

Etude de connaissance des marées vertes du littoral Atlantique sous influence de la Loire et de la Vilaine (Maitrise d'ouvrage DREAL Pays de Loire)

Journées Caparmor

Brest, vendredi 13 mars 2013

Thierry Perrot / Sylvain Ballu / Nadège Rossi
CEVA (Centre d'Etude et de Valorisation des Algues)
Presqu'île de Pen Lan - BP3 - 22610 Pleubian

Ressources, territoires et habitats
Énergie et climat Développement durable
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

**Présent
pour
l'avenir**

Contexte et objectifs

Contexte

- SDAGE Loire Bretagne 2010-2015 impose aux CLE d'établir des programmes de réduction des flux de nitrates (s'inscrit dans la problématique plus globale du contentieux « nitrates » commission Eu-France)

- ✓ Année 2008 : 24 sites à marées vertes identifiés entre Quiberon et Ré (suivis RCS 2007-2011 confié au Ceva par Ifremer)
- ✓ Importance des surfaces d'échouages

- Secteur dominé par les panaches de la Loire et de la Vilaine

- Diffère des marées vertes bretonnes : phase de croissance sur platiers rocheux + mélange avec les algues rouges et brunes

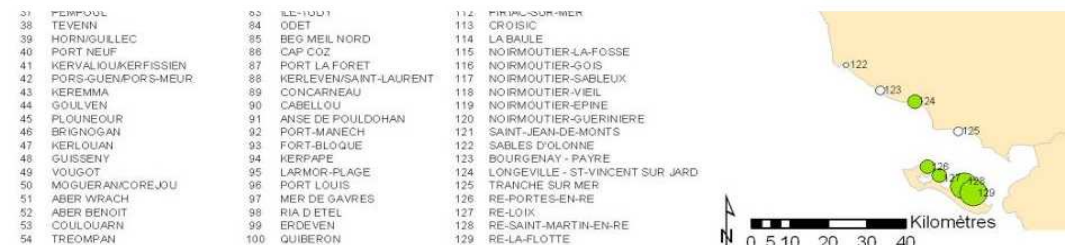
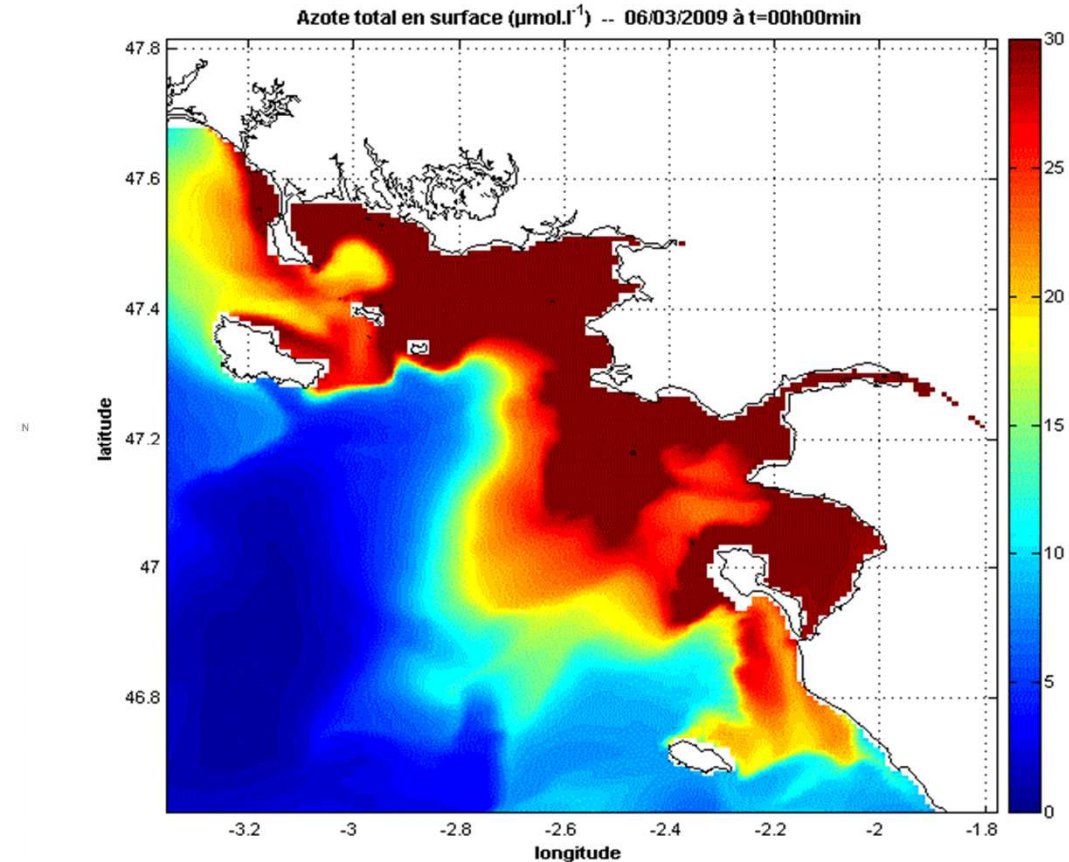
SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement de l'Eau
CLE : Commission locale de l'Eau



Surfaces couvertes par les ulves mesurées lors des 3 inventaires de surveillance de la saison 2008



Surfaces couvertes * par les ulves en 2008





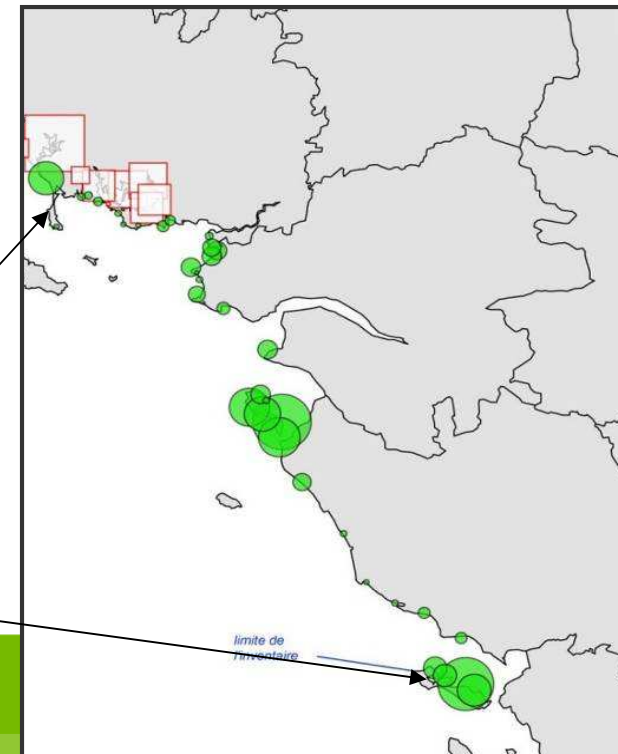


Noirmoutier juillet 2009

Objectifs

1. Elaborer un document de référence sur les marées vertes du littoral atlantique (bibliographie),
2. Affiner la connaissance des phénomènes affectant les sites d'échouages d'algues (estimation flux des rivières, mesures surface des échouages, élaboration de fiches de synthèse par site, ...),
3. Caler et valider le modèle ECO-MARS3D couplé au modèle MARS3D-Ulves
4. Etudier différents scénarii de réduction des flux de nutriments vertes

Zone d'étude : Quiberon – Ré
(hors golfe 56 = vasières)

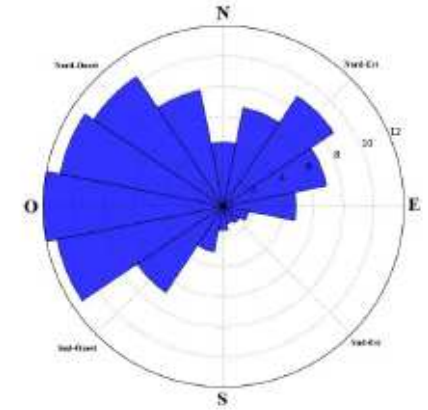
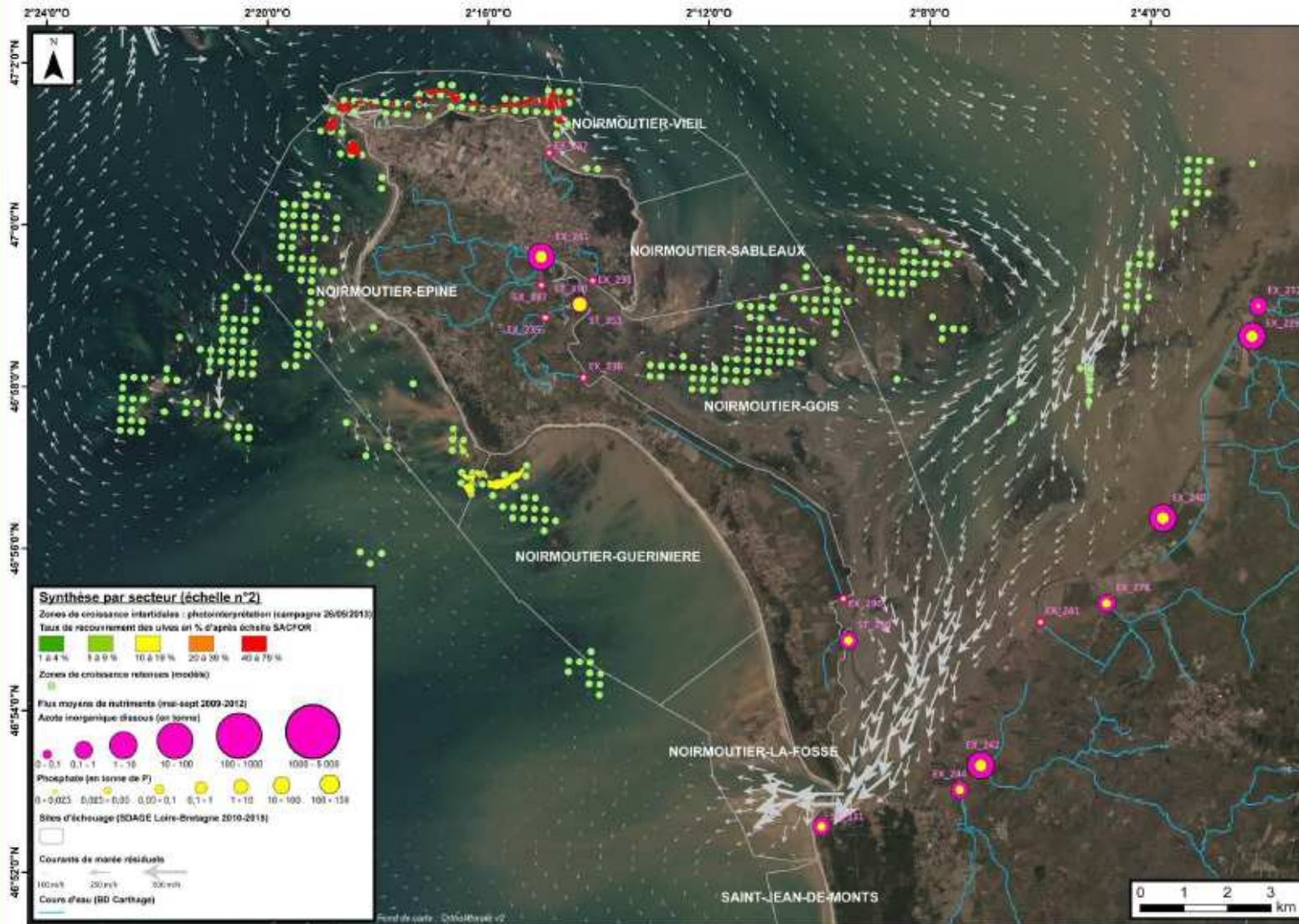


Volet modélisation

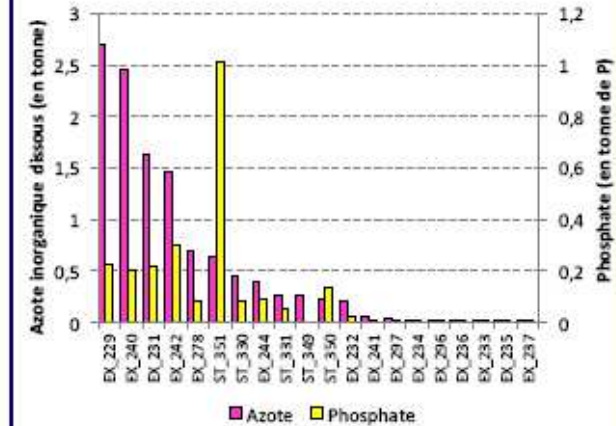
1. Etude au moyen du modèle MARS2D des transferts de biomasse depuis les zones potentielles de croissance vers le haut d'estran
⇒ cerner les zones sensibles aux échouages / évaluer les possibilités de transfert entre sites et recouper avec les observations pour délimiter des sous-ensembles homogènes
2. Calage / Validation sur les années météo-climatiques 2009 et 2012 du modèle ECO-MARS3D couplé au modèle MARS-Ulves
3. Exploitation du modèle (année 2009)
 - Traçage de l'origine de l'azote contenu dans les ulves
 - Scénarii de réduction des flux de nutriments (*définition d'objectifs de qualité*)

Etude au moyen du modèle MARS2D des transferts de biomasse depuis les zones potentielles de croissance vers le haut de plage

Secteur n° 8



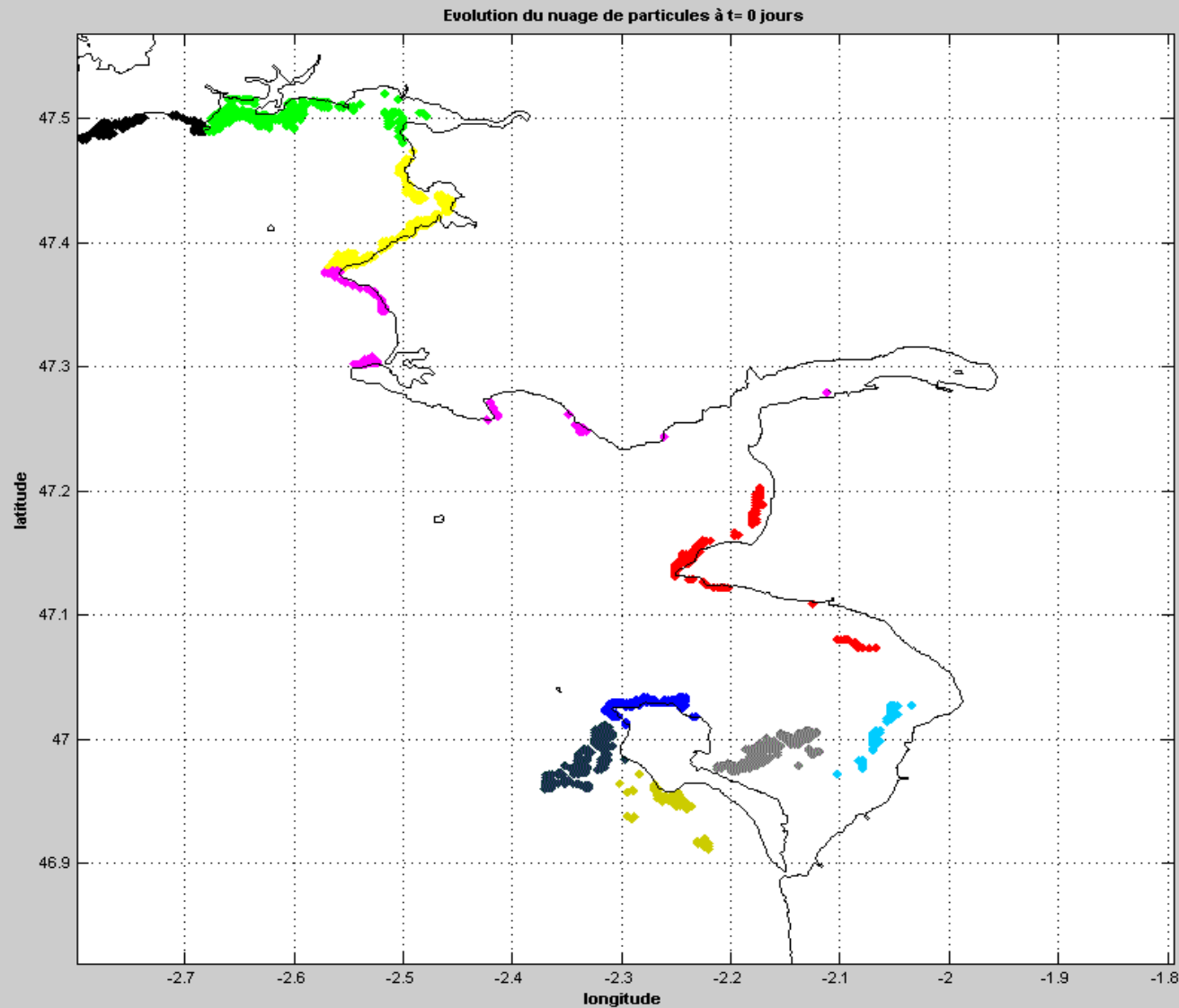
Pourcentage de répartition des vents selon seize secteurs sur la période du 1^{er} mai au 30 septembre 2009 à 2012 (Point de référence : Barbâtre).



