

Alain MÉNESGUEN

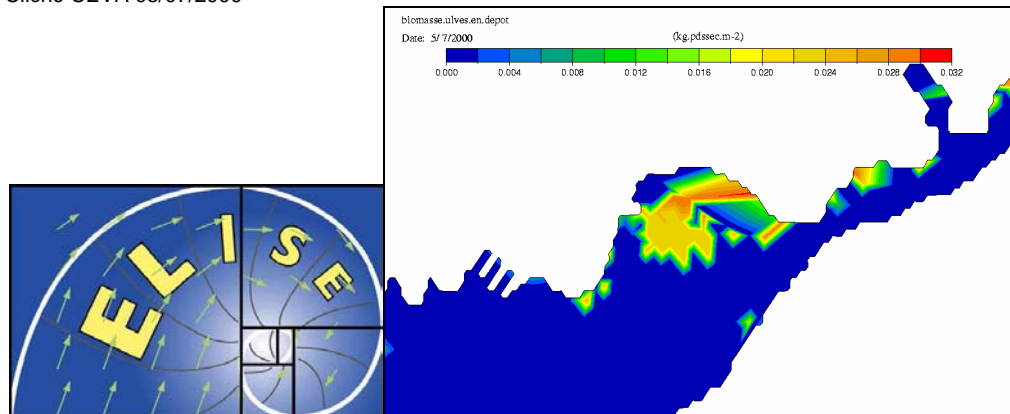
Date : 07/03/2006

R.INT.DYNECO/EB/06-02/AM

# Simulations de rejet en Rade de Brest d'ulves draguées dans l'anse du Moulin Blanc



Cliché CEVA 05/07/2000



Rapport pour Brest-Métropole Océane ( commande n° 119 732/1 du 24/05/2006)  
 Marché n° M05/430 (6 décembre 2005)

## **I. Rappels préliminaires sur le modèle utilisé**

Il s'agit du modèle écologique 3D spécialement bâti en 2001 (Leblond et al., 2001) pour répondre à une demande contractuelle de la CUB concernant l'origine de l'azote alimentant la marée verte de la plage du Moulin Blanc. Ce modèle mathématique de la rade de Brest est donc spécifiquement adapté à l'étude précise de l'embouchure de l'Elorn (zone où la maille est carrée, de 150 m de côté), et permet non seulement une étude hydrodynamique, mais aussi une étude du devenir des rejets d'azote ou de phosphore dans cette zone.

En ce qui concerne la partie hydrodynamique, ce modèle fondé sur le code IFREMER SiAM3D, reproduit une propagation de marée validée par des mesures, en vive-eau comme en morte-eau, tant en terme d'élévation de la surface que de champ de vitesses, ainsi que les panaches de dessalure de l'Elorn et de l'Aulne variant selon les cycles vive-eau morte-eau, avec stratification en morte-eau et colonne d'eau quasi-homogène en vive-eau.

En ce qui concerne la partie biogéochimique, ce modèle a été validé sur l'année 1999 grâce aux mesures disponibles, de façon à reproduire sur l'ensemble de la Rade de Brest les deux grandes formes d'algues éventuellement impliquées dans les phénomènes d'eutrophisation : le phytoplancton (scindé en algues unicellulaires siliceuses : les diatomées, et non-siliceuses : les dinoflagellés) et les macrophytes chlorophycées (ulves en suspension et ulves en dépôt), dont on prend ainsi en compte l'éventuelle compétition pour l'utilisation de la lumière et des sels nutritifs. Ce modèle est capable de simuler des cycles spatio-temporels assez réalistes pour l'azote et le silicium, mais surestime apparemment les concentrations en phosphate. A partir d'un dépôt initial volontairement irréaliste de  $10\text{g/m}^2$  d'ulves sur tout le fond de la Rade, ce modèle est également capable de s'auto-organiser de façon réaliste, ne laissant subsister et proliférer les ulves que dans certaines anses du rivage, la plus favorable de toute la Rade s'avérant bien être l'anse du Moulin Blanc. L'ensemble du modèle et, plus précisément, sa composante « ulves », ont fait l'objet d'une publication scientifique détaillée (Ménésguen et al., 2006).

Etant donnée l'étendue limitée de la présente étude, c'est toujours l'année 1999 qui servira de référence. C'est une année climatiquement plutôt arrosée, avec des débits supérieurs à la moyenne (Elorn :  $\sim 7\text{ m}^3/\text{s}$  en 1999,  $\sim 5\text{ m}^3/\text{s}$  en moyenne), avec une crue en fin avril, mais l'insolation mensuelle n'est pas déficitaire au printemps et en été 1999. On peut donc considérer que le forçage climatique de 1999 est plutôt favorable à la prolifération des ulves dans l'anse du Moulin Blanc. On rappelle que pour cette année-là, le modèle a donné une biomasse maximale d'ulves dans l'anse du Moulin Blanc égale à 270 tonnes de poids frais égoutté, ce qui peut paraître un peu faible par rapport aux 400 tonnes estimées en juin 2000 par l'échantillonnage en plongée du CEVA, et plus proche de la biomasse hivernale d'environ 200 tonnes estimée par le CEVA en janvier 2005. Sans prétendre au réalisme des valeurs absolues de biomasse simulées, on se focalisera donc sur les effets visibles en valeur relative.

Toutes les simulations ont été menées sous l'environnement logiciel ELISE, développé à l'IFREMER pour faciliter la mise en place et l'exploitation de modèles écologiques.

## **2. Etude de la dispersion d'ulves lâchées près du fond en début de jusant en divers points de l'estuaire de l'Elorn et de la Rade-nord**

### **2.1 Méthodologie**

Le principe consiste à rajouter au modèle de base un deuxième ensemble de variables d'état représentant les ulves issues du dragage ; ces ulves dites « draguées » vont donc suivre les mêmes processus que les ulves originelles, entrant en compétition avec ces dernières pour l'accès à l'éclairement et aux nutriments. Ceci permet à tout moment de suivre tant la disparition que la multiplication éventuelle des algues « draguées ». A la date initiale, choisie en mai pour se placer dans la configuration la plus risquée de repousse des ulves déposées, une masse de 100 tonnes d'ulves, ayant les contenus cellulaires azotés et phosphorés des ulves alors présentes en dépôt au centre de l'anse du Moulin Blanc est créée et placée sous forme de dépôt uniformément réparti dans la couche de fond d'une seule maille du modèle. Une période de suivi de 3 mois (c'est-à-dire une suite de 6 alternances vives eaux/mortes eaux) est ensuite nécessaire pour prendre en compte la dégradation lente de l'ulve placée en conditions lumineuses défavorables, mais également sa faible repousse éventuelle en divers endroits de la rade.

