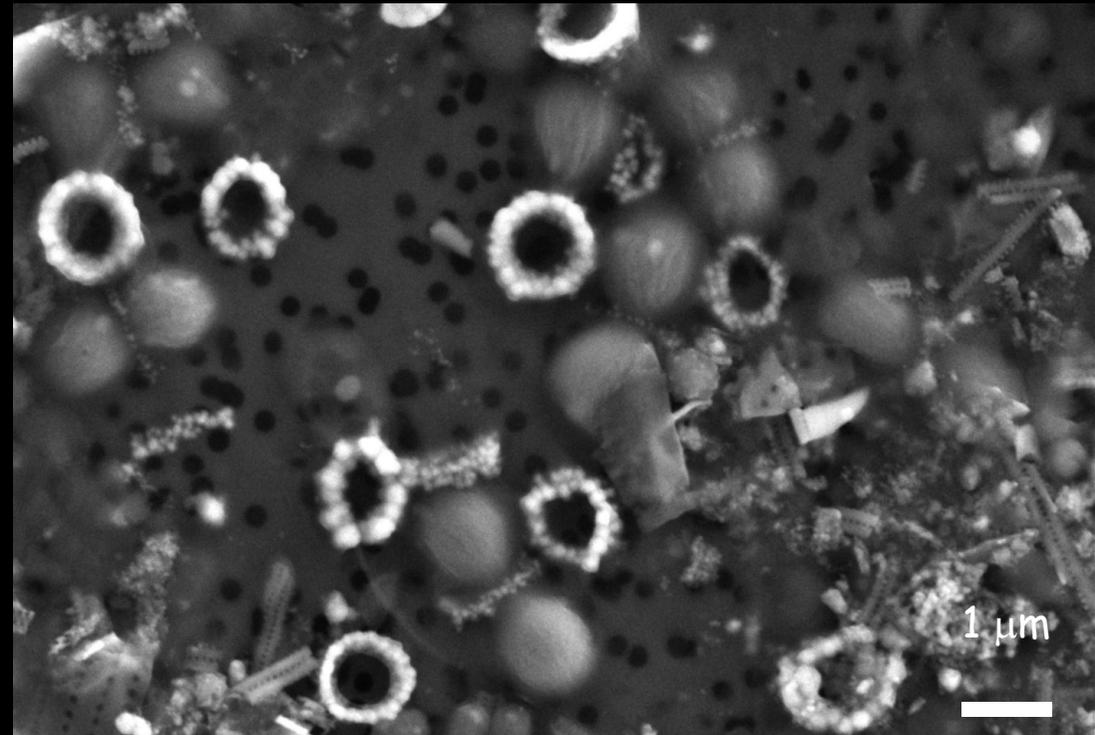


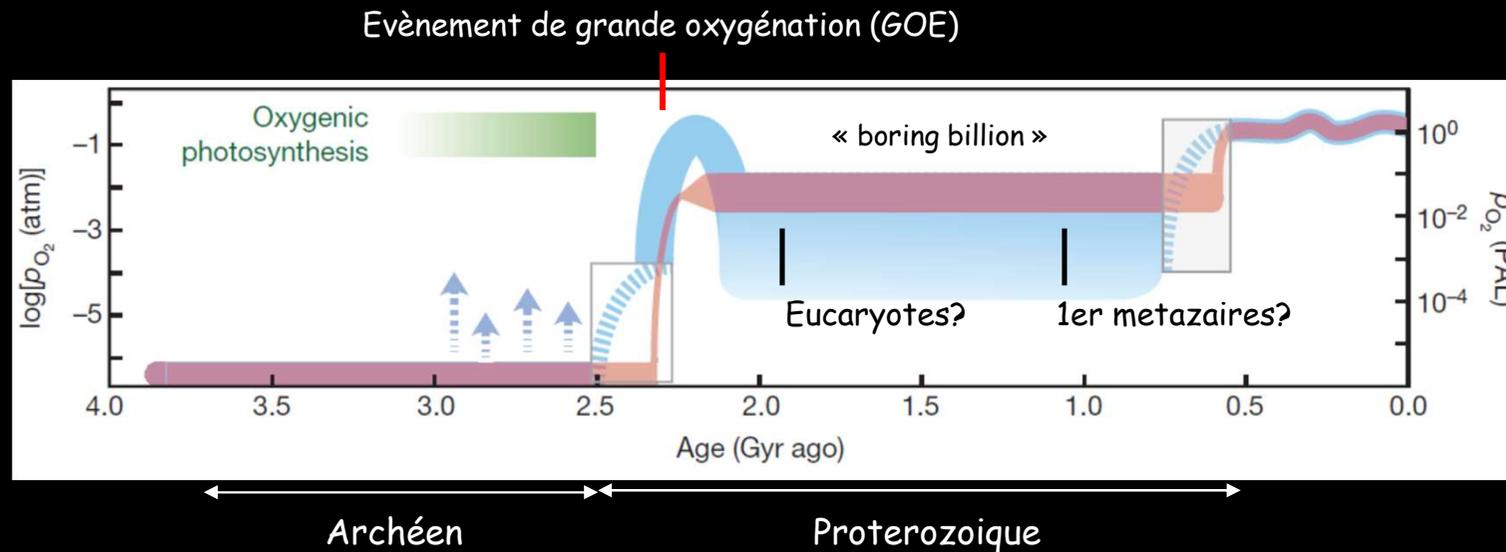
Diversité et mécanismes de formation de phases minérales par les cyanobactéries



Benzerara Karim, the ANR Harley consortium, The ATM Cyanocat consortium, the CaCO₃ Emergence consortium

IMPMC, MCAM, PCC, ESE, I2BC, iEES...

