

Chapitre 4

Flux de la matière et de l'énergie dans l'écosystème

Introduction: En plus des facteurs climatiques et édaphiques qui influencent la répartition des êtres vivants, il existe d'autres facteurs qui régissent les équilibres naturels dans les écosystèmes, ce sont les relations trophiques, intra-spécifiques et interspécifiques.

L'écosystème est donc une structure extrêmement complexe au sein duquel s'établissent des liens entre les êtres vivants ; à travers ces liens on assiste à un transfert de la matière et de l'énergie.

- Quels sont les différents types de relations trophiques ?
- Comment les relations trophiques sont-elles organisées au sein de l'écosystème ?
- Quel est le lien entre les relations trophiques et le flux de la matière et l'énergie ?
- Comment ces relations influencent-elles la naissance d'un écosystème ?

I- Les relations trophiques existantes entre les êtres vivants:

Au sein des écosystèmes, les êtres vivants assurent leur survie par l'établissement de relations trophiques divers et complexes. Le document 1 illustre quelques exemples de ces relations. (Voir document 1)

Document 1: Exemples de relations trophiques	
Relations alimentaires	Exemples
Les pucerons sont des petits insectes qui dépendent des plantes dont ils sucent la sève, ce qui cause des dégâts considérables aux plantes	
La coccinelle est un petit insecte qui se nourrit de pucerons.	
Le pinnothère est un petit crabe qui se protège dans la coquille de la moule et mange parmi le plancton qui est filtré par la moule. La présence de ce crabe ne nuit pas à la moule.	
On observe souvent dans la nature des fourmis autour d'un groupe de pucerons sur une plante : Les fourmis apprécient les pucerons, qui fournissent un miellat (déjection) riche en sucre, et en même temps les fourmis protègent les pucerons.	
Les termites se nourrissent de la cellulose du bois. Des protozoaires vivent dans les intestins des termites et sont essentiels pour la digestion de la cellulose qu'ils transforment en acétate consommé par le termite si on expose les termites à une forte concentration en oxygène qui tue les protozoaires mais laisse le termite vivant, celui-ci meurt quelque jours plus tard de faim.	
En cultivant le radis oléagineux et le blé dans un même milieu, leurs rendements de croissance baissent de 36 % pour le blé et de 34 % pour le radis. Mais cultivés séparés, leurs rendements augmentent. Le radis comme le blé est gourmand en azote.	
De nombreux champignons se développent et croissent sur des arbres ou des feuilles mortes.	

Document 1: Suite

- 1) Après la lecture des exemples proposés, complétez le tableau suivant en utilisant le signe + (avantage) ou – (désavantage) ou 0 (neutre), puis nommez la relation trophique reliant les deux espèces pour chacun des cas cités.
- 2) Donnez une définition à chacune des relations nommées.

Les êtres vivants		Influence de la présence des deux espèces dans le même milieu sur		Influence de la séparation des deux espèces sur		Nom de la relation trophique
Espèce A	Espèce B	Espèce A	Espèce B	Espèce A	Espèce B	
Puceron	Végétaux	+	-	-	+	Parasitisme
Coccinelle	Puceron	+	-	-	0	Prédation
Crabe	Moule	+	0	-	0	commensalisme
Fourmi	Puceron	+	+	0	-	Coopération
Termite	Protozoaire	+	+	-	-	Symbiose
Blé	radis	-	-	+	+	Compétition
champignon	Végétaux morts	+	0	-	0	saprophytisme

1) **Complétons le tableau:** (Voir document 1)

2) **Définition des relations trophiques observées.**

- ★ **Le parasitisme:** C'est une relation trophique obligatoire ou provisoire entre deux espèces dont l'une est bénéficiaire appelée le parasite, et l'autre perdante, appelée hôte.
- ★ **La prédation:** Relation qui lie deux ou plusieurs espèces animales vivant dans un même écosystème (Interspécifique), où les faibles sont éliminés (La loi du plus fort).
- ★ **Le commensalisme:** Interaction directe ou indirecte entre deux espèces dont une seule profite avec ou sans nuisance pour l'autre.
- ★ **La coopération ou mutualisme:** Relation mutualiste non obligatoire entre deux espèces, où les deux sont bénéficiaires.
- ★ **La symbiose:** Relation permanente entre deux espèces différentes, et qui se traduit par des effets bénéfiques aussi bien pour l'un que pour l'autre.
- ★ **La compétition:** C'est lorsque deux espèces au moins colonisent le même lieu et exploitent la même source (Nourriture, habitat, lumière...), chacun utilise ses propres moyens pour être bénéficiaire.
- ★ **Le saprophytisme:** Un organisme est saprophyte, lorsqu'il est capable de se nourrir de la matière organique non vivante, en la décomposant.

