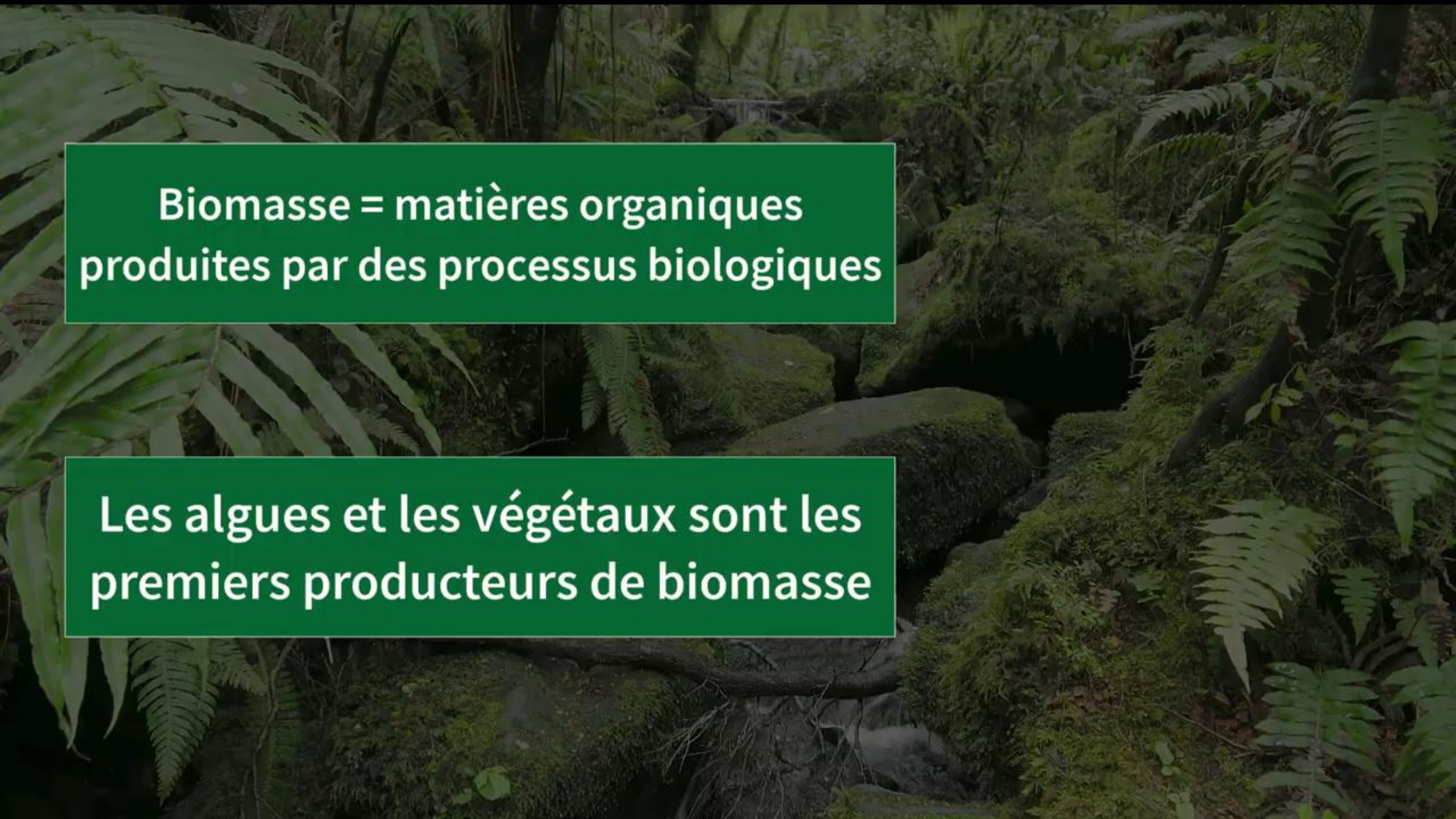


Géoressources, énergies et transitions

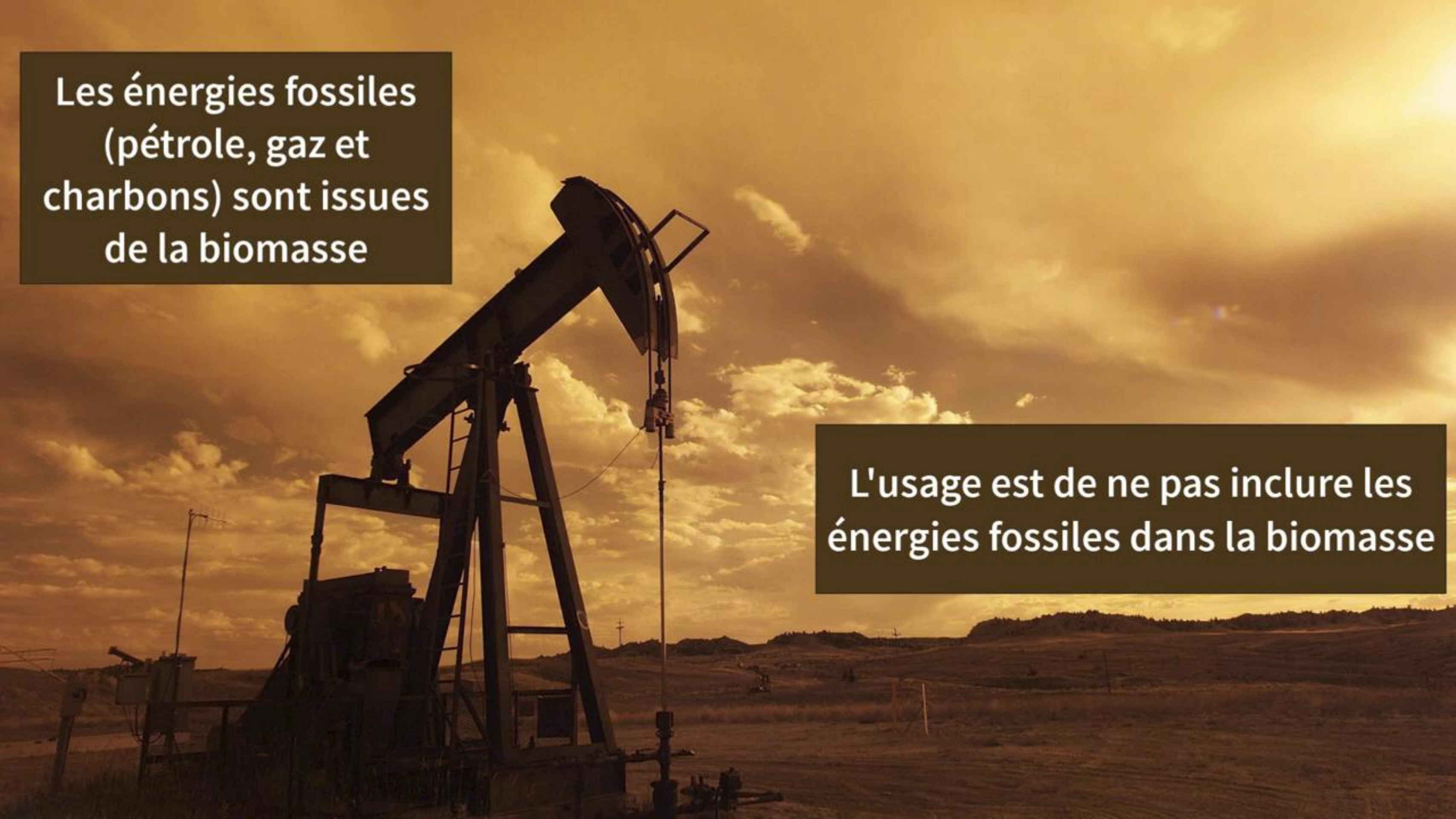
Photosynthèse et biomasse



The background image shows a dense, mossy forest floor. Large, flat fern fronds are prominent in the foreground and midground. The ground is covered in a thick layer of green moss. In the background, a small stream flows over rocks, surrounded by more vegetation. The overall scene is a vibrant, natural environment.

**Biomasse = matières organiques
produites par des processus biologiques**

**Les algues et les végétaux sont les
premiers producteurs de biomasse**

A photograph of an oil pumpjack in a desert landscape at sunset. The sky is filled with orange and yellow clouds, and the sun is low on the horizon. The pumpjack is a large metal structure with a long arm and a counterweight, used for extracting oil from the ground. The ground is dry and sandy, with some sparse vegetation in the distance.

Les énergies fossiles
(pétrole, gaz et
charbons) sont issues
de la biomasse

L'usage est de ne pas inclure les
énergies fossiles dans la biomasse



Déchets
d'élevage

Résidus
agricoles



Résidus de
traitement
des eaux
usées



Déchets
urbains
organiques

La biomasse animale



La biomasse animale



A close-up photograph of several golden wheat stalks. The wheat heads are in sharp focus, showing the intricate details of the grains and the long, thin awns. The background is a soft, out-of-focus field of similar wheat, creating a sense of depth. A semi-transparent red rectangular box is positioned in the lower-left corner, containing white text.

La biomasse est une
source d'énergie
renouvelable

A photograph of a market stall displaying a variety of fresh vegetables. The stall is filled with large piles of produce. On the left, there are purple-skinned potatoes, orange carrots, and dark green cucumbers. In the center, there are more potatoes, some red and green bell peppers, and a small pile of green leafy herbs. To the right, there are green and red tomatoes, green and yellow peppers, and purple eggplants. A black plastic bag is visible in the upper right corner. A small red and white label is placed on the green tomatoes. The background shows a blue plastic crate and some white plastic bags.

