

Décarbonation des boues de STEP avant déshydratation

Design Project 2020

Auteurs:

Cécile Bettex
Laura Stocco

Superviseurs:

Prof. Tamar Kohn – EPFL
Denis Thonney - SIGE

Plan de la présentation

Contexte

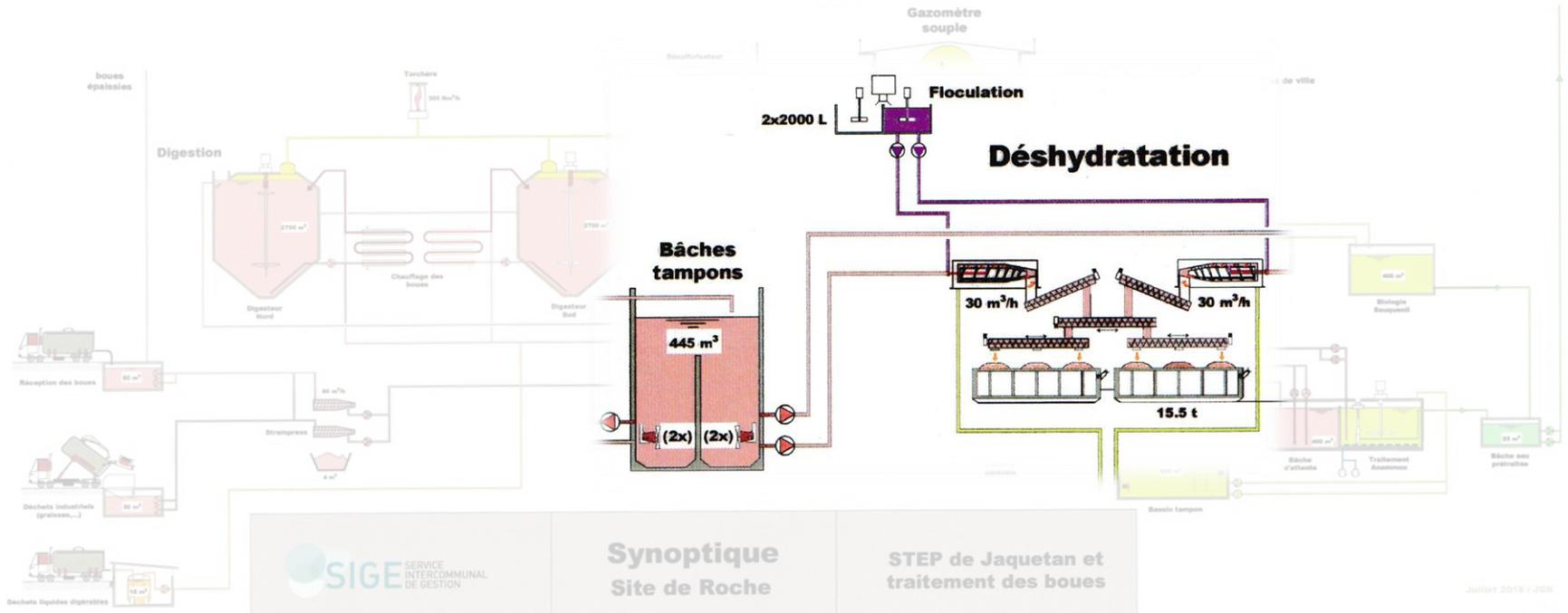
Théorie

Recommandations

Conclusion

Contexte

Problème: dépôts



Solution : aération

- **Aération** des boues entre digestion et déshydratation

Catalyse le **dégazage du CO₂**: hausse du pH et déplacement de l'équilibre des carbonates

- **Résultat**: centrifugeuses, conduites et pompes épargnées!