Co-évolution biosphère/géosphère : exemple de l'oxygénation de l'atmosphère



Lyons et al., 2014, Nature

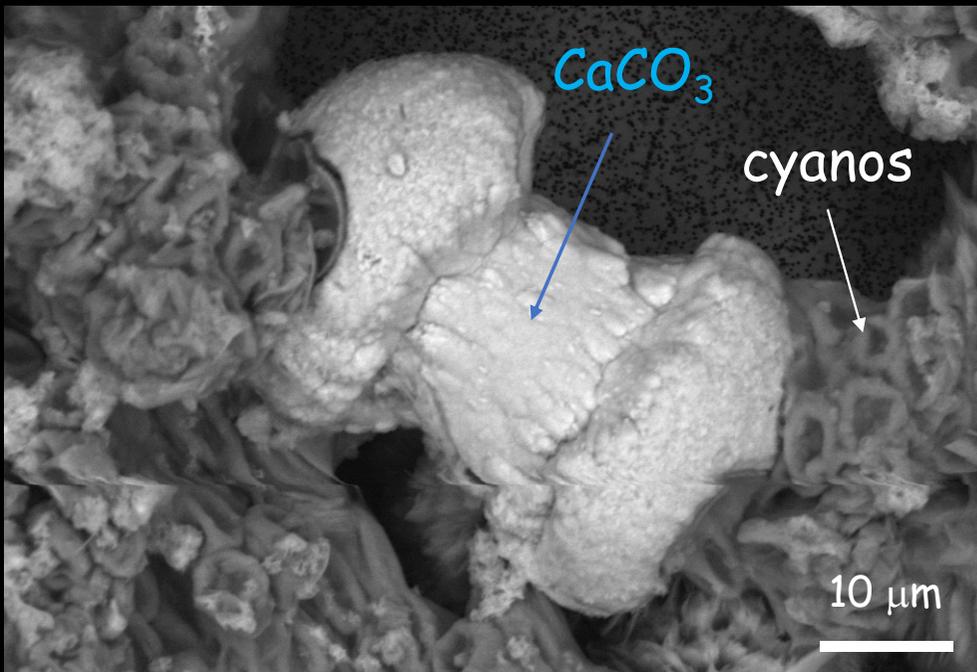
Impact sur « l'évolution » (diversification) minérale

2/3 des espèces minérales apparues après le GOE

Hazen et al., 2008; Hazen and Ferry, 2010

= rôle majeur des cyanobactéries

Les cyanobactéries sont connues pour induire la précipitation de minéraux carbonatés extracellulairement



Culture de Pleurocapsales formant des « dumbbells » d'aragonite



Stromatolite (~345 Ma), Boulonnais, France
Microbialite collection MNHN

Découverte par hasard de la formation intracellulaire de minéraux carbonatés par une cyanobactérie

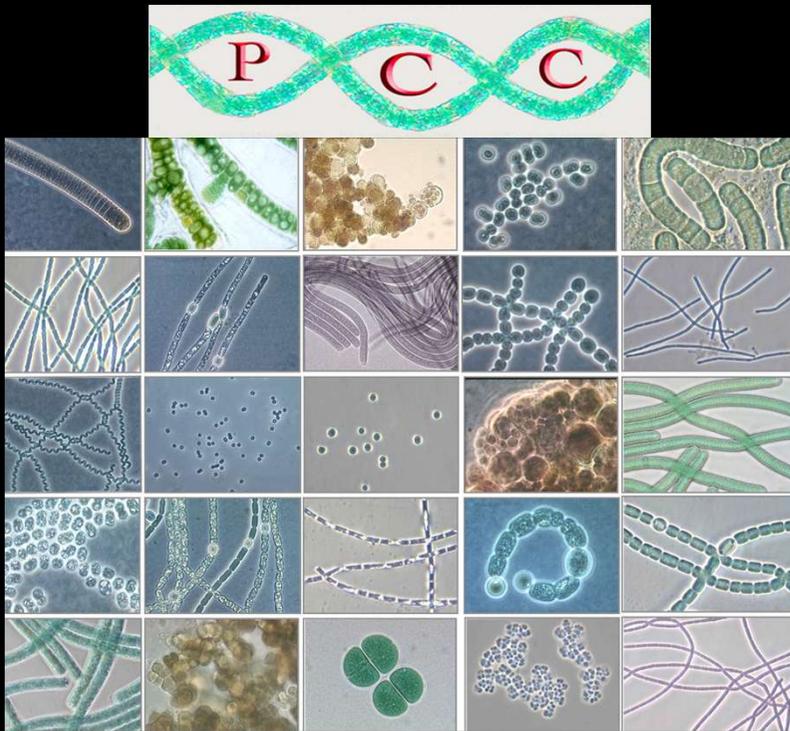


Couradeau et al (2012) Science

Changement de paradigme

Distribution taxonomique de ce trait?
Ancestralité ? Mécanismes ? Fonction ?

