

18eme Olympiades internationales de Géosciences

Épreuve théorique individuelle, partie 2

Numéro d'identification :

Feuille de réponses (ne pas détacher)

45	46	47	48	49
50	51	52	53	54
55	56	57	58	59
60	61	62	63	64
65	66	67	68	69
70	71	72	73	74
75	76	77	78	79
80	81	82	83	84

**N'ouvrez PAS le sujet avant que le surveillant
n'annonce le début de l'épreuve.**

Consignes pour l'épreuve

1. **Durée de l'épreuve** : la durée totale de la partie 2 est **de 150 minutes**. Une fois l'examen terminé, vous devez **immédiatement cesser d'écrire** et attendre que les sujets soient ramassés.
2. **Remise des réponses** :
 - Toutes les réponses doivent être reportées dans les cases numérotées correspondantes sur la **première page du sujet**. **Ne dépassez pas les limites** de la zone de réponse.
 - Seule la (ou les) **letter(s) majuscule(s)** (A, B, C, etc.) correspondant à la (ou les) bonne(s) réponse(s) doit(doivent) être inscrite(s).
 - Même si vous cochez la (ou les) bonne(s) réponse(s) à côté de la question, vous n'obtiendrez AUCUN point si elle(s) n'est (ne sont) **pas** recopiée(s) sur la première page.
 - Si vous devez modifier une réponse, **barrez la réponse originale** et écrivez la nouvelle réponse dans la même case (par exemple, ~~ABC~~AB).

Section G : Les roches et les systèmes terrestres

Question 45 :

Un complexe ophiolitique dans une chaîne de montagne a été étudié par un groupe de géologues. La séquence comprend (de bas en haut) : de la péridotite serpentinisée, du gabbro stratifié, une zone dense de dykes mafiques verticaux, des basaltes massifs et en coussins, et des radiolarites (chert). Le complexe ophiolitique repose sur la croûte continentale, par un contact tectonique. À proximité, on observe également des sédiments métamorphisés et des roches du faciès schist bleu.

Sur la base de la séquence pétrologique décrite ci-dessus, que peut-on raisonnablement déduire de l'histoire tectonique de cette région ? (plusieurs réponses possibles)

- A. La région a autrefois connu une phase d'expansion océanique.
- B. La séquence s'est probablement formée dans un contexte de subduction.
- C. L'ophiolite a été soulevée par rifting continental.
- D. La croûte océanique s'est retrouvée sur le continent pendant une phase de convergence des plaques tectoniques.
- E. La séquence a été formée sur le continent, puis a été submergée sous le niveau des océans dans un second temps.

Question 46 :

L'analyse géochimique des roches ultramafiques se trouvant à la base d'une série ophiolitique révèle deux caractéristiques importantes :

- un rapport magnésium/fer (Mg/Fe) élevé, ce qui signifie qu'il y a plus de magnésium que de fer par rapport aux roches mantelliques classiques.
- de très faibles concentrations d'éléments incompatibles, tels que le potassium (K), le baryum (Ba) et le cérium (Ce).

Remarques :

- lors de la fusion partielle du manteau, les éléments incompatibles ont tendance à entrer dans la phase liquide (en fusion) plutôt que de rester dans la phase solide.
- le fer (Fe) est plus incompatible que le magnésium (Mg).

D'après ces informations, lesquelles des propositions suivantes sont les plus plausibles ?
(plusieurs réponses possibles)

- A. Les roches correspondent à du manteau primitif qui n'a pas subi de fusion.
- B. Les roches se sont formées à partir d'un magma enrichi en éléments incompatibles.
- C. Les roches sont des roches résiduelles formées par la fusion partielle du manteau supérieur.
- D. Les roches sont probablement associées à la formation d'une nouvelle croûte océanique au niveau d'une dorsale médio-océanique.

Question 47 :

Supposons qu'un assemblage fossiles provenant de la couche de radiolarites (cherts) au sommet de la séquence ophiolitique soit daté d'environ 160 millions d'années (Jurassique). Quelles conclusions géologiques sont les plus fortement étayées par ces données ? (plusieurs réponses correctes)

- A. Les ophiolites se sont formés pendant ou avant le Jurassique, au niveau d'une dorsale médio-océanique.
- B. L'ensemble du complexe ophiolitique s'est retrouvé sur le continent pendant le Jurassique.
- C. Le fond océanique au-dessus de l'ophiolite était encore actif jusqu'à la fin du Jurassique.
- D. L'âge des radiolaires indique la période la plus récente des formations des ophiolites, mais pas nécessairement sa localisation.

Question 48 :

Des basaltes en coussins sont couramment trouvés au sommet des séquences ophiolitiques bien préservées. Ces roches volcaniques bulbeuses et arrondies se forment lorsque le magma entre en éruption sous l'eau et se refroidit rapidement. Dans de nombreux basaltes en coussins, les scientifiques trouvent également des traces d'altération hydrothermale, notamment la présence de minéraux secondaires tels que la chlorite et l'épidote, ainsi que des changements chimiques tels qu'une augmentation de la teneur en eau et de la mobilité de certains éléments.

Lesquelles des affirmations suivantes expliquent le mieux le rôle de l'interaction entre l'eau et la roche pendant et après la formation des basaltes en coussins ? (plusieurs réponses correctes)

- A. Le refroidissement rapide induit par l'eau de mer provoque la cristallisation de la fine couche externe de la lave, créant ainsi la forme arrondie en « coussin ».
- B. L'eau de mer froide s'infiltre dans les roches volcaniques chaudes, entraînant une altération chimique et la formation de nouveaux minéraux.
- C. L'interaction entre l'eau et la roche n'est possible que si les basaltes sont exposés à l'atmosphère, et non sous l'eau.
- D. Les basaltes en coussins se forment généralement dans les bassins continentaux profonds où l'eau souterraine remplace l'eau de mer.

Section H : La roche raconte l'histoire

Vous analysez un profil sédimentaire éolien exposé dans une région du nord de la Chine, près du plateau de Loess, une zone connue pour ses importants dépôts de loess et ses dunes de sable.

Les loess sont des dépôts fins, transportés par le vent.

Le profil contient plusieurs couches, chacune caractéristique de périodes avec des environnements plus ou moins venteux et plus ou moins humides. Votre objectif est d'utiliser les informations contenues dans le profil pour reconstituer le paléoclimat et les conditions environnementales au moment du dépôt.

Question 49 :

Vous analysez la couche à la base du profil sédimentaire éolien. Cette couche est constituée de sable fin bien trié, présentant des stratifications entre-croisées et des grains bien arrondis, ce dernier indiquant un transport sur une longue distance. Cette couche est recouverte d'une fine couche de loess contenant des particules fines, notamment des silts et de l'argile.

