Kerguelen : Ocean and Plateau compared Study 2

Bernard Quéguiner

–

[1] Institut Méditerranéen d'Océanologie
Université d'Aix–Marseille/CNRS/IRD
bernard.queguiner@univ-amu.fr

Projet blanc ANR / SIMI6 2010

Mediterranean Institute of Oceanography

Institut Pythéas
Observatoire des Sciences de l'Univers
Aix*Marseille Université

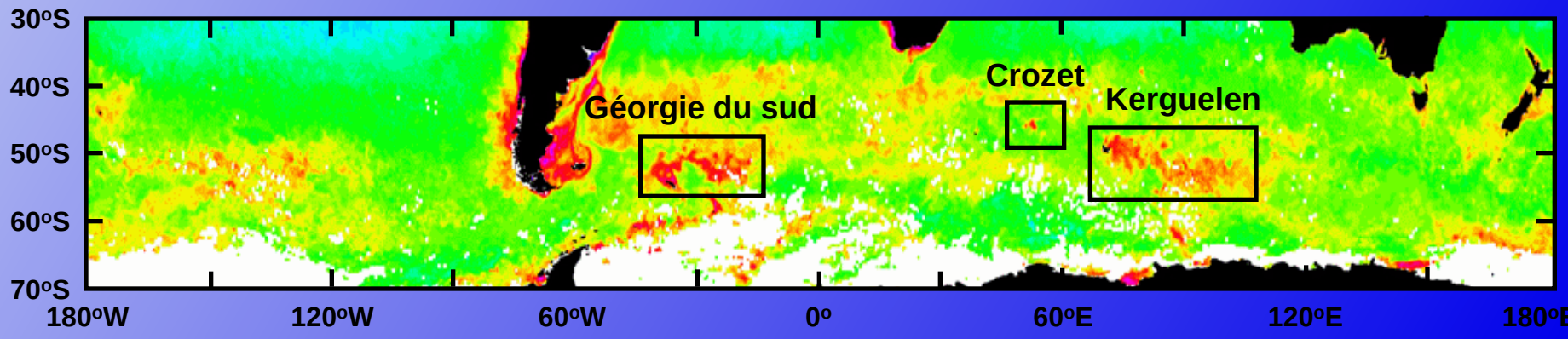
Kerguelen : Ocean and Plateau compared Study 2

Les partenaires :

Projet blanc ANR / SIMI6 2010

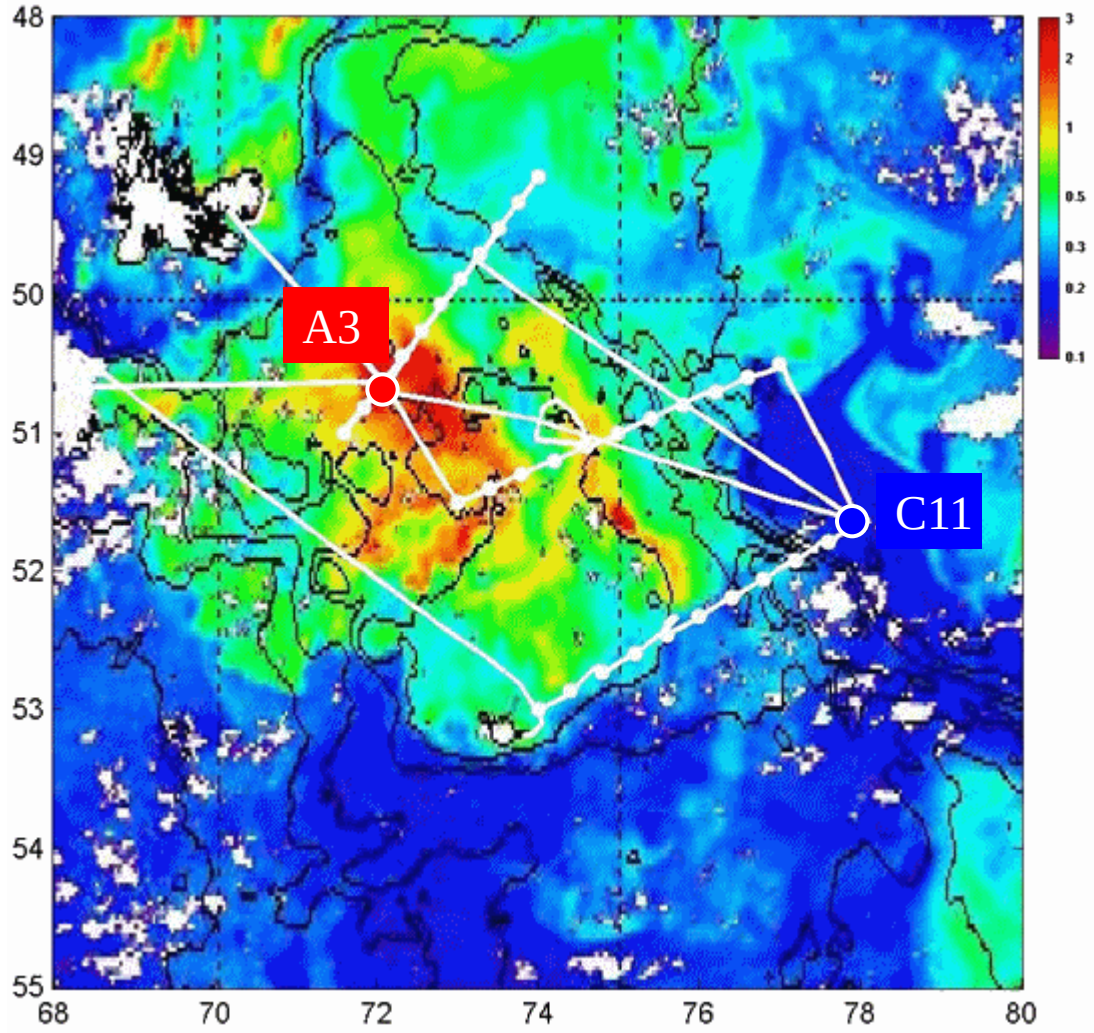
Le projet KEOPS a pour objectif d'étudier le rôle du fer dans la dynamique des flux biogéochimiques en milieu océanique, en particulier dans la capacité de l'océan à séquestrer le CO_2 atmosphérique.

L'Océan Austral est la plus vaste zone *HNLC (High Nutrient Low Chlorophyll)* de l'Océan Mondial. A l'intérieur de cet ensemble, les zones fertilisées par le fer sont des **laboratoires naturels** permettant d'observer l'action de ce nutriment sur la structure de communautés vivantes non (peu) perturbées par l'homme. Ces études apportent des informations pertinentes par rapport aux expériences réalisées par fertilisation artificielle.



(d'après Pollard *et al.*, 2007)

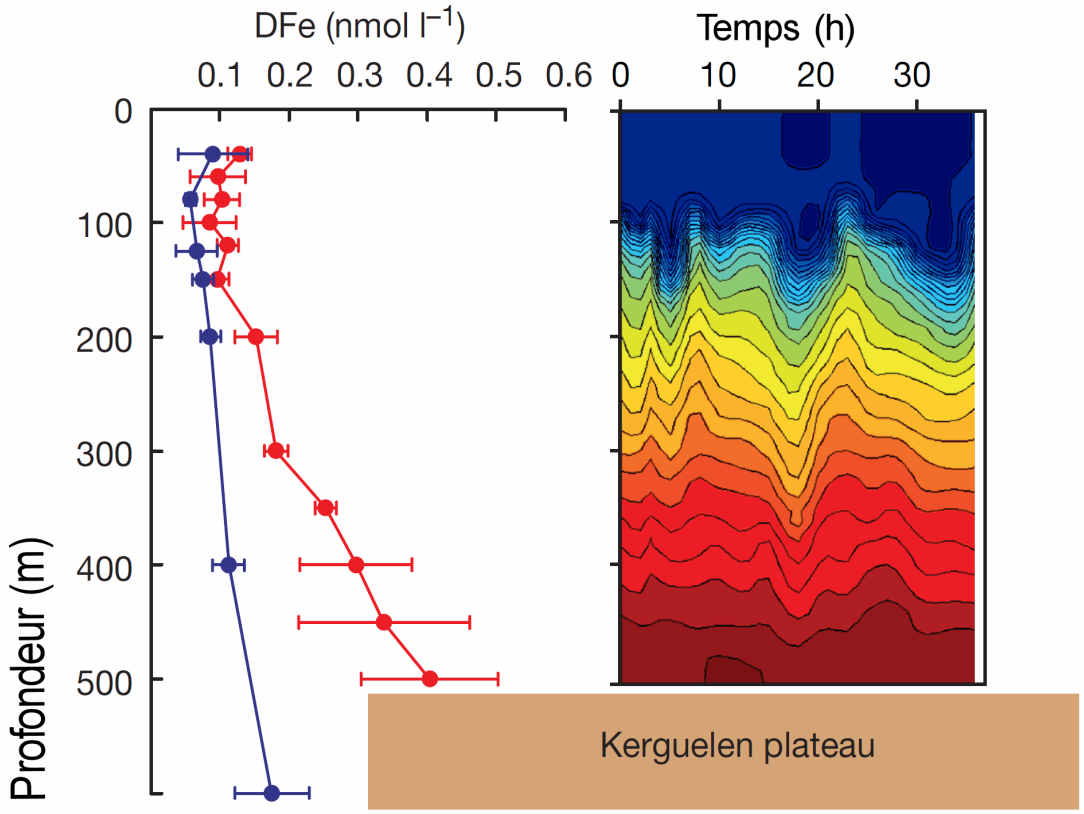
La stratégie de KEOPS 1 était basée sur la comparaison de deux stations contrastées, l'une située au centre de la zone de floraison du bloom SE du plateau de Kerguelen, l'autre située en zone *HNLC*.



