
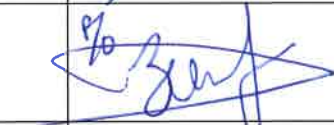




Détermination des flux d'azote (NO₃, NH₄) contributeurs aux marées vertes pour les cours d'eau alimentant les baies de Lancieux et de l'Arguenon

Note de synthèse

A l'attention de : Mme Anne LEGEAY - SAGE RANCE FREMUR BAIE DE BEAUSSAIS
Mme Alice LANDAIS - SAGE RANCE FREMUR BAIE DE BEAUSSAIS
Mme Marie Christine TOQUET - SAGE ARGUENON BAIE DE LA FRESNAYE

	Fonction	Nom	Signature	Date
Préparé par	Chef de Projet/ Equipe	Cédric PENARD		04/04/12
Approuvé par	Chargée d'Unité Gestion côtière et littorale	Muriel LUX		04/04/12
Vérifié par	Responsable Qualité	Cindy HORTALA		04/04/12
Autorisé par	Responsable Production	Frédérique PONCHAUT		04/04/12

1. Introduction

Dans le cadre de l'étude intitulée « Détermination des flux d'azote (NO₃, NH₄) contributeurs aux marées vertes pour les cours d'eau alimentant les baies de Lancieux et de l'Arguenon » (Acte d'engagement du 21/10/2011), ce document constitue la note de synthèse de l'étude résumant l'ensemble des travaux décrits dans le rapport final référencé NOV-7077-NT-1114.

L'étude s'est déroulée selon deux phases :

- Détermination des flux d'azote contributeurs aux marées vertes dans les baies de Lancieux et de l'Arguenon et la réalisation des simulations de référence, objet du rapport de phase 1 : NOV-7077-NT-780 ;
- Détermination d'objectifs de concentration en nitrates par cours d'eau pour agir sur les marées vertes, objet du rapport de phase 2 : NOV-7077-NT-1113.

2. Contexte et objectifs de l'étude

Les marées vertes sont des phénomènes très côtiers qui ont lieu pendant la période productive d'avril à octobre. En fonction des conditions hydrodynamiques, les ulves s'échouent en masse sur les estrans et s'accumulent. La décomposition de la biomasse algale échouée sur les plages dégage du sulfure d'hydrogène provoquant ainsi une odeur nauséabonde. Ce phénomène, en plus d'avoir un impact environnemental, a des conséquences néfastes sur l'économie et le tourisme. L'actualité récente a montré qu'il existe un enjeu de santé publique lié à la production d'hydrogène sulfuré causé par la décomposition des substances organiques. L'hydrogène sulfuré est toxique voire mortel à partir d'une certaine concentration.

La responsabilité du nitrate dans la prolifération d'algues vertes a été démontrée. Et c'est donc sur les flux azotés qu'il faut agir pour retrouver un bon état écologique des baies touchées par ce phénomène de marées vertes.

La Directive Cadre Européenne sur l'Eau, appliquée à travers les SDAGE (Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux), vise l'atteinte du bon état des eaux et des milieux aquatiques avant 2015. L'état écologique de la masse d'eau côtière Rance-Fresnaye, qui recouvre les baies de Lancieux et de l'Arguenon est évaluée comme médiocre à cause du paramètre ulves, avec un risque de non atteinte du bon état en 2015. Pour mettre en place un programme d'action efficace, il est nécessaire de mieux connaître le fonctionnement écologique de ces deux baies et de connaître les flux azotés contribuant aux phénomènes de marées vertes.

Pour définir des objectifs clairs de concentration en nitrate à atteindre dans chaque fleuve, il faut évaluer l'influence des réductions de concentrations de nitrate sur la prolifération d'ulves. Seule la modélisation permet de tester des scénarios de réduction et de voir l'influence et la part de chaque fleuve dans la prolifération des algues vertes.

Ainsi, l'étude de scénarios a pour objectif de trouver vers quelles concentrations en nitrate il faut tendre pour réduire significativement le phénomène de marées vertes.

3. Méthodologie

Les deux baies concernées par l'étude sont les baies de l'Arguenon et de Lancieux qui sont présentées sur la Figure 1.

La Figure 2 présente la plateforme de modélisation et la méthodologie appliquées dans la présente étude. Le modèle MARS3D et son module biogéochimique de l'IFREMER ont été utilisés. Ce modèle permet de calculer l'ampleur des marées vertes à partir de différents paramètres environnementaux : les concentrations en nutriments (nitrate et phosphate), la température, l'éclairement et les conditions hydrodynamiques. Ce modèle prend ainsi en entrée les concentrations journalières en nitrate et phosphate de l'Arguenon, du Drouet, du Flouhalay et du Frémur.