II - Les réseaux trophiques:

① Les régimes alimentaires:

Le régime alimentaire d'un animal correspond à l'ensemble des aliments qu'il prélève dans son milieu.

a- Méthodes utilisées pour connaître le régime alimentaire d'un animal:

- ✓ L'observation directe des animaux.
- ✓ L'observation des traces d'un repas.
- ✓ L'examen du contenu du tube digestif.
- ✓ L'analyse des excréments.
- ✓ L'analyse d'une pelote de régurgitation de rapace.

b- Les différents types de régimes alimentaires :

- ✓ **Le régime végétarien (phytophage) :** se nourrissent surtout de végétaux.
 - Les herbivores, ne consomment que de l'herbe (la vache) ;
 - Les granivores, ne mangent que des graines (le bec croisé) ;
 - Les frugivores, ne consomment que des fruits (le singe) ;
 - Les nectarivores, ne se nourrissent que de nectar (le colibri).
- ✓ **Le régime carnivore (Zoophage) :** Se nourrissent surtout d'aliments d'origine animale.
 - Les insectivores, ne consomment que des insectes (L'hirondelle) ;
 - Les piscivores ne mangent que des poissons (le balbuzard pêcheur) ;
 - Les charognards mangeurs de cadavres abandonnés (Le vautour).
- ✓ **Le régime omnivore :** Se nourrissent à la fois d'aliments d'origine animale et d'aliments d'origine végétale. (Les planctophage : baleine).

② Les chaînes alimentaires: (Voir document 2)

Document 2: Notion de chaîne alimentaire

Les flamants mangent les artémies (Crustacé) qui eux se nourrissent de phytoplancton tel que l'algue *Dunaliella*.

- 1) En sachant que les molécules qui teintent les flamants sont des caroténoïdes, pigments que seuls les végétaux peuvent synthétiser. Pourquoi donc les flamants roses sont-ils de cette couleur?
- 2) Quelle est la nature de relation qui lie entre ces êtres vivants?
- 3) Représentez cette relation sous forme d'un schéma.
- 4) Donnez la définition d'une chaîne alimentaire.
- 5) Déterminez le régime alimentaire et le niveau trophique pour chacun des êtres vivants.



Artémia salina



Flamants rose



Dunaliella salina

- 1) Les flamants roses sont de cette couleur car ils se nourrissent des artémies. Ces derniers se nourrissent de l'algue *Dunaliella salina* qui concentre des pigments rouges (Caroténoïdes).
- 2) Les liens qui unissent ces êtres vivants dans ce milieu sont d'ordre alimentaire.
- 3) *Dunaliella salina* → *Artémia salina* → Flamant rose
(→ : Être mangé par)

Chaque individu mange celui qui le précède, et il est à son tour mangé par celui qui le suit. Cet enchaînement constitue une chaîne alimentaire.

- 4) Une chaîne alimentaire est la succession d'êtres vivants qui sont liés entre eux par une relation alimentaire.
 Dans une chaîne alimentaire les relations sont représentées par des flèches qui traduisent le transfert de la matière et de l'énergie.
- 5) Régime alimentaire (Nature des aliments consommés par l'être vivant) et niveau trophique (Emplacement qu'occupe un être vivant dans une chaîne alimentaire).

	Dunaliella salina	Artémia salina	Flamant rose
Régime alimentaire	Autotrophe	Herbivore	Carnivore
Niveau trophique	Producteur (P)	Consommateur primaire (CI)	Consommateur secondaire (CII)

Bilan:

Dans un écosystème, on distingue trois catégories d'organismes :

- ✓ **Les producteurs (P)** : ce sont les végétaux chlorophylliens. Ils occupent toujours le premier maillon dans une chaîne alimentaire. Ils sont autotrophes (Ils fabriquent leur propre matière organique grâce au phénomène de la photosynthèse).
- ✓ **Les consommateurs (C)** : ce sont des animaux hétérotrophes qui se nourrissent de la matière organique existante dans les êtres vivants, et selon ce qu'ils ingèrent on distingue :
 - **Consommateur primaire ou consommateur de premier ordre (CI)** : Ce sont les herbivores qui se nourrissent directement au dépend du producteur.
 - **Consommateur secondaire ou de deuxième ordre (CII)** : Ce sont des carnivores qui se nourrissent des herbivores.
 - **Consommateurs tertiaire ou de troisième ordre (CIII)** : Ce sont des carnivores qui se nourrissent des carnivores (CII).
- ✓ **Les décomposeurs (D)** : ils occupent le dernier maillon de la chaîne alimentaire. Ils dégradent la matière organique provenant de l'ensemble des catégories précédentes.

