



Document de référence  
(MC4bis)

Réf.	CEVA/AQM13001/RAP/018-V1.0
Date	15/10/14
Page	1/32

**Étude de connaissance des marées vertes du littoral Atlantique sous influence de la Loire et de la Vilaine**

*Mission MC4bis : réduction des marées vertes sur les sites d'échouages (simulations complémentaires)*

<b>Objet</b>			
<b>Rapport</b>			
<b>Rédacteur</b>		CEVA/Thierry PERROT	
<b>Liste de diffusion :</b>			
Nom	Structure	Nom	Structure
Isabelle BERTRAND Hélène LEGRAND	DREAL Pays de Loire DREAL Pays de Loire		
<b>Visas</b>			
Structure	CEVA	CEVA	DREAL
Nom	Sylvain Ballu	Nadège ROSSI	Hélène LEGRAND
Qualité	Chef Projet	Responsable qualité	Pilotage Etude
Visa			







# Document de référence (MC4bis)

Réf.	CEVA/AQM13001/RAP/018-V1.0
Date	15/10/14
Page	2/32





 	<b>Document de référence (MC4bis)</b>	Réf.	CEVA/AQM13001/RAP/018-V1.0
		Date	15/10/14
		Page	3/32

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>5</b>
<b>1. METHODOLOGIE GENERALE .....</b>	<b>7</b>
<b>2. CONSTITUTION D'UNE NOUVELLE LIMITE MARINE REPRESENTATIVE DU SIGNAL SAISONNIER DE SURFACE AU LARGE DU GOLFE DE GASCOGNE.....</b>	<b>10</b>
<b>3. COMPARAISON SUCCINCTE AVEC LES RESULTATS DE LA MISSION MB2 ET IMPACT DE LA NOUVELLE LIMITE MARINE SUR LE SCENARIO H15.....</b>	<b>11</b>
<b>4. MC4BIS : REDUCTION DES MAREES VERTES SUR LES SITES D'ECHOUGES (SIMULATIONS COMPLEMENTAIRES) .....</b>	<b>14</b>
4.1. PRESENTATION DES SCENARII.....	14
4.2. RESULTATS POUR LE MODELE « LOIRE-VILAINE » .....	16
4.3. RESULTATS POUR LE MODELE « SABLES D'OLONNE-ÎLE DE RE ».....	18
<b>5. TEMPS DE REPONSE DU MILIEU NATUREL.....</b>	<b>20</b>
5.1. COMPARTIMENT SEDIMENTAIRE .....	20
5.2. COMPARTIMENT MACROALGAL .....	21
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>23</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>26</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>28</b>



 	<b>Document de référence (MC4bis)</b>	Réf.	CEVA/AQM13001/RAP/018-V1.0
		Date	15/10/14
		Page	4/32



## FIGURES

Figure 1 : Secteurs d'échouages retenus dans la mission MB3.....	9
Figure 2 : Comparaison du signal « large » provenant des données à Astan avec celui extrait au point fixe (3.5° W, 45.24 °N) des cartographies mensuelles de Sourisseau (2011). Ecart relatif estimé sur la période de mai à septembre.....	10
Figure 3 : illustration du secteur 12 bis correspondant aux pixels rouge, le secteur 12 étant illustré par la somme des pixels rouges et bleus.....	18

## TABLEAUX

Tableau 1 : Surfaces totales des échouages d'ulves en équivalent 100 % mesurées par le Ceva de 2007 à 2012 sur le linéaire côtier allant de Quiberon à l'île de Ré : cumul des trois mesures annuelles (mai, juillet, septembre).....	7
Tableau 2 : Ecart relatif moyen de mai à septembre 2009 pour la biomasse et les quotas en azote et phosphore des ulves. Ecart calculé entre les situations de référence utilisant la limite marine Astan du rapport MB2 et la nouvelle limite marine.....	12
Tableau 3 : Effet de la réduction des flux de nitrate (scénarii H15 de la mission MC4) sur la biomasse totale en ulves pour le modèle « Loire-Vilaine » sur l'année hydrologique 2009 et comparaison entre les deux limites marines (secteur 2 : Saint-Jacques ; secteur 3 : Penvins + Banastère ; secteur 4 : Pen-Bé + Mesquer ; secteur 5 : Piriac-sur-Mer ; secteur 6 : Le Croisic ; secteur 7 : La Baule ; secteur 8 : Noirmoutier-La Fosse + Noirmoutier-Gois + Noirmoutier-Sableaux + Noirmoutier-Vieil + Noirmoutier-Epine + Noirmoutier-Guérinière).....	13
Tableau 4 : Effet de la réduction des flux de nitrate (scénarii de la mission MC4) sur la biomasse totale en ulves pour le modèle « Sables d'Olonne-Ile de Ré » sur l'année hydrologique 2009 et comparaison entre les deux limites marines.....	13
Tableau 5 : Scénarii de réduction des teneurs pour la mission MC4bis en utilisant la nouvelle limite marine.....	15
Tableau 6 : Effet de la réduction des flux de nutriments sur la biomasse totale en ulves pour le modèle « Loire-Vilaine » sur l'année hydrologique 2009.....	17
Tableau 9 : Effet de la réduction des flux de nutriments sur la biomasse totale en ulves pour le modèle « Sables d'Olonne-Ile de Ré » sur l'année hydrologique 2009.....	19
Tableau 7 : Effet de la réduction des flux de nutriments sur la biomasse en diatomées de la couche de FOND pour le modèle « Loire-Vilaine » sur l'année hydrologique 2009.....	31
Tableau 8 : Effet de la réduction des flux de nutriments sur la biomasse en diatomées de la couche de SURFACE pour le modèle « Loire-Vilaine » sur l'année hydrologique 2009.....	31
Tableau 10 : Effet de la réduction des flux de nutriments sur la biomasse en diatomées de la couche de FOND pour le modèle « Sables d'Olonne-Ile de Ré » sur l'année hydrologique 2009.....	32



  <small>LIBERTÉ ÉGALITÉ FRATERNITÉ</small> <small>REPUBLIQUE FRANÇAISE</small>  <small>PRÉFET</small> <small>DE LA RÉGION</small> <small>PAYS DE LA LOIRE</small>	<b>Document de référence (MC4bis)</b>	Réf.	CEVA/AQM13001/RAP/018-V1.0
		Date	15/10/14
		Page	5/32

## INTRODUCTION

Dans le cadre du projet « Étude de connaissance des marées vertes du littoral atlantique sous influence de la Loire et de la Vilaine », le CCTP a prévu dans sa mission C la réalisation de 5 simulations complémentaires à celles déjà effectuées dans le cadre des missions MC3 et MC4 (abattements de 15, 30 et 60 % sur les apports de nitrates de la Loire, de la Vilaine, de la Loire + Vilaine et de tous les contributeurs ; mêmes niveaux d'abattements sur le phosphore de la Loire et le phosphore de tous les contributeurs). Ces dernières ont montré des niveaux de réduction de la marée verte relativement faibles même pour les scénarii de réduction des flux de nitrate les plus drastiques (scénario H9 : réduction de 60 % du nitrate de la Loire et de la Vilaine et H15 : réduction de 60 % de tous les contributeurs). De plus, les scénarii de réduction des teneurs en phosphore des rivières (scénarii H10 à H12 et H22 à H24) ont débouché sur des niveaux d'abattements de la biomasse totale en algues vertes négatifs (augmentation du stock total d'ulves qui a été expliqué par un prélèvement moindre de l'azote dissous présent dans la colonne d'eau par le compartiment phytoplanctonique en cas de diminution des apports de phosphore, ce compartiment étant globalement limité sur la saison de proliférations des ulves par le phosphore).



D'une manière générale, ces résultats rejoignent ceux dégagés dans le cadre du traçage de l'azote des ulves (cf. MB2 § 6.2.7 et § 7.2.5) et confirment la contribution importante des teneurs en sels nutritifs provenant du signal « large ». Or, ce signal, constitué, après validation par le comité de pilotage de l'étude, au moyen d'une compilation des données de mesures issues de la bouée Astan située en Manche, semble *a priori* surestimé ce qui pourrait peser significativement dans les résultats d'abattement de la biomasse en ulves obtenus aux missions MC3 et MC4.

L'objectif du présent rapport MC4bis, avant d'engager des simulations complémentaires, est de proposer la constitution d'une nouvelle limite marine reposant sur la compilation de donnée de mesures situées dans le Golfe de Gascogne, données qui n'étaient pas connues du comité de pilotage au moment de la réalisation des missions MC3 et 4. Une fois cette limite marine constituée, il est proposé d'évaluer succinctement son impact sur la mission MB2 (validation de l'outil de modélisation) et de procéder à de nouveaux scénarii tenant compte des résultats obtenus précédemment dans le cadre des missions MC3 et MC4. Après échanges avec le comité de pilotage, ce sont finalement 8 scénarii complémentaires qui ont été retenus et sont présentés en § 4.1.

Il est rappelé que la question du temps de réaction entre les abattements des apports terrigènes de nutriments (azote et phosphore) et la réaction des proliférations sur le littoral ne pourra pas être abordée par l'outil de modélisation Mars3D-Ulves. En effet, il est envisagé une inertie de l'écosystème en lien avec un relargage des sédiments littoraux qui pourrait à plus ou moins long terme diminuer du fait du déstockage progressif des sédiments. L'évaluation de cet effet supposerait de connaître la relation entre les apports terrigènes annuels et le niveau de stockage ou de déstockages des sédiments ce qui est hors de portée des modèles actuels. Le présent rapport propose un point bibliographique afin de vérifier la disponibilité de telles données et évaluer leurs éventuels apports pour le secteur d'étude. Une autre inertie, liée aux quantités d'algues vertes actuelles est envisagée et est appréhendé dans le présent rapport.

Enfin, le temps de réponse du système est également en lien avec la dynamique des populations benthiques, les algues vertes du secteur d'étude effectuant majoritairement leur croissance sur substrat rocheux. La quantité de nutriments disponibles conditionne leur croissance mais le





  <small>Liberté • Égalité • Fraternité</small> REPUBLIQUE FRANÇAISE PRÉFET DE LA RÉGION PAYS DE LA LOIRE	<h2>Document de référence (MC4bis)</h2>	Réf.	CEVA/AQM13001/RAP/018-V1.0
		Date	15/10/14
		Page	6/32

succès de colonisation du substrat rocheux par les algues vertes détermine leur densité initiale. Ce succès de colonisation est dépendant des liens complexes existant entre toutes les communautés benthiques présentes dans ce type d'écosystème, eux-mêmes dépendant des variables environnementales. Cette dynamique complexe ne peut pas être reproduite par le modèle. C'est pourquoi ces aspects sont discutés dans le présent rapport et sont mis en regard du temps de réponse du système.