Qu'est-ce que cela suggère sur les conditions au moment du dépôt ? (Une seule réponse correcte)

- A. La région a connu des vents violents et des conditions sèches pendant le dépôt de sable, suivis par un changement conditions qui ont permis le dépôt de loess.
- B. La région était humide avec des précipitations régulières, ce qui a entraîné le dépôt de sable et de loess
- C. La région a été soumise à une instabilité tectonique, qui a provoqué à la fois l'érosion éolienne et le dépôt de particules plus fines
- D. La région était constamment froide avec peu ou pas d'humidité, ce qui a empêché la formation de loess

Question 50 :

Une couche intermédiaire du profil est constituée de silts, parmi lesquels se trouvent des couches avec une cimentation calcaire et des traces de bioturbation (traces de racines de plantes).

Que peut-on déduire concernant les conditions environnementales passées ? (une seule réponse correcte)

- A. La région était constamment humide, avec des précipitations fréquentes et une végétation abondante.
- B. La région était semi-aride, avec des conditions humides périodiques permettant la formation du sol et l'activité biologique.
- C. La région connaissait des conditions stables et sèches, ne permettant que le dépôt de particules fines par le vent.
- D. La région était soumise à des glaciations fréquentes, qui empêchaient l'établissement de la végétation.

Question 51 :

Dans la partie supérieure du profil, vous observez une transition entre des loess fins et du sable grossier avec des stratifications entre-croisées bien développées. La taille des grains devient alors plus hétérogène avec parfois des couches de gravier.

Que suggère cette transition sur les conditions climatiques au moment du dépôt ? (Une seule réponse correcte)

- A. La région est passée d'un environnement humide à un environnement plus aride, avec une diminution de la force des vents et un dépôt de sédiments plus grossiers.
- B. La région est devenue plus humide, avec des précipitations fréquentes entraînant un dépôt de sable grossier.
- C. La région a subi un soulèvement tectonique, qui a provoqué une augmentation de la taille des sédiments
- D. La région a connu d'intenses variations saisonnières, avec une alternance de périodes humides et sèches qui ont provoqué des fluctuations de la taille des grains.

Question 52 :

Plus haut dans le profil, vous trouvez des traces d'activité biologique : des microfossiles et des traces de racines de végétaux. Cela suggère un changement des conditions environnementales. Lesquelles des interprétations suivantes sont les plus plausibles pour ces observations ? (Une seule réponse correcte)

- A. La région est passée à un environnement plus humide, où la végétation a pu s'établir et où l'activité biologique a pu se développer
- B. La région est restée aride, mais l'activité biologique était quand même présente lors de rares épisodes humides
- C. La région était froide et sèche, empêchant l'installation de la végétation mais permettant la préservation des microfossiles
- D. La région a subi de fréquentes perturbations, telles que des éruptions volcaniques, qui ont permis aux racines des plantes de se développer temporairement

Question 53 :

D'après votre analyse de l'ensemble du profil sédimentaire, que pouvez-vous déduire du paléoclimat de la région au moment du dépôt ? (Une seule réponse correcte)

- A. La région a connu des conditions sèches constantes, avec peu de variations saisonnières, et principalement des dépôts de sable transporté par le vent.
- B. La région a connu des conditions alternant humidité et sécheresse, avec des variations saisonnières de la force des vents et de l'humidité.
- C. La région avait un climat humide stable, avec des précipitations régulières et peu d'influence du vent.
- D. La région était caractérisée par d'intenses inondations saisonnières, qui empêchaient la formation de sédiments éoliens.

Section I : L'hydrosphère et les systèmes terrestres

Il est conseillé aux candidats de lire les questions des deux pages suivantes AVANT de revenir lire le paragraphe d'introduction ci-dessous.

La figure I-1 décrit huit paysages de Chine marqués de A à H. La Chine s'étend sur près de 5 000 kilomètres d'ouest en est et possède la plus complexe et variée géographie physique de la planète. Sa géomorphologie est caractérisée par un changement d'altitude remarquable d'ouest en est. Des chaînes de montagnes imposantes et des plateaux en altitude dominent les régions occidentales, tandis que l'altitude diminue par paliers vers l'est, les paysages pregnant la forme de bassins et de vallées fluviales dans des plaines de basse altitude et des zones côtières. Cette structure topographique, souvent décrite comme « à trois niveaux », est le résultat d'un soulèvement tectonique, d'une érosion et de processus sédimentaires à long terme.

Les régions les plus occidentales sont constituées de déserts de haute altitude et de bassins encaissés (régions A et B). Ces zones connaissent des conditions extrêmement arides, avec de très faibles précipitations et des vents forts qui façonnent des dunes de sable et déposent des poussières fines. Certains bassins de cette zone n'ont pas d'exutoire vers l'océan ; l'eau s'y accumule temporairement et s'évapore, laissant souvent derrière elle des marais salants ou des lacs salés.

Au sud se trouve un vaste plateau montagneux (région C), le plus haut et le plus grand de ce type sur Terre. Ses glaciers et ses étendues de neige donnent naissance à de nombreux grands fleuves asiatiques, dont le Yangtsé, le Fleuve Jaune, le Mékong et le Yarlung Tsangpo. Ces fleuves creusent de profondes vallées dans le plateau et transportent les sédiments vers l'est à travers les régions de basse altitude. Dans certaines de ces vallées (région F), l'érosion rapide et le soulèvement tectonique se combinent pour produire un relief accidenté et des formes de sédimentation chaotiques.

Plus à l'est, un vaste plateau situé à moyenne latitude recèle certains des gisements de poussière éolienne les plus épais connus à ce jour (région D). Sous l'influence de forts épisodes de mousson d'hiver, cette région a accumulé des sédiments de loess pendant des milliers d'années. Plus à l'est, de vastes plaines alluviales et des deltas (régions E et G) se sont mis en place à l'embouchure des grands réseaux fluviaux, où les sédiments se déposent lorsque la vitesse du courant des fleuves diminue, à l'approche de la côte. Ces zones sont façonnées par des processus liés aux fleuves, liés aux marées et liés aux vagues.

Au sud et au sud-est, le climat est majoritairement subtropical à tropical. Ici, les fortes précipitations estivales, les températures chaudes et l'influence marine créent des environnements variés, notamment des vallées fluviales de basse altitude, des plaines côtières humides et des systèmes insulaires peu profonds bordés de récifs (région H). Dans certaines zones offshore, l'activité biologique, telle que la croissance des coraux, contribue directement à la formation de structure et d'environnements sédimentaires tel que des récifs carbonatés et des lagons.

Dans toutes ces régions, les processus sédimentaires sont contrôlés par les interactions entre les sphères terrestres : circulation atmosphérique, écoulement de l'eau, processus tectoniques et productivité biologique. En analysant la carte topographique et en appliquant vos

connaissances en sciences du système terrestre, vous identifieriez comment différents environnements correspondent à des types spécifiques de processus sédimentaires.

