

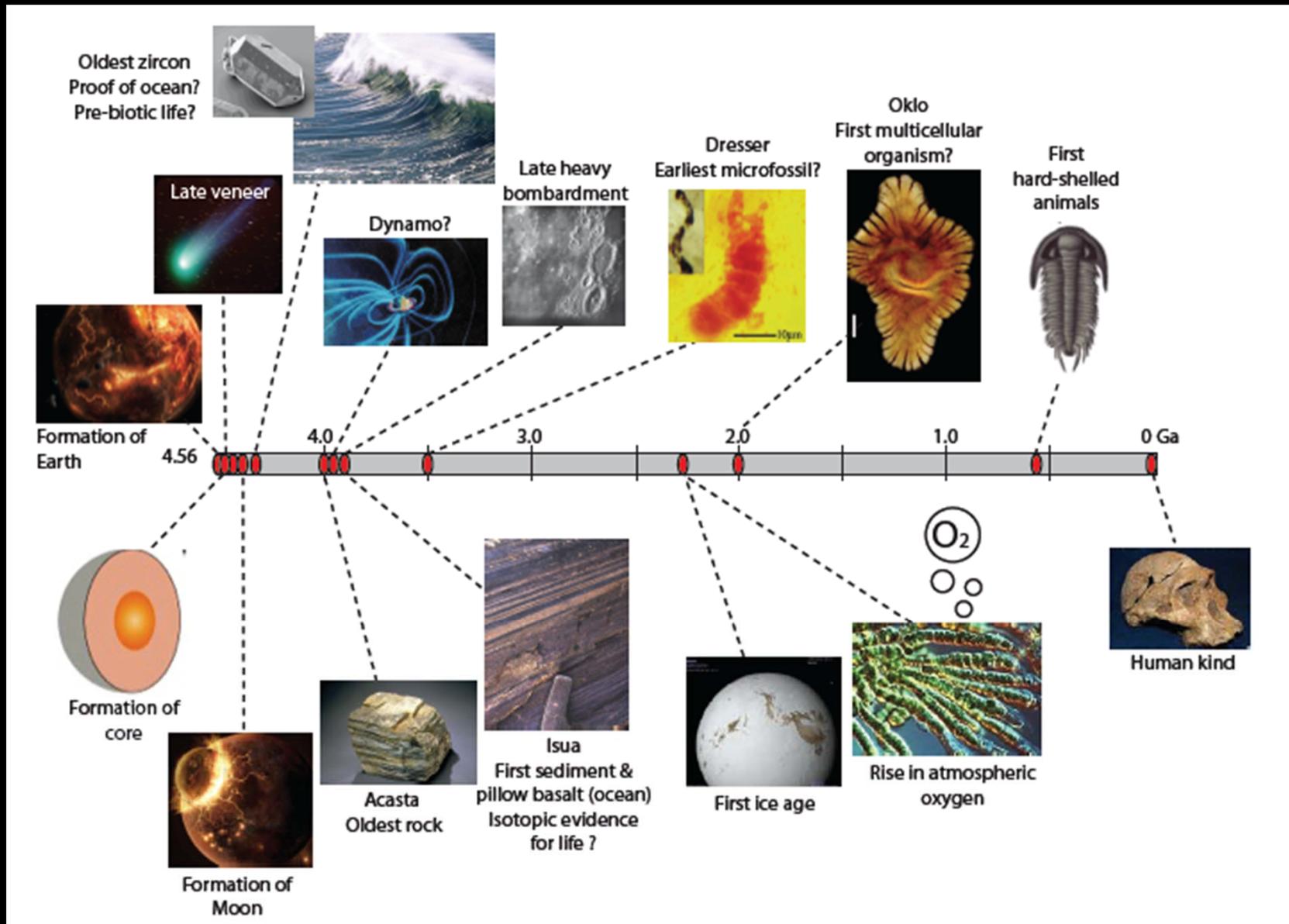
Couplage minéralogie - géochimie à petite échelle : vers une meilleure compréhension des conditions environnementales au Précambrien



Johanna Marin-Carbonne

LMV-TL Université Jean Monnet Saint-Etienne

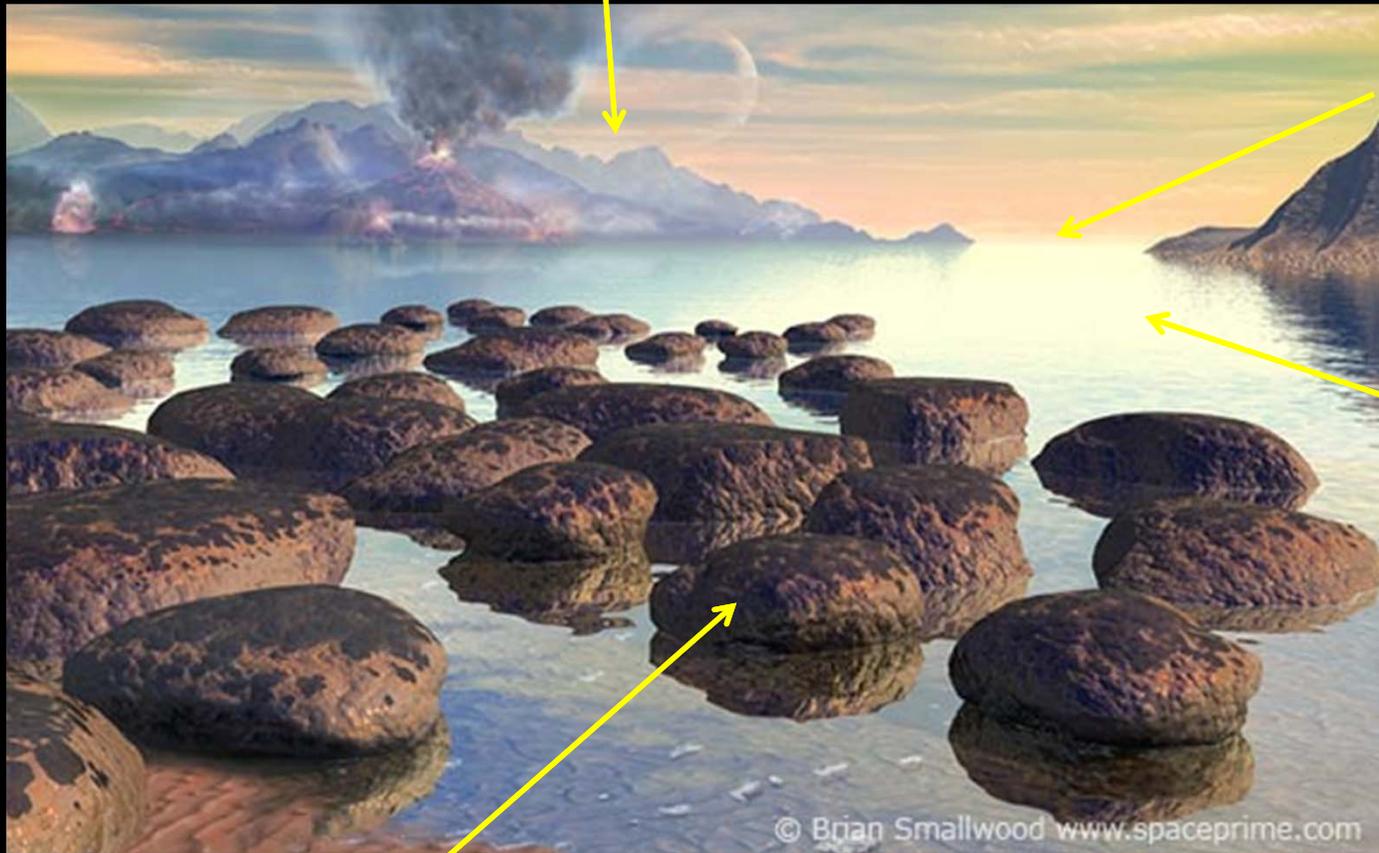
Le Précambrien



Conditions environnementales de la terre primitive (3.85-2 Ga)

Composition de l'atmosphère ?

Isotopes S



Température de l'océan ?

Isotopes O et Si

Conditions Redox ?

Isotopes Fe et S

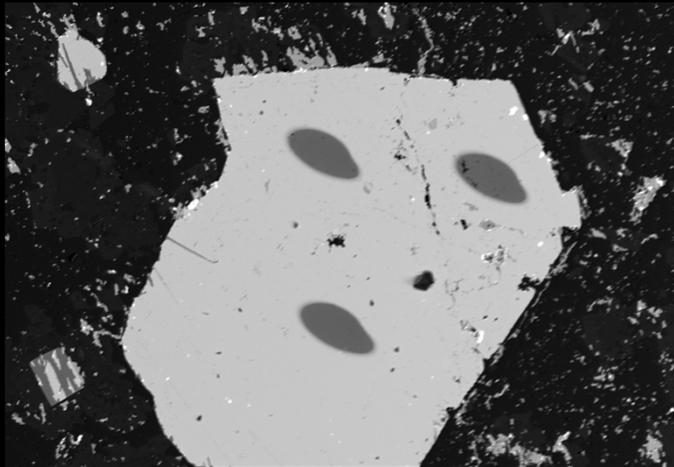
Métabolisme microbien ?

