

TD 2. Les interactions géologie/biologie synthétisées dans les cycles biogéochimiques: exemple du cycle du carbone.

1. Le carbone, plaque tournante de la biogéosphère

- Identifiez les différents réservoirs de carbone sur Terre. Sous quelle(s) forme(s) le carbone y est-il présent ?
- Quelle est leur importance relative? Quantifiez les.
- Quels échanges pouvez-vous imaginer entre ces différents réservoirs? Quantifiez les flux correspondants.

2. La biogéochimie du carbone, une affaire en or...

- Les 2 grands mécanismes biologiques régulateurs du cycle du carbone-

2.1. ... blanc...

Nous avons vu que le réservoir carbonates était le plus grand réservoir de carbone sur Terre. On va maintenant voir comment, pourquoi les carbonates se forment sur Terre et estimer leur efficacité dans le piégeage du carbone.

2.1.1. La constitution du réservoir carbonates

- Ecrivez l'équation de précipitation de la calcite (carbonate de calcium CaCO_3).

-La constante de solubilité correspondant à l'équation que vous venez d'écrire est $K_s = 10^{-8.4}$, à 25°C. Sachant que les concentrations en Ca^{2+} et CO_3^{2-} dans l'océan superficiel sont estimées à $10.5 \cdot 10^{-3}$ mol/L et $30 \cdot 10^{-6}$ mol/L respectivement, calculez l'indice de saturation de l'océan superficiel par rapport à la calcite. Qu'en déduisez-vous?

- La précipitation des carbonates dans l'océan ne se réalise pas de façon abiotique. Citez des organismes catalysant cette réaction de précipitation.

-D'après la **Figure 1**, quel est le devenir des carbonates formés dans l'océan profond? Quelle réaction traduit ce phénomène? Dans quelle mesure les carbonates formés seront-ils préservés?

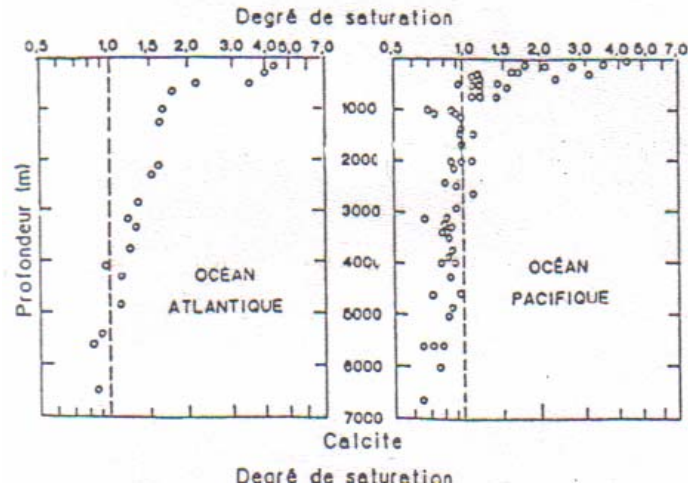


Figure 1 – Evolution de l'indice de saturation de la calcite avec la profondeur dans les océans Atlantique et Pacifique.

2.1.2. La précipitation des carbonates, une façon efficace de piéger du carbone?

- En considérant que le stock de carbonates à la surface de la Terre reste constant au cours du temps, on peut faire l'hypothèse que le flux de formation des carbonates (flux entrant dans une "boîte" carbonates) est égal au flux d'altération de ces carbonates (flux sortant). En utilisant les valeurs estimées au 1., évaluez le temps de résidence d'une roche calcaire à la surface de la Terre. Comparez au temps de résidence du carbone dans le réservoir biomasse. Qu'en déduisez-vous quant à l'efficacité du piégeage du carbone dans les carbonates?

- La réaction de précipitation des carbonates écrite au 2. ne fait pas directement intervenir les ions CO_3^{2-} . Quelle est l'espèce dominante de carbonate en solution au pH de l'océan actuel? D'où proviennent ces ions? Réécrivez en conséquence la réaction de précipitation de la calcite. La séquestration de carbone par la précipitation de CaCO_3 est-elle parfaite?