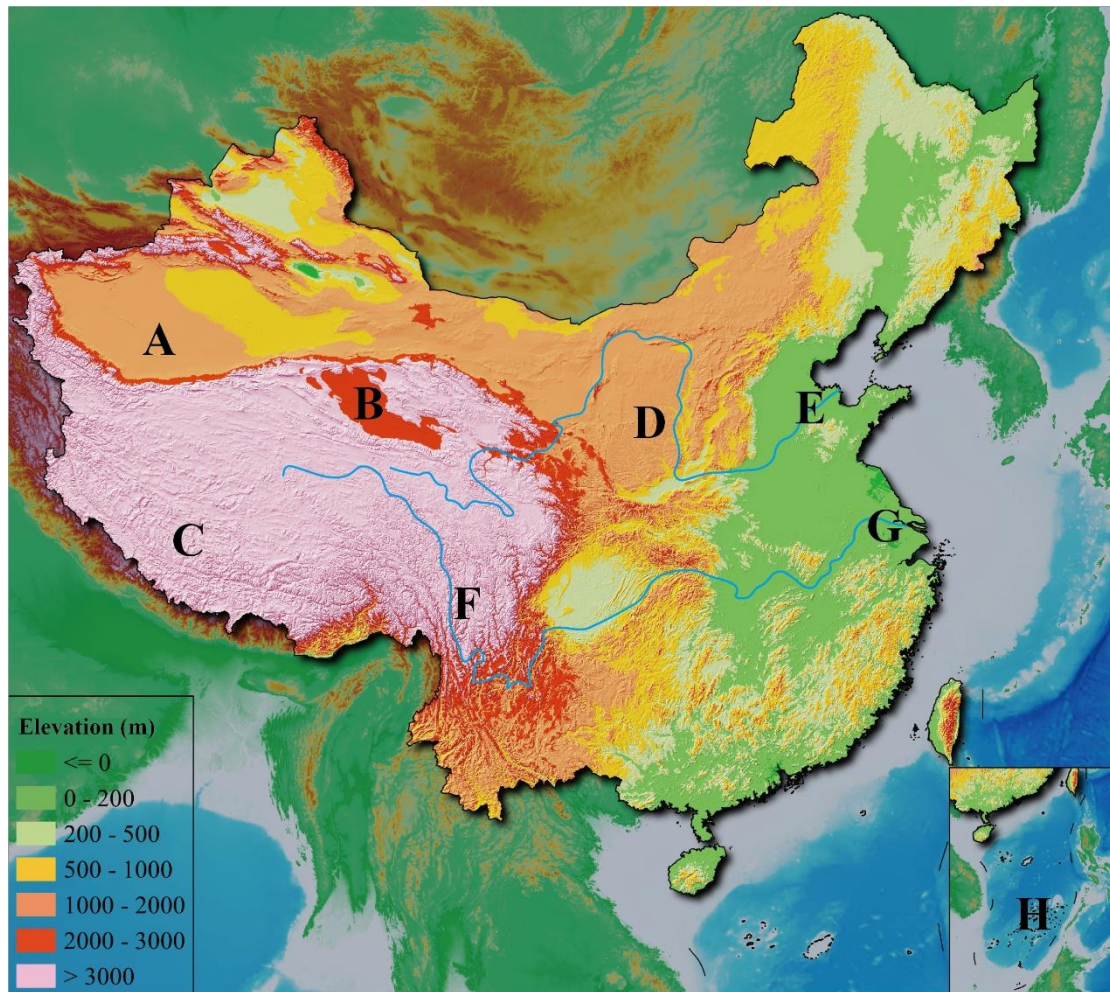


Figure I-1. Carte topographique de la Chine

Elevation = Altitude

Question 54 :

Quels endroits de la carte présentent des modalités de sédimentation principalement influencées par les interactions entre l'atmosphère et la lithosphère ? (plusieurs réponses correctes)

Reportez-vous à la carte annotée pour les options A à H.

Réponse :

Question 55 :

Quel endroit sur la carte montre une sédimentation principalement contrôlée par l'interaction de l'hydrosphère, de la biosphère et de la lithosphère ? (une seule réponse correcte)

Reportez-vous à la carte annotée pour les options A à H.

Réponse :

Question 56 :

Parmi les endroits indiqués sur la carte, lesquels illustrent une sédimentation principalement due à des interactions physiques directes entre l'hydrosphère et la lithosphère, telles que l'érosion fluviale, le transport et le dépôt, sans contribution majeure des processus atmosphériques ou biologiques ? (plusieurs réponses correctes)

Reportez-vous à la carte annotée pour les options A à H.

Réponse :

Question 57 :

Le tri granulométrique décrit la distribution des tailles des grains dans les dépôts sédimentaires. Le degré de tri granulométrique reflète l'énergie et la régularité des processus de transport.

Dans lequel des environnements de dépôt est-on le plus susceptible de trouver des sédiments avec un mauvais tri granulométrique ? (Plusieurs réponses correctes)

Reportez-vous à la carte annotée pour les options A à H.

Réponse :

Question 58 :

Les lacs salés terrigènes se forment généralement dans des conditions environnementales spécifiques.

D'après la carte et votre connaissance de la géographie régionale, quels emplacements sont susceptibles d'abriter des lacs salés terrigènes ? (plusieurs réponses correctes)

Reportez-vous à la carte annotée pour les options A à H.

Réponse :

Question 59 :

Les lagons sont des plans d'eau côtiers peu profonds partiellement séparés du domaine marin, souvent influencés à la fois par l'eau de mer et l'apport d'eau douce.

D'après votre compréhension et sur la carte, quel emplacement est le plus susceptible d'abriter des lagons saumâtres plutôt que des systèmes d'eau douce ? (une seule réponse correcte)

Reportez-vous à la carte annotée pour les options A à H.

Réponse :

Question 60 :

Les paysages karstiques sont formés par l'interaction chimique entre l'eau et les roches qui peuvent être dissoutes.

Lequel des types de roches suivantes est le plus susceptible de développer des caractéristiques karstiques à travers ce processus ? (une seule réponse correcte)

- A. Marne
- B. Dolomie
- C. Schiste
- D. Granite

Question 61 :

Quels sont les systèmes terrestres qui sont interdépendants (directement et indirectement) pour former un paysage karstique ? (une seule réponse correcte)

- A. Seules la géosphère et l'hydrosphère.
- B. Seules l'hydrosphère et la biosphère.
- C. Seules la biosphère et la géosphère.
- D. Seules l'hydrosphère, l'atmosphère et la biosphère.
- E. Seulement l'hydrosphère, la géosphère et la biosphère.
- F. L'atmosphère, l'hydrosphère, la biosphère et la géosphère.

Question 62 :

Sur un site situé vers la partie médiane du Fleuve Jaune, un segment méandrique présente des courbes très prononcées, une faible pente et des dépôts de plaine d'inondation à grains fins. Cette région se caractérise par des variations saisonnières du débit et des schémas d'érosion et de sédimentation bien définis.

Laquelle des affirmations suivantes concernant la sinuosité d'une rivière est correcte ? (une seule réponse correcte)

- A. La sinuosité d'une rivière désigne le degré de courbure d'une rivière, généralement exprimé par le rapport entre la longueur du lit et la longueur de la vallée.
- B. Une sinuosité plus importante indique une vitesse d'écoulement plus rapide.
- C. La sinuosité d'une rivière est indépendante des processus d'érosion.
- D. La sinuosité d'une rivière est uniquement influencée par la topographie, et non par le débit.

