

Secondaire
11-14



Dossier pédagogique

LE CYCLE DU CARBONE

Guide de l'enseignant
et fiches d'activités pour les élèves



Vue d'ensemble	page	3
Résumé des activités	page	5
L'application web « Climate from Space »	page	7
Carbone et climat : informations générales	page	8
Activité n° 1 : LE CYCLE DU CARBONE	page	11
Activité n° 2 : LES OCÉANS ACIDES	page	15
Activité n° 3 : SURVEILLER LE CARBONE DEPUIS L'ESPACE	page	22
Fiche d'activité n° 1	page	24
Fiche d'activité n° 2	page	26
Fiche d'activité n° 3	page	31
Fiche d'information n° 1	page	34
Liens	page	37

Dossier Pédagogique de l'Initiative sur le Changement Climatique (CCI) -
LE CYCLE DU CARBONE

<https://climate.esa.int/fr/educate/>

Concepts d'activité développés par l'Université de Twente (NL) et le
Centre national d'observation de la Terre (UK).

Le Bureau du climat de l'ESA accueille les réactions et les commentaires

<https://climate.esa.int/fr/helpdesk/>

Produit par le bureau climatique de l'ESA

Copyright © Agence spatiale européenne 2020-2021

LE CYCLE DU CARBONE : Vue d'ensemble

En bref

Sujet(s) : Sciences, Chimie, Biologie, Sciences de la Terre.

Tranche d'âge : 11-14 ans.

Type : lecture, activités pratiques, recherches en ligne.

Complexité : moyenne à avancée.

Durée minimale de la leçon : 4 heures.

Coût : faible (5-20 euros).

Lieu : à l'intérieur.

Comprend l'utilisation : d'Internet, de logiciels de présentation et d'image, d'acides ménagers.

Mots clés : dioxyde de carbone, méthane, empreinte carbone, cycle du carbone, émission, source, puits, gaz à effet de serre, satellite, observation de la Terre, phytoplancton, biomasse, permafrost.

Brève description

Dans cette série d'activités, les élèves découvrent le cycle du carbone. Ils l'utilisent ensuite pour identifier les actions à entreprendre au niveau individuel et communautaire, afin de réduire la quantité de carbone émise dans l'atmosphère.

Une activité pratique, utilisant des produits domestiques, examine d'une part l'impact de l'acidification des océans, et permet d'autre part aux élèves de concevoir une expérience plus précise à réaliser en laboratoire.

Dans la dernière activité, les élèves utilisent des données climatiques réelles de l'application Web "Climate From Space" pour répondre à une question sur une partie du cycle du carbone.

Résultats attendus de l'apprentissage

Travailler sur ces activités apportera aux élèves les capacités suivantes :

Créer un diagramme montrant le cycle du carbone, y compris les composants rapides et lents.

Utiliser le cycle du carbone pour identifier les actions visant à réduire les changements climatiques d'origine humaine.

Structurer une explication scientifique, présentant la raison pour laquelle une telle action est susceptible d'avoir un impact.

Faire preuve d'empathie à l'égard du point de vue des autres.

Décrire l'effet de l'augmentation de l'acidité des océans sur les organismes marins.

Évaluer les techniques expérimentales et les estimations, tout en étendant les méthodes existantes, afin de trouver des informations supplémentaires.

Utiliser l'application web *Climate From Space* pour étudier une question liée au cycle du carbone.

Sélectionner les principales informations à en retirer, pour informer les autres.

Résumé des activités

	Titre	Description	Résultat	Pré-requis	Durée
1	Le cycle du carbone	Travail de lecture et activité d'évaluation facultative (jeu)	Créer un diagramme montrant le cycle du carbone, y compris les composants rapides et lents. Utiliser le cycle du carbone pour identifier les actions visant à réduire les changements climatiques d'origine humaine. Structurer une explication scientifique, présentant la raison pour laquelle une telle action est susceptible d'avoir un impact. Faire preuve d'empathie à l'égard du point de vue des autres.	Une compréhension générale des chaînes alimentaires, de la photosynthèse, de l'effet de serre et du cycle de la roche sont souhaitables mais pas indispensables.	1 heure + ½ heure pour l'activité d'évaluation facultative
2	Les océans acides	Activité pratique	Décrire l'effet de l'augmentation de l'acidité des océans sur les organismes marins. Évaluer les techniques expérimentales et les estimations, tout en étendant les méthodes existantes, afin de trouver des informations supplémentaires.	Aucun	Mise en place ½ heure ; 5 minutes, après environ une heure, et une fois par jour pendant les 2 ou 3 jours suivants ; plénière ½ heure.
3	Surveiller le carbone depuis l'espace	Tâche de recherche	Utiliser l'application web <i>Climate From Space</i> pour étudier une question liée au cycle du carbone. Sélectionner les principales informations à en retirer, pour informer les autres.	Le cycle du carbone - par exemple l'activité n° 1.	1½ heures

Les temps indiqués dans le tableau récapitulatif sont pour les exercices principaux, ils supposent un accès complet à l'informatique, et/ou une distribution des calculs répétitifs et des graphiques à la classe. Ils comprennent le temps nécessaire à la mise en commun des résultats, mais pas la présentation des résultats. Cette étape pourra en effet varier en fonction de la taille de la classe et des groupes. Enfin, d'autres approches peuvent prendre plus de temps.

Notes pratiques pour les enseignants

En début de section, le **matériel requis pour** chaque activité est indiqué, ainsi que des notes sur les éventuelles préparations nécessaires, en plus des photocopies des fiches d'activités et des fiches d'information.

Les **fiches d'activités** sont à usage unique et peuvent être photocopiées en noir et blanc.

Les **fiches d'informations** peuvent contenir : des images plus grandes afin que vous puissiez les insérer dans vos présentations en classe, des informations supplémentaires pour les élèves, ou des données avec lesquelles ils pourront travailler. Ces documents sont réutilisables, il est donc préférable de les imprimer ou de les copier en couleur.

Les **feuilles de calculs, tableaux de données ou documents supplémentaires** nécessaires à l'activité peuvent être téléchargés sur le lien suivant :

<https://climate.esa.int/fr/education/climat-pour-les-ecoles/>.

Des idées **pour aller plus loin** et des suggestions de **variation** sont incluses dans la description de chaque activité.

Pour les activités pratiques, les réponses aux feuilles d'activités et les résultats des exemples sont inclus afin d'aider à l'**évaluation**. Les possibilités d'utiliser les critères du professeur, pour évaluer les compétences essentielles, telles que la communication ou le traitement des données, sont indiquées dans la partie correspondante de la description de l'activité.

Santé et sécurité

Dans toutes les activités, nous avons supposé que les consignes de sécurité habituelles continueront d'être suivies, concernant l'utilisation des équipements de base (les appareils électriques comme les ordinateurs), les mouvements dans la salle de classe, les déplacements et les renversements, les premiers secours, etc... Comme la nécessité de ces procédures est universelle mais que les détails de leur mise en œuvre varient considérablement, nous ne les avons pas détaillées à chaque fois. Au lieu de cela, nous avons mis en évidence les dangers propres à une activité pratique donnée, afin d'éclairer l'évaluation des risques.

Certaines de ces activités utilisent l'application web « Climate From Space » ou d'autres sites web interactifs. Il est possible de naviguer à partir de ces sites vers d'autres parties du site Web de l'ESA « Climate Change Initiative » ou de l'organisation hôte, puis vers des sites Web externes. Si on ne peut pas - ou on ne souhaite pas - limiter les pages que les élèves peuvent consulter, on pourra leur rappeler les règles de sécurité de l'établissement sur Internet.

L'application web « Climate from Space »

Les satellites de l'ESA jouent un rôle important dans la surveillance du changement climatique. L'application web « Climate from Space » (cfs.climate.esa.int) est une ressource en ligne qui utilise des articles ou « stories » illustrées pour résumer certaines des façons dont notre planète change et mettre en évidence le travail des scientifiques de l'ESA.