Remarques:

- Chez certaines espèces, le régime alimentaire peut varier au cours d'un cycle de vie ou au cours des saisons, il peut même varier en fonction du sexe.
- Un omnivore se nourrit d'animaux et de végétaux. Selon les cas, il peut être consommateur primaire ou secondaire ou tertiaire.

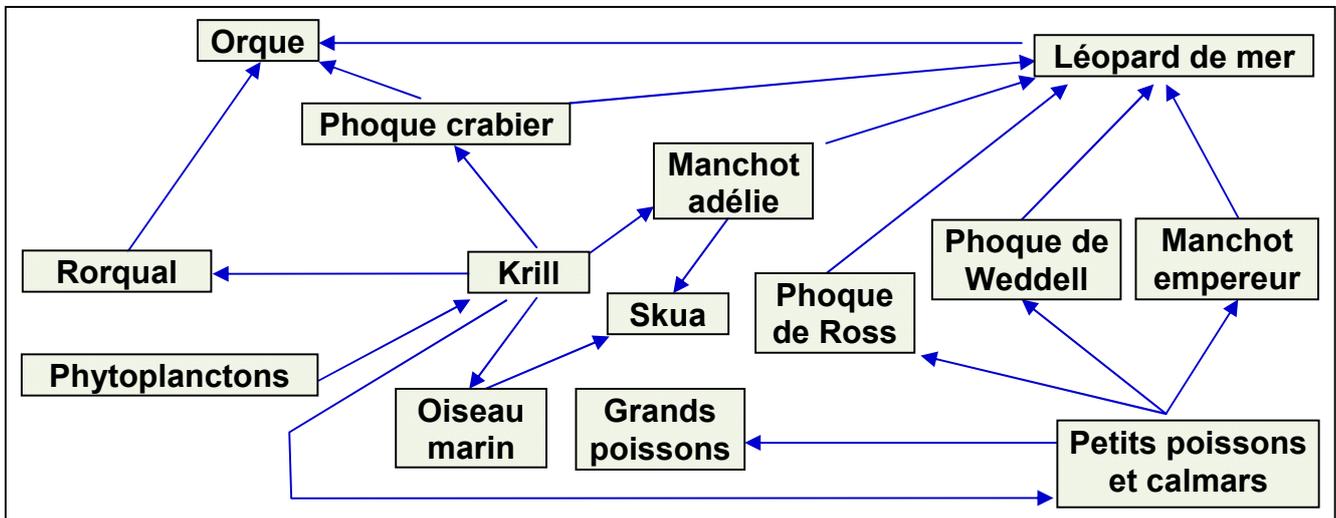
③ Notion de réseau alimentaire: (Voir document 3)

Document 3: Notion de réseau alimentaire

Dans les mères australes, le Krill (Petit crevette de corps transparent de taille <5cm, vit près de la surface) joue un rôle primordial dans ces écosystème marins. Le tableau suivant regroupe les êtres vivants qui vivent dans ces milieux, et leurs régimes alimentaires.

Les espèces observées	Le régime alimentaire
Les phytoplanctons	Sels minéraux
Le krill	Les phytoplanctons
Le léopard de mère	Le manchot empereur, le phoque de Ross, le phoque de Weddell, manchot adélie, phoque crabier
L'orque	Léopard de mer, Rorqual, phoque crabier
Rorqual	Krill
Phoque crabier	Krill
Manchot adélie	Krill
Oiseau marin	Krill
Skua	Oiseaux marins, Manchot adélie
Phoque de Weddell	Petits poisson et calmars
Phoque de Ross	Petits poisson et calmars
Manchot empereur	Petits poisson et calmars
Grands poissons	Petits poisson et calmars
Petits poissons et calmars	Krill

1) Etablir les différentes chaines alimentaires présentes dans le tableau, en reliant par des flèches les êtres vivants dans le schéma suivant :

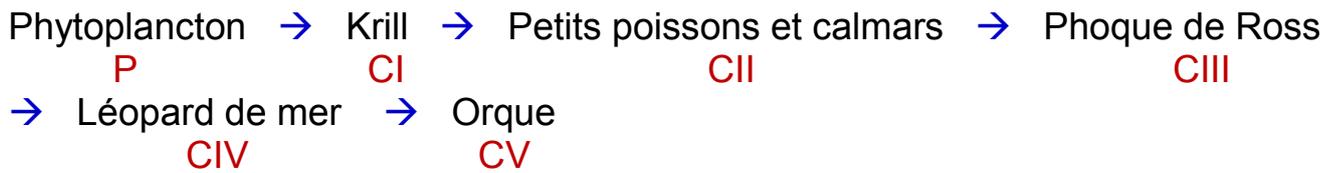


- De quoi s'agit-il ?
- Donner le niveau trophique de l'orque.
- Extraire une des plus longues chaines alimentaires, et déterminer les niveaux trophiques de ses maillons
- Quel est l'intérêt des phytoplanctons dans cet écosystème ?

