

# **GENÈSE DES CARBONATES ET STOCKAGE GÉOLOGIQUE DE CO<sub>2</sub>**

**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%

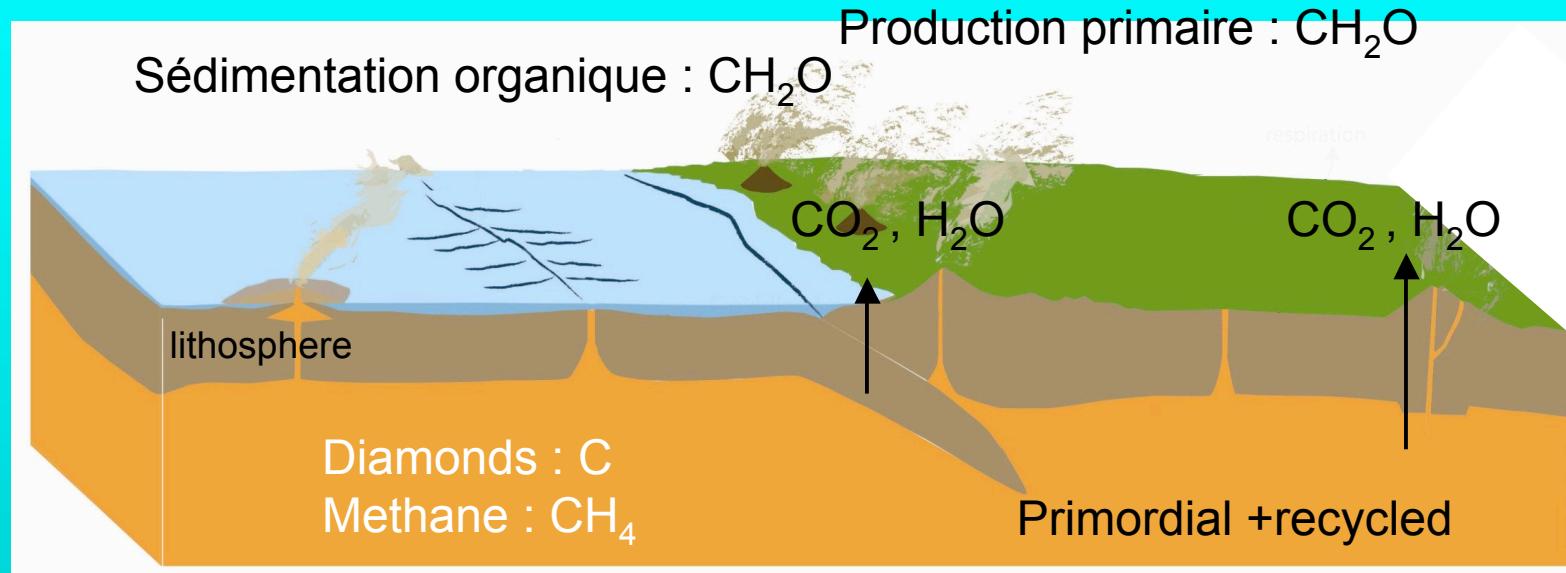
$\text{CO}_2 \rightarrow \text{MCO}_3 \rightarrow \text{CO}_2$

25%

$\text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2$

Cycle organique

# Cycle organique, carbone et hydrogène



# CYCLE GLOBAL DU CARBONE

75%

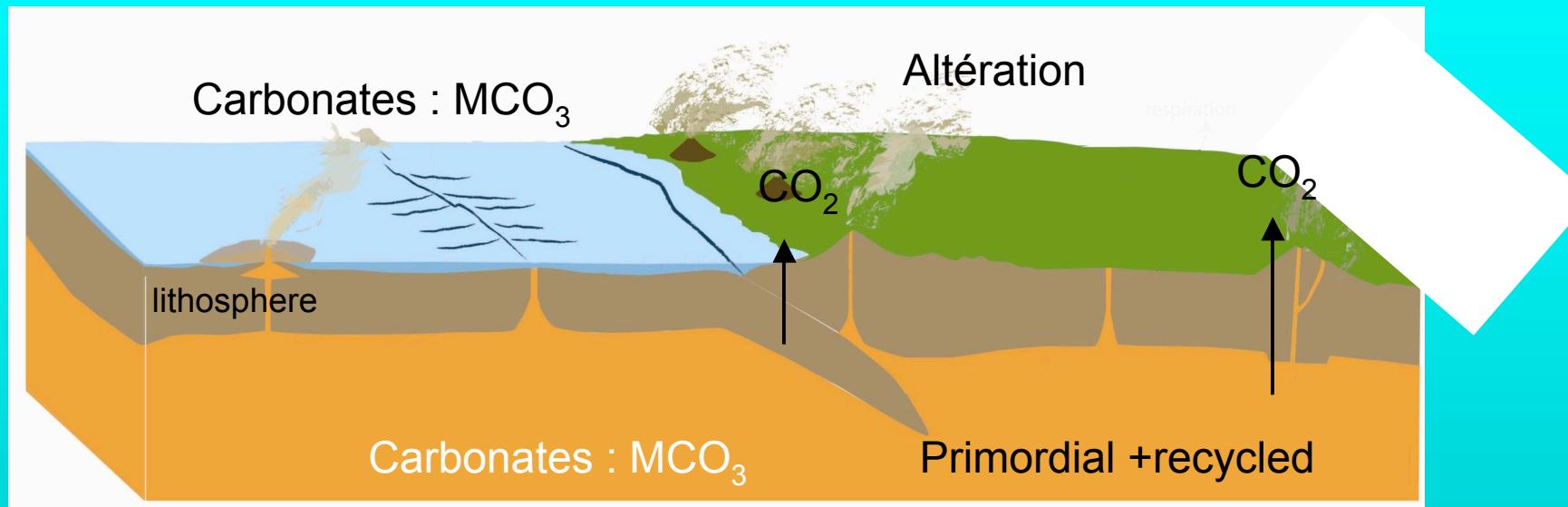
$\text{CO}_2 \rightarrow \text{MCO}_3 \rightarrow \text{CO}_2$

