

INTRODUCTION : CHOIX PÉDAGOGIQUES

D'après le B.O. les notions développées dans ce chapitre ne sont pas nouvelles, elles ont été construites au cycle 4 et en seconde. L'objectif de l'année de première est de les remobiliser afin de construire une vision complète de la conversion et de la circulation de l'énergie dans un écosystème.

Ce chapitre offre donc une bonne opportunité de travailler des compétences variées autour de notions connues à remobiliser. En utilisant Google Earth et les données brutes de l'expédition TARA étudiant le plancton, l'unité 1 permet d'étudier la synthèse de matière organique par photosynthèse à l'échelle planétaire. En présentant comment un végétal convertit l'énergie solaire en énergie chimique, l'unité 2 permet de travailler la démarche scientifique à travers l'expérience historique d'Engelman. L'unité 3 s'intéresse au devenir des molécules organiques issues de la photosynthèse. Cette unité permet un travail en pédagogie différenciée en proposant deux méthodes de résolution de la tâche complexe. La réponse au problème peut en effet être obtenue de manière calculatoire ou en exploitant/commentant certains documents de l'unité. Cela permet de prendre en compte l'hétérogénéité d'une classe de première dont seulement une partie des élèves ont un profil scientifique. Enfin, l'unité 4 présente la formation et les propriétés des combustibles fossiles, sous forme d'une tâche complexe.

POUR COMMENCER

- 1. → a.
- 2. → c.

UNITÉ 1

Activité guidée

1. Sur les continents on observe des écosystèmes très productifs comme les forêts tropicales avec une productivité primaire de 1600 g_C/m²/an, des écosystèmes peu productifs comme les déserts avec seulement 3 g_C/m²/an de productivité primaire et des écosystèmes de productivité primaire moyenne comme les forêts tempérées avec 1 200 g_C/m²/an.

On peut mettre en lien les différences de productivité primaire de ces écosystèmes avec une inégale répartition de l'énergie solaire arrivant sur Terre (doc 2 ou carte Google Earth) mais aussi de l'inégale répartition de la quantité d'eau disponible (carte de pluviométrie Google Earth).

2. Calcul du pourcentage de l'énergie solaire utilisée dans la photosynthèse :

$$\frac{\text{Quantité d'énergie solaire utilisée par les végétaux}}{\text{Quantité d'énergie solaire totale}} = \frac{0,340}{340} = 0,001 = 0,1 \%$$

3. D'après le doc 4, on remarque dans les analyses de la mission TARA que la concentration en chlorophylle augmente dans des eaux où les éléments phosphates, nitrites et nitrates sont concentrés. La quantité de chlorophylle étant proportionnelle aux organismes unicellulaires photosynthétiques, on peut faire l'hypothèse que la productivité primaire des écosystèmes marins dépend de la quantité de minéraux (en particulier P et N) présents dans l'eau.

L'observation du doc 5 présente le cas des zones d'upwelling, zones de très fortes productivités primaires (environ 7 t_C/ha/an contre une moyenne de 2 t_C/ha/an) que l'on met en lien avec un apport important de minéraux par remontée de courants et par les embouchures des fleuves.

4. - Calcul de la surface de la Terre :

Formule de la surface d'une sphère : 4πR²

Application à la Terre avec R= 6 371 km

Surface Terre totale = 5,1 · 10⁸ km²

- Calcul de la surface des océans (71 % de la surface totale)

$$5,1 \cdot 10^8 \times 0,71 = 3,6 \cdot 10^8 \text{ km}^2$$

Or 1 km² = 100 ha donc Surface des océans = 3,6 · 10¹⁰ ha.

On en déduit :

$$\text{Surface des continents} = 5,1 \cdot 10^{10} - 3,6 \cdot 10^{10} = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ ha.}$$

- Calcul de la quantité de matière organique produite en un an :

Quantité matière totale produite en un an =

$$\text{productivité moyenne} \times \text{surface} \times 1.$$

Océans	$25 \cdot 10^9 \times 3,6 \cdot 10^{10} \times 1 = 9 \cdot 10^{20} \text{ t}_C \cdot \text{an}^{-1}$
Continents	$53 \cdot 10^9 \times 1,5 \cdot 10^{10} \times 1 = 7,9 \cdot 10^{20} \text{ t}_C \cdot \text{an}^{-1}$

On remarque que les océans produisent plus de biomasse que les continents en un an.