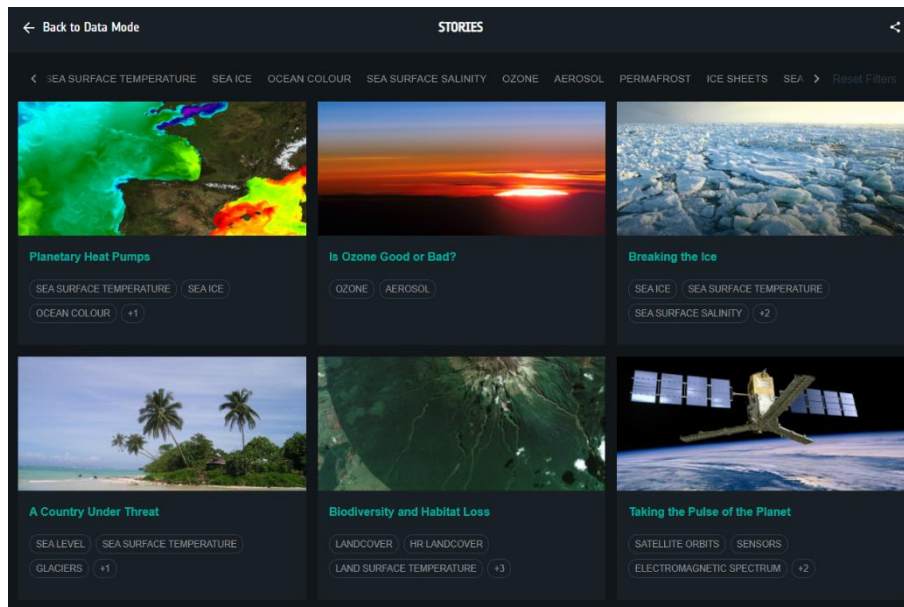


Figure 1: Articles ou « Stories » de l'application web Climate from Space (Source : ESA CCI)

Le programme « Climate Change Initiative » de l'ESA produit des enregistrements mondiaux fiables de certains aspects clés du climat, appelés variables climatiques essentielles (VCE). L'application web Climate from Space vous permet d'en savoir plus sur les impacts du changement climatique en observant ces données par vous-même.

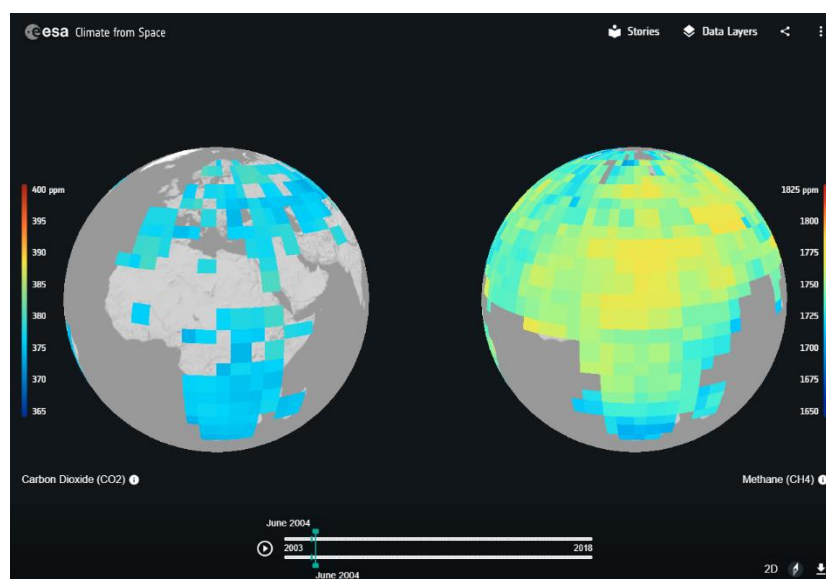


Figure 2: Comparaison des données sur le dioxyde de carbone et le méthane dans l'application web Climate From Space (Source : ESA CCI)

Carbone et climat : informations générales

Le cycle du carbone

L'abondance relative du carbone dans l'atmosphère et la croûte terrestre est étonnamment faible - moins de 0,5 % dans les deux. Pourtant, les composés du carbone sont essentiels à la vie, puisqu'ils forment les tissus de tous les êtres vivants. Tout le carbone organique, et presque tout celui qui est stocké dans les océans et dans le sol sous nos pieds, a d'abord été fixé à partir de l'atmosphère, par la photosynthèse. Les atomes individuels font partie de différentes molécules, conservées dans différents réservoirs (puits), et peuvent mettre quelques secondes ou des siècles à retourner dans l'atmosphère.

La façon dont le carbone se déplace dans le cycle du carbone est bien connue et est décrite dans la fiche d'information n° 1 (voir également la figure n° 3). Cependant, comme les activités humaines perturbent le cycle - libérant des composés de carbone dans l'atmosphère plus rapidement qu'ils ne sont absorbés - la nécessité de déterminer la quantité de carbone stockée dans les différents puits ou réservoirs, et la quantité transférée par chaque processus, devient de plus en plus importante. Cela est particulièrement vrai dans les situations où le réchauffement de la planète peut entraîner une rétroaction positive. Par exemple, le méthane libéré par le dégel du permafrost contribue à un réchauffement supplémentaire.

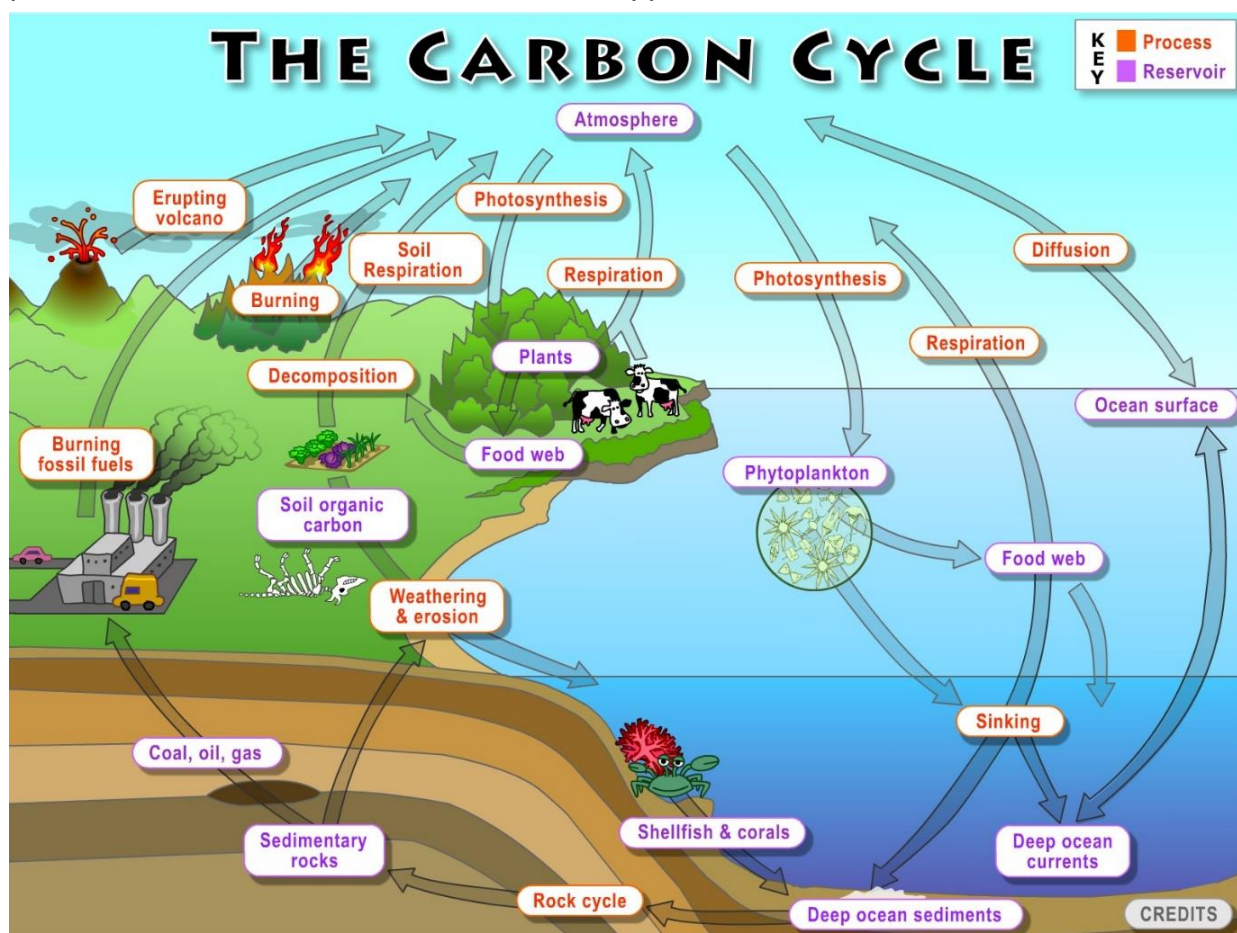


Figure 3 : Le cycle du carbone (Source : Jeff Lockwood, utilisé sous CC BY-NC-SA 3.0)

Le changement climatique et le cycle du carbone

La clé de la maîtrise du changement climatique réside dans la gestion du cycle du carbone : elle consiste à augmenter la quantité de carbone stockée dans les puits et à en réduire les émissions. La figure 4 montre l'importance de certains de ces stockages et transferts (flux). L'activité 1 permet aux élèves de faire le lien entre ces processus et les actions individuelles et collectives.

