

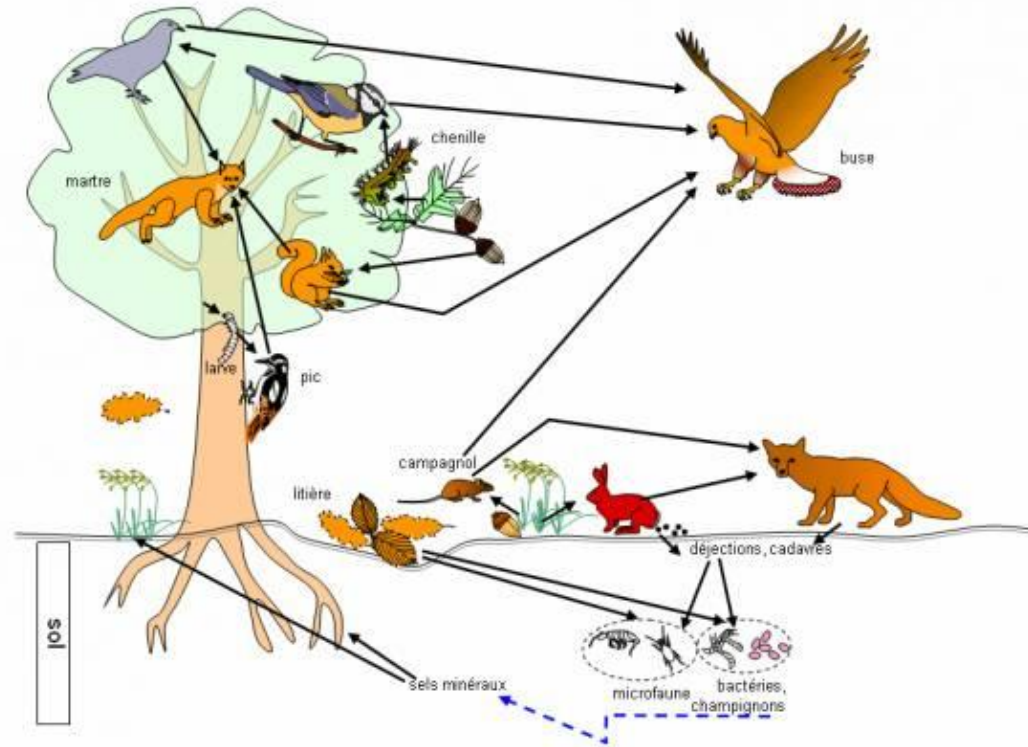
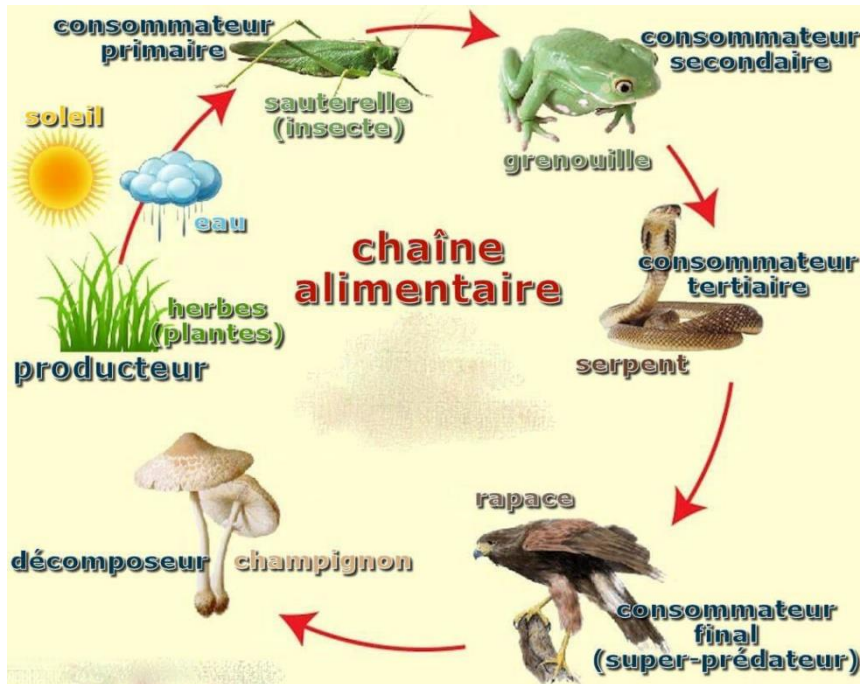
Organisation trophique d'un écosystème

Dans un écosystème il est possible d'identifier de nombreuses chaînes alimentaires. Celles-ci sont interconnectées et forment un réseau trophique.

Il traduit des chaînes de circulation de la matière et de l'énergie.