En convertissant le total de la production des océans et continents par an en total par minute, on trouve :

$$\frac{16,7 \cdot 10^{20}}{525\,600} = 3,18 \cdot 10^{15} \text{ t}_C \cdot \text{min}^{-1}.$$

UNITÉ 2

Activité guidée

1. Principe de l'expérience d'Engelman : Mettre en contact des bactéries sensibles au dioxygène et un filament d'algue composé de cellules photosynthétique éclairé par différentes longueur d'onde de la lumière blanche.

Résultat : Observation d'une répartition non aléatoire des bactéries qui se regroupent vers les cellules éclairées par les longueurs d'ondes rouge (680 nm) et bleu (500 nm).

Interprétation : Les bactéries sont attirées par le dioxygène produit par les cellules éclairées par le rouge et le bleu. Cette production est le résultat de la réaction de photosynthèse qui n'utilise donc que certaines longueurs d'onde pour se réaliser (500 et 680 nm), on parle de spectre d'action de la photosynthèse.

2. Les données actuelles indiquent un pic d'activité photosynthétique pour des longueurs d'onde de 450/500 nm et 680 nm, cela correspond au spectre d'action photosynthétique mis en évidence par l'expérience d'Engelman.

Remarque : d'après l'expérience d'Engelman, la radiation bleue semble beaucoup moins efficace que la rouge, cette différence est beaucoup moins grande dans les données actuelles. La méthode indirecte utilisée par Engelman semble donc moins précise.

3. D'après le doc 5, les pigments chlorophylliens présentent deux pics d'absorption : 450/500 nm (bleu) et 680 nm (rouge). Ce spectre d'absorption se superpose donc parfaitement au spectre

d'action de la photosynthèse. On peut en conclure que ce sont bien les pigments chlorophylliens qui captent l'énergie lumineuse utilisée dans la réaction de photosynthèse.

4. D'après le schéma on peut poser l'égalité suivante :

$$\begin{aligned} \% \text{ Énergie solaire incidente} = & \\ & \% \text{ Énergie réfléchie} \\ & + \% \text{ Énergie transmise} \\ & + \% \text{ Énergie utilisée pour la photosynthèse} \\ & + \% \text{ Énergie dissipée} \end{aligned}$$

Donc % Énergie utilisée pour la photosynthèse = $100 - (20 + 10 + 69) = 1 \%$.

5. Éléments du schéma attendus :

- Représentation : feuille, cellule, pigment chlorophylliens ;
- Flèches montrant le devenir de l'énergie incidente avec les pourcentages ;
- Radiations bleue et rouge arrivant sur les pigments ;
- Réaction bilan de la photosynthèse.

UNITÉ 3

Méthode 1

Document	Critère de réussite	Indicateur dans le contexte
Doc 1	Complétude: tous les éléments sont présents	La matière organique des grains de blé peut subir une transformation en présence de dioxygène qui va libérer de l'énergie thermique provoquant l'explosion.
Doc 3		La matière organique est dégradée/ transformée par deux réactions chimiques dans les cellules : Respiration en présence d'O ₂ Fermentation en l'absence d'O ₂ Cela libère de l'énergie chimique.
Doc 3		La matière organique végétale consommée par un autre organisme va être dégradée dans les cellules de ce dernier. L'énergie extraite permettra à cet organisme de fabriquer sa propre matière et énergie.
Mise en relation	Pertinence: qui répond à la question posée	La matière organique végétale stocke de l'énergie dans ses molécules. Les molécules organiques de la photosynthèse sont consommées et transformées pour former les molécules organiques animales (qui seront à leur tour dégradées...) Il y a donc circulation de la matière et de l'énergie au sein d'un écosystème. Ce transfert au sein des réseaux alimentaires s'accompagne de pertes d'énergie.