#### **2.1.1 Sensibilité au lieu de dépôt**

Les simulations ont été effectuées avec un dépôt d'ulves effectué le 16 mai 1999, en début du jusant de vives eaux (coefficient 111), de façon à permettre le plus possible une chasse initiale vers le centre de la rade, et ce pour quatre mailles de dépôt initial des algues « draguées », pas trop éloignées de l'anse du Moulin Blanc (Fig. 1) :

- un point situé dans le chenal de l'Elorn au droit de l'anse du Moulin Blanc (**point A**, maille(i=33, j=44), longitude = 4° 25' 42'' W, latitude = 48° 22' 55'' N, profondeur ≈ 10 m),
- un point situé sur le banc de Keraliou au droit de l'anse du Moulin Blanc (**point B**, maille(i=31, j=40), longitude = 4° 25' 34'' W, latitude = 48° 22' 34'' N, profondeur ≈ 0.5 m),
- un point situé dans le chenal de l'Elorn en aval de la prise d'eau d'Océanopolis (**point C**, maille(i=21, j=48), longitude = 4° 27' 31'' W, latitude = 48° 22' 19'' N, profondeur ≈ 9 m),
- un point situé en rade-nord, au sud du terminal vrac du Port de Commerce (**point D**, maille(i=18, j=48), longitude = 4° 28' 34'' W, latitude = 48° 21' 45'' N, profondeur ≈ 15 m).

#### **2.1.2 Sensibilité à l'heure-marée du dépôt**

La sensibilité de l'efficacité du protocole à l'heure de dépôt des ulves a été testée sur le **point A**, le plus proche de l'anse du Moulin Blanc, en comparant deux moments de la marée aux effets diamétralement opposés : le début du jusant de vives-eaux du 16 mai 1999, précédemment simulé et censé permettre une chasse initiale vers le centre de la rade, et le début du flot de vives-eaux du 16 mai 1999, éventuellement propice à un retour des ulves vers l'amont de l'estuaire, voire l'anse du Moulin Blanc.

#### **2.1.3 Sensibilité au coefficient de marée lors du dépôt**

La sensibilité de l'efficacité du protocole au coefficient de marée régnant lors du dépôt des ulves a été testée sur le **point A**, le plus proche de l'anse du Moulin Blanc, en comparant deux coefficients de marée extrêmes : le coefficient de 111 des vives-eaux du 16 mai 1999, précédemment simulé et le coefficient de 49 des mortes eaux du 23 mai 1999.

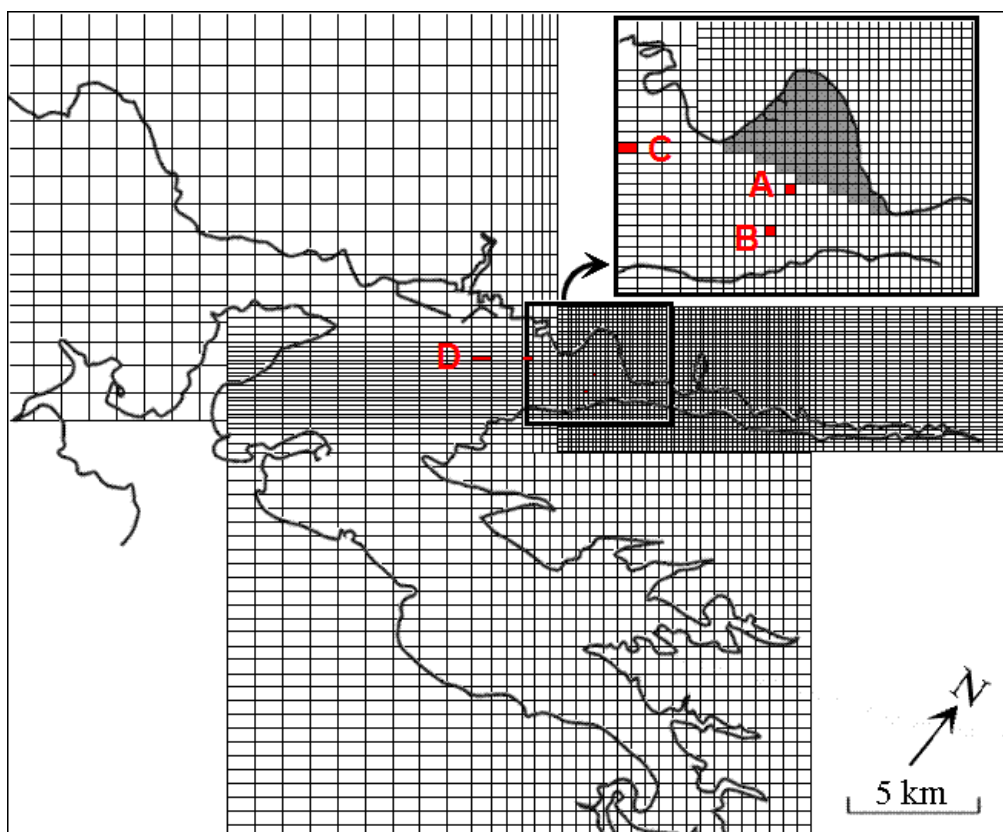


Figure 1. Localisation des 4 points de dépôt d'ulves étudiés

## 2.2 Résultats

### 2.2.1 Lieu de dépôt optimum

Pour chacun des 4 points de dépôt étudiés, les Figures 2 à 5 donnent la répartition des biomasses d'ulves issues du dépôt initial, respectivement au bout de 1 jour, 1 mois et 2 mois. La Figure 6 donne l'évolution sur 2 mois de la biomasse totale d'ulves déposées issue d'un dépôt initial de 100 tonnes de poids frais.

