ICOP: Iron, Copper and Oceanic Phytoplankton
ANR n° 2010 JCJC 606 01

(PI: Eva Bucciarelli, MCF LEMAR)

LEMAR
laboratoire des sciences de l'environnement marin
UMR CNRS/UBO/IRD/Ifremer

6 CR/MCF, 3 PhD, 1 post-doc

LSCE
Laboratoire des sciences du climat & de l'environnement

1 DR, 1 CR, 1 post-doc

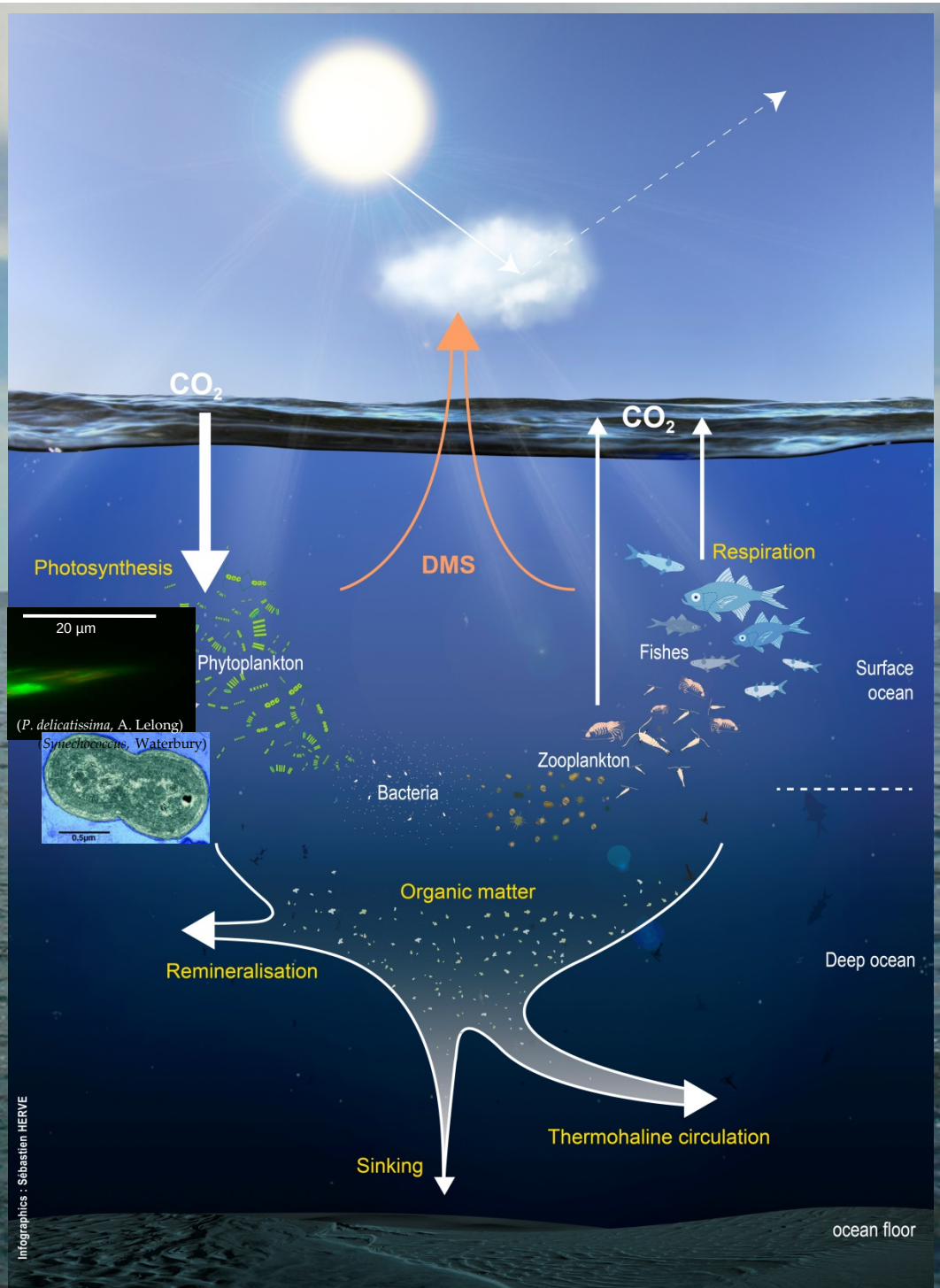
université de Caen Basse-Normandie
INEE
FRE3484 BioMEA

1 MCF, 1 IE

CONTEXTE GENERAL

Diatomées : 40% PP (Nelson et al., 1995)

Picophytoplancton : export de C (Richardson and Jackson, 2007)

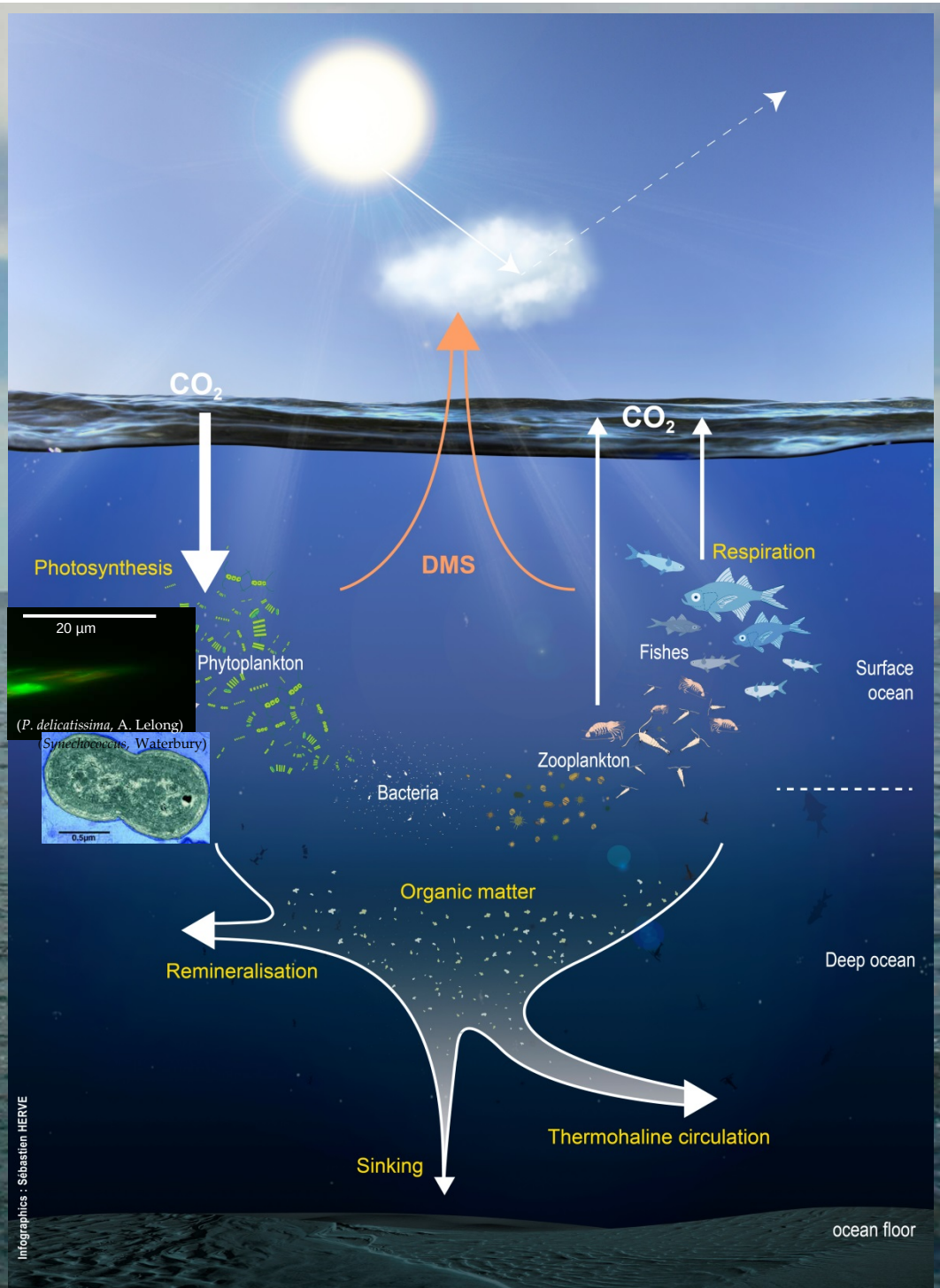


CONTEXTE GENERAL

Diméthylsulfoniopropionate (DMSP)
Diméthylsulfure (DMS)

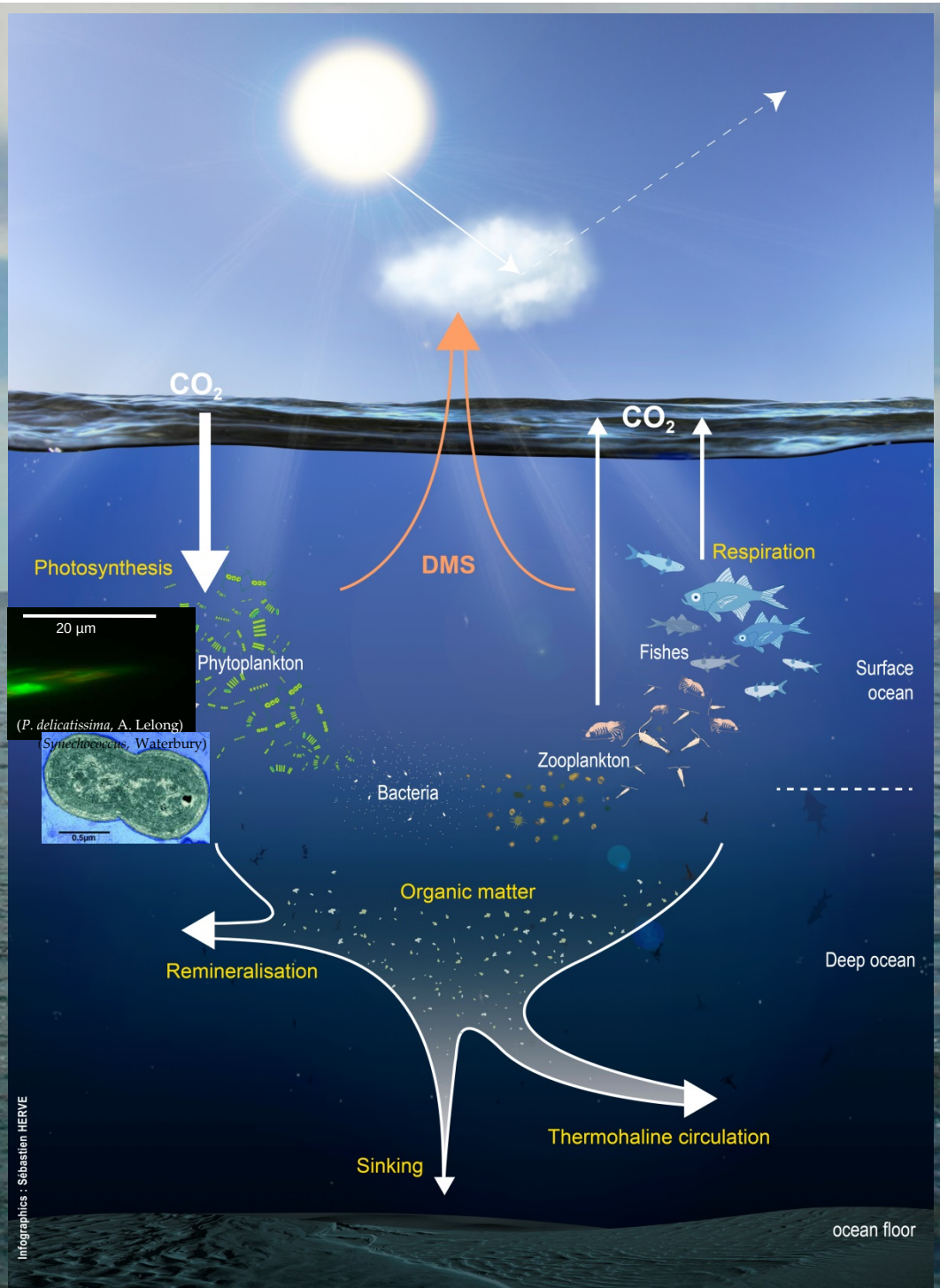
Diatomées : 40% PP (Nelson et al., 1995)

Picophytoplancton : export de C (Richardson and Jackson, 2007)



CONTEXTE GENERAL

Fe



Fe = rôle clef cycles C, S, Si

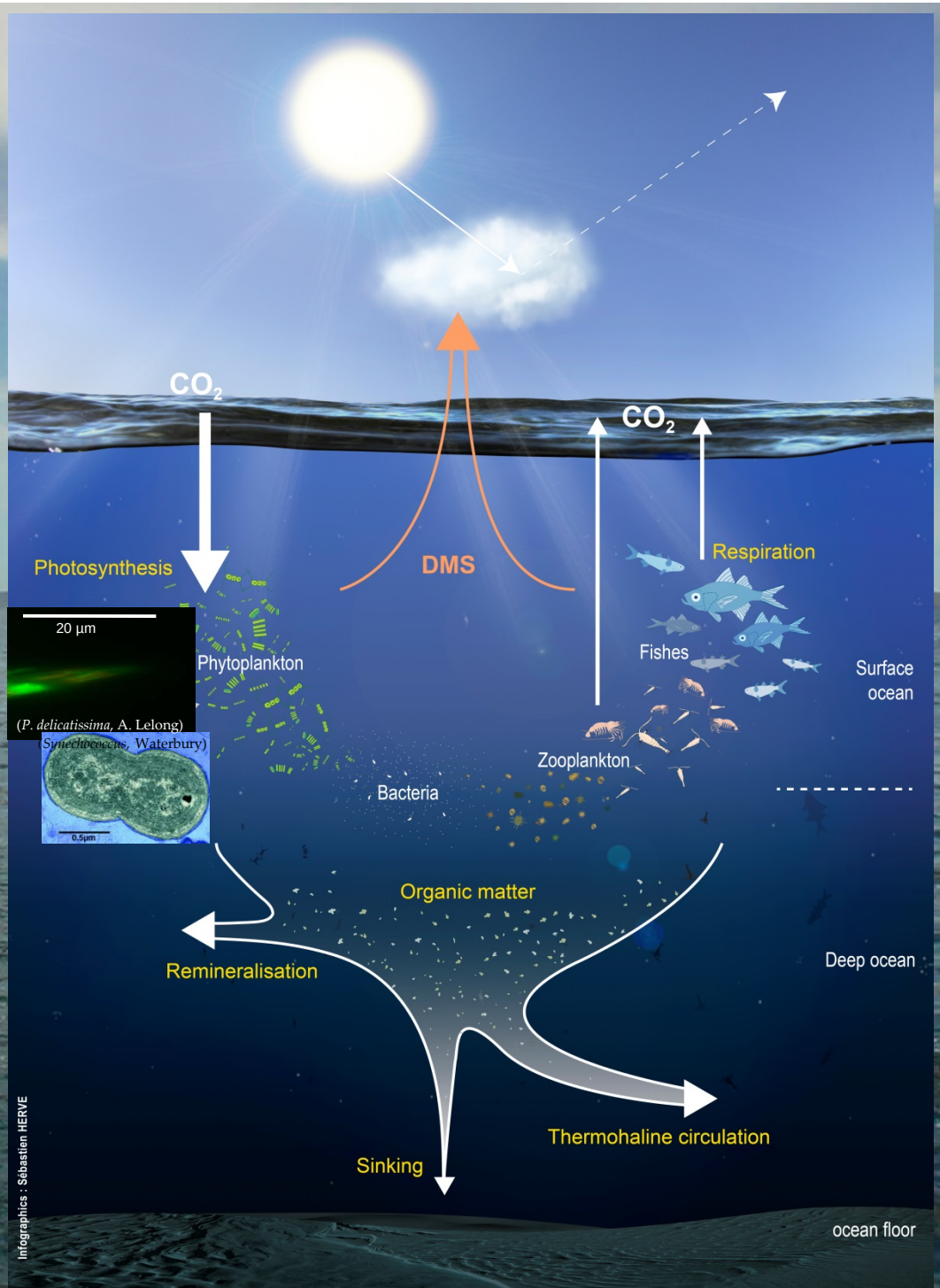
(Boyd et al., 2007; Blain et al., 2007; Pollard et al., 2009)