25%

$\text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2$

*Cycle des carbonates*

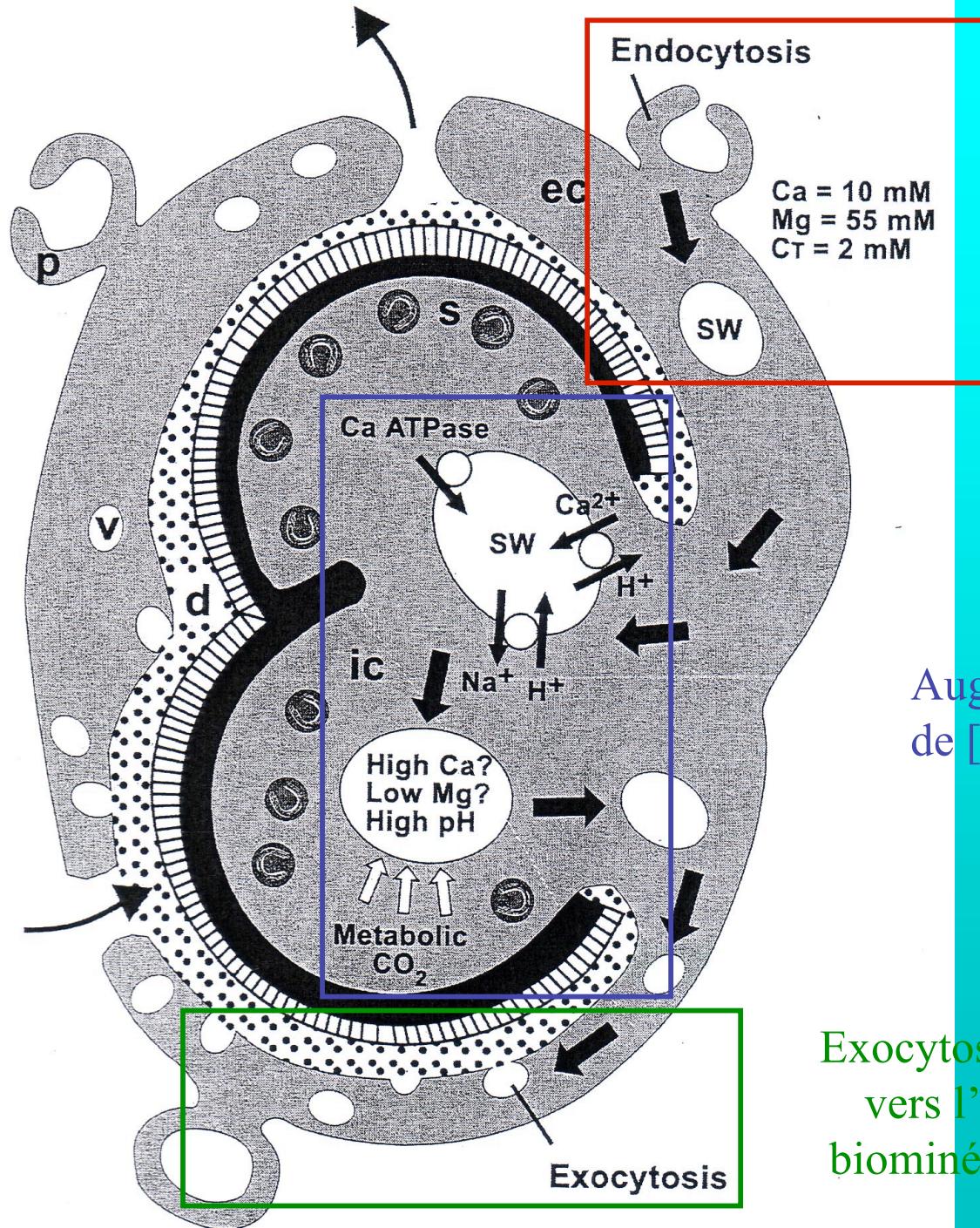
# Cycle des carbonates





**Dissolution des silicates  
et précipitation des carbonates**





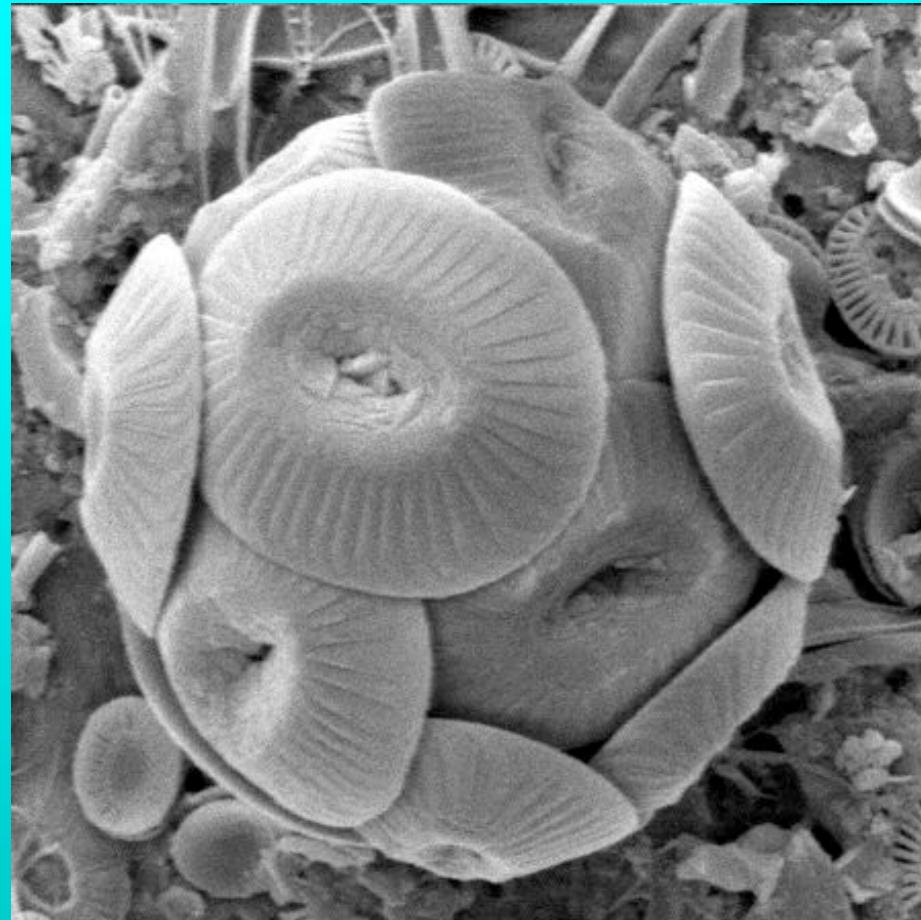
Formation de vacuoles d'eau de mer par endocytose

## Genèse des carbonates : exemple Foraminifères

Augmentation du pH  
de  $[Ca^{2+}]$  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 CO<sub>2</sub>

