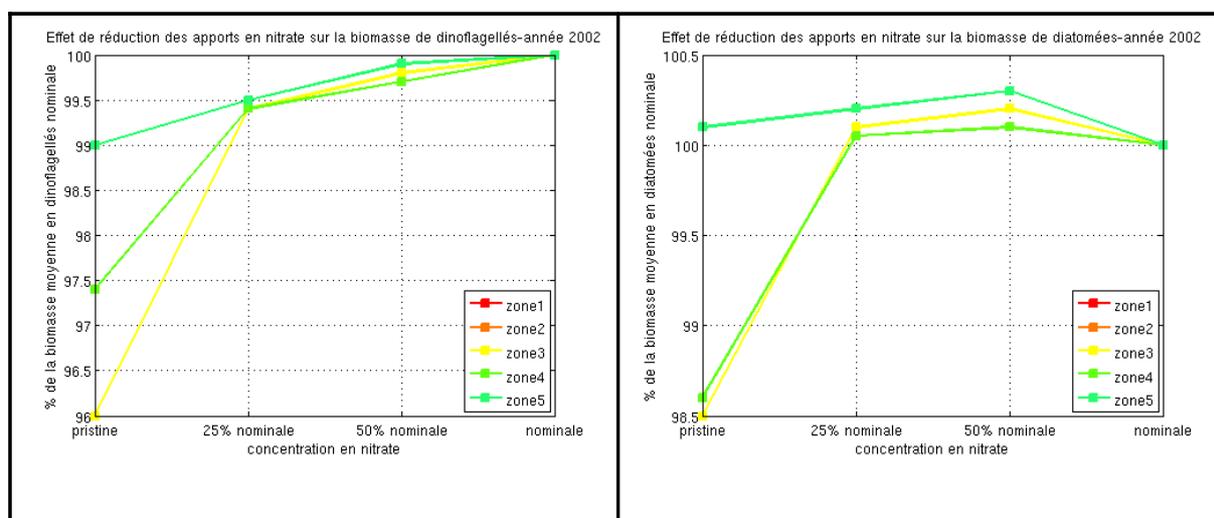


Figure 51: Effet des réductions des apports de nitrate par l'Urne sur la moyenne annuelle de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et pour chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

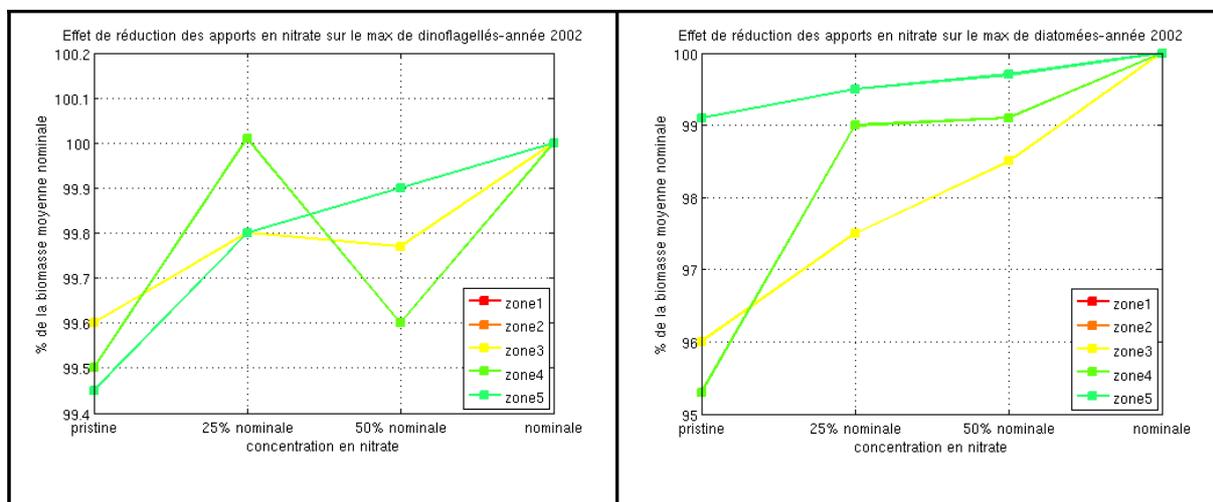


Figure 52: Effet des réductions des apports de nitrate par l'Urne sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

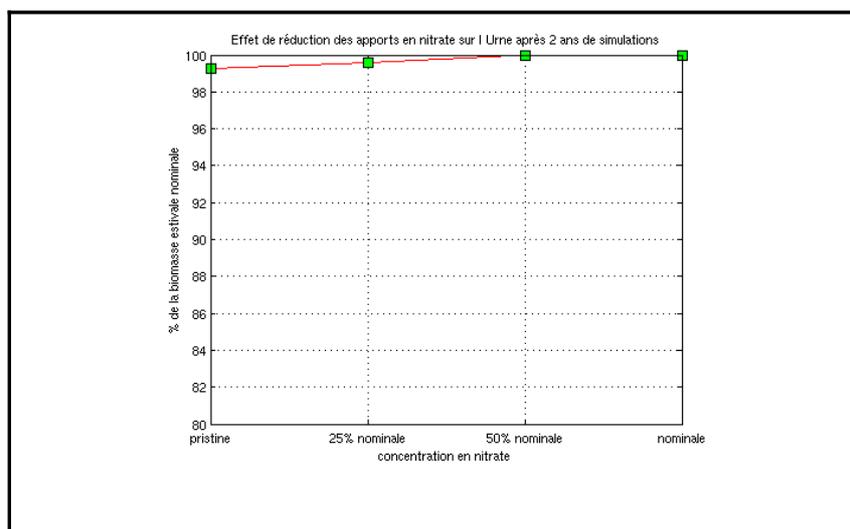


Figure 53: Effet de la réduction des apports en nitrate par l'Urne sur la biomasse estivale d'ulves.

Contrairement aux 2 autres principales rivières de la baie de Saint Briec, l'Urne a très peu d'impact sur les biomasses en phytoplancton et en ulves (figures 51 et 52). En effet, seul un retour aux rejets pristine permettrait de remarquer un abattement faible de la biomasse moyenne en phytoplancton (4 % de la biomasse en dinoflagellés et 1,5 % de la biomasse en diatomées pour la zone la plus proche de l'exutoire).

Concernant l'effet sur les ulves, un retour aux rejets pristines entraînerait à peine un abattement de 1% de la biomasse (figure 53).

## BILAN

La Baie de Saint-Brieuc est principalement touchée par des échouages d'ulves. Les différents scénarios d'abattement ont montré d'une part que les biomasses phytoplanctoniques sont relativement peu sensibles à une diminution des apports en nitrate de la part de l'une des rivières (présence principalement de diatomées dont la croissance est contrôlée par la silice-très peu de dinoflagellés); d'autre part, que la biomasse des ulves en dépôt est sensible à une diminution des apports en nitrate du Gouessant ou du Gouët (les apports de l'Urne jouant un rôle très faible dans l'établissement de la marée verte).

Cette diminution, même si elle est notable, n'est pas très spectaculaire (environ 20% d'abattement de la biomasse pour un retour aux teneurs pristines de nitrate pour le Gouessant ou le Gouët). **Il semblerait donc qu'une réduction visible de la marée verte en fond de Baie de Saint-Brieuc serait la conséquence d'une diminution simultanée des apports en azote (nitrate+ammonium) du Gouessant et du Gouët.** Une diminution sur les seuls apports en nitrate (jusqu'à la teneur pristine) entraînerait un abattement de 38% de la biomasse des ulves en dépôt alors que la même diminution des apports en nitrate couplée à une suppression des apports en ammonium entraînerait un abattement de 80% de la biomasse des ulves en dépôt (cf page 27 et figure 23).

### III.ZOOM BAIE DE MORLAIX/BAIE DE LANNION

#### III.1.Horn

##### III.1.1.Présentation du cours d'eau

Ce bassin versant, qui couvre une surface de 141,56 km<sup>2</sup> est, dans notre étude, l'addition de deux bassins versants différents : l'Horn et le Guillec. Le Guillec se jette plus au nord.

Climat	Pluie efficace cumulée		Pluie efficace cumulée/km <sup>2</sup>		Surface totale	
	74841 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /an		529 mm		141.56 km <sup>2</sup>	
Géologie	% granite	% schiste	% micaschiste	% gneiss	% sout.	
	0 %	0 %	94 %	6 %	43 %	
Hydrométrie	Module		Débit d'été		Débit de crue	
	1.1 m <sup>3</sup> /s		0.4 m <sup>3</sup> /s		11.4 m <sup>3</sup> /s	
Sensibilité du site	<i>Marées vertes</i>		en baie de Plougoulm, indice 6			
	<i>Phytoplancton</i>		Indice 0			

Tableau 21: Présentation succincte du bassin versant de l'Horn.

### III.1.2. Zone d'influence du panache de l'Horn.

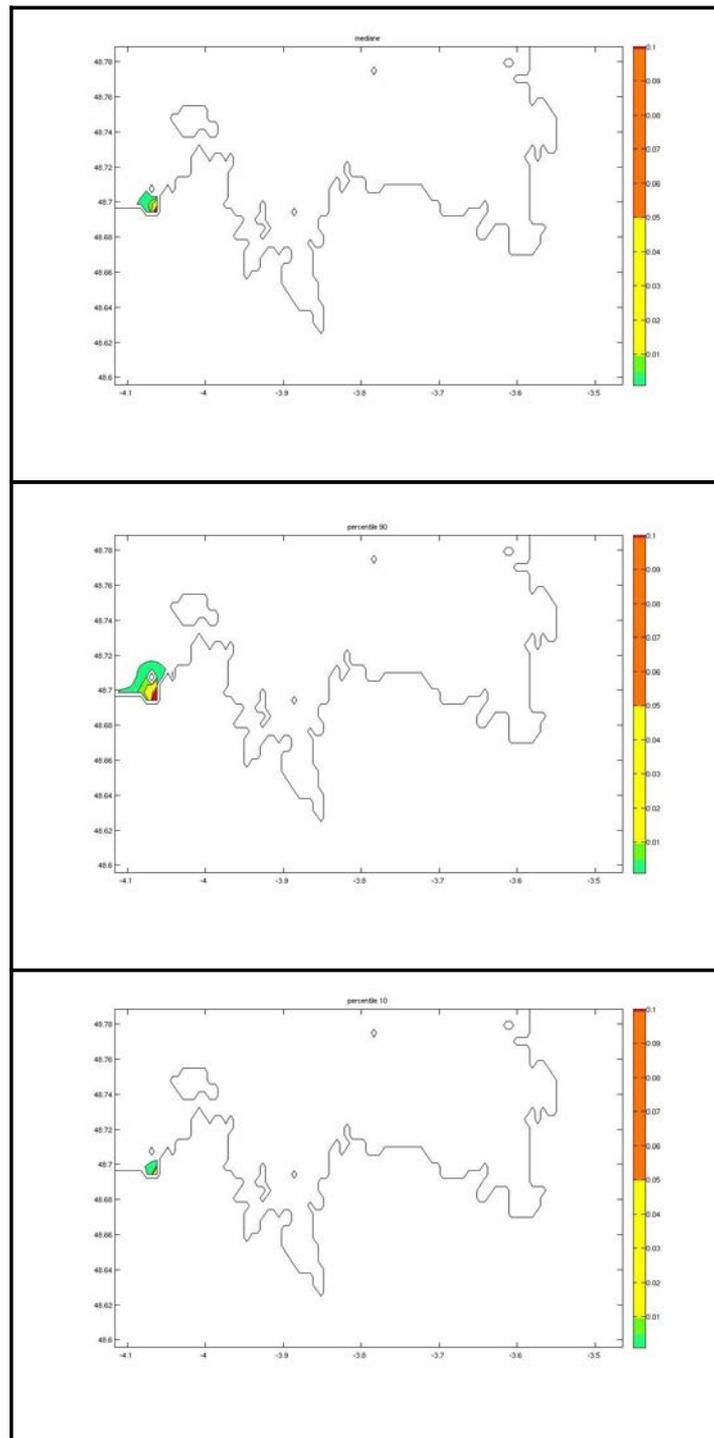


Figure 54: Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu de l'Horn.

La zone d'influence marine de l'Horn est très peu étendue, quel que soit le débit, et reste localisée près de son embouchure (figure 54). Les apports sont rapidement dilués et seule une petite zone demeure impactée de manière relativement importante (apports dilués entre 50 et 100 fois).

### III.1.3.Scénarios d'abattement en nitrate sur l'Horn.

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	84 mg/L	134 mg/L	52 mg/L
50 %	42 mg/L	67 mg/L	26 mg/L
25 %	21 mg/L	33,5 mg/L	13 mg/L
pristine	1,5 mg/L	1,5 mg/L	1,5 mg/L

Tableau 22: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate sur l'Horn.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1				
zone 2	0,1	0,25	1,5	4
zone 3				
zone 4	0,1	0,25	1,5	4
zone 5	0,1	0,25	1,5	4

Tableau 23: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale et pour chaque zone de dilution en situation médiane.

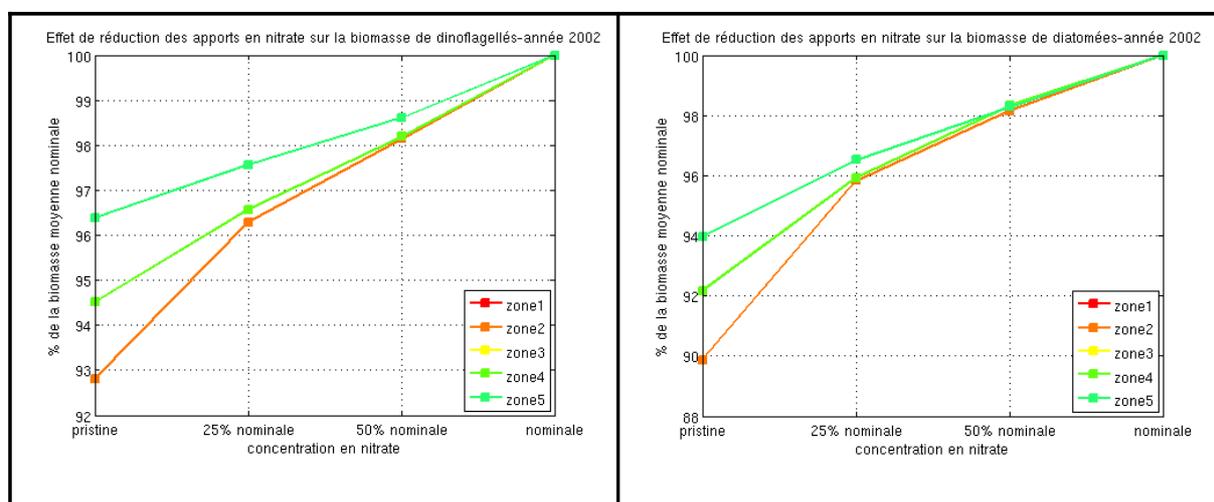


Figure 55: Effet des réductions des apports de nitrate par l'Horn sur la moyenne annuelle de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et pour chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

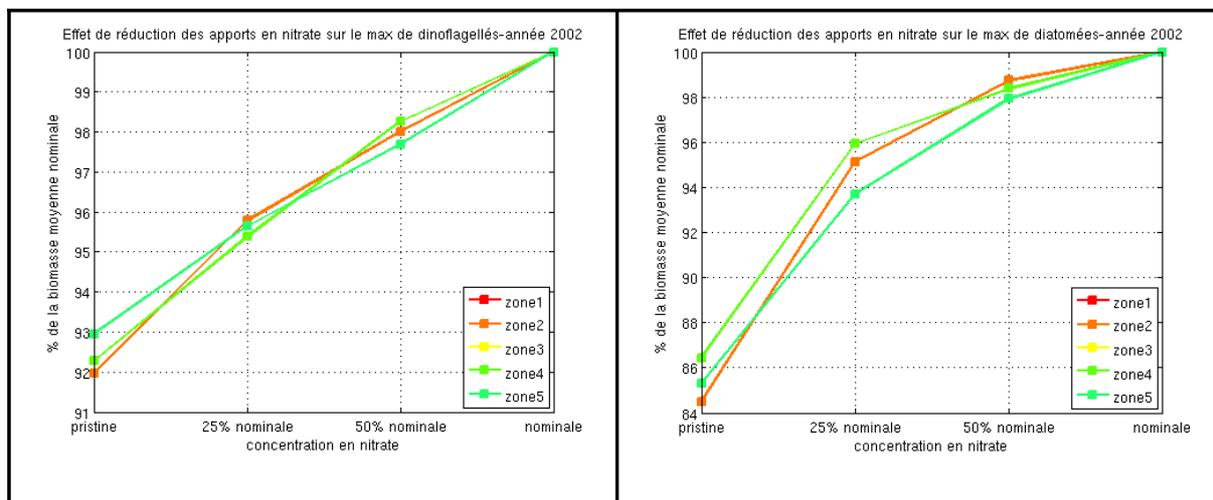


Figure 56: Effet des réductions des apports de nitrate par l'Horn sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

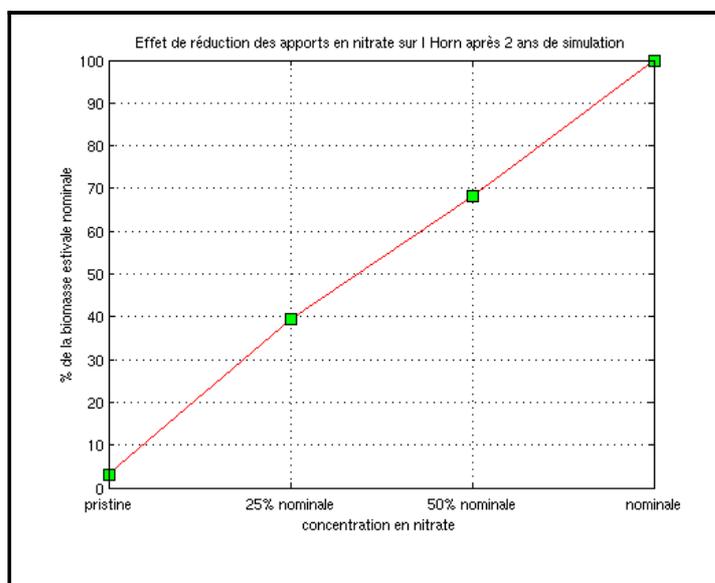


Figure 57: Effet de la réduction des apports en nitrate par l'Horn sur la biomasse estivale d'ulves à Santec.

Une diminution des apports en nitrate de l'Horn aurait un effet assez limité sur la moyenne annuelle en dinoflagellés et diatomées (figure 55) (les zones 1 et zones 3 ne sont pas représentées sur les graphiques car aucune maille entière ne correspond à ces zones). On note en effet, une diminution d'à peine 10% de la biomasse moyenne en diatomées pour un retour aux rejets « pristine » pour la zone 2 qui est la zone la plus proche de l'embouchure de l'Horn. L'impact sur les dinoflagellés serait lui aussi assez peu important mais les concentrations en dinoflagellés simulées dans cette zone sont très faibles (tableau 23). Concernant l'effet d'une diminution sur le maximum annuel de diatomées, (figure 56) un abattement de 50% des apports en nitrate ne provoquerait qu'une diminution de 4% du maximum annuel alors que pour un retour à des rejets pristines, on note un abattement de 15 % du maximum de diatomées.

Un retour à des teneurs pristines entraînerait la disparition quasi-totale des ulves à Santec (figure 57).

## III.2.Penzé

### III.2.1.Présentation du cours d'eau

Rivière de première catégorie piscicole, la Penzé subit sur l'un de ses affluents, le Coatoulzac'h, une pollution provenant d'élevages piscicoles (rejets phosphorés). Le cours aval draine une importante zone légumière.

<b>Climat</b>	<b>Pluie efficace cumulée</b>		<b>Pluie efficace cumulée/km<sup>2</sup></b>	<b>Surface totale</b>	
	129262 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /an		629 mm	205.5 km <sup>2</sup>	
<b>Géologie</b>	<b>% granite</b>	<b>% schiste</b>	<b>% micaschiste</b>	<b>% gneiss</b>	<b>% sout.</b>
	35 %	35 %	10 %	20 %	12.5 %
<b>Hydrométrie</b>	<b>Module</b>		<b>Débit d'étiage</b>		<b>Débit de crue</b>
	4 m <sup>3</sup> /s		0.5 m <sup>3</sup> /s		60 m <sup>3</sup> /s
<b>Sensibilité du site</b>	<i>Marées vertes</i>	indice 3			
	<i>Phytoplancton</i>	2<indice<5			

Tableau 24: Présentation succincte du bassin versant de la Penzé.

### III.2.2. Zone d'influence du panache de la Penzé.

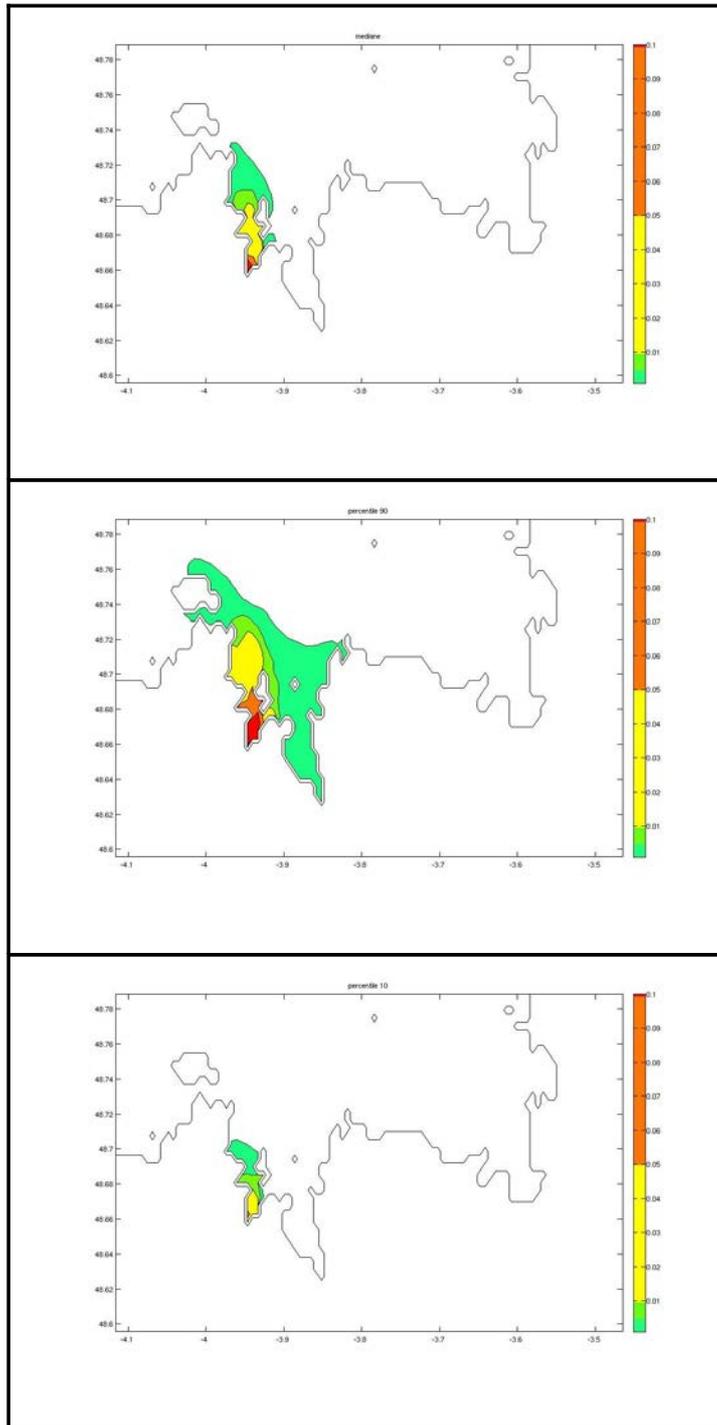


Figure 58: Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu de la Penzé.

L'influence marine de la Penzé ne dépasse que rarement l'île de Batz (percentile 90-figure 58). Elle reste localisée principalement près de l'embouchure de la rivière où les apports de la Penzé sont assez fortement dilués (apports dilués entre 200 et 1000 fois-couleur jaune du percentile 50 du panache de dilution). Aussi bien en période normale qu'en période de crue, seule une zone restreinte près de l'embouchure de la Penzé est enrichie de manière importante (apports dilués 10 fois -couleur rouge et orange des panaches de dilution).

### III.2.3.Scénarios d'abattement en nitrate sur la Penzé.

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	48 mg/L	57 mg/L	31 mg/L
50 %	24 mg/L	28,5 mg/L	15,5 mg/L
25 %	12 mg/L	14,25 mg/L	7,75 mg/L
pristine	1,5 mg/L	1,5 mg/L	1,5 mg/L

Tableau 25: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate sur la Penzé.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1	0,2	0,4	2,8	12,8
zone 2	0,2	0,4	4,8	15
zone 3	0,2	0,4	4	11
zone 4	0,2	0,4	2,5	8
zone 5	0,2	0,4	2,5	6,7

Tableau 26: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale et pour chaque zone de dilution en situation médiane.

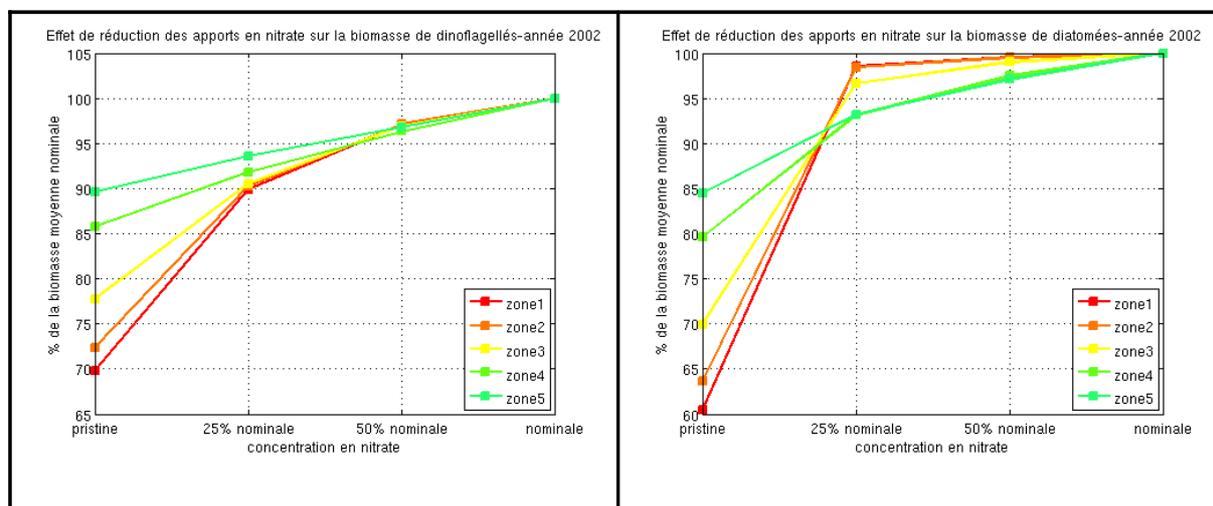


Figure 59: Effet des réductions des apports de nitrate par la Penzé sur la moyenne annuelle de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et pour chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

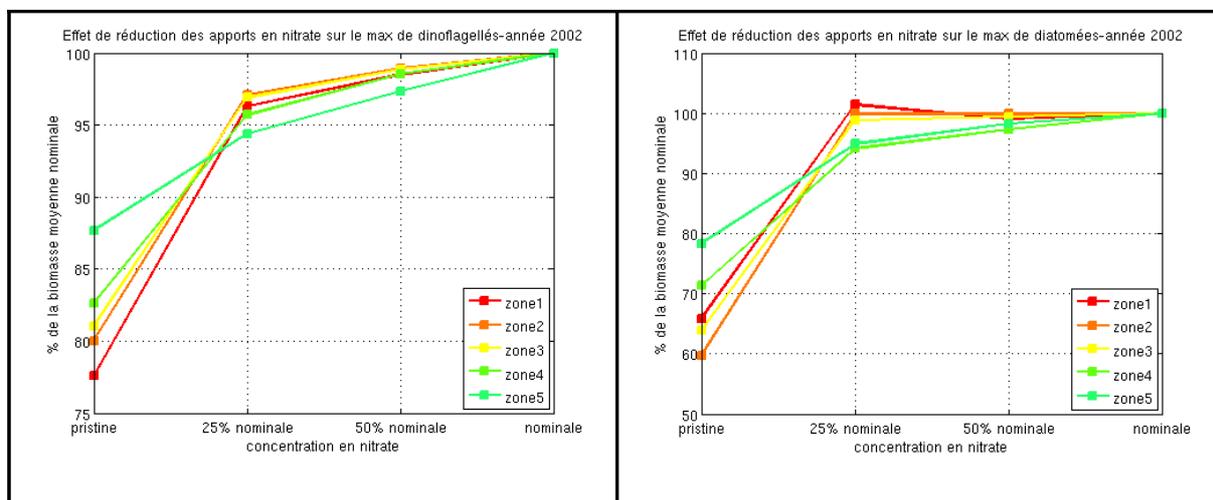


Figure 60: Effet des réductions des apports de nitrate par la Penzé sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

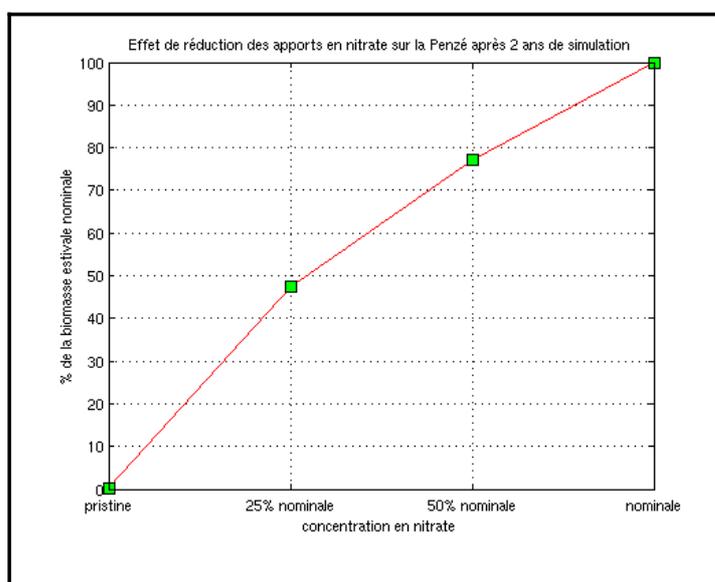


Figure 61: Effet de la réduction des apports en nitrate par la Penzé sur la biomasse estivale d'ulves dans l'estuaire de la Penzé.

Un abattement de 50% et de 75% des apports en nitrate de la Penzé aurait peu d'effet sur la biomasse moyenne de dinoflagellés et diatomées ainsi que sur les maximums (figures 59 et 60). Un retour à des apports pristines (1,5 mg/L) aurait en revanche un effet sensible sur le phytoplancton, notamment sur les zones les plus proches de l'embouchure de la rivière (courbes vertes et jaunes-30 % d'abattement pour la biomasse moyenne en dinoflagellés et 25% d'abattement pour le maximum; 40% d'abattement pour la biomasse moyenne et sur le maximum de diatomées).

Un retour à des teneurs pristines entraînerait la disparition quasi-totale des ulves dans l'estuaire de la Penzé (figure 61).

### III.3.Dourduff

#### III.3.1.Présentation du cours d'eau

Cours d'eau se jetant en fond de baie de Morlaix, le Dourduff est pollué par trois piscicultures (phosphore, partie aval) ainsi que par une activité agricole intensive (nitrate). Le Dourduff alimente le district de Morlaix en eau potable.

Climat	Pluie efficace cumulée		Pluie efficace cumulée/km <sup>2</sup>		Surface totale	
	37641 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /an		486 mm		77.44 km <sup>2</sup>	
Géologie	% granite	% schiste	% micaschiste	% gneiss	% sout.	
	21 %	71 %	0 %	0 %	7 %	
Hydrométrie	Module		Débit d'étiage		Débit de crue	
	1.12 m <sup>3</sup> /s		0.164 m <sup>3</sup> /s		15.0 m <sup>3</sup> /s	
Sensibilité du site	<i>Marées vertes</i>		indice 4, est de la baie de Morlaix			
	<i>Phytoplancton</i>		2<indice<5			

Tableau 27: Présentation succincte du bassin versant du Dourduff.

### III.3.2.Zone d'influence du panache du Dourduff.

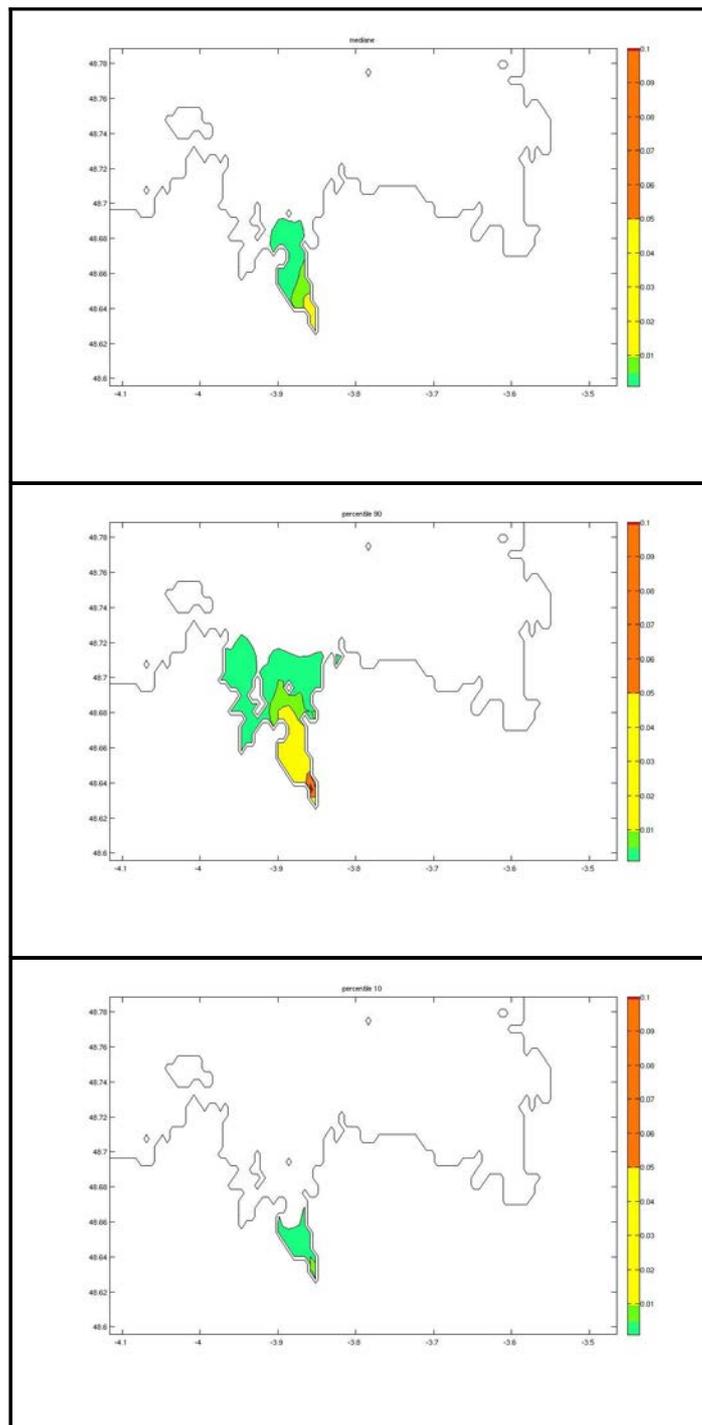


Figure 62: Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu du Dourduff.