La première étape de cette étude a été de récolter et de mettre en forme les différentes données de concentrations et de débits des 4 cours d'eau concernés.

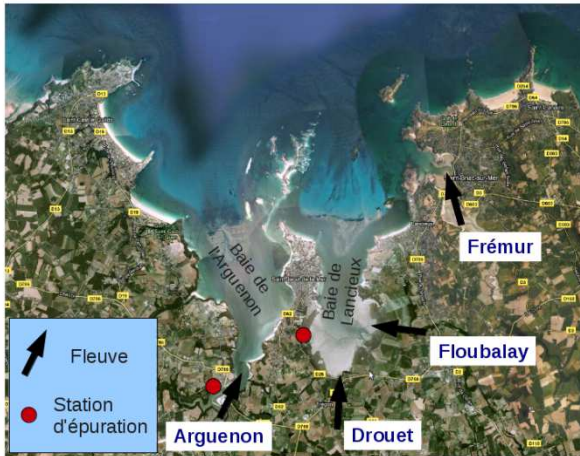


Figure 1 : Carte des deux baies avec la position des fleuves et des deux stations d'épurations

Les concentrations en nitrate recalculés à l'exutoire maritime de chaque rivière prennent en compte les apports des différentes stations d'épurations. La station d'épuration de Saint-Jacut de la mer a aussi été prise en compte.

Des simulations dites de références ont été effectuées sur 3 années de façon à calibrer le modèle sur la zone d'étude. Trois critères ont permis de définir les années de référence :

- Le caractère hydrologique de l'année;
- La présence et l'ampleur des marées vertes;
- Les flux d'azote pendant les années considérées.

Compte tenu de ces critères et de l'analyse des flux d'azote calculés à l'exutoire de chacune des 4 rivières concernées, les trois années de référence suivantes ont donc été sélectionnées :

- **2006** : année sèche, présentant de faibles flux de nitrate et ne présentant aucune marée verte ;
- **2007** : année intermédiaire, présentant de forts flux d'azote et des marées vertes relativement importantes ;
- **2008** : année humide, présentant des flux d'azote relativement importants et des marées vertes assez importantes.

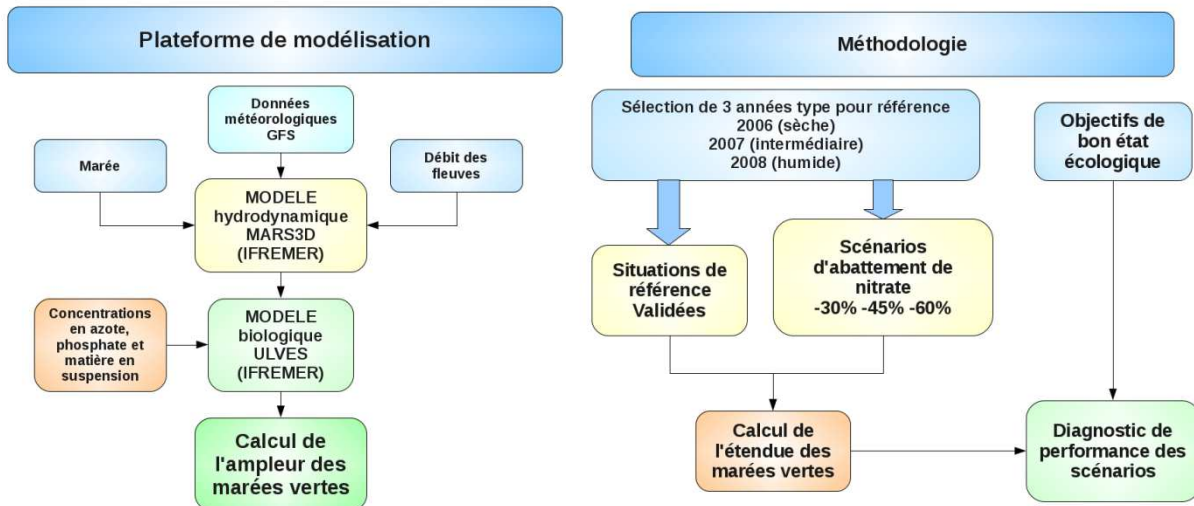


Figure 2 : Présentation de la plateforme de modélisation et de la méthodologie

La validation des simulations de référence a consisté à comparer les surfaces d'échouage déduites du modèle à celles déduites de photoaériennes (source CEVA).