Flux d'azote inorganique dissous et de phosphate apportés par les différents exutoires visibles sur la carte ci-contre (classement décroissant des exutoires selon le flux d'azote).

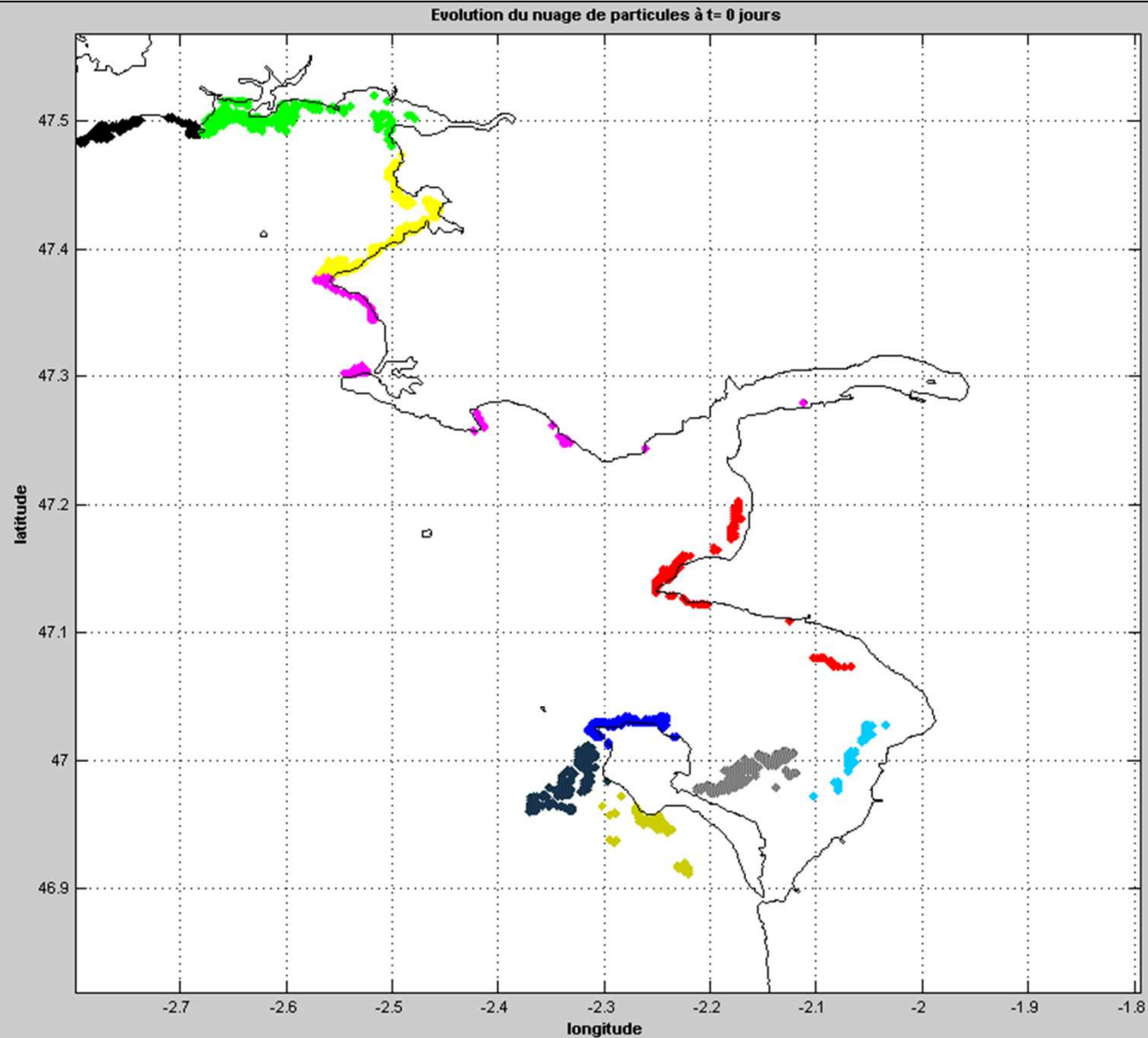
Etude au moyen du modèle MARS2D des transferts de biomasse depuis les zones potentielles de croissance vers le haut de plage

Evolution du nuage de particules ulves sur 10 jours par vent nul en moyenne vive eaux
(coefficient de marée 80 constant – 1 sortie toutes les 2 h)



Etude au moyen du modèle MARS2D des transferts de biomasse depuis les zones potentielles de croissance vers le haut de plage

Evolution du nuage de particules ulves sur 10 jours par vent nul en moyenne vive eaux
(coefficient de marée 80 constant – 1 sortie toutes les 2 h)



Volet modélisation

1. Etude au moyen du modèle MARS2D des transferts de biomasse depuis les zones potentielles de croissance vers le haut d'estran
⇒ *cerner les zones sensibles aux échouages et recouper avec les observations pour délimiter des sous-ensemble homogènes*

2. Calage / Validation sur les années météo-climatiques 2009 et 2012 du modèle ECO-MARS3D couplé au modèle MARS-Ulves

3. Exploitation du modèle (année 2009)
 - Traçage de l'origine de l'azote contenu dans les ulves
 - Scénarii de réduction des flux de nutriments (*définition d'objectifs de qualité*)

Présentation succincte du modèle ECO-MARS3D

Schéma conceptuel du modèle ECO-MARS3D (Huret et al, 2009)

Modèle physique
MARS3D



Advection/dispersion

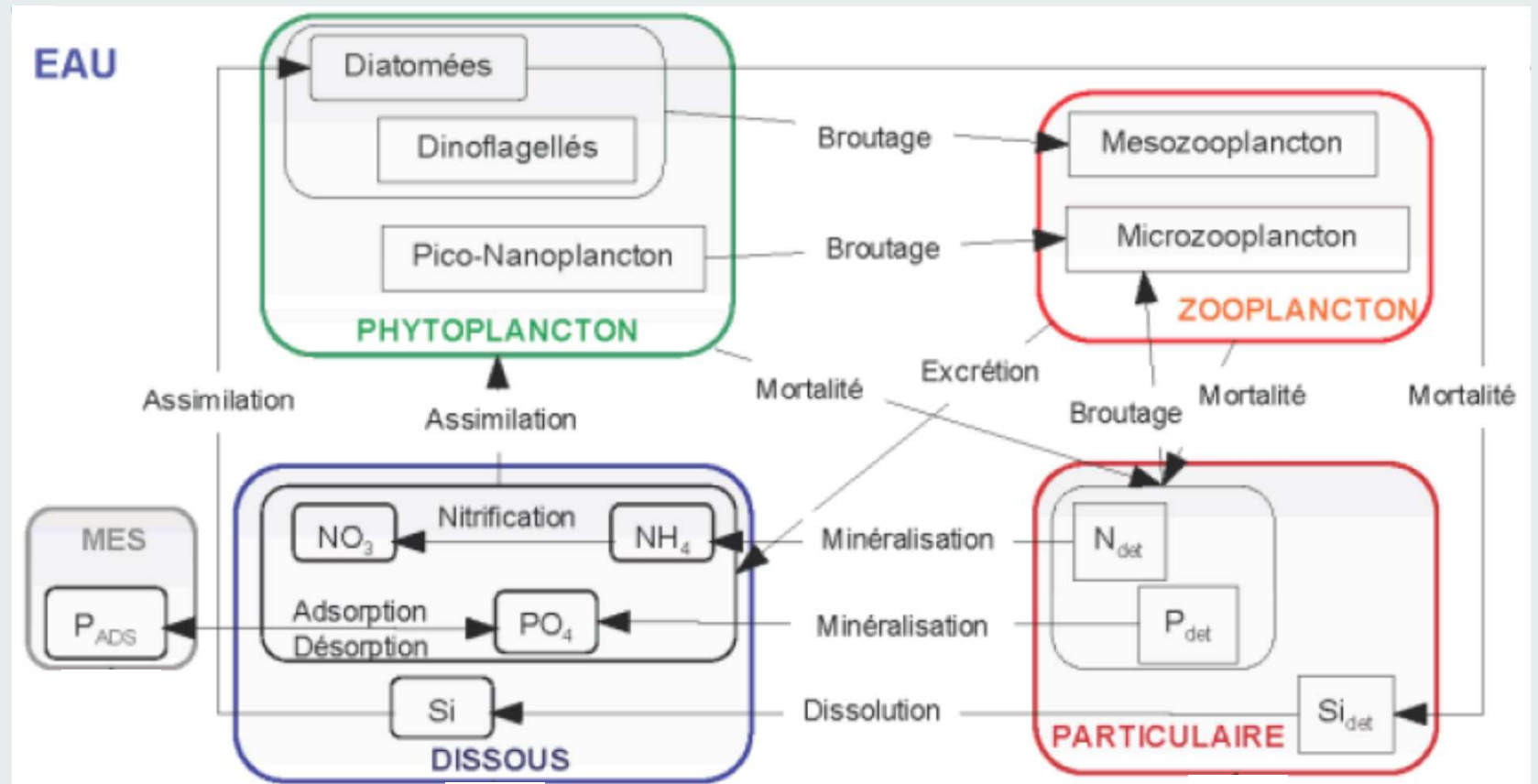
$[NO_3, NH_4, PO_4, Si(OH)_4, N_{org}, P_{part}, MES]$

Flux de chaleur

Marée

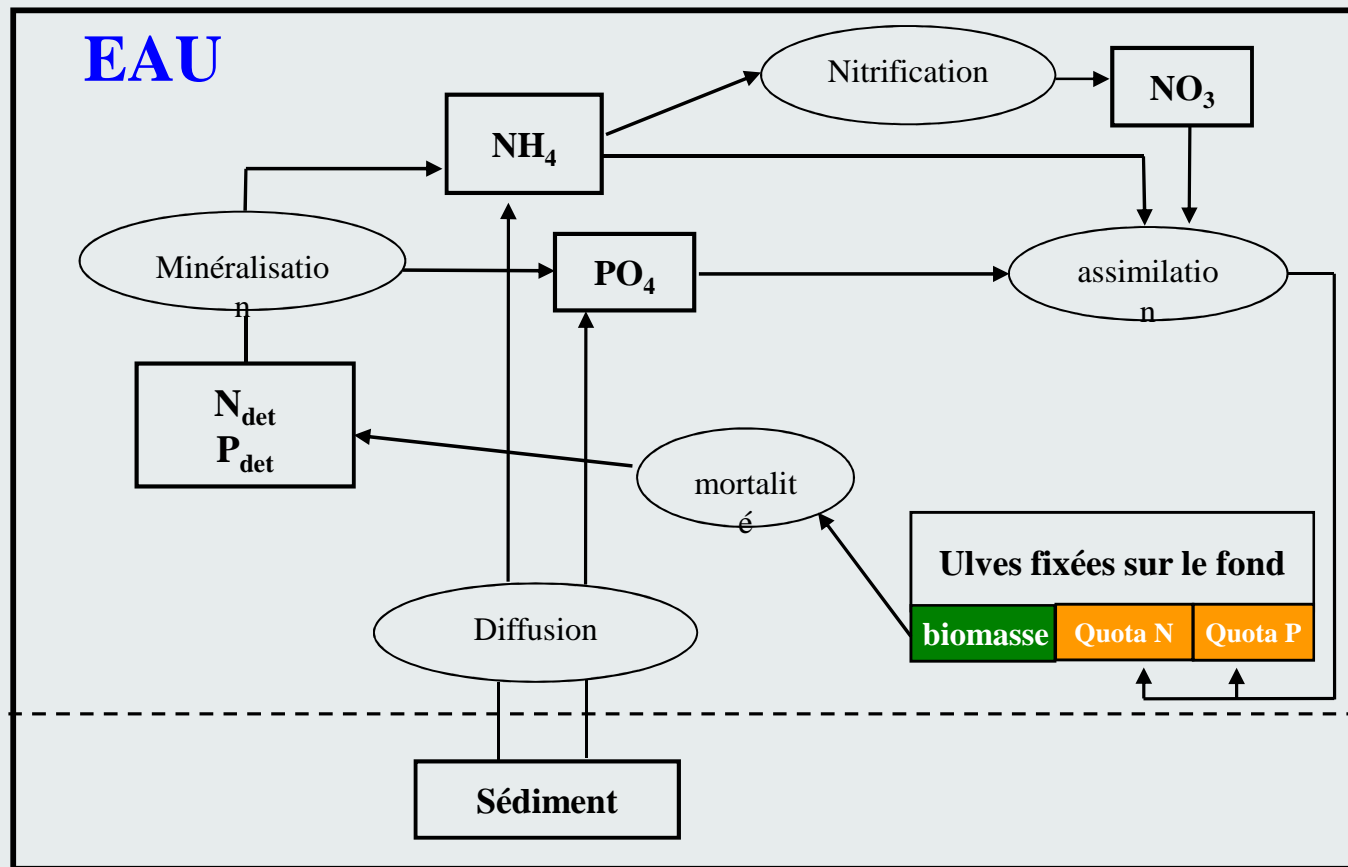
Courants

Modèle biochimique
(type "NPZD")