Question 63 :

Dans une vallée montagneuse de l'est du plateau tibétain, des géologues ont identifié plusieurs niveaux de terrasses fluviales sur les flancs de la vallée. Ces terrasses se trouvent au-dessus de la plaine d'inondation actuelle et présentent une séparation stratigraphique claire, certaines surfaces étant recouvertes de loess.

Parmi les affirmations suivantes concernant les terrasses fluviales, laquelle **est fausse** ? (une seule réponse correcte)

- A. Les terrasses fluviales sont des reliefs en étages résultant du dépôt et de l'incision par un cours d'eau.
- B. Les terrasses fluviales peuvent refléter un soulèvement tectonique ou un changement du climat.
- C. La formation des terrasses fluviales n'est pas liée aux dépôts par les cours d'eau.
- D. Un plus grand nombre de niveaux de terrasses indique qu'il y a un plus grand nombre d'événements de soulèvement tectonique.

Question 64 :

Près du premier coude du fleuve Yangtsé, des observations sur le terrain montrent des barres sédimentaires ponctuelles bien développées sur les courbes intérieures des méandres et des barres sédimentaires latérales se formant le long des segments rectilignes du canal en aval. Les deux sont visibles lorsque le fleuve présente un de faible débit.

Parmi les affirmations suivantes concernant les barres fluviales, laquelle **est fausse** ? (une seule réponse correcte)

- A. Les barres sédimentaires ponctuelles et les barres sédimentaires latérales sont toutes deux formées par des dépôts fluviaux.
- B. Les barres sédimentaires ponctuelles sont situées à l'intérieur des méandres, tandis que les barres sédimentaires latérales se trouvent le long des marges du canal.
- C. La taille des grains des sédiments des barres sédimentaires ponctuelles et des barres sédimentaires latérales est identique.
- D. La formation des barres sédimentaires ponctuelles et des barres sédimentaires latérales est influencée par la sédimentation des particules transportées par le fleuve et par la vitesse d'écoulement du fleuve.

Question 65 :

Des images satellites d'une rivière se situant dans une plaine à l'est de la Chine révèlent des structures de bancs de sable incurvés et de barres sédimentaires ponctuelles peu profondes en cours de croissance. Des étudiants sur le terrain ont pour objectif d'utiliser des indices géomorphologiques pour déterminer la direction du courant dans cette zone.

Parmi les structures suivantes, lesquelles peuvent aider à indiquer la direction du courant ? (plusieurs réponses correctes)

- A. Barres sédimentaires ponctuelles
- B. Barres sédimentaires latérales
- C. Terrasses fluviales
- D. Plaines d'inondation

Question 66 :

Des cours d'eau présentant des types de tracé variés peuvent être identifiés sur les différents reliefs de Chine. Dans les plaines du centre de la Chine, certains cours d'eau développent un lit unique très sinueux avec de larges plaines d'inondation. Dans les régions montagneuses telles que les chaînes du Tianshan ou du Hengduan, d'autres cours d'eau forment des lits larges et peu profonds qui se déplacent latéralement en raison de l'instabilité du débit. Dans certaines plaines végétalisées, les rivières se divisent en plusieurs bras fixes séparés par des îles boueuses et des digues. Ces différences reflètent les interactions complexes entre la pente, la charge sédimentaire, la variabilité du débit et la végétation, façonnées par l'influence combinée de l'hydrosphère, de la lithosphère et de la biosphère.

Ces formes de chenaux sont généralement classées comme suit :

Rivières méandriformes : canaux uniques sinueux dans les zones à faible pente.

Rivières en tresses : réseaux de chenaux peu profonds et changeants dans des environnements à forte énergie.

Rivières anastomosées : canaux multiples végétalisés présentant une stabilité à long terme.

Parmi les affirmations suivantes concernant les rivières méandriformes, en tresses et anastomosées, lesquelles sont correctes ? (plusieurs réponses correctes)

- A. Les rivières méandriformes se développent généralement dans des zones à pentes douces et à sédiments fins.
- B. Les rivières en tresses sont généralement associées à une charge sédimentaire grossière et à de fortes fluctuations du débit, ce qui entraîne de fréquents réaménagements du lit.
- C. Les rivières anastomosées sont une forme intermédiaire entre les rivières méandriformes et les rivières en tresses, avec des chenaux stables et peu ramifiés.
- D. La formation des rivières méandriformes et des rivières en tresses est indépendante du débit de la rivière et dépend uniquement de la topographie.

Section J : Les eaux souterraines et les systèmes terrestres

Les contaminants d'origine géologique des eaux souterraines (GGCs en anglais : Geogenic Groundwater Contaminants) comprennent l'arsenic (As), le fluor (F), le sélénium (Se) et l'uranium (U). La répartition mondiale des GGCs est le résultat de processus géologiques et tectoniques dans les bassins, avec un enrichissement en GGCs dans les systèmes orogéniques et dans les roches du socle cratonique (fig. J-1). Cette répartition régionale est largement influencée par le climat, la géomorphologie et l'évolution hydrogéochimique le long des circuits d'écoulement des eaux souterraines. Les éruptions volcaniques qui apparaissent au niveau des arcs volcaniques peuvent déposer du verre rhyolitique, des cendres volcaniques et des minéraux métastables à haute température qui subissent une altération chimique dans les chaînes de montagnes rapidement soulevées (à l'échelle géologique) pour devenir la source de détritiques sédimentaires allochtones.

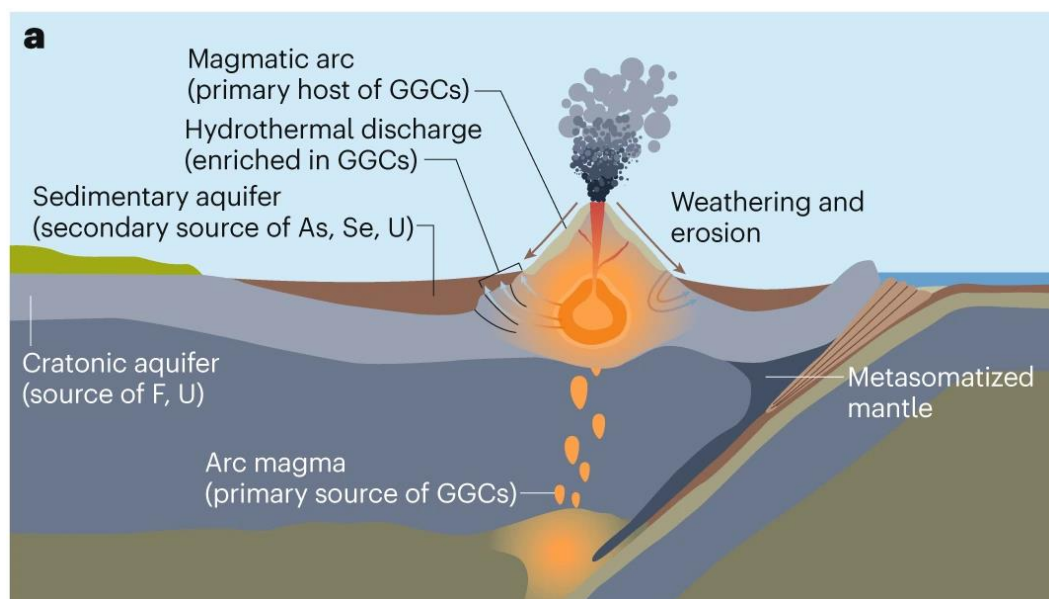


Figure J-1. NB : cette figure n'est pas à l'échelle.

