

Chapitre 4 : Circulation de la matière dans les écosystèmes (cycles gazeux, cycles sédimentaires...)

1. Introduction

L'énergie circule de manière directionnelle à travers les écosystèmes, entrant sous forme de lumière solaire pour les phototrophes ou de molécules inorganiques pour les chimioautotrophes. Les six éléments les plus courants associés aux molécules organiques, à savoir le carbone, l'hydrogène, l'azote, l'oxygène, le phosphore et le soufre, prennent diverses formes chimiques et peuvent exister pendant de longues périodes dans l'atmosphère, sur terre, dans l'eau ou sous la surface de la Terre.

Les processus géologiques, tels que l'érosion, le drainage de l'eau, le mouvement des plaques continentales et l'érosion, sont tous impliqués dans le cycle des éléments de la Terre. Comme la géologie et la chimie jouent un rôle majeur dans l'étude de ce processus, le recyclage de la matière inorganique entre les organismes vivants et leur environnement non vivant est appelé **cycle biogéochimique**.

2. Cycle biogéochimique

Un **cycle biogéochimique** correspond à un ensemble de processus grâce auxquels un élément passe d'un milieu à un autre, puis retourne dans son milieu original, en suivant une boucle de recyclage infinie.

Les organismes vivants, pour assurer leur subsistance, ont besoin de l'apport constant de certains éléments essentiels, notamment le carbone, l'hydrogène, l'oxygène, l'azote, le phosphore et le soufre. Ces éléments se retrouvent dans le sol, dans l'atmosphère, dans l'eau ainsi que dans les tissus vivants. Les éléments circulent continuellement d'un milieu à l'autre, d'une forme à une autre. C'est cette circulation continue que l'on nomme **cycle biogéochimique**.

Tous les cycles biogéochimiques, peu importe l'élément considéré, regroupent à la fois des processus **biologiques, des processus chimiques et des processus géologiques**. Les **processus biologiques**, comme la respiration ou la digestion, ainsi que les **processus chimiques**, comme la combustion ou les réactions de synthèses, se déroulent sur une courte période de temps. Les éléments circulent donc rapidement dans cette portion d'un cycle, en quelques heures ou en quelques jours. De l'autre côté, les **processus géologiques**, comme l'érosion ou la sédimentation, se déroulent sur une échelle de temps beaucoup plus importante, en terme de mois et même de plusieurs années.

3. Types de cycles biogéochimiques

Les **cycles biogéochimiques peuvent être classés** en fonction de leur complexité ainsi que de leur mobilité.

Selon **la complexité** des cycles biogéochimiques, il peut s'agir de :

- **Cycles simples** : dans lesquels les éléments sont plus influencés par les forces physico-chimiques que par les forces biologiques. Par exemple, les sels et les oligo-éléments.

- **Cycles intermédiaires** : ils sont constitués d'éléments de matière organique (MO) qui peuvent être facilement libérés (C, H, O, P).
- **Cycles complexes** : ils sont associés aux éléments de la matière organique qui ont besoin des micro-organismes spécialisés pour leurs transformations complexes (N et S).

En fonction de leur mobilité, il est possible de distinguer les cycles suivants :

- **Cycles globaux** : ceux dont les phases gazeuses permettent leur distribution à l'échelle mondiale.
- **Cycles locaux** : ce sont des cycles moins mobiles, plus sédimentaires, qui finissent par être transportés par l'eau, ils s'accumulent dans les sédiments, ce qui donne lieu à une distribution plus régionale ou locale (P, K, Ca).

Il existe également **trois types de cycles biogéochimiques interconnectés** :

- **Gazeux** : les macro- et micronutriments sont rapidement recyclés et circulent entre l'atmosphère et les êtres vivants. Il s'agit notamment des cycles de l'oxygène, du carbone et de l'azote.
- **Sédimentaire** : les éléments (par exemple, le phosphore et le soufre) circulent entre la croûte terrestre, l'hydrosphère et les organismes. Ils sont recyclés à un rythme plus lent que ceux du cycle gazeux.
 - **Hydrologique ou cycle biogéochimique de l'eau.**

4. Exemples des cycles biogéochimiques

Il existe une circulation de la matière dans chaque écosystème où des molécules ou des éléments chimiques, reviennent sans cesse à leur point de départ et que l'on peut qualifier de cyclique, à la différence des transferts d'énergie. Le passage alternatif des éléments, ou molécules, entre milieu inorganique et matière vivante, est appelé cycle biogéochimique. Celui-ci correspond à un **cycle biologique** (cycle interne à l'écosystème qui correspond aux échanges entre les organismes) auquel se greffe un **cycle géochimique** (cycle de grandes dimensions, pouvant intéresser la biosphère entière et qui concernent les transports dans le milieu non vivant).