- Présentation des différentes chaines alimentaires voir le schéma du document 3.
- Il s'agit d'un réseau trophique : c'est l'ensemble des chaines alimentaires entrecroisées d'un même écosystème.

3) L'orque appartient à plusieurs chaînes alimentaires, donc son niveau trophique varie selon la chaîne. Il est CIII, CIV, CV.

4) Une des plus longues chaînes alimentaires de cet écosystème c'est :



5) Les phytoplanctons sont des végétaux chlorophylliens, ils utilisent la matière minérale et le dioxyde de carbone du milieu et le transforment en matière organique en utilisant l'énergie solaire, ils jouent donc le rôle des producteurs. Ils constituent le premier maillon du réseau trophique (l'orque représente le dernier maillon).

III - L'étude quantitative des relations alimentaires:

① Productivité primaire et productivité secondaire:

Dans un écosystème, les êtres vivants autotrophes (Les végétaux chlorophylliens) convertissent l'énergie lumineuse en énergie chimique contenue dans la matière organique produite: c'est la productivité primaire. Une partie de cette matière organique est consommée par les êtres vivants hétérotrophes (Les consommateurs et décomposeurs), pour produire leur propre matière organique: c'est la productivité secondaire.

② Flux de la matière et de l'énergie:

Les plantes chlorophylliennes produisent leur matière organique en utilisant les sels minéraux, le CO₂ et l'énergie solaire. Les herbivores élaborent leur matière organique à partir des plantes qu'elles consomment, les carnivores élaborent leur matière organique à partir d'autres animaux consommés. On constate donc un transfert de la matière et de l'énergie d'un niveau trophique à un autre dans les écosystèmes. C'est le flux de la matière et de l'énergie qui est exprimé par la formule suivante :

$$A = PN + R \text{ (A = le flux d'énergie, PN = Production nette, R = perte d'énergie)}$$

★ Etude d'un exemple : (Voir document 4)

Document 4: Flux de matière et d'énergie Le schéma suivant représente des études quantitatives réalisées dans une chaîne alimentaire :

PN : Productivité nette (pour les plantes chlorophylliennes). PS : Productivité secondaire (pour les consommateurs). R : énergie perdu par la respiration. NU : énergie non utilisée.

- 1) Quelle est la source de l'énergie dans l'écosystème?
- 2) Calculer en Kj : PN ; PS₁ et PS₂.
- 3) Calculer le rendement R pour chaque maillon
- 4) Comparez les résultats obtenus. Comment expliquer ces résultats ?
- 5) Quelle est à votre avis la nutrition la plus rentable.

$$R = \frac{\text{Quantité de matière produite} \times 100}{\text{Quantité de matière ingérée}}$$

1) La source de l'énergie dans cet écosystème est l'énergie solaire.

2) Calculer de PN ; PS₁ et PS₂ :

On a le flux d'énergie A = PN + R (PN=Production nette, R= perte d'énergie)

Donc $PN = A - R = 27530 - 26257 = 1273 \text{ Kj}$

$PS_1 = PN - (R_1 + NU_1) = 1273 - (953 + 280) = 40 \text{ Kj}$

$PS_2 = PS_1 - (R_2 + NU_2) = 40 - (9 + 30) = 1 \text{ Kj}$

3) Le rendement du producteur est Rp :

$R_p = (PN/A) \times 100 = (1273/27530) \times 100 = 4.62 \%$

Le rendement du consommateur (CI) est R₁ :

$R_1 = (PS_1/PN) \times 100 = (40/1273) \times 100 = 3.14 \%$

Le rendement du consommateur (CII) est R₂ :

