Document téléchargeable sur le site
https://www.svt-tanguy-jean.com/

Lycée Valentine LABBÉ
41 rue Paul DOUMER – BP 20226
59563 LA MADELEINE CEDEX
CLASSE PRÉPARATOIRE TB
(Technologie & Biologie)

ENSEIGNEMENT DE SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE (SVT)
°° SCIENCES DE LA TERRE °°

Partie 6. Géodynamique externe
>> Cours <<

Chapitre 25 : proposition de fiche à compléter

Le cycle du carbone sur Terre

Des transferts entre atmosphère, hydrosphère, biosphère et lithosphère

Objectifs : extraits du programme

Connaissances clefs à construire	Commentaires, capacités exigibles
6.3 Le cycle du carbone sur Terre : des transferts entre atmosphère, hydrosphère, biosphère et lithosphère	
Le carbone existe sous différentes formes, réparties dans les différentes enveloppes terrestres.	- identifier les différentes formes et les réservoirs de carbone minéral et organique. **Limite** : Seule l'importance relative des différents réservoirs est exigible.
Des transferts de carbone plus ou moins rapides s'établissent entre les différents réservoirs. Les principaux transferts reposent sur des réactions chimiques et des changements d'état (dissolution, dégazage).	- associer les réactions chimiques avec les transferts entre réservoirs - montrer l'importance des êtres vivants, en particulier les micro-organismes et la diversité des types trophiques observés dans la biosphère. **Lien** : 6.1 [chapitre 23. L'altération des roches en domaine continental], travaux pratiques [TP 6.3. Roches sédimentaires] **Lien Biotechnologies** : 3.1 - comparer les temps de résidence afin d'identifier des cycles à différentes échelles de temps.
La modification quantitative d'un flux déplace les équilibres entre les différents réservoirs. La cinétique de transfert est modérée par des systèmes tampons.	- envisager les conséquences d'un déplacement d'équilibre entre deux réservoirs : il s'agit de montrer ici qu'on a affaire à un système complexe. Il n'est pas demandé une liste exhaustive des interactions entre réservoirs. - présenter un mécanisme de rétroaction. - montrer le rôle central de l'océan.
Les activités humaines modifient actuellement les flux.	- quantifier les flux de libération anthropique de CO_2 dans l'atmosphère. - discuter les limites des systèmes tampons dans le cas des perturbations anthropiques.

Introduction

Carbone :

Trois isotopes :
-

-

Le **carbone 14 ^{14}C** est un **isotope cosmogénique**, c'est-à-dire ***formé dans la haute atmosphère grâce au rayonnement cosmique (essentiellement solaire)***.

Il se forme à partir d'**azote 14 ^{14}N** selon la réaction : $^{1}_{0}\mathrm{n} + ^{14}_{7}\mathrm{N} \rightarrow ^{14}_{6}\mathrm{C} + ^{1}_{1}\mathrm{H}$

Notons que le **rapport $^{14}C/C_{total}$** sert à **estimer l'âge d'objets récents** contenant du **carbone** (âge < 50 000 ans). C'est la « **datation au carbone 14** ».

Cycle biogéochimique = cycle de la matière :

Comment et sous quelles formes transite le carbone de la planète ?

I. Le cycle du carbone, un cycle qui implique des formes variées de carbone stockées dans des réservoirs

Capacité exigible	✓ **Identifier** les différentes formes et les réservoirs de carbone minéral et organique.

A. Les différentes formes du carbone

1. Le carbone organique (état réduit) : les molécules biologiques (dans le vivant) et les produits qui en dérivent

a. Notion de molécules organiques

Molécules organiques :
Degré d'oxydation :

b. Les molécules biologiques : protides, lipides, glucides, acides nucléiques et leurs dérivés

c. Les molécules organiques issues des organismes morts : la nécromasse

Nécromasse = sapromasse :

d. Les roches carbonées (molécules organiques fossilisées) : le « carbone organique fossile »

e. Le méthane CH_4

2. Le carbone inorganique : les espèces chimiques minérales

a. Des minéraux carbonés en cristaux (rares) : graphite, diamant…

b. Des molécules où le carbone est oxydé

carbone minéral ou **inorganique** est fondamentalement un ***ensemble de molécules où le carbone est à l'état oxydé***.

α. Le carbone à l'état gazeux : surtout du dioxyde de carbone (éventuellement dissous)

-
-

β. Le carbone à l'état ionique : les ions hydrogénocarbonates et bicarbonates

-
-

Dissous ou complexé dans des **minéraux** ($CaCO_3$; $CaMg(CO_3)_2$)

B. Du carbone stocké dans des réservoirs

Réservoir = puits :

1. Un stockage de durée variable : la notion de temps de résidence (τ)

Temps de résidence = de stockage = de séjour :

Un **réservoir** est un **compartiment** qui :
- **Stocke transitoirement** le carbone – selon un temps moyen constituant le **temps de résidence τ**) ;
- Présente des **flux entrants** de carbone ;
- Présente des **flux sortants** de carbone.

Où τ est le **taux de résidence** (souvent en années)
M est la **masse de carbone du réservoir** (souvent GtC)
F est le **flux moyen** (souvent en GtC • a^{-1}).

Ce flux moyen correspond à :

$$F = \frac{1}{2}(Fe + Fs)$$

Où Fe est la somme des **flux entrants** et Fs la somme des **flux sortants**.