On peut distinguer trois principaux types de cycles biogéochimiques:

- Le cycle de l'eau.
- Le cycle des éléments à phase gazeuse prédominante (carbone, oxygène, azote).
- Le cycle des éléments à phase sédimentaire prédominante (phosphore, potassium etc.).

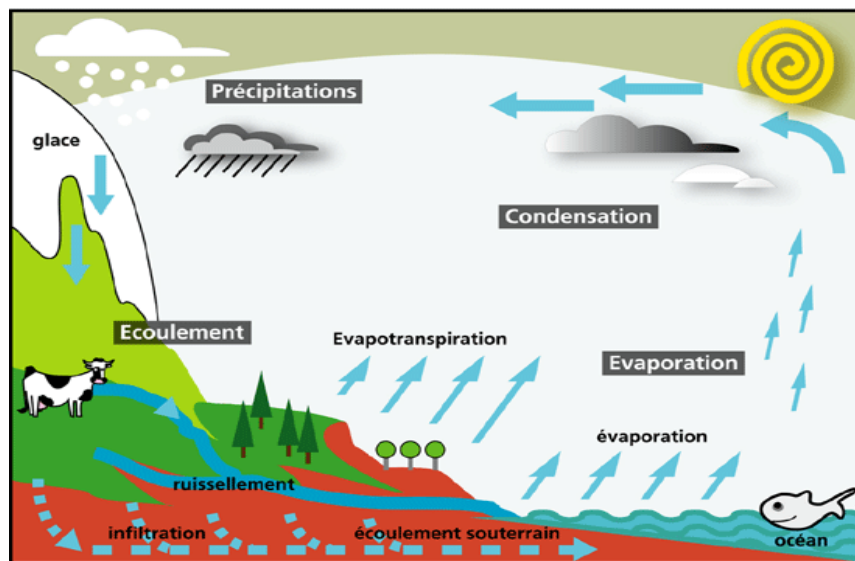
4.1. Cycle de l'eau

Le cycle de l'eau consiste en un échange d'eau entre les différents compartiments de la Terre : l'hydrosphère, l'atmosphère et la lithosphère. Sous l'effet de la chaleur du soleil, l'eau des mers, des fleuves et des lacs s'évapore. **L'évapotranspiration** joue un rôle également important dans le cycle de l'eau. Elle est accélérée par les végétaux qui transpirent de grandes quantités d'eau par leur système foliaire. De plus, leurs racines, accélèrent ces mouvements ascendants de l'eau dans le sens sol-atmosphère. Cette eau rejoint alors l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau (nuages). Les nuages sont poussés par le vent. Lorsqu'ils traversent des régions froides, la vapeur d'eau se condense. Elle retombe sur le sol, sous forme de pluie,

de neige ou de grêle. Les 7/9 du volume total de ces précipitations retombent à la surface des océans et les 2/9 seulement sur les continents. La circulation de l'eau dans la lithosphère emprunte trois voies:

- **Le ruissellement** : phénomène d'écoulement des eaux à la surface des sols.
- **L'infiltration** : phénomène de pénétration des eaux dans le sol, à travers les fissures naturelles des sols et des roches, assurant ainsi l'alimentation des nappes phréatiques.
- **La percolation** : phénomène de migration de l'eau à travers les sols (jusqu'à la nappe phréatique).

Ruissellement, infiltration et percolation assurent l'alimentation des cours d'eau qui restituent en dernier lieu l'eau à l'hydrosphère.



Cycle de l'eau

4.2.Cycle du carbone

Lors de la respiration, les êtres vivants consomment de l'oxygène et rejettent du dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère. De même, les industries, les véhicules de transports rejettent du CO_2 dans l'atmosphère après combustion d'un carburant, en présence d'oxygène. Les éruptions volcaniques sont également considérées comme source naturelle de CO_2 . Le CO_2 est absorbé par les plantes (photosynthèse) et l'eau (dissolution). Photosynthèse et dissolution sont les phénomènes permettant le recyclage du gaz carbonique.