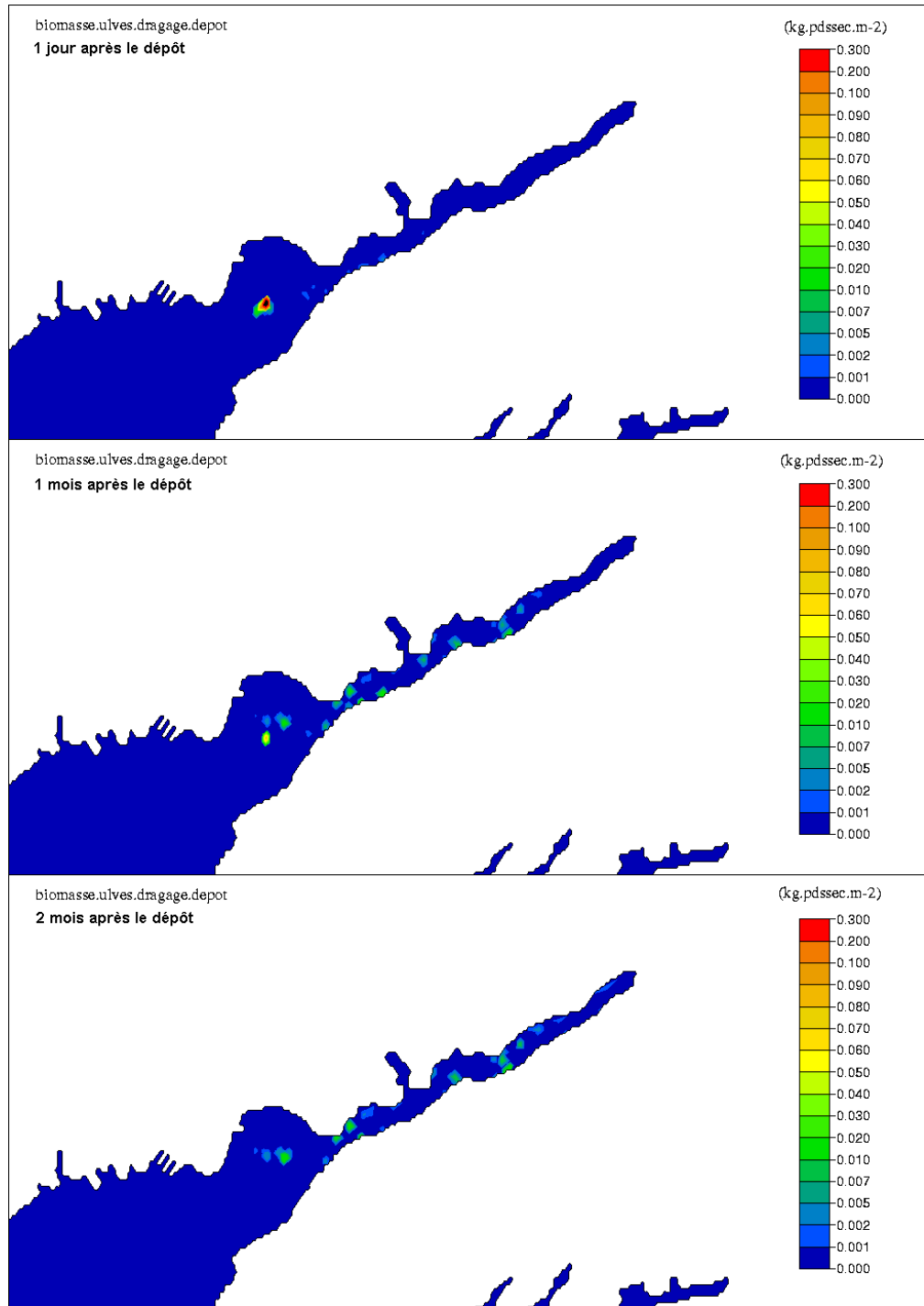


Figure 2. Localisation des ulves issues d'un dépôt de 100 tonnes au **point A**, 1 jour, 1 mois et 2 mois après la date du dépôt

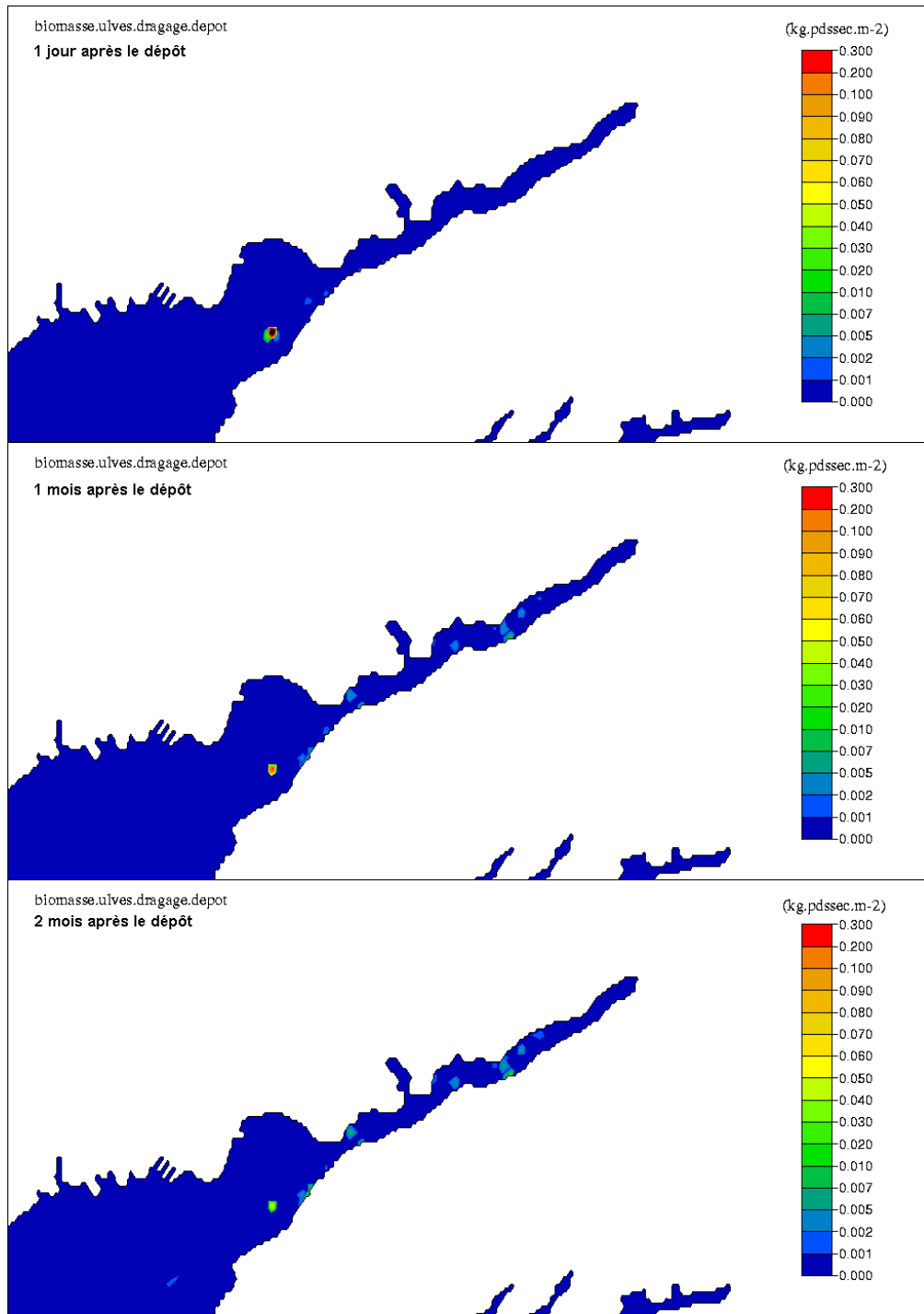


Figure 3. Localisation des ulves issues d'un dépôt de 100 tonnes au **point B**, 1 jour, 1 mois et 2 mois après la date du dépôt.