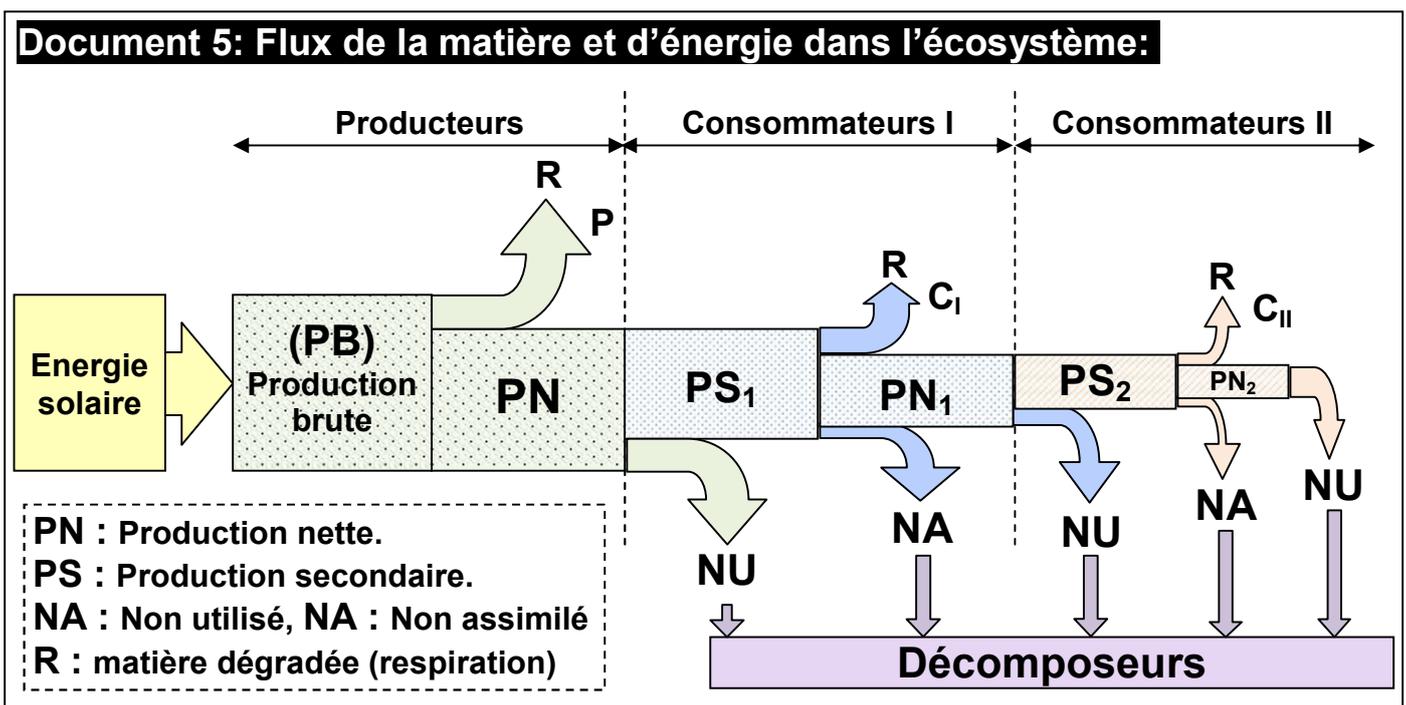
$R_2 = (PS_2/PS_1) \times 100 = (1/40) \times 100 = 2.5 \%$

4) On constate que le rendement diminue d'un niveau trophique à un autre plus élevé dans la chaîne alimentaire. Cette diminution peut être expliquée par la perte de la matière organique et par suite la perte de l'énergie, soit par le phénomène de respiration, ou sous forme de matière non utilisée (Déchets, racines, os, cornes, dents, plumes, poiles...)

5) La nutrition la plus rentable est la nutrition végétale, car elle a le rendement le plus élevé.

★ Bilan:

Le flux de la matière et de l'énergie dans les écosystèmes commence au niveau des végétaux chlorophylliens (production primaire). Ce flux traverse les différents niveaux trophiques, tout en diminuant sans cesse. Et ce à cause des parties non utilisées ; non assimilées ; et des parties consommées dans le cadre de la respiration cellulaire pour produire de l'énergie indispensable à toutes les activités biologiques (Voir document 5)



③ Pyramides de biomasse et les pyramides d'énergie: (voir doc 6)

Document 6: Les pyramides trophiques (écologiques)

En étudiant une chaîne alimentaire du point de vue quantitative, on se rend compte que lorsqu'on passe d'un niveau trophique à l'autre, le nombre d'individus, la biomasse et l'énergie diminuent. Ce phénomène peut être schématisé sous forme de pyramides trophiques ou écologiques (voir figure 1).

La biomasse d'un être vivant correspond à la masse totale de matières organiques et minérales qui le constituent.

Soit un écosystème composé d'un champ de luzerne de 4 ha qui sert à nourrir des veaux eux-mêmes mangés en un an par un enfant (voir la figure 2).

