

# Simulation de l'eutrophisation des côtes françaises de Manche-Atlantique Application à la détermination d'objectifs de qualité des fleuves en $\text{NO}_3$ et $\text{PO}_4$ (objectifs DCE et DCSMM).

***Alain Ménesguen, Bénédicte Thouvenin***

*Unité « DYNamiques de l'Environnement COtier », IFREMER/Brest/France*

***Morgan Dussauze***

*ACTIMAR/Brest/France*

Projet ONEMA/IFREMER

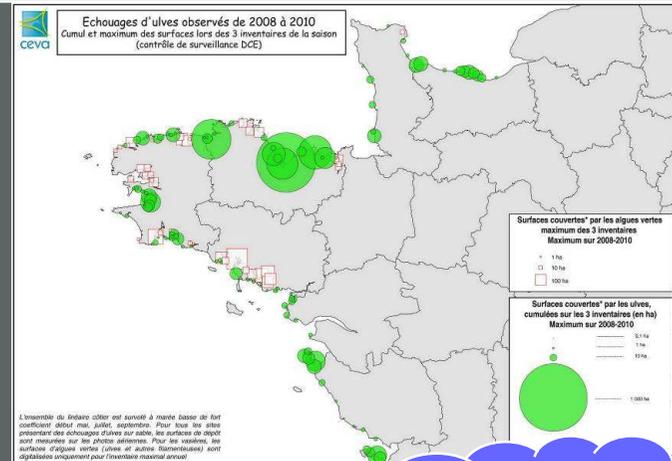
+ contribution au projet FP7/SeasERA/EMoSEM

# Plan

- Rappels sur l'eutrophisation
- La question posée par la DCE et la DCSMM
- L'outil de modélisation : ECO-MARS3D
- L'approche linéaire par traceurs conservatifs
- L'approche non-linéaire par modèle biogéochimique
- Conclusion

# Rappels sur l'eutrophisation

## 1/ Proliférations macroalgales (marées vertes)



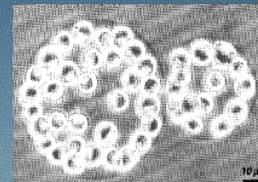
La forme d'eutrophisation **la plus visible** est constituée par l'accumulation d'algues vertes dans des zones très peu profondes :

- ❑ *Enteromorpha* fixées en estuaires
- ❑ *Ulva* libres sur plages sableuses

Ces proliférations sont contrôlées par les apports d'**azote**.

# Rappels sur l'eutrophisation

## 2/ Proliférations phytoplanctoniques (eaux colorées)



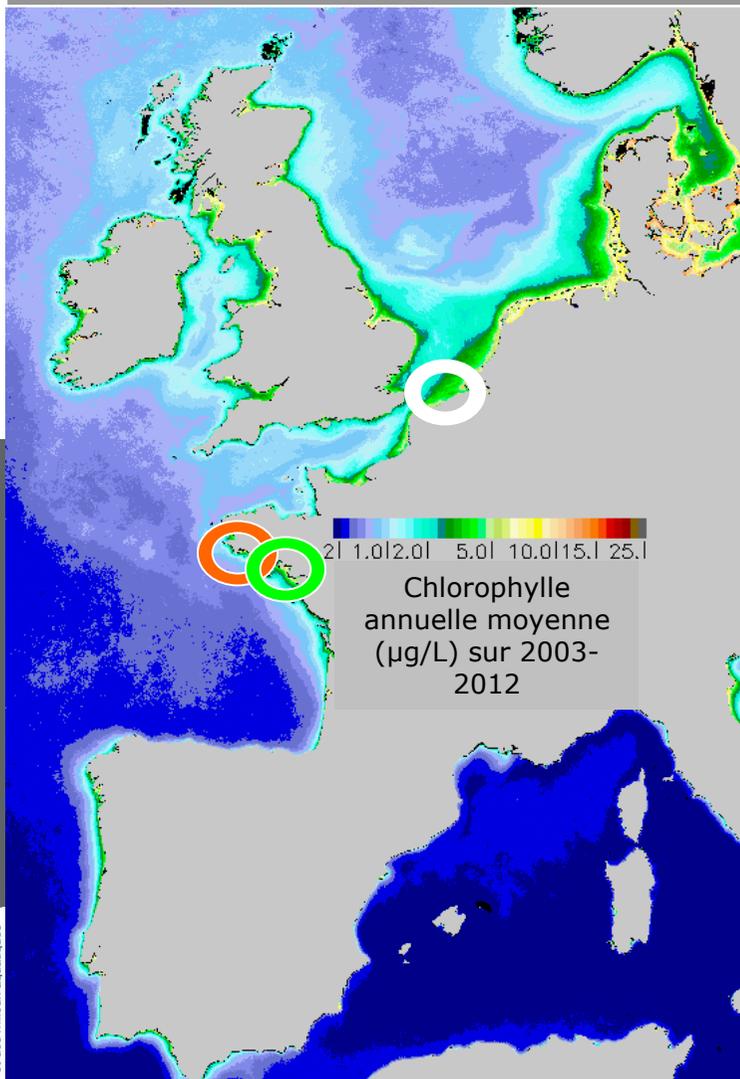
**Phaeocystis**  
*Nord de la France*



**Noctiluca**  
*Bretagne-sud 2004*



**Lepidodinium**  
*La Baule 2012*



EMOSEM

Seawera  
CLIPPERA-NET

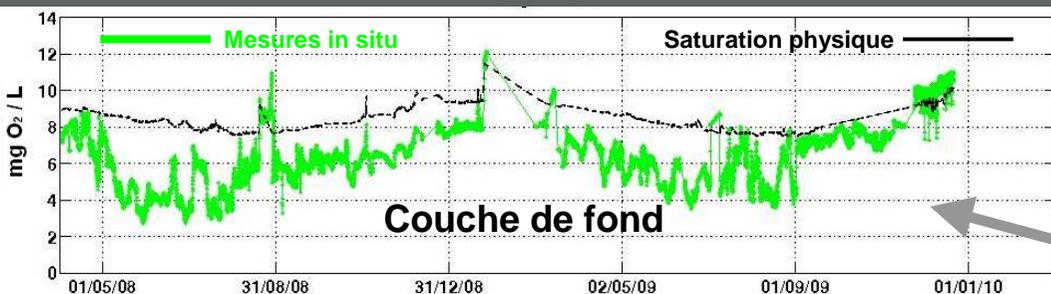
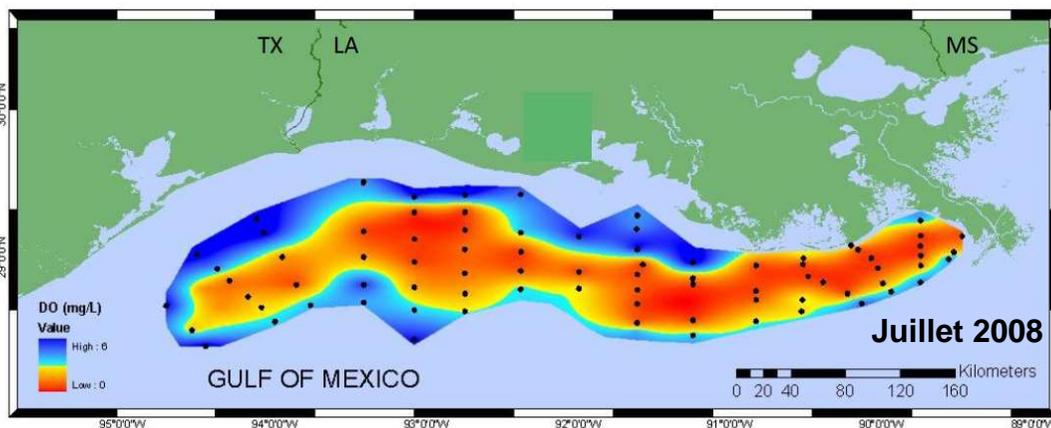
ONEMA  
Office national de l'eau  
et des milieux aquatiques