The global carbon cycle

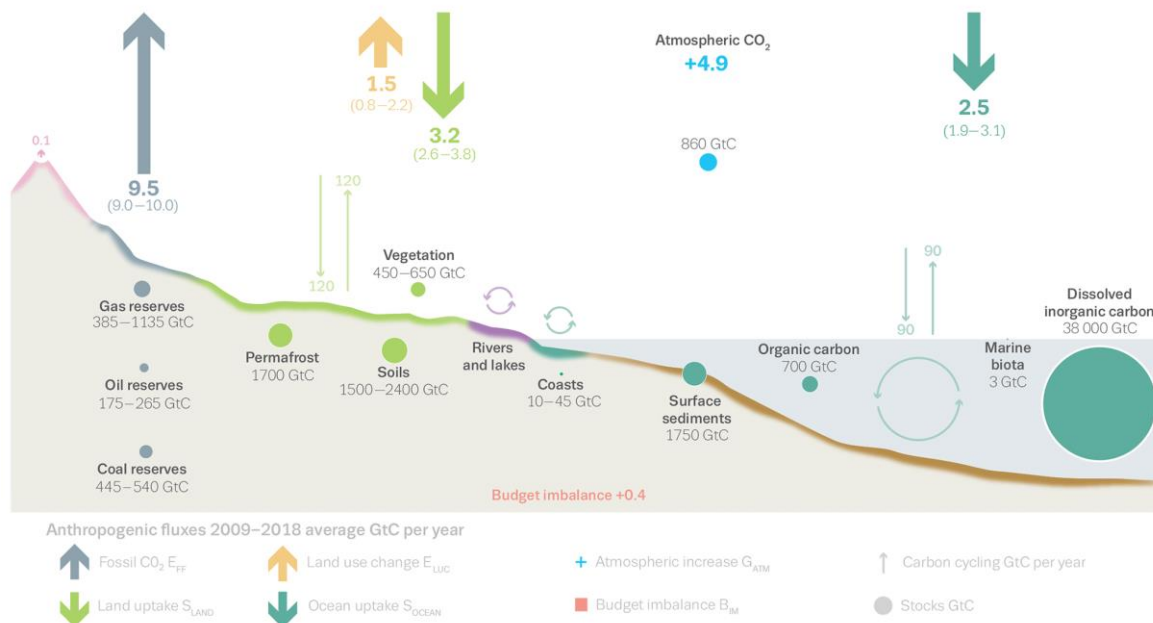


Figure 4 : Impacts humains sur le cycle global du carbone

(Source : Pierre Friedlingstein, Matthew W. Jones, Michael O'Sullivan et al. ; utilisé sous CC BY-SA 4.0)

Collecte de données sur le carbone

Comme le montrent les figures n° 3 et 4, nous avons besoin d'informations sur un très grand nombre de choses si nous voulons comprendre le cycle du carbone et son impact sur le climat. Il serait impossible de recueillir, par exemple, des données sur la proportion du sol qui reste gelé toute l'année dans l'ensemble de l'Arctique, si nous ne pouvions effectuer que des mesures sur le sol lui-même. Certains satellites en orbite autour de la Terre "regardent" partout, toutes les quinze minutes, dans un hémisphère. D'autres survolent chaque partie de la planète, une fois tous les dix jours environ. Une seule image satellite, peut contenir plus d'informations, qu'une armée de personnes ne pourrait en recueillir sur le terrain.

Les capteurs installés sur les satellites, peuvent non seulement prendre des photos pour montrer l'aspect de la Terre - ce qui peut, par exemple, nous aider à surveiller la façon dont nous utilisons les terres - mais aussi nous permettre de mesurer de nombreuses variables, liées aux parties du cycle du carbone, que nous ne pouvons pas voir, notamment la concentration des gaz dans l'atmosphère, la température de la surface des terres et des mers, et la quantité de carbone stockée sous forme de biomasse. L'activité n° 3 donne aux élèves l'occasion d'interagir avec certaines de ces données. Ils peuvent trouver plus d'informations sur la manière dont elles sont

collectées dans les dossiers pédagogiques « *Taking the Pulse of the Planet* » disponibles sur <https://climate.esa.int/fr/educate/climate-for-schools/>.

Activité n° 1 : LE CYCLE DU CARBONE

Cette activité permet aux élèves de développer une compréhension du cycle du carbone, de la manière dont les activités humaines le perturbent, et de la façon dont sa prise en compte peut nous aider à identifier des actions pour atténuer le changement climatique. Les tâches, soutiennent les élèves dans les compétences de lecture pour comprendre, et d'écriture pour informer et persuader, tout en les encourageant à réfléchir de manière critique à leurs connaissances, et à faire preuve d'empathie pour considérer un autre point de vue. Tout ou partie des tâches de la feuille d'Activité, peuvent être assignées comme devoirs à la maison : la description ci-dessous suggère une manière de l'utiliser en classe, complétée par une activité supplémentaire.

Matériel

- Fiche d'information n° 1 (2 pages)
- Fiche d'activité n° 1
- Application web Climate from Space : Article *The Carbon Cycle* (facultatif)
- Accès à Internet
- Matériel pour réaliser des affiches ou logiciel de création/traitement d'images avec lequel les élèves sont familiers (facultatif)
- Une balle de tennis ou un ballon de volley-ball pour chaque groupe de 4-6 élèves (facultatif)

Exercice

1. Lire la fiche d'information n° 1 en classe, ou demander aux élèves de la lire individuellement ou en groupe, de la manière décrite aux étapes n° 1 et 2 de la fiche d'activité n° 1.
Si les élèves travaillent en binômes ou en groupes, les encourager à partager leur compréhension des termes en gras, et à ne faire référence à des travaux antérieurs, à des manuels ou à Internet, seulement si aucun d'entre eux n'est familier avec le terme concerné. Si on travaille avec l'ensemble de la classe, on pourra illustrer la deuxième lecture de la fiche d'information avec des images tirées de l'article *The Carbon Cycle* de l'application Web Climate from Space, en particulier la vidéo de la diapositive n° 4.
2. Demander aux élèves de créer des diagrammes du cycle du carbone. Les élèves peuvent travailler individuellement, en binômes ou en groupe. Ils peuvent utiliser du papier A4, une page entière de leur cahier d'exercices, un logiciel de création/traitement d'images, et éventuellement d'autres supports en fonction du temps et des ressources disponibles.
Les encourager à ne pas faire un diagramme trop serré, afin qu'ils aient la place d'ajouter des informations supplémentaires à l'étape n° 5 de la fiche d'activité.
3. Une fois que les élèves ont ajouté à leur diagramme des informations sur le rôle du méthane dans le cycle du carbone (étapes n° 4 et 5 de la fiche d'activité), on pourra utiliser l'activité "Circulation du carbone" décrite ci-dessous pour évaluer leur compréhension du cycle.

Les réponses aux étapes n° 6 et 7 de la fiche de travail peuvent également être utilisées de cette manière.

4. La section suivante de l'activité est axée sur les mesures à prendre pour réduire les émissions. Commencer par une discussion générale sur le changement climatique. Les élèves pensent-ils être affectés par ce phénomène ? Quelles sont les actions individuelles qu'ils entreprennent ?
5. Les étapes n° 8 à 10 de la fiche d'activité concernent le lobbying en faveur d'une action visant à atténuer le changement climatique au niveau de la société. On pourra préciser la taille de la zone et/ou de la localité à prendre en compte, et le type de personne à qui s'adresser. (Par exemple, au Royaume-Uni, les élèves pourraient envisager de s'adresser aux conseillers municipaux, au sujet d'une action que la ville pourrait entreprendre, ou aux députés s'ils suggèrent une politique nationale).