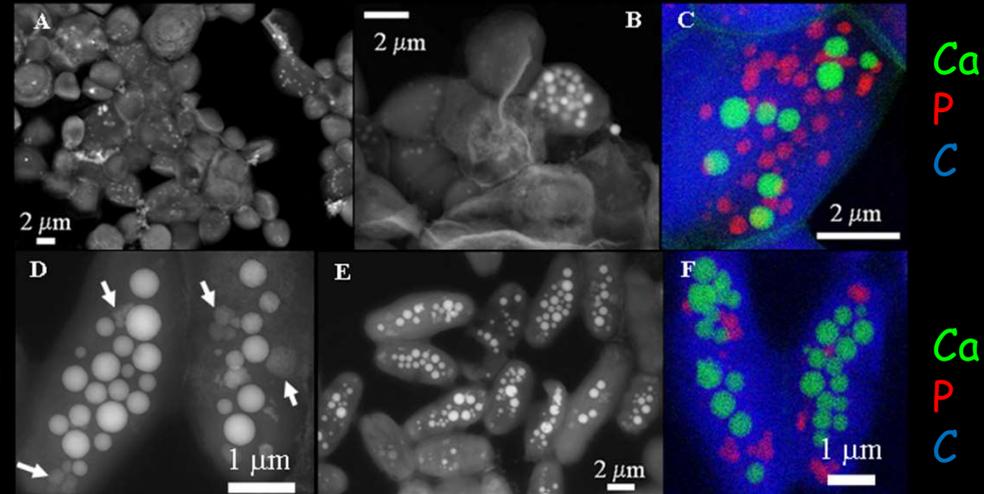
La formation intracellulaire de CaCO_3 par les cyanobactéries est un processus répandu



<https://webext.pasteur.fr/cyanobacteria/>

Utilisation de la collection PCC

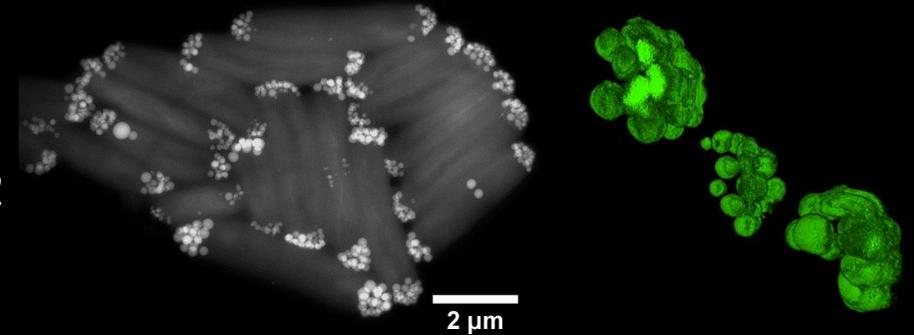
PCC 7203



PCC 7425



PCC 6716,
6717, 6312

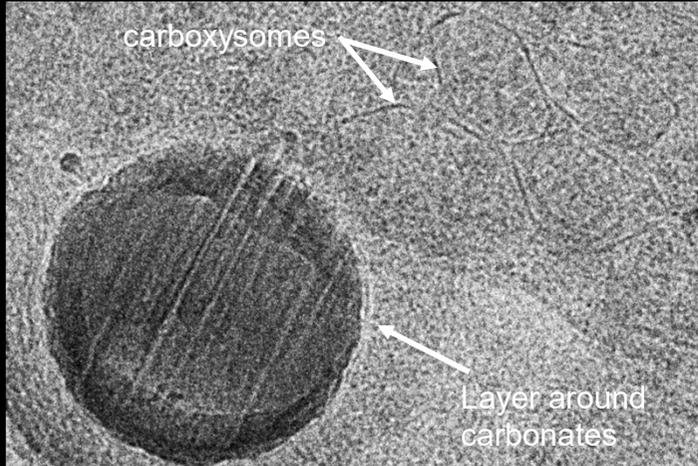
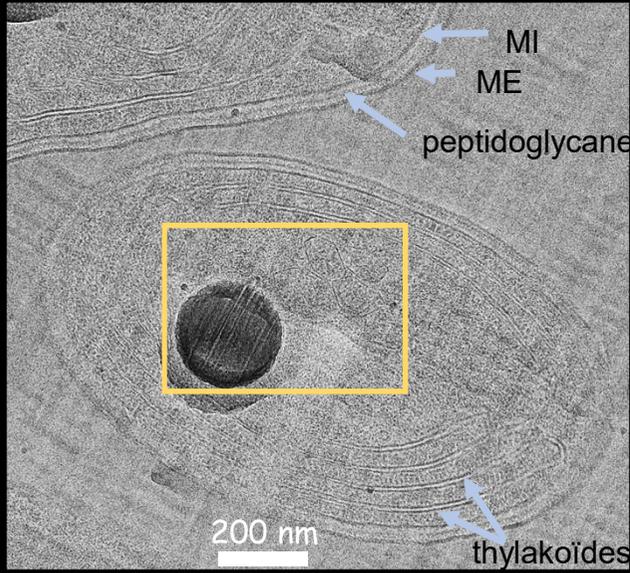