Isotopes Fe et S

© Brian Smallwood www.spaceprime.com

Couplage Minéralogie Géochimie : caractérisation multi-échelles

Minéral



MEB
MET
EPMA
Raman

Roche



Analyse in situ (SIMS)

Analyse roche totale

Diagénèse

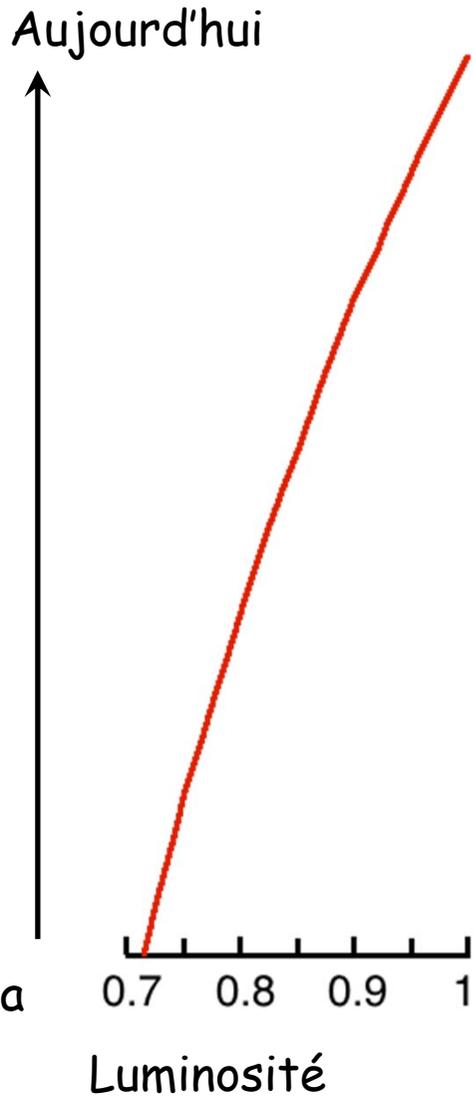


Température
de l'océan

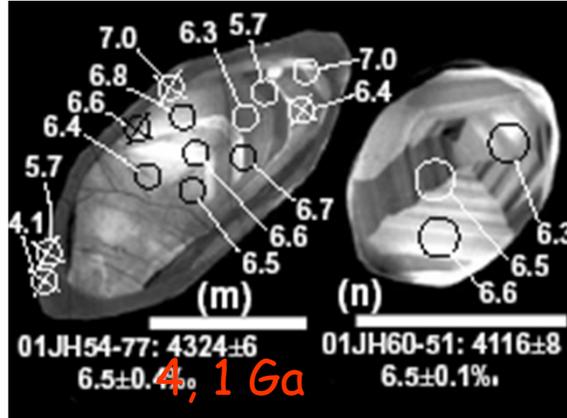
Evolution redox de
la surface

Conditions environnementales

Le paradoxe du Soleil Jeune



Gough 1981



Valley et al., 2005

$\delta^{18}\text{O}$ des
zircons et
présence de
roches
sédimentaires



Banded Iron
Formations

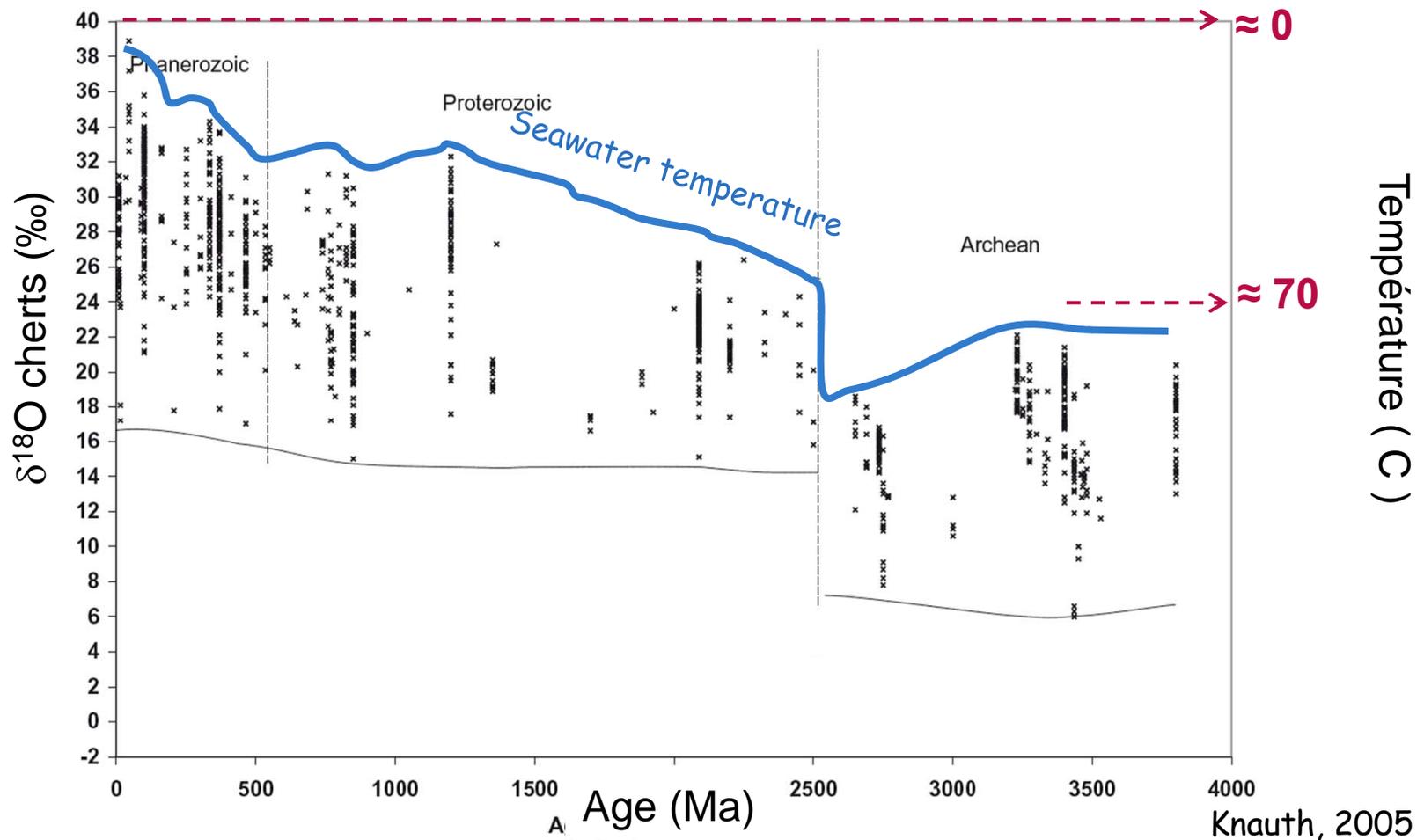


Eau liquide

Reconstruction des températures passées à partir de la composition isotopique de l'oxygène des cherts

e. g. Knauth and Epstein, 1976 ; Knauth and Lowe, 1978, 2003 ; Knauth, 2005

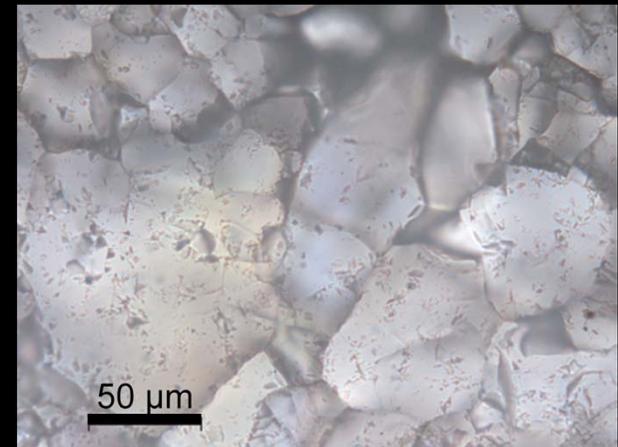
Cette approche suppose entre autres (i) un équilibre isotopique entre le chert et l'eau de mer (ii) une préservation isotopique depuis leur formation



Préservation des roches et des signatures ?



cherts = roches
« sédimentaires »
siliceuses anciennes qui
ont subi de nombreuses
circulations fluides et
des déformations

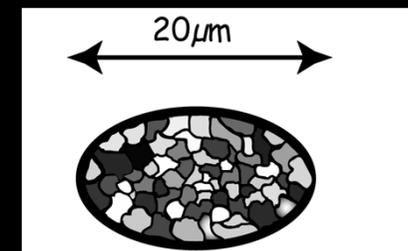
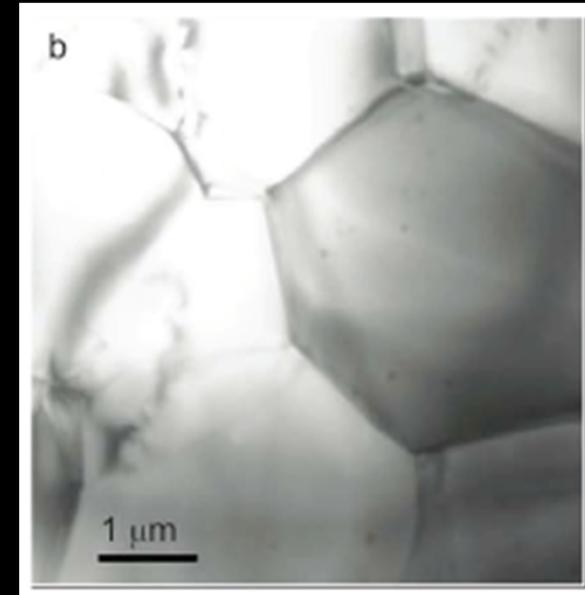
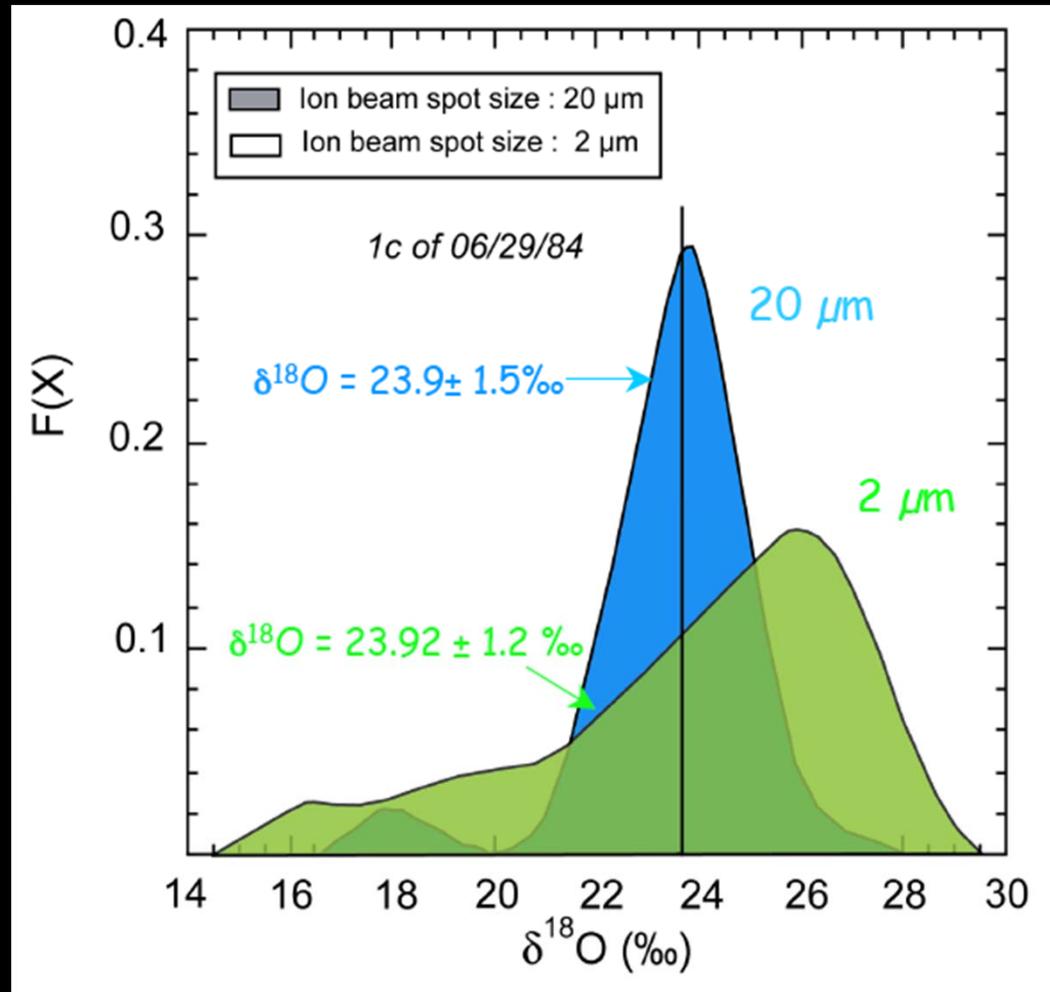


