

# Atmospheric impact on ocean biogeochemistry: from experiments to modelling

Cécile GUIEU  
CNRS-University Paris 6  
Laboratoire d'Océanographie (LOV)  
Observatoire de Villefranche-sur-Mer

Objectifs :

- Importance du dépôt atmosphérique d'éléments (micro)nutritifs pour les zones oligotrophes de l'océan. En particulier sur N, P et Fe
- En comparant les résultats issus des études expérimentales et de modélisation
- À l'échelle GLOBALE.

---

## Global Biogeochemical Cycles

---

### RESEARCH ARTICLE

10.1002/2014GB004852

#### Key Points:

- Episodic nature of atmospheric deposition matters in LNLC productivity
- Atmospheric impact in LNLC areas is

### The significance of the episodic nature of atmospheric deposition to Low Nutrient Low Chlorophyll regions

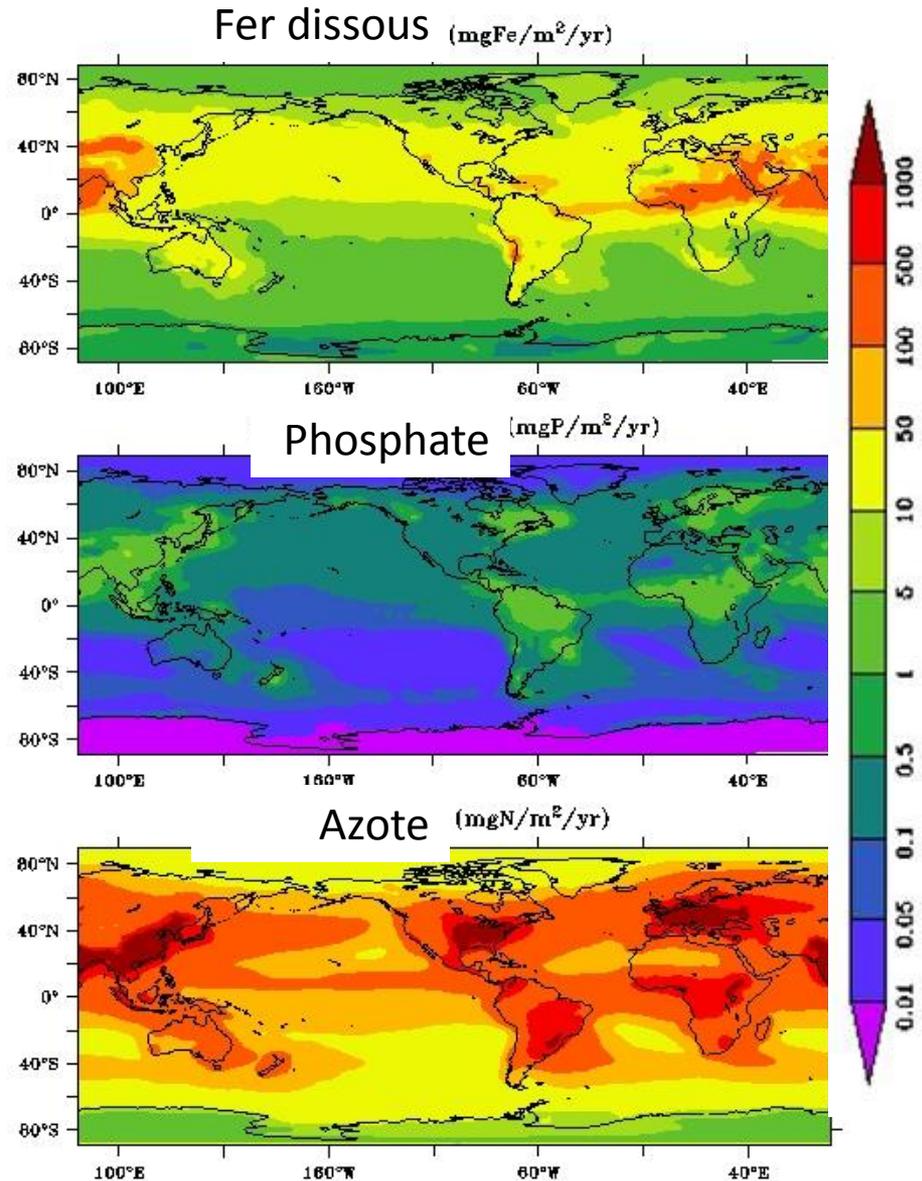
C. Guieu<sup>1</sup>, O. Aumont<sup>2</sup>, A. Paytan<sup>3</sup>, L. Bopp<sup>4</sup>, C. S. Law<sup>5,6</sup>, N. Mahowald<sup>7</sup>, E. P. Achterberg<sup>8,9</sup>, E. Marañón<sup>10</sup>, B. Salihoglu<sup>11</sup>, A. Crise<sup>12</sup>, T. Wagener<sup>13</sup>, B. Herut<sup>14</sup>, K. Desboeufs<sup>15</sup>, M. Kanakidou<sup>16</sup>, N. Olgun<sup>17,18</sup>, F. Peters<sup>19</sup>, E. Pulido-Villena<sup>13</sup>, A. Tovar-Sanchez<sup>20,21</sup>, and C. Völker<sup>22</sup>

*SOLAS new science plan THEME 3 Atmospheric deposition and ocean biogeochemistry*

# Les flux de dépôt sont très variables dans l'espace

- Des zones de l'océan encore ***très mal contraintes par les données***, on a recours aux modèles
- Processus de ***mélange pendant le transport*** va conditionner les formes chimiques à l'arrivée sur la colonne d'eau → ***'biodisponibilité'*** des éléments nutritifs atmosphériques