 	<b>Document de référence (MC4bis)</b>	Réf.	CEVA/AQM13001/RAP/018-V1.0
		Date	15/10/14
		Page	7/32

## 1. Méthodologie générale

L'année 2009, dont l'hydraulicité moyenne de mai à septembre est décrite dans le cadre du rapport MB1 (cf. § 2.2.1.5), a été retenue à la fois pour le calage et la validation du modèle ECO-MARS3D (cf. rapport MB 2) ainsi que pour l'application des scénarii de réduction des marées vertes décrits ci-après.

En termes **de flux total en NO<sub>3</sub>** sur la période de mai à septembre (cf. § 4 de la mission MB1 sans prise en compte de la Gironde et de la Charente), l'année 2009 représente 85 % du flux moyen des années 2006 à 2012 incluses. Sur cette période de 2006 à 2012, il est à noter une forte variabilité interannuelle puisque 2008, pour l'ensemble des sources, présente un flux en NO<sub>3</sub> plus de 7 fois supérieur à celui de 2011. S'agissant du flux de phosphate, l'année 2009 représente 92 % du flux moyen de 2006 à 2012 incluses, niveau proche de la moyenne établie sur cette période d'observation.



Du point de vue **des échouages en algues vertes** mesurés par le Ceva, à trois reprises dans l'année, de 2007 à 2012 sur le littoral s'étendant de Quiberon à l'île de Ré, l'année 2009 apparaît comme l'année la plus touchée par les échouages d'ulves (cf. Tableau 1).

**Tableau 1 : Surfaces totales des échouages d'ulves en équivalent 100 % mesurées par le Ceva de 2007 à 2012 sur le linéaire côtier allant de Quiberon à l'île de Ré : cumul des trois mesures annuelles (mai, juillet, septembre)**

Année	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Surface totale en équivalent 100 %	152	355	378	109	197	184
Pourcentage de la surface totale de l'année par rapport à 2009	40	94	100	29	52	49

Vue la très forte hétérogénéité des concentrations et des flux de nutriments émis par la Loire, la Vilaine et les autres sources retenues dans l'étude (cf. rapports des missions MB1 et MB4), il ne paraît pas pertinent dans le cadre des scénarii de réduction des flux de nutriments de procéder par application d'un seuil de concentration maximale en nitrates ou en phosphore identique sur toutes les sources. Certaines sources sont en effet à des niveaux de concentration de nitrates très élevés alors que d'autres se trouvent moins chargées en nitrates mais, du fait d'un bassin versant vaste, apportent des flux importants au littoral. Le plafonnement de toutes les sources au même niveau de concentration maximale aurait impliqué de concentrer les efforts d'abattement sur les sources actuellement les plus élevées en concentration sans que les plus gros apports (Loire par exemple) ne soient mis à contribution malgré leurs flux très importants. En effet, les concentrations à l'exutoire peuvent être relativement basses malgré des sous-bassins versants très chargés dont la concentration est diluée par les bassins moins contributifs. Il est donc apparu préférable de procéder par application, sur les cours d'eau retenus pour les scénarii, d'un pourcentage identique d'abattement des teneurs des rejets. Pour ces nouveaux scénarii, trois niveaux de réduction des flux de nutriment en azote et/ou phosphore ont été retenus en concertation avec le comité de pilotage : 15 %, 30 % et 60 %.



 	<b>Document de référence (MC4bis)</b>	Réf.	CEVA/AQM13001/RAP/018-V1.0
		Date	15/10/14
		Page	8/32

Pour chacun des scénarii de réduction des flux de nutriment (intitulés Hi avec  $i=25$  à  $32$ ) retenus dans le cadre de la mission MC4bis, la méthodologie générale suivante a été utilisée :

- Application du niveau de réduction tel que prévu par le scénario Hi au modèle de rang 0 avec application d'un forçage aux limites marines reposant sur des données de mesures compilées par Ifremer et détaillée au § 2,
- Extraction au moyen du modèle de rang 0 des conditions aux limites alimentant le modèle de rang 1,
- Application du niveau de réduction tel que prévu par le scénario Hi aux deux modèles de rang 1 « Loire-Vilaine » et « Sables d'Olonne-Ile de Ré » avec prise en compte, aux limites marines des séries extraites du modèle de rang 0,
- Estimation, à l'échelle des deux modèles de rang 1 et au niveau des secteurs d'échouages tels que définis dans la mission MB3 (cf. Figure 1), du pourcentage moyen d'abattement de la biomasse en algues vertes sur la période juillet-août par rapport à la situation de référence 2009.
- Estimation pour les deux modèles de rang 1 du pourcentage moyen d'abattement de la biomasse en phytoplancton sur la période juillet-août par rapport à la situation de référence 2009 (**résultats reportés en Annexe 1**).

Il est nécessaire de rappeler que dans la mesure où les ulves sont fixées au sein du modèle sur les zones potentielles de croissance (platiers rocheux), la méthodologie retenue pour la mission C induit comme hypothèse que **tout abattement de la production sur les platiers se traduira par une diminution proportionnelle des échouages de haut de plage** (même en cas de faible reprise de croissance dans l'eau). Ce choix a été dicté par le fait que les modules de transport actuellement disponibles ne permettent pas de stabiliser les ulves dérivantes sur la zone de balancement de la marée. Les ulves se trouvent en effet rapidement échouées en haut de plage sans reprise possible par la marée. On rappelle que les précédentes études réalisées par le Ceva sur les grandes sites à marées vertes bretons fixaient également les dépôts en ulves non pas sur les platiers rocheux mais sur la zone d'estran. La différence majeure entre les deux approches tient dans la qualité de la distribution initiale des ulves. Dans le cas des sites bretons, la cartographie repose sur des données pluriannuelles observées (statistique des dépôts fiables) tandis que sur le secteur d'étude, elle mélange à la fois des données observées en 2013 avec des données prédictives (Cf. rapport mission MB3).





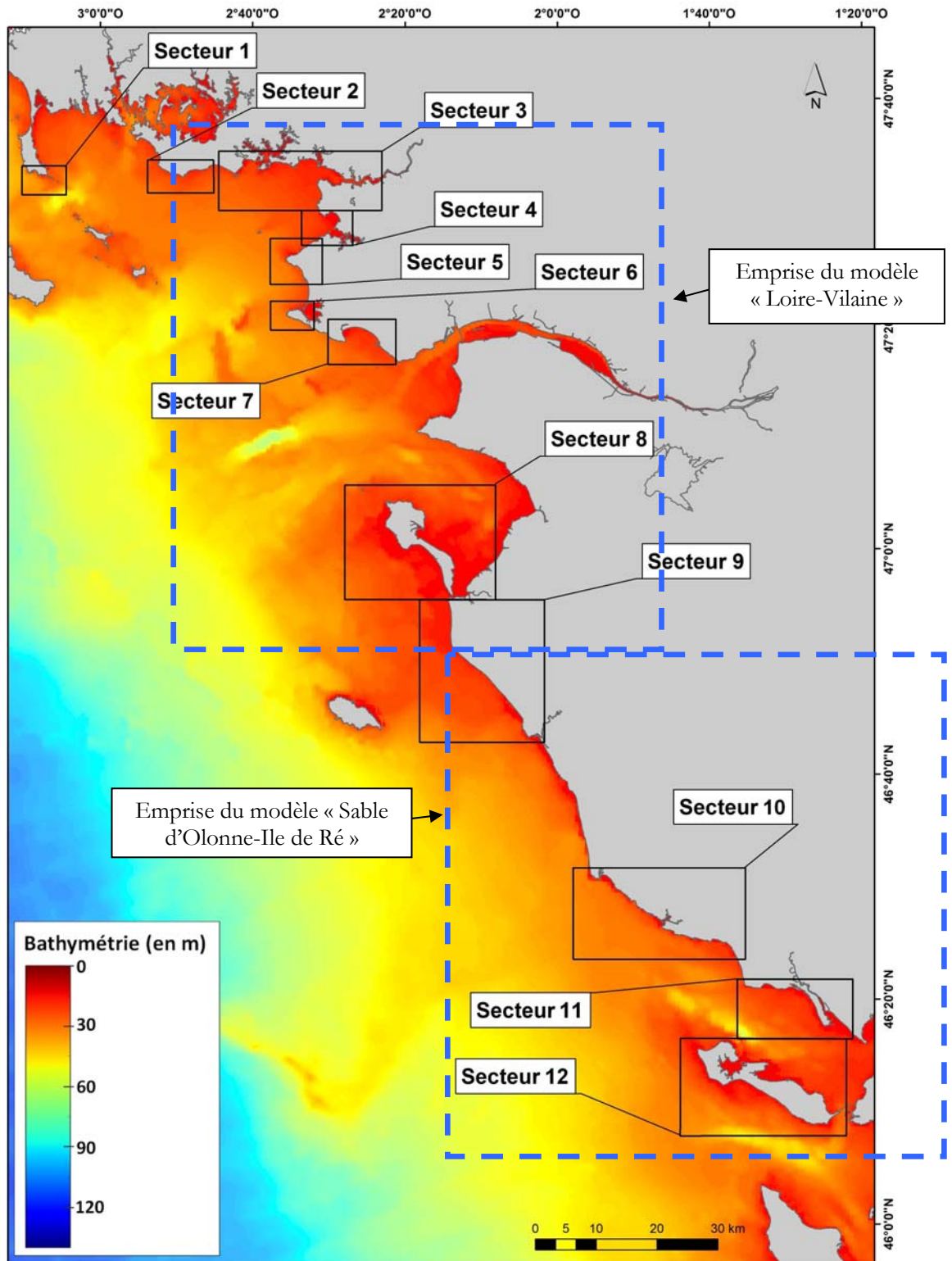


Figure 1 : Secteurs d'échouages retenus dans la mission MB3



## 2. Constitution d'une nouvelle limite marine représentative du signal saisonnier de surface au large du Golfe de Gascogne

La nouvelle limite marine repose sur une extraction, au point fixe (3.5° W, 45.24 °N) situé au large du Golfe de Gascogne, des données cartographiques Ifremer publiées par Sourisseau (2011). Ces cartographiques ont été réalisées en effectuant une interpolation sur les données de mesure de surface (0-10 m) disponibles dans les bases de données nationales et internationales. La comparaison du signal en nitrate, phosphate et silicates entre les données de mesures du réseau SOMLIT (Service d'Observation en Milieu Littoral, INSU-CNRS, Roscoff) à la bouée marine Astan et celles extraites des cartographies de Sourisseau (2011) montrent un écart relatif moyen de mai à septembre de l'ordre de 90 % pour le nitrate, 70 % pour le phosphate et 30 % pour la silice (cf. Figure 2).