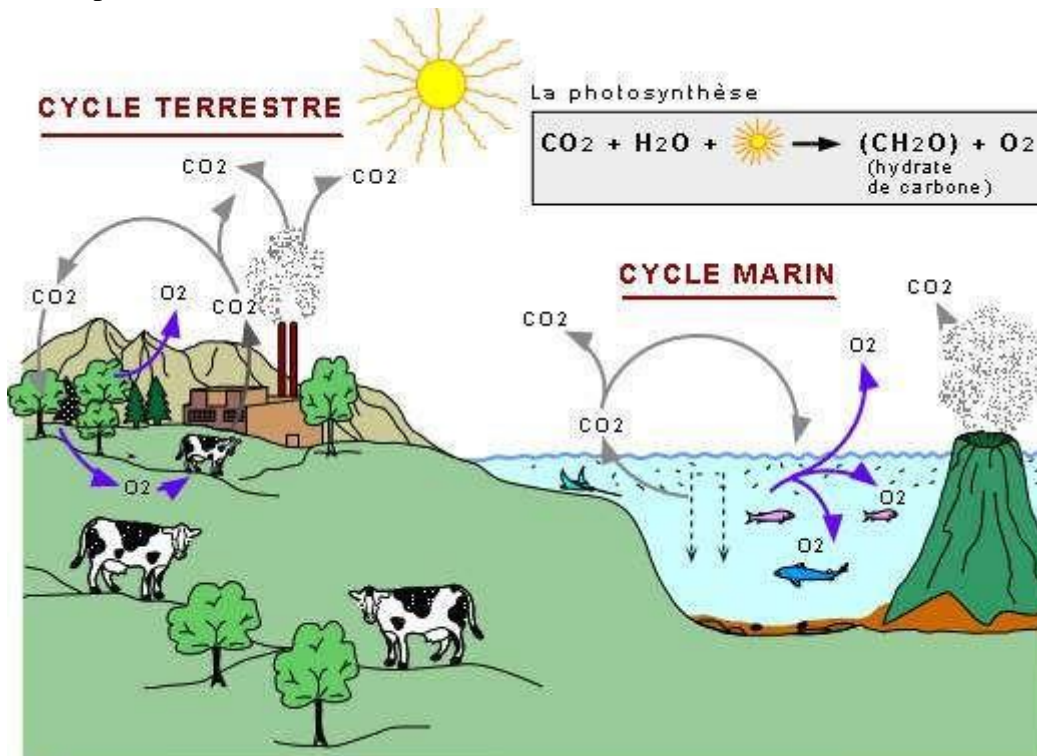
Après la photosynthèse, le carbone se combine avec d'autres éléments pour former des molécules complexes, qui après la mort de la plante seront dégradées très lentement en charbon. Lors de leur combustion, ces combustibles fossiles formeront à nouveau du CO_2 .

Le CO_2 de l'air et celui dissous dans l'eau constituent la seule source de carbone

inorganique à partir de laquelle s'élaborent toutes les substances biochimiques constituant la cellule vivante (grâce à l'assimilation chlorophyllienne).

Au cours de la respiration des autotrophes, des hétérotrophes et de divers autres organismes, le gaz carbonique est dégagé parallèlement à la consommation d'oxygène. Le dégagement de CO₂ a lieu également au cours des fermentations qui conduisent à une décomposition partielle des substrats dans des conditions anaérobies.

Dans les sols, il se produit souvent un ralentissement du cycle du carbone : les matières organiques ne sont pas entièrement minéralisées mais transformées en un ensemble de composés organiques acides (acides humiques). Dans certains cas les matières organiques ne sont pas entièrement minéralisées et elles s'accumulent dans diverses formations sédimentaires. Il se produit une stagnation et même un blocage du cycle du carbone. C'est le cas actuellement de la formation de tourbe ou par le passé de la constitution de grands dépôts de houille, de pétrole et d'autres hydrocarbures fossiles. Cependant, nous produisons trop de dioxyde de carbone et notre Terre n'arrive plus à le recycler. Le taux de CO₂ dans l'atmosphère augmente et le climat se réchauffe. En effet, le CO₂ présent dans l'atmosphère permet de piéger la chaleur du soleil qui rend la vie possible sur Terre. C'est ce qu'on appelle l'effet de serre. En augmentant la concentration de CO₂ dans l'atmosphère, l'équilibre de notre écosystème est perturbé. Le climat se réchauffe et cela peut avoir des conséquences graves sur la vie sur Terre : les calottes glaciaires pourraient fondre et augmenter le niveau des mers en certains points provoquant des inondations, augmentation des conditions climatiques extrêmes comme les tempêtes, les raz de marée, la sécheresse, etc.



Cycle du carbone

4.3.Cycle du phosphore

En dépit de la rareté du phosphore minéral dans la biosphère, cet élément reste important pour la matière vivante (c'est un constituant de l'ADN, de l'ARN et de l'ATP). Son réservoir principal est constitué par diverses roches qui cèdent peu à peu leurs phosphates aux écosystèmes.