# Rappels sur l'eutrophisation

3/ Hypoxies de fond

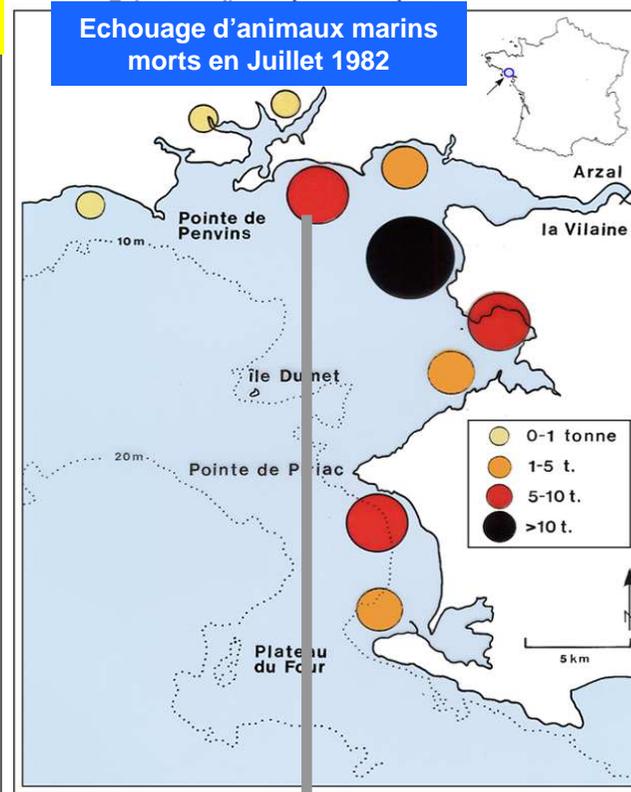
France ~ 200 km<sup>2</sup>

USA ~ 20 000 km<sup>2</sup>



Mesures 2008-2009 par la bouée MOLIT en baie de Vilaine

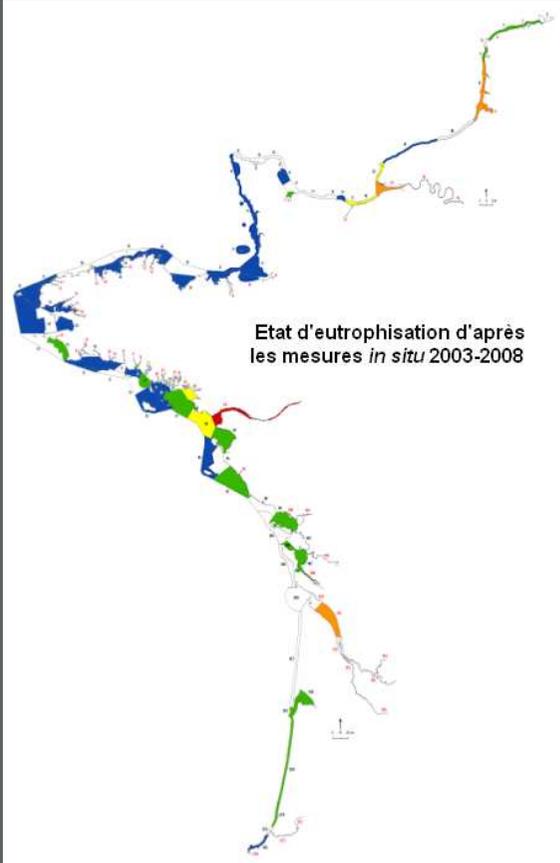
La forme d'eutrophisation **la plus dangereuse pour l'écosystème** est constituée par l'accumulation de phytoplancton dans les panaches enrichis des fleuves, provoquant l'**hypoxie de l'eau de fond**.