L'influence marine du Dourduff reste principalement localisée dans son estuaire et ne s'étend que très rarement au-delà de la Baie de Morlaix (figure 62-percentile 90). Les apports sont assez vite dilués et l'enrichissement de la Baie de Morlaix est relativement faible (apports dilués entre 200 et 1000 fois).

### III.3.3.Scénarios d'abattement en nitrate sur le Dourduff.

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	37 mg/L	52 mg/L	16 mg/L
50 %	18,5 mg/L	26 mg/L	8 mg/L
25 %	9,25 mg/L	13 mg/L	4 mg/L
pristine	1,5 mg/L	1,5 mg/L	1,5 mg/L

Tableau 28: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate sur le Dourduff.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1				
zone 2				
zone 3	0,3	0,8	5,1	14
zone 4	0,3	0,8	5,1	14,5
zone 5	0,3	0,8	3,3	9,7

Tableau 29: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale et pour chaque zone.

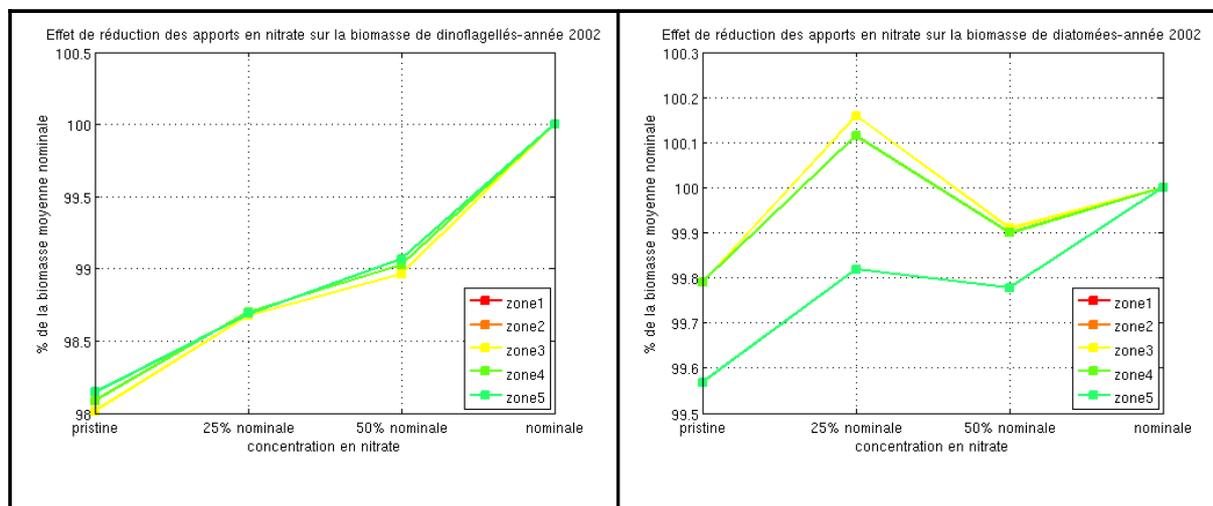


Figure 63: Effet des réductions des apports de nitrate par le Dourduff sur la moyenne annuelle de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et pour chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

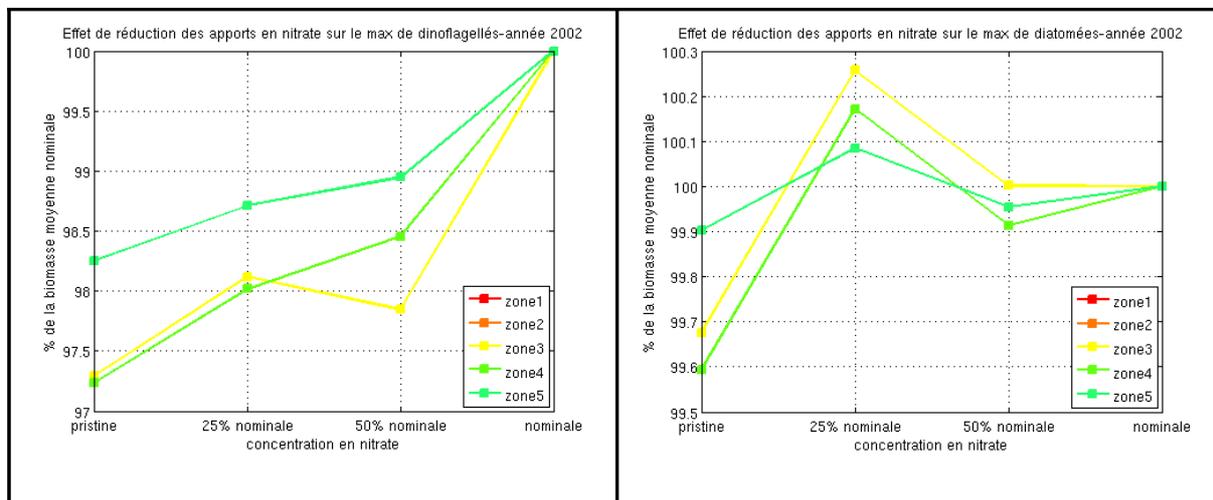


Figure 64: Effet des réductions des apports de nitrate par le Dourduff sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

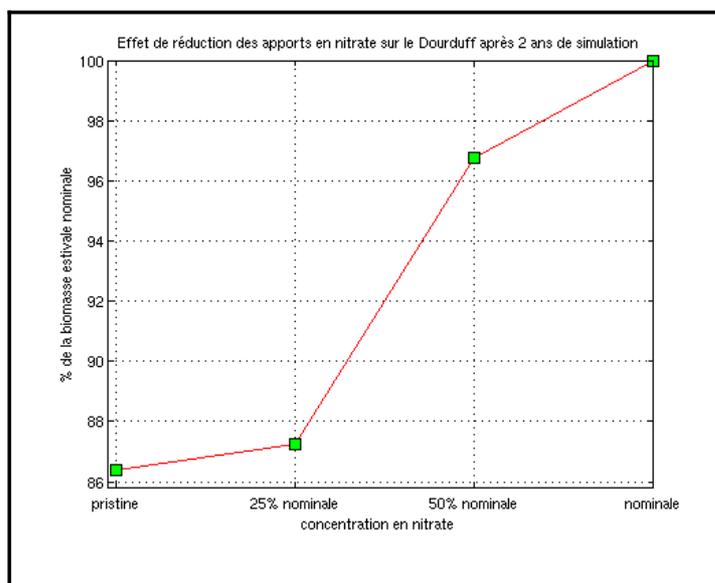


Figure 65: Effet de la réduction des apports en nitrate par le Dourduff sur la biomasse estivale d'ulves en Baie de Morlaix.

Une diminution des apports en nitrate du Dourduff aurait très peu d'effet sur les dinoflagellés et les diatomées (figure 63 et 64). Un retour aux rejets pristines ne provoquerait qu'un abattement de 3 % du maximum annuel de dinoflagellés et ne change pas le maximum annuel de diatomées. Les zones d'influences marines du Dourduff et du Jarlot (dont l'embouchure est très proche de l'embouchure du Dourduff) se chevauchent et les apports du Jarlot compensent la diminution des apports du Dourduff.

Le Dourduff a assez peu d'importance dans l'établissement de la marée verte à l'est de la Baie de Morlaix. Un retour à des teneurs pristines n'entraînerait qu'un abattement de 13% de la biomasse estivale d'ulves (figure 65).

### III.4.Jarlot

#### III.4.1.Présentation du cours d'eau.

Le Jarlot est un des fleuves qui se jettent dans la baie de Morlaix. Dans notre étude le Jarlot est la somme de 4 bassins versants : le Jarlot, le Queffleuth, le Tromorgant et la Pennelé. Ces 4 bassins versants drainent une surface totale de 228,62 km<sup>2</sup>.

Climat	Pluie efficace cumulée		Pluie efficace cumulée/km <sup>2</sup>		Surface totale	
	141888 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /an		621 mm		228.62 km <sup>2</sup>	
Géologie	% granite	% schiste	% micaschiste	% gneiss	% sout.	
	28	25	0	46		
Hydrométrie	Module		Débit d'été		Débit de crue	
	3.5 m <sup>3</sup> /s		0.52 m <sup>3</sup> /s		47.5 m <sup>3</sup> /s	
Sensibilité du site	<i>Marées vertes</i>		Indice 4			
	<i>Phytoplancton</i>		2 < indice < 5			

Tableau 30: Présentation succincte du bassin versant du Jarlot.

### III.4.2. Zone d'influence du panache du Jarlot.

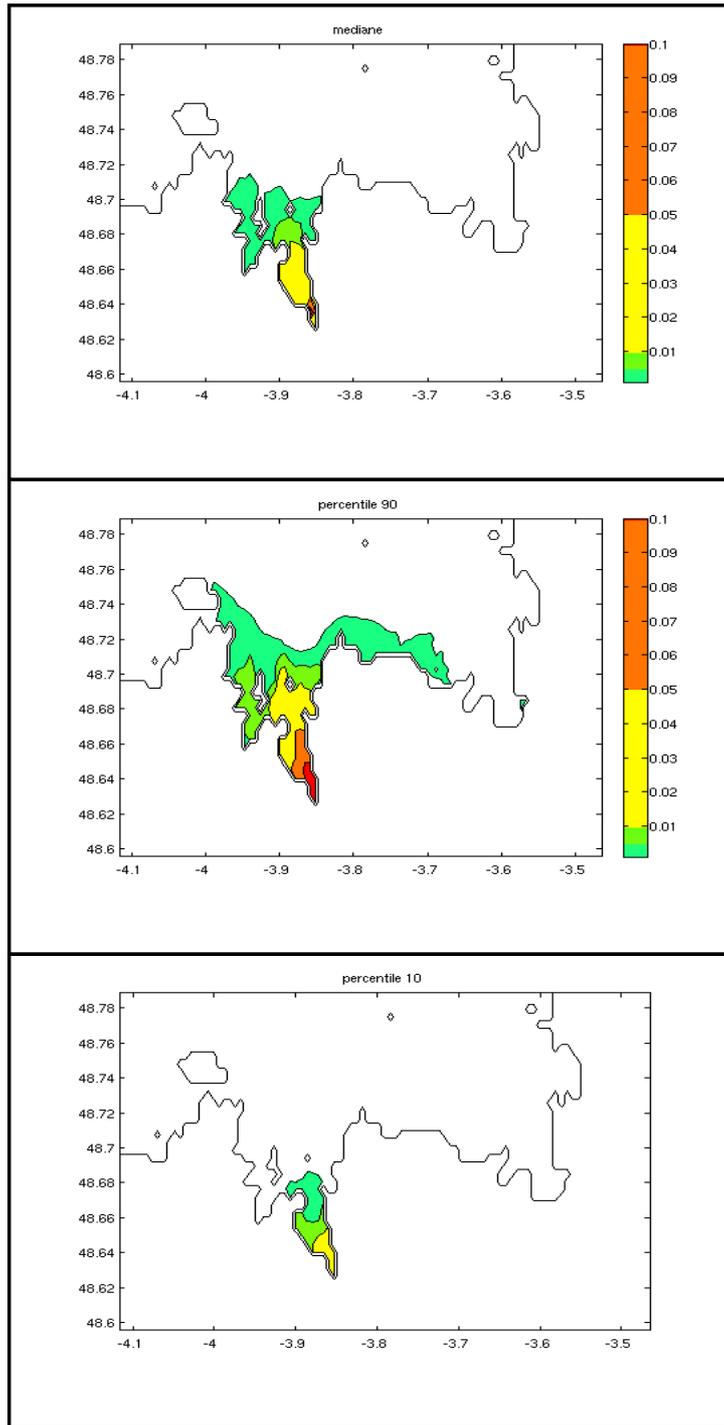


Figure 66: Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu du Jarlot.

La zone d'influence marine du Jarlot est plus ou moins la même que celle du Dourduff (figure 66). Néanmoins elle s'étend plus loin (le débit du Jarlot est en moyenne 4 fois plus important que celui du Dourduff). Le Jarlot enrichit plus la Baie de Morlaix que le Dourduff (apports dilués entre 200 et 1000 fois en Baie de Morlaix pour le Dourduff; apports dilués entre 20 et 100 fois pour le Jarlot).

### III.4.3.Scénarios d'abattement en nitrate sur le Jarlot.

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	24,8 mg/L	24,8 mg/L	24,8 mg/L
50 %	12,4 mg/L	12,4 mg/L	12,4 mg/L
25 %	6,2 mg/L	6,2 mg/L	6,2 mg/L
pristine	1,5 mg/L	1,5 mg/L	1,5 mg/L

Tableau 31: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate sur le Jarlot.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1	0,3	0,7	4,5	14
zone 2	0,3	0,9	5	14
zone 3	0,3	0,7	4,5	11,5
zone 4	0,2	0,4	2,5	8
zone 5	0,2	0,4	3	9

Tableau 32: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale et pour chaque zone de dilution en situation médiane.

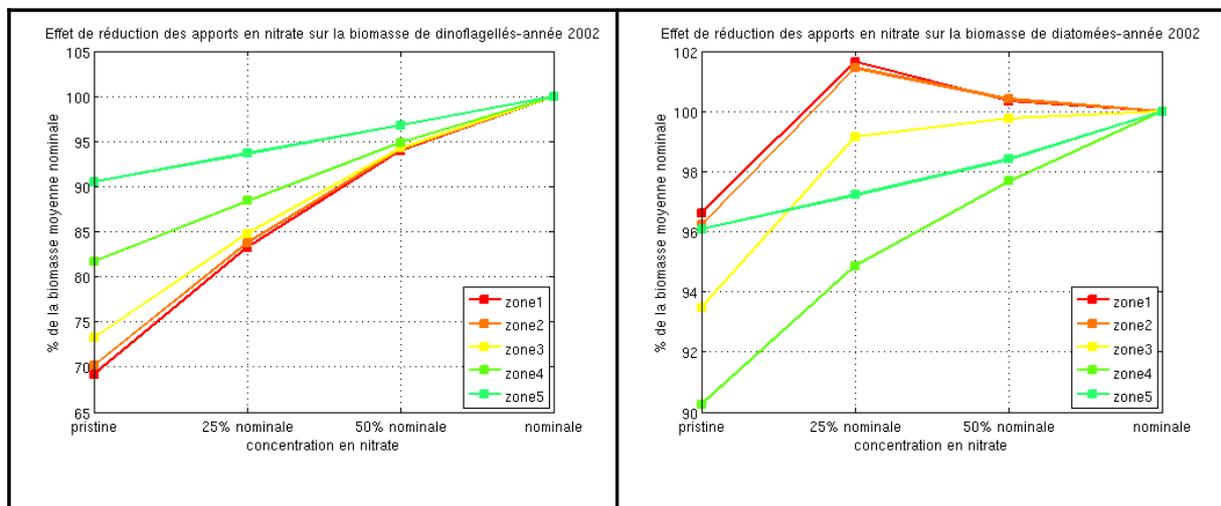


Figure 67: Effet des réductions des apports de nitrate par le Jarlot sur la moyenne annuelle de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et pour chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

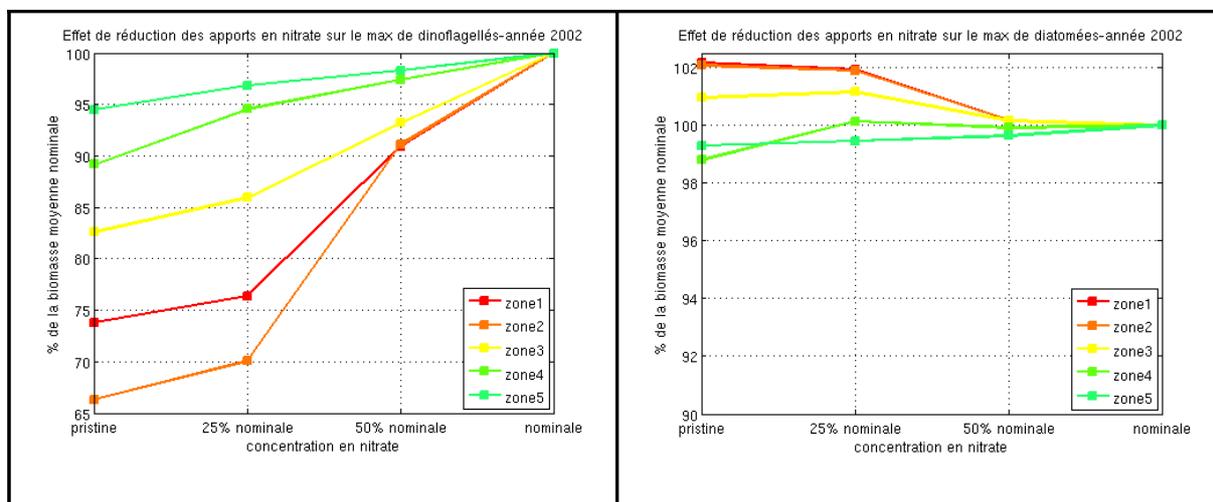


Figure 68: Effet des réductions des apports de nitrate par le Jarlot sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

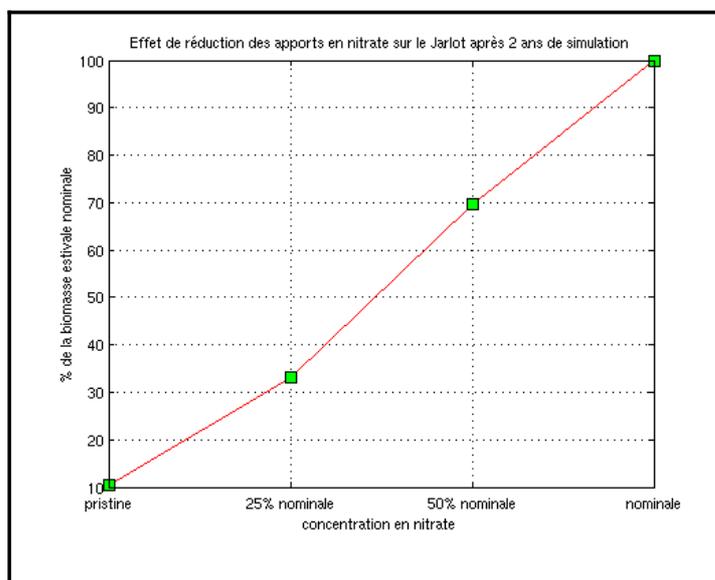


Figure 69: Effet de la réduction des apports en nitrate par le Jarlot sur la biomasse estivale d'ulves en Baie de Morlaix.

Contrairement au cas du Dourduff (dont l'embouchure est très proche de celle du Jarlot), une diminution des apports en nitrate du Jarlot aurait un effet sur la biomasse en dinoflagellés (figures 67 et 68). L'effet serait d'autant plus important près de l'embouchure (plus de 30% d'abattement de la moyenne et du maximum de dinoflagellés pour un retour à des teneurs pristines). L'effet sur les diatomées serait, en revanche, très peu important (entre 5 et 10% d'abattement de la biomasse annuelle moyenne).

Un retour à des teneurs pristines entraînerait un abattement de 90% de la biomasse des ulves en Baie de Morlaix (figure 69).

### III.5.Douron

#### III.5.1.Présentation du cours d'eau

Le Douron est une frontière naturelle entre les départements des Côtes d'Armor et du Finistère. Il se jette en baie de Loquirec, près de Plestin-les-Grèves et alimente une marée verte importante. L'agriculture y est développée, mais ce sont trois piscicultures qui sont à l'origine de la dégradation de la qualité vis-à-vis du phosphore.

Climat	Pluie efficace cumulée		Pluie efficace cumulée/km <sup>2</sup>		Surface totale
	60516 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /an		536 mm		112.81 km <sup>2</sup>
Géologie	% granite	% schiste	% micaschiste	% gneiss	% sout.
	8 %	15 %	0 %	63 %	19 %
Hydrométrie	Module		Débit d'étéage		Débit de crue
	1.5 m <sup>3</sup> /s		0.29 m <sup>3</sup> /s		19 m <sup>3</sup> /s
Sensibilité du site	<i>Marées vertes</i>	indice 6 en baie de Loquirec			
	<i>Phytoplancton</i>	Indice 0			

Tableau 33: Présentation succincte du bassin versant du Douron.

### III.5.2.Zone d'influence du panache du Douron.

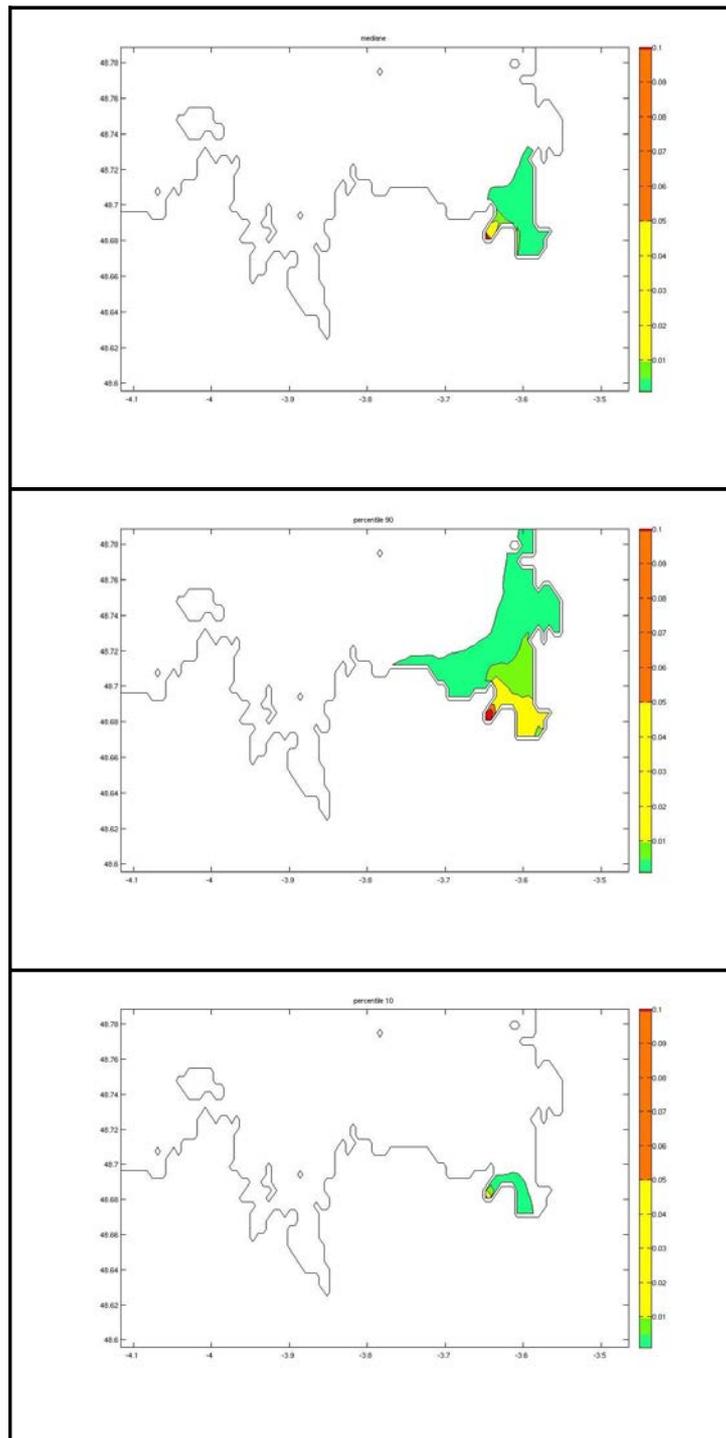


Figure 70: Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu du Douron.

Le Douron contribue principalement et presque exclusivement aux apports en Baie de Locquirec (figure 70). En période de crue, son influence peut s'étendre jusqu'à la plage de Saint-Michel et jusqu'à l'estuaire du Léguer mais les apports sont relativement faibles (apports dilués entre 200 et 1000 fois).

### III.5.3.Scénarios d'abattement en nitrate sur le Douron.

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	31 mg/L	42 mg/L	18 mg/L
50 %	15,5 mg/L	21 mg/L	9 mg/L
25 %	7,75 mg/L	10,5mg/L	4,5 mg/L
pristine	1,5 mg/L	1,5 mg/L	1,5 mg/L

Tableau 34: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate sur le Douron.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1				
zone 2	0,2	0,3	2,4	6,5
zone 3	0,2	0,3	2,4	6,5
zone 4	0,2	0,3	2,4	6,5
zone 5	0,2	0,3	3	8

Tableau 35: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale et pour chaque zone.

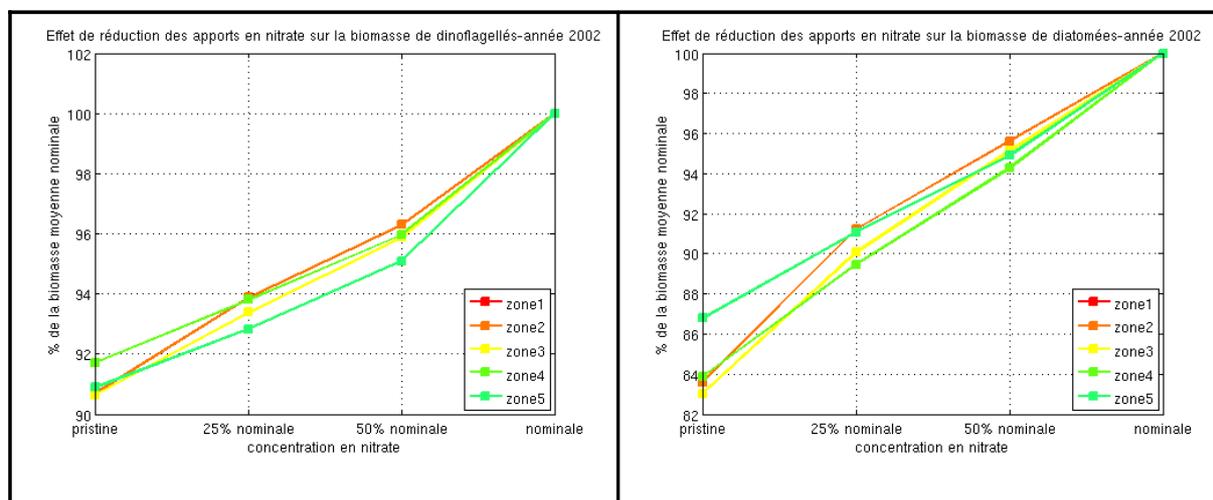


Figure 71: Effet des réductions des apports de nitrate par le Douron sur la moyenne annuelle de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et pour chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

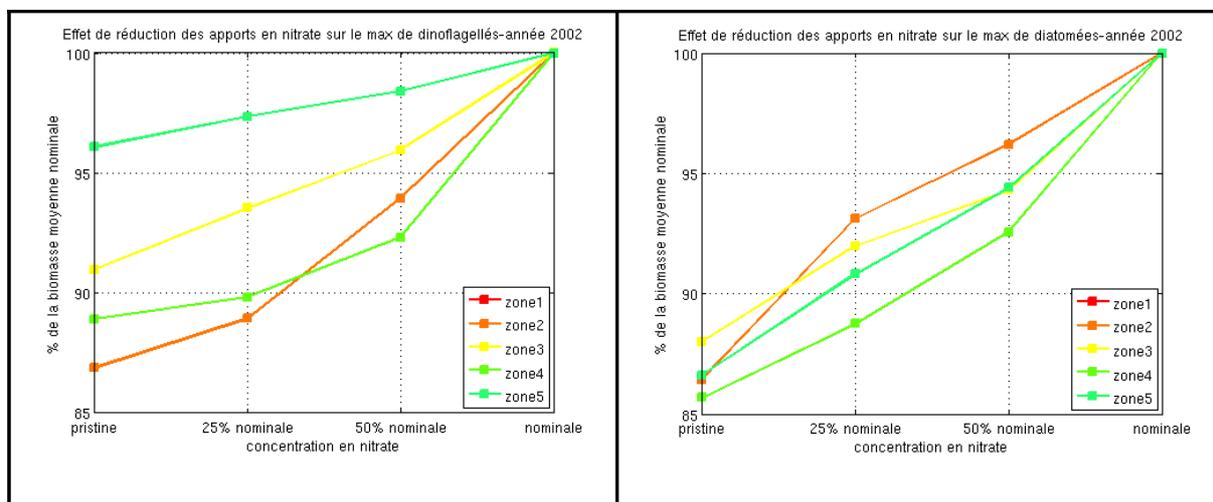


Figure 72: Effet des réductions des apports de nitrate par le Douron sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

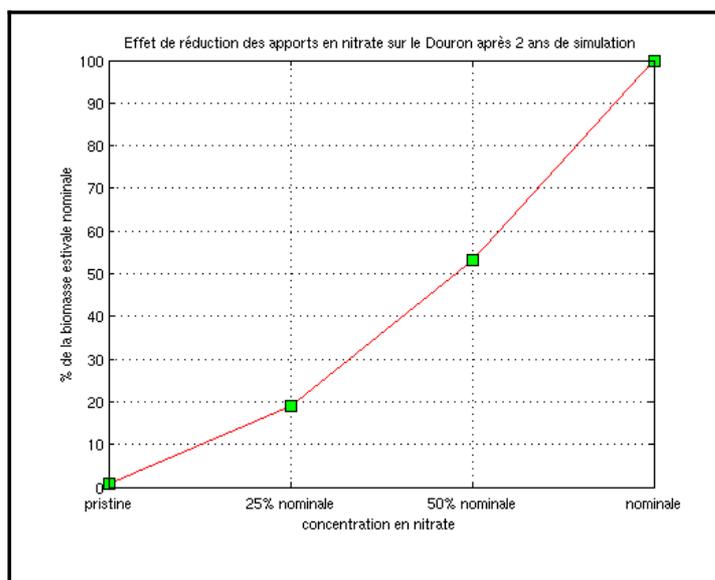


Figure 73: Effet de la réduction des apports en nitrate par le Douron sur la biomasse estivale d'ulves dans la Baie de Locquirec.

L'effet d'une diminution des apports en nitrate du Douron sur les dinoflagellés et les diatomées serait limité (figures 71 et 72). Seul un retour aux rejets pristines permettrait d'observer un abattement sensible sur le maximum et la biomasse moyenne en dinoflagellés près de l'embouchure (environ 15 % d'abattement). Ce même retour entraînerait un abattement d'environ 14 % sur la biomasse en diatomées.

En revanche, l'effet d'un abattement des apports en nitrate sur la biomasse des ulves en dépôt dans le fond de la Baie de Locquirec serait très important (figure 73). L'abattement de la biomasse irait de 47% pour une diminution de 50% des apports c'est à dire pour un rejet moyen de 15,5 mg/L) jusqu'à plus de 90 % pour un retour à des teneurs pristines (1,5 mg/L). Le Douron serait donc l'unique responsable de la marée verte en Baie de Locquirec.

## III.6. Yar

### III.6.1. Présentation du cours d'eau

Cours d'eau se jetant en fond de baie de Lannion, et responsable pour partie d'une très importante marée verte, le Yar bénéficie pourtant d'une bonne qualité physico-chimique générale. La qualité nitrate y est mauvaise (épandages de fumier de bovins notamment) mais les flux azotés restent très modérés. C'est la configuration de l'estran sableux et l'hydrodynamique locale qui expliquent la marée verte.

Climat	Pluie efficace cumulée		Pluie efficace cumulée/km <sup>2</sup>		Surface totale	
	40625 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /an		484 mm		84 km <sup>2</sup>	
Géologie	% granite	% schiste	% micaschiste	% gneiss	% sout.	
	99%	0%	0%	0%	19 %	
Hydrométrie	Module		Débit d'été		Débit de crue	
	0.8 m <sup>3</sup> /s		0.15 m <sup>3</sup> /s		10.5 m <sup>3</sup> /s	
Sensibilité du site	<i>Marées vertes</i>	indice 9, grèves de St-Michel et St-Efflam (baie de Lannion)				
	<i>Phytoplancton</i>	non signalé				

Tableau 36: Présentation succincte du bassin versant du Yar.

### III.6.2.Zone d'influence du panache du Yar.

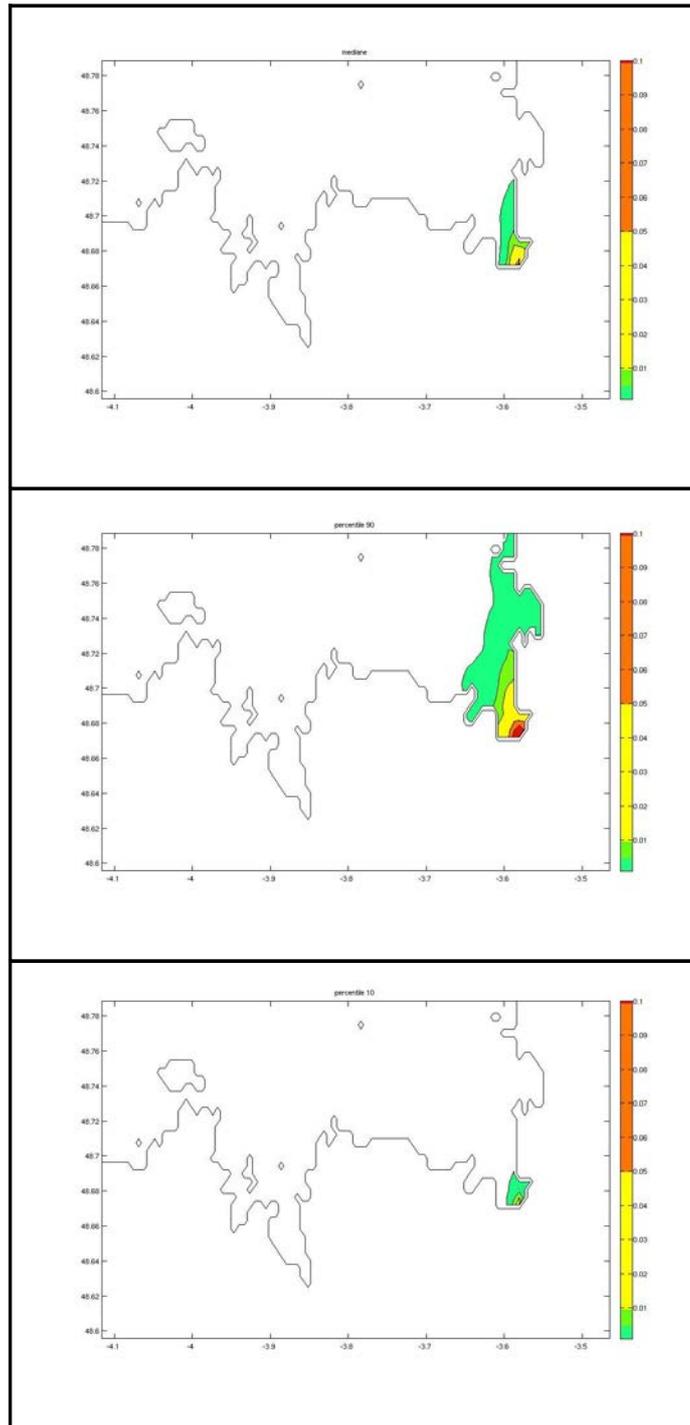


Figure 74: Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu du Yar.