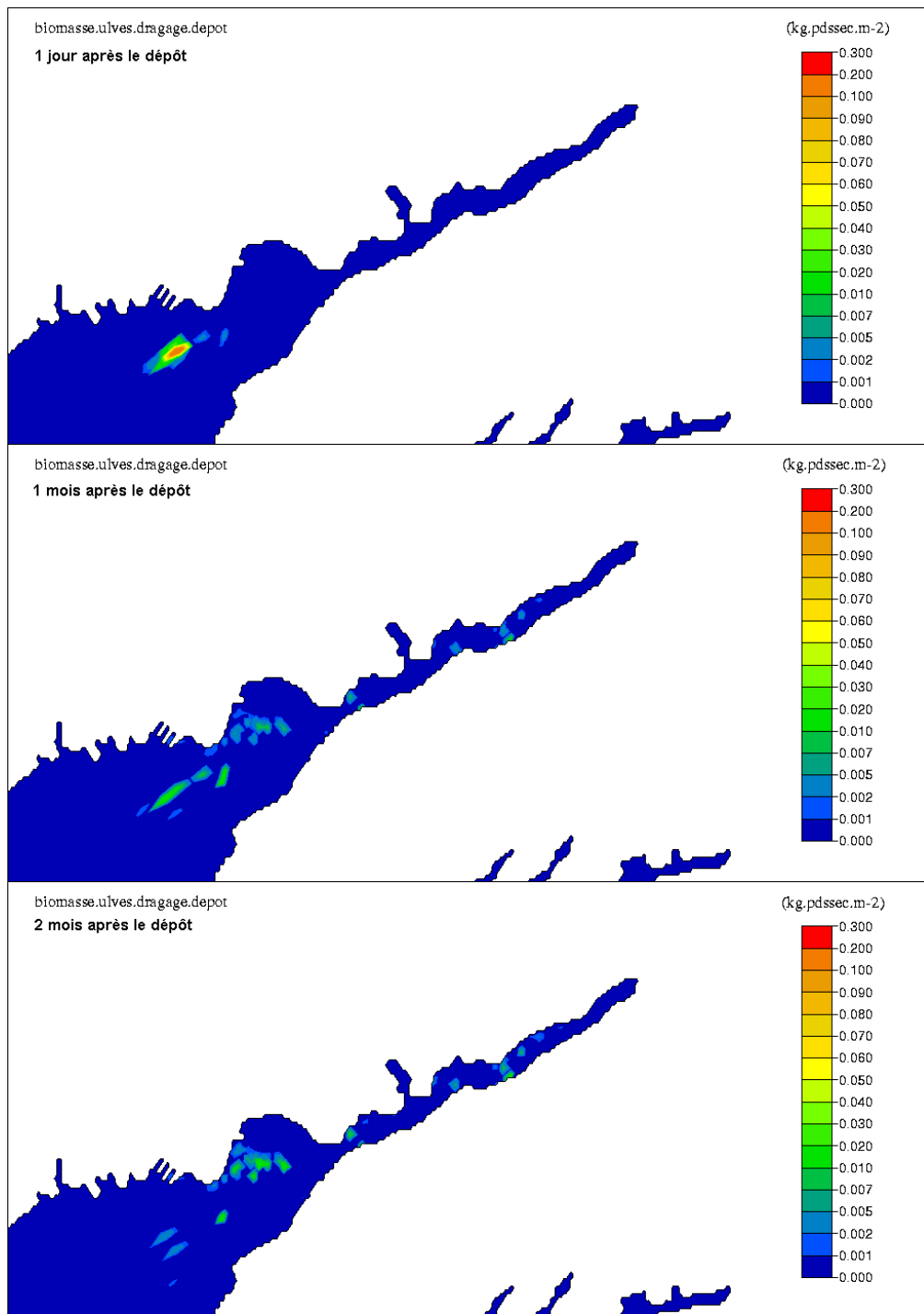


Figure 4. Localisation des ulves issues d'un dépôt de 100 tonnes au **point C**, 1 jour, 1 mois et 2 mois après la date du dépôt.

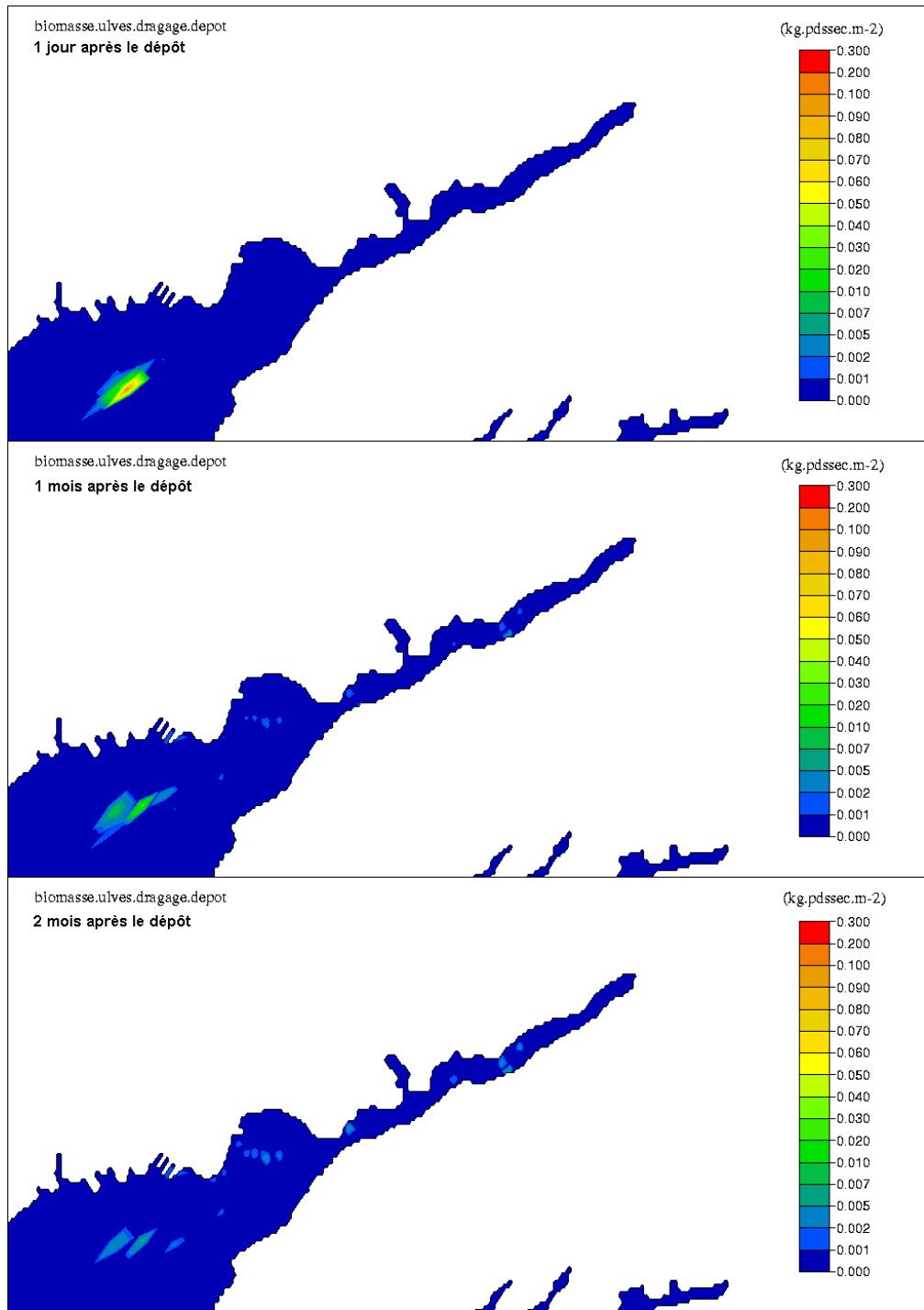


Figure 5. Localisation des ulves issues d'un dépôt de 100 tonnes au **point D**, 1 jour, 1 mois et 2 mois après la date du dépôt.