Au sein d'un réseau trophique, on observe différents niveaux :

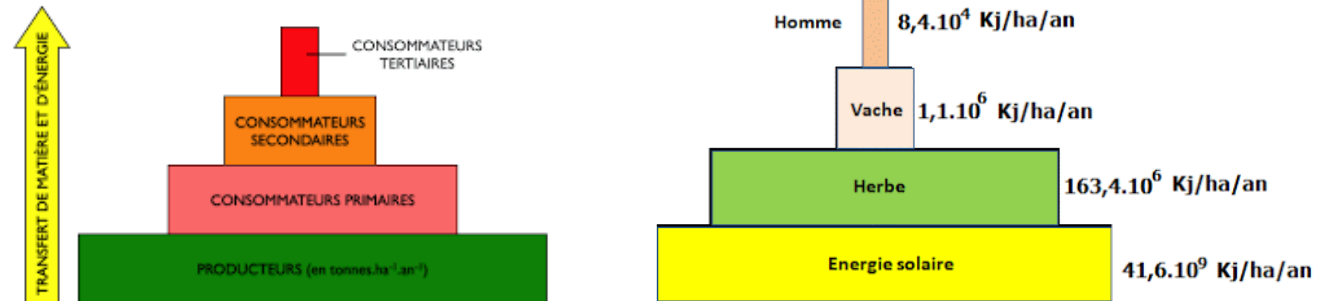
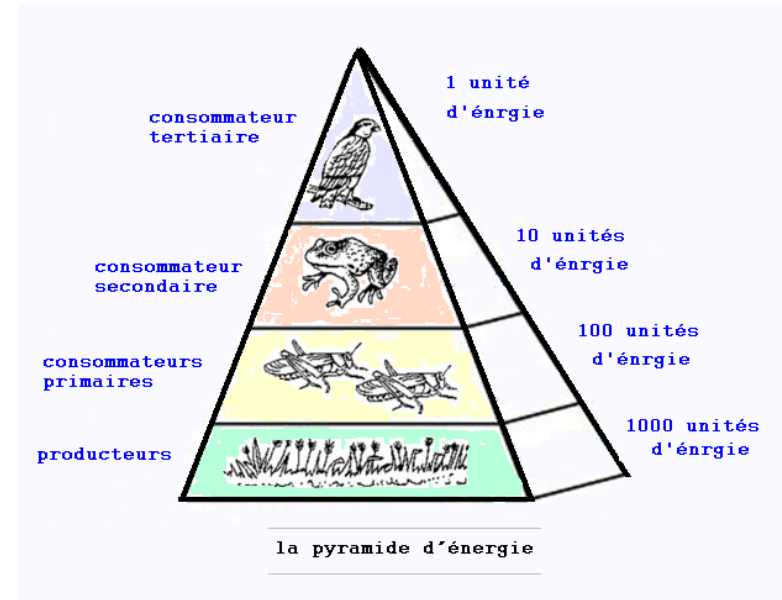
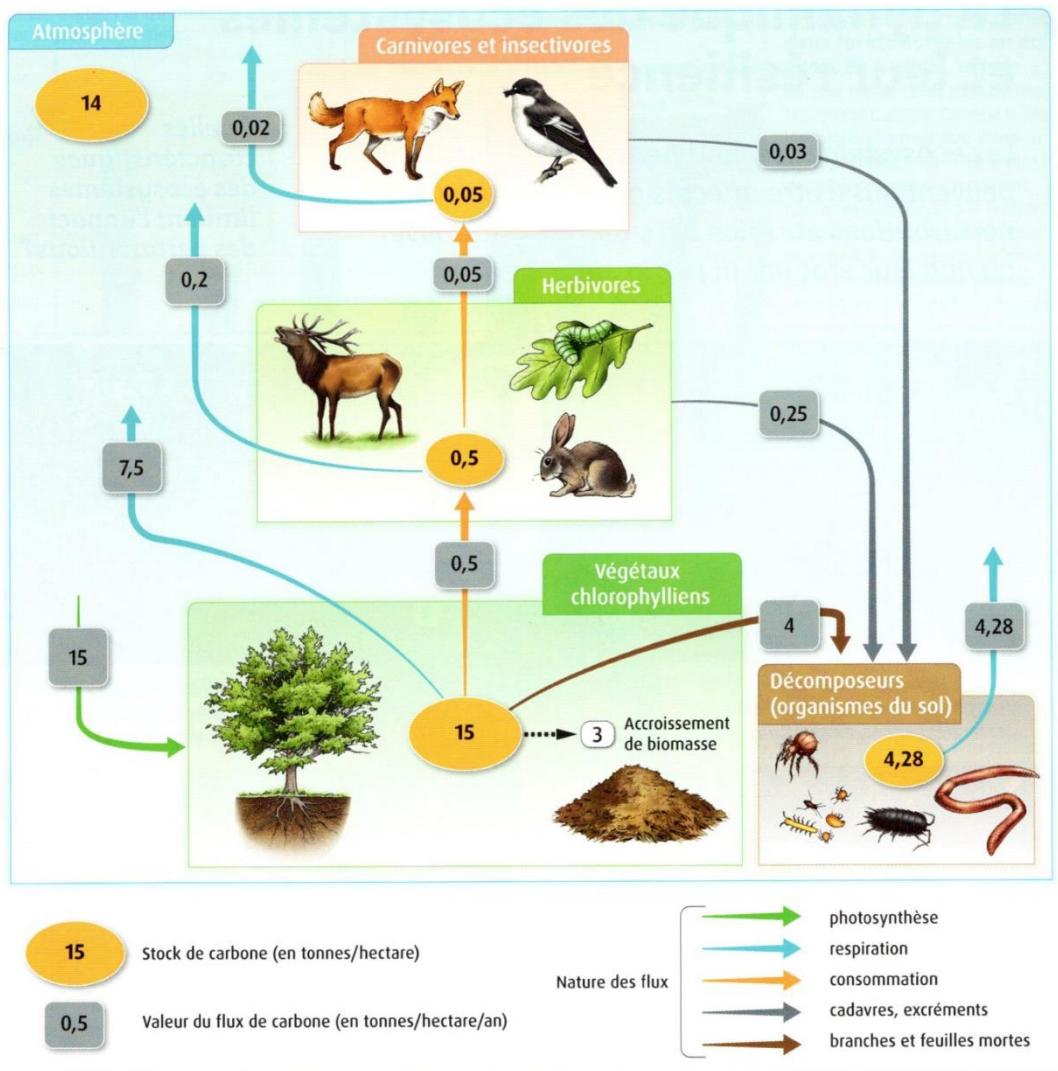
- les producteurs primaires: ce sont les végétaux chlorophylliens autotrophes qui réalisent la photosynthèse.
- les consommateurs, hétérotrophes, ils se nourrissent de matières organiques et dépendent entièrement des producteurs primaires.
- Les décomposeurs: ce sont des consommateurs hétérotrophes qui transforment la matière organique morte en matières minérales et permettent son recyclage (minéralisation).