- Ecrivez l'équation d'altération d'un silicate ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$: anorthite) en kaolinite ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Quel est le bilan de cette réaction couplée à la précipitation des carbonates? Quelle est la part de carbone effectivement piégée par la précipitation des carbonates?

2.2. ... et noir

- Quel mécanisme participe à la constitution du deuxième plus grand réservoir de carbone sur Terre? Ecrivez la réaction traduisant ce mécanisme. Définissez le terme de productivité primaire nette. Quel est le devenir de la plus grande part du carbone produit? Dans quelle mesure ce réservoir peut-il piéger du carbone?

3. La biogéochimie du carbone façonne la surface de la Terre

3.1. Quelle Terre sans/avant les carbonates?

Nous allons essayer d'estimer le rôle du réservoir carbonates (et donc de l'activité biologique) sur les paramètres physico-chimiques de la planète.

- Complétez la colonne "Terre actuelle" de la Table 1. Si l'on procédait à la dissolution complète du réservoir de calcaires terrestres, que deviendrait la proportion de CO₂ dans l'atmosphère? Comparez à la teneur actuelle en CO₂ de l'atmosphère terrestre et aux teneurs en CO₂ des atmosphères de Mars et Vénus reportées dans la Table 1. On donne $m(\text{atmosphère}) = 5.10^{21}\text{g}$.

Gaz	Vénus	Mars	Terre actuelle
CO ₂	96.5%	95%	
N ₂	3.5%	2.7%	
O ₂	Traces	0.13%	
Ar	70 ppm	1.6%	
CH ₄	0	0	
T surface, °C	459	-53	
Pression totale, bars	90	0.0064	

- Qu'apporte ce calcul dans l'estimation de la composition de l'atmosphère primitive? Sur quels paramètres et selon quels principes la forte teneur en CO₂ de l'atmosphère primitive joue-t-elle?

3.2. Quelle Terre aujourd'hui et demain?

Environ 7.10^{14} mol de carbone sont émis par les activités humaines tous les ans.

- On donne: - la constante de solubilité de l'équilibre de dissolution du CO₂ dans l'eau (constante de Henry): $K_h = 10^{-1.5}$ mol/L/atm, à 25 °C
- le volume de l'océan: $1.37 \cdot 10^{21}\text{L}$.

Quelle part du CO₂ émis annuellement est pompé par l'océan? Quel est le devenir du CO₂ restant? Quels mécanismes peuvent participer à la régulation de la teneur atmosphérique en CO₂? Sur quelles échelles de temps jouent-ils?

- En imaginant que la pCO₂ atmosphérique sera de 1000 ppm en 2100, quelle sera la valeur du pH de l'océan? Comparez cette valeur à la valeur actuelle.

On donne: $K_{a1} = 10^{-6.4}$ pour le premier équilibre acido-basique des carbonates

$K_h = 10^{-1.5}$ mol/L/atm, à 25°C (constante de Henry)

Vous ferez l'hypothèse suivante sur la réserve alcaline de l'océan:

$R_B = [\text{HCO}_3^-] = 10^{-3}$ mol/L.

-D'après la **Figure 2**, quel sera l'impact de l'augmentation de la pCO₂ sur l'état de saturation des carbonates de calcium dans l'océan? Expliquez cette évolution à l'aide des équations écrites dans ce TD. D'après la **Figure 3**, quelle est la conséquence de cette augmentation de la

pCO₂ sur les processus de biominéralisation de carbonates ? Quels organismes seront (et sont déjà) touchés par ce phénomène ? Quels mécanismes pourraient réguler cette augmentation de la pCO₂ ? Sur quelles échelles de temps jouent-ils ?