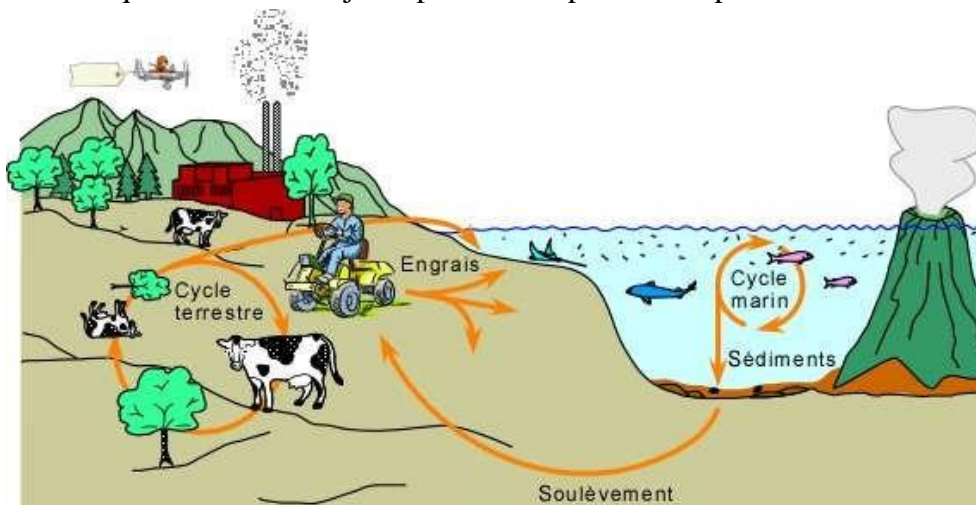
Dans le milieu terrestre, la concentration en phosphore assimilable est souvent faible et joue le rôle de facteur limitant. Ce phosphore est mis en circulation par lessivage (ou érosion) et dissolution et introduit ainsi dans les écosystèmes terrestres où il est absorbé par les végétaux. Ceux-ci l'incorporent dans diverses substances organiques et le font ainsi passer dans les réseaux trophiques. Puis les phosphates organiques sont restitués au sol avec les cadavres, déchets et excréta produits par les êtres vivants, attaqués par les micro-organismes et retransformés en orthophosphates minéraux, à nouveau disponibles pour les plantes vertes et autres autotrophes.

Le phosphore est introduit dans les écosystèmes aquatiques par les eaux de ruissellement. Celles-ci vont ensuite rejoindre les océans, permettant ainsi le développement du phytoplancton et des animaux des divers maillons de la chaîne trophique.

Le passage du phosphore de l'état organique à l'état inorganique est assuré par des bactéries et des champignons.

Un retour partiel des phosphates des océans vers les terres émergées s'effectue par l'intermédiaire des oiseaux marins **ichthyophages** ou **piscivores** par le biais de gisements de guano.

Cependant, dans les océans, le cycle du phosphore se fait avec des pertes, puisqu'une partie importante des phosphates entraînée en mer se retrouve immobilisée dans les sédiments profonds (fragments de cadavres de poissons, non consommés par les détritivores et les décomposeurs). Lorsqu'il n'existe pas de courants ascendants permettant la remontée des eaux en surface, la pénurie de phosphore est un facteur limitant. Le cycle du phosphore est donc incomplet et ouvert. Du fait de sa rareté et en raison de ces pertes pour le cycle, le phosphore constitue donc le principal facteur limitant qui contrôle la majeure partie de la production primaire.



Cycle du phosphore

4.4. Cycle de l'azote

Le principal réservoir de l'azote est l'atmosphère qui en renferme 79% en poids. La formation de nitrates par voie inorganique s'effectue sans cesse dans l'atmosphère par suite des décharges-électriques lors des orages. Mais, elle ne joue qu'un rôle secondaire par rapport à celui des micro-organismes nitrifiants. Ces derniers sont surtout représentés par des bactéries, soit libres tels les genres *Azotobacter*, *Clostridium* et *Rhodospirillum*, soit symbiotiques (*Rhizobium*). Dans le milieu aquatique ce sont surtout les algues cyanophycées (algues bleues) qui sont fixatrices de l'azote gazeux.