Le panache de dilution du Yar se limite principalement à la zone proche de la plage de Saint-Michel dont elle contribue presque exclusivement à l'enrichissement en azote (figure 74). L'influence du Yar peut s'étendre en période de crue jusqu'à l'estuaire du Léguer mais les apports sont très limités (apports dilués entre 200 et 1000 fois).

### III.6.3.Scénarios d'abattement en nitrate sur le Yar.

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	24 mg/L	34 mg/L	13 mg/L
50 %	12 mg/L	17 mg/L	6,5 mg/L
25 %	6 mg/L	8,5 mg/L	3,25 mg/L
pristine	1,5 mg/L	1,5 mg/L	1,5 mg/L

Tableau 37: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate sur le Yar.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1				
zone 2	0,2	0,4	3	8
zone 3				
zone 4	0,2	0,4	3,5	9
zone 5	0,2	0,4	4	9,5

Tableau 38: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale et pour chaque zone de dilution en situation médiane.

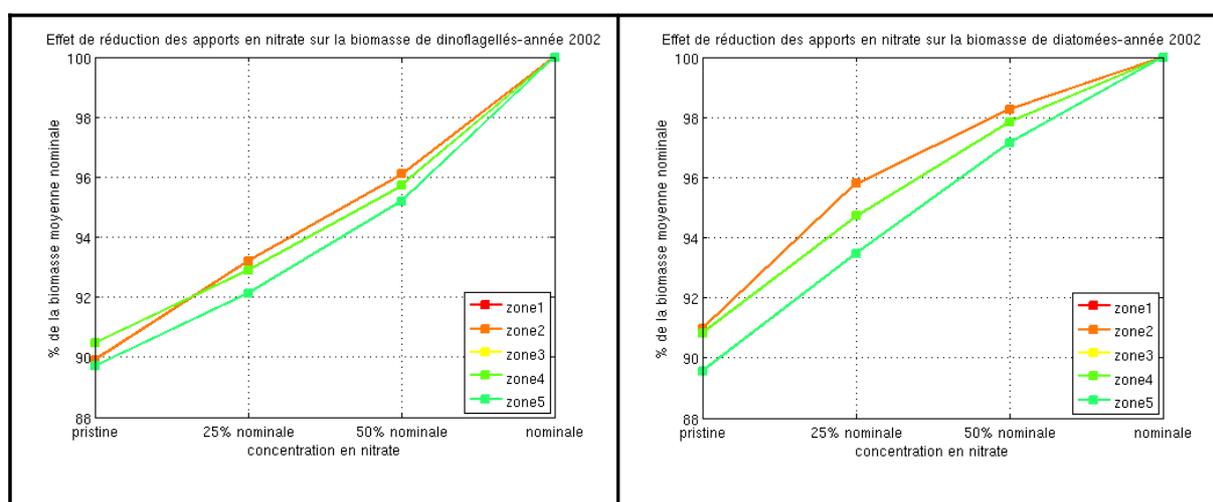


Figure 75: Effet des réductions des apports de nitrate par le Yar sur la moyenne annuelle de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et pour chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

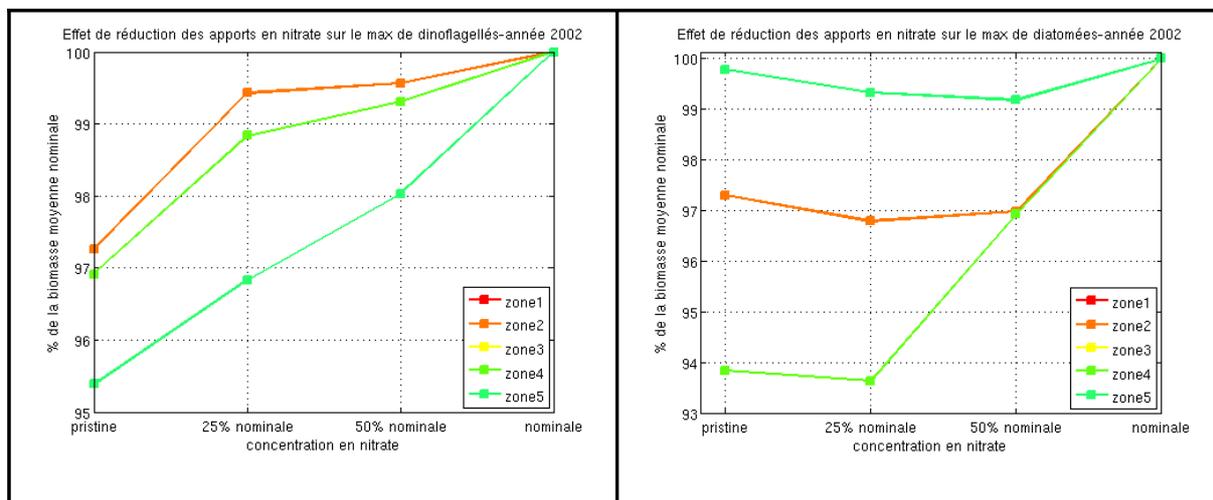


Figure 76: Effet des réductions des apports de nitrate par le Yar sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

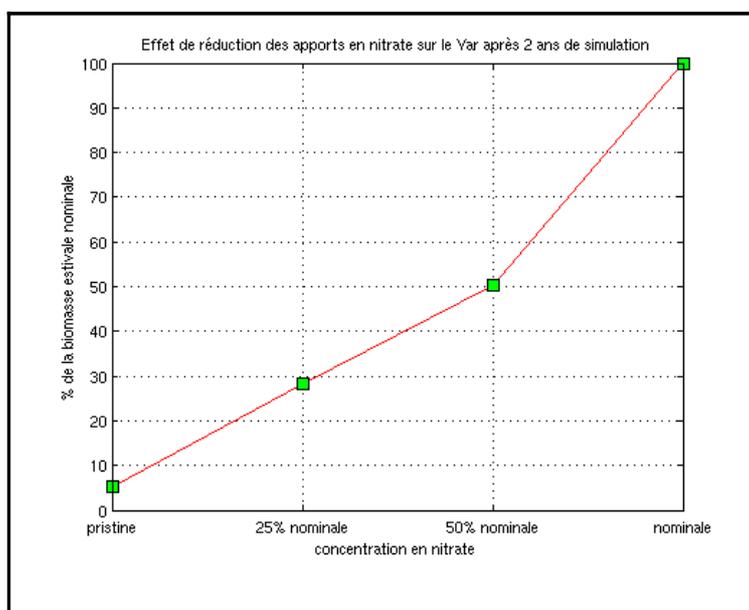


Figure 77: Effet de la réduction des apports en nitrate par le Yar sur la biomasse estivale d'ulves sur la plage de Saint-Michel.

L'effet d'une diminution des apports du Yar serait limité (figures 75 et 76). En revanche, une diminution des apports aurait un effet important sur la biomasse des ulves en dépôt sur la plage de Saint-Michel (figure 77). On observerait un abattement d'environ 50% de la biomasse pour une diminution des apports en nitrate de 50% (12 mg/L) et un abattement d'environ 95 % pour un retour à des rejets pristines. Les apports en nitrate du Yar seraient donc le principal responsable de la marée verte sur la plage de Saint-Michel.

## III.7.Léguer

### III.7.1.Présentation du cours d'eau.

Classée en première catégorie, fréquentée par les migrateurs (truite de mer, saumon), cette rivière rapide et assez profonde draine un secteur très dense en élevages avicoles. Dans son cours moyen, présence de nombreux élevages porcins également ; une pisciculture à Plounévez-Moedec. En ce qui concerne l'alimentation en eau potable, on note trois prises d'eau sur la commune de Vieux-Marché, et une sur le Milin Ran (affluent rive gauche de bonne qualité), desservant l'agglomération de Lannion.

Le Guic, affluent principal du Léguer, voit son cours pollué par les abattoirs de Guerlesquin ; cependant, de gros efforts sont entrepris en matière d'épuration des eaux usées. Une prise d'eau est implantée à Guerlesquin, et une pisciculture à Loc-Envel.

<b>Climat</b>	<b>Pluie efficace cumulée</b>		<b>Pluie efficace cumulée/km<sup>2</sup></b>	<b>Surface totale</b>	
	256603 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /an		525 mm	488.31 km <sup>2</sup>	
<b>Géologie</b>	<b>% granite</b>	<b>% schiste</b>	<b>% micaschiste</b>	<b>% gneiss</b>	<b>% sout.</b>
	45%	50%	0%	5%	11 %
<b>Hydrométrie</b>	<b>Module</b>		<b>Débit d'été</b>		<b>Débit de crue</b>
	9 m <sup>3</sup> /s		1 m <sup>3</sup> /s		117 m <sup>3</sup> /s
<b>Sensibilité du site</b>	<b>Marées vertes</b>	indice 9 en fond de baie de Lannion			
	<b>Phytoplancton</b>	pas d'efflorescences recensées			

Tableau 39: Présentation succincte du bassin versant du Léguer.

### III.7.2. Zone d'influence du panache du Léguer.

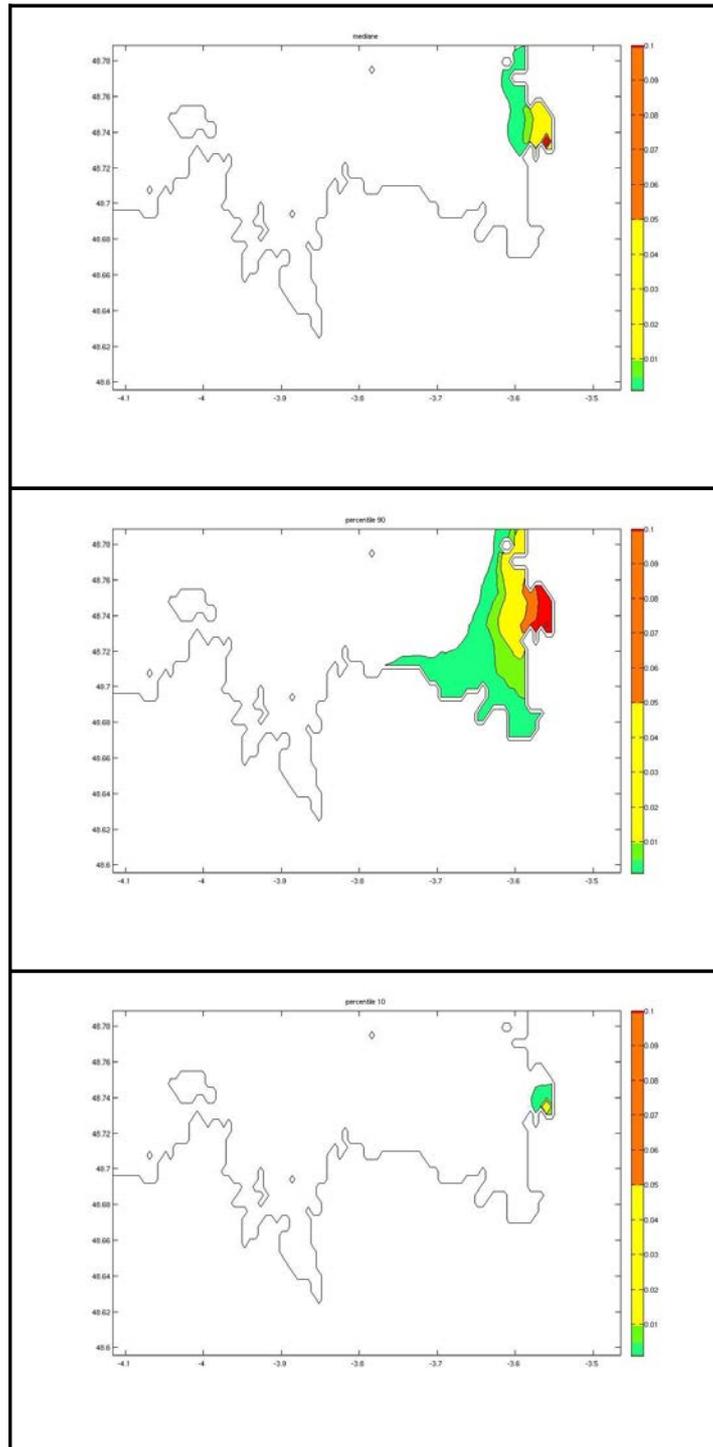


Figure 78: Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu du Léguer.

En période de débit moyen, l'influence marine du Léguer reste localisée principalement près de son embouchure (apports dilués entre 20 et 100 fois pour un débit moyen ; apports dilués moins de 10 fois en période de crue). En période de crue, le panache peut s'étendre plus au sud vers la plage de Saint-Michel mais les apports sont très limités (apports dilués entre 200 et 1000 fois) (figure 78).

### III.7.3.Scénarios d'abattement en nitrate sur le Léguer.

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	24 mg/L	33 mg/L	17 mg/L
50 %	12 mg/L	16,5 mg/L	8,5 mg/L
25 %	6 mg/L	8,25 mg/L	4,25 mg/L
pristine	1,5 mg/L	1,5 mg/L	1,5 mg/L

Tableau 40: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate sur le Léguer pour l'année 2002.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1	0,2	0,3	2,3	6,5
zone 2				
zone 3	0,2	0,3	3	8,5
zone 4	0,2	0,3	2,3	6,5
zone 5	0,2	0,3	3	8,5

Tableau 41: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale et pour chaque zone de dilution en situation médiane.

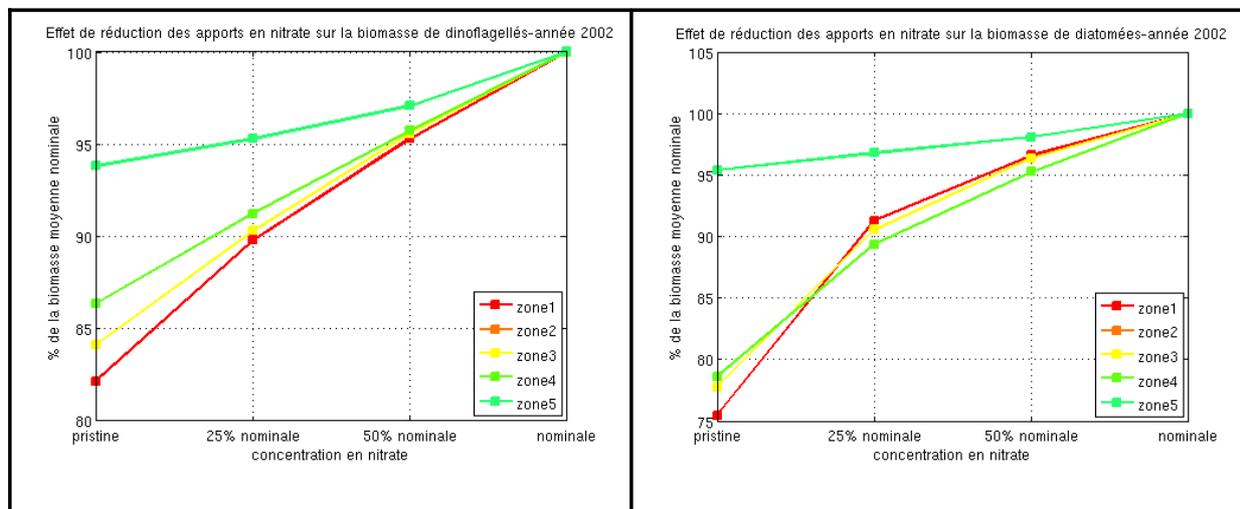


Figure 79: Effet des réductions des apports de nitrate par le Léguer sur la moyenne annuelle de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et pour chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

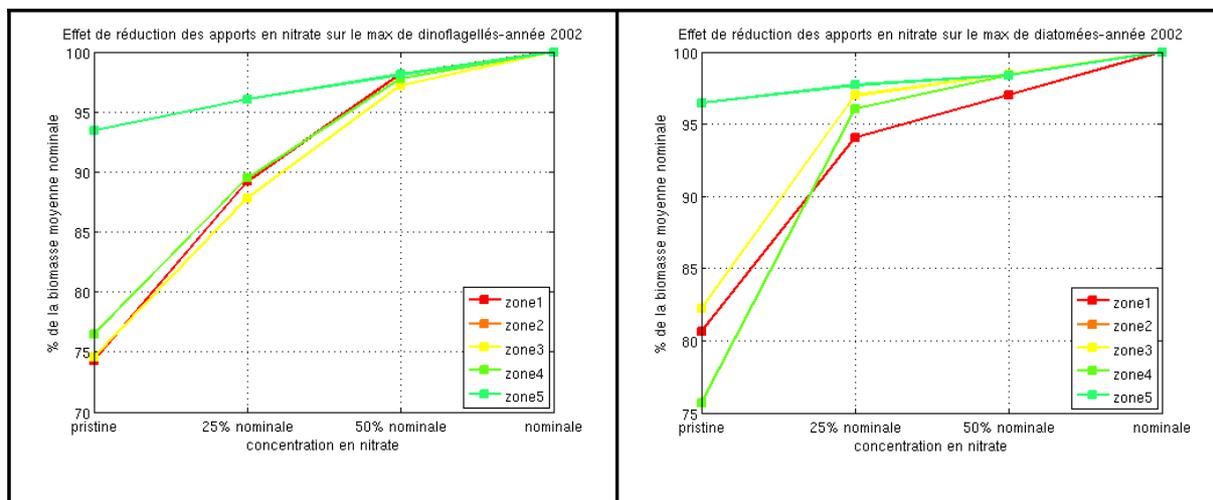


Figure 80: Effet des réductions des apports de nitrate par le Léguer sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

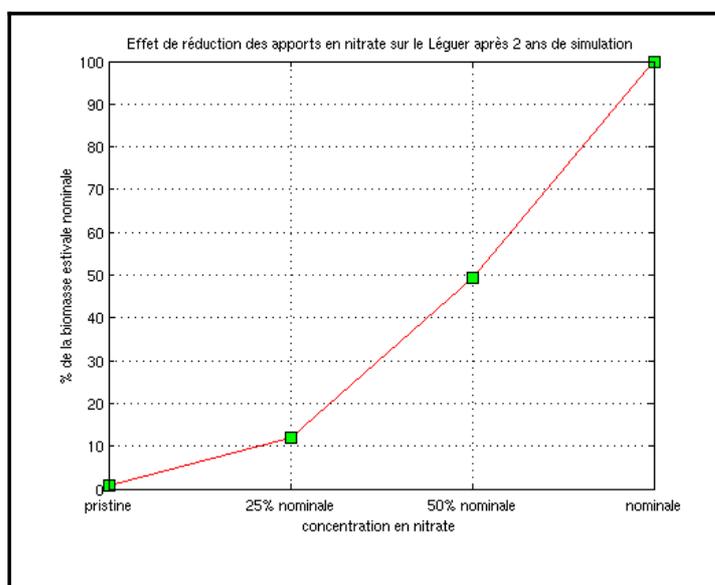


Figure 81: Effet de la réduction des apports en nitrate par le Léguer sur la biomasse estivale d'ulves dans l'estuaire du Léguer.

Une diminution des apports en nitrate du Léguer aurait un impact sensible sur les diatomées et sur les dinoflagellés pour un retour à des rejets pristines (entre 15 et 25 % d'abattement pour les zones les plus proches de l'embouchure-figures 79 et 80).

Un retour à des teneurs pristines entraînerait la disparition quasi-totale des ulves dans l'estuaire du Léguer (figure 81).

## BILAN

Contrairement au cas de la Baie de Saint-Brieuc où il est impossible de désigner spécifiquement une rivière responsable de la marée verte, **il est possible dans le cas de la Baie de Lannion d'individualiser assez clairement les rivières responsables**. En effet, les différents scénarios montrent d'une part que c'est le Yar qui est le principal responsable de la marée verte de la plage de Saint-Michel (plus de 90% d'abattement pour un retour à des rejets pristine); d'autre part que le Douron est responsable de la marée verte en fond de Baie de Locquirec (environ 90 % d'abattement pour un retour à des rejets pristine). De même, une diminution des apports en nitrate sur l'Horn, la Penzé, le Jarlot et le Léguer aurait respectivement un effet très sensible sur les biomasses en ulves à Santec, dans l'estuaire de la Penzé, en Baie de Morlaix et dans l'estuaire du Léguer (plus de 90% d'abattement pour un retour à des teneurs pristines).

En ce qui concerne l'effet sur le phytoplancton, le modèle montre qu'un abattement des apports en nitrate sur la plupart des rivières aura très peu d'effet sur les biomasses de dinoflagellés et diatomées. Notons que les concentrations en dinoflagellés simulées sont faibles (maximum d'environ 0,5 µg/L en Baie de Morlaix). **Seul un abattement supérieur à 75% des apports en nitrate (c'est à dire pour des rejets en nitrate inférieurs à 10 mg/L)** permettrait d'observer une diminution sensible de la biomasse moyenne et du maximum annuel en dinoflagellés et diatomées. Dans ce cas, les diminutions les plus importantes seraient observées pour un abattement des apports en nitrate du Jarlot, de la Penzé et du Léguer.

## IV.ZOOM RADE DE BREST/BAIE DE DOUARNENEZ

### IV.1.Aulne

#### IV.1.1.Présentation du cours d'eau

Par son étendue, l'Aulne est le troisième fleuve breton, venant juste après la Vilaine et le Blavet. Il prend sa source dans les Côtes d'Armor en zone granitique, à la limite du Finistère, avant de traverser les schistes de Chateaulin. Canalisé sur près de la moitié de son parcours (canal de Nantes à Brest), il se jette en fin de course dans le fond de la rade de Brest après avoir décrit de larges méandres.

C'est une rivière de première catégorie piscicole sur sa partie non canalisée. En amont de la partie canalisée, la qualité des eaux est affectée par des rejets de piscicultures. La partie canalisée est eutrophisée. Les étiages sont sévères et l'Aulne reçoit depuis quelques années un soutien en étiage grâce aux lâchers depuis la retenue de Brennilis.

Climat	Pluie efficace cumulée		Pluie efficace cumulée/km <sup>2</sup>		Surface totale	
	960516 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /an		562 mm		1709 km <sup>2</sup>	
Géologie	% granite	% schiste	% micaschiste	% gneiss	% sout.	
	10 %	85 %	0 %	0 %	4.2 %	
Hydrométrie	Module		Débit d'étiage		Débit de crue	
	31 m <sup>3</sup> /s		1.3 m <sup>3</sup> /s		422 m <sup>3</sup> /s	
Sensibilité du site	<i>Marées vertes</i>		indice 3, sud-est de la rade de Brest			
	<i>Phytoplancton</i>		0<indice<2			

Tableau 42: Présentation succincte du bassin versant de l'Aulne.

#### IV.1.2.Zone d'influence du panache de l'Aulne.

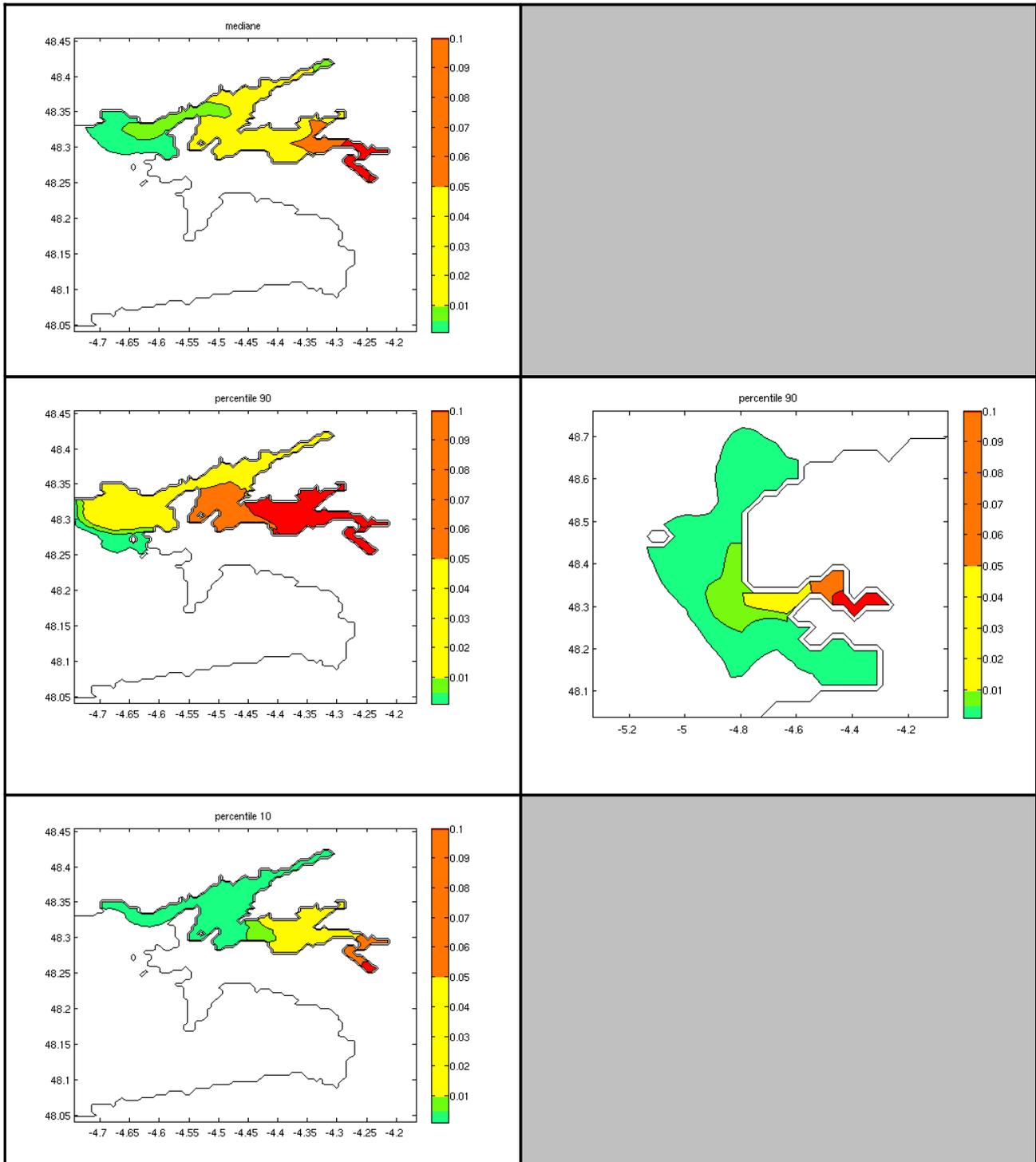


figure 82: Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu de l'Aulne (colonne de droite: percentile 90 obtenu à partir d'une simulation sur le rang 1).

En période de débit moyen, l'Aulne enrichit principalement la partie sud de la Rade de Brest (figure 82). Son estuaire (apports dilués moins de 10 fois) et la zone proche de la rivière de Daoulas (apports dilués 10 et 20 fois) sont les plus enrichies. La partie nord de la rade, notamment l'estuaire de l'Elorn, est enrichie par des apports dilués entre 20 et 100 fois.

En période de crue son influence est très importante dans la partie sud de la rade puisque ses apports sont dilués moins de 10 fois jusqu'à la Pointe de l'Armorique à Plougastel et entre 10 et 20 fois au niveau du centre de la rade.

Son influence s'étend jusqu'en dehors de la rade de Brest où ses apports sont dilués entre 20 et 100 fois à la sortie du goulet et entre 200 et 1000 au niveau des abers voire en Baie de Douranenez (percentile 90 obtenu à partir du rang 1).

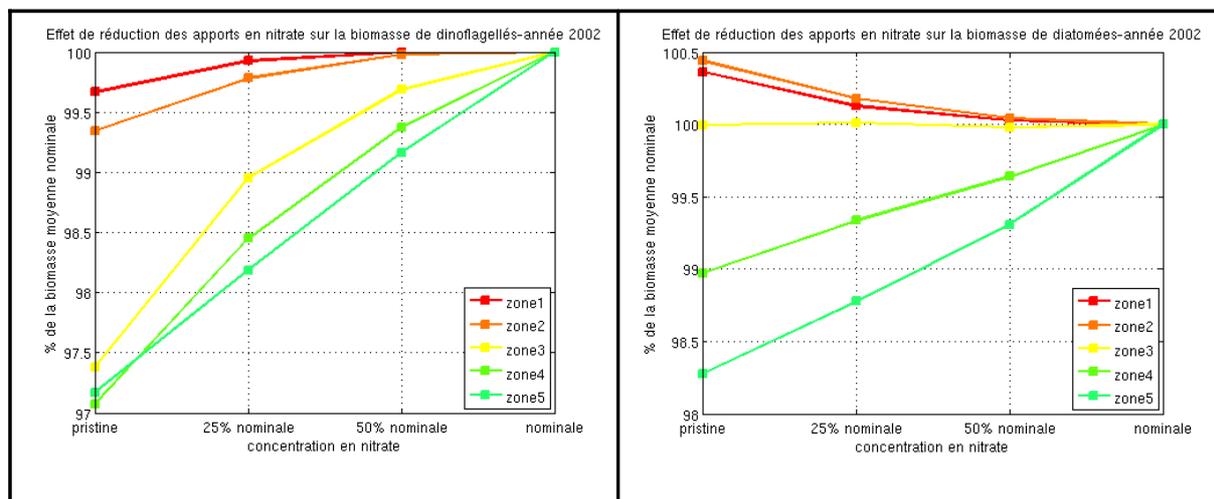
#### IV.1.3.Scénarios d'abattement en nitrate sur l'Aulne.

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	22	31	9
50 %	11	15,5	4,5
25 %	5,5	7,75	2,25
pristine	1,5	1,5	1,5

Tableau 43: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate (mg/L) sur l'Aulne.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1	4,5	17	2,5	12
zone 2	3	10	1,9	11
zone 3	2,5	8	2,5	8
zone 4	1	4.5	3	5
zone 5	1	2,5	2	4

Tableau 44: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées (µg/L) en situation nominale et pour chaque zone de dilution en situation médiane.



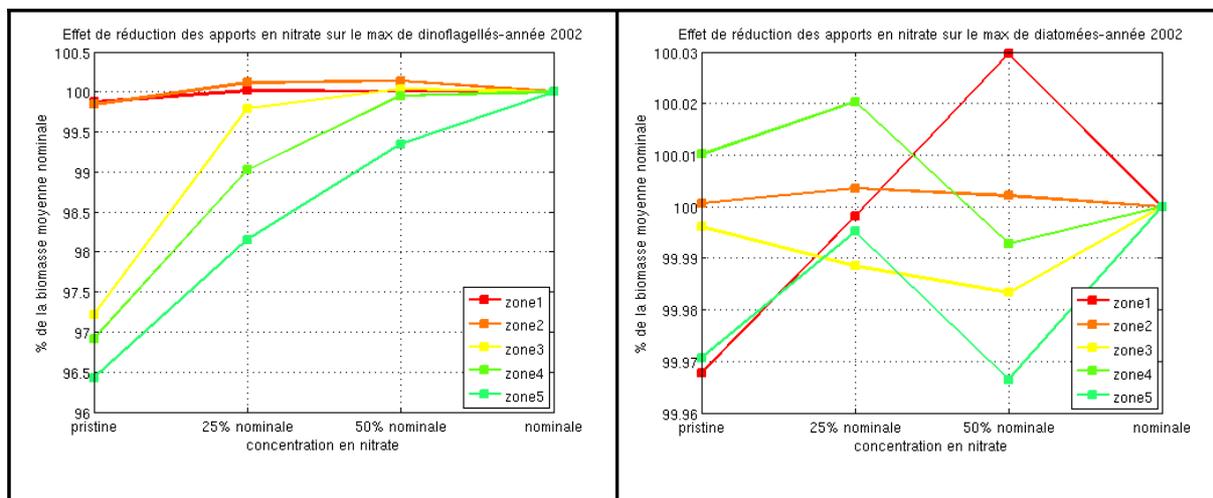


Figure 84: Effet des réductions des apports de nitrate par l'Aulne sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

Une diminution des apports en nitrate de l'Aulne aurait très peu d'impact sur le phytoplancton (diatomées et dinoflagellés) (figures 83 et 84). Dans le cas des dinoflagellés, ceci peut sans doute être expliqué par le fait que le phosphore est très limitant tout au long de l'année (excepté en fin d'été où c'est le nitrate qui le devient) et qu'une diminution même importante des apports en nitrate aurait très peu d'effet sur les limitations en nutriments (le phosphore resterait ainsi limitant).

Les apports en nitrate de l'Aulne n'auraient quasiment aucun effet sur la marée verte de la plage du Moulin Blanc à Brest.

## IV.2.Elorn

### IV.2.1.Présentation du cours d'eau

L'Elorn est le bassin le plus important du Nord Finistère. Il prend sa source dans les Monts d'Arrée et se jette au Nord-Est de la rade de Brest. Il alimente sur son passage la retenue du Drennec, ouvrage qui permet le soutien des étiages en été, et depuis quelques années la dilution de la pollution azotée provenant des affluents de la rive Nord (rive droite surtout, pays du Léon). En effet, la station de pompage de Pont ar Bled (partie aval) assure l'alimentation en eau potable de la région de Brest ; d'un rôle purement quantitatif (soutien des étiages et de l'alimentation en eau), le barrage du Drennec a pris désormais un rôle qualitatif. De plus, on note une dégradation de la qualité physicochimique au niveau des rejets d'industries agro-alimentaires de Landivisiau. Sur le linéaire du cours de l'Elorn, la teneur en nitrate triple : elle est jugée globalement mauvaise à très mauvaise. Pour le phosphore, la qualité n'est pas trop dégradée (bonne à moyenne).