CONTEXTE GENERAL

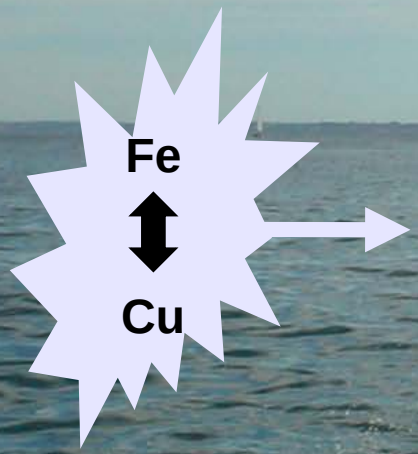
?
Fe ⇨ Silicification/ Découplage Si:C/ Dissolution
(Hutchins et Bruland, 1998; Takeda, 1998)

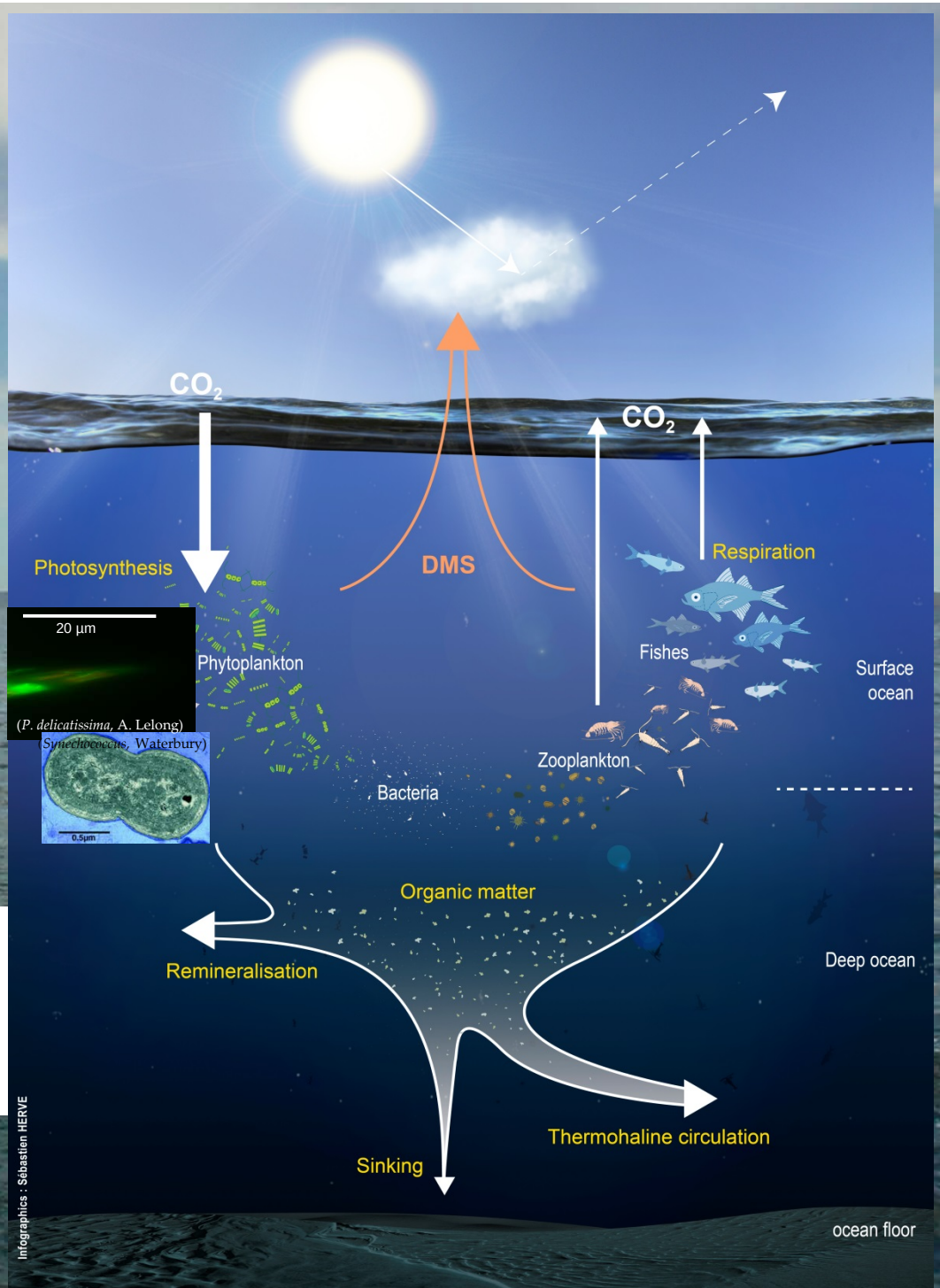
Fe

?
Fe ⇨ Composition élémentaire (picophytoplancton)
(Veldhuis et al., 2005)



CONTEXTE GENERAL





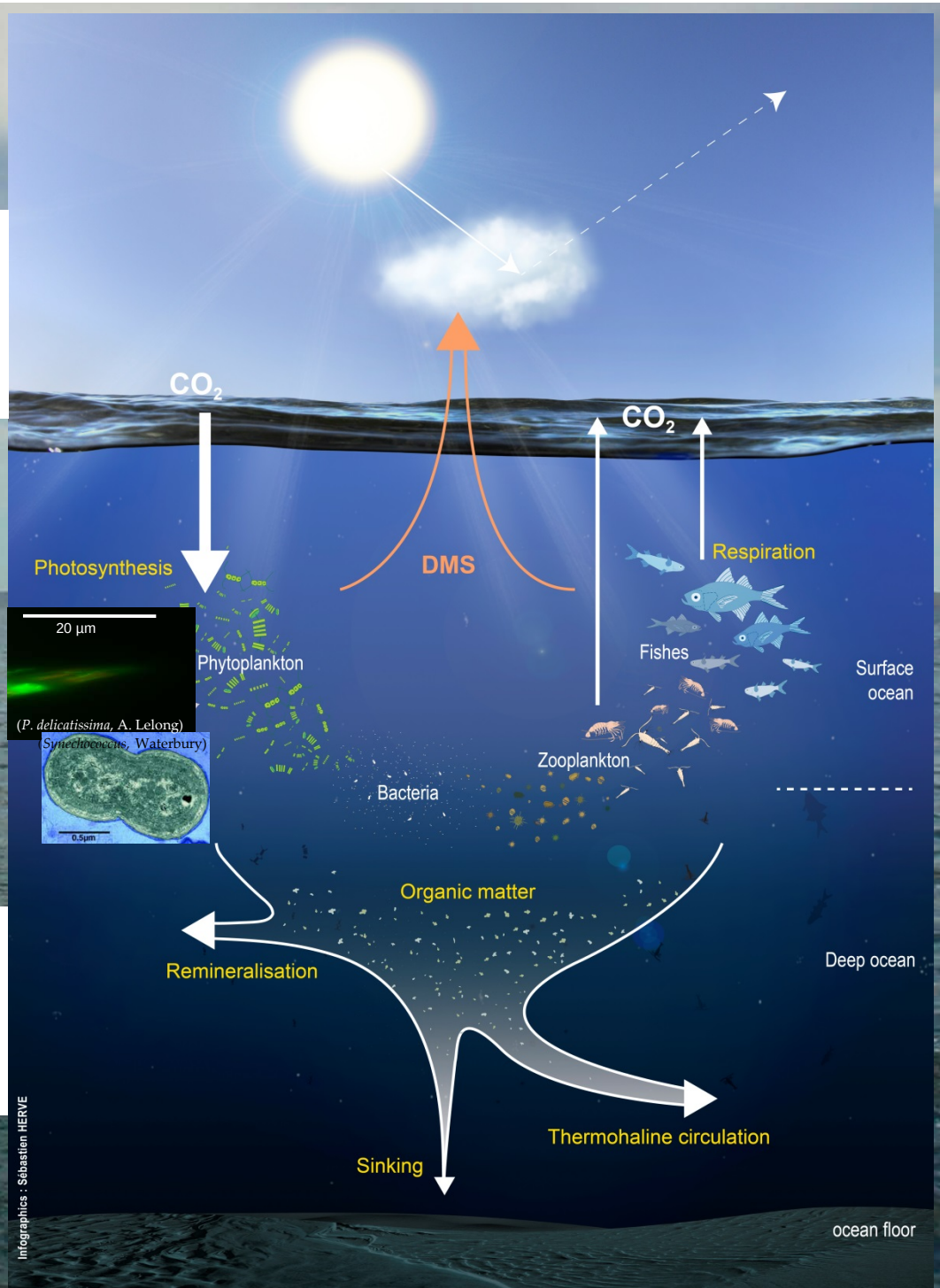
Plastocyanine (Cu)
~~Cytochromes (Fe)~~
(Peers et al., 2006)

CONTEXTE GENERAL

Acquisition Fe
⇨ Multicopper-oxidase
(Maldonado et al., 2006)

Fe
⬍
Cu

Plastocyanine (Cu)
~~Cytochromes (Fe)~~
(Peers et al., 2006)

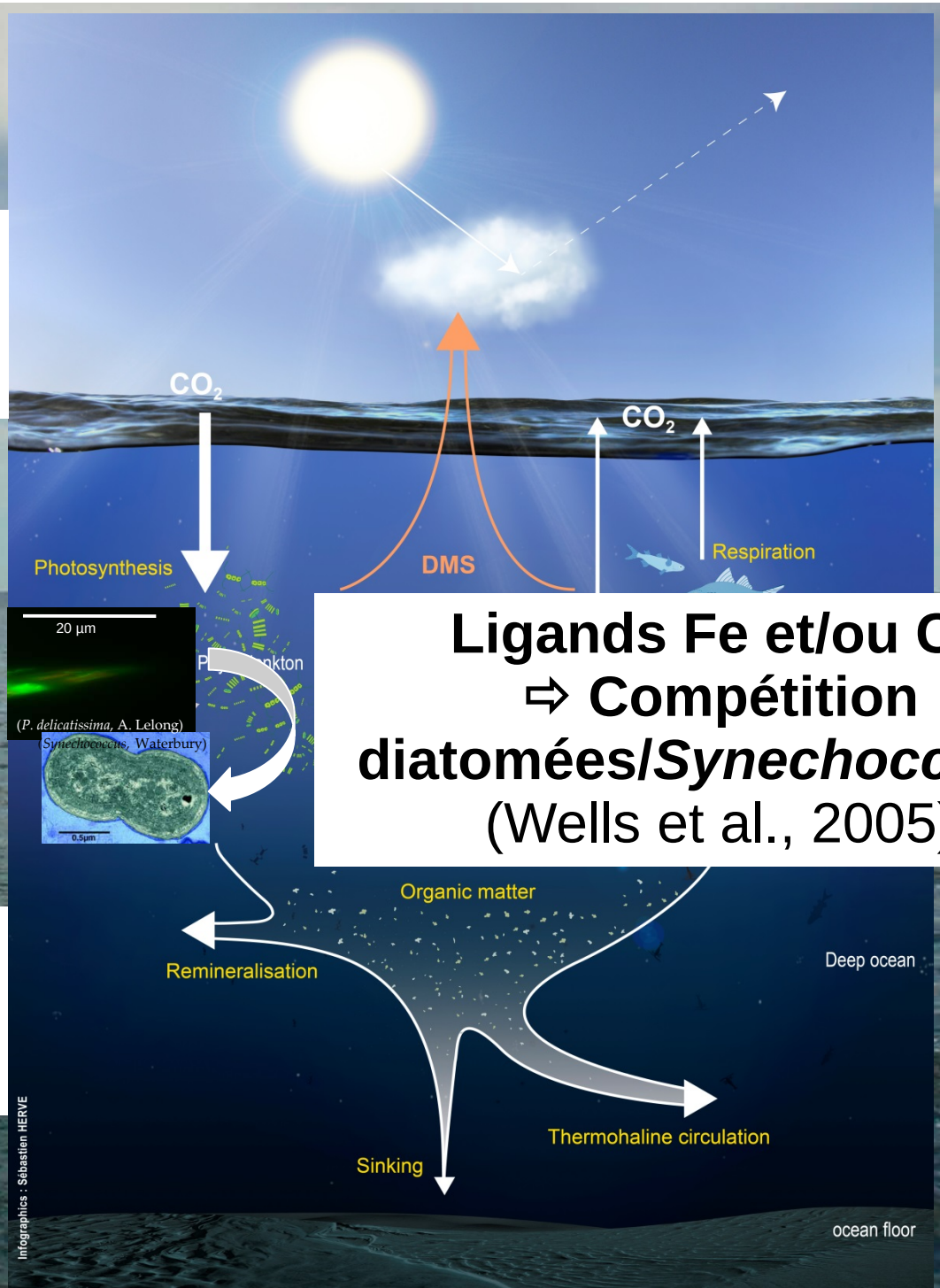


CONTEXTE GENERAL

Acquisition Fe
⇨ Multicopper-oxidase
(Maldonado et al., 2006)

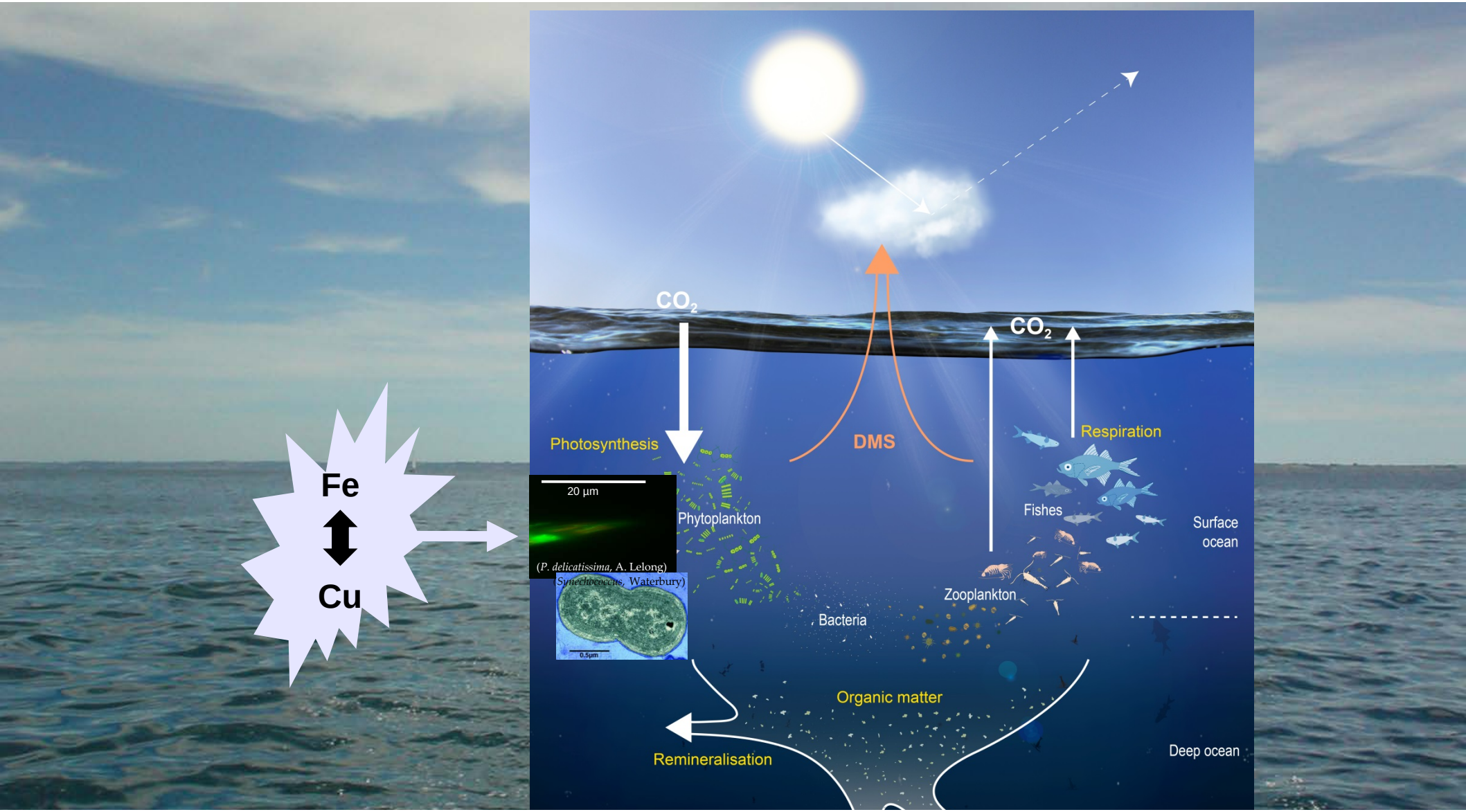
Fe
⬍
Cu

Plastocyanine (Cu)
~~Cytochromes (Fe)~~
(Peers et al., 2006)



Ligands Fe et/ou Cu
⇨ Compétition diatomées/*Synechoccocus*
(Wells et al., 2005)

CONTEXTE GENERAL



Cu pourrait non seulement contrôler l'intensité de l'impact du Fe sur la production biologique océanique, mais aussi participer directement au contrôle de cette production.