- **Exemples**



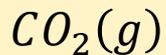
Roche (VD): pompage et pulvérisation, traitement semi-continu

Werdhölzli (ZH): différents essais avec insertion d'air

Höfe (SZ): essais avec insertion d'air, traitement par lots

Théorie

Equilibre des carbonates



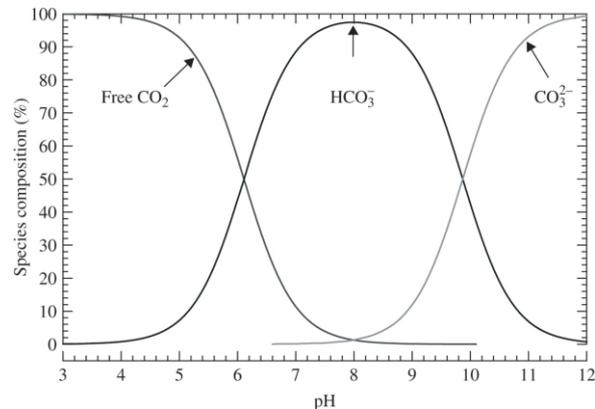
Constante de Henry



Air

Boues

- Dégazage du CO_2 des **boues**
- Perturbation du système d'équilibre
 - pH **augmente**
 - Spéciation en faveur des ions carbonates



Courtesy of Dr John R Chipperfield, Emeritus Reader in Inorganic Chemistry, Department of Chemistry, University of Hull, Kingston upon Hull, UK

Equilibre des carbonates

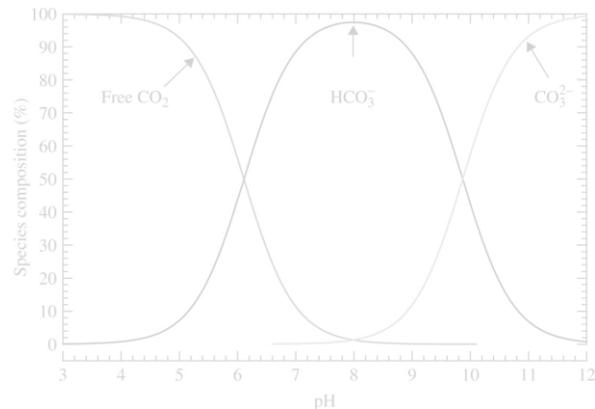


Air

Boues

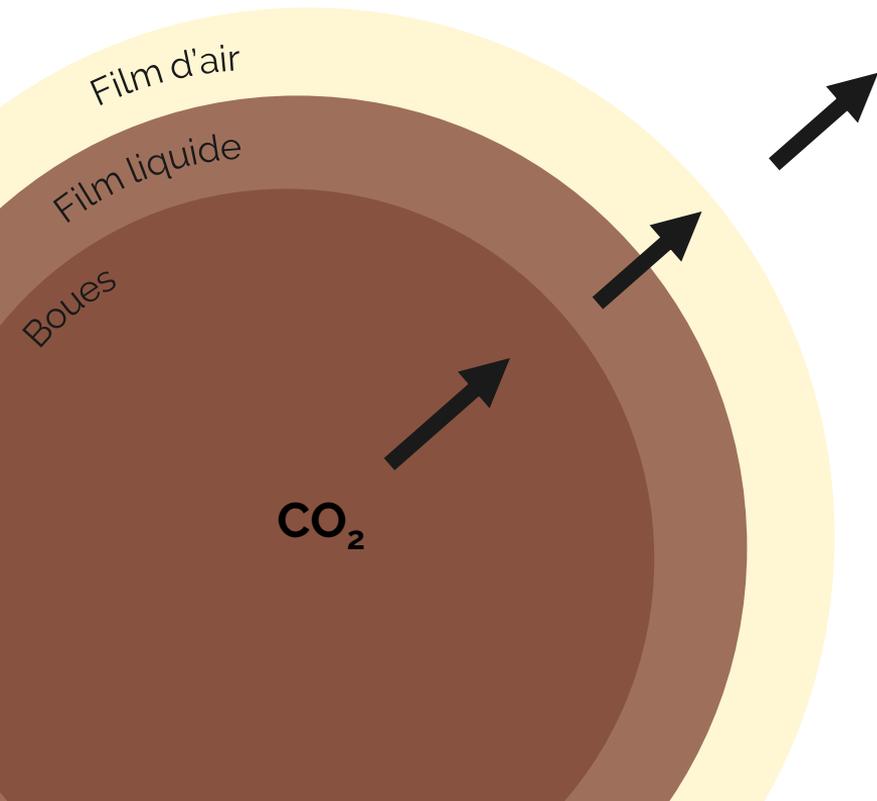


- Dégazage du CO_2 des **boues**
- Perturbation du système d'équilibre
 - pH **augmente**
 - Spéciation en faveur des ions carbonates