Etude détaillée du microquartz

Chert de Mendon (3.24 Ga, Afrique du Sud)

La température de l'océan au Précambrien

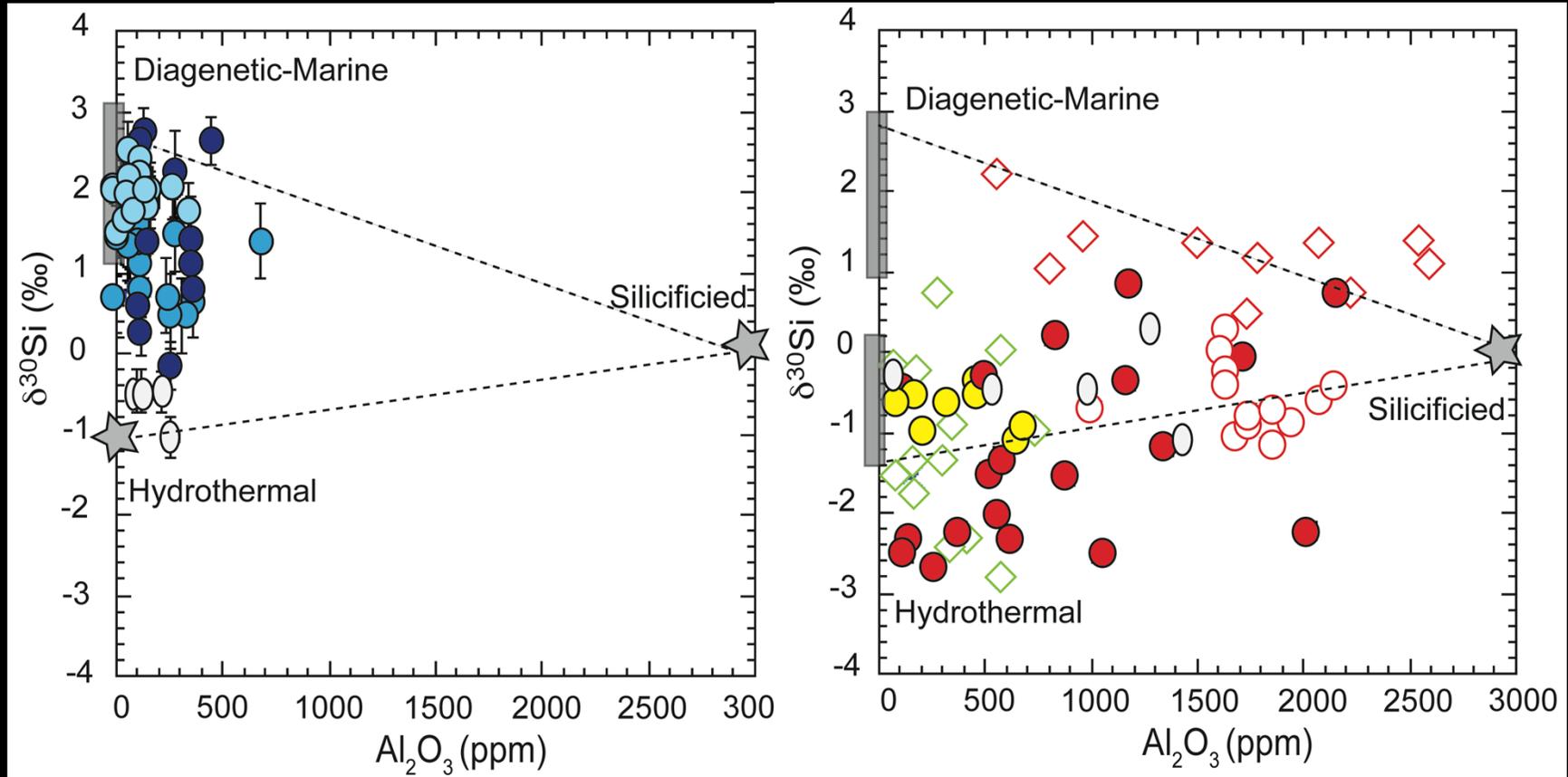
Composition isotopique in situ O et Si des cherts (roches siliceuses) du Précambrien



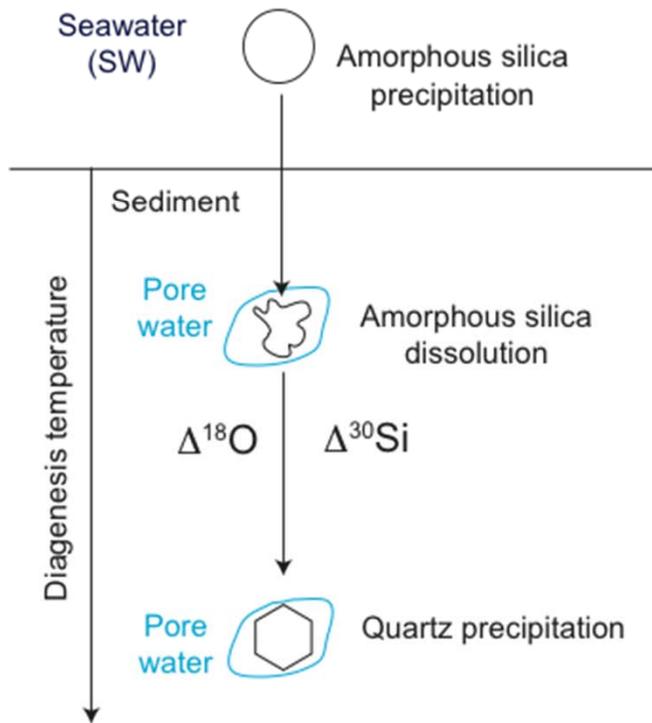
Grande hétérogénéité isotopique du microquartz à petite échelle

Marin et al. (2010), GCA, Marin-Carbonne et al., (2013, 2014) Precambrian Res

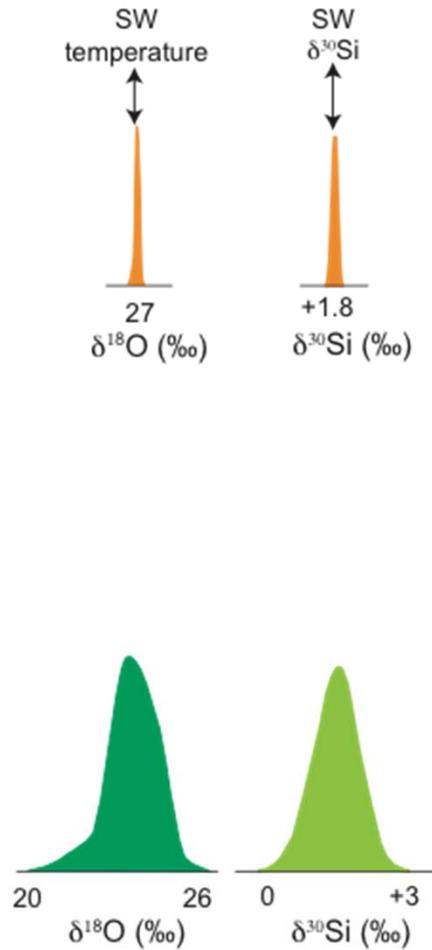
Origine des cherts via le $\delta^{30}\text{Si}$