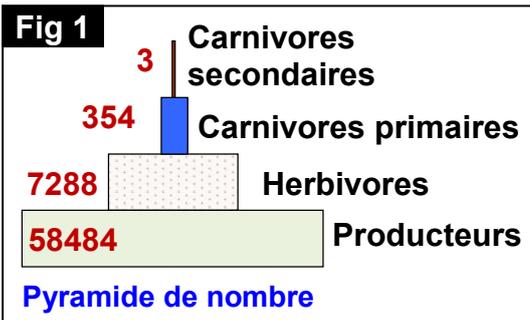


Fig 2

Producteur	Nombre	Biomasse pour 1 hectare de culture	Energie (Kj)
Energie solaire	-	-	26.334×10^9
Luzerne	2.10^7	8211 Kg	6.23×10^7
Veaux	4.5	1035 Kg	4.97×10^6
Garçon	1	48 Kg	36.7×10^3

- 1) Reconstituez la chaîne alimentaire étudiée.
- 2) Définir les pyramides trophiques.
- 3) En utilisant l'échelle adéquate, construisez les pyramides trophiques de cette chaîne alimentaire.
- 4) Calculez le rendement de biomasse pour chaque niveau, sachant que le rendement correspond au rapport de la biomasse ingérée par un maillon de la chaîne, et de la biomasse produite par ce maillon.
- 5) Calculez le rendement énergétique pour chaque niveau trophique.
- 6) Comment expliquer l'évolution des rendements énergétiques d'un niveau trophique à un autre plus élevé dans cette chaîne alimentaire?

1) la chaîne alimentaire étudiée :

Luzerne → Vaches → Garçon
 P CI CII

2) Les pyramides sont des représentations graphiques sous forme de rectangles superposés et centrés, dont la longueur est proportionnelle aux paramètres étudiés alors que la largeur est constante. On distingue :

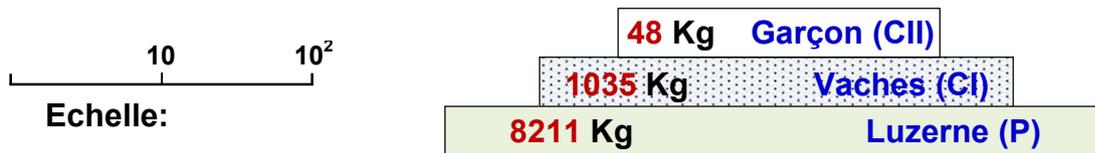
- ✓ Pyramide des nombres : représentation du nombre d'individus.
- ✓ Pyramide de biomasse : représentation de la variation de biomasse.
- ✓ Pyramide d'énergie : représentation de la variation de la quantité d'énergie.

3) Représentation des pyramides écologiques:

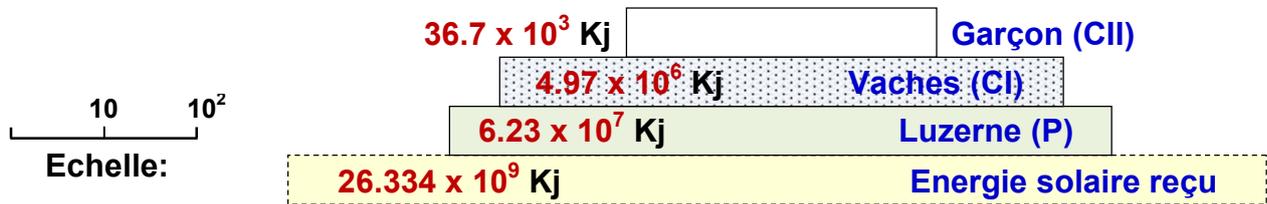
★ **Pyramide des nombres :**



★ Pyramide des biomasses:



★ Pyramide de l'énergie:



4) Calcule des rendements de biomasse:

- ✓ Entre la luzerne et les vaches $R_1 = (1035/58484) \times 100 = 1.77 \%$.
- ✓ Entre les vaches et le garçon $R_2 = (48/1035) \times 100 = 4.64 \%$.
- ✓ Entre la luzerne et le garçon, c'est le rendement final R_f :
 $R_f = (48/58484) \times 100 = 0.08 \%$.

5) Calcule des rendements de biomasse:

En considérons que : ECI : Production énergétique des consommateurs I.
 EP : Production énergétique des producteurs.
 ES : Energie solaire assimilée par les plantes.