Présentation succincte du modèle ECO-MARS3D

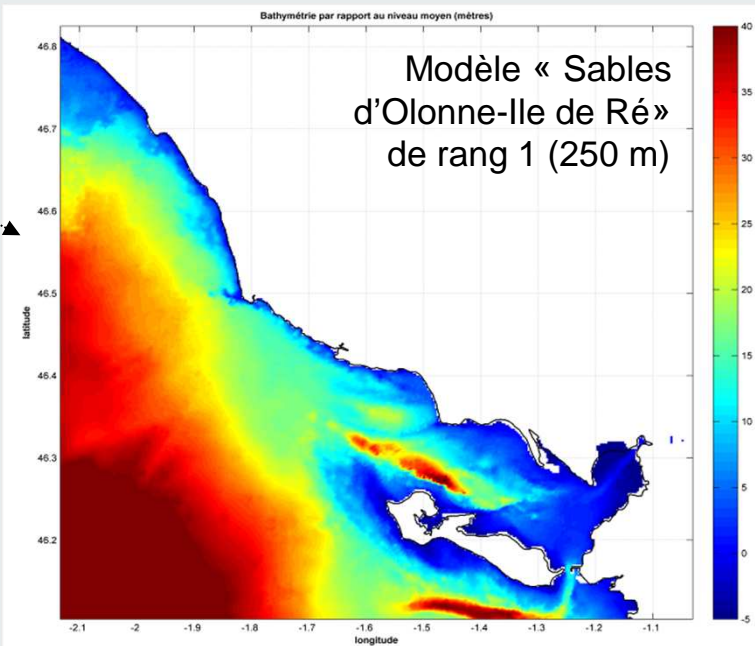
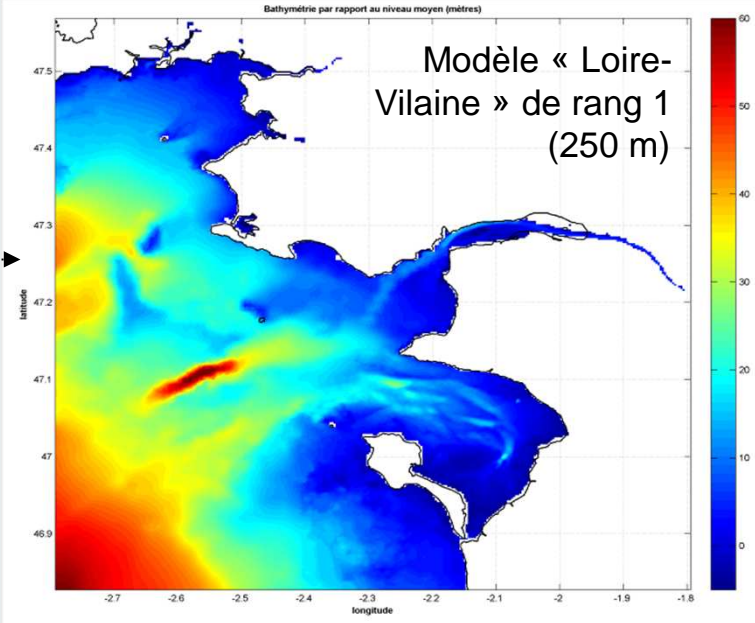
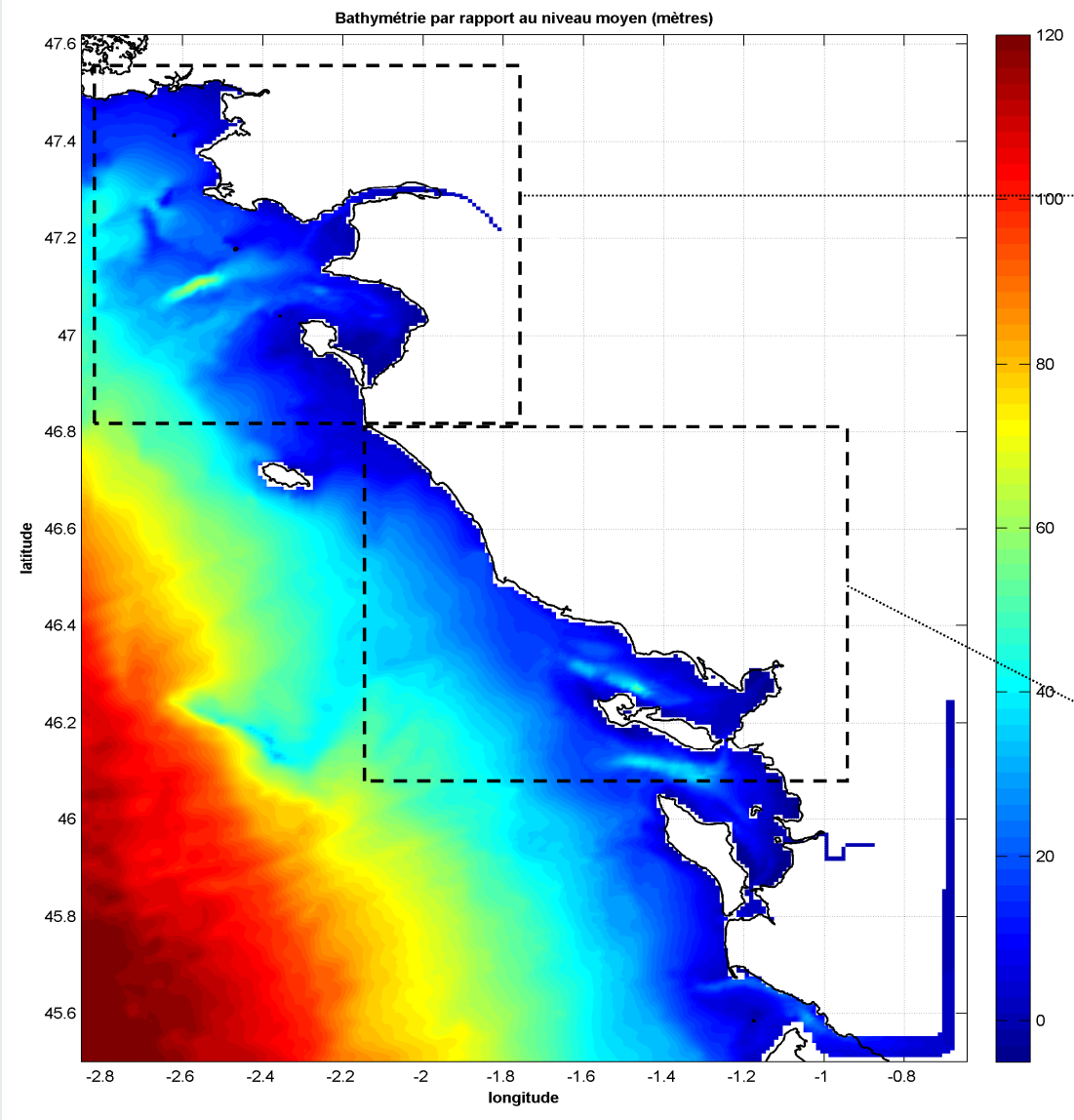
Schéma conceptuel du modèle MARS3D-Ulves (Perrot et al, 2014)



Emprises et bathymétries des modèles



Modèle général rang 0 (800 m)



Données de forçage

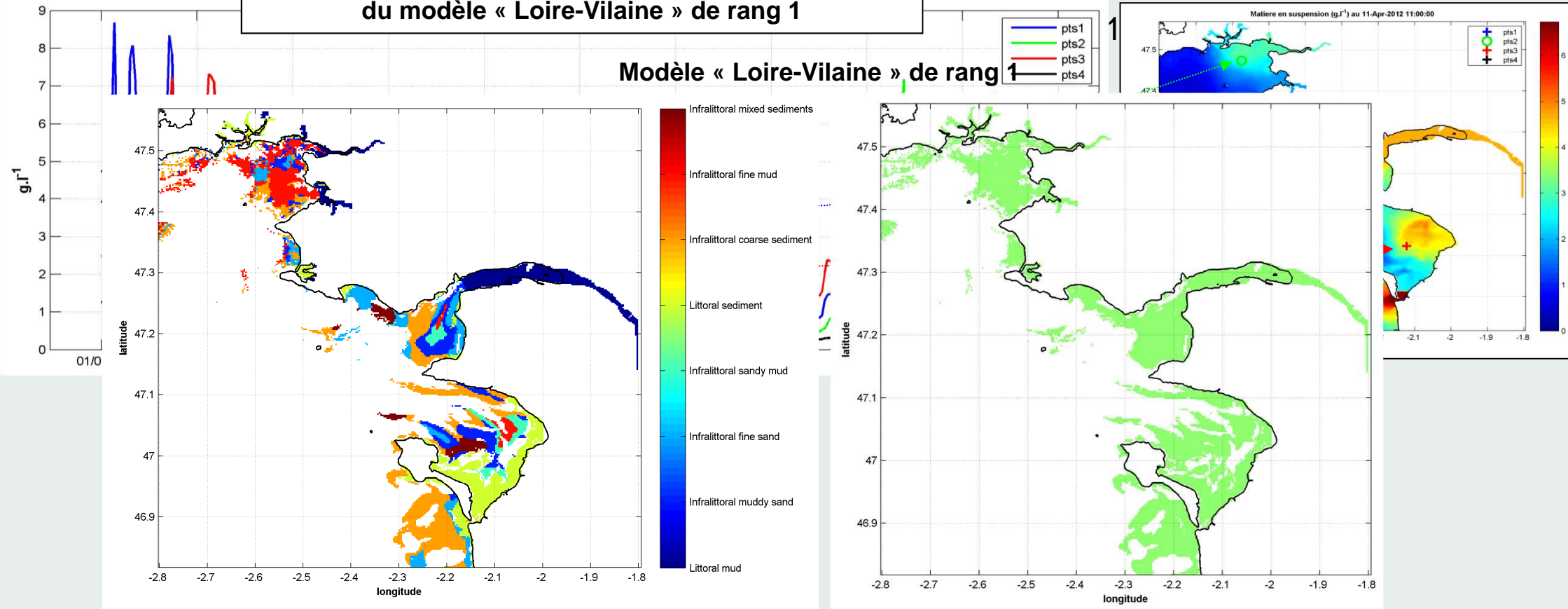
- **M.E.S** : données satellites MERIS et MODIS traitées par Dyneco/Pelagos (donnée krigée ± 5 jours). Constitution pour l'année simulée d'une donnée journalière en MES pour les modèles rangs 0 et 1

Flux sédimentaire

Evolution sur 2012 de la M.E.S satellitale en 4 pts fixes du modèle « Loire-Vilaine » de rang 1

habitats marins pour produire un

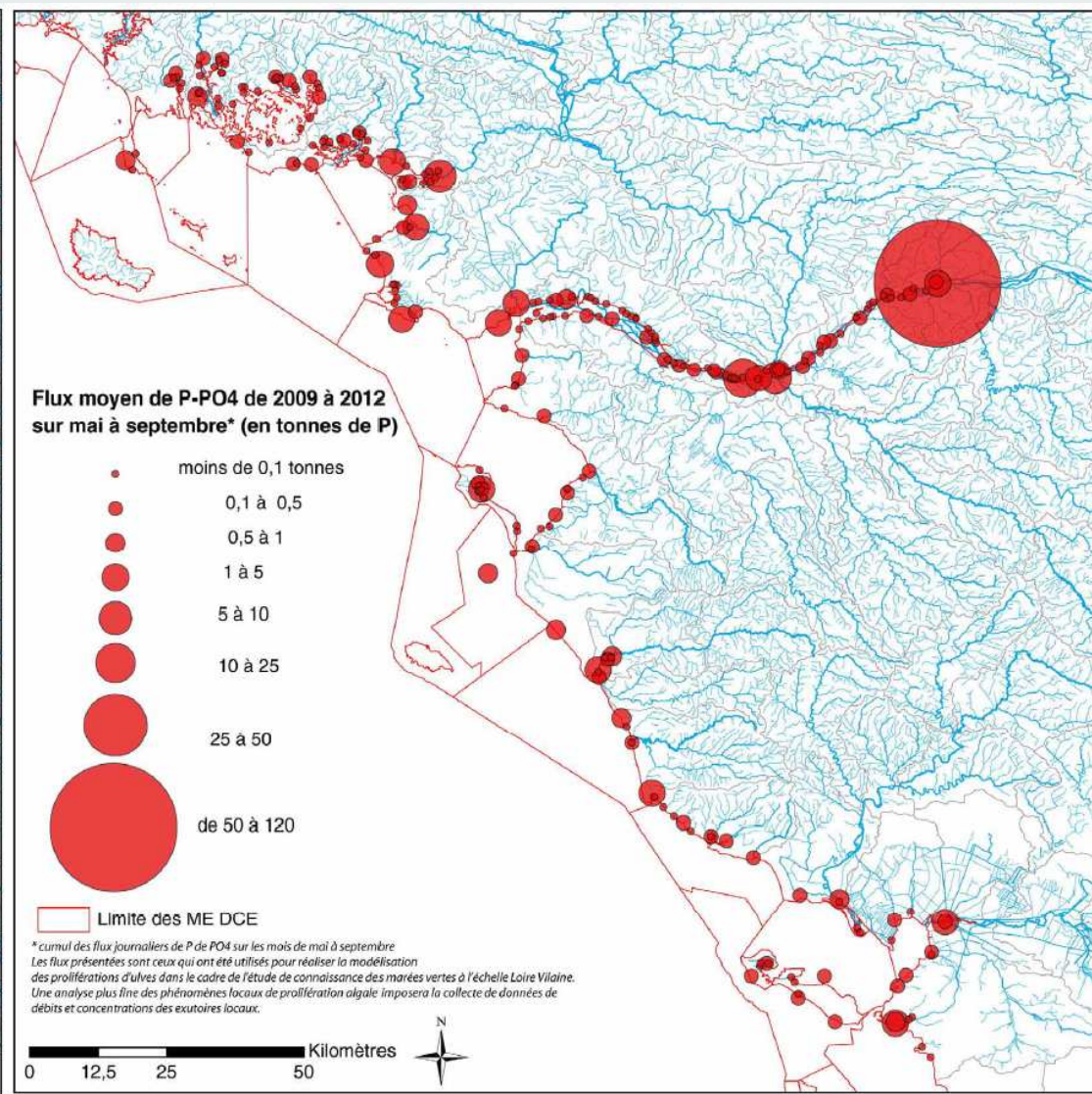
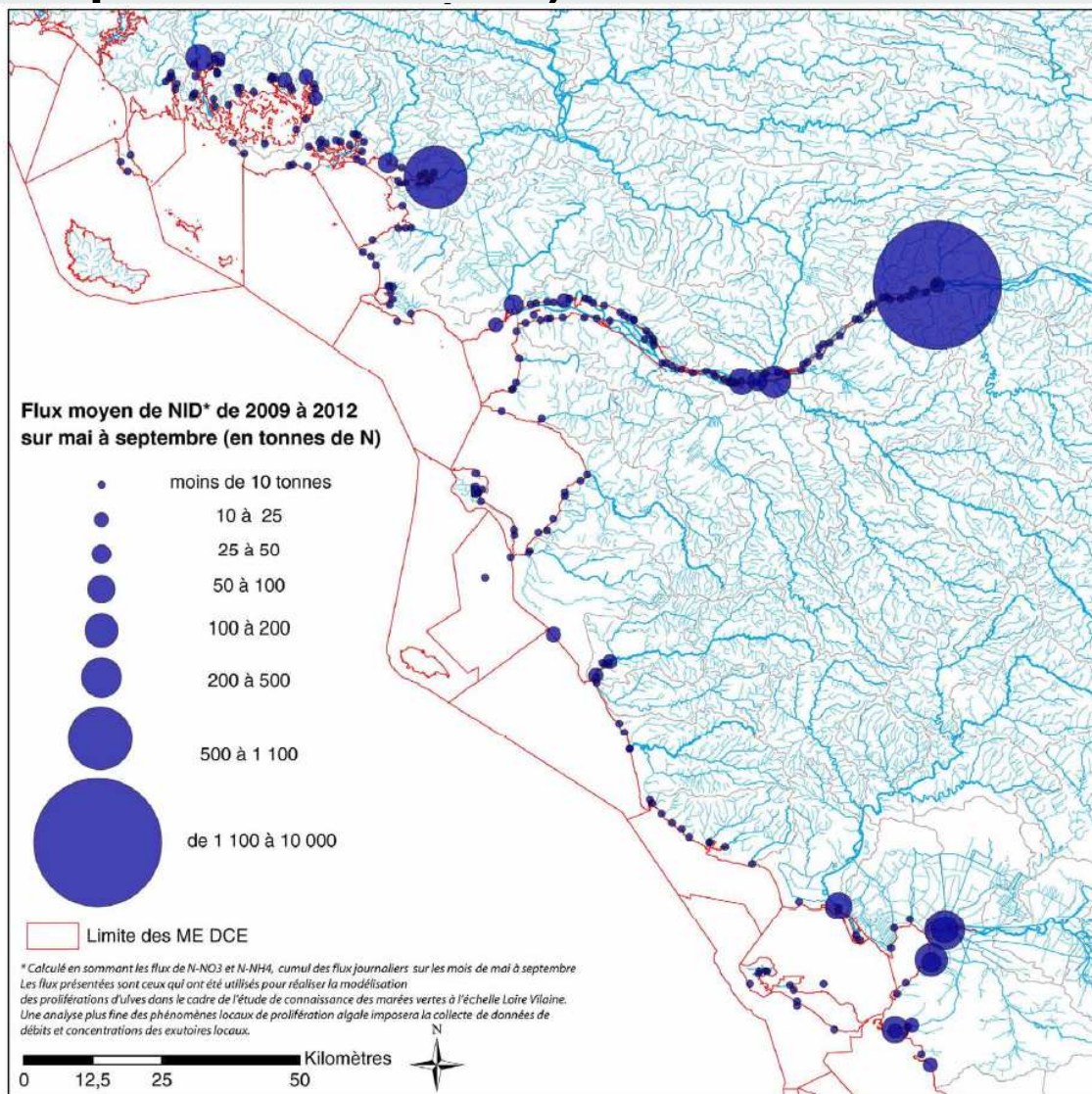
Modèle « Loire-Vilaine » de rang 1