Closed System diagenesis Model



Isotope Compositions



Modèle de diagenèse des cherts

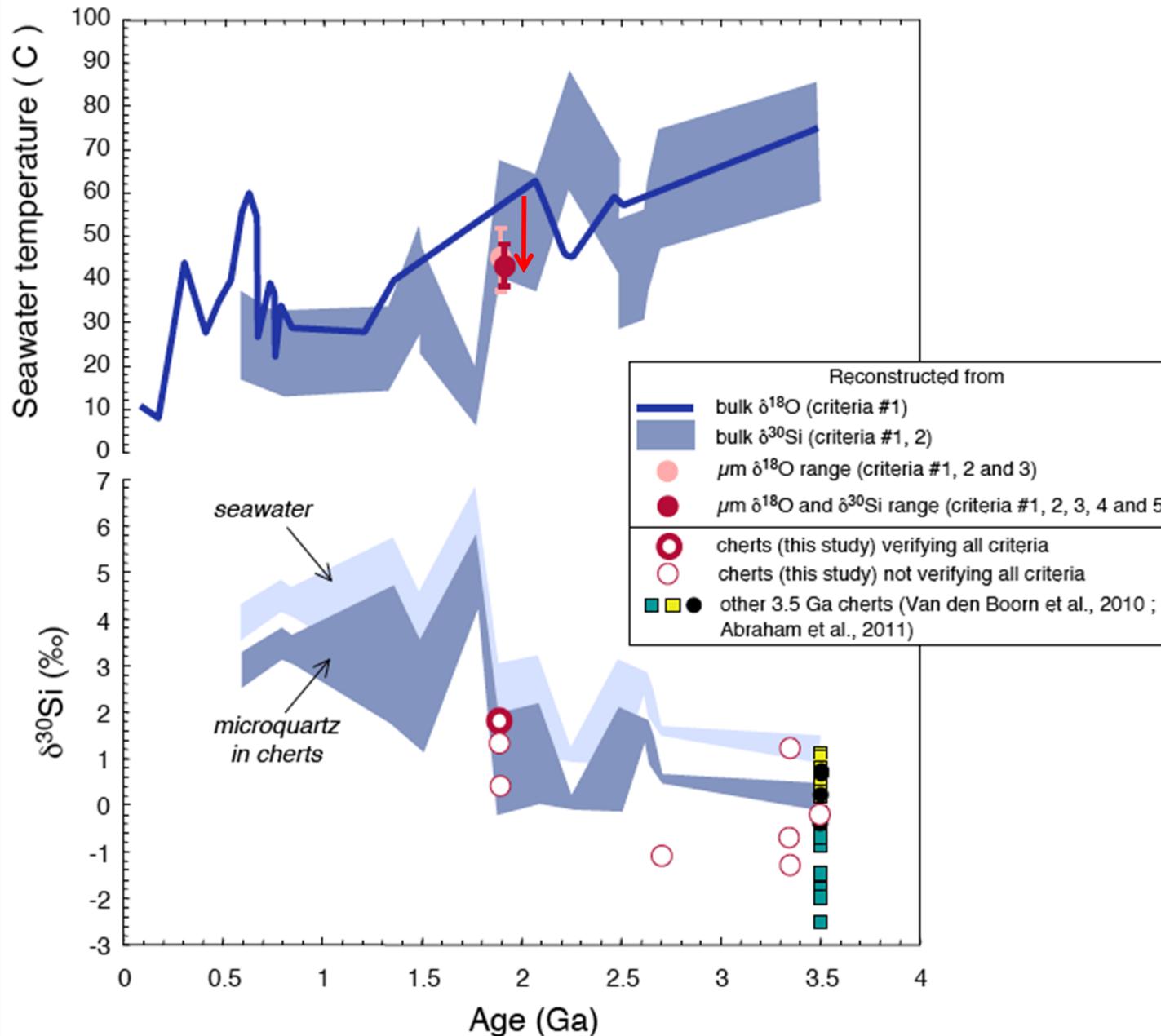
Réactions de dissolution
précipitation d'un précurseur
amorphe



Définition de critères quantitatifs de préservation des cherts afin de reconstruire la température océanique

- critère #1: chert composé de microquartz non recristallisé
- critère #2: $\delta^{18}\text{O}$ du microquartz proche (4-6 ‰) du maximum défini pour cet âge
- critère #3: Grande gamme de variation du $\delta^{18}\text{O}$ (> 10‰ à $2\mu\text{m}$) du microquartz
- critère #4: Corrélacion entre $\delta^{30}\text{Si}$ et les compositions en éléments traces (Al, Mg, Ti) du microquartz
- critère #5: Gamme de variation du $\delta^{30}\text{Si}$ correspondante à la température de diagenèse calculée à partir de la gamme de $\delta^{18}\text{O}$

La température de l'océan au Précambrien



Température plus clémente

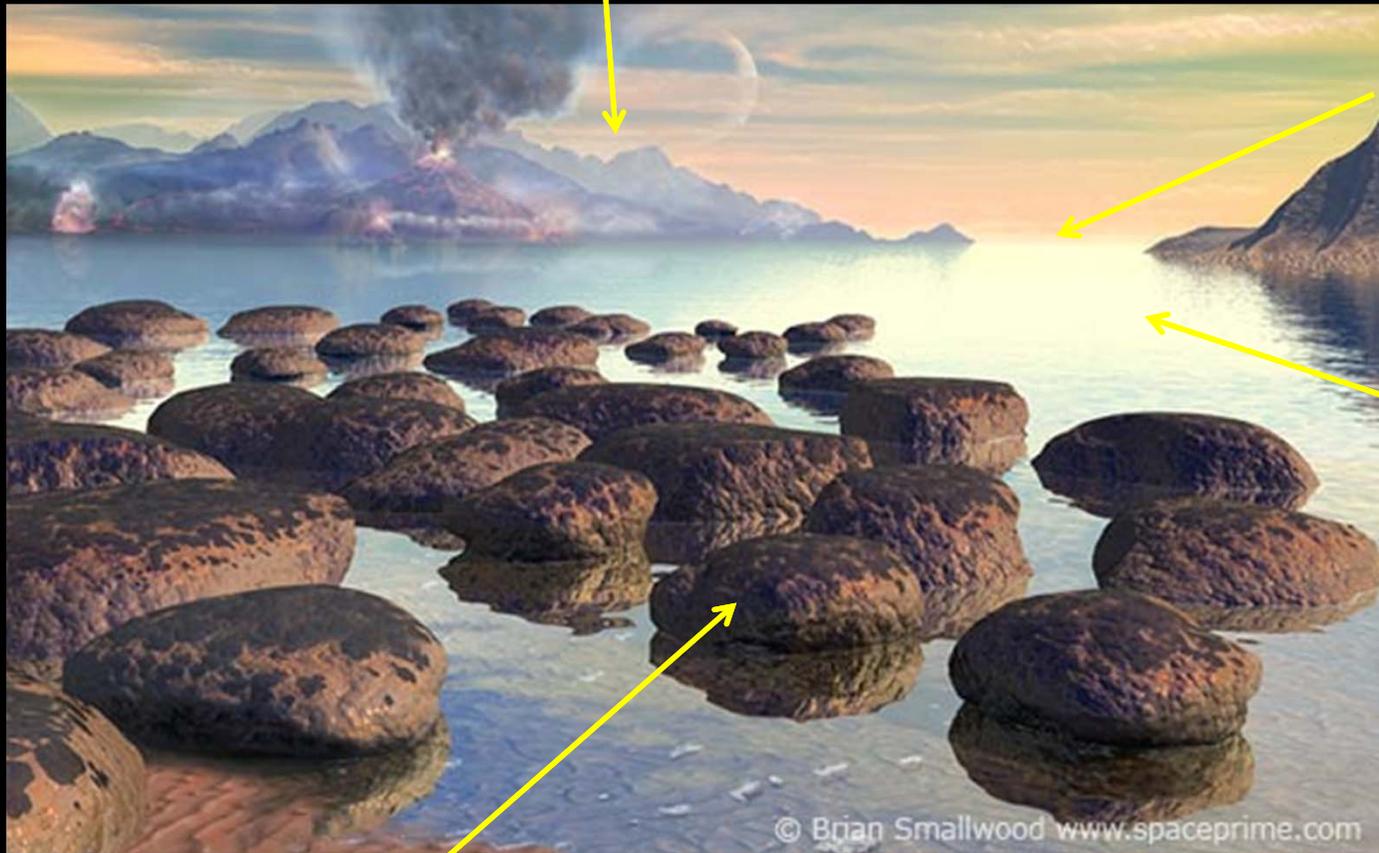
$T = 37-45\text{ }^{\circ}\text{C}$

Marin-Carbonne et al., (2012) GCA
, (2014) Precambria n Res

Conditions environnementales de la terre primitive (3.85-2 Ga)

Composition de l'atmosphère ?

Isotopes S



Température de l'océan ?

Isotopes O et Si

Conditions Redox ?

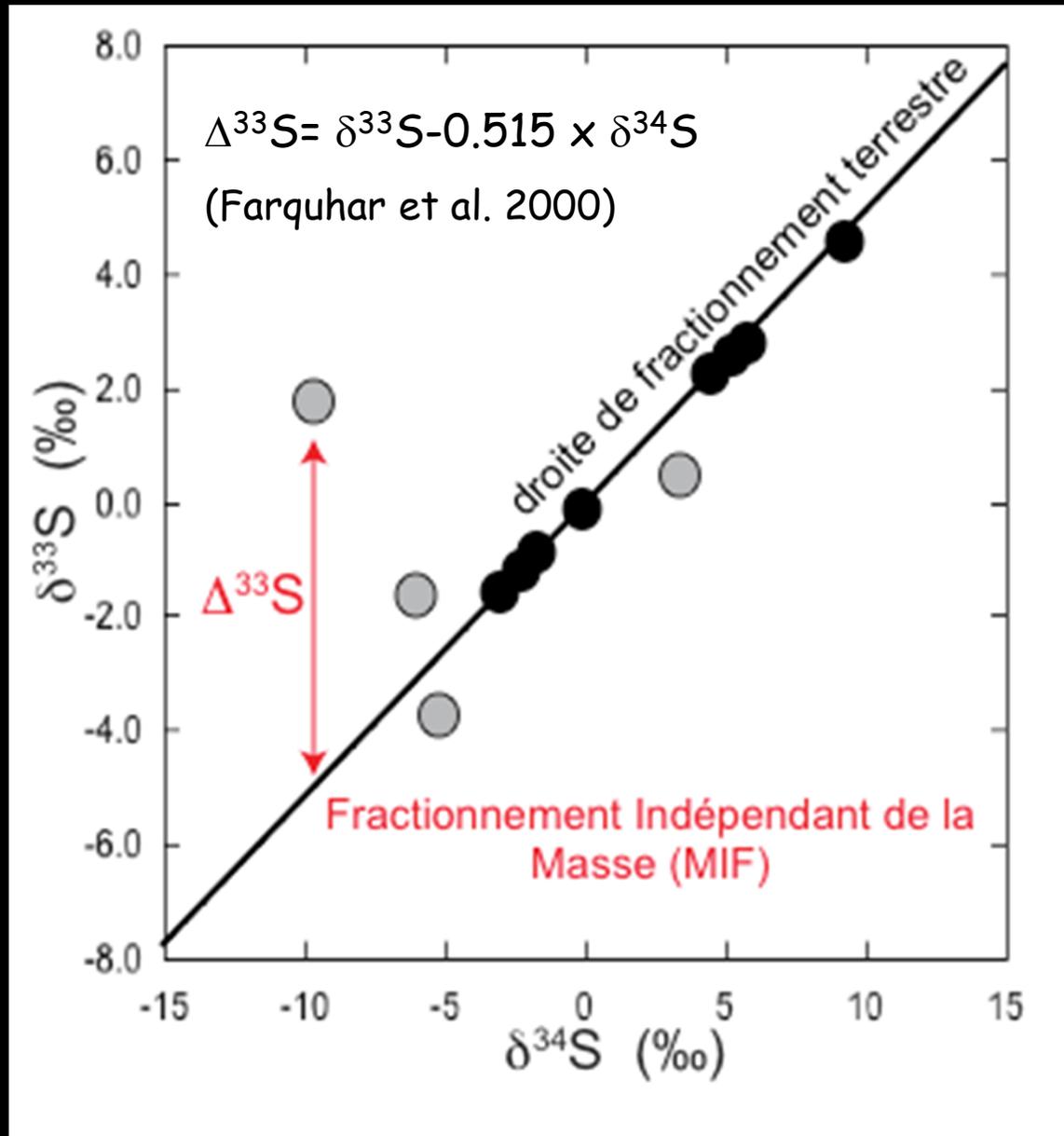
Isotopes Fe et S

Métabolisme microbien ?