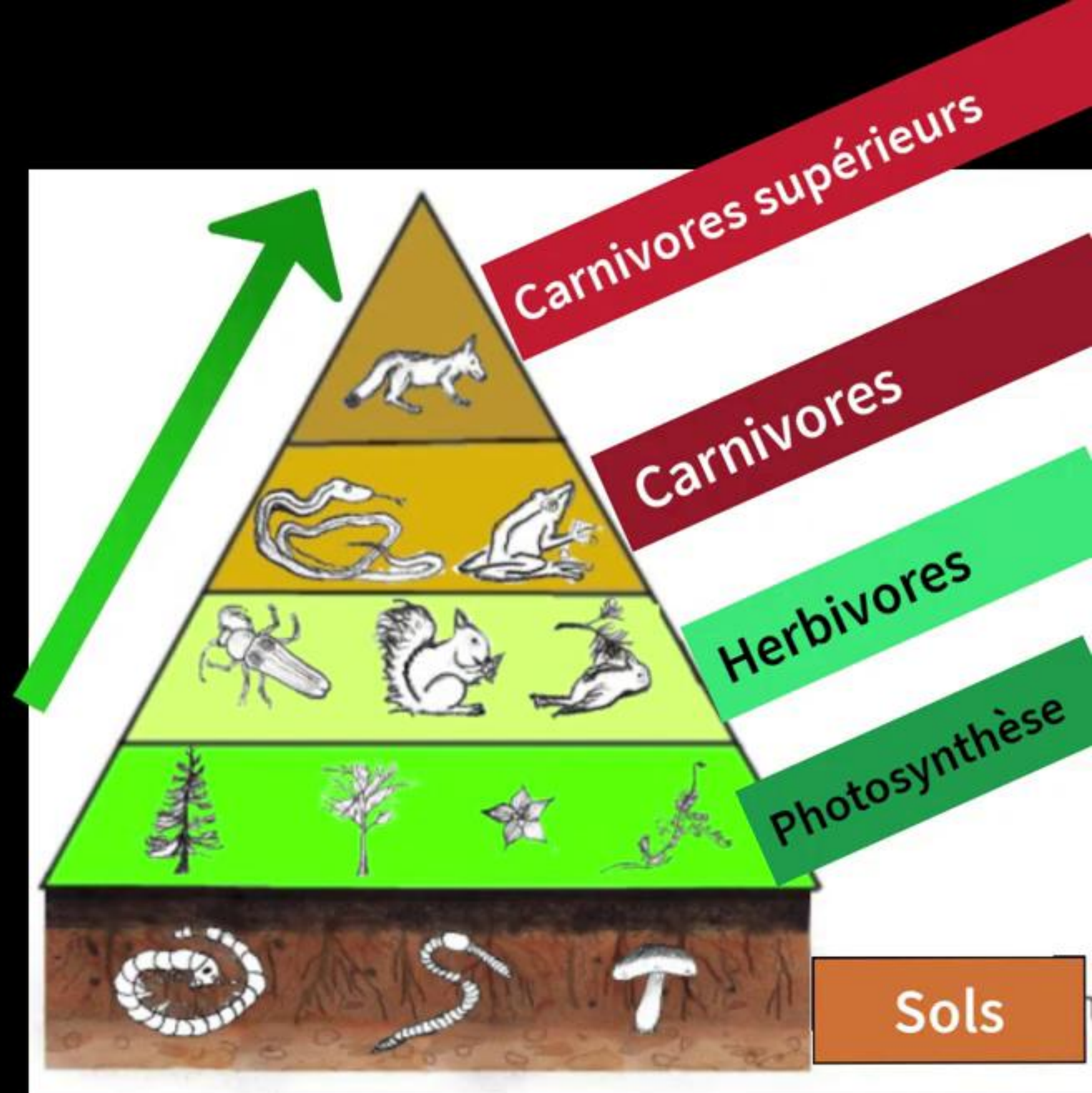
de l'énergie chimique
accumulée dans des
molécules organiques