Climat	Pluie efficace cumulée		Pluie efficace cumulée/km <sup>2</sup>		Surface totale	
	219491 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /an		669 mm		328.3 km <sup>2</sup>	
Géologie	% granite	% schiste	% micaschiste	% gneiss	% sout.	
	11 %	60 %	8 %	20 %	18 %	
Hydrométrie	Module		Débit d'étiage		Débit de crue	
	7.3 m <sup>3</sup> /s		1.3 m <sup>3</sup> /s		64 m <sup>3</sup> /s	
Sensibilité du site	<i>Marées vertes</i>		indice 7 dans l'anse du Moulin Blanc, rade de Brest			
	<i>Phytoplancton</i>		2<indice<5			

Tableau 45: Présentation succincte du bassin versant de l'Elorn.

#### IV.2.2.Zone d'influence du panache de l'Elorn.

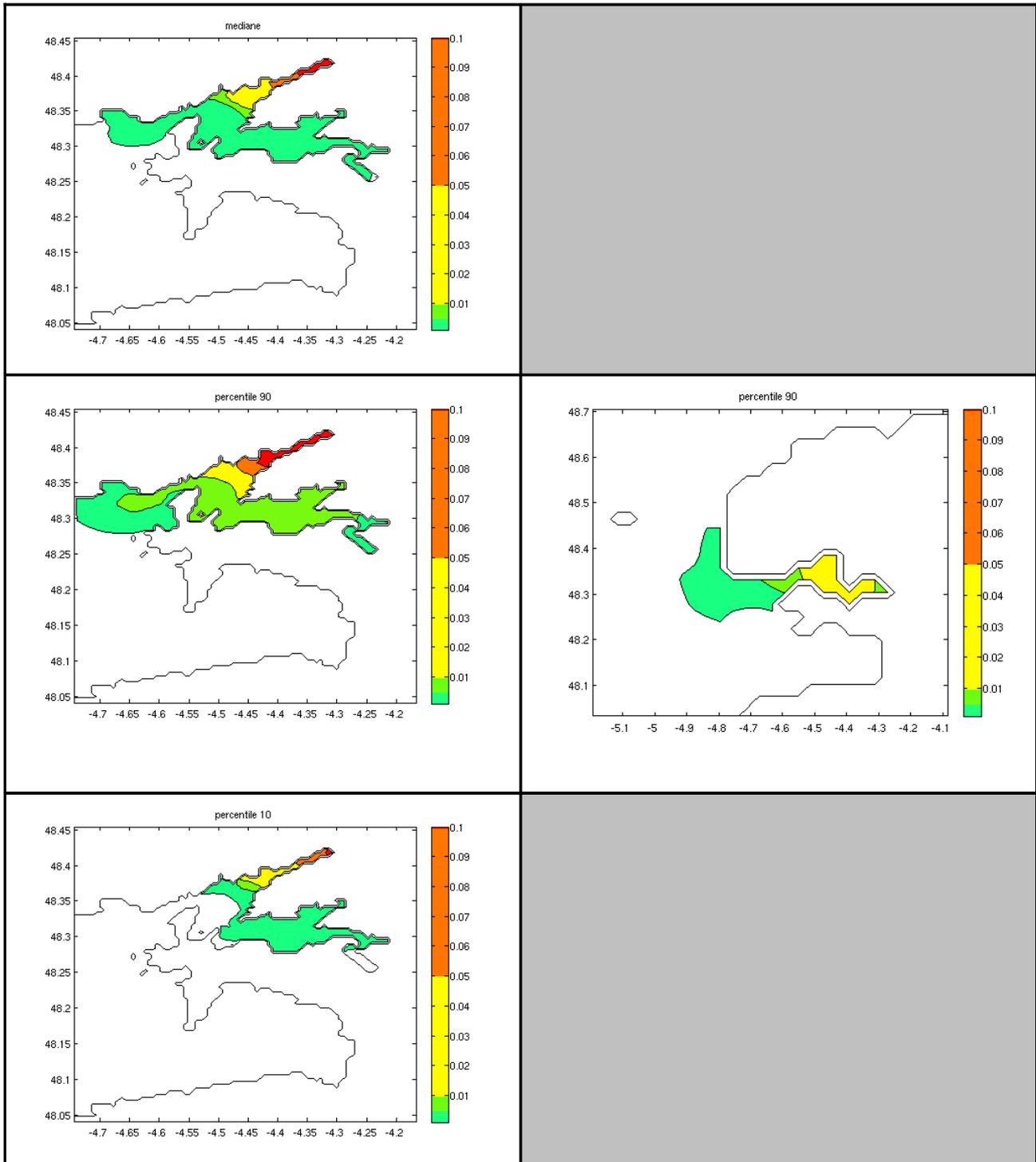


figure 85: Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu de l'Elorn (colonne de droite; percentile 90 obtenu à partir d'une simulation sur le rang 1).

L' Elorn enrichit principalement la partie nord de la rade de Brest et a assez peu d'influence sur la partie sud (figure 85-apports dilués entre 200 et 1000 fois en période de débit moyen et dilués entre 100 et 200 fois en période de crue). La zone la plus impactée est son embouchure où ses apports sont dilués entre 20 et 100 fois en débit moyen et entre 10 et 20 fois en période de crue. Son influence peut également s'étendre jusqu'aux abers en période de crue (figure 85 (colonne de droite) dilution des apports entre 200 et 1000 fois).

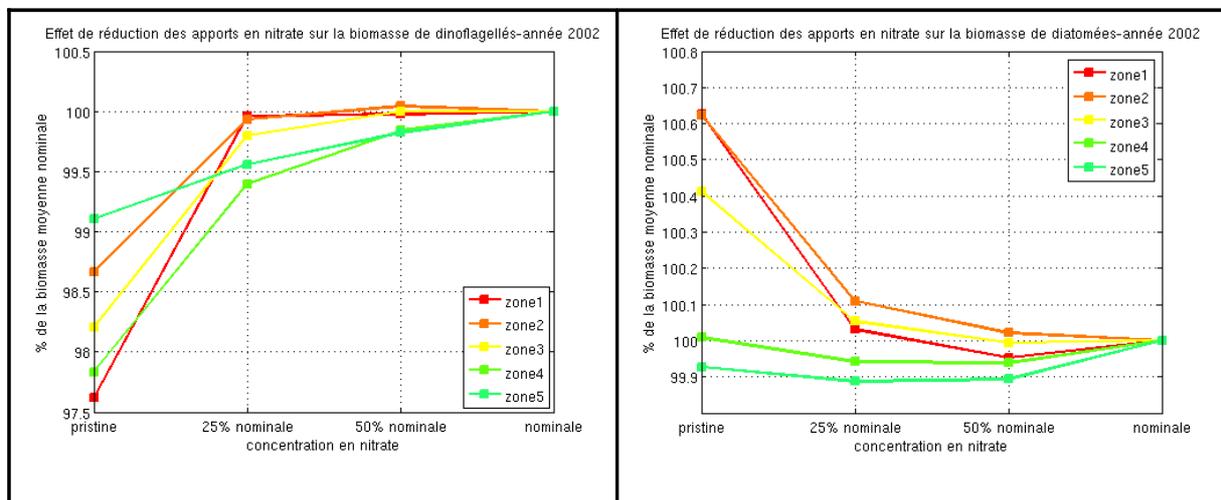
#### IV.2.3.Scénarios d'abattement en nitrate sur l'Elorn.

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	32	43	20
50 %	16	21,5	10
25 %	8	10,75	5
pristine	1,5	1,5	1,5

Tableau 46: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate (mg/L) sur l'Elorn.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1	6,5	22	2,5	12
zone 2	5	17,5	3,5	11
zone 3	3	10	3	9,5
zone 4	2	8	2,5	6,5
zone 5	2	6,5	2,5	6,5

Tableau 47: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale et pour chaque zone de dilution en situation médiane.



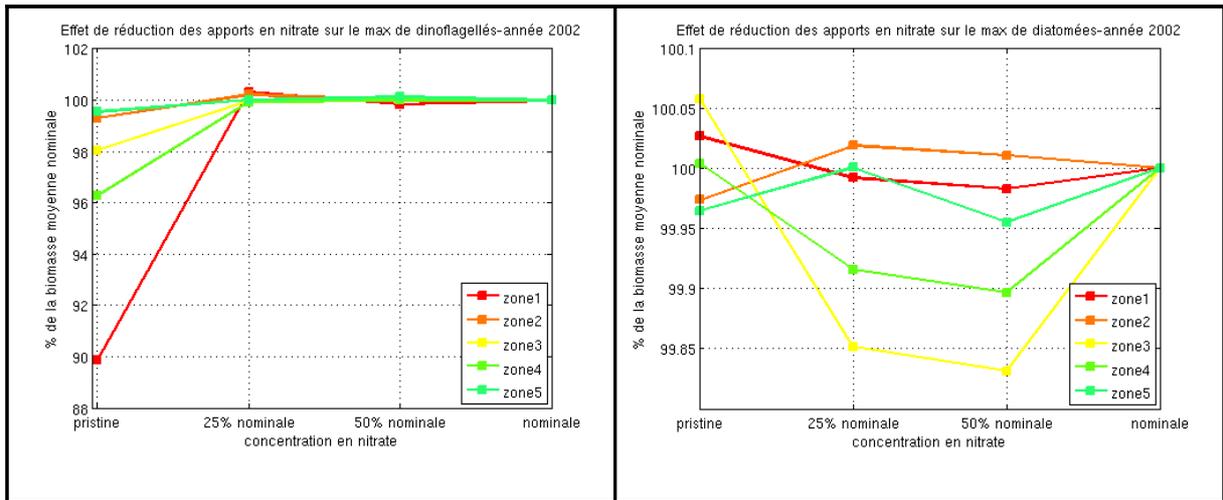


Figure 87: Effet des réductions des apports de nitrate par l'Elorn sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

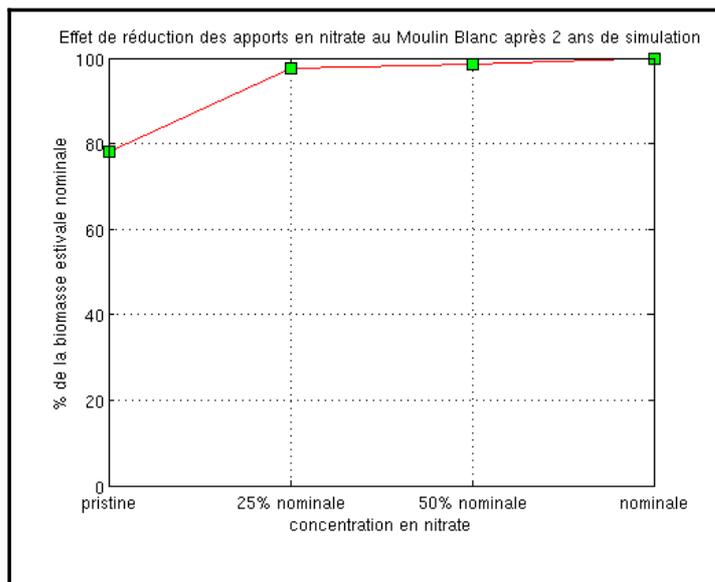


Figure 88: Effet de la réduction des apports en nitrate par l'Elorn sur la biomasse estivale d'ulves au Moulin Blanc.

Comme dans le cas de l'Aulne, une diminution des apports en nitrate de l'Elorn aurait assez peu d'effet sur les dinoflagellés et les diatomées (figures 86 et 87). Seul un retour à des teneurs pristines permettrait d'observer un abattement de plus de 10% du maximum de dinoflagellés dans l'estuaire de l'Elorn.

En ce qui concerne la marée verte du Moulin Blanc (figure 88), seul un retour à des teneurs d'environ 1,5 mg/L entraînerait une diminution d'environ 20% de la biomasse en ulves.

### IV.3.Mignonne

#### IV.3.1.Présentation du cours d'eau

<b>Climat</b>	<b>Pluie efficace cumulée</b>		<b>Pluie efficace cumulée/km<sup>2</sup></b>	<b>Surface totale</b>	
	67838 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /an		644 mm	105.31 km <sup>2</sup>	
<b>Géologie</b>	<b>% granite</b>	<b>% schiste</b>	<b>% micaschiste</b>	<b>% gneiss</b>	<b>% sout.</b>
	0%	100%	0%	0%	
<b>Hydrométrie</b>	<b>Module</b>		<b>Débit d'été</b>		<b>Débit de crue</b>
	2,1 m <sup>3</sup> /s		0,20 m <sup>3</sup> /s		28 m <sup>3</sup> /s
<b>Sensibilité du site</b>	<i>Marées vertes</i>	non observé			
	<i>Phytoplancton</i>	0 < indice < 2			

Tableau 48: Présentation succincte du bassin versant de la Mignonne.

#### IV.3.2.Zone d'influence du panache de la Mignonne.

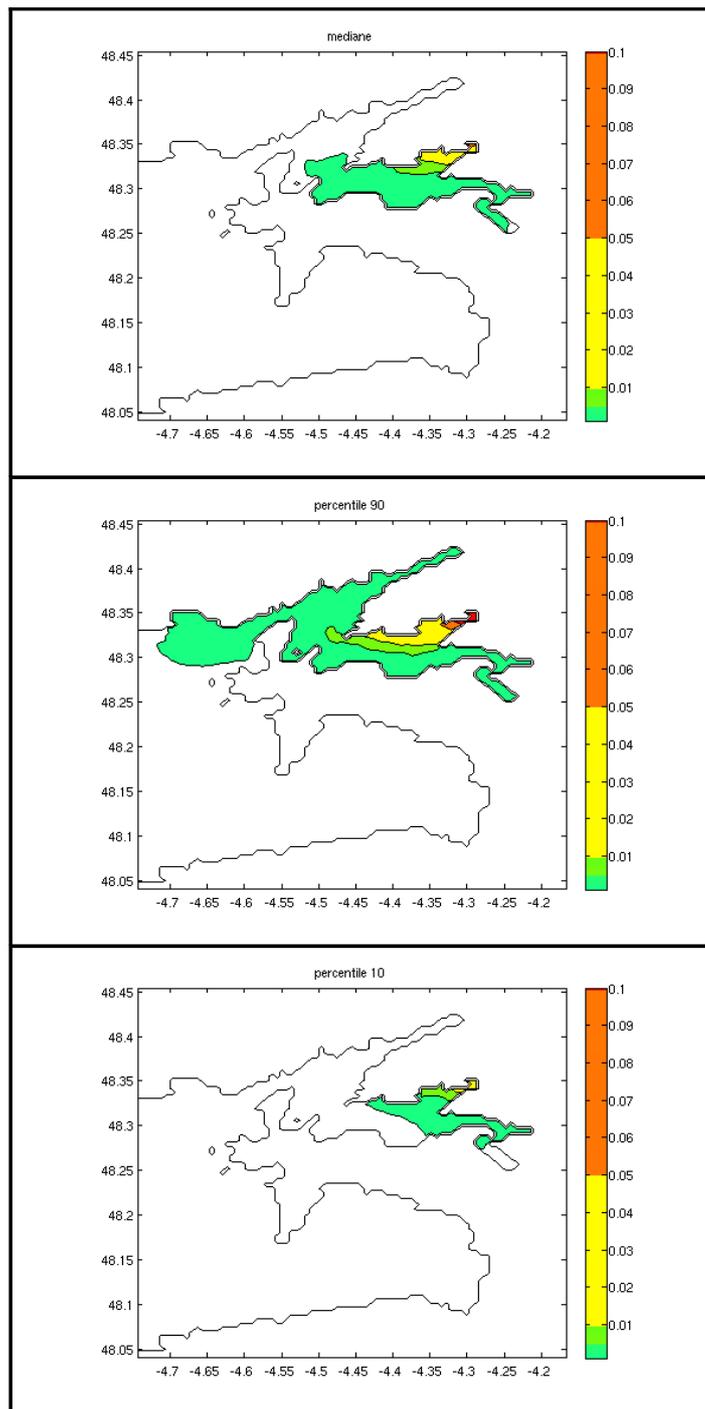


Figure 89: Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu de la Mignonne.

Quel que soit son débit, la Mignonne enrichit principalement la baie de Logonna-Daoulas (apports dilués entre 20 et 100 fois en période de crue-figure 89 percentile 90). Elle a très peu d'influence sur la partie nord de la rade (apports dilués entre 200 et 1000 fois).

### IV.3.3.Scénarios d'abattement en nitrate sur la Mignonne.

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	21	25	13
50 %	10,5	12,5	6,5
25 %	5,25	6,25	3,25
pristine	1,5	1,5	1,5

Tableau 49: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate (mg/L) sur la Mignonne.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1	5	13,5	2,5	16
zone 2	5	14,5	4	17,5
zone 3	4,5	13	4	14,5
zone 4	3,5	10,5	3,5	12
zone 5	2,5	9	2,5	8

Tableau 50: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale et pour chaque zone de dilution en situation médiane.

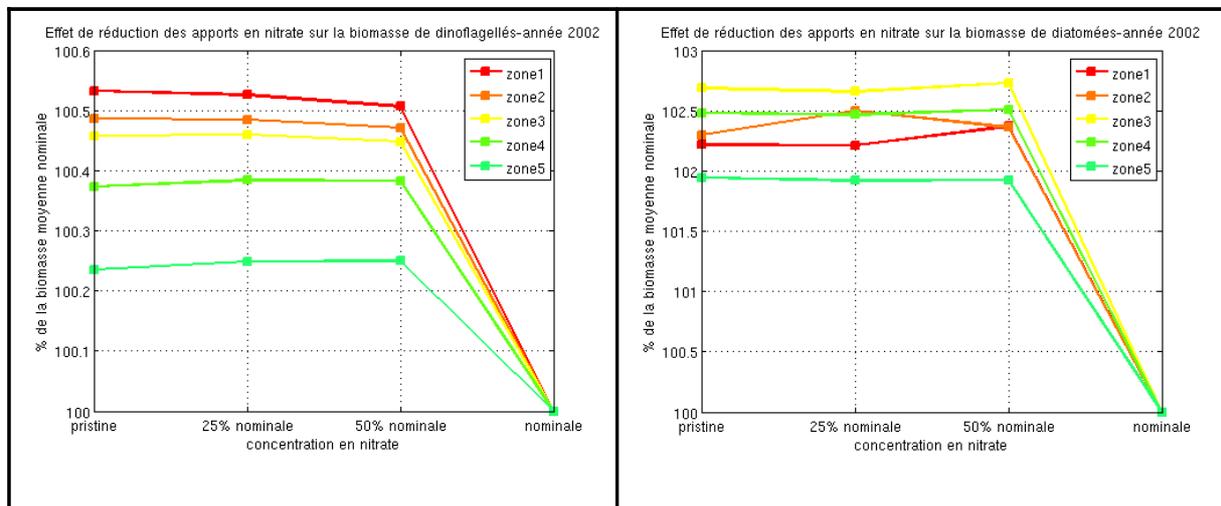


Figure 90: Effet des réductions des apports de nitrate par la Mignonne sur la moyenne annuelle de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et pour chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

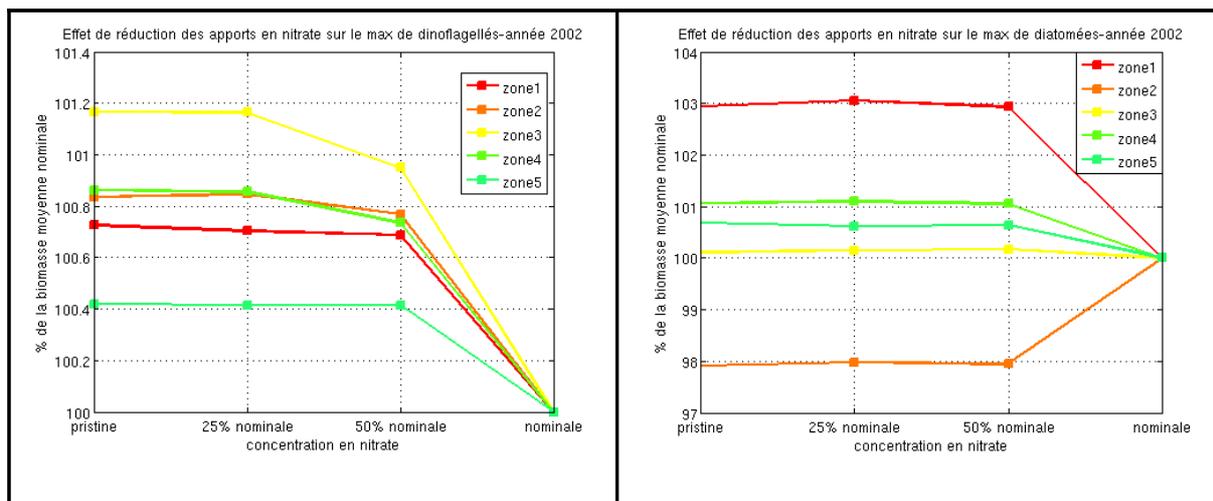


Figure 91: Effet des réductions des apports de nitrate par la Mignonne sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

L'embouchure de la Mignonne est très proche de celle de l'Aulne qui enrichit fortement sa zone d'influence marine. Par conséquent, une réduction des apports en nitrate n'a aucun impact sur le phytoplancton (figures 90 et 91).

Une diminution des apports en nitrate de la Mignonne n'aurait aucun effet sur la marée verte du Moulin Blanc.

## IV.4.Lapic

### IV.4.1.Présentation du cours d'eau

Le Lapic draine un bassin versant de 45 km<sup>2</sup> et se jette en fond de Baie de Douarnenez. Son débit pour l'année 2002 est en moyenne de 0.4 m<sup>3</sup>/s et va de 0.1 m<sup>3</sup>/s en période d'étiage à 1 m<sup>3</sup>/s en période de crue. La teneur moyenne du Kerharo en nitrate pour l'année 2002 est de 46 mg/L.

### IV.4.2.Zone d'influence du panache du Lapic.

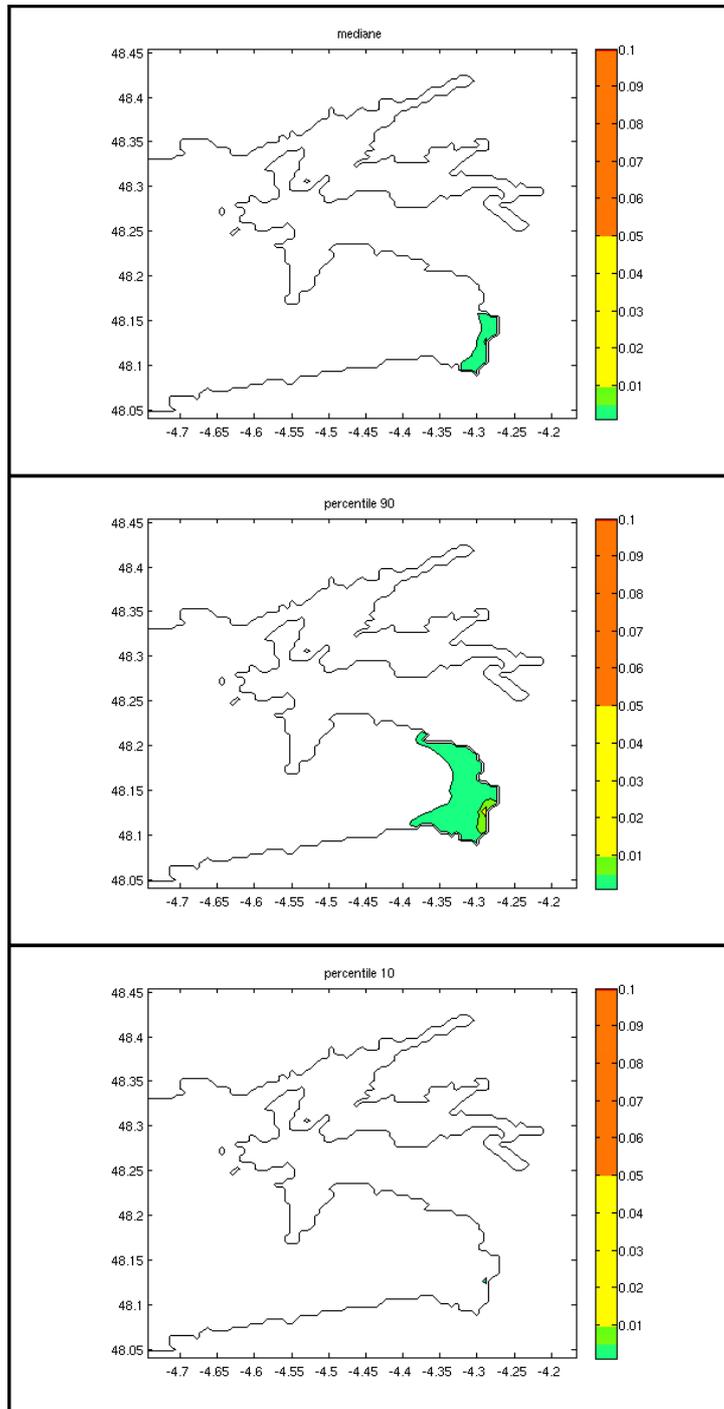


Figure 92: Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu du Lapic.

De part son débit très faible, l'influence du Lopic est strictement localisée en fond de Baie de Douarnenez. Ses apports sont dilués moins de 100 fois dans une zone extrêmement proche de son exutoire (figure 92).

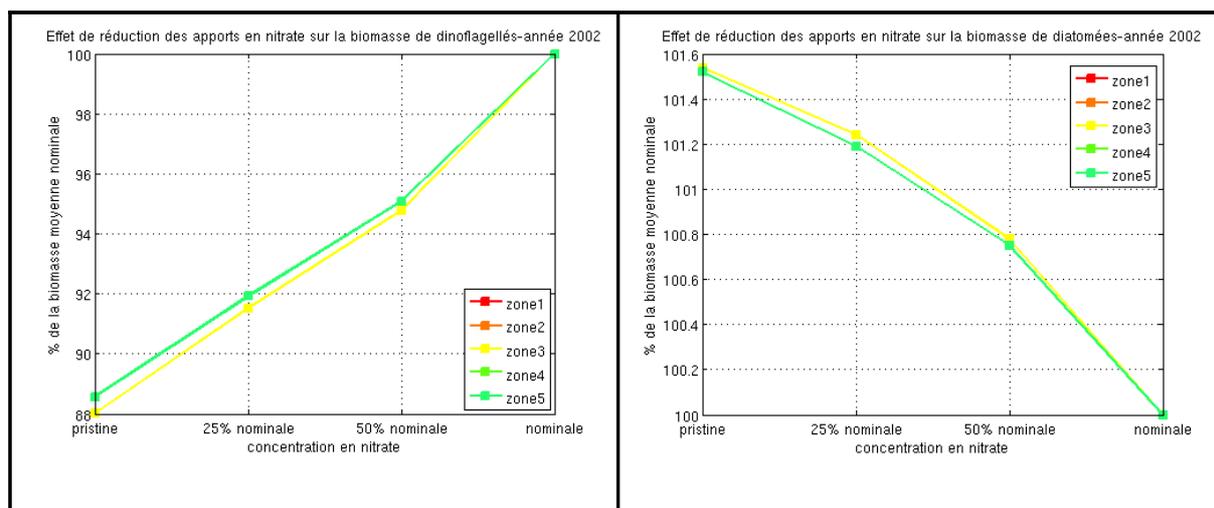
#### IV.4.3.Scénarios d'abattement en nitrate sur le Lopic.

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	38	53	17
50 %	19	26,5	8,5
25 %	9,5	13,25	4,25
pristine	1,5	1,5	1,5

Tableau 51: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate (mg/L) sur le Lopic.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1				
zone 2				
zone 3	1	3	2	6,5
zone 4				
zone 5	1	3	3	8

Tableau 52: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale et pour chaque zone de dilution en situation médiane.



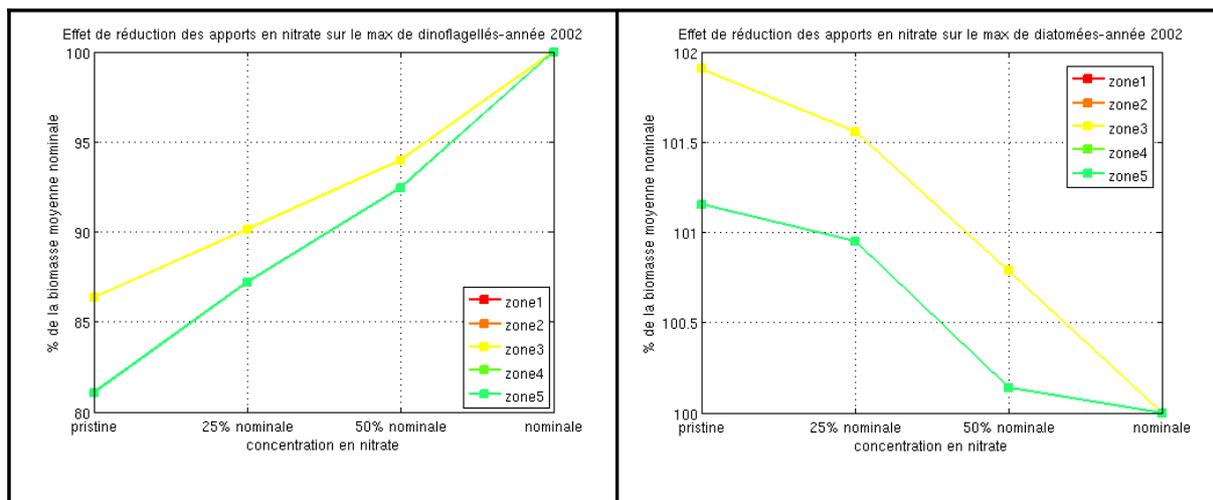


Figure 94: Effet des réductions des apports de nitrate par le Laptic sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

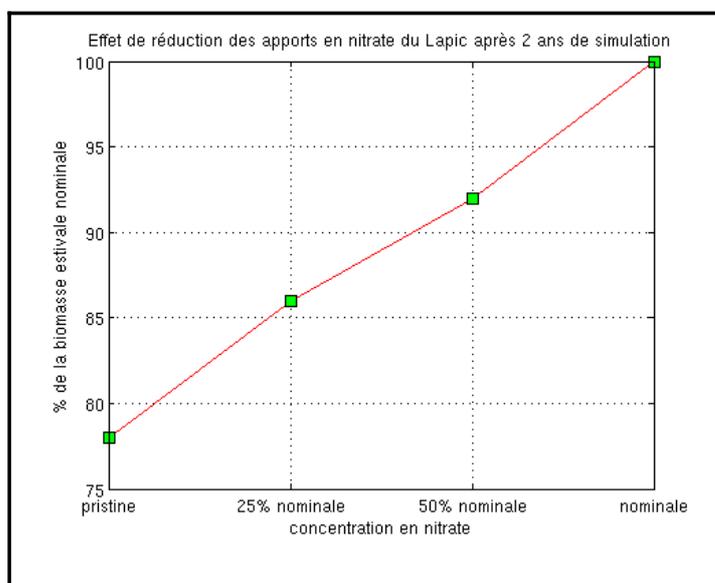


Figure 95: Effet de la réduction des apports en nitrate par le Laptic sur la biomasse estivale d'ulves en fond de Baie de Douarnenez.

Une réduction des apports en nitrate du Laptic n'a aucun effet sur les diatomées (figures 93 et 94). L'effet est un peu plus sensible sur les dinoflagellés (figures 93 et 94). Un retour à des teneurs de l'ordre de 1,5 mg/L entraînerait une diminution d'environ 12% de la biomasse moyenne et d'environ 15% de la biomasse maximum.

En ce qui concerne l'effet sur les ulves, une diminution des apports jusqu'à 1,5 mg/L entraînerait une diminution d'environ 20% de la marée verte en fond de Baie de Douarnenez (figure 95).

## IV.5.Kerharo

### IV.5.1.Présentation du cours d'eau

Le Kerharo draine un bassin versant de 45 km<sup>2</sup> essentiellement agricole et se jette en fond de Baie de Douarnenez. Son débit pour l'année 2002 est en moyenne de 0.7 m<sup>3</sup>/s et va de 0.1m<sup>3</sup>/s en période d'étiage à 2 m<sup>3</sup>/s en période de crue. La teneur moyenne du Kerharo en nitrate pour l'année 2002 est de 35 mg/L.

### IV.5.2.Zone d'influence du panache du Kerharo.

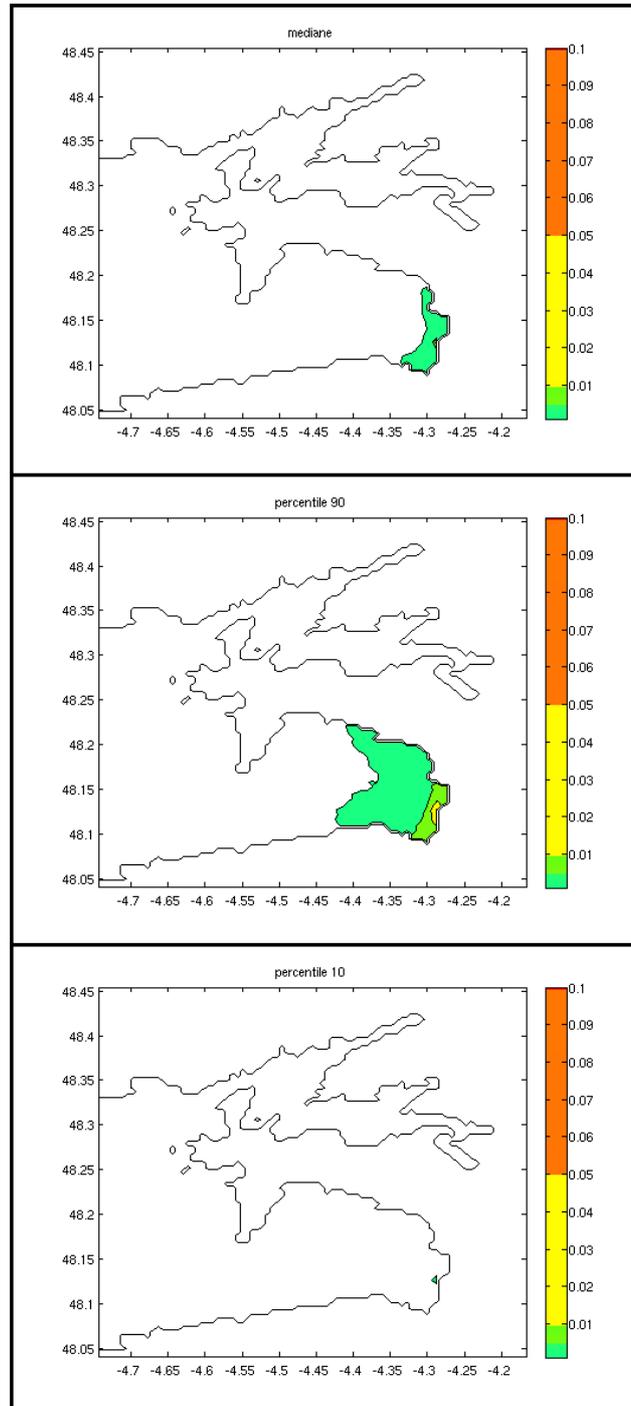


Figure 96: Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu du Kerharo.