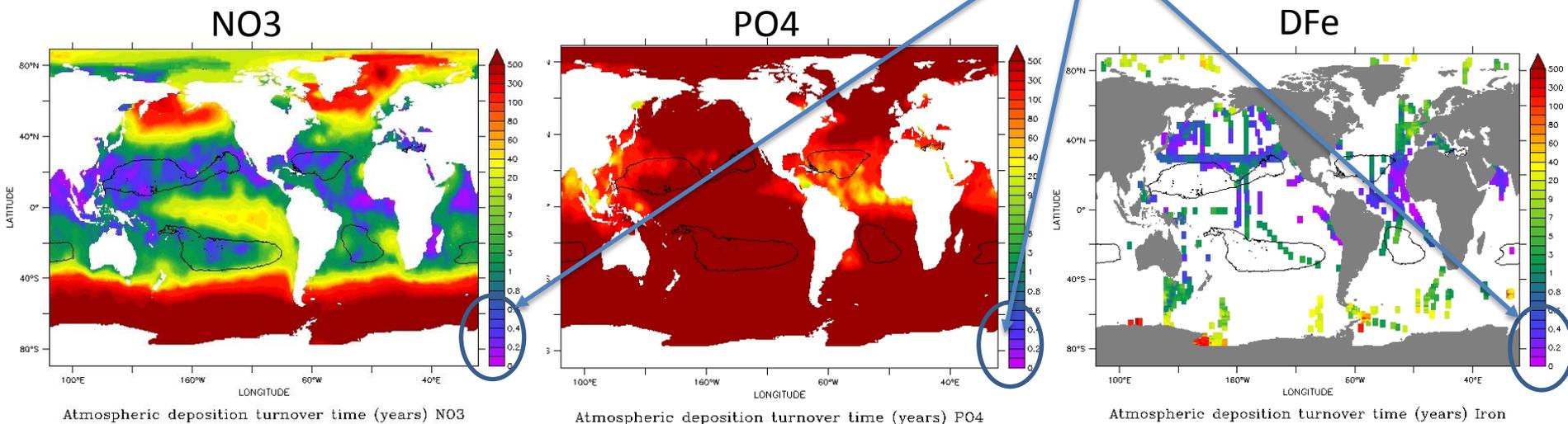
Ex. Dust (riche en Fe, P) + mélange masse d'air anthropique → favorise la mise en solution de Fe et P + enrichissement en N du dépôt sur la colonne d'eau



# Contribution des dépôts aux concentrations dans les eaux de la couche mélangée de surface de l'océan: concept du 'atmospheric turnover time'

Stock élément dans couche mélangée surface / dépôt atmosphérique = *le temps qu'il faudrait au dépôt atmosphérique seul pour faire atteindre à la couche mélangée de surface sa concentration actuelle*

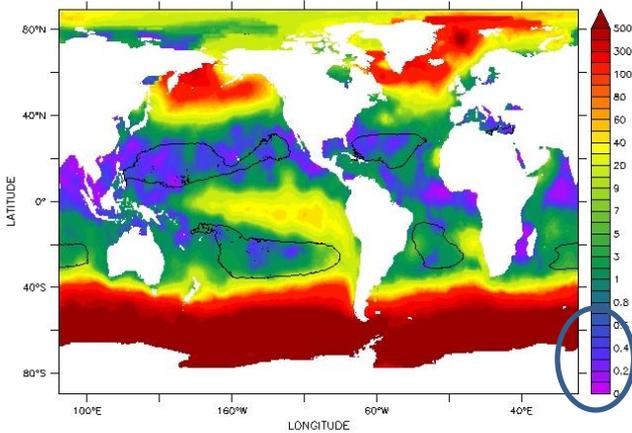
Les zones avec de faibles valeurs = rôle important de l'apport atmosphérique



- Climatologie pour *les concentrations en phosphate dans la couche mélangée de surface n'est pas contrainte par de bonnes mesures*: les 'atmospheric turnover time' pour PO<sub>4</sub> semble totalement surestimés.
- Extrêmement peu de données pour DFe...

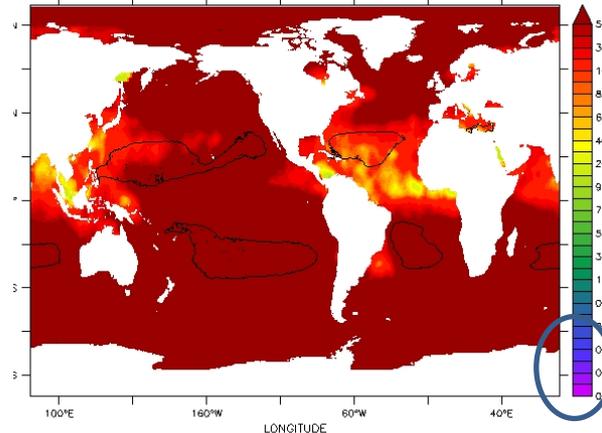
# Contribution des dépôts aux concentrations dans les eaux de la couche mélangée de surface de l'océan: concept du *'atmospheric turnover time'*

NO<sub>3</sub>



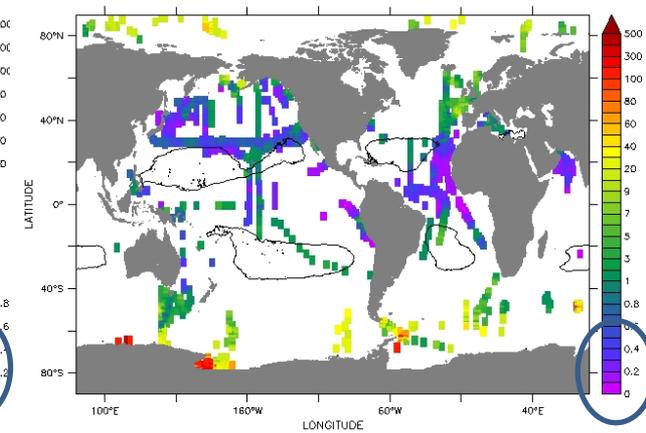
Atmospheric deposition turnover time (years) NO<sub>3</sub>

PO<sub>4</sub>



Atmospheric deposition turnover time (years) PO<sub>4</sub>

DFe



Atmospheric deposition turnover time (years) Iron

Malgré tout...