qui sont des produits
directs ou indirects
de la photosynthèse

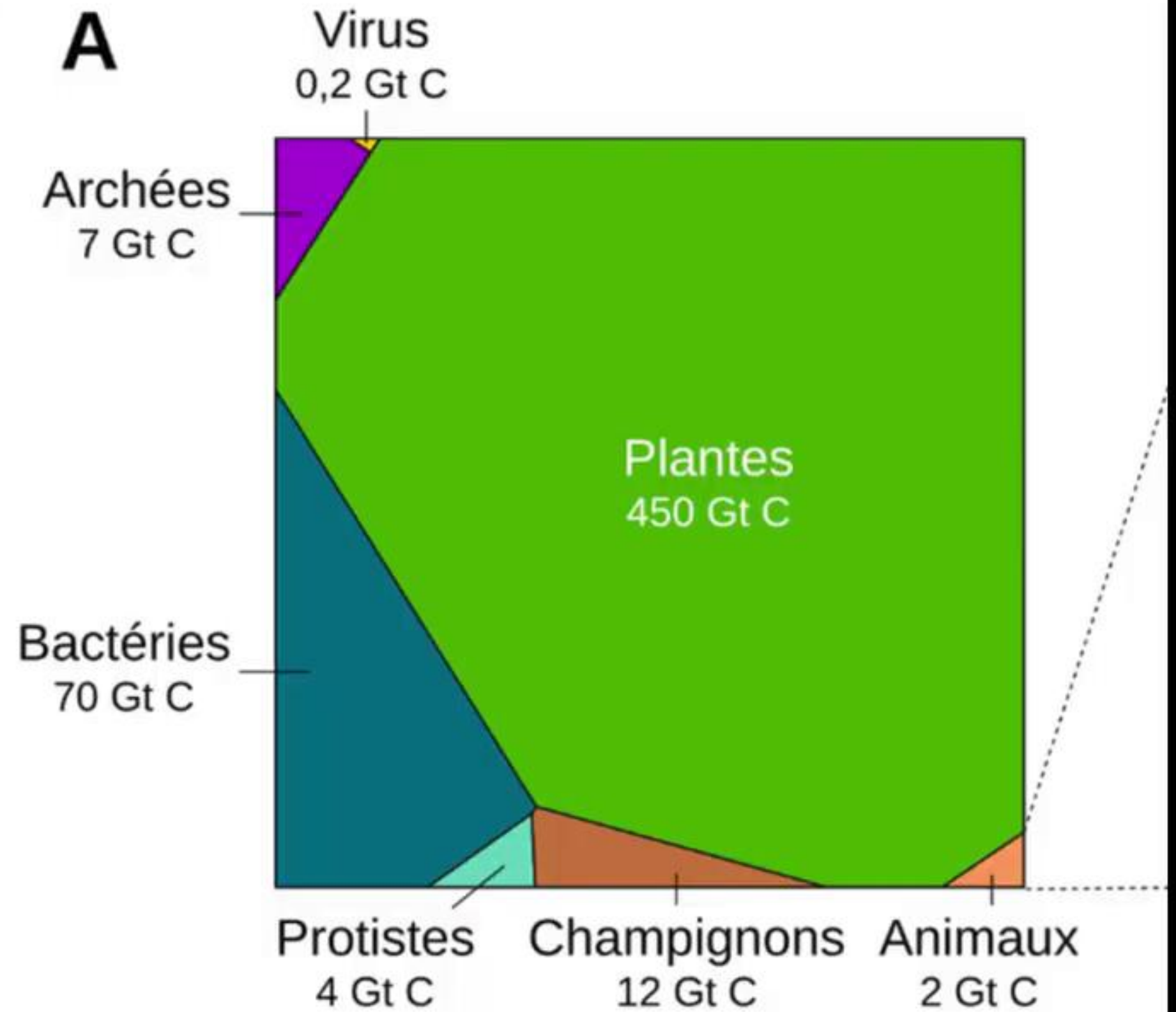


Biomasse animale



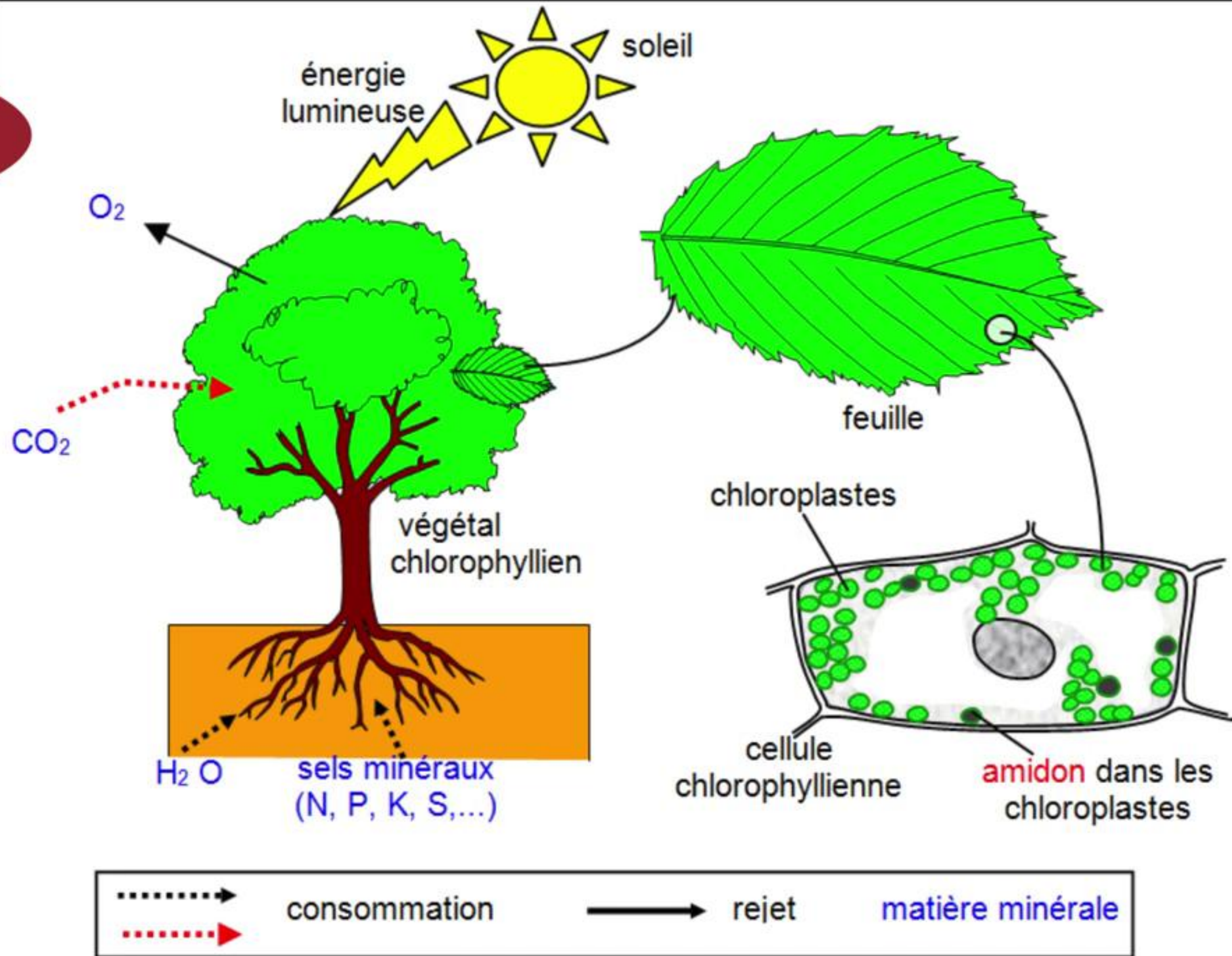
La biomasse terrestre continentale

La biomasse animale
est négligeable devant
la biomasse végétale



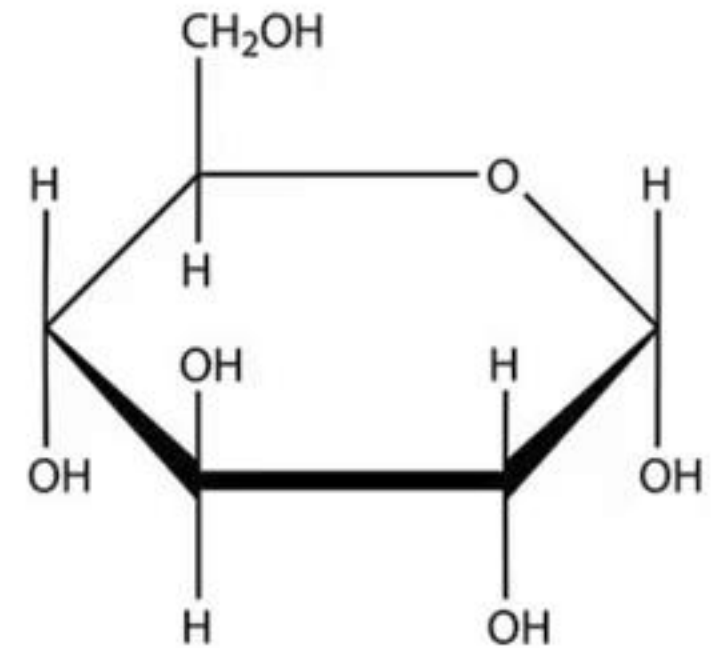
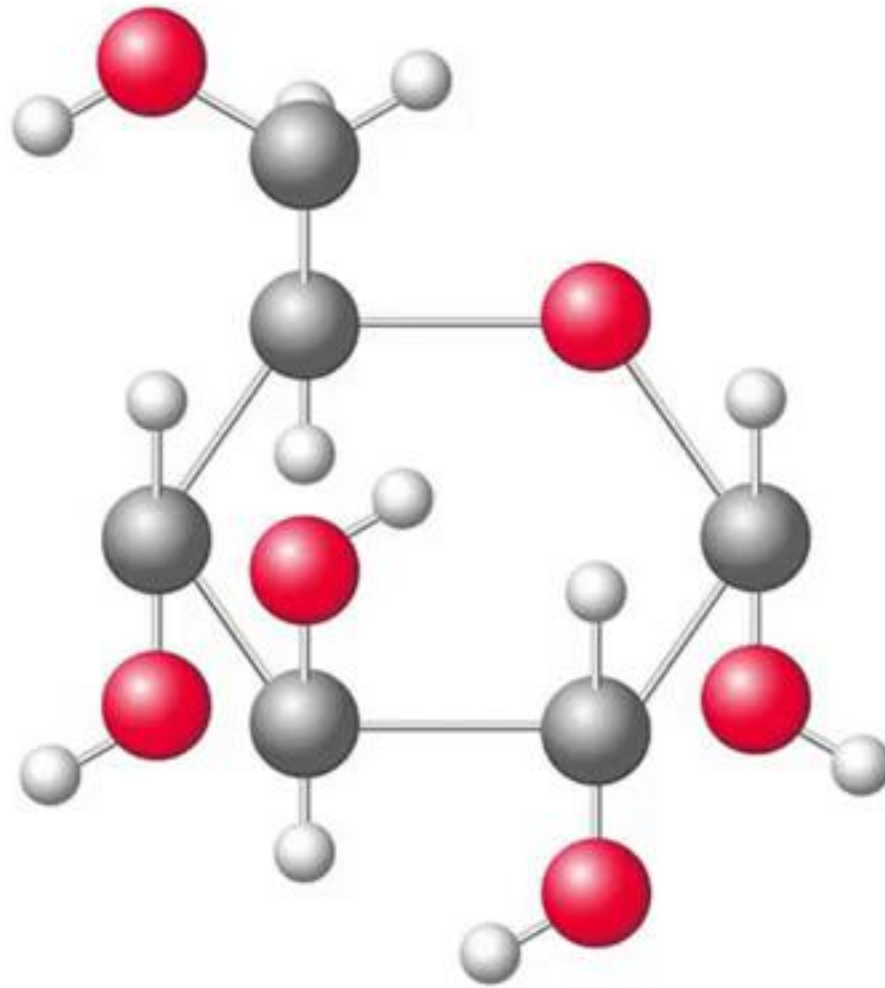
La photosynthèse est le processus biologique qui permet aux végétaux de convertir l'énergie électromagnétique de la lumière solaire en énergie chimique stockée dans les liaisons des molécules organiques

Photosynthèse



De l'énergie chimique en boîte

α -D-Glucose (cyclic)





Rendement de la
photosynthèse ?

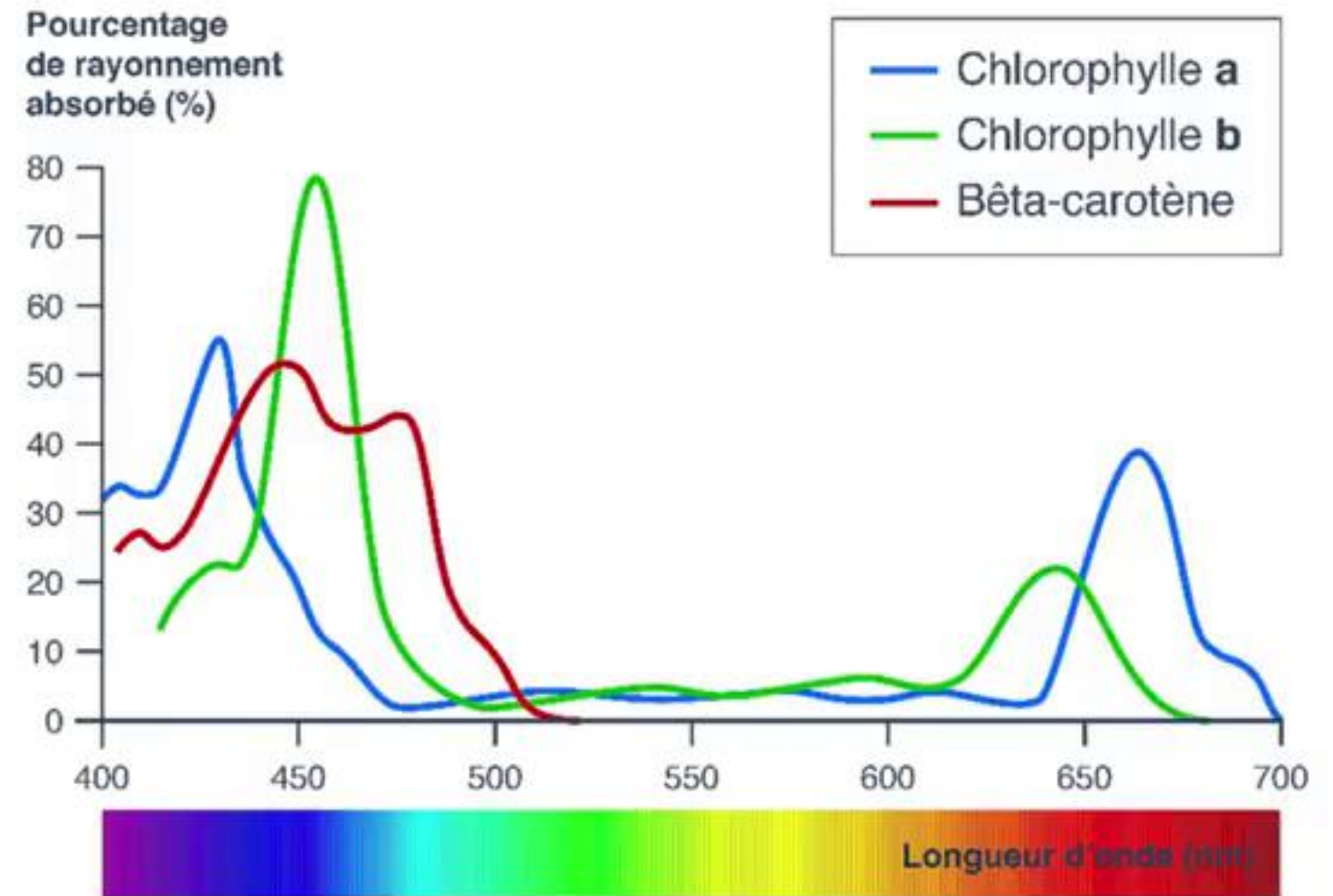
Quantité de
biomasse produite ?