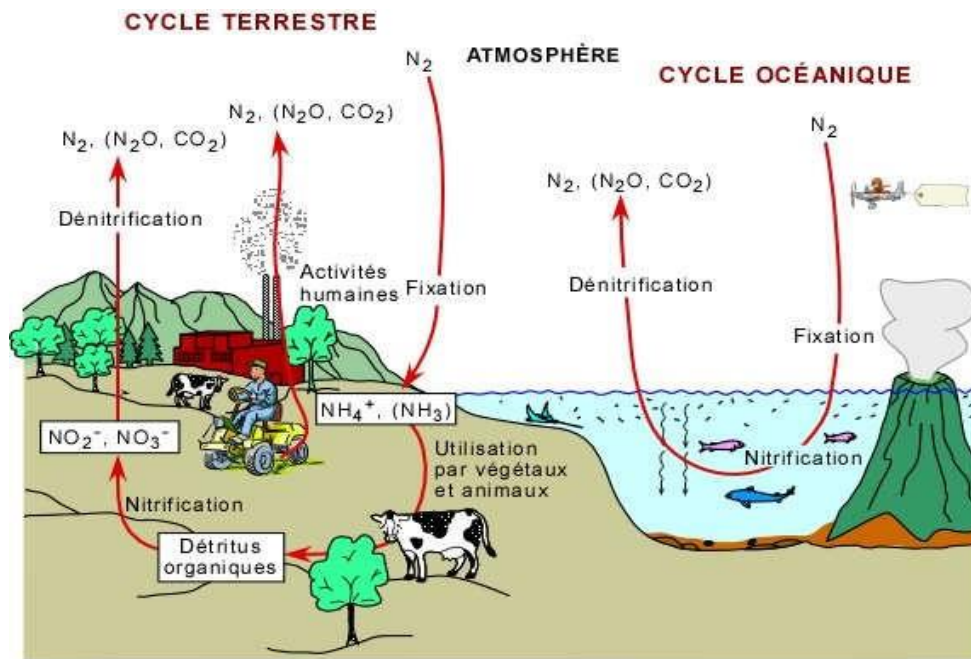
L'azote nitrique ainsi élaboré par ces nombreux micro-organismes terrestres ou aquatiques est finalement absorbé par les végétaux, amené dans les feuilles et transformé en ammoniacque, grâce à une enzyme spécifique, la nitrate-réductase. Ensuite, l'ammoniacque est transformée en azote aminé puis en protéines.

Les protéines et autres formes de l'azote organique contenues dans les cadavres, excréta et déchets organiques vont être attaquées par des microorganismes bio-réducteurs (bactéries et champignons) qui produisent l'énergie dont ils ont besoin par la décomposition de cet azote organique qui est ensuite transformé en ammoniacque, c'est l'ammonification.

Une partie de cet azote ammoniacal peut être absorbé directement par les végétaux, mais il peut être aussi utilisé par des bactéries nitrifiantes (*Nitrosomonas*) pour produire leur énergie métabolique. Celles-ci transforment l'ammoniacque NH_4^+ en nitrite, NO_2^- , c'est la nitritation, puis les *Nitrobacter* le transforment en NO_3^- , c'est la nitratisation. L'ion nitrate NO_3^- est alors absorbé par les végétaux.

L'azote retourne constamment à l'air sous l'action des bactéries dénitrifiantes (*Pseudomonas*) qui sont capables de décomposer l'ion NO_3^- en N_2 qui se volatilise et retourne à l'air; mais le rôle de ces bactéries est heureusement peu important.

Une partie non négligeable des nitrates peut être lessivée par les eaux de ruissellement et entraînée en mer. L'azote peut alors être immobilisé par incorporation aux sédiments profonds. Cependant, il est en grande partie repris par les organismes du phytoplancton et il entre dans une chaîne alimentaire aboutissant à des oiseaux qui le ramènent, par leurs déjections, au milieu terrestre sous la forme de guano.



Cycle de l'azote

REFERENCES

Aidoud, A., 1988, Les écosystèmes à armoise blanche (*Artemisia herba alba*).I :caractères, généraux . Biocénoses, 3(1-2 ? 1-15).

Aidoud, F., 1984, Contribution à la connaissance des groupements à sparte (*Lygeum spartum* L.) des hauts plateaux sud –oranais. Etude phytoécologique et syntaxonomique.thèse doct.3ème cycle, univ, Sci. Technol. H boumediéne, Alger, 256 p.+ ann.

Aidoud, A., **1989.** - Contribution à l'étude des écosystèmes pâturés (Hautes Plaines Algéro-Oranaises, Algérie). Thèse Doct. Etat, Univ. Sci. Technol. H. Boumediene, Alger, 240 p.

Aidoud, A., **1992.** - Les parcours à alfa (*Stipa tenacissima* L.) des Hautes Plaines algériennes : Va- riations inter-annuelles et productivité. In : Gaston, A., Kernick, M. & Le