Découvertes de plusieurs espèces avec CaCO_3 intracellulaire

Benzerara et al. (2014) PNAS

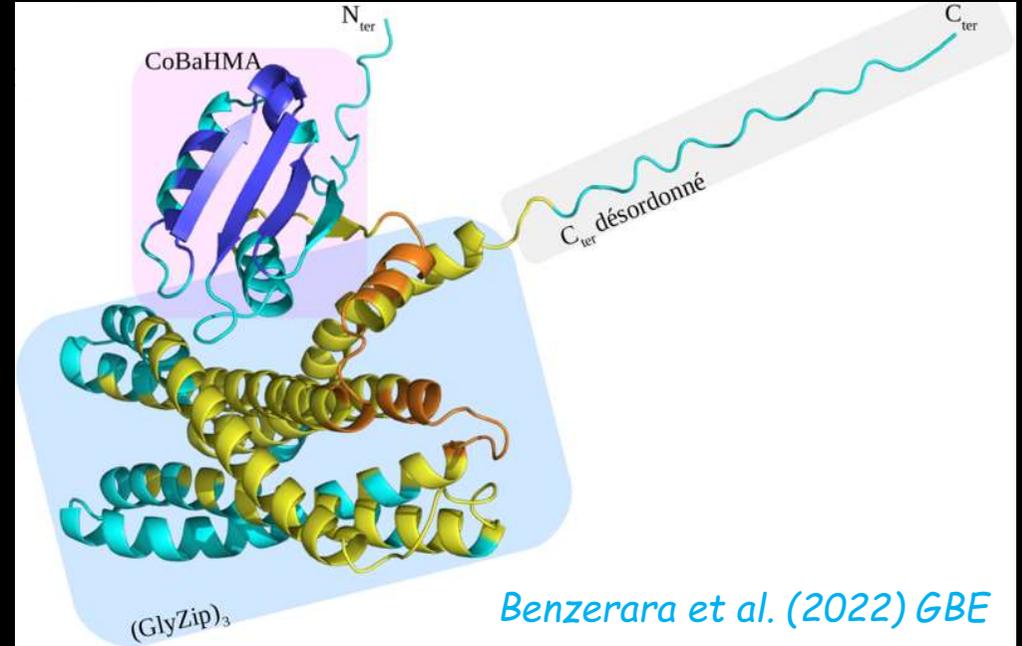
Mécanismes moléculaires/génétiques

Compartiment intracellulaire

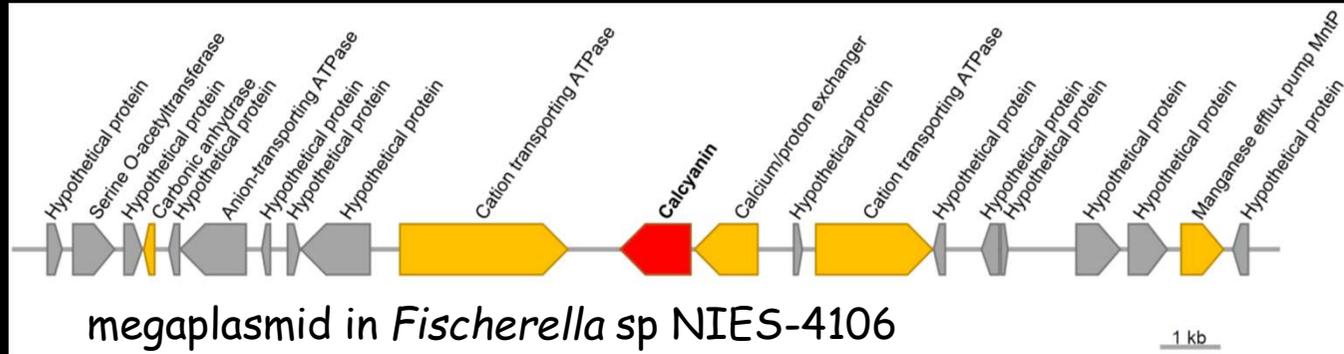


Blondeau al. (2018) *Frontiers in Microbiol*

Nouvelle famille de gènes (*ccyA*)/ protéines (calcyanine) spécifique de ces cyanobactéries



Benzerara et al. (2022) *GBE*

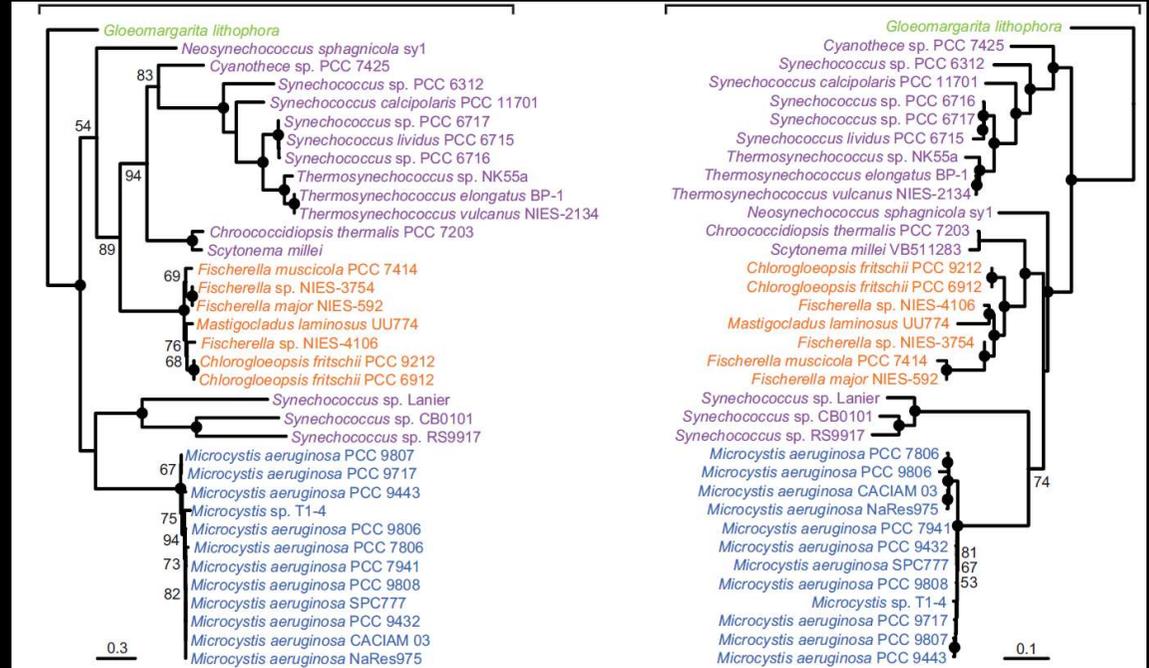
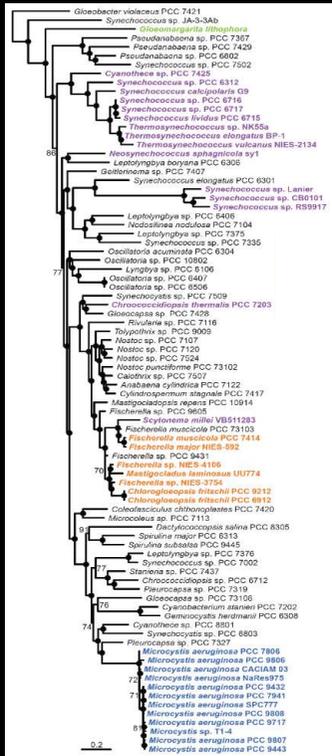