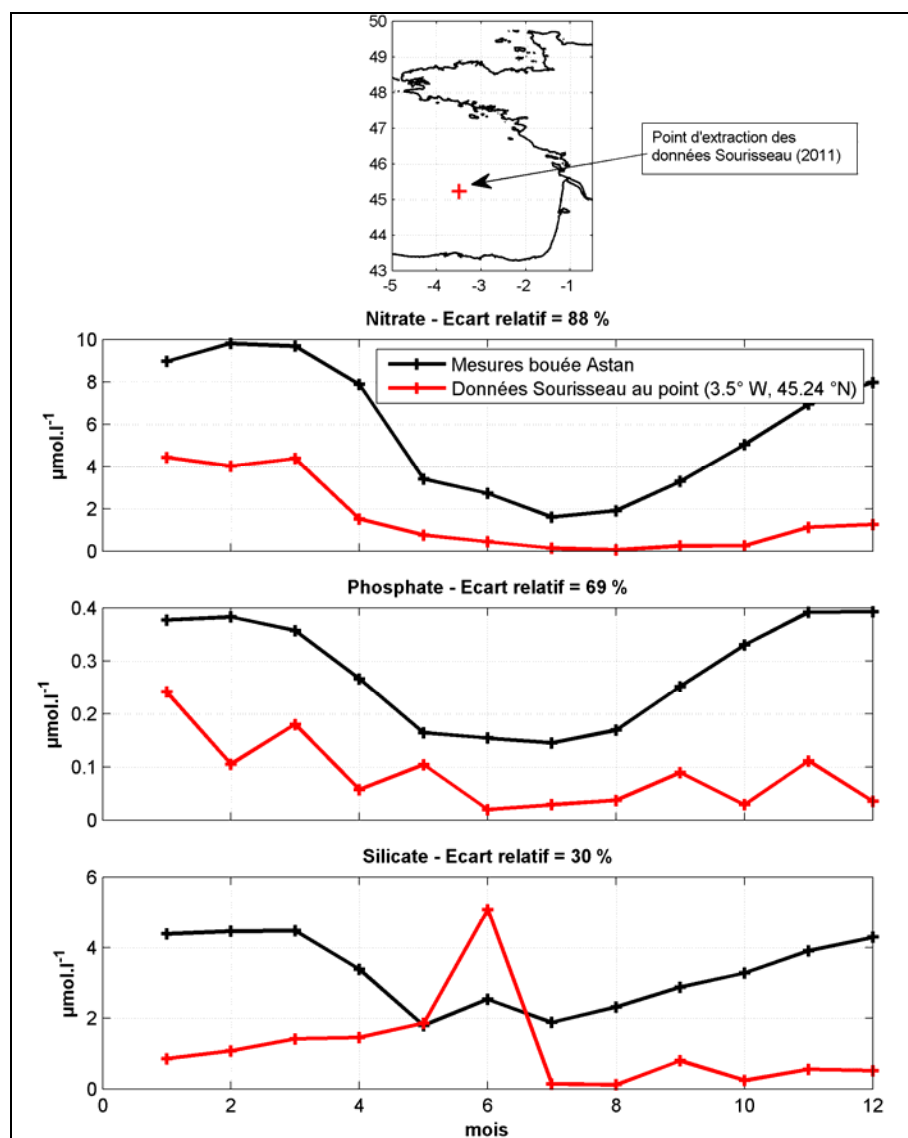


Figure 2 : Comparaison du signal « large » provenant des données à Astan avec celui extrait au point fixe (3.5° W, 45.24 °N) des cartographies mensuelles de Sourisseau (2011). Ecart relatif estimé sur la période de mai à septembre





## Document de référence (MC4bis)

Réf. CEVA/AQM13001/RAP/018-V1.0

Date 15/10/14

Page 11/32

Ces comparaisons montrent une surestimation générale des teneurs en sels nutritifs des données prises à Astan par rapport à celles extraites des données de Sourisseau (2011). Cela est très probablement lié à la position plus côtière du point Astan, dans un milieu donc plus soumis à l'eutrophisation. Les apports des contributeurs « locaux » de la façade Atlantique (Loire, Vilaine, Gironde, Charente, ...) étant pris en compte par le modèle, il est donc pertinent de considérer comme signal « large » les valeurs des mesures au point fixe (3.5° W, 45.24 °N) éloigné de ces sources.

De la même façon que pour la précédente limite marine créée au moyen des données à Astan, la nouvelle limite marine constituée au moyen des données de Sourisseau (2011) ne prend pas en compte le gradient vertical entre une couche de surface pauvre en sels nutritifs et une couche de fond beaucoup plus riche et ce d'autant plus que les profondeurs sont importantes. A ce titre, l'analyse des données de mesure des campagnes Ifremer Bio-Modycot de 2010 à 2012 fait apparaître une augmentation significative des teneurs à partir 50-60 mètres de profondeur. Toutefois, il est reconnu que les sels nutritifs de la couche de fond se trouvent piégés et ne participent *a priori* que très peu à l'enrichissement de la couche de surface et de la bande côtière en sels nutritifs durant la phase printanière et estivale. C'est uniquement sous l'action des tempêtes automnales et hivernales que les sels nutritifs situés dans la couche de fond subissent un brassage important sur la verticale. Ce cas de figure ne concerne pas la période et les années simulées dans cette étude (de début mars à fin septembre pour les années 2009 et 2012) et il a donc été décidé de négliger, dans la constitution de la nouvelle limite marine, l'augmentation des teneurs en sels nutritifs au niveau de la couche de fond.

Par ailleurs, les données de Sourisseau (2011) ne proposent pas de cartographies pour la variable ammonium (paramètre trop variable pour constituer des moyennes significatives) ce qui a conduit, en concertation avec Ifremer, à opter pour un forçage de type gradient nul. Ce type de forçage signifie qu'on ne spécifie aucune valeur aux limites marines pour cette variable. Cette façon de procéder est cohérente du fait que l'ammonium résulte d'une production locale intermittente après le bloom printanier (intégrée dans le modèle), et surtout lors de la remise en suspension automnale du détritique sédimenté.

### 3. Comparaison succincte avec les résultats de la mission MB2 et impact de la nouvelle limite marine sur le scénario H15

#### A – Impact sur la situation de référence de la mission MB2

Les résultats présentés dans ce volet reprennent exactement le même mode opératoire que celui décrit dans la mission MB2. Seul le forçage aux limites marines ouest et sud du modèle général de rang 0 diffère. L'année simulée est l'année 2009 utilisée pour la calibration.

Pour les deux modèles de rang 1 « Loire-Vilaine » et « Sables d'Olonne – Ile de Ré », la comparaison des deux situations de référence entre celle obtenue dans le rapport MB2 et celle obtenue avec la nouvelle limite marine ne fait pas apparaître, sur l'ensemble des stations de mesures Quadriges<sup>2</sup>, d'écarts significatifs sur les teneurs de surface simulées en chlorophylle *a* ni sur les teneurs simulées en nitrate, phosphate et silicate (illustrations non reportées dans cette note). Pour les points les plus au large, des teneurs légèrement plus faibles en chlorophylle *a* sont observées avec la nouvelle limite marine car celle-ci fournit globalement moins d'azote et de phosphore dissous à la colonne d'eau du large. Les points les plus côtiers présentent des écarts négligeables. Concernant la température et la salinité, il n'y a aucune différence entre les deux situations de référence car le forçage du modèle de rang 0 pour ces deux variables est identique.



Toujours pour les **deux modèles de rang 1**, l'écart relatif moyen sur la biomasse totale et les quotas en azote et phosphore des ulves estimé de mai à septembre entre les données publiées dans le rapport MB2 et celles utilisant la nouvelle limite marine est de 10 % maximum (cf. Tableau 2). Des disparités apparaissent en fonction des secteurs géographiques, en particulier pour le secteur 2, qui est sous forte influence de la limite marine et qui est donc beaucoup plus impacté par le changement de limite marine que les autres secteurs plus éloignés. En effet, sur ce secteur, un écart de 37 % sur la biomasse en ulves entre les deux limites marines est mesuré contre 14 % pour le secteur 6 situé au débouché de la Loire, 12 % pour le secteur 3 englobant la Vilaine et 1 % pour le secteur 4 situé au niveau de la Pointe de Piriac.

L'ensemble de ces comparaisons permet de conclure que le volet calage et validation de la mission MB2 se trouverait peu impacté par la modification du forçage de la limite marine du modèle général de rang 0.

Tableau 2 : Ecart relatif moyen de mai à septembre 2009 pour la biomasse et les quotas en azote et phosphore des ulves. Ecart calculé entre les situations de référence utilisant la limite marine Astan du rapport MB2 et la nouvelle limite marine

	Ecart relatif moyen (%) estimé de début mai à fin septembre	
	Modèle "Loire-vilaine"	Modèle "Sable d'Olonne-Ile de Ré"
biomasse totale	6.3*	10.2
quota en azote	5.8	6.17
quota en phosphore	6.1	0.84

\* Moyenne effectuée en écartant le secteur 2 situé à proximité immédiate de la limite marine

### ***B – Impact sur le scénario H15 de réduction des apports en nitrate de 60 % de tous les contributeurs***

Si les écarts entre les situations de référence s'avèrent faibles, l'impact de la nouvelle limite marine sur le scénario H15 (réduction de 60 % du nitrate de tous les contributeurs) est relativement élevé à l'échelle des deux modèles de rang 1 avec des écarts cependant plus ou moins importants en fonction du secteur d'échouage retenu.

Les abattements de biomasse sur le modèle "Loire Vilaine" du scénario H15 augmentent de façon substantielle ce qui permet d'approcher l'objectif d'une diminution de 50 % des biomasses produites à l'échelle du domaine et d'atteindre même près de 60 % pour les secteurs 5 et 6.

Concernant le modèle « Sables d'Olonne – Ile de Ré », l'augmentation du pourcentage de réduction de la biomasse en ulves est significative avec la nouvelle limite marine mais le niveau de réduction demeure toutefois bas à l'échelle du domaine (8 %). En outre, les biomasses du secteur 12, centré sur l'île de Ré, sont peu abattues malgré une réduction des sources de nitrates de 60 % ce qui tend à confirmer que ce secteur est largement dominé par les apports du large (forte influence océanique). Toutes choses étant égales par ailleurs et en l'absence d'apports fluviaux importants à proximité des sites à marée vertes (à la différence du modèle « Loire-Vilaine », d'où sa plus forte réactivité), la diminution des apports du large, dont les teneurs initiales sont déjà limitées, ne semble pas suffire pour induire une diminution sensible des productions d'algues vertes.



