

GENÈSE DES CARBONATES ET STOCKAGE GÉOLOGIQUE DE CO₂

François GUYOT (Université Paris-Diderot)

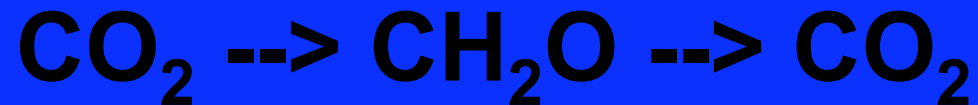
**Institut de Minéralogie et de Physique des
Milieux Condensés (IMPMC)
et Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP)**

CYCLE GLOBAL DU CARBONE

75%



25%



« Hors crise »

Flux volcanique = Flux altération + Flux organique

$\approx 10^{13}$ moles de C/an

CYCLE GLOBAL DU CARBONE

75%

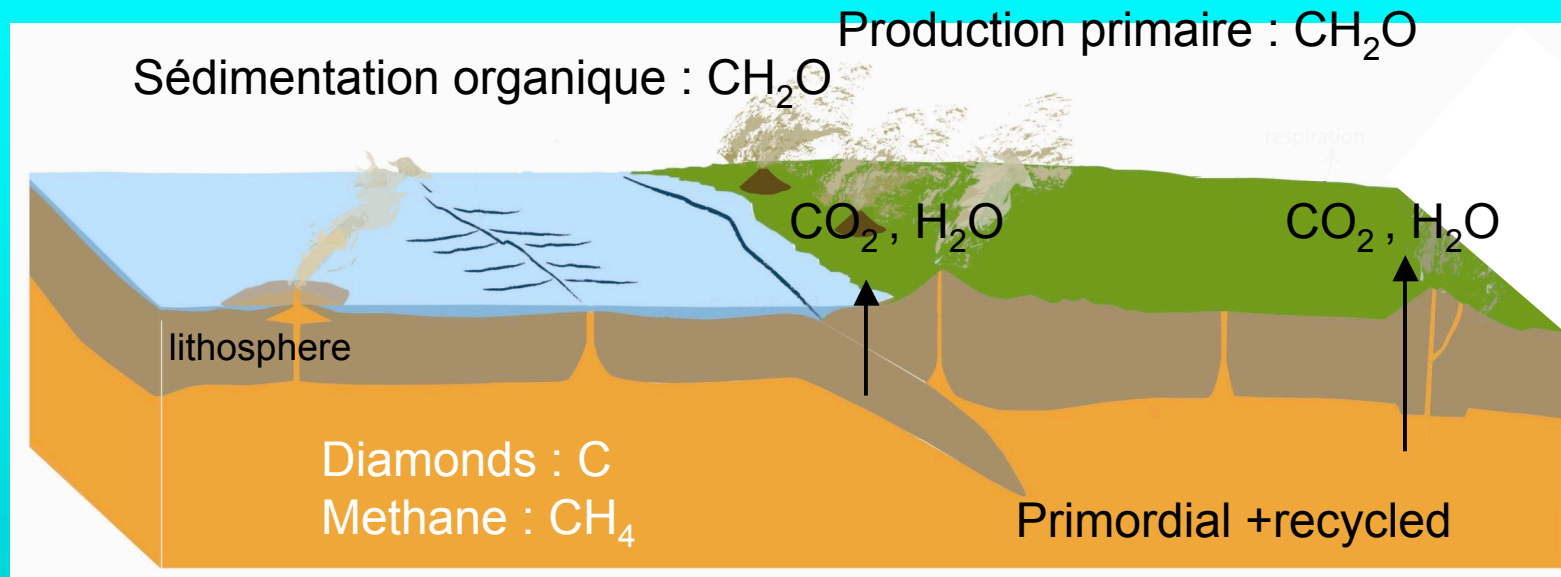


25%



Cycle organique