2. Les différents réservoirs de carbone

a. Les réservoirs superficiels : une quantité modérée de carbone, le plus souvent mobilisable rapidement

α. L'atmosphère (750 GtC)

Atmosphère :

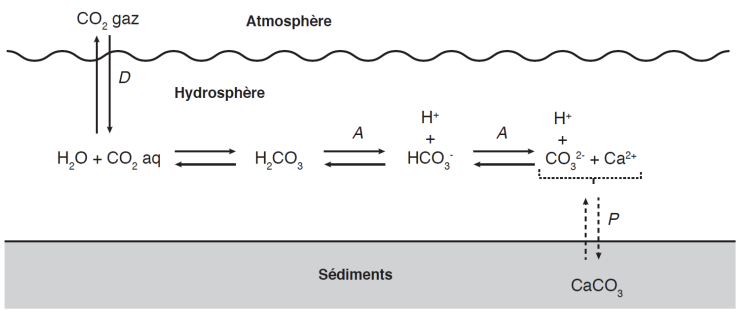
β. La biosphère comprise au sens large

i. La biomasse (matière organique vivante) (600 GtC)

ii. La nécromasse des sols (estimation difficile : en moyenne 1600 GtC)

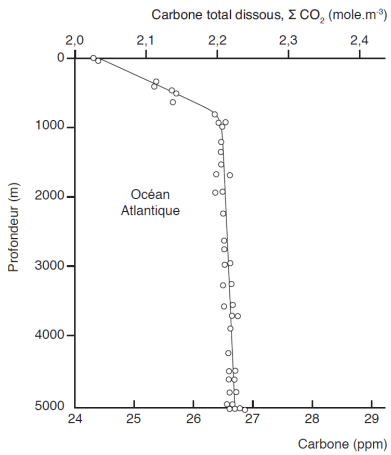
γ. L'hydrosphère (carbone dissous) (39 000 GtC)

Hydrosphère :



D = dissolution ; A = équilibre acido-basique ; P = précipitation
D'après Cojan I. et Renard M. (2006), *Sédimentologie*.

FIGURE 3. <u>Le système carbonates : rappels</u>. D'après SEGARRA *et al.* (2015).



Sur l'axe des abscisses est représentée la teneur en carbone dissous, en mole.m^{-3} et en ppm. La teneur passe de 2,0 à 2,2 mole.m^{-3} entre la surface et les eaux profondes (> 1 000 m), soit une augmentation de 10 %.
D'après Cojan I. et Renard M. (2006), *Sédimentologie*.

FIGURE 4. <u>Profil vertical de variation de $[CO_2]_d$ dans l'Océan atlantique</u>.
D'après SEGARRA *et al.* (2015).

δ. La masse carbonée des pergélisols (10 000 GtC ?) et des océans (estimation difficile)… une « bombe à retardement » ?

Pergélisols :

→ clahtrahes (***hydrates de méthane***) : 10 000 Gtc ?

b. Les réservoirs « profonds » : une quantité importante de carbone, le plus souvent mobilisée lentement

α. La croûte terrestre

i. Les roches carbonatées (calcaires, marnes, dolomies) (80 • 10^6 GtC)

ii. La matière organique fossile (15 à 20 • 10^6 GtC)

iii. Les roches silicatées (env. 50 • 10^6 GtC)
200 ppm

β. Le manteau et le noyau (10 à 100 • 10^6 GtC)

TABLEAU I. Les réservoirs de carbone : une vue d'ensemble.
Inspiré de PEYCRU *et al.* (2008, 2015)

Réservoir	État	Forme du carbone	Masse de C	Temps de résidence
Atmosphère				
Biomasse				
Nécromasse des sols				
Hydrosphère				
[Pergélisols]				
Croûte terrestre				
[Manteau et noyau]				

Bilan (adapté du programme)	✓ Le **carbone** existe sous **différentes formes**, réparties dans les différentes **enveloppes terrestres**.

II. Le cycle du carbone, un cycle qui implique des flux (= transferts) entre réservoirs

Flux = transferts :

Capacités exigibles	✓ **Associer** les réactions chimiques avec les transferts entre réservoirs ✓ **Montrer** l'importance des êtres vivants, en particulier les micro-organismes et la diversité des types trophiques observés dans la biosphère. ✓ **Comparer** les temps de résidence afin d'identifier des cycles à différentes échelles de temps. ✓ **Envisager** les conséquences d'un déplacement d'équilibre entre deux réservoirs : il s'agit de montrer ici qu'on a affaire à un système complexe. ✓ **Présenter** un mécanisme de rétroaction. ✓ **Montrer** le rôle central de l'océan.

A. Les principaux flux de carbone sur Terre

FIGURE 5. Le cycle global du carbone : une vue d'ensemble.
D'après SAINTPIERRE *et al.* (2017).

1. Les flux d'origine biologique

a. Préalable : un panorama rapide des types trophiques

TABLEAU II. Panorama des principaux types trophiques.
Document J. SEGARRA (TB2, ENCPB, Paris 13), modifié.

Type trophique	Source d'énergie	Source de carbone	Source d'électrons	Exemples

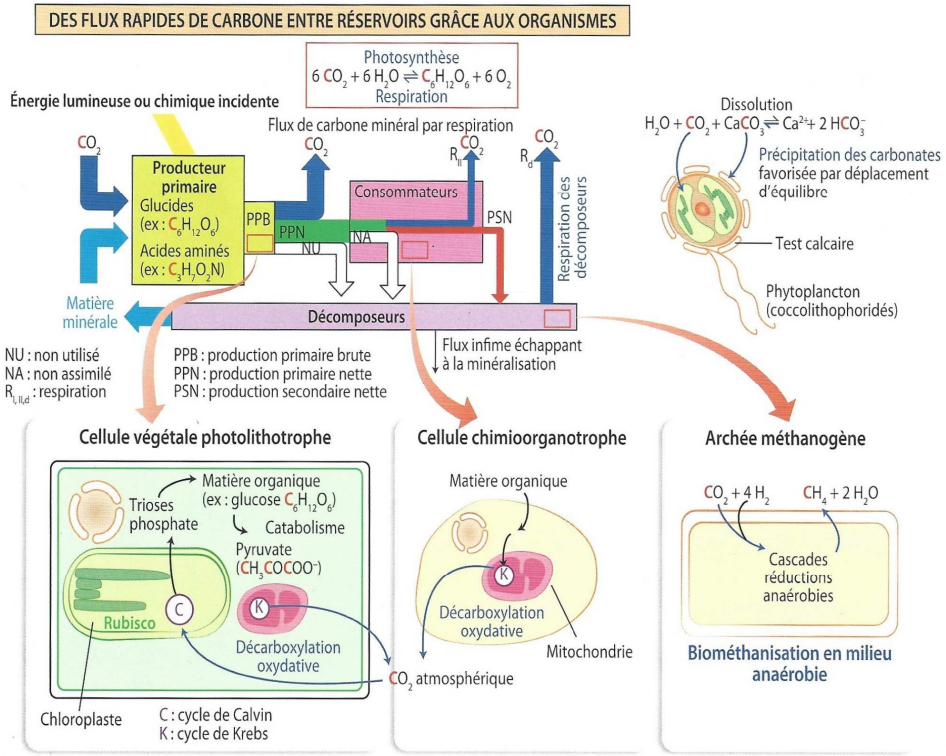


FIGURE 6. Types trophiques et place du carbone. D'après SAINPIERRE *et al.* (2017).