**Tableau 3 : Effet de la réduction des flux de nitrate (scénarii H15 de la mission MC4) sur la biomasse totale en ulves pour le modèle « Loire-Vilaine » sur l'année hydrologique 2009 et comparaison entre les deux limites marines** (secteur 2 : Saint-Jacques ; secteur 3 : Penvins + Banastère ; secteur 4 : Pen-Bé + Mesquer ; secteur 5 : Piriac-sur-Mer ; secteur 6 : Le Croisic ; secteur 7 : La Baule ; secteur 8 : Noirmoutier-La Fosse + Noirmoutier-Gois + Noirmoutier-Sableaux + Noirmoutier-Vieil + Noirmoutier-Epine + Noirmoutier-Guérinrière)

Scénario		Niveau de réduction des apports en nitrate	Pourcentage d'abattement estimé sur juillet-août 2009 par rapport à la situation de référence							
			Domaine entier	secteur 2*	secteur 3	secteur 4	secteur 5	secteur 6	secteur 7	secteur 8
H15	Nitrates tous contributeurs (résultats de la mission MC4 avec limite marine Astan)	60%	36	23	37	43	40	34	27	39
H15	Nitrates tous contributeurs (avec la nouvelle limite marine extraite de Sourisseau)	60%	49	48	55	48	62	62	34	43
Ecart			13	25	18	5	22	28	7	4



\* Résultats des pourcentages d'abattement pour le secteur 2 à prendre avec précaution car influence *a priori* excessive des apports du large du fait de la proximité géographique de ce secteur avec la limite marine

**Tableau 4 : Effet de la réduction des flux de nitrate (scénarii de la mission MC4) sur la biomasse totale en ulves pour le modèle « Sables d'Olonne-Ile de Ré » sur l'année hydrologique 2009 et comparaison entre les deux limites marines** (secteur 9 : Saint-Jean-de-Mont ; secteur 10 : Les Sables d'Olonne + Bourgenay-Payré + Longeville-Saint-Vincent-sur-Jard ; secteur 11 : La Tranche-sur-Mer ; secteur 12 : Ré-Portes-en-Ré + Ré-Goix + Ré-Saint-Martin-en-Ré + Ré-La Flotte)

Scénario		Niveau de réduction des apports en nitrate	Pourcentage d'abattement estimé sur juillet-août 2009 par rapport à la situation de référence				
			Domaine entier	Secteur 9	Secteur 10	Secteur 11	Secteur 12
H15	Nitrates tous contributeurs (résultats de la mission MC4 avec limite marine Astan)	60%	5	5	4	6	6
H15	Nitrates tous contributeurs (avec la nouvelle limite marine extraite de Sourisseau)	60%	8	10	10	17	7
Ecart			3	5	6	11	1





  <small>Liberté • Égalité • Fraternité</small> REPUBLIQUE FRANÇAISE PRÉFET DE LA RÉGION PAYS DE LA LOIRE	<b>Document de référence (MC4bis)</b>	Réf.	CEVA/AQM13001/RAP/018-V1.0
		Date	15/10/14
		Page	14/32

## 4. MC4bis : réduction des marées vertes sur les sites d'échouages (simulations complémentaires)

### 4.1. Présentation des scénarii

L'ensemble des résultats présentés dans cette section ont été obtenus **en forçant le modèle de rang 0 avec la nouvelle limite marine** et en suivant la méthodologie exposée au § 1.



Dans un souci de réalisme par rapport aux actions à entreprendre pour limiter les apports des bassins versants, la maîtrise d'ouvrage a demandé de limiter à 60 % maximum les abattements des apports, niveau déjà difficilement envisageable d'atteindre. Par ailleurs, les faibles écarts sur les biomasses d'ulves obtenus dans les scénarii des missions MC3 et MC4 lorsqu'est opérée une réduction des apports de nitrates de la Loire+Vilaine ou de l'ensemble des contributeurs conduit à proposer des scénarii complémentaires uniquement pour **l'ensemble des contributeurs**. Cette proposition, en limitant les combinaisons par sources, permet de multiplier le nombre de scénarii complémentaires à tester en matière de niveaux de réduction.

Le Tableau 5 présente les simulations complémentaires intitulées de H25 à H32 retenues après échange et validation par le comité de pilotage de l'étude :

- Les scénarii H25 à H27 prévoient la réduction de 15%, 30 % et 60 % du nitrate de tous les contributeurs,
- Le scénario H28 propose de réduire à hauteur de 30 % les apports en nitrate, ammonium et azote organique. Pour rappel, sur l'ensemble de la zone d'étude (cf. rapport MB1), l'azote organique constitue en moyenne 27 % du flux total en azote sur la période de mai à septembre 2006-2012. Concernant l'ammonium, sa participation au flux total est faible avec seulement 3 % sur cette même période. Vue l'importance de la reminéralisation de la matière organique, il paraît pertinent de tester la réaction du modèle à une diminution significative de l'azote organique conjointe à la diminution des sources de nitrates et d'ammonium,
- Le scénario H29 propose de réduire conjointement à hauteur de 30 % les apports en nitrate, ammonium, azote organique et en phosphore de tous les contributeurs. Dans le cadre de la mission MC, les scénarii H10 à H12 et H22 à H24 visant à réduire les apports en phosphore dissous et particulaire ont abouti à des niveaux de réduction des ulves nuls ou fortement négatifs (augmentation des productions d'ulves). L'analyse des résultats a permis d'avancer la proposition d'une diminution des apports en phosphore accompagnée d'une réduction conjointe des apports en azote pour éviter le phénomène de compensation par le phytoplancton décrit dans le rapport MC (cf. § 2.1). De plus cette diminution conjointe des deux éléments semblent cohérente pour un certain nombre d'actions envisageables (actions sur les STEP comme sur la limitation des ruissellements agricoles),
- Les scénarii H31 et H32 proposent d'associer, à la réduction du nitrate de tous les contributeurs à hauteur 15 et 30 %, un retard dans le début de la marée verte fixé à un







  <small>Liberté • Égalité • Fraternité</small> <small>REPUBLIQUE FRANÇAISE</small> <small>PRÉFET DE LA RÉGION PAYS DE LA LOIRE</small>	<b>Document de référence (MC4bis)</b>	Réf.	CEVA/AQM13001/RAP/018-V1.0
		Date	15/10/14
		Page	15/32

mois et demi (démarrage de la production biologique des ulves au 15 mai au lieu du 01 avril). L'introduction de ce retard doit permettre de tester la réaction du modèle à une diminution du stock d'ulves de démarrage. Cette diminution du stock initial peut résulter de plusieurs facteurs : effet pluriannuel de la réduction des flux de nutriments, érosion du stock d'ulves fixées en début de printemps suite à un hiver venteux, température de l'eau de mer basse après un hiver froid limitant la croissance algale en début de saison. Afin d'évaluer l'impact du retard dans le début de la marée verte hors effets de réduction des apports, un scénario H30 a été proposé.

**Tableau 5 : Scénarii de réduction des teneurs pour la mission MC4bis en utilisant la nouvelle limite marine**

Référence du scénario	Pourcentage de réduction des flux de nutriments	Cours d'eau concerné
H25	- 15 % NO <sub>3</sub>	Tous les contributeurs
H26	- 30 % NO <sub>3</sub>	Tous les contributeurs
H27	- 60 % NO <sub>3</sub>	Tous les contributeurs
H28	- 30 % N (NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , N <sub>org</sub> )	Tous les contributeurs
H29	- 30 % N (NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , N <sub>org</sub> ) et -30 % P	Tous les contributeurs
H30	retard dans le début de la marée verte	-
H31	- 15 % NO <sub>3</sub> avec retard dans le début de la marée verte	Tous les contributeurs
H32	- 30 % NO <sub>3</sub> avec retard dans le début de la marée verte	Tous les contributeurs



 	<b>Document de référence (MC4bis)</b>	Réf.	CEVA/AQM13001/RAP/018-V1.0
		Date	15/10/14
		Page	16/32

## 4.2. Résultats pour le modèle « Loire-Vilaine »

Le Tableau 6 présente les résultats d'abattement de la biomasse en ulves sur l'ensemble du domaine et pour chacun des secteurs d'échouages 2 à 8 retenus dans le cadre de la mission MB3.

L'exploitation du modèle de **rang 1 « Loire-Vilaine »** permet de tirer les conclusions suivantes :

- La réduction de 15 % des apports en nitrate (scénarii H25) apparaît insuffisante pour limiter sensiblement la production totale,
- La réduction de 30 % des apports en nitrate (scenarii H26) permet déjà une réduction d'un quart de la biomasse d'algues vertes à l'échelle du domaine allant jusqu'à un tiers les secteurs 5 et 6.
- La réduction des apports en nitrate de 60 % de tous les contributeurs (scénario H27) aboutit à un abattement significatif de la biomasse en algues vertes de l'ordre de 50 % sur tout le domaine. Les secteurs 5 (Piriac-sur-Mer) et 6 (Le Croisic) avec 62 % de diminution de la biomasse algale apparaissent comme les plus réactifs à une diminution des flux de nitrates,
- La réduction à hauteur de 30 % des apports en nitrate, ammonium et azote organique de tous les contributeurs (scénario H28) aboutit sur l'ensemble du domaine à un abattement de la marée verte de 34 % soit 8 points de plus que le scénario H26 où seule la forme nitrate était abattue à hauteur de 30 %. Des écarts apparaissent en fonction des secteurs avec 49 % pour le secteur 6 qui englobe le site du Croisic et 30 % pour le secteur 3 centré sur la baie de Vilaine,
- Le scénario H29 (réduction conjointe de 30 % des apports en nitrate, ammonium, azote organique et en phosphore de tous les contributeurs) aboutit à des niveaux de réductions inférieurs à ceux obtenus si on abaissait uniquement l'azote dissous et organique de tous les contributeurs (scénario H28) et très proche des résultats du H26 (- 30 % NO<sub>3</sub>). Il s'agit du même mécanisme que décrit dans le rapport MC : l'abaissement des apports en phosphore entraîne une diminution systématique, par rapport à la situation de référence (sans réduction des flux), du taux de croissance moyen du phytoplancton. Comme le phytoplancton produit moins de biomasse, il prélève moins d'azote dissous de la colonne d'eau. Ce surplus d'azote « non consommé » par rapport à la situation dite de référence se traduit par davantage de croissance pour les ulves car elles sont globalement limitées à l'échelle saisonnière par la disponibilité en azote dissous. Ainsi, il n'y a pas d'effet immédiatement positif d'une réduction conjointe du phosphore et de l'azote sur la biomasse d'algues vertes (le modèle ne reproduisant qu'une seule année). Il est toutefois à noter qu'une diminution conjointe des apports en phosphore et en azote devrait permettre d'induire une réduction de la production primaire à l'échelle de l'écosystème. La diminution des productions excessives de phytoplancton est en soi positive (amélioration de la transparence de l'eau, des teneurs en oxygène dissous...) et pourrait également engendrer une limitation de l'enrichissement sédimentaires (cf. § 5.1),
- L'introduction d'un retard d'un mois et demi dans le démarrage de la marée verte (scénario H30) creuse significativement les pourcentages d'abattelements de la biomasse en algues vertes avec 67 % d'abattement par rapport à la situation de référence simulée sur l'année 2009. Le fait d'introduire un retard dans le bloom du début de saison ampute la marée verte d'une partie de sa croissance printanière qui, dans des conditions très favorables de flux azotés notamment, représente la période charnière dans la constitution



du stock maximum en ulves. La période estivale coïncide ensuite avec les étiages des cours d'eau (diminution nette des apports terrigènes) et marque en général le début de la décroissance progressive des biomasses totales en raison du stress nutritionnel révélé par le suivi de l'évolution des quotas internes en azote et phosphore des ulves et reproduit par le modèle,

- L'association du retard dans le début de la marée verte d'un mois et demi à la réduction des apports de nitrate de tous les contributeurs à hauteur 15 et 30 % accentue davantage les pourcentages d'abattements sur l'ensemble du domaine et sur chacun des secteurs (scénarii H31 et H32). A l'échelle du domaine, on relève une augmentation de 8 points entre le scénario H30 (retard seul) et le scénario H31 (retard + réduction NO<sub>3</sub> de 15 %) et 14 points entre le H30 et le H32 (retard + réduction NO<sub>3</sub> de 30 %). Les secteurs 5 et 6 restent les plus sensibles aux effets de réductions des flux de nutriments.