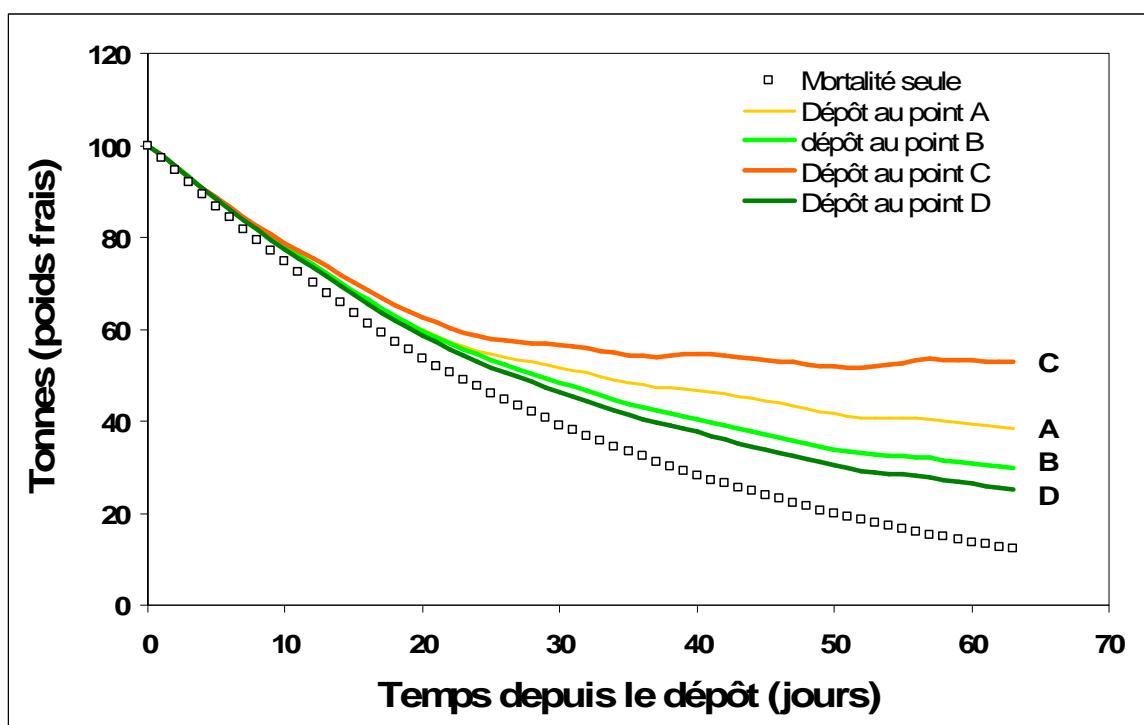


Figure 6. Evolution de la biomasse totale d'ulves issues des 100 tonnes respectivement déposées aux 4 points A, B, C et D, comparée à la diminution due à la seule mortalité.

De ces différentes figures, il ressort que :

- les ulves déposées au droit de l'anse du Moulin Blanc, soit dans le chenal de l'Elorn (point A), soit en face sur le banc de Keraliou, sur la rive gauche de l'Elorn (point B) ne recolonisent pas les hauts-fonds de l'anse du Moulin Blanc. Par contre, une partie des ulves déposées plus en aval, devant le port de commerce (point D), et surtout au niveau de la prise d'eau d'Océanopolis (point C) revient sur la zone du port de plaisance par son chenal d'accès.
- pour les 3 dépôts effectués dans le chenal de l'Elorn, le dépôt initial subit une érosion partielle lors des moments de la marée où les courants sont les plus forts. L'asymétrie de ces derniers entre flot et jusant et la tendance des courants de fond à être dirigés vers l'amont dans un estuaire stratifié font que les ulves ainsi remises en suspension ont beaucoup plus tendance à remonter le chenal de l'Elorn vers l'amont, qu'à s'évacuer vers le centre de la rade. Des dépôts d'ulves de faible biomasse peuvent ainsi être générés le long des berges de l'Elorn.
- les ulves relâchées sur les hauts-fonds du banc de Keraliou (point B) ont par contre tendance à rester sur place en raison des courants plus faibles que dans le chenal voisin, ainsi qu'on peut le voir sur la Figure 7

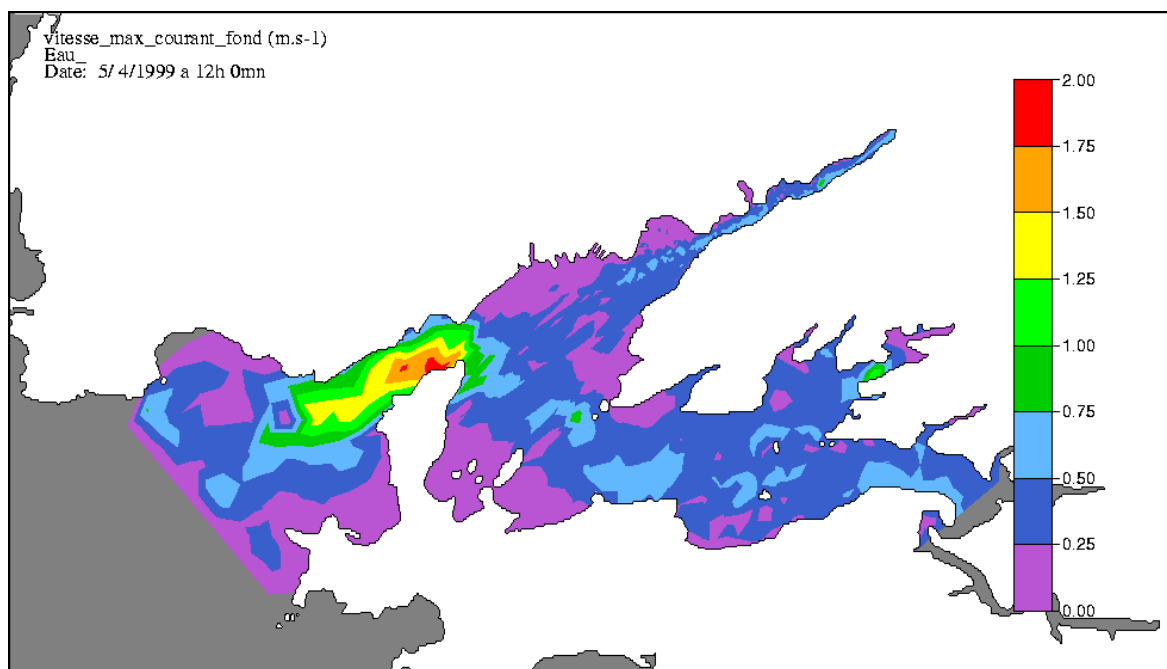


Figure 7. Module maximum du courant de marée atteint durant l'année 1999 (m/s)

- l'évolution globale du stock déposé dépendra de sa capacité à être remis en suspension et surtout à pouvoir coloniser des zones littorales peu profondes. La simulation, volontairement effectuée en fin de printemps, donc à une période favorable à la repousse, montre bien (Fig. 6), par rapport à la décroissance continue créée par la mortalité seule, qu'une repousse partielle ralentit la disparition du stock à partir du jour 22 environ, c'est-à-dire au mois de juin. Ce ralentissement de la disparition du stock initial est d'autant plus net que le dépôt a été effectué dans une zone à forte remise en suspension ET susceptible d'inoculer de vastes zones très peu profondes. Ce sont en effet surtout les ulves remises en suspension et entraînées vers les estrans qui repoussent, parce qu'elles peuvent y retrouver des conditions propices à leur croissance. Ainsi, c'est le point D qui assure la plus efficace disparition du stock dragué, parce qu'il est profond (peu de lumière pour la croissance du stock déposé) et loin des anses de l'estuaire. Le point B est également efficace, bien que lui-même à faible profondeur, car la faiblesse des courants y maintient le stock initial en tas, donc sans croissance notable, et parce que le peu d'ulves qui s'en est échappé n'est pas dirigé par la circulation de fond vers l'anse du Moulin Blanc, mais vers l'Elorn amont. Le point A commence à montrer une repousse partielle du stock car, bien ventilé, il enseme les anses de l'estuaire, mais seulement en amont de l'anse du Moulin Blanc. Le point C par contre voit la repousse stopper carrément la diminution du stock, car il est le seul susceptible d'alimenter l'anse du Moulin Blanc, la seule anse présentant une surface conséquente.