Les instructions de la fiche d'activité, demandent aux élèves de présenter un argument logique en faveur de l'adoption de leur plan d'atténuation, d'en examiner les faiblesses potentielles, et d'identifier les moyens d'y remédier. Certaines des informations supplémentaires, nécessaires à l'élaboration d'un bon argumentaire (voir les idées dans les réponses de la fiche d'activité, ci-dessous), peuvent être assez techniques ou difficiles à obtenir.

Malgré cela, on pourra souhaiter que les élèves effectuent les recherches supplémentaires nécessaires, et écrivent au(x) représentant(s) approprié(s) avec une proposition, en particulier s'ils travaillent au niveau de la communauté. Si une visite peut être organisée, les élèves peuvent présenter leurs propositions. Dans ce cas, il serait bon que les élèves travaillent en groupes.

Le carbone circulant [activité d'évaluation facultative]

Cette activité doit être réalisée à l'extérieur ou dans une salle ou un gymnase.

L'idée est de travailler en groupe, pour créer des articles montrant comment un seul atome de carbone représenté par une balle, se déplace dans le cycle du carbone. Les élèves représentent des lieux où l'atome est stocké pendant un certain temps.

Au fur et à mesure que les élèves se passent la balle, ils indiquent ce qu'ils représentent, sous quelle forme et/ou à quel endroit ils "détiennent" l'atome de carbone, et par quel processus ils le transmettent. Les élèves peuvent recevoir la balle plusieurs fois, et changer de rôle au fur et à mesure que l' "atome" se déplace dans le cycle, et revient au point de départ. Par exemple :

ÉTUDIANT n° 1 : Je suis un phytoplancton et ce carbone est dans les composés de ma cellule. Je suis mangé par un poisson.
(L'ÉTUDIANT n° 1 lance la balle à l'ÉTUDIANT n° 2).

Je suis un poisson. Je digère le phytoplancton, et le carbone devient une partie d'une molécule de graisse dans mes tissus. Je suis mangé par un oiseau. (L'ÉTUDIANT n° 2 lance la balle à l'ÉTUDIANT n° 3).

ÉTUDIANT n° 3 : Je suis un oiseau. Je digère le poisson et utilise l'énergie stockée dans sa graisse pour respirer. J'expire l'atome de carbone dans l'atmosphère sous forme de dioxyde de carbone. (L'ÉTUDIANT n° 3 lance la balle à l'ÉTUDIANT n° 4).

ÉTUDIANT n° 4 : Je suis l'atmosphère. Cette molécule de dioxyde de carbone est absorbée par une goutte de pluie. (L'ÉTUDIANT n° 4 lance la balle à l'ÉTUDIANT n° 5).

ÉTUDIANT n° 5 : Je suis une goutte de pluie contenant de l'acide carbonique...

La goutte de pluie peut tomber dans l'océan et être absorbée par le phytoplancton, fermant ainsi la boucle, ou emprunter un chemin plus détourné.

1. Demander aux élèves de former des groupes de 4 à 8 personnes. Chaque groupe aura besoin d'une balle ou d'un ballon et devra se tenir en cercle.
2. Démontrer l'idée en aidant un groupe à démarrer l'activité pendant que les autres observent.
3. Donner aux groupes dix à vingt minutes pour trouver la plus longue chaîne possible.
4. Demander à chaque groupe, à tour de rôle, de montrer sa plus longue chaîne. D'autres groupes peuvent simplement profiter de l'histoire, ou être invités à évaluer la compréhension de leurs camarades, et à fournir un retour d'information.

Les chaînes peuvent inclure des sections telles que :

carbone dans un oiseau préhistorique → mort dans une grotte → effondrement de la grotte → corps comprimé avec de nombreux autres corps → atome de carbone maintenant dans le pétrole → pétrole extrait et brûlé dans un moteur de voiture → carbone émis dans l'atmosphère sous forme de CO₂.

carbone dans une feuille → la feuille tombe sur le sol de la forêt → la feuille est décomposée par un champignon → le champignon est mangé par un termite....

Réponses de la fiche d'activité

1. Les définitions données ici ne sont pas complètes mais illustrent le niveau de compréhension du terme dans ce contexte.
 - **Effet de serre** : la lumière du soleil qui traverse l'atmosphère et réchauffe la Terre ; le CO₂ et d'autres gaz présents dans l'atmosphère empêchent cette chaleur d'être réémise vers l'espace.
 - **Photosynthèse** : création de sucres simples à partir de CO₂ et d'eau en présence de lumière.
 - **Respiration** : la décomposition des sucres simples en CO₂ et en eau pour fournir de l'énergie aux êtres vivants.
 - **Décomposition** : désagrègement de la matière organique au fil du temps ; cela peut impliquer une digestion par d'autres organismes ainsi que des processus chimiques.

- **roche sédimentaire** : roche formée par la compression de matériaux tels que le sable ou les restes d'organismes.
 - **roche métamorphique** : roche sédimentaire qui a été transformée par la pression et/ou la chaleur.
 - **combustibles fossiles** : combustibles formés lorsque les restes d'organismes préhistoriques ont été soumis à la chaleur et à la pression ; charbon, pétrole et gaz.
 - **Révolution industrielle** : la croissance rapide de l'industrie manufacturière basée sur l'énergie de la vapeur qui a eu lieu à partir de 1750 environ.
2. Réponses individuelles.
 3. Voir la figure n° 3 à la page n° 8.
 4. Zones humides, bétail, décharges, incendies de forêt, extraction de combustibles fossiles.
 5. Voir la figure n° 3 à la page n° 8.
 6. La quantité de carbone ou de CO₂ qu'une personne ou une communauté rejette dans l'atmosphère - sans compter ce qu'elle expire !
 7. Les élèves peuvent envisager des mesures telles que le reboisement ou le retour à l'état sauvage de certaines zones. Ils peuvent aussi penser à des incitations financières, au développement d'infrastructures pour le transport à émissions faibles ou nulles, à la réduction des déplacements, au chauffage ou à la climatisation des bâtiments publics. Ils peuvent enfin parler du soutien à l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments privés, de la production d'électricité et de l'efficacité énergétique, du traitement des déchets, etc.
 8. Réponses individuelles.
 9. Les données supplémentaires nécessaires pour évaluer la faisabilité d'un plan varient, mais peuvent inclure les coûts de mise en place et les coûts permanents (équipement, terrain, temps). Certains avantages supplémentaires peuvent atténuer les coûts, comme par exemple la différence que le changement va entraîner sur les émissions. Il faudra aussi prendre en compte l'adhésion de la communauté, en particulier si les gens doivent changer leur mode de vie, ou encore le nombre de personnes affectées par le plan (de manière positive et négative). Il peut également y avoir un effet sur l'emploi, etc...
 10. Les sources possibles de ces données supplémentaires varieront également. Les étudiants pourraient suggérer :
 - des bases de données publiques pour les données démographiques et les informations sur les infrastructures,
 - des entreprises technologiques pour les détails sur des dispositifs particuliers,
 - la littérature scientifique pour l'impact en termes d'émissions,
 - des sondages d'opinion et des enquêtes pour évaluer la demande et les réponses possibles, etc...

Activité n° 2 : LES OCÉANS ACIDES

Ces activités pratiques permettent aux élèves d'observer les effets de l'acidification des océans, de faire le lien avec la réaction chimique qui se produit et d'envisager comment ils pourraient en savoir plus en utilisant le même matériel simple. L'utilisation de matériaux de tous les jours rend ces activités appropriées pour l'apprentissage à domicile ou à distance.

Matériel

- Fiche d'activité n° 2 (3 pages)
- 3 bocaux ou béciers par groupe
- 2 bouteilles ou petits bocaux par groupe
- Vinaigre distillé - assez pour remplir les deux petits bocaux et la moitié du premier bécier.
- Jus de citron ou de lime - pour remplir le seconde bécier à moitié
- 4 coquilles d'oeuf par groupe
- 2 ballons par groupe
- Lunettes de protection des yeux
- Chiffons ou serviettes en papier
- Pince à épiler ou forceps

Préparation et notes sur le matériel

Demander aux élèves d'apporter des coquilles d'œufs préalablement nettoyées.

La première partie de l'activité nécessite des béciers (récipients dont l'ouverture est suffisamment large pour permettre l'introduction d'un œuf).

Les petits bocaux, pour la deuxième partie de l'activité, doivent **avoir** un col suffisamment étroit pour qu'on puisse y placer un ballon, mais suffisamment large pour que le ballon y soit bien ajusté. Si nécessaire, on pourra utiliser du ruban adhésif, de la ficelle ou un élastique pour améliorer l'étanchéité.