OBJECTIFS

[1] Etudier l'impact du Fe et du Cu sur la composition élémentaire du phytoplancton et sur le cycle du DMS

[2] Etudier les processus de silicification et leur impact sur la dégradation de la silice biogénique

[3] Etudier comment les communautés phytoplanctoniques interagissent lors de (co-)limitations Fe-Cu, notamment en terme de stratégies d'acquisition de Fe et Cu

[4] Evaluer l'importance des interactions Fe/Cu sur la biogéochimie océanique à l'échelle globale (C et DMS)

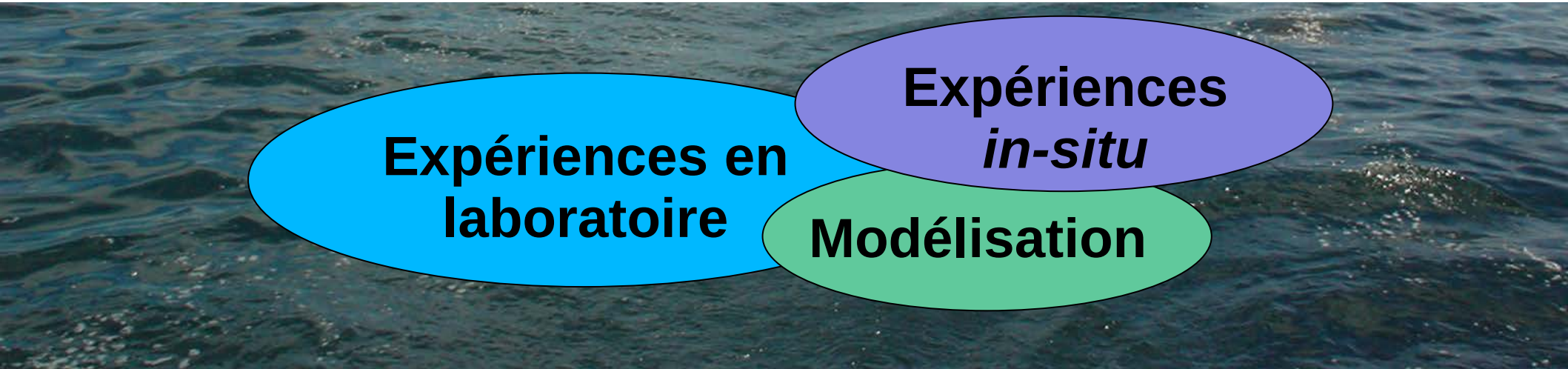
OBJECTIFS

[1] Etudier l'impact du Fe et du Cu sur la composition élémentaire du phytoplancton et sur le cycle du DMS

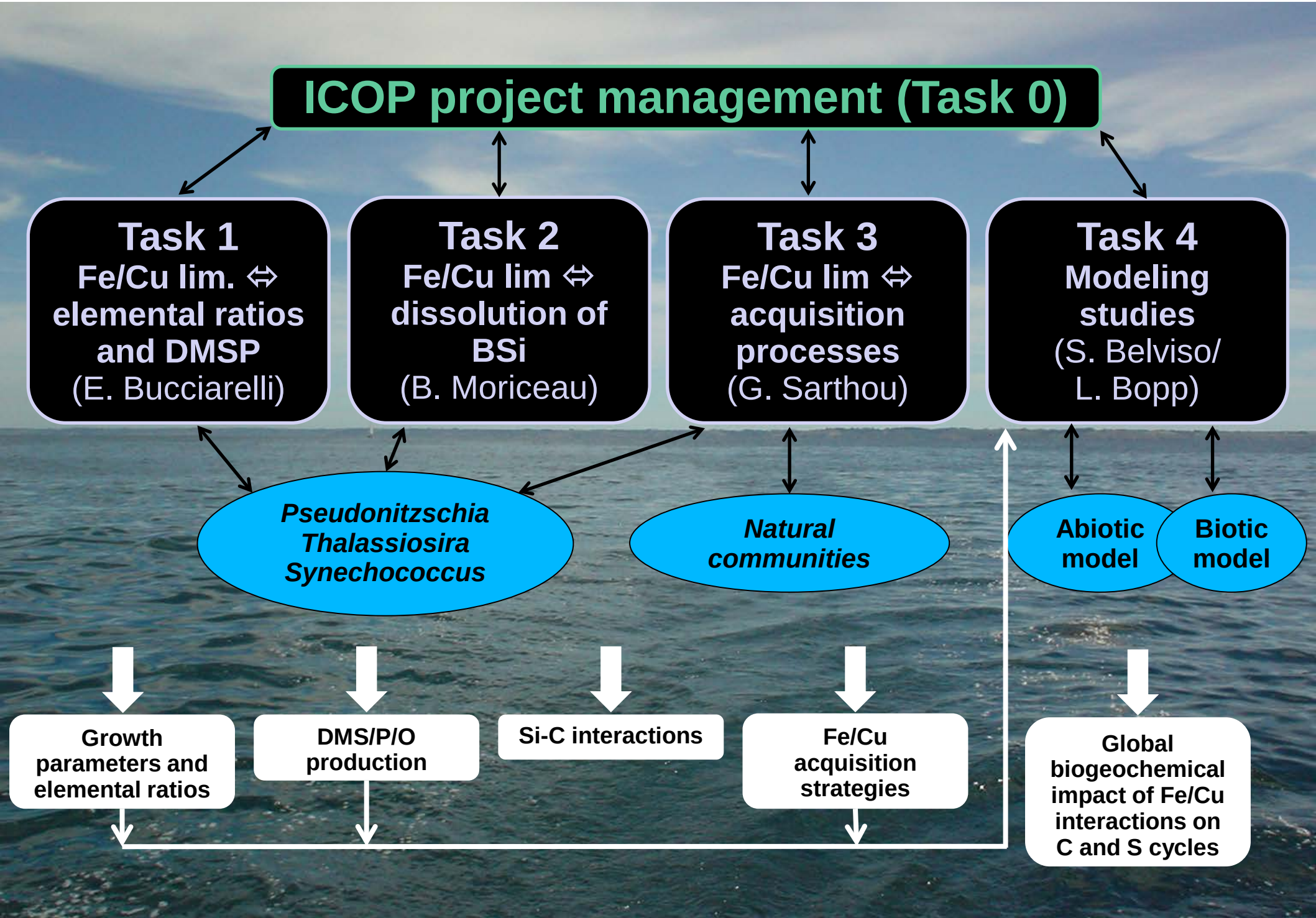
[2] Etudier les processus de silicification et leur impact sur la dégradation de la silice biogénique

[3] Etudier comment les communautés phytoplanctoniques interagissent lors de (co-)limitations Fe-Cu, notamment en terme de stratégies d'acquisition de Fe et Cu

[4] Evaluer l'importance des interactions Fe/Cu sur la biogéochimie océanique à l'échelle globale (C et DMS)



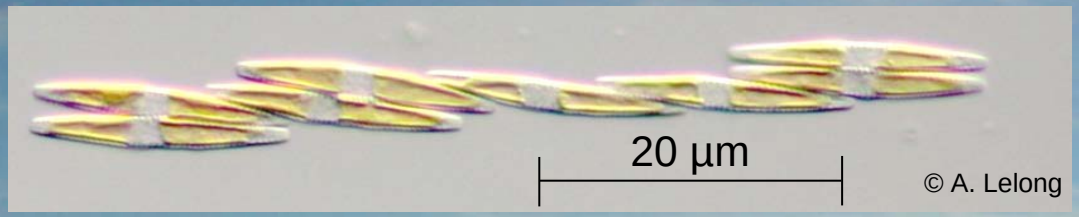
Organisation du projet



Tâche 1 : Limitation Fe/Cu de la diatomée *Pseudo-nitzschia delicatissima*

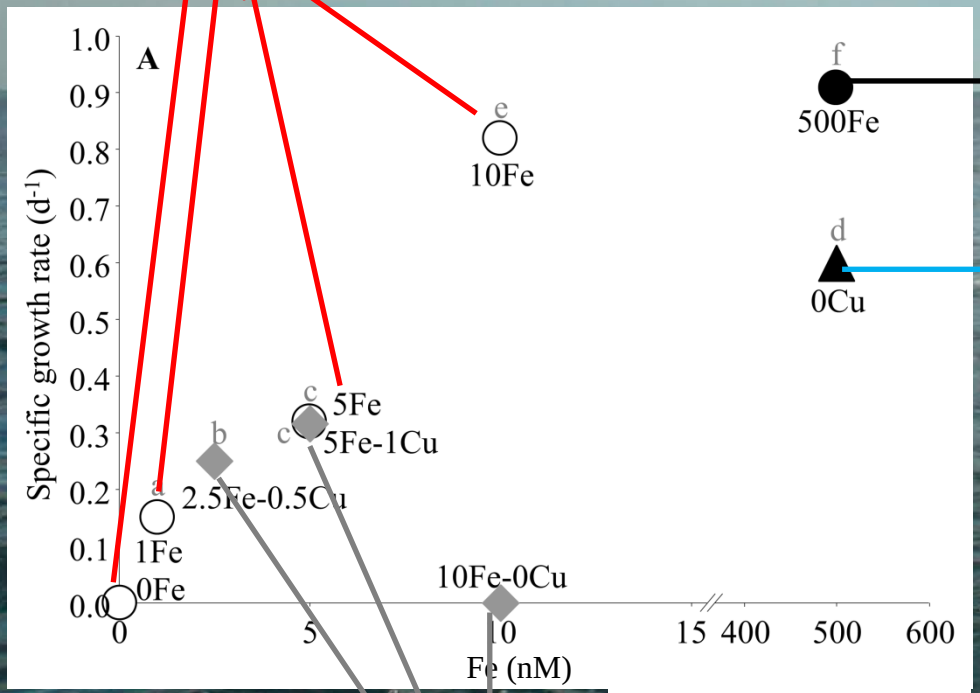
Mesure des paramètres physiologiques : Lelong et al., L&O, 2013

(A. Lelong, PhD; H. Hégaret/P. Soudant/E. Bucciarelli)



***P. delicatissima* Pd08RB**
Isolée en Rade de Brest (B. Beker)
Petite taille ~ 100 µm³

4 limitations Fe



Lelong et al. (2013)

Contrôle

Carence en Cu

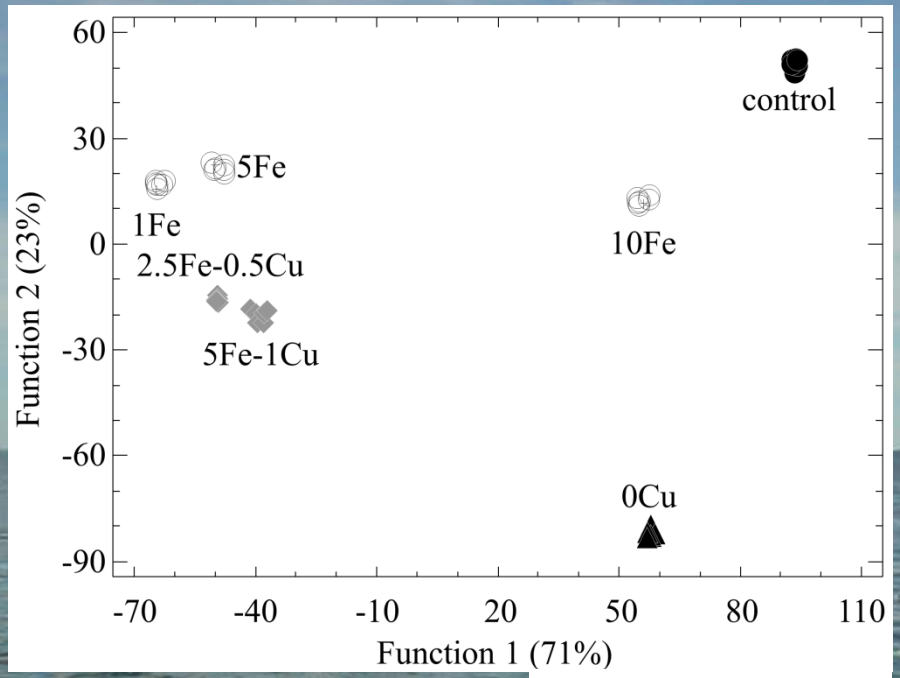
3 co-limitations Fe/Cu

Mesure par cytométrie en flux :
- **volume cellulaire**
- **chlorophylle**
- **efficacité photosynthétique**
- **concentration en lipides**
- **activité enzymatique**

Tâche 1 : Limitation Fe/Cu de la diatomée *Pseudo-nitzschia delicatissima*

Mesure des paramètres physiologiques : Lelong et al., L&O, 2013

(A. Lelong, PhD; H. Hégaret/P. Soudant/E. Bucciarelli)



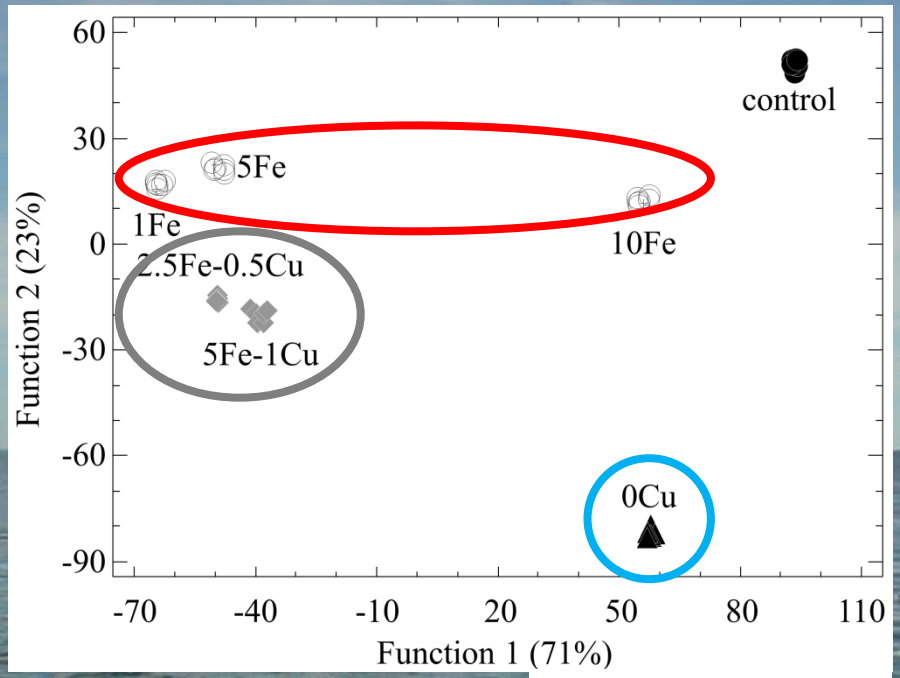
Lelong et al. (2013)

Traitement statistique : analyse discriminante

Tâche 1 : Limitation Fe/Cu de la diatomée *Pseudo-nitzschia delicatissima*

Mesure des paramètres physiologiques : Lelong et al., L&O, 2013

(A. Lelong, PhD; H. Hégaret/P. Soudant/E. Bucciarelli)



Lelong et al. (2013)

⇨ Carence en cuivre ≠ limitation en fer sur paramètres physiologiques

⇨ Co-limitations est + proche de celui du fer (Lelong et al., L&O, 2013):

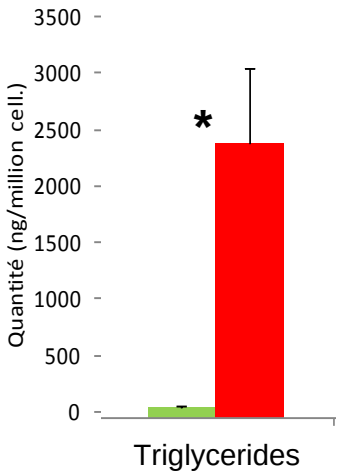
~~Carence en Cu ⇨ Limitation en Fe~~

Système d'acquisition du fer indépendant du Cu et /ou besoins cellulaires en Cu pour d'autres processus

Tâche 1 : Impact de la carence en Cu sur la production des lipides
(Lelong et al., in prep.)