sur 1 m² de surface terrestre

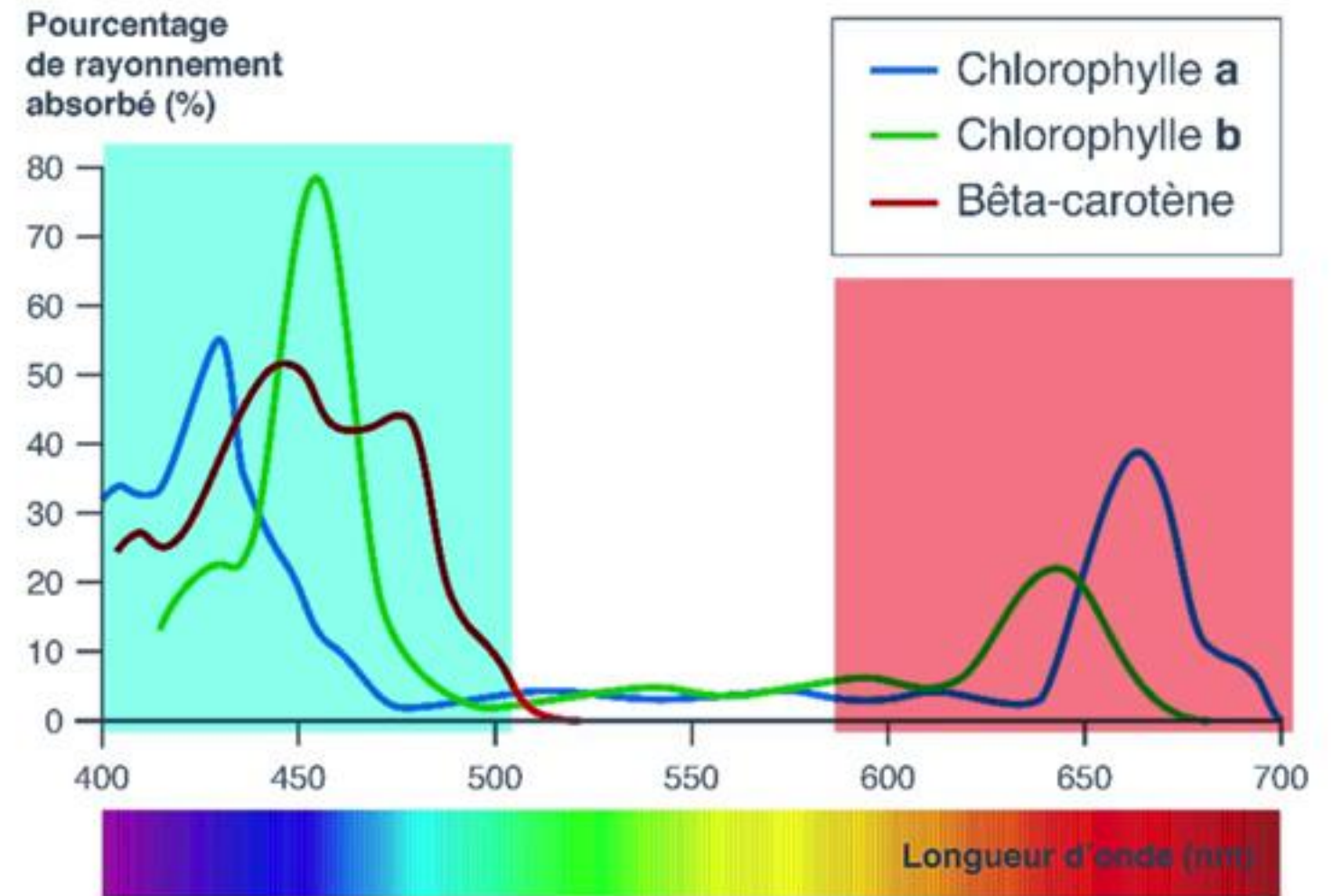
un flux solaire moyen de
167 W/m²



Les végétaux ne peuvent utiliser que la moitié du spectre visible du Soleil



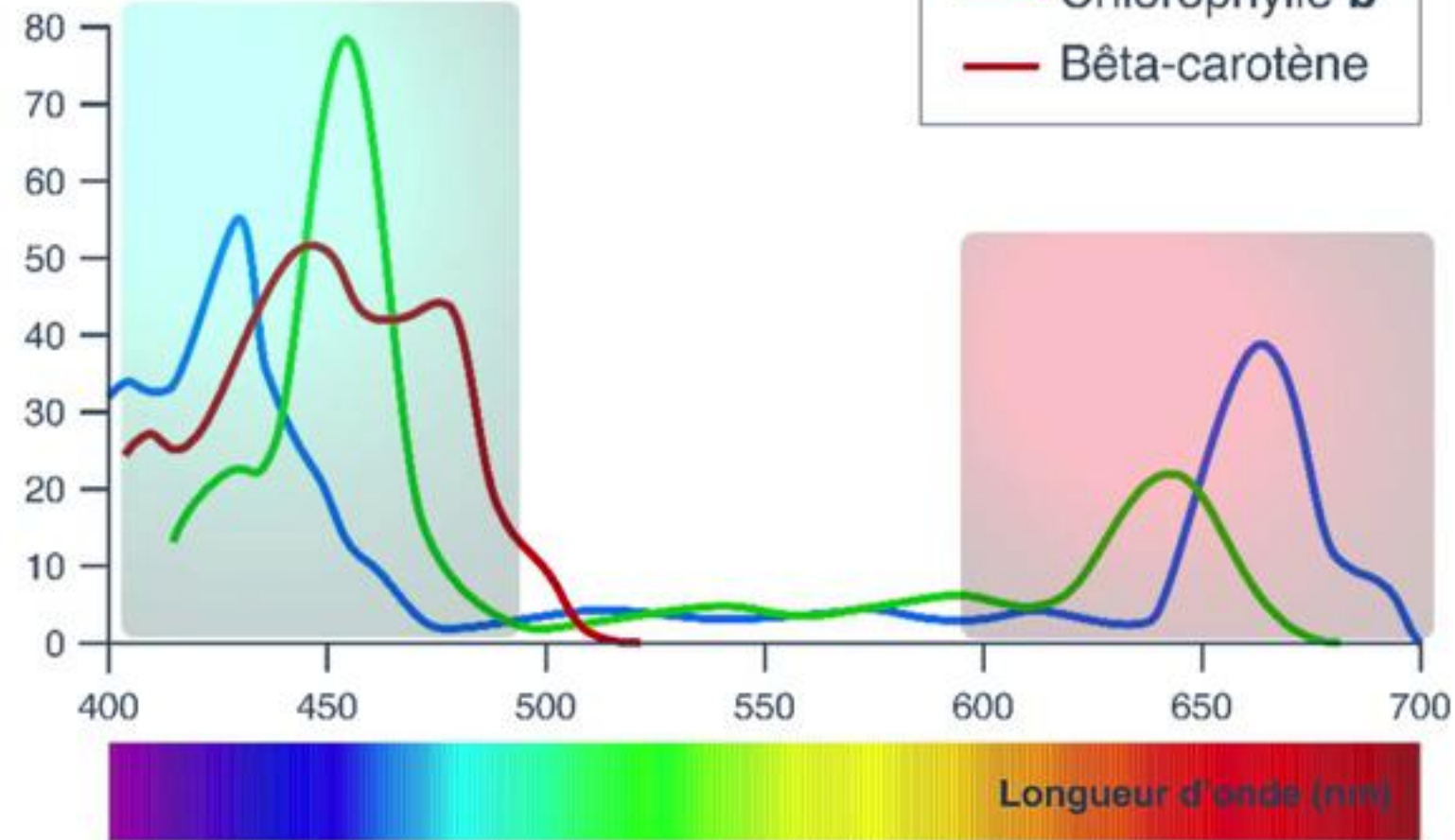
Les végétaux ne peuvent utiliser que la moitié du spectre visible du Soleil



Ultra-violets

Nocifs à
la vie

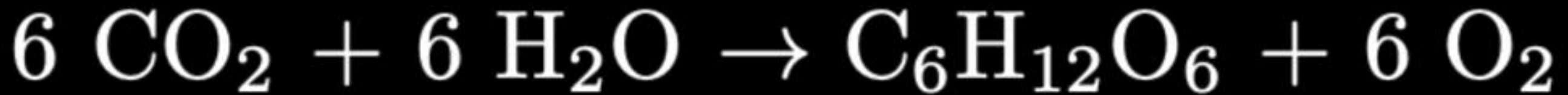
Pourcentage
de rayonnement
absorbé (%)



Infra-rouges

Peu
exploitables

Réaction de synthèse du glucose

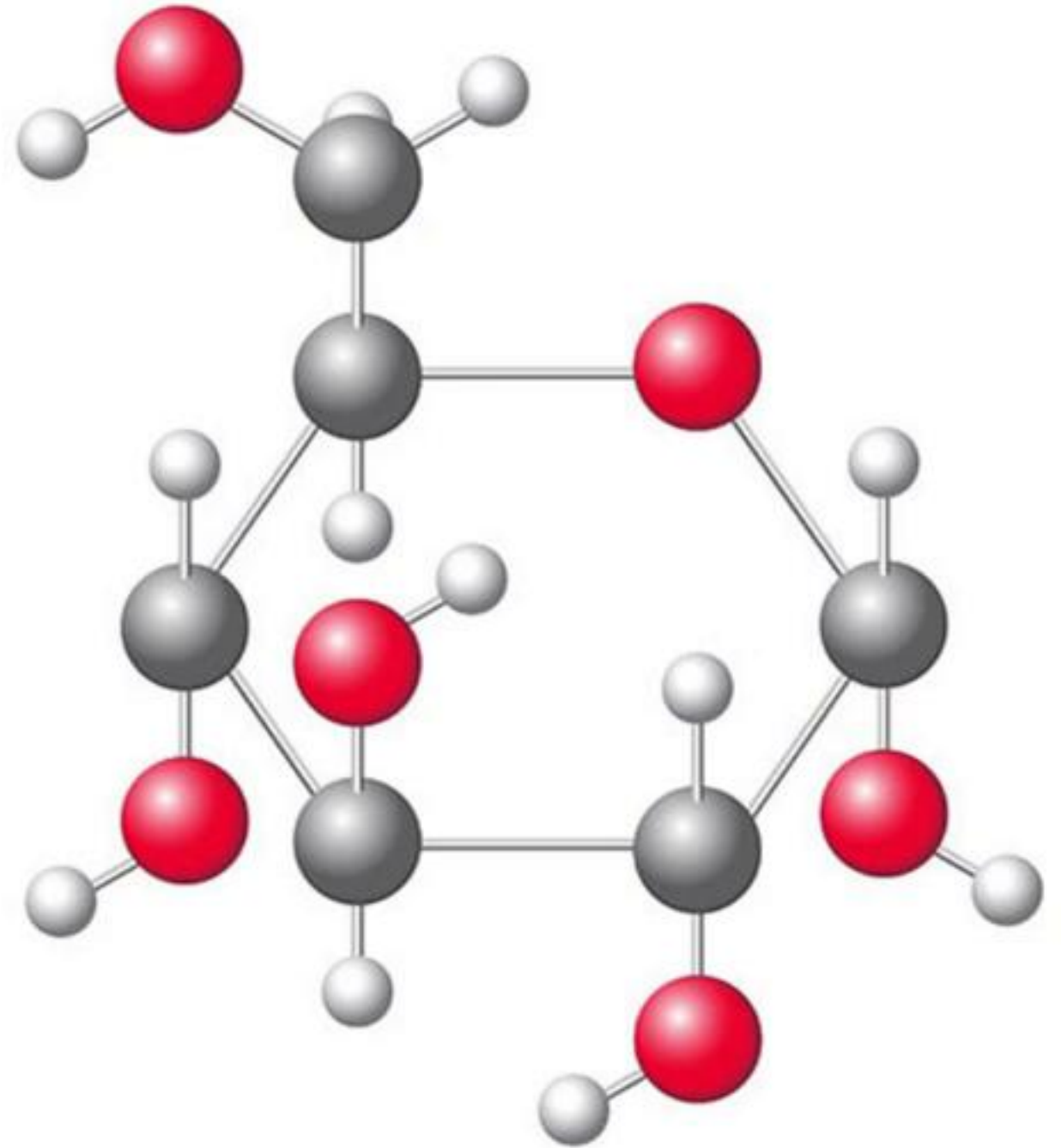


Variation d'énergie libre de la
réaction

$$\Delta G \simeq -2800 \text{ kJ mol}^{-1}$$

= travail à fournir pour
synthétiser une mole de glucose

48 photons sont au moins
nécessaires pour fabriquer
une mole de glucose



L'énergie d'un photon

Formule de Planck

$$E = h \nu$$

Constante de Planck

$$h = 6.6253 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

Fréquence de l'onde

ν

Énergie d'un photon de lumière bleue

$$E = h \nu$$

Fréquence

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

vitesse de la lumière $c = 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$