Remarque : les bouteilles en plastique fines peuvent se dilater et ne sont donc pas adaptées à cette activité.

L'utilisation de jus de citron ou de citron vert en bouteille (celui vendu pour cuisiner) vous fera gagner beaucoup de temps et évitera le gaspillage. Si vous utilisez des fruits frais, filtrez le jus pour enlever la pulpe.

Les coquilles de fruits de mer vendues dans les magasins d'artisanat constituent une alternative plus réaliste que les coquilles d'œuf, mais leur effet sera probablement plus long à se manifester. Si vous les utilisez, vérifiez qu'elles proviennent d'une source de développement durable.

Santé et sécurité

Il faut porter des lunettes de protection pour les yeux, ou équivalent.

Cette activité utilise des denrées alimentaires, il faut donc dire aux élèves de ne rien goûter.

S'assurer qu'il y a du matériel disponible pour intervenir en cas de renversements.

Exercice

1. Expliquez que les océans plus chauds peuvent absorber davantage de CO₂ de l'atmosphère, ce qui les rend plus acides.
Remarque : bien que ce soit le cas pour le moment, les recherches suggèrent qu'un réchauffement continu pourrait réduire la capacité des océans à absorber le CO₂.
2. Nous allons explorer l'effet de l'acidification des océans en utilisant un modèle dans lequel :
 - les coquillages et les coraux sont représentés par des coquilles d'œufs (qui sont faites du même matériau)
 - les bâtons de craie représentent des falaises ou des côtes formées de roches sédimentaires
 - Les acides faibles que l'on peut trouver dans notre cuisine représentent un océan acidifié.
3. Demander aux élèves d'installer leur équipement en suivant les instructions de la fiche d'activité n° 2.1 et de noter leurs premières observations. Ils peuvent noter certains points clés sur la fiche d'activité, prendre des photos et/ou noter des descriptions plus détaillées dans leur cahier d'exercices.
Remarque : Il est important d'étirer au préalable les ballons pour détendre le caoutchouc car le dioxyde de carbone produit ne crée pas autant de surpression que les poumons des élèves.
4. Les intervalles entre les observations n'ont pas besoin d'être exacts, ainsi celles qui ont lieu après une heure peuvent être faites à la fin de la leçon. Si l'on procède ainsi, l'intervalle peut être utilisé pour discuter des questions n° 3, 4 et 5 de la fiche d'activité n° 2.3.
5. Lorsque les élèves ont recueilli leurs résultats, leur demander de répondre aux questions de la fiche d'activité n° 2.3.
Cette fiche peut être utilisée pour l'évaluation ou faire l'objet d'une discussion avec la classe. On pourra également demander aux élèves de répondre à certaines ou à toutes les questions en devoir à la maison.
On pourra aider les élèves les moins rapides à répondre aux questions n° 4 et 5 en leur suggérant les équipements supplémentaires qu'ils pourraient utiliser (voir les réponses de la fiche de travail, ci-dessous).
Si on discute de ce processus en classe, il serait bon de parler également de la boucle de rétroaction positive qui en résulte.
6. On pourra demander aux élèves d'effectuer des recherches supplémentaires sur l'impact de l'acidification des océans sur la vie marine.

Exemples de résultats

Des bulles apparaissent presque immédiatement autour des coquilles d'œufs dans le vinaigre et le jus de citron. Il peut y avoir quelques bulles autour des coquilles d'œuf dans l'eau, mais elles sont probablement dues à l'air emprisonné et se dispersent au cours de l'heure ou des jours suivants (voir la figure n° 5 de la page suivante).

La plupart des craies pour tableau noir, sont du gypse ne contenant que de faibles quantités de carbonate de calcium. Les bulles qui se détachent de la craie, seront sans doute plus petites (voir la figure n° 6 de la page suivante), mais elles seront probablement plus nombreuses, du moins au début.

Au bout d'une heure, les coquilles d'œufs dans les acides peuvent avoir commencé à ramollir ou à présenter des piqûres, en particulier sur les bords, qui peuvent être devenus plus lisses. La réaction avec les craies peut s'être complètement arrêtée si tout le carbonate de calcium accessible a réagi.



Figure n° 5 : coquilles d'œuf dans du vinaigre, du jus de citron et de l'eau, après une heure environ (Source : ESA CCI)

La coquille dans le vinaigre sera complètement dissoute après deux ou trois jours, alors que la coquille dans le jus de citron sera également en bonne voie de disparition (voir figure n° 7).



Figure n° 6 : Bulles plus petites provenant de craies dans du vinaigre, à comparer avec celles provenant de coquilles d'œufs de la figure n° 5. (Source : ESA CCI)



Figure n° 7 : coquilles d'œufs après une journée dans du vinaigre (à gauche) et du jus de citron (à droite) (Source : ESA CCI)

Le ballon situé au-dessus du bocal contenant les craies ne se dilatera certainement pas beaucoup, mais celui situé au-dessus du bocal contenant la coquille d'œuf recueillera probablement une quantité raisonnable de gaz, bien que cela ne fasse pas de différence visible au moins pendant la première heure (voir figure n° 8).

Au fur et à mesure que la réaction entre le vinaigre et la coquille d'œuf ralentit, le volume du ballon peut rester constant, voire même diminuer si le gaz se diffuse à travers le caoutchouc du ballon plus rapidement que la réaction ne dégage de gaz supplémentaire.



Figure n° 8 : Ballons pour la partie 2 de l'activité après plusieurs heures : coquille d'œuf et vinaigre (gauche), craies et vinaigre (droite)
(Source : ESA CCI)

Réponses de la fiche d'activité

1. Faites-le passer dans de l'eau de chaux, qui deviendra trouble si le gaz est du CO₂.
2. a. La coquille des mollusques sera blanchie et deviendra plus fine, ce qui les rendra plus vulnérables.
Le squelette des coraux - la partie que nous considérons comme le corail - se dissoudra.
b. L'altération chimique de la roche s'accélère.
c. Cela va augmenter.
3. $\text{CaCO}_3 + 2\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
4. a. L'approche la plus simple est d'utiliser un morceau de ficelle pour mesurer la circonférence du ballon.
En supposant qu'il a une section circulaire, on peut calculer le rayon et en supposant qu'il s'agit d'une sphère, on peut calculer le volume à partir du rayon.
Selon le ballon utilisé, les élèves peuvent également supposer qu'il s'agit d'un cylindre, ou d'une combinaison de sphère et de cylindre, et proposer de prendre des mesures en conséquence.
b. Cela dépend de la forme du ballon et des hypothèses faites (voir ci-dessus).
Par exemple, pour les ballons illustrés à la figure n° 8, la section horizontale est elliptique plutôt que circulaire, de sorte que le rayon sera probablement plus petit que celui calculé à partir de la circonférence, ce qui entraînera une surestimation.
Cependant, la région gonflée dépasserait au-dessus et au-dessous de la sphère qu'elle est censée remplir, de sorte que le volume réel pourrait être supérieur à celui calculé.
Il est possible que les deux erreurs s'annulent.
5. Éléments qui pourraient être inclus dans les réponses des élèves :
 - Utiliser du vinaigre/acide de différentes dilutions.
 - Mesurer le temps nécessaire pour qu'un volume donné de CO₂ soit libéré, ou pour que le ballon atteigne une certaine circonférence (ce dernier cas est plus risqué car il est possible de manquer le moment clé).
 - Mesurer la circonférence du ballon à intervalles réguliers et comparer ou tracer un graphique.
 - Utiliser une ligne tracée autour du ballon pour s'assurer que la circonférence est toujours mesurée au même endroit.
 - Mesurer le volume d'acide et la masse de coquilles d'œufs utilisés à chaque fois.
 - Les élèves plus doués en mathématiques peuvent suggérer de calculer le taux en divisant le volume par le temps ou en utilisant la pente d'un graphique. Ils peuvent également savoir que même s'ils ne calculent pas les volumes, ils doivent utiliser le cube de toute mesure linéaire pour s'assurer qu'ils considèrent quelque chose de proportionnel au volume.

- Ceux qui sont conscients des facteurs affectant la vitesse d'une réaction peuvent noter la nécessité d'une température constante et d'avoir le solide en morceaux de taille similaire à chaque fois.