P. delicatissima non carencée
P. delicatissima carencée en cuivre

Effet sur les lipides de réserve

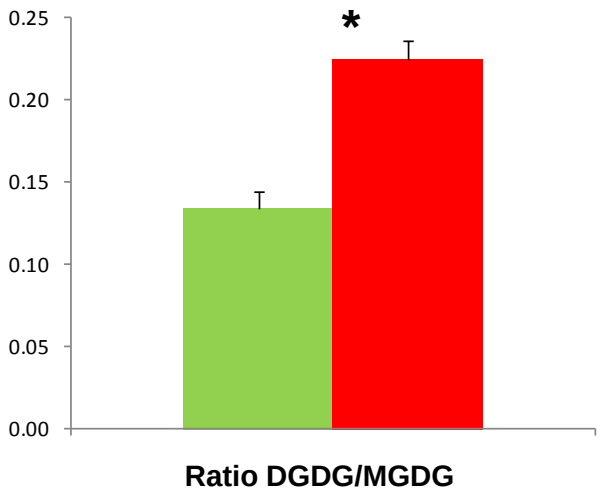


↗ de la quantité triglycérides /cellule

= Lipides de réserve

➔ Stockage d'énergie

Effet sur les lipides membranaires



↗ ratio DGDG/MGDG

DGDG = Digalactosyldiacylglycerol
MGDG = Monogalactosyldiacylglycerol

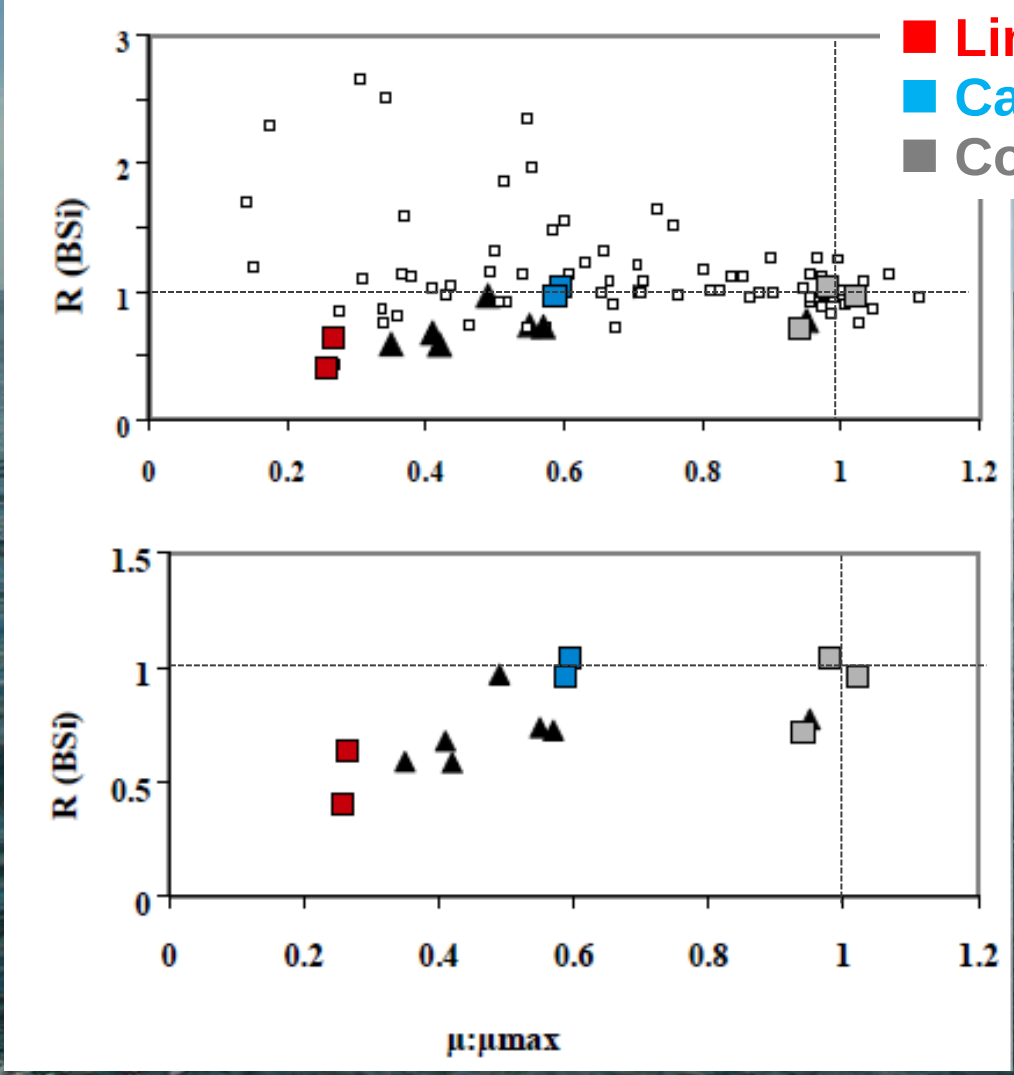
➔Modification des membranes pour maintenir l'efficacité de la photosynthèse

Tâche 1 : Mesures de composition élémentaire (confirmation étude physiologique)

(A. Lelong et J. Boutorh, PhD; B. Moriceau)

Comparaison avec la littérature:

Limitation en fer : 13 espèces de diatomées, dont 5 espèces de *Pseudo-nitzschia* (Bucciarelli et al. 2010)



Pas de tendance pour la limitation en fer

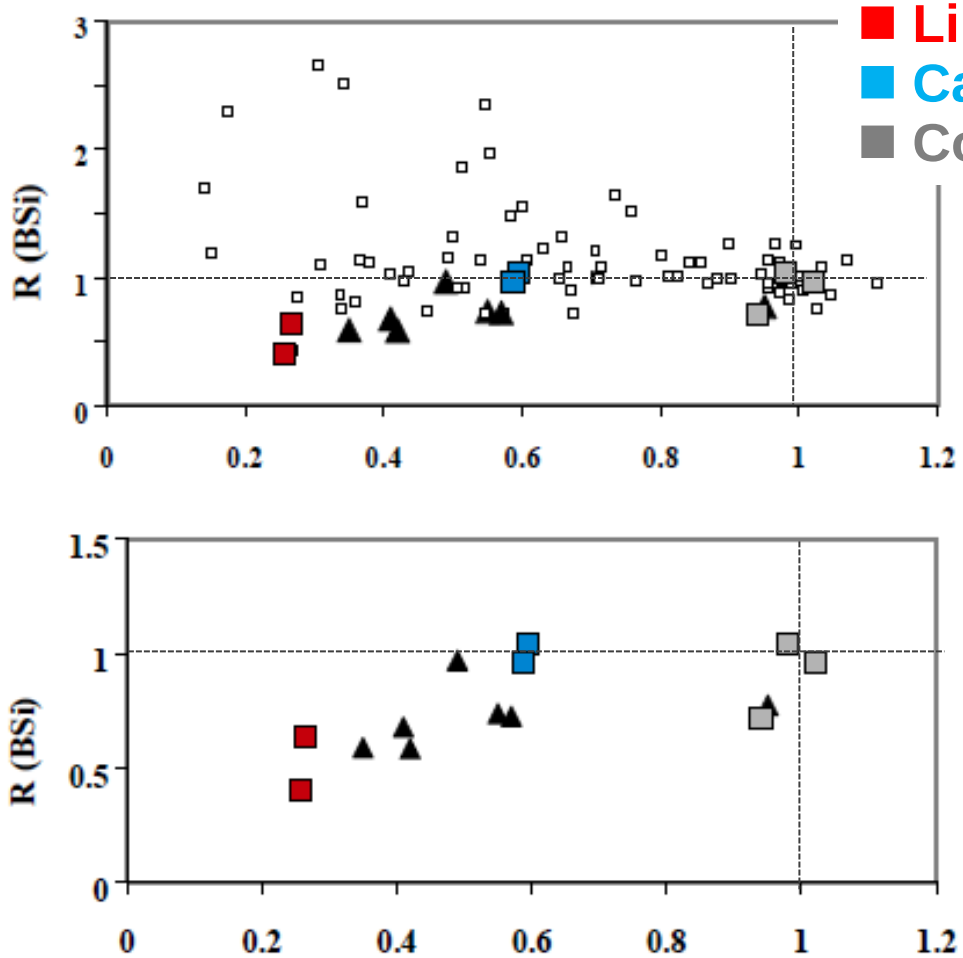
Diminution de la variation relative en BSi/cell des *Pseudo-nitzschia* limitées en fer

Tâche 1 : Mesures de composition élémentaire (confirmation étude physiologique)

(A. Lelong et J. Boutorh, PhD; B. Moriceau)

Comparaison avec la littérature:

Limitation en fer : 13 espèces de diatomées, dont 5 espèces de *Pseudo-nitzschia* (Bucciarelli et al. 2010)



Pas de tendance pour la limitation en fer

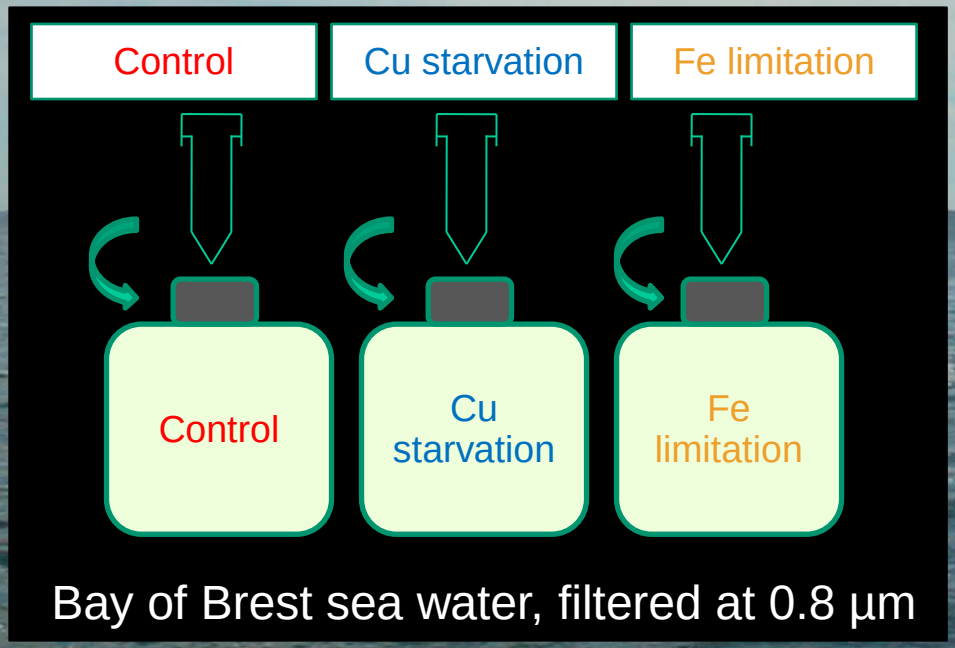
Diminution de la variation relative en BSi/cell des *Pseudo-nitzschia* limitées en fer

Impact du Fe sur la dissolution du frustule (Boyle, 1998)

Tâche 2 : Expériences de dissolution

(J. Boutorh, PhD; B. Moriceau, Boutorh et al., in prep.)

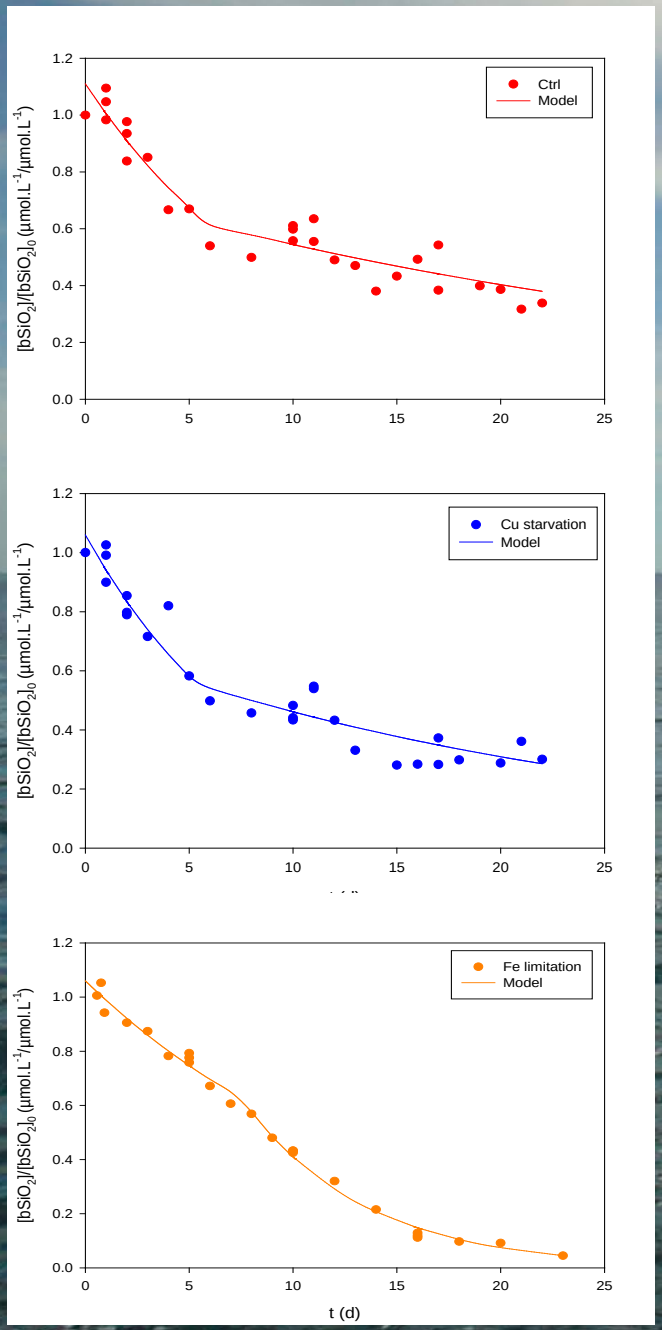
Récupération de cultures (centrifugation) et tuées par congélation à -80°C



SUIVI SUR ~ 20 JOURS DE LA DISSOLUTION DE LA BSi ET DE LA COMPOSITION BIOCHIMIQUE DU FRUSTULE PAR IRTF

Tâche 2 : Expériences de dissolution

(J. Boutorh, PhD; B. Moriceau, Boutorh et al., in prep.)



