

# L'énergie dans l'écosystème

Par Pierre Meerts,

Laboratoire de Génétique et Ecologie végétales

Faculté des Sciences

*Trois formes d'énergie interviennent dans le fonctionnement d'un écosystème : rayonnement de courte longueur d'onde (lumière visible), rayonnement de grande longueur d'onde (chaleur) et énergie chimique (molécules organiques). L'article passe d'abord en revue les différents postes du bilan énergétique d'un écosystème. On insiste sur la faible efficacité de la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique par la photosynthèse et sur le fait que, dans un écosystème à l'équilibre, toute l'énergie entrant sous forme de lumière est finalement dissipée sous forme de chaleur. Ensuite, on met en évidence la façon dont les plantes maximisent l'interception du rayonnement solaire. Enfin, quelques adaptations mises en oeuvre par les plantes des habitats très ensoleillés et des habitats froids sont évoquées.*

Un écosystème comprend généralement trois groupes fonctionnels d'organismes vivants : des **producteurs** (les plantes), des **consommateurs** (animaux herbivores et animaux carnivores) et des **décomposeurs** (champignons et bactéries du sol). Dans cet article, on se penche d'abord sur les transferts d'énergie entre ces différents groupes fonctionnels. Ensuite, on s'intéresse plus particulièrement aux plantes. On montre que l'architecture des plantes est soumise à des contraintes liées à leur fonction de « panneaux solaires ». Enfin, on examine brièvement quelques adaptations des plantes à deux types d'habitats offrant des contraintes diamétralement opposées du point de vue de l'équilibre thermique : les climats très ensoleillés et les climats froids.

## Les écosystèmes, convertisseurs d'énergie: quelques définitions

Trois formes d'énergie entrent en jeu dans le fonctionnement d'un écosystème :

- le rayonnement électromagnétique de courte longueur d'onde (lumière),
- le rayonnement électromagnétique de grande longueur d'onde (infrarouges : chaleur),
- l'énergie chimique (sous forme de molécules organiques : sucres, etc.).

La conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique a lieu dans les plantes : c'est la **photosynthèse**.

La conversion de l'énergie chimique en chaleur (par oxydation du glucose) a lieu dans les plantes, les animaux et les microorganismes : c'est la **respiration**.

L'analyse du **bilan énergétique des écosystèmes** est fondée sur les deux premiers principes de la thermodynamique. Le premier principe stipule que

l'énergie entrant dans un écosystème est entièrement conservée au cours de son transfert dans les différents compartiments de l'écosystème. Le second principe se manifeste en écologie par le fait que la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique par la photosynthèse et la récupération de l'énergie chimique contenue dans le glucose par la respiration ne se font pas avec une efficacité de 100 % : des pertes se produisent, sous forme de chaleur.

### 1. Conversion de la lumière en énergie chimique par les plantes

Les plantes reçoivent de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique de courte longueur d'onde (**lumière**). La **photosynthèse** convertit une partie de cette énergie en énergie chimique, c'est-à-dire en énergie de liaison entre atomes dans la molécule de **glucose**. Cette quantité d'énergie fixée par l'écosystème est la **production primaire brute (PB1)**.

Une partie de cette production brute est brûlée par la **respiration des plantes (R1)**, qui libère de la chaleur. La partie qui n'est pas respirée est la **production primaire nette (PN1)**. On a donc :

$$PN1 = PB1 - R1$$

PN1 est utilisée pour la croissance des plantes (incrément **T1**), la production de litières de feuilles mortes (**L1**) et l'alimentation des herbivores (**C1**). On a donc :

$$PN1 = T1 + L1 + C1$$

### 2. Transferts d'énergie dans les chaînes trophiques

Les animaux herbivores consomment une partie **C1** de **PN1**. Cette énergie se partage en quatre postes :

- accroissement de la taille et du nombre d'individus de la communauté d'herbivores (**T2**),
- respiration des herbivores (**R2**),
- prédation par les carnivores (**C2**),
- cadavres et déchets (**L2**).

Le même raisonnement s'applique aux carnivores (postes **T3**, **R3**, **C3**, **L3**). Il n'y a pas de poste C3 si les carnivores ne sont pas mangés par des prédateurs.