Longueur
d'onde

$$\lambda = 400 \text{ nm}$$

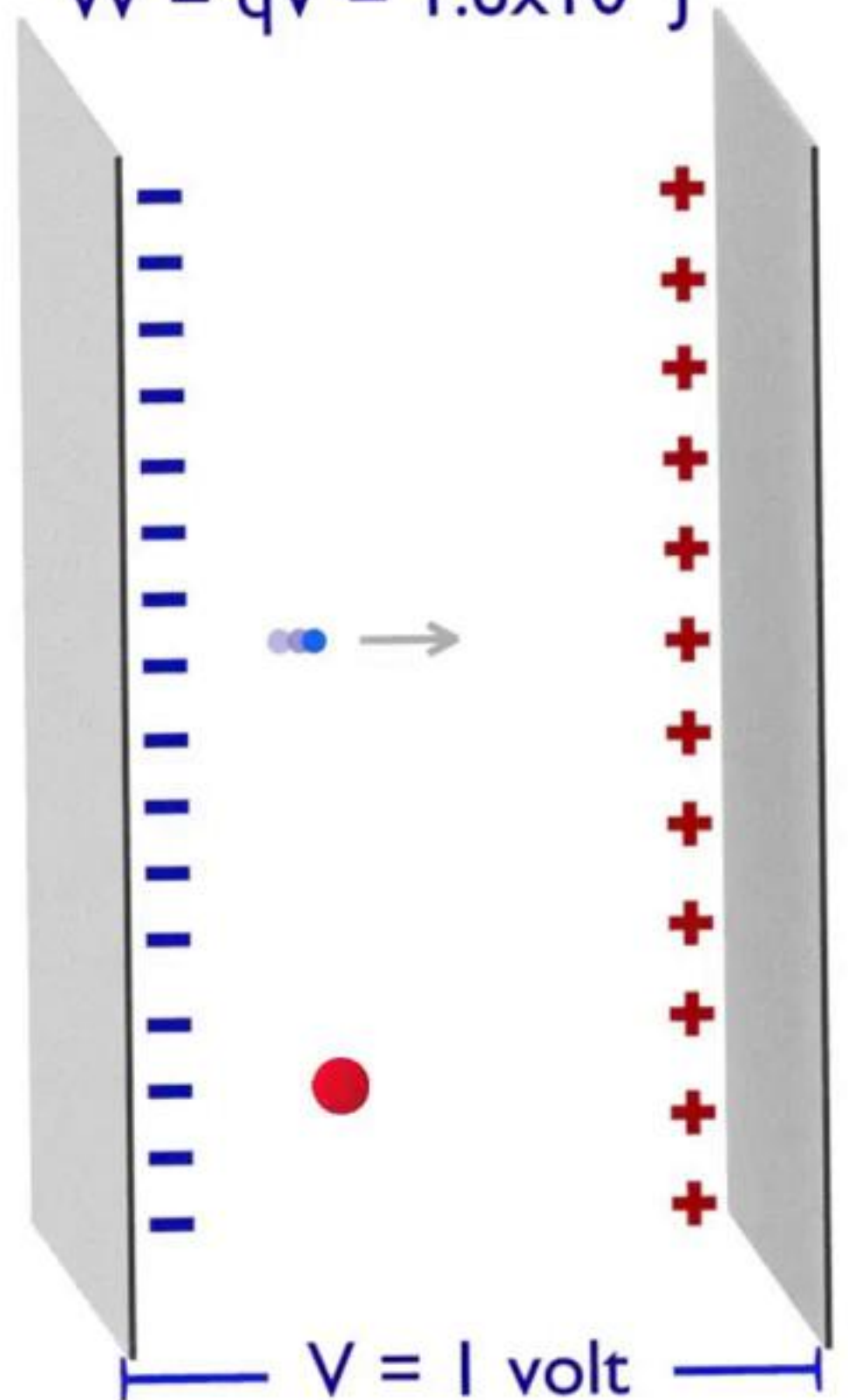
$$E = 5 \times 10^{-19} \text{ J}$$

L'électron-volt

= énergie acquise par un électron
accéléré par une différence de
potentiel de 1 volt

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$W = qV = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$



Énergie d'un photon de lumière bleue

$$E = 5 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Et en électron-volt

$$E = 3.1 \text{ eV}$$

Énergie d'un photon de lumière bleue

$$\lambda = 400 \text{ nm}$$

$$E = 3.1 \text{ eV}$$

Énergie d'un photon de lumière rouge

$$\lambda = 700 \text{ nm}$$

$$E = 1.8 \text{ eV}$$

Énergie moyenne

$$E = 2.5 \text{ eV}$$

48 photons de 2.5 eV
pour synthétiser une
molécule de glucose

$$E = 120 \text{ eV}$$

48 photons de 2.5 eV
pour synthétiser une
molécule de glucose

$$E = 120 \text{ eV}$$

Énergie dépensée pour fabriquer une mole de glucose

$$120 \text{ eV} \times 6.02 \times 10^{23} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} = 11\,500 \text{ kJ}$$

Énergie de
48 photons

Nombre
d'Avogadro

Facteur de conversion
de l'électron-volt au
Joule

Rendement de la photosynthèse

Avec ces 48 photons, il a été dépensé pour 11 500 kJ

$$120 \text{ eV} \times 6.02 \times 10^{23} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} = 11\,500 \text{ kJ}$$

pour effectuer un travail de 2800 kJ

$$\Delta G \simeq -2800 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Le rendement est de 24 %

$$\frac{2600 \text{ kJ}}{11\,500 \text{ kJ}} \simeq 24\%$$

Rendement de la photosynthèse

50% car la photosynthèse n'exploite que la moitié du spectre solaire visible

24% correspondant au rendement de fabrication du glucose

Rendement final : $50\% \times 24\%$



12 %

Un rendement global de 12 % pour la photosynthèse ?

**Non, car d'autres facteurs
diminuent encore le rendement**

1er facteur limitant

tous les photons percutant une
feuille ne seront pas utilisés
pour la photosynthèse

réflexion

absorption

conversion en
chaleur



2e facteur limitant

Manque de magnésium

Manque d'azote

Manque de lumière

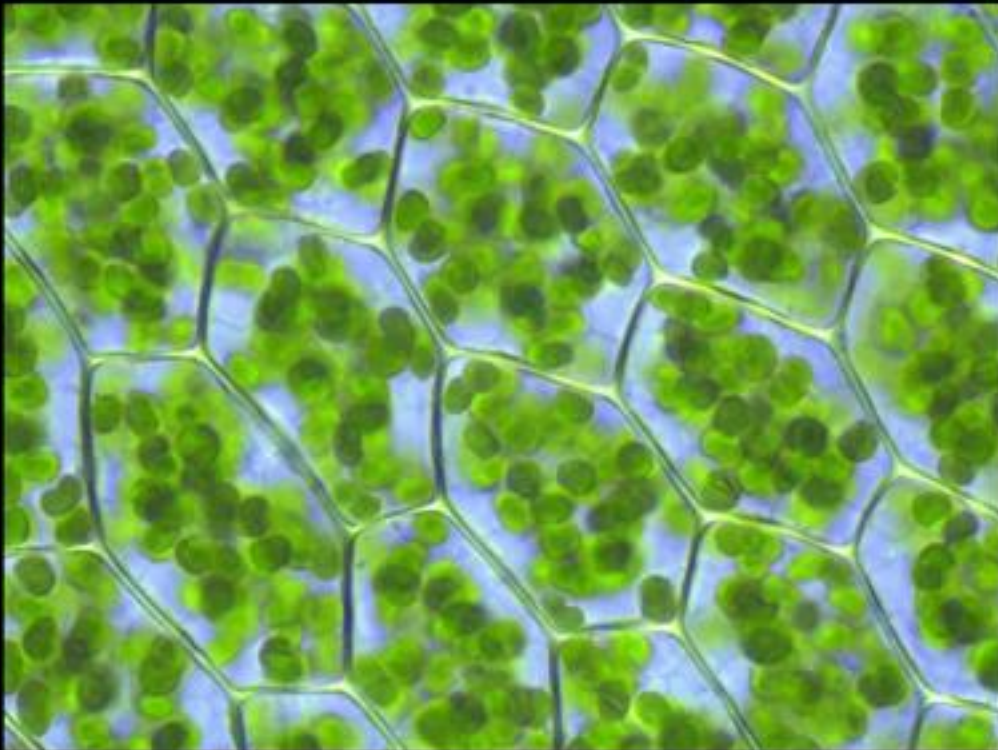
Manque d'eau

Manque de phosphore

Manque de fer

3e facteur limitant

Les cellules végétales
photosynthétiques ont besoin
d'énergie pour fonctionner



Elles respirent

De l'énergie pour leur
autoconsommation !