On détermine le rendement énergétique soit :

- ✓ D'un niveau trophique par rapport au niveau sous-jacent :
 C'est : $R_1 = (EP/ES) \times 100$, $R_2 = (ECI/EP) \times 100$, $R_3 = (ECII/ECI) \times 100$.

$$R_1 = (6.23 \times 10^7 / 26.334 \times 10^9) \times 100 = 0.236 \%$$

$$R_2 = (4.97 \times 10^6 / 6.23 \times 10^7) \times 100 = 7.977 \%$$

$$R_3 = (36.7 \times 10^3 / 4.97 \times 10^6) \times 100 = 0.738 \%$$

- ✓ D'un niveau trophique par rapport à l'énergie solaire assimilée :
 C'est : $R_1 = (EP/ES) \times 100$, $R_2 = (ECI/ES) \times 100$, $R_3 = (ECII/ES) \times 100$

$$R_1 = (6.23 \times 10^7 / 26.334 \times 10^9) \times 100 = 0.236 \%$$

$$R_2 = (4.97 \times 10^6 / 26.334 \times 10^9) \times 100 = 0.019 \%$$

$$R_3 = (36.7 \times 10^3 / 26.334 \times 10^9) \times 100 = 0.00014 \%$$

6) On constate que le rendement énergétique diminue d'un niveau trophique à un autre plus élevé dans cette chaîne alimentaire.

La matière produite par les êtres vivants qui constituent un niveau trophique, sert de nourriture pour les êtres vivants du niveau suivant. Donc chaque niveau transforme l'énergie pour synthétiser sa propre biomasse, ce qui explique la diminution du rendement énergétique en passant d'un niveau trophique à un autre plus élevé.

IV – L'écosystème et ses aspects dynamiques:

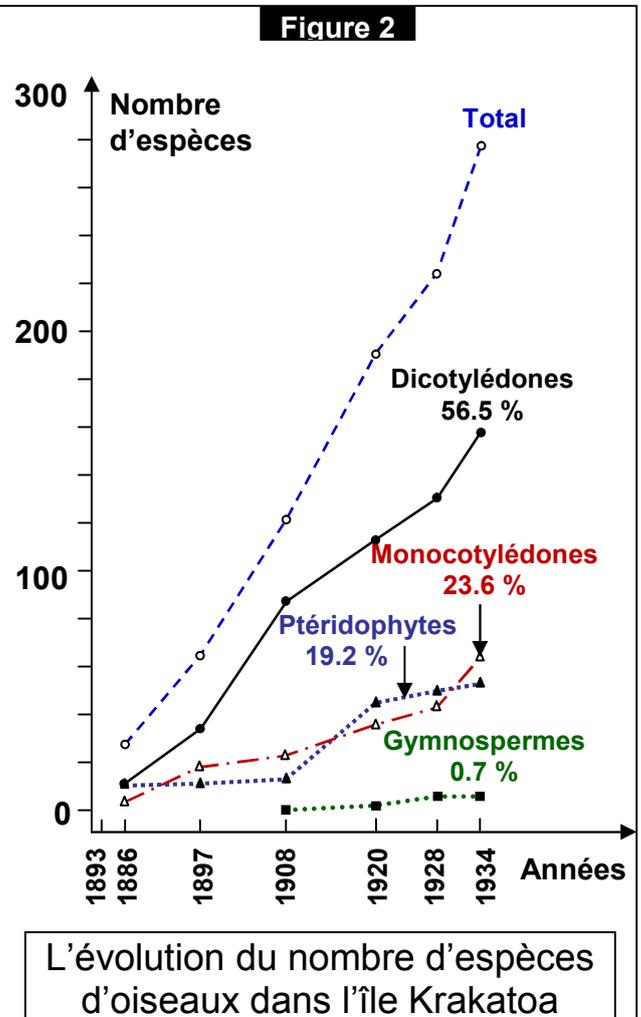
① Naissance et évolution d'un écosystème: (Voir document 7)

Document 7: Naissance et évolution d'un écosystème

★ Le tableau de la figure 1, montre les étapes de repeuplement végétal et animal de l'île de KRAKATOA (Indonésie) après l'explosion d'un volcan en 1883.

★ La figure 2, montre l'évolution du nombre d'espèces d'oiseaux dans l'île Krakatoa en fonction du temps.

Figure 1		Les événements et les phénomènes naturels
Le temps		
1883		l'expression d'un volcan sur l'île KRAKATOA, dont il ne reste qu'un pic recouvert de 30 à 60 cm de cendres. Seuls demeuraient quelques racines et quelques spores de champignons et des bactéries.
Après l'explosion	9 mois	le seul indice de vie constaté était une araignée solitaire.
	3 ans	Recensement de 11 espèces de fougères et 15 espèces de plantes à fleurs.
	10 ans	la verdure recouvrait l'île; de jeunes cocotiers poussaient le long des côtes. Apparition de cannes à sucre et des orchidées.
	25 ans	263 espèces d'animaux étaient présentes, surtout des insectes (200) mais également 16 espèces d'oiseaux, 2 sortes de reptiles et 4 espèces d'escargots.
50 ans		l'île était recouverte d'une forêt dense dans laquelle furent reconnues 47 espèces de vertébrés (Oiseaux, chauves-souris, rats) parmi les 1100 espèces recensées.