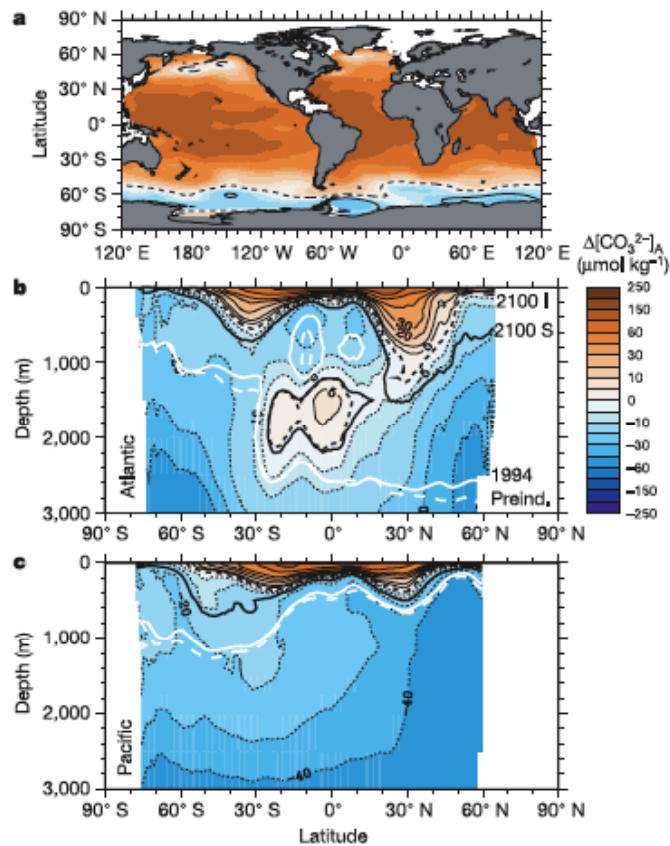


Figure 2 – Etat de saturation de l’aragonite en 2100. (a) : carte de surface, (b) coupes dans l’Atlantique et (c) dans le Pacifique (moyennes). Les lignes indiquent l’horizon de saturation de l’aragonite dans l’océan : valeur préindustrielle (1765, ligne blanche pointillée), en 1994 (ligne pleine blanche) et en 2100 (ligne pointillée noire). D’après Orr et al., 2002.

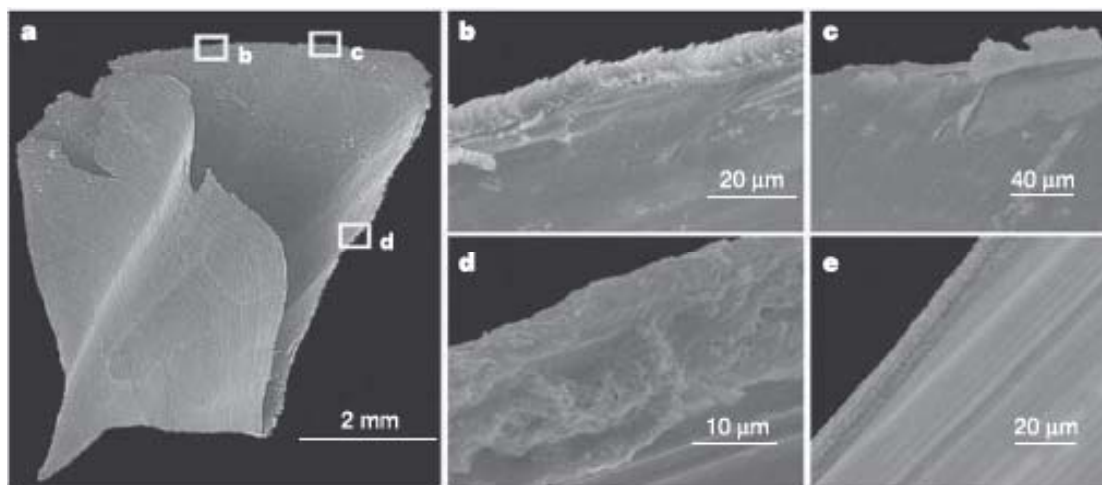


Figure 3 - Evolution de la morphologie de la coquille d’un ptéropode vivant : Grossissements b, c, d du ptéropode en a placé dans une eau sous-saturée vis-à-vis de l’aragonite pendant 48h. Comparaison avec la surface d’une coquille intacte en e. D’après Orr et al., 2002.

- Interprétez les graphes présentés en **Figure 4** qui ont été obtenus par modélisation à partir de différents scénarii du devenir de la planète (prévisions démographiques, évolution des politiques environnementales, ...).