L'influence marine du Kerharo est quasiment similaire à celle du Lapic (figure 96). Pour les simulations effectuées, leurs débits et leur point de rejet sont très proches. La zone proche de son embouchure est cependant plus enrichie (apports dilués entre 20 et 100 fois en période de crue; apports dilués entre 100 et 200 fois dans le cas du Lapic)

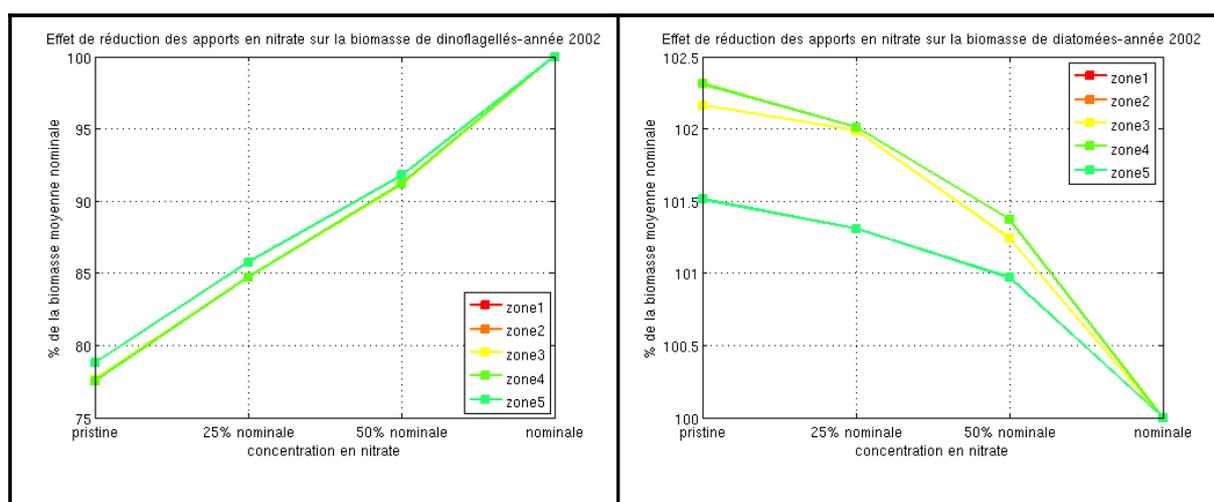
#### IV.5.3.Scénarios d'abattement en nitrate sur le Kerharo.

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	39	50	20
50 %	19,5	25	10
25 %	9,75	12,5	5
pristine	1,5	1,5	1,5

Tableau 53: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate (mg/L) sur le Kerharo.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1				
zone 2				
zone 3	1	3	2	6,5
zone 4	1	3	3	7
zone 5	1	3	3	8

Tableau 54: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées (µg/L) en situation nominale et pour chaque zone de dilution en situation médiane.



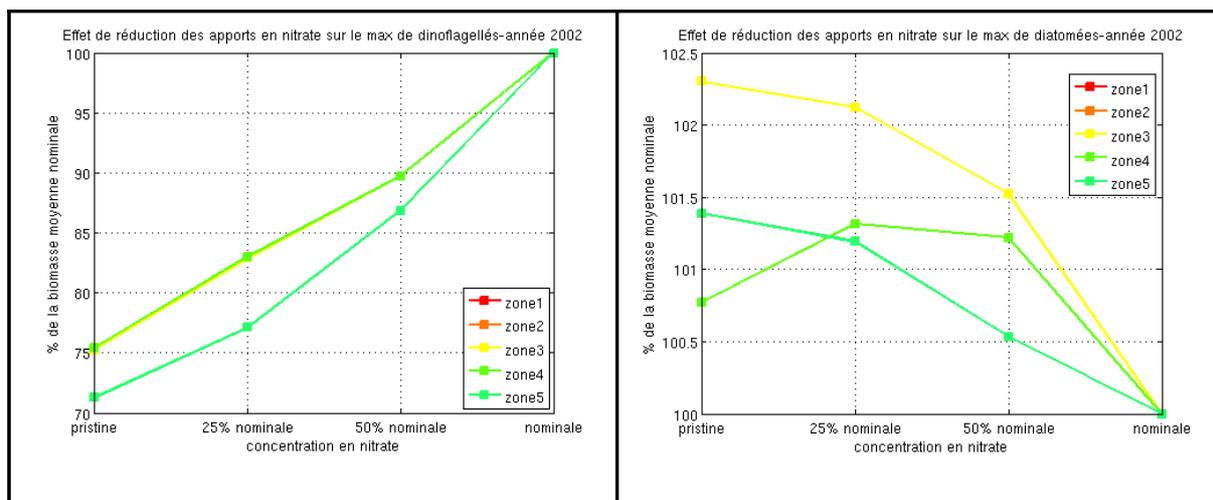


Figure 98: Effet des réductions des apports de nitrate par le Kerharo sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

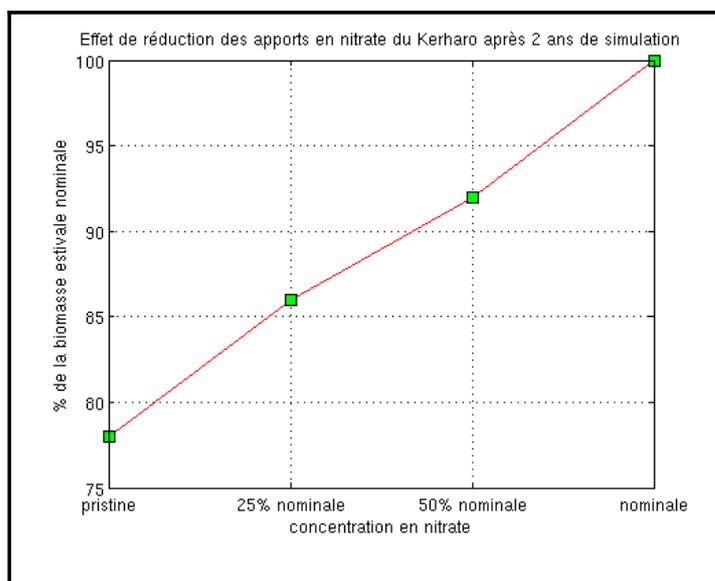


Figure 99: Effet de la réduction des apports en nitrate par le Kerharo sur la biomasse estivale d'ulves en fond de Baie de Douarnenez.

Comme pour le Lapic, une réduction des apports en nitrate du Kerharo n'a aucun effet sur les diatomées (figures 97 et 98). L'effet est un peu plus sensible sur les dinoflagellés (figures 97 et 98). Un retour à des teneurs de l'ordre de 1,5 mg/L entraînerait une diminution d'environ 20% de la biomasse moyenne et d'environ 25% de la biomasse maximum.

En ce qui concerne l'effet sur les ulves, une diminution des apports jusqu'à 1,5 mg/L entraînerait une diminution d'environ 22% de la marée verte en fond de Baie de Douarnenez (figure 99).

## BILAN

A la vue des panaches de dilution, on observe que les 3 principales rivières de la Rade de Brest n'ont quasiment aucune influence sur la Baie de Douarnenez. Cette dernière reçoit des apports des différents cours d'eau du fond de baie (Lapic, Kerharo...), ainsi que de la Loire, et à un degré moindre, de la Vilaine et du Blavet.

Une diminution des apports en nitrate de n'importe quelle rivière n'a aucun effet sur les diatomées. De même, une diminution des apports de la part de n'importe quelle rivière de la rade de Brest a très peu d'effet sur les dinoflagellés (l'effet le plus sensible est observé pour une diminution des apports en nitrate de l'Elorn). L'impact semble être plus sensible pour une diminution d'une des rivières de la Baie de Douarnenez puisqu'une diminution des apports du Lapic ou du Kerharo jusqu'à 1,5 mg/L entraîne une réduction d'environ 15% de la biomasse en dinoflagellés.

Les apports du Kerharo et du Lapic sembleraient avoir autant d'importance sur la marée verte du fond de Baie de Douarnenez. En effet, on observe une réduction d'environ 20% de la marée verte pour un retour à 1,5 mg/L de la part de l'une ou l'autre des rivières.

Une diminution des apports en nitrate de l'Aulne n'aurait quasiment aucun effet sur la marée verte du Moulin Blanc (moins de 1% d'abattement pour un retour à des rejets en nitrate de 1,5 mg/L). Une diminution des apports en nitrate de l'Elorn entraînerait un abattement de 20% de la biomasse des ulves en dépôt sur la plage du Moulin Blanc.

**Le rôle du phosphore a été brièvement abordé en observant l'abattement sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés. On note qu'un retour simultané à des teneurs pristines en nitrate et en phosphate pour l'Elorn aurait un impact non négligeable sur les dinoflagellés (abattement de 50% du maximum pour la zone la plus proche de l'estuaire). L'abattement serait beaucoup moins sensible en ce qui concerne l'Aulne (abattement de 20% du maximum pour la zone la plus proche de l'estuaire).**

## V. ZOOM BRETAGNE SUD

### V.1.Odet

#### V.1.1.Présentation du cours d'eau.

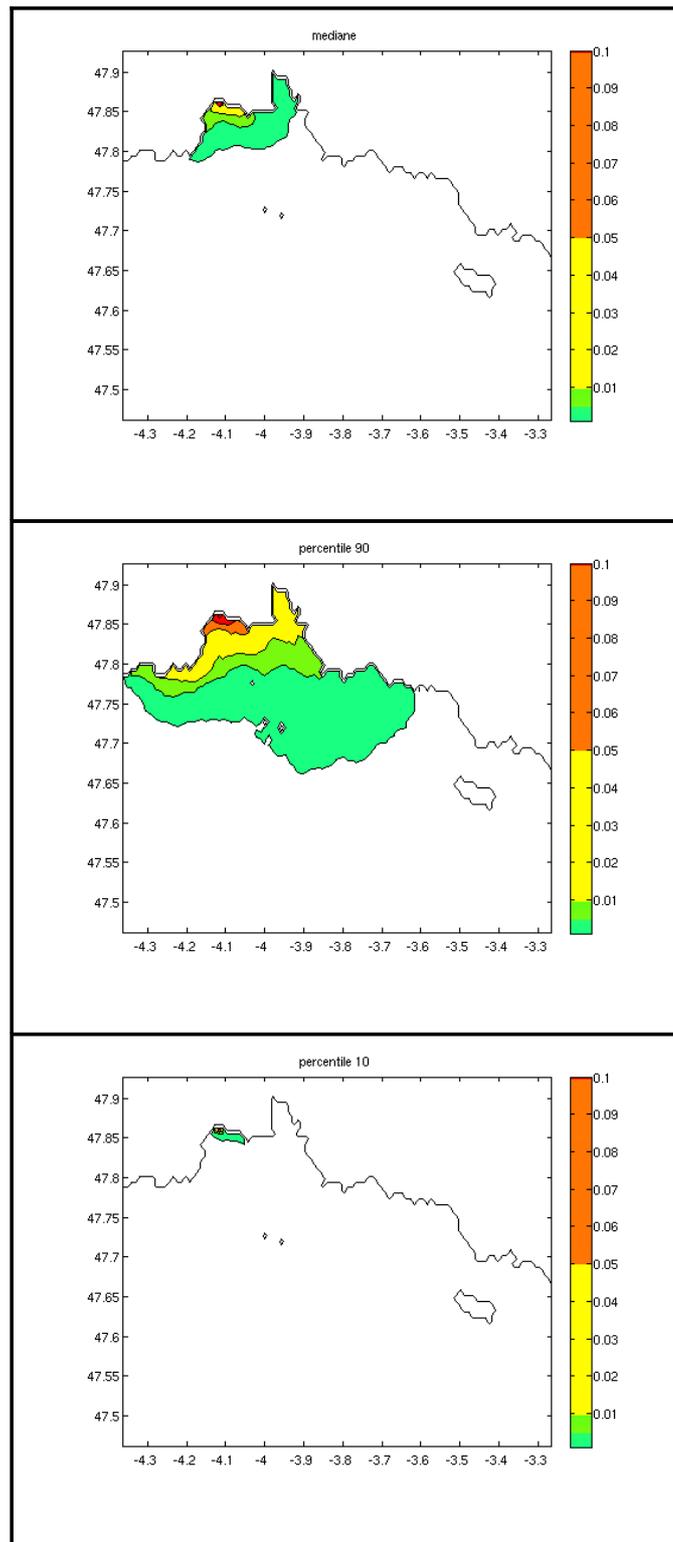
L'Odet prend sa source dans la Montagne Noire, et draine un bassin schisteux. Dans sa partie aval, il reçoit le Jet puis le Steir. Le point de salinité nulle se situe à Quimper, que l'on peut considérer comme l'exutoire. Ensuite, l'Odet emprunte un estuaire très allongé avant de se jeter dans l'anse de Bénodet.

La qualité relative aux paramètres nitrate et phosphore est globalement mauvaise.

Climat	Pluie efficace cumulée		Pluie efficace cumulée/km <sup>2</sup>		Surface totale	
	361413 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /an		612 mm		590.37 km <sup>2</sup>	
Géologie	% granite	% schiste	% micaschiste	% gneiss	% sout.	
	15 %	52 %	30 %	1 %	9 %	
Hydrométrie	Module		Débit d'étiage		Débit de crue	
	15.2 m <sup>3</sup> /s		1.4 m <sup>3</sup> /s		220 m <sup>3</sup> /s	
Sensibilité du site	<i>Marées vertes</i>		non signalé			
	<i>Phytoplancton</i>		0<indice<2			

Tableau 55: Présentation succincte du bassin versant de l'Odet.

### V.1.2.Zone d'influence du panache de l'Odet.



*Figure 100: Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu de l'Odet.*

L'influence marine de l'Odet est principalement localisée dans l'anse de Bénodet pour un débit moyen (figure 100). En période de crue, son influence peut s'étendre jusqu'à la Baie de Concarneau où ses apports sont alors dilués entre 20 et 100 fois. En période d'étiage, le panache s'étend très peu et reste localisé dans l'anse de Bénodet à proximité de l'embouchure.

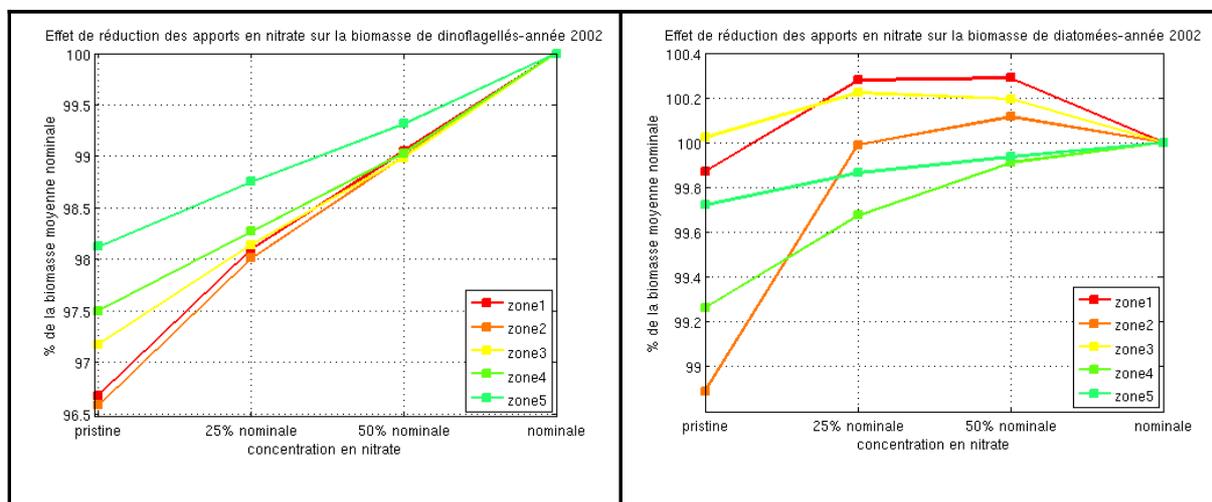
### V.1.3.Scénarios d'abattement en nitrate sur l'Odét.

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	27 mg/L	34 mg/L	13 mg/L
50 %	13,5 mg/L	17 mg/L	6,5 mg/L
25 %	6,75 mg/L	8,5 mg/L	3,25 mg/L
pristine	1,5 mg/L	1,5 mg/L	1,5 mg/L

Tableau 56: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate sur l'Odét pour l'année 2002.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1	0,3	2	2,5	12
zone 2	0,3	2	2,5	9,5
zone 3	0,3	2	4	12
zone 4	0,3	2	4	12
zone 5	0,3	2	4	12

Tableau 57: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale et pour chaque zone de dilution en situation médiane.



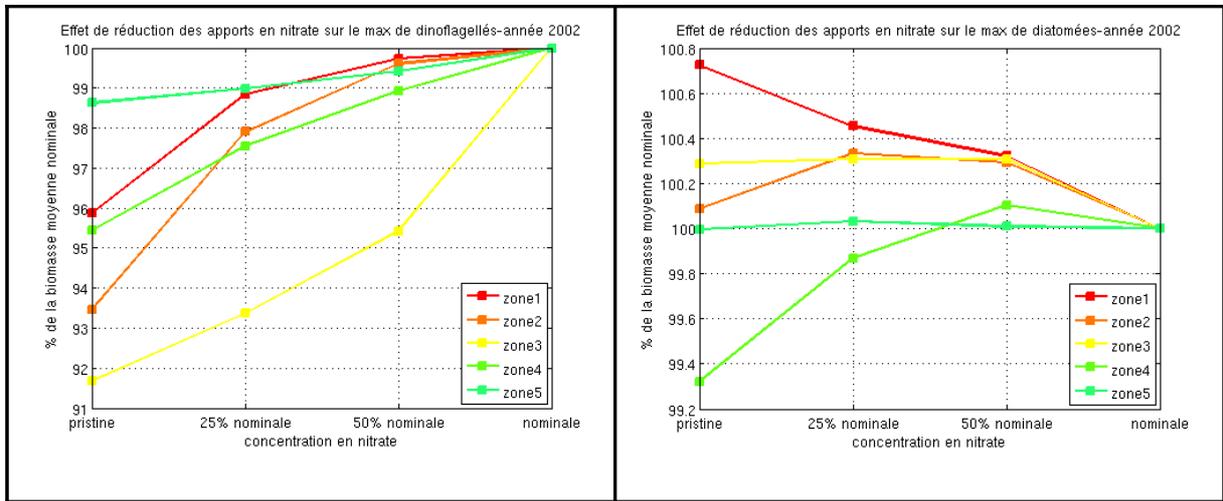


Figure 102: Effet des réductions des apports de nitrate par l'Odet sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

Une diminution des apports en nitrate de l'Odet a très peu d'effet sur les dinoflagellés et les diatomées (figures 101 et 102). On note un abattement d'environ 10% de la moyenne annuelle et du maximum de dinoflagellés pour un retour à des rejets d'environ 6 mg/L ce qui correspond à un abattement d'environ 75% des rejets actuels). L'Odet a également très peu d'effet sur la marée verte de la Baie de Concarneau puisqu'un retour des rejets en nitrate à 1,5 mg/L entraîne un abattement d'environ 4% de la biomasse en ulves.

## V.2.Aven

### V.2.1.Présentation du cours d'eau.

Climat	Pluie efficace cumulée		Pluie efficace cumulée/km <sup>2</sup>		Surface totale
	116803 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /an		588 mm		198.62 km <sup>2</sup>
Géologie	% granite	% schiste	% micaschiste	% gneiss	% sout.
	55%	45%	0%	0%	
Hydrométrie	Module		Débit d'été		Débit de crue
	4.1 m <sup>3</sup> /s		0.63 m <sup>3</sup> /s		45.6 m <sup>3</sup> /s
Sensibilité du site	<i>Marées vertes</i>		non observé		
	<i>Phytoplancton</i>		2 < indice < 5		

Tableau 58: Présentation succincte du bassin versant de l'Aven.

### V.2.2.Zone d'influence du panache de l'Aven.

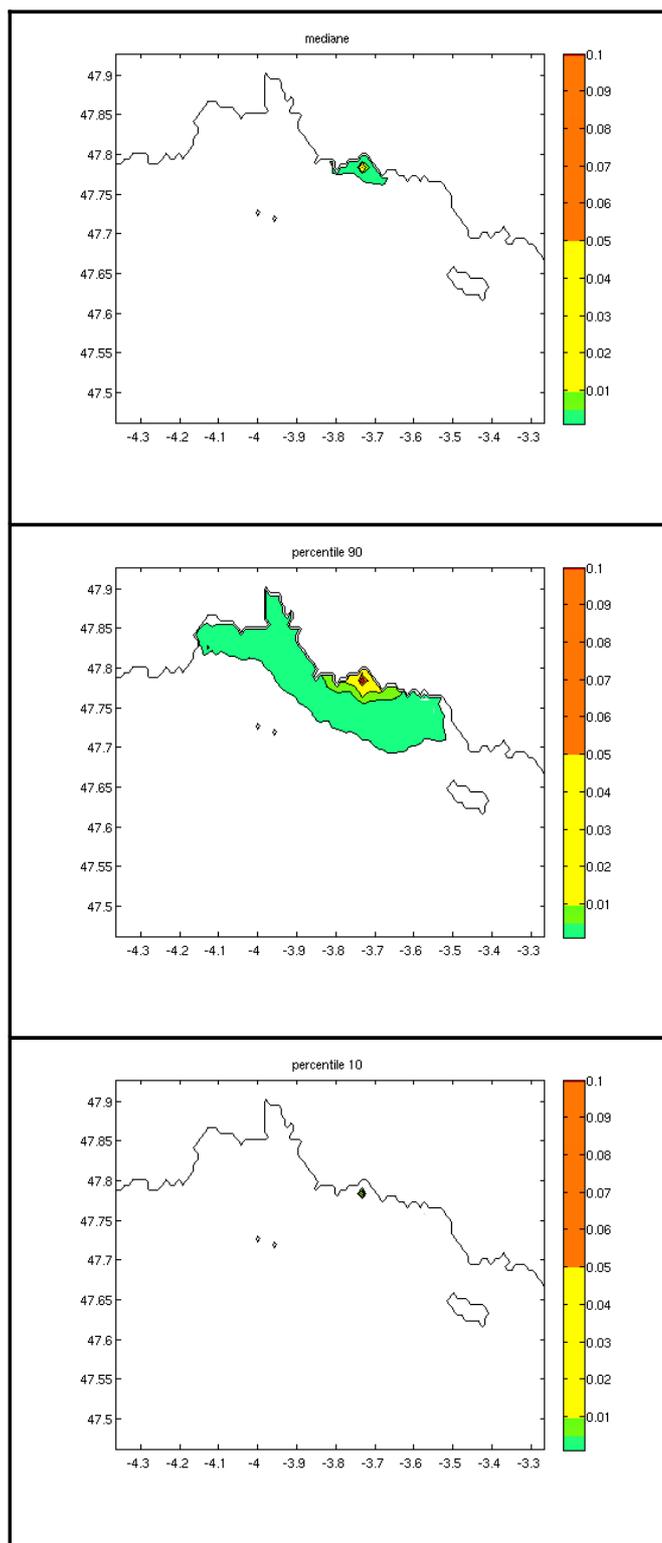


Figure 103: Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu de l'Aven.

L'influence marine de l'Aven est peu étendue. Pour un débit moyen et en période d'étiage, le panache reste localisé au niveau de l'embouchure de la rivière et ne dépasse quasiment jamais la pointe de Trévignon, qui est située plus à l'ouest (figure 103). En période de crue, son influence peut s'étendre jusqu'à la Baie de Concarneau où ses apports sont dilués entre 200 et 1000 fois.

### V.2.3.Scénarios d'abattement en nitrate sur l' Aven.

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	30 mg/L	36 mg/L	19 mg/L
50 %	15 mg/L	18 mg/L	9,5 mg/L
25 %	7,5 mg/L	9 mg/L	4,75 mg/L
pristine	1,5 mg/L	1,5 mg/L	1,5 mg/L

Tableau 59: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate sur l'Aven pour l'année 2002.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1				
zone 2	0.5	2,5	2,5	6,5
zone 3				
zone 4	0,5	2,5	2,8	7
zone 5	0,5	2,5	3	7

Tableau 60: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale et pour chaque zone de dilution en situation médiane.

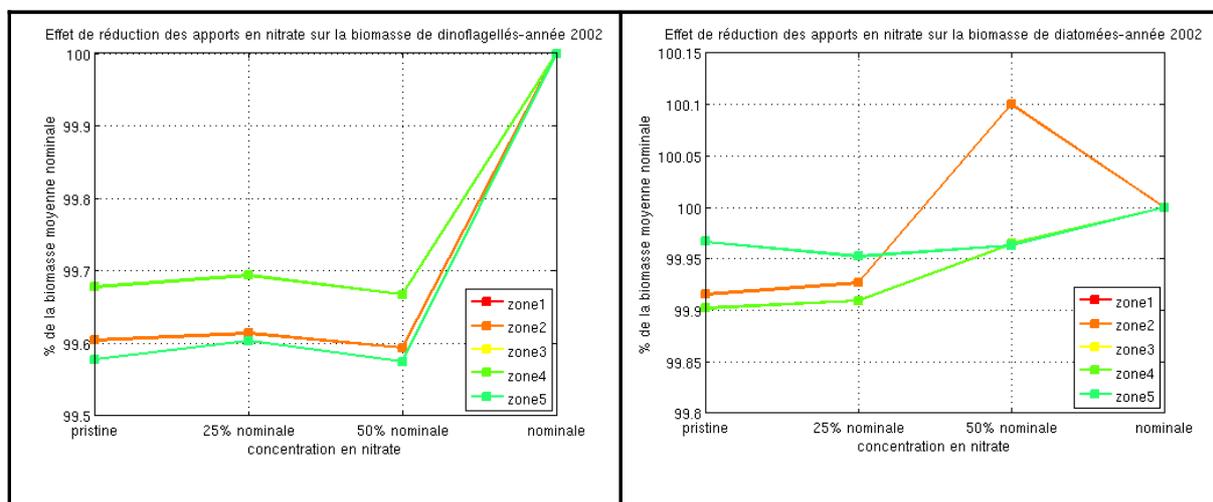


Figure 104: Effet des réductions des apports de nitrate par l'Aven sur la moyenne annuelle de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et pour chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

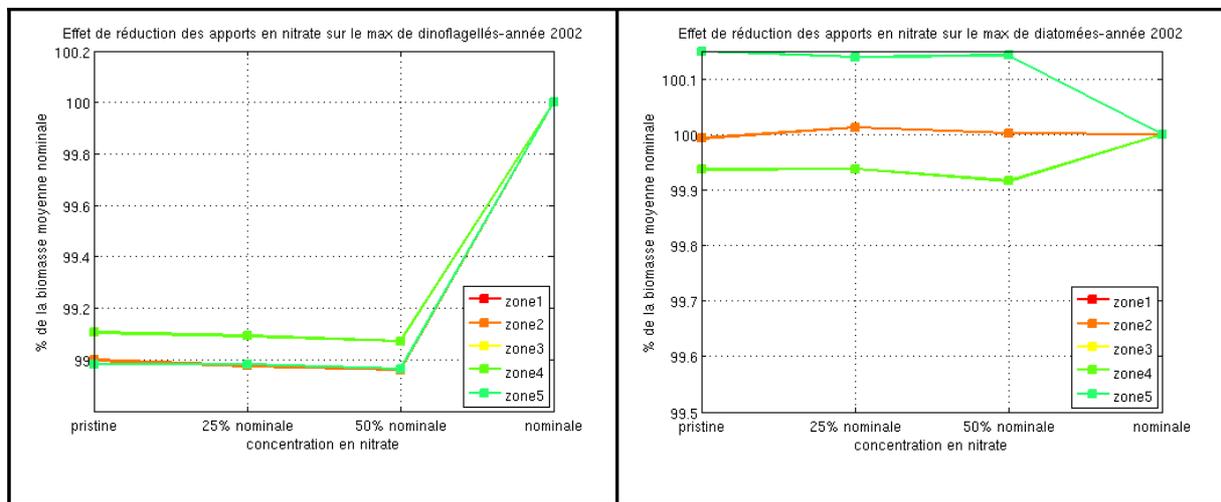


Figure 105: Effet des réductions des apports de nitrate par l'Aven sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

Une diminution des apports en nitrate de l'Aven aurait très peu d'effet sur les dinoflagellés et les diatomées (figures 104 et 105). On observe à peine un abattement de 1% de la moyenne annuelle et du maximum de dinoflagellés pour un retour à des rejets de 1,5 mg/L. Une diminution des apports en nitrate n'a aucun impact sur la marée verte du fond de baie de Concarneau.

### V.3.Moros

#### V.3.1.Présentation du cours d'eau.

Climat	Pluie efficace cumulée		Pluie efficace cumulée/km <sup>2</sup>		Surface totale
	27944 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /an		513 mm		54.44 km <sup>2</sup>
Géologie	% granite	% schiste	% micaschiste	% gneiss	% sout.
	26%	0%	2%	71%	
Hydrométrie	Module		Débit d'été		Débit de crue
	0.9 m <sup>3</sup> /s		0.14 m <sup>3</sup> /s		9.1 m <sup>3</sup> /s
Sensibilité du site	<i>Marées vertes</i>		Indice 9 : proche de la Baie de Concarneau		
	<i>Phytoplancton</i>		2 < indice < 5		

Tableau 61: Présentation succincte du bassin versant du Moros.

### V.3.2.Zone d'influence du panache du Moros.

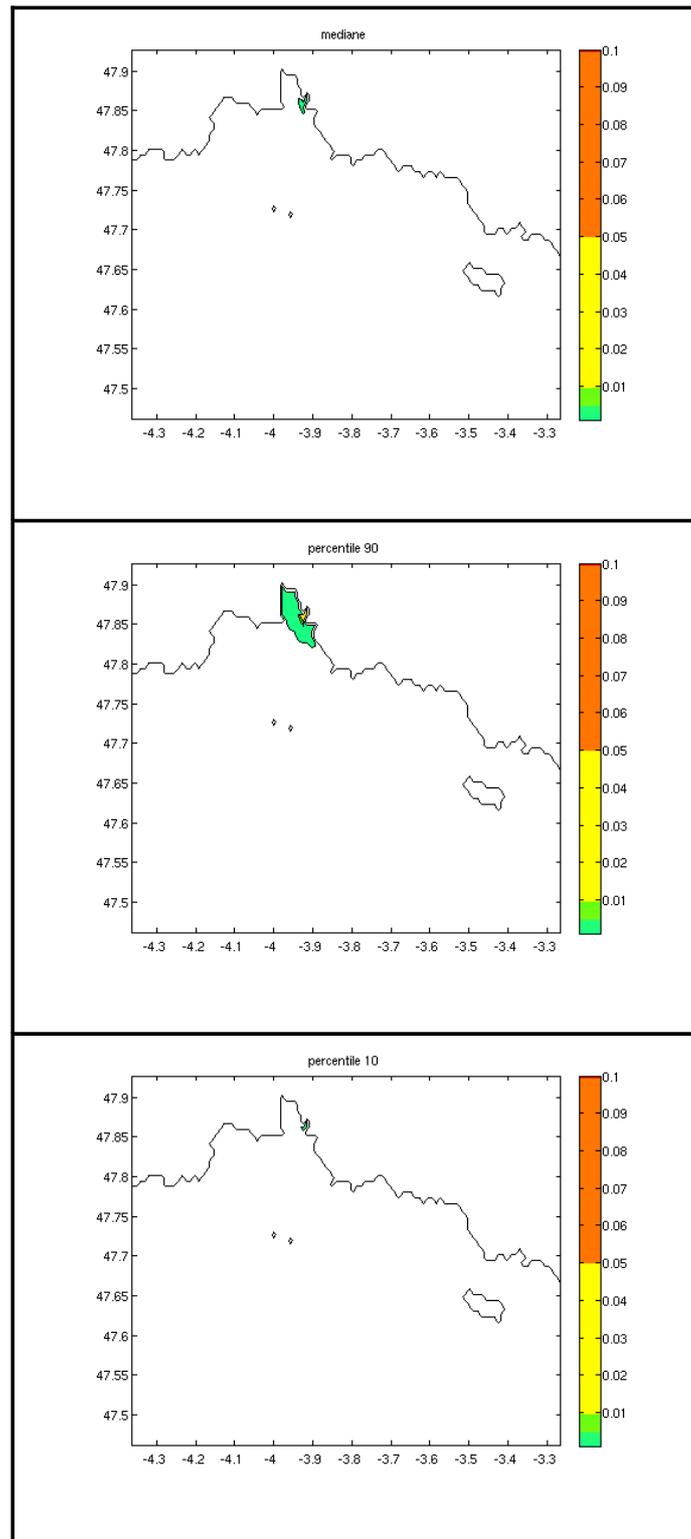


Figure 106: Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu du Moros.

L'influence marine du Moros est localisée exclusivement en Baie de Concarneau. Ses apports y sont rapidement dilués (entre 200 et 1000 fois; entre 20 et 100 fois dans une zone très proche de l'embouchure) (figure 106).

### V.3.3.Scénarios d'abattement en nitrate sur le Moros.

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	24,8 mg/L	24,8 mg/L	24,8 mg/L
50 %	12,4 mg/L	12,4 mg/L	12,4 mg/L
25 %	6,2 mg/L	6,2 mg/L	6,2 mg/L
pristine	1,5 mg/L	1,5 mg/L	1,5 mg/L

Tableau 62: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate sur le Moros pour l'année 2002.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1				
zone 2				
zone 3				
zone 4	0,5	2	3	8
zone 5	0,5	2	3	9,5

Tableau 63: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale et pour chaque zone de dilution en situation médiane.