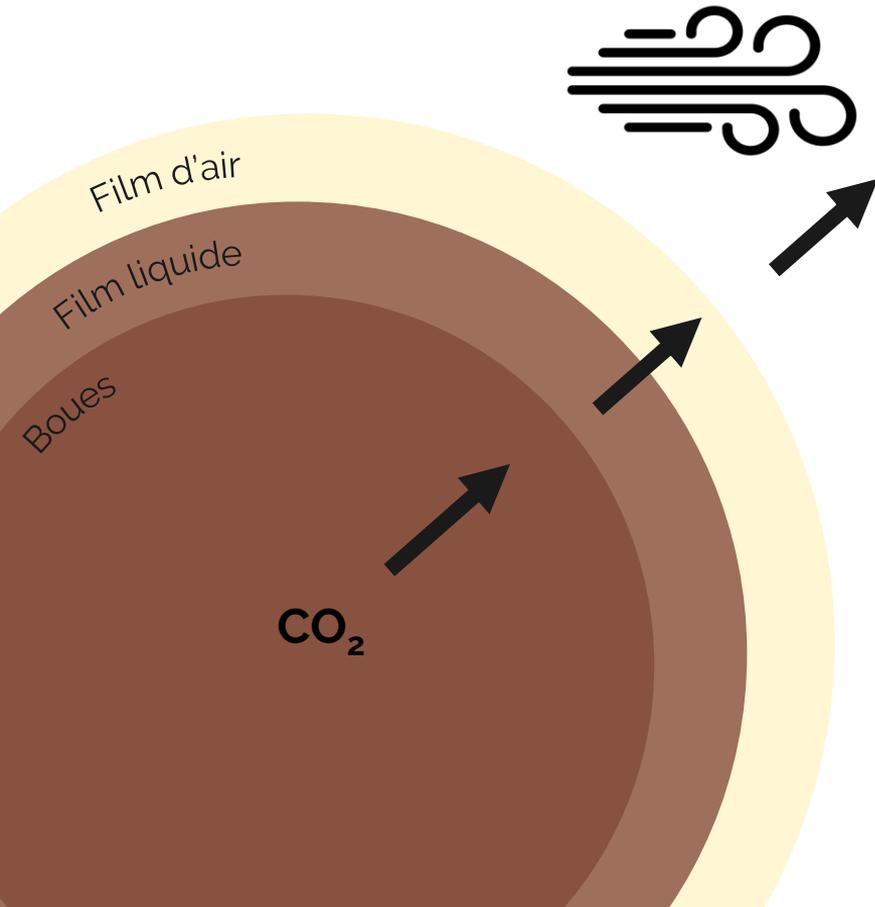
Courtesy of Dr John R Chipperfield, Emeritus Reader in Inorganic Chemistry, Department of Chemistry, University of Hull, Kingston upon Hull, UK

Transfert du CO₂



- Transfert en **3** étapes
- Magnitude du transfert dépend du **gradient** de concentration **local** et de l'**épaisseur** des **films**