Les scénarios d'abattement ont été effectués en appliquant une réduction de la concentration en nitrate. Cette réduction a été appliquée aux valeurs journalières des concentrations en nitrate prises en compte dans le modèle. Des simulations avec ces concentrations réduites ont été faites sur 2007 et 2008. L'année 2006 a été laissée de côté du fait qu'elle ne présentait pas de phénomène de marée verte. Cette simulation de référence avait été sélectionnée à des fins de calibration du modèle, c'est-à-dire pour s'assurer que le modèle ne modélise pas de marées vertes alors qu'il ne doit pas y en avoir.

4. Résultats

4.1. Flux d'azote

La Figure 3 montre les flux d'azote mensuels calculés sur la période productive (soit d'avril à octobre).

L'année 2006 présente des flux d'azote plus importants que l'année 2007. Mais, à la différence de l'année 2007, ces flux sont essentiellement concentrés sur la période hivernale. L'année 2007 est en effet marquée par un été pluvieux et donc des débits et des flux d'azote plus importants pendant la période estivale. Cela se remarque sur les surfaces impactées par les phénomènes de marées vertes qui sont inexistantes en 2006 et relativement importants dans les deux baies en 2007.

L'année 2008 se démarque assez nettement des autres années avec des flux d'azote relativement forts. Les flux d'azote sur l'année 2008 sont les plus forts depuis 2001. Cette année a présenté aussi des marées vertes d'ampleur relativement importante.

L'analyse des flux d'azote montre que l'Arguenon est la principale source d'azote des deux baies, les autres rivières ayant, notamment, des débits beaucoup plus faibles, et, par conséquent, des flux d'azote moins importants.

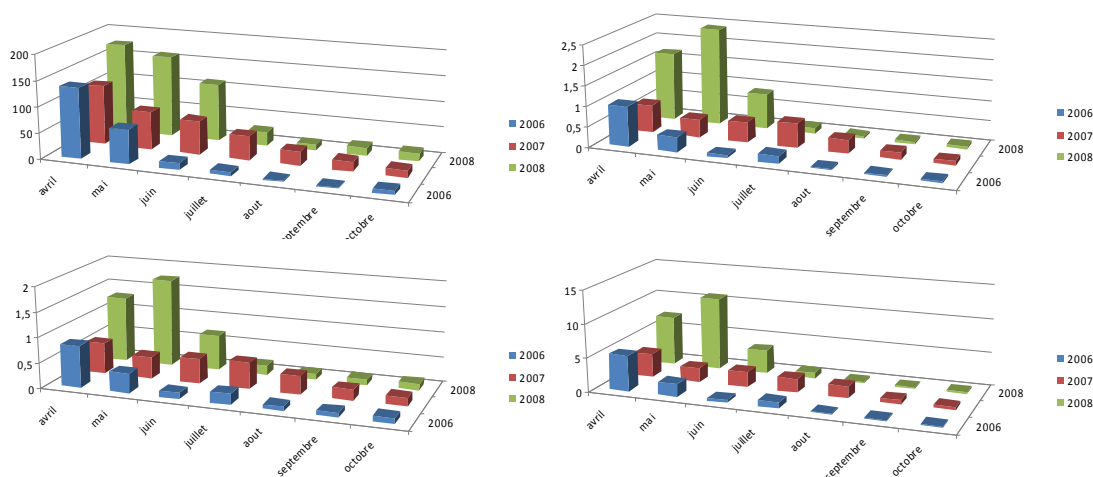


Figure 3 : Flux d'azote mensuels en 2006, 2007 et 2008 sur la période productive sur les 4 fleuves : Arguenon (en haut à gauche), Drouet (en haut à droite), Flouhalay (en bas à gauche) et Frémur (en bas à droite)

4.2. Simulations de références et scénarios d'abattement

Lors de la phase 1, l'étude des simulations de référence a mis en exergue les éléments suivants :

- Une cohérence dans la comparaison des surfaces d'échouage entre les résultats du modèle et les mesures du CEVA ;
- Des ordres de grandeur respectés concernant les quantités de biomasse ;
- Des évolutions saisonnières cohérentes ;
- Une distribution spatiale des dépôts conforme à la connaissance du phénomène.

L'étude de scénarios de la phase 2 a pour objectif d'utiliser le modèle couplé hydrodynamique/biologique décrit dans ce rapport pour trouver vers quelles concentrations en nitrate il faut tendre pour réduire significativement le phénomène de marées vertes dans les baies de Lancieux et de l'Arguenon.

Dans un premier temps le modèle nous a permis de déterminer la part des apports de nitrates de chaque rivière dans la génération des marées vertes. Pour cela, nous avons réalisé les trois tests suivants sur l'année 2008 : Suppression totale des apports en nitrates de l'Arguenon ; Suppression totale des apports en nitrates du Frémur ; Suppression totale des apports en nitrates du Flouhalay et du Drouet.