b. Un piégeage du carbone minéral (CO_2) atmosphérique dans la biosphère par les autotrophes (notamment par la photosynthèse)

$$CO_2 + H_2O \leftrightarrows CHO + O_2$$

Valeur du flux :

Sens de transfert :

c. Un relargage de carbone minéral (CO_2) atmosphérique dans l'atmosphère (et l'hydrosphère) par les oxydations biologiques (respiration, fermentations, minéralisations dans le sol…)

- Exemple de la respiration :

$$CHO + O_2 \leftrightarrows CO_2 + H_2O$$

Valeur du flux :

Sens de transfert :

d. Une libération de méthane dans l'atmosphère (ou l'hydrosphère) par les Archées méthanogènes

Biométhanisation :

Lieux :

Revoir le **chapitre sur la sédimentation** (chapitre 24)
Revoir le **chapitre sur la Vache** (chapitre 7)

- $CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$
- $CO_2 + 4\,H_2 \rightarrow CH_4 + 2\,H_2O$

On notera que les **processus en jeu** peuvent être **producteurs** ou **consommateurs** de **CO_2**.

Valeur du flux :

Sens de transfert :

e. Une bioprécipitation de carbonate de calcium dans les tests

$$Ca^{2+} + 2HCO_3^- \longrightarrow CaCO_3 + H_2O + CO_2$$

Valeur du flux :

Sens de transfert :

2. Les flux d'origine physico-chimique

a. L'équilibre dissolution-relargage

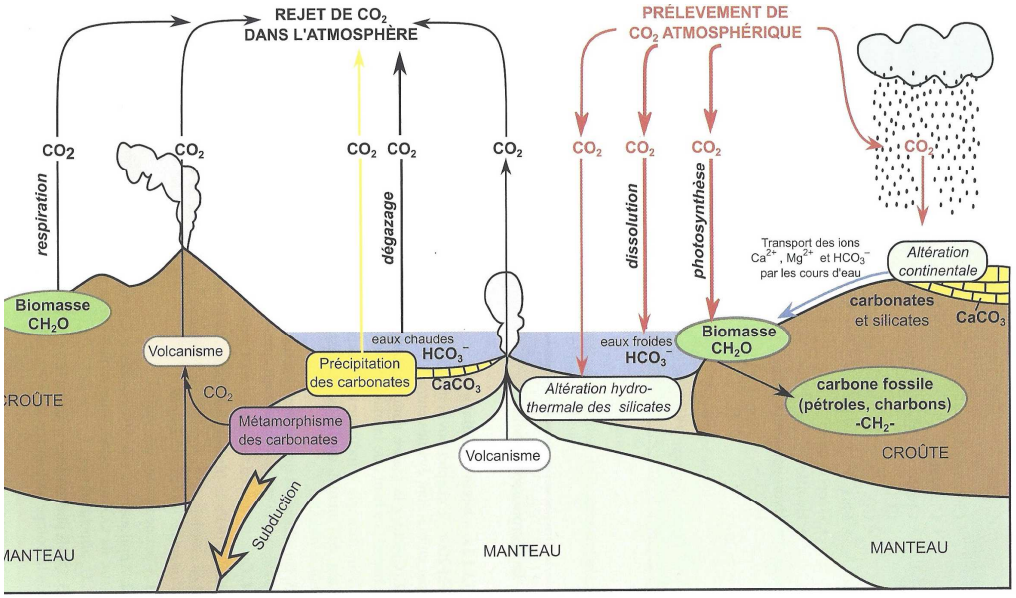
Valeur du flux :
[Transferts atmosphère / hydrosphère]

b. La dissolution (altération chimique) des carbonates

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \longrightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^-$$

Valeur du flux :
[croûte → hydrosphère]

c. La production atmosphérique de dioxyde de carbone à partir de méthane et de monoxyde de carbone



À gauche : processus enrichissant l'atmosphère en CO_2. À droite : processus appauvrissant l'atmosphère en CO_2.
(pompe biologique : photosynthèse par la biosphère autotrophe ; pompe physique : dissolution dans l'hydrosphère).

FIGURE 7. Cycle du carbone centré autour du compartiment atmosphérique et montrant notamment les processus physico-chimiques en jeu. D'après PEYCRU *et al.* (2018).

d. Quelques processus géologiques mineurs à courte échelle de temps … mais majeurs à l'échelle des temps géologiques

-

-

Les **périodes de très fort volcanisme** ont **historiquement drastiquement modifié le cycle du carbone** et le **climat** (aussi bien par le **CO_2**, **augmentant l'effet de serre**, que par les **suspensions atmosphériques**, **réduisant l'arrivée de rayonnement solaire** au sol).

-

-

***Peu importants** à **courte échelle de temps**, ces **processus** permettent une **accumulation de carbone** dans les **réservoirs mobilisés** au cours des **temps géologiques**.*

B. Un système complexe

1. Le rôle central de deux compartiments : l'atmosphère et l'hydrosphère

a. Le rôle majeur du CO_2 atmosphérique

b. Le rôle central et tampon de l'océan (réservoir hydrosphérique) avec la possibilité d'un déplacement de l'équilibre du système carbonates

Rôle tampon vis-à-vis du CO_2 atmosphérique :

On notera toutefois que **l'acidification des océans** due à **l'accumulation de CO_2** tend plutôt à **favoriser l'altération des carbonates** et peut, cette fois, **déplacer l'équilibre** dans le **sens d'un rejet de CO_2**. Ce phénomène est **encore accentué en cas de hausse de température**… mais alors les **organismes bioprécipiteurs de carbonates** deviendront aussi **plus actifs**. Bref, le **système** est **complexe** !