Cycle organique, carbone et hydrogène

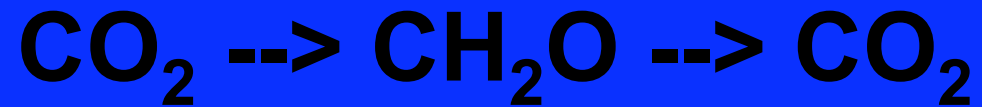


CYCLE GLOBAL DU CARBONE

75%

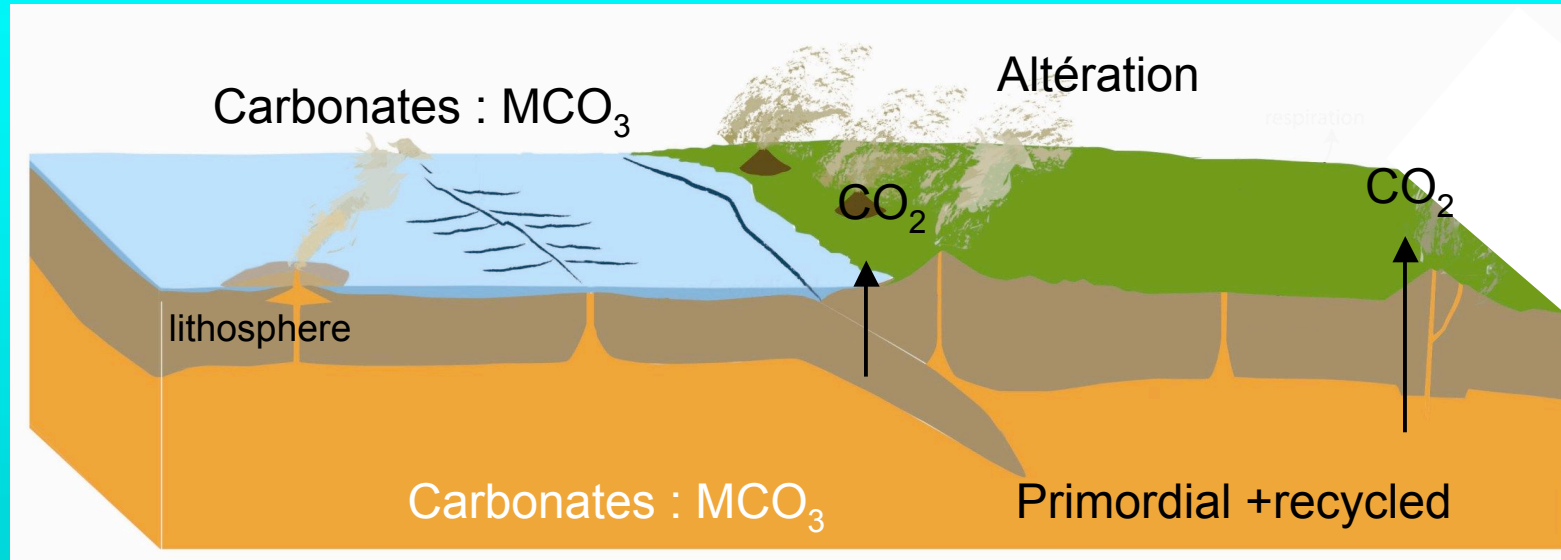


25%



Cycle des carbonates

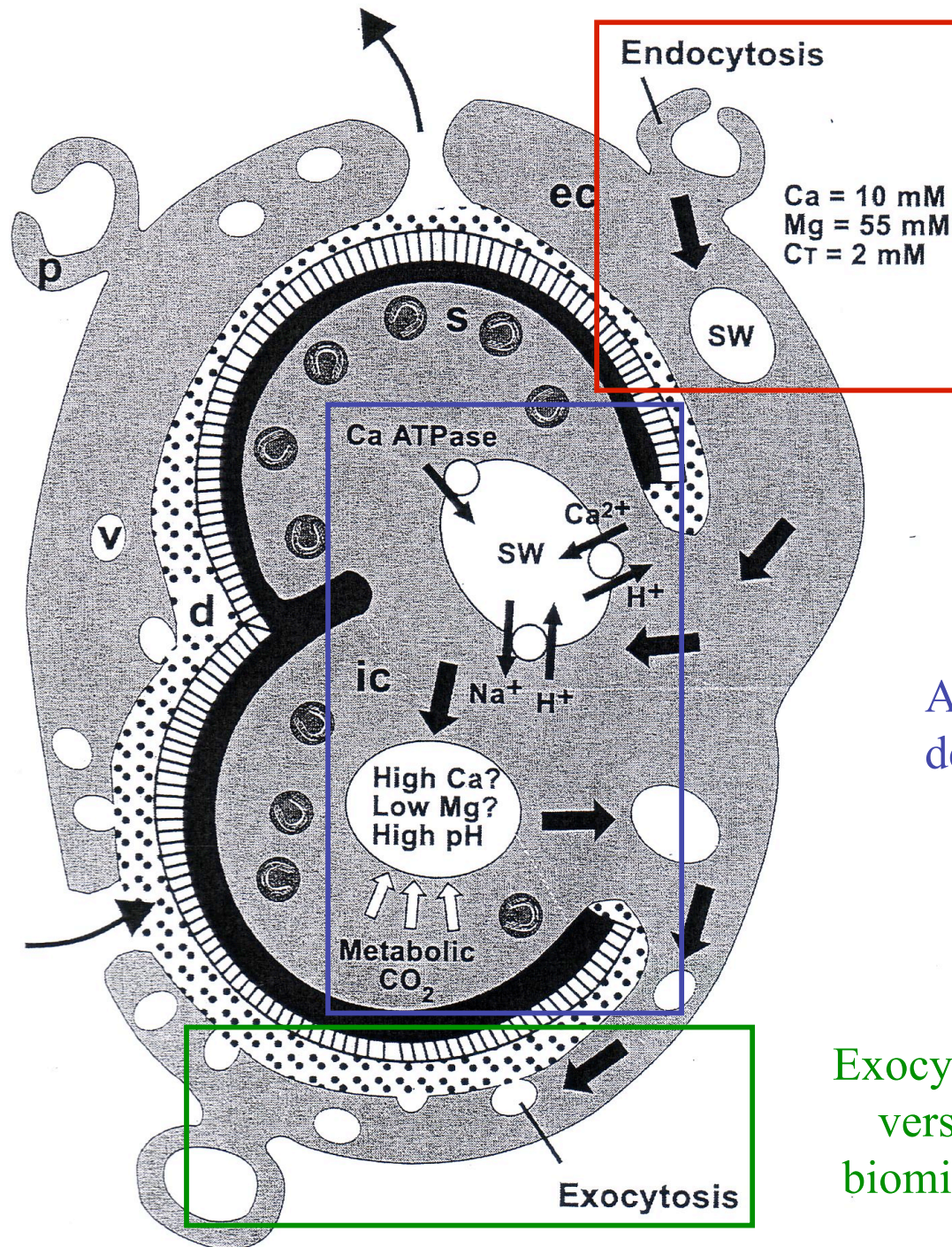
Cycle des carbonates





**Dissolution des silicates
et précipitation des carbonates**





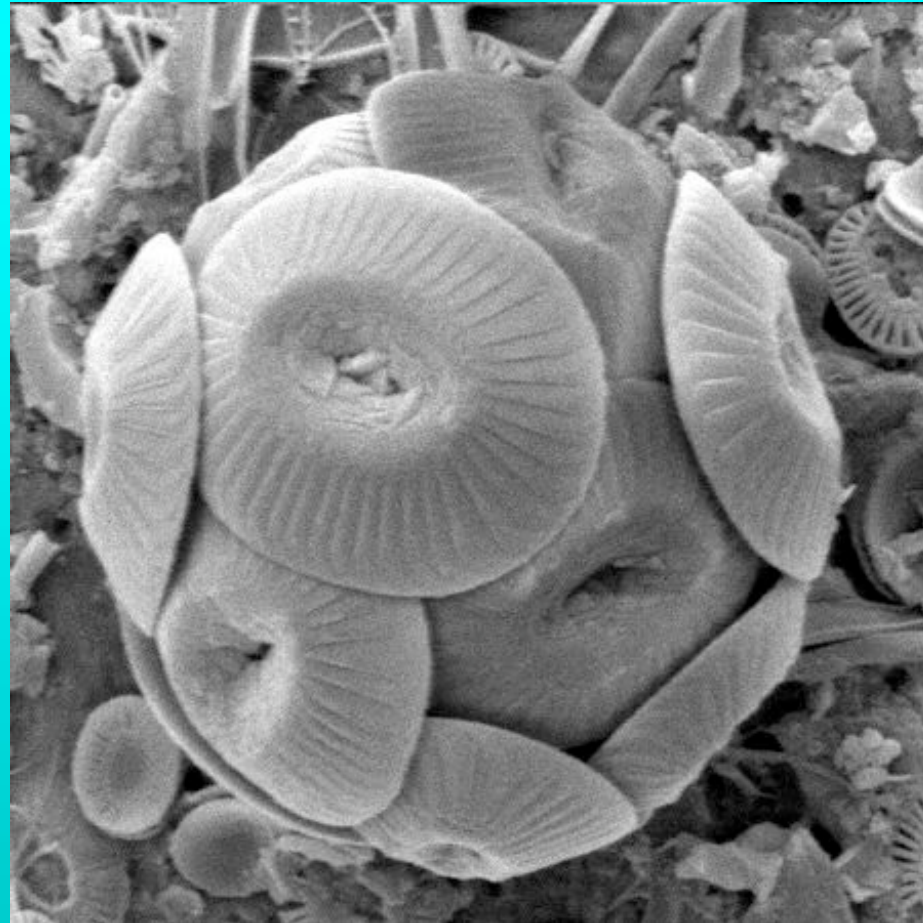
Formation de vacuoles d'eau
de mer par endocytose

Genèse des carbonates : exemple Foraminifères

Augmentation du pH
de [Ca²⁺] et de [C_T]

Exocytose des vacuoles modifiées