- 1) En se référant aux données de ce document, retirer les principales étapes de la création d'un écosystème.
- 2) Donner la définition d'un climax.

1) Les principales étapes de la création d'un écosystème sont :

- ✓ Les roches du milieu sont altérées par les intempéries et l'action chimique des eaux de pluies.
- ✓ Le sol ainsi formé, purement minéral est enrichi par les fientes (excréments) des oiseaux et d'autres mammifères. (Apport des grains de pollens par le vent et par les oiseaux migrateurs).
- ✓ Installation des espèces pionnières comme les lichens, mousses, bactéries, champignons, ce qui améliore le sol primitif.

- ✓ Les insectes, les vers occupent le sol amélioré, sur lequel apparaissent les premières fougères et plantes à fleurs.
- ✓ Peuplement progressif du milieu par des végétaux et des animaux.
- ✓ Etablissement d'un équilibre naturel entre les êtres vivants, sol et le climat, ce qui favorise l'augmentation du nombre d'espèce et d'individus dans l'écosystème.
- ✓ Réalisation du climax.

2) Définition du climax :

Le climax est le stade final de l'évolution d'un écosystème. Il représente l'état d'équilibre entre les différentes espèces animales et végétales qui vivent dans un même biotope et dans des conditions climatiques et édaphiques bien déterminées.

② Dynamisme de l'écosystème: (Voir document 8)

Document 8: Dynamisme de l'écosystème

★ Les lemmings (Figure 1), sont des rongeurs qui occupent les régions froides d'Europe et d'Amérique du nord. Le tableau de la figure 2, présente la fluctuation de la population de lemmings durant 4 ans.

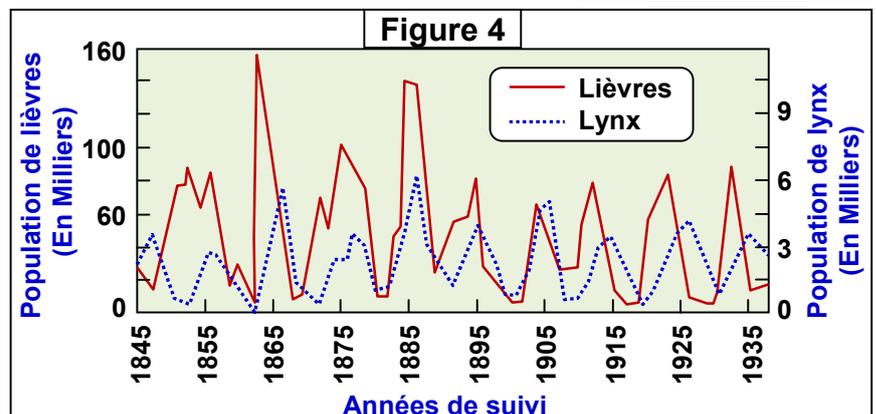
Figure 1 : le lemming	Figure 2 : fluctuation de la population de lemmings			
	1 ^{ère} année	2 ^{ème} année	3 ^{ème} année	4 ^{ème} année
		De 80 à 140 individus par hectare	1 individu pour cinq hectares	40 individus par hectare

★ Le lynx du Canada (Figure 3) est un félin (chat) sauvage de la forêt boréale (La forêt la plus au nord de l'hémisphère nord). Il se nourrit presque exclusivement de lièvres d'Amérique. Les scientifiques ont décelé des cycles étroitement liés de dix ans de croissance et de déclin des populations des deux espèces au cours des 200 dernières années.

La figure 4 présente l'évolution du nombre de lynx et de lièvres en fonction du temps.



A partir de l'analyse des données de ce document, montrer que tout écosystème est caractérisé par un dynamisme.



On constate que :

- ★ Le nombre des lemmings augmente et décroît selon un cycle de trois ou quatre ans. Ce cycle dépend de la quantité de nourriture et du nombre de prédateurs.
- ★ Le nombre de lynx fluctue en même temps que les populations de lièvres, atteignant un sommet pour ensuite s'effondrer.
On remarque que les pics de lynx et de lièvres se suivent : lorsqu'on a un pic de lièvre, un pic de lynx suit l'année suivante, et inversement lorsqu'on a une chute du nombre de lièvres, le nombre de lynx chute aussi.

On conclue que :

L'écosystème est caractérisé par son dynamisme (Évolue d'un état vers un autre état), suite aux variations qui affectent les liens et relations qui existent entre les divers composants de cet écosystème.