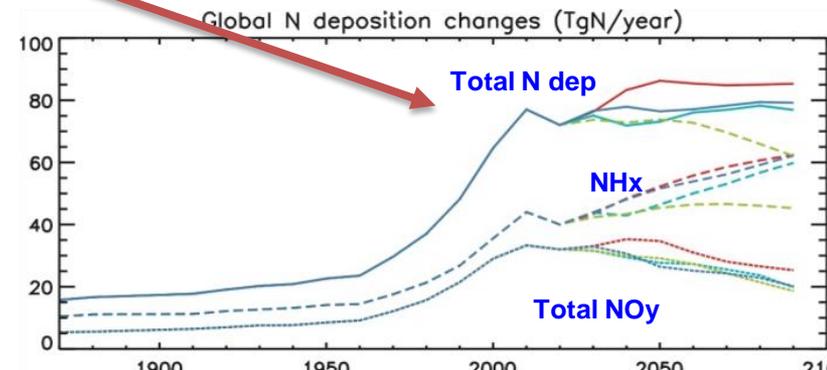
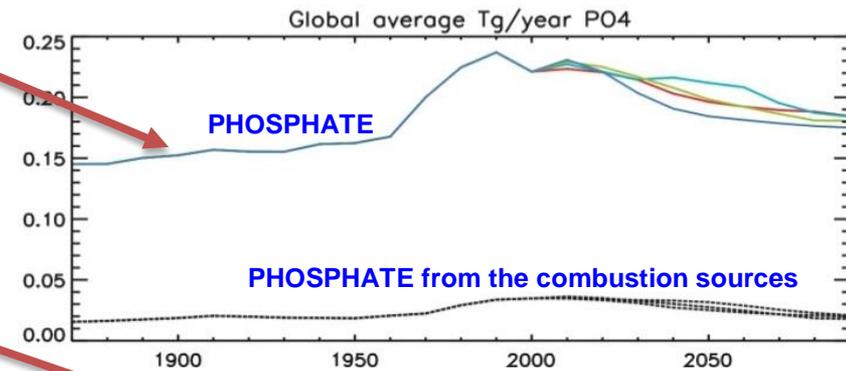
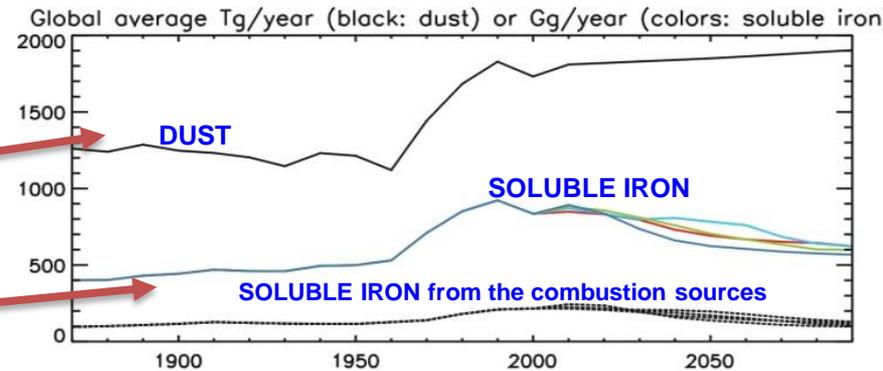
- plutôt des plus faibles valeurs dans les zones LNLC

Donc les apports atmosphériques peuvent:

- amener des éléments nécessaires à un milieu limité
- mais également modifier les rapports N:P and Fe:P → autres conséquences sur l'écosystème

# Les flux de dépôt atmosphérique varient aussi considérablement dans le temps

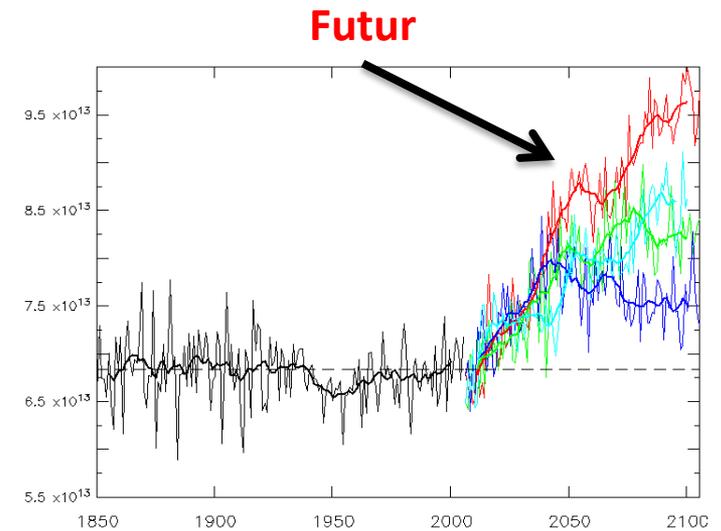
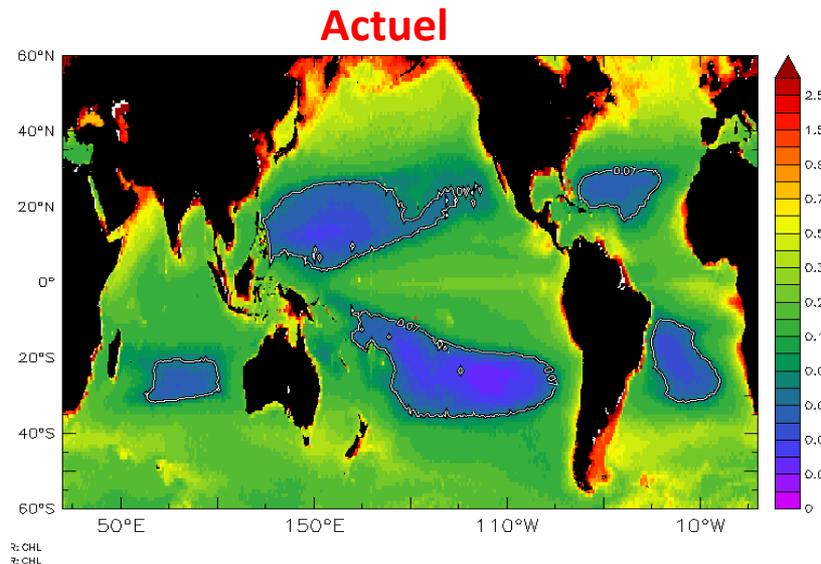
- Modèles à l'échelle globale montrent que les flux de dépôt de poussières auraient doublé entre 1900 et 2000
- Fe et P suivent cette tendance
- Les dépôts d'azote sont ceux qui ont le plus évolué depuis les 130 der années, tendance se poursuit (IPCC: réduction des combustions → réduction des NO<sub>x</sub> mais augmentation d'autres types d'émissions par l'agriculture



Prédictions (100 ans) n'indiquent pas de changements importants mais **grosses incertitudes**

# Les modèles prédisent également que les zones LNLC vont s'agrandir

Le réchauffement global pourrait induire une augmentation de la taille de l'ensemble des gyres oligotrophes



La combinaison:

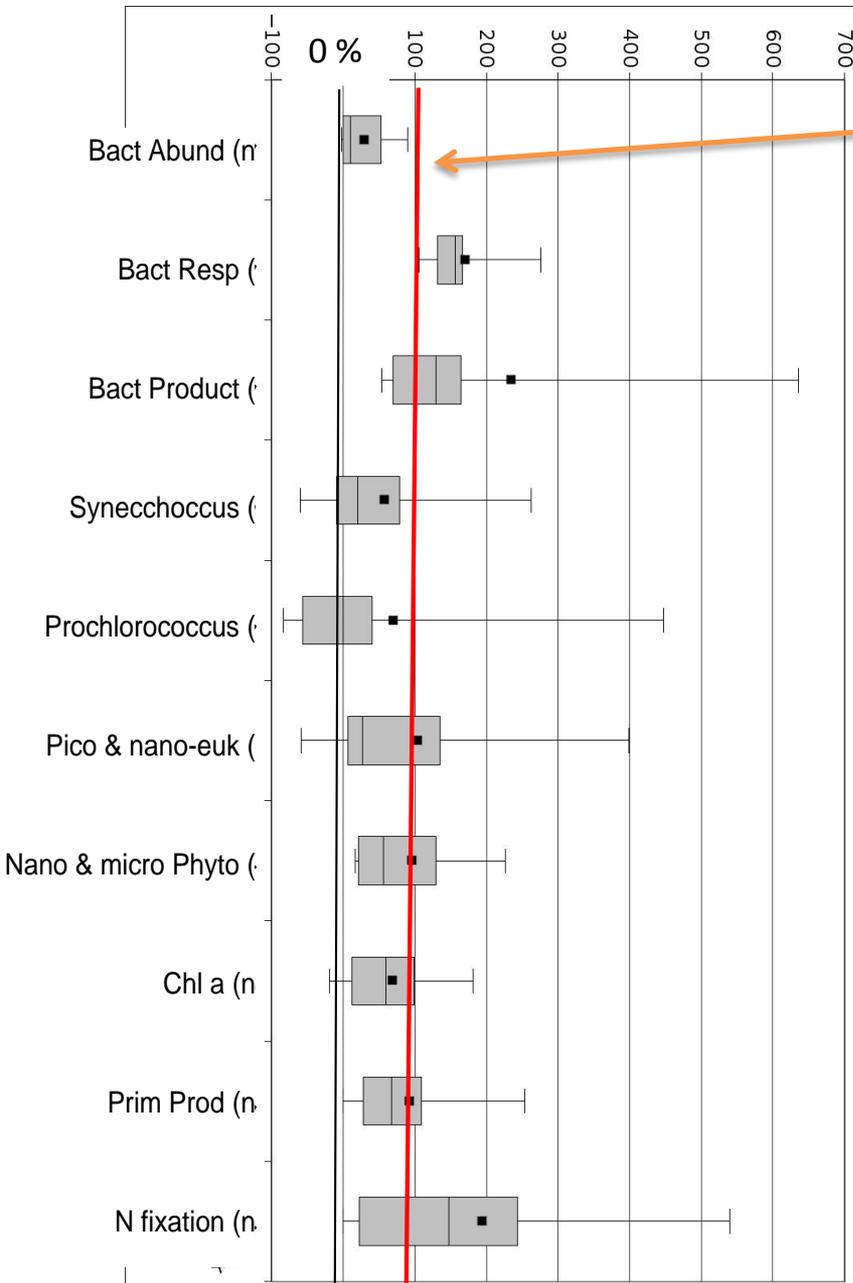
‘Changement des dépôts atmosphériques’ + expansion des zones LNLC’  
+ ‘diminution des apports nutriments océaniques’

→ changements dans la disponibilité des nutriments ET rôle accru des apports atmosphériques

# Impacts des dépôts atmosphériques mis en évidence par les expériences

- Au total 27 publications d'études expérimentales de réponses biologique à l'apport atmosphérique conduites dans des eaux oligotrophes
- Forte hétérogénéité des méthodes, des caractéristiques des eaux étudiées et des paramètres mesurés, Utilisant: des container de tailles variées/ des mésocosmes in situ
- Différent type de matériaux utilisés pour les ajouts dans l'eau de mer:
  - Fraction fin de sols désertiques
  - Fraction fine de sols désertiques avec simulation processus physico-chimiques lors du transport dans l'atmosphère
  - Phase particulaire de pluies
  - Poussières collectées pendant un évènement saharien
  - Aérosols collectés (tous types: désertiques, pollués, mélangés)
  - Aérosols typiquement urbains (standard particulaire NIST)

# Impact: la réponse des expériences



100 % change

Forte variabilité des réponses en lien avec:

≠ types aérosols

≠ assemblages naturels des eaux testées

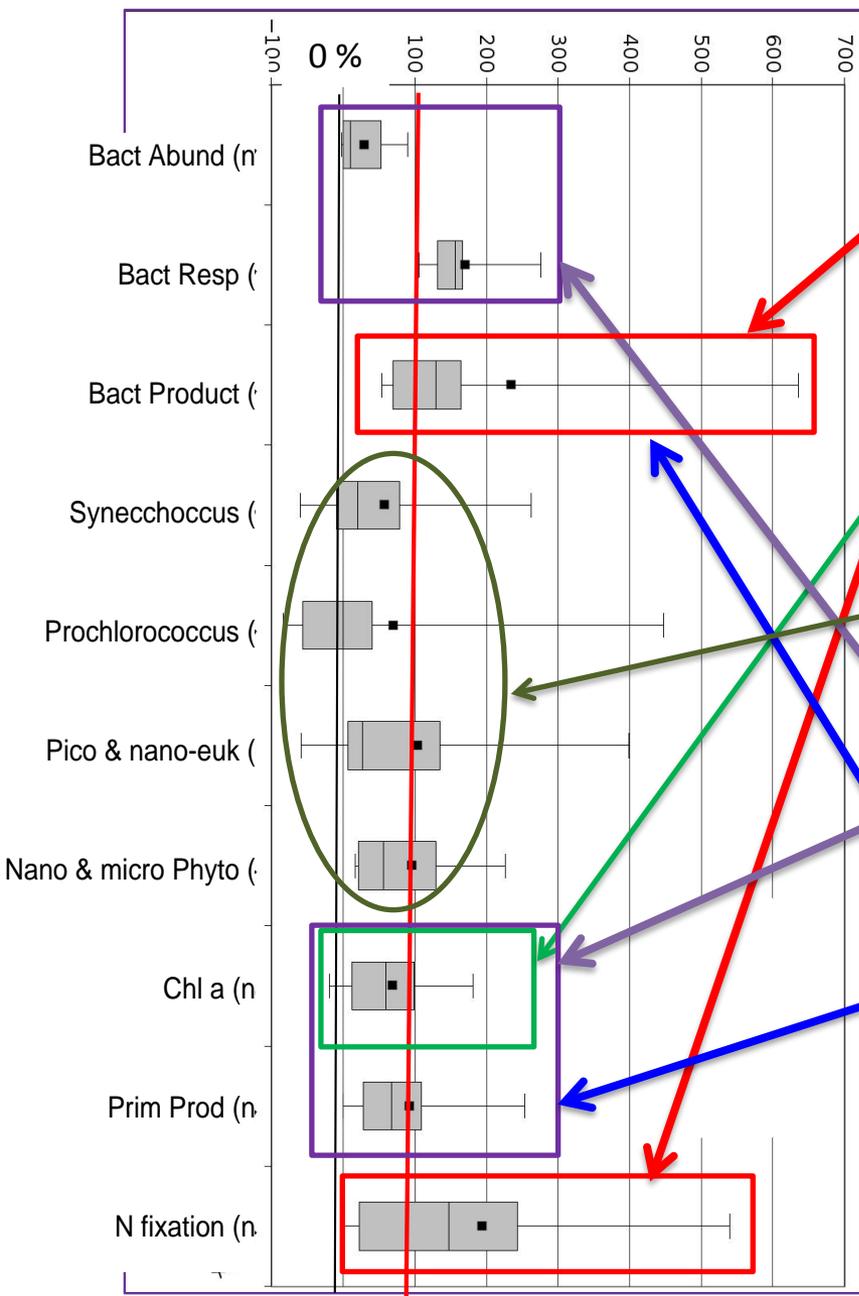
≠ protocole expérimental

≠ 'type' eaux testées (MOD etc)