Réseau trophique simplifié de la forêt

Pyramides écologiques

Ce sont des représentations graphiques des nombres, des biomasses ou des énergies des différents niveaux trophiques. Le nombre d'individus, la biomasse et l'énergie qu'ils représentent diminue quand on passe à un niveau trophique supérieur. Le résultat est toujours pyramidal.



3 La pyramide de production de biomasse pour un hectare de l'écosystème « forêt tempérée ». Cette pyramide décrit les échanges de matière au sein de l'écosystème. La production primaire brute est la quantité de biomasse produite par hectare et par an par photosynthèse. On peut calculer une production primaire nette en retirant les pertes par respiration. Dans l'écosystème « forêt », on constate que, globalement et sur une année, seule la biomasse des producteurs primaires augmente. Pour les autres producteurs, la biomasse issue de la croissance est compensée par le retour au sol de la matière organique des organismes morts. 1 hectare = 10 000 m².

Flux de matière et d'énergie

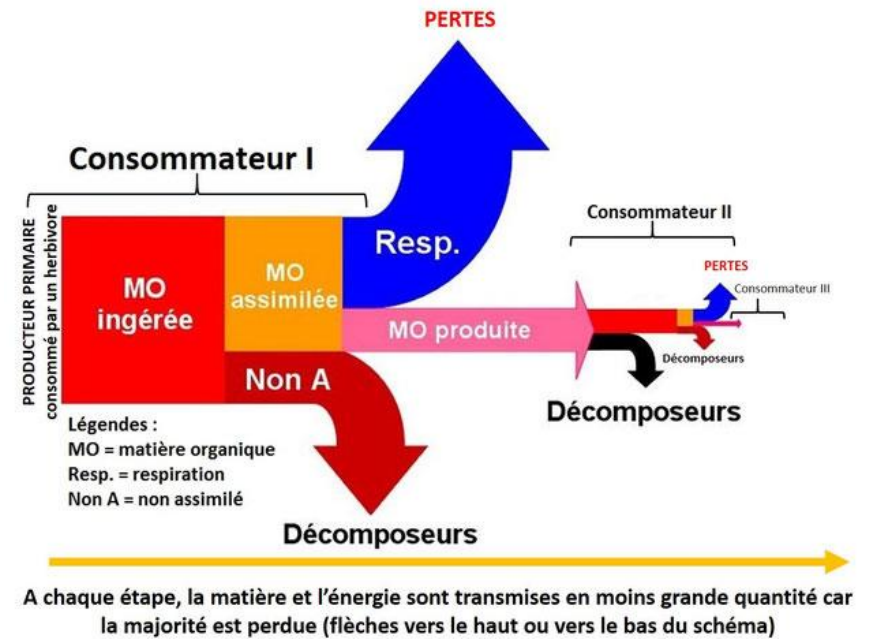
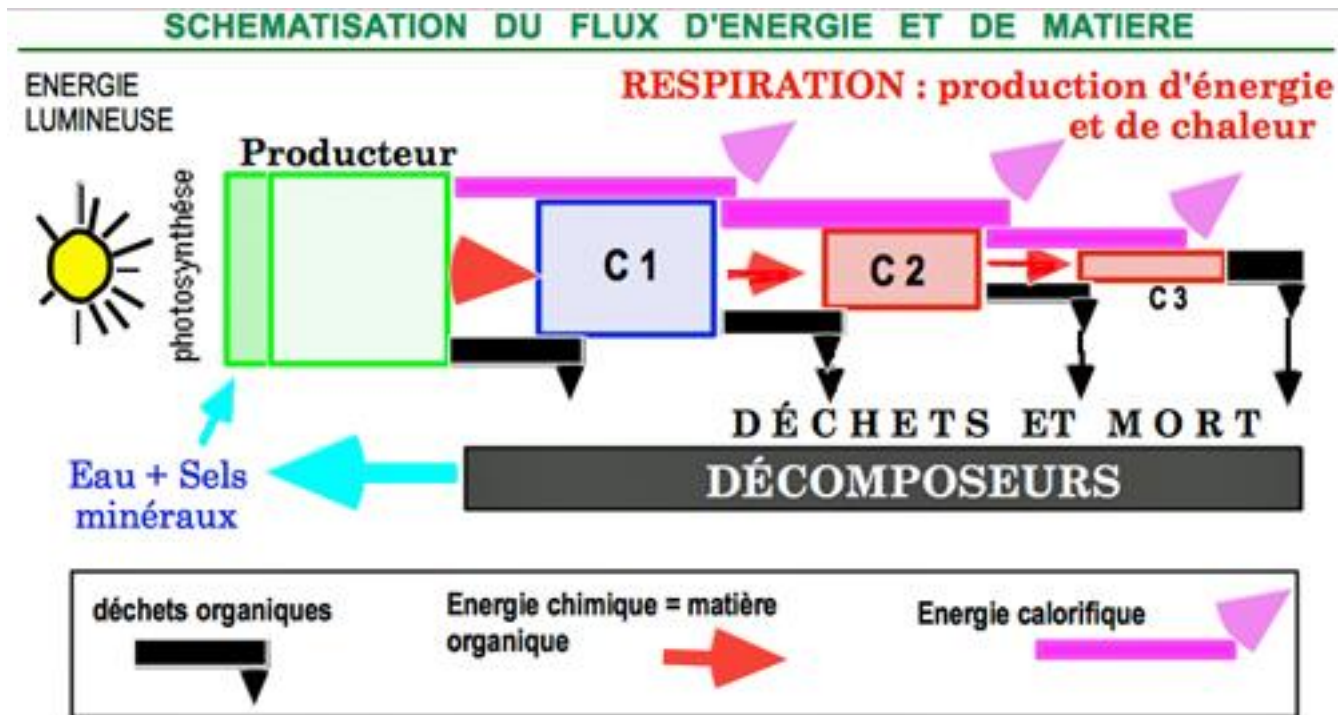
Les différents acteurs d'un écosystème, quel que soit leur niveau trophique échangent de la matière (donc de l'énergie).