75%

CO<sub>2</sub> --> MCO<sub>3</sub> --> CO<sub>2</sub>

25%

CO<sub>2</sub> --> CH<sub>2</sub>O --> CO<sub>2</sub>

Terre actuelle « hors crise » :  $\approx 10^{13}$  moles de C/an

Effet anthropique CH<sub>2</sub>O --> CO<sub>2</sub> :  $6 \cdot 10^{14}$  moles de C/an

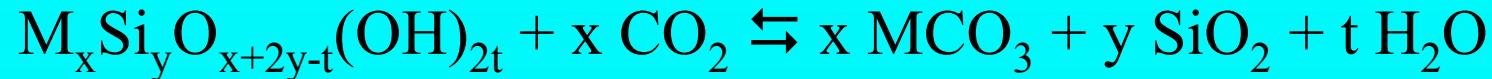
C'est bien une crise géologique !



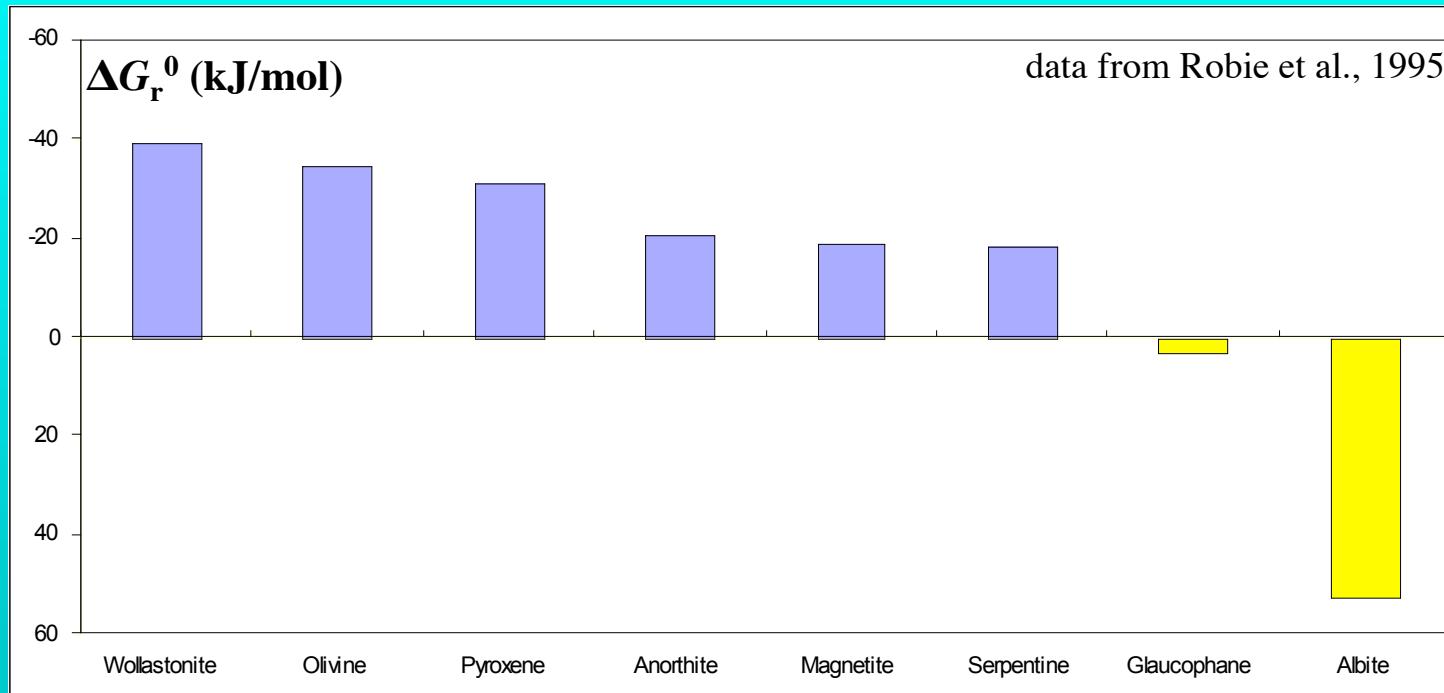
**Accélération des réactions  
dans le cycle des carbonates?**