***MAIS Réponse positive aux ajouts d'aérosols***

Box-Whisker plots (box portion = interquartile range (25th to 75th percentile) of the data set. Horizontal bar within the box = median value. Black square = mean value. Also represented maximum and minimum values)

# Impact: la réponse des expériences



Plus fortes réponses:

Production bactérienne (+230 %)

Fixation de N<sub>2</sub> (+190%)

Augmentation de Chl a (66%) mais on reste dans des eaux de type oligotrophes (Chl a < 0.07 mg m<sup>-3</sup>)

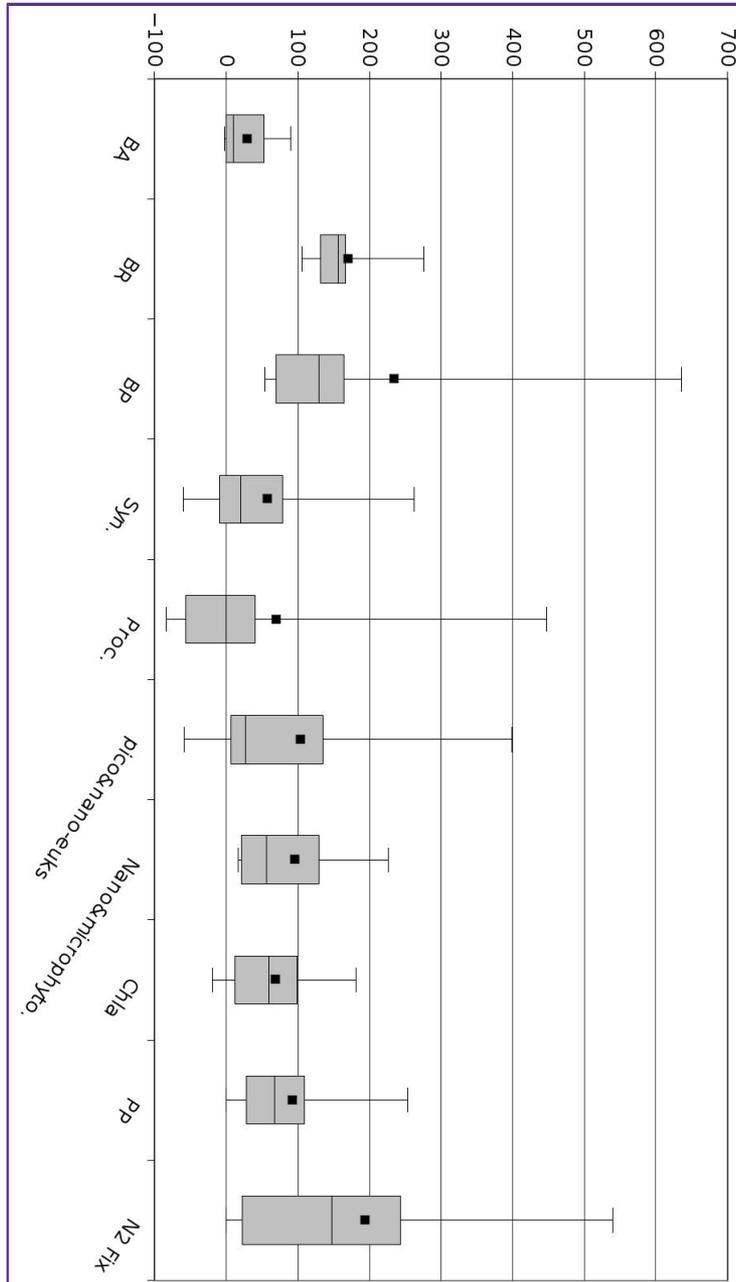
Des réponses différentes selon les groupes phytoplanctoniques (lien avec des composés toxiques associés aux aérosols par ex.)

Réponse 'Abondance' toujours < Réponse 'taux métabolique associé' (grazing)

Compétition entre les bactéries et le phytopk pour les éléments nutritifs nouveaux.

Bactéries = 'key players' in LNLC: stimulation BP = 2x stimulation PP

# Impact: la réponse des expériences

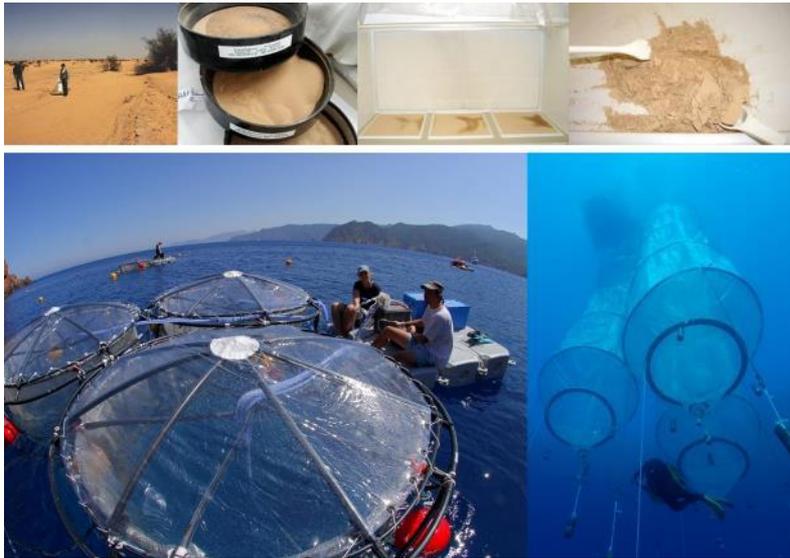


Ces études expérimentales réalisées sur des courtes échelles de temps = representative d'événements 'pulses'