vers l'espace délimité pour la
biominéralisation et précipitation

Genèse des carbonates : exemple Coccolithophoridés



Taille de l'objet $\approx 50 \mu\text{m}$

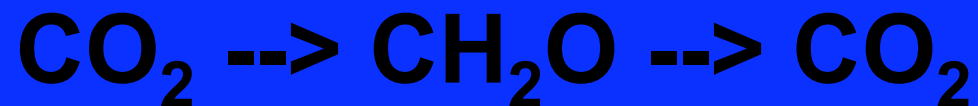
Coccolithus Pelagicus

CYCLE GLOBAL DU CARBONE ET STOCKAGE DE CO₂

75%



25%



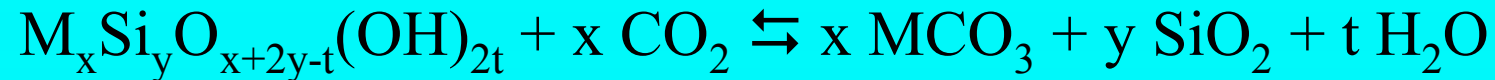
Terre actuelle « hors crise » : $\approx 10^{13}$ moles de C/an
Effet anthropique $\text{CH}_2\text{O} \text{ --> CO}_2$: $6 \cdot 10^{14}$ moles de C/an
C'est bien une crise géologique !