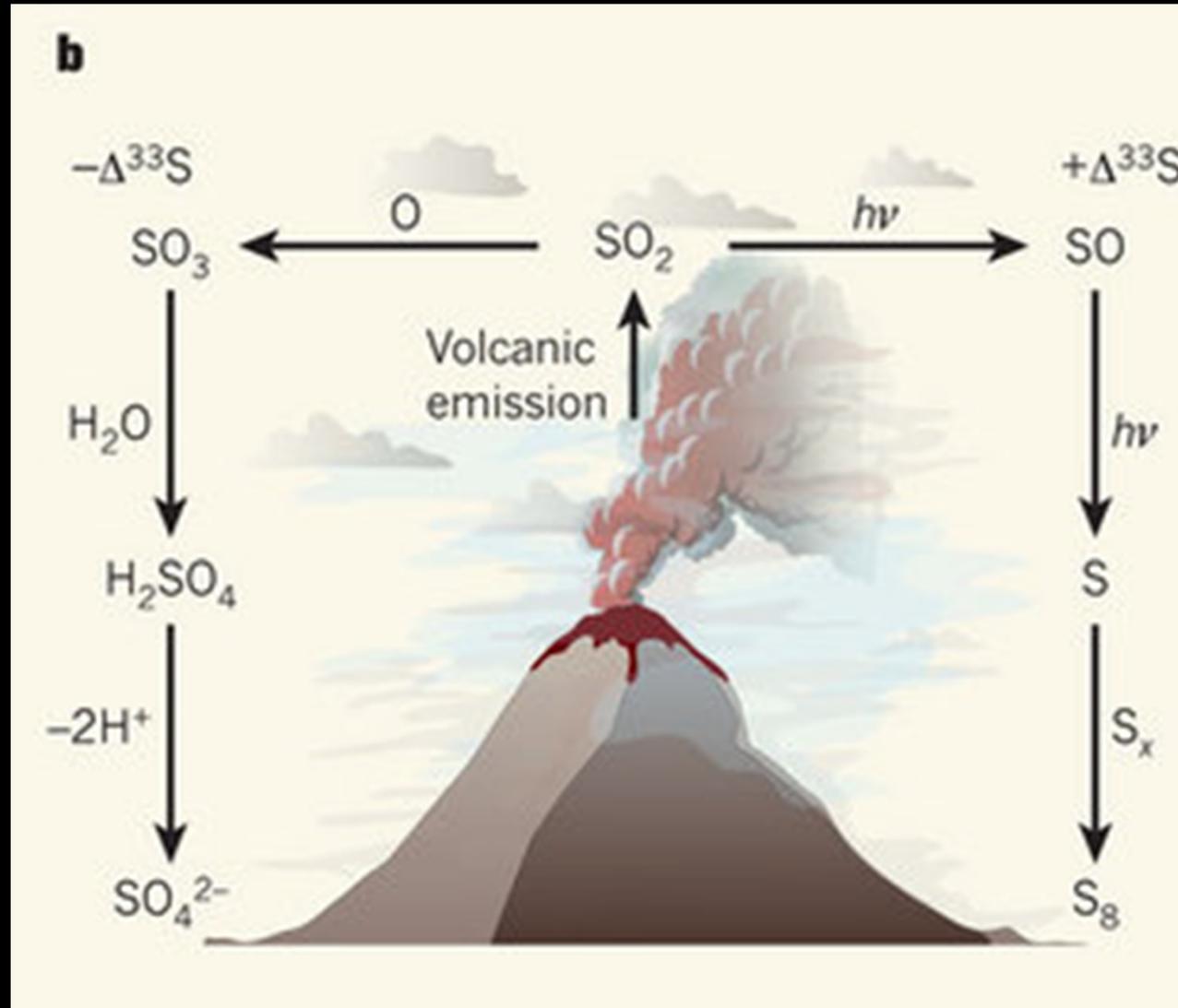
Isotopes Fe et S

© Brian Smallwood www.spaceprime.com

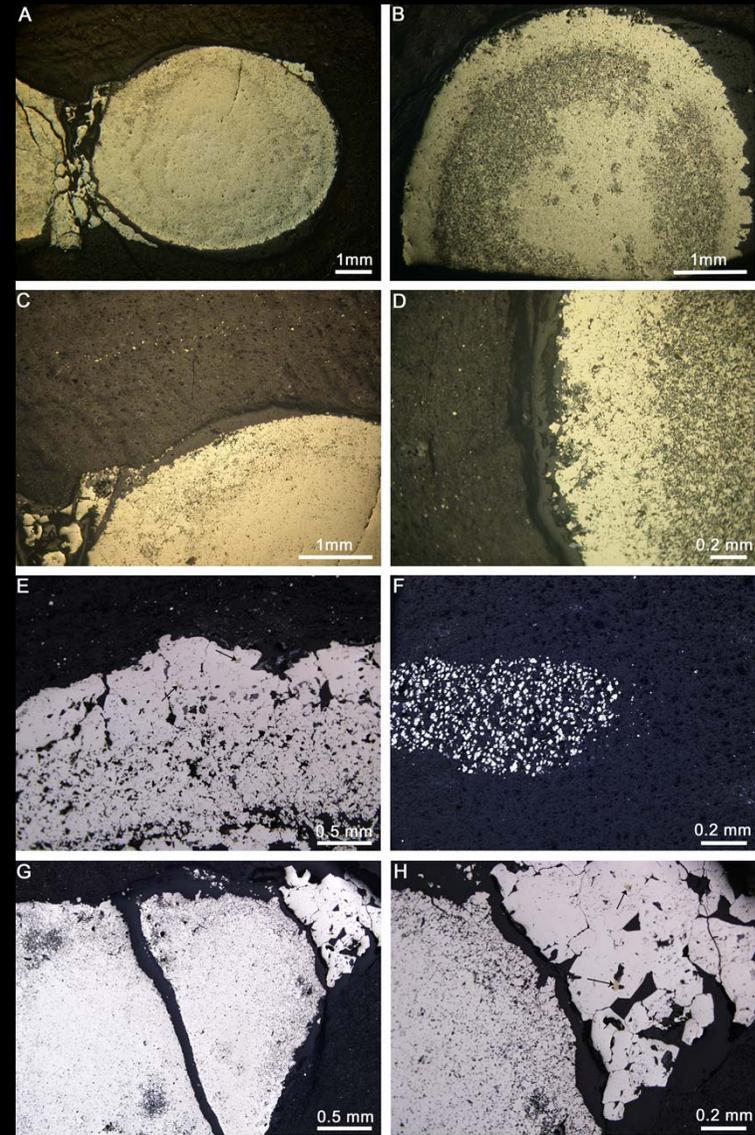
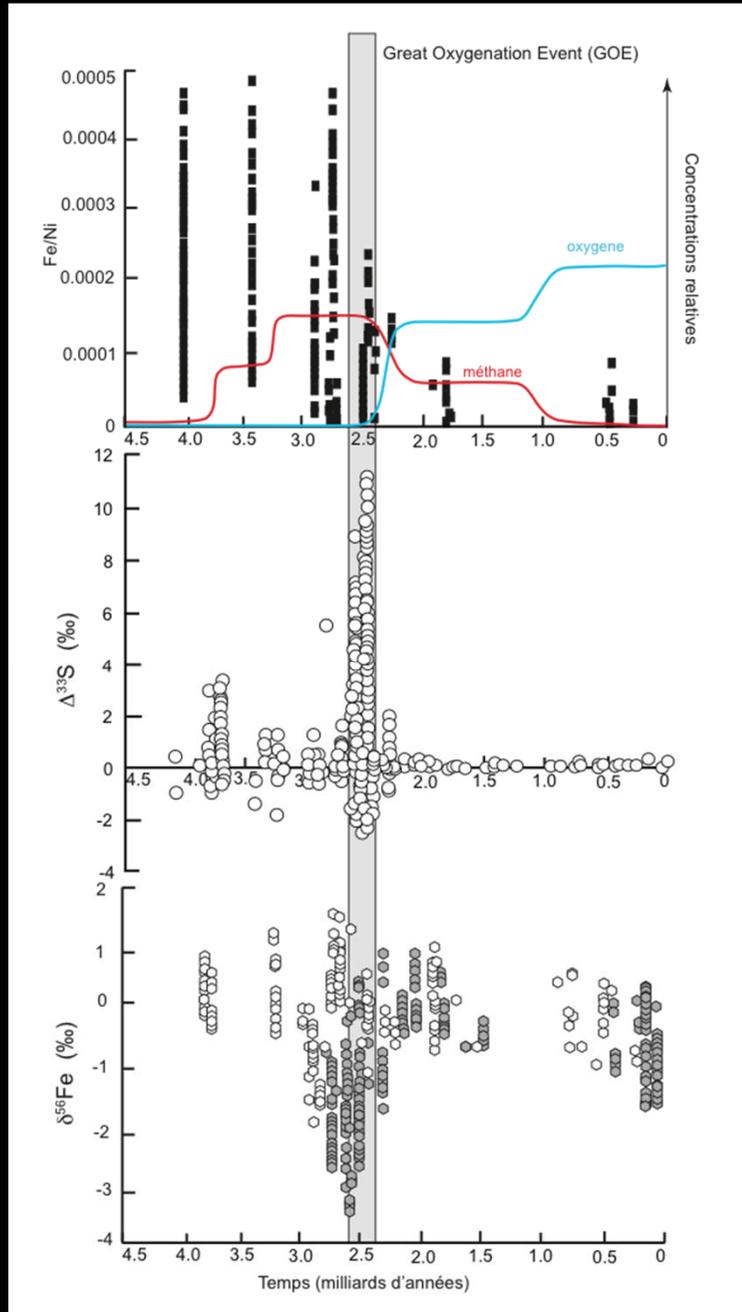
Fractionnement indépendant de la masse du S