Ces échanges représentent un flux de matière et d'énergie.

Les producteurs convertissent l'énergie lumineuse et les éléments minéraux en matières organiques par photosynthèse.

Les consommateurs ingèrent des aliments dont seulement une partie est assimilée. Une partie importante est perdue par respiration ou sert par exemple à maintenir la chaleur du corps constante chez les homéothermes, de fait une quantité faible est effectivement convertie en matière organique.

Au final les décomposeurs vont boucler le cycle de la matière en décomposant les déchets et les organismes morts.

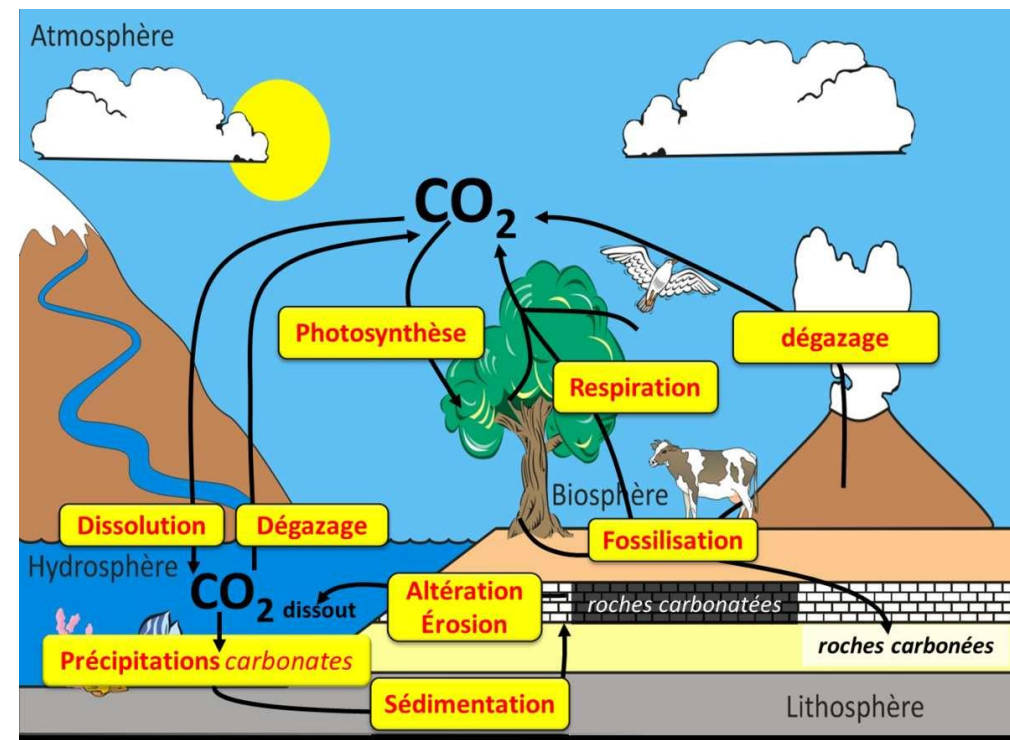
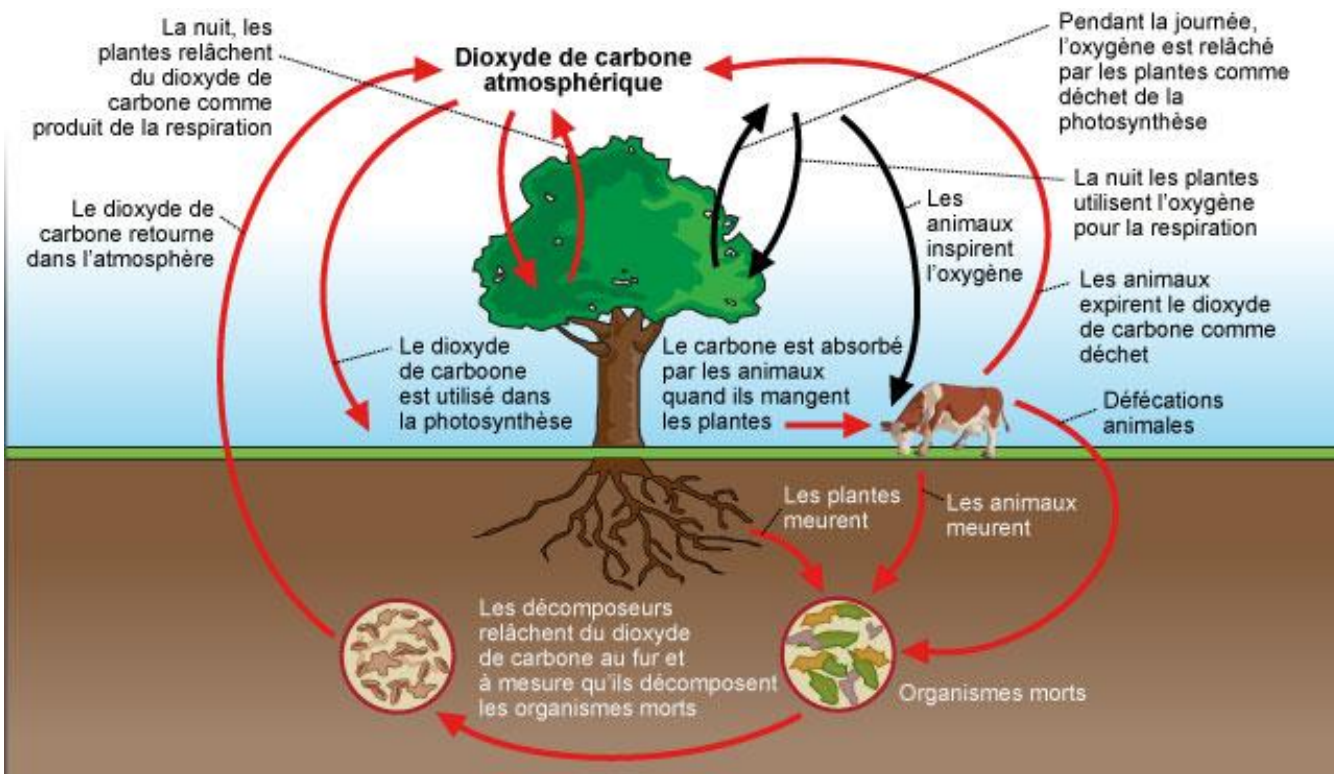