A3 : station au centre du bloom SE

C11 : station de référence en zone HNLC

La première expérience (KEOPS 1, janvier-février 2005) a apporté des informations essentielles sur la façon dont le fonctionnement des écosystèmes et le cycle biogéochimique des éléments sont affectés par la fertilisation naturelle en fer.



Mécanisme de la fertilisation

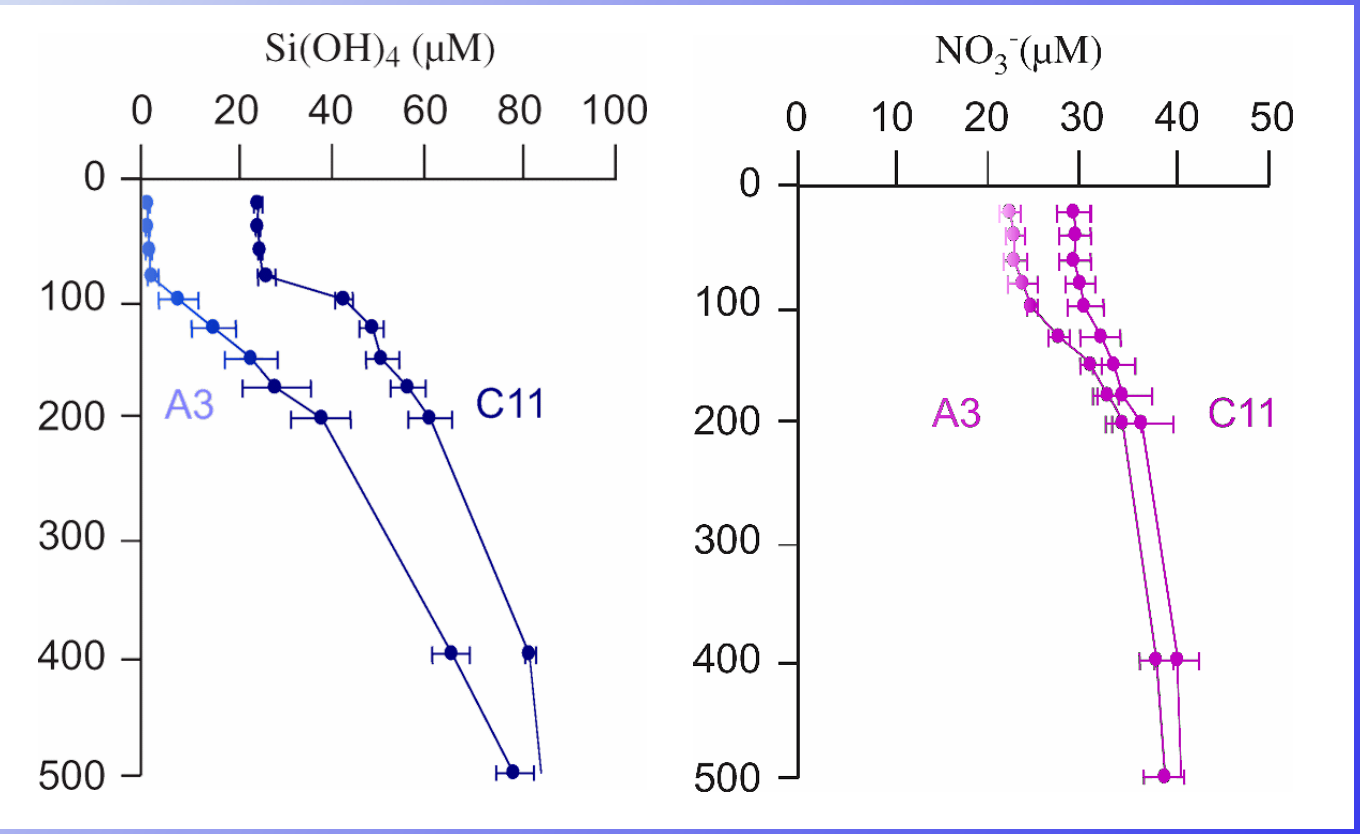
Intensification du mélange vertical dans la zone fertilisée liée à l'action des ondes internes,

combiné à un stock hivernal plus important de DFe et à un gradient vertical plus intense.

(Blain *et al.*, Nature, **446**, 2007)

KEOPS 1

Découplage de l'utilisation du nitrate et de l'acide silicique



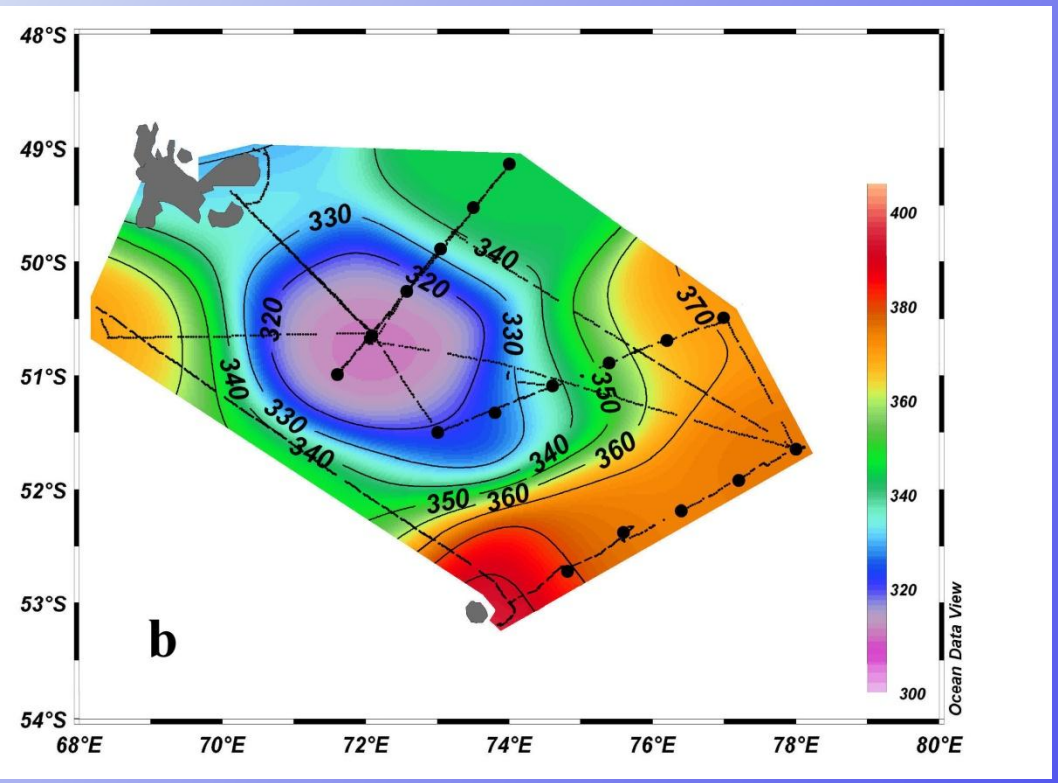
A la station C11 (référence *HNLC*), les faibles biomasses correspondent à des concentrations de surface élevées en H_4SiO_4, NO_3, et PO_4.

A la station fertilisée A3, l'acide silicique s'épuise alors que le stock de nitrate reste peu entamé,

(Mosseri *et al.*, DSR II, **55**, 2008)