# Effets thermodynamiques : contexte (ultra)basique



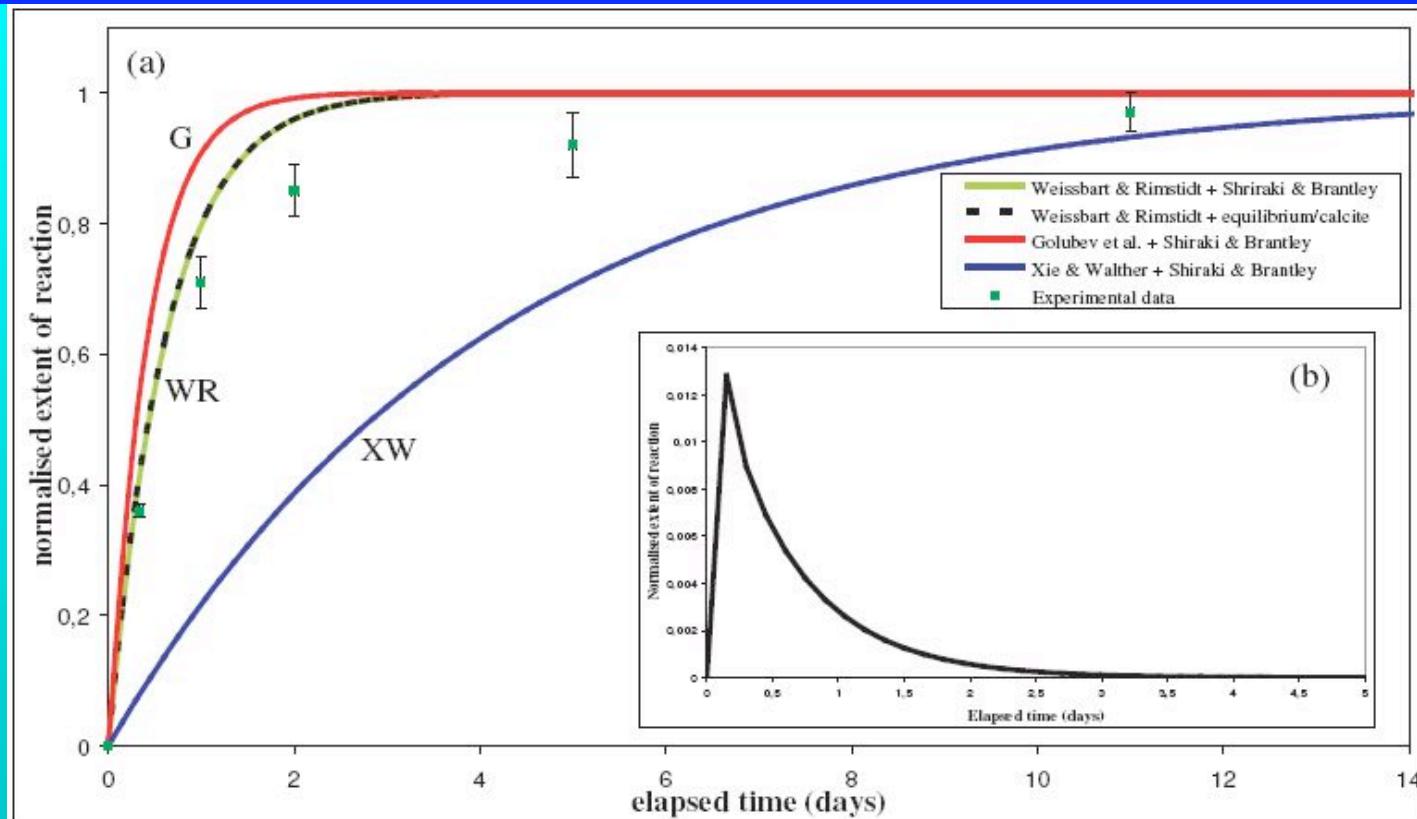
- favorable pour les minéraux (ultra)basiques