Les déchets et cadavres produits par chaque niveau trophique (**L1 + L2 + L3**) alimentent les organismes du sol, principalement des bactéries et des champignons. Cette énergie se partage en trois postes :

- accroissement de masse des organismes du sol (incrément **T4**),
- accroissement de la quantité de matière organique morte dans le sol (humus : **DH**),
- respiration des organismes du sol (**R4**).

### 3. Bilan d'énergie de l'écosystème

Voyons la répartition finale de l'énergie entrée dans l'écosystème sous forme de production brute **PB**.

$$R = R1 + R2 + R3 + R4$$

Une autre partie peut rester stockée dans l'écosystème sous forme d'**accroissement des populations d'organismes vivants** ( $T = T1 + T2 + T3 + T4$ ) ou d'**accumulation de matière organique morte dans le sol** (humus : **DH**). On a donc :

$$PB = R + T + DH$$

Dans un **écosystème à l'équilibre**, toute l'énergie entrant dans l'écosystème est transformée en chaleur. Dans ces écosystèmes, les populations vivantes et la matière organique morte sur le sol ne grandissent plus ( $T = 0$  et  $DH = 0$ ). La forêt vierge équatoriale est un exemple d'écosystème proche de l'équilibre.

Les **agroécosystèmes** sont maintenus par l'homme **loin de l'équilibre** : ils produisent chaque année un excédent de matière organique qui est récolté par l'homme (production végétale ou production animale).

#### Faible efficacité de la capture d'énergie par les écosystèmes

L'efficacité des plantes dans la capture d'énergie solaire se mesure par le rapport entre **PB** et la quantité totale d'énergie lumineuse reçue. Cette efficacité de la photosynthèse est très faible : moins de 5 %. On peut attribuer ce manque d'efficacité notamment aux facteurs suivants :

1. Les plantes ne peuvent utiliser que la lumière bleue et la lumière rouge ; les autres longueurs d'onde sont mal utilisées (notamment le vert : les plantes nous apparaissent vertes parce qu'elles n'absorbent pas cette couleur !).
2. Une grande partie de la lumière entrant dans une feuille est absorbée par l'eau, les parois cellulaires et d'autres constituants de la feuille avant d'avoir pu être utilisée par la chlorophylle.
3. Les conditions de température, d'humidité, d'alimentation minérale, etc. sont rarement optimales et limitent la vitesse de la photosynthèse.

#### Les arbres en tant que panneaux solaires

Comparons les plantes à des panneaux solaires...

Les panneaux solaires fabriqués par les ingénieurs pour approvisionner une maison en énergie sont des plaques horizontales de grande surface, placées les unes à côté des autres.

Les arbres sont naturellement équipés d'une multitude de très petits panneaux solaires (c'est-à-dire leurs feuilles), disposés en plusieurs couches superposées.

Quel est le système le plus efficace ?

En 1971, **Horn** a montré que ce sont les arbres qui sont plus efficaces.

Soit un panneau solaire de surface **S** qui capte une énergie **E** par unité de temps. Soit un arbre, dont la couche de feuilles supérieure représente un panneau solaire perforé de surface  $S/2$  captant une énergie  $P/2$ . De la lumière traverse ce panneau par les espaces libres existant entre les feuilles. Elle peut ainsi alimenter une seconde couche de feuilles  $S/2$  qui capture aussi une quantité d'énergie  $P/2$ . L'arbre et le panneau solaire sont maintenant à égalité. Toutefois, chez un arbre, de la lumière peut à nouveau traverser cette seconde couche de feuilles et peut en alimenter une troisième, une quatrième, etc.

Au total, les arbres sont plus efficaces parce qu'ils peuvent **répartir la lumière reçue sur une très grande surface de feuilles**. En moyenne, une forêt de nos régions possède **5 mètres carrés de feuilles pour un mètre carré de surface au sol**.