Weathering = altération

Question 67 :

D'après la répartition des unités géologiques de la figure J-1, laquelle des voies de migration des polluants ci-dessous représente le mieux le cycle géochimique complet des GGC ? (une seule réponse correcte)

- A. Magma → activité hydrothermale → aquifère sédimentaire
- B. Socle cratonique → altération → système hydrothermal
- C. Manteau métasomatisé → aquifère sédimentaire → ruissellement de surface
- D. Dépôts de cendres volcaniques → érosion → dépôt

Question 68 :

La figure J-2 montre les flux mondiaux d'eau ($\times 1000 \text{ km}^3$ par an) entre parenthèses et le stockage de l'eau ($\times 1000 \text{ km}^3$). Les flèches vers le haut indiquent l'évaporation annuelle de l'océan et l'évapotranspiration annuelle terrestre. Le prélèvement mondial d'eau souterraine est fixé à 1000 km^3 par an. (L'Antarctique n'a pas été inclus dans le bilan hydrique terrestre.)

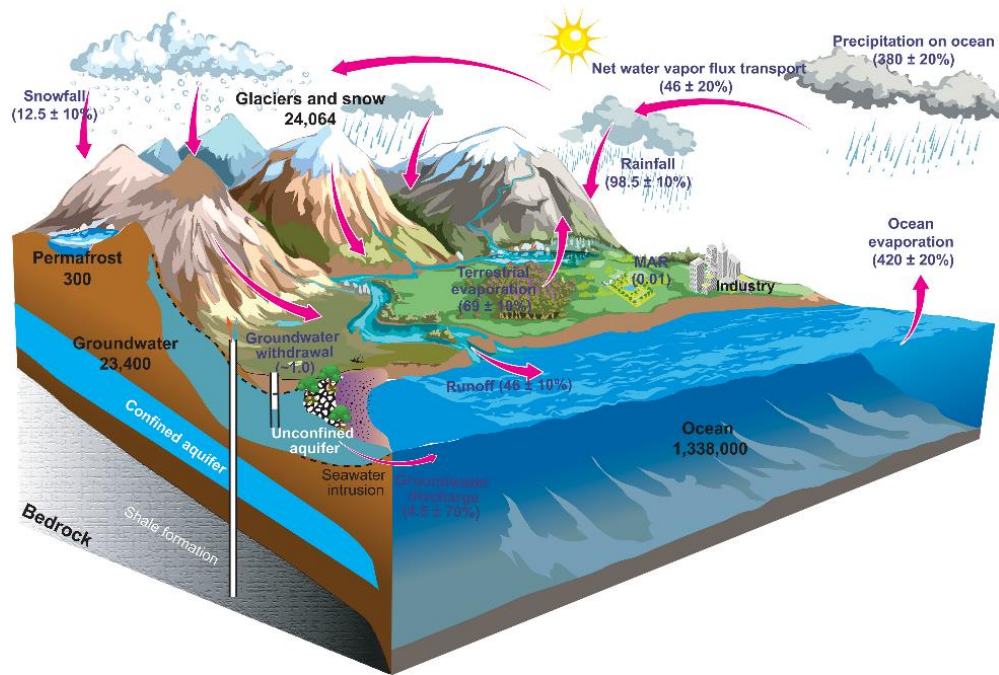


Figure J-2 Diagramme montrant les flux d'eau ($\times 1000 \text{ km}^3$ par an ; indiqués entre parenthèses ou entre crochets) et le stockage de l'eau ($\times 1000 \text{ km}^3$) dans les différents systèmes terrestres.

À partir du cycle mondial de l'eau illustré sur la figure J-2, calculez le bilan hydrique annuel des océans à l'aide du volume d'eau annuel moyen indiqué (unité : $10^3 \text{ km}^3/\text{an}$), puis sélectionnez la variation nette la plus proche et son sens parmi les options proposées ci-dessous. (une seule réponse correcte)

- A. Gagne environ $10 \times 10^3 \text{ km}^3$ d'eau par an.
- B. Gagne environ $20 \times 10^3 \text{ km}^3$ d'eau par an.
- C. Perte d'environ $20 \times 10^3 \text{ km}^3$ d'eau par an.
- D. Perte d'environ $35 \times 10^3 \text{ km}^3$ d'eau par an.
- E. Maintient un équilibre dynamique et ne subit aucun changement net de volume d'eau chaque année.
- F. Gagne environ $40 \times 10^3 \text{ km}^3$ d'eau par an.

Question 69 :

Les zones côtières font souvent l'objet de travaux de réhabilitation et d'urbanisation. La réhabilitation du terrain peut modifier le niveau des eaux souterraines et la position de l'interface entre l'eau salée et l'eau douce. L'urbanisation, en particulier la construction d'immeubles de grande hauteur, implique le drainage et la construction de fondations profondes, qui ont une incidence sur l'écoulement des eaux souterraines (figure J-3).

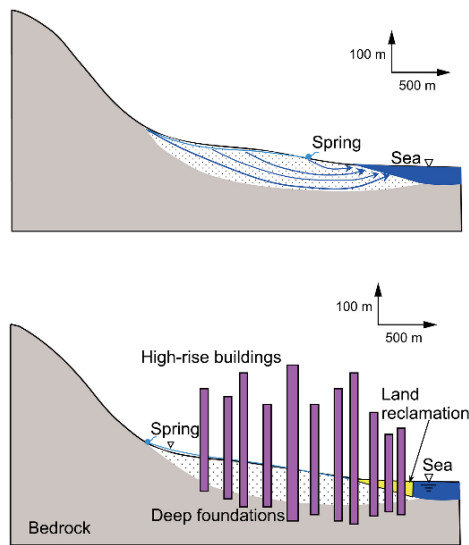


Figure J-3

Spring = source ; land reclamation = rehabilitation du terrain ; bedrock = socle

Lors de l'urbanisation des zones côtières, quel est l'impact des fondations profondes (pour les immeubles de grande hauteur) sur l'écoulement des eaux souterraines ? (une seule réponse correcte)

- A. Favorise l'écoulement horizontal des eaux souterraines
- B. N'a pas d'incidence sur l'écoulement des eaux souterraines
- C. Élève le niveau des eaux souterraines
- D. Accélère la vitesse moyenne d'écoulement des eaux souterraines
- E. Provoque l'écoulement des eaux souterraines vers la mer

Section K : Le cycle du carbone et les systèmes terrestres

L'altération chimique modifie la composition des roches, souvent en les transformant lorsque l'eau interagit avec les minéraux pour créer diverses réactions chimiques. L'altération chimique est un processus graduel et continu, au cours duquel les minéraux présents dans les roches sont modifiés par l'environnement proche de leur surface. L'altération chimique modifie la minéralogie des roches au fil du temps, ce qui les fait, par exemple, s'hydrolyser ou se dissoudre. Il en résulte la formation de nouveaux matériaux qui contribuent à la création de porosité et de fissures dans les roches, ce qui accélère à son tour l'altération. L'altération chimique implique divers processus.