Modèle le plus adapté aux données
= <u>2 phases de BSi</u> qui se dissolvent successivement
(i.e. 2 vitesses de dissolution)

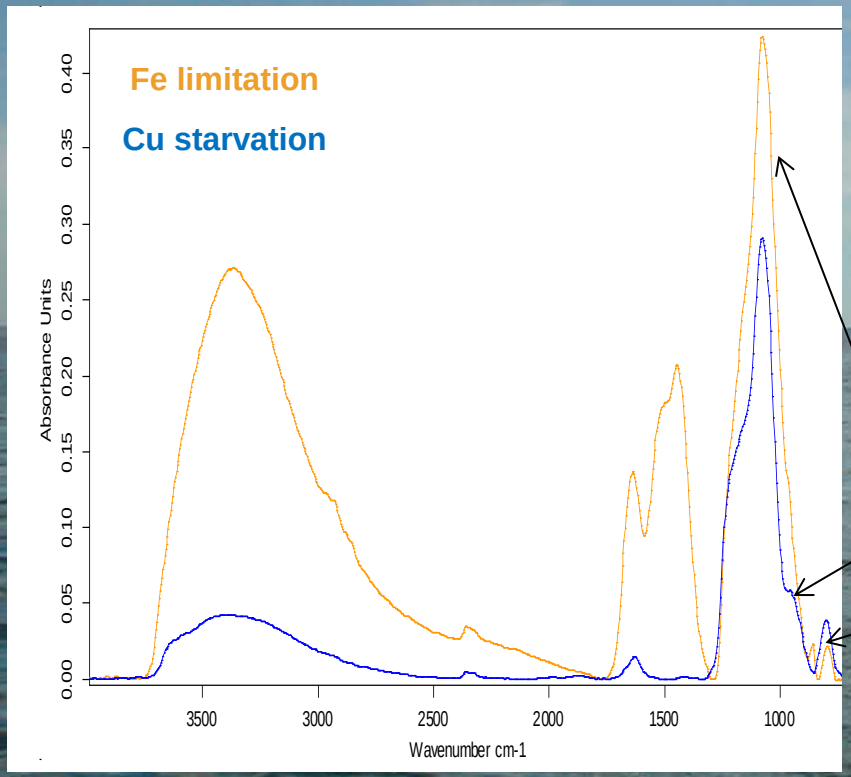
Contrôle et carence en Cu
⇨ <u>mêmes paramètres</u> de dissolution

Contrôle et limitation en Fe
⇨ paramètres de dissolution différents
Limitation en Fe ⇨ <u>Dissolution + importante</u>

Tâche 2 : Expériences de dissolution

(J. Boutorh, PhD; B. Moriceau, Boutorh et al., in prep.)

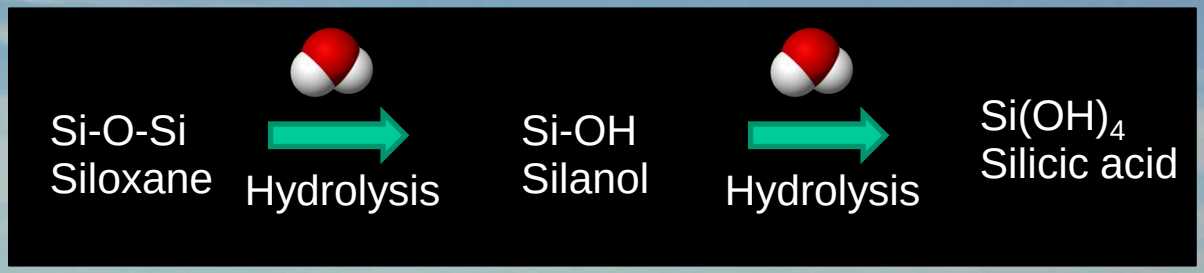
Analyse IRTF (spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier) des frustules



SiO_4

Silanol

Siloxane



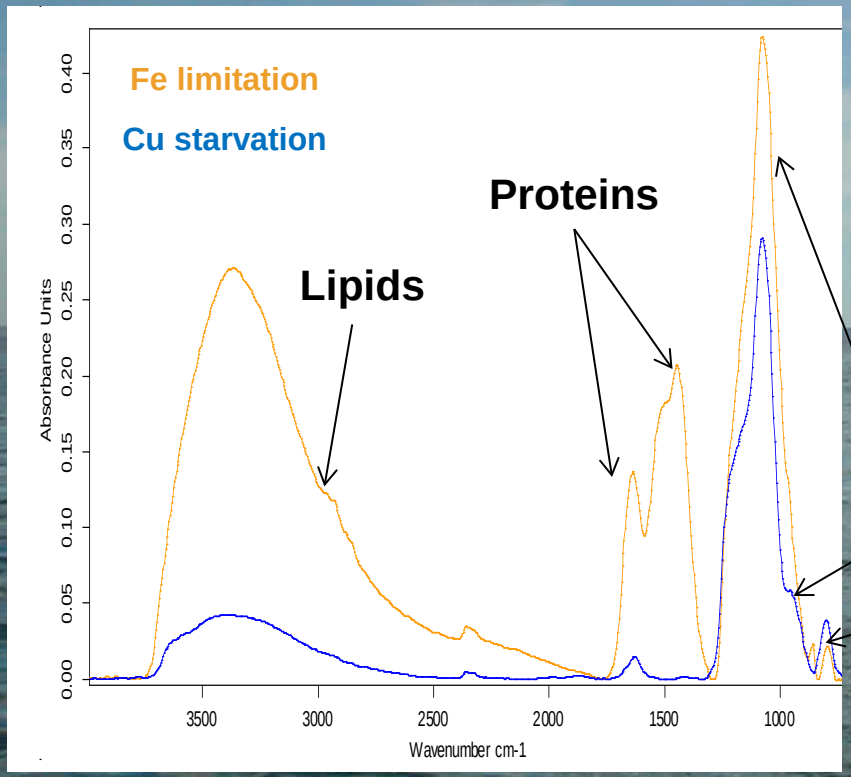
Silanol/Siloxane
⇨ Réactivité du frustule
(Schmidt et al. 2001)

SiO_4/Siloxane
⇨ Organisation 3D du frustule
(Gendron-Badou et al. 2003)

Tâche 2 : Expériences de dissolution

(J. Boutorh, PhD; B. Moriceau, Boutorh et al., in prep.)

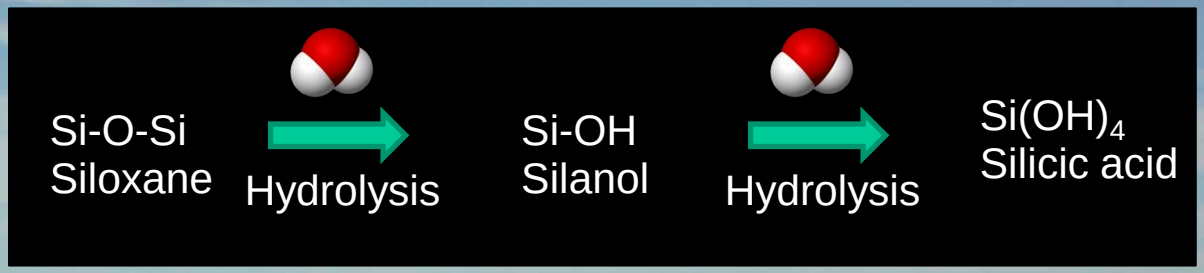
Analyse IRTF (spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier) des frustules



SiO_4

Silanol

Siloxane



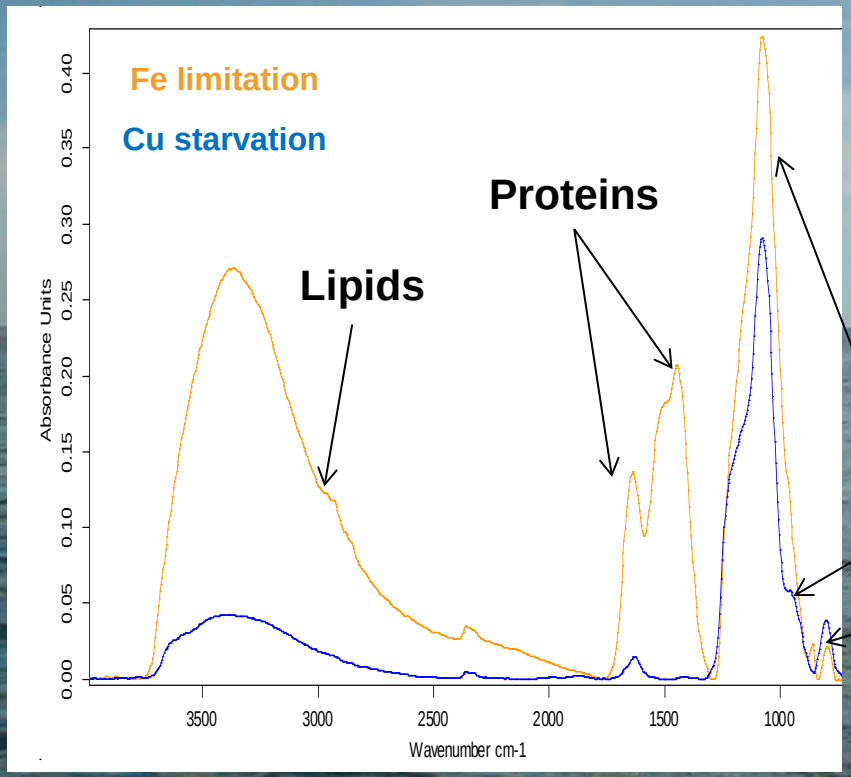
Silanol/Siloxane
⇨ Réactivité du frustule
(Schmidt et al. 2001)

SiO_4/Siloxane
⇨ Organisation 3D du frustule
(Gendron-Badou et al. 2003)

Tâche 2 : Expériences de dissolution

(J. Boutorh, PhD; B. Moriceau, Boutorh et al., in prep.)

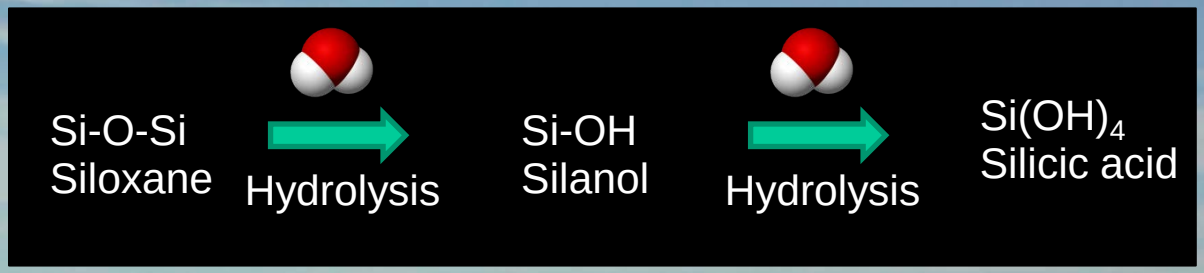
Analyse IRTF (spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier) des frustules



SiO_4

Silanol

Siloxane



Silanol/Siloxane
⇨ Réactivité du frustule
(Schmidt et al. 2001)

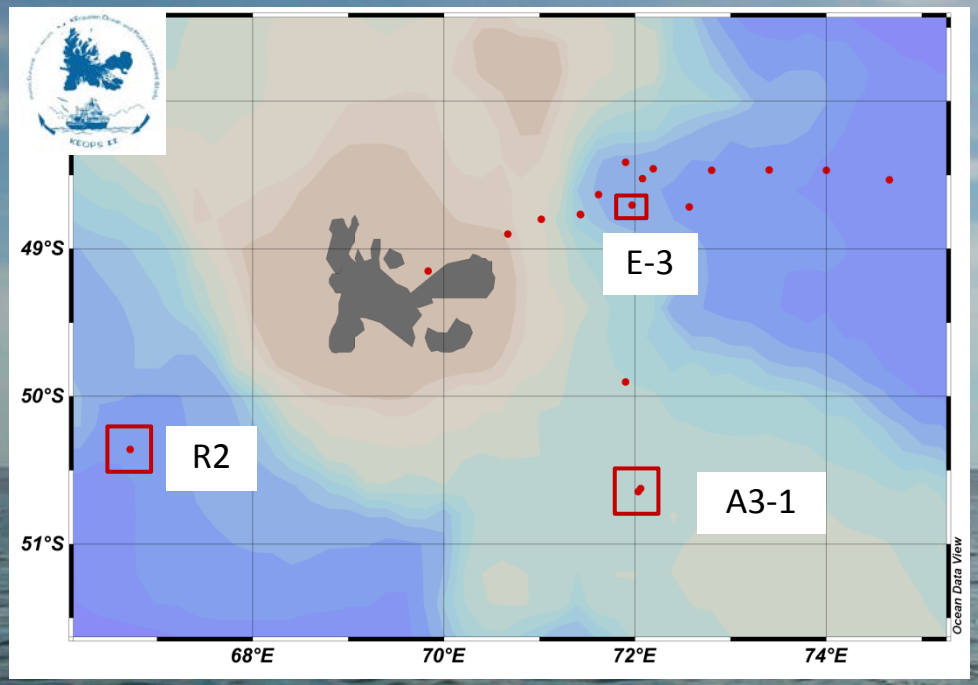
SiO_4/Siloxane
⇨ Organisation 3D du frustule
(Gendron-Badou et al. 2003)

Les cellules limitées en fer ont un frustule:
- plus réactif
- moins bien organisé (organisation 3D)
- plus riche en matière organique

Tâche 3 : Expériences *in-situ* (KEOPS 2, Oct-nov 2011)

Mesure des concentrations océaniques en Fe et Cu

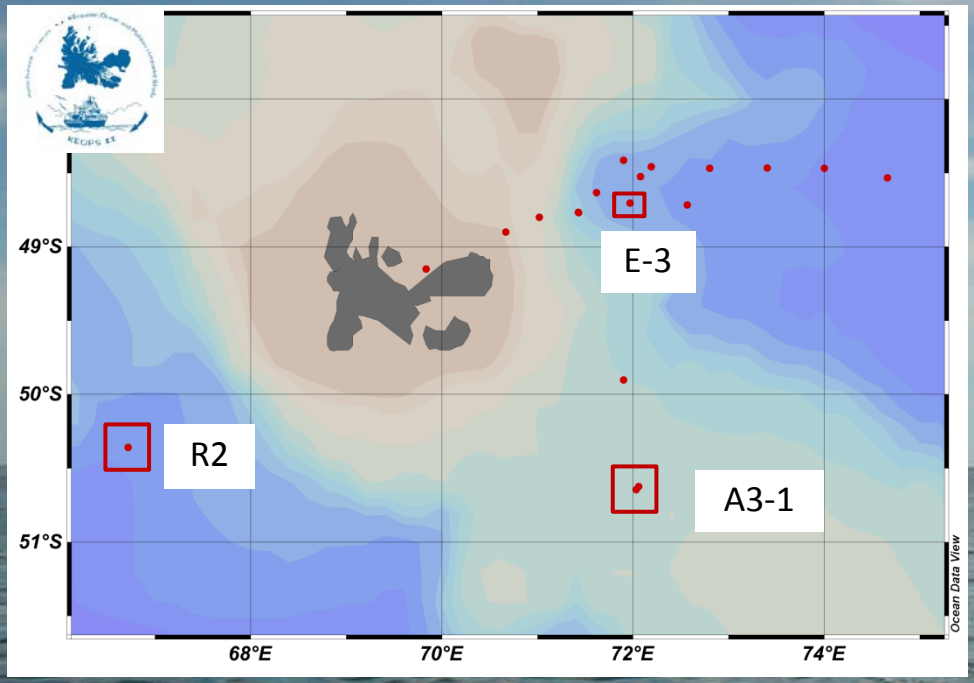
(F. Quéroué, PhD; G. Sarthou, E. Bucciarelli, A. Bowie, D. Lannuzel)

