Corrigé et barème – Carbone et climat : réservoirs géologiques et cycle long

Réservoirs, flux et temps de résidence, carbonates et matière organique fossile, cycle long (altération des silicates, enfouissement, dégazage) et ses équations, modélisation des variations du CO_2 à l'échelle géologique, perturbation humaine du cycle du carbone.

Durée : 120 min – Calculatrice interdite – Sur 20 points · Spécialité SVT Terminale

Exercice 1 – Mobiliser ses connaissances ★★ *(6 pts)*

a) **Roches carbonatées** : carbone **minéral** ($CaCO_3$). Dans l'océan, des êtres vivants (coccolithophoridés de la craie, foraminifères, coraux, mollusques) précipitent du calcaire : $Ca^{2+} + 2\ HCO_3^- \rightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O$; leurs restes s'accumulent puis deviennent des roches. Stock : plus de 60 millions de GtC. **Matière organique fossile** : carbone **organique**. Une infime partie de la matière organique échappe aux décomposeurs dans un milieu pauvre en dioxygène (fond confiné, marécage) et s'enfouit ; la hausse de température et de pression la transforme en kérogène (≈ 15 millions de GtC), qui donne pétrole (vers 60 à 120 °C) puis gaz ; les végétaux des marécages donnent tourbe, lignite, houille, anthracite. Ces réservoirs contiennent plus de 99,9 % du carbone de surface et n'échangent que moins de 0,3 GtC/an : temps de résidence de 10 000 ans à des centaines de millions d'années, contre quelques années pour l'atmosphère. (3)

b) **Puits** : altération des silicates, $CaSiO_3 + 2\ CO_2 + H_2O \rightarrow Ca^{2+} + 2\ HCO_3^- + SiO_2$, puis précipitation du calcaire dans l'océan ; bilan $CaSiO_3 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + SiO_2$ (un CO_2 piégé par calcium) ; enfouissement de matière organique ($CO_2 + H_2O \rightarrow CH_2O + O_2$ sans décomposition). L'altération des calcaires a un bilan nul. **Sources** : dégazage volcanique (dorsales, points chauds, subduction), décarbonatation des carbonates enfouis ($CaCO_3 + SiO_2 \rightarrow CaSiO_3 + CO_2$), oxydation de la matière organique fossile remise à l'affleurement. **Stabilisation** : les flux, de l'ordre de 0,1 GtC/an, se compensent ; l'altération s'accélère quand le climat est chaud et humide : si le CO_2 monte, le climat se réchauffe, l'altération piège plus de CO_2 et le CO_2 redescend — une rétroaction négative, à l'échelle des centaines de milliers d'années. Schéma : cycle court, roches carbonatées, matière organique fossile, manteau, avec les flèches d'altération, d'enfouissement, de dégazage et de subduction. (3)

Piège — Compter la dissolution d'un calcaire comme un puits : la reprécipitation rend le CO_2.

Exercice 2 – L'altération d'un feldspath et le climat ★★ *(6 pts)*

a) On additionne et on retire Ca^{2+}, 2 HCO_3^-, un CO_2 et une molécule d'eau des deux côtés : $\mathbf{CaAl_2Si_2O_8 + CO_2 + 2\,H_2O \rightarrow CaCO_3 + Al_2Si_2O_5(OH)_4}$. L'altération consomme 2 CO_2, la précipitation en rend 1 : une mole de CO_2 piégée dans le calcaire par mole d'anorthite. (1,5)

b) 278 kg d'anorthite $= 278\,000 \div 278 = 1\,000$ mol ; elles piègent 1 000 mol de CO_2, soit $1\,000 \times 44 = 44\,000$ g = **44 kg de CO_2**. (1,5)

c) Du bassin froid au bassin tropical, l'export d'ions est multiplié par 8 (par 3 dès le bassin tempéré) : l'altération augmente avec la **température**, qui accélère les réactions chimiques, et avec les **pluies**, qui apportent l'eau chargée de CO_2 et évacuent les ions. (1,5)

d) Si le CO_2 augmente, l'effet de serre réchauffe le climat et intensifie le cycle de l'eau : l'altération s'accélère (doc. 2) et piège davantage de CO_2 (doc. 1), qui redescend ; s'il baisse, l'altération ralentit et le dégazage le fait remonter : **rétroaction négative**, donc thermostat. Une chaîne de montagnes jeune expose sans cesse des silicates frais (doc. 3 : $\times 4$) : le puits augmente durablement sans que le dégazage change, le CO_2 baisse et le climat se refroidit, jusqu'à un nouvel équilibre plus froid. (1,5)

Méthode — Pour un bilan, on additionne les deux réactions, puis on retire ce qui figure des deux côtés.

Exercice 3 – Une perturbation rapide face au cycle long ★★★ *(8 pts)*

a) $7{,}8 \times 44 \div 12 = 7{,}8 \div 12 \times 44 = 0{,}65 \times 44 =$ **28,6 Gt de CO_2**. Émissions totales : $7{,}8 + 1{,}1 =$ **8,9 GtC/an**. (2)

b) Destination : $4{,}0 + 2{,}3 + 2{,}6 = 8{,}9$ GtC/an = émissions : le carbone se conserve, le bilan est équilibré. Fraction atmosphérique : $4{,}0 \div 8{,}9 \approx$ **0,45**, soit environ 45 % ; l'océan et les continents prennent le reste. (2)

c) $8{,}9 \div 0{,}1 = 89$: les émissions humaines sont **près de 90 fois** plus fortes que le dégazage volcanique. Le carbone fossile a été retiré du cycle court par l'enfouissement de matière organique pendant des millions d'années ; on le rend à l'atmosphère en quelques décennies, sans passer par le dégazage, alors que les puits du cycle long ne retirent que de l'ordre de 0,1 GtC/an : aucun flux rapide ne le ramène dans les roches. (2)

d) Le temps de résidence (quelques années) décrit le renouvellement des molécules par des échanges bruts qui se compensent ; seuls les flux nets réduisent l'excès. D'après le document 3 : la biosphère et l'océan de surface absorbent une partie en années à décennies ; la dissolution dans l'océan profond demande des siècles, limitée par la lenteur du mélange des eaux ; la réaction avec les carbonates des fonds marins demande des millénaires ; seule l'altération des silicates retire le reste, en centaines de milliers d'années. Après 1 000 ans, 15 à 40 % de l'excès sont encore dans l'air. Réservoirs finaux : **l'océan** (ions hydrogénocarbonate), puis les **roches carbonatées**. (2)

Piège — Confondre le temps de résidence d'une molécule et la durée de l'excès de CO_2.

Ce document est la propriété intellectuelle de Ben, professeur particulier (benprofparticulier.fr), protégée par le Code de la propriété intellectuelle (art. L. 111-1 et L. 122-4). Il est mis à disposition pour un usage personnel de révision. Toute reproduction, diffusion, mise en ligne ou revente, totale ou partielle, sans autorisation écrite est interdite et constitue une contrefaçon (art. L. 335-2).