Remarque : le vinaigre étant une solution diluée d'un acide faible, les volumes de dioxyde de carbone dégagés sont trop faibles, même en théorie, pour qu'une étude comme celle-ci soit pratique. Cependant, les élèves pourraient utiliser la méthode qu'ils ont conçue comme base d'un travail de laboratoire, utilisant de l'acide chlorhydrique et des copeaux de marbre.

Activité n° 3 : SURVEILLER LE CARBONE DEPUIS L'ESPACE

Dans cette activité, les élèves utilisent l'application Web Climate From Space pour étudier une question sur une partie du cycle du carbone, et préparent une présentation pour expliquer leurs résultats aux autres. Elle peut être réalisée individuellement, en binômes ou par petits groupes. Si les élèves travaillent ensemble et/ou ne sont pas familiers avec l'application Web, il serait utile de faire au moins la première partie de l'exercice en classe, bien que l'activité convienne à un apprentissage en autonomie.

Matériel

- Accès à Internet
- Application web Climate from Space
- Fiche d'activité n° 3 (2 pages, deuxième page facultative)
- Logiciel de présentation comme PowerPoint

Exercice

1. Laisser aux élèves le temps de se familiariser avec l'application web Climate from Space ou faire une démonstration de son utilisation en suivant les instructions figurant dans l'encadré en haut de la fiche d'activité n° 3.1.
La carte de base (océans en gris foncé et terres en gris pâle) montre les endroits où il n'a pas été possible de déterminer de manière fiable la quantité de dioxyde de carbone dans l'air. Cela peut être dû au fait que la couverture nuageuse a empêché le capteur satellite de recueillir suffisamment de données pour être sûr de la mesure.
Lorsque les élèves explorent d'autres variables, ils peuvent également remarquer que les pixels sont de tailles différentes pour différentes quantités. Il y a plusieurs raisons à cela, notamment le fait qu'il faut plus de données brutes pour calculer certaines variables par rapport à d'autres, et que les différents instruments peuvent avoir des résolutions différentes. On trouvera de plus amples informations à ce sujet dans les dossiers pédagogiques "*Taking the Pulse of the Planet*", disponibles sur <https://climate.esa.int/fr/education/climat-pour-les-ecoles/>.
2. Demander aux élèves de faire des recherches sur l'une des questions proposées et de réaliser une courte présentation comme indiqué sur la fiche d'activité n° 3.1.
On pourra attribuer les questions en fonction des capacités des élèves ou des groupes. Bien que la tâche soit ouverte et permette une différenciation selon le résultat, les premières questions peuvent être plus faciles que les dernières, en fonction des connaissances préalables de la classe. La fiche d'activité n° 3.2 fournit un soutien, en suggérant des zones sur lesquelles se concentrer (les élèves peuvent avoir besoin d'utiliser une application cartographique pour localiser ces zones) et, dans certains cas, quelques questions plus détaillées.
3. Si les élèves doivent présenter leurs résultats au reste de la classe, on pourra ajouter une contrainte de temps à la liste des instructions pour la durée de la présentation, et/ou discuter de critères appropriés pour l'évaluation par les pairs.

Réponses de la fiche d'activité

Dans cette activité, l'essentiel est que les élèves fournissent des preuves pour étayer leurs réponses, plutôt que de se contenter d'énoncer le lien évident avec peu de détails à l'appui.

Cependant, dans les grandes lignes :

- La saisonnalité des niveaux de CO₂ est abordée sur la fiche d'information n° 1, et la tendance à long terme d'augmentation des niveaux, apparaît clairement dans le changement de la couleur prédominante des données.
- Les régions de culture du riz, ou les zones sujettes aux incendies, présentent des changements saisonniers évidents dans les niveaux de méthane. Ces données montrent également une nette augmentation annuelle.
- La zone couverte par le pergélisol diminue - ce qui est illustré dans les données par des couleurs plus pâles ainsi que par leur étendue - et cela est en corrélation avec l'augmentation des niveaux de gaz à effet de serre. Inciter les élèves à se demander si cette corrélation montre un lien de causalité, et si oui, dans quelle direction.
- Dans l'ensemble, l'augmentation de la superficie des terres brûlées, est liée à une augmentation des niveaux de carbone atmosphérique, et à une réduction de la biomasse. Elle est également souvent associée à des changements dans la couverture des terres, où la forêt est remplacée par l'agriculture. Les élèves peuvent ou non être en mesure d'en apporter la preuve en fonction des zones qu'ils choisissent d'étudier.

	Déc-Fév	Mars-mai	Juin-août	Sept-Nov
Columbia	<i>Haut</i>	<i>Moyen</i>	<i>Faible</i>	<i>Faible</i>
Brésil	<i>Faible</i>	<i>Faible</i>	<i>Haut</i>	<i>Moyen</i>
Cameroun	<i>Haut</i>	<i>Moyen</i>	<i>Faible</i>	<i>Faible</i>
Zambie	<i>Faible</i>	<i>Faible</i>	<i>Haut</i>	<i>Moyen</i>
Australie du Nord	<i>Faible</i>	<i>Haut</i>	<i>Haut</i>	<i>Moyen</i>

- La remontée d'eaux plus froides peut augmenter l'apport en nutriments et ainsi entraîner une croissance accrue du plancton - ce qui n'est peut-être pas ce que les élèves s'attendent à voir.

L'activité pourrait, d'une part être utilisée pour évaluer les compétences en matière de recherche, et la présentation d'autre part pour les compétences en communication, le tout en tenant compte des critères habituels d'évaluation.

Fiche d'activité n° 1 : LE CYCLE DU CARBONE

1. Lire attentivement la fiche d'information n° 1.
Si l'on n'est pas sûr de la signification d'un des mots ou d'une des phrases en **caractères gras**, se renseigner avant de passer à l'étape suivante.

Vous allez dessiner un diagramme montrant le cycle complet du carbone. Votre diagramme montrera les *sources* et les *puits* de carbone et indiquera les processus qui le font passer par les cycles rapides et lents.

2. Lire la fiche d'information plus attentivement, cette fois-ci à la recherche de détails que vous devrez inclure dans votre diagramme.
On pourra souligner les points clés ou créer un croquis au fur et à mesure de la lecture.
3. Créer votre diagramme.
On pourra changer de couleur ou de style de lettres pour montrer la différence entre les sources et les puits et/ou les processus qui font partie des cycles lents et rapides.

La fiche d'information indique que le *méthane* CH₄, est un autre gaz important à effet de serre. Comme vous pouvez le constater d'après sa formule chimique, le méthane contient également du carbone.

Le sol absorbe une petite quantité de méthane de l'atmosphère, mais la plupart reste dans l'air jusqu'à ce qu'il subisse une réaction chimique qui le transforme en dioxyde de carbone et en eau.

4. Effectuer des recherches pour trouver des sources de méthane.
5. Ajouter des informations sur le méthane à votre diagramme.

La fiche d'information présente quelques actions que les particuliers peuvent entreprendre pour réduire leur **empreinte carbone**.

6. Utiliser ce que vous avez appris sur la fiche pour rédiger votre propre définition de ce terme.
Essayer de ne pas utiliser plus de vingt mots.
7. Choisir une action qui permettrait de réduire l'empreinte carbone de l'ensemble de votre communauté, ville, région ou même pays.
Utiliser votre diagramme du cycle du carbone pour déterminer pourquoi cette action aura un impact.
Réfléchir aux sources, aux puits et aux processus impliqués.

Imaginer avoir l'occasion de vous adresser à un groupe de décideurs qui pourraient mettre en œuvre cette action.

8. Présenter les points que vous souhaitez aborder sous forme de liste de points.

Penser aux questions que les décideurs pourraient poser ou aux objections qu'ils pourraient soulever.

9. De quelles informations supplémentaires aurait-on besoin pour répondre à leurs questions ou à leurs préoccupations ?

10. Comment trouver ces informations ?

Si vous pensez que certaines de ces informations devraient être ajoutées à vos points clés, réécrire votre liste pour montrer où les inclure.

Fiche d'activité n° 2 : OCÉANS ACIDES

Ce dont vous avez besoin

- 3 bocaux ou béciers
- 2 bouteilles ou petits bocaux
- Vinaigre
- Jus de citron ou de lime
- 4 coquilles d'œufs propres
- 2 bâtons de craie
- 2 ballons

Ce qu'il faut faire : Partie 1

1. Remplir à moitié un bécier de vinaigre distillé, un autre de jus de citron et le dernier d'eau.
2. Mettre deux demi-coquilles d'œuf dans chaque bécier.
3. Que se passe-t-il dans chaque bécier ?
On pourra noter certains mots-clés dans le tableau de la fiche d'activité n° 2.2.