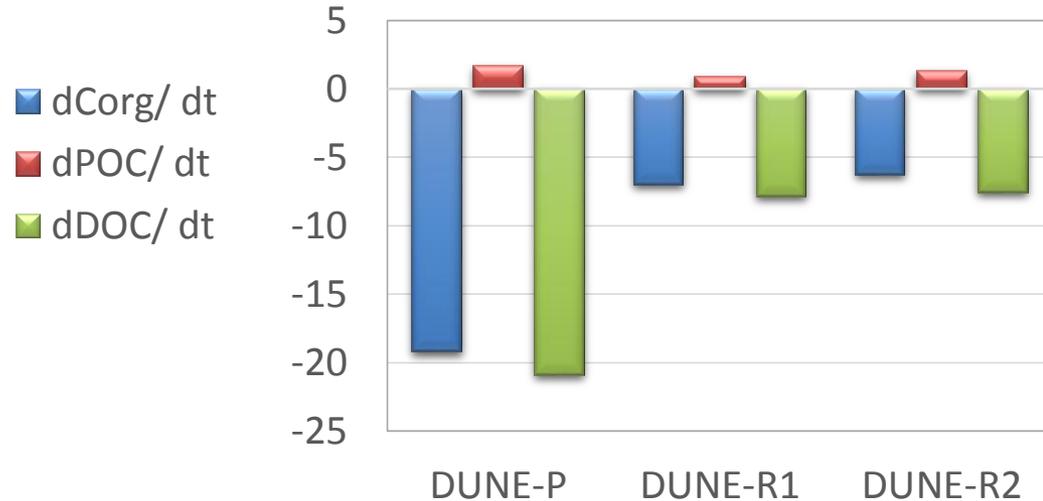
→ role important du dépôt atmosphériques sur les écosystèmes LNL

En particulier, ont montré l'impact sur les **bactéries hétérotrophes** et **la diazotrophie**

# Un exemple: impact dust sur bilan de carbone, projet DUNE, (DUst experiment in a low Nutrient, low chlorophyll Ecosystem)

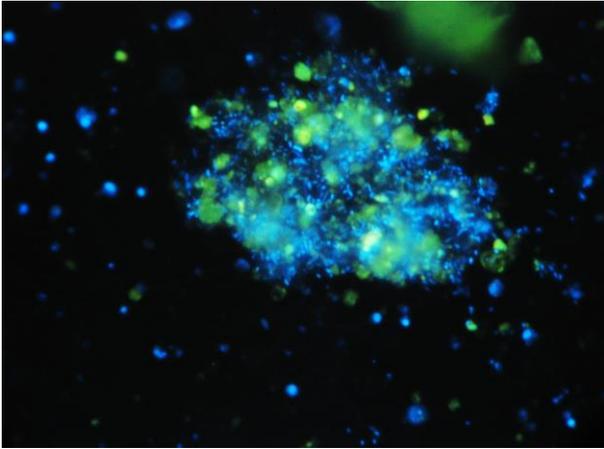


INDUCED CARBON CHANGES (in g over whole mesocosm and over 7 days)

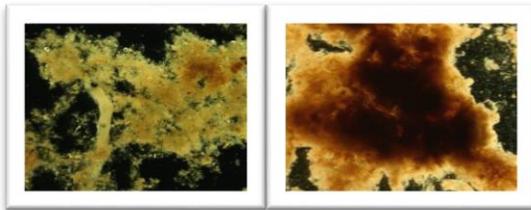


Les changements sur 7 jours du pool de carbone total dans les mésocosmesensemencés = PERTE DE CARBONE dominée par la respiration bactérienne qui était 5-10 fois plus grande que tous les autres termes du budget

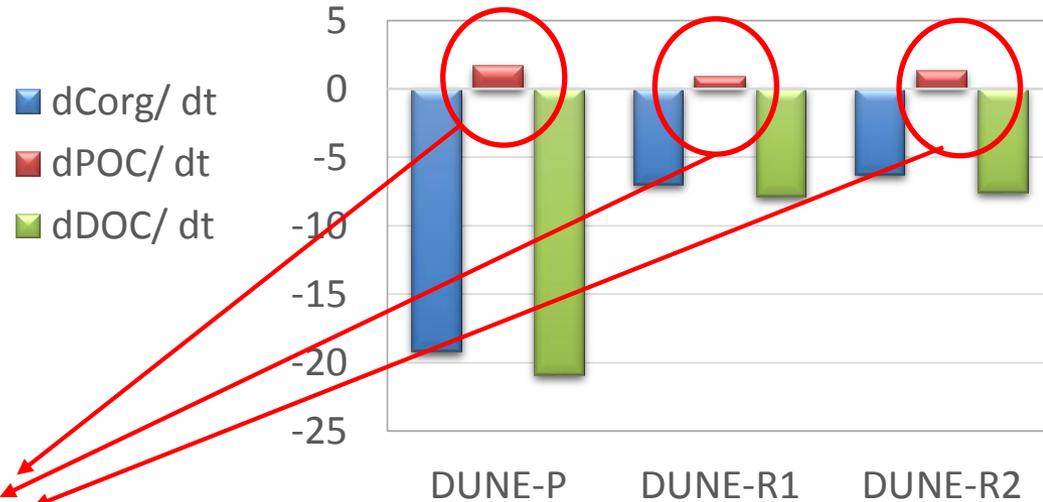
# Un exemple: impact dust sur bilan de carbone, projet DUNE, (DUst experiment in a low Nutrient, low chlorophyll Ecosystem)



Le compartiment bactérien = un rôle clef dans l'impact des dépôts atmosphériques en zone LNLC



INDUCED CARBON CHANGES (in g over whole mesocosm and over 7 days)



MAIS le système est capable d'exporter POC du a **agrégation entre dust et DOM** → un processus à prendre en compte

# Impacts: la réponse des modèles

*Excepté la prise en compte du fer, très peu de modèles ont étudié le rôle des dépôts atmosphériques comme source d'éléments (micro) nutritifs nouveaux*