Le cycle du carbone

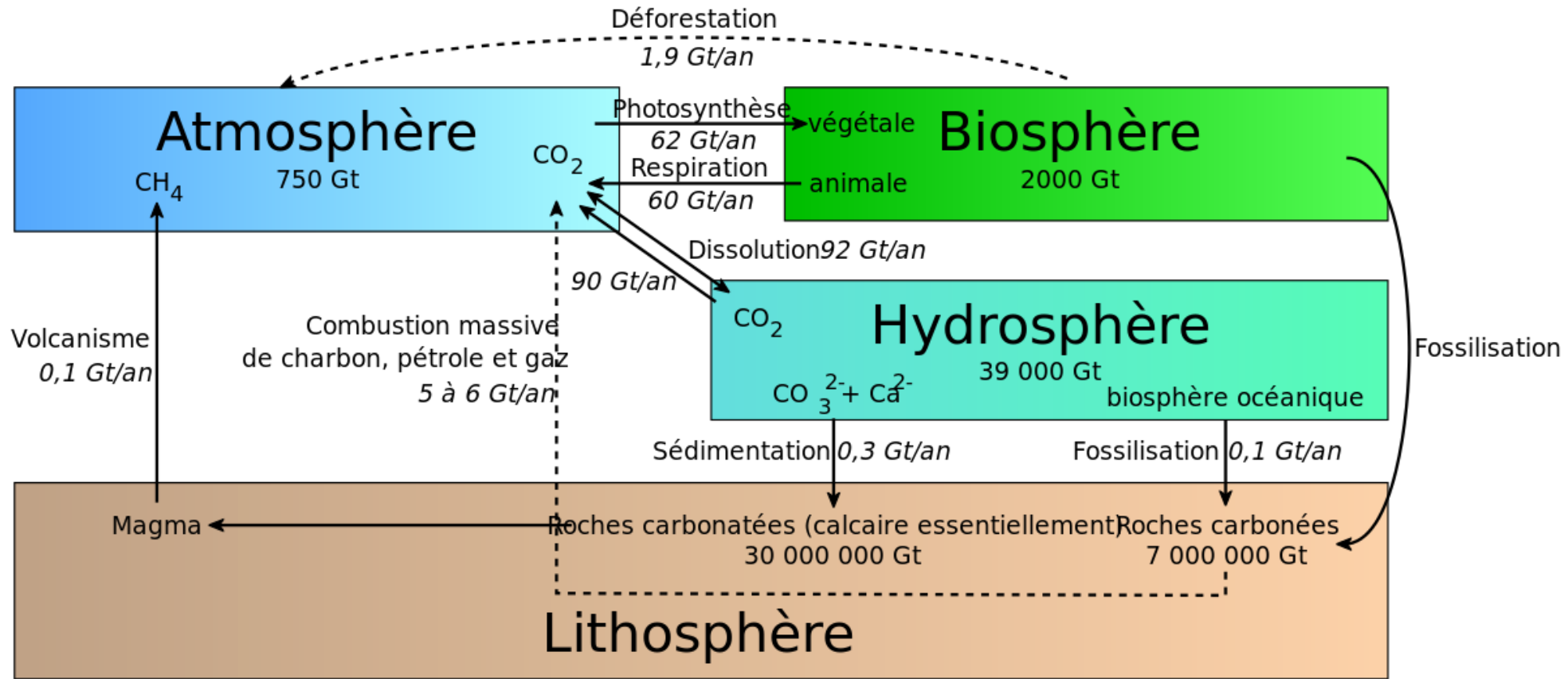
Les flux de matière au sein d'un écosystème sont en réalité cycliques: c'est ce qu'on appelle le cycle biogéochimique du carbone.