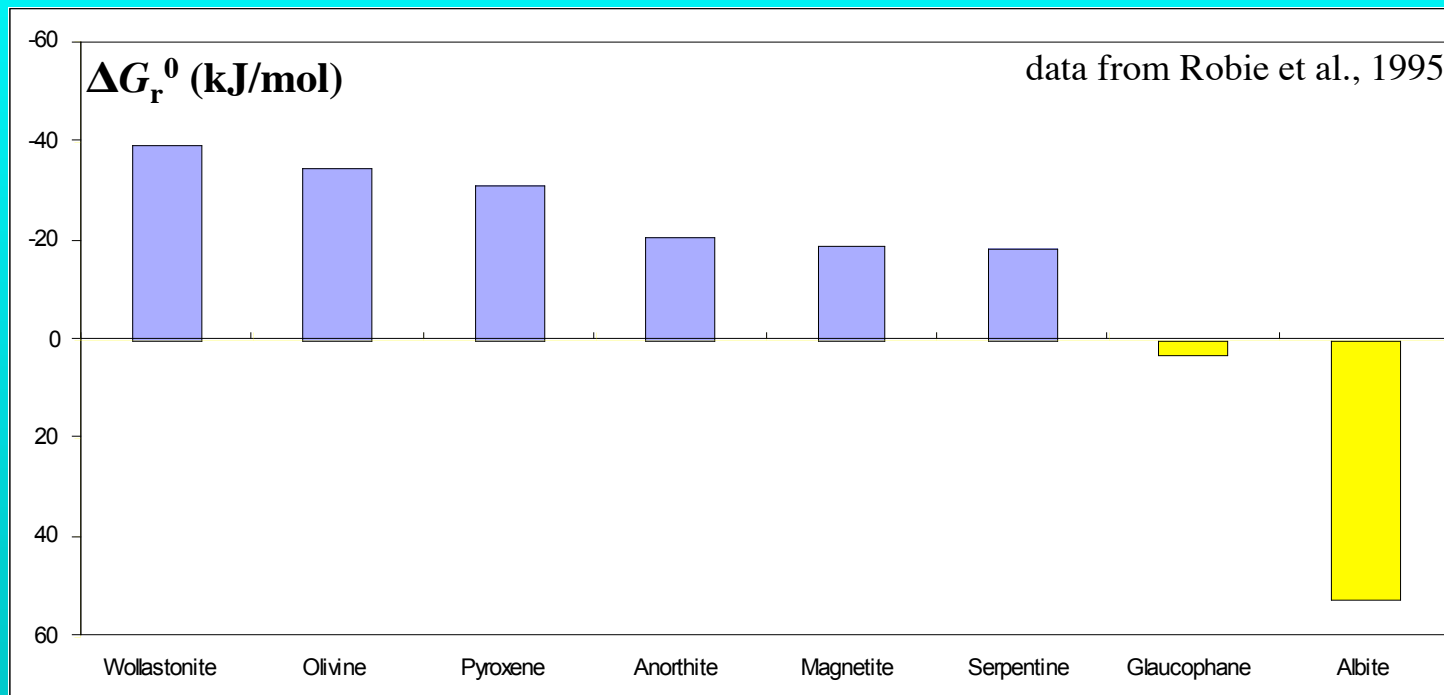
**Accélération des réactions
dans le cycle des carbonates?**



Effets thermodynamiques : contexte (ultra)basique



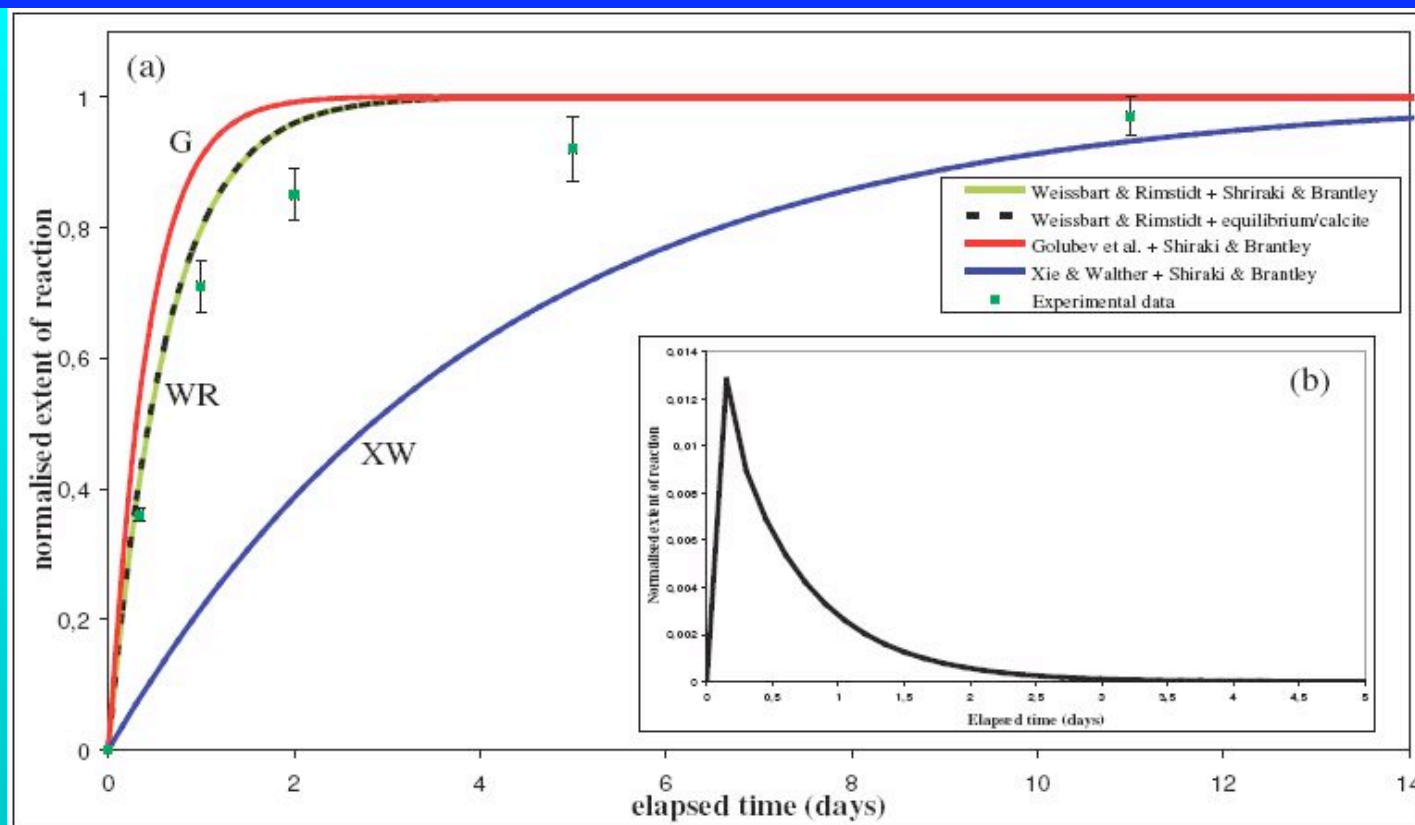
- favorable pour les minéraux (ultra)basiques