megaplasmid in *Fischerella* sp NIES-4106

1 kb

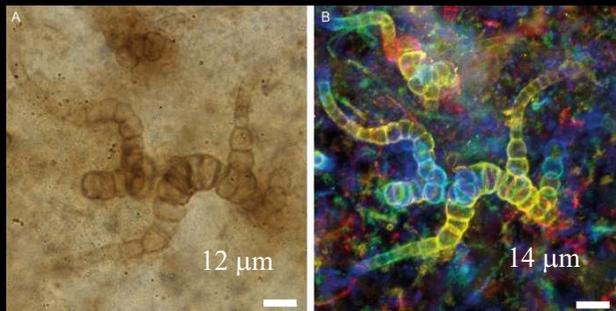
Ancestralité de *ccyA*

Phylogénies basées sur *ccyA* et sur génome de cœur sont congruentes



Phylogénomique

Fossiles ?



Hapalosiphonaceae fossiles des cherts de Rhynie (~400 Ma)

Strullu-Derrien C., et al. (2023). *iScience*.

Importance environnementale?

→ 1/3 des génomes connus de *Microcystis* contiennent *ccyA*

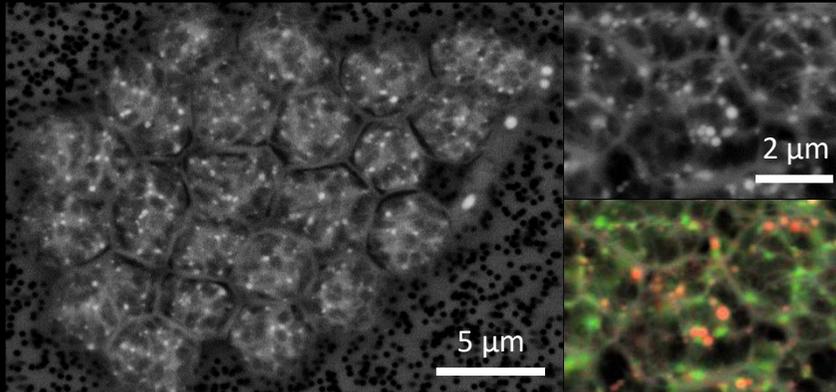
Verneuil sur Seine



Cergy-Pontoise



...



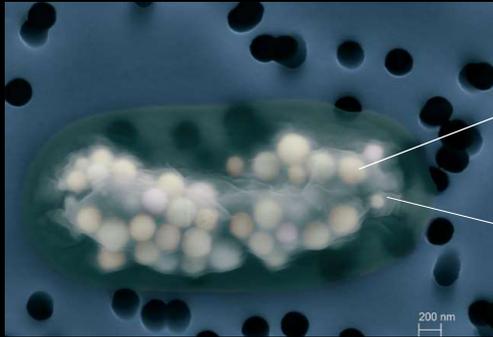
→ Observation de CaCO_3 intracellulaire dans des blooms de *Microcystis*

Gaëtan et al. (2022) *Env. Microb.*

Quantités de Ca et d'autres alcalino-terreux cyclées ?

Nombreuses questions restent ouvertes

★ Devenir des carbonates ?