**Tableau 6 : Effet de la réduction des flux de nutriments sur la biomasse totale en ulves pour le modèle « Loire-Vilaine » sur l'année hydrologique 2009**

(secteur 2 : Saint-Jacques ; secteur 3 : Penvins + Banastère ; secteur 4 : Pen-Bé + Mesquer ; secteur 5 : Piriac-sur-Mer ; secteur 6 : Le Croisic ; secteur 7 : La Baule ; secteur 8 : Noirmoutier-La Fosse + Noirmoutier-Gois + Noirmoutier-Sableaux + Noirmoutier-Vieil + Noirmoutier-Epine + Noirmoutier-Guérinrière)

Scénario		Pourcentage d'abattement de la biomasse en ulves estimé sur juillet-août 2009 par rapport à la situation de référence							
		Domaine entier	secteur 2*	secteur 3	secteur 4	secteur 5	secteur 6	secteur 7	secteur 8
H25	- 15 % NO <sub>3</sub> sur tous les contributeurs	13	13	10	9	18	16	9	17
H26	- 30 % NO <sub>3</sub> sur tous les contributeurs	26	23	23	22	34	36	18	33
H27	- 60 % NO <sub>3</sub> sur tous les contributeurs	49	48	55	48	62	62	34	43
H28	- 30 % N (NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , N <sub>org</sub> ) sur tous les contributeurs	34	27	30	35	43	49	25	39
H29	- 30 % N (NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , N <sub>org</sub> ) et -30 % P sur tous les contributeurs	25	23	21	28	33	31	17	27
H30	retard dans le début de la marée verte	67	85	58	44	70	81	35	85
H31	- 15 % NO <sub>3</sub> sur tous les contributeurs avec retard dans le début de la marée verte	75	89	66	52	85	88	42	91
H32	- 30 % NO <sub>3</sub> sur tous les contributeurs avec retard dans le début de la marée verte	81	93	75	63	92	94	48	94

\* Résultats des pourcentages d'abattement pour le secteur 2 à prendre avec précaution car influence *a priori* excessive des apports du large du fait de la proximité géographique de ce secteur avec la limite marine

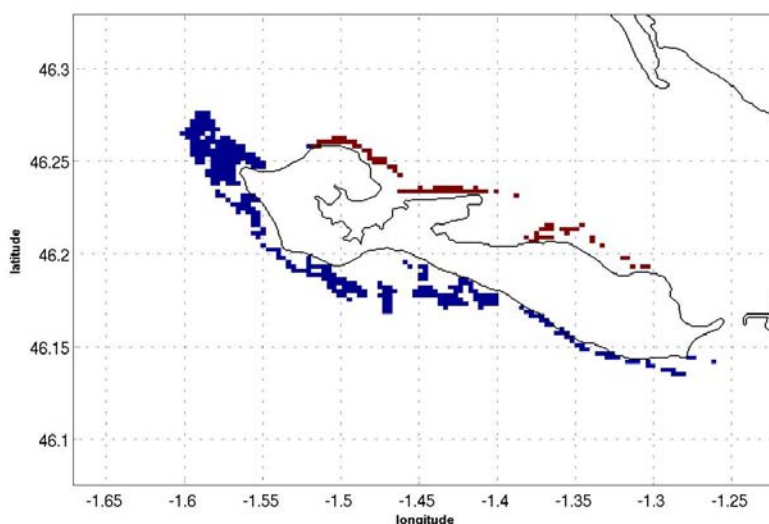


 	<b>Document de référence (MC4bis)</b>	Réf.	CEVA/AQM13001/RAP/018-V1.0
		Date	15/10/14
		Page	18/32

### 4.3. Résultats pour le modèle « Sables d'Olonne-Ile de Ré »

*Avertissement : Un certain nombre de biais lié à la méthodologie générale ainsi qu'au découpage géographique nécessitent de prendre avec prudence les résultats décrits ci-dessous (cf. § CONCLUSION). Ces résultats sont a priori à prendre comme des résultats à minima.*

Le Tableau 7 présente les résultats d'abattement de la biomasse en ulves sur l'ensemble du domaine et pour chacun des secteurs d'échouages numérotés de 9 à 12 et retenus dans le cadre de la mission MB3. Le secteur 12 bis (Ré-Portes-en-Ré + Ré-Loix + Ré-Saint-Martin-en-Ré + Ré-La Flotte (Figure 3)) regroupant les dépôts observés par le Ceva le long de la façade nord de l'île de Ré a été ajouté et pourra être comparé au secteur 12 qui englobe l'ensemble des dépôts de l'île de Ré.



**Figure 3 : illustration du secteur 12 bis correspondant aux pixels rouge, le secteur 12 étant illustré par la somme des pixels rouges et bleus.**

L'exploitation des scénarii H25 à H32 pour le modèle de **rang 1 « Sables d'Olonne – Ile de Ré »** permet de tirer les enseignements suivants :

- La réduction de 15%, 30 % et 60 % du nitrate de tous les contributeurs (scénario H25 à H27) n'induit pas une diminution sensible de la marée verte à l'échelle du domaine et pour chacun des secteurs. On relève tout au plus sur le secteur 12 bis un abattement de 16 % de la marée verte (17 % sur le secteur 11) pour une réduction de 60 % des apports en nitrate,
- Les scénarios H28 (- 30 % N) et H29 (- 30 % N et P) n'entraînent pas non plus une réduction sensible de la marée verte. Les secteurs 11 et 12 bis apparaissent à nouveau comme les secteurs les plus réactifs mais n'excèdent pas au maximum 16 % d'abattement ce qui apparaît insuffisant pour obtenir un effet visible sur la marée verte,
- L'introduction d'un retard dans le démarrage de la marée verte (scénario H30) conduit comme pour le modèle « Loire-Vilaine » à un creusement important des pourcentages d'abattements qui deviennent systématiquement supérieurs à 50 %. L'association d'une diminution des apports en nitrate de 15 % et 30 % au retard dans le début de la marée



verte (scénarios H31 et H32) creuse très peu les abattements par rapport au scénario H30 (augmentation de 1 à 2 points).

- Le secteur 12 bis qui tient compte uniquement des dépôts situés sur la façade nord de l'île montre des abattements bien supérieurs à ceux estimés sur le secteur 12 qui englobe l'ensemble des dépôts de l'île de Ré. La relative proximité d'apports locaux (STEP et cours d'eau) en azote dissous au niveau du secteur 12 bis explique pour l'essentiel ces résultats dans la mesure où le reste de l'île se trouve dépourvu d'apports locaux.

De la même façon que pour les résultats dégagés aux missions MC3 et MC4 (cf. § 4.3), les résultats de ces scénarii confirment ceux obtenus par le traçage de l'azote contenu dans les ulves (cf. rapport MB2 § 7.2.5) qui a montré à l'échelle du modèle « Sables d'Olonne-Ile de Ré » que les apports du large représentaient de mai à septembre 2009 la principale source d'azote (59 %) tandis que la Charente se positionnait en seconde position avec une contribution relativement faible (14 %) suivi de la Gironde (11 %) et du traceur intitulé « Autres Sources » (7 %) qui regroupe les 44 sources locales. Rappelons que ces résultats avaient été obtenus avec l'ancienne limite marine prise à Astan mais seraient *a priori* peu modifiés avec la nouvelle limite marine au vu des faibles abattements obtenus sur les scénarii H25 à H29.

**Tableau 7 : Effet de la réduction des flux de nutriments sur la biomasse totale en ulves pour le modèle « Sables d'Olonne-Ile de Ré » sur l'année hydrologique 2009**

(secteur 9 : Saint-Jean-de-Mont ; secteur 10 : Les Sables d'Olonne + Bourgenay-Payré + Longeville-Saint-Vincent-sur-Jard ; secteur 11 : La Tranche-sur-Mer ; secteur 12 : Ile de Ré ; secteur 12 bis: Ré-Portes-en-Ré + Ré-Loix + Ré-Saint-Martin-en-Ré + Ré-La Flotte)

Scénario		Pourcentage d'abattement de la biomasse en ulves estimé sur juillet-août 2009 par rapport à la situation de référence					
		Domaine entier	secteur 9*	secteur 10	secteur 11	secteur 12	secteur 12 bis
H25	- 15 % NO <sub>3</sub> sur tous les contributeurs	5	3	8	14	4	10
H26	- 30 % NO <sub>3</sub> sur tous les contributeurs	6	6	9	15	5	13
H27	- 60 % NO <sub>3</sub> sur tous les contributeurs	8	10	10	17	7	16
H28	- 30 % N (NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , N <sub>org</sub> ) sur tous les contributeurs	6	8	9	16	5	14
H29	- 30 % N et -30 % P sur tous les contributeurs	7	7	10	16	6	14
H30	retard dans le début de la marée verte	52	55	53	65	50	70
H31	- 15 % NO <sub>3</sub> sur tous les contributeurs avec retard dans le début de la marée verte	53	57	55	67	51	72
H32	- 30 % NO <sub>3</sub> sur tous les contributeurs avec retard dans le début de la marée verte	54	60	57	69	52	74





## 5. Temps de réponse du milieu naturel

### 5.1. Compartiment sédimentaire

Dans les scénarii de réduction des apports en azote et phosphore testés dans le cadre de la présente mission MC4 bis, le problème de la contribution du sédiment à l'enrichissement en azote dissous de la colonne d'eau a été posé : le flux sédimentaire se maintiendrait-il à un niveau identique si l'on abaissait sensiblement les concentrations moyennes actuelles en nitrate et/ou en phosphore des rivières ? Les articles et ouvrages (Tucker et al., 2007 ; Lerat, 1990 ; Monbet, 1991 ; rapport d'étude CAREN-Cemagref sur la pollutions des eaux continentales de Bretagne par les matières organiques) disponibles sur cette question semblent indiquer une réponse négative.