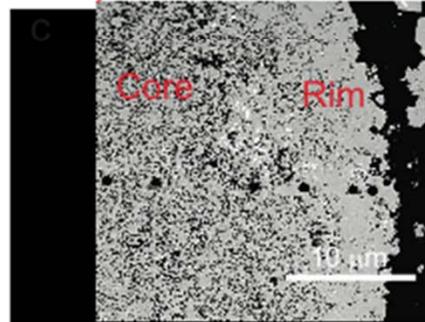
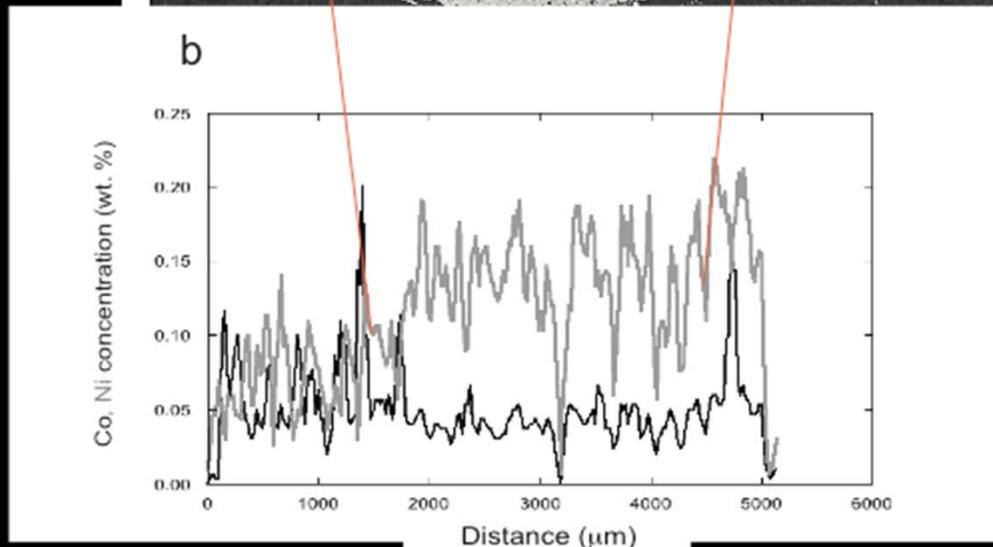
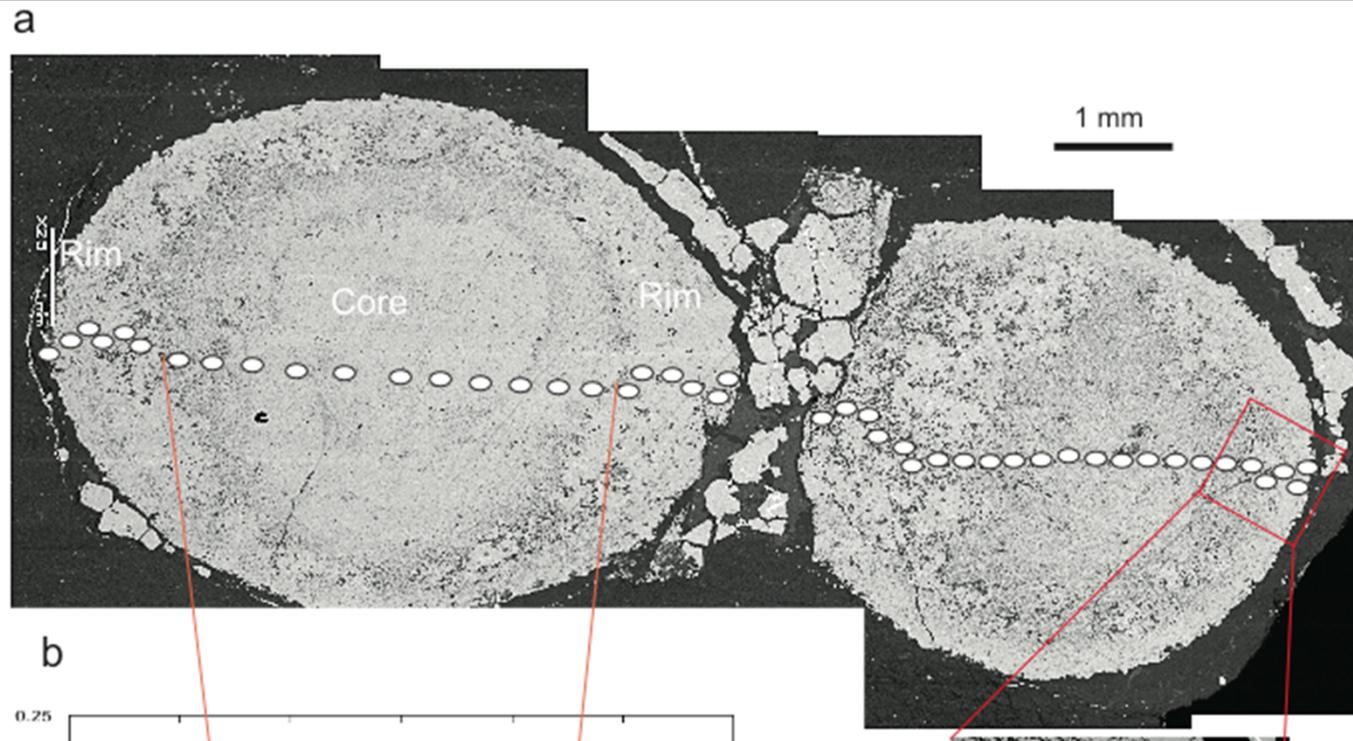
Oxygénation de l'atmosphère et de l'océan



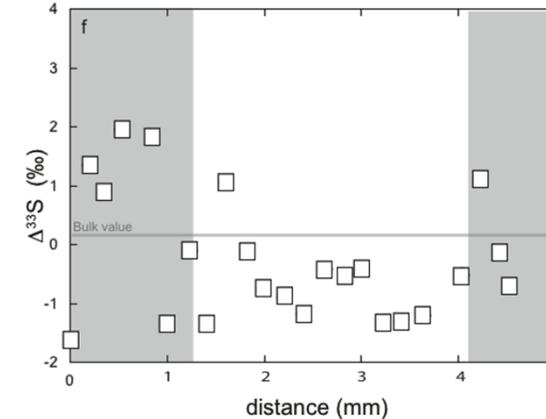
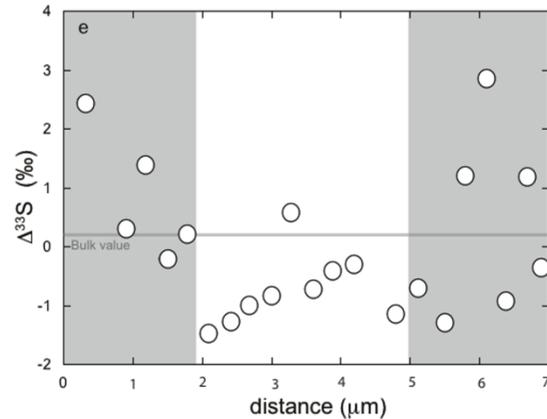
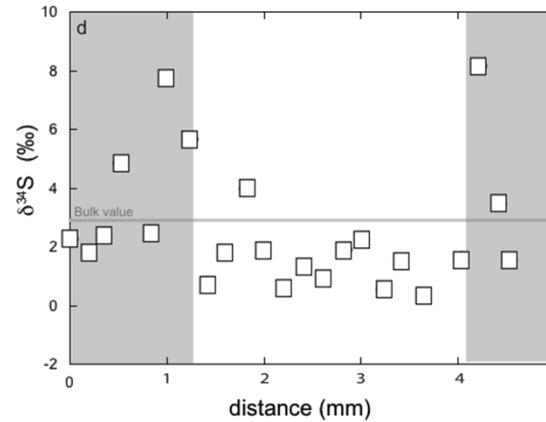
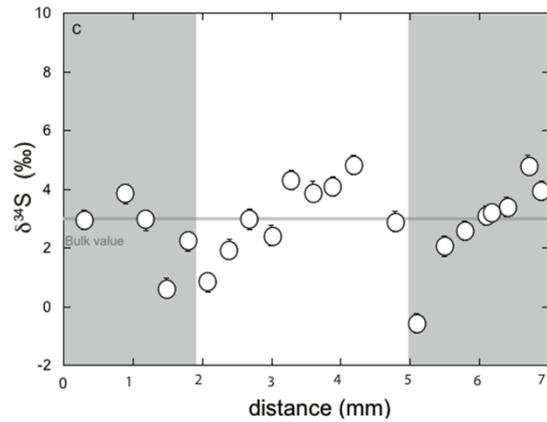
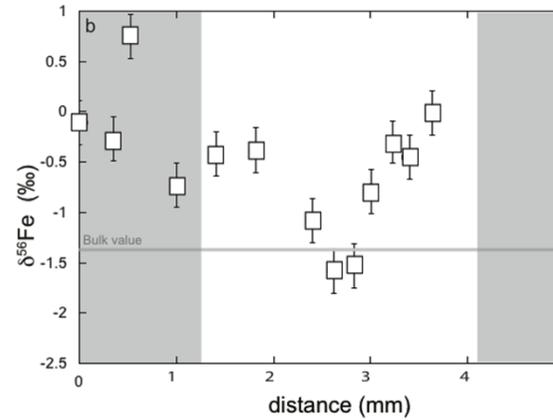
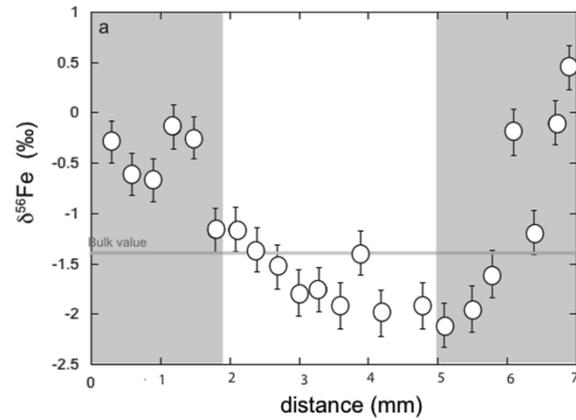
Oxygénation de l'atmosphère et de l'océan



