

## Chapitre II : Flux d'énergie

### II.1. Notions générales

L'énergie solaire constitue l'unique source d'énergie pour les êtres vivants (directs ou indirects). Tout être vivant doit pour fabriquer ses tissus et pour se reproduire recevoir une certaine quantité d'énergie et matière. Cette énergie assure les dépenses d'entretien (respiration) permet la formation de nouveaux tissus et des éléments nécessaires à la reproduction.

Une grande partie de l'énergie solaire frappant le niveau de production est dissipé sous forme de chaleur

L'étude bioénergétique des écosystèmes renseigne sur leur fonctionnement et complète l'aspect statique représenté par la description des niveaux trophiques. Dans cette optique l'écosystème est considéré é comme une machine biologique traversée par un double flux de matière et d'énergie.

La chlorophylle et les autres pigments apparentés absorbent surtout l'énergie contenue entre 0,4 - 0,5  $\mu$  (bleu) et entre 0,6 et 0,7 (rouge).

En réalité 10 % de l'énergie reçue par les plantes est réellement transformée en biomasse. De plus le rendement photosynthèse est très faible l'énergie capturée par les plantes représente 1 % à 2 % du flux lumineux total incident.

Une plus grande partie de l'énergie solaire frappant le niveau de production est dissipé sous forme de chaleur. Le passage de la matière organique au travers de différents niveaux de consommation se fait avec des pertes considérables (pertes d'énergie chimique).

### II.2. Définitions des paramètres quantitatifs (biomasse, production, productivité)

#### II.2.1. Biomasse :

Biomasse est le poids ou le nombre d'individus présents au moment de l'observation alors la biomasse peut être l'ensemble de toute la matière organique totale vivante ou morte au moment de l'observation, ce qui correspond à la **matière organique totale** de l'écosystème (MOT) animale ou végétale. AIDOUUD, 2003

$$M.O.T = B + N + L + H$$

B= Biomasse vivante, N=Nécromasse=biomasse morte attachée aux arbres ou animaux (feuilles, sueur autres), L= litière, H= Humus

M.O.T considère la phytomasse et la zoomasse dans un biotope donné et à un moment donné. La phytomasse est une mesure plus fréquente et plus facile que la zoomasse (mobile).

#### II.2.2. Production,

**\*production primaire** correspond à la quantité totale de matière organique fixée par photosynthèse y compris celles réutilisées par les plantes pour subvenir à leurs besoins. l'utilisation de l'énergie absorbée par un être vivant dans : \*production de protoplasme \*production de gamètes spores, graines, embryons et les \*dépenses de maintenance (métabolisme de repos (activité)

### **II.2.3. Productivité**

**Définition1** : c'est la vitesse de la production de la biomasse.

**Définition2** : Productivité : C'est la production primaire par unité de surface et de temps. On l'estime en tonnes matière organique sèche synthétisée /ha/an.

Productivité primaire est la vitesse par laquelle l'énergie est emmagasinée par l'activité photosynthétique des producteurs, sous de matière organique pouvant constituée une réserve qui peut être utilisée comme aliment par les consommateurs.

La productivité brute (PB) est la quantité de matière vivante élaborée pendant l'unité de temps pour une surface donnée, par organisme, un peuplement ou un niveau trophique. Cette productivité est évaluée soit par le poids sec, soit sous forme de son équivalent en calories.

Le terme de productivité II<sup>aire</sup> est réservée à la biomasse produite par les consommateurs ou les décomposeurs.

### **II.2.4. Méthode de mesure (en milieu herbacé, et forestier)**

La mesure de la phytomasse aériennes (herbacées) se fait par simple récolte de la végétation sur une surface déterminée. Le poids frais est transformé en poids sec par dessiccation à 85c° ou 105c°. Le poids sec est ramené à l'unité de surface. la technique est facile : Fauchage : pour la végétation basse (prairie, landes, végétation cryptogamique). **AIDOU, 2003**

Pour la végétation arbustive ou forestière, utilise une méthode d'analyse de dimension dont le paramètre de base est le D.B.H (diamètre du tronc à 1.30m de la poitrine ou du sol). En effet toutes les valeurs importantes de la biomasse (troncs, branches, feuilles...) sont pour chaque arbre proportionnel à son D.B.H. il suffit de mesurer et de peser un échantillon d'une quinzaines d'individus représentatif de la population étudiée pour obtenir des courbes qui nous permettent de lire la caractéristique recherchée. Ces résultats peuvent être appliqué pour une région déterminée et la variation est bien matérialisée par un abaque pour l'ensembles des essences ligneuses.

#### **A. Biomasse aérienne**

L'évaluation de la biomasse aérienne a toujours eu recours à une méthode mixte qui consiste à mesurer directement la biomasse et les paramètres dendrométriques pour l'arbre abattu, suivi par l'application de relation allométrique établit sur l'échantillon abattu.