- Flux NO_3 ($\mu\text{mol.m}^{-1}.\text{h}^{-1}$) = 219 de début janvier à fin juillet
- Flux NH_4 ($\mu\text{mol.m}^{-1}.\text{h}^{-1}$) = 975 de début août à fin septembre
- Flux PO_4 ($\mu\text{mol.m}^{-1}.\text{h}^{-1}$) = $-146,01 [\text{PO}_4] + 76,433$

Données de forçage (sous-traitance HOCER)

- Données de flux aux exutoires : débit, NO_3 , NH_4 , PO_4 , Si, N_{org} , P_{part} , MES (+ PO_4 ads pour les estuaires)



- ✓ **Modèle de rang 0** : 48 exutoires retenues (seuil sur le débit moyen 2008 à 2012 $> 9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Charente + Gironde : utilisation des séries Ifremer déduites des travaux de JF. Guillaud (2008)
- ✓ **Modèle de rang 1 « Loire-Vilaine »** : 156 exutoires (* 7 substances en moyenne dans outflow.dat). Nb STEPs : 54
- **Limites marines du rang 0** : extraction des données d'archives du modèle Previmer (ancienne version d'ECO-MARS3D) pour l'année 2009 et 2012
 - T,S correctement simulés mais surestimation assez nette en proche littoral des teneurs en N & P,
 - Calage/validation : utilisation pour les sels nut. d'une climatologie basée sur les données mesurées du réseau SOMLIT à la bouée Astan (moyenne 2000-2011),
 - Scenarii de réduction de flux de nutriments : utilisation pour les sels nut. des données extraites des cartographies Sourisseau (2011) au point fixe (3.5° W , 45.24° N).

Méthodologie :

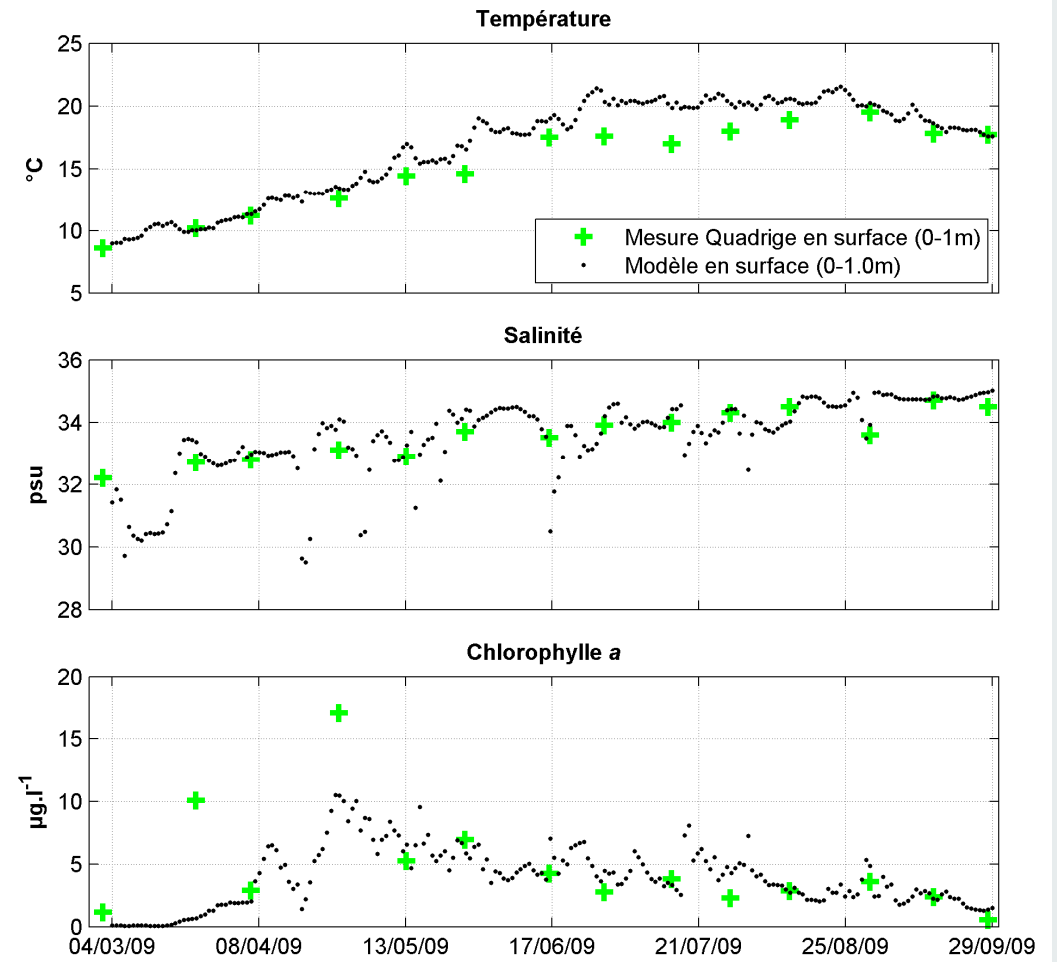
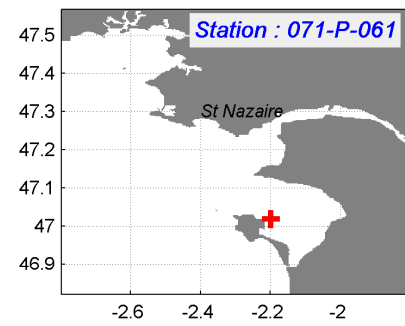
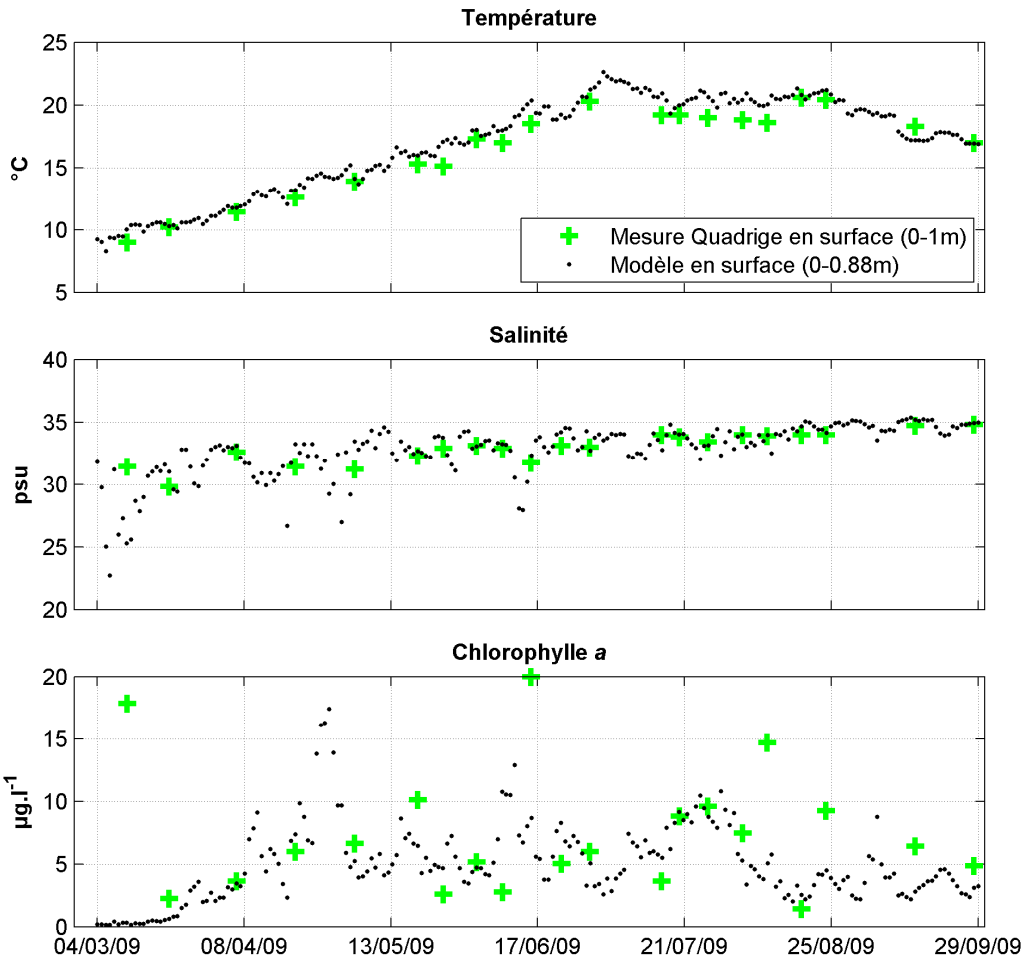
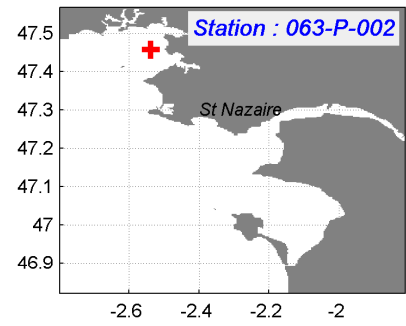
- **Température, Salinité** : diagramme de Taylor (coeff. corrélation, RMSE, biais).
 - Données de mesures : Quadrige (13 stations), MOLIT Vilaine (CDOCO), GIP Loire-Estuaire, DDTM 44&56 (2009 et 2012)

- **Chlorophylle a, M.E.S** : scatterplot de la moyenne mai-septembre
 - Données de mesures : satellites MERIS et MODIS de Dyneco/Pelagos (2009 et 2012)

- **NO₃, NH₄, PO₄, SI(OH)₄** : pas d'évaluation statistique (mesures insuffisantes) et comparaison visuelle
 - Données de mesures : Quadrige, MOLIT Vilaine, DDTM 44&56 (2009 et 2012)

- **Quotas en azote et phosphore des ulves** : comparaison visuelle
 - Campagnes de mesures Ceva sur 10 sites (2012)

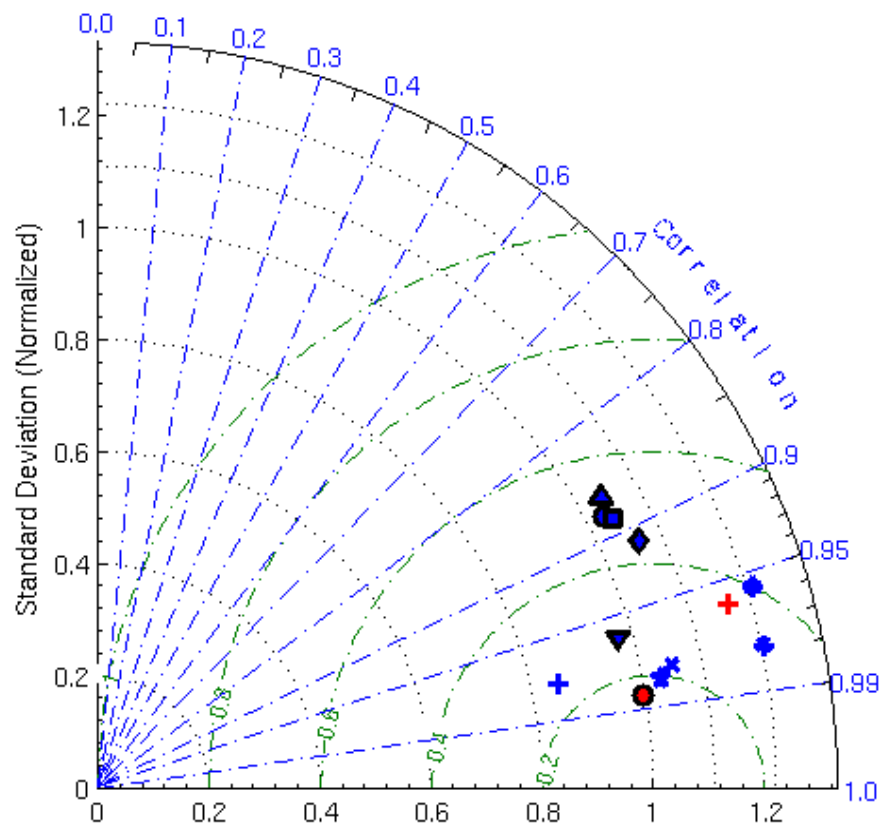
Validation données Quadrigé (année 2009)



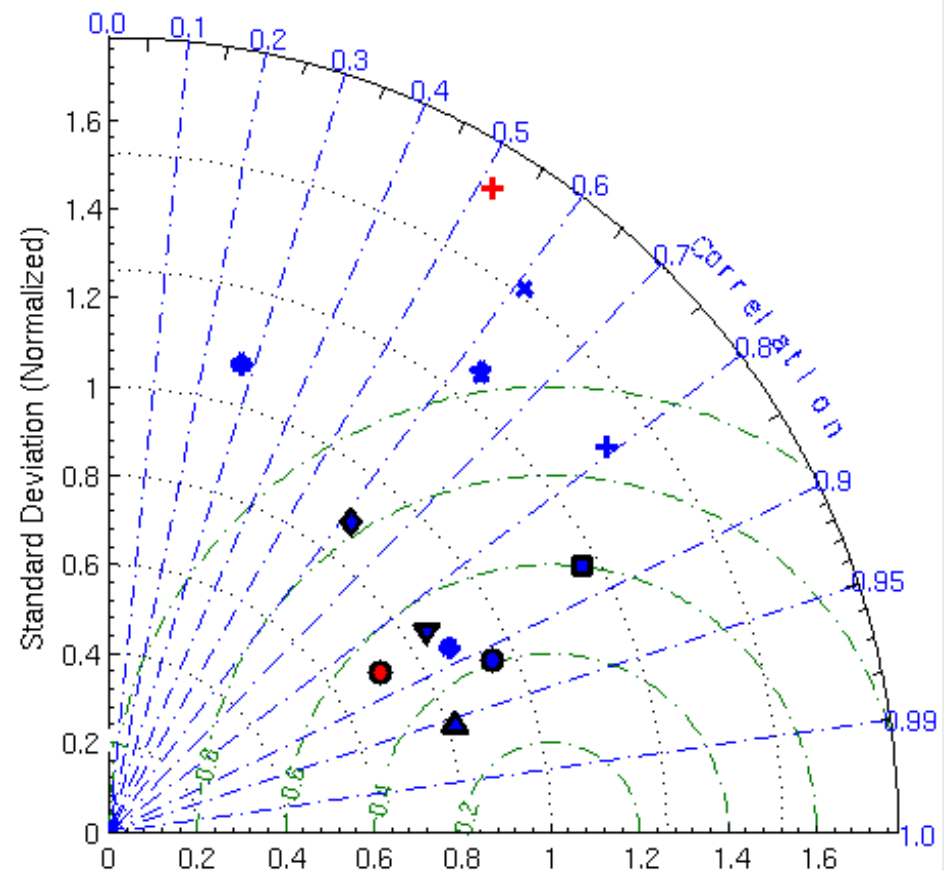
Validation données Quadrigé (année 2009)