- 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 Prinzhofe

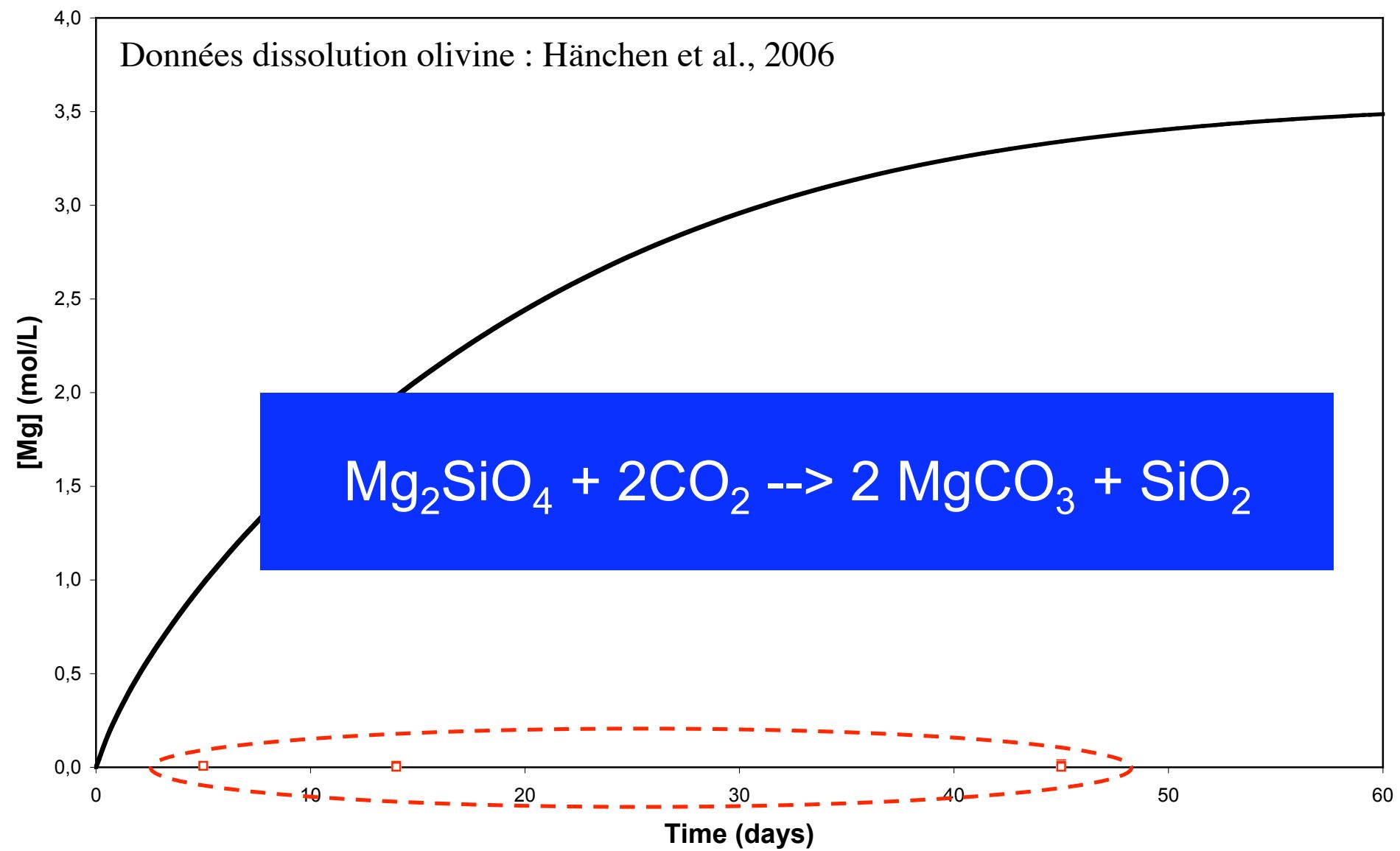
# Laboratoire : la dissolution est l'étape limitante