**A.1. La phase destructive** : il s'agit détruire un certain nombre des arbres avec choix d'échantillon qui varie en fonction de la méthode rapide choisie

DUVIGNAUD, 1982. La méthode de l'arbre moyen est une méthode rapide, valable dans les peuplements équiens ; elle donne qu'une idée approximative de la biomasse. Un seul arbre abattu qui correspond au représentant moyen des peuplements (hauteur, circonférence).

**A.2.Méthode Allométrique** : DUVIGNAUD, 1980 : Consiste à établir à partir d'un échantillon représentatif une relation entre la biomasse et des paramètres faciles à mesurer. Ces paramètres sont mesurés par DBH, soit la surface terrière qui est la surface de section du tronc à 1,30m plus utilisée par les Français.

La relation obtenue est appliquée au (DBH et à la surface terrière) de l'ensemble des individus du peuplement pour déterminer la biomasse du peuplement.

Le choix d'un certain nombre d'arbres sera basé sur la méthode stratifié par classe de diamètre du tronc (les individus du peuplement seront réparti en classe de circonférence, diamètre en surface terrière identique ou voisine dans le but de l'établissement des histogrammes.

### **Remarque**

Les mesures effectuées sur les arbres abattus

**A.3.Mesure d'dendrométrie** : diamètre, circonférence, surface terrière, hauteur

On procède à la numérotation et la mesure des branches et des rameaux avec le diamètre de l'insertion au tronc, puis on procède au pesage des branches, suivi par un tri feuilles, branche...

Pour d'autres échantillons on détermine même le volume du bois et de l'écorce, l'Age, micro masse après que toutes les branches vont être enlevés et les troncs découpés en billons de 2m de long, qui seront pesés et en détermination du volume par mensuration  $\pi R^2 h$  des rondelles de chaque fragment sont mis a séché pour déterminer la teneur en eau et la densité du bois par xylomètre

### **A.4.La phase non destructive**

Pratiquement cette approche est difficile, vu la densité des peuplements de mesurer toutes les branches. Ce qui nous ramène à chercher une corrélation, les résultats obtenus durant la phase précédente en relation à un paramètre plus simple et conventionnel en sylviculture, facile à mesuré.

Exemple : H(Hauteur), ou circonférence à 1,30m des arbres, choix de nombre à mesuré

Sur 15 placettes de 100m<sup>2</sup> chacune qui forme l'aire expérimentale on choisit l'arbre situé au milieu de chacune d'elle, sur ce sujet on mesure tous les circonférences des branches, l'angle d'insertion et le diamètre

Le choix de l'arbre ce fait sous les critères suivants :

\*La circonférence à 1,30m de l'arbre choisi dans une classe de circonférence à effectif élevé, les arbres sur pied choisi doit appartenir à cette classe

\*La circonférence à 1,30m de l'arbre complétera la gamme des circonférences représentée par les arbres abattus

\* La circonférence à 1,30m est située dans la classe des individus les plus forts de façon à améliorer les régressions par l'échantillonnage destructif

## **A.5. Calcul de biomasse :**

### **\*Forêt**

A partir des mesures des arbres sur pieds, on calcul la circonférence, leurs poids par la régression sur les branches

Les biomasses obtenues sont corrélées au diamètre de circonférence à 1,30m de nouvelles équations de régression détermine le tarif final, ce dernier permet de calculer la biomasse aérienne fractionnée du peuplement à la circonférence à 1,30m de tous les individus formant ce peuplement, ceci en multipliant la biomasse des échantillons donné par la densité afin de passer pour la biomasse du peuplement (Cas de forêt).

### **\*Formation pré forestière**

Exemple d'une garrigue à chêne kermès, estimation de la biomasse sur une surface de 1m<sup>2</sup> composé de pied de chêne kermès de 1m de hauteur tout le matériels depuis les rejets jusqu'à les jeunes pouces (coupe rase).

C'est une méthode destructive sur une surface de 1m<sup>2</sup>, chaque tige a été immédiatement pesée une placette ainsi que tout le matériels ; pour les autres placettes seulement 1/10 de matériels transportés au laboratoire pour être tri, sécher et peser pour déterminer le poids sec des tiges, rameaux et les résultats moyens sont ramenés à l'hectare pour cette garrigue

## **B. Biomasse souterraine**

Deux méthodes sont utilisées dans l'évaluation de la biomasse souterraine Les auteurs CABANETTES et RAPP, 1981 ont utilisés ces deux méthodes :

### **1. Méthode d'excavation :** consiste à creusé un trou autour de l'arbre

Cette méthode a pour but d'extraire des grosses racines et la deuxième méthode c'est le contraire permet de mieux exprimer la fraction fine (diamètre >1cm)

**2. Méthode de prélèvement :** Consiste à prendre en considération la totalité des pivots, les racines latérales contenue dans une fosse circulaire de 1,50cm de rayon autour de la souche cette méthode est utilisée pour préciser d'avantage l'évaluation du calcul de la biomasse cela est effectué par la pesée sur le périmètre et calculer la régression de cette biomasse sur la circonférence de 1,30m puis généraliser à l'ensemble de peuplement.