- **Température (surface)** : $R \approx 0.94$, $RMSE < 0.5$, Biais : 27 % de l'écart type des mesures soit $0.5^\circ C$
- **Salinité de (surface)** : $R \approx 0.64$, $RMSE > 0.4$, Biais : 33 % de l'écart type des mesures soit 0.4 PSU

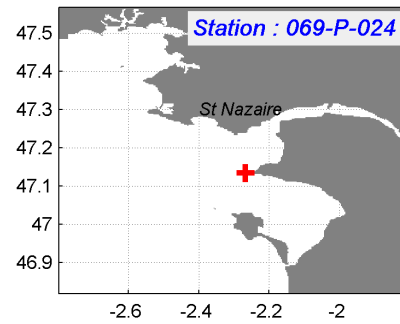
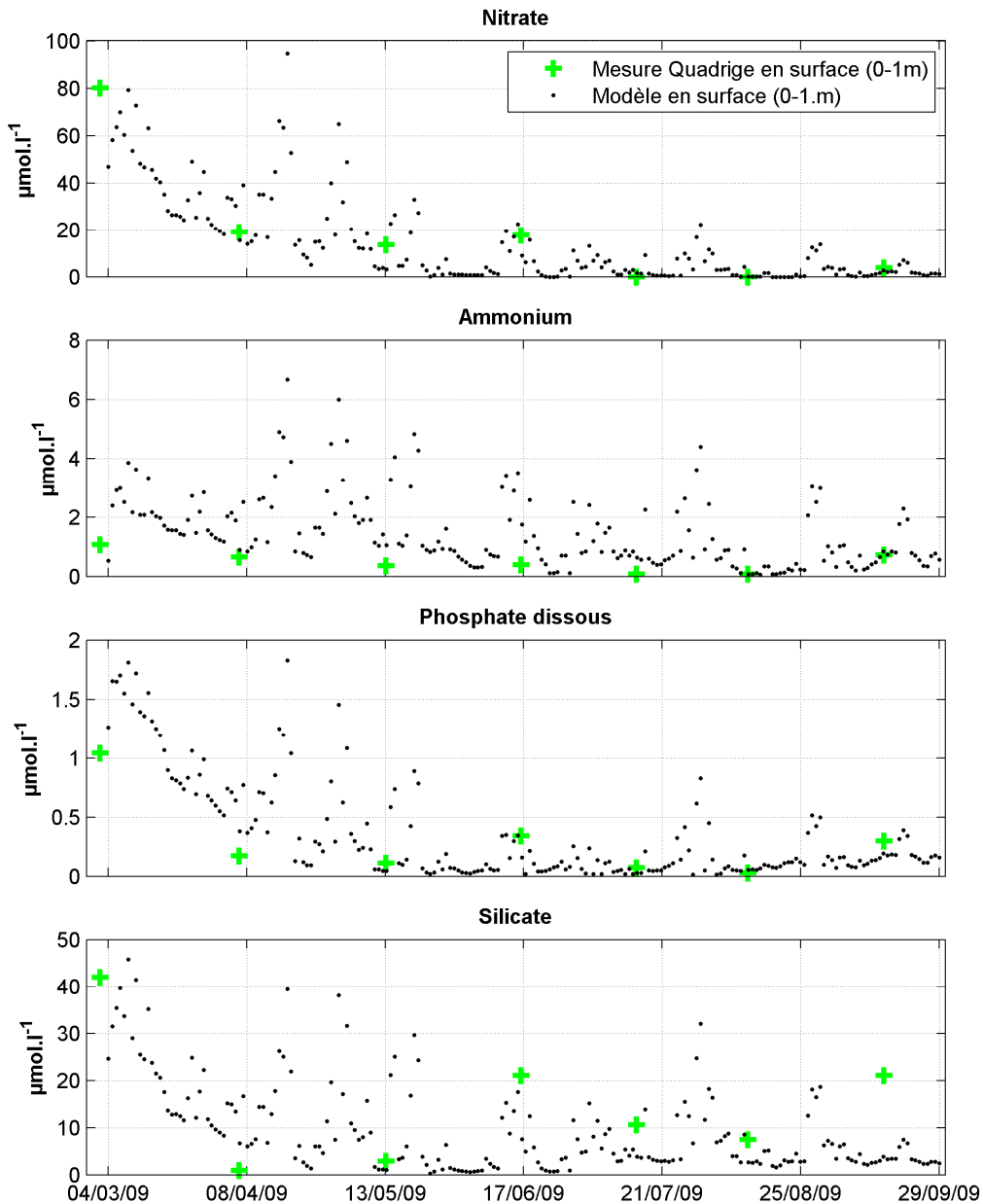
Température de surface



Salinité de surface



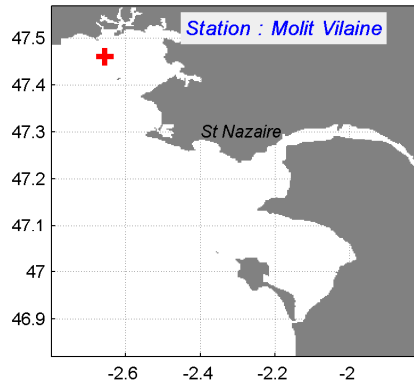
Validation : données Quadrigé (année 2009)



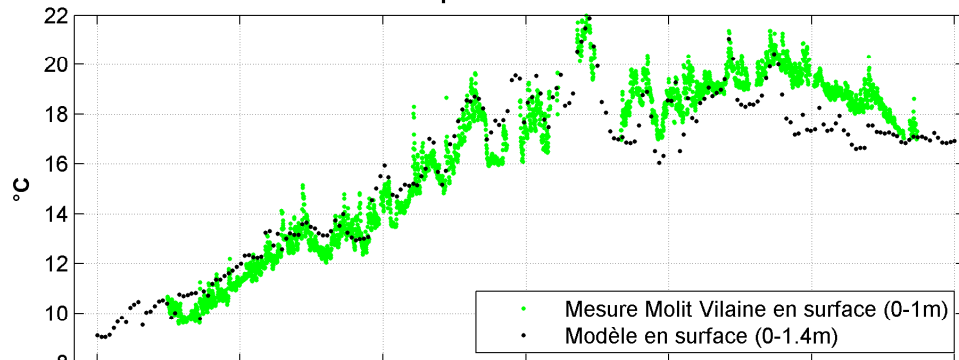
➤ QUADRIGE :

- **Sels nutritifs :** 3 stations seulement (Pointe St Gildas, Nord Dumet et ouest Loscolo)
- ✓ NO_3 , $\text{Si}(\text{OH})_4$: bonne reproduction saisonnière
- ✓ PO_4 : surestimation sur mars sinon ordre de grandeur respecté
- ✓ NH_4 : surestimation globale du modèle. Consommation par le phyto d'eau douce ?

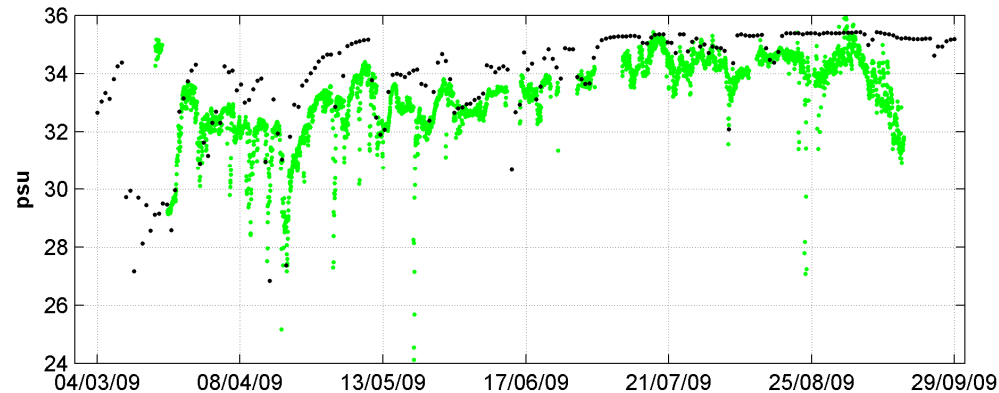
Validation : données MOLIT (année 2009)



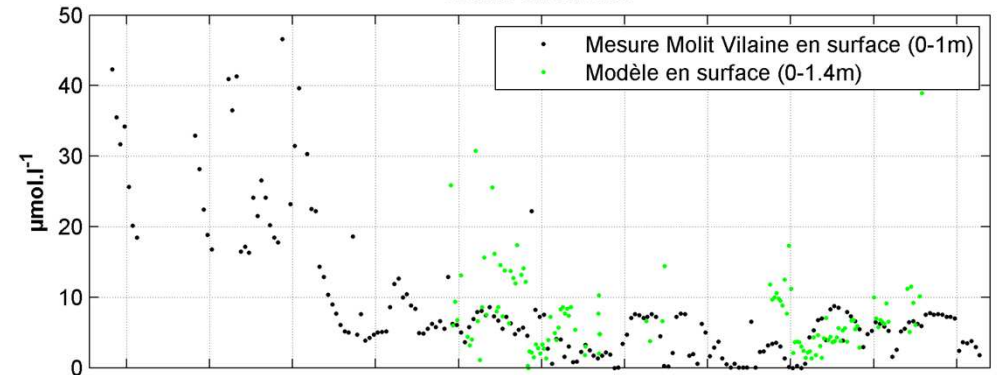
Température en surface



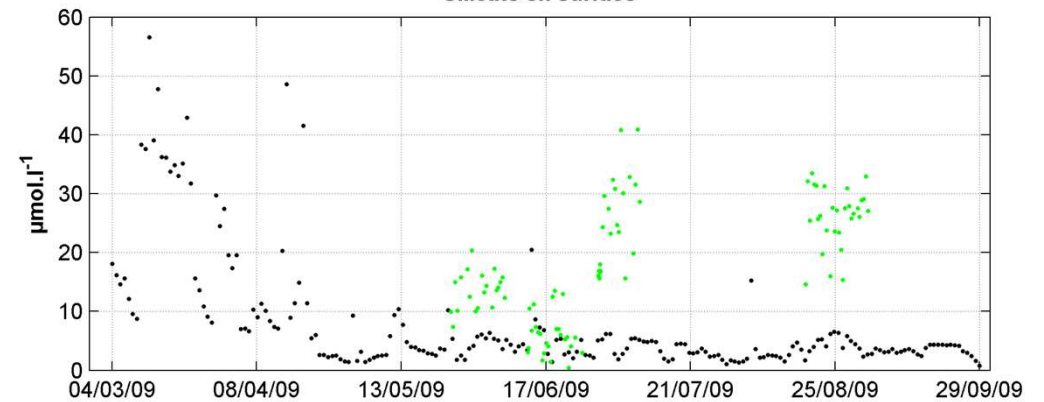
Salinité en surface



Nitrate en surface



Silicate en surface

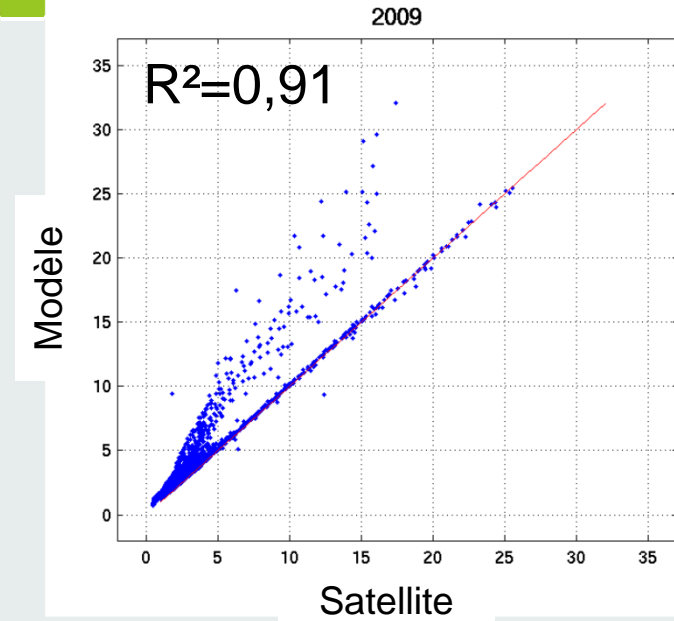
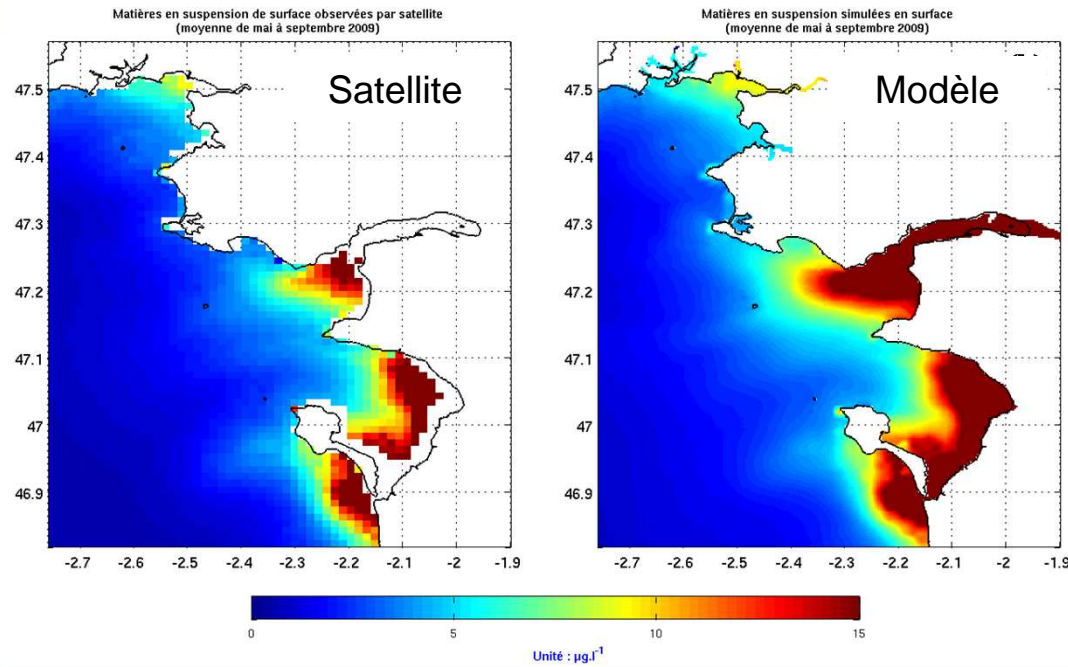


- **Température** : $R \approx 0.97$, $RMSE < 0.25$, Biais : 0.12 °C
- **Salinité** : $R \approx 0.67$, $RMSE > 1$, Biais : 0.7 PSU
- **Couche de fond** : résultats proches

Validation : données satellites (année 2009)