- de nombreux exemples naturels illustrent cette importante réactivité
(cf. Louvat et Allègre, 1997, 1998; Dessert et al., 2003)

D'après Dufaud et Daval. Voir exposé d'Alain Prinzhofer

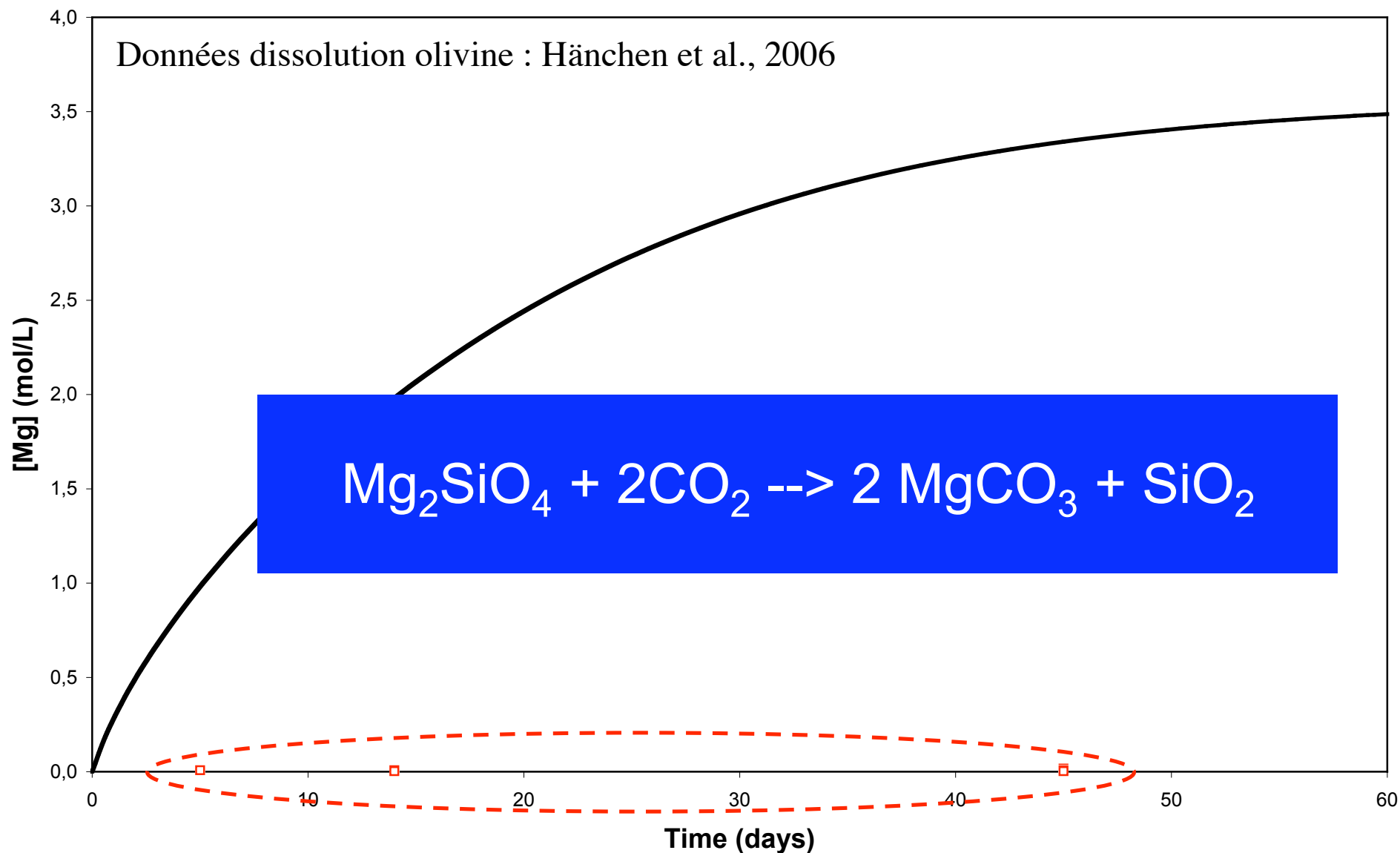
Laboratoire : la dissolution est l'étape limitante



Daval et al. 2009



Dans dans la plupart des cas, cette dissolution est très lente..



