

DONNÉES QUANTITATIVES SUR L'IMPORTANCE PLANÉTAIRE DE LA PHOTOSYNTHÈSE

L'utilisation par la photosynthèse d'une très faible partie de l'énergie solaire reçue par la planète fournit l'énergie nécessaire à l'ensemble des êtres vivants (à l'exception de certains milieux très spécifiques où l'énergie est fournie par chimiosynthèse, non évoqué dans ce programme).

L'objectif est ici de fournir des données chiffrées montrant l'importance de la photosynthèse à l'échelle de la planète. Les organismes chlorophylliens sont des producteurs primaires : ils utilisent l'énergie solaire et la matière minérale pour fabriquer de la matière organique stockant de l'énergie sous forme chimique.

Mots-clés

Biosphère ; photosynthèse ; productivité primaire ; organismes chlorophylliens.

Références au programme

Thème 2 : le Soleil, notre source d'énergie - Une conversion naturelle de l'énergie solaire : la photosynthèse

Savoirs

A l'échelle de la planète, les organismes chlorophylliens utilisent pour la photosynthèse environ 0,1% de la puissance solaire totale disponible.

La photosynthèse permet l'entrée dans la biosphère de matière minérale stockant de l'énergie sous forme chimique.

Savoir-Faire

Recenser, extraire et organiser des informations pour prendre conscience de l'importance planétaire de la photosynthèse.

Catégorie de ressource

Données quantitatives issue d'une revue scientifique

Documents

Document 1 : quelques définitions

La biomasse végétale

La biomasse végétale est la masse totale de matière végétale présente dans un milieu donné à un moment donné. Elle s'exprime en masse de matière sèche par unité de surface de sol ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$).

Pour définir les notions suivantes, rappelons que la photosynthèse est une conversion de l'énergie du rayonnement solaire en énergie chimique sous forme de liaison covalente entre atomes de carbone d'une molécule organique, le plus souvent un glucide simple à 5 atomes de carbone. Elle s'effectue donc à partir de matière minérale (CO_2 , H_2O) et d'énergie lumineuse. Elle peut se mesurer comme une quantité d'énergie assimilée ou comme une masse ou un nombre de moles de C- CO_2 fixée par unité de temps. Il existe un rapport stœchiométrique constant bien établi entre la quantité d'énergie assimilée et la quantité de dioxyde de carbone absorbée par photosynthèse.

La production primaire brute

La production primaire brute (PPB) correspond à la quantité d'énergie assimilée (ou masse ou moles de C- CO_2) par les producteurs primaires, par photosynthèse, sur une unité de surface et par unité de temps. Cette production d'énergie brute va ensuite être utilisée par la plante pour ses besoins énergétiques (métabolisme, croissance etc.). C'est la source primaire d'énergie pour l'ensemble des chaînes alimentaires sur Terre.

La production primaire nette

La production primaire nette (PPN) est la quantité d'énergie fixée dans la biomasse produite par la plante. On l'exprime comme une quantité d'énergie (Joule), de carbone (Kg de C ou nombre de moles) ou de biomasse (kg de matière végétale) par unité de temps (s, h, jour, année). Pour fabriquer sa biomasse, la plante va utiliser une partie de l'énergie produite par la photosynthèse au cours de la respiration. La production primaire nette correspond à la différence entre la production primaire brute et la respiration végétale.

$$\text{PPN} = \text{PPB} - \text{respiration}$$

Il est estimé, en moyenne, que les pertes par respiration représentent 80 % de la productivité brute initiale.

La photosynthèse et la production de biomasse peuvent s'exprimer soit par unité de surface de sol, on parlera alors de *production*, ou bien exprimer une efficacité ou un rendement et être exprimées par unité de biomasse (ou autre), on parlera alors de *productivité*. Les deux termes sont utilisés indifféremment selon les disciplines scientifiques.