KEOPS 1

Le puits de CO_2 dans la zone fertilisée

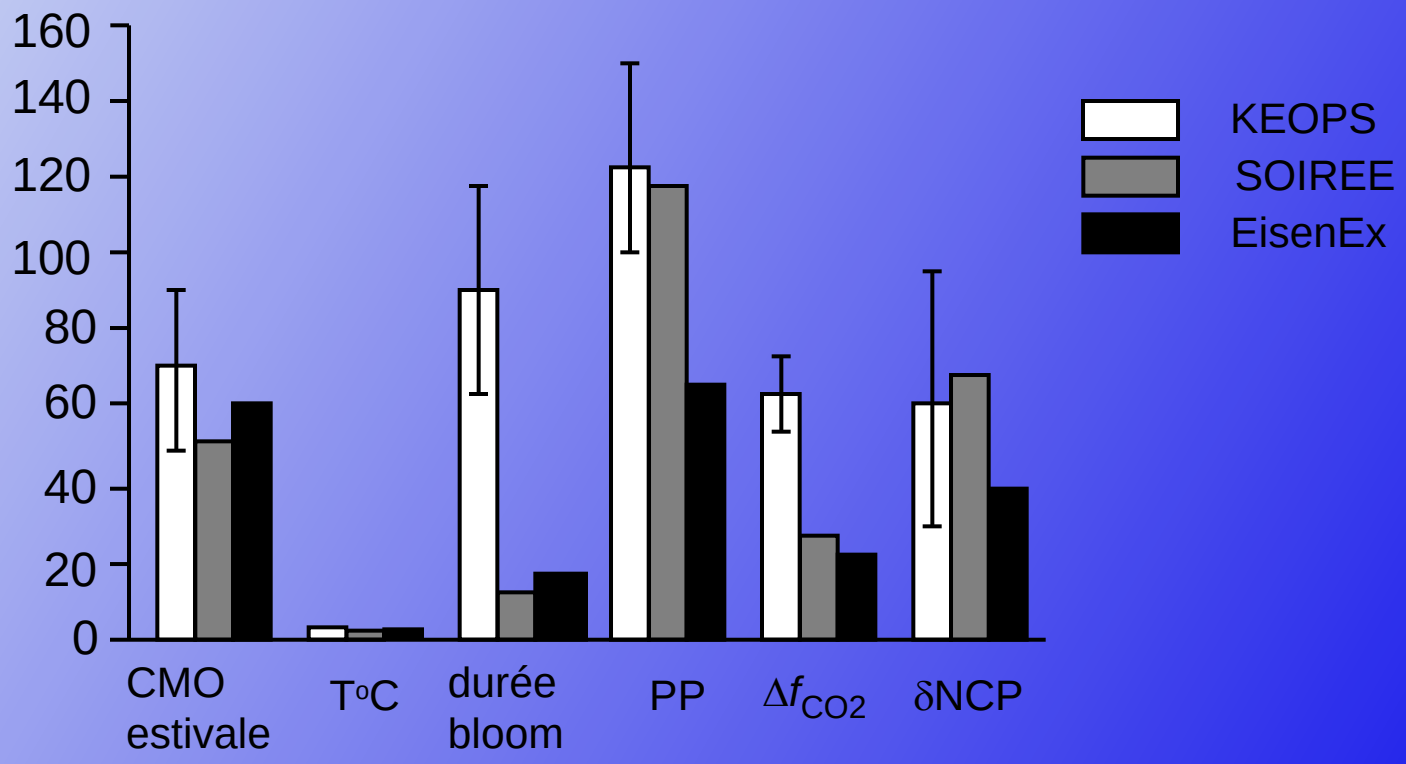


Le centre de la zone fertilisée est caractérisé par une faible fCO_2 (311 ± 78 μatm) et représente bien un puits intense de CO_2. Par comparaison, le domaine typiquement *HNLC* montre des valeurs proches de l'équilibre avec l'atmosphère (372 ± 75 μatm).

(Jouandet *et al.*, DSR II, 2008)

KEOPS 1

Comparaison avec les expériences de fertilisation artificielle



La diminution de fCO_2 au cours du bloom de Kerguelen est deux fois supérieure à ce qui est enregistré dans les expériences de fertilisation artificielle.

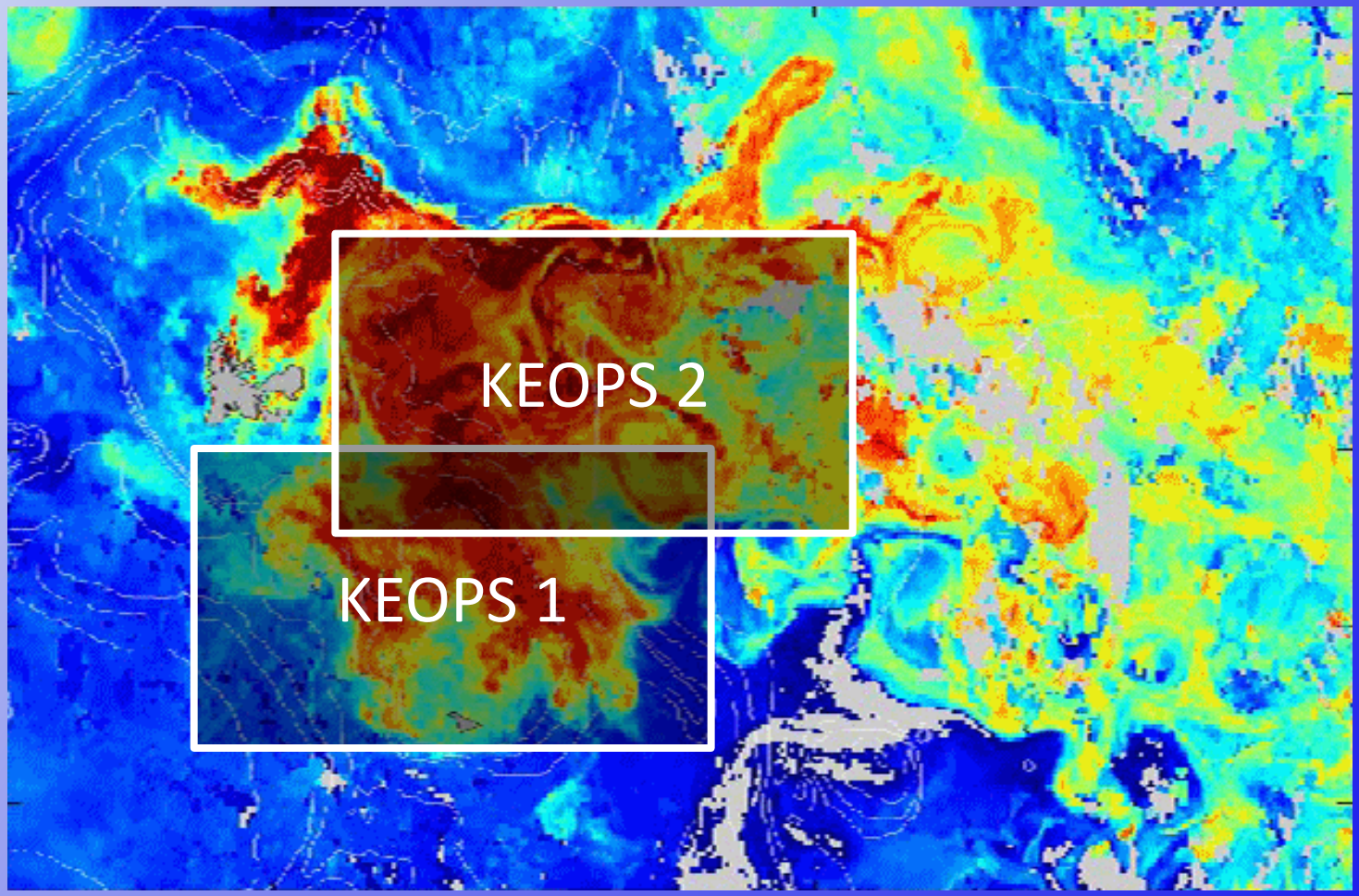
(Blain *et al.*, Nature, **446**, 2007)

La seconde expérience (KEOPS 2, octobre-novembre 2011) a été axée sur l'étude du bloom NE. Il s'est en effet révélé important d'étudier les effets de la fertilisation naturelle sur un écosystème hauturier.

De nouvelles questions :

1) Quels sont les mécanismes d'apport de fer dans la zone fertilisée au NE de Kerguelen et quels sont les processus qui retiennent le fer biodisponible dans les eaux de surface? Sur quelles échelles temporelles se produisent-ils?
2) Quel est le degré de couplage/découplage entre les cycles biogéochimiques (Fe, C, N, P, et Si) dans la région fertilisée?
3) Peut-on caractériser les voies qui mènent à la reminéralisation ou à l'exportation verticale de la matière organique produite dans les eaux de surface?
4) Comment la diversité biologique est-elle affectée par une fertilisation naturelle en fer?
5) Quelle est la variabilité aux échelles saisonnière et annuelle des blooms phytoplanctoniques autour de Kerguelen?

La seconde expérience (KEOPS 2, octobre-novembre 2011) a été axée sur l'étude du bloom NE. Il s'est en effet révélé important d'étudier les effets de la fertilisation naturelle sur un écosystème hauturier.

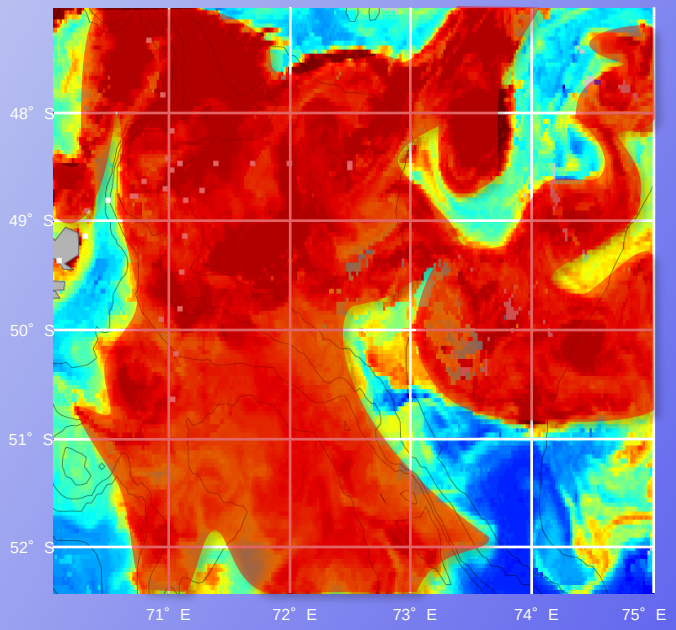


Les échelles spatiales des expériences de fertilisation par le fer : naturel *vs.* artificiel

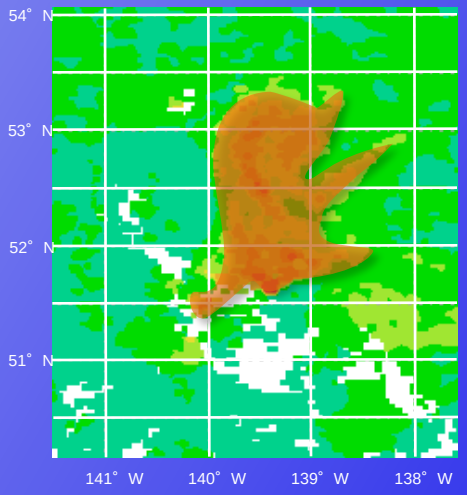
800 km^2, 35 jours

10 000 km^2, durée ?