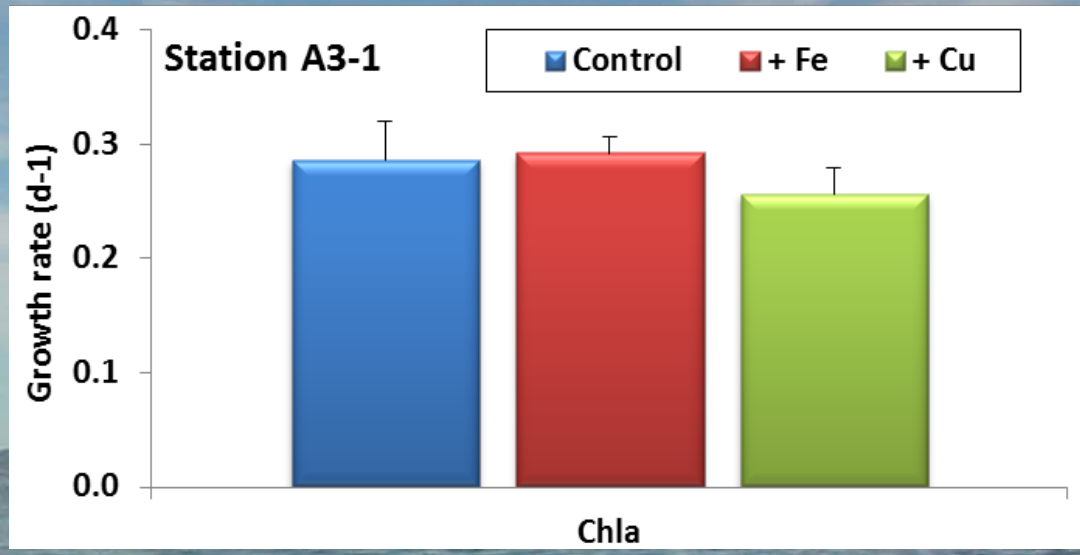


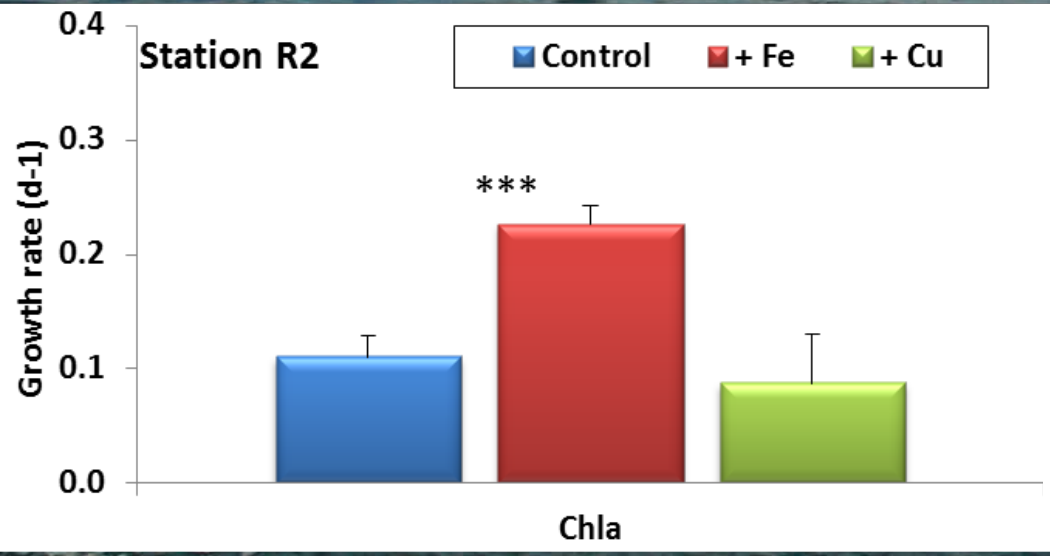
Tâche 3 : Expériences *in-situ* (KEOPS 2, Oct-nov 2011)

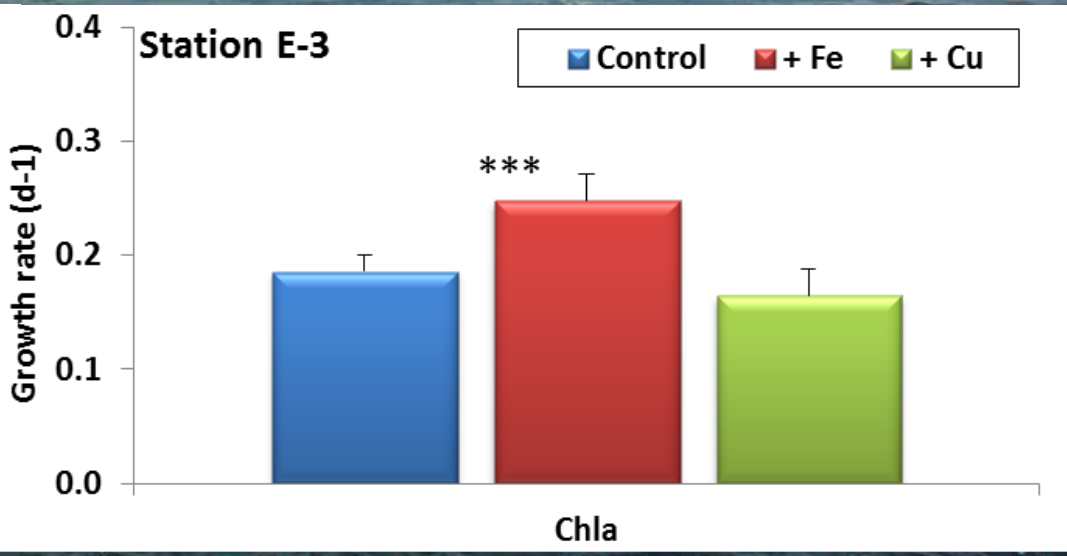
Mesure des concentrations océaniques en Fe et Cu

(F. Quéroué, PhD; G. Sarthou, E. Bucciarelli, A. Bowie, D. Lannuzel)







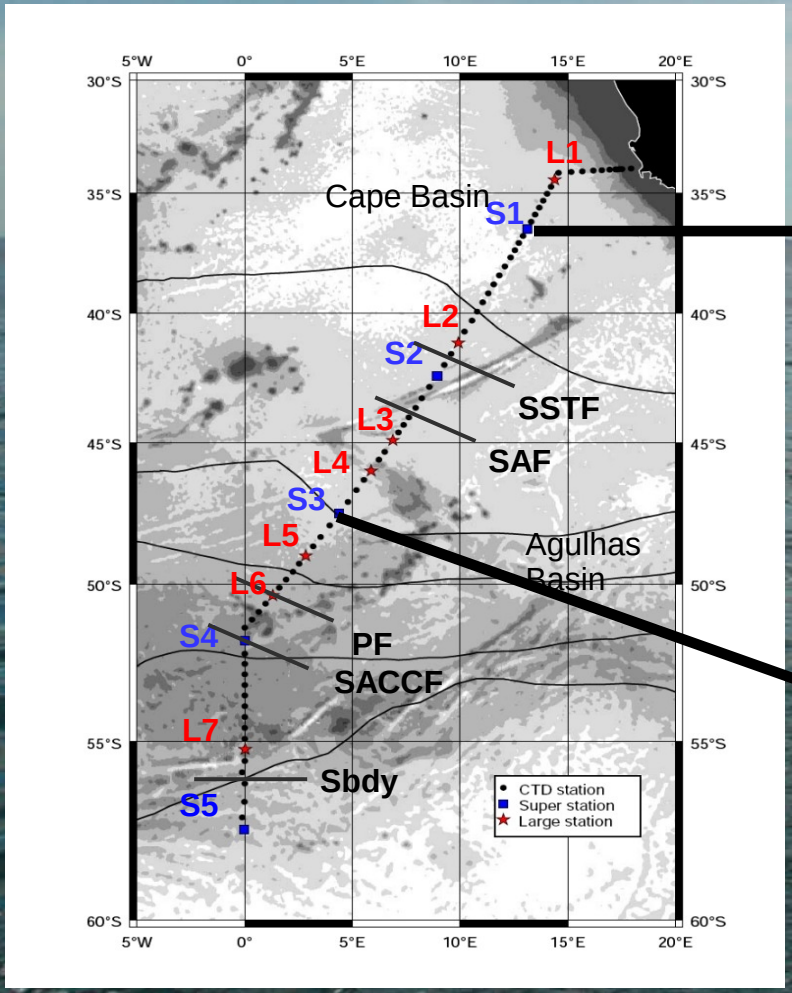


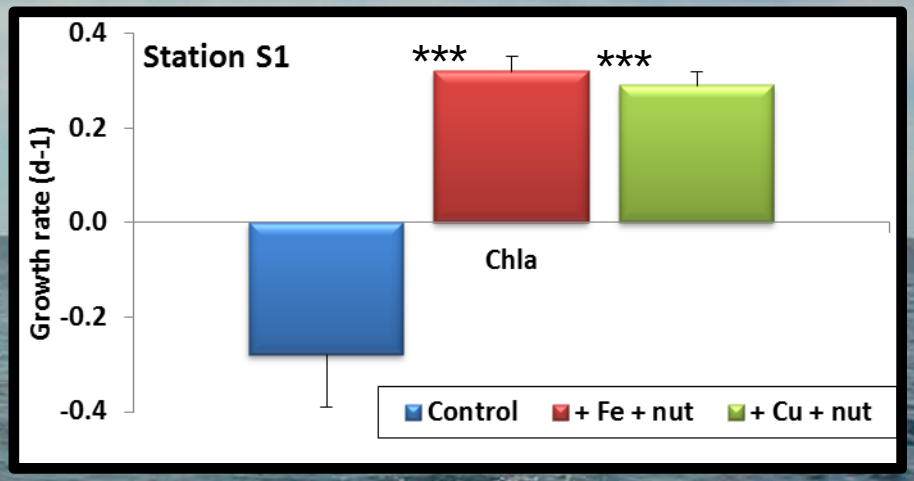
Tâche 3 : Expériences *in-situ* (KEOPS 2, Oct-nov 2011)

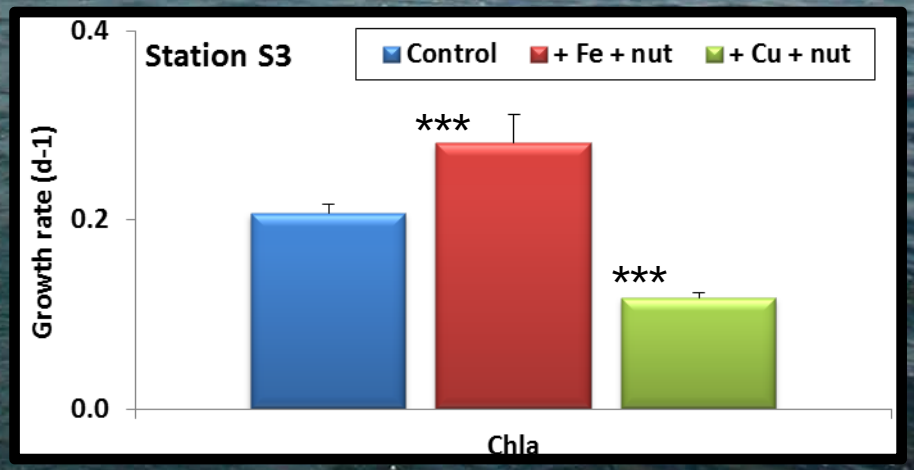
Mesure des concentrations océaniques en Fe et Cu

(F. Quéroué, PhD; G. Sarthou, E. Bucciarelli, A. Bowie, D. Lannuzel)

Incubations communautés planctoniques: enrichissements Fe & Cu (BONUS-GoodHope, janv-févr 2008)



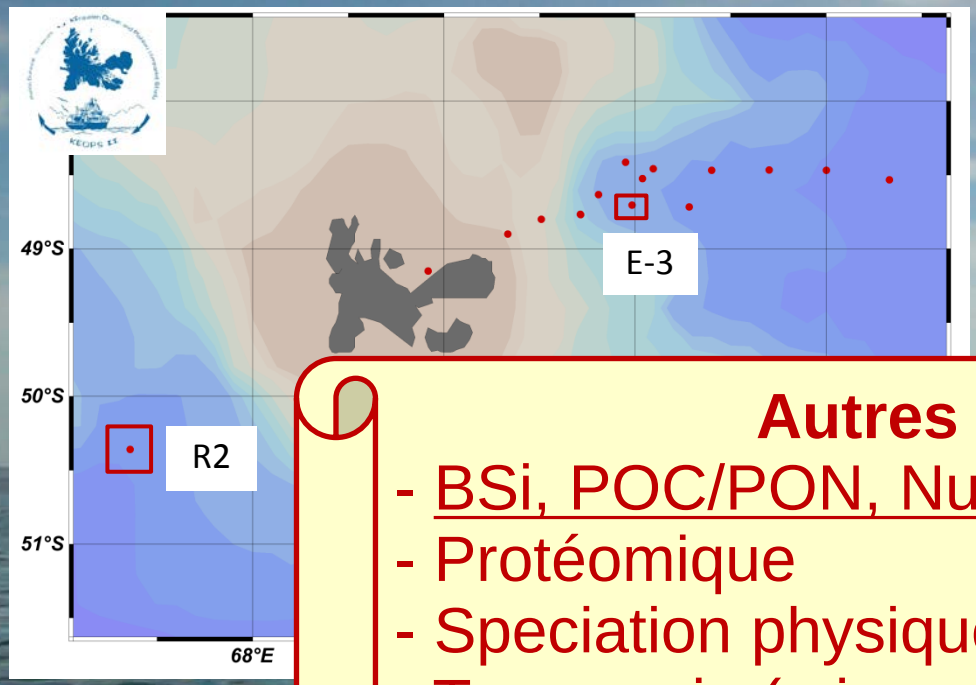


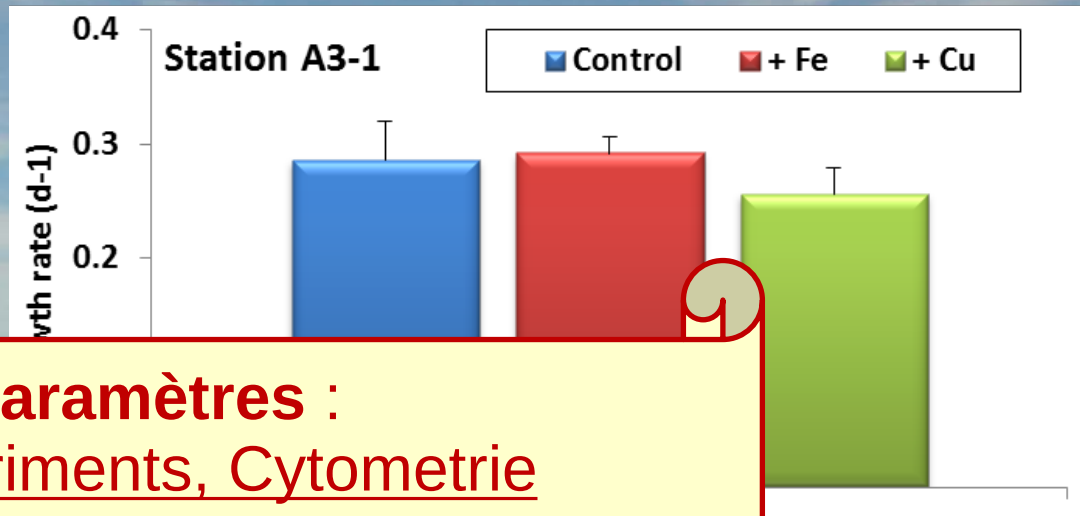


Tâche 3 : Expériences *in-situ* (KEOPS 2, Oct-nov 2011)