Méthode 2

Doc 2	<p>Précision: utilisation unité de valeur, valeurs données</p> <p>Exactitude: résultats corrects</p> <p>Esprit critique: prise en compte des pertes thermiques / matières</p>	<p>Température initiale : 20,2°C Température finale : 32,8 °C</p> <p>Par le calcul on obtient : Q = 13kJ. Si l'on ramène à 100g d'huile car ici 0.5mL d'huile = 0,45g, on obtient : $\frac{13}{0,45} \times 100 = 2\,890 \text{ kJ}$.</p> <p>Prise en compte des pertes thermiques : $100 - 65 = 35 \%$</p> <p>Énergie pour 100 g = 2 890 + (0,35 × 2 890) = 3 901 kJ</p>
Doc 4		<p>Coût énergétique d'un herbivore = $\left(\frac{\text{Quantité matière herbivore}}{\text{Quantité matière végétale}} \right) \times 100$ = 0,3%</p> <p>Coût énergétique d'un carnivore = $\left(\frac{\text{Quantité matière carnivore}}{\text{Quantité matière herbivore}} \right) \times 100$ = 10 %</p> <p>Interprétation des résultats : le % représente le rendement lors du passage d'un étage à un autre du réseau alimentaire. Le rendement étant faible, il y a une perte importante lors des réactions métaboliques.</p>
Mise en relation		Idem méthode 1

UNITÉ 4

Les arguments en faveur d'une origine végétale :

Doc 1 : On retrouve des fossiles d'anciennes espèces d'arbre dans des gisements de charbon. Le charbon serait de la matière organique végétale transformée en roche.

Doc 2 : Deux hypothèses ont été avancées historiquement sur l'origine du pétrole.

Hypothèse 1 : Origine chimique, condensation de gaz issus des profondeurs de la Terre

Hypothèse 2 : Origine biologique, transformation de la résine d'arbre.

Doc 3 : On retrouve dans le pétrole une molécule en cycle ressemblant à la structure des quatre noyaux pyroles de la chlorophylle. Cette similitude pourrait s'expliquer en faisant l'hypothèse que la chlorophylle soit transformée avec le temps en molécule de porphyrine. Cela va dans le sens de l'hypothèse biologique.

Les arguments en faveur d'une énergie captée « il y a plus de 100 millions d'années » :

Doc 4 : par comparaison à la composition des molécules organiques, le charbon et le pétrole sont très concentrés en carbone et moins concentrés dans les autres éléments chimiques constitutifs comme l'oxygène.

Doc 5 : Les combustibles fossiles sont 1,5 à 2 fois plus concentrés en énergie que la matière organique végétale.

Doc 6 : Pour former du charbon il faut que plusieurs conditions soient réunies en même temps. Tout d'abord la productivité primaire doit être très importante et la matière organique ainsi formée doit en partie échapper à la dégradation pour sédimenter au sol. Ensuite ces deux conditions doivent se maintenir sur

plusieurs dizaine de millions d'années pour permettre la transformation en charbon ou pétrole par élévation de la température et action de certaines bactéries.

Doc 7 : La transformation de la matière organique végétale en combustibles fossiles est un processus qui compacte la matière (23 tonnes de matière pour 1 litre de pétrole) et qui se déroule sur un temps long (dizaine de milliers d'années).

Éléments de critique de la citation :

« Ces flammes, c'est encore du végétal... » : l'affirmation ne fait pas référence au processus de transformation de la matière végétale en combustibles fossiles.

Tester ses savoirs

1 Vrai/faux

- Faux, les écosystèmes marins ayant la plus forte productivité primaire sont notamment situés au niveau des zones d'upwelling (où des eaux profondes chargées en sels minéraux remontent à la surface) et de l'embouchure des fleuves (qui apportent à l'océan les sels minéraux qu'ils ont transportés au long de leur trajet continental).
- Vrai.
- Faux, la chlorophylle capte surtout les radiations de la lumière visible situées dans des longueurs d'onde correspondant au bleu et au rouge.
- Faux, l'origine biologique des combustibles fossiles est aujourd'hui clairement établie.
- Faux, les organismes unicellulaires du phytoplancton sont responsables de la majeure partie de la production primaire en milieu océanique.

2 Légèrer un schéma

- Énergie dissipée.
- Énergie utilisée pour la photosynthèse.
- Énergie transmise à travers la feuille.
- Énergie réfléchie.