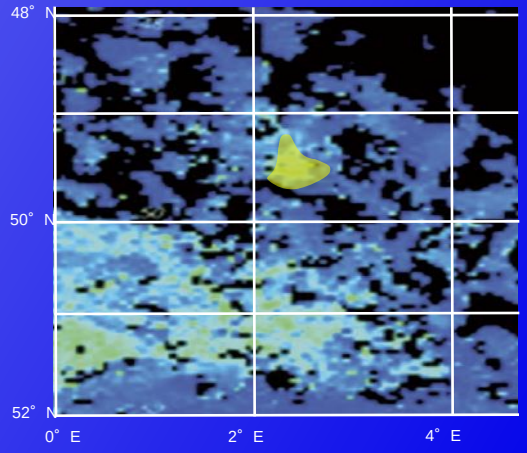
35 000 km^2, 3 mois de bloom et 3 mois de maintien à l'équilibre (bloom NE seul)



KEOPS 2

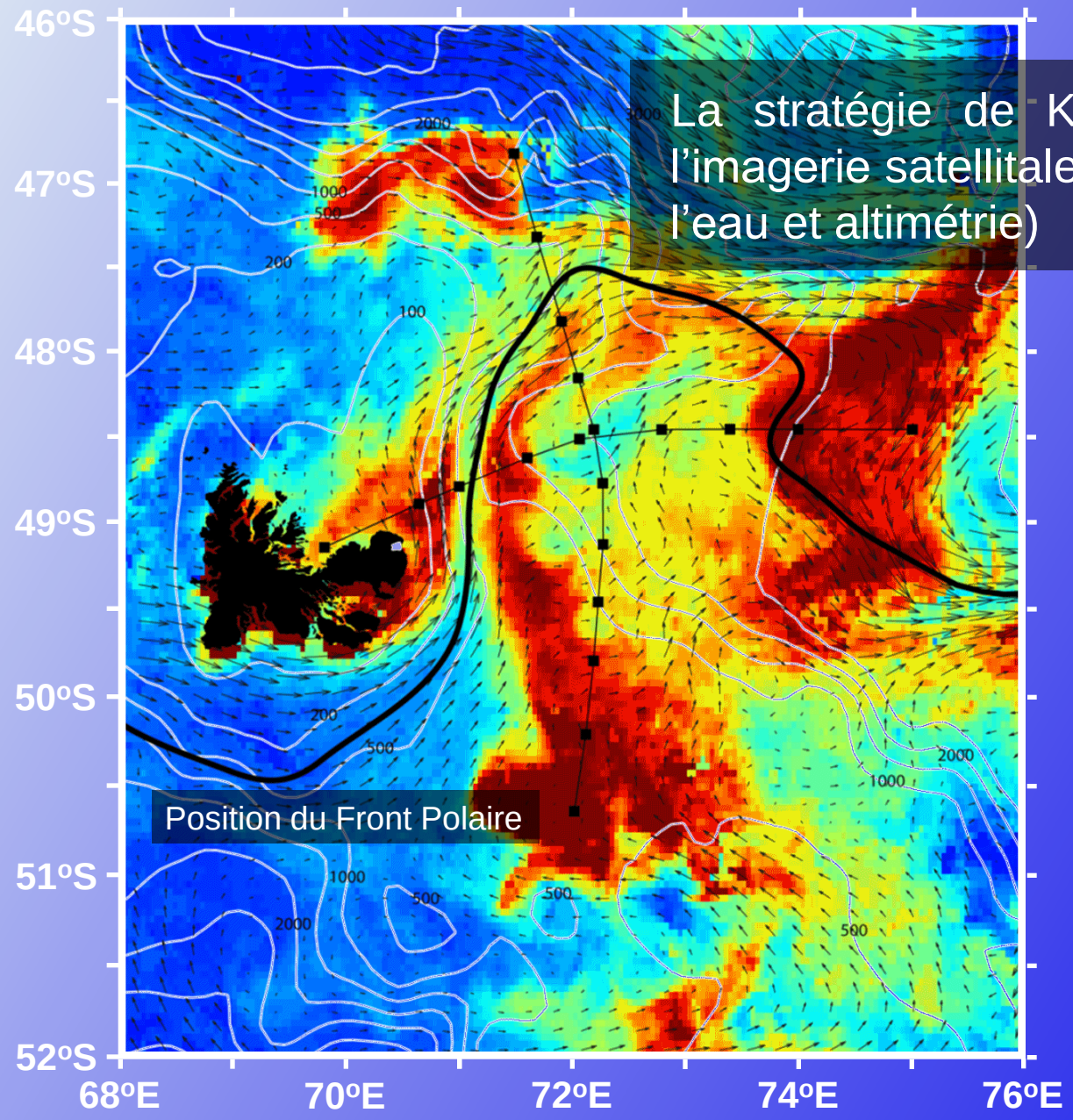


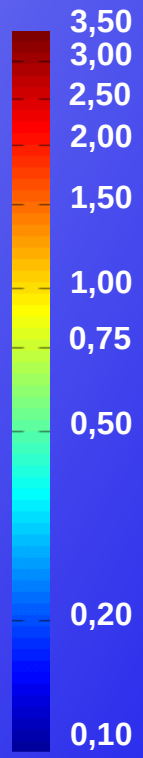
Fertilisation illégale du Pacifique en 2012



EIFEX 2004
(Smetacek *et al.*, 2012)

La stratégie de KEOPS 2 s'est basée sur l'imagerie satellitale en 'temps réel' (couleur de l'eau et altimétrie)





μg chlorophylle *a* L^{-1}

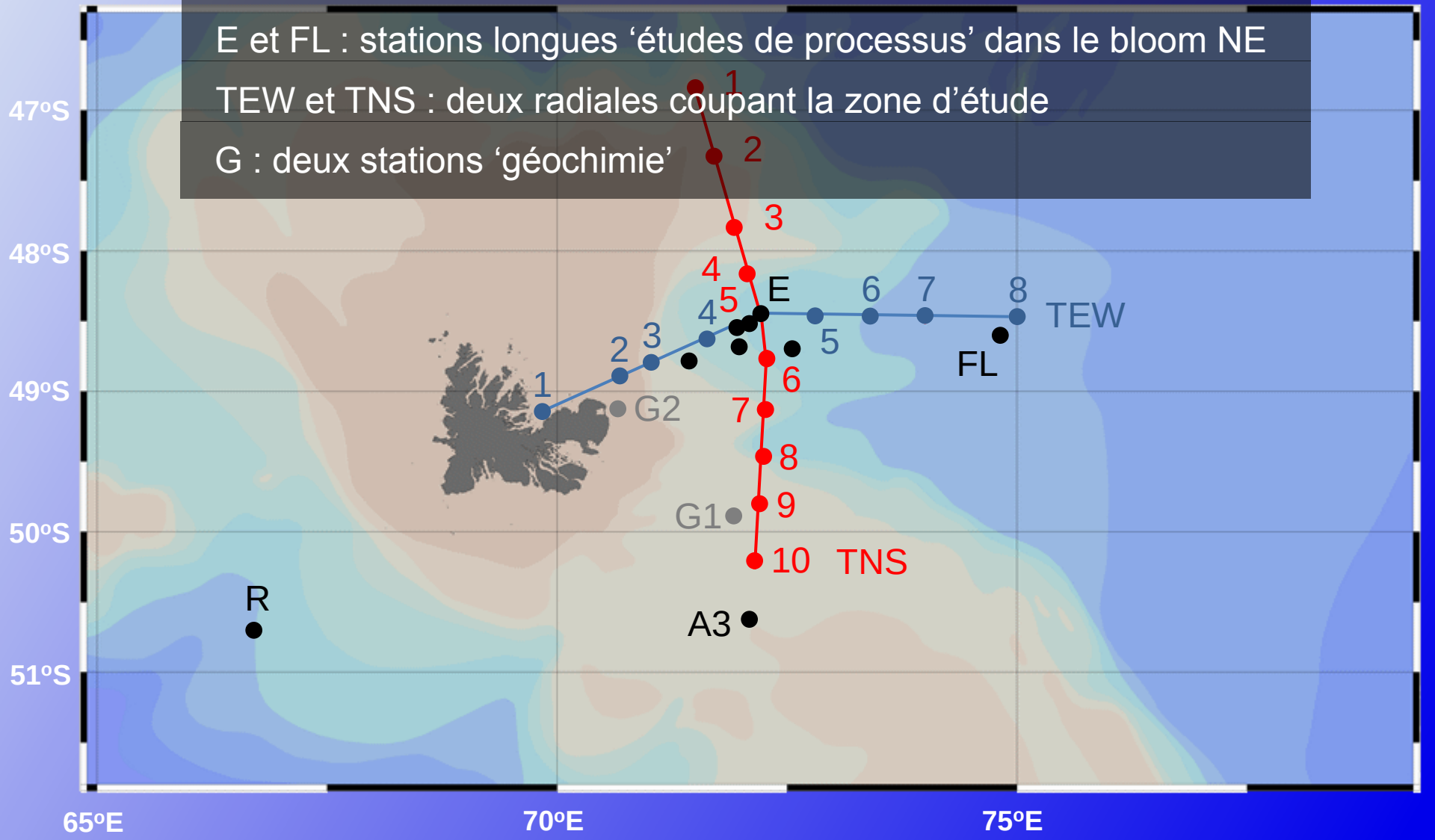
R : station de référence en domaine HNLC