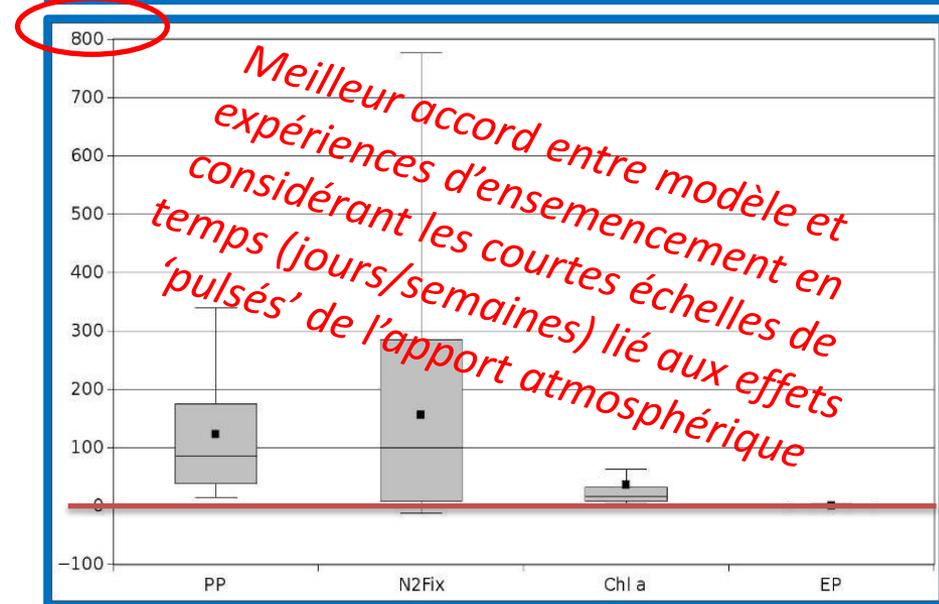
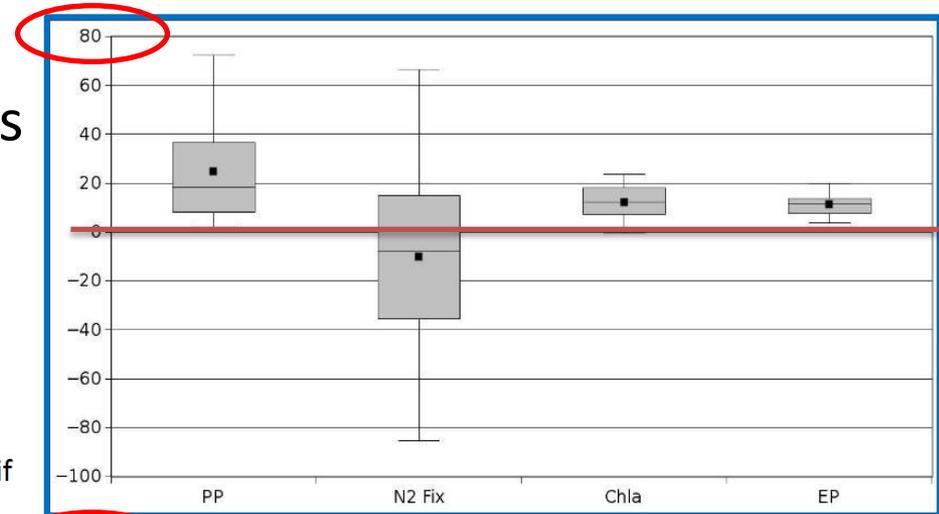
- ✓ Modèle physique NEMO couplé à modèle biogéochimique PISCES
- ✓ Réponse à différents scénarios de changements des dépôts atmosphériques (pas de dépôt, dépôt 'climatologie' x 5 pour N, P, Fe, individuellement et tous, + dust pulse....)
- ✓ Impact à l'échelle des zones LNLC
- ✓ → comparaison [modèle + dépôt climato] VS [modèle + climato + pulse]

# Impact: la réponse des modèles

Modèle utilisant climatologie dépôts  
→ réponses beaucoup plus faibles  
que dans les approches  
expérimentales

Changement relatif  
maximal (en %)  
observé sur une  
année

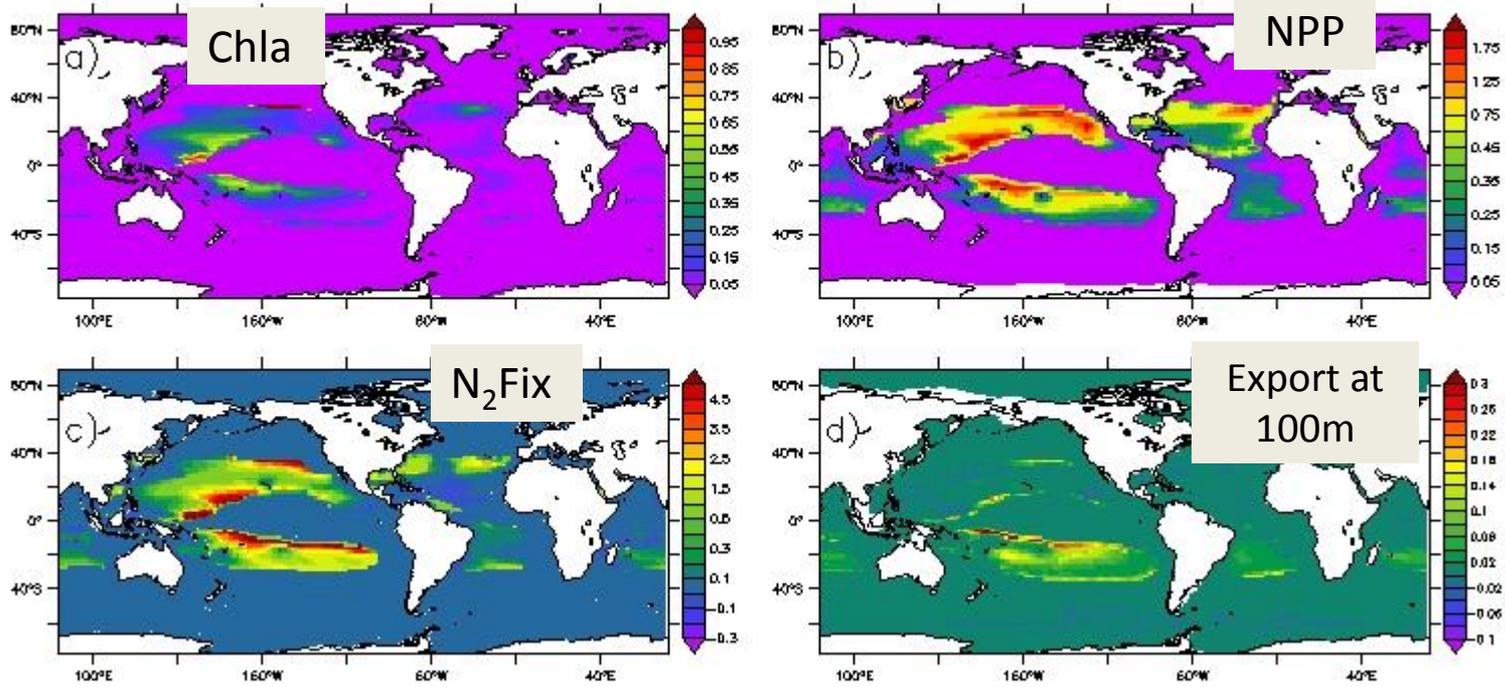
Modèle utilisant climatologie dépôt  
**+ superposé un fort pulse dust (1  
jour) (intensité idem expériences  
bioassay)**



