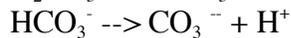
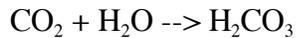


Biologie. DEUG STU. Cours F. Guyot
Intitulé : Éléments de biologie pour les sciences de la Terre et de l'Univers

2. Action de la biologie sur la géologie : les cycles du carbone

4. Échange océan-atmosphère



carbone inorganique dissous = DIC (dissolved inorganic carbon) = $(\text{H}_2\text{CO}_3) + (\text{HCO}_3^-) + (\text{CO}_3^{2-})$

C'est l'activité thermodynamique des protons qui détermine laquelle des espèces du DIC domine dans l'océan. Au pH de l'océan 7-8, c'est HCO_3^- qui domine. À $\text{pH} < 5$, ce serait H_2CO_3 . À $\text{pH} > 9$, ce serait CO_3^{2-} .

L'océan juste équilibré avec une atmosphère contenant du CO_2 aurait un pH acide, inférieur à 5. C'est l'altération des roches, principalement de la croûte continentale (elle même contrôlée en partie par les végétaux, champignons et micro-organismes), qui consomme les protons et augmente le pH des eaux naturelles terrestres

Flux (dans les deux sens) De l'ordre de $8 \cdot 10^{16}$ g de carbone/an = $7 \cdot 10^{15}$ moles de carbone/an.

L'eau sur Terre c'est surtout l'océan

Ce processus correspond à un échange de $3 \cdot 10^{17}$ g de CO_2 /an = 300 Gtonnes de CO_2 /an.

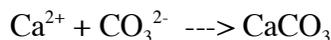
Solubilité du CO_2 dans l'eau : Stationnaire : égal dans les deux sens (comme 1 et 2 étaient égales mais il y aura une flèche de fuite).

Mais pour une quantité de carbone donnée dans l'ensemble océan+atmosphère, la quantité dans l'atmosphère augmente si la température augmente

De l'océan aux carbonates solides.

5.

Les carbonates solides se forment dans l'océan suivant :

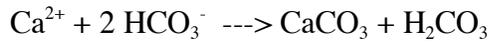


Cette réaction ne se produit pas n'importe où. Dans la Terre actuelle. A plus de 90%, elle se produit à l'intérieur d'organismes vivants, dans des processus cellulaires. Il y a donc ici un rôle central de la biologie. Exemples d'organismes faisant cette biominéralisation des carbonates : les coccolithophoridés, les foraminifères, les coraux

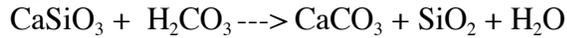
Cette réaction a un effet sur le DIC, car, pour compenser les CO_3^{2-} disparus, on a :



En combinant, on a comme bilan pour la formation des carbonates solides



Cycle des carbonates



La biologie intervient dans ce processus géologique essentiellement en contrôlant, dans la Terre actuelle, la précipitation des carbonates solides

Sursturation de l'océan par rapport à la précipitation de calcite

Barrière cinétique

Notion de sursaturation critique

Processus cellulaire

Processus lié à la photosynthèse

Rôle des ATP-ases

Comme le temps caractéristique de réponse à une variation de CO_2 associé à la précipitation des carbonates est bien plus court que celui associé à l'altération qui alcalinise l'océan (quelques années contre quelques dizaines de milliers d'années), on remarque qu'une augmentation de CO_2 dans l'atmosphère doit conduire rapidement à une augmentation de H_2CO_3 dans l'océan et donc à déplacer la réaction de formation des carbonates de la droite vers la gauche dans le sens de la dissolution des carbonates solides (voir ci dessous remontée de la CCD). Les organismes à coquilles calcaires sont donc menacés par l'augmentation actuelle de CO_2 .

Flux de formation de carbonates solides : De l'ordre de $0.1 \cdot 10^{15}$ g de carbone/an = 10^{13} moles de carbone/an = 10^{15} g de calcite/an = 1 Gtonne de calcite par an. Ce processus correspond à un stockage géologique de $0.4 \cdot 10^{15}$ g de CO_2 /an = 0.4 Gtonne de CO_2 /an.

Phénomène géologique largement influencé par la biologie (précipitation des carbonates ; altération des roches)

Donc pour résumer les flux : les pertes de carbone sous forme de kérogène (3) et de carbonates (5) sont de l'ordre de $0.1 \cdot 10^{15}$ g de carbone/an = 10^{13} moles de carbone/an.

Ces pertes compensent à peu près exactement sur le long terme le flux volcanique et métamorphisme (6). C'est bien aussi un cycle du carbone mais beaucoup plus long, de l'ordre de 100 millions d'années qui suit l'équation "3 + 5 = 6" (au lieu de 1 = 2 et 4 = 4 qui décrivent les deux cycles courts du carbone).

Notion importante pour la formation des carbonates solides : la CCD : carbonate compensation depth. Explication : L'océan de surface est sursaturé par rapport à la formation de calcite (c'est à dire que le produit $(\text{Ca}^{2+}) \cdot (\text{CO}_3^{2-})$ est supérieur au produit de solubilité thermodynamique noté K_s). Mais en profondeur, il devient sous saturé. Donc, un organisme qui fabrique tranquillement

sa coquille de calcite ou d'aragonite dans l'océan de surface voit lorsqu'il meurt, sa coquille se dissoudre lorsque, lors de sa chute vers le fond, la profondeur dépasse 3000 m environ. C'est pour cela que l'on a mis une flèche dans le sens opposé à la flèche 5. Mais comme il y a beaucoup de sédimentation au dessus de la CCD (plateau continental par exemple), le bilan net est bien un flux net de $0.1 \cdot 10^{15}$ g de carbone/an = 10^{13} moles de carbone/an de formation de carbonates solides.

7. Des kérogènes à l'atmosphère. Perturbation anthropique actuelle : excès au terme de combustion + respiration

On prend sur le réservoir kérogène (sa partie combustibles fossiles)

$8 \cdot 10^{15}$ g de carbone/an = $7 \cdot 10^{14}$ moles de carbone/an ($5 \cdot 10^{14}$ moles de carbone/an dûes à la combustion des charbons, pétroles gaz naturels et $2 \cdot 10^{14}$ moles de carbone/an dûes aux feux agricoles et de forêt).

$30 \cdot 10^{15}$ g de CO_2 /an ; 30 Gigatonnes de CO_2 /an

Phénomène éminemment biologique car l'homme est un être vivant.

La flèche 7 a déstabilisé le cycle du carbone et donc conduit à une accumulation de dans l'atmosphère (environ $3 \cdot 10^{14}$ moles de carbone/an ; les autres $4 \cdot 10^{14}$ moles de carbone/an allant essentiellement dans l'océan par loi de Henry et peut être pour environ 10^{14} moles de carbone/an dans de la biomasse supplémentaire) lorsqu'elle a dépassé franchement les valeurs des régulateurs naturels 3 et 5 (qui sont de l'ordre de 10^{13} moles de carbone/an). Cela s'est passé vers 1900-1920.

NB Les numéros renvoient aux numéros indiqués sur la figure du cycle du carbone insérée dans le cours 2