Question 70 :

L'altération chimique contribue non seulement à la formation des paysages, mais joue également un rôle clé dans les cycles des matériaux au sein des sous-systèmes terrestres. Quel processus est le plus efficace pour éliminer le dioxyde de carbone de l'atmosphère et réduire ainsi la concentration en CO₂ atmosphérique ? (une seule réponse correcte)

- A. Altération des carbonates
- B. Altération des silicates
- C. Oxydation des sulfures
- D. Dissolution des évaporites

Question 71 :

Par quelle réaction l'altération de l'olivine (Mg₂ SiO₄) contribue-t-elle le plus à la séquestration du CO₂ ? (une seule réponse correcte)

- A. $\text{Mg}_2\text{SiO}_4 + 4\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Mg}^{2+} + 4\text{HCO}_3^- + \text{H}_4\text{SiO}_4$
- B. $\text{Mg}_2\text{SiO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{SiO}_2$
- C. $\text{Mg}_2\text{SiO}_4 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{MgO} + \text{SiO}_2 + \text{CO}_2$
- D. $\text{Mg}_2\text{SiO}_4 + 2\text{CO}_2 \rightarrow 2\text{MgCO}_3 + \text{SiO}_2$

Question 72 :

Afin d'atténuer l'augmentation de la concentration en dioxyde de carbone dans l'atmosphère, l'altération accélérée des roches (ERW en anglais, *Enhanced Rock Weathering*) a été proposée comme stratégie d'élimination du carbone. Elle contribue à lutter contre le changement climatique en capturant le CO₂ de l'atmosphère et en le stockant sous une forme minérale solide. Une approche répandue repose sur l'utilisation de basalte broyé.

Le principe sous-jacent est le suivant : (une seule réponse correcte)

- A. Augmenter la disponibilité des ions calcium et magnésium
- B. Augmenter la disponibilité des ions sodium et potassium
- C. Augmenter la disponibilité des oxydes de fer et d'aluminium
- D. Augmenter la disponibilité des ions sulfate et nitrate

Question 73 :

Concernant le processus ERW (*Enhanced Rock Weathering*, altération accélérée des roches), quel facteur peut en augmenter la vitesse ? (une seule réponse correcte)

- A. Augmentation de la température
- B. Augmentation de la taille des grains de roche broyée
- C. Diminution des précipitations
- D. Diminution du ruissellement

Question 74 :

Lequel des défis suivants **n'est pas** une conséquence possible de l'intensification du processus d'altération accélérée pour éliminer le carbone. (une seule réponse correcte)

- A. Les réserves mondiales limitées de roches appropriées
- B. Les coûts énergétiques liés à l'extraction et au broyage des roches
- C. La concurrence avec l'utilisation des terres agricoles
- D. Une possible extinction de masse

Question 75 :

En raison de l'absorption par les océans de grandes quantités de dioxyde de carbone anthropique, une acidification importante des océans s'est produite depuis la révolution industrielle.

Comment une altération accélérée pourrait-elle atténuer indirectement l'acidification des océans ? (plusieurs réponses correctes)

- A. En réduisant la concentration de CO₂ dans l'atmosphère
- B. En libérant des cations (par exemple, Ca²⁺, Mg²⁺) dans les rivières
- C. En augmentant les niveaux d'oxygène dissous dans les océans
- D. En adsorbant les ions carbonates de l'eau de mer

Question 76 :

Comment les activités humaines perturbent-elles le cycle du carbone à l'échelle géologique ? (une seule réponse correcte)

- A. L'extraction de roches carbonatées pour la construction réduit la capacité à long terme de l'altération atmosphérique à servir de puits de carbone
- B. La combustion de combustibles fossiles libère le carbone ancien plus rapidement qu'il ne peut être réabsorbé par les processus d'altération
- C. Les pluies acides favorisent la dissolution du calcaire, accélérant temporairement la séquestration du carbone
- D. Le développement des pratiques agricoles augmente l'érosion des sols, favorisant l'enfouissement du carbone organique

Question 77 :

Les changements dans les différents composants du cycle global du carbone peuvent faire sortir le système climatique terrestre de son état d'équilibre. Comme les différentes sources de carbone ont des signatures isotopiques distinctes, les isotopes marins du carbone peuvent enregistrer en partie les changements du cycle global du carbone dans l'histoire de la Terre.

Pour information :

$$\delta^{13}\text{C} = \left[\frac{\left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{échantillon}}}{\left(\frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{standard}}} - 1 \right] \times 1000 \text{‰}$$

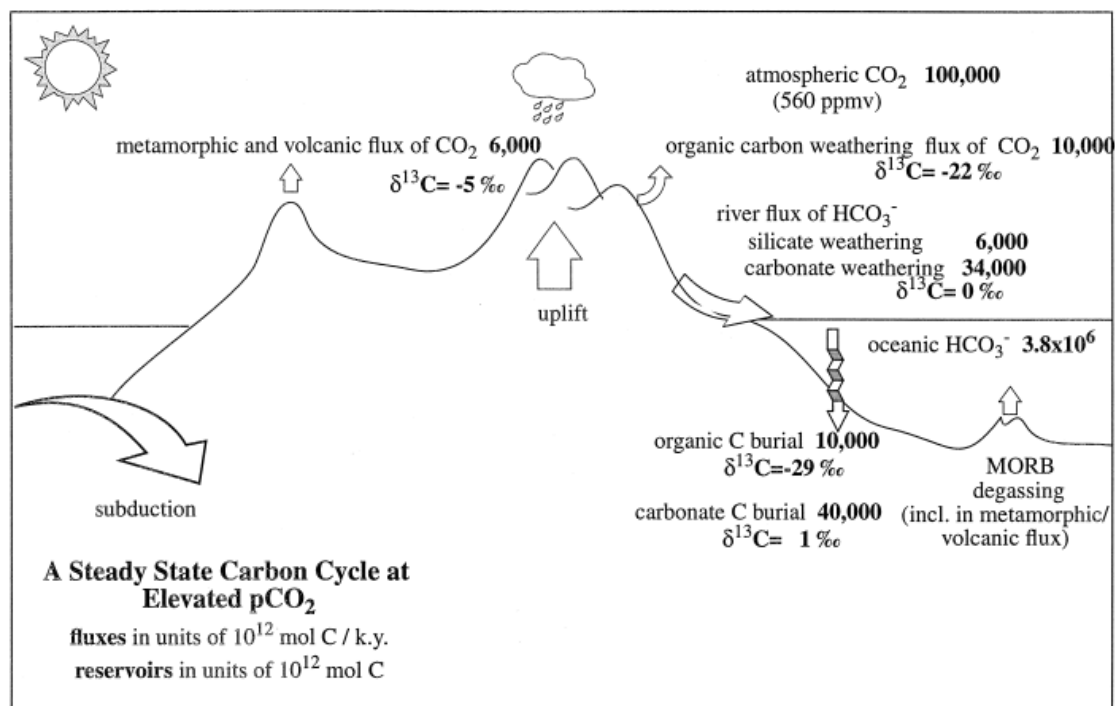


Figure K-1 : La figure K-1 montre les valeurs de δ¹³C associées à différentes sources de carbone. k.y. = millier d'années.