A3 : station ‘historique’ du cœur du bloom SE de KEOPS 1

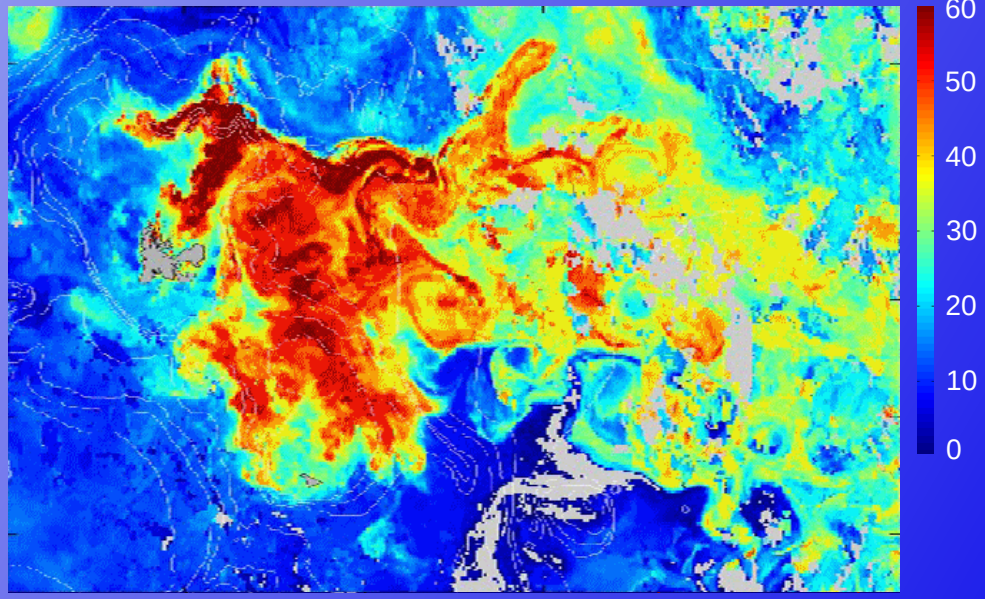
E et FL : stations longues ‘études de processus’ dans le bloom NE

TEW et TNS : deux radiales coupant la zone d’étude

G : deux stations ‘géochimie’



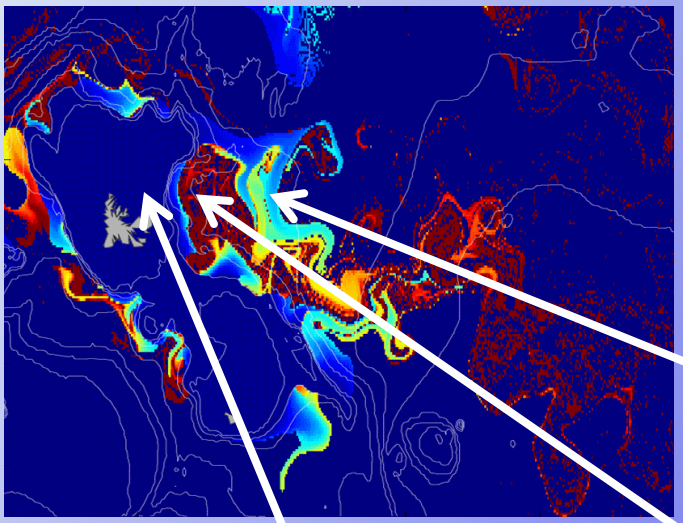
Les champs de courant dérivés de l'altimétrie ont été utilisés pour reconstruire les trajectoires et calculer l'âge au sein des masses d'eau.

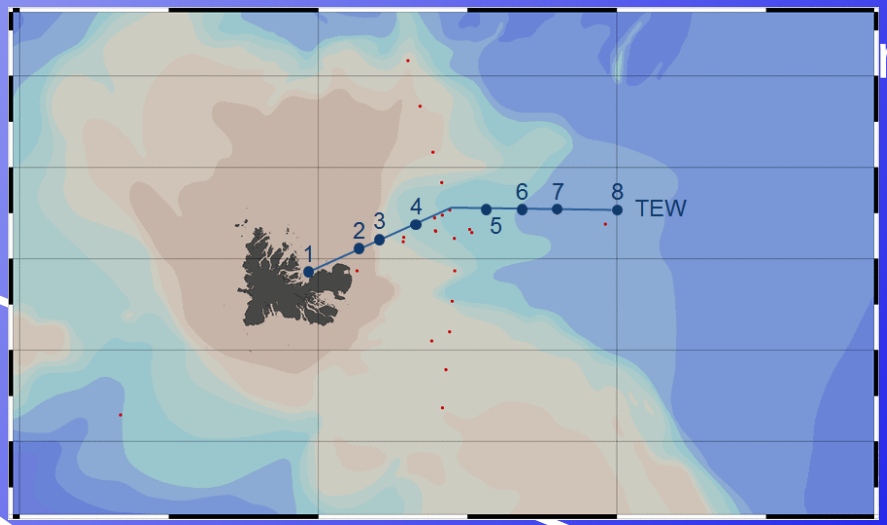


Temps écoulé depuis le dernier contact avec le plateau (2/12/2011)

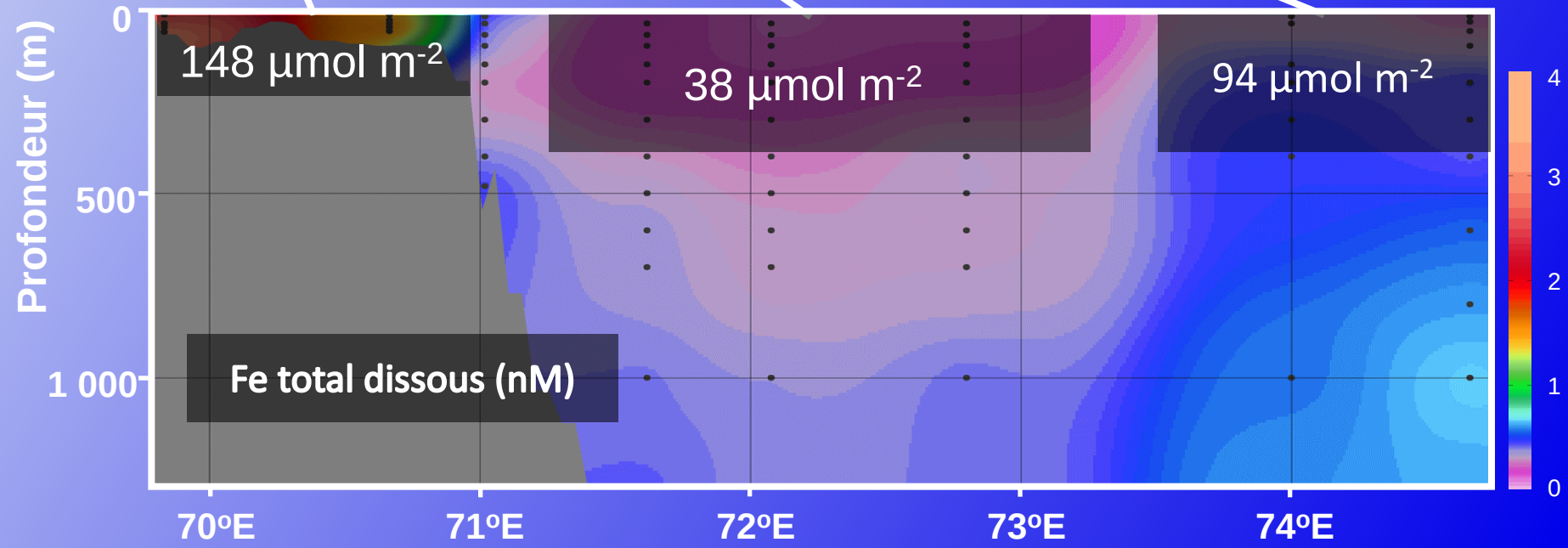
Les blooms se produisent dans les régions qui ont effectivement été en contact avec le plateau