3 QCM

- Faux, elle dépend aussi, par exemple, de la quantité de matière minérale disponible.
 - Faux.
 - Vrai.
- Faux, la photosynthèse utilise 1 % de l'énergie solaire incidente.
 - Faux, la photosynthèse utilise l'énergie solaire et des molécules minérales pour produire des molécules organiques.
 - Vrai.
- Vrai.
 - Faux, les combustibles fossiles sont issus de la matière organique d'être vivants chlorophylliens ayant échappé à la décomposition après leur mort.
 - Faux.
- Faux, les pigments chlorophylliens absorbent dans les longueurs d'onde du visible.
 - Vrai.
 - Faux, les pigments chlorophylliens absorbent dans les longueurs d'onde correspondant à différentes couleurs.

4 Question de synthèse

– Paragraphe 1 : comment les végétaux captent-ils et transfor-

ment-ils l'énergie solaire ?

À l'échelle de la planète, 0,1% de l'énergie solaire est absorbée par les organismes chlorophylliens des écosystèmes. Cette énergie est utilisée pour produire de la biomasse.

À l'échelle du végétal, cette conversion d'énergie solaire en biomasse est rendue possible par la réaction de photosynthèse. Ces sont les pigments chlorophylliens qui, en absorbant les radiations rouges et bleues de la lumière vont capter l'énergie nécessaire à cette réaction.

– Paragraphe 2 : comment l'énergie chimique circule-t-elle dans l'écosystème ?

Dans l'écosystème, la biomasse végétale va être consommée par d'autres êtres vivants, cela forme un réseau alimentaire. Une fois consommée, la biomasse va être transformée par des réactions du métabolisme comme la respiration ou la fermentation. Ces réactions libèrent l'énergie chimique qui sera utilisée par le consommateur pour produire sa propre biomasse ou assurer une autre fonction vitale.

Parfois une petite fraction de la biomasse végétale échappe à la consommation ou à la dégradation et sédimente dans le sol. Elle va alors subir des lentes transformations qui concentreront l'énergie dans un composé appelé combustible fossile.

Objectif BAC

5 Calculer

Cet exercice peut être l'occasion d'utiliser un tableur.

Pays	Consommation d'énergie (Mtep)	Consommation d'énergie liée au pétrole (Mtep)	Consommation d'énergie liée au pétrole (MJ)	Consommation en litres de pétrole	Consommation en tonnes de MO fossile
Chine	1 970	1 576	$6,62 \times 10^{13}$	$1,97 \times 10^{12}$	$4,53 \times 10^{13}$
États-Unis	1 515	1 212	$5,09 \times 10^{13}$	$1,52 \times 10^{12}$	$3,48 \times 10^{13}$
Inde	573	458,4	$1,93 \times 10^{13}$	$5,73 \times 10^{12}$	$1,32 \times 10^{13}$
Russie	470	376	$1,58 \times 10^{13}$	$4,70 \times 10^{12}$	$1,08 \times 10^{13}$
Japon	294	235,2	$9,88 \times 10^{12}$	$2,94 \times 10^{11}$	$6,76 \times 10^{12}$
TOTAL	4822	3857,6	$1,62 \times 10^{14}$	$4,82 \times 10^{12}$	$1,11 \times 10^{14}$

6 Exploiter un document et raisonner

1. Le ballon à col de cygne utilisé par Pasteur permet d'isoler la solution de levure de l'atmosphère et ainsi de contrôler la quantité de dioxygène au contact de cette solution.

2. Les résultats de l'expérience 1 montrent un fort rendement de 250 mg de levures par g de glucose consommé contre un rendement moyen pour l'expérience 2 (40 mg de levures/g de glucose consommé, soit un peu plus de 6 fois moins que dans l'expérience 1) et un rendement très faible de l'expérience 3 avec seulement 5,7 mg de levures/g de glucose (plus de 40 fois moins que dans l'expérience 1).

3. D'après les conditions expérimentales, c'est la quantité de dioxygène disponible pour les levures qui varie, le rendement énergétique serait donc en lien avec la présence/absence de dioxygène.