Nodules de pyrite



Compositions isotopiques Fe,
S bulk à 0 ‰

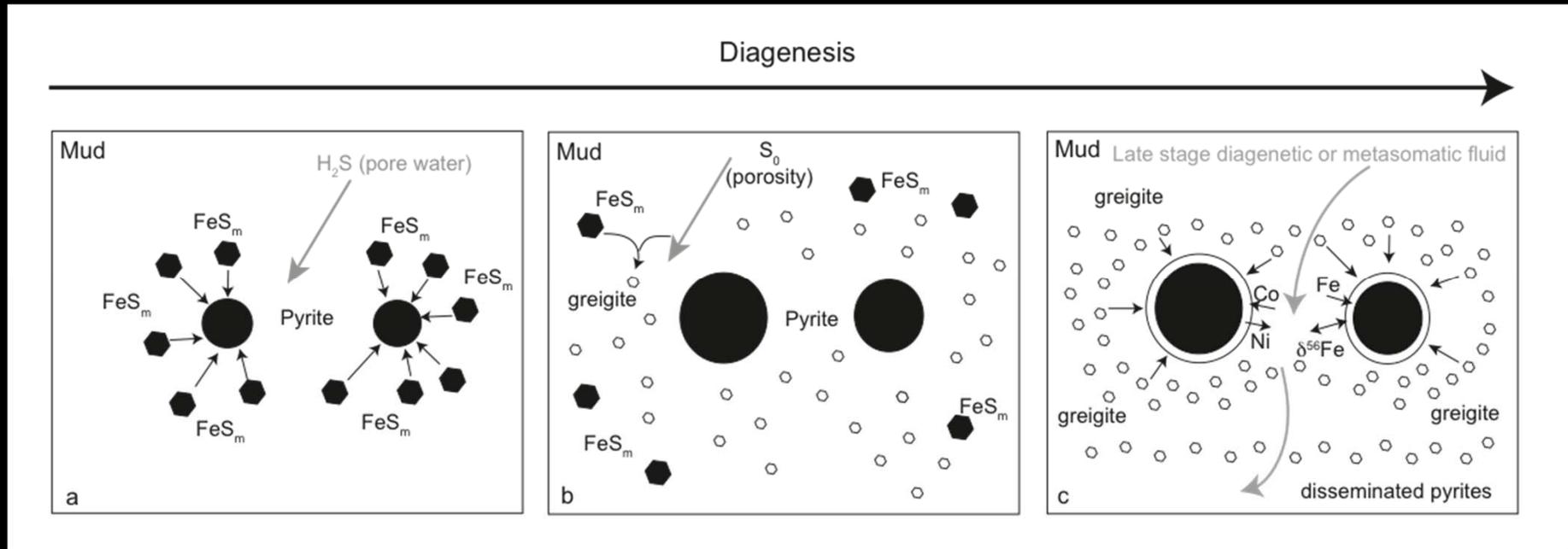


Nodules
composés d'un
cœur et d'une
bordure

Grande
hétérogénéité
isotopique

MIF positif et
négatif

Une histoire complexe de cristallisation



2 étapes de cristallisation, pas d'influence de métabolisme

2 sources de S : distinctes and contemporaines provenant de l'atmosphère, sulfate soluble sulfate et S élémentaire

=> Expériences de cristallisation afin de tester ce modèle

Conclusion

- ✓ Les conditions environnementales du Précambrien et l'apparition de la vie
- ✓ Problème : reconnaître les signatures des métabolismes microbiens et transformations post dépôts
- ✓ Caractérisation isotopique et minéralogique fine d'échantillons naturels
 - Intérêt de l'approche in situ et du multi traçage isotopique*
- ✓ Importance de la diagénèse et des processus d'altération dans la reconstruction des conditions passées

Collaborateurs

Vincent Busigny (IPGP)

Claire Rollion-Bard (IPGP)

Pascal Philippot (IPGP)

Pierre Cartigny (IPGP)

Marc Chaussidon (IPGP)

Laurent Remusat (Mnhn)

Sylvain Bernard (Mnhn)

Jennyfer Miot (Mnhn)

François Robert (Mnhn)

François Faure (CRPG, Nancy)

Beatrice Luais (CRPG, Nancy)

Marie-Christine Boiron (G2R, Nancy)

Olivier Rouxel (Ifremer, Brest)

Kevin McKeegan (UCLA)

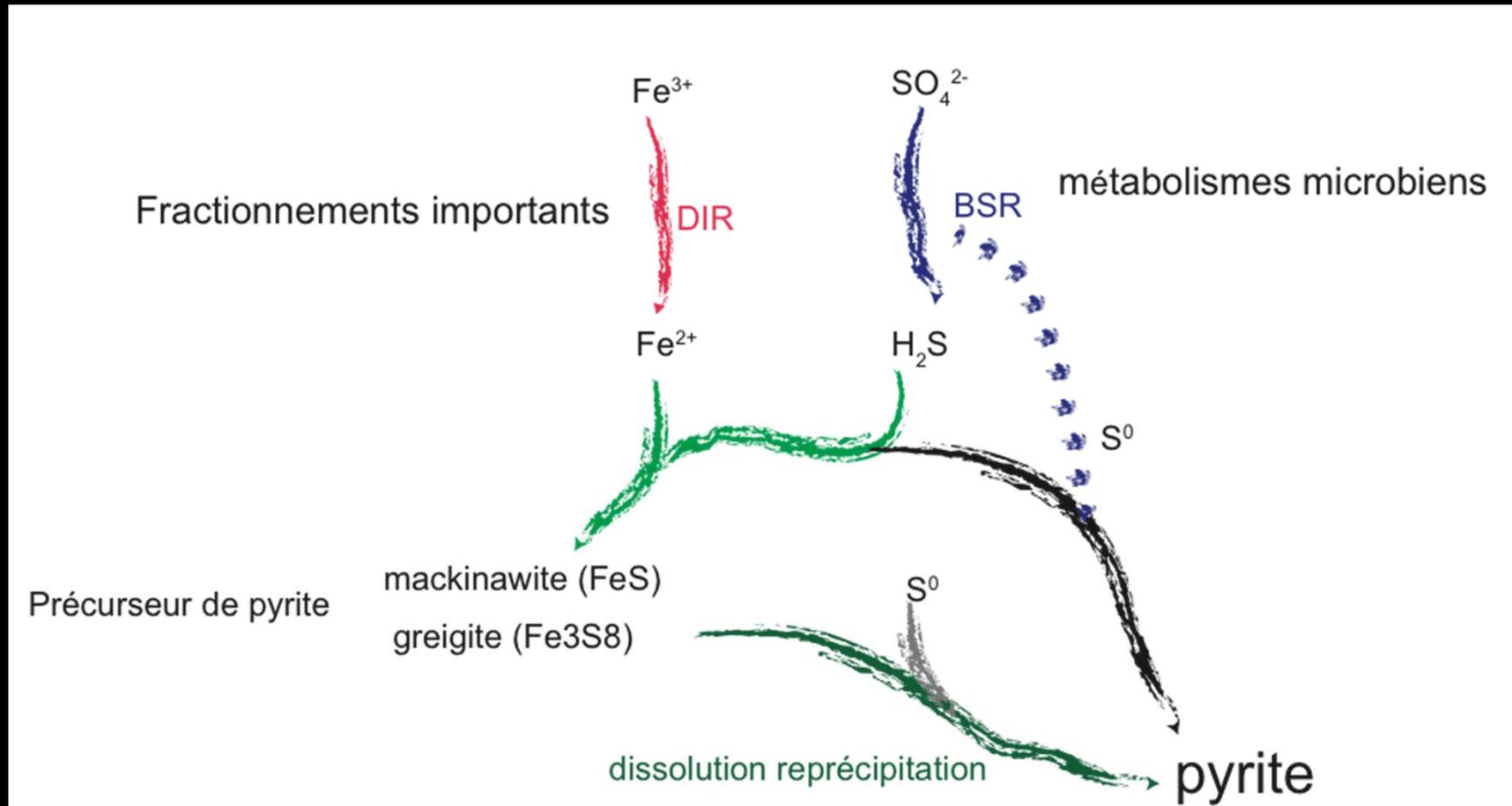
Andrey Bekker (University of California,
Riverside)

Axel Hofmann (University of Johannesburg)

Karen Ziegler (University of New Mexico)