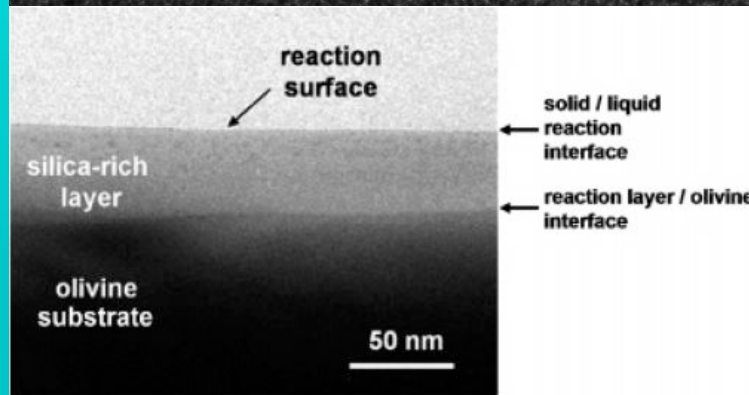
Données Damien Daval et al. non publiées

....à cause de couches passivantes...

Olivine

Silice

Comparaison avec Béarat et al., 2006

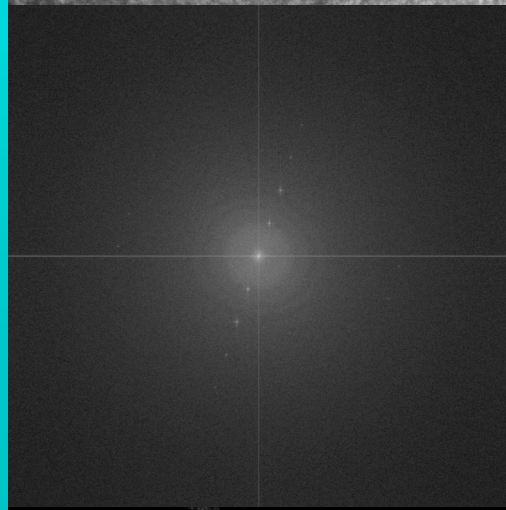


Platine

150 nm

Données Damien Daval et al. non publiées

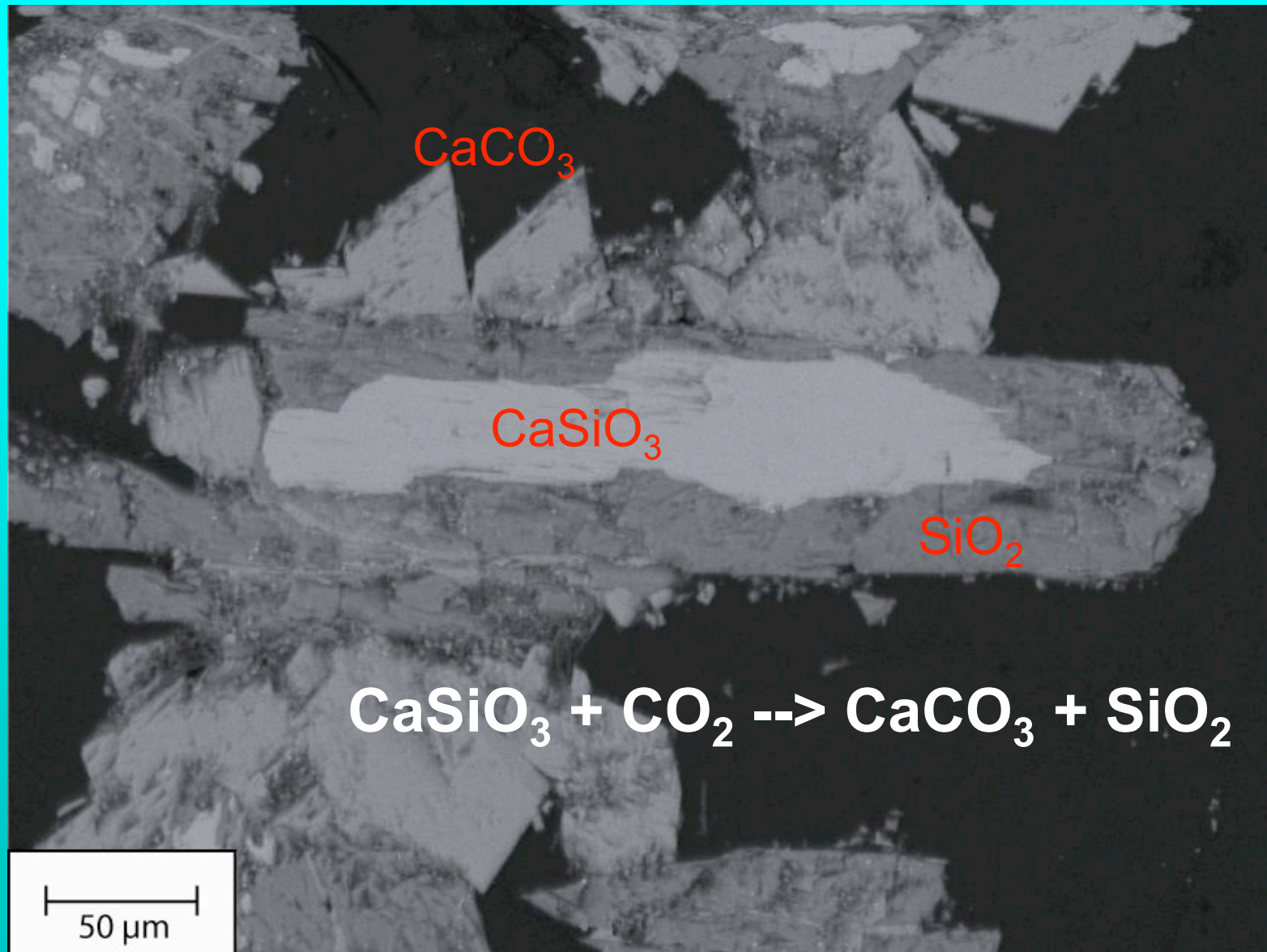
....parfois très fines...