Mécanisme de la fertilisation



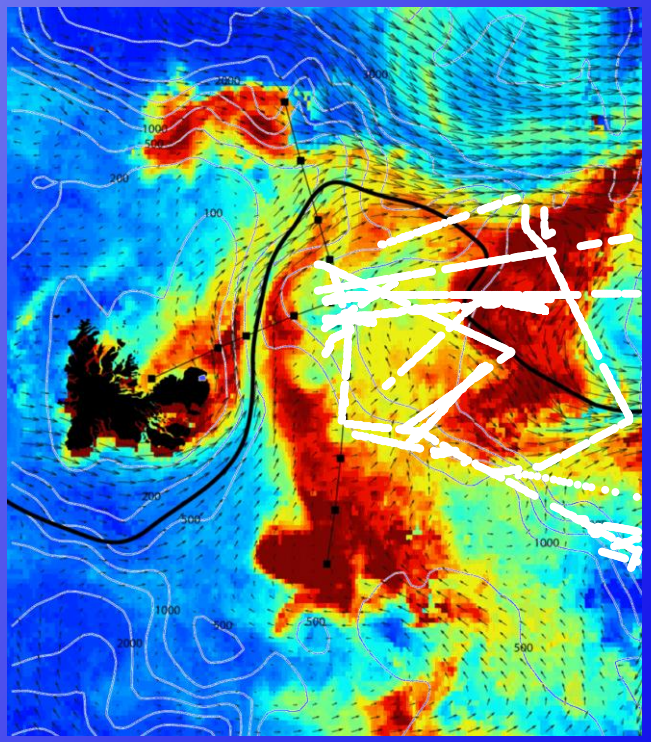


Stock hivernal

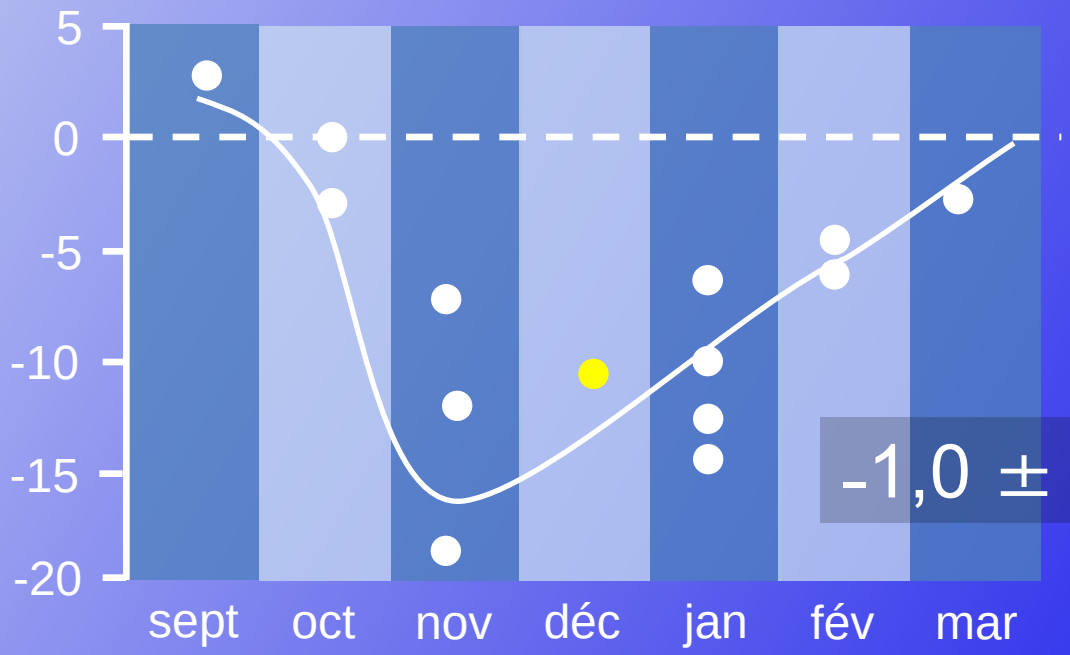


Puits de CO_2 – variabilité saisonnière

Compilation de 3000 évaluations des flux air-mer de CO_2 entre 1992 et 2012 dans la zone d'étude de KEOPS 2.
(stations profondes : z >900m).
(données du programme OISO - N. Metzl & C. Lo Monaco)



Flux de CO_2 air-mer
(mmol m^{-2} d^{-1})

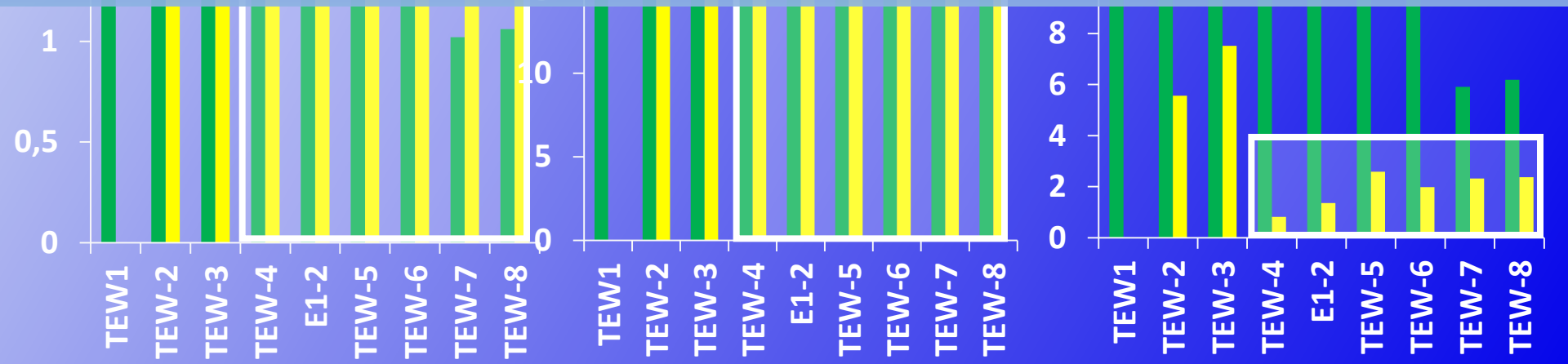


-1,0 ± 0,2 mol C m^{-2} an^{-1}

Utilisation des nutriments dans la couche de surface

Une remise en question de l'hypothèse du *'silicic acid leakage'*

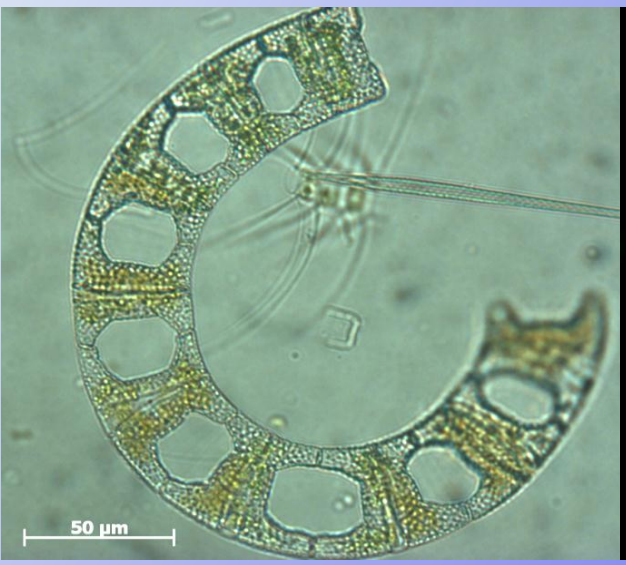
K., Matsumoto, J.L., Sarmiento and M.A., Brzezinski, 2002. Silicic acid leakage from the Southern Ocean: A possible explanation for glacial atmospheric pCO_2. Global Biogeochemical Cycles, 16(3): 10.1029/2001GB001442.

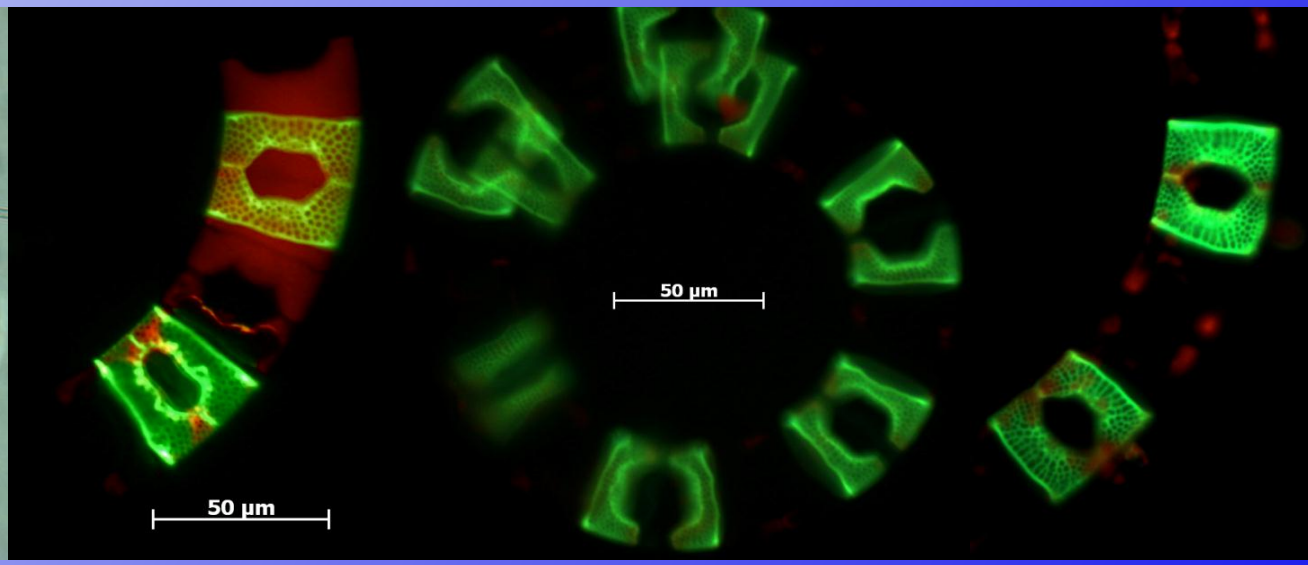


octobre –novembre 2011

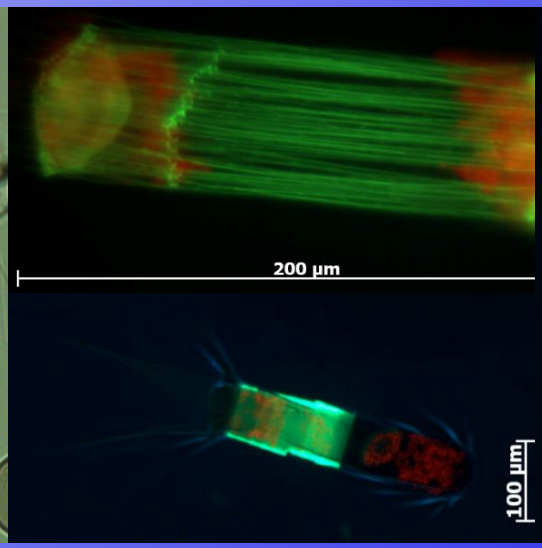
février 2012

L'acide silicique limite la croissance des diatomées, principales responsables du puits de CO_2.