En effet, si durant les périodes de crues (en hiver et au printemps), les apports terrigènes constituent la première source d'apport en matière organique d'origine photosynthétique (provenant de la dégradation des végétaux supérieurs) et anthropique (provenant massivement des déjections animales ainsi que des résidus urbains et/ou industriels) ; en période estivale et automnale, c'est la production primaire qui représente la première source d'enrichissement du sédiment en M.O. sous forme détritique (issue de la dégradation des macroalgues et du phytoplancton) et par conséquent qui constitue l'essentiel du flux sédimentaire en azote. D'autre part, la qualité de la matière organique terrigène s'avère en général réfractaire à la minéralisation (vitesse de minéralisation lente) en comparaison des capacités de minéralisation de la matière organique de la production primaire. Or, il est logique de penser que plus la pression en azote sur le bassin versant diminuera, plus la production primaire (d'origine phytoplanctonique et macroalgale) diminuera et par voie de conséquence fournira d'autant moins de M.O. détritique minéralisable au sein du sédiment. Le potentiel du sédiment dans la production de sels nutritifs devrait donc décroître à court ou moyen terme.

Sur ce sujet, les séries de mesures portant en particulier sur le flux sédimentaire en sels nutritifs ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$  et  $\text{PO}_4$ ) réalisées dans le port de Boston (site plutôt vaseux) de 1992 à 2006 sont particulièrement instructives (Tucker et al., 2007). De 1992 à 2000, une série de travaux d'amélioration des capacités de traitements de la station d'épuration du port de Boston a été engagée jusqu'à la mise en œuvre, en 2000, d'une canalisation permettant de rejeter au large les effluents de cette STEP. Ces travaux ont conduit dès les premières mesures à des effets mesurables dans le contenu de la M.O. du sédiment (baisse du P.O.C : carbone organique particulaire et du P.O.N : azote particulaire organique) et au final une chute importante des teneurs en azote et phosphore relarguées a été relevée, associée à une production primaire nettement moindre. Globalement, les auteurs estiment que le site a atteint une nouvelle valeur d'équilibre du flux sédimentaire au bout de la cinquième année sur la période 2001 à 2006. Entre la période « 1992-2000 » et « 2001-2006 », ils estiment à 45 % le pourcentage de réduction du flux en ammonium du sédiment, 67 % pour le flux en nitrate et nitrite, 54 % pour l'azote organique particulaire et 65 % pour le phosphate. Naturellement, ces chiffres ne sont pas directement transposables à la problématique de l'eutrophisation littorale du secteur d'étude mais témoignent d'une réelle capacité du compartiment sédimentaire à réagir positivement à des mesures prises en amont des cours d'eau et ce sur des échelles de temps plutôt courtes. Il est intéressant de souligner que le port de Boston apparaît comme un site à dominante vaseuse (de type estuarien associé à un faible régime hydrodynamique) et s'apparenterait donc aux grands estuaires du secteur d'étude (estuaire de la Vilaine, de la Loire et de la Sèvre Niortaise). Compte tenu que l'effort de réduction des apports terrigènes se fera de manière progressive sur plusieurs années, il est cohérent





d'imaginer que le sédiment évoluera de manière sensiblement parallèle à l'effort de réduction des flux terrigènes.

### 5.2. Compartiment macroalgal

Comme décrit dans la mission A, les algues vertes responsables des proliférations sur le secteur d'étude sont issues des platiers rocheux sur lesquelles elles effectuent leur croissance fixées, avant d'être arrachées et de s'échouer sur les plages.

L'enrichissement nutritionnel des eaux est le facteur indispensable au soutien du développement des algues opportunistes tel que celui constaté sur le secteur d'étude. En Norvège, Kraufvelin et al. (2006) ont étudié l'impact d'un enrichissement en nutriments sur les communautés benthiques placées en mésocosmes durant 4 ans, suivi d'une étude de ces mêmes mésocosmes après l'arrêt de l'enrichissement en nutriments pendant 2 ans. Durant la période d'enrichissement, les fucales (*Fucus serratus* et *Fucus vesiculosus*) ont décliné les 4 premières années pour arriver à un changement total de la communauté la 5<sup>ème</sup> année durant laquelle les algues vertes ont dominé la communauté algale avec un taux de recouvrement proche de 50 % dans le milieu le plus enrichi (32 µM d'azote) contre moins de 10 % dans le mésocosme de contrôle. Les fucales avaient un taux de recouvrement de 40 % dans le milieu le plus enrichi contre 80% dans le témoin. A la suite de l'arrêt de l'enrichissement, les communautés algales ont retrouvé leur structure d'origine avec une dominance des algues d'habitat en **moins de 2 ans**.

Cette problématique d'eutrophisation s'inscrit également dans des aspects écosystémiques plus complexes liés au succès de colonisation des platiers rocheux par les algues vertes. Bokn et al. (2003) ont en effet montré lors d'une expérimentation menée durant 2 ans et demi que l'eutrophisation favorisait significativement l'apparition et la persistance d'algues vertes sur les platiers rocheux uniquement si elle était combinée à une faible pression de broutage par les gastéropodes. Worm et al. (2000) montrent également que le recrutement des algues vertes est important dans des milieux riches en nutriments et dans lesquels une faible pression de broutage existe et estiment que ce phénomène est responsable du déclin des fucales en Mer Baltique. Le degré de perturbation de l'écosystème des platiers rocheux, non représenté dans le modèle numérique, est un élément à ne pas négliger concernant le temps de réponse du milieu en cas de restauration de la qualité de l'eau. Outre l'eutrophisation, Thompson et al. (2002) ont listé d'autres éléments induisant un déséquilibre significatif du fonctionnement des communautés benthiques parmi lesquels :

- Les pollutions diverses (marées noires, perturbateur endocriniens, métaux lourds...),
- Les activités récréative induisant une pression d'ordre physique (piétinement) et une pression sur les populations de part leur prélèvement,
- Le changement global.

Face à ce type de perturbations, des études ont été menées de façon à connaître le temps mis par l'écosystème pour un retour à un état proche de celui précédant la perturbation. L'impact des pollutions aux **hydrocarbures** est particulièrement bien étudié. Il a été par exemple montré que, suite à la marée noire engendrée par le naufrage du Torrey Canyon survenu en mars 1967, **10 à 15 ans** étaient nécessaires pour que l'écosystème retrouve son état initial, notamment pour ce qui est des espèces structurantes de l'écosystème (Crowe et al, 2000). Concernant l'impact du **piétinement**, Milazzo et al. (2004), en Méditerranée, ont montré qu'une durée de **6 mois** était nécessaire pour que les algues d'habitat (*Cystoseira brachicarpa* v. *balearica* et *Dictyota obtusa*) retrouvent





un taux de recouvrement et une composition similaire à la zone témoin, non soumise au piétinement. Les habitats ne répondent néanmoins pas tous de la même façon face à des perturbations similaires. Ainsi, au Portugal, sur les communautés d'*Ascophyllum nodosum*, Araújo et al. (2012) ont montré que la structure d'origine de **la population algale n'était pas retrouvée au plus fort degré de piétinement après 54 mois soit 4 ans ½**. Sur l'Ile de Man, Jenkins et al. (2004) ont suivi la recolonisation d'un platier rocheux après l'enlèvement manuel de la canopée d'*Ascophyllum nodosum*. **Douze ans** après cette « perturbation », **l'état initial n'est toujours pas atteint**. *Ascophyllum nodosum* initialement seule espèce à composer la canopée est désormais en mélange avec *Fucus vesiculosus* et *Fucus serratus*.

Lorsque les perturbations sont multiples, le temps de réponse de l'écosystème semble augmenter. **Onze ans** après la mise en place d'une politique de traitement des eaux à proximité de Bilbao engendrant un retour à une bonne qualité du milieu côtier, **les communautés benthiques présentes sur les estrans rocheux n'ont toujours pas retrouvé leur état initial** (Diez et al., 2014). Les auteurs indiquent que les **pollutions à répétitions** couplées au **changement global** induisant un réchauffement des eaux et des houles importantes plus fréquentes pourraient **réduire la résilience de l'écosystème**.

Ces différentes études montrent que lorsque qu'une perturbation simple et bien identifiée est stoppée, l'écosystème retrouve un état initial à court terme. Toutefois, les environnements actuels sont le plus généralement soumis à de multiples pressions qui mettent à mal la résilience des écosystèmes pour lesquels il est plus réaliste de considérer un temps de réponse à moyen terme dans le cas de perturbations peu nombreuses et de faibles intensités et à long terme lorsque les perturbations sont importantes et multiples. **Même si l'écosystème ne peut revenir à son état initial, la diminution des perturbations entraîne toujours une réponse significative et positive du milieu dans lequel des politiques de restauration sont mises en œuvre.**

**Dans le cadre de la modélisation proposée dans le présent rapport, les résultats peuvent donc être considérés comme des abattements à minima, sur le court terme, qui pourraient être prolongés et amplifiés dans le temps du fait de la moindre fourniture sédimentaire en nutriments et de la possible diminution de la colonisation des platiers par les algues vertes du fait d'un nouvel équilibre de l'écosystème favorisant la colonisation des platiers rocheux par les algues d'habitat.**



 	<b>Document de référence (MC4bis)</b>	Réf.	CEVA/AQM13001/RAP/018-V1.0
		Date	15/10/14
		Page	23/32



## CONCLUSION

L'utilisation de données de mesures compilées par Ifremer a permis d'injecter aux limites marines du modèle général un signal hauteurier qui semble plus adéquat et représentatif de l'évolution saisonnière des sels nutritifs au large du Golfe de Gascogne que celui qui avait été utilisé dans le cadre de la mission MC. Une analyse succincte a permis de montrer que l'utilisation de cette nouvelle « limite marine » n'est pas de nature à remettre en question la mission MB2 dédiée au calage et à la validation des modèles de rang 1 centrés sur « Loire-Vilaine » et « Sables d'Olonne – Ile de Ré ».