A partir de cette régression on aura une biomasse de chaque sujet.

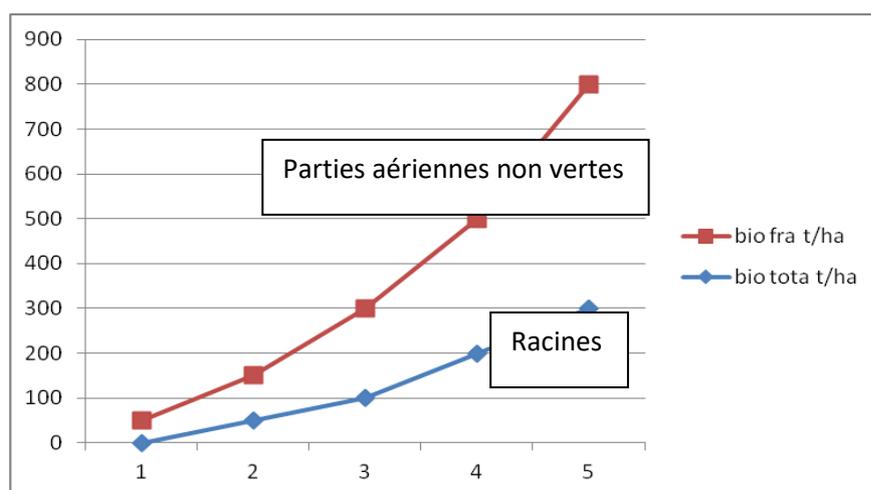
On ne peut pas utiliser cette méthode sur les chênes verts car les racines sont très profondes ; d'après CABANETTES et RAPP, 1981. Le prélèvement des 1/4 m<sup>2</sup> de surface et de 40cm de profondeur, les échantillons au nombre de deux sont ensuite passé aux étapes suivantes :

Laver → sécher → peser

D'après la lecture le tableau de régression, on obtient une valeur de biomasse racinaire de 55 t/ha. Le prélèvement étant hétérogène de l'échantillon ce qui induit une valeur approximative de la biomasse souterraine.

MADGWICK et OVINGTON, 1959 ont essayé d'évaluer la biomasse souterraine par rapport à la biomasse aérienne.

RODIN et BAZILEVICH, 1967 donnaient une représentation graphique en biomasse aérienne et biomasse souterraine d'un peuplement à feuille caduque (épongées et épigées)



**Figure 1 Relation entre la biomasse aérienne et la biomasse souterraine d'après DUVIGNAUD, 1982.**

les valeurs suivantes calculées dans une yeuseraie : montre que la biomasse racinaire est à 10 à 15% de la biomasse aérienne : (**Br=10 % à 15% Ba**)

### II.2.5. CHAINES ET RESEAUX TROPHIQUES

La biosphère reçoit de l'énergie sous forme de lumière. Une partie de cette énergie est stockée sous forme de matière organique élaborée à partir des éléments minéraux du milieu grâce au phénomène de photosynthèse et chimiosynthèse.

Les organismes qui effectuent ce stockage sont les producteurs. Ces derniers sont à la base de tout un réseau de lien trophique. **BARBAULT, 2008**

Une chaîne trophique ou alimentaire est une suite de séquences coordonnées d'organismes au cours de laquelle les uns mangent les autres avant d'être mangés à leur tour. la chaîne alimentaire est un élément de la biosphère dans laquelle diverses espèces établissent entre elle des liens de dépendances tels que : une espèce de rang (n) mange celle du rang (n-1) et est mangée par celle rang (n+1) les producteurs sont le point de départ des chaînes trophiques.

Processus de synthèse aboutit à une augmentation de matière organique assurés par les plantes à savoir :

\* Le niveau de consommation (parasites -animaux)

\*Le niveau de décomposition

La matière organique est dégradée et libère des éléments chimiques qui vont rejoindre les cycles biogéochimiques.

### 1) Producteurs

Organismes chlorophylliens

} Autotrophes macro ou  
microscopiques

Bactéries chimiosynthétique

Ces organismes transforment l'énergie photonique en énergie chimique potentielle en s'accumulant dans les composés organiques tels que :

(Glucides, protides, lipides) élaborés à partir de matières minérales  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{PO}_4^-$ .

Ces matières minérales sont fournies par le milieu extérieur abiotique.

Les producteurs constituent le premier maillon des chaînes alimentaires.

### 2) Consommateurs

Ce sont des hétérotrophes qui ne peuvent se nourrir qu'avec des matières organiques complexes (glucides, protides, lipides triglycéride)

Ils dépendent donc entièrement des producteurs,

soit directement → par les consommateurs primaires

Soit indirectement → par les consommateurs secondaires

#### a- Consommateurs 1

Phytophages = herbivores: parasites des végétaux

#### b- Consommateurs 2

Carnivores, prédateurs, parasites

#### c- Consommateurs 3

Carnivores, prédateurs, parasites diversivores, ectoparasites et endoparasites (le parasite ne tue pas nécessairement)

A l'échelle des individus la nourriture a 4 fonctions: entretien, activité, production de matière vivante et gamètes.