2. L'existence de rétroactions : un exemple de rétroaction négative due au CO_2 atmosphérique

FIGURE 8. Un exemple de rétroaction négative mettant en jeu le CO_2.
D'après PEYCRU *et al.* (2008).

C. Deux cycles du carbone : un cycle court et un cycle long

1. Le cycle court : un couplage biosphère-atmosphère-hydrosphère

Cycle court du carbone :

2. Le cycle long : un cycle où interviennent les processus géologiques et les réservoirs à long temps de résidence

Cycle long du carbone :

Bilan (adapté du programme)	✓ Le **carbone** existe sous **différentes formes**, réparties dans les différentes **enveloppes terrestres**. ✓ Des **transferts de carbone** plus ou moins rapides s'établissent entre les **différents réservoirs**. ✓ Les **principaux transferts** reposent sur des **réactions chimiques** et des **changements d'état** (**dissolution**, **dégazage**). ✓ La **modification quantitative** d'un **flux déplace** les **équilibres** entre les **différents réservoirs**. ✓ La **cinétique de transfert** est **modérée** par des **systèmes tampons**.

III. Le cycle du carbone, un cycle qui varie au cours des âges géologiques et sous l'effet de l'action humaine

Capacités exigibles	✓ **Quantifier** les flux de libération anthropique de CO_2 dans l'atmosphère. ✓ **Discuter** les limites des systèmes tampons dans le cas des perturbations anthropiques.

A. Un cycle qui a subi des variations à l'échelle des temps géologiques

- La **quantité de carbone total sur Terre** est **globalement stable** depuis sa **formation** il y a **4,6 Ga** (malgré quelques rarissime apports de météorites). En revanche, la **répartition** de changé au cours des **temps géologiques**.

1. Un outil de l'étude de l'évolution de la masse des réservoirs « carbonates » et « matière organique fossile » : le fractionnement isotopique du carbone ou $\delta^{13}C$

- Les **isotopes 12 et 13** du carbone sont tous deux **stables** et leur quantité ne varie pas ; on peut qualifier le **^{12}C** de « **carbone léger** » et le **^{13}C** de « **carbone lourd** ».
- On peut calculer un **fractionnement isotopique du carbone** ou **$\delta^{13}C$** défini par la formule :

$$\delta^{13}C = \frac{(^{12}C/^{13}C)échantillon - (^{12}C/^{13}C)PDB}{(^{12}C/^{13}C)PDB}$$

Où on évalue le **rapport $^{12}C/^{13}C$ de l'échantillon** comparé à un **standard**, le **PDB** (calcite d'un rostre de Bélemnite crétacée de Pedee aux États-Unis – *à cette période, les climats sont chauds et peu contrastés d'où ce référentiel*).

On admettra que la **photosynthèse** utilise **préférentiellement du $^{12}CO_2$ léger**, alors que le **$^{13}CO_2$ lourd** s'accumule plutôt dans les **océans** et dans les **carbonates** (par **précipitation**).
⇒ Le **$\delta^{13}C$** est **faible** dans les **roches carbonées** (issues de **biomasse**) et **élevé** dans les **carbonates**.

- On admet que le **$\delta^{13}C$ des carbonates** est équivalent à celui des **eaux océaniques** ; ses **variations** renseignent sur **l'importance du réservoir carbonates**. Comme son évolution dépend la **quantité de ^{12}C** lequel se trouve **préférentiellement dans la matière organique**, on en **déduit** indirectement l'importance de la **fossilisation de matière organique**.
→ *Le **$\delta^{13}O$ augmente** en cas de **hausse de la productivité primaire***
→ *Le **$\delta^{13}O$ diminue** en cas de **baisse de la productivité primaire***

2. Quelques variations du cycle du carbone : focus sur le CO_2

a. Au début de l'histoire de la Terre : un fort dégazage de CO_2 puis une forte consommation du CO_2 suite à la mise en place de la photosynthèse

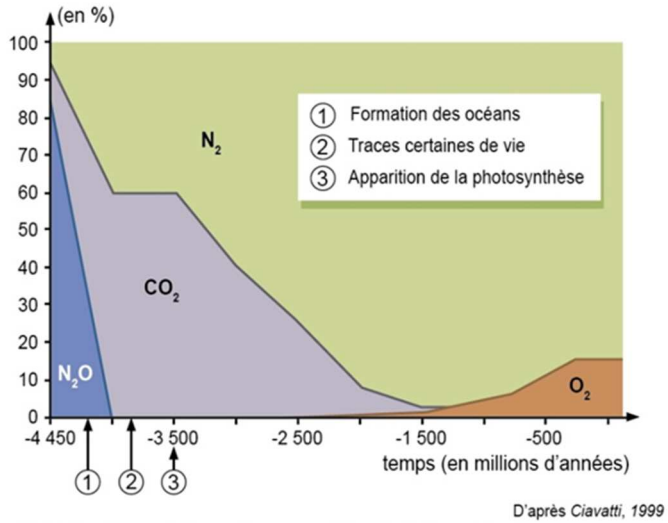


FIGURE 9. Évolution de la composition de l'atmosphère au cours de l'histoire de la Terre. https://leclimatdanstoussesetats.wordpress.com/2015/02/01/de-latmosphere-primitive-a-latmosphere-actuelle/ (consultation avril 2019)

b. Un suivi des fluctuations de la quantité de CO_2 atmosphérique sur les 600 derniers millions d'années : le modèle GÉOCARB

Modèle GÉOCARB :

c. Les variations au cours du dernier million d'années : des alternances de périodes glaciaires et interglaciaires

→ chapitre 26

B. Un cycle récemment et fortement modifié par l'activité humaine

1. Les perturbations d'origine anthropique, une réalité augmentant le taux atmosphérique de CO_2

a. Des perturbations variées, avec une prépondérance de la combustion des matières organiques fossiles (8 à 10 GtC par an)