Transfert du CO₂

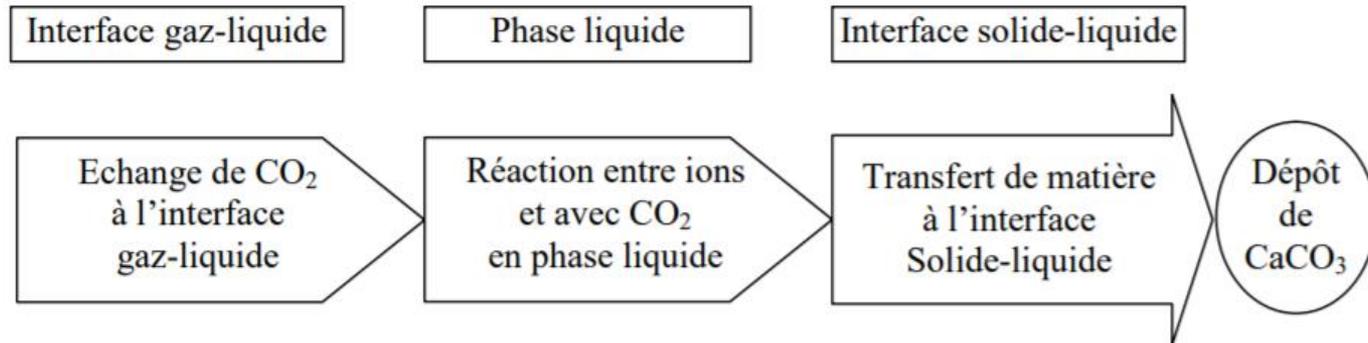


- Transfert en **3** étapes
- Magnitude du transfert dépend du **gradient** de concentration **local** et de l'**épaisseur** des **films**
- \nearrow **agitation** = diffusion dans film liquide \nearrow , épaisseur films \searrow
- \nearrow **vitesse de l'air** permet meilleur arrachage du CO₂ aux boues
- **Humidité** de l'air \searrow le transfert
- **Température** influence constante de Henry **K_H** (CO₂ se dissout moins bien dans un milieu aqueux chaud)

Précipitation et décarbonatation

- Minéraux d'intérêt = **calcite** (CaCO_3), aragonite (CaCO_3), dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)
- Des boues **sursaturées** ($SI > 0$) en calcite sont thermodynamiquement déséquilibrées. Il peut alors y avoir précipitation, qui dépend de paramètres **cinétiques**

$$SI = \log \frac{IAP}{K_S} = \log(p_i)$$



Précipitation et décarbonatation

- Plummer et al., 1978: modèle de vitesse de précipitation/dissolution de la calcite dans des eaux pures
 - Mais beaucoup de modèles différents développés! Inskeep and Bloom (pH > 8, 1985), Lebron and Suarez (COD, 1996)...
- Facteurs influençant la cinétique:
 - Épaisseur des films
 - Turbulence
 - Quantité de COD (effet inhibiteur)
 - Température
 - Activité des espèces réactives et SI
 - Présence de ions magnésium et sulfates (effet inhibiteur)
 - Présence de cristaux déjà formés et leur surface

Précipitation et décarbonatation

- Plummer et al., 1978: modèle de vitesse de précipitation/dissolution de la calcite dans des eaux pures
 - Mais beaucoup de modèles différents développés! Inskeep and Bloom (pH > 8, 1985), Lebron and Suarez (COD, 1996)...
- Facteurs influençant la cinétique:
 - Épaisseur des films
 - **Turbulence**
 - Quantité de COD (effet inhibiteur)
 - Température
 - Activité des espèces réactives et **SI**
 - Présence de ions magnésium et sulfates (effet inhibiteur)
 - Présence de cristaux déjà formés et leur surface

Modélisation

- Plusieurs **scénarios** avec dureté, pH et alcalinité de départ différents
- Utilisation de PHREEQC
 - Mise à l'**équilibre** avec pression atmosphérique
 - Quel est l'impact sur le SI de la calcite?

The screenshot shows the PHREEQC Interactive software window. The left pane displays a file tree with 'FINAL8000' selected under 'Input files'. The right pane shows the output for 'SOLUTION 1'.

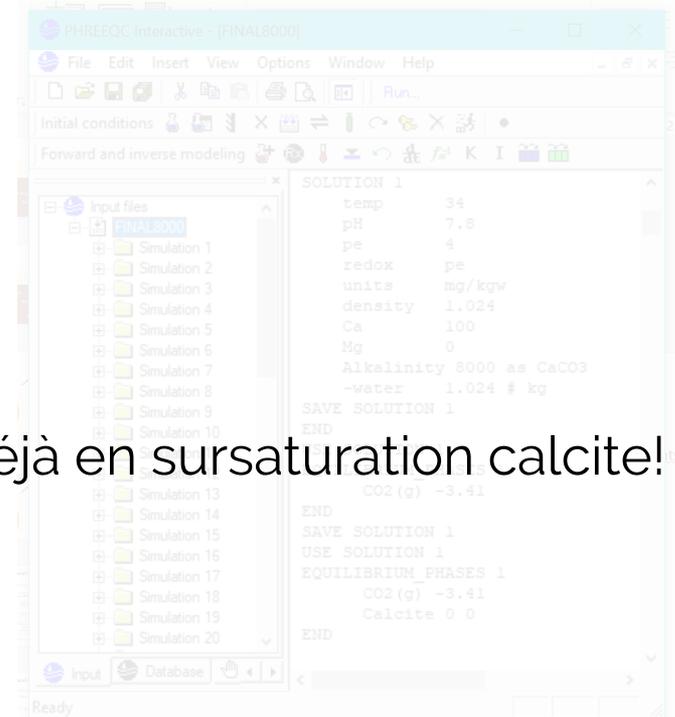
```

PHREEQC Interactive - [FINAL8000]
File Edit Insert View Options Window Help
Initial conditions
Forward and inverse modeling

SOLUTION 1
temp      34
pH        7.8
pe         4
redox     pe
units     mg/kgw
density   1.024
Ca        100
Mg         0
Alkalinity 8000 as CaCO3
-water    1.024 # kg
SAVE SOLUTION 1
END
USE SOLUTION 1
EQUILIBRIUM_PHASES 1
CO2 (g)  -3.41
END
SAVE SOLUTION 1
USE SOLUTION 1
EQUILIBRIUM_PHASES 1
CO2 (g)  -3.41
Calcite  0 0
END
  