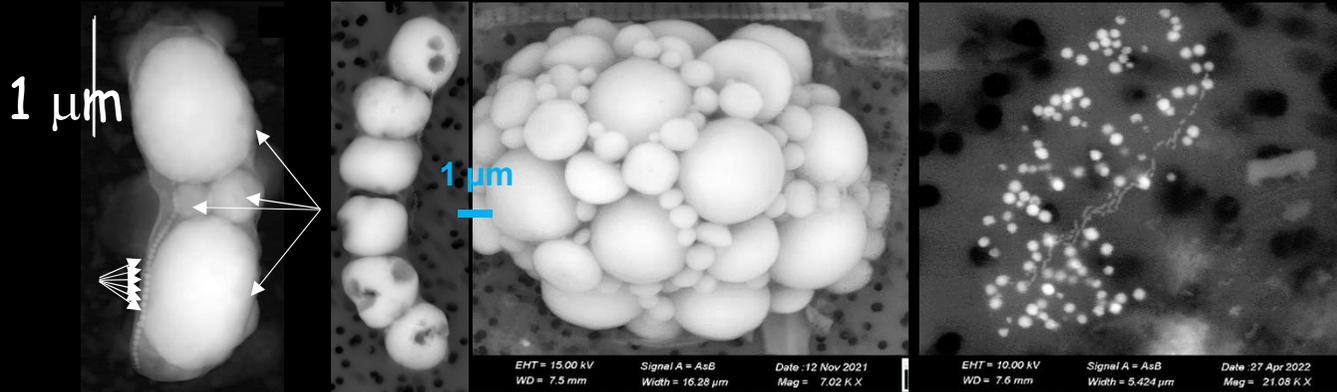


Redissolution?

Cristallisation et préservation dans les sédiments?

Registre géologique?

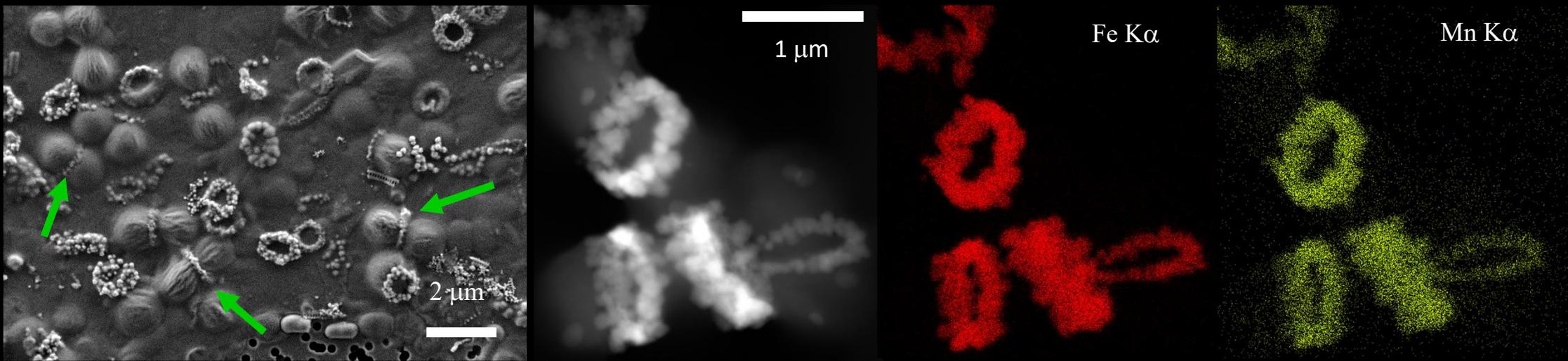
★ Découverte chez d'autres bactéries.



Transferts horizontaux?
Convergence?

★ Fonction biologique ?