-

-

-

b. La conséquence : une hausse de la teneur atmosphérique en dioxyde de carbone

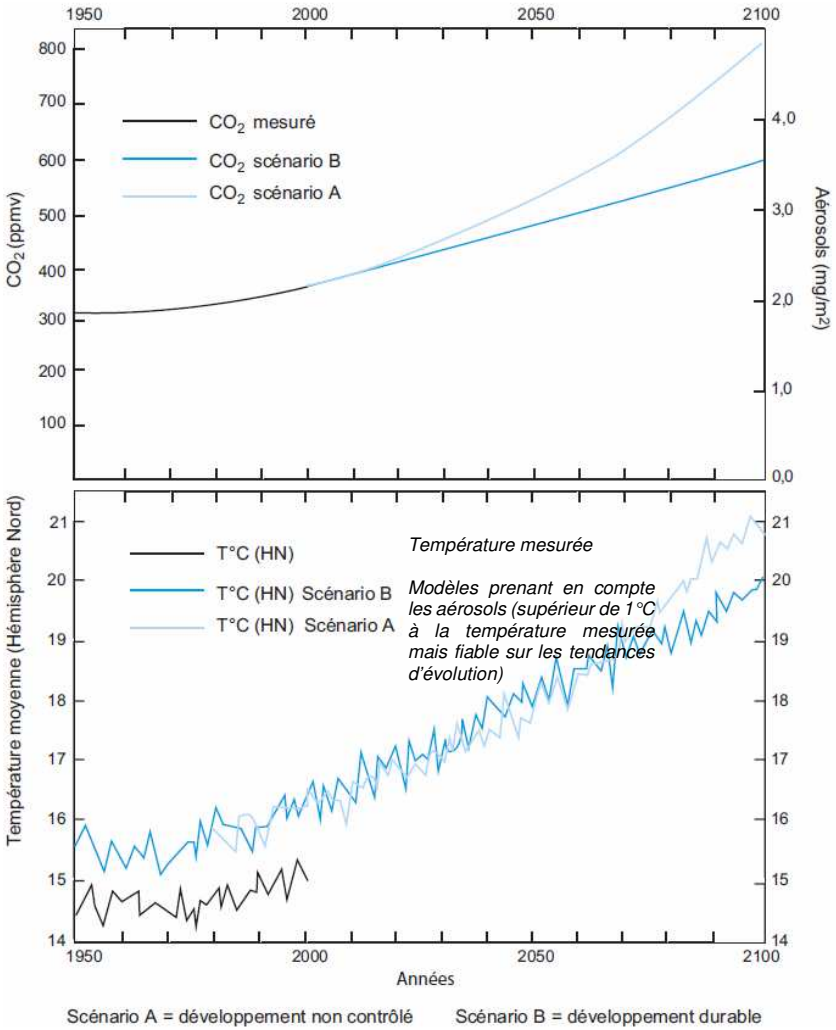


FIGURE 11. <u>Courbes de KEELING (1989) variations du taux de CO_2 atmosphérique et de la température moyenne dans l'hémisphère Nord depuis 1960</u>.
D'après PEYCRU *et al.* (2008).

2. Une compensation naturelle partielle des perturbations anthropiques par des pompes au rôle tampon

-

>

>

>

-

3. Une conséquence : une hausse de l'effet de serre aboutissant au réchauffement climatique

→ chapitre 26

Bilan (adapté du programme)	✓ Les **activités humaines modifient** actuellement les **flux**.

Pour faire une fiche de révision : quelques pistes

Il est conseillé de maîtriser les **grandes lignes du plan**

*Le **plan** ne doit pas être perçu comme un carcan figé, ou comme un modèle de plan de dissertation à ré-utiliser en devoir, mais bien comme un **outil d'apprentissage et de structuration** des **concepts importants**. Vous pouvez en **recopier les grandes lignes** ou **annexer le plan du polycopié** directement.*

Il est conseillé de réaliser un **lexique des principales définitions**.

Il est conseillé de reproduire les **schémas (et tableaux) majeurs** :

Liste indicative.

À peu près **tous**… mais au minimum :
° le **tableau des réservoirs**
° un **cycle complet du carbone**
[Quelques **types trophiques** sont aussi bienvenus].

Références

ARNDT, N., C. GANINO & S. KESLER (2015). *Ressources minérales. Origine, nature et exploitation.* 2e édition (1e édition 2010), Dunod, Paris.

AUBOIN, J., J. DERCOURT & B. LABESSE (1970). *Manuel de travaux pratiques de cartographie. 1er cycle et maîtrise.* Dunod, Paris.

AUBOIN, J., R. BROUSSE & J.-P. LEHMAN (1978). *Précis de géologie. 2. Paléontologie, stratigraphie.* Dunod (Bordas), Paris, 3e édition (1e édition 1967).

BABIN, C. (1991). *Principes de paléontologie.* Armand Colin, Paris.

BARD, J.-P. (1990). *Microtextures des roches magmatiques et métamorphiques.* Masson, Paris, 2e édition (1e édition 1980).

BEAUX, J.-F. & A. MAMECIER (2012). *Les sciences de la Terre.* Nathan, Paris, 2e édition (1e édition 2010).

BEAUX, J.-F., J.-F. FOGELGESANG, P. AGARD & V. BOUTIN, 2011. *Atlas de Géologie Pétrologie. BCPST 1re et 2e années.* Dunod, Paris.

BERNARD, J.-J., D. CONTINI, G. GODET & G. GOHAU (1995). *Le Temps en géologie. Sciences de la Terre.* Hachette, Paris.

BIJU-DUVAL, B. (1999). *Géologie sédimentaire. Bassins. Environnements de dépôts. Formation du pétrole.* Technip, Paris, Institut français du pétrole (École du Pétrole et des Moteurs), Rueil-Malmaison (92).

BISHOP, A. C., W. R. HAMILTON, A. R. WOOLEY (2001). *Guide des minéraux, roches et fossiles.* « Les Guides du naturalistes », Delachaux et Niestlé, Paris, 336 pages.