10 nm

Données Damien Daval et al. non publiées

....plus ou moins efficaces (CaSiO_3)



Daval et al. 2009

Quels facteurs jouent sur les propriétés de ces couches de silice?

**cf Zr dans les verres nucléaires
(Cailleteau et al. 2009 Nature Materials)**

**Que sont elles dans les environnements géologiques?
Interaction avec la biologie.**

Peut on les “voir” y-compris en sub-surface?

Laboratoires naturels :
Exemple : Giobbertites Nouvelle Calédonie
$$\text{Mg}_2\text{SiO}_4 + 2\text{CO}_2 \rightarrow 2 \text{MgCO}_3 + \text{SiO}_2$$



Image : Martine Gérard, IRD/IMPMC Et voir exposé d'Alain Prinzhofer

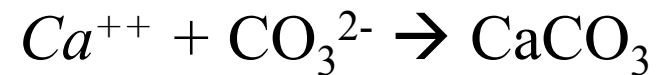
Transformation en carbonates solides de CO₂ injecté en aquifère salin

**Si la réserve d'ions est déjà établie,
la formation de carbonates peut être
stimulée par des augmentations de pH
(analogie avec la photosynthèse
en surface)**

Bacillus pasteurii dans une eau d'aquifère reconstituée. Expérience Batch

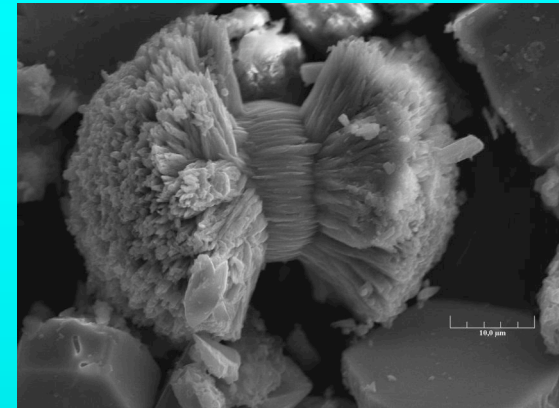
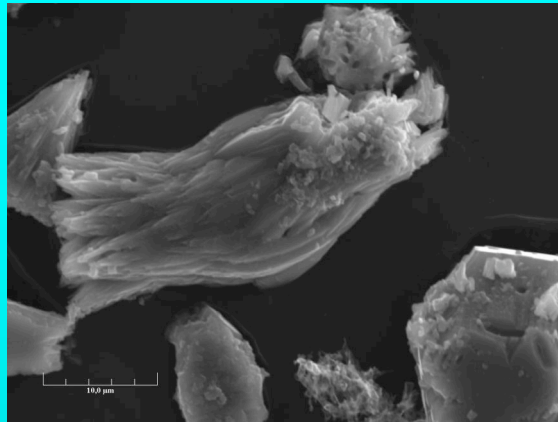


Hydrolyse de l'urée → Augmentation du pH → Saturation du système carbonate calcium → **Précipitation**



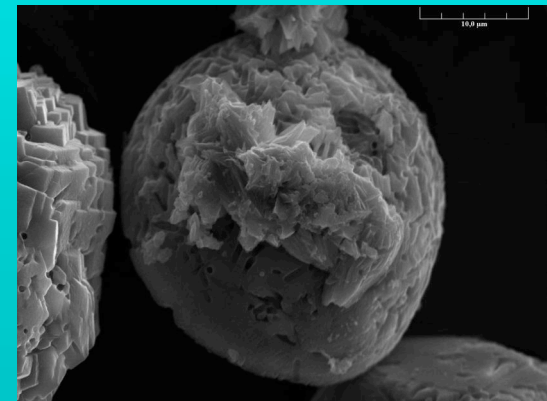
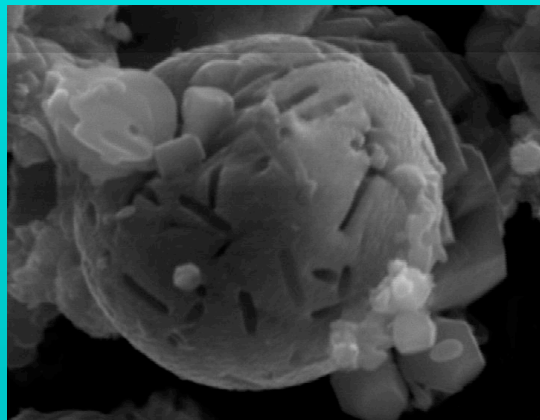
B. Pasteurii : CaCO_3 formé expérimentalement dans une eau du Dogger