Production primaire nette et brute

La production primaire est ce qui est produit par les végétaux

La production primaire brute est l'énergie chimique produite par la photosynthèse

La production primaire nette est l'énergie chimique fixée dans la biomasse produite

Production
primaire
nette

=

Production
primaire
brute

-

Respiration

ce qui
est
stocké

ce qui
est
produit

ce qui est
auto-
consommé



sur les 12% de rendement brut, la
plante va utiliser environ 80% pour son
fonctionnement !

si on prélève
80% sur un
rendement
de 12% ...

cela ne fait plus
qu'un rendement
net de 2% !!!

$$100\% \times 0.5 \times 0.24 \times 0.2 = 2\%$$

Les rendements donnés
dans la littérature
varient entre 0.1 % et
4% pour la
photosynthèse

Un panneau
photovoltaïque a un
rendement compris
entre 15 et 25 %



dans un premier temps, retenons
une valeur moyenne de 1%

quelle est la quantité
de biomasse que l'on
peut produire par
m² et par an ?

Convertissons cette biomasse de 63 MJ/m²/an en kWh/m²/an

$$2 \text{ W/m}^2 \times 365 \times 24 \times 3600 \simeq 63 \text{ MJ/m}^2/\text{an}$$



Convertissons cette biomasse de 63 MJ/m²/an en kWh/m²/an

$$\frac{63 \text{ MJ/m}^2/\text{an}}{3.6 \text{ MJ}} \simeq 17 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$$

1 kWh = 3.6 MJ



La production de biomasse en gramme de matière sèche / m² / an



$$\frac{63 \text{ MJ/m}^2/\text{an}}{20 \text{ kJ g}^{-1}} \simeq 3000 \text{ g/m}^2/\text{an}$$

soit environ 3 kg/m²/an de matières sèches produites par la photosynthèse

La production de biomasse en gramme de matière sèche / m² / ha

et un hectare, c'est
combien de m² ?

$$1 \text{ ha} = 10\,000 \text{ m}^2$$

soit une production
primaire nette

$$\simeq 30 \text{ tonne ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$$



*Bruno Le Maire, ex-
ministre de l'Agriculture*

Une production primaire nette

$$\simeq 30 \text{ tonne ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$$



Caractéristiques moyennes des écosystèmes terrestres, en tonnes par hectare de biomasse ou de nécromasse végétales (poids frais), et tonnes par hectare et par an de production primaire nette¹⁸

Biome terrestre ⇄	Biomasse ⇄	Nécromasse (au sol) ⇄	Production primaire nette ⇄
Toundra arctique	5	3,5	1
Taïga arctique nord	100	30	
Taïga arctique sud	330	35	7
Forêt de chênes	400	15	9
Prairies, steppes	25	12	14
Steppe aride	40	1,5	4
Semi-désert	1,6		0,6
Savane herbeuse	2,7	5	7
Forêt tropicale	4	10	25
Forêt équatoriale	600	2	33
Cultures	4 à 100	moyenne : 6,6	Record : 80 Canne à sucre

Une production primaire nette

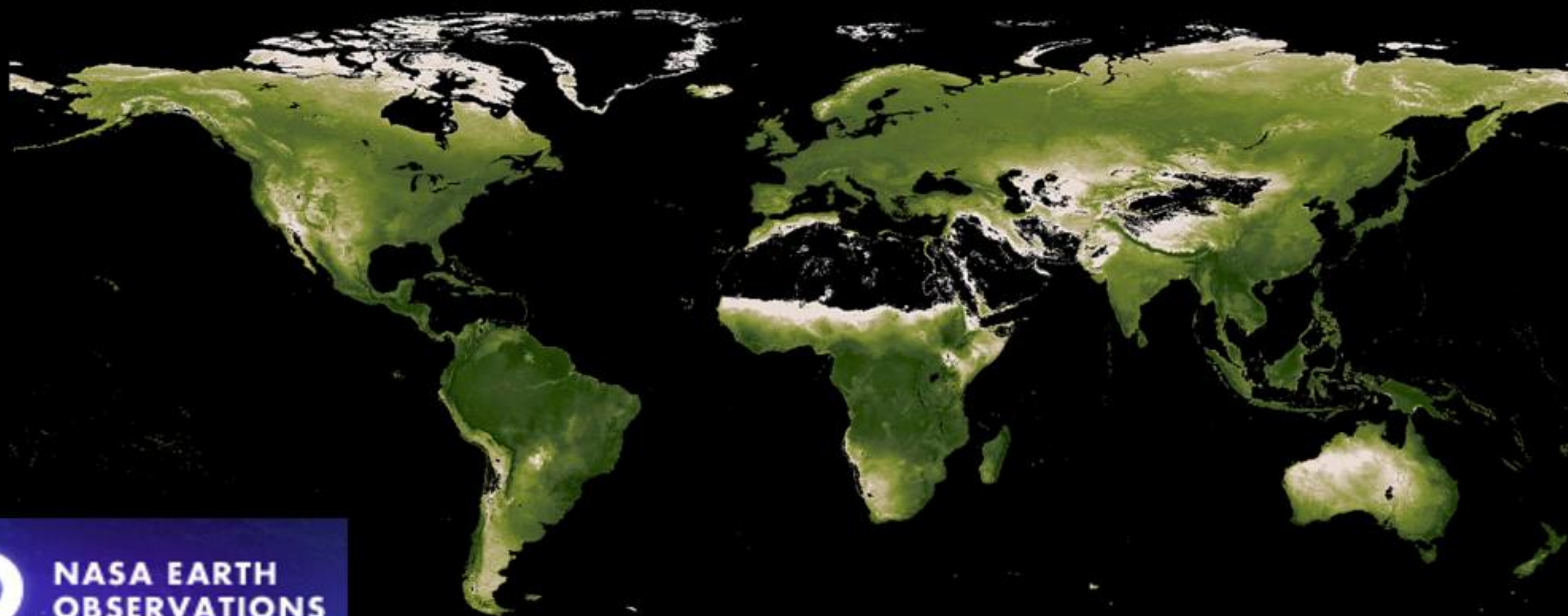
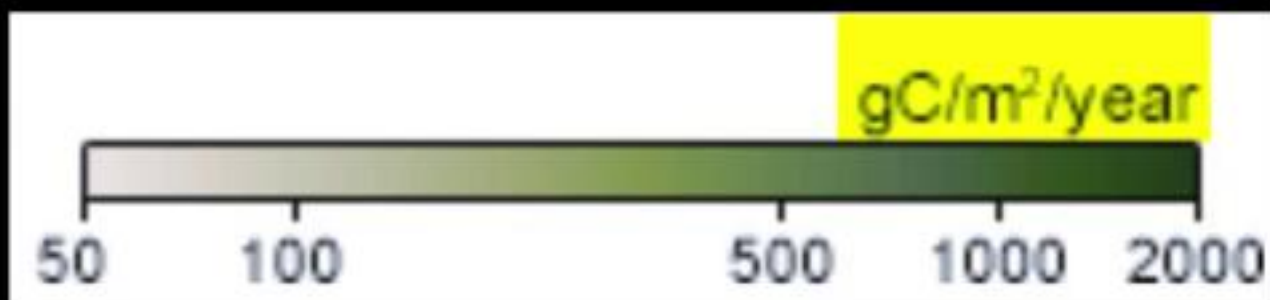
$$\simeq 30 \text{ tonne ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$$



Caractéristiques moyennes des écosystèmes terrestres, en tonnes par hectare de biomasse ou de nécromasse végétales (poids frais), et tonnes par hectare et par an de production primaire nette¹⁸

Biome terrestre ↕	Biomasse ↕	Nécromasse (au sol) ↕	Production primaire nette ↕
Toundra arctique	5	3,5	1
Taïga arctique nord	100	30	
Taïga arctique sud	330	35	7
Forêt de chênes	400	15	9
Prairies, steppes	25	12	14
Steppe aride	40	1,5	4
Semi-désert	1,6		0,6
Savane herbeuse	2,7	5	7
Forêt tropicale	4	10	25
Forêt équatoriale	600	2	33
Cultures	4 à 100	moyenne : 6,6	Record : 80 Canne à sucre

Exprimons la productivité primaire nette en masse de carbone / m² / an



NEO

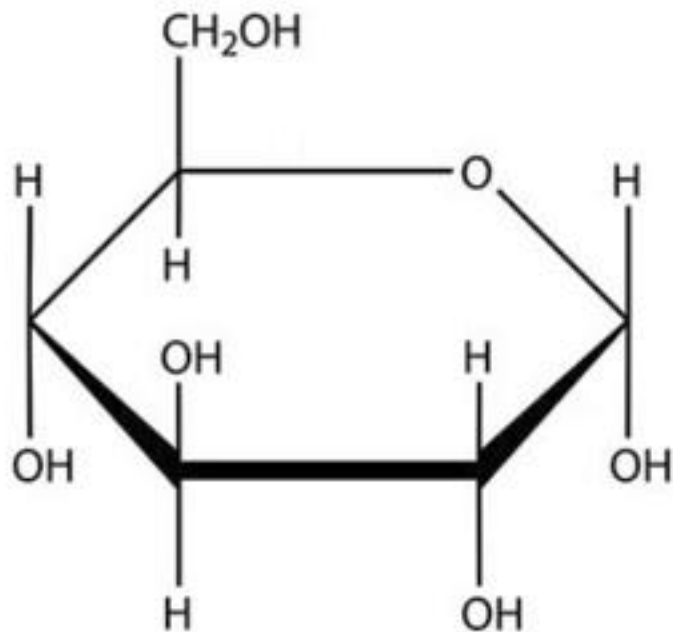
NASA EARTH
OBSERVATIONS

Exprimons la productivité primaire nette en masse de carbone / m² / an

Comment convertir des grammes de matières sèches en grammes de carbone (C) ?