BORDI, C., F. SAINTPIERRE (dir.), M. ALGRAIN, R. BOUDJEMAÏ, H. CLAUCE, O. GUIPPONI & Y. KRAUSS (2018). *Mémento Géologie BCPST 1re et 2e années.* Vuibert, Paris.

BOTTINELLI, L., A. BRAHIC, L. GOUGUENHEIN, J. RIPERT & J. SERT (1993). *La Terre et l'Univers. Sciences de l'Univers.* Hachette, Paris.

CAMPBELL, N. A. & J. B. REECE (2004). *Biologie.* De Boeck Université, Bruxelles, 2e édition (1e édition 1995).

CARON, J.-M., A. GAUTHIER, J.-M. LARDEAUX, A. SCHAAF, J. ULYSSE & J. WOZNIAK (2003) (2e édition, 1989). *Comprendre et enseigner la planète Terre.* Ophrys, Gap – Paris, 303 pages.

CHAMLEY, H. (2000). *Bases de sédimentologie.* Dunod, Paris, 2 édition (1e édition 1987).

CAMPY, M. & J.-J. MACAIRE (2003). *Géologie de la surface.* Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 1989).

CHANTRAINE, J., A. AUTRAN, C. CAVELIER (dir.) et collaborateurs (2003). *Carte géologique de la France à l'échelle du millionième.* Service géologique national, Bureau de Recherches géologiques et minières, Orléans, 6e édition.

CHAPUS, J.-L. (2006) (2e). *Initiation à la géomorphologie.* « Universités Géographie », Ellipses, Paris, 172 pages.

COJAN, I. & M. RENARD (2006). *Sédimentologie.* Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 1999).

CORDIER, P. & H. LEROUX (2008). *Ce que disent les minéraux.* Belin, Paris.

DANIEL, J.-Y., C. AUBOURG & P. DE WEVER (dir.) (2000). *Problèmes résolus de Sciences de la Terre et de l'Univers.* Vuibert, Paris.

DANIEL, J.-Y. (dir.), A. BRAHIC, M. HOFFERT, R. MAURY, A. SCHAAF & M. TARDY (2006). *Sciences de la Terre et de l'Univers.* Vuibert, Paris, 2e édition (1e édition 1999).

DE WEVER, P., L. LABROUSSE, D. RAYMOND & A. SCHAAF (2005). *La mesure du temps dans l'histoire de la Terre.* Vuibert, Paris.

DEBELMAS, J., G. MASCLE & C. BASILE (2008). *Les grandes structures géologiques.* Dunod, Paris, 5e édition (1e édition 1991).

DECONINCK, J.-F. (2006). *Paléoclimats. L'enregistrement des variations climatiques.* Société géologique de France – Vuibert, Paris.

DELMAS, R., S. CHAUZY, J.-M. VERSTRAETE & H. FERRÉ (2007). *Atmosphère, océan et climat.* Belin, Paris.

DAUTEL, O. (dir.), A. PROUST, M. ALGRAIN, C. BORDI, A. HELME-GUIZON, F. SAINTPIERRE, M. VABRE & C. BOGGIO (2017). *Biologie Géologie BCPST 1re année.* Vuibert, Paris.

DENŒUD, J., T. FERROIR, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON, M.-L. PONS & F. TEJEDOR (2011). *Biologie-Géologie BCPST-véto 2e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

DENŒUD, J., C. GODINOT, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON & F. TEJEDOR (2013). *Biologie-Géologie BCPST-véto 1e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

DENŒUD, J., C. GODINOT, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON, M.-L. PONS & F. TEJEDOR (2014). *Biologie-Géologie BCPST-véto 2e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

DERCOURT, J. (2002). *Géologie et géodynamique de la France. Outre-mer et européenne.* « Sciences Sup », Dunod, Paris, 3e édition (1e édition 1997), 330 pages.

DERCOURT, J., J. PAQUET, P. THOMAS & C. LANGLOIS (2006). *Géologie. Objets, méthodes et modèles.* Dunod, Paris, 12e édition (1e édition 1974).

EMMANUEL, L., M. DE RAFÉLIS & A. PASCO (2007). *Maxi fiches Géologie.* Dunod, Paris, 228 pages + VIII.

DUCHAUFOUR, P. (2001). *Introduction à la science du sol. Sol, végétation, environnement.* Dunod, Paris, 6 édition (1e édition 1984, *Abrégé de pédologie*).

FOUCAULT, A. & J.-F. RAOULT (2005). *Dictionnaire de Géologie.* Dunod, Paris, 6e édition (1e édition 1980).

FOUCAULT, A., J.-F. RAOULT, F. CECCA & B. PLATEVOET (2014). *Dictionnaire de Géologie.* Dunod, Paris, 8e édition (1e édition 1980).

GODINOT, C., H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON & F. TEJEDOR (2010). *Biologie-Géologie 1re année BCPST-véto.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

JAUJARD, D. (2015). *Géologie. Géodynamique. Pétrologie. Études de terrain.* Maloine, Paris.

JOLIVET, L. & H.-C. NATAF (1998). *Géodynamique.* Dunod, Paris.

JUNG, J. (1958). *Précis de pétrographie. Roches sédimentaires, métamorphiques et éruptives.* Masson et Cie, Paris.

JUPIN, H. (1996). *Le Cycle du carbone.* Hachette supérieur, Paris.

LAGABRIELLE, Y., R. MAURY & M. RENARD (2013). *Mémo visuel de Géologie. L'essentiel en fiches. Licence. Prépas. CAPES.* Dunod, Paris.

MARSHAK, S. (2010). *Terre, portrait d'une planète.* Traduction O. ÉVRAD. De Boeck, Bruxelles (3e édition américaine 2008).

MASCLE, G. (2008). *Les roches, mémoire du temps.* EDP Sciences, Les Ulis (91).

MATTAUER, M. (1998). *Ce que disent les pierres.* Belin – Pour la Science, Paris.