Je vous remercie

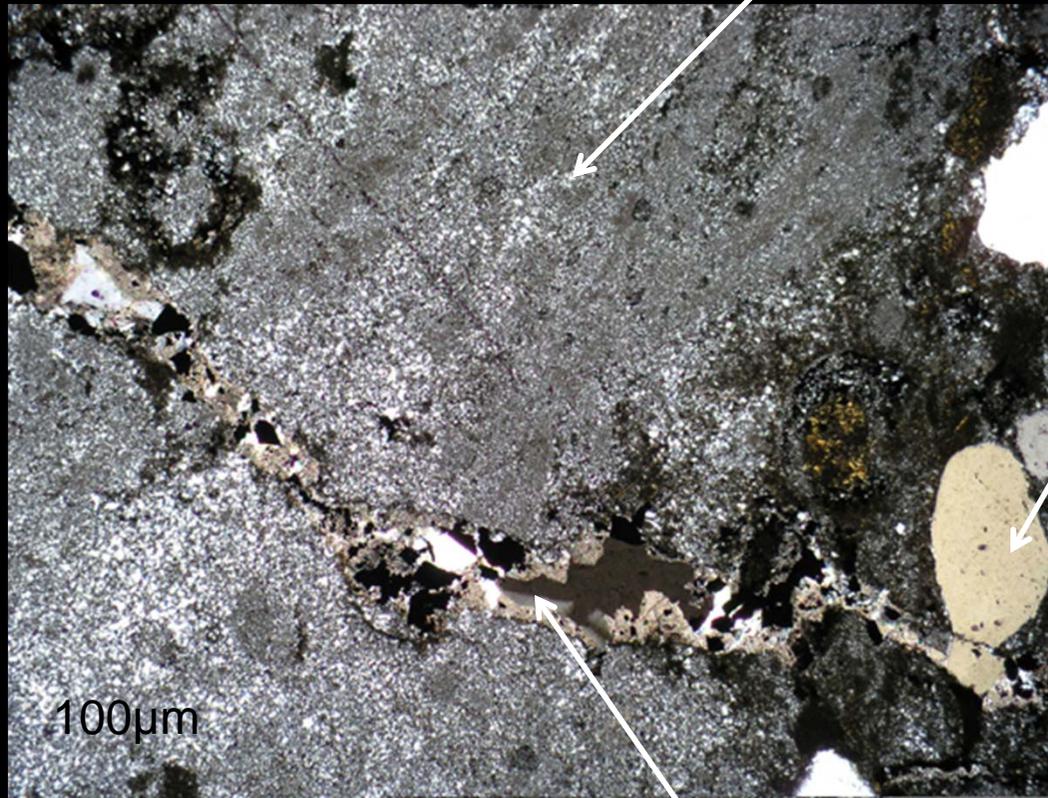
Modèle de diagénèse de la pyrite



Divers précurseurs (monosulfures, polysulfures)
Réactions (cinétique et fractionnements associées) mal connues

Quelle est la signification du bulk $\delta^{18}\text{O}$ d' un chert ?

Microquartz (diagénétique ?)

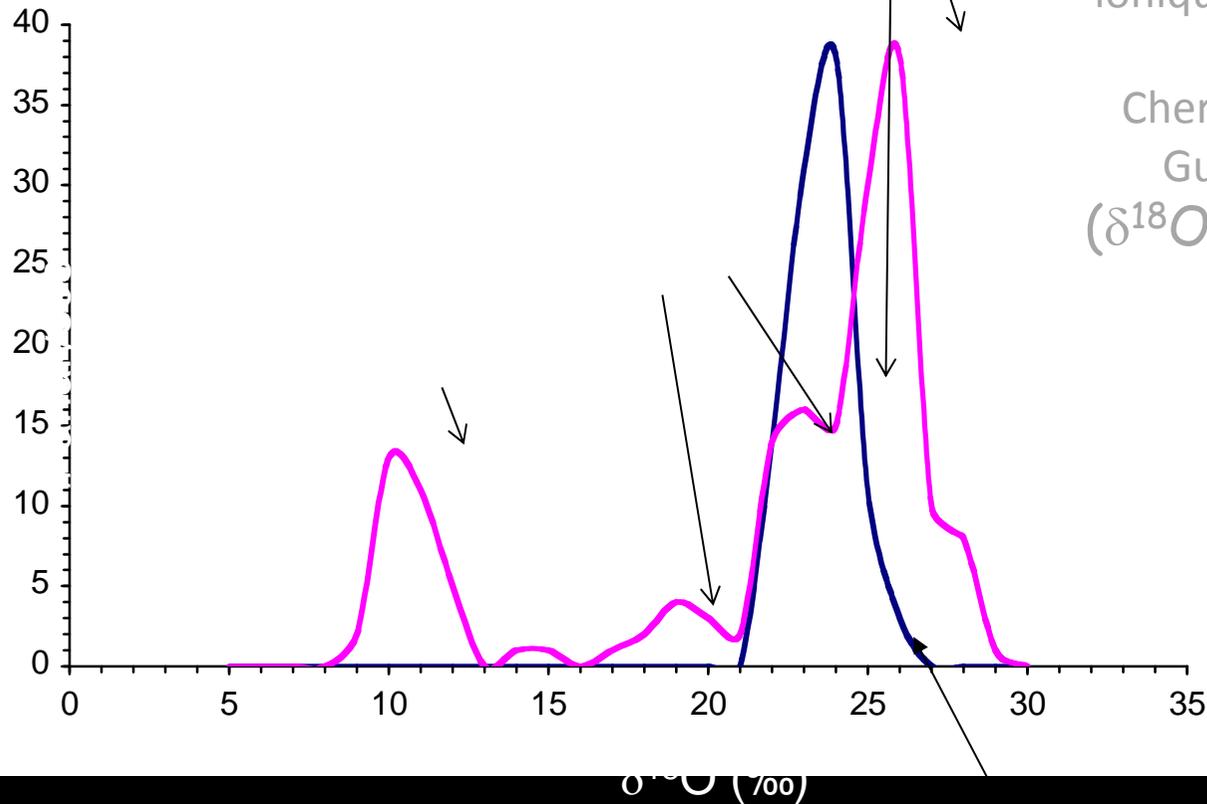


Mégaquartz
(détritique
recristallisation ?)

Veine de quartz (hydrothermal ?)

Quelle est la signification du bulk $\delta^{18}\text{O}$ d'un chert ?

Microquartz



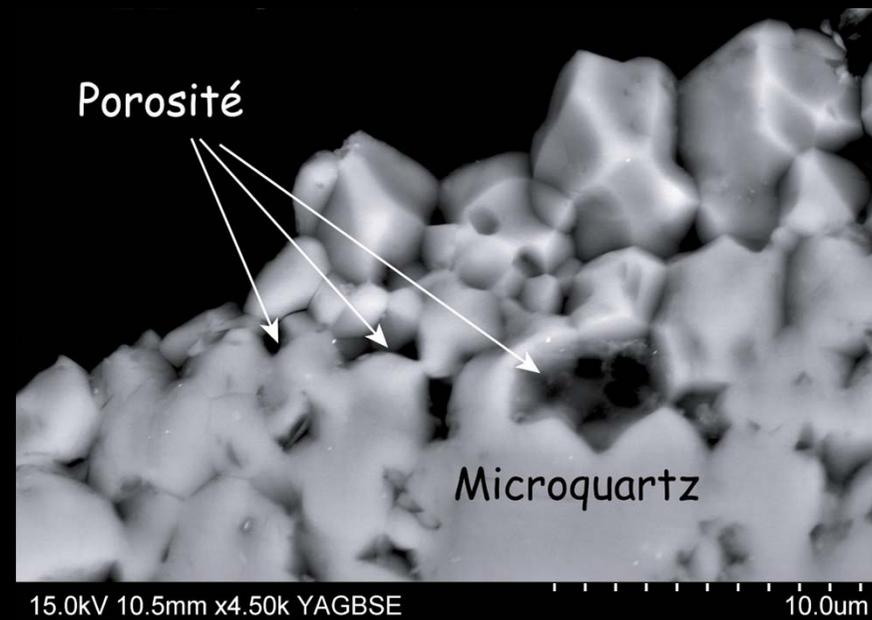
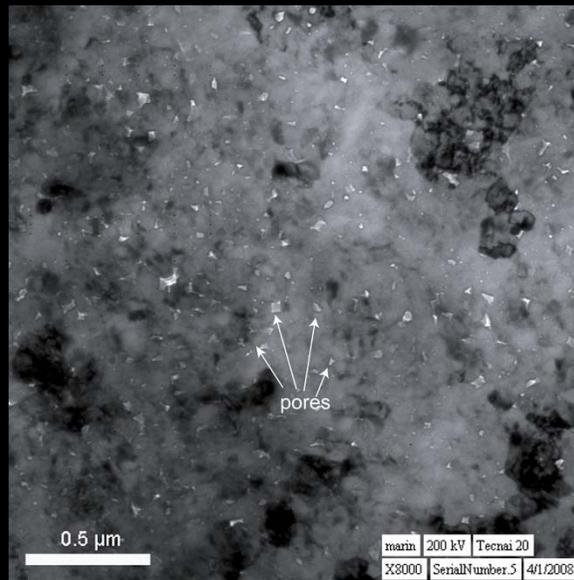
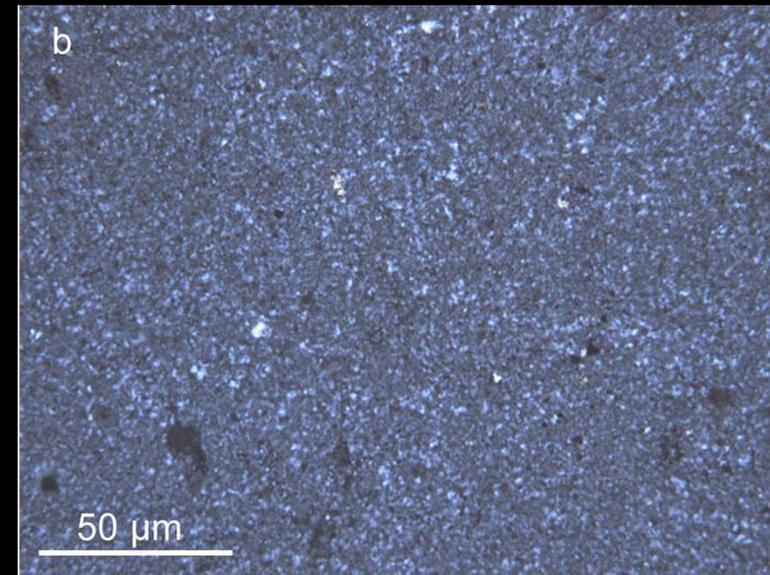
$\delta^{18}\text{O}$ analyses par sonde ionique d'un échantillon de Chert de la formation Gunflint (1.88Ga) ($\delta^{18}\text{O}_{\text{bulk}} = +22.75\text{‰}$)

Analyse en roche totale

Grains de quartz α de taille très petite

Joints de grains irréguliers

Porosité importante : 30 %



La ceinture de roches vertes de Bubi (Zimbabwe)