On pourra aussi prendre des photos pour étayer les observations.

4. Après au moins une heure, retirer délicatement un morceau de coquille d'œuf de chaque bocal. Comment sont-elles ?
5. Remettre les coquilles d'œuf dans le bon bocal.
6. Répéter vos observations quotidiennement jusqu'à ce que vous ne constatiez plus de changement. Si vous utilisez le tableau de la fiche d'activité n°2.2, il faudra peut-être ajouter des lignes supplémentaires.

Santé et sécurité

- Travailler avec précaution pour éviter les renversements et les éclaboussures.
- Porter des lunettes de protection.
- Si quelque chose entre en contact avec vos yeux, rincez-les immédiatement et abondamment à l'eau froide et propre.
- Ne rien goûter et ne pas se toucher le visage.



(Source : ESA CCI)

Ce qu'il faut faire : Partie 2

Tout mettre en place en même temps que la partie 1. Répartir les tâches entre les membres du groupe afin de pouvoir passer rapidement aux étapes n°3 et 4.

1. Gonfler et dégonfler le ballon plusieurs fois jusqu'à ce qu'il se gonfle facilement.
2. Remplir les petits bocaux presque jusqu'en haut avec du vinaigre.
3. Mettre une coquille d'œuf dans le premier bocal de vinaigre et deux bâtons de craie dans le second.
S'ils sont trop gros, les casser en morceaux de taille à peu près identique, et mettre tous les morceaux en même temps dans le vinaigre.

4. Fixer le ballon au goulot de chaque petit bocal. Vous devrez peut-être utiliser du ruban adhésif, de la ficelle ou un élastique pour assurer une bonne étanchéité.



(Source : ESA CCI)

5. Noter ce qui arrive aux ballons après environ une heure, puis à intervalles quotidiens. Là encore, on pourra prendre des photos pour étayer les observations.

Résultats

	Conteneur ouvert, coquille d'œuf			Fermé par un ballon, vinaigre	
	Eau	Jus de citron	Vinaigre	Coquille d'œuf	Craies
Premières observations					
Après 1 heure					
Après 1 jour					
Après 2 jours					

Analyser les résultats

1. Comment peut-on montrer que le gaz émis dans cette réaction est du dioxyde de carbone ?

2. Si les océans deviennent plus acides, qu'est-ce que vos résultats suggèrent qu'il arrivera :

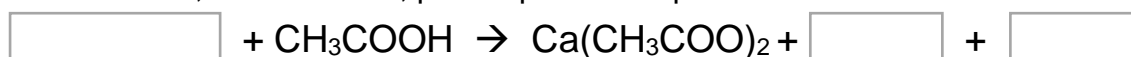
a. aux mollusques marins et aux récifs coralliens ? _____

b. aux côtes formées de calcaires et de roches similaires ? _____

c. à la vitesse à laquelle le dioxyde de carbone est ajouté à l'atmosphère ? _____

L'acide contenu dans le vinaigre est de l'acide éthanóique (acétique) CH_3COOH , et le composé des coquillages qui réagit avec l'acide est le carbonate de calcium. La réaction produit de l'éthanoate (acétate) de calcium, de l'eau et du dioxyde de carbone.

3. Complétez l'équation de la réaction en ajoutant :
- les formules du carbonate de calcium, du dioxyde de carbone et de l'eau dans les cases
 - les chiffres, si nécessaire, pour équilibrer l'équation.



4. Réfléchir à la façon dont on pourra utiliser le ballon pour estimer la quantité de dioxyde de carbone dégagée par la coquille d'œuf.

a. Expliquer ce qu'il faudrait mesurer, comment, et les calculs à effectuer.

b. Quelles hypothèses avez-vous faites dans ce calcul ?

Pour chacune d'entre elles, estimer si cela signifie que votre réponse risque d'être trop grande ou trop petite.

5. Comment pourrait-on utiliser les idées de cette activité pour étudier comment le taux de dégagement de dioxyde de carbone varie avec la concentration d'acide ?
Echanger vos idées avec un partenaire ou votre groupe.
Lorsque vous aurez une méthode, rédiger une liste du matériel et des produits chimiques nécessaires, ainsi que les instructions étape par étape, montrant comment vous vous assurerez de réaliser un test pertinent.

Fiche d'activité n° 3 : Surveiller le carbone depuis l'espace

Ouvrir l'application web Climate from Space (cfs.climate.esa.int).

Cliquer sur le symbole « Couches de données » (en haut à droite) et choisir le « Dioxyde de carbone (CO₂) ».

Relire l'animation plusieurs fois pour vérifier que vous comprenez comment les commandes à l'écran vous aident à regarder de plus près des endroits ou des moments particuliers.

Cliquer à nouveau sur le symbole « Couches de données », faire défiler jusqu'à « Méthane (CH₄) » et cliquer cette fois sur COMPARER. (Utiliser si nécessaire la croix à côté de « Couches de données afin de masquer le menu et afficher correctement les deux globes de la comparaison).

Vérifier que vous comprenez comment utiliser les commandes en bas à droite de l'écran pour passer de l'affichage de la carte à celui du globe et pour télécharger ce qui est à l'écran.

1. Maintenant que vous savez comment utiliser l'application web Climate from Space, utilisez-la pour étudier une ou plusieurs des questions sur le cycle du carbone énumérées ci-dessous. Vous pouvez étudier une autre question de votre choix sur le cycle du carbone avec l'accord de votre professeur.
2. Utilisez ce que vous avez appris dans ce sujet, ainsi que les informations provenant d'autres ressources en ligne, pour vous aider à expliquer les modèles, les tendances, et les relations que vous avez identifiés dans les données présentées dans « Climate from Space ».
3. Produire une courte présentation de quatre diapositives au maximum pour résumer ce que vous avez découvert et comment. Vos diapositives doivent :
 - inclure au moins trois images pertinentes de la section « Climate from Space » pour argumenter votre réponse à la question
 - ne pas avoir plus de quatre images sur chaque diapositive
 - ne pas avoir plus de 100 mots sur chaque diapositive - en incluant les étiquettes sur les diagrammes.

Les questions

1. Quels modèles et tendances ressortent des mesures du dioxyde de carbone ?
2. Quels modèles et tendances se dégagent des mesures du méthane ?
3. Quelle relation existe-t-il, le cas échéant, entre la concentration de pergélisol et les niveaux de dioxyde de carbone et/ou de méthane ?
4. Comment les niveaux de dioxyde de carbone et de méthane dans l'atmosphère sont-ils liés aux incendies ?
5. Quels effets les incendies ont-ils sur la couverture terrestre à court et à long terme ?
6. Quels effets les incendies ont-ils sur les niveaux de biomasse à court et à long terme ?

7. Comment le phytoplancton réagit-il aux changements de température à la surface des eaux ?

Quelques suggestions pour vous aider à démarrer

Questions n° 1 et 2

On pourra comparer deux endroits, un dans chaque hémisphère (comme Paris et Johannesburg).

Rechercher les cycles saisonniers en avançant lentement sur quelques années.

Quand les niveaux de chaque gaz atteignent-ils leur maximum à chaque endroit ?

Quelle est la tendance sur la période couverte par les données ?

Si vous étudiez la question n° 2, vous pouvez également revenir sur ce que vous avez appris sur les sources de méthane dans l'activité n° 1.

Question n° 3

Le pergélisol est un sol qui reste gelé toute l'année.

On pourra se concentrer sur une région telle que la péninsule de Yamal où, ces dernières années, d'énormes trous se sont ouverts dans un sol auparavant gelé.

Rechercher les cycles saisonniers.

Questions n° 4-6

On pourra commencer par remplir un tableau comme celui-ci pour montrer les niveaux d'activité du feu dans une série d'endroits à différentes périodes de l'année.

	Déc-Fév	Mars-Mai	Juin-Août	Sept-Nov
Columbia	<i>Haut</i>			
Brésil				
Cameroun				
Zambie				
Australie du Nord				<i>Moyen</i>

Vous pouvez utiliser un tableau similaire pour vous aider à étudier l'autre variable qui vous intéresse, puis comparer les deux tableaux.