```

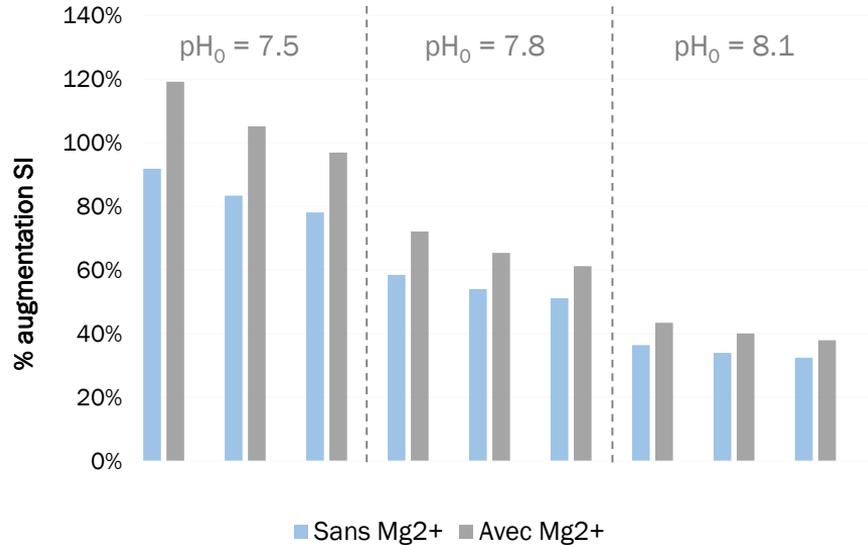
Modélisation

- Plusieurs **scénarios** avec dureté, pH et alcalinité de départ différents
- Utilisation de PHREEQC
 - Mise à l'**équilibre** avec pression atmosphérique
 - Quel est l'impact sur le SI de la calcite? → Tous sont déjà en sursaturation calcite!



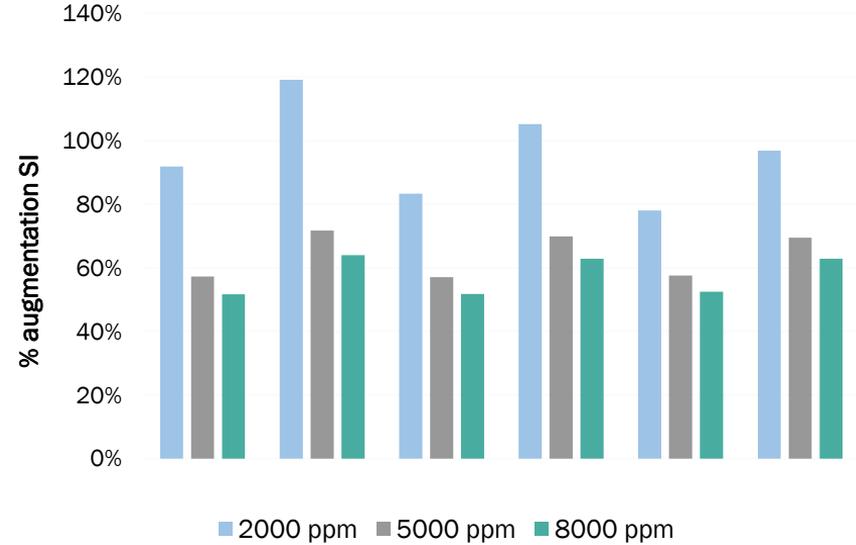
Modélisation

% augmentation du SI à une alcalinité de 2000 ppm CaCO₃



SI augmente de façon + importante à pH initial plus bas et quand le Mg²⁺ est pris en compte dans la modélisation