Ces résultats suggèrent que l'impact des dépôts sur les zones LNLC a été jusqu'alors sous-estimé par les modèles

# Impact: la réponse des modèles

Quel impact in situ (0-100m) suite pulse dust? → changement relatif maximum



- Réponse: forte variabilité spatiale dues aux très variables conditions physiques et biogéochimiques dans les régions LNLC
- Réponse: rapide mais effet limité dans le temps: qq jours à 2 semaines
- Réponse ne modifie donc pas le système sur le long terme (par ex. une augmentation de PP de 100% sur 7 jours → changement de 2% de la PP annuelle

Le modèle indique donc que l'effet 'instantané' dû à un pulse unique est fort mais que l'effet annuel est faible

# Comment consilier ces résultats différents?

*En fait, chaque approche doit être considérée et renforcée, en lien avec l'autre*

## Expériences

Identification des processus et mécanismes importants et non encore pris en compte dans les modèles → paramétrisation

Mais effort doit être fait pour améliorer les simulations des perturbations (conditions réalistes de dépôt, type d'aérosols utilisés, considération d'une large variété de conditions initiales.

temps trop courts, volumes trop petits, dim verticale non prise en compte, pour prendre en compte les effets 'cascade', les shift d'une limitation à une autre, les effets sur les flux ne peuvent pas être vus très correctement

→ extrapolation à échelle de temps et d'espace longs doit être extrêmement prudente

## Modèles

Seule façon d'aborder la grande échelle et la prédiction.

Mais problèmes des processus pris en compte, de leur paramétrisation

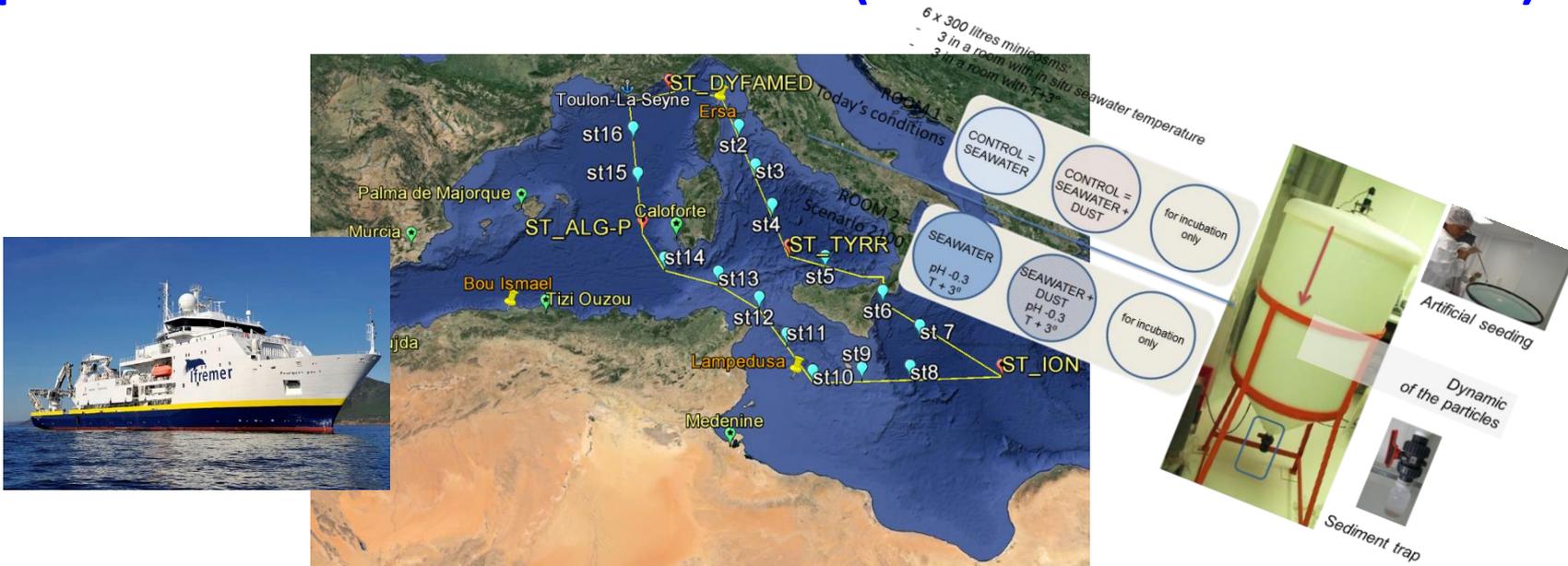
Nécessité de faire évoluer les modèles vers **plus de complexité**, par ex.:

- Augmenter le nombre de groupes fonctionnels (réponses exp. étant différentes)
- Besoin de représenter la compétition entre le phytoplancton et les bactéries hétérotrophes
- La stoichiométrie variable des nutriments atmosphériques devrait être prise en compte dans des modèles de type 'non-redfieldien'

# Recommandations pour les recherches à venir

- Améliorer les bases de données des flux de dépôt des (micro)nutritifs à l'océan
  - Améliorer (construire!) les bases de données des concentrations en éléments (micro)nutritifs dans les eaux de surface de l'océan → utiliser des techniques nanomolaires de colorimétrie à long chemin optique et faire des bonnes mesures à bord des campagnes en particulier dans les eaux oligotrophes
  - Combiner des approches de terrain et de laboratoire pour mieux paramétrer les processus clefs mis en jeu et pouvoir les inclure dans les modèles; notamment établir les **formes chimiques des nutritifs atmosphériques**, et faire le lien avec leur **biodisponibilité**; également quantifier le **ballastage du carbone organique** par les particules atmosphériques désertiques
- **La coordination de ces efforts entre expérimentateurs et modélisateurs est donc fondamentale** pour faire avancer nos connaissances mais également arriver à prédire les interactions entre les dépôts naturels et anthropiques, les structures des communautés et les cycles biogéochimiques de ces zones abritant les plus grands écosystèmes sur terre.

# Combiner les travaux expérimentation et modélisation dès la conception du projet: PEACETIME: Process studies at the air-sea interface after dust deposition in the Mediterranean Sea (SOLAS-IMBER-GEOTRACES)



Caractérisation continue et simultanée air et eau	Traquer un évènement saharien	Etudes de processus in situ et 'microcosmes' → paramétrisation processus
---	-------------------------------	--

Décrire et paramétrer les processus biogéochimiques et physiques en lien avec les apports atmosphériques



Couplage modèle atmosphérique de chimie-transport CHIMERE au modèle couplé dynamique-biogéochimie NEMO-Med12 / PISCES amélioré.