On peut l'étudier au niveau de l'écosystème forêt comme à l'échelle de la planète.

D'autres cycles existent au niveau des écosystèmes (azote, phosphore...) mais le carbone étant l'élément chimique fondamental, l'énergie fossile, le charbon et le pétrole étant encore la plus consommée par l'humanité et le dioxyde de carbone étant une composante essentielle du climat, c'est le plus étudié et chiffré.



Cycle du carbone



-----> Intervention humaine

Il existe quatre réservoirs principaux, ce sont les quatre enveloppes superficielles de la Terre.

- l'atmosphère où le carbone est essentiellement présent sous forme de dioxyde de carbone et de méthane.
- l'hydrosphère où le carbone est dissous ou présent sous forme d'ions hydrogénocarbonate HCO_3^- ou carbonate CO_3^{2-} .
- la biosphère où le carbone est présent dans les glucides, lipides, protéides et acides nucléiques.
- La lithosphère qui constitue le plus gros stock: charbon, pétrole et surtout roche carbonatées (calcaires).
- De nombreux échanges biologiques et chimiques ont lieu entre les différents réservoirs

Les forêts jouent un rôle prépondérant dans le cycle du carbone. Celui-ci est actuellement en déséquilibre : depuis le début de l'ère industrielle, la concentration en CO₂ dans l'atmosphère est en constante augmentation. Or, le CO₂ est l'un des principaux gaz à effet de serre.

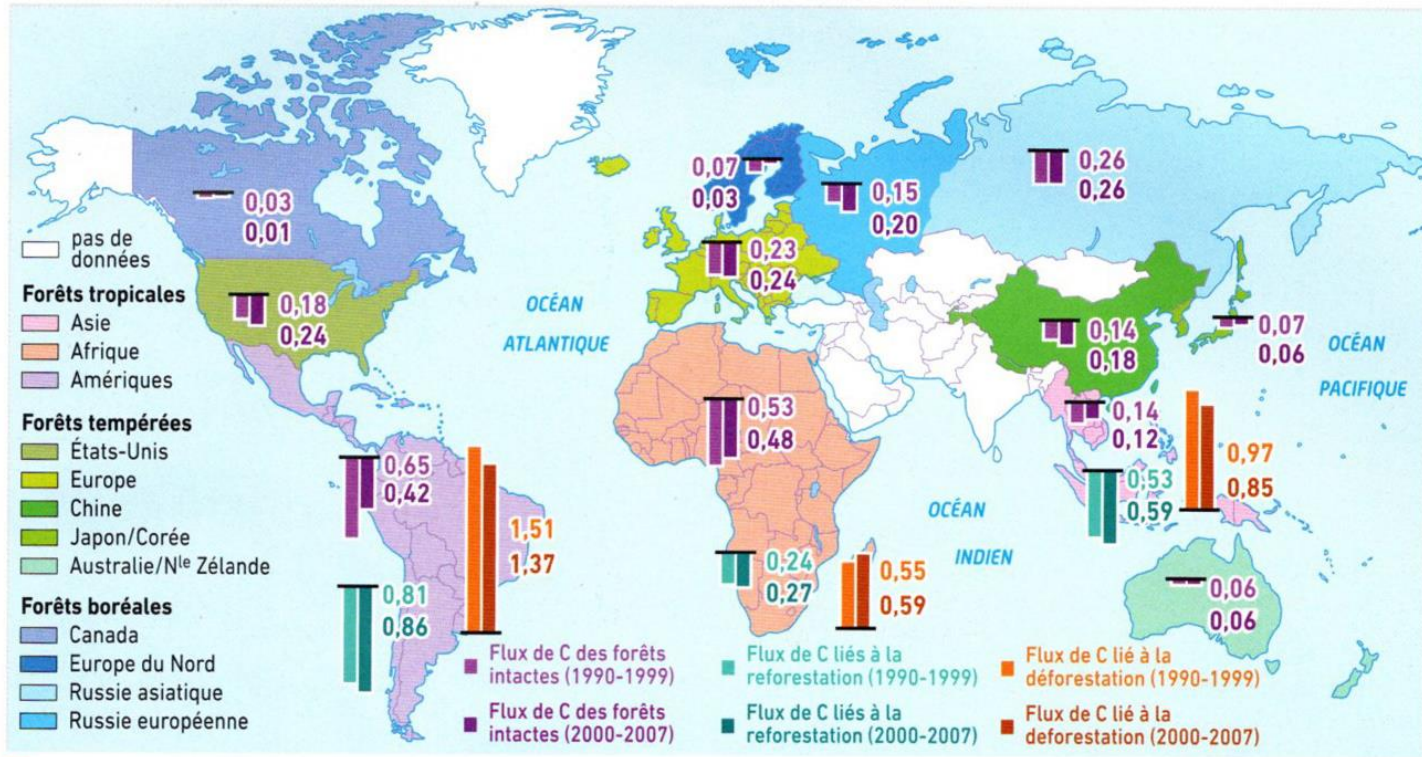
La capacité de stockage du carbone par les forêts est présentée dans le tableau A.