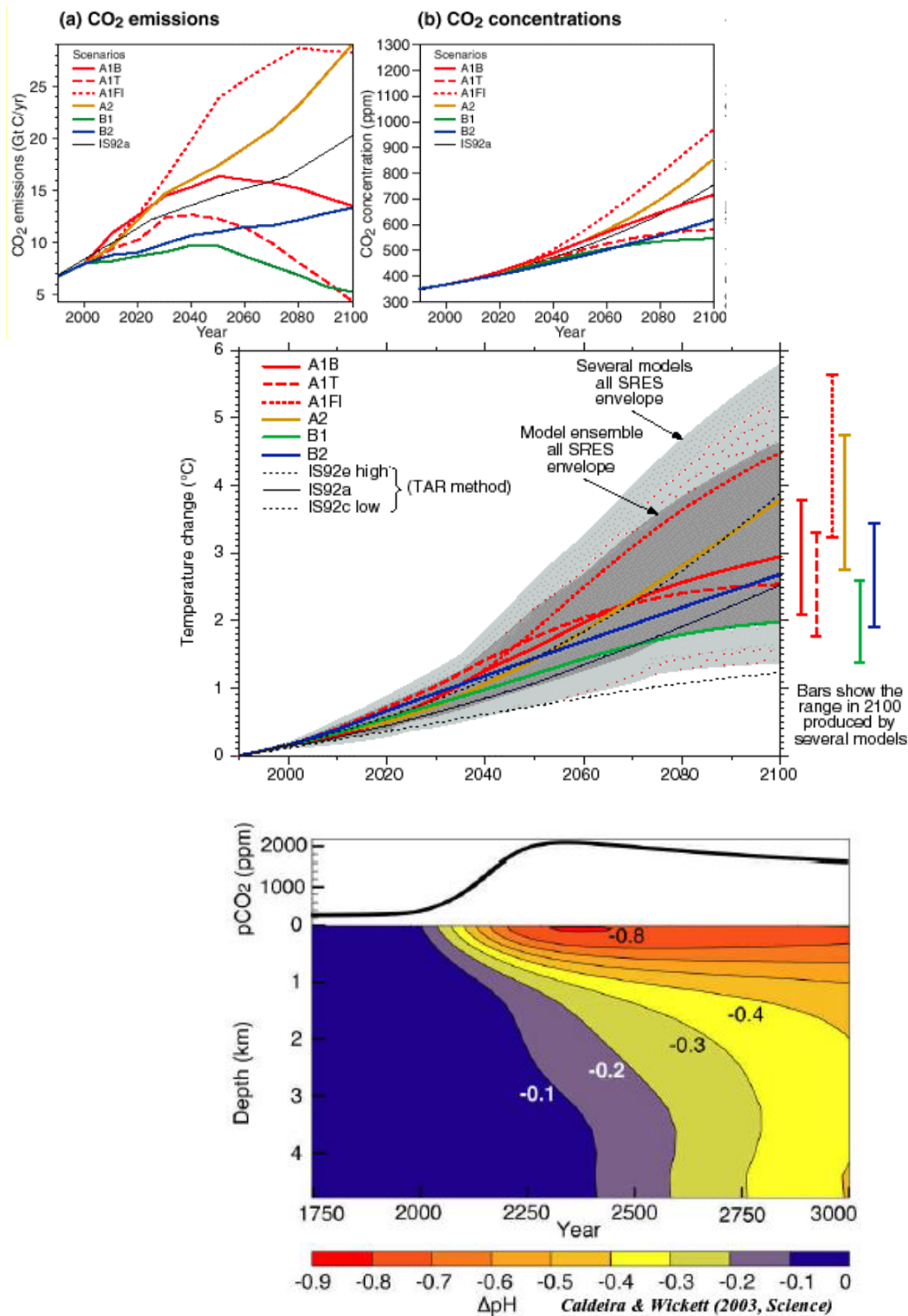


Figure 4 – Quelques scénarii prévisionnels de l'évolution de la teneur en CO₂ atmosphérique, de la température de surface et du pH de l'océan.