Daval et al. 2009

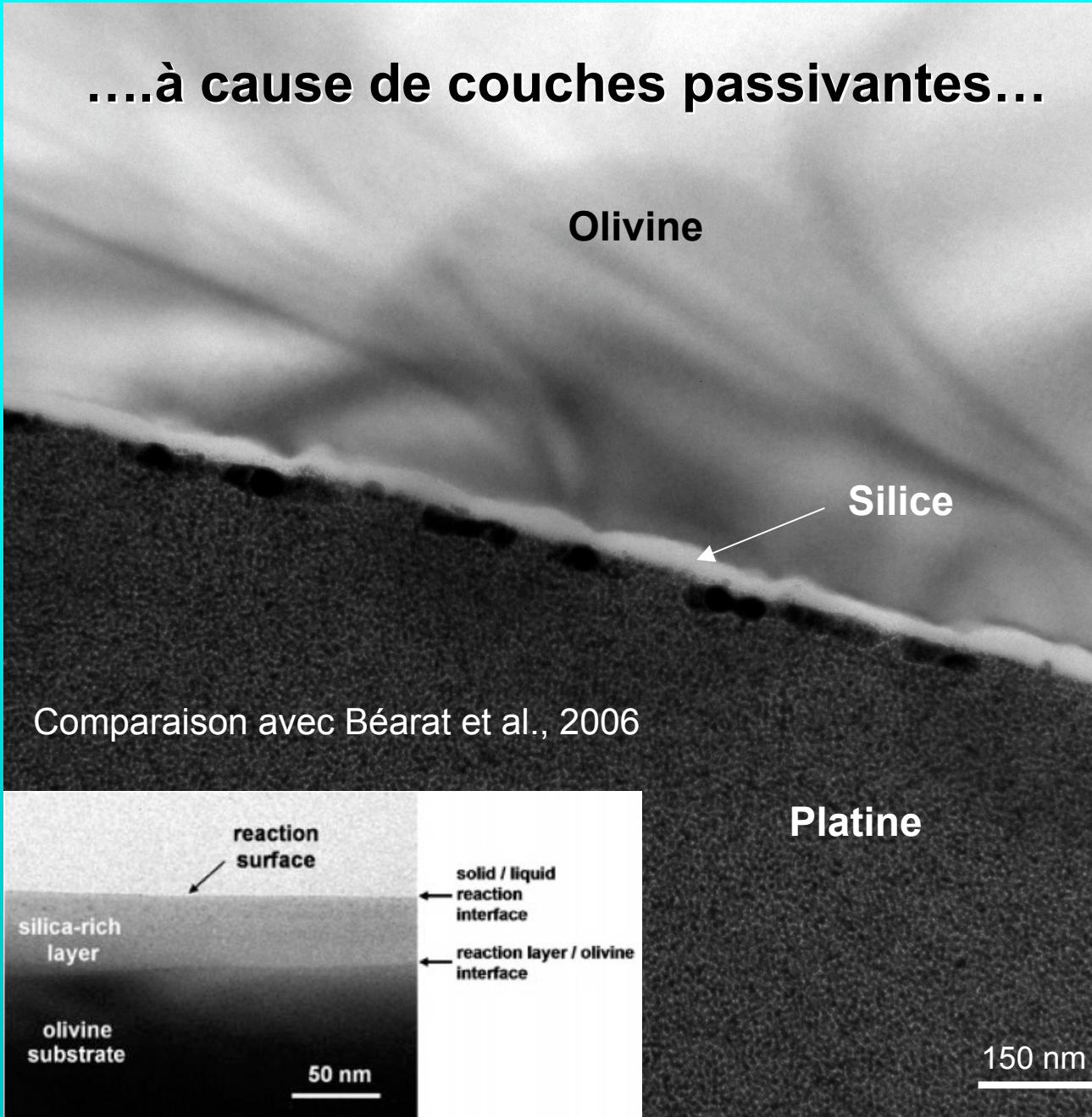


Dans la plupart des cas, cette dissolution est très lente..



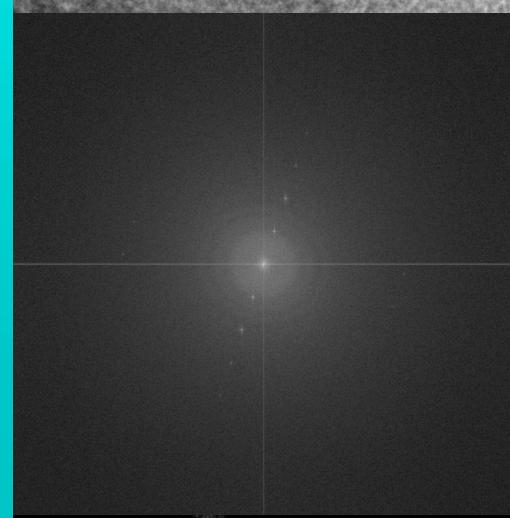
Données Damien Daval et al. non publiées

....à cause de couches passivantes...



Données Damien Daval et al. non publiées

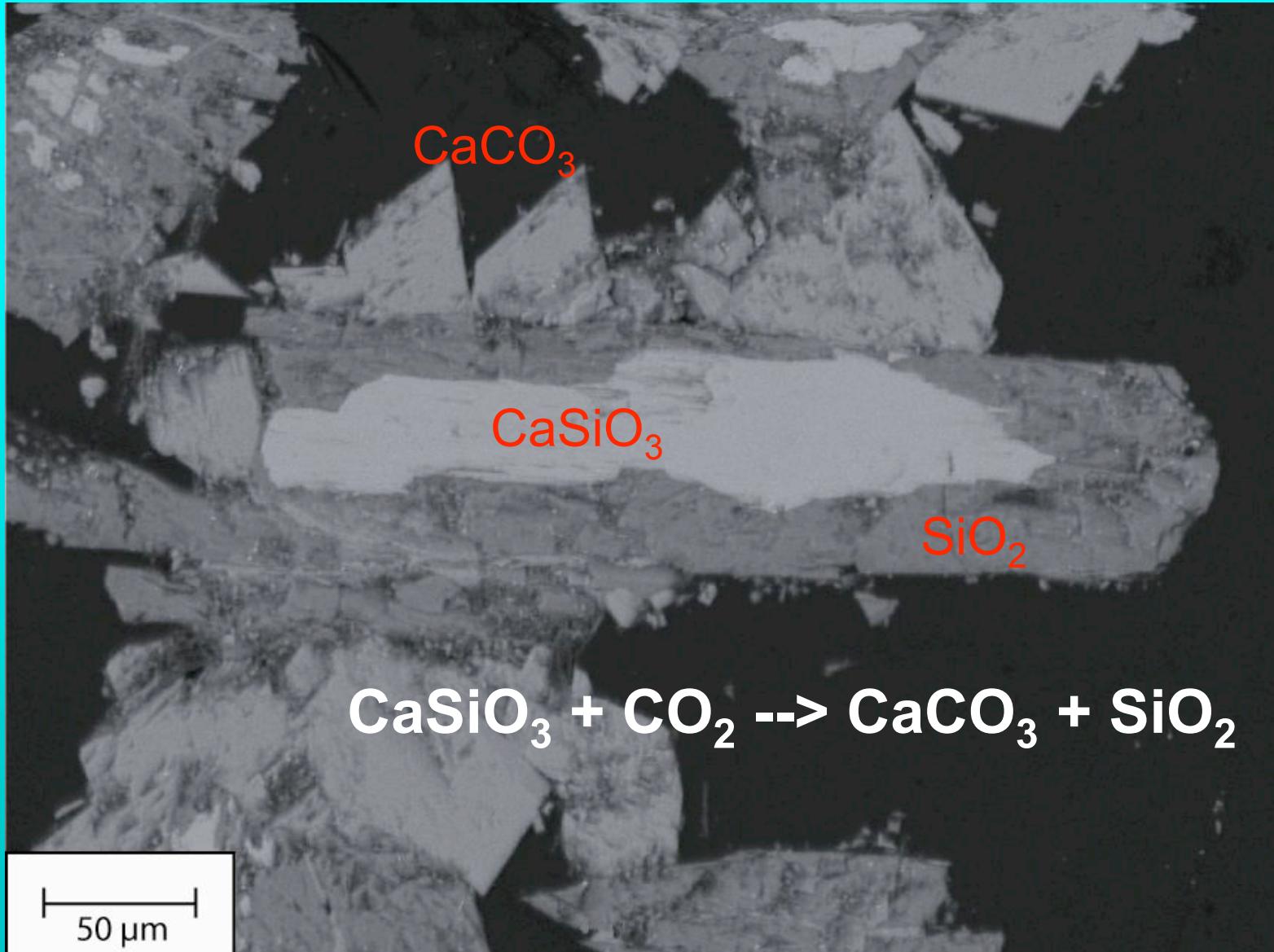
....parfois très fines...