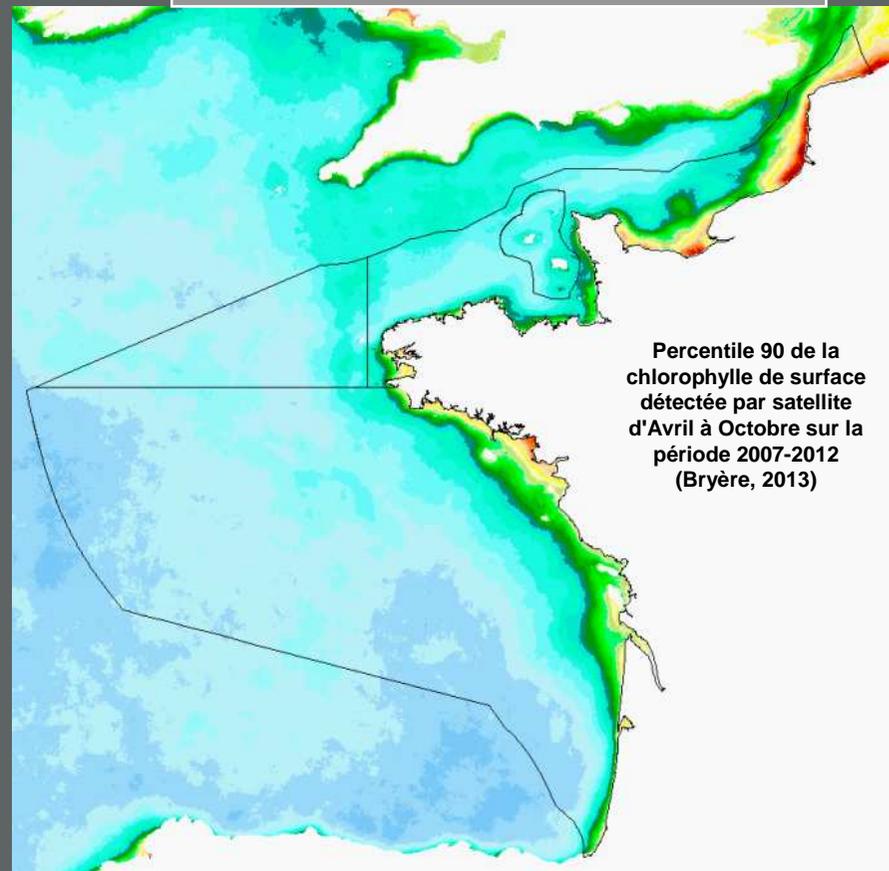
Ifremer

# La question posée par DCE et DCSMM

DCE: 73 masses d'eau côtières



DCSMM : 3 sous-régions étendues



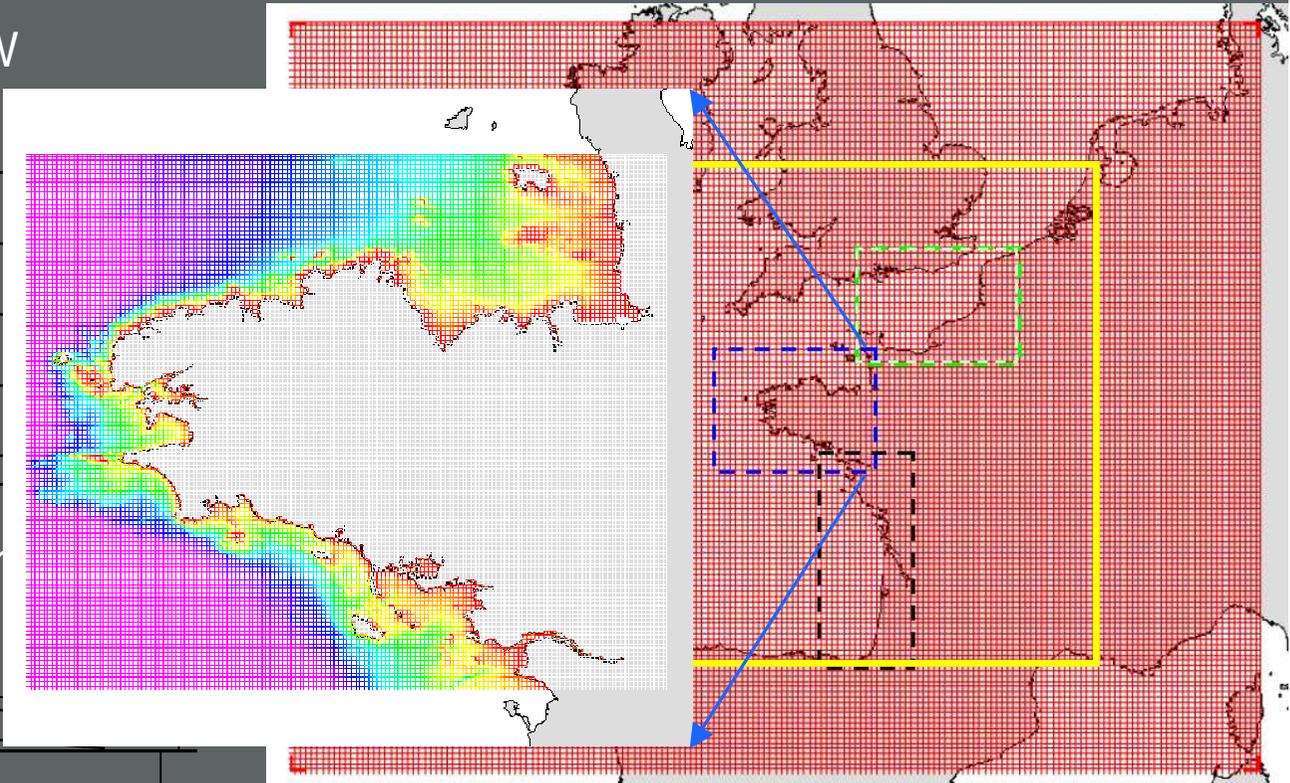
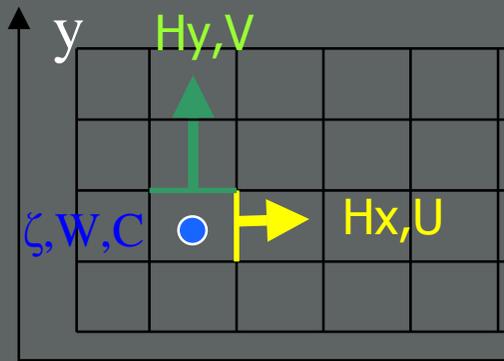
De combien faut-il abaisser les apports de  $\text{NO}_3$  et  $\text{PO}_4$  des 45 fleuves français pour revenir partout au Bon Etat Ecologique ?

# L'outil de modélisation : ECO-MARS3D

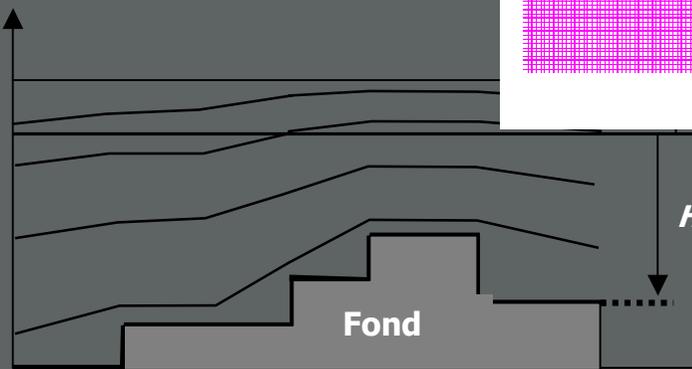
1/ Hydrodynamique

code 3D en différences finies, avec schémas anti-diffusifs

Grille régulière NSEW



Découpage vertical «  $\sigma$  géométrique »

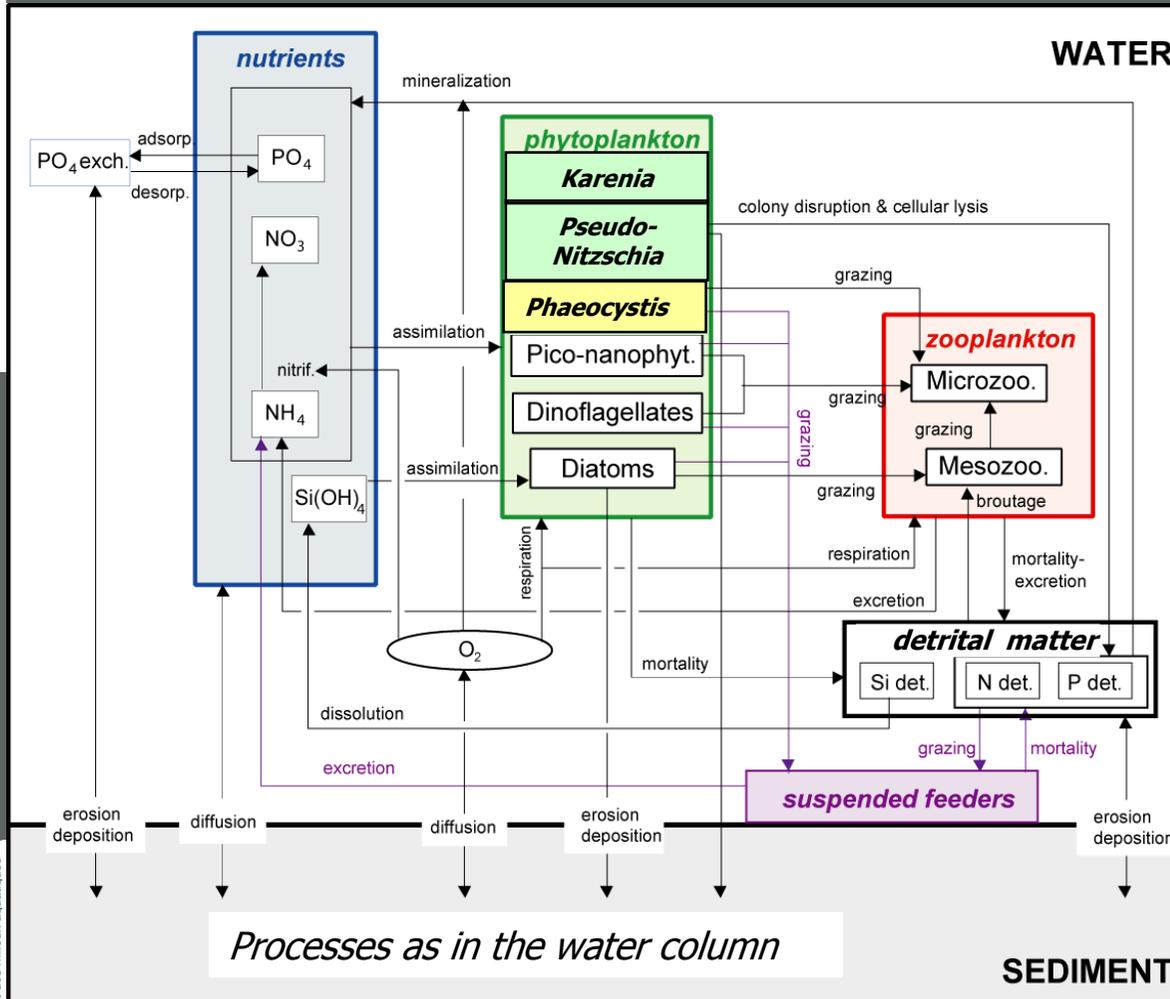


Grilles de base MANGA  $\rightarrow$  4x4 km  
(Etendue: 514 x 390 x 30, Restreinte: 244 x 265 x 30 mailles)