### 2.2.2 Heure-marée optimale pour le dépôt

Le fait d'effectuer le dépôt à marée basse, donc en début de flot, plutôt qu'en début de jusant, génère (Fig. 8) un transport des ulves vers l'amont du chenal de l'Elorn plus important au bout d'un jour que celui observé même au bout de 2 jours dans le cas d'un dépôt en début de jusant. Ceci est dû à l'asymétrie des courants en aval et en amont immédiat du site de dépôt : en cas de dépôt à pleine mer, les courants de jusant commencent par entraîner les ulves légèrement plus en profondeur, vers l'ouest, d'où elles seront plus difficiles à remobiliser vers l'est.

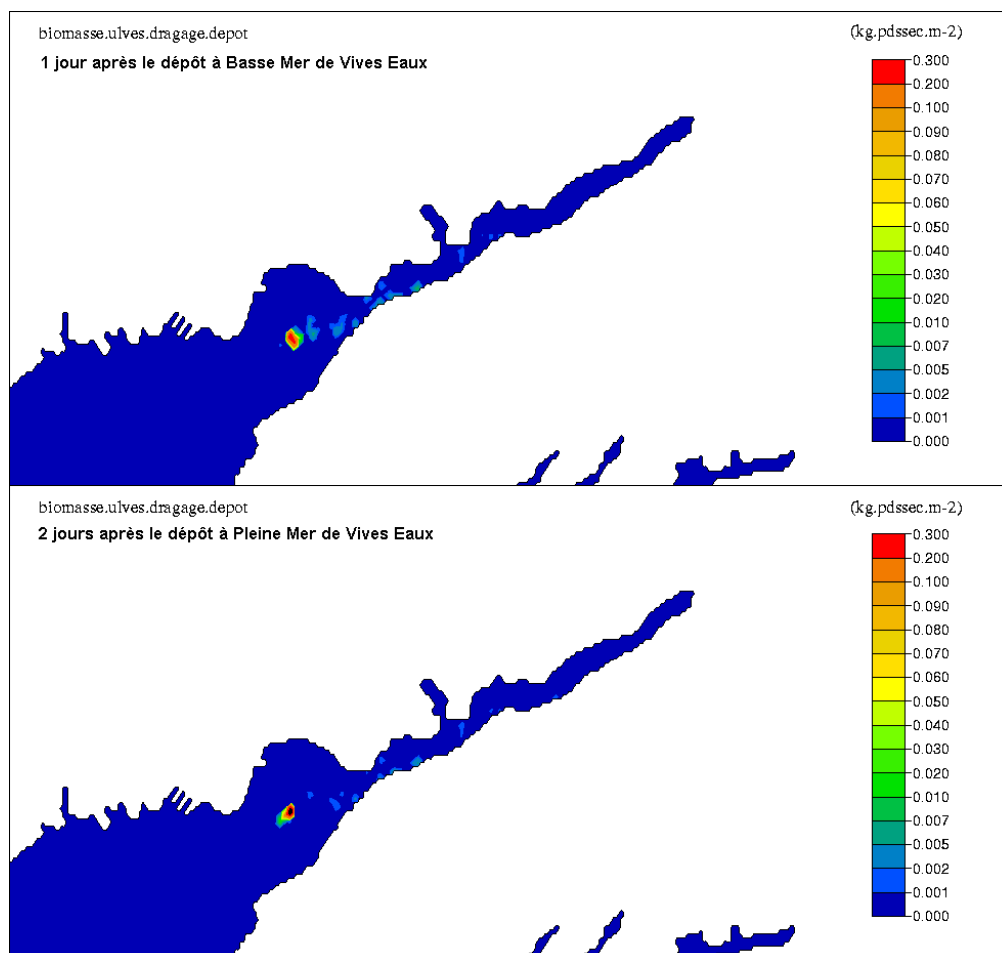


Figure 8. Localisation des ulves issues d'un dépôt de 100 tonnes au **point A**, soit 1 jour après le dépôt à Basse Mer de Vives eaux, soit 2 jours après le dépôt à Pleine Mer de Vives Eaux.

La Figure 9 montre qu'un mois après le dépôt, la répartition des ulves dragués le long du chenal de l'Elorn est quasi-identique quelle que soit l'heure-marée à laquelle s'est effectué le dépôt, mais que la biomasse restante sur le lieu du dépôt est cependant plus importante dans le cas de dépôt fait à pleine mer.

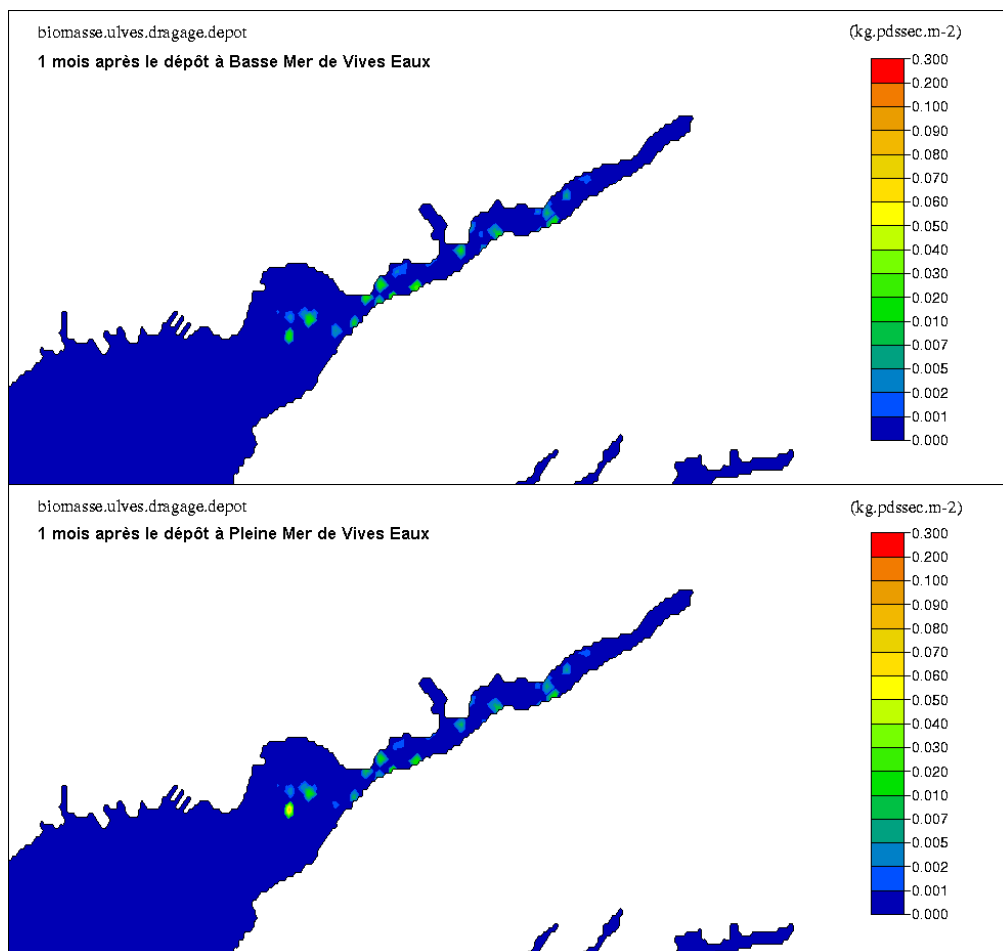


Figure 9. Localisation des ulves issues d'un dépôt de 100 tonnes au **point A**, 1 mois après le dépôt, à Basse Mer de Vives eaux, ou à Pleine Mer de Vives Eaux.