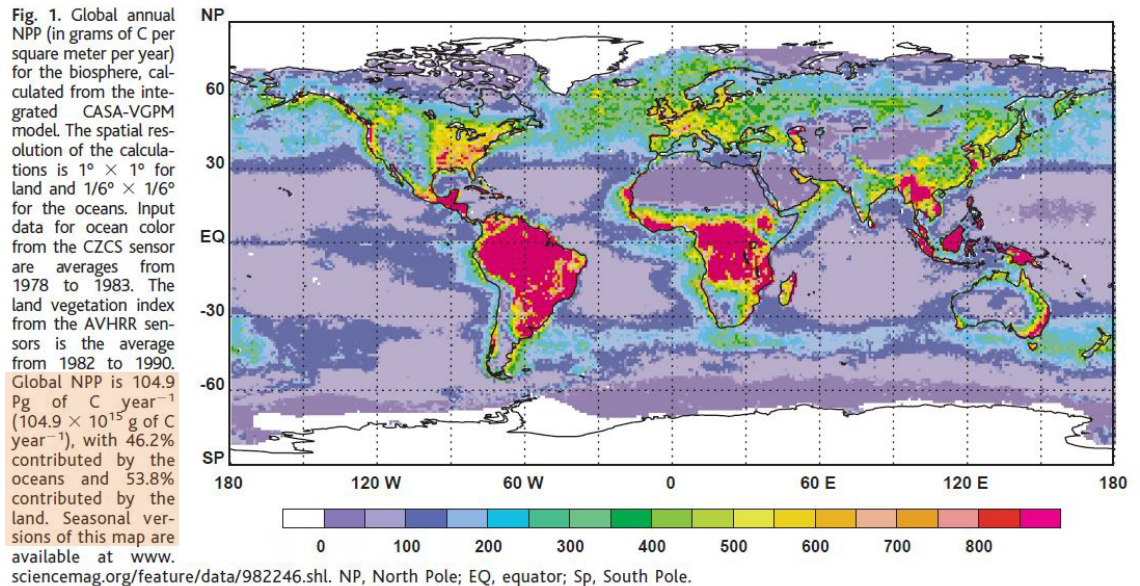
La productivité primaire

La productivité primaire correspond à la masse de biomasse végétale produite par unité de temps et par unité de biomasse déjà présente dans un écosystème¹. Elle traduit donc une vitesse de production de la matière végétale sèche par les végétaux chlorophylliens. La productivité primaire se mesure en unité de masse produite (par exemple en tonnes de matière sèche) par unité de biomasse résident (kg de matière sèche) et par unité de temps (par an par exemple).

1. Une autre évaluation de la productivité primaire consiste à calculer la quantité d'énergie contenue dans la matière sèche. La combustion d'un gramme de matière sèche végétale libère une énergie de 18 kJ. Cette énergie investie dans la matière organique est une énergie chimique. Cette énergie est utilisable par les consommateurs primaires.

Document 2 : estimation de la Productivité Primaire Nette à partir d'observations satellites et modélisation CASA-VGPM

Les données ci-dessous sont en Peta-gramme de carbone ($1 \text{ Pg} = 10^{15} \text{ g} = 1 \text{ Gtonne}$) par an :



(Field CB, Behrenfeld MJ, Randerson JT, Falkowski P., 1998)

Conclusion partielle de l'article : « Using the integrated CASA-VGPM biosphere model, we obtained an annual global NPP of 104.9 Pg of C [...], with similar contributions from the terrestrial [56.4 Pg of C (53.8%)] and oceanic [48.5 Pg of C (46.2%)] components. This estimate for ocean productivity is nearly two times greater than estimates made before satellite data*»

*sources :

- O. J. Koblentz-Mishke, V. V. Volkovinsky, J. G. Kabanova, in *Scientific Exploration of the South Pacific*, W. S. Wooster, Ed. (National Academy of Science, Washington, DC, 1970), pp. 183±193.
- G. M. Woodwell et al., *Science* 199, 141 (1978).