$$\frac{M_c}{M} = \frac{72}{180} = 40 \%$$

Facteur de conversion



Masse molaire $M = 180 \text{ g mol}^{-1}$

Masse des 6 atomes de carbone $M_c = 72 \text{ g mol}^{-1}$

3 kg de matières sèches,
cela représente 1200 g de C

Productivité primaire nette en gramme C / m² / an

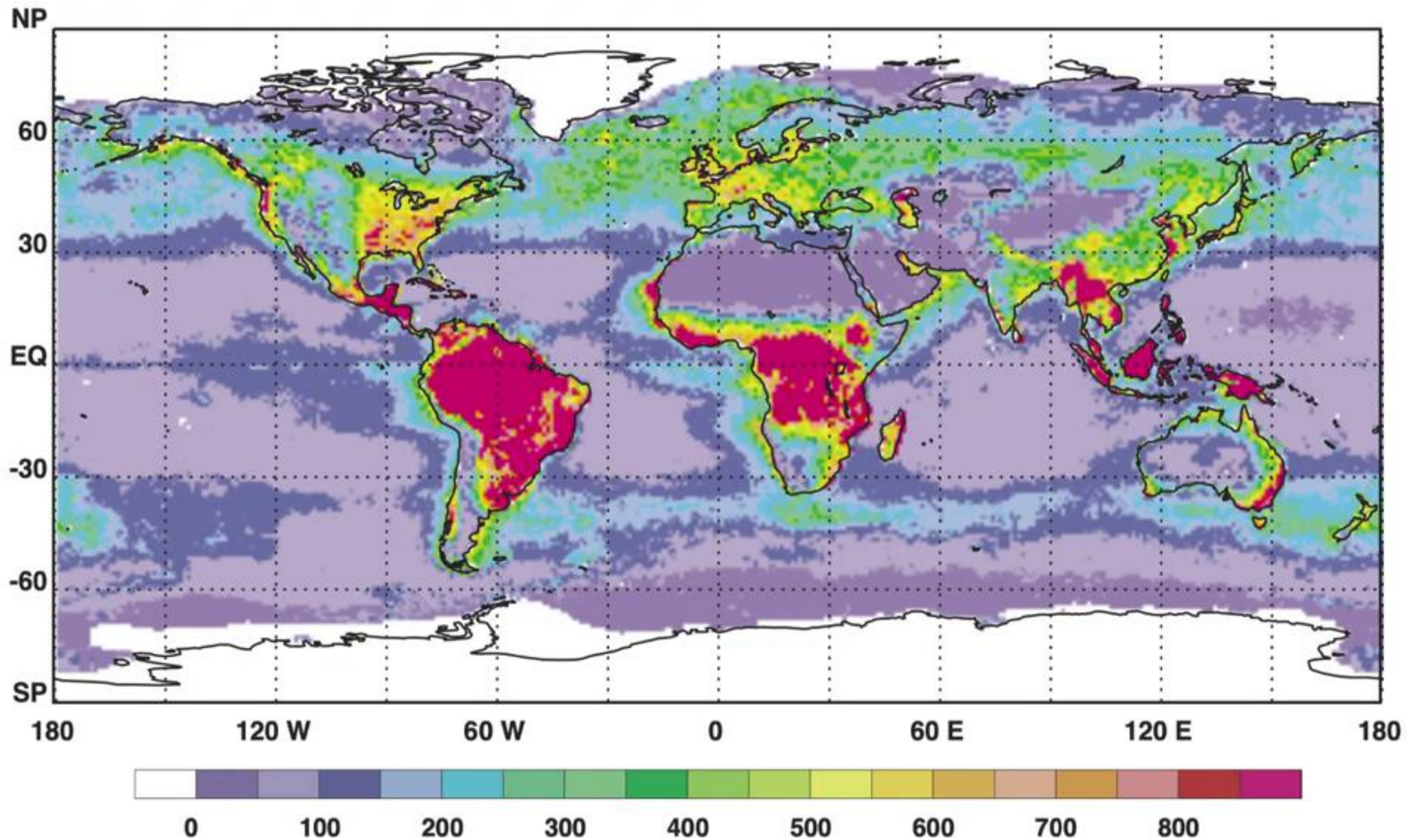
publié
en 1998

Primary Production of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components

**Christopher B. Field,* Michael J. Behrenfeld, James T. Randerson,
Paul Falkowski**

Productivité primaire nette en gramme C / m² / an

Fig. 1. Global annual NPP (in grams of C per square meter per year) for the biosphere, calculated from the integrated CASA-VGPM model. The spatial resolution of the calculations is $1^\circ \times 1^\circ$ for land and $1/6^\circ \times 1/6^\circ$ for the oceans. Input data for ocean color from the CZCS sensor are averages from 1978 to 1983. The land vegetation index from the AVHRR sensors is the average from 1982 to 1990. Global NPP is $104.9 \text{ Pg of C year}^{-1}$ ($104.9 \times 10^{15} \text{ g of C year}^{-1}$), with 46.2% contributed by the oceans and 53.8% contributed by the land. Seasonal versions of this map are available at www.sciencemag.org/feature/data/982246.shl. NP, North Pole; EQ, equator; Sp, South Pole.





Retenons un
rendement global
de 0.1 % à
l'échelle du globe

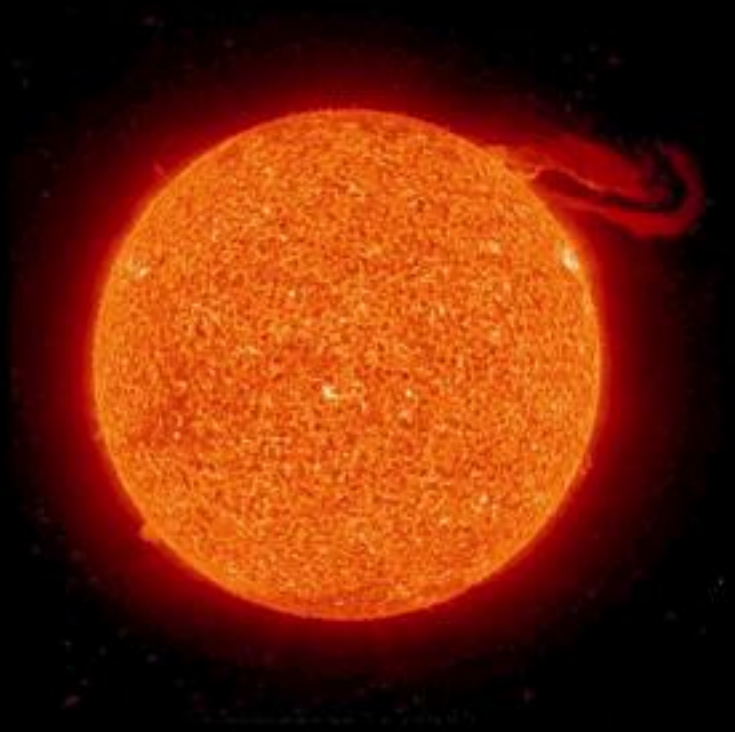
Calculons la production
primaire nette de biomasse à
l'échelle du globe !

Calcul de la production primaire nette à l'échelle du globe

$$\begin{aligned}200 \text{ g/m}^2/\text{an} \times 4\pi \times (6400 \text{ km})^2 &\simeq 1 \times 10^7 \text{ g an}^{-1} \\&\simeq 100 \text{ Pg an}^{-1} \\&\simeq 100 \text{ Gtonne an}^{-1}\end{aligned}$$

Préfixe	Symbole	Facteur multiplicateur de l'unité	Notion scientifique
péta	P	1 000 000 000 000 000	10^{15}
téra	T	1 000 000 000 000	10^{12}
giga	G	1 000 000 000	10^9
méga	M	1 000 000	10^6
kilo	k	1 000	10^3
unité		1	10^0

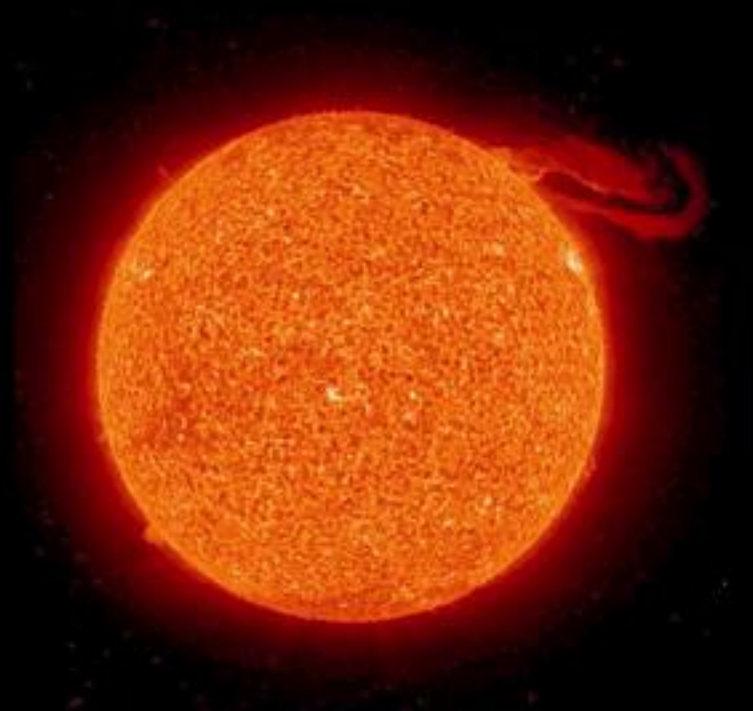




Sur 1000 photons
envoyés par le Soleil,

seul un photon va servir à
fabriquer de la biomasse





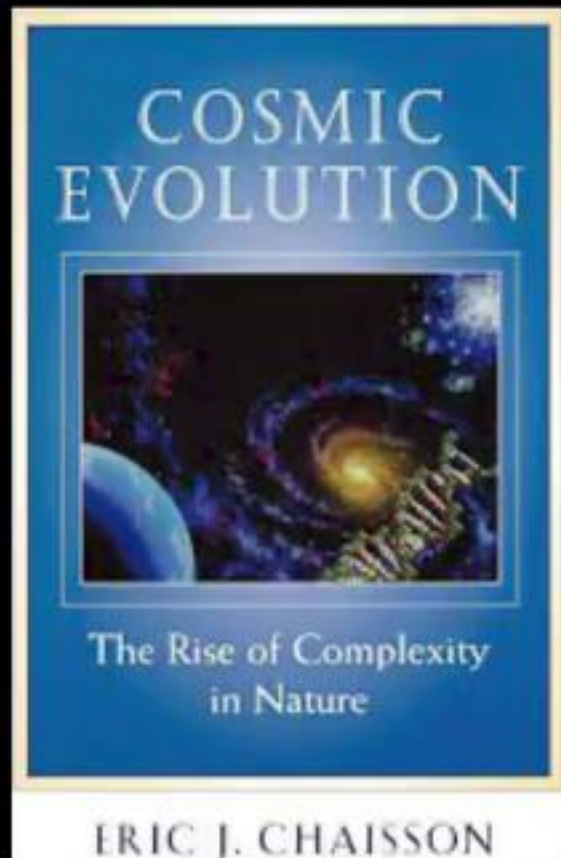
Sur les 90 PW d'énergie solaire
reçue à la surface de la Terre,