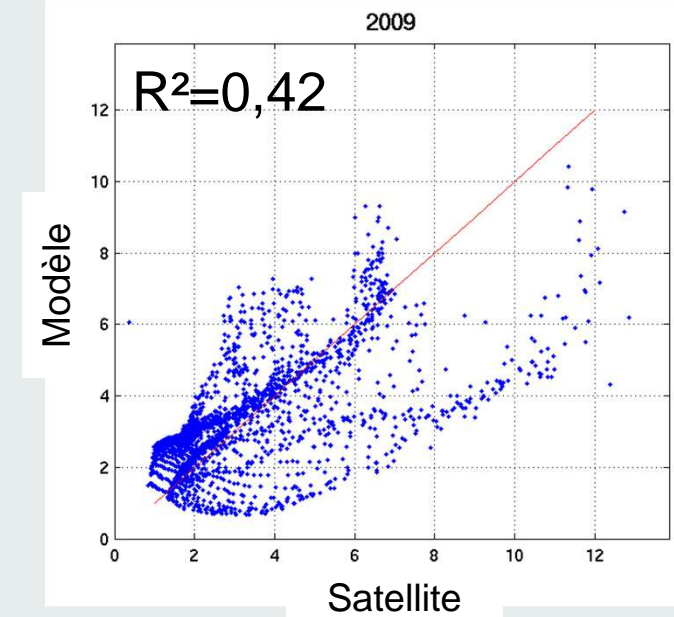
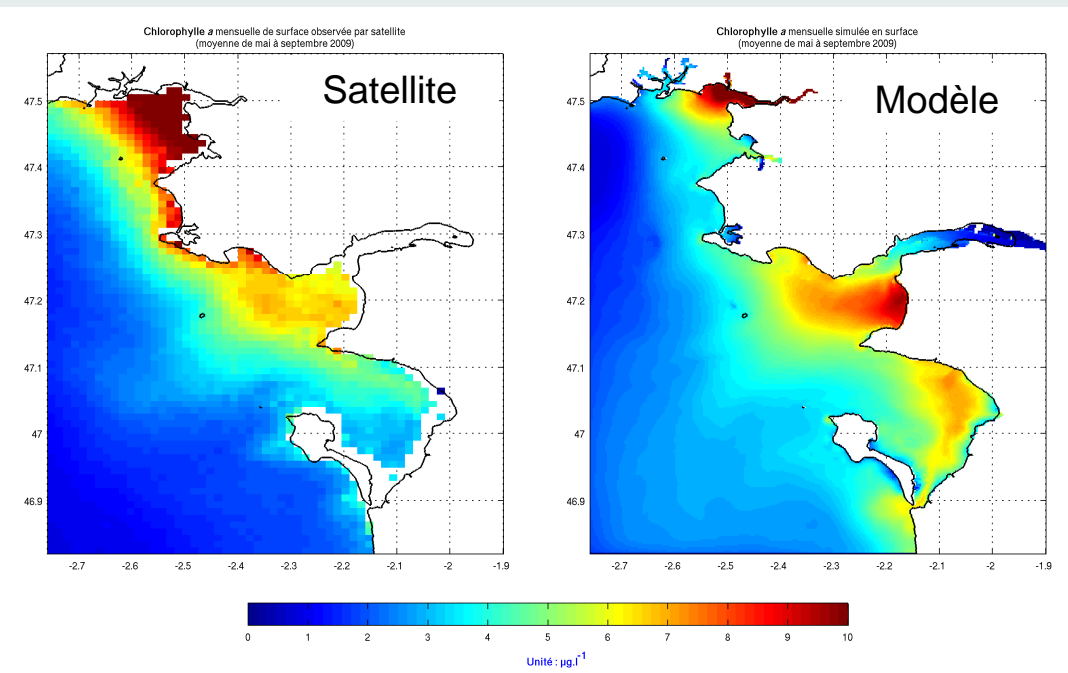
MES

(moyenne mai-sept)

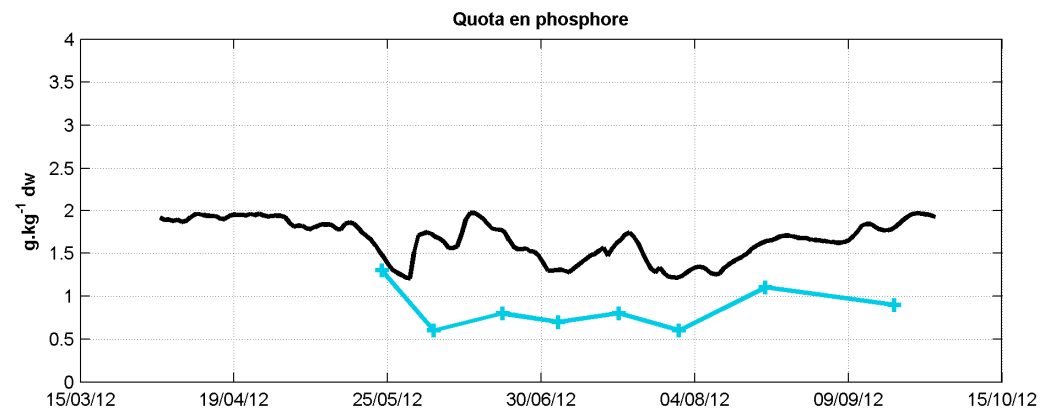
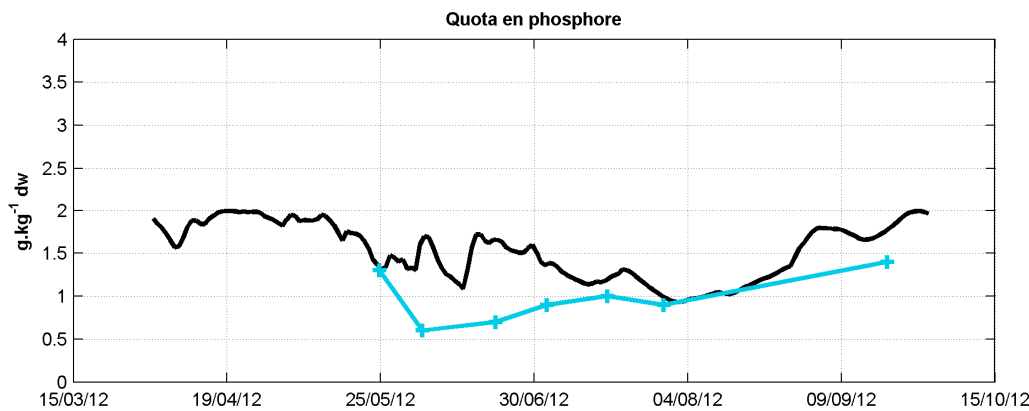
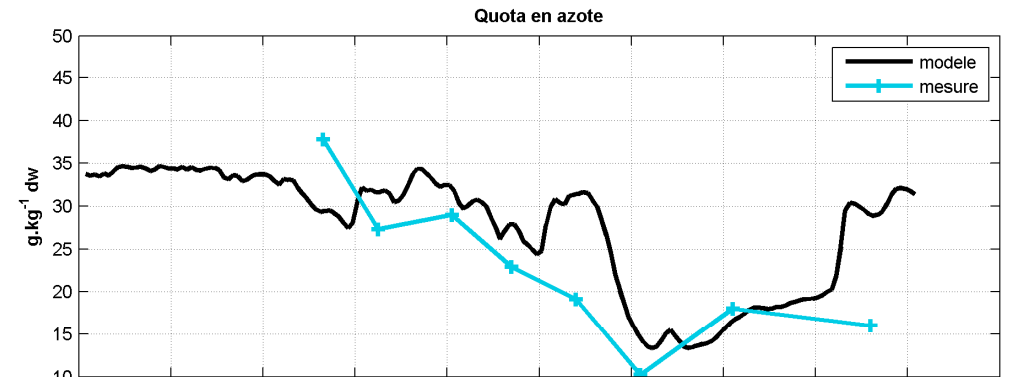
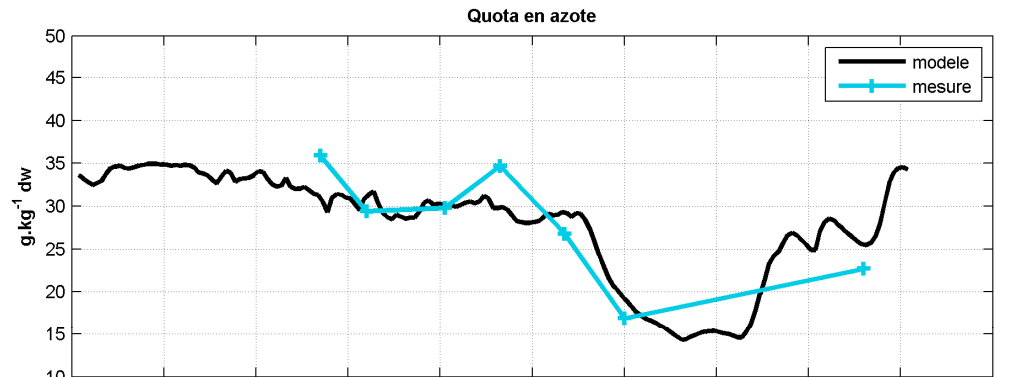
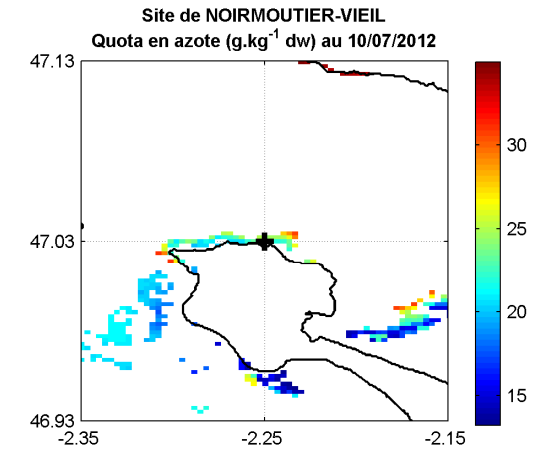
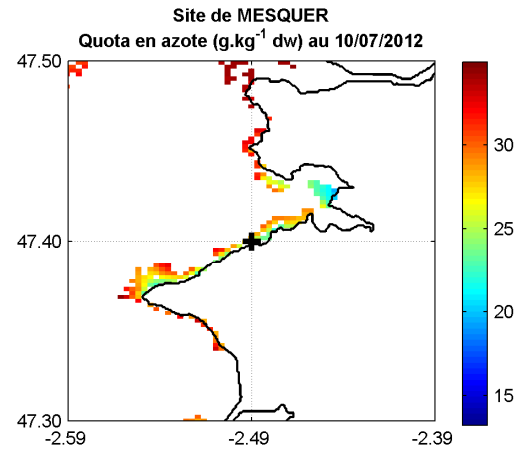


Chlorophylle a

(moyenne mai-sept)



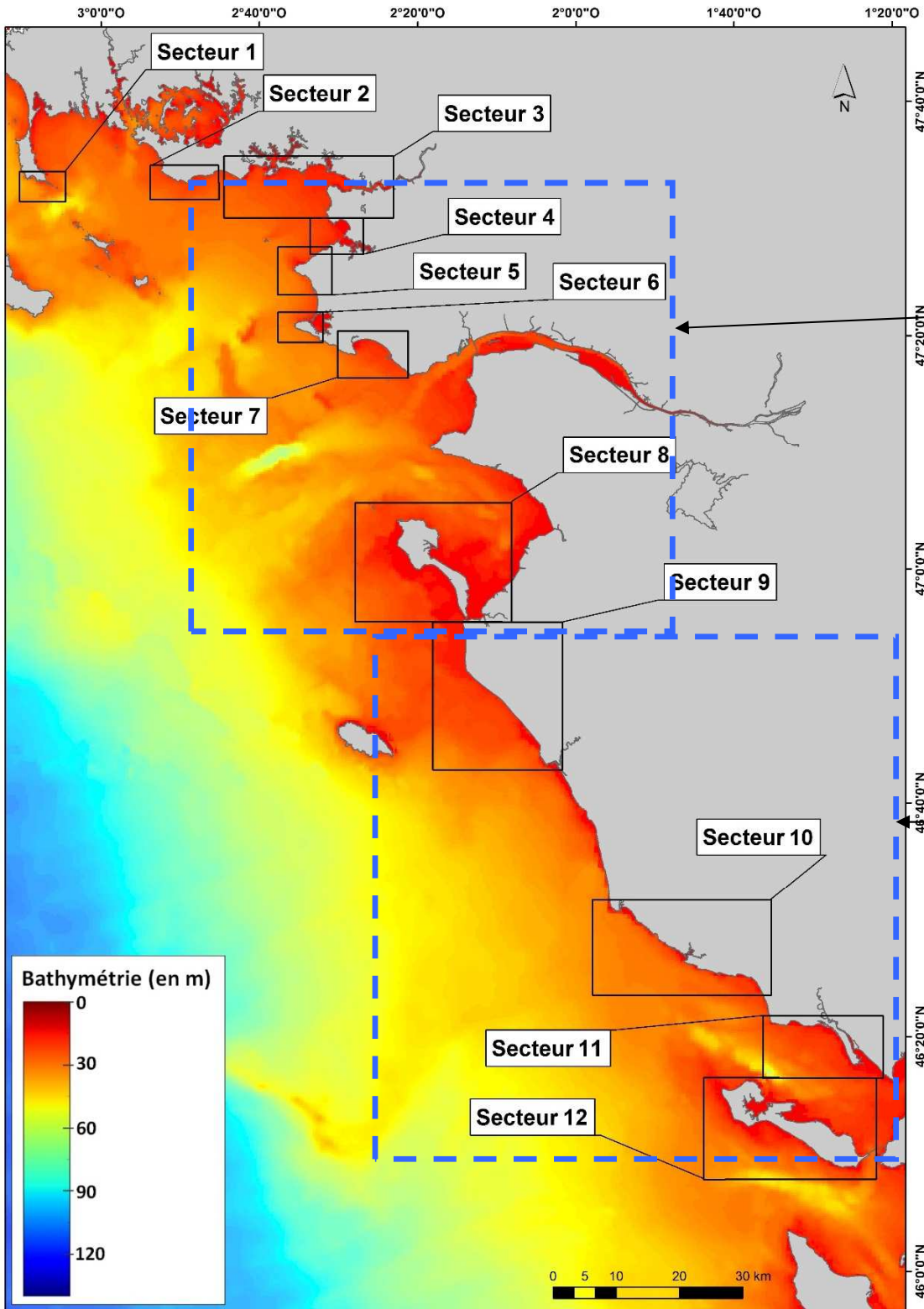
Validation 2012 : mesures Ceva sur les quotas en azote et phosphore des ulves





Volet modélisation

1. Etude au moyen du modèle MARS2D des transferts de biomasse depuis les zones potentielles de croissance vers le haut d'estran
⇒ *cerner les zones sensibles aux échouages et recouper avec les observations pour délimiter des sous-ensembles homogènes*
2. Calage / Validation sur les années météo-climatiques 2009 et 2012 du modèle ECO-MARS3D couplé au modèle MARS-Ulves
3. Exploitation du modèle (année 2009)
 - Traçage de l'origine de l'azote contenu dans les ulves (Menesguen, 2006)
 - Scénarii de réduction des flux de nutriments (définition d'objectifs de qualité)