Retrouvez éducol sur



L'article présente les données de productivités primaires nettes terrestre et océanique obtenues avec de nouvelles méthodes incluant la télédétection et la modélisation (Modélisation CASA-VGPM). Les résultats montrent que la productivité primaire nette océanique est aussi importante que la productivité primaire nette terrestre.

On peut donc déduire² de l'étude de *Field et al.*, les valeurs suivantes (en GigaTonnes de Carbone par an) :

- productivité primaire **brute** des organismes photosynthétiques **océaniques** : 242,5 Gt/an ;
- perte par respiration : 194 Gt/an ;
- productivité primaire **nette** des organismes photosynthétiques **océaniques** : $48,5 \cdot 10^{15}$ g/an, **soit 48,5 Gt/an** ;
- productivité primaire **brute** des organismes photosynthétiques **terrestres** : 282 Gt/an ;
- perte par respiration : 225,6 Gt/an ;
- productivité primaire **nette** des organismes photosynthétiques **terrestres** : 56.1015 g/an, **soit 56,4 Gt/an**.

Document 3 : données énergétiques sur la productivité primaire à l'échelle du globe

Le **pouvoir calorifique** du carbone³ est le suivant : 1 Kg de Carbone équivaut à 32 Méga Joules.

On peut donc déduire de l'étude de *Field et al.*, les données suivantes qui sont exprimées en quantité d'énergie (kJ/an/m²) :

- **puissance énergétique solaire** annuelle : $5,4 \times 10^6$ kJ/an/m² ;
- **productivité Primaire Brute** océanique et continentale : $3,3 \cdot 10^4$ kJ/an/m² ;
- **perte** par décomposition dans le sol : $1,1 \times 10^4$ kJ/an/m² ;
- **perte** par respiration des êtres-vivants : $1,5 \times 10^4$ kJ/an/m² ;
- **productivité Primaire nette** océanique et continentale : $6,6 \times 10^3$ kJ/an/m².

Pistes d'exploitation pédagogique

1. Dans le document 2, les données de productivités primaires nettes peuvent être effacées. Le calcul de cette donnée peut alors être demandé, en demandant de prendre en compte la définition donnée dans le document 1 (pertes par respiration estimées à 80 %).
2. Dans le document 3, on peut demander :
 - a. la conversion de ce tableau de données, en un schéma fonctionnel ;
 - b. le calcul de la proportion (en %) de la puissance énergétique solaire annuelle **réellement accumulée** par les organismes chlorophylliens.
3. La superficie totale du globe est : 510×10^6 km².
Le travail des élèves peut consister à chiffrer par un calcul adéquat, puis **discuter** de l'importance de la photosynthèse, à l'échelle mondiale, dans la formation initiale d'un stock d'énergie utilisable par les organismes non-chlorophylliens.