Aragonite



40 microns

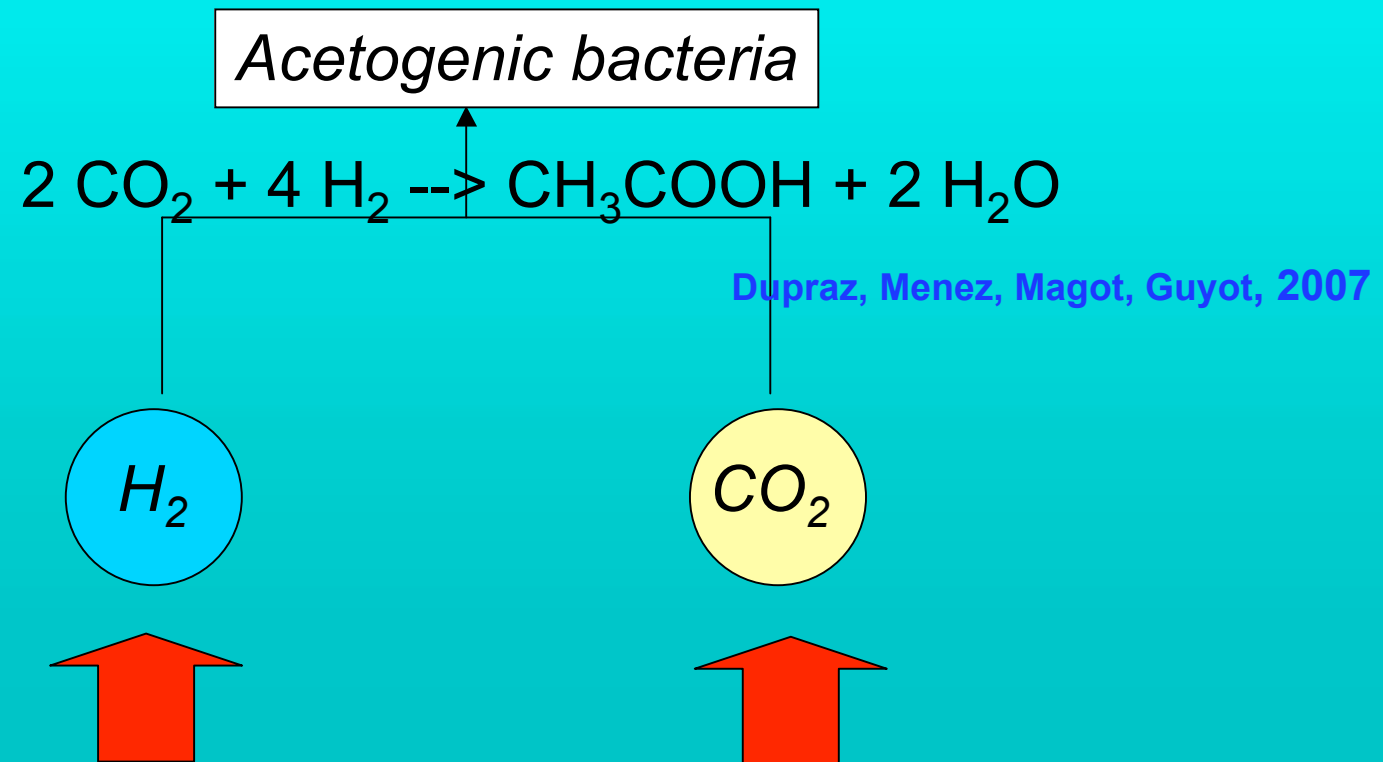
Vaterite



10 microns

Dupraz et al. 2009

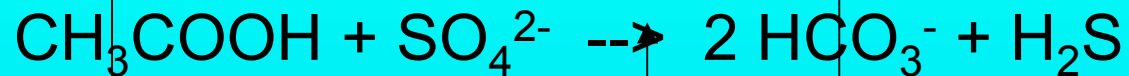
Interaction CO₂-Biosphère profonde



Interaction CO₂-Biosphère profonde



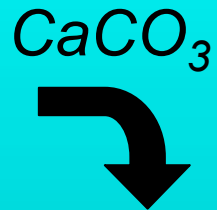
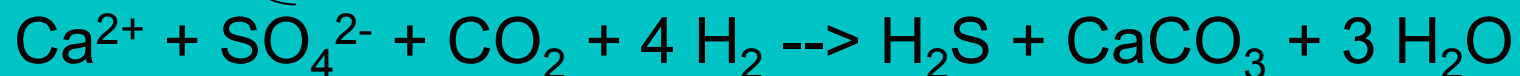
Sulfate reducing bacteria (SRB)



Acetogenic bacteria



Dupraz, Menez, Magot, Guyot, 2007



Interaction CO₂-Biosphère profonde



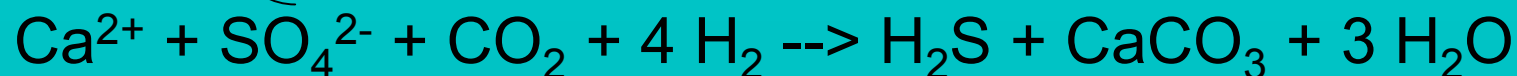
Sulfate reducing bacteria (SRB)



Acetogenic bacteria



Dupraz, Menez, Magot, Guyot, 2007



CaCO_3

Conclusion:

**Il est bénéfique de réfléchir
au stockage géologique de CO₂
dans le cadre des études
fondamentales sur le cycle global
du carbone (et des carbonates)**