Mesure des concentrations océaniques en Fe et Cu

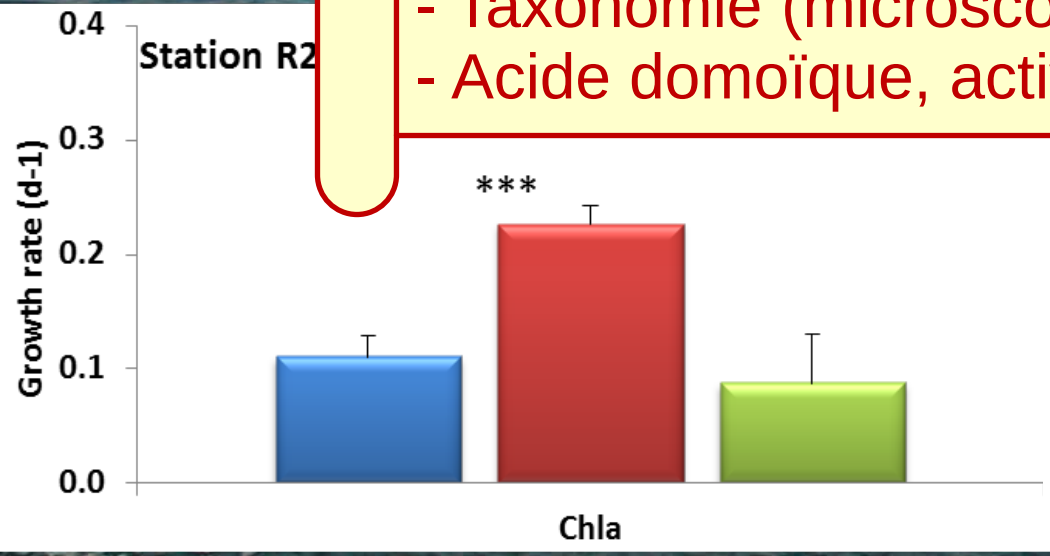
(F. Quéroué, PhD; G. Sarthou, E. Bucciarelli, A. Bowie, D. Lannuzel)

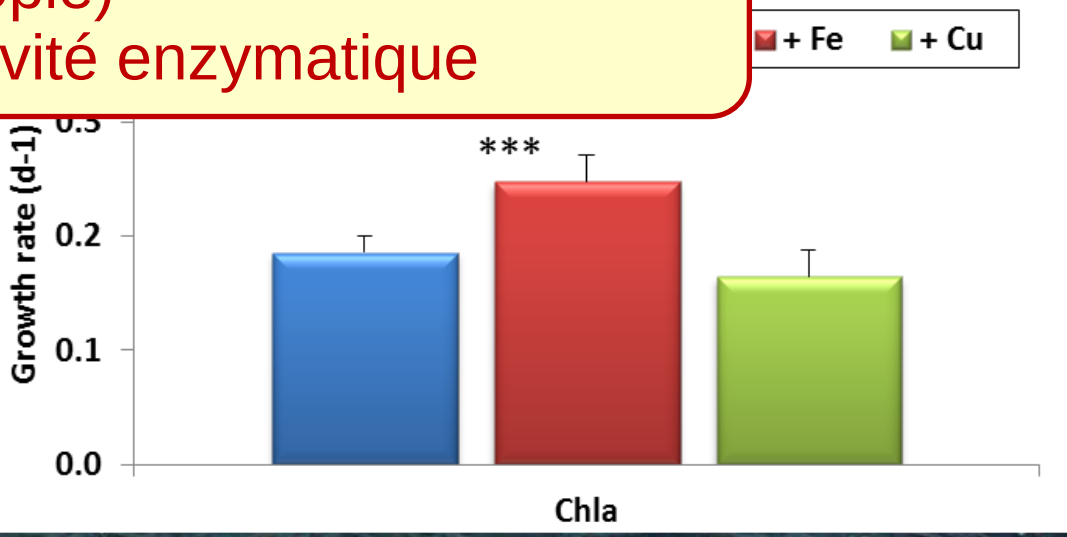




Autres paramètres :

- BSi, POC/PON, Nutriments, Cytometrie
- Protéomique
- Speciation physique et chimique Fe et Cu
- Taxonomie (microscopie)
- Acide domoïque, activité enzymatique

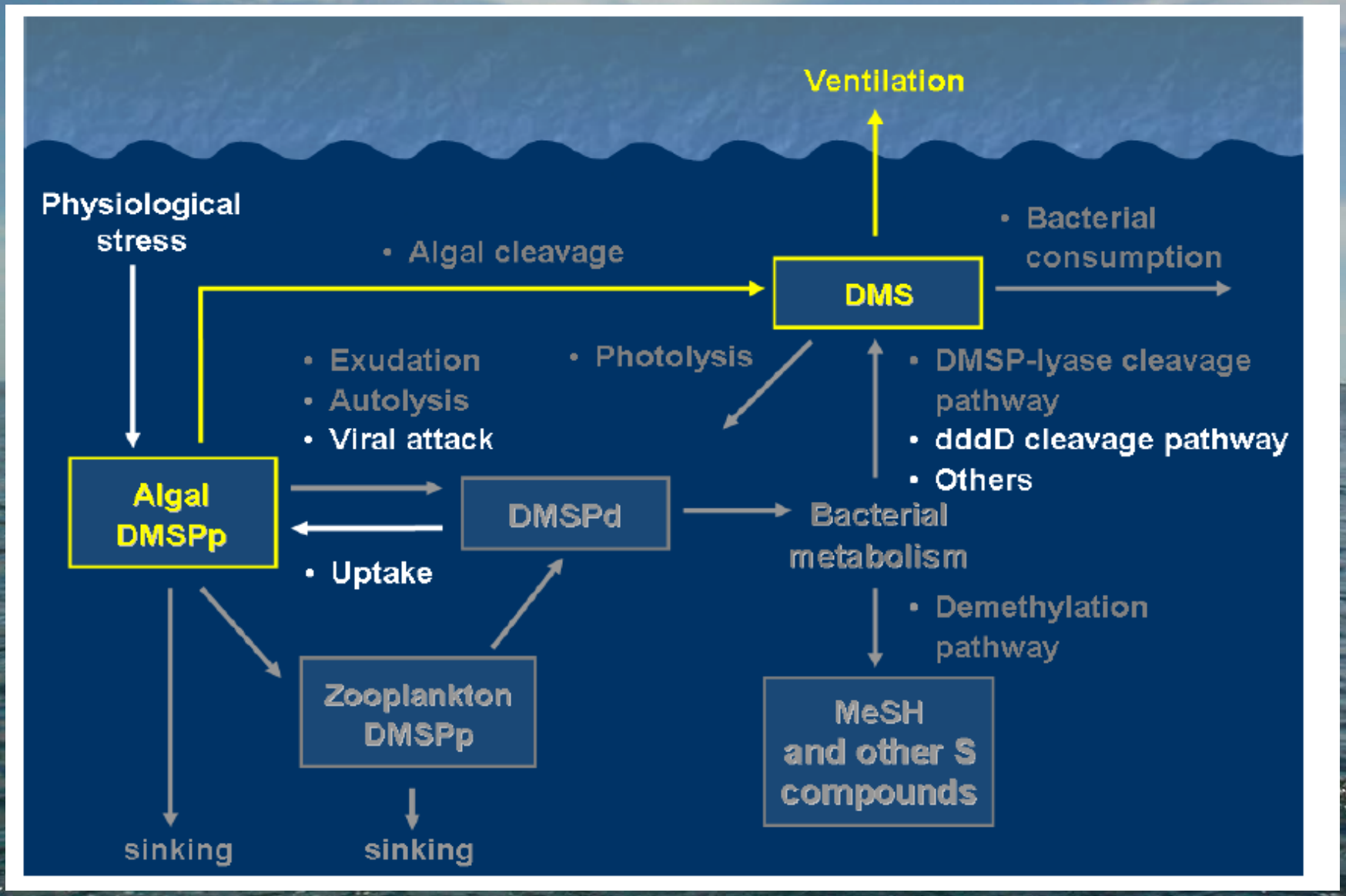




Tâche 4 : Cycle biogéochimique DMS dans l'océan

(I. Masotti, Post-doctorat ICOP; S. Belviso/L. Bopp)

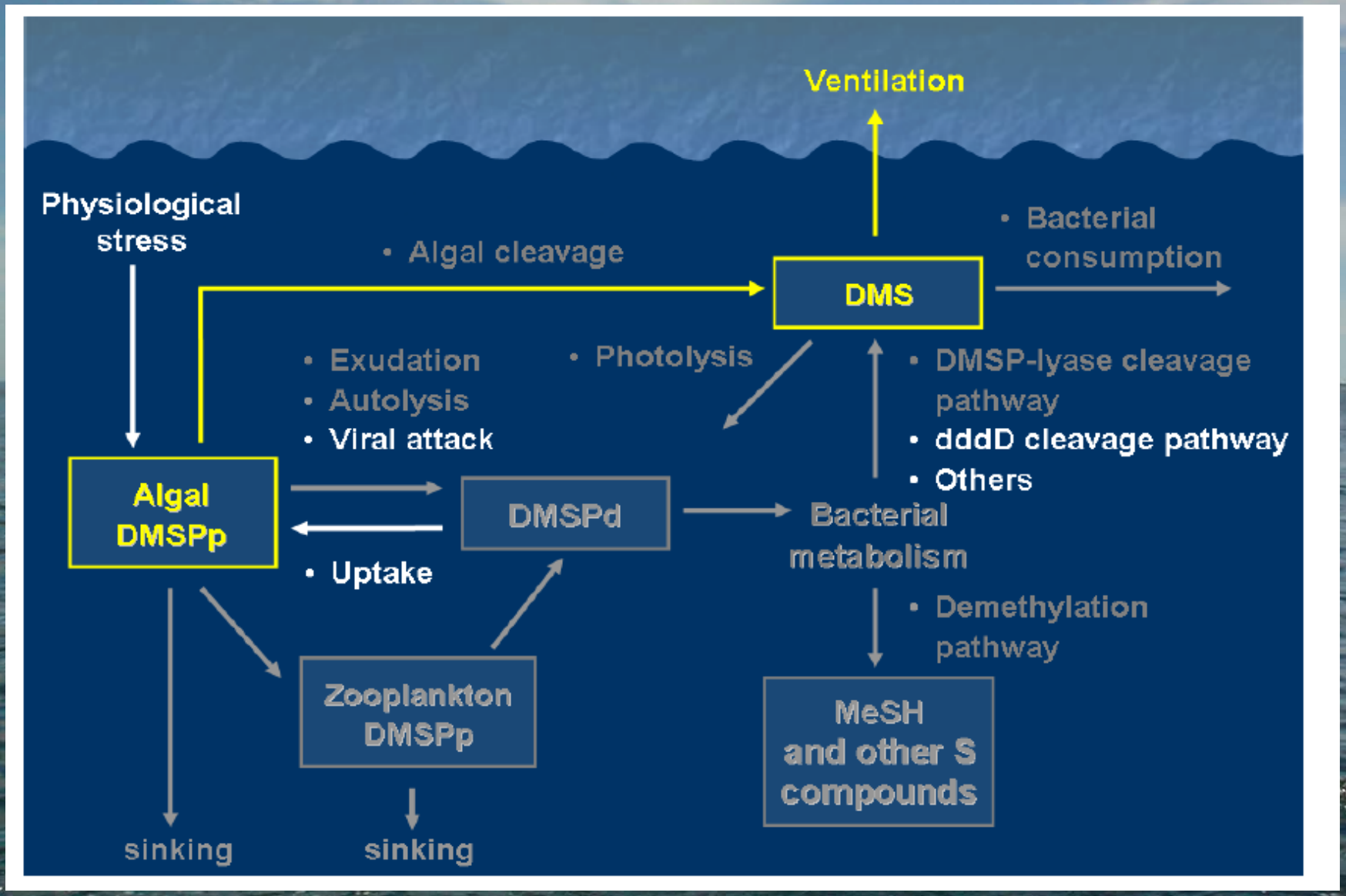
Module DMS/DMSPp dans NEMO-PISCES (1D et 3D)



Tâche 4 : Cycle biogéochimique DMS dans l'océan

(I. Masotti, Post-doctorat ICOP; S. Belviso/L. Bopp)

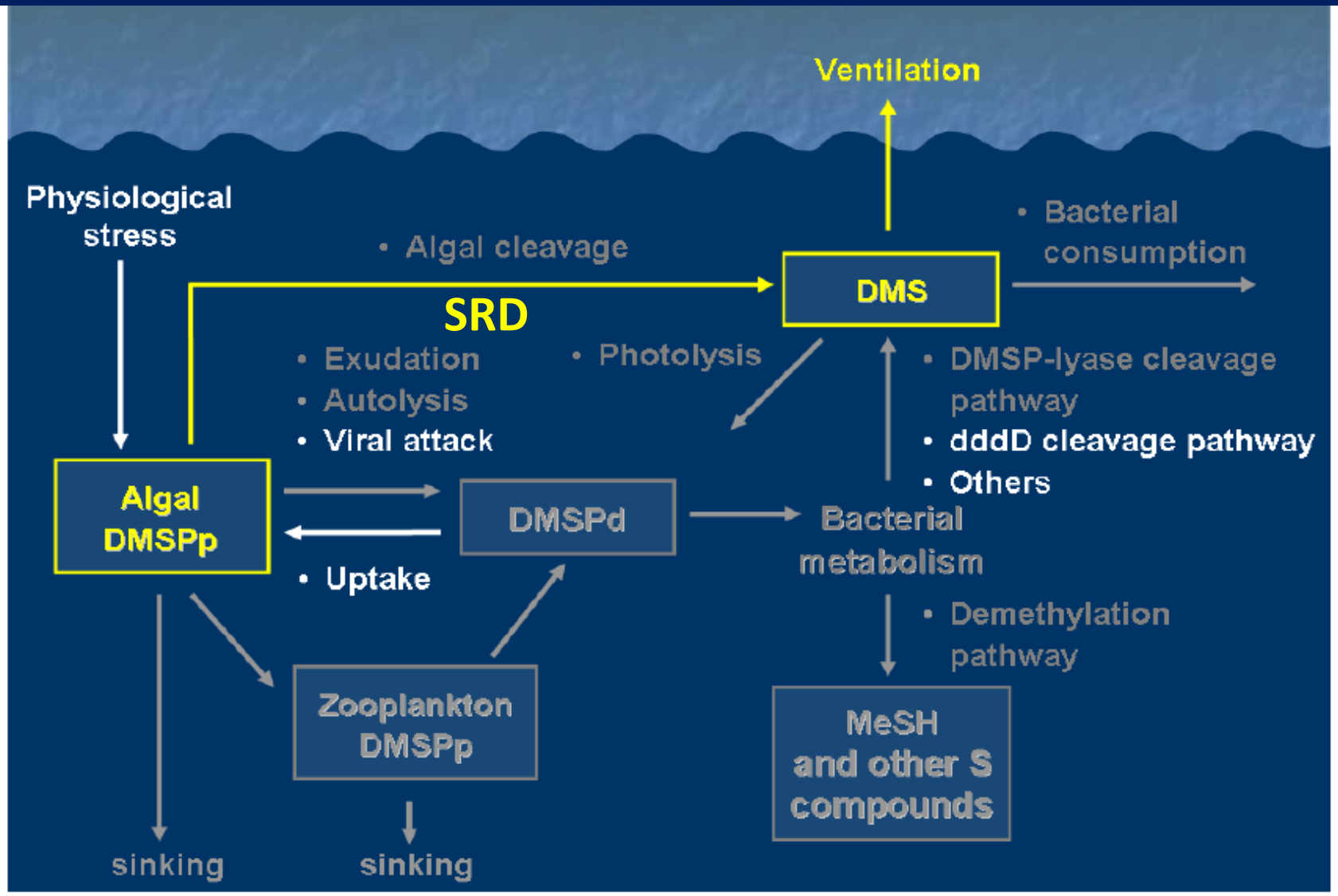
Station BATS : "Summer DMS paradox"? Deux thèses s'affrontent !