Commentaires et points d'attention

1. Une discussion autour de la répartition inégale de la photosynthèse est à amorcer.
2. Pour la question 2 :
Ce calcul de pourcentage nécessitera que l'élève ait correctement lu et compris les définitions de productivité primaire nette et brute. En effet, la productivité primaire brute, ne correspond pas à ce qui sera réellement accumulée dans la biosphère puisque la plante en utilise une partie pour ses propres besoins.
Si on part de la puissance radiative totale soit $5,4 \times 10^6 \text{ KJ.an}^{-1}.\text{m}^{-2}$
La **productivité primaire nette** correspond à la matière organique réellement accumulée dans la plante (quand elle a utilisé ce dont elle avait besoin pour sa propre croissance). Donc : $6,6 \times 10^3 \text{ KJ.an}^{-1}.\text{m}^{-2}$ soit : $(6,6 \times 10^3 \times 100) / (5,4 \times 10^6) = 0,12 \%$ de la puissance solaire disponible, on arrondira à **0,1 %**.
Ce calcul permet de faire prendre conscience aux élèves qu'à l'échelle de la planète, les organismes chlorophylliens utilisent pour la photosynthèse et la production de matière réellement disponible dans les chaînes alimentaires, environ 0,1 % de la puissance solaire totale disponible.
3. Pour la question 3, cette question a pour objectif de faire prendre conscience de l'importance quantitative de la photosynthèse à l'échelle du globe. Le résultat chiffré obtenu (en puissance 18) permettra cette prise de conscience.
On estime que la productivité primaire nette sur le globe est de $6,6 \times 10^3 \text{ kJ/an/m}^2$; or la surface du globe est approximativement égale à $5,1 \times 10^{14} \text{ m}^2$, donc la **productivité primaire nette à l'échelle du globe est :**
$$6,6 \times 10^3 \text{ (kJ/an/m}^2) \times 5,1 \times 10^{14} \text{ (m}^2) = 3,4 \times 10^{18} \text{ kJ/an}$$
4. Un complément par visualisation satellite peut être envisagé pour montrer cette inégale répartition de la photosynthèse à l'échelle mondiale. => Voir : Document « Visualiser la photosynthèse à l'échelle de la planète ».

Bibliographie

Field CB, Behrenfeld MJ, Randerson JT, Falkowski P. (1998).
Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components.
Science, vol. 281, p. 237-40, 237-40.

Détails des calculs pour le professeur

PPN (indiquée dans l'article)	56,40		48,50	en GtC/an		
en équivalent Carbone/an	5,64E+16	+	4,85E+16	=	1,05E+17	g de C/an
					1,05E+14	Kg de C/an
Pouvoir calorifique du C	1 kg de C	=	3,20E+07	Joules		
Soit PPN totale (en calorifique)	1,05E+14	×	3,20E+07	=	3,36E+21	Joules/an
					3,36E+18	kJ/an
Superficie terrestre	5,10E+14	m ²				
Donc PPN (en calorifique/m ²)	3,36E+18	/	5,10E+14	=	6,58E+03	kJ/an/m ²
					6 581,96	kJ/an/m ²

PPB totale calculée (océanique + continentale)	2,82E+17	+	2,43E+17	=	5,25E+17	g de C/an
en C/an	282,00		242,50	en GT	5,25E+14	Kg de C/an
Pouvoir calorifique du C	1 kg de C	=	3,20E+07	Joules		
Soit PPB totale (en calorifique)	5,25E+14	×	3,20E+07	=	1,68E+22	Joules/an
					1,68E+19	kJ/an
Superficie terrestre	5,10E+14	m ²				
Donc PPB (en calorifique/m ²)	1,68E+19	/	5,10E+14	=	3,29E+04	kJ/an/m ²
					32 909,80	kJ/an/m ²

Retrouvez éducol sur



Perte respiration totale calculée (océanique +continentale)	2,26E+17	+	1,94E+17	=	4,20E+17	g de C/an
en C/an	225,60		194,00	en GT	4,20E+14	Kg de C/an
Pouvoir calorifique du C	1 kg de C	=	3,20E+07	Joules		
Soit Perte respiration totale (en calorifique)	4,20E+14	×	3,20E+07	=	1,34E+22	Joules/an
					1,34E+19	kJ/an
Superficie terrestre	5,10E+14	m²				
Donc Perte respiration (en calorifique/m²)	1,34E+19	/	5,10E+14	=	2,63E+04	kJ/an/m²
					26 327,84	kJ/an/m²
La respiration totale peut être décomposée en Respiration décomposition sol + Respiration directe des êtres vivants. La décomposition représente 42 % de la respiration totale						
Donc Décomposition sol =	26 327,84	×	0,42	=	1,11E+04	kJ/an/m²
Donc respiration directe =	26 327,84	-	11 057,69	=	1,53E+04	kJ/an/m²

Retrouvez éduscol sur