Processus de biominéralisation du Fe et du Mn

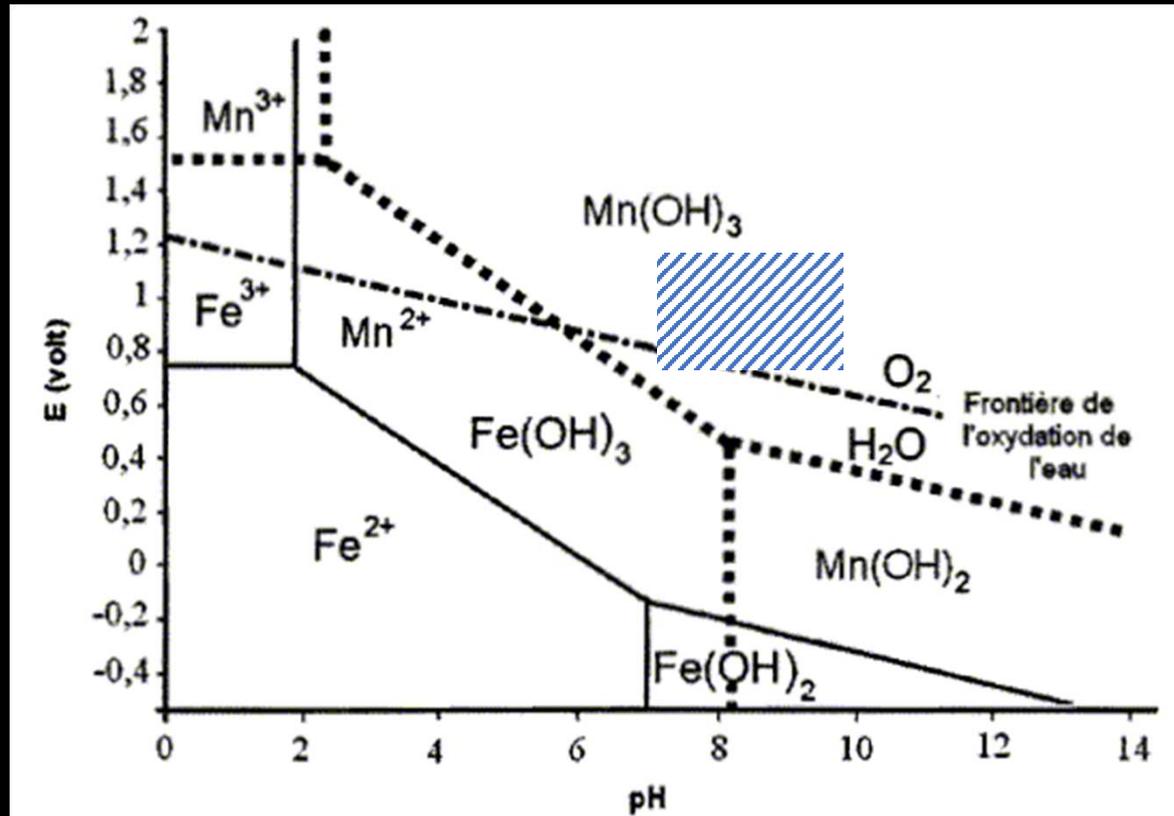


Benzerara et al. (2023) Biogeosciences

Cyanocatena/Cyanobium/Cyanodictyon

→ Cyanobactéries bloomantes et formant des colliers minéraux d'oxyhydroxydes de fer et/ou manganèse

Pourquoi est-ce intrigant ?

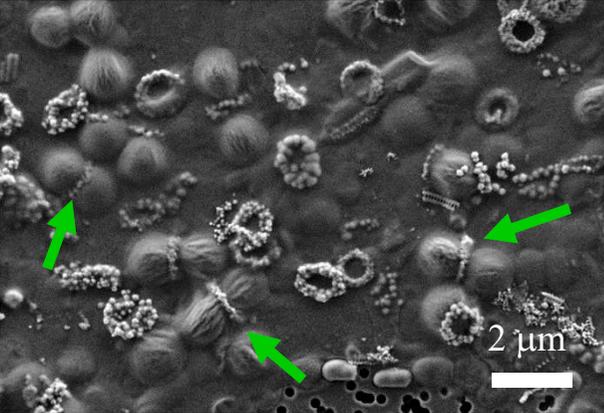


→ Fer peu disponible aux valeurs de pH et Eh en présence

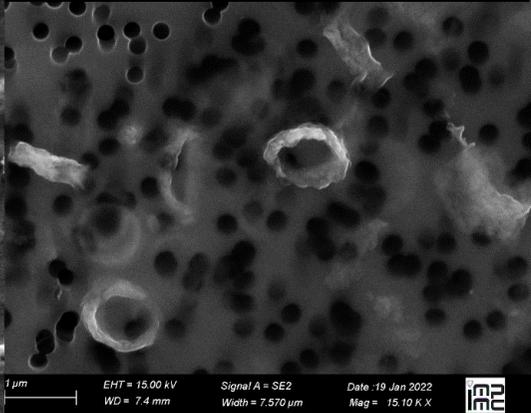
- Comment ces cyanobactéries en amassent-elles autant ?
- Quelle fonction biologique ?
- Quel impact géochimique ?

Très certainement répandu...

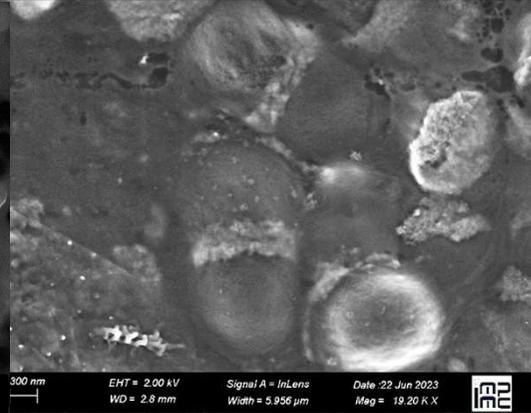
Etat de Puebla, Mexique



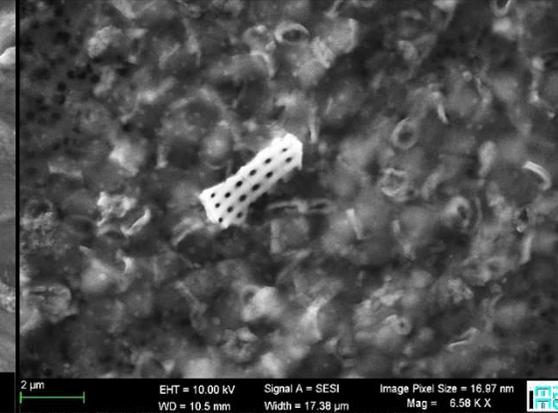
Portina, Madrid



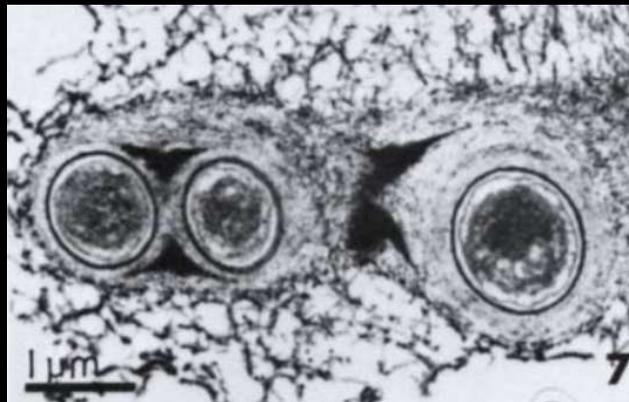
Bois le Roi (77590)