Ce système ne fonctionne bien que si les feuilles d'une couche supérieure ne font pas (ou peu) d'ombre à la couche sous-jacente. Cette condition est respectée **si une distance minimale sépare deux couches de feuilles successives**. Un modèle géométrique simple montre que cette distance vaut

**diamètre de la feuille x distance soleil-terre/diamètre du soleil**

Comme la distance soleil-terre vaut environ 100 fois le diamètre du soleil, on voit que des feuilles de 3 cm de diamètre doivent être espacées d'une distance verticale de 3 mètres pour que la feuille inférieure ne soit pas dans le cône d'ombre projetée par la feuille supérieure.

La structure du feuillage des arbres réels ne suit pas exactement ce modèle, parce que la direction du rayonnement solaire varie au cours de la journée et de l'année.

### **Feuilles d'ombre et de lumière**

Il est évident que les feuilles du sommet d'un arbre et celles de la base de la couronne connaissent des conditions d'éclairement très contrastées. Elles ont des structures très différentes qui leur permettent de bien fonctionner dans leurs conditions d'éclairement respectives. On distingue les **feuilles de lumière** et les **feuilles d'ombre**.

Les feuilles de lumière sont plus épaisses, et ont des cellules agencées de façon plus compacte ; au total, elles possèdent plus de chlorophylle par unité de surface. Elles capturent donc très bien un rayonnement intense. Par contre, elles ont un coût énergétique de maintenance très élevé (respiration intense), qui ne leur permet pas d'être efficaces si elles sont placées à l'ombre.

Les feuilles d'ombre, quant à elles, sont minces, ont des cellules plus lâchement agencées et possèdent moins de chlorophylle par unité de surface. Au total, elles respirent très peu, ce qui leur permet d'avoir un bilan d'énergie positif même si l'intensité lumineuse est faible. Par contre, leur pauvreté en chlorophylle ne leur permet pas de fonctionner très bien en pleine lumière.

## Adaptations des plantes à un excédent d'énergie solaire

Dans les climats très ensoleillés, une plante peut dissiper une partie importante de l'énergie qu'elle reçoit par la **transpiration** (chaleur latente d'évaporation).

Si l'eau est limitante (climat sec), d'autres mécanismes entrent en jeu :

- réduction ou disparition des surfaces foliaires ; le cas extrême est celui des cactus, dont l'appareil aérien est réduit à des cylindres verticaux qui interceptent très peu de rayonnement au moment où le soleil est au zénith
- structures réfléchissantes sur les feuilles : poils, écailles,...
- feuilles profondément découpées, plus faciles à refroidir par le vent que des feuilles indivises (à surface égale).

## Adaptations des plantes aux climats froids

Dans les climats arctiques et alpins, beaucoup de plantes ont développé des mécanismes qui limitent les **pertes de chaleur par convection** (vent) :

- **port en coussinet** : l'effet refroidissant du vent ne se manifeste qu'à la surface du coussinet et très peu au niveau de chaque feuille,  
ex. : saxifrages, androsaces,...
- **poils** : ces poils emprisonnent autour des feuilles une couche d'air calme.

Certains dispositifs peuvent favoriser le réchauffement de certaines parties de la plante quand elle est exposée au soleil :

- bractées translucides de certaines rhubarbes de l'Himalaya, constituant une « serre » au tour de la tige,
- corolle bleu vif, en entonnoir, des gentianes, assurant le réchauffement de l'ovaire.

## En guise de conclusion

Le fonctionnement d'un écosystème dépend de son approvisionnement en énergie par les plantes. A l'exception des écosystèmes manipulés par l'homme (agroécosystèmes), les écosystèmes ne conservent généralement pas l'énergie qui y pénètre. Généralement, cette énergie est complètement dissipée sous forme de chaleur.

L'évolution a optimisé la capacité des plantes à capturer la lumière. Cette optimisation se manifeste, d'une part, au niveau de l'architecture de la plante entière, d'autre part, au niveau de l'anatomie foliaire. Néanmoins, l'efficacité de la photosynthèse reste faible (< 5 %).

Enfin, dans les climats très ensoleillés et secs et, à l'opposé, dans les climats très froids, le maintien de l'équilibre thermique des plantes met en œuvre des adaptations caractéristiques, essentiellement de nature morphologique.