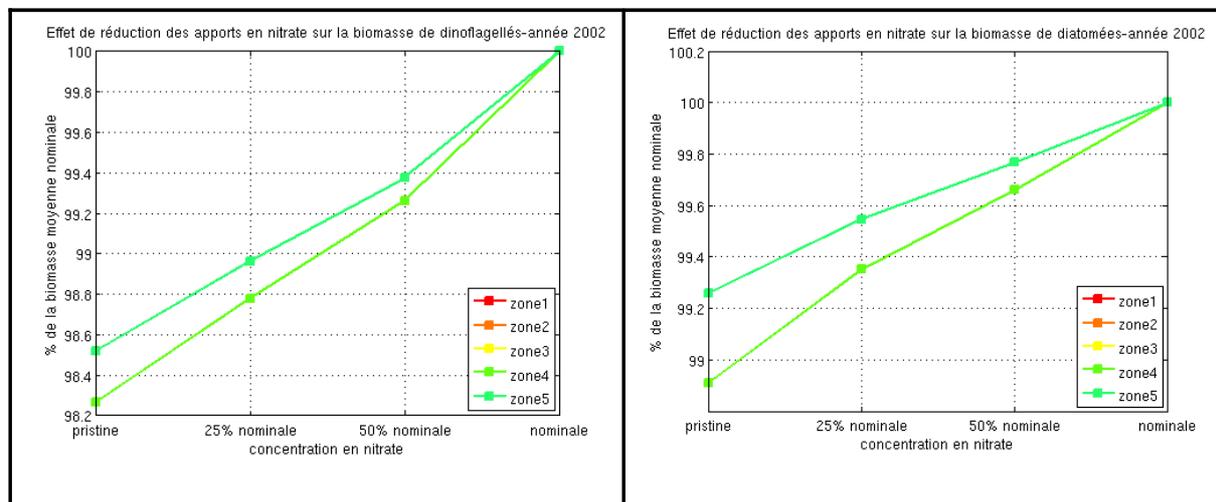


Figure 107: Effet des réductions des apports de nitrate par le Moros sur la moyenne annuelle de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et pour chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

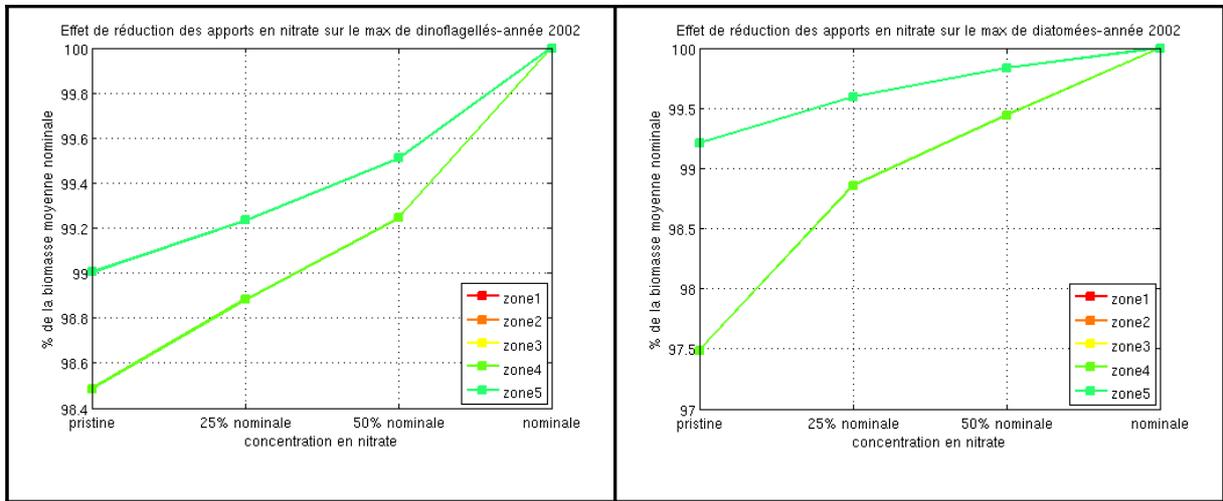


Figure 108: Effet des réductions des apports de nitrate par le Moros sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

Une diminution des apports en nitrate du Moros aurait très peu d'effet sur les dinoflagellés et les diatomées (figures 107 et 108). Elle n'a également quasiment aucun effet sur la marée verte du fond de Baie de Concarneau. Néanmoins, la résolution n'est sans doute pas assez fine pour pouvoir observer un quelconque effet.

## **V.4.Laïta**

### **V.4.1.Présentation du cours d'eau.**

La Laïta prend naissance à Quimperlé au point de confluence de l'Ellé et de l'Isole. Son tracé sert de frontière naturelle entre les départements du Finistère et du Morbihan.

La surface du bassin versant de la Laïta est de 832 km<sup>2</sup> . Son module y est de 13.5 m<sup>3</sup>/s et son débit spécifique de 16.1 l/s/km<sup>2</sup>. La lame d'eau écoulée dans son bassin versant est de 530 millimètres annuellement. Le débit journalier maximal a été mesuré en décembre 2000 et était de 352 m<sup>3</sup>/s.

#### V.4.2.Zone d'influence du panache de la Laïta.

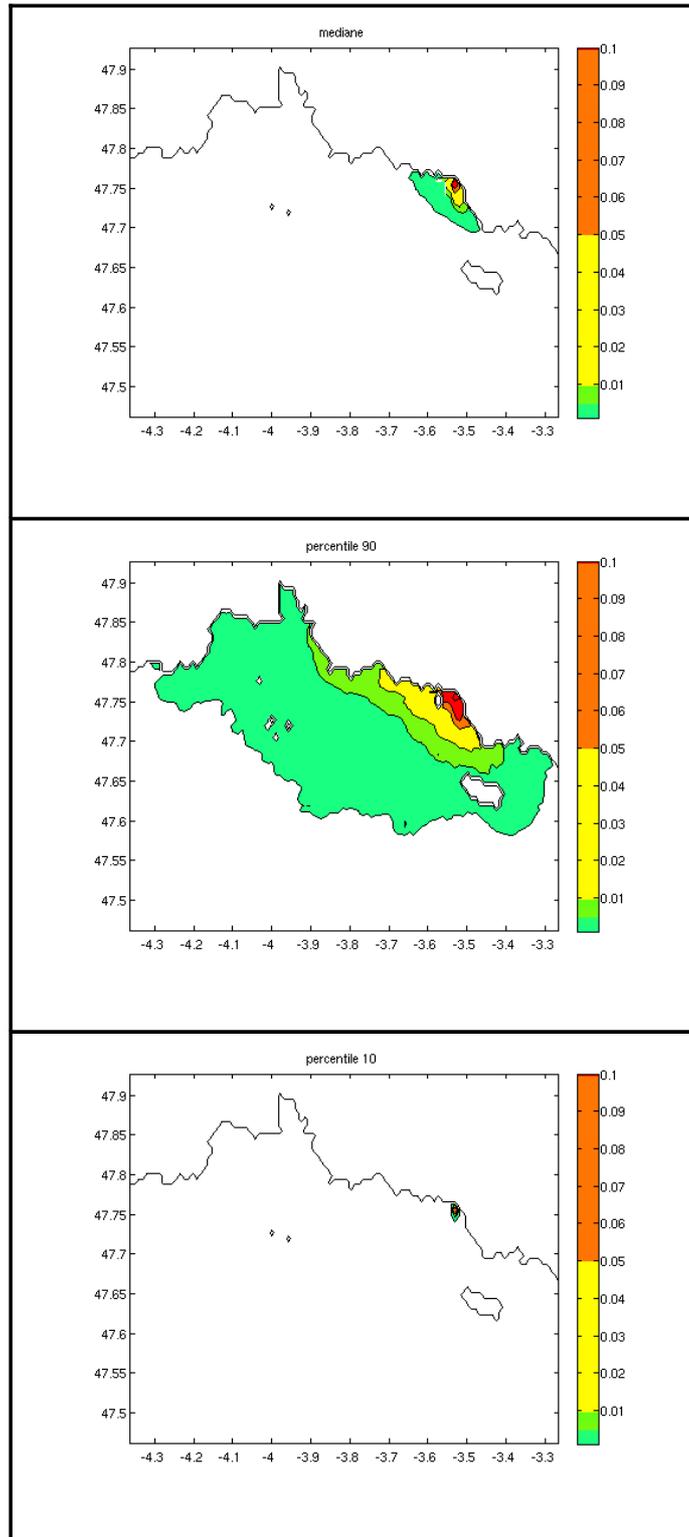


Figure 109: Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu de la Laïta.

Pour un débit moyen et en période d'étiage, l'influence marine de la Laïta est peu étendue et reste localisée près de son embouchure où ses apports sont plus ou moins dilués entre 20 et 100 fois (figure 109). En période de crue, son influence peut s'étendre jusqu'à la Baie de Concarneau où ses apports sont alors dilués entre 200 et 1000 fois.

### V.4.3.Scénarios d'abattement en nitrate sur la Laïta.

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	23	27	15
50 %	11,5	13,5	7,5
25 %	5,75	6,75	3,75
pristine	1,5	1,5	1,5

Tableau 64: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate (mg/L) sur la Laïta pour l'année 2002.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1	0,3	2	1	4,5
zone 2	0,3	2	1,5	7
zone 3	0,3	2	2	7,5
zone 4	0,3	2	2	7
zone 5	0,3	2	2	7,5

Tableau 65: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale et pour chaque zone de dilution en situation médiane.

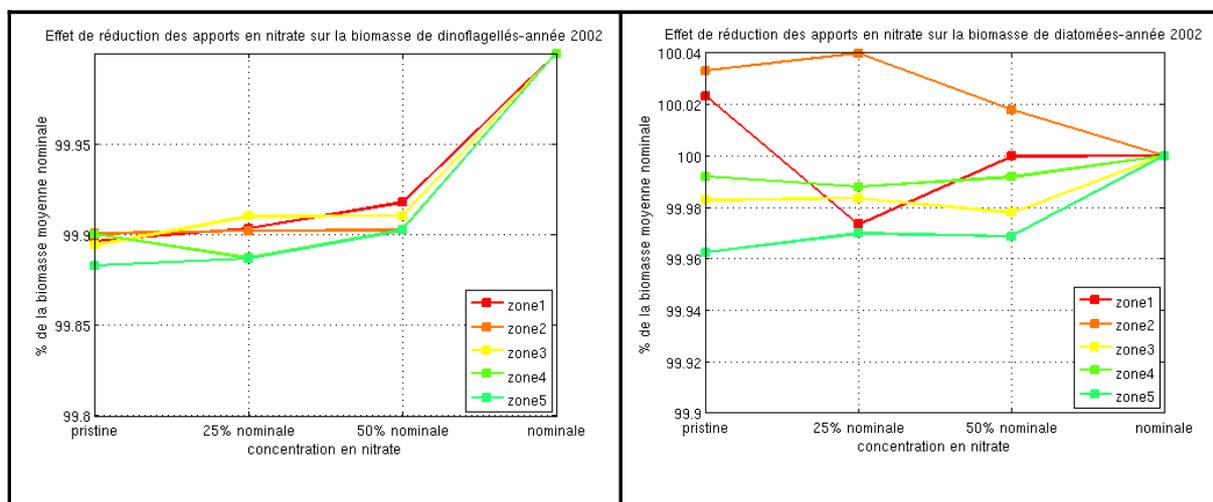


Figure 110: Effet des réductions des apports de nitrate par la Laïta sur la moyenne annuelle de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et pour chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

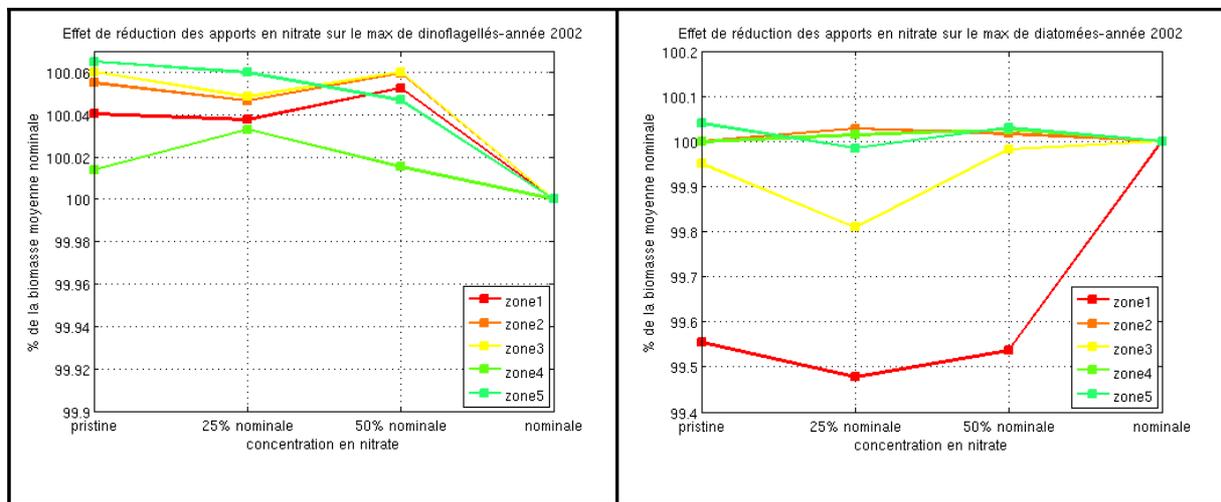


Figure 111: Effet des réductions des apports de nitrate par la Laïta sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

Une diminution des apports en nitrate de la Laïta aurait très peu d'effet sur les dinoflagellés et les diatomées (figures 110 et 111).

## V.5.Blavet

### V.5.1.Présentation du cours d'eau.

Avec plus de 2000 km<sup>2</sup>, le Blavet est le deuxième fleuve breton de par sa superficie. Issu des Côtes d'Armor, il est canalisé avant de pénétrer dans le Morbihan au niveau du lac de Guerlédan. Dans sa partie amont, il coule dans un massif granitique avant de franchir les formations schisteuses puis cristallines sud armoricaines. Le bassin amont se situe dans une région à l'agriculture diversifiée (polyculture, bovins, ovins). Le Blavet alimente la troisième retenue des Côtes d'Armor (retenue de Kerne-Uhel), ainsi que celle de Guerlédan (utilisée pour l'AEP des Côtes d'Armor et du Morbihan). Au niveau de Peumerit-Quintin, on observe une pollution importante imputable aux gros élevages avicoles du secteur.

Les eaux sont d'une bonne qualité. Les eaux du cours inférieur subissent une nette eutrophisation, et l'Evel (affluent de la rive gauche drainant une zone très chargée en élevages porcins et avicoles) est source d'une pollution azotée importante. L'estuaire du Blavet (agglomération de Lorient) est une zone soumise à d'importantes pollutions bactériologiques, ainsi que de contaminations par les métaux lourds.

Climat	Pluie efficace cumulée		Pluie efficace cumulée/km <sup>2</sup>		Surface totale
	886219 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /an		431 mm		2055 km <sup>2</sup>
Géologie	% granite	% schiste	% micaschiste	% gneiss	% sout.
	99%				9.6 %
Hydrométrie	Module		Débit d'été		Débit de crue
	24 m <sup>3</sup> /s		2.3 m <sup>3</sup> /s		318 m <sup>3</sup> /s
Sensibilité du site	<i>Marées vertes</i>	indice 4 en rade de Lorient			
	<i>Phytoplancton</i>	2<indice<5			

Tableau 66: Présentation succincte du bassin versant du Blavet.

### V.5.2.Zone d'influence du panache du Blavet.

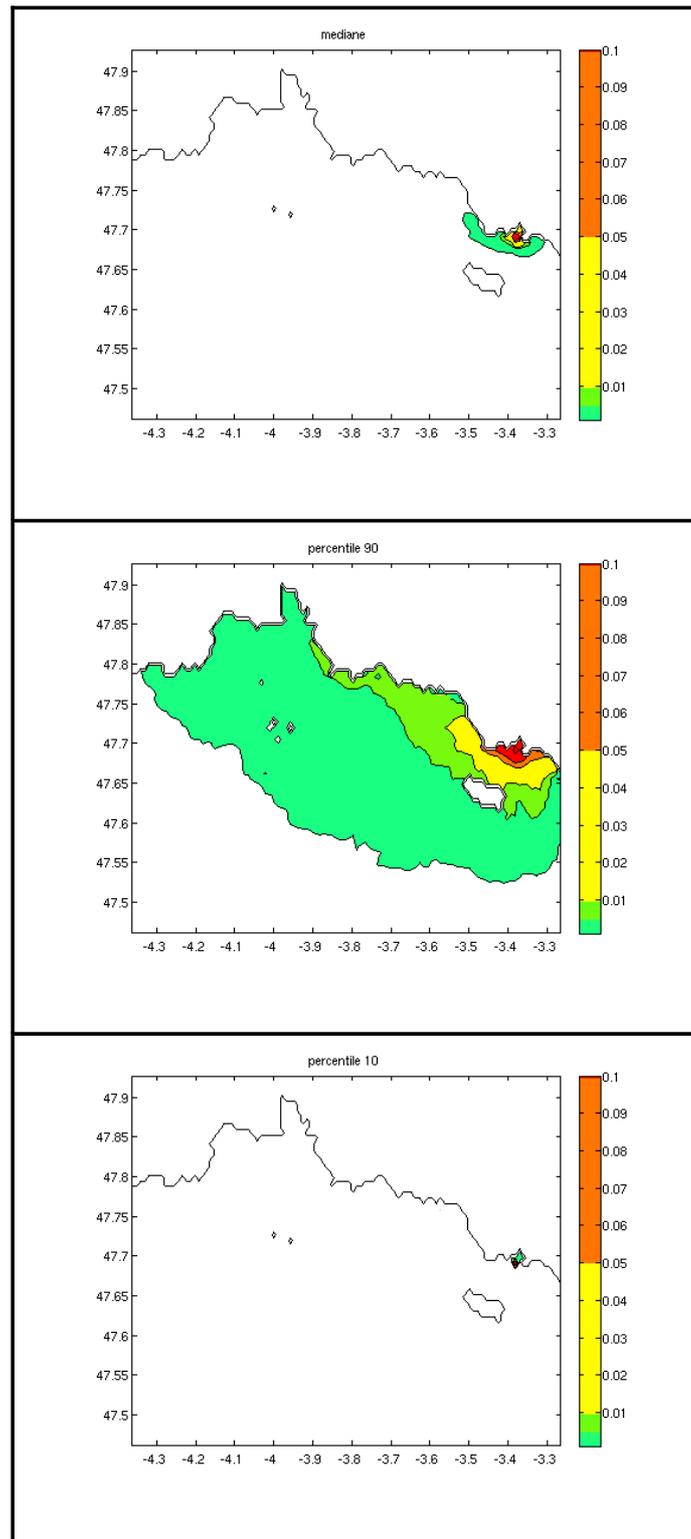


Figure 112: Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu du Blavet.

Pour un débit moyen et en période d'étiage, l'influence marine du Blavet ne dépasse pas l'île de Groix. Ses apports sont alors assez vite dilués (entre 20 et 100 fois au niveau de l'estuaire) (figure 112). En période de crue, son influence peut s'étendre jusqu'à la Baie de Concarneau où ses apports sont dilués entre 200 et 1000 fois. Le Blavet enrichit alors la mer côtière de manière assez importante (apports dilués entre 20 et 100 fois jusqu'à l'île de Groix).

### V.5.3.Scénarios d'abattement en nitrate sur le Blavet.

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	30	40	18
50 %	15	20	9
25 %	7,5	10	4,5
pristine	1,5	1,5	1,5

Tableau 67: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate (mg/L) sur le Blavet pour l'année 2002.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1	0,3	2	2	7
zone 2	0,3	2	3	12,5
zone 3	0,3	2	3	9,5
zone 4	0,3	2	3	8
zone 5	0,3	2	3	8

Tableau 68: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale et pour chaque zone de dilution en situation médiane .

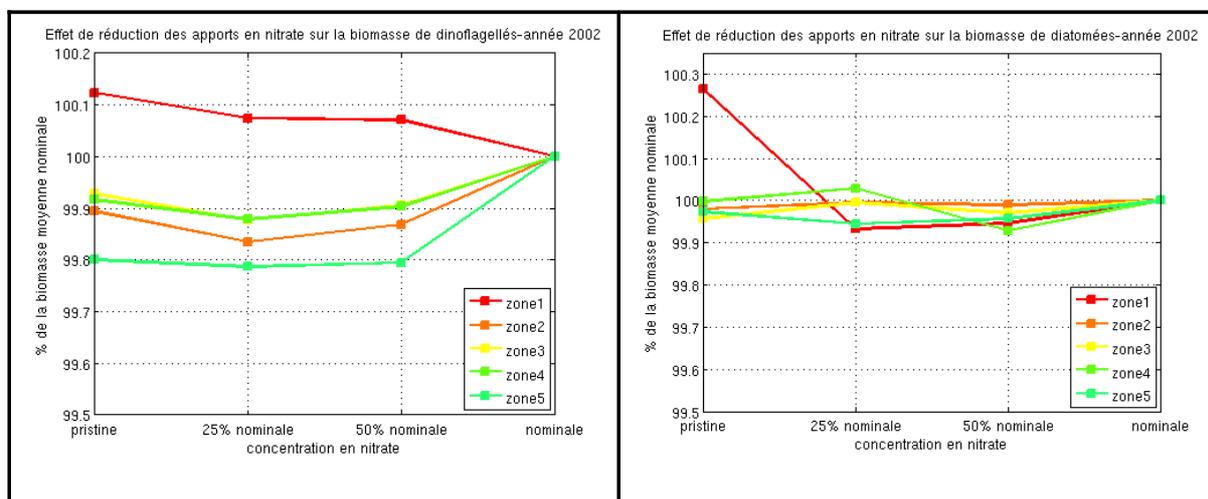


Figure 113: Effet des réductions des apports de nitrate par le Blavet sur la moyenne annuelle de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et pour chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

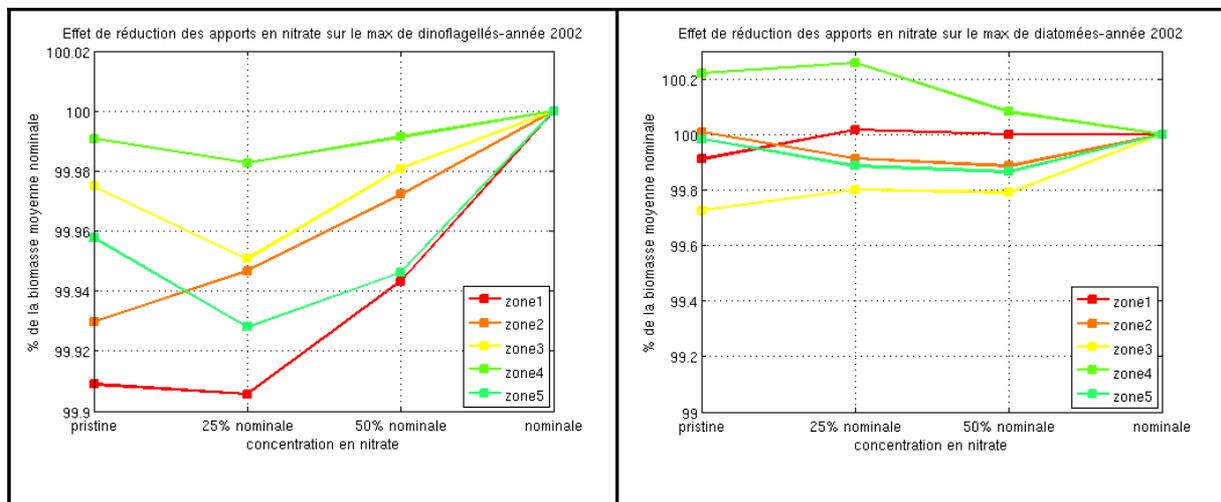


Figure 114: Effet des réductions des apports de nitrate par le Blavet sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

Une diminution des apports en nitrate du Blavet n'a quasiment aucun effet sur les dinoflagellés et les diatomées (figures 113 et 114).

## **V.6.Scorff**

### **V.6.1.Présentation du cours d'eau.**

Le Scorff prend sa source au nord de Langoëlan. Il traverse le Morbihan en passant par Guéméné-sur-Scorff et Pont-Scorff. Il finit sa route à Lorient, ses eaux rejoignent celles du Blavet dans la rade de Lorient.

Le Scorff présente à Pont Kerlo en Plouay une surface de bassin versant de 300 km<sup>2</sup> ( soit environ 60 % de la totalité de son bassin versant à son embouchure dans la rade de Lorient) et son débit moyen est d'environ 5 m<sup>3</sup>/s. Son débit mensuel varie entre 10 m<sup>3</sup>/s en période de crue et 1,36 m<sup>3</sup>/s en période d'étiage. Les fluctuations de son débit sont bien plus importantes sur de plus courtes périodes.

### V.6.2.Zone d'influence du panache du Scorff.

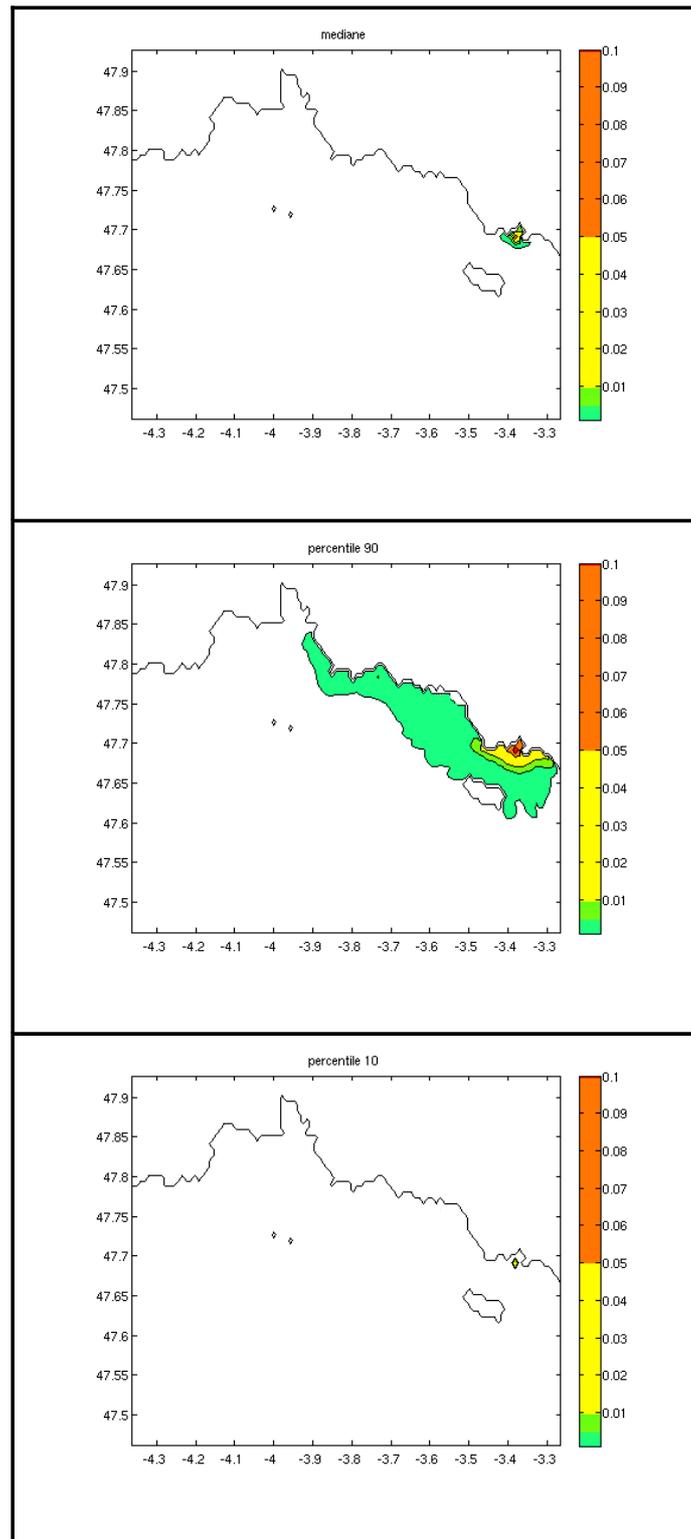


Figure 115: Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu du Scorff.

Le débit du Scorff étant en moyenne près de 5 fois moins important que celui du Blavet, sa zone d'influence marine est moins étendue (figure 115). Pour un débit moyen et en période d'étiage, les apports sont très rapidement dilués (apports dilués entre 200 et 1000 fois à la sortie de l'estuaire).

En période de crue, le panache atteint presque la Baie de Concarneau mais les apports sont très limités (dilution entre 200 et 1000 fois). La zone près de l'embouchure est alors enrichie par des apports dilués entre 20 et 100 fois.

### V.6.3.Scénarios d'abattement en nitrate sur le Scorff.

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	24	28	16
50 %	12	14	8
25 %	6	7	4
pristine	1,5	1,5	1,5

Tableau 69: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate (mg/L) sur le Scorff pour l'année 2002.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1				
zone 2	0,3	1,5	2	5
zone 3	0,3	2	3	9,5
zone 4	0,3	2	3	6,5
zone 5	0,3	2	3	8

Tableau 70: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale et pour chaque zone de dilution en situation médiane.

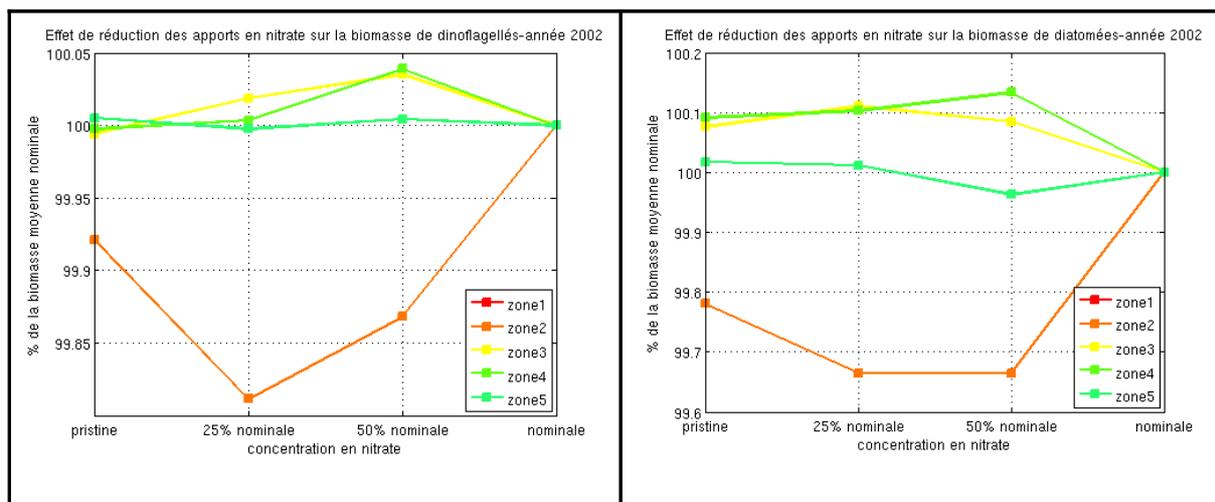


Figure 116: Effet des réductions des apports de nitrate par le Scorff sur la moyenne annuelle de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et pour chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

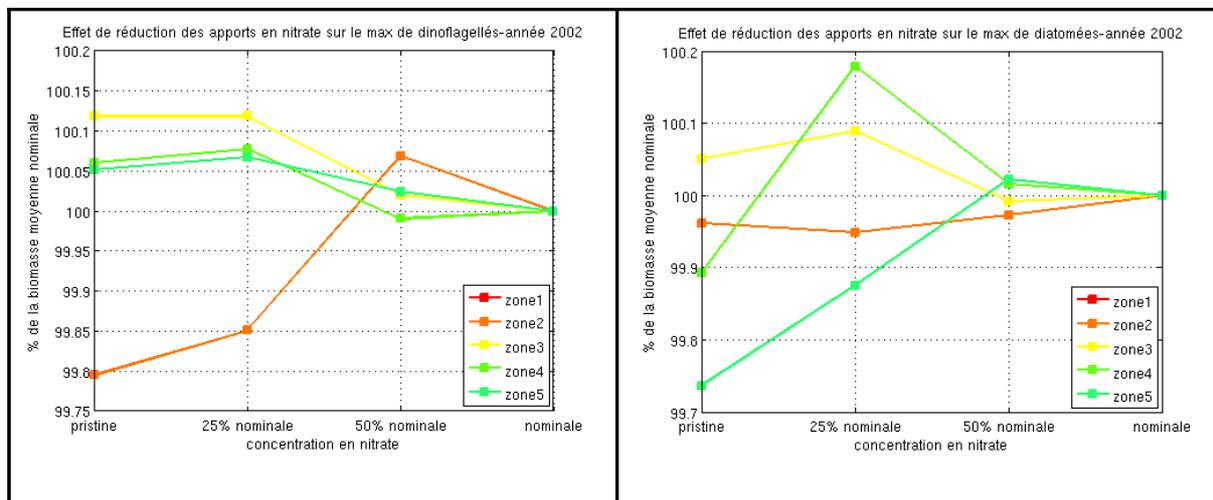


Figure 117: Effet des réductions des apports de nitrate par le Scorff sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

Une diminution des apports en nitrate du Scorff n'a aucun effet sur les dinoflagellés et les diatomées (figures 116 et 117).

## BILAN

Une diminution des apports en nitrate de l'une des rivières de cette zone aurait très peu d'effets sur les biomasses en dinoflagellés et diatomées. Tout le sud de la Bretagne est largement enrichie en nitrate par les apports de la Loire et de la Vilaine et on remarque de plus que les diminutions les plus « sensibles » des biomasses moyennes et maximales sont rencontrées dans la zone d'influence marine de l'Odet qui est la plus éloignée des embouchures de la Loire et de la Vilaine donc potentiellement la moins impactée des zones d'influence de l'emprise. Un abattement sensible de la biomasse de dinoflagellés semblerait donc être envisageable uniquement si une diminution des apports en nitrate est effectuée au niveau de la Loire et/ou de la Vilaine.

# VI.LOIRE

## VI.1.1.Présentation du cours d'eau.

La Loire, est le fleuve le plus long en France (1020 km). Il prend sa source en Ardèche et se jette dans le sud de la Bretagne, dans les Pays de Loire. Son bassin de plus de 117000 km<sup>2</sup> occupe plus d'un cinquième du territoire français.

Le débit de la Loire pour l'année 2002 est en moyenne de 755 m<sup>3</sup>/s mais va de 250 m<sup>3</sup>/s en période d'étiage à 2600 m<sup>3</sup>/s en période de crue. La teneur moyenne de la Loire en nitrate pour l'année 2002 est de 13,5 mg/L.