### 3) décomposeurs

Ils sont saprophytes. Ils utilisent la matière organique morte (détritiques, végétaux; excréta, cadavre) dont ils assurent la minéralisation pour donner de humus.

Ce sont les champignons, bactéries levures et autres microorganismes hétérotrophes.

Détritivores                    { Saprophages (lombrics)  
ou décomposeurs            { Coprophages (consommateurs d'excréments)

Transformateurs responsables de la décomposition de la matière organique → retour à la minérale minéralisation \ bactéries champignons. Les décomposeurs de la matière organique sont des organismes très spécialisés.

**a- Pédofaune** : fractionnement, coprophages, nécrophages déplacement de la matière organique mise en contact avec les argiles

**b- Pédoflore** : champignons / pourritures blanches, actinomycètes

**c- Bactéries** : hétérotrophes.

Ces différents types d'êtres vivants sont indépendants en ce qui concerne leurs besoins en substances nutritives.

Chacun situé à un niveau donné dépend entièrement de ceux situés immédiatement en aval → notion de chaîne trophique.

#### 4) les différentes chaînes trophiques

##### On distingue 3 types de chaînes trophiques

##### a- chaîne trophique de prédateurs qui partent d'un végétal

végétal → mouton → homme

producteur → herbivore → carnivore

En milieu marin les chaînes trophiques sont toujours plus longues que dans les écosystèmes terrestres. ODUM, 1957

Phytoplancton → zooplancton → poisson → poisson → oiseaux petite taille →  
grande taille                    microphage    macrophage

##### b- chaîne trophiques de parasites

Organisme → de grande taille → petite taille

Végétal → herbivore → parasite → hyperparasite

##### c- chaînes saprophytiques

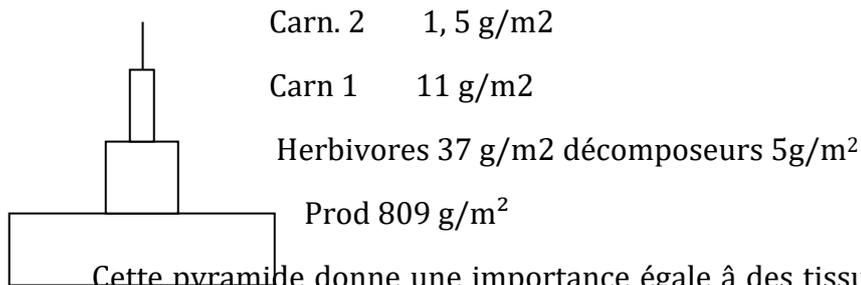


5 842 424 plantes

Parfois en nombre la pyramide peut être inversée dans le cas de la forêt plus riches en d'insectes que les arbres, de même pour les chaînes trophiques de parasites. Inconvénient des pyramides en nombre : elles accordent une même importance à tous les individus quel que soit leur taille et leur poids.

### b- Pyramides des biomasses

Elles reflètent mieux les relations trophiques. Le rapport biomasse producteurs/biomasse constitué est encore plus élevé qu'en nombre correspondant.

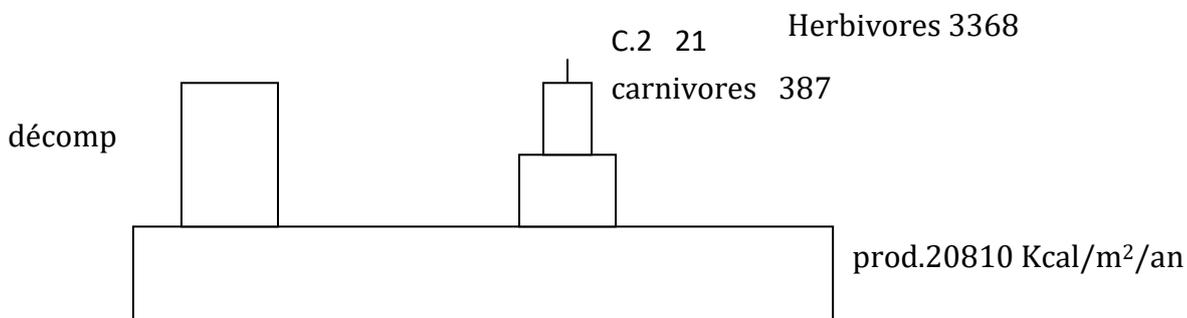


Cette pyramide donne une importance égale à des tissus dont la composition chimique et la valeur énergétique ne sont pas égale.