% augmentation du SI à un pH de 7.5 pour différentes duretés selon alcalinité



SI augmente de façon + importante à basse alcalinité pour un même pH et une même dureté.

**→ Plus l'écart de pH est grand, plus le % d'augmentation du SI sera important.
La cinétique de précipitation s'en voit augmentée.**

Recommendations

Pompage et pulvérisation

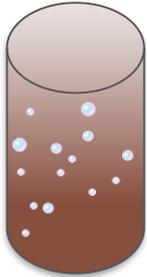
- Installation **facile** et **peu coûteuse**, comme l'opérationnel
- Maximisation de la **turbulence** et de la **mise en contact** air/boues
- **Economie d'énergie** grâce au pompage par intermittence et **hausse de l'efficacité**

- Augmentation de la **circulation de l'air** pour maximiser les échanges
- Mesure continue de **pH** au sein des boues
- **Optimisation** en régulant selon le niveau dans la bêche ou selon pH

Essais avant la mise en place

- **Base** : test sur 1 m³ et temps pour atteindre pH 8 en aérant
- **Avancés** : évaluation du potentiel et de la cinétique de précipitation

Volume connu (quelques litres), système d'aération



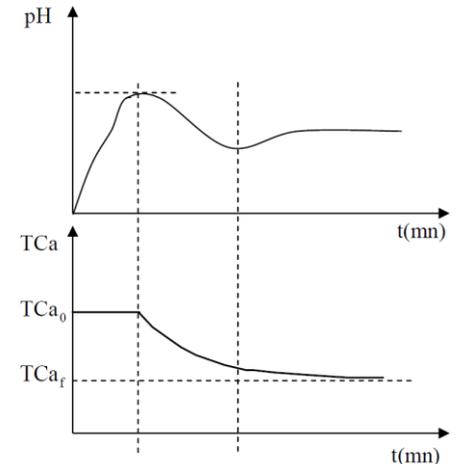
Avant : pH, alcalinité, dureté, concentration de Ca²⁺ et Mg²⁺

Pendant : pH, alcalinité, conductivité

Après : pH, alcalinité, dureté, concentration de Ca²⁺ et Mg²⁺

Analyse des courbes des mesures continues

Dureté, Ca²⁺, Mg²⁺ avant /après : portée de la précipitation



Adapté de Hadfi, A. (2012)

Conclusion

En bref

- **Aération** permet la prévention des dépôts: échanges et transferts **accélérés**
- **Variabilité** des boues rend la **généralisation** difficile
- **Optimisation** critique, attention à ne pas sous aérer
- **Incertitudes** des mesures obtenues
- Importance du **partage d'informations** sur les essais et implémentations
- Confirmation des **hypothèses** par la pratique
- **Opportunité** de combiner théorie et quotidien des STEPs

Merci !

Q & A

Références

- Hadfi, A. (2012). Evaluation du pouvoir entartrant des eaux du secteur agricole du grand Agadir et mise en évidence de l'effet inhibiteur de quelques engrais phosphatés. Thèse.
- Plummer, L. N., Wigley, T. M. L., & Parkhurst, D. L. (1978). The kinetics of calcite dissolution in CO₂-water systems at 5 degrees to 60 degrees C and 0.0 to 1.0 atm CO₂. *American journal of science*, 278(2), 179-216.
- Inskeep, W. P., & Bloom, P. R. (1985). An evaluation of rate equations for calcite precipitation kinetics at pCO₂ less than 0.01 atm and pH greater than 8. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49(10), 2165-2180.
- Lebron, I., & Suarez, D. L. (1996). Calcite nucleation and precipitation kinetics as affected by dissolved organic matter at 25 C and pH > 7.5. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60(15), 2765-2776.