Cela nous a permis de montrer que :

- Sur la baie de Lancieux seule une diminution collective des concentrations en nitrate de l'Arguenon, du Flouhalay et du Drouet permettra de diminuer les phénomènes de marées vertes ;
- Sur la baie de l'Arguenon, seul l'Arguenon a une influence ;
- Le Frémur n'a pas ou peu d'impact sur les marées vertes dans les deux baies.

Par la suite, les scénarios choisis et les simulations effectuées nous ont permis de comparer différents scénarios de réduction de la concentration en nitrate pour les 4 rivières. En tout, 7 scénarios ont été réalisés sur 2007 et 2008 dont les résultats en termes de taux d'abattement de la biomasse maximale (maximum de biomasse en $g_{\text{poids sec}}/m^2$ au cours de l'année) sur les deux baies (i.e. réduction des marées vertes) sont synthétisés dans le Tableau 1. Les scénarios n°4 et -60 % montrent les taux d'abattement les plus forts. Ces scénarios représentent des objectifs d'abattement de la concentration en nitrate poussés, notamment pour l'Arguenon.

Scénarios	2007	2008
-30 % sur les 4 rivières	-5 %	-5 %
-45 % sur les 4 rivières	-22 %	-22 %
-60 % sur les 4 rivières	-39 %	-37 %
Scénario 1 (A-45% D-30% FI-30% Fr-30%)	-13 %	-12 %
Scénario 2 (A-45% D-45% FI-45% Fr-30%)	-22 %	-22 %
Scénario 3 (A-60% D-30% FI-30% Fr-30%)	-17 %	-13 %
Scénario 4 (A-60% D-60% FI-60% Fr-30%)	-38 %	-37 %

Tableau 1 : Taux d'abattement de la biomasse maximale sur les deux baies

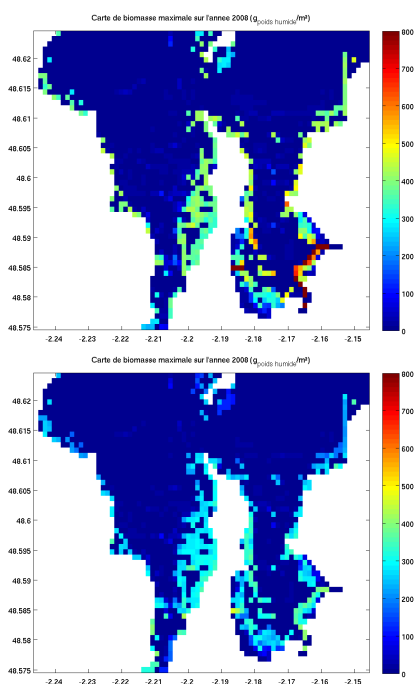


Figure 4 : Comparaison de la biomasse maximale sur l'année 2008 : simulation de référence en haut, scénario n°2 en bas

Les scénarios n°2 et -45 % donnent des taux d'abattement plus faibles, mais néanmoins intéressants par rapport à la réduction de la concentration en nitrate appliquée. On ne constate aucune différence entre ces deux scénarios ce qui confirme la faible influence du Frémur : fournir un effort supplémentaire sur la concentration en nitrate du Frémur n'est pas nécessaire pour réduire les marées dans les baies de Lancerieux et de l'Arguenon.

Le scénario n°3 montre qu'un effort supplémentaire uniquement ciblé sur l'Arguenon ne permet pas une réduction plus importante des marées vertes s'il n'y a pas, en parallèle, une réduction de la concentration en nitrate des deux rivières du fond de la baie de Lancerieux : le Drouet et le Flouhalay.

Le scénario n°2 semble donc être le scénario qui montre la réduction la plus efficace par rapport à l'effort consenti sur les concentrations en nitrate. Ce scénario correspond à un abattement de 45 % de la concentration en nitrate dans l'Arguenon, le Drouet et le Flouhalay et un abattement de 30 % de la concentration en nitrate dans le Frémur.

Cela correspond aux objectifs de concentrations moyennes en nitrate suivants :

- 20,0 mg/l pour l'Arguenon ;
- 8,7 mg/l pour le Drouet ;
- 11,8 mg/l pour le Flouhalay ;
- 8,0 mg/l pour le Frémur

Sachant que les concentrations moyennes en nitrate pendant l'année 2010 ont été de :

- 27,4 mg/l pour l'Arguenon ;
- 12,9 mg/l pour le Drouet ;
- 19,2 mg/l pour le Flouhalay ;
- 8,0 mg/l pour le Frémur.

L'effort à prévoir pour la réduction des concentrations par rapport à celles mesurées en 2010 serait de 27 % pour l'Arguenon, 33 % pour le Drouet, 39 % pour le Flouhalay et 0 % pour le Frémur.