### c- Pyramides des énergies efficacité des écosystèmes

Il apparaît que les décomposeurs reçoivent une part appréciable du flux d'énergie :

1 g de glucide (4 Kcal), 1 g de protide (4 Kcal), 1 g de lipide (9 Kcal), 1 g de bois de tronc (4,5KCa), 1 g de feuilles vivantes (4,7KCa) et 1g de litière (4,5KCa).



1 % du flux solaire est transformé en énergie chimique (MO = photosynthèse brute). Les végétaux consomment une partie pour leurs besoins métaboliques celle-ci sera dissipée par la respiration des plantes.

\*Une partie de la production est consommée

\*Une partie est dégradée qui va rejoindre le sol

De même la production des herbivores est égale à la différence entre les aliments absorbés moins les pertes par respiration et les excréments.

**Remarque :** On peut les considérer comme des producteurs secondaires.

Les transformations d'énergie dans un réseau trophique se font donc avec un très mauvais rendement c'est-à-dire un nombre restreint de maillons.

Si 1000 Kcal/jour/m<sup>2</sup> sont fixés par les producteurs 10 passent dans la biomasse des herbivores et un(1) dans la biomasse des carnivores.

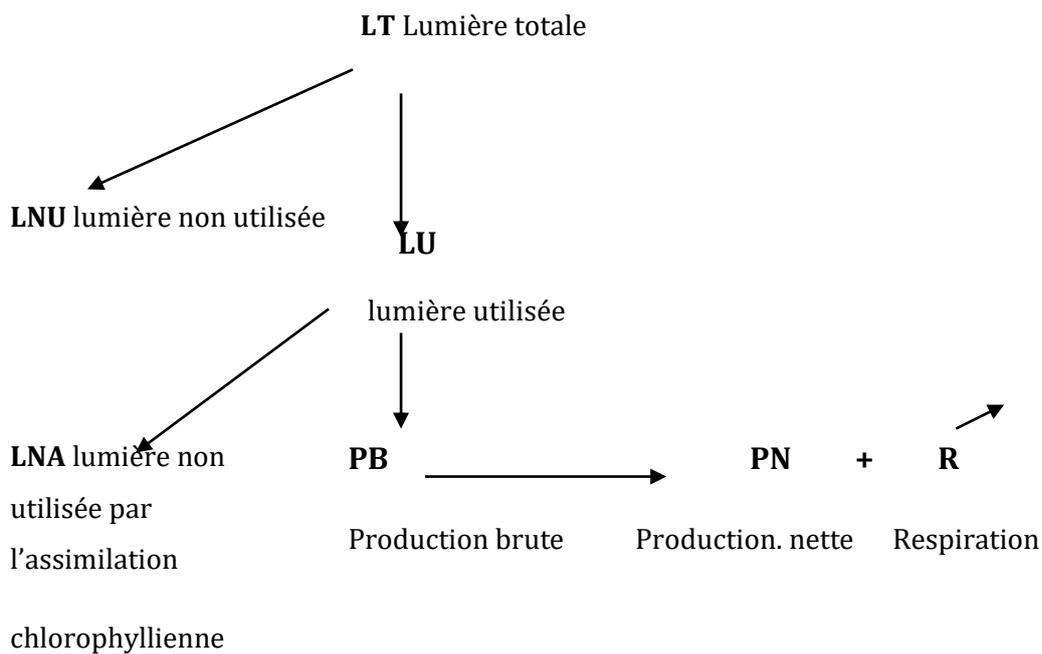
L'efficacité de la conversion d'énergie varie beaucoup d'une espèce à l'autre.

Il faut : 10 Kcal d'aliment pour obtenir 1 Kcal de bœuf et 3,5 Kcal pour 1 Kcal de poulet.

Pour l'homme la différence entre une alimentation à base de céréales ou à base de viande engendre le problème de nutrition et de régimes dans le monde.

### II.2.7. Bilan et rendement énergétique

#### Rendements : Végétaux chlorophylliens



#### Herbivores C.1 ou carnivores C2

$$A = I - NA$$

**A** : Energie chimique assimilée

**I** : Energie ingérée (aliments)

**NA** : Energie non assimilée (excréments et produits éliminés par les reins)

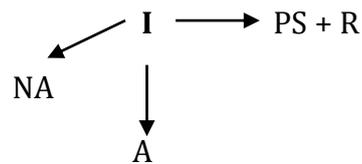
**NA** : Energie non assimilée

$$A = PS + R$$

**R** : Respiration

**PS** : Production secondaire nette

**A** : Energie assimilée



### **Rendements**

PS/I : Rendement écologique

PS /A : Rendement production = rendement de production des tissus.