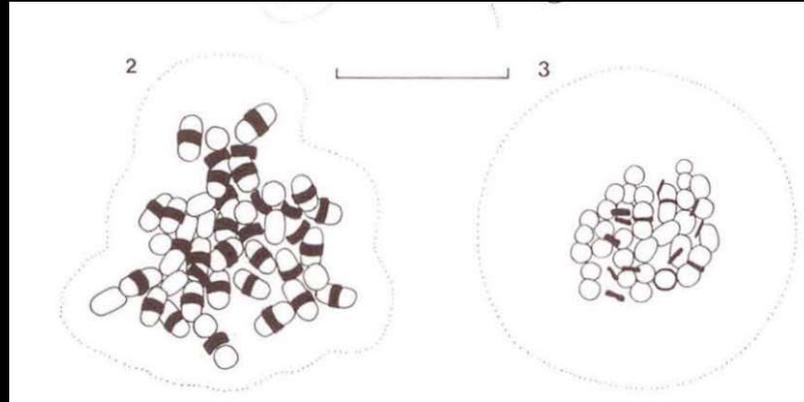
Cergy-Pontoise



Lac Kinneret, Israël
(Hickel et al., 1988)



Slovaquie; Autriche
(Hindak, 1982)

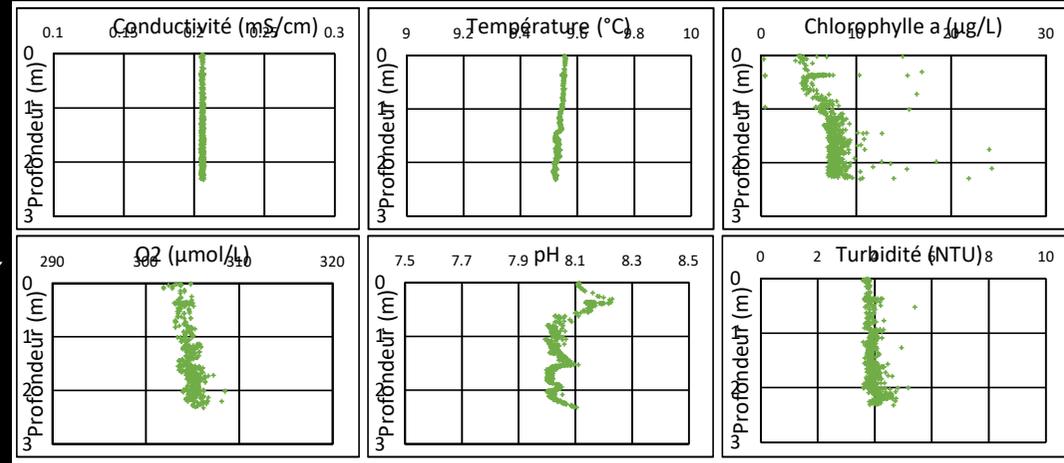


GBIF

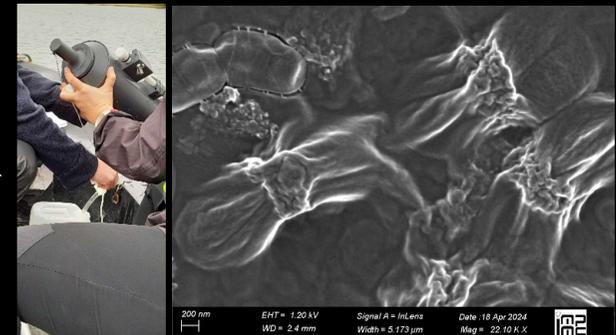


Etudes en cours, MCAM - IMPMC - ESE - LSCE

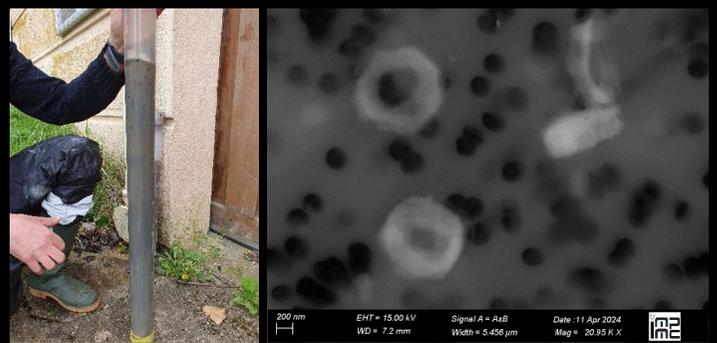
Conditions physico-chimiques



Identification moléculaire



Recherche dans les sédiments



Conclusions

- ★ Une diversité de cyanobactéries peuvent former une diversité de minéraux
- ★ D'autres exemples à découvrir très certainement
- ★ Mécanismes moléculaires/génétiques ?
- ★ Impact géochimique ?
- ★ Fonction biologique de ces biominéraux ?

Remerciements



HARLEY



SORBONNE
UNIVERSITÉ



N. Mehta; G. Gaschignard; J. Gaëtan; Y. Cortier; M. Athar Khan; N. Sakadjian; F. Skouri-Panet; C. Travert; E. Duprat; I. Callebaut; N. Menguy; C. Cassier-Chauvat; F. Chauvat; D. Moreira; P. Lopez-Garcia; M. Ciobanu; M. Iniesto; M. Gugger; E. Viollier; J. Leloup; C. Mangin; C. Lefèvre; C. Monteil; C. Duval; C. Bernard; S. Halary; S. Duperron; B. Marie...

ANR, « Harley »
CNRS, Interrvie, "Cyanofossils"
Emergence SU, "CaCO₃" (J. Leloup)
ATM MNHN 2024, "Cyanocat"