L'exploitation du **modèle « Loire-Vilaine »**, en se basant sur cette nouvelle « limite marine » aboutit aux conclusions suivantes :

- Les **scénarii H25 à H27** portant sur la réduction des nitrates débouchent sur un abattement maximum de la biomasse totale en algues vertes de 49 % par rapport à la situation de référence en prenant le scénario H27 (réduction de 60 % du nitrate sur tous les contributeurs). Des différences plus ou moins marquées apparaissent en fonction du secteur retenu (abattement de 62 % pour les secteurs 5 et 6). Toutefois, d'un point de vue opérationnel, ce niveau de réduction des apports est particulièrement exigeant et sa mise en œuvre ne paraît pas réaliste à court terme. Le scénario H26 avec un objectif de réduction du flux de nitrates de 30 % est plus réaliste mais débouche sur un pourcentage d'abattement de la marée verte en année 1 assez modeste car inférieur à 30 % sur l'ensemble du domaine (abattement pour les secteurs 5 et 6 de l'ordre de 35 %),
- Avec 37 % d'abattement de la biomasse en ulves (sans le secteur 2 sous forte influence de la limite marine), le **scénario H28** (-30 % N) montre des abattements plus soutenus que le scénario H26 (-30 % NO<sub>3</sub>) mettant en évidence que la réduction des apports azotés en plus de ceux en nitrates peut constituer sur cette zone d'étude un axe intéressant de diminution de la biomasse en algues vertes,
- Le **scénario H29** (-30 % N et -30 % P) avec 25 % d'abattement apparaît moins réactif que le scénario précédent H28 (-30 % N) et ne semble donc pas immédiatement opérationnel au regard des seules ulves, en raison de l'effet contre productif pour les ulves du moindre pompage de l'azote dissous par le phytoplancton comme décrit au § 4.2. Une réduction conjointe des nutriments serait toutefois plus bénéfique pour l'ensemble de l'écosystème sur le long terme,
- Les **scénarii H30 à H32** qui introduisent un retard d'un mois et demi dans le démarrage de la marée verte avec ou sans réduction du flux de nitrate aboutissent à des abattements importants. Ces scénarii ne peuvent être considérés comme des scénarii opérationnels car ils résulteraient *a priori* d'un ensemble d'effets. Le premier effet serait, à plus ou moins long terme, la diminution des stocks de reconduction liée à la diminution des productions estivales, elle-même permise par la diminution progressive des apports terrigènes en nitrates. Il est difficile, en l'état actuel des connaissances, de valider et à plus forte raison de quantifier cet effet retard dû à la diminution des apports de nitrates. Un autre effet pourrait être la survenue d'accidents climatiques qui limiteraient la précocité du bloom printaniers (température froide en début de saison limitant la croissance algale, érosion du stock initial lié à un succès de colonisation du platier par les fucales) et conduirait alors, conjugué à une diminution des apports en nitrates, à une limitation nettement plus marquée des



 	<b>Document de référence (MC4bis)</b>	Réf.	CEVA/AQM13001/RAP/018-V1.0
		Date	15/10/14
		Page	24/32

proliférations estivales. Dans les grandes baies bretonnes qui font l'objet d'un suivi régulier depuis plusieurs années, l'effet d'accidents climatiques limitant la croissance de début de saison a déjà pu être observé (CEVA, 2012 et 2013). A l'échelle de la zone d'étude cependant, les suivis aériens engagés depuis 2007 ne permettent pas d'avoir le recul nécessaire pour appréhender ce phénomène, d'autant plus complexe à cerner dans le cas d'une marée verte se développant sur les platiers rocheux. Même si les connaissances sur les effets liés au retard des proliférations manquent, il semble que le scénario H26 (-30 % NO<sub>3</sub>) couplé aux effets attendus d'amplifications des abattements liés à la dynamique des populations benthiques (moindre succès de colonisation des ulves ; cf. § 5.2) pourrait permettre d'obtenir des résultats marqués à l'échelle de ce secteur d'étude.

A l'échelle du **modèle « Sables d'Olonne – Ile de Ré »**, l'exploitation des scénarii **H25 à H29** aboutit à de faibles niveaux de réduction avec un maximum de 8 % sur l'ensemble du domaine d'étude pour le scénario H27 (-60 % NO<sub>3</sub>) et de l'ordre de 16 à 17 % pour les secteurs 11 et 12bis pour ce même scénario. Ce résultat est à mettre en relation avec :



- L'éloignement important par rapport aux dépôts en ulves des principaux apports que sont la Gironde (distance Ile de Ré : ≈ 90 km), la Charente (distance Ile de Ré : > 40 km), la Sèvre Niortaise (distance Ile de Ré : ≈ 25 km), le Lay (distance Ile de Ré ≈ 15 km) et la Loire (distance Ile de Ré : ≈ 150 km),
- La présence du pertuis Breton et d'Antioche qui encadrent l'île de Ré et qui accentuent la dilution et l'expulsion vers le large des eaux fluviales des principaux apports,
- Les résultats précédemment dégagés dans le rapport MB2 concernant le traçage de l'azote dissous contenu dans les ulves qui montraient une faible dépendance des apports terrigènes au profit des apports du large. Le nombre peu important de sources locales en comparaison du modèle « Loire-Vilaine » va également dans le sens de ce diagnostic.

Seuls les **scénarii H30 à H32** fournissent des abattements sensibles sur la biomasse produite en algues vertes mais ne peuvent être considérés comme des scénarii opérationnels pour les mêmes raisons que celles décrites ci-avant. L'ajout, au retard dans le démarrage de la marée verte, d'une diminution en parallèle des flux de nitrates à hauteur de 15 % (scénario H31) et 30 % (scénario H32) ne creuse pas davantage les abattements par rapport à l'introduction d'un retard seul (scénario H30) confirmant la faible réactivité de ce modèle à une diminution des flux de nutriments.

Pour ce modèle « **Sables d'Olonne – Ile de Ré** », il est nécessaire de préciser que :

- Cette étude visait d'abord à modéliser la façade sous "influence de la Loire et de la Vilaine",
- Les deux principaux apports (Gironde et Charente) n'appartiennent pas explicitement au modèle de rang 1 « Sables d'Olonne – Ile de Ré ». Leur panache de dispersion est transmis du rang 0 au rang 1 par les deux limites marines en particulier par la frontière sud. Or, il n'a pas été possible d'extraire du modèle de rang 0 un signal à haute fréquence du fait du volume important de données à sauvegarder pour chaque simulation. Seule une donnée de forçage toutes les 24 h est prescrite aux limites marines du modèle de rang 1. Cela représente un biais dans la transmission des panaches de dispersion de la Gironde et de la Charente du rang 0 vers le rang 1 qui peut induire une minimisation de la réduction



 	<b>Document de référence (MC4bis)</b>	Réf.	CEVA/AQM13001/RAP/018-V1.0
		Date	15/10/14
		Page	25/32

de la biomasse d'ulves prédite par le modèle sur ce secteur. Cela n'est pas le cas pour le modèle de rang 1 « Loire-Vilaine » car les deux principaux apports (Loire et Vilaine) font explicitement partie du domaine de modélisation,



- La dilution importante du panache de la Gironde liée à la mise en place de la nouvelle limite marine au sein du modèle générale de rang 0. Pour rappel, la constitution des limites marines telle que proposée initialement dans le CCIP devait reposer sur une extraction des données d'archives du modèle Previmer qui avait tourné dans une ancienne version (version du code 2009 archivée pour l'année climatique 2009). Dans un souci d'amélioration du réalisme du modèle, cette limite marine a finalement été remplacée, en accord avec le comité de pilotage, en cours d'étude par les données de mesures du réseau SOMLIT à la bouée marine Astan (cf. MB2 § 3.2.4). Les résultats obtenus aux missions MC3 et MC4 avec la limite marine Astan ont posé de nouvelles interrogations sur la qualité des données de forçage utilisées aux frontières ouvertes du modèle de rang 0 et de nouvelles mesures situées dans le Golfe de Gascogne et jusqu'alors inconnues du comité de pilotage ont été utilisées pour constituer une nouvelle limite marine dans le cadre de la mission MC4 bis (cf. § 2). Si cette nouvelle limite marine chargée d'alimenter le modèle de rang 0 est plus représentative du signal hauturier du Golfe de Gascogne par rapport aux données Previmer, elle génère en particulier à la frontière sud un biais en raison de sa proximité avec le panache de la Gironde. En effet, les faibles teneurs en nitrate injectées à la limite sud, proche de l'estuaire de la Gironde, induisent une forte dilution du panache en nitrate issu de la Gironde qui s'accompagne d'un phénomène de diffusion lié au fort gradient entre les faibles teneurs provenant de la limite et celles de la Gironde. Cela implique une forte atténuation du panache de la Gironde et un impact de ce fleuve limité au sein du modèle de rang 1,
- La taille des mailles (250 m), le stock initial en ulves (basé sur une campagne ponctuelle d'observation et un prédictif des zones de croissance infralittorales) et les informations de flux collectées ne permettent pas de répondre à des questions très locales à l'échelle de petits sites ou de plages (dysfonctionnement d'une STEP locale par exemple),
- Les résultats des scénarii ont été obtenus pour l'année météo-climatique 2009 ce qui influe directement sur les flux de nutriments et leur condition de dispersion sous l'effet du vent.

Compte tenu de l'ensemble des limites décrites ci-dessus, les résultats obtenus sur ce secteur sont des résultats à minima. D'un point de vue méthodologique, il conviendrait pour améliorer les premiers résultats obtenus pour le modèle « **Sables d'Olonne – Ile de Ré** » d'abaisser géographiquement la limite sud du modèle de rang 0 (meilleure représentation de la dilution du panache de la Gironde) et de transmettre à des échelles de temps plus rapprochées les apports de la Gironde et de la Charente au modèle de rang 1.

En outre, même si, à l'échelle du secteur d'étude, la réduction des biomasses d'ulves peut sembler faible, elle peut s'avérer importante à des échelles plus locales. Les grandes tendances montrées par cette étude pourraient être affinées en fonction des différents contextes locaux rencontrés sur des secteurs plus restreints de la zone d'étude et en considérant des mailles plus fines et des estimations des apports locaux plus précis.





 	<b>Document de référence (MC4bis)</b>	Réf.	CEVA/AQM13001/RAP/018-V1.0
		Date	15/10/14
		Page	26/32

## Bibliographie

Araújo R., Sousa-Pinto I., Ester A. S. et Åberg P. 2012. **Recovery after trampling disturbance in a canopy-forming seaweed population.** Marine biology 159: 697-707.

Bokn T.L., Duarte C.M., Pedersen M.F., Marba N., Moy F.E. et al. 2003. **The response of experimental rocky shore communities to nutrients additions.** Ecosystems 6: 577-594.

CEVA, 2012. **Valorisation des données scientifiques acquises sur les marées vertes.** Rapport final du projet 7 du programme CIMAV, 45 p.

CEVA, 2013. **Valorisation des données scientifiques acquises sur les marées vertes.** Rapport final du projet 7 du programme CIMAV, 54 p.

Crowe T.P., Thompson R.C., Bray S. et Hawkins S.J. 2000. **Impacts of anthropogenic stress on rocky intertidal communities.** Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery 7: 273-297.

Diez I., Santolaria A., Muguerza N. et Gorostiaga J.M. 2014. **Capacity for recovery of rocky subtidal assemblages following pollution abatement in a scenario of global change.** Marine Pollution Bulletin 86: 197-209.

Jenkins S.R., Norton T.A. et Hawkins S.J. 2004. **Long term effects of Ascophyllum nodosum canopy removal on mid shore community structure.** Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 84: 4496-4498.

Kraufvelin P. 2007. **Responses to nutrient enrichment, wave action and disturbance in rocky shore communities.** Aquatic Botany 87: 262-274.