A/I : Rendement assimilation du point de vue écophysiole

R/A : l'Energie assimilée dépensée par les activités vitales

R/I : l'Energie ingérée utilisée pour le maintien

**a-** Rendement de l'énergie apportée à un niveau trophique donné

$$I_t/I_{t-1} = I_2/I_1 - I_2/LU$$

**b-** Rendement de l'assimilation à un niveau trophique donné

$$A_t/A_{t-1} = A_2/A_1 - A_2/PB$$

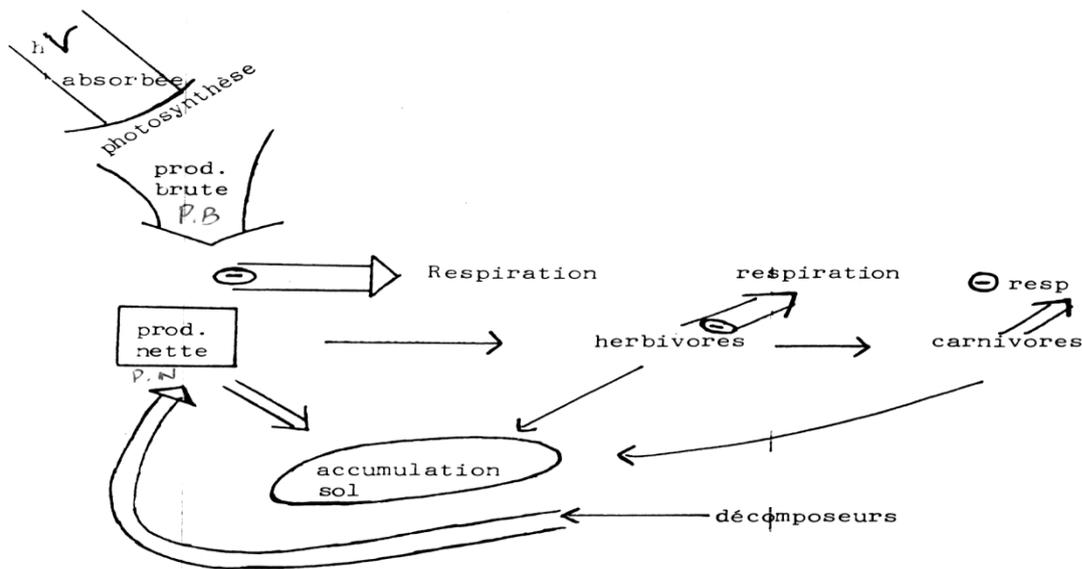
**c-** Rendement de la production à un niveau trophique donné

$$P_t/P_{t-1} = (PS_2/PS_1) + (PS_1/PN) - (PN/LT)$$

**d-** Rendements traduisent les caractéristiques du passage d'un niveau trophique à l'autre en faisant intervenir deux éléments non homologues de niveaux trophiques successifs.

**e-** Rendement d'utilisation :  $I_t/P_{t-1}$  ou  $A_t / (P_{t-1}) + (A_2/PS_1)$

## **II.2.8. Schéma général du flux d'énergie dans un écosystème**



**Figure 2 Flux d'énergie dans un écosystème d'après RAMADE, 2003**

La productivité nette primaire (PN) correspond à la productivité brute diminuée de la quantité de matière vivante dégradée par les phénomènes respiratoires (R). La productivité primaire concerne les autotrophes et la productivité secondaire s'applique aux hétérotrophes. FRONTIER et al, 2008.

L'énergie nécessaire aux producteurs primaires provient uniquement du rayonnement solaire ainsi, seule une faible partie de la lumière totale (LT) reçue est absorbée par la chlorophylle, le reste n'est pas utilisé (NU). La lumière absorbée (LA) est en partie dissipée sous forme de chaleur (CH), le reste sert à la synthèse de substances organiques et correspond à la photosynthèse brute ou productivité brute (Pb).

La productivité nette (Pn) correspond à la productivité brute moins la quantité de matière dégradée au cours de la respiration d'où :

$$Pn = Pb - R$$

Une partie de la productivité nette (Pn) sert d'aliment aux herbivores qui consomment une quantité d'énergie. Une partie de la productivité (NU2) n'est pas utilisée et elle passe dans la biomasse des végétaux avant d'être la proie des décomposeurs. La quantité d'énergie consommée (C1) correspond à ce qui est réellement assimilé soit (A) plus ce qui est rejeté sous forme d'excréments soit (NA1) d'où :

$$C = A + NA1$$

La fraction A1 correspond d'une part à la productivité secondaire (Ps) et d'autre part aux dépenses énergétiques (R2) de telle sorte que :

$$Ps = A - R2$$

Un raisonnement analogue à celui qui a été fait pour les herbivores peut être fait pour les carnivores des autres niveaux trophiques ; une partie de l'énergie accumulée par les autotrophes (Pn) est utilisée par les herbivores, une partie de l'énergie accumulée par ces derniers sert aux prédateurs et ainsi de suite le long de divers niveaux trophiques et jusqu'aux décomposeurs.