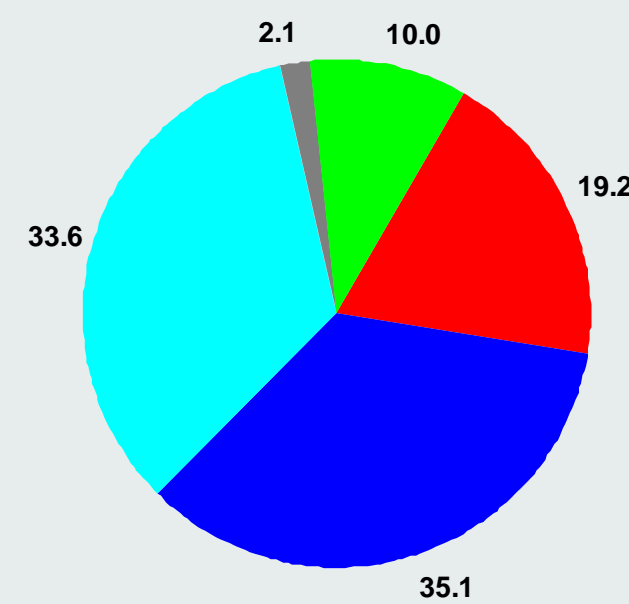
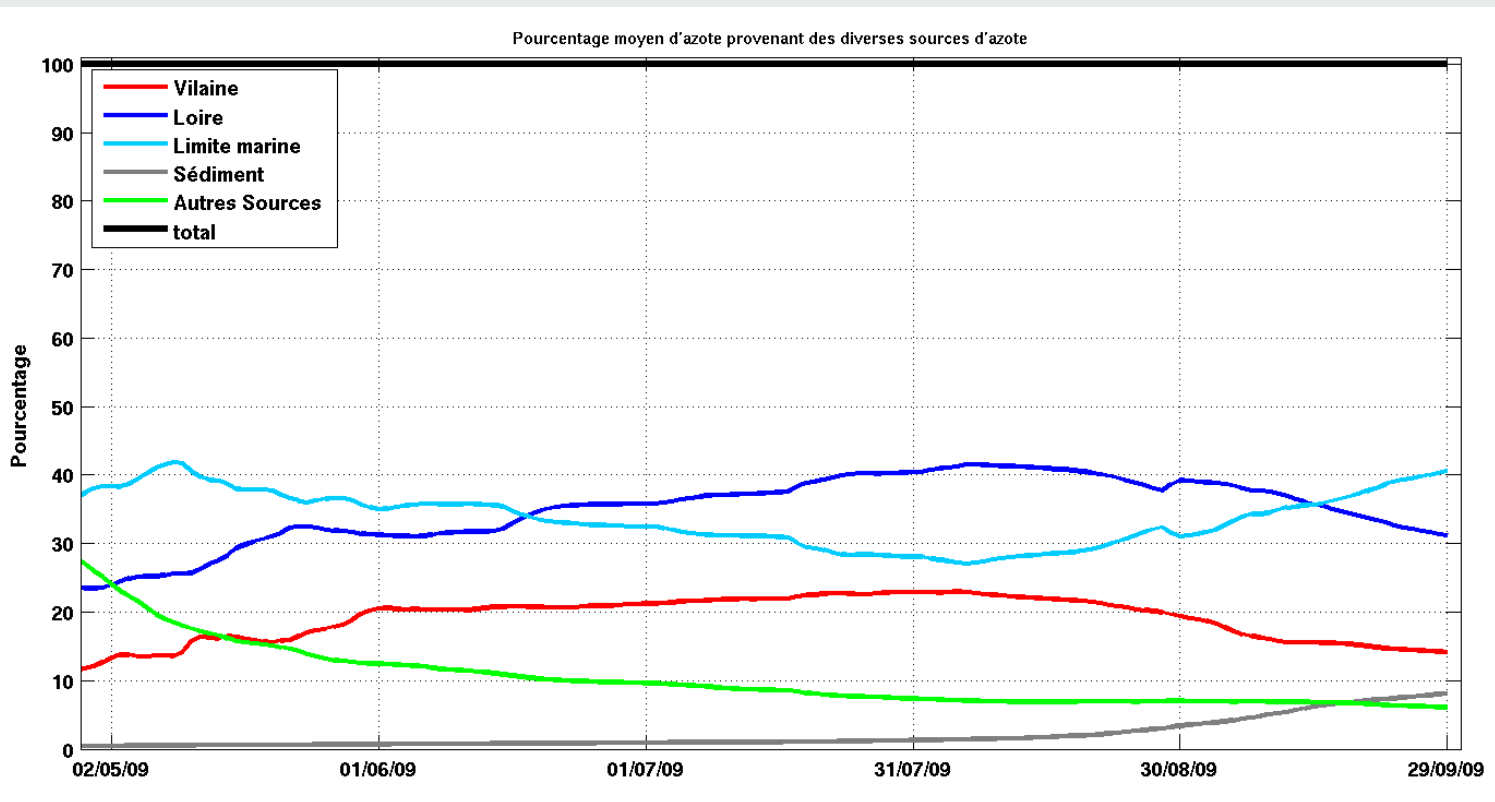


Modèle « Loire-Vilaine »
7 secteurs (de 2 à 8)

Modèle « Sables d'Olonne – Ile de Ré »
4 secteurs (de 9 à 12)

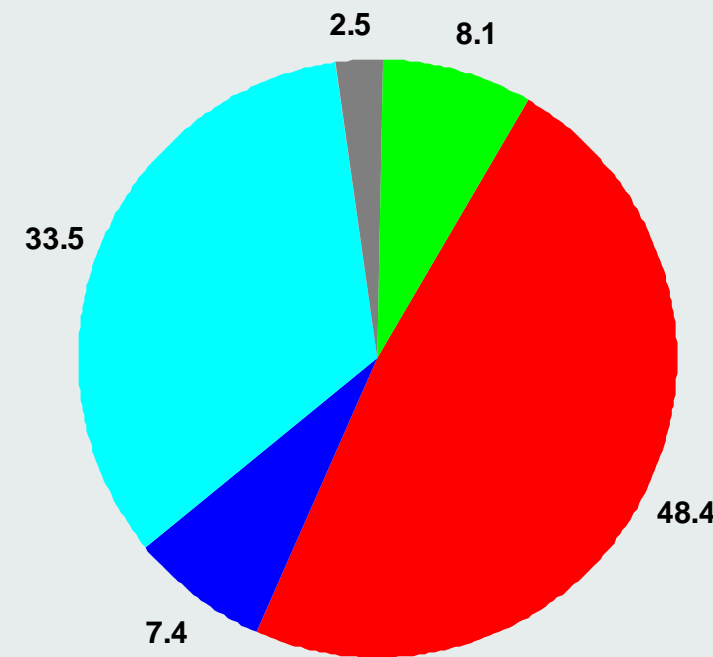
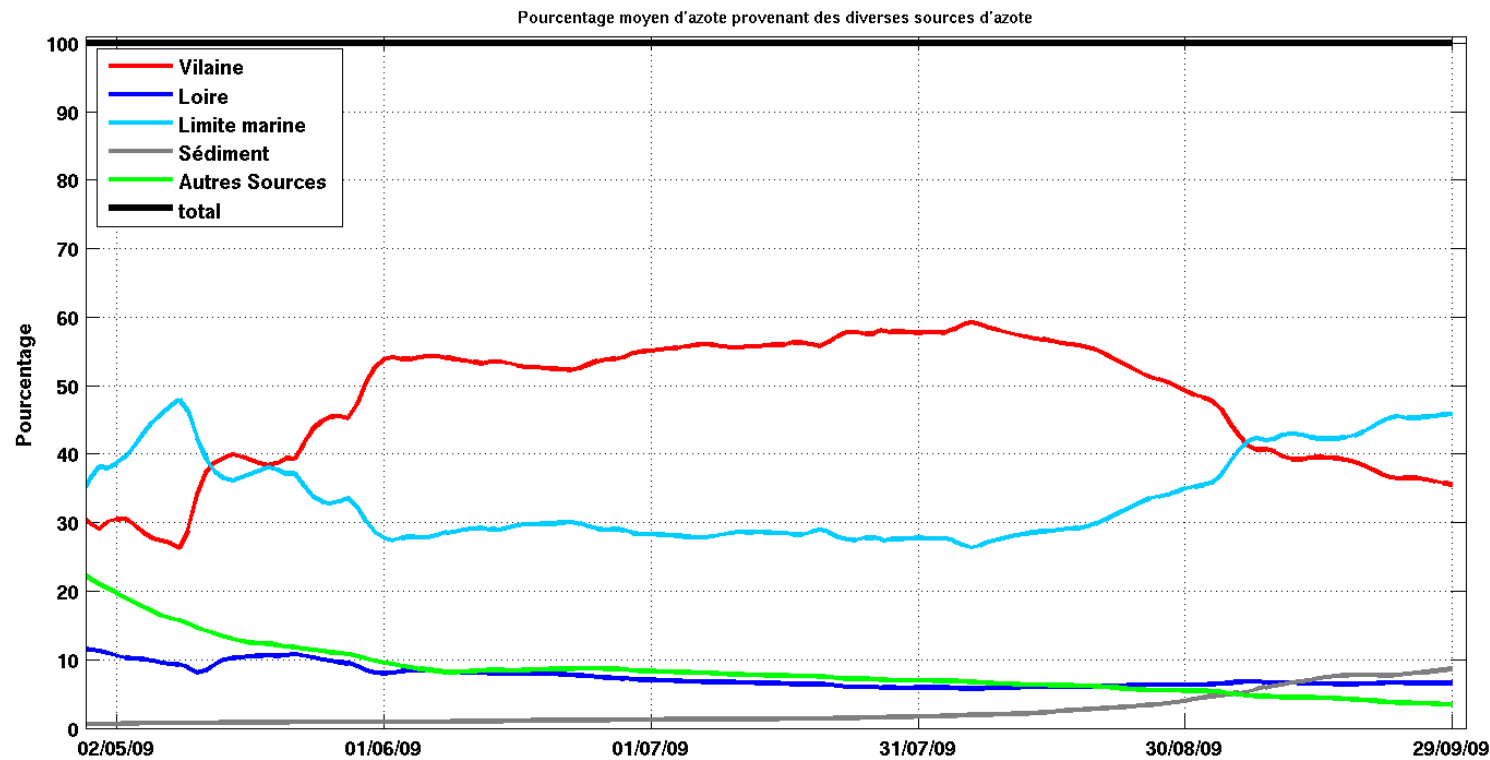
Traçage de l'azote des ulves sur l'année 2009

Evolution moyenne des traceurs à l'échelle du modèle de rang 1 « Loire-Vilaine »
(limite marine : SOMLIT Estacade moyenne 2003-2011)



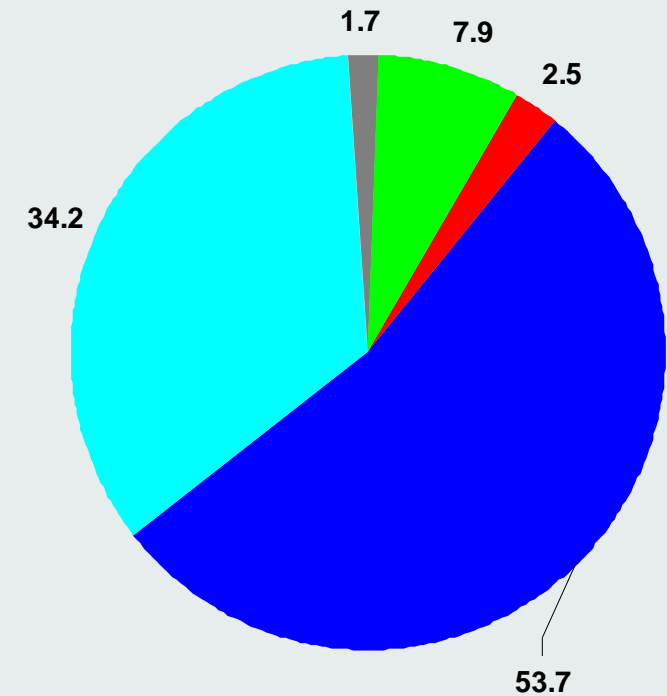
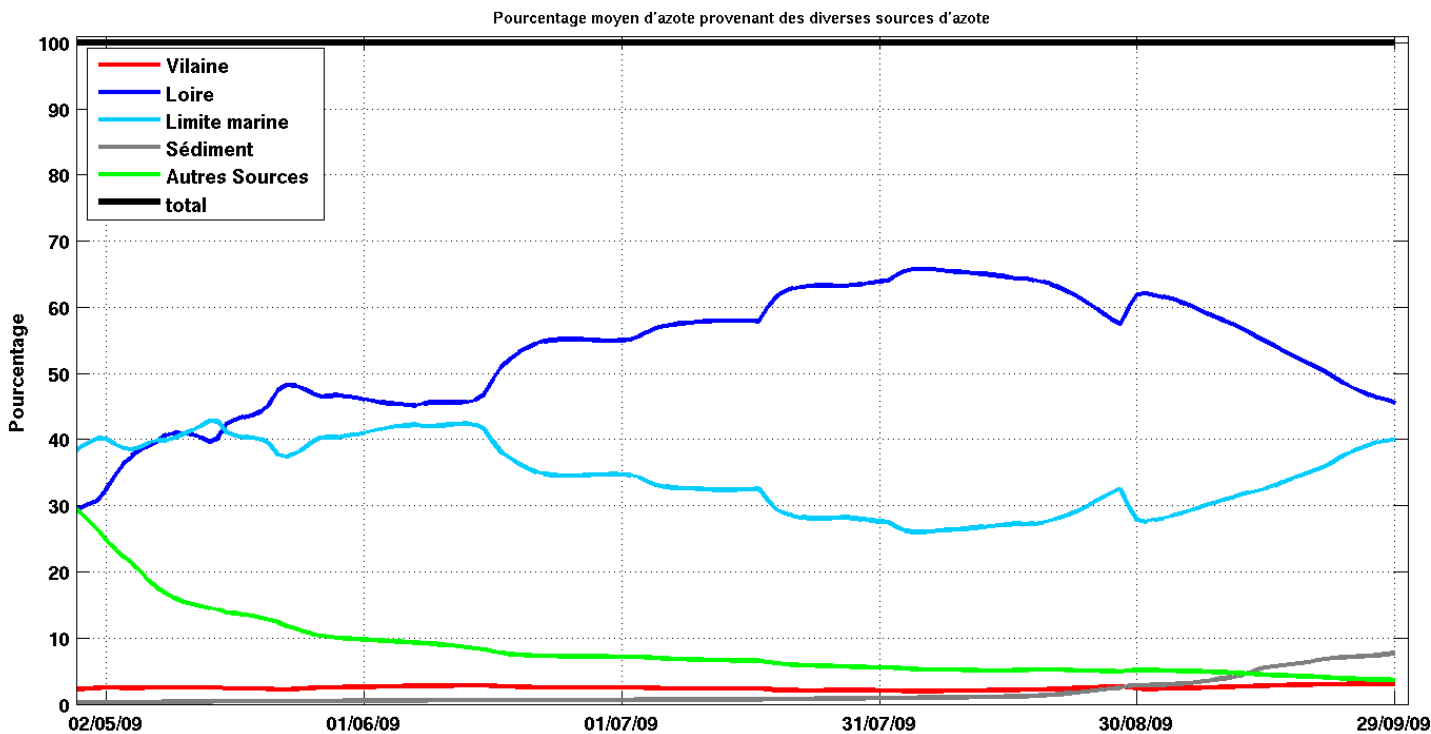
Traçage de l'azote des ulves sur l'année 2009

Evolution moyenne des traceurs sur le secteur 3 (localisation : baie de Vilaine)
(limite marine : SOMLIT Estacade moyenne 2003-2011)



Traçage de l'azote des ulves sur l'année 2009

**Evolution moyenne des traceurs sur le secteur 8 (localisation : Noirmoutier)
(limite marine : SOMLIT Estacade moyenne 2003-2011)**