Expérience 1 : Réaction de respiration

Consommation de dioxygène, fort rendement

Expérience 3 : Réaction de fermentation

Pas de consommation de dioxygène, production d'éthanol, faible rendement

Expérience 2 : Les deux réactions ont lieu car le rendement est supérieur à l'expérience 3 mais il y a également production d'éthanol.

7 Raisonner, rédiger

D'après le texte du document, l'eau de l'océan réchauffée par El Niño empêche la remontée des eaux froides et riches en minéraux. Cela va diminuer la productivité primaire de cet écosystème marin car les minéraux sont nécessaires à la photosynthèse. Or cette biomasse représentée par le plancton constitue la nourriture des poissons qui à leur tour seront moins nombreux.

8 Analyser et mettre en relation des documents

Analyse des documents

Doc 1 : En observant le spectre d'absorption de différents pigments qui représente les longueurs d'onde captées, on remarque que la majorité de ces pigments absorbent dans le bleu (400/500 nm) et dans le rouge (650 nm). C'est le cas des chlorophylles a et b et des carotènes. Par contre la phycoérythrine absorbe dans le vert (550 nm).

Doc 2 : Toutes les longueurs d'onde de la lumière blanche ne disparaissent pas à la même profondeur dans l'océan. On observe que le rouge disparaît vers 10 m de profondeur, le bleu au environ de 15 m de profondeur alors que le vert ne disparaît qu'à partir de 30 m.

Doc 3 : Les algues vertes et rouges ne possèdent pas les mêmes pigments. Les algues vertes ont de la chlorophylle a et b ainsi que des carotènes alors que les algues rouges possèdent de la chlorophylle a et du carotène mais aussi de la phycoérythrine.

Mise en relation des docs : Du fait de leur combinaison pigmentaire différente, les algues rouges et vertes ne se répartissent pas à la même profondeur dans l'océan. Ces algues photosynthétiques ayant besoin d'énergie lumineuse pour réaliser la photosynthèse, elles doivent se trouver à une profondeur qui permet à leur pigment de capter cette énergie selon leur spectre d'absorption. Les algues rouges possèdent un pigment particulier, la phycoérythrine qui absorbe dans le vert, or cette longueur d'onde est la seule à se propager en profondeur jusqu'à 30 m dans l'océan (les autres longueurs d'onde disparaissant en 10 et 15 m). C'est donc grâce à la présence de ce pigment qu'on trouve des algues rouges en profondeur.

ÇA VOUS CONCERNE

- La production de biocarburant par photosynthèse

Pistes de réflexion :

<https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/microalgues>

https://www.coriolis.polytechnique.fr/Confs/Bernard_conf.pdf

https://www.college-de-france.fr/media/marc-fontecave/UPL2110614224575336512_peltier7avril.pdf

- 8 photons sont nécessaires pour fixer 1 CO₂
- 1 mole de CO₂ assimilée : 475 KJ (PCI) – énergie moyenne
- 1 mole de photons : 217 KJ – énergie moyenne
- Taux maximum de conversion de photons captables pour la photosynthèse : $475 \text{ KJ} / (8 \times 217 \text{ KJ}) = 27 \%$
- PAR (Photosynthetic Active Radiation) : ~ 45 % de l'énergie solaire

→ Conversion photosynthétique maximale : $27 \% \times 45 \% = 12 \%$

- Des écosystèmes indépendants de l'énergie solaire

Pistes de réflexion :

<https://www.encyclopedie-environnement.org/zoom/lecosysteme-sources-hydrothermales-abyssales-fumeurs-noirs/>

À la base de ces écosystèmes se trouvent des communautés de micro-organismes thermophiles diverses, (domaine des bactéries et des archées) aux propriétés sulfo-oxydantes (oxydation de H₂S produits par les fumeurs noirs). Ex : *Pyrococcus abyssi*, *Pyrococcus furiosus*.

Ces micro-organismes sont à la base de réseaux alimentaires permettant le développement de communautés animales : des colonies de palourde mesurant près de 30 centimètres (*Calypotogena magnifica* et *Bathymodiolus thermophilus*) cohabitent avec des crabes blancs, des crevettes (*Rimicaris exoculata*) et des vers pouvant atteindre 2 mètres de long (*Riftia pachyptila*)