## VI.1.2.Zone d'influence du panache de la Loire.

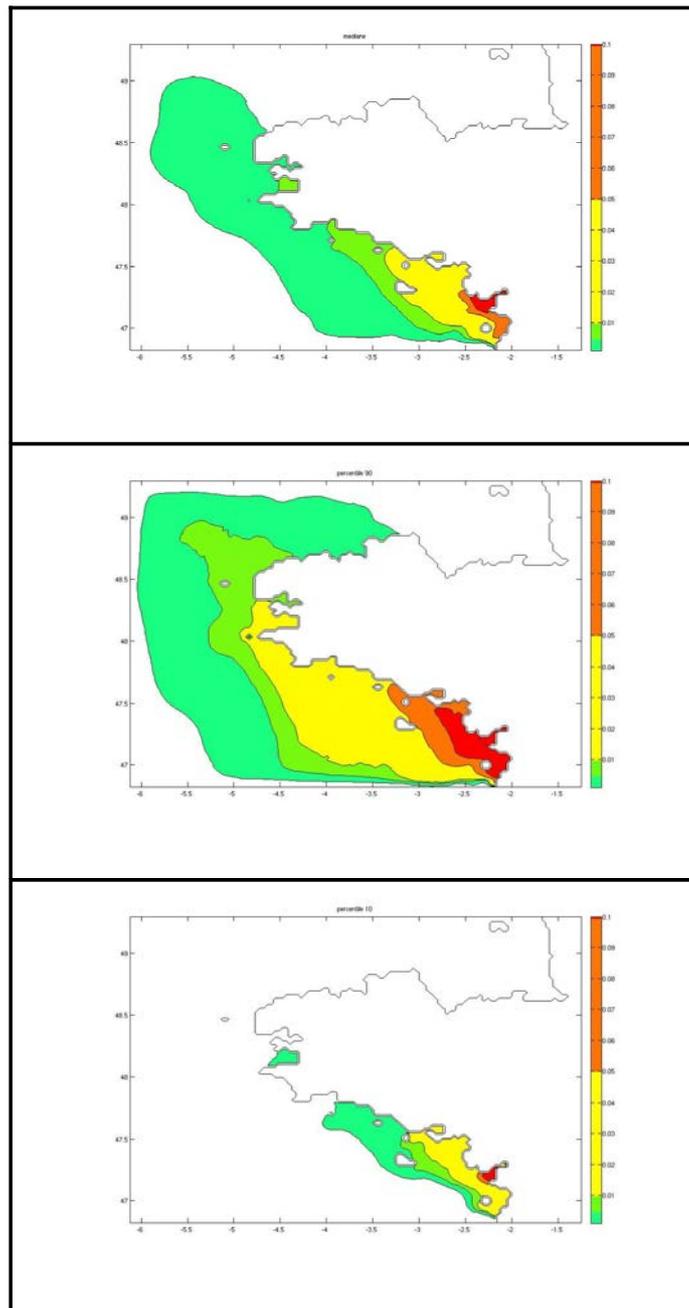


Figure 118: Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu de la Loire.

Quel que soit son débit, la Loire a une influence notable sur l'enrichissement de la bande côtière bretonne principalement la zone du sud de la Bretagne qui s'étend de son estuaire jusqu'aux Glénan (apports dilués entre 20 et 100 fois en Baie de Vilaine; apports dilués moins de 10 fois au niveau de son embouchure) (figure 118).

En période d'étiage, son panache s'étend principalement jusqu'aux Glénan et peut atteindre la baie de Douarnenez (apports dilués entre 200 et 1000 fois).

Pour un débit moyen, l'influence de la Loire s'étend largement jusqu'aux abers finistériens et jusqu'en rade de Brest (apports dilués entre 100 et 200 fois). Au niveau de la Baie de Douarnenez, les apports sont dilués entre 20 et 100 fois.

En période de crue, son influence peut s'étendre jusqu'à la baie de Lannion (apports dilués entre 200 et 1000 fois). Elle est largement significative jusqu'en mer d'Iroise (apports dilués entre 100 et 200 fois).

### VI.1.3.Scénarios d'abattement en nitrate sur la Loire

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	14	23	7
50 %	7	11,5	3,5
25 %	3,5	5,75	1,75
pristine	1,5	1,5	1,5

Tableau 71: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate (mg/L) sur la Loire pour l'année 2002.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1	0,2	1	3	9
zone 2	0,2	2,5	3	7
zone 3	0,2	1,5	2,5	5,5
zone 4	0,2	1	2,5	5,5
zone 5	0,2	1	1	4

Tableau 72: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale et pour chaque zone de dilution en situation médiane.

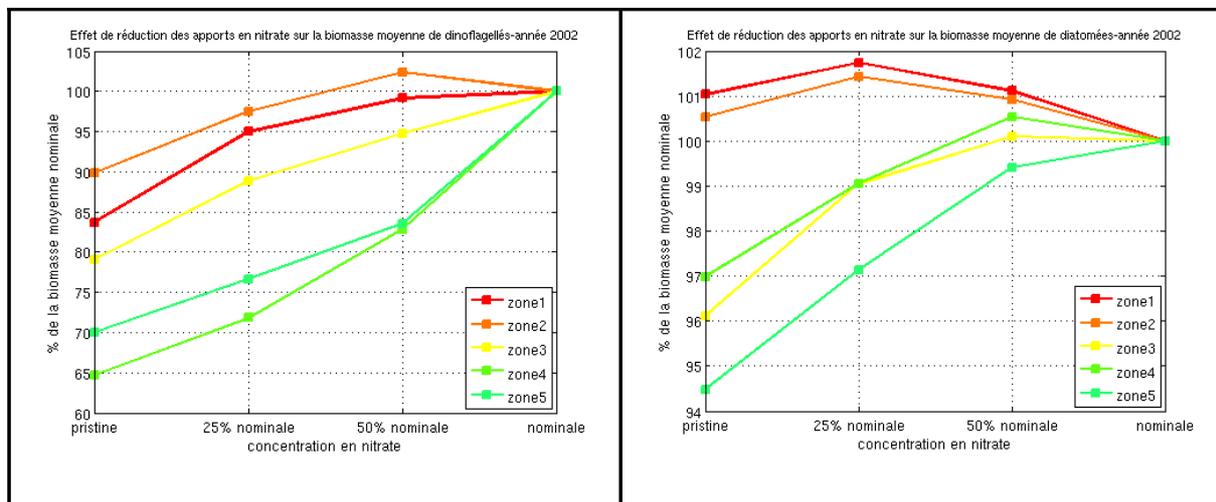


Figure 119: Effet des réductions des apports de nitrate par la Loire sur la moyenne annuelle de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et pour chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

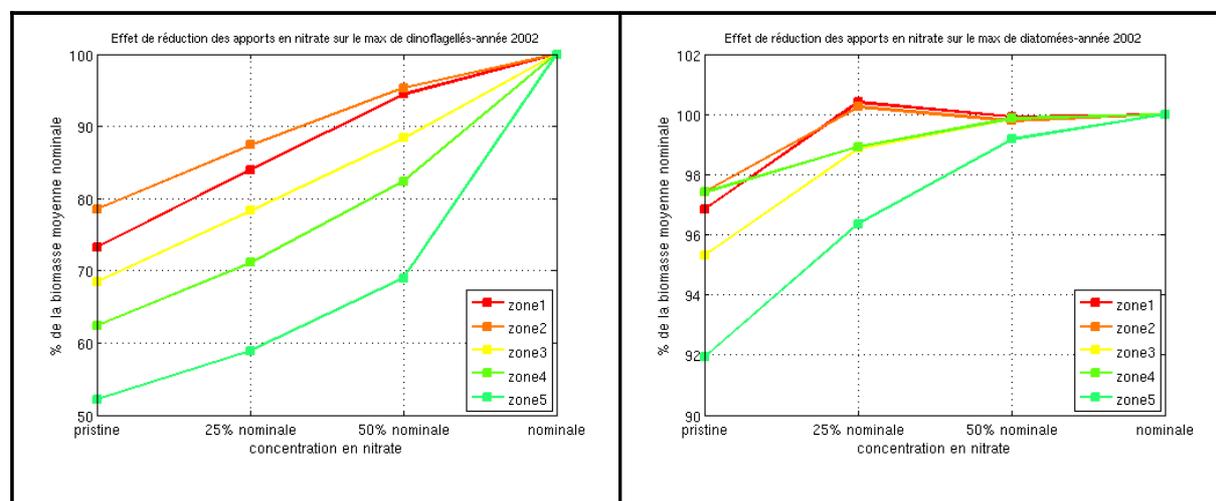


Figure 120: Effet des réductions des apports de nitrate par la Loire sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

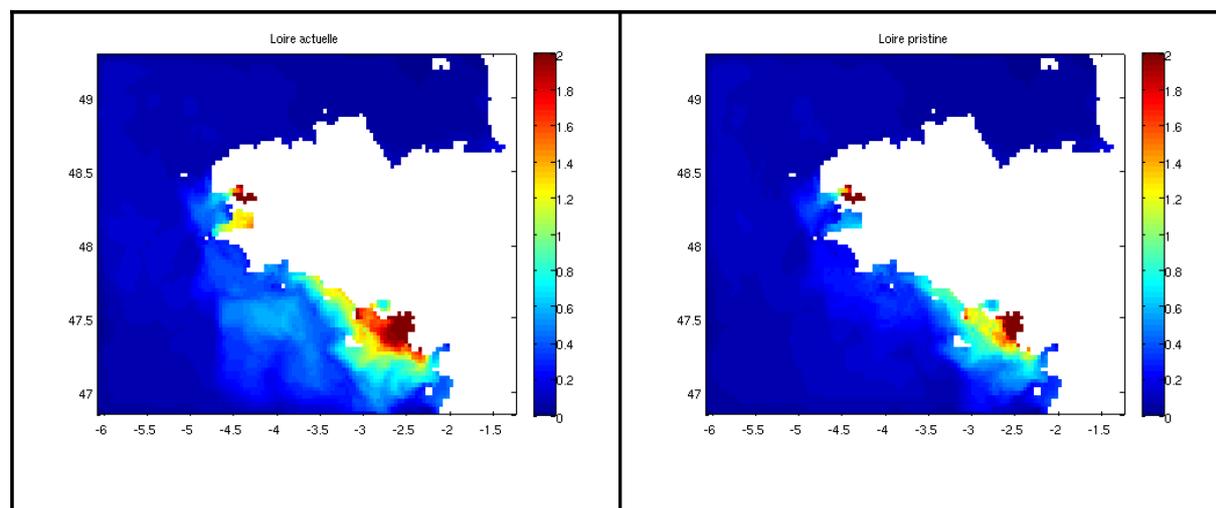


Figure 121: Maximum annuel (en  $\mu\text{g N/L}$ ) de dinoflagellés sur la Bretagne (à gauche, situation actuelle; à droite, situation pristine pour les rejets en nitrate de la Loire).

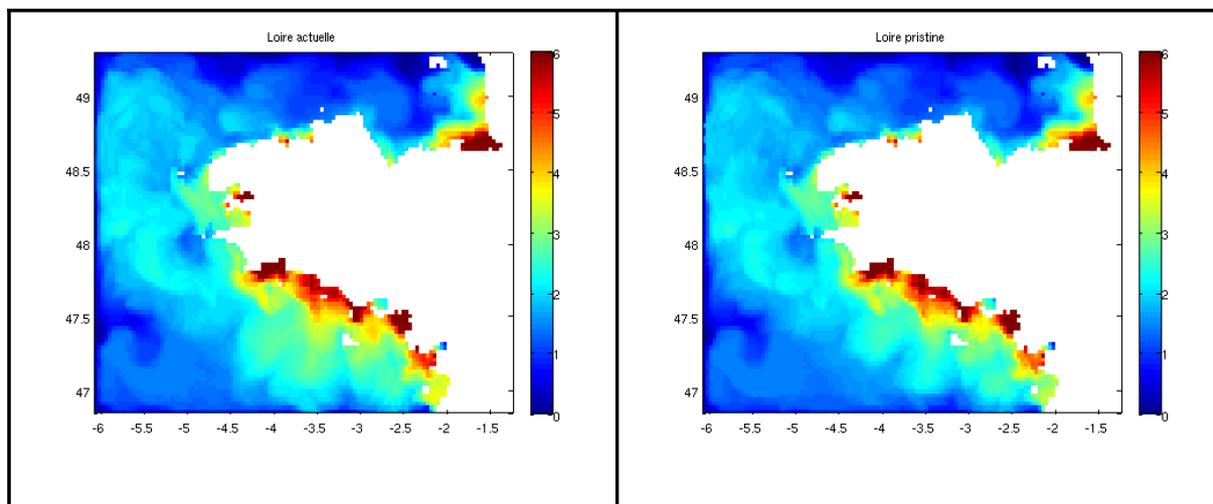


Figure 122: Maximum annuel de diatomées (en µgNL) sur la Bretagne (à gauche, situation actuelle; à droite, situation pristine pour les rejets en nitrate de la Loire).

Selon le modèle une diminution des apports de 50 % n'entraînerait pas de diminution de la biomasse moyenne en dinoflagellés au niveau de l'estuaire (zone1) et il faudrait revenir à des rejets pristines pour observer un abattement d'environ 10% (figure 119) .

Les zones plus au large (zones 4 et 5) sont impactées de manière plus significative par une réduction des apports (entre 15 et 20% de diminution de la biomasse lors d'une réduction de 50%, jusqu'à 35% de diminution de la biomasse pour des rejets « pristine »).

L'effet d'une diminution des apports est plus marqué en ce qui concerne les maximums de concentrations en dinoflagellés (figure 120) puisqu'un retour à des rejets pristines entraînerait une diminution d'environ 20-25% du maximum de dinoflagellés au niveau de l'estuaire (zones 1 et 2) et une diminution pouvant presque atteindre 50% pour les zones plus au large.

Les diatomées, dont la croissance est contrôlée par le silicate sont peu sensibles à une réduction des apports en nitrate de la Loire (environ 8 % de diminution de la biomasse moyenne au niveau de l'estuaire pour des teneurs « pristine » des rejets).

A l'échelle de la Bretagne (figure 121), si on observe les maximums annuels en dinoflagellés, on remarque que l'abattement des rejets en nitrate de la Loire jusqu'à la situation pristine aura un impact sensible sur les dinoflagellés non seulement sur toute la côte Sud-Bretagne mais jusqu'en mer d'Iroise et en Baie de Douarnenez, où le maximum annuel en dinoflagellés est abattu de 50%. La Baie de Vilaine est impactée de manière non négligeable excepté l'estuaire de la Vilaine qui reste soumis de manière prépondérante aux apports de cette dernière.

Concernant le maximum annuel en diatomées (figure 122), on observe logiquement très peu de changements pour les raisons citées précédemment.

## VII.VILAINE

### VII.1.1.Présentation du cours d'eau.

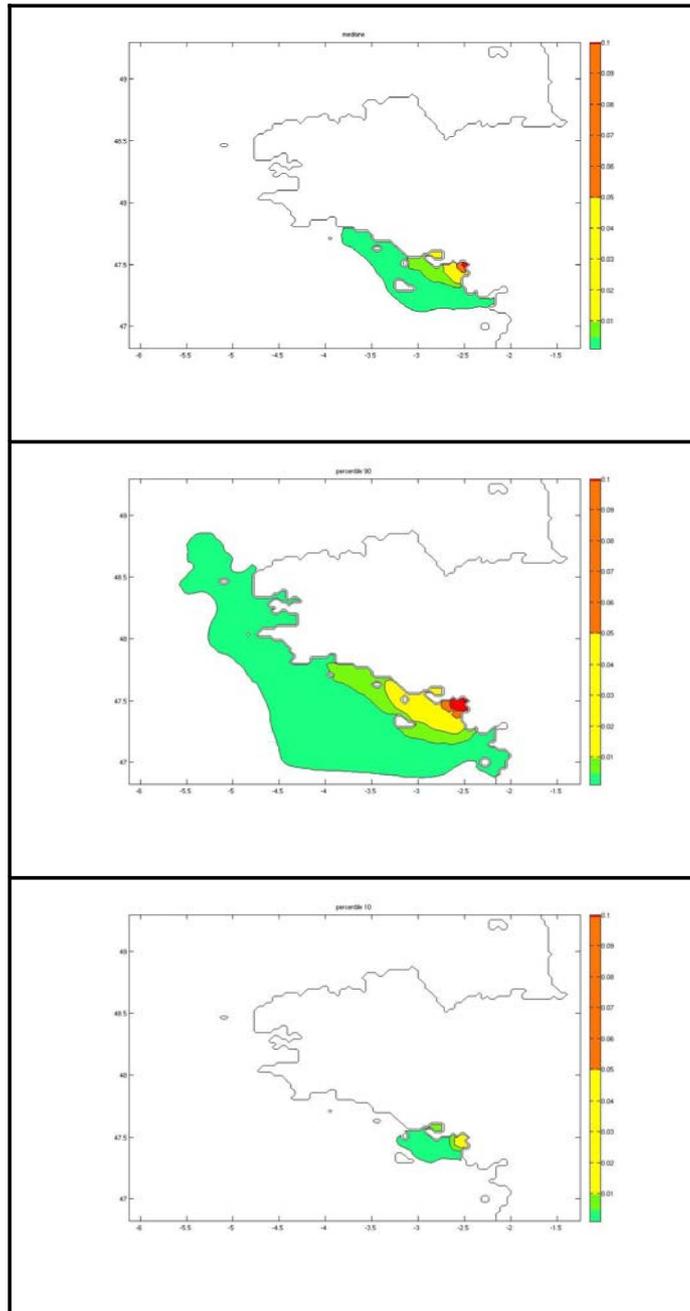
La Vilaine est de loin le plus gros cours d'eau breton. Elle occupe le quart Sud-Est de la région Bretagne, et se jette dans l'Océan Atlantique au niveau de la Roche-Bernard. D'une superficie de 10400 km<sup>2</sup>, soit environ les 2/5<sup>e</sup> de la Bretagne, son bassin versant est peu arrosé : il reçoit en moyenne 700 à 900 mm/an, hormis dans les régions de Rennes et de Paimpont où les précipitations descendent en-dessous des 700 mm/an. Il repose en grande majorité sur un substrat schisteux, associé à quelques grès et quartzites au Sud-Ouest de Rennes et un peu de granit au niveau de l'exutoire.

Ces caractéristiques expliquent la sévérité des étiages sur la Vilaine, ainsi que les problèmes liés à l'AEP (faiblesse des ressources souterraines, et superficielles en étiage). Des retenues ont été construites tout au long de la Vilaine (Valière, Chapelle-Erbrée, Cantache, Arzal) et visent trois objectifs : l'alimentation en eau potable, le soutien des étiages, l'écrêtage des crues. En effet, les agglomérations de Rennes et de Vitré ont un impact très négatif sur la qualité des eaux. La prise d'eau de Férel (proche du barrage d'Arzal, exutoire) est la plus importante de Bretagne ; elle connaît des remontées salines qui perturbent la production d'eau potable, ainsi qu'une importante eutrophisation dulçaquicole.

Climat	Pluie efficace cumulée		Pluie efficace cumulée/km <sup>2</sup>		Surface totale
	2021673 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /an		194 mm		10432 km <sup>2</sup>
Géologie	% granite	% schiste	% micaschiste	% gneiss	% sout.
	22%	68%	10%	0%	6 %
Hydrométrie	Module		Débit d'étiage		Débit de crue
	73 m <sup>3</sup> /s		4.3 m <sup>3</sup> /s		826 m <sup>3</sup> /s
Sensibilité du site	<i>Marées vertes</i>	non			
	<i>Phytoplancton</i>	13<indice<17, site le plus touché en Bretagne			

Tableau 73: Présentation succincte du bassin versant de la Vilaine.

### VII.1.2.Zone d'influence du panache de la Vilaine.



*Figure 123: Médiane, percentile 90 et percentile 10 de la concentration d'un traceur issu de la Vilaine.*

En période de débit normal, l'influence de la Vilaine est principalement localisée en Baie de Vilaine (apports dilués moins de 10 fois au niveau de son embouchure et dilués entre 100 et 200 fois au centre de la Baie de Vilaine). Son influence peut s'étendre jusqu'aux Glénan où ses apports sont dilués entre 200 et 1000 fois (figure 123).

En période de crue, son influence peut s'étendre jusqu'aux abers où ses apports sont dilués entre 200 et 1000 fois.

### VII.1.3.Scénarios d'abattement en nitrate sur la Vilaine

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	21	33	2
50 %	10,5	16,5	1
25 %	5,25	8,25	0,5
pristine	1,5	1,5	1,5

Tableau 74: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate (mg/L) sur la Vilaine pour l'année 2002.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1	3	8	5,5	17,5
zone 2	3	7	4,5	15
zone 3	1	3	3	8
zone 4	1	2,5	3	6,5
zone 5	0,5	1,5	2,5	4,5

Tableau 75: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale et pour chaque zone de dilution en situation médiane.

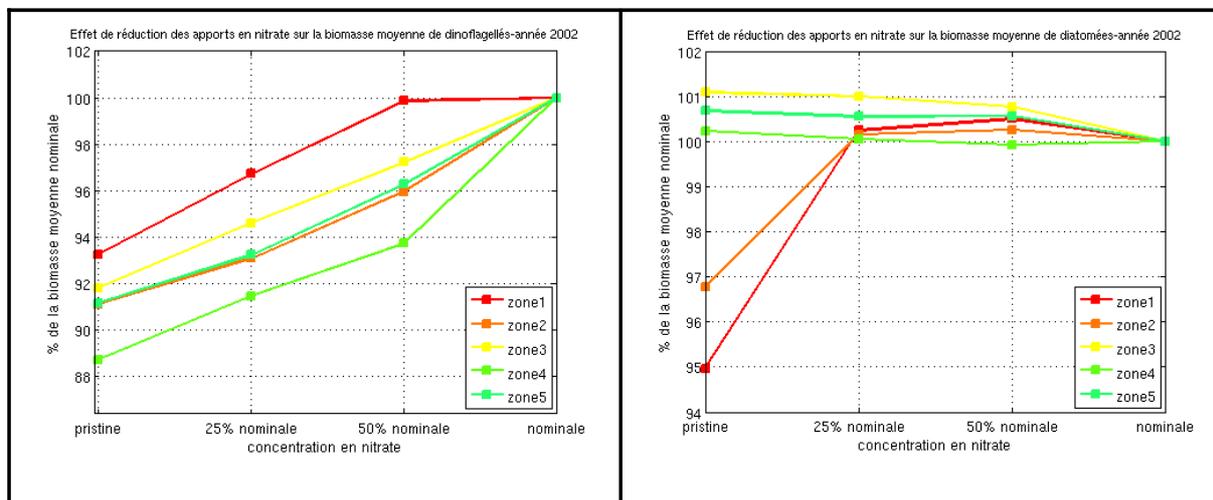


Figure 124: Effet des réductions des apports de nitrate par la Vilaine sur la moyenne annuelle de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et pour chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

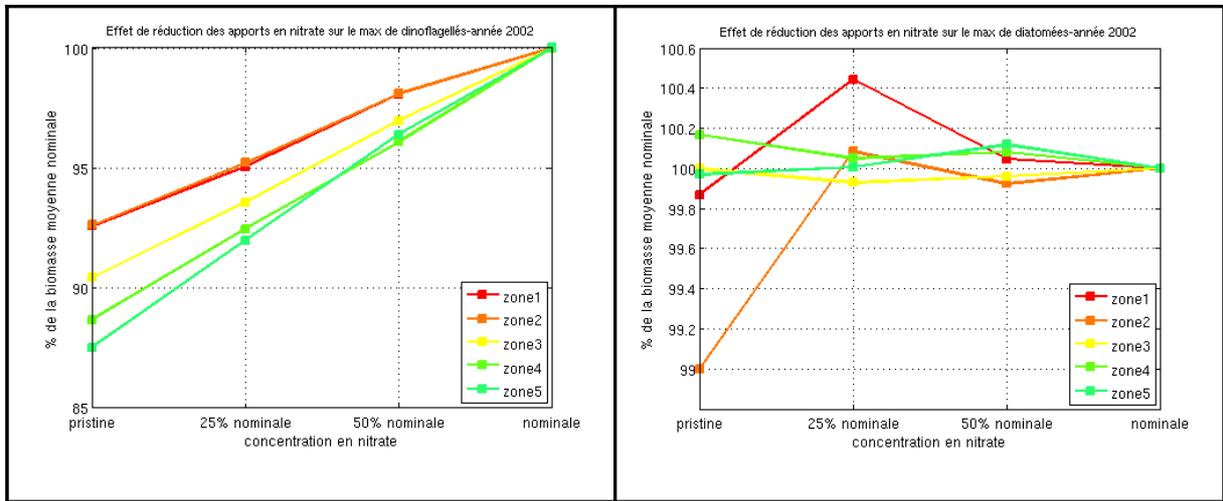


Figure 125: Effet des réductions des apports de nitrate par la Vilaine sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

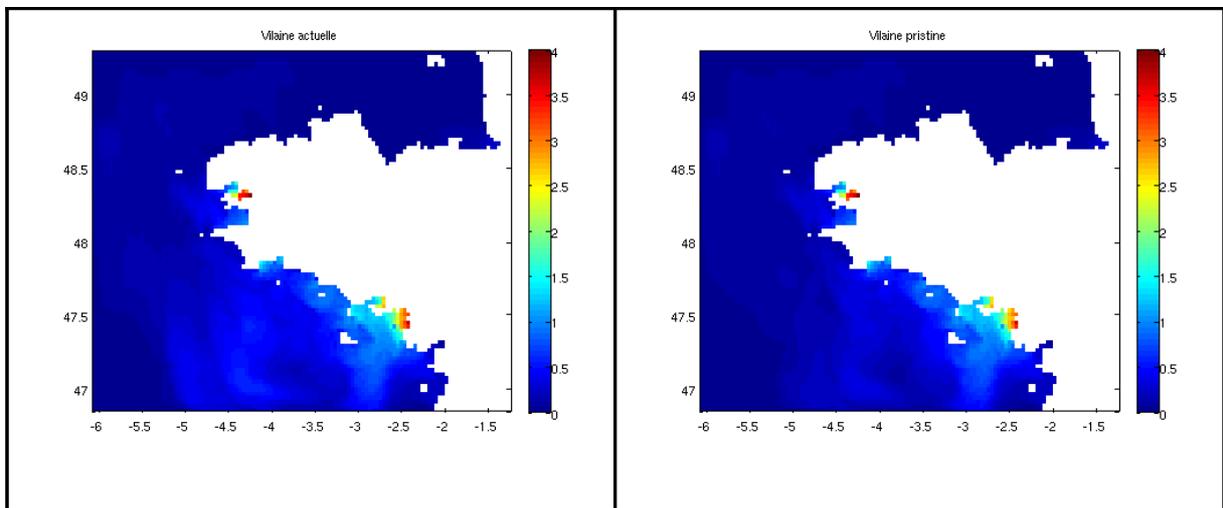


Figure 126: Maximum annuel (en  $\mu\text{g N/L}$ ) de dinoflagellés sur la Bretagne (à gauche, situation actuelle; à droite, situation pristine pour les rejets en nitrate de la Vilaine).

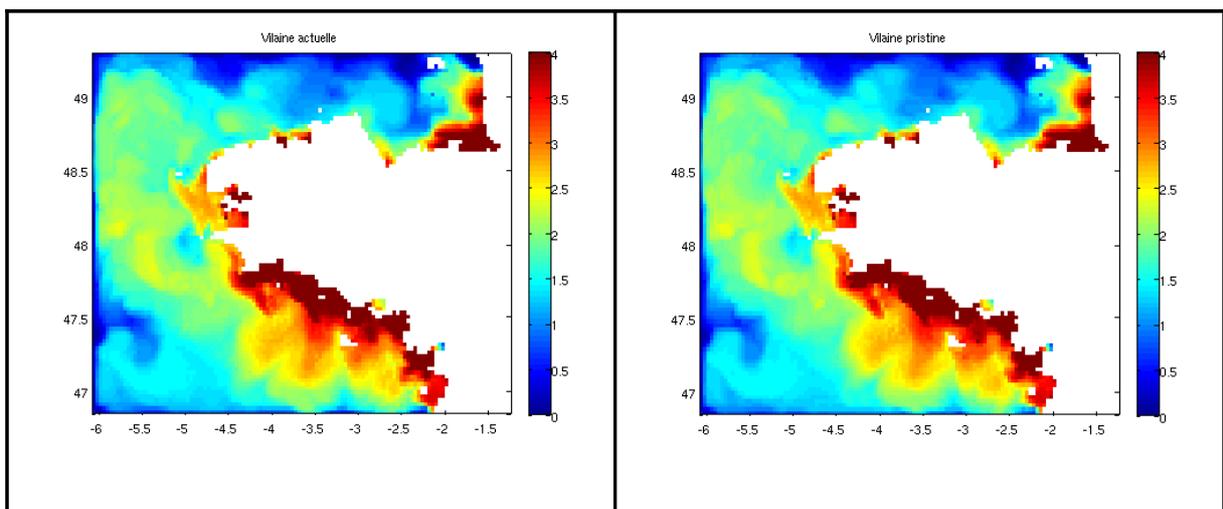


Figure 127: Maximum annuel de diatomées (en  $\mu\text{g N/L}$ ) sur la Bretagne (à gauche, situation actuelle; à droite, situation pristine pour les rejets en nitrate de la Vilaine).

Une diminution des apports de la Vilaine aurait peu d'effets sur la biomasse moyenne en phytoplancton (dinoflagellés ou diatomées) (figure 124). L'effet sur le maximum de dinoflagellés est plus sensible mais reste limité (figure 125). En effet, la baie de Vilaine et son estuaire sont largement enrichis par la Loire et une diminution des apports en azote de la Vilaine serait quasiment inutile si elle n'est pas couplée avec une diminution des apports en azote de la Loire. Un retour aux rejets pristine aura un léger impact sur la biomasse moyenne de dinoflagellés dans l'estuaire de la Vilaine (7% d'abattement) et jusqu'à 11% en baie de Vilaine (figure 126). Le maximum de dinoflagellés serait lui aussi très légèrement affecté dans l'estuaire de la Vilaine (figure 127).

## VIII.ZOOM ESTUAIRE VILAINE / ESTUAIRE LOIRE

Des diminutions cumulées sur le phosphate et le nitrate ont été effectuées pour le zoom de rang 2 contenant la Vilaine et la Loire. Ces scénarios (25%, 50%, 75 et pristine) ont été établis pour chaque rivière et pour les 2 rivières simultanément.

On remarque qu'une diminution des apports en nitrate et phosphate de la Vilaine a peu d'effet sur la biomasse moyenne et maximale en phytoplancton dans la zone d'influence de la Vilaine (à peine 5% d'abattement que ce soit pour la biomasse moyenne ou le maximum de dinoflagellés) (figures 128, 129, 130). Au contraire, une diminution des apports de la Loire a un impact sensible sur la biomasse moyenne et maximale dans la zone d'influence de la Loire (jusqu'à 25% d'abattement que ce soit pour la biomasse moyenne ou le maximum de dinoflagellés pour un retour à des rejets pristines; 15 % d'abattement pour une diminution de 50% des apports) (figures 131, 132 ,133).

L'abattement de la biomasse est plus sensible dans la zone d'influence de la Vilaine lorsque la diminution est effectuée à la fois sur la Vilaine et sur la Loire (figures 137, 138, 139). On observe en effet un abattement de quasiment 25% de la biomasse moyenne de dinoflagellés et un abattement d'environ 15% de la biomasse maximale (pour un retour à des teneurs pristines) dans la zone la plus proche de l'estuaire. De même, on note, mais à un degré moindre, un effet sur les biomasses de la zone d'influence de la Loire (figures 134, 135, 136).

**Il apparaîtrait donc qu'une diminution des apports en nitrate et phosphate à la fois sur la Vilaine et la Loire serait nécessaire pour pouvoir observer un abattement sensible de la biomasse en phytoplancton dans l'estuaire de la Vilaine. Au contraire, une diminution des apports de la Loire suffirait à observer une diminution sensible dans son estuaire mais seulement à partir d'une diminution de 50% des apports.**

## VILAINE

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	21	33	2
50 %	10,5	16,5	1
25 %	5,25	8,25	0,5
pristine	1,5	1,5	1,5

Tableau 76: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate (mg/L) sur la Vilaine pour l'année 2002.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1	9,5	25,5	14	24
zone 2	6,5	25,5	14	22
zone 3	5	19	10	20
zone 4	1,5	7	2,5	5
zone 5	1	3	1,5	3

Tableau 77: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale et pour chaque zone de dilution en situation médiane.