Tâche 4 : Cycle biogéochimique DMS dans l'océan

(I. Masotti, Post-doctorat ICOP; S. Belviso/L. Bopp)

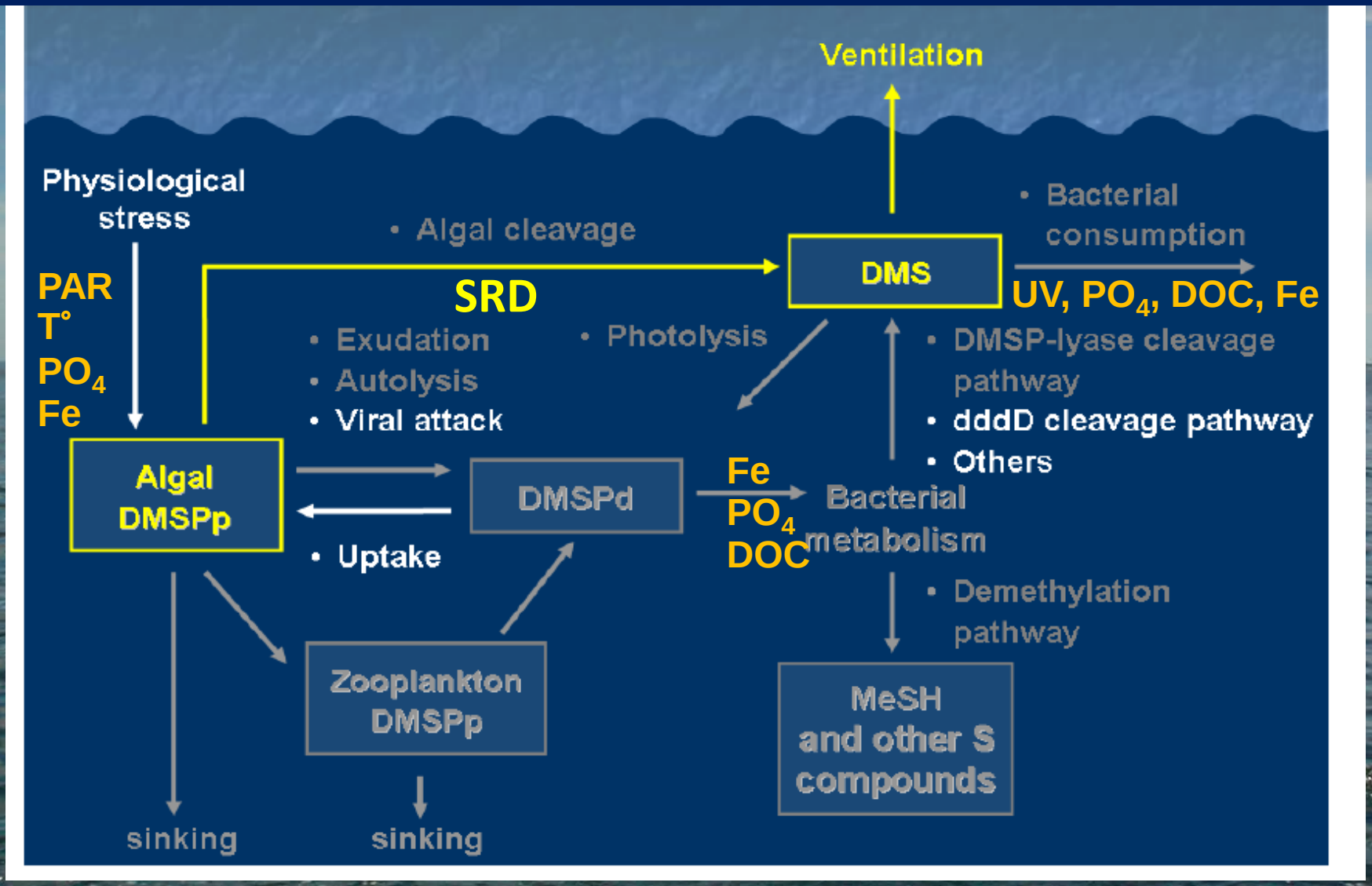
Excrétion phyto = fonction de l'éclairement de surface (Le Clainche et al. 2010)



Tâche 4 : Cycle biogéochimique DMS dans l'océan

(I. Masotti, Post-doctorat ICOP; S. Belviso/L. Bopp)

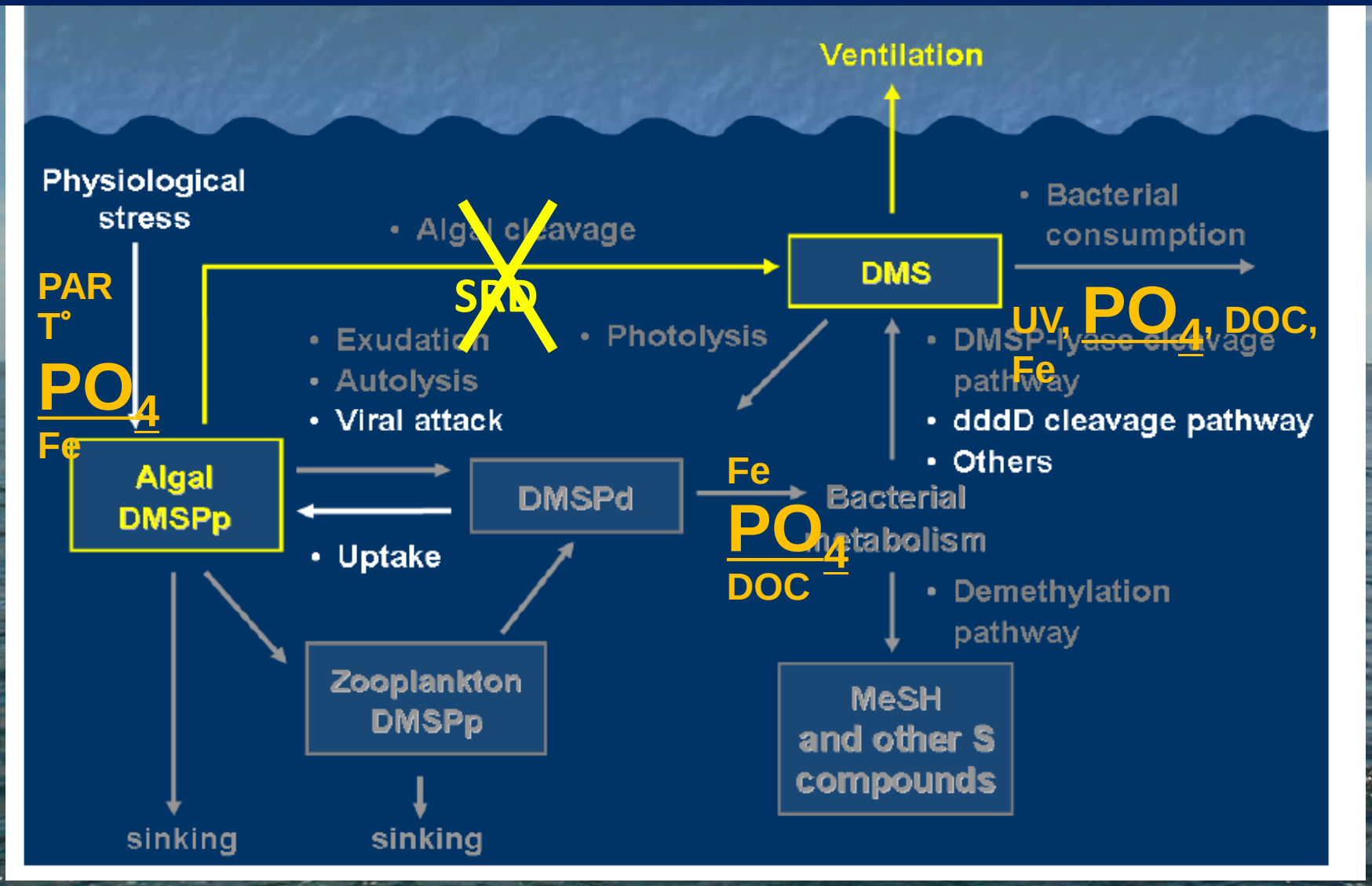
Prod. et dest. contrôlées par disponibilité macro- et micro-nutriments (ce travail)



Tâche 4 : Cycle biogéochimique DMS dans l'océan

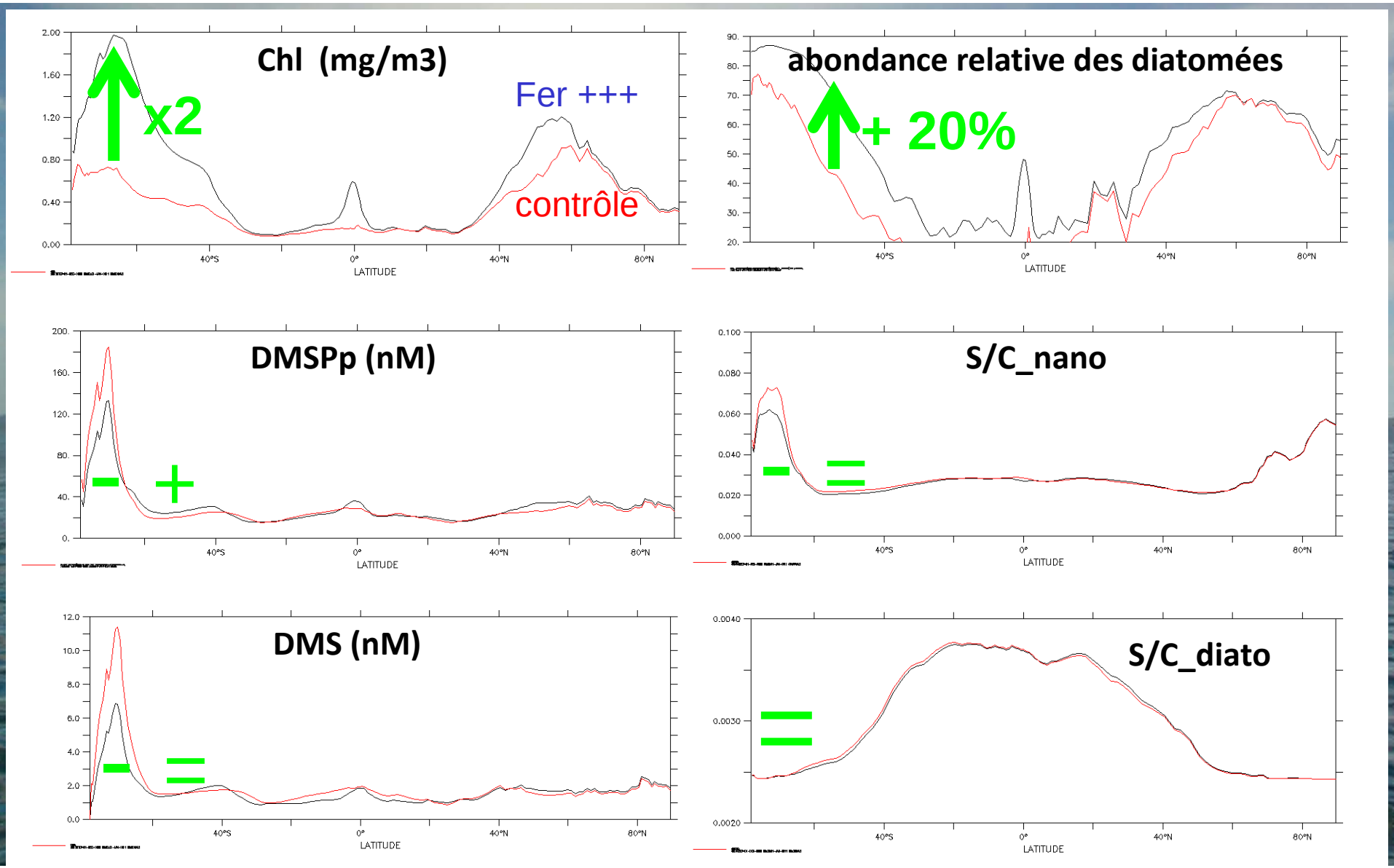
(I. Masotti, Post-doctorat ICOP; S. Belviso/L. Bopp)

Prod. et dest. contrôlées par disponibilité macro- et micro-nutriments (ce travail)



Masotti et al. (JMS, in prep.)

Tâche 4 : NEMO-PISCES-DMS
Effets sur le DMS d'une fertilisation généralisée de l'océan (en moyenne annuelle)



Diminution du DMSPp et du DMS dans l'océan Austral après fertilisation
En accord avec résultats précédents (Bopp et al., 2007)

ICOP: Iron, Copper and Oceanic Phytoplankton

CONCLUSIONS

- Carence en Cu ⇏ Limitation en fer chez *P. delicatissima* : **INVALIDE** l'hypothèse initiale (Wells et al. 2005; Maldonado et al. 2006)

- Limitation en fer ⇏ diatomées plus silicifiées : **INVALIDE** l'hypothèse initiale (Hutchins and Bruland, 1998; Takeda, 1998)

- La limitation en fer affecte les processus de dissolution du frustule : **RE-VISITE** l'hypothèse initiale (Boyle, 1998)

- Limitation et co-limitation Fe/Cu *in-situ* variables selon les régions et les communautés phytoplanctoniques considérées (différences KEOPS 2 et BGH) : **PREMIERES DONNEES**

- Limitation et co-limitation Fe/Cu: Impact à grande échelle ?

  Constitution d'une **BDD Cu** en cours

  DMS SUMMER PARADOX : **$Fe < PO_4^{3-}$**

  Diminution du DMS après fertilisation en fer grande échelle = **VALIDE** l'hypothèse initiale (Bopp et al. 2007)

ICOP: Iron, Copper and Oceanic Phytoplankton

VALORISATION

4 PRESENTATIONS INTERNATIONALES
(ASLO 2012, Goldschmidt 2012, ASLO 2013)

5 PRESENTATIONS DE VULGARISATION
(JDD IUEM, 2011; Exposition IUEM, 2012)

PUBLICATIONS :

1 publiée L&O, 2013

Limnol. Oceanogr., 58(2), 2013, 613–623
© 2013, by the Association for the Sciences of Limnology and Oceanography, Inc.
doi:10.4319/lo.2013.58.2.0613

Iron and copper limitations differently affect growth rates and photosynthetic and physiological parameters of the marine diatom *Pseudo-nitzschia delicatissima*

Aurélie Lelong,[a,*] Eva Bucciarelli,[a,b] Hélène Hégaret,[a] and Philippe Soudant[a]

ICOP: Iron, Copper and Oceanic Phytoplankton

VALORISATION

4 PRESENTATIONS INTERNATIONALES
(ASLO 2012, Goldschmidt 2012, ASLO 2013)

5 PRESENTATIONS DE VULGARISATION
(JDD IUEM, 2011; Exposition IUEM, 2012)

PUBLICATIONS :

1 publiée L&O, 2013
1 en révision L&O

Increased intracellular concentrations of DMSP and DMSO in iron-limited oceanic phytoplankton *Thalassiosira oceanica* and *Trichodesmium erythraeum*

Eva Bucciarelli,[a,b,*] Céline Ridame,[c] William G. Sunda,[d] Céline Dimier-Hugueney,[c] Marie Cheize,[a] Sauveur Belviso[e]

L&O 12-457, in rev.

ICOP: Iron, Copper and Oceanic Phytoplankton

VALORISATION

4 PRESENTATIONS INTERNATIONALES
(ASLO 2012, Goldschmidt 2012, ASLO 2013)

5 PRESENTATIONS DE VULGARISATION
(JDD IUEM, 2011; Exposition IUEM, 2012)

PUBLICATIONS :

1 publiée L&O, 2013
1 en révision L&O
3 à soumettre
- **Lelong et al. (T1/T2)**
- **Boutorh et al. (T1/T2)**
- **Masotti et al. (T4)**

2 en préparation
- **Godrant et al. (T1/T3)**
- **Sarthou et al. (T3)**

? en fonction des résultats en cours d'exploitation

ICOP: Iron, Copper and Oceanic Phytoplankton

VALORISATION

4 PRESENTATIONS INTERNATIONALES
(ASLO 2012, Goldschmidt 2012, ASLO 2013)

5 PRESENTATIONS DE VULGARISATION
(JDD IUEM, 2011; Exposition IUEM, 2012)

PUBLICATIONS :

1 publiée L&O, 2013 / 1 en révision L&O / 3 à soumettre/ 2 en préparation

FORMATION DE 8 JEUNES CHERCHEURS/ETUDIANTS :

2 post doctorants (A. Godrant, T1/T3; I. Masotti, T4)
3 doctorants (A. Lelong, T1; J. Boutorh, T2; F. Quéroué, T3)
2 Masters (M. Daoudal, T1/T3; Y. Heriot, T2)
1 IUT (M. Long, T1)

SITE WEB : http://www.univ-brest.fr/ANR-JCJC-606

Merci de votre attention !