Il existe donc un écoulement d'énergie à travers niveaux trophiques, cet écoulement d'énergie est qualifié de flux d'énergie. Le flux d'énergie traversant un niveau trophique est l'assimilation totale à ce niveau, c'est à dire la somme de la biomasse produite (productivité) et des substances respiratoires qui ont servi à la produire. Donc le flux d'énergie qui traverse un niveau trophique est de :

- Pour les producteurs (autotrophes, plantes vertes) est de :  $PB = Pn + R1$
- Pour les consommateurs (hétérotrophes) est de :  $A = Ps + R2$

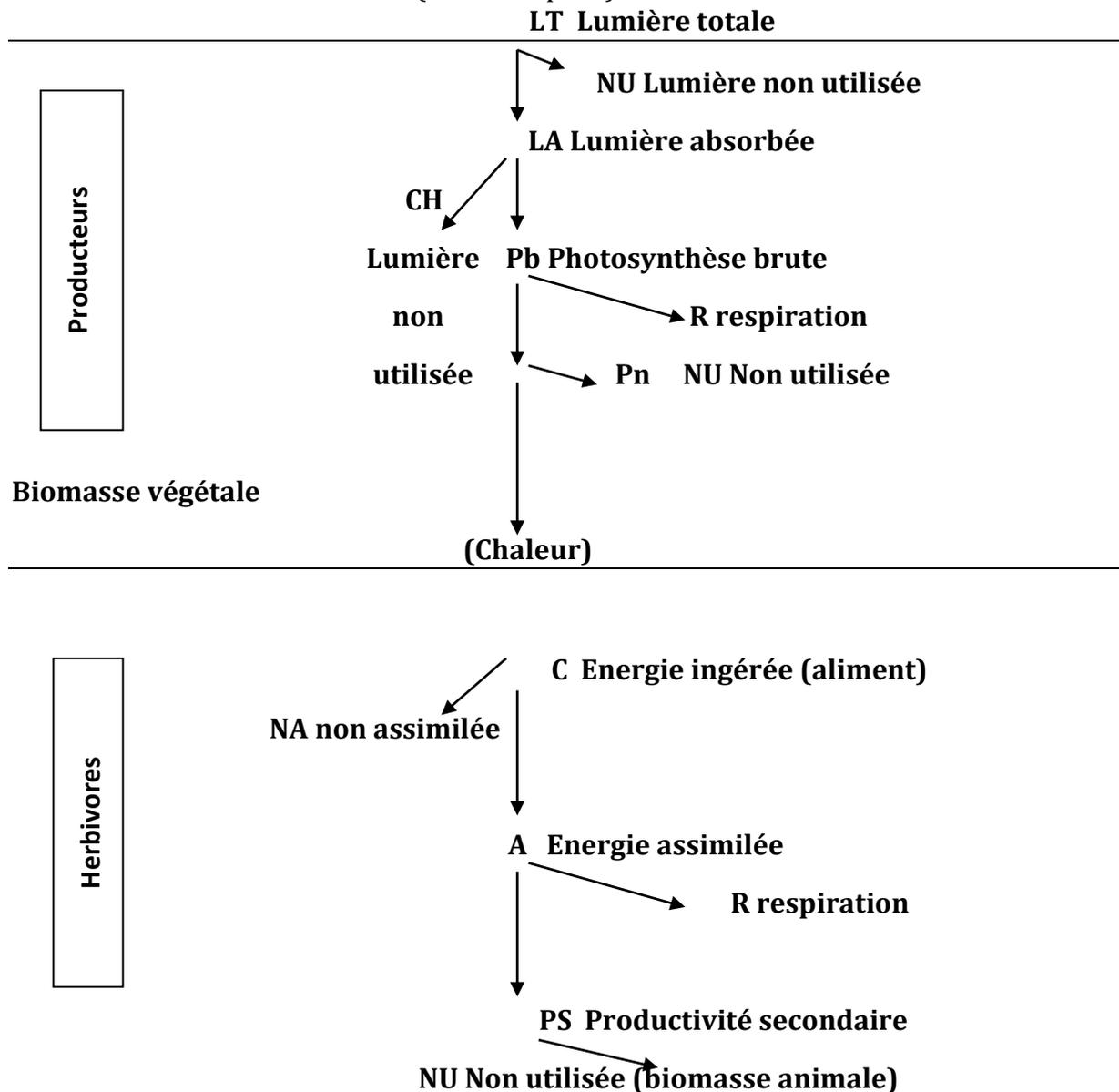


Figure 3 Schéma général du flux d'énergie d'un écosystème : Cas de deux maillons d'une chaîne alimentaire (producteurs et herbivores) DAJOZ, 2006

## II.2.9. Productivité de divers écosystèmes : Etude comparative

II.2.9.1. Production et productivité à l'échelle du globe : Tapis végétal: mosaïque limites parfois imprécises (continuum) (révision des grands biomes). Dans chaque

$$100 \text{ g/m}^2/\text{an} = 1 \text{ t/ha/an}$$

écosystème il y a un stock de matière organique. Renouvellement des ressources par la productivité nette et augmentation réel en matière sèche du tapis végétal par /unité de surface/temps

La production brute = production photosynthétique au niveau des chloroplastes une partie est perdu par respiration

Les mesures effectuées par la méthode non destructives sur plusieurs années

$$PN = PB - R$$

La mesure de la biomasse porte sur le volume tronc et branches

### Remarque :

**HANIFI et TOUFFET, 1989** : \*La production est évaluée par la différence entre un minimum et un maximum de biomasse.

\*Le suivi saisonnier de la phytomasse permet de minimiser les erreurs liées à la différence de cycle phénologique entre les espèces.