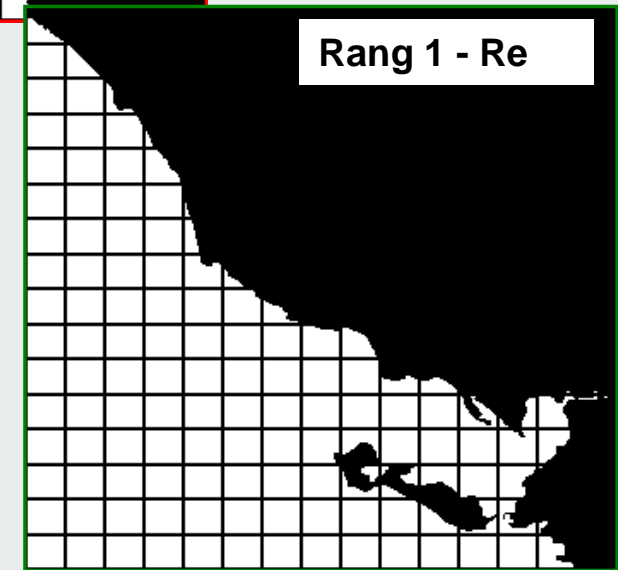
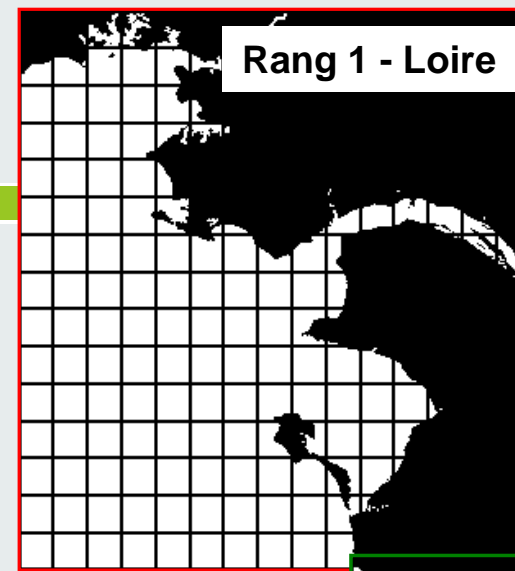
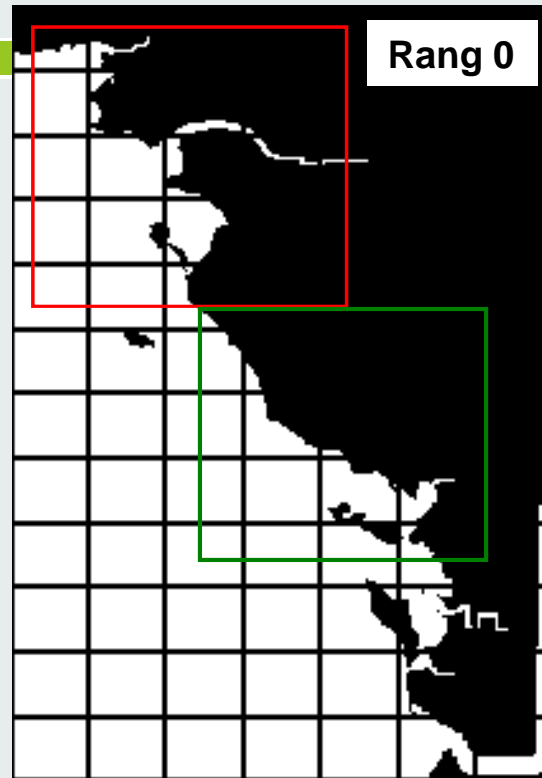


Scenarii de réduction des flux de nutriments

Niveau de réduction des apports	Nitrates Loire seule	Nitrates Vilaine seule	Nitrates Loire + Vilaine	Phosphore dissous et particulaire Loire seule
15 %	H1	H4	H7	H10
30 %	H2	H5	H8	H11
60 %	H3	H6	H9	H12

Niveau de réduction des apports	Nitrates Tous les contributeurs	Nitrates Tous les contributeurs sauf la Loire	Nitrates Tous les contributeurs sauf la Vilaine	Phosphore dissous et particulaire Tous les contributeurs
15 %	H13	H16	H19	H22
30 %	H14	H17	H20	H23
60 %	H15	H18	H21	H24

Mise en œuvre – Temps de calcul



- Temps de calcul avec la biologie (1 pas de temps sur 2) : de 12 à 17h
- Nb de proc. : de 60 à 256 proc. (Rang 0 : 61 – Rang 1 : Loire=156 et Re=147)
- Volume de données : de 3 à 30 Go par simulation (variable selon le nbre de couches sauvegardées)
- Ecriture de scripts pour extraire / compresser les principales variables depuis Caparmor et les télécharger rapidement pour analyse en local (débit internet faible)

- Téléchargement des rapports « **Etude inter-régionale de connaissance des marées vertes du littoral atlantique sous influence de la Loire et de la Vilaine (secteur compris entre Quiberon et Ré) sous :**

<http://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/etude-inter-regionale-de-connaissance-des-marees-a2383.html>

- Rapport de la mission C traitant des scénarios d'abattements de la biomasse d'algues vertes et rapport de synthèse de l'étude prochainement disponibles

Merci de votre attention

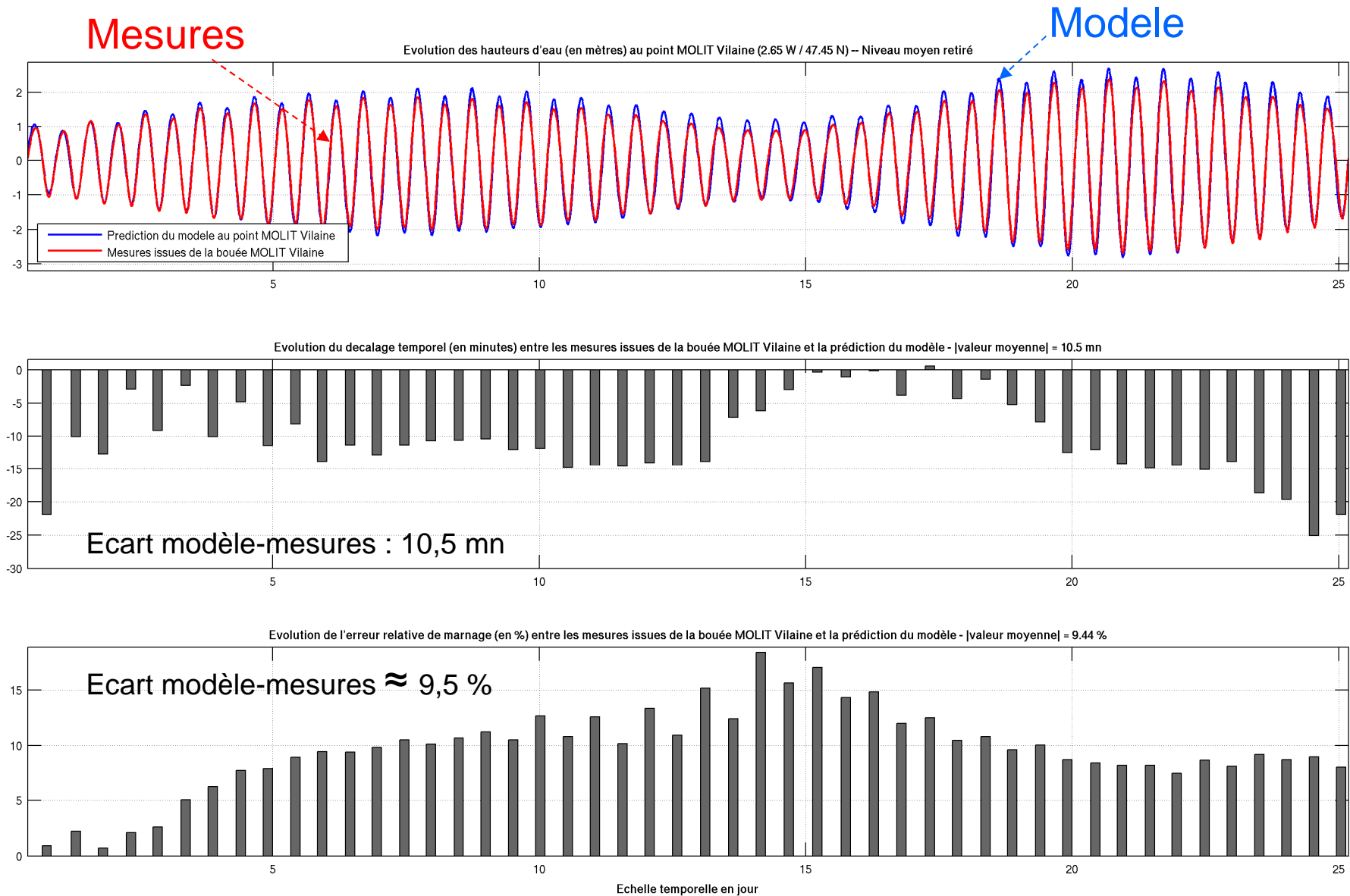
Validation hydrodynamique du modèle de rang 1

« Loire-Vilaine »



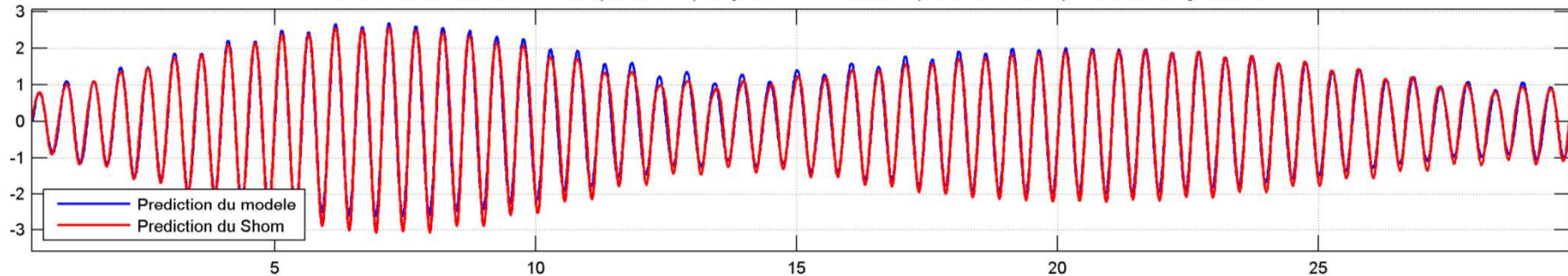
- **Hauteur d'eau** sur août 2009 et 2012 : bouée MOLIT Vilaine et fichier Shom CST_France
- **Courant** : comparaison avec les atlas papier courant du Shom

Modèle « Loire-Vilaine » : bouée MOLIT Vilaine sur aout 2009

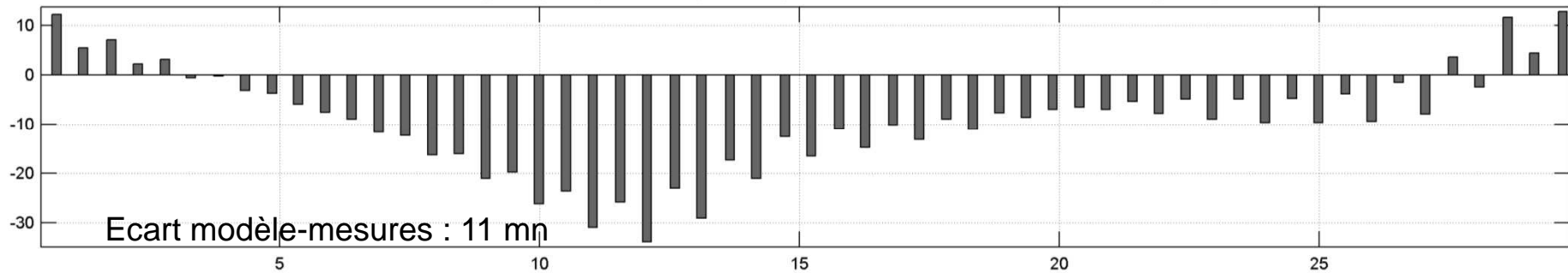


Modèle « Loire-Vilaine » : bouée MOLIT Vilaine sur aout 2012

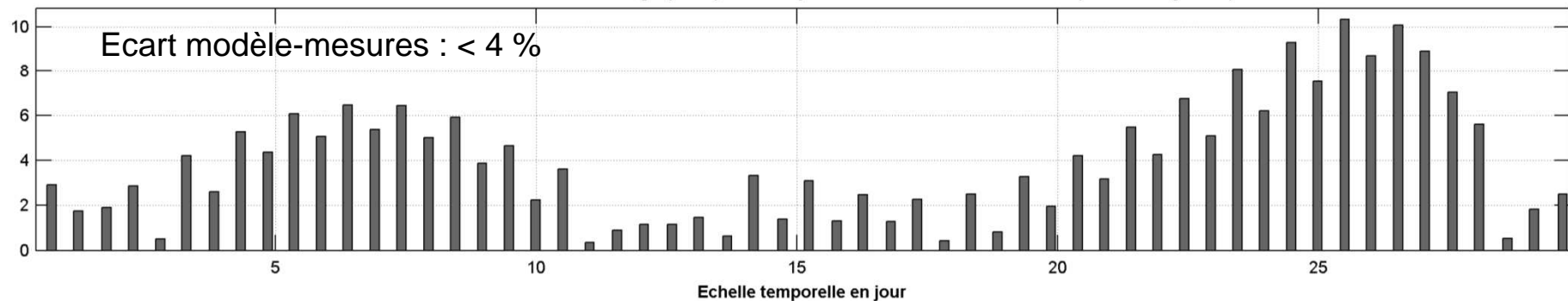
Evolution des hauteurs d'eau (en mètres) au point MOLIT Vilaine (2.65 W / 47.45 N) -- Niveau moyen retiré



Evolution du decalage temporel (en minutes) entre la prédiction Shom et le modèle - |valeur moyenne| = 11.0 mn



Evolution de l'erreur relative de marnage (en %) entre la prédiction Shom et le modèle - |valeur moyenne| = 3.95 %



- Année 2009 : calage/validation + scenarii
 - Année assez récente
 - Hydraulicité mai-sept : Vilaine \approx 0.95 ; Loire \approx 0.68 (Charente \approx 0.6)
 - 3 stations Quadrige pour la comparaison mesures/modèle en sels nutritifs
 - Données de forçage disponibles (météo, flux des rivières, satellite ...)

- Année 2012 : calage/validation :
 - Validation modèle ulves : données Ceva sur les quotas en azote et phosphore des ulves
 - Année récente
 - Hydraulicité mai-sept : Vilaine \approx 1.23 ; Loire \approx 0.92 (Charente \approx 1.13)
 - 1 seule station Quadrige pour la comparaison mesures/modèle des sels nutritifs
 - Données de forçage disponibles (météo, flux des rivières, satellite ...)

MB2 – Limites d'utilisation des outils de modélisation en regard des objectifs généraux de l'étude



- Spatialisation du stock initial d'ulves sur les platiers rocheux : procédure utilisée (mélange entre données d'observations et approche prédictive, sur une année 2013)
- Taille de la maille : estuaire de la Loire, cond. initiale en ulves, rejets des petits contributeurs
- Teneurs en sels nutritifs imposées aux limites marines du modèle de rang 0
- Pas de prise en compte de la compétition avec les autres macro-algues rouges et brunes (cf. mission A)
- Flux des rivières (cf. incertitudes relatives aux flux)
- Mesures in situ pour caler et valider le modèle ulves : peu de mesures de quotas en N&P et pas de mesures de biomasse
- Relargage sédimentaire : modèle de relargage simpliste et représentativité du flux en NH_4 et PO_4

Scenarii de réduction des flux de nutriments

Limites marines du rang 0 :

1. Utilisation des données cartographiques Sourisseau (2011) pour NO_3 , PO_4 , Si(OH) et gradient nul pour le NH_4 ,
2. Impact faible sur la situation de référence avec les données SOMLIT à la bouée Astan
3. Impact plus sensible sur les scenarii