seuls 90 TW vont être stockés
sous forme d'énergie chimique
par la biomasse



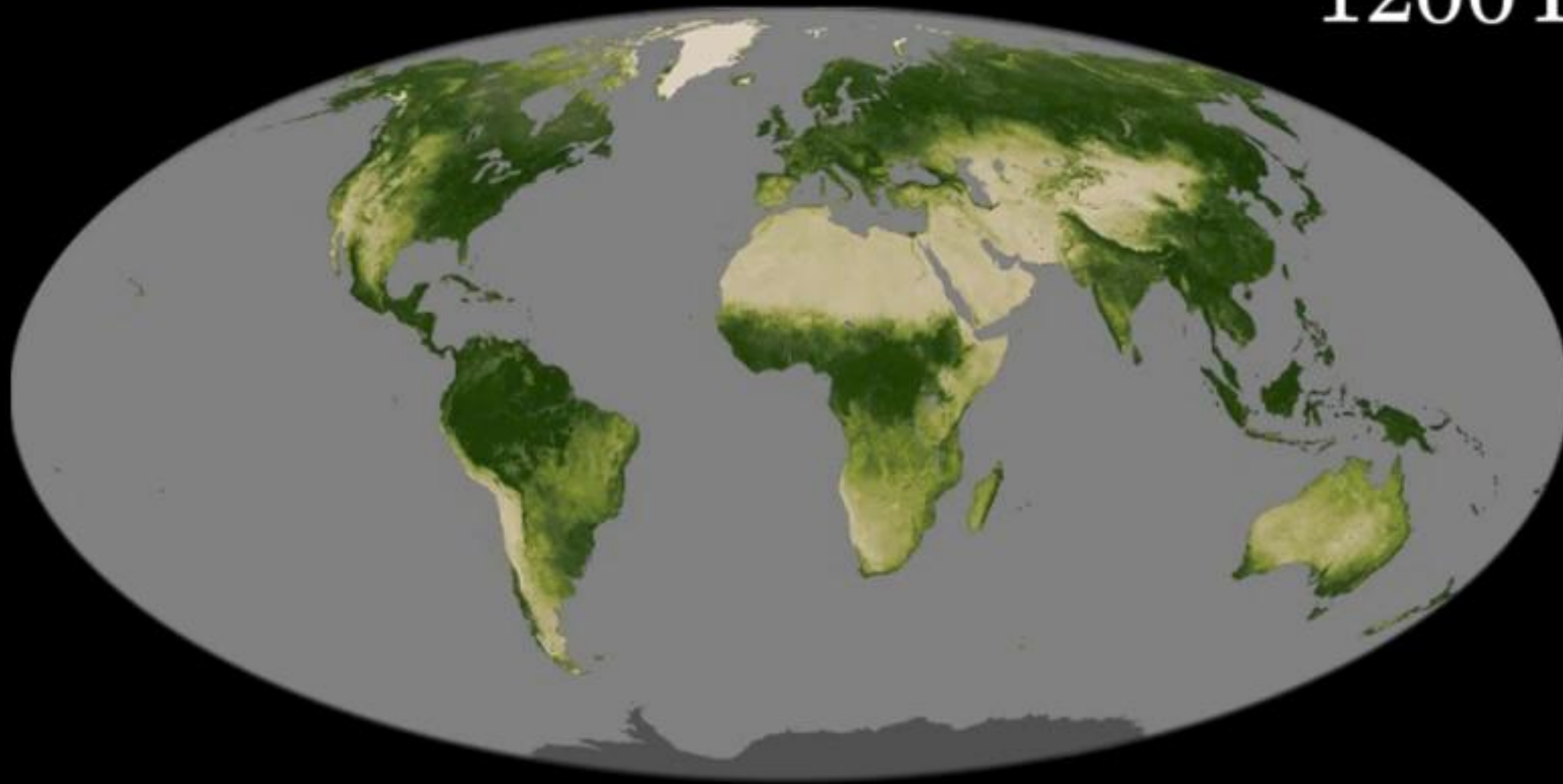


Suivons la démarche d'Eric Chaisson pour
estimer l'intensité énergétique de la biopshère



Quelle est la masse de la biomasse dans la biosphère ?

1200 Pg de matières sèches



400 Pg à 500 Pg de carbone

Calculons l'intensité énergétique de la biosphère

$$90 \times 10^{15} \text{ W} / 1000 / 1200 \times 10^{15} \text{ g} / 1 \times 10^{-7}$$

Puissance solaire
captée au niveau
de la surface
terrestre

Rendement de
la photosynthèse
(0.1 %)

Masse de la
biomasse en
grammes de
matières sèches

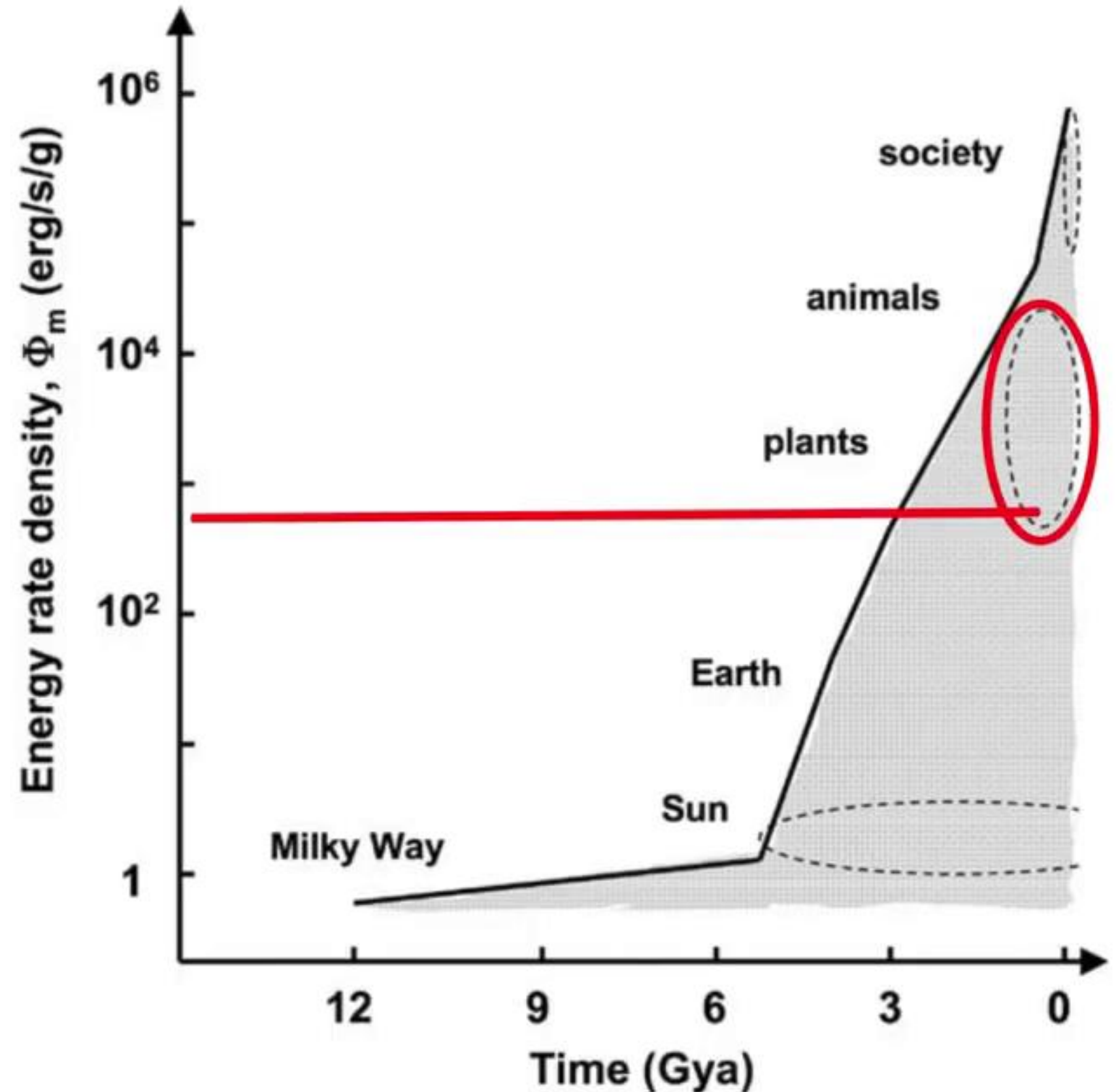
Facteur de conversion
des Joules en Ergs
(1 Joule = 10 millions
d'ergs)

$$750 \text{ erg s}^{-1} \text{ g}^{-1}$$

L'intensité énergétique
comme marqueur de
l'évolution cosmique

Notre valeur d'intensité
énergétique calculée
pour la biosphère

$$750 \text{ erg s}^{-1} \text{ g}^{-1}$$



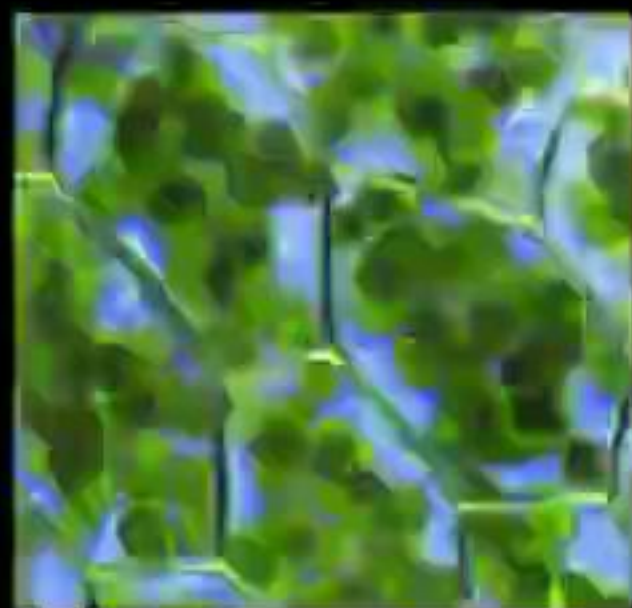


La batterie

Les photopiles



L'anthroposphère



La biomasse
=
énergie chimique



La biosphère



Les chloroplastes