Une étude internationale (B), publiée en 2011, a pour la première fois compilé des mesures des flux de carbone associés aux écosystèmes forestiers de toute la planète sur la période 1990/2007. Pour les forêts tropicales, cette étude

	Forêts tropicales (1,76 × 10 ⁹ ha)	Forêts tempérées (1,04 × 10 ⁹ ha)	Forêts boréales (1,37 × 10 ⁹ ha)
Végétation	212	59	88
Sol	216	100	471

A Stocks de carbone dans les principaux écosystèmes forestiers de la planète, en Gt de carbone (Gt = 10⁹ t).

distingue le flux entrant dû aux forêts intactes, le flux sortant imputable à la déforestation et le flux entrant résultant des replantations. La comparaison sur deux périodes permet en outre d'apprécier la tendance de variation de ces flux.



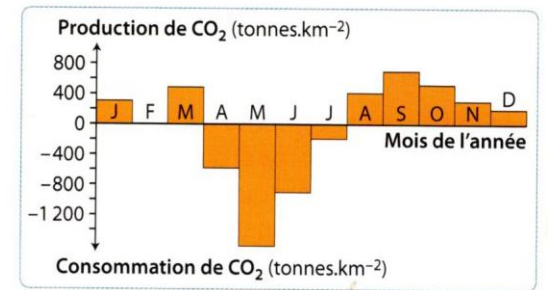
B Flux de carbone (Gt de carbone/an) dans les forêts du monde.

Les barres colorées dirigées vers le bas représentent les puits de C ; celles vers le haut représentent les sources de C.

D'après A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests, Pan et al., Science, Juillet 2011

Dans une forêt, le bilan entre entrée et sortie de l'écosystème détermine s'il constitue un puit (stocke du CO₂ atmosphérique) ou une source (libère du CO₂ dans l'atmosphère). Ainsi les flux de carbone sont variables d'une forêt à l'autre et évolue au cours du temps.

Les flux de carbone sont variables d'une forêt à une autre. C'est notamment l'âge de la forêt qui est impliqué dans sa capacité à stocker le carbone.



a. Production et consommation mensuelle de CO₂ d'une vieille forêt de hêtres

1 La dynamique de l'installation d'une forêt : les successions végétales



Temps	0 à 2 ans stade 1	2 à 20 ans stade 2	20 à 70 ans stade 3	70 à 100 ans stade 4
-------	----------------------	-----------------------	------------------------	-------------------------

biodiversité
biomasse
épaisseur de sol

Succession écologique menant à un climax de hêtres.

Une **succession écologique*** est le processus naturel de développement d'un écosystème au travers d'une succession de stades. Le stade correspondant à la maturité, supposé en équilibre dynamique, est appelé **climax***. Les stades se différencient par des communautés végétales principales différentes. Les êtres vivants d'un stade modifient les conditions de vie (évolution du sol, de l'accès à la lumière, à l'eau...) et permettent l'installation de ceux du stade suivant. À tout moment, des perturbations peuvent provoquer le retour à des stades antérieurs.

- **Stade 1** : végétation dite pionnière (mousses, lichens, téesdalie à tige nue).
- **Stade 2** : prairie puis stade arbustif (callune, genêt à balais).
- **Stade 3** : stade forestier initial avec prédominance des essences de lumière (bouleau, chêne).
- **Stade 4** : stade forestier terminal (climax) avec prédominance des essences d'ombre (hêtre).

2 Des perturbations diverses



A Attaque par un insecte, l'ips typographe (forêt d'épicéas).



B Feu de forêt (cause Méjean, Lozère).



C Canicule et sécheresse (forêt d'Ambazac, août 2003).



D Érable atteint par la maladie de la tache noire (champignon).



E Abattage d'un arbre dans une hêtraie.

Les écosystèmes ne sont pas des entités stables et figées mais au contraire des ensembles très **dynamiques**. La mise en place d'une forêt se fait à travers une succession de stades que l'on appelle **succession écologique**. Le stade final, appelé **climax**, est supposé être un stade d'équilibre optimal. En réalité, il s'agit plutôt d'un concept théorique permettant de comprendre l'évolution de l'écosystème. En effet, aucun stade n'est stable : à tout moment, les êtres vivants présents modifient les conditions de vie et donc les conditions d'installation et de développement d'autres êtres vivants. En forêt, les arbres jouent un rôle fondamental dans cette dynamique.

Une **perturbation** est un événement qui modifie la composition, la structure et le fonctionnement d'un écosystème. Les perturbations peuvent être d'origine naturelle (tempêtes, maladies, incendies...) ou provoquées par les actions humaines (exploitation, pollution, incendies criminels...). Elles peuvent modifier légèrement l'écosystème (chute d'un arbre) ou de manière beaucoup plus importante (disparition d'une partie de la forêt suite à une tempête ou à un incendie).