Kraufvelin P., Moy F. E., Christie H. et Bokn T.L. 2006. **Nutrient addition to experimental rocky shore communities revisited: delayed responses, rapid recovery.** Ecosystems: 1076-1093.

Lerat Y, 1990. **Cycles annuels de la matière organique et des éléments nutritifs dans les sédiments d'un écosystème côtier (baie de Morlaix, France), interactions avec le compartiment pélagique.** Thèse 3ème cycle, Univ. de Bretagne Occidentale, 212 p.



Milazzo M., Badalamenti F., Riggio S. et Chemello R. 2004. **Patterns of algal recovery and small-scale effects of canopy removal as a result of human trampling on a Mediterranean rocky shallow community.** Biological conservation 117: 191-202.

Monbet Z., Chardy P., Gros Ph., 1991. **Benthic flux studies in the bay of St Brieuc (France).** 10th report of the Benthos Ecology Working Group. Canada, may 6-10 1991, 32-52.

Sourisseau Marc, Roge Marine (2011). **Variation spatio-temporelle des nutriments de la sous-région marine Golfe de Gascogne DCSMM/EI/GDG.** Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, Ref. DCSMM/EI/EE/GDG/1.2.3/2011, 17 p.







  <small>Liberté • Égalité • Fraternité</small> <small>REPUBLIQUE FRANÇAISE</small> <small>PRÉFET</small> <small>DE LA RÉGION</small> <small>PAYS DE LA LOIRE</small>	<b>Document de référence (MC4bis)</b>	Réf.	CEVA/AQM13001/RAP/018-V1.0
		Date	15/10/14
		Page	27/32

Tucker et al., 2007. **2006 Annual benthic nutrient flux monitoring report**. Boston: Massachusetts Water Resources Authority. Report 2007-07. 65 p.

Thompson R.C., Crowe T.P. et Hawkins S.J. 2002. **Rocky intertidal communities: past environmental changes, present status and predictions for the next 25 years**. Environmental Conservation 29: 168-191.



Worm B., Lotze H.K., Sommer U. 2001. **Algal propagule banks modify competition, consumer and resource control on Baltic rocky shores**. Oecologia 128: 281-293.



	 <small>Liberté • Égalité • Fraternité</small> <small>RÉPUBLIQUE FRANÇAISE</small>	<b>Document de référence (MC4bis)</b>	Réf.	CEVA/AQM13001/RAP/018-V1.0
			Date	15/10/14
			Page	28/32

# ANNEXES





  <small>Liberté • Égalité • Fraternité</small> <small>REPUBLIQUE FRANÇAISE</small>  <small>PRÉFET DE LA RÉGION PAYS DE LA LOIRE</small>	<b>Document de référence (MC4bis)</b>	Réf.	CEVA/AQM13001/RAP/018-V1.0
		Date	15/10/14
		Page	29/32

## ANNEXE 1 :

Résultats des pourcentages d'abattelements de la  
 biomasse en phytoplancton pour le modèle  
 « Loire-Vilaine » et « Sables d'Olonne – Ile de Ré »

---



 	<b>Document de référence (MC4bis)</b>	Réf.	CEVA/AQM13001/RAP/018-V1.0
		Date	15/10/14
		Page	30/32

## A – Modèle « Loire – Vilaine »

Le Tableau 8 présente les **pourcentages d'abattelements du phytoplancton**. Il est nécessaire de rappeler que cette étude n'avait pas pour objectif de fournir des résultats d'abattelements sur ce compartiment. En raison du grand volume de données à sauvegarder pour estimer les abattelements sur l'ensemble de la colonne d'eau et pour l'ensemble des espèces phytoplanctoniques, le choix a été fait pour le calcul des pourcentages d'abattelements de se restreindre :

- A la couche de fond bien qu'il eut été préférable d'estimer ces abattelements en y intégrant l'ensemble de la colonne d'eau et en particulier la couche de surface théoriquement plus réactive à une diminution des apports terrigènes en nutriments. Toutefois, au sein du modèle, la zone photique de forte production phytoplanctonique se situe par petits fonds ce qui tend à limiter le biais lié à la seule prise en compte de la couche de fond. Le Tableau 9 propose une estimation des abattelements en phytoplancton estimés au moyen de la couche de surface pour les scénarii H28 et H29 et peut être comparé au Tableau 8 relatif à la couche de fond. Les écarts, variables selon les secteurs et le type de scénario testé, ne sont pas très prononcés et n'excèdent pas 4 points,
- Aux diatomées seules. A partir des scénarii H30 et H31, l'écart sur la biomasse totale produite a été estimée à moins de 1 % entre les diatomées seules et les diatomées plus les dinoflagellés. La quasi-totalité de la biomasse phytoplanctonique prédite par le modèle est donc représentée par les diatomées.

Les abattelements estimés sur juillet-août sont relativement faibles (cf. Tableau 8). Le scénario H27 (réduction NO<sub>3</sub> de 60 %) montre la réduction la plus importante de la biomasse produite en diatomées mais n'excède pas 25 % sur l'ensemble du domaine si l'on omet le secteur 2 qui est sous forte influence de la limite marine.

D'une manière générale, le phosphore étant l'élément limitant de la croissance planctonique au printemps relayé en fin de saison de prolifération par l'azote, il est logique de constater que la réduction à la fois des apports en azote et en phosphore (scénario H29 : -30 % N et P) conduit à des abattelements plus élevés sur le phytoplancton que le scénario H28 (-30 % en N). Ce mécanisme explique les résultats inverses à ceux du phytoplancton obtenus pour les ulves entre les scénarii H29 et H28 en raison d'un moindre pompage par le phytoplancton de l'azote dissous dans la colonne d'eau.



**Tableau 8 : Effet de la réduction des flux de nutriments sur la biomasse en diatomées de la couche de FOND pour le modèle « Loire-Vilaine » sur l'année hydrologique 2009**  
(secteur 2 : Saint-Jacques ; secteur 3 : Penvins + Banastère ; secteur 4 : Pen-Bé + Mesquer ; secteur 5 : Piriac-sur-Mer ; secteur 6 : Le Croisic ; secteur 7 : La Baule ; secteur 8 : Noirmoutier-La Fosse + Noirmoutier-Gois + Noirmoutier-Sableaux + Noirmoutier-Vieil + Noirmoutier-Epine + Noirmoutier-Guérinrière)

Scénario		Pourcentage d'abattement de la biomasse en diatomées estimé sur juillet-août 2009 par rapport à la situation de référence							
		Domaine entier	secteur 2*	secteur 3	secteur 4	secteur 5	secteur 6	secteur 7	secteur 8
H25	- 15 % NO <sub>3</sub> sur tous les contributeurs	3	2	3	9	4	3	2	5
H26	- 30 % NO <sub>3</sub> sur tous les contributeurs	7	3	8	18	10	7	4	11
H27	- 60 % NO <sub>3</sub> sur tous les contributeurs	17	7	21	41	25	20	12	28
H28	- 30 % N (NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , N <sub>org</sub> ) sur tous les contributeurs	12	5	12	30	17	14	8	20
H29	- 30 % N (NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , N <sub>org</sub> ) et -30 % P sur tous les contributeurs	16	4	17	30	19	16	20	22

\* Résultats des pourcentages d'abattement pour le secteur 2 à prendre avec précaution car influence *a priori* excessive des apports du large du fait de la proximité géographique de ce secteur avec la limite marine

**Tableau 9 : Effet de la réduction des flux de nutriments sur la biomasse en diatomées de la couche de SURFACE pour le modèle « Loire-Vilaine » sur l'année hydrologique 2009**  
(secteur 2 : Saint-Jacques ; secteur 3 : Penvins + Banastère ; secteur 4 : Pen-Bé + Mesquer ; secteur 5 : Piriac-sur-Mer ; secteur 6 : Le Croisic ; secteur 7 : La Baule ; secteur 8 : Noirmoutier-La Fosse + Noirmoutier-Gois + Noirmoutier-Sableaux + Noirmoutier-Vieil + Noirmoutier-Epine + Noirmoutier-Guérinrière)

Scénario		Pourcentage d'abattement de la biomasse en diatomées estimé sur juillet-août 2009 par rapport à la situation de référence							
		Domaine entier	secteur 2*	secteur 3	secteur 4	secteur 5	secteur 6	secteur 7	secteur 8
H28	- 30 % N (NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , N <sub>org</sub> ) sur tous les contributeurs	11	6	9	27	18	10	5	20
H29	- 30 % N (NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , N <sub>org</sub> ) et -30 % P sur tous les contributeurs	20	6	16	27	23	21	23	23

\* Résultats des pourcentages d'abattement pour le secteur 2 à prendre avec précaution car influence *a priori* excessive des apports du large du fait de la proximité géographique de ce secteur avec la limite marine



## B – Modèle « Sables d'Olonne – Ile de Ré »

Le Tableau 10 présente les résultats d'abattement de la biomasse en phytoplancton estimés sur la période allant de juillet à août pour les diatomées seules et pour la couche de fond uniquement. Ces derniers sont particulièrement bas sur l'ensemble du domaine et à l'échelle des différents secteurs. Le modèle indique donc que la production primaire (phytoplancton et ulves inclus) sur ce secteur d'étude est majoritairement sous influence des apports du large. Toutefois, cette faible réactivité à une diminution des apports terrigènes semble en partie liée au découpage de l'emprise du modèle qui limite l'impact du panache de la Gironde comme décrit en conclusion.

**Tableau 10 : Effet de la réduction des flux de nutriments sur la biomasse en diatomées de la couche de FOND pour le modèle « Sables d'Olonne-Ile de Ré » sur l'année hydrologique 2009**  
(secteur 9 : Saint-Jean-de-Mont ; secteur 10 : Les Sables d'Olonne + Bourgenay-Payré + Longeville-Saint-Vincent-sur-Jard ; secteur 11 : La Tranche-sur-Mer ; secteur 12 : Ile de Ré ; secteur 12 bis : Ré-Portes-en-Ré + Ré-Loix + Ré-Saint-Martin-en-Ré + Ré-La Flotte)

Scénario		Pourcentage d'abattement de la biomasse diatomées estimé sur juillet-août 2009 par rapport à la situation de référence					
		Domaine entier	secteur 9*	secteur 10	secteur 11	secteur 12	secteur 12 bis
H25	- 15 % NO <sub>3</sub> sur tous les contributeurs	1	2	0	1	1	0
H26	- 30 % NO <sub>3</sub> sur tous les contributeurs	2	3	1	1	1	0
H27	- 60 % NO <sub>3</sub> sur tous les contributeurs	4	7	2	2	2	1
H28	- 30 % N (NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , N <sub>org</sub> ) sur tous les contributeurs	3	5	2	2	2	2
H29	- 30 % N et -30 % P sur tous les contributeurs	3	7	2	2	1	1