Weathering = alteration ; burial = enfouissement ; steady state = état d'équilibre

Parmi les facteurs suivants, lesquels pourraient expliquer les excursions négatives du δ¹³C marin au cours de l'histoire de la Terre ? (plusieurs réponses correctes)

- A. Une activité volcanique à grande échelle libère du CO₂ magmatique appauvri en ¹³C
- B. La dissociation des hydrates de méthane émet du carbone extrêmement légers
- C. L'expansion des végétaux contiennatux augmente l'enfouissement du carbone organique dans le sol
- D. Le recul des glaciers favorise l'altération des silicates, libérant des matériaux enrichis en ¹³C
- E. Le réchauffement des océans supprime la pompe biologique, réduisant l'enfouissement du carbone organique

Section L : Le cycle du carbone dans l'océan

L'océan est le plus grand réservoir actif de carbone de la Terre, régulant la concentration en CO_2 atmosphérique par les échanges gazeux entre l'atmosphère et les océans. Le flux de CO_2 entre l'océan et l'atmosphère dépend principalement de la température de l'eau de mer (via la solubilité) et des processus biologiques. Parallèlement, le carbone inorganique total dissous (DIC pour *Dissolved Inorganic Carbon*) dans l'eau de mer est principalement régulé par des processus physiques, notamment la circulation océanique et le cycle hydrologique. En raison de l'augmentation de la concentration en CO_2 dans l'atmosphère due aux émissions anthropiques de CO_2 , les océans ont absorbé une quantité croissante de CO_2 (environ 25 % des émissions).

Le phytoplancton marin consomme le CO_2 par photosynthèse, entraînant un mécanisme connu sous le nom de *pompe biologique*. Ce processus facilite l'absorption par l'océan de plus de 10^{11} kg de carbone par jour dans l'atmosphère. Cependant, ce carbone n'atteint pas directement les profondeurs océaniques. Il alimente plutôt les activités métaboliques des consommateurs et des décomposeurs dans les eaux de surface, tandis que le carbone organique particulaire subit une descente progressive avant d'être séquestré à long terme dans l'océan profond. La pompe biologique du carbone fournit chaque année $5\text{-}10 \times 10^{12}$ kg de carbone aux océans, favorisant ainsi la séquestration à long terme et fournissant de l'énergie aux écosystèmes des grands fonds marins.

Question 78 :

La figure L-1 illustre le processus de la pompe biologique.

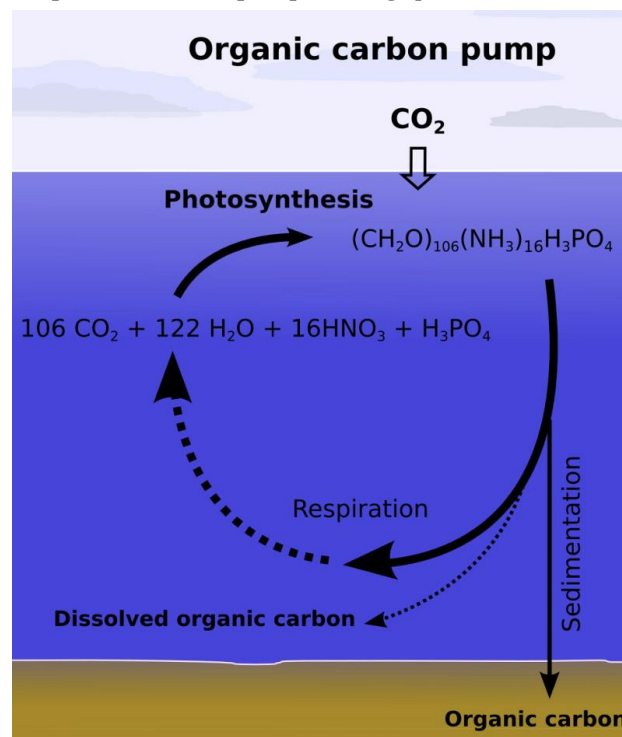


Figure L-1

Concernant les processus fondamentaux de la pompe biologique marine, laquelle des affirmations suivantes n'est pas correcte ? (une seule réponse correcte)

- A. La photosynthèse du phytoplancton transforme le carbone inorganique dissous (DIC) en carbone organique particulaire (POC).
- B. L'efficacité de l'exportation du carbone par la pompe biologique dépend de la vitesse de descente du POC de la zone euphotique vers l'océan profond.
- C. La minéralisation dans la zone mésopélagique (200-1 000 m) réduit le flux de carbone atteignant les profondeurs océaniques. (La minéralisation désigne la décomposition microbienne du carbone organique particulaire (POC) en carbone inorganique dissous (DIC) lors de sa descente.)
- D. Les sédiments des grands fonds marins séquestrent de manière permanente le carbone exporté biologiquement qui ne participe alors plus au cycle du carbone.

Question 79 :

Parmi les facteurs suivants, lesquels amélioreraient l'efficacité de la pompe biologique dans une région donnée (c'est-à-dire augmenteraient l'exportation de carbone vers les profondeurs océaniques) ? (plusieurs réponses correctes)

- A. Fort upwelling (par exemple au large des côtes du Pérou)
- B. Une forte stratification de la surface océanique
- C. Conditions favorables à la formation de grosses particules qui coulent rapidement (par exemple, les pelottes fécales)
- D. Des températures de surface extrêmement élevées

Question 80 :

La figure L-2 présente les répartitions mondiales de la productivité océanique (indiquée par la concentration en chlorophylle) (Chl), de la température de surface océanique (SST), de la concentration en nitrate à la surface (N) et de la concentration en phosphate à la surface (P).