Question n° 7

La série de données sur la couleur des océans indique la concentration de chlorophylle et donne donc une idée du nombre de phytoplanctons.

La côte Pacifique de l'Amérique est un bon point de départ : regarder les endroits situés de part et d'autre de l'équateur.

Les effets sont-ils immédiats ou y a-t-il un décalage dans le temps ?

Fiche d'information 1 : LE CYCLE DU CARBONE

Ces dernières années, les organismes d'information ont signalé de plus en plus fréquemment des températures record. Des étés plus chauds et des hivers plus doux deviennent courants dans de nombreux pays d'Europe, et en 2020, le Met Office britannique a déclaré à la BBC, que d'ici 2040, la plupart des habitants d'Angleterre ne verraient plus la neige en hiver.

Nous savons déjà que les activités humaines contribuent au réchauffement de la planète en augmentant la quantité de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère, et en accentuant l'**effet de serre**. Les scientifiques préviennent que si cette tendance se poursuit, elle aura de nombreuses conséquences négatives pour les humains, les économies et la nature. De nombreuses personnes ont donc commencé à faire des changements pour réduire leur *empreinte carbone*. Elles évitent peut-être de prendre l'avion, utilisent moins leur voiture, réfléchissent à l'impact des aliments qu'elles consomment ou évitent les produits fabriqués en détruisant les forêts tropicales.

Mais qu'est-ce que ces choses ont à voir avec le CO₂ dans l'atmosphère ?

Le mouvement du carbone - sous forme de CO₂ et d'autres composés - entre l'atmosphère, la terre et l'eau, est en équilibre délicat. Le cycle du carbone décrit comment le carbone se déplace entre les *puits* (lieux qui retiennent le carbone, empêchant ou retardant sa libération dans l'atmosphère) et les *sources* (qui génèrent ou libèrent des gaz contenant du carbone dans l'air).

Le cycle rapide du carbone

Les plantes absorbent le CO₂ de l'air pendant la **photosynthèse**, le stockent dans leurs tissus pendant leur croissance et en restituent une partie à l'air par la **respiration** et à leur mort. Les arbres à feuilles caduques absorbent beaucoup plus de CO₂ lorsque de nouvelles feuilles poussent chaque printemps. Mais à l'automne, la photosynthèse s'arrête et la **décomposition** des feuilles mortes renvoie du CO₂ dans l'atmosphère. Bien sûr, alors que c'est le printemps dans l'hémisphère nord, c'est l'automne dans l'hémisphère sud. Ces changements saisonniers s'annulent-ils si l'on considère la Terre dans son ensemble ? Malheureusement, non. Non seulement il y a plus de terres dans l'hémisphère nord, mais de grandes parties de celles-ci - principalement en Sibérie et au Canada - sont couvertes de forêts. Par



Une partie de la forêt tropicale de Bornéo est défrichée pour faire pousser des palmiers à huile, ce qui réduit la couverture forestière et libère le carbone stocké. L'huile de palme est utilisée dans des produits allant du savon aux biscuits.

(Source : contient des données Copernicus Sentinel modifiées (2019), traitées par l'ESA).

conséquent, les niveaux de CO₂ mondiaux atteignent leur maximum en mai.

Bien entendu, les plantes peuvent également être mangées par des animaux. Dans ce cas, le carbone stocké dans les tissus végétaux est libéré lorsque l'animal respire ou lorsqu'il meurt à son tour et que son corps se décompose.

Il peut s'écouler un peu plus de temps avant que le CO₂ ne retourne dans l'atmosphère, mais l'ensemble du processus se déroule sur des mois ou des années et est généralement appelé le cycle rapide du carbone.

Le cycle lent du carbone

En revanche, un atome de carbone peut mettre des centaines de milliers - voire des millions - d'années à parcourir le cycle lent du carbone.

La surface de l'océan absorbe le CO₂ et, bien qu'une partie soit rapidement relâchée dans l'atmosphère, une autre partie est mélangée aux eaux profondes où elle reste dissoute pendant des siècles. Le carbone atteint également l'océan par le biais du cycle de l'eau : l'eau de pluie absorbe le CO₂, ce qui la rend légèrement acide. Cet acide faible réagit avec les roches et les sols, les décomposant et formant de nouveaux composés qui peuvent éventuellement être rejetés dans la mer.

Les organismes océaniques, notamment le phytoplancton et les coraux, absorbent du carbone au cours de leur croissance. Lorsqu'ils meurent, leur corps tombe au fond de la mer et le carbone contenu dans leur coquille ou leur squelette est enfermé dans la **roche sédimentaire**, la plus grande réserve de carbone de la Terre. Ce carbone ne retourne dans l'atmosphère, que lorsque les matériaux du fond de l'océan passent par le cycle des roches : certains des processus qui conduisent à la production de **roches métamorphiques**, à l'épandage des fonds marins, et aux volcans, libèrent tous du CO₂.

Le carbone est retiré du cycle rapide et fait partie du cycle lent lorsque les restes de plantes et d'animaux ne peuvent pas se décomposer complètement, mais s'accumulent et se transforment au fil du temps en tourbe, en schistes et en **combustibles fossiles**.

La combustion de combustibles fossiles libère du CO₂ dans l'atmosphère, contournant ainsi une partie du cycle lent du carbone. La déforestation réduit la capacité de la Terre à absorber et à stocker le carbone - et si la matière végétale est brûlée ou laissée à l'abandon, le carbone qu'elle stocke est renvoyé dans le cycle rapide plus tôt qu'il ne le serait autrement. Bien qu'une partie de l'excès de CO₂ ait été absorbée par la terre et les océans, le reste s'est accumulé dans l'atmosphère, entraînant une augmentation de 30 % du CO₂ dans l'atmosphère au cours des 150 dernières années.

Créer un équilibre

Les actions individuelles évoquées dans le premier paragraphe peuvent contribuer à réduire la vitesse à laquelle nous ajoutons du carbone dans l'atmosphère. De nombreuses communautés visent le *zéro carbone net*, en s'assurant qu'elles n'ajoutent pas plus de carbone dans l'atmosphère qu'elles n'en retirent. Cependant,

ce gaz persiste longtemps dans l'atmosphère et des actions supplémentaires seront nécessaires pour retrouver les niveaux qui existaient avant la **révolution industrielle**.

Les données recueillies par les satellites nous permettent de suivre le cycle du carbone à travers le globe. Les capteurs satellites mesurent la concentration de CO₂ (et de *méthane* CH₄, un autre gaz à effet de serre important) dans l'atmosphère. La surveillance de la couverture terrestre, et l'estimation de la biomasse depuis l'espace, nous permettent de déterminer la quantité de carbone stockée dans la végétation terrestre. L'étude de la couleur de l'océan, peut donner une idée de la quantité de carbone absorbée par le phytoplancton.

Les climatologues utilisent ces informations pour créer des modèles numériques. Ces modèles expliquent comment le climat a évolué dans le passé, et peuvent être utilisés pour prévoir ce qui pourrait se produire dans un avenir plus ou moins proche. Les décideurs peuvent ensuite utiliser ces modèles, pour déterminer comment gérer nos activités en tant que société, afin de rétablir l'équilibre du cycle du carbone.

Liens

Ressources

Application web Climate from Space

<https://cfs.climate.esa.int>

Climat pour les écoles

<https://climate.esa.int/fr/education/climat-pour-les-ecoles/>

Enseigner avec l'espace

http://www.esa.int/Education/Teachers_Corner/Teach_with_space3

Animation du cycle du carbone

http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2018/02/Carbon_Cycle

Le carbone et les océans (animation)

[https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2017/12/Carbon_dioxide_ocean_atmosphere_exchange/\(lang\)](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2017/12/Carbon_dioxide_ocean_atmosphere_exchange/(lang))

Projets spatiaux de l'ESA

Bureau du climat de l'ESA

<https://climate.esa.int/>

De l'espace pour notre climat

http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate

Les missions d'observation de la Terre de l'ESA

www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/ESA_for_Earth

Explorateurs de la Terre

http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Earth_Explorers

Sentinelles de Copernic

https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview4

Autres sources

Vidéo de l'espace pour le climat

https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate

Climat et permafrost

<https://climate.esa.int/projects/permafrost/news/picturing-permafrost-arctic/>

Autres vidéos de la Terre vue de l'espace

http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Sets/Earth_from_Space_programme

ESA Kids

https://www.esa.int/kids/en/learn/Earth/Climate_change/Climate_change