10 nm

Données Damien Daval et al. non publiées

....plus ou moins efficaces ( $\text{CaSiO}_3$ )



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  
 $Mg_2SiO_4 + 2CO_2 \rightarrow 2 MgCO_3 + SiO_2$



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

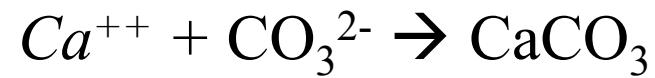
# Transformation en carbonates solides de CO<sub>2</sub> injecté en aquifère salin

**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

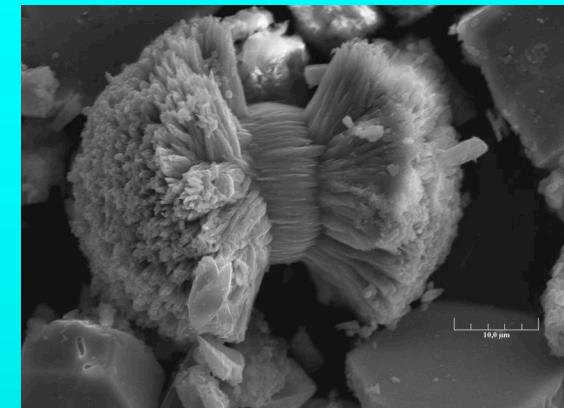
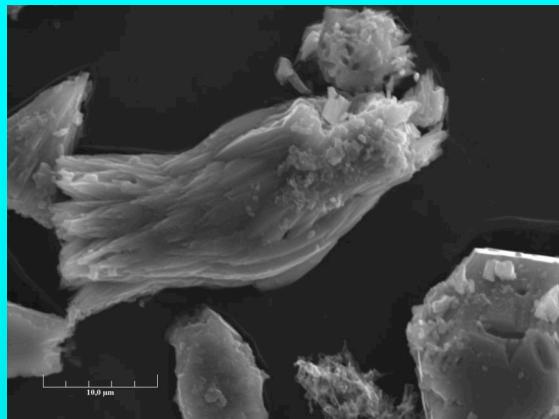


Hydrolyse de l'urée  $\rightarrow$  Augmentation du pH  $\rightarrow$  Saturation du système carbonate calcium  $\rightarrow$  **Précipitation**



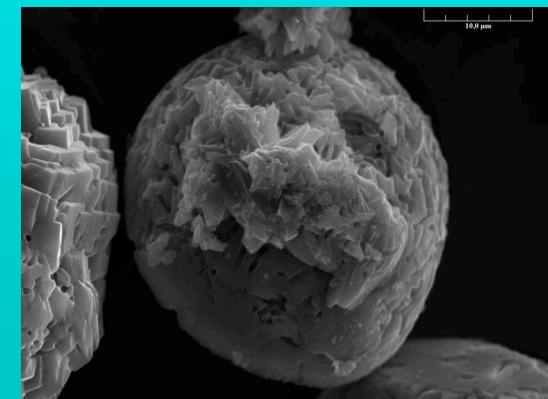
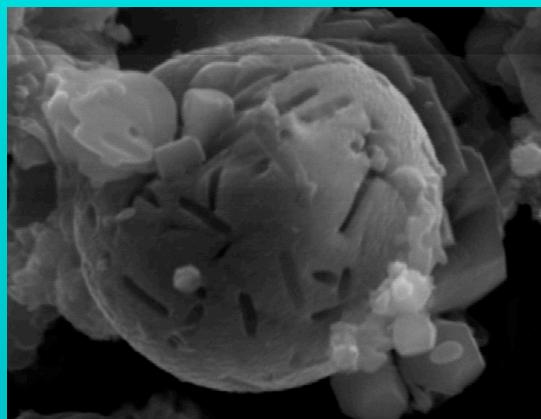
## *B. Pasteurii* : $\text{CaCO}_3$ formé expérimentalement dans une eau du Dogger