Grilles régionales  $\rightarrow$  1x1 km  
(Manche-est: 343 x 229 x 10, Bretagne: 299 x 248 x 15,  
Landes: 183 x 431 x 30 mailles)

# L'outil de modélisation : ECO-MARS3D

## 2/ Biogéochimie



### Modèle de base :

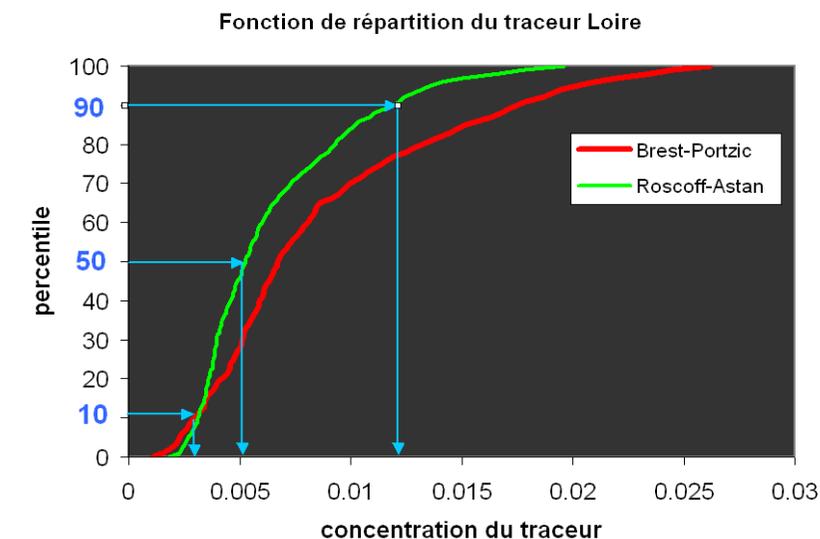
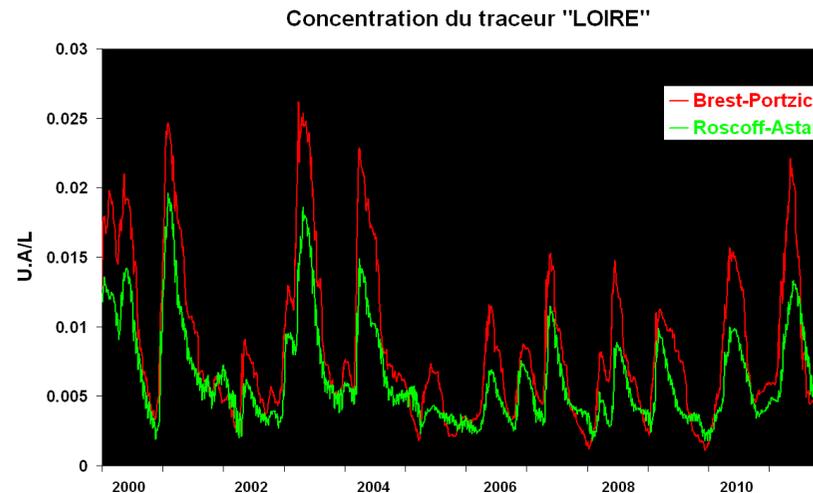
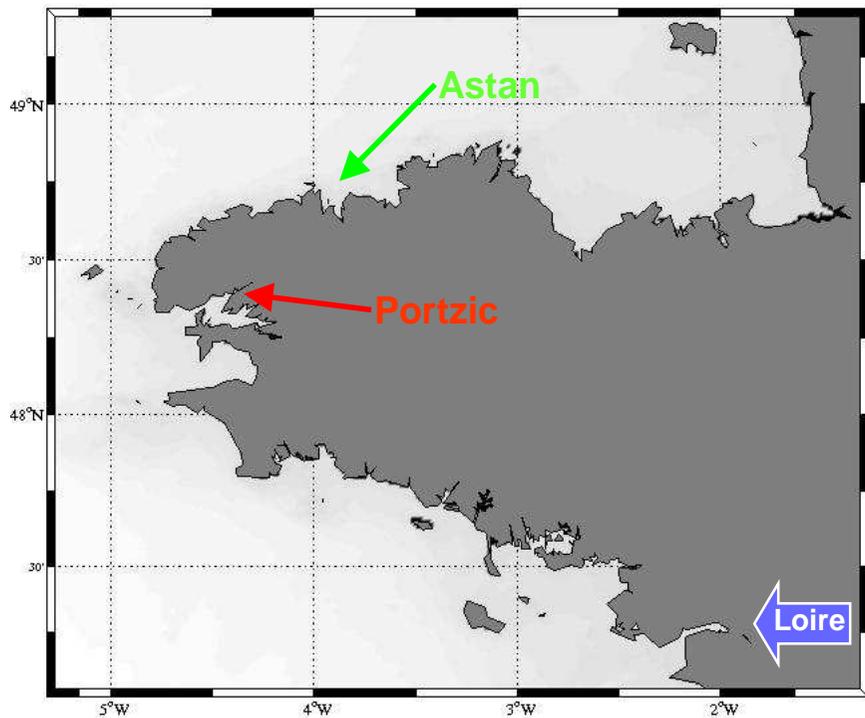
- type « NPZD » incluant
- 4 éléments (N, P, Si, O)
- diatomées
- dinoflagellés
- nanoflagellés
- *Phaeocystis globosa*
- micro-zooplancton
- méso-zooplancton
- détritique benthique

### Options possibles :

- *Karenia mikimotoi*
- *Pseudo-Nitzschia sp.*

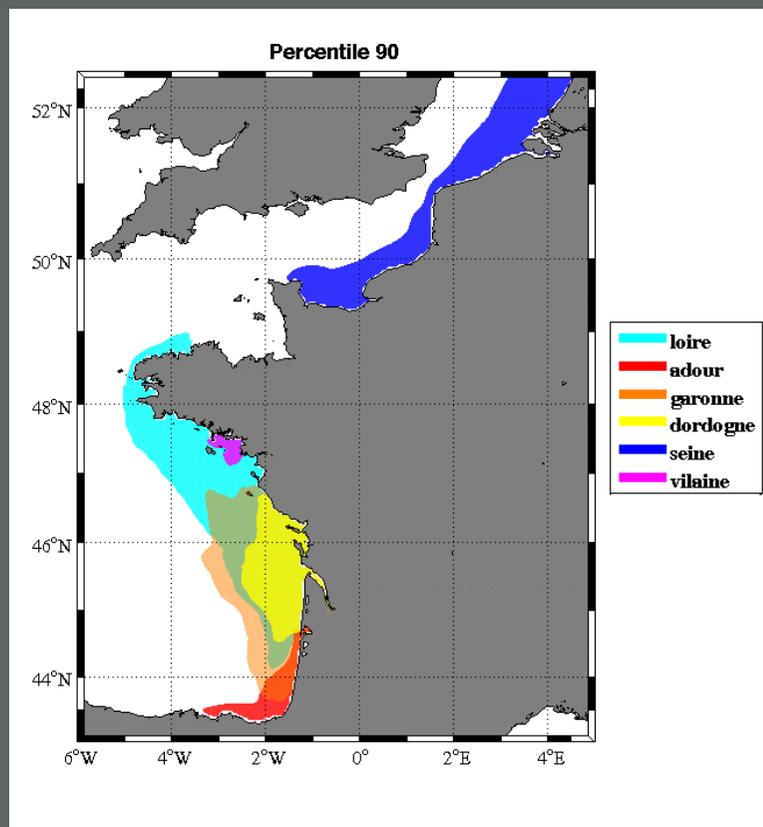
# L'approche linéaire par traceurs conservatifs