\*Par ailleurs, la communauté doit être suffisamment homogène car une hétérogénéité spatiale importante peut masquer les variations saisonnières.

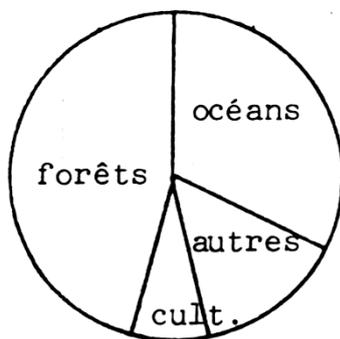
### a) Production primaire :

\*La productivité varie beaucoup suivant la nature des écosystèmes de productions dans le cas des déserts < 200 g/m<sup>2</sup>/an/

\*Les océans recouvrent 7/10 de la surface du globe et ne participent que pour 40 % à la production primaire nette totale.

\*Les forêts 1/10<sup>e</sup> de la superficie → 1/2 de l'énergie totale fixe.

\*Les cultures avec 5 %



Il ne faut pas oublier que les rendements agricoles sont élevés artificiellement par les engrais (verts et chimiques) et utilisation de combustibles fossiles en agriculture (travail du sol, récolte engrais...). L'augmentation artificielle de la quantité d'énergie entrant dans l'agroécosystème. L'introduction de la caractéristique civique et technologique actuelle.

En 1980 la quantité de combustibles fossiles consommée était supérieure à la valeur énergétique de la production primaire nette de l'agriculture (énergie fixée par photosynthèse en 1 an dans l'ensemble des cultures).

Le milieu marin est peu productif c'est pour cette raison qu'on ne peut le considérer comme une source inépuisable de nourriture (faible production primaire). La répartition des productions primaires nette varie différemment pour les océans et les continents, moins au niveau des étendues pélagiques tropicale : Désert.

Les océans caractérisés par les eaux froides subarctiques et coraux (phosphate comme facteur limitant) et au niveau des continents variations de hygrométrie.

La valeur maximale 1700t/ha de biomasse en forêt tropicale mais la production peu différente par rapport à celle de la forêt tempérée. FRITZ, 2003.

**Tab 1 La répartition des productions primaires nette**

Bois	région, tempérée t/ha/an	région tropicale t/ha/an
feuillus	5,1	13,1
résineux	5,3	12,6

De nombreux facteurs écologiques limitent la productivité.

Il suffit qu'un seul facteur d'entre deux soit présent à un taux relativement faible par rapport aux autres pour entraîner une nette diminution de la production tels que :

Le facteur d'ensoleillement, le taux de CO<sub>2</sub> selon le rendement de la photosynthèse, la variation de la température, l'humidité, l'azote et phosphore.

Même dans la forêt tropicale la limite est due à la variation et à la teneur en éléments minéraux. Le désert se caractérise par le manque d'eau par contre les eaux des océans contiennent une valeur élevée des nitrates et phosphates ce qui favorise le problème d'eutrophisation.

Rendement conversion d'énergie solaire	3% forêt
en biomasse végétale	0,1 % steppes
	9,05% toundras déserts
	9,04% océans m

## **b) La production secondaire**

Accumulation de la matière vivante au niveau des consommateurs et décomposeurs. Dans les écosystèmes naturels elle est souvent inférieure à celle des agroécosystèmes (technologie)

**BOURLIERE, 1973** a montré que la production secondaire des savanes d'Afrique centrale est supérieure à celle des bovins que l'Homme tend à substituer à ces derniers sous les mêmes latitudes souvent équivalent à différents études. (Tab2)

La productivité secondaire nette peut être assez élevée dans certains écosystèmes aquatiques par suite de la haute efficacité de certains vertébrés poïkilothermes dans la conversion d'énergie : différence biomasse productivité et la production fait intervenir le facteur temps.

**LAMOTTE, 1969** a proposé de modifier la représentation des pyramides écologiques en intégrant le facteur temps.

**Tableau 2 Production des grands biomes dans le monde**

Surface 10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup>		Biomasse t/ha	Production. t/ha/an
Forêt tropicales	20	450	20
Tempérées	18	300	13
Boréales	12	200	8
Clares	7	60	6
	<b>Total: 57</b>		
Savanes	15	40	7
Prairies temporaires.	9	15	5
Cultures	14	10	6,5
Marais	2	120	20
	<b>Total: 40</b>		
Toundras	8	6	1,7
Steppes	18	7	0,7
Déserts	24	0,2	0,03
	<b>Total: 50</b>		
Eaux	2	0,2	5
Océans et mers	375	0,09	1,5