Aragonite



40 microns

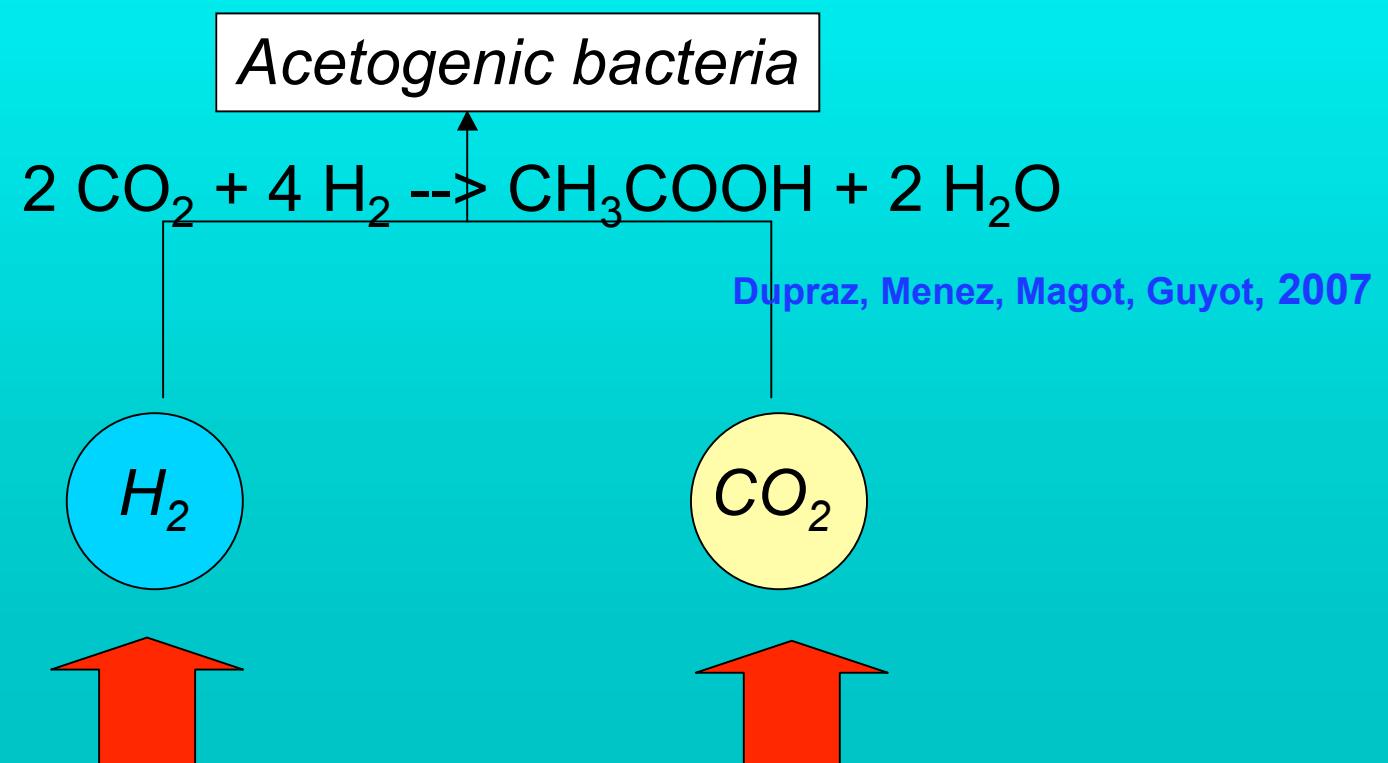
Vaterite



10 microns

Dupraz et al. 2009

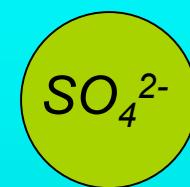
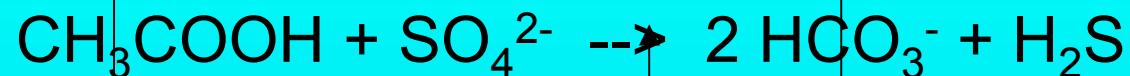
# Interaction CO<sub>2</sub>-Biosphère profonde



# Interaction CO<sub>2</sub>-Biosphère profonde



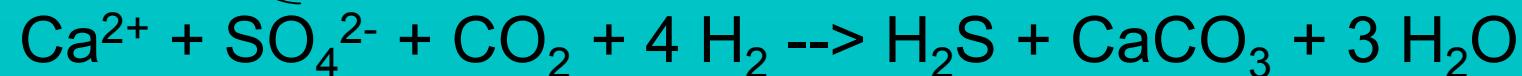
*Sulfate reducing bacteria (SRB)*



*Acetogenic bacteria*



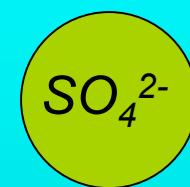
Dupraz, Menez, Magot, Guyot, 2007



# Interaction CO<sub>2</sub>-Biosphère profonde



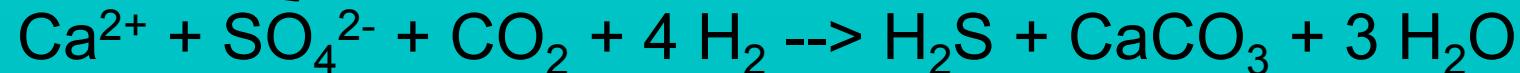
*Sulfate reducing bacteria (SRB)*



*Acetogenic bacteria*



Dupraz, Menez, Magot, Guyot, 2007



# Conclusion:

**Il est bénéfique de réfléchir  
au stockage géologique de CO<sub>2</sub>  
dans le cadre des études  
fondamentales sur le cycle global  
du carbone (et des carbonates)**