1/ Principe

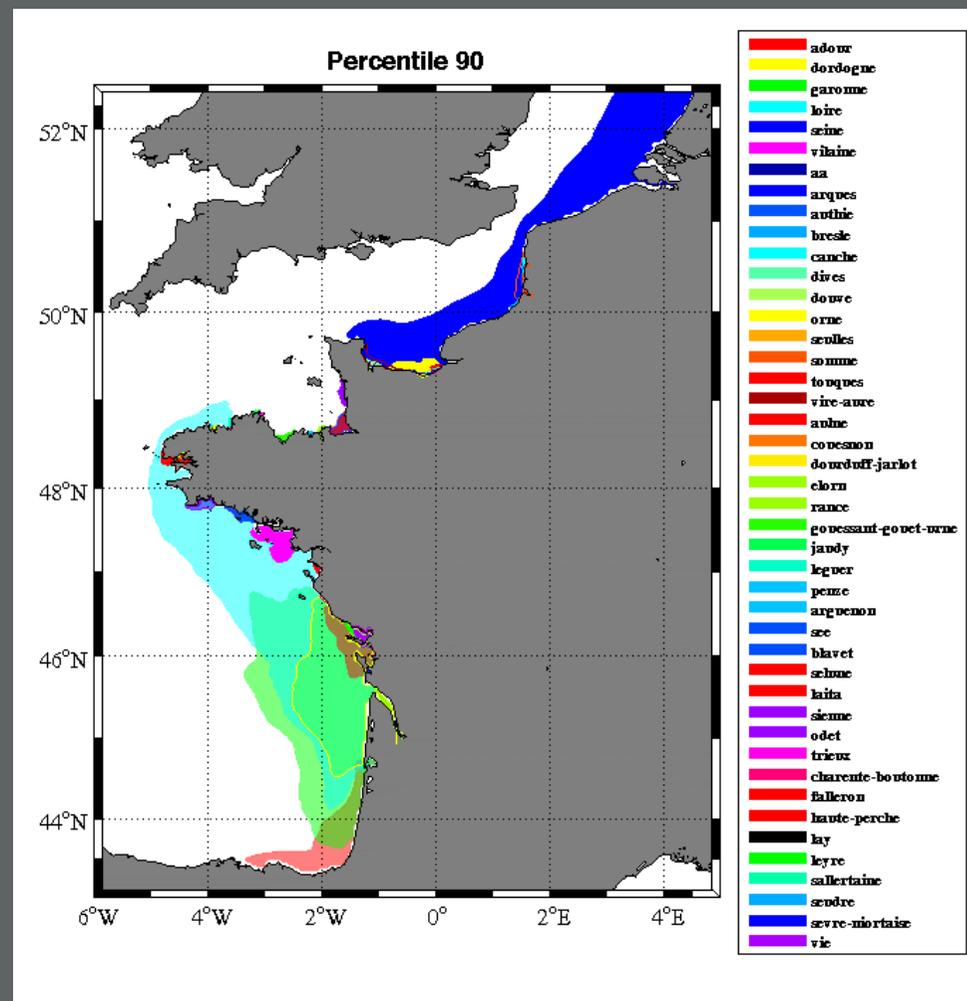


# L'approche linéaire par traceurs conservatifs

2/ Résultat : les « Bassins Récepteurs » des « Bassins Versants »



Les 6 fleuves majeurs



Les 45 fleuves principaux

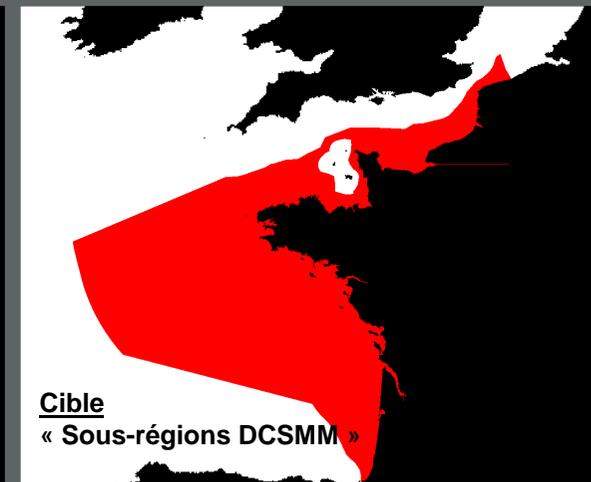
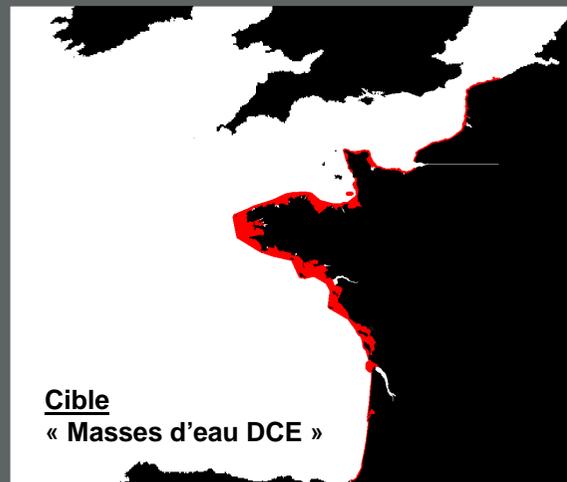
# L'approche linéaire par traceurs conservatifs

## 3/ Application à l'optimisation des apports fluviaux de N et P

2 méthodes : Simplexe linéaire ou méthode quadratique de Beale

1. – Définir la zone-cible marine
2. – Donner une concentration marine max de Bon Etat Ecologique
3. – Donner le coût de la baisse d'1 mg/L du nutriment dans chaque B.V
4. – Pour Beale, donner le poids relatif

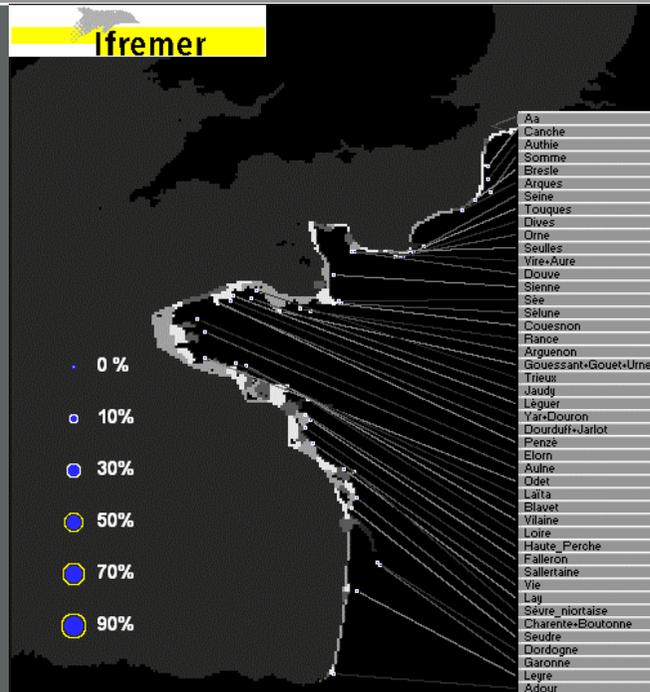
Non-Respect du BEE en mer vs. Coût de réduction dans les BV