PEYCRU, P. (dir.), J.-M. DUPIN, J.-F. FOGELGESANG, D. GRANDPERRIN, C. VAN DER REST, F. CARIOU, C. PERRIER & B. AUGÈRE (2008). *Géologie tout-en-un 1re et 2e années BCPST.* Dunod, Paris.

PEYCRU, P., J.-F. FOGELGESANG, D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, J.-F. BEAUX, C. BECK, F. CARIOU, J.-M. DUPIN, J.-L. SCHNEIDER, M. TARDY & C. VAN DER REST (2015). *Géologie tout-en-un BCPST 1er et 2e années.* Dunod, Paris.

PEYCRU, P., D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, J.-F. BEAUX, F. CARIOU, P. CARRÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN, C. ESCUYER, J.-F. FOGELGESANG, S. MAURY, É. QUÉINNEC, E. SALGUEIRO & C. VAN DER REST (2018). *Biologie tout-en-un BCPST 2e année.* Dunod, Paris, 3e édition (1e édition 2007).

POMEROL, C., Y. LAGABRIELLE, M. RENARD & S. GUILLOT (2011). *Éléments de géologie.* Dunod, Paris, 14e édition (1e édition 1965).

PROVOST, A. & C. LANGLOIS (2011). *Mini manuel de Géologie – Roches et géochimie.* Dunod, Paris.

RENARD, M., Y. LAGABRIELLE, E. MARTIN & M. DE RAFÉLIS (2018). *Éléments de géologie. 16e édition du « Pomerol ».* 1e édition 1965 (Armand Colin). Dunod, Paris.

ROBERT, C. & R. BOUSQUET (2013). *Géosciences. La dynamique du système Terre.* Belin, Paris.

ROTARU, M., J. GAILLARDET, M. STEINBERG & J. TRICHET (2006). *Les climats passés de la Terre.* Société géologique de France – Vuibert, Paris.

SAINTPIERRE, F., C. BORDI (dir.), M. ALGRAIN, Y. KRAUSS, I. MOLLIÈRE & H. CLAUCE (2017). *Mémento Biologie BCPST 1re et 2e années.* Vuibert, Paris.

SEGARRA, J., E. PIÈTRE (dir.), G. BAILLY, O. CHASSAING, D. FAVRE, T. JEAN, F. METZ, C. MEUNIER (2015). *Biologie BCPST 2e année.* Ellipses, Paris.

SOREL, D. & P. VERGELY (2010). *Atlas. Initiation aux cartes et aux coupes géologiques.* Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 1999).

TROMPETTE, R. (2003). *La Terre. Une planète singulière.* Belin, Paris.

Plan du chapitre

Objectifs : extraits du programme 1
Introduction 1

I. Le cycle du carbone, un cycle qui implique des formes variées de carbone stockées dans des réservoirs 2
A. Les différentes formes du carbone 2
1. Le carbone organique (état réduit) : les molécules biologiques (dans le vivant) et les produits qui en dérivent 2
a. Notion de molécules organiques 2
b. Les molécules biologiques : protides, lipides, glucides, acides nucléiques et leurs dérivés 2
c. Les molécules organiques issues des organismes morts : la nécromasse 2
d. Les roches carbonées (molécules organiques fossilisées) : le « carbone organique fossile » 2
e. Le méthane CH_4 2
2. Le carbone inorganique : les espèces chimiques minérales 2
a. Des minéraux carbonés en cristaux (rares) : graphite, diamant… 2
b. Des molécules où le carbone est oxydé 2
α. Le carbone à l'état gazeux : surtout du dioxyde de carbone (éventuellement dissous) 2
β. Le carbone à l'état ionique : les ions hydrogénocarbonates et bicarbonates 2
B. Du carbone stocké dans des réservoirs 3
1. Un stockage de durée variable : la notion de temps de résidence (τ) 3
2. Les différents réservoirs de carbone 3
a. Les réservoirs superficiels : une quantité modérée de carbone, le plus souvent mobilisable rapidement 3
α. L'atmosphère (750 GtC) 3
β. La biosphère comprise au sens large 3
i. La biomasse (matière organique vivante) (600 GtC) 3
ii. La nécromasse des sols (estimation difficile : en moyenne 1600 GtC) 3
γ. L'hydrosphère (carbone dissous) (39 000 GtC) 3
δ. La masse carbonée des pergélisols (10 000 GtC ?) et des océans (estimation difficile)… une « bombe à retardement » ? 4
b. Les réservoirs « profonds » : une quantité importante de carbone, le plus souvent mobilisée lentement 4
α. La croûte terrestre 4
i. Les roches carbonatées (calcaires, marnes, dolomies) (80 • 10^6 GtC) 4
ii. La matière organique fossile (15 à 20 • 10^6 GtC) 4
iii. Les roches silicatées (env. 50 • 10^6 GtC) 4
β. Le manteau et le noyau (10 à 100 • 10^6 GtC) 4

II. Le cycle du carbone, un cycle qui implique des flux (= transferts) entre réservoirs 5
A. Les principaux flux de carbone sur Terre 5
1. Les flux d'origine biologique 6
a. Préalable : un panorama rapide des types trophiques 6
b. Un piégeage du carbone minéral (CO_2) atmosphérique dans la biosphère par les autotrophes (notamment par la photosynthèse) 6
c. Un relargage de carbone minéral (CO_2) atmosphérique dans l'atmosphère (et l'hydrosphère) par les oxydations biologiques (respiration, fermentations, minéralisations dans le sol…) 7
d. Une libération de méthane dans l'atmosphère (ou l'hydrosphère) par les Archées méthanogènes 7
e. Une bioprécipitation de carbonate de calcium dans les tests 7
2. Les flux d'origine physico-chimique 7
a. L'équilibre dissolution-relargage 7
b. La dissolution (altération chimique) des carbonates 7
c. La production atmosphérique de dioxyde de carbone à partir de méthane et de monoxyde de carbone 7
d. Quelques processus géologiques mineurs à courte échelle de temps … mais majeurs à l'échelle des temps géologiques 8
B. Un système complexe 8
1. Le rôle central de deux compartiments : l'atmosphère et l'hydrosphère 8
a. Le rôle majeur du CO_2 atmosphérique 8
b. Le rôle central et tampon de l'océan (réservoir hydrosphérique) avec la possibilité d'un déplacement de l'équilibre du système carbonates 8
2. L'existence de rétroactions : un exemple de rétroaction négative due au CO_2 atmosphérique 8
C. Deux cycles du carbone : un cycle court et un cycle long 8
1. Le cycle court : un couplage biosphère-atmosphère-hydrosphère 8
2. Le cycle long : un cycle où interviennent les processus géologiques et les réservoirs à long temps de résidence 8