### 2.2.3 Coefficient de marée optimal pour le dépôt

Le fait d'effectuer le dépôt à marée haute de mortes eaux, plutôt qu'à marée haute de vives eaux, supprime (Fig. 10) le transport initial des ulves vers l'amont du chenal de l'Elorn. Mais cet effet du coefficient de marée lors du dépôt initial s'estompe vite, et au bout d'un mois, plus aucune différence de répartition ne subsiste (Fig. 11).

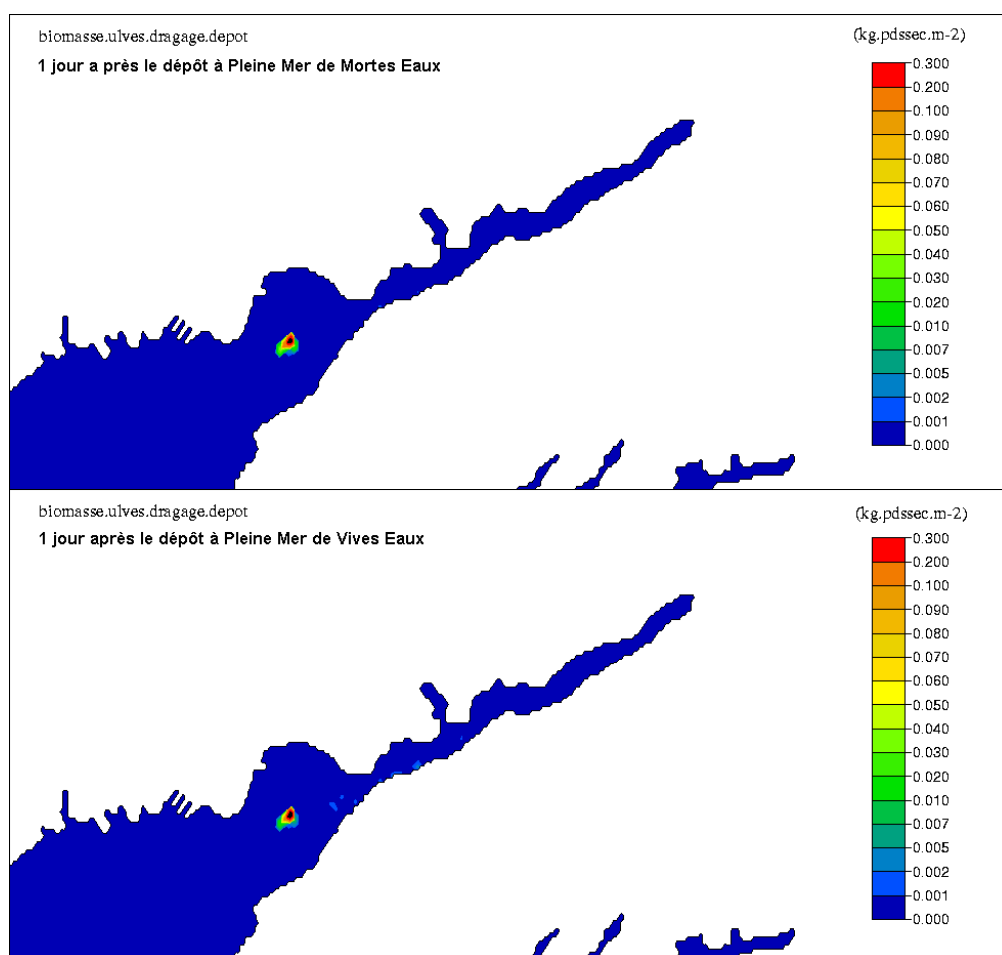


Figure 10. Localisation des ulves issues d'un dépôt de 100 tonnes au **point A**, 1 jour après le dépôt à Pleine Mer, soit en Mortes Eaux, soit en Vives Eaux.

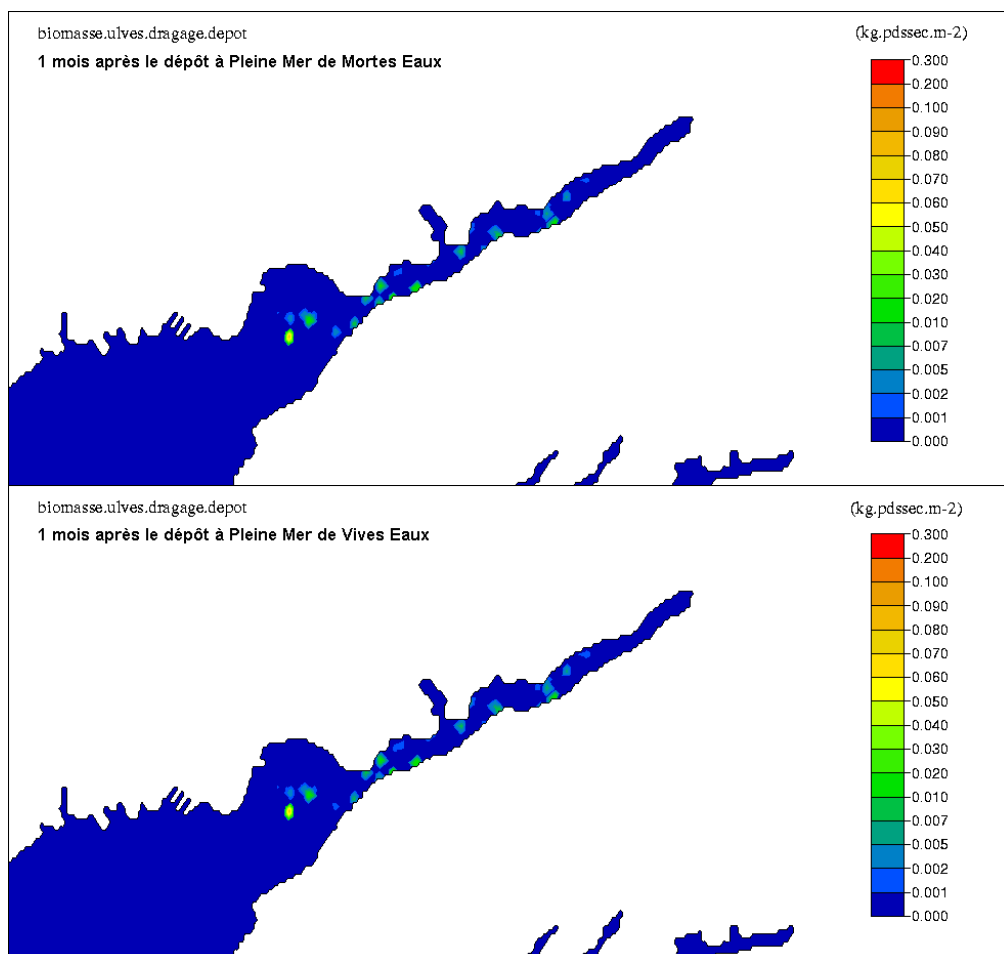


Figure 11. Localisation des ulves issues d'un dépôt de 100 tonnes au **point A**, 1 mois après le dépôt à Pleine Mer, soit en Mortes Eaux, soit en Vives Eaux.