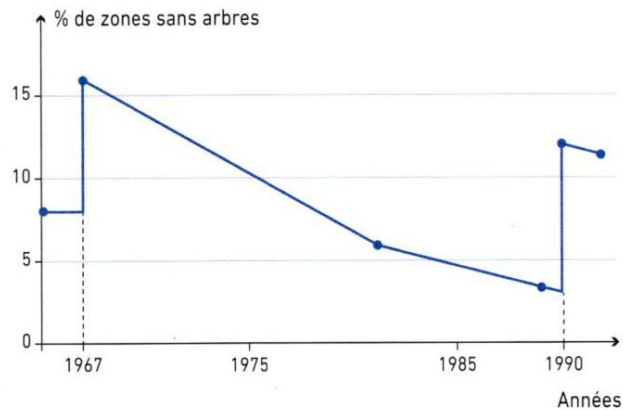
■ Exemple en forêt de Fontainebleau

Certaines zones de la forêt de Fontainebleau, comme la zone de la Tillaie, sont particulièrement intéressantes car elles n'ont pas été exploitées depuis le règne de Louis XIV et l'intervention humaine y est donc minime.

Il arrive que des intempéries endommagent cette forêt, voire en détruisent certains secteurs. Ce fut le cas lors



A Régénération en forêt de Fontainebleau (zone de la Tillaie) après la tempête de 1999.



C Suivi des zones dépourvues d'arbres.

Les zones sans arbres, appelées trouées de chablis*, sont dans un premier temps colonisées par des arbustes, puis par des arbres, d'abord des bouleaux ou des chênes, puis des hêtres.

des tempêtes particulièrement violentes de 1967, 1990 et 1999 (A). Le suivi de la zone de la Tillaie entre deux épisodes de tempête permet d'étudier la **résilience*** de cet écosystème, c'est-à-dire sa capacité à s'auto-réparer suite à une perturbation et à retrouver un état de biodiversité, de structure et de fonctionnement similaire à l'état initial (B).

	La Tillaie (34,15 ha)		
	1967	1990	1999
Nombre d'arbres déracinés	147	108	
Nombre d'arbres cassés par le vent	21	45	
Nombre total d'arbres endommagés	168 (4,9 /ha)	153 (4,5 /ha)	110 (3,2/ha)

B Dommages provoqués par les trois dernières tempêtes (cases grisées : données non disponibles).

■ Résilience et biodiversité

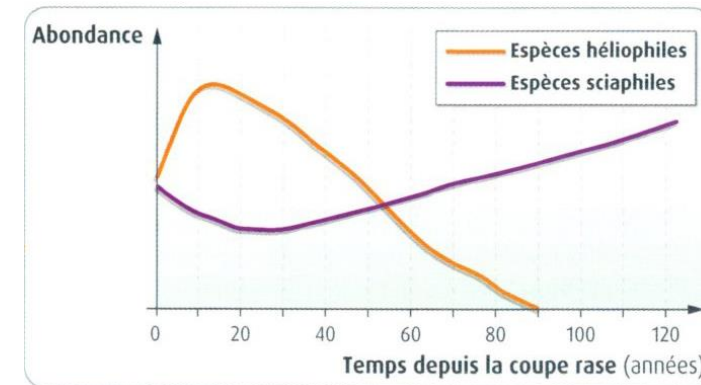
La résilience est une propriété écologique intrinsèque* de chaque écosystème. Cette capacité à s'auto-réparer dépend de la sévérité de la perturbation mais surtout de la biodiversité de l'écosystème avant perturbation. En effet, la complexité du réseau d'interactions au sein d'un écosystème favorise sa résilience. En particulier, la richesse du matériel végétal disponible après la perturbation (graines, semis, rejets, apports par migration de nouveaux animaux) et son adéquation aux nouvelles conditions du milieu détermine la possibilité et la vitesse de la régénération du boisement.

Les écosystèmes forestiers étant particulièrement riches et complexes, ils sont souvent très résilients.

Parfois, l'intensité de la perturbation est telle que la reconstitution de l'écosystème n'est plus possible ; la zone évolue alors vers un autre type d'écosystème. C'est le cas de certaines forêts sèches qui, suite à des perturbations importantes (sécheresse ou incendie), sont remplacées par des savanes*.

La résilience de l'écosystème

La **résilience** d'un écosystème désigne sa capacité à revenir naturellement à son état initial après une perturbation. Des études récentes montrent que la complexité du réseau d'interactions, la diversité génétique et la diversité fonctionnelle d'un écosystème favorisent sa résilience. Les forêts sont des écosystèmes particulièrement riches et complexes qui montrent donc une résilience importante. Certaines perturbations sont cependant irréversibles : trop fortes ou trop répétées, elles provoquent des modifications trop importantes pour que l'écosystème puisse se régénérer. Un autre écosystème le remplace alors. C'est par exemple ce qu'il se passe lors du processus de désertification. Un écosystème se caractérise donc par un équilibre dynamique, sans cesse bousculé par des facteurs internes et externes, mais le plus souvent capable de résilience.



Succession des espèces après une coupe rase. 2

Une coupe rase consiste en la suppression totale des arbres, des arbustes et des plantes basses d'une forêt pour vendre le bois. Les espèces héliophiles sont celles qui se développent à la lumière tandis que les espèces sciaphiles se développent à l'ombre.