Eucampia antarctica

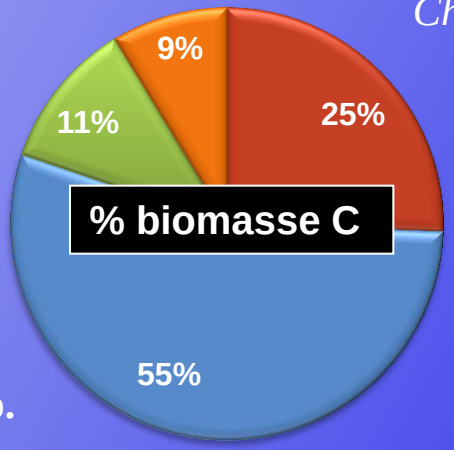


Corethron pennatum

F-L 75% PAR

Chaetoceros **subgenus** *Hyalochaetae*

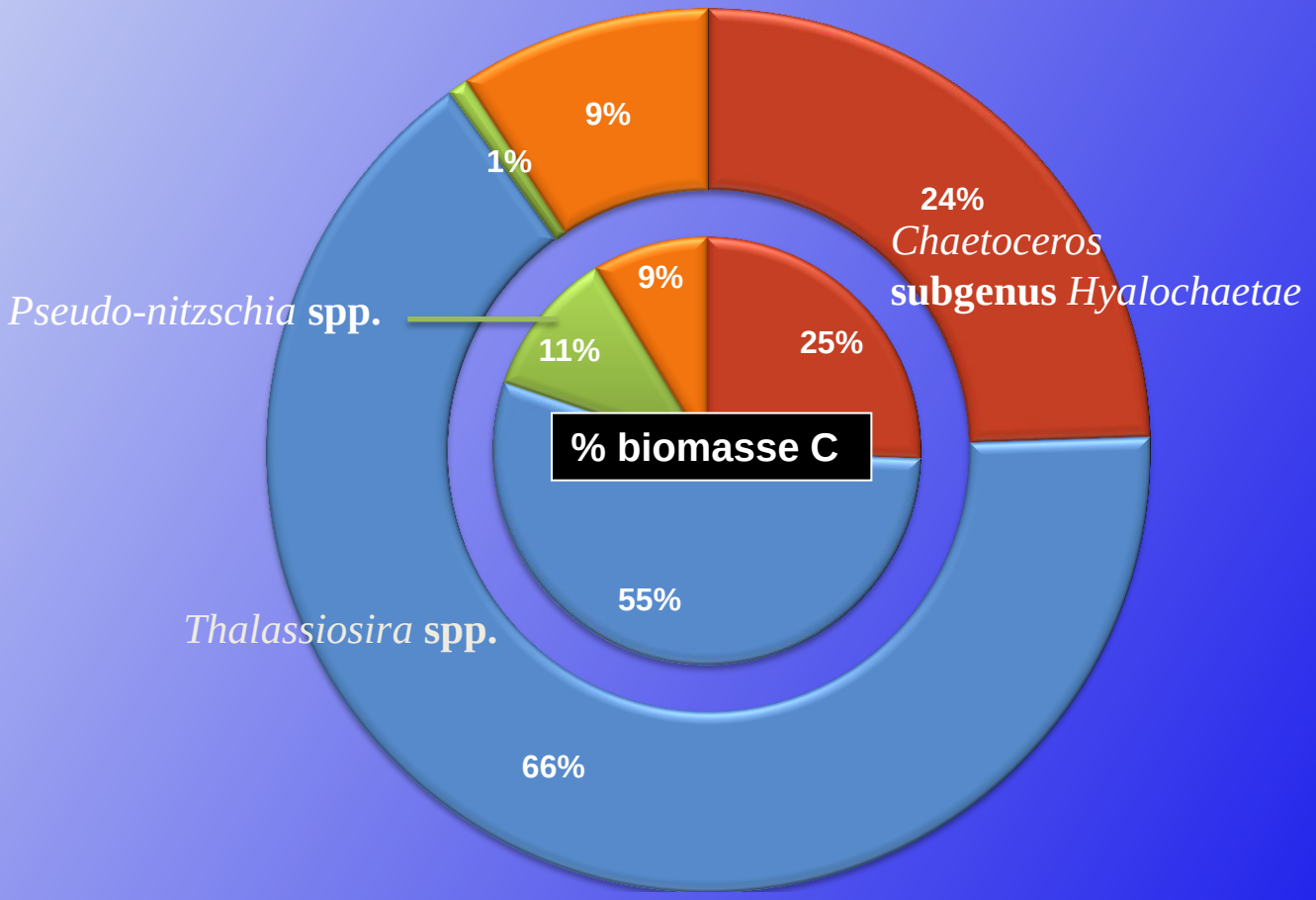
Pseudo-nitzschia **spp.**



Thalassiosira **spp.**

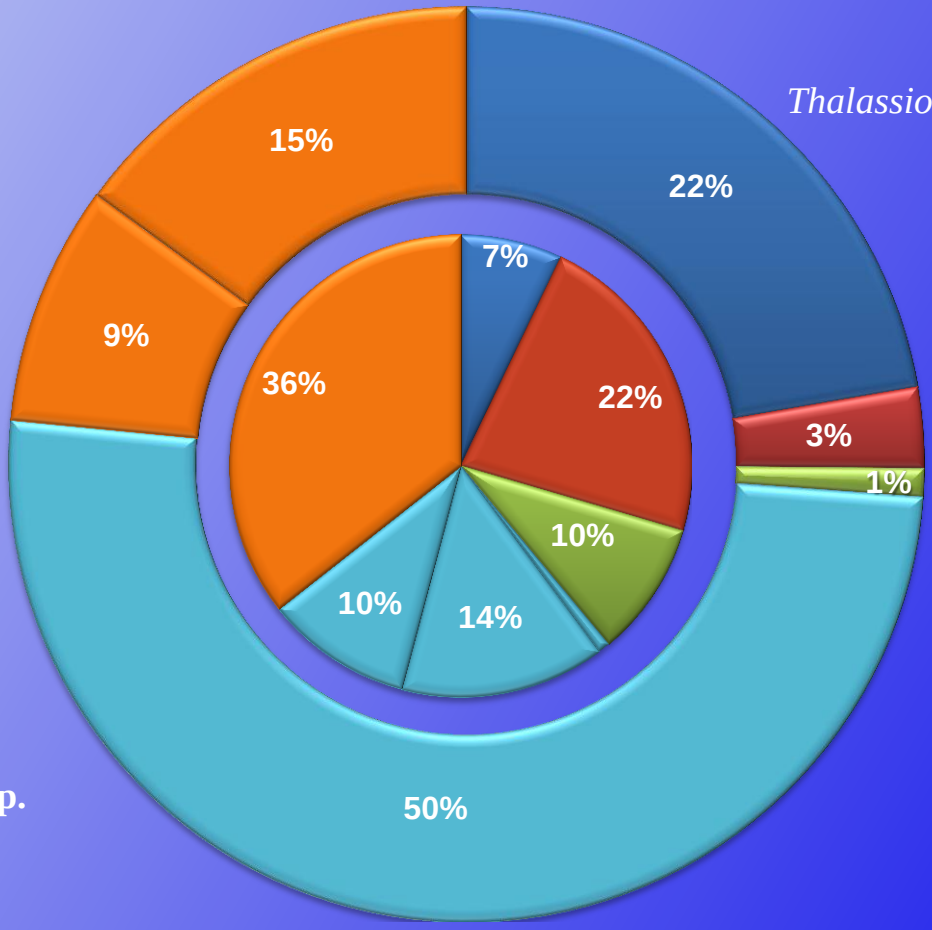
F-L

% contribution à la production de silice biogénique



Au niveau du Front Polaire, les espèces qui dominent la biomasse sont aussi les principales contributrices à la production de silice biogénique.