### 3. Etude de l'effet du quasi-nettoyage de l'anse du Moulin Blanc en avril et du dépôt de la totalité des ulves chalutés au point optimal de rejet

On considèrera un cas théorique de nettoyage en début de printemps : par rapport au stock présent à cette date dans le modèle sur la zone de l'anse du Moulin Blanc (zone grisée sur la Figure 1), c'est-à-dire 71 tonnes de poids frais, 10% sont laissés dans l'anse du Moulin Blanc, et 90% (soit 64 tonnes) sont rejetés en une fois sur un site de rejet approprié, par exemple le point B. Le modèle suit en parallèle sur 2 mois, mais de façon distincte, les 2 stocks d'ulve et permet de calculer chaque jour la biomasse d'ulves sur l'ensemble de l'anse du Moulin Blanc (ulves non-draguées et ulves issues du dépôt au point B), qu'on comparera à la situation nominale (ulves non-draguées seules). La Figure 12 issue de cet exercice montre très clairement que les 10% d'ulves autochtones laissées dans l'anse du Moulin Blanc lors du dragage sont capables de régénérer en 3 mois la même marée verte qu'en absence de dragage. Par contre, pourvu qu'on les dépose sur un site approprié, les 90% de biomasse initiale enlevés par le dragage ne contribuent plus significativement à cette nouvelle marée verte du Moulin Blanc (1 tonne draguée contre 107 tonnes non-draguées, 3 mois après le dragage). Le dragage effectué une seule fois au printemps a donc servi uniquement de retardateur à la marée verte du Moulin Blanc.

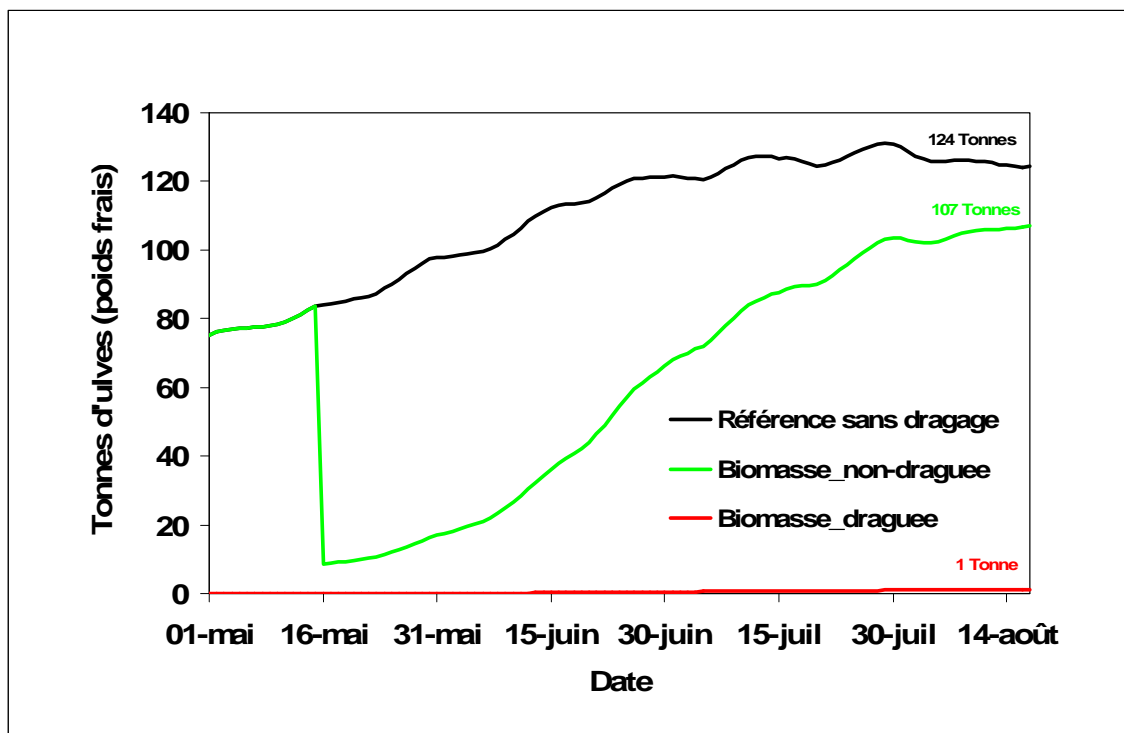


Figure 12. Evolution temporelle de la biomasse d'ulves présentes dans l'ensemble de l'anse du Moulin Blanc, en situation naturelle et suite à un dragage de 90% de la biomasse le 16 mai.

#### **4. Conclusion et recommandations**

Cette simulation du devenir d'ulves draguées dans l'anse du Moulin Blanc, puis déposées dans le chenal de l'Elorn, montre d'abord que **pour que ces ulves draguées ne « remontent » pas sur le platier de l'anse du Moulin Blanc, il faut les déposer soit en face ou légèrement en amont du Moulin Blanc, soit carrément plus vers le centre de la rade.**

Pour assurer la plus rapide décomposition du stock dragué, il est préférable de **faire le dépôt le plus profondément possible** pour interdire toute repousse du stock sur le site, mais il faut surtout le faire **soit dans un site à faible courant** où le tas d'ulves restera sur place sans être sensiblement remis en suspension (banc de Keraliou par exemple), **soit dans un site à fort courant mais incapable d'ensemencer de vastes zones littorales confinantes**, notamment l'anse du Moulin Blanc. Cette dernière exigence ne peut pas être déduite de simples considérations de distance à vol d'oiseau, et requiert l'usage d'un modèle simulant la dérive sur le fond.

Le coefficient de marée lors du dépôt des ulves draguées a très peu d'influence sur l'évolution à moyen terme des biomasses, tandis que l'heure-marée du dépôt initial semble en avoir un peu plus : pour minimiser les immédiates remontées vers l'amont de l'Elorn d'ulves draguées, **il serait préférable d'opérer le dépôt des ulves sur le fond en tout début de jusant**, même si ceci entraînera une persistance plus longue du tas d'ulves draguées sur le site de dépôt initial.

Enfin, et ceci est capital, même si on déplace par dragage une très grande partie des ulves de l'anse du Moulin Blanc, et qu'on s'assure que le dépôt d'ulves ne puisse revenir coloniser l'anse, **la faible biomasse laissée au Moulin Blanc par le dragage est capable de reconstituer en 3 mois la marée verte nominale. Il convient donc de faire 2 à 3 dragages par an : au début du printemps, au début de l'été et au début de l'automne.**

#### **Bibliographie citée**

LEBLOND I., MÉNESGUEN A., LE HIR P., CUGIER P., L'YAVANC J., 2001. Modélisation mathématique de la production micro- et macro-algale en Rade de Brest. Application à l'étude de scénarios de réduction de la marée verte à ulves de l'Anse du Moulin Blanc. Rapport IFREMER DEL/EC 01.03 pour la Communauté Urbaine de Brest, Janvier 2001, 122 p.

MÉNESGUEN A., CUGIER P., LEBLOND I., 2006. A new numerical technique for tracking chemical species in a multi-source, coastal ecosystem, applied to nitrogen causing *Ulva* blooms in the Bay of Brest (France). *Limnol. Oceanogr.*, 51, 591-601.  
([http://aslo.org/lo/toc/vol\\_51/issue\\_1\\_part\\_2/0591.pdf](http://aslo.org/lo/toc/vol_51/issue_1_part_2/0591.pdf))