III. Le cycle du carbone, un cycle qui varie au cours des âges géologiques et sous l'effet de l'action humaine 9
A. Un cycle qui a subi des variations à l'échelle des temps géologiques 9
1. Un outil de l'étude de l'évolution de la masse des réservoirs « carbonates » et « matière organique fossile » : le fractionnement isotopique du carbone ou $\delta^{13}C$ 9
2. Quelques variations du cycle du carbone : focus sur le CO_2 9
a. Au début de l'histoire de la Terre : un fort dégazage de CO_2 puis une forte consommation du CO_2 suite à la mise en place de la photosynthèse 9
b. Un suivi des fluctuations de la quantité de CO_2 atmosphérique sur les 600 derniers millions d'années : le modèle GÉOCARB 10
c. Les variations au cours du dernier million d'années : des alternances de périodes glaciaires et interglaciaires 10
B. Un cycle récemment et fortement modifié par l'activité humaine 10
1. Les perturbations d'origine anthropique, une réalité augmentant le taux atmosphérique de CO_2 10
a. Des perturbations variées, avec une prépondérance de la combustion des matières organiques fossiles (8 à 10 GtC par an) 10
b. La conséquence : une hausse de la teneur atmosphérique en dioxyde de carbone 11
2. Une compensation naturelle partielle des perturbations anthropiques par des pompes au rôle tampon 11
3. Une conséquence : une hausse de l'effet de serre aboutissant au réchauffement climatique 11

Pour faire une fiche de révision : quelques pistes 11
Références 12
Plan du chapitre 13
Plan simplifié du chapitre 14
Plan très simplifié du chapitre 14

Plan simplifié du chapitre

Objectifs : extraits du programme 1
Introduction 1

I. Le cycle du carbone, un cycle qui implique des formes variées de carbone stockées dans des réservoirs 2
A. Les différentes formes du carbone 2
1. Le carbone organique (état réduit) : les molécules biologiques (dans le vivant) et les produits qui en dérivent 2
2. Le carbone inorganique : les espèces chimiques minérales 2
B. Du carbone stocké dans des réservoirs 3
1. Un stockage de durée variable : la notion de temps de résidence (*τ*) 3
2. Les différents réservoirs de carbone 3

II. Le cycle du carbone, un cycle qui implique des flux (= transferts) entre réservoirs 5
A. Les principaux flux de carbone sur Terre 5
1. Les flux d'origine biologique 6
2. Les flux d'origine physico-chimique 7
B. Un système complexe 8
1. Le rôle central de deux compartiments : l'atmosphère et l'hydrosphère 8
2. L'existence de rétroactions : un exemple de rétroaction négative due au CO_2 atmosphérique 8
C. Deux cycles du carbone : un cycle court et un cycle long 8
1. Le cycle court : un couplage biosphère-atmosphère-hydrosphère 8
2. Le cycle long : un cycle où interviennent les processus géologiques et les réservoirs à long temps de résidence 8

III. Le cycle du carbone, un cycle qui varie au cours des âges géologiques et sous l'effet de l'action humaine 9
A. Un cycle qui a subi des variations à l'échelle des temps géologiques 9
1. Un outil de l'étude de l'évolution de la masse des réservoirs « carbonates » et « matière organique fossile » : le fractionnement isotopique du carbone ou $\delta^{13}C$ 9
2. Quelques variations du cycle du carbone : focus sur le CO_2 9
B. Un cycle récemment et fortement modifié par l'activité humaine 10
1. Les perturbations d'origine anthropique, une réalité augmentant le taux atmosphérique de CO_2 10
2. Une compensation naturelle partielle des perturbations anthropiques par des pompes au rôle tampon 11
3. Une conséquence : une hausse de l'effet de serre aboutissant au réchauffement climatique 11

Pour faire une fiche de révision : quelques pistes 11
Références 12
Plan du chapitre 13
Plan simplifié du chapitre 14
Plan très simplifié du chapitre 14

Plan très simplifié du chapitre

Objectifs : extraits du programme 1
Introduction 1

I. Le cycle du carbone, un cycle qui implique des formes variées de carbone stockées dans des réservoirs 2
A. Les différentes formes du carbone 2
B. Du carbone stocké dans des réservoirs 3

II. Le cycle du carbone, un cycle qui implique des flux (= transferts) entre réservoirs 5
A. Les principaux flux de carbone sur Terre 5
B. Un système complexe 8
C. Deux cycles du carbone : un cycle court et un cycle long 8

III. Le cycle du carbone, un cycle qui varie au cours des âges géologiques et sous l'effet de l'action humaine 9
A. Un cycle qui a subi des variations à l'échelle des temps géologiques 9
B. Un cycle récemment et fortement modifié par l'activité humaine 10

Pour faire une fiche de révision : quelques pistes 11
Références 12
Plan du chapitre 13
Plan simplifié du chapitre 14
Plan très simplifié du chapitre 14

© Tanguy JEAN. Les textes et les figures originales sont la propriété de l'auteur. Les figures extraites d'autres sources restent évidemment la propriété des auteurs ou éditeurs originaux.

Document produit en avril 2019 • Dernière actualisation : octobre 2020.

Contact : Tanguy.Jean4@gmail.com

Adresse de téléchargement : https://www.svt-tanguy-jean.com/

Ces données sont placées sous licence *Creative Commons Attribution – Pas d'Utilisation commerciale 4.0 CC BY NC* qui autorise la reproduction et la diffusion du document, à condition d'en citer explicitement la source et de ne pas en faire d'utilisation commerciale.