R2



Thalassionema nitzschioides **sp.**

Asteromphalus **sp.**

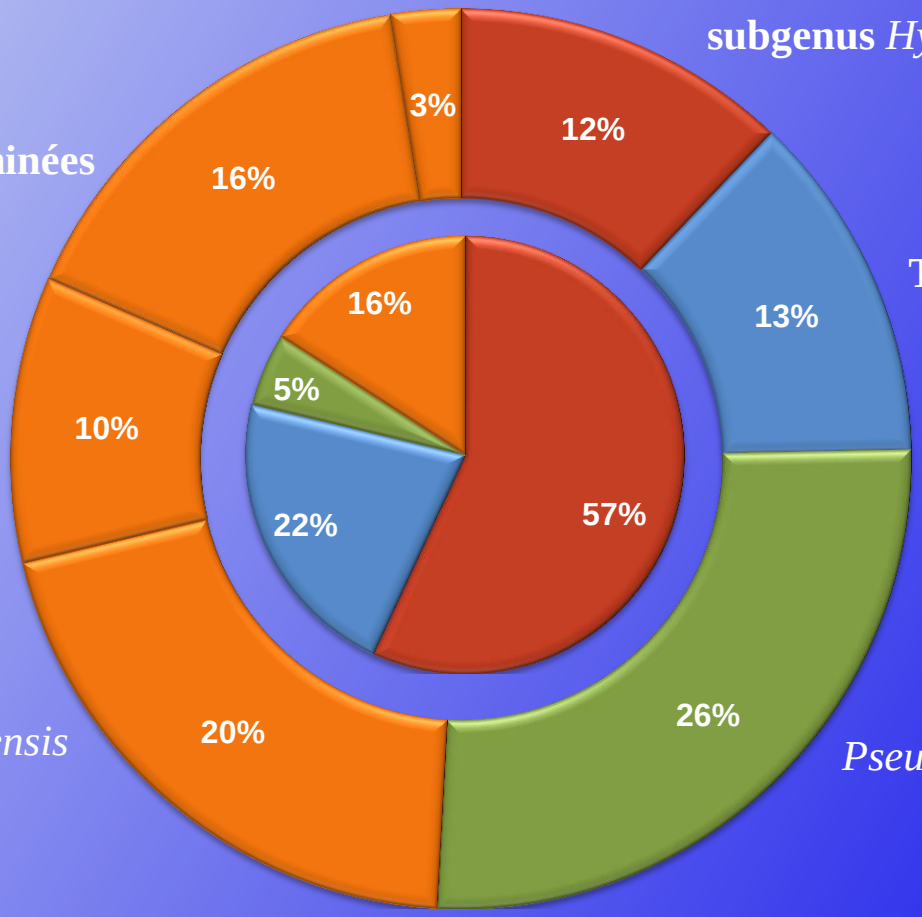
Centriques indéterminées

Fragilariopsis **spp.**

Rhizosolenia **spp.**

En zone HNLC, les espèces qui dominent la biomasse sont aussi les pricipales contributrices à la production de silice biogénique, à l'exception d'*Asteromphalus* sp. présentant une faible biomasse mais responsable de 24 % de la production de silice biogénique

A3-2



Dans le bloom du plateau (SE), le genre *Chaetoceros* subg. *Hyalochaete* qui domine la biomasse ne représente que 12% de la production de silice biogénique, tandis que *Fragilariopsis kerguelensis*, peu importante en treme de biomasse, assure 50% de la production de silice biogénique.

KEOPS 2 : Quelques conclusions préliminaires

Le projet KEOPS 2 a permis d'étudier de façon intensive les effets d'une fertilisation naturelle par le fer à des échelles spatiales et temporelles qui n'avaient pas encore pu être abordées.

A ces grandes échelles d'observation, la fertilisation par le fer se traduit par des blooms diversifiés formant un patchwork complexe de communautés phytoplanctoniques.

Cette complexité peut être réduite dans une approche biogéochimique globale en combinant les observations satellitales et l'acquisition de données in situ permettant d'établir des séries temporelles couvrant la variabilité saisonnière des processus.

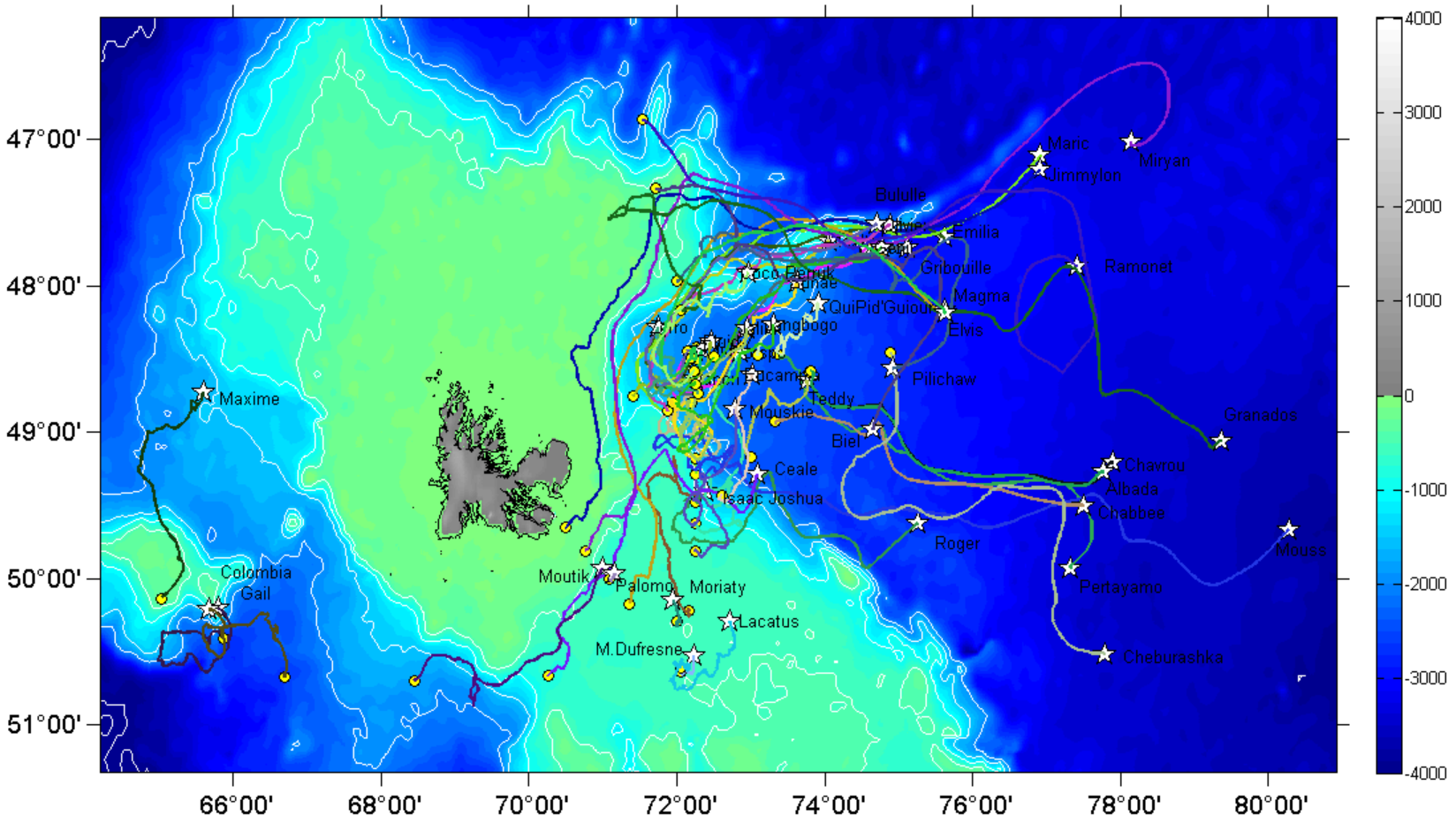
On peut aussi tirer partie de cette complexité pour explorer la variabilité de la réponse écosystémique à la fertilisation par le fer dans l'Océan Austral.

Un patchwork instrumental

- 120 profils CTD/rosette
- 30 profils de rosette “métaux” (*trace-metal clean*)
- 2 déploiements de mouillages de longue durée (PPS3s)
- 12 mises à l’eau de mouillages dérivants (PPS3s, *gel-traps*, IODAs)
- 42 déploiements de filets zooplancton Bongo
- 36 déploiements de filets à phytoplancton, dont 9 *Multinet*
- 16 mise à l’eau de profileur de turbulence TURBOMAP
- 7 déploiements de carottier sédimentaire multi-tubes

- 14 déploiements de pompes *in situ* (54h30mn de pompage)

- 56 largages de flotteurs dérivants (dont 2 bouées CARIOCA, 2 bouées Iridium, 49 drifters de la *NOAA*)



- Session spéciale du congrès ASLO 2013, *Session SS51: Iron, carbon cycling, and ecosystem dynamics in the Southern Ocean, co-conveniers:* S. Blain & B. Quéguiner (KEOPS 2), D. Wolf-Gladrow & V. Strass (*AWI/Eddy Pumping*) – 10 communications du programme KEOPS et 3 affiches),
- Un numéro spécial en préparation pour *Biogeosciences* (fin 2013),
- Un site web dédié hébergeant la base de données en cours de finalisation : http://www.obs-vlfr.fr/keops2/,
- Encore beaucoup d'analyses restant à effectuer en biogéochimie et surtout en ce qui concerne la biodiversité qualitative et quantitative.

Kerguelen : Ocean and Plateau compared Study 2