Bon Etat Ecologique =>  $[\text{NO}_3] < 15 \mu\text{mol/L}$   
 $[\text{PO}_4] < 1 \mu\text{mol/L}$

# L'approche linéaire par traceurs conservatifs

3bis/ Application à l'optimisation des apports fluviaux de N et P



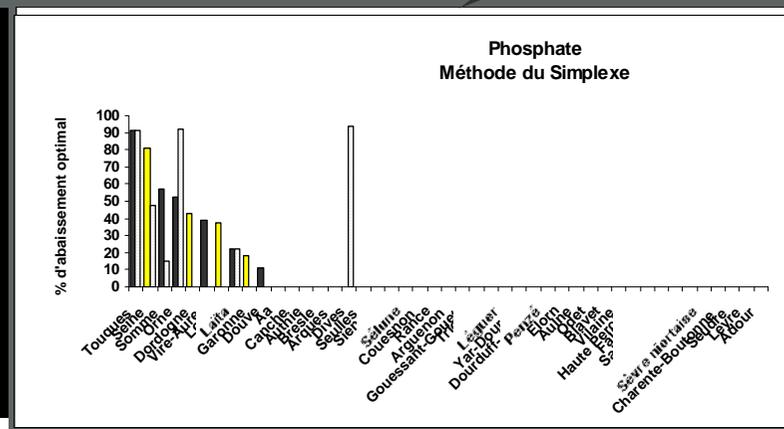
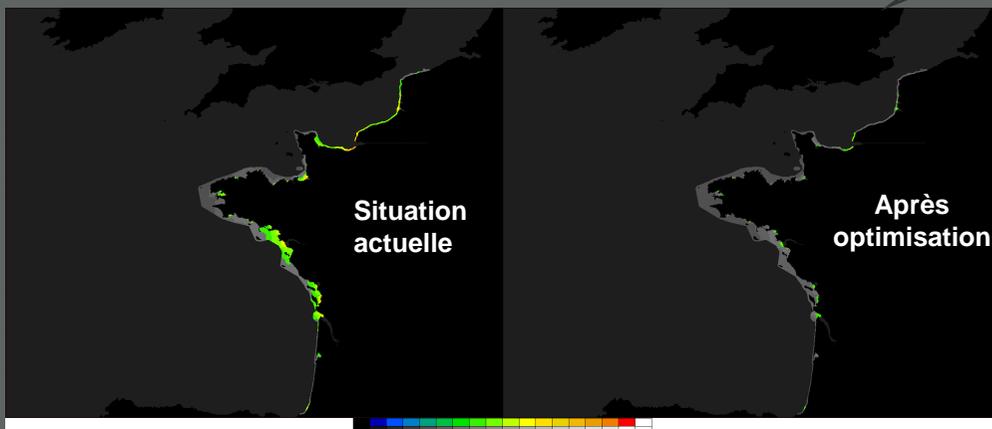
Exemple du Nitrate

cible « Masses d'eau DCE »  
prises une par une

cible « Masses d'eau DCE »  
prises ensemble

(en gris les mailles en B.E.E,  
en couleur les mailles ne  
respectant pas le B.E.E)

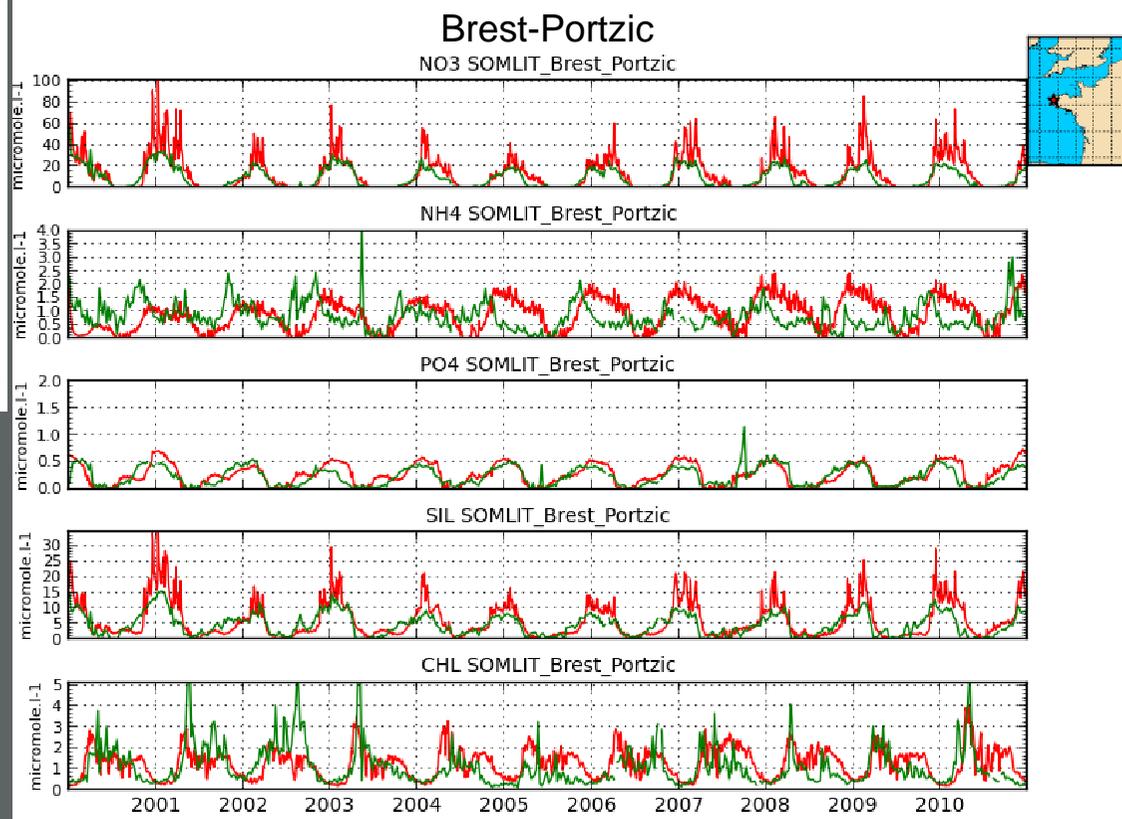
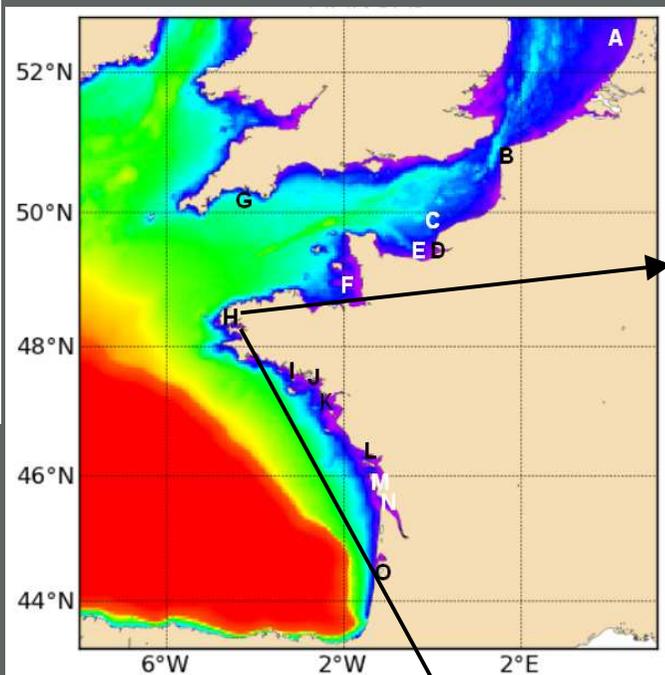
Comparaison avec  
le cas du Phosphate