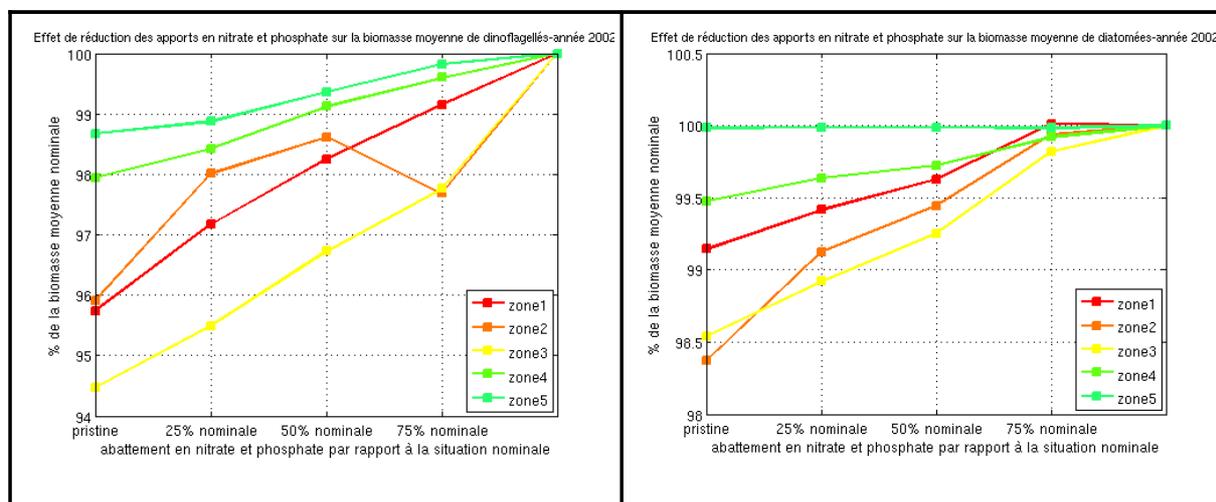


Figure 128: Effet des réductions des apports de nitrate et phosphate par la Vilaine sur la moyenne annuelle de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et pour chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

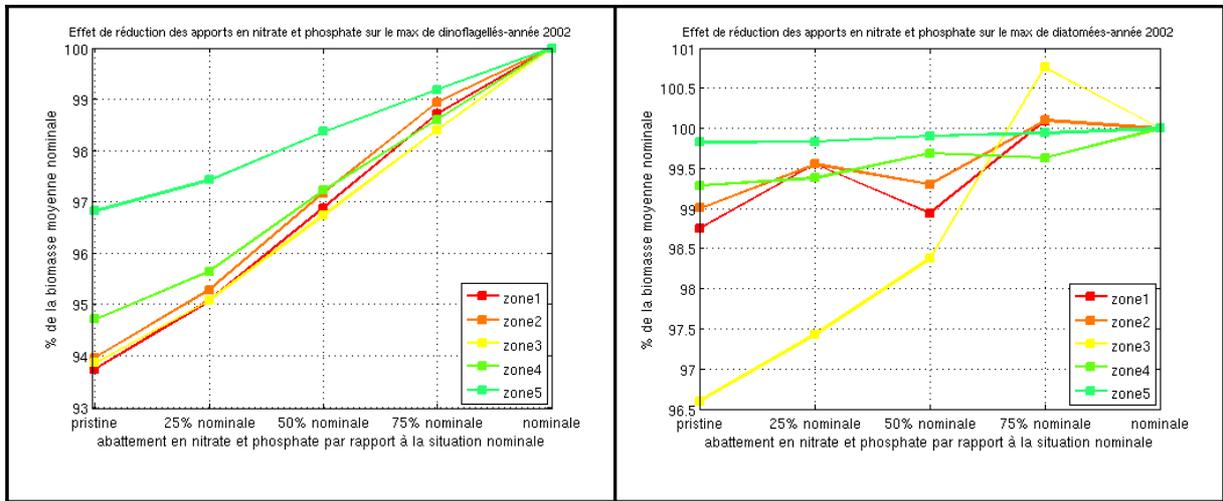


Figure 129: Effet des réductions des apports de nitrate et phosphate par la Vilaine sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

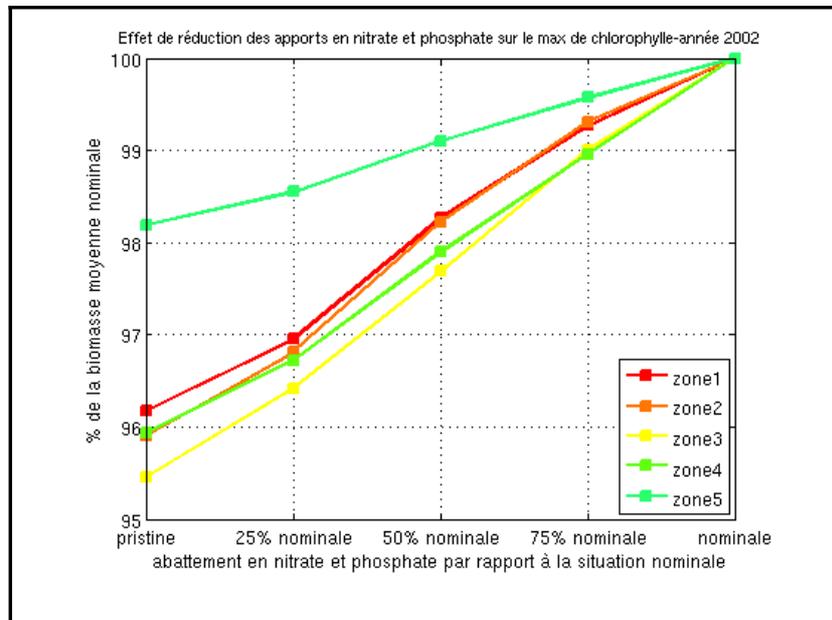


Figure 130: Effet des réductions des apports de nitrate et phosphate par la Vilaine sur le maximum annuel de chlorophylle ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

## LOIRE

rejets NO3	valeur moyenne	valeur max	valeur min
nominale	14	23	7
50 %	7	11,5	3,5
25 %	3,5	5,75	1,75
pristine	1,5	1,5	1,5

Tableau 78: Récapitulatif des scénarios d'abattement en nitrate (mg/L) sur la Loire pour l'année 2002.

	dinoflagellés		diatomées	
	valeur moyenne	valeur max	valeur moyenne	valeur max
zone 1	1	5	4	9
zone 2	2,5	11	6,5	15
zone 3	1,5	6,5	3	6,5
zone 4	0,5	3	1	3
zone 5	0,5	2,5	1	3

Tableau 79: Récapitulatif des concentrations en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) en situation nominale et pour chaque zone de dilution en situation médiane.

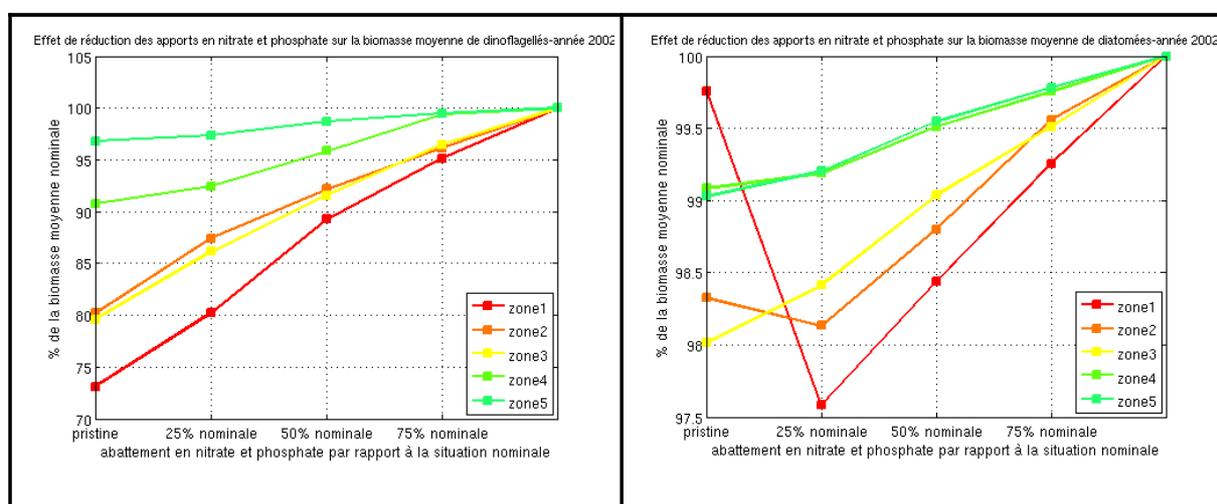


Figure 131: Effet des réductions des apports de nitrate et phosphate par la Loire sur la moyenne annuelle de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et pour chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

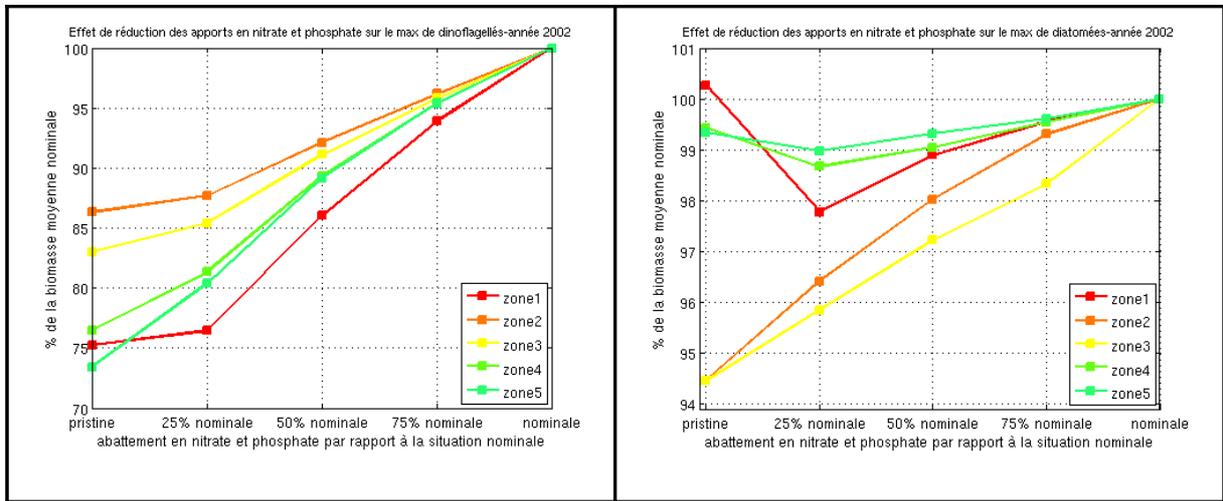


Figure 132: Effet des réductions des apports de nitrate et phosphate par la Loire sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

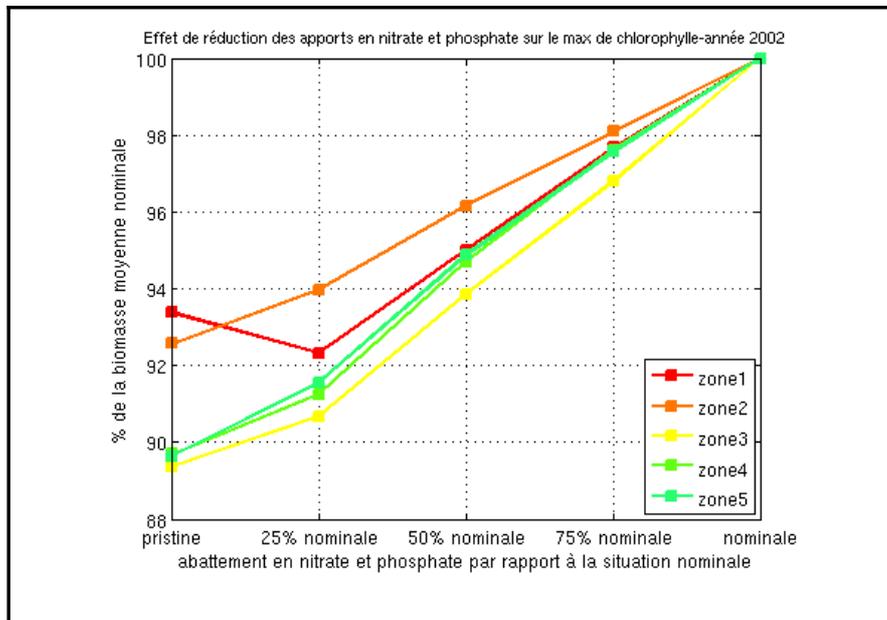


Figure 133: Effet des réductions des apports de nitrate et phosphate par la Loire sur le maximum annuel de chlorophylle ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution en situation médiane.

# LOIRE ET VILAINE

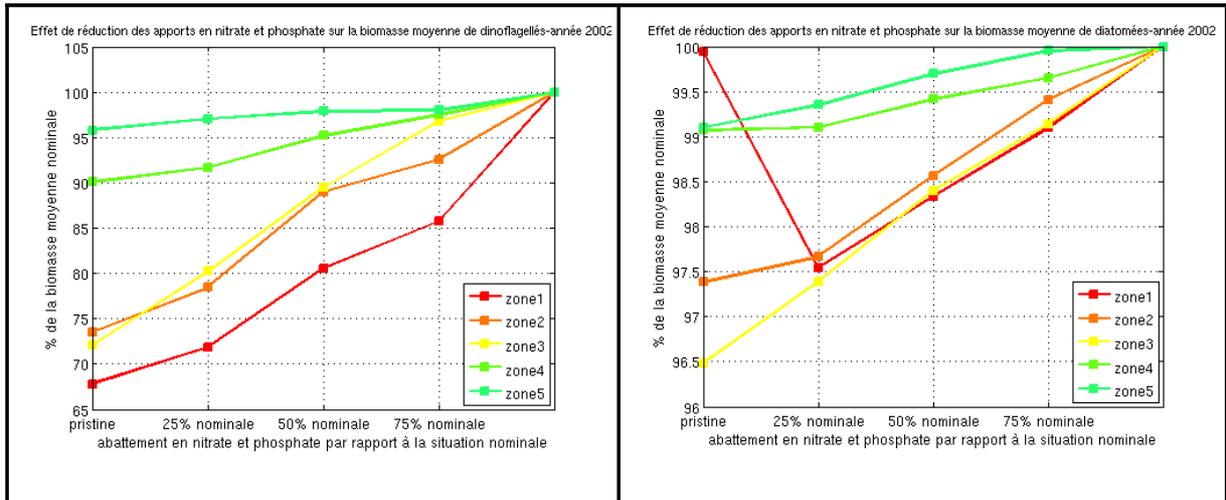


Figure 134: Effet des réductions des apports de nitrate et phosphate par la Loire et la Vilaine sur la moyenne annuelle de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et pour chaque zone du panache de dilution de la Loire en situation médiane.

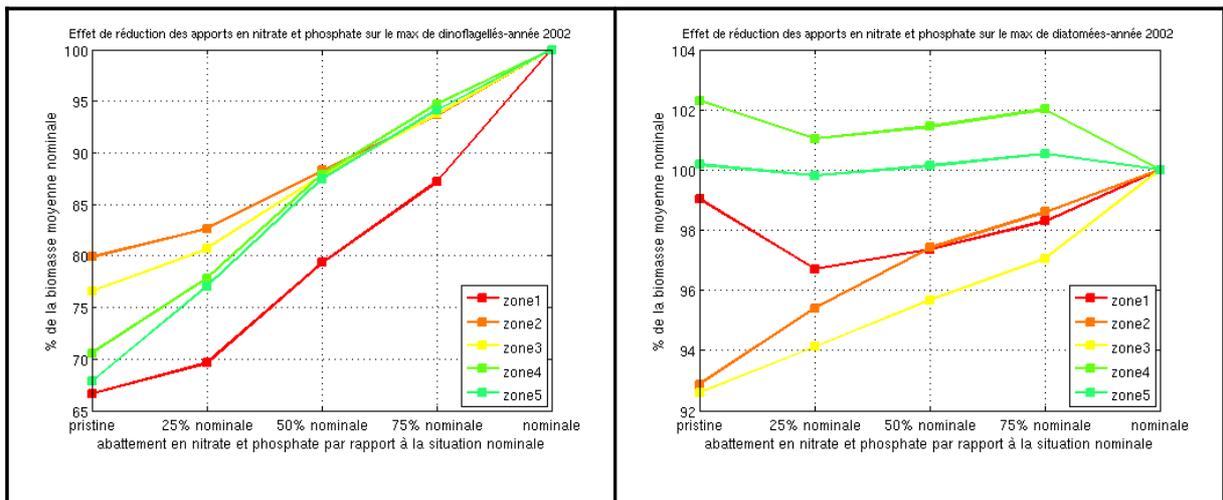


Figure 135: Effet des réductions des apports de nitrate et phosphate par la Loire et la Vilaine sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution de la Loire en situation médiane.

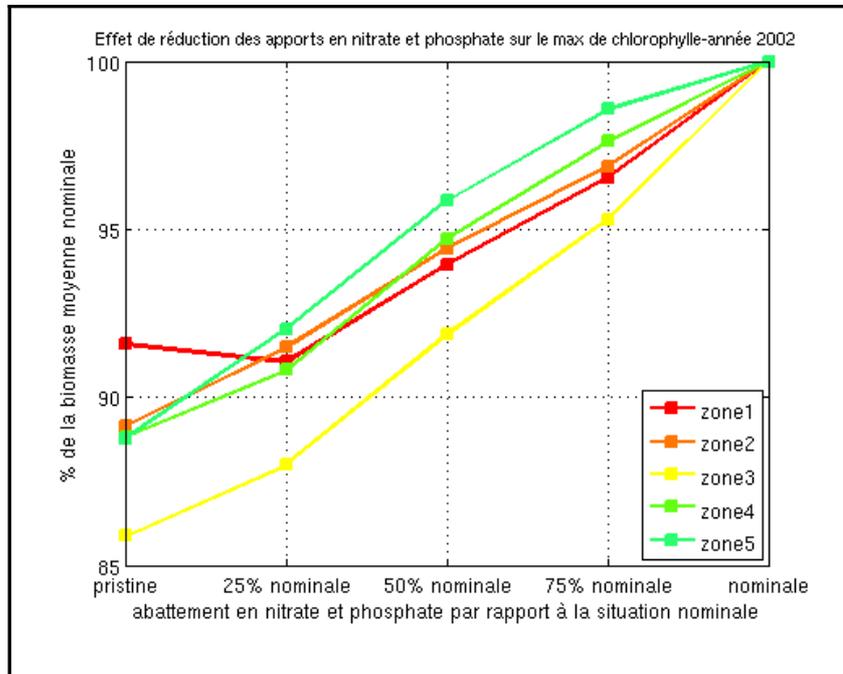


Figure 136: Effet des réductions des apports de nitrate et phosphate par la Loire et la Vilaine sur le maximum annuel de chlorophylle( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution de la Loire en situation médiane.

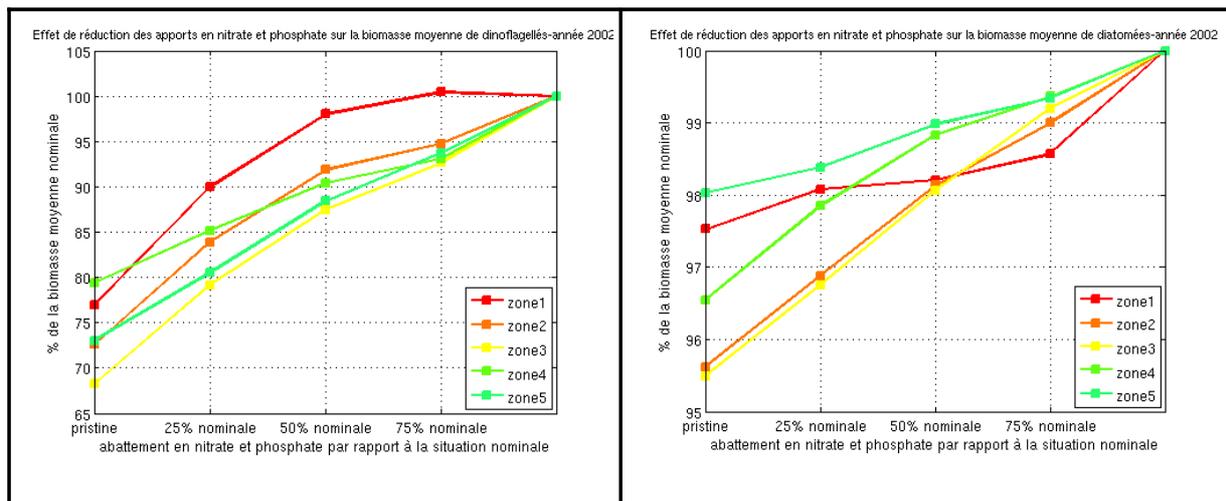


Figure 137: Effet des réductions des apports de nitrate et phosphate par la Loire et la Vilaine sur la moyenne annuelle de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et pour chaque zone du panache de dilution de la Vilaine en situation médiane.

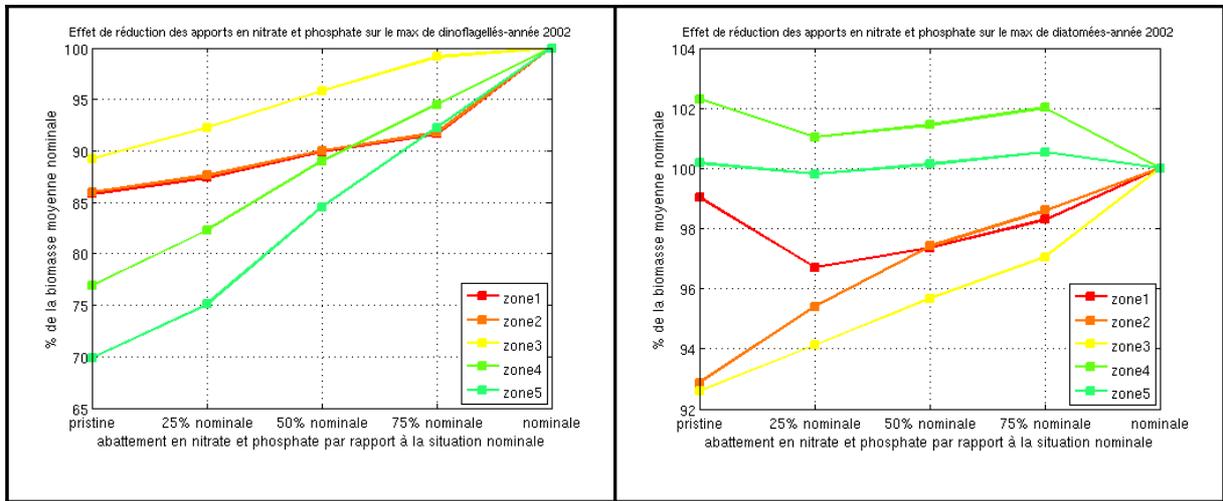


Figure 138: Effet des réductions des apports de nitrate et phosphate par la Loire et la Vilaine sur le maximum annuel de la biomasse en dinoflagellés et diatomées ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution de la Vilaine en situation médiane.

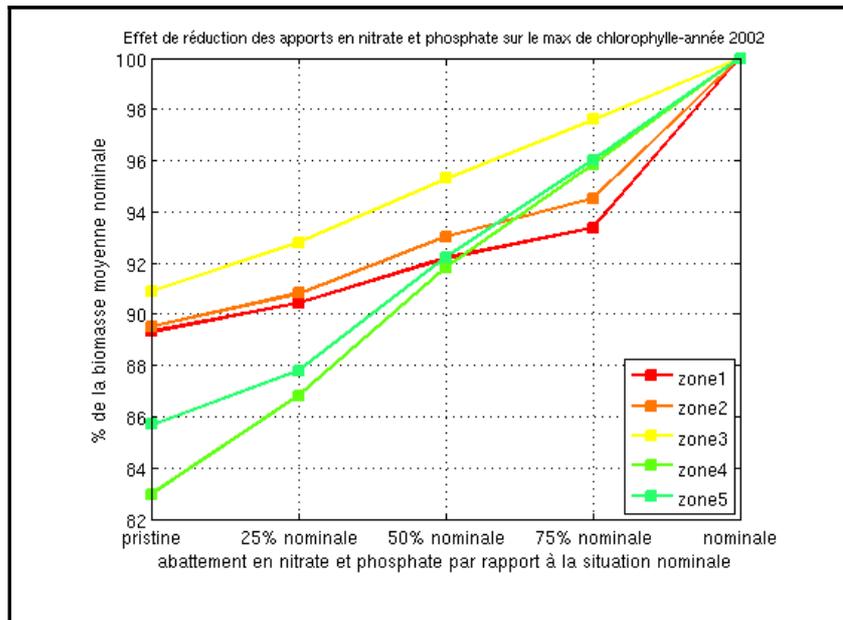


Figure 139: Effet des réductions des apports de nitrate et phosphate par la Loire et la Vilaine sur le maximum annuel de chlorophylle ( $\mu\text{g/L}$ ) relativement à la situation de référence et moyenné sur chaque zone du panache de dilution de la Vilaine en situation médiane.

## ANNEXE 2: Équations du modèle biogéochimique

Ammonium  $X_1$  ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ):

$$\begin{aligned} \frac{dX_1}{dt} = & k_{\min N} f_T X_8 - \frac{X_1}{X_1 + X_2} [\mu_{\max \text{diat}} f_T \min(f_{\text{Ndiat}}, f_{\text{Sidiat}}, f_{\text{Pdiat}}, f_{\text{Ldiat}}) X_6 \\ & + \mu_{\max \text{flag}} f_T \min(f_{\text{Nflag}}, f_{\text{Pflag}}, f_{\text{Lflag}}) X_7 - k_{\text{nitrif}} X_1 + e_{\text{zoo}} r_{\text{N/dwzoo}} f_T X_{11} \\ & + (I_z > 0) V_{\max \text{Nulva}} \frac{X_1 + X_2}{K_{\text{Nulva}} + X_1 + X_2} \left[ \left( \frac{q_{\max N} - X_{13} / X_{12}}{q_{\max N} - q_{\min N}} \right) X_{12} + \left( \frac{q_{\max N} - X_{16} / X_{15}}{q_{\max N} - q_{\min N}} \right) \frac{X_{15}}{z_{\max} - z_{\min}} \right] \end{aligned}$$

Nitrate  $X_2$  ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ):

$$\begin{aligned} \frac{dX_2}{dt} = & k_{\text{nitrif}} X_1 - \frac{X_2}{X_1 + X_2} [\mu_{\max \text{diat}} f_T \min(f_{\text{Ndiat}}, f_{\text{Sidiat}}, f_{\text{Pdiat}}, f_{\text{Ldiat}}) X_6 + \mu_{\max \text{flag}} f_T \min(f_{\text{Nflag}}, f_{\text{Pflag}}, f_{\text{Lflag}}) X_7 \\ & + (I_z > 0) V_{\max \text{Nulva}} \frac{X_1 + X_2}{K_{\text{Nulva}} + X_1 + X_2} \left[ \left( \frac{q_{\max N} - X_{13} / X_{12}}{q_{\max N} - q_{\min N}} \right) X_{12} + \left( \frac{q_{\max N} - X_{16} / X_{15}}{q_{\max N} - q_{\min N}} \right) \frac{X_{15}}{z_{\max} - z_{\min}} \right] \end{aligned}$$

Dissolved silicon  $X_3$  ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ):

$$\frac{dX_3}{dt} = k_{\text{diss}} f_T X_9 - r_{\text{Si/N}} \mu_{\max \text{diat}} f_T \min(f_{\text{Ndiat}}, f_{\text{Sidiat}}, f_{\text{Pdiat}}, f_{\text{Ldiat}}) X_6$$

Dissolved phosphorus  $X_4$  ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ):

$$\begin{aligned} \frac{dX_4}{dt} = & -k_{\text{adsorp}} (Q_{0\max} X_{SM} - X_5) X_4 + k_{\text{desorp}} \frac{X_5}{Q_{0\max} X_{SM}} X_5 + k_{\min P} X_{10} + e_{\text{zoo}} r_{\text{P/N}} r_{\text{N/dwzoo}} f_T X_{11} \\ & - r_{\text{P/N}} [\mu_{\max \text{diat}} f_T \min(f_{\text{Ndiat}}, f_{\text{Sidiat}}, f_{\text{Pdiat}}, f_{\text{Ldiat}}) X_6 + \mu_{\max \text{flag}} f_T \min(f_{\text{Nflag}}, f_{\text{Pflag}}, f_{\text{Lflag}}) X_7 \\ & + (I_z > 0) V_{\max \text{Pulva}} \frac{X_4}{K_{\text{Pulva}} + X_4} \left[ \left( \frac{q_{\max P} - X_{14} / X_{12}}{q_{\max P} - q_{\min P}} \right) X_{12} + \left( \frac{q_{\max P} - X_{17} / X_{15}}{q_{\max P} - q_{\min P}} \right) \frac{X_{15}}{z_{\max} - z_{\min}} \right] \end{aligned}$$

Particulate exchangeable phosphorus  $X_5$  ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ):

$$\frac{dX_5}{dt} = k_{\text{adsorp}} (Q_{0\text{max}} X_{\text{SM}} - X_5) X_4 - k_{\text{desorp}} \frac{X_5}{Q_{0\text{max}} X_{\text{SM}}} X_5$$

Diatom nitrogen  $X_6$  ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ):

$$\begin{aligned} \frac{dX_6}{dt} = & f_T (\mu_{\text{max,diat}} \min(f_{\text{Ndiat}}, f_{\text{Sdiat}}, f_{\text{Pdiat}}, f_{\text{Ldiat}}) - m_{\text{diat}}) X_6 \\ & - \mu_{\text{max,zoo}} f_T \left[ 1 - \exp\left(-\gamma_{\text{zoo}} (X_6/r_{\text{N|chloro}} - \text{Pr}_{\text{th}})\right) \right] X_{11} \end{aligned}$$

Flagellate nitrogen  $X_7$  ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ):

$$\frac{dX_7}{dt} = f_T (\mu_{\text{max,flag}} \min(f_{\text{Nflag}}, f_{\text{Pflag}}, f_{\text{Lflag}}) - m_{\text{flag}}) X_7$$

Detrital organic nitrogen  $X_8$  ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ):

$$\begin{aligned} \frac{dX_8}{dt} = & m_{\text{diat}} f_T X_6 + m_{\text{flag}} f_T X_7 + m_{\text{ulva}} f_T (X_{13} + X_{16} / (z_{\text{max}} - z_{\text{min}})) - k_{\text{min,N}} f_T X_8 \\ & + f_T \left( \max(m_{\text{min,zoo}}, m_{\text{fzoo}} X_{11}) + (1 - \text{Ass}) \mu_{\text{max,zoo}} \left[ 1 - \exp\left(-\gamma_{\text{zoo}} (X_6/r_{\text{N|chloro}} - \text{Pr}_{\text{th}})\right) \right] \right) r_{\text{N|dwzoo}} \end{aligned}$$

Detrital biogenic silicon  $X_9$  ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ):

$$\begin{aligned} \frac{dX_9}{dt} = & m_{\text{diat}} f_T r_{\text{Si|N}} X_6 - k_{\text{dss}} f_T X_9 \\ & + \mu_{\text{max,zoo}} f_T \left[ 1 - \exp\left(-\gamma_{\text{zoo}} (X_6/r_{\text{N|chloro}} - \text{Pr}_{\text{th}})\right) \right] r_{\text{Si|N}} r_{\text{N|dwzoo}} X_{11} \end{aligned}$$

Detrital organic phosphorus  $X_{10}$  ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ):

$$\frac{dX_{10}}{dt} = -k_{\min P} f_T X_{10} + r_{P/N} f_T (m_{\text{dkt}} X_6 + m_{\text{flag}} X_7) + m_{\text{ulva}} f_T (X_{14} + X_{17} / (z_{\max} - z_{\min})) \\ + f_T \left[ \max(m_{\min \text{zoo}}, m_{\text{fzoo}} X_{11}) + (1 - \text{Ass}) \mu_{\max \text{zoo}} \left[ 1 - \exp(-\gamma_{\text{zoo}} (X_6 / r_{N/\text{chloro}} - \text{Pr}_{\text{th}})) \right] \right] r_{P/N} r_{N/\text{dwzoo}} X_{11}$$

Zooplankton biomass  $X_{11}$  ( $\text{mg m}^{-3}$  dry weight):

$$\frac{dX_{11}}{dt} = \mu_{\max \text{zoo}} \text{Ass} f_T \left[ 1 - \exp(-\gamma_{\text{zoo}} (X_6 / r_{N/\text{chloro}} - \text{Pr}_{\text{th}})) \right] X_{11} - e_{\text{zoo}} f_T X_{11} \\ - f_T \max(m_{\min \text{zoo}}, m_{\text{fzoo}} X_{11}) X_{11}$$

Biomass of suspended ulvae  $X_{12}$  ( $\text{kg m}^{-3}$  dry weight):

$$\frac{dX_{12}}{dt} = (\mu_{\max \text{ulva}} \min(f_{\text{Nulvasusp}}, f_{\text{Pulvasusp}}, f_{\text{Lulvasusp}}) - m_{\text{ulva}} f_T) X_{12} + \frac{\text{Resusp}_{\text{ulvadep}} X_{15} - \text{Wsed}_{\text{ulva}} X_{12}}{z_{\max} - z_{\min}}$$

Nitrogen content of suspended ulvae  $X_{13}$  ( $\text{g m}^{-3}$ ):

$$\frac{dX_{13}}{dt} = 14 \cdot 10^{-3} (I_z > 0) V_{\max \text{Nulva}} \frac{X_1 + X_2}{K_{\text{Nulva}} + X_1 + X_2} \left( \frac{q_{\max N} - X_{13} / X_{12}}{q_{\max N} - q_{\min N}} \right) X_{12} - m_{\text{ulva}} f_T X_{13} \\ + \frac{\text{Resusp}_{\text{ulvadep}} X_{16} - \text{Wsed}_{\text{ulva}} X_{13}}{z_{\max} - z_{\min}}$$

Phosphorus content of suspended ulvae  $X_{14}$  ( $\text{g m}^{-3}$ ):

$$\frac{dX_{14}}{dt} = 31 \cdot 10^{-3} (I_z > 0) V_{\max \text{Pulva}} \frac{X_4}{K_{\text{Pulva}} + X_4} \left( \frac{q_{\max P} - X_{14} / X_{12}}{q_{\max P} - q_{\min P}} \right) X_{12} - m_{\text{ulva}} f_T X_{14} \\ + \frac{\text{Resusp}_{\text{ulvadep}} X_{17} - \text{Wsed}_{\text{ulva}} X_{14}}{z_{\max} - z_{\min}}$$

Biomass of settled ulvae  $X_{15}$  (kg m<sup>-2</sup> dry weight) (only in bottom layer):

$$\frac{dX_{15}}{dt} = (\mu_{\max ulva} \min(f_{Nulvadep} f_{Pulvadep} f_{Lulvadep}) - m_{ulva} f_T - \text{Resusp}_{ulvadep}) X_{15} + W_{sedulva} X_{12}$$

Nitrogen content of settled ulvae  $X_{16}$  (g m<sup>-2</sup>) (only in bottom layer):

$$\begin{aligned} \frac{dX_{16}}{dt} = & 14 \cdot 10^{-3} (I_z > 0) V_{\max Nulva} \frac{X_1 + X_2}{K_{Nulva} + X_1 + X_2} \left( \frac{q_{\max N} - X_{16} / X_{15}}{q_{\max N} - q_{\min N}} \right) X_{15} \\ & - (m_{ulva} f_T + \text{Resusp}_{ulvadep}) X_{16} + W_{sedulva} X_{13} \end{aligned}$$

Phosphorus content of settled ulvae  $X_{17}$  (g m<sup>-2</sup>) (only in bottom layer):

$$\begin{aligned} \frac{dX_{17}}{dt} = & 31 \cdot 10^{-3} (I_z > 0) V_{\max Pulva} \frac{X_4}{K_{Pulva} + X_4} \left( \frac{q_{\max P} - X_{17} / X_{15}}{q_{\max P} - q_{\min P}} \right) X_{15} \\ & - (m_{ulva} f_T + \text{Resusp}_{ulvadep}) X_{17} + W_{sedulva} X_{14} \end{aligned}$$

## REFERENCES

MENESGUEN A., AMINOT A., BELIN C., CHAPELLE A., GUILLAUD J.F, JOANNY M., LEFEBVRE A., MERCERON M., PIRIOU J.Y, SOUCHU P. (2001). L'eutrophisation des eaux marines et saumâtres en Europe, en particulier en France. Rapport *IFREMER*, 59p.

MENESGUEN A., CUGIER P., LEBLOND I. (2006). A new numerical technique for tracking chemical species in a multisource, coastal ecosystem applied to nitrogen causing *Ulva* blooms in the Bay of Brest (France). *Limnology Oceanography*, **51**(1,part 2) 591-601.

LAZURE P., DUMAS F. (2008). An external-internal mode coupling for a 3D hydrodynamical model for applications at regional scale (MARS). *Advances in Water resources*, **31** 233-250.

BLUMBERG A.F., MELLOR G.L. (1987). A description of a three dimensional coastal circulation model. In : Three dimensional Coastal Ocean Models. Coastal and Estuarine science, **41**-16

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 (Journal of Water Sciences)*.

CEVA, 2002. Inventaire des proliférations d'algues vertes sur les côtes bretonnes en 2001 (*Ulva sp.*). CD-ROM AELB-CEVA