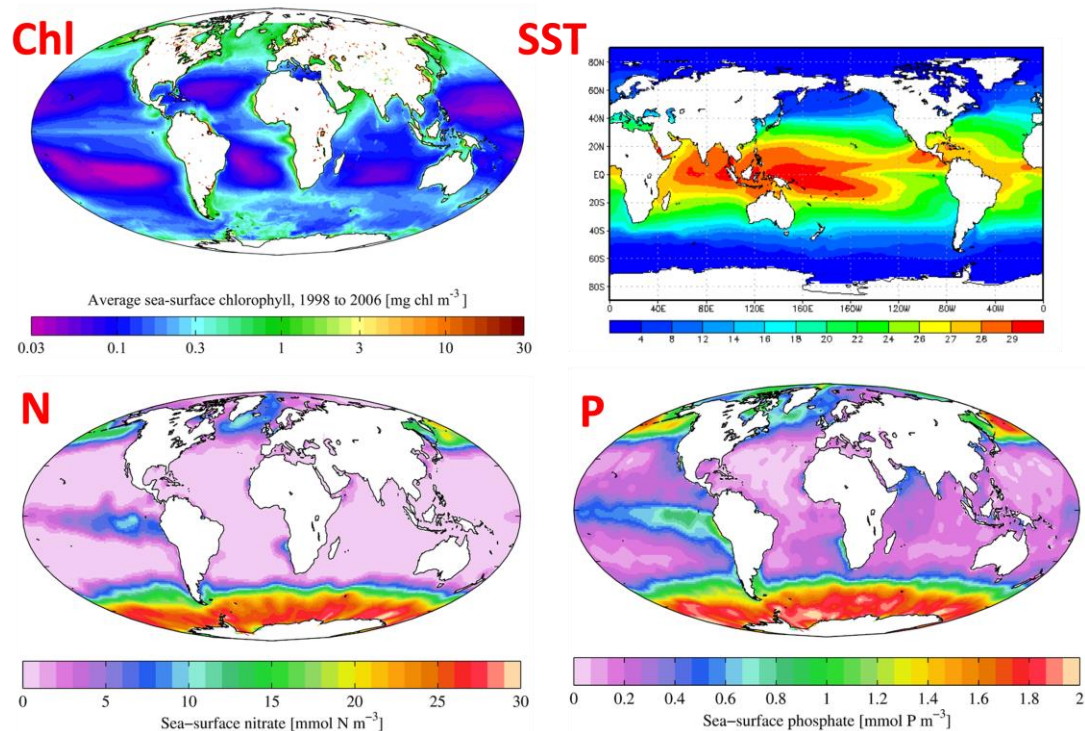


Figure L-2

Average = moyen/Moyenne

Dans les régions océaniques ouvertes subtropicales (généralement entre 20° et 40° de latitude dans les deux hémisphères), l'efficacité de la pompe biologique est généralement faible.

Quelles sont les raisons probables de ce phénomène ? (plusieurs réponses correctes)

- A. Les nutriments de surface (azote et phosphore) sont extrêmement rares, ce qui limite la croissance du phytoplancton (conditions oligotrophes).
- B. Les températures de surface de la mer sont trop basses, ce qui inhibe la photosynthèse.
- C. La zone euphotique profonde permet aux particules en suspension de se décomposer plus longtemps avant d'atteindre les profondeurs océaniques.
- D. Ces régions sont dépourvues d'océans profonds et ne peuvent pas stocker le carbone.

Question 81 :

La pompe biologique est un processus par lequel le CO₂ présent dans la couche supérieure de l'océan est fixé par les producteurs primaires et transporté vers l'océan profond sous forme de particules biogéniques en suspension (matière organique particulaire, note POM pour particulate organic matter) ou de matière organique dissoute (note DOM pour Dissolved Organic Matter).

Comment le changement climatique (par exemple, le réchauffement climatique) pourrait-il affecter l'efficacité de la pompe biologique océanique ? (plusieurs réponses correctes)

- A. Une stratification accrue des océans réduit la remontée des nutriments, ce qui pourrait réduire la productivité dans certaines régions.
- B. L'acidification des océans favorise la calcification du phytoplancton, augmentant ainsi les exportations de carbone.
- C. Les changements dans la composition des communautés phytoplanctoniques (par exemple, une augmentation des algues de petite taille) peuvent réduire l'efficacité de la descente.
- D. L'accélération des courants océaniques profonds favorise la libération de carbone par les sédiments.
- E. L'augmentation des eaux de fonte glaciaire apporte davantage de nutriments, améliorant ainsi l'efficacité de la pompe biologique mondiale.

Question 82 :

Lequel des facteurs physiques suivants **n'est pas** un facteur qui a une influence sur l'efficacité de la pompe biologique à l'échelle mondiale (une seule réponse correcte) :

- A. Les remontées d'eau provoquées par le vent, qui transportent les nutriments des profondeurs vers la surface
- B. La force de stratification, qui régule la diffusion des nutriments dans la zone euphotique
- C. Le rayonnement infrarouge qui accélère directement la dégradation de la matière organique particulaire (POM)
- D. Les régimes de circulation océanique qui influencent le temps de résidence des nutriments.

Question 83 :

Des études antérieures ont montré que la matière organique produite par le phytoplancton marin présente un rapport atomique C:N:P statistiquement constant, connu sous le nom de rapport de Redfield (C:N:P = 106:16:1).

Si le flux annuel de phosphore organique en suspension dans une certaine région est de $0,5 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$, laquelle des affirmations suivantes décrit correctement les flux de matière organique associés ? (plusieurs réponses correctes)

- A. Le flux de carbone organique est d'environ $53 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$
- B. Le flux d'azote organique est de $16 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$
- C. Pour chaque mole de phosphore exportée, 6,6 moles de CO_2 sont consommées
- D. Si le flux d'azote mesuré est de $9 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$, les particules qui s'enfoncent sont enrichies en azote

Question 84 :

L'injection directe de CO_2 dans l'océan est une stratégie de séquestration du carbone potentiellement efficace. La séquestration serait réalisée en injectant le CO_2 extrait des gaz de combustion des centrales électriques à combustible dans les eaux profondes ($\sim 3000 \text{ m}$) de l'océan, où le temps de circulation de l'océan mondial empêcherait le CO_2 de se dégager dans l'atmosphère pendant des siècles, atténuant ainsi les pics de concentration en CO_2 atmosphérique prévus au cours des 200 à 300 prochaines années.

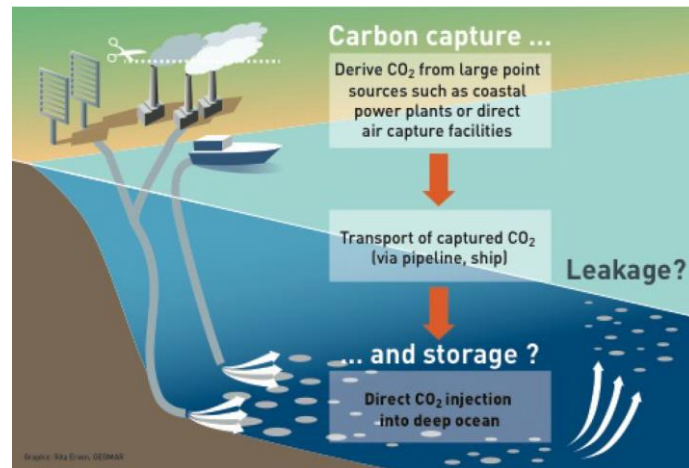


Figure L-3 Schéma de l'injection directe de CO₂ dans les profondeurs océaniques
*Texte : Extraire le CO₂ de grandes sources ponctuelles telles que les centrales électriques côtières ou les installations de capture directe dans l'air. -> Transport du CO₂ capturé (par pipeline, par bateau). -> Injection directe du CO₂ dans les profondeurs océaniques.
 Leackage = fuite*

Quel effet peut-on attendre d'une augmentation des concentrations en CO₂ dans l'océan profond sur les organismes marins ? (une seule réponse correcte)

- A. modification du pH en eaux profondes
- B. perturbation des habitudes alimentaires des consommateurs
- C. érosion des composants calcaires des organismes marins
- D. écosystèmes à activité biologique accrue ont plus de chance de se former