# L'approche non-linéaire par modèle biogéochimique

1/ Validation de la simulation de l'état actuel sur la période 2000-2010

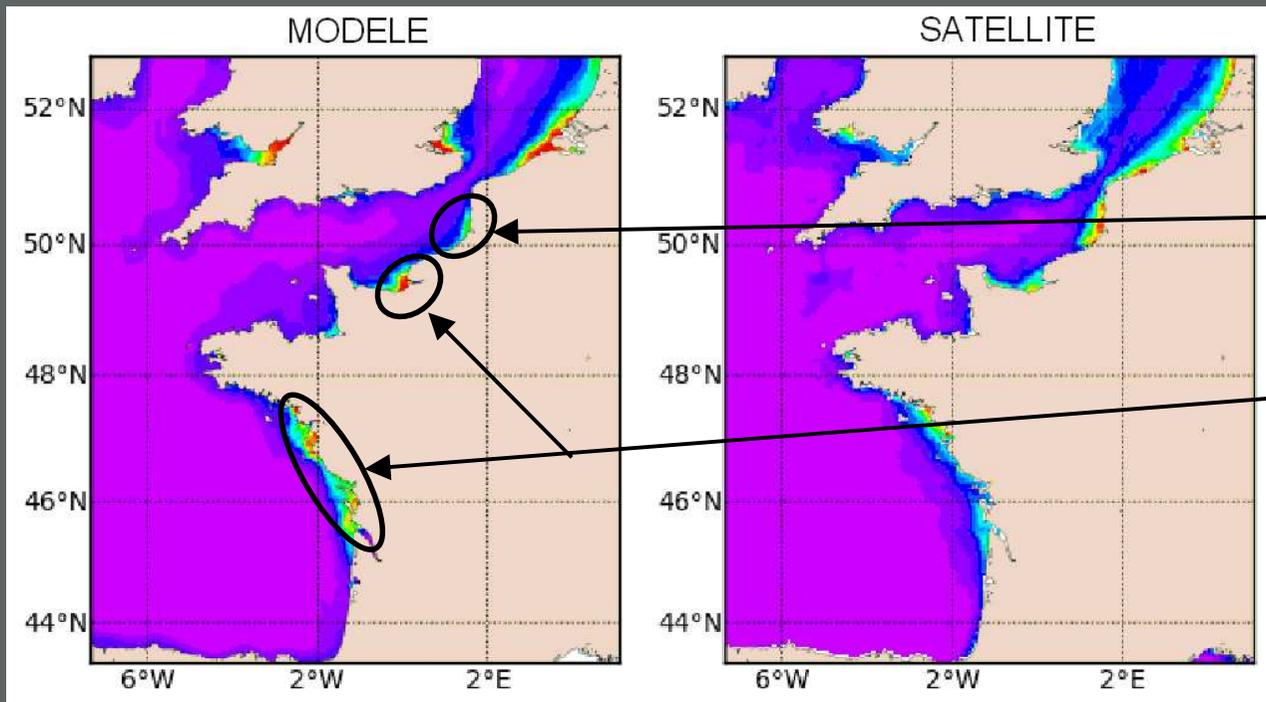
Validation des nutriments et de la chlorophylle totale sur 15 stations côtières



# L'approche non-linéaire par modèle biogéochimique

1bis/ Validation de la simulation de l'état actuel sur la période 2000-2010

Validation de la chlorophylle de surface  
par les images satellitaires MODIS



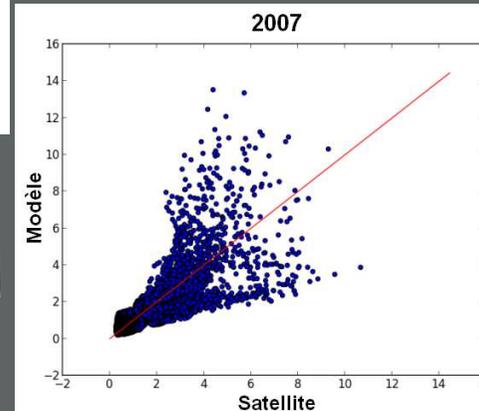
Moyenne Annuelle 2007:

**Trop faible :**

-en baie de Somme

**-Trop élevée :**

- au large des estuaires  
de Seine, Loire et  
Gironde

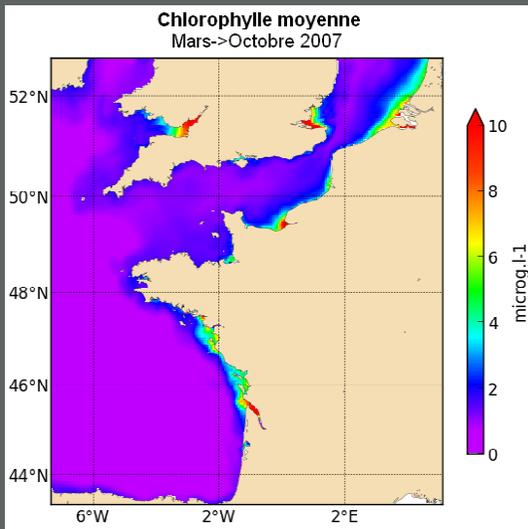


Ifremer

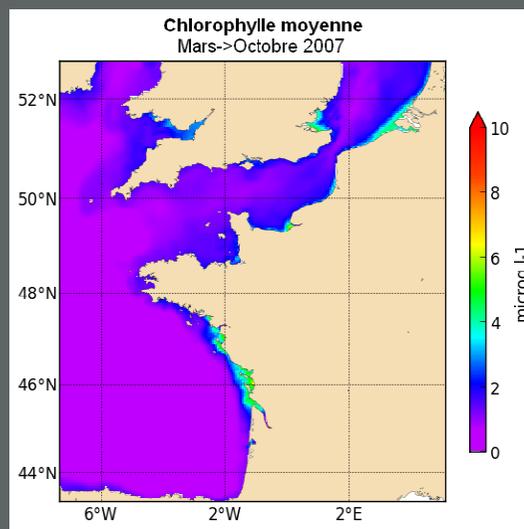
# L'approche non-linéaire par modèle biogéochimique

## 2/ Réponse à des apports « pristines »

Année 2007 « réelle »



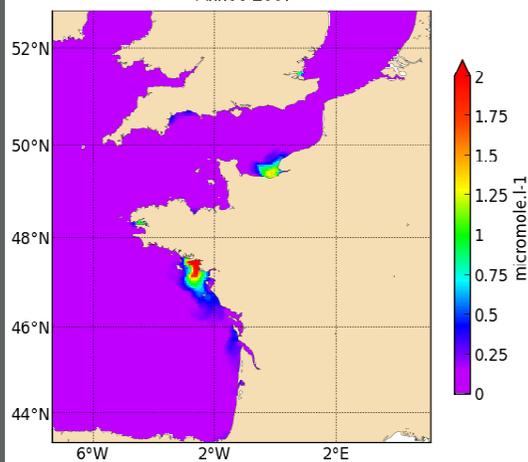
Année 2007 « pristine »



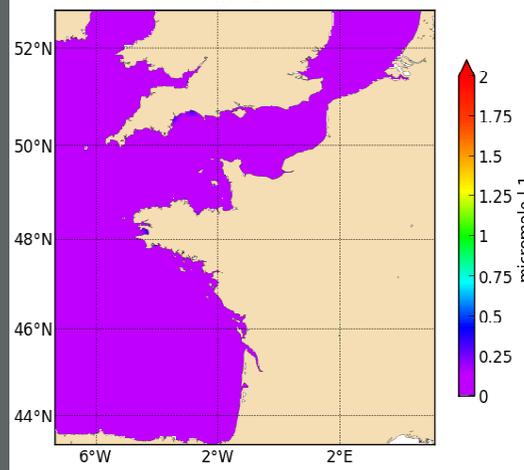
Chlorophylle moyenne  
annuelle de 2007:

**Ne baisse que dans les  
panaches côtiers**

Maximum de dinoflagellés  
Année 2007



Maximum de dinoflagellés  
Année 2007



Dinoflagellés :

**Disparaissent quasiment  
des panaches côtiers**

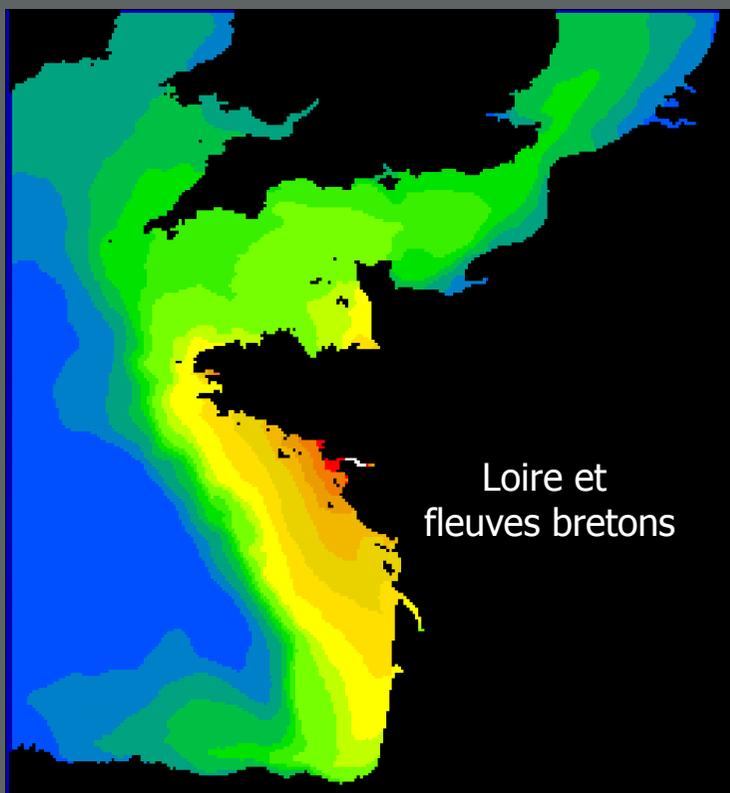
# L'approche non-linéaire par modèle biogéochimique

## 3/ Traçage de N (ou P) dans le réseau trophique 3D

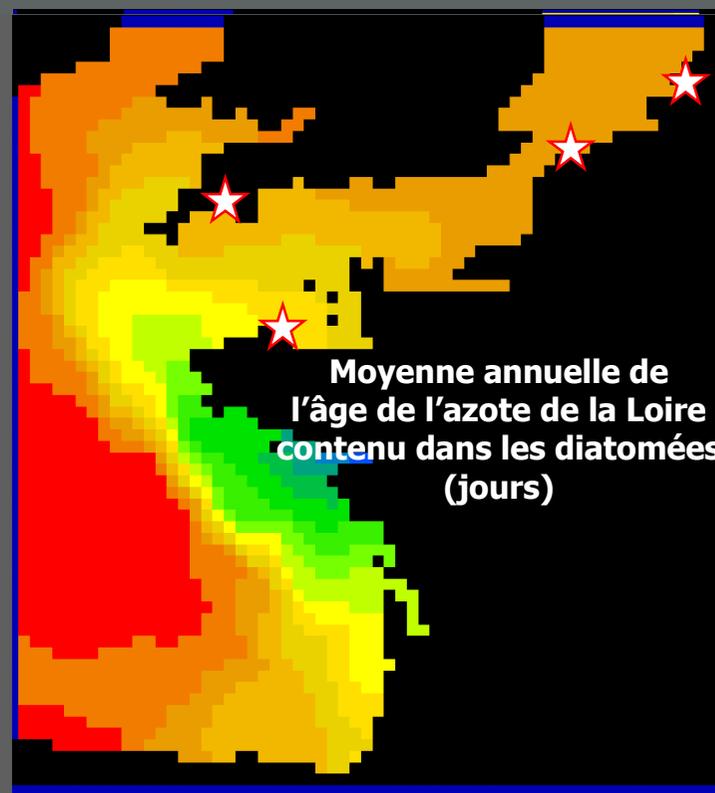
### Principe :

doubler chaque variable d'état azotée par le produit (variable x signature\_source)

tripler chaque variable d'état azotée par le produit (variable x signature\_source x age)



1‰ ->  
1‰ ->  
3‰ ->  
5‰ ->  
10‰ ->  
30‰ ->  
50‰ ->  
70‰ ->  
90‰ ->



75 ->  
150 ->  
225 ->  
300 ->  
375 ->  
450 ->  
525 ->  
600 ->  
675 ->  
750 ->  
825 ->  
900 ->  
975 ->  
1050 ->  
1125 ->  
1200 ->

Devant Paimpol:

- 6.5 %
- 650 jours

Devant Plymouth:

- 4.5 %
- 930 jours

Devant Calais:

- 3 %
- 1000 jours

Devant le Rhin :

- 1.5 %
- 1040 jours

# CONCLUSIONS

## Travaux réalisés sur la zone Manche-Atlantique :

1. – Délimitation statistique des 45 « Bassins Récepteurs » français
2. – Scénarios optimaux de réduction de  $\text{NO}_3$  et  $\text{PO}_4$  pour atteindre le B.E.E en nutriment
3. – Création d'une base 2000-2010 de simulations écologiques du phytoplancton
4. – Fourniture d'un code ECO-MARS3D actualisé pour la simulation temps réel sur

## Travaux à réaliser en 2014 sur la zone Manche-Atlantique :

1. – Simulation de scénarios de réduction « académique » des apports
2. – Simulation de scénarios de réduction « réaliste » des apports par couplage avec les sorties du modèle de B.V « Sènègue-Riverstrahler » de l'UMR Sysiphe (Paris 6)

## Accès requis au calculateur Caparmor :

### Temps CPU :

- Traceurs conservatifs sur MANGA étendu (6 variables) : 24h/an
- Biologie complète sur MANGA restreint (25 variables) : 20h/an
- Biologie complète sur MANGA restreint avec traçage de 3 sources (100 variables): 76h/an

### Stockage :

- Stockage journalier de la biologie complète sur MANGA restreint (25 variables) : 150 Go/an



EMOSEM

Seawera  
CUIPYERA-NET

ONEMA  
Office national de l'eau  
et des milieux aquatiques

Janvier © Maxence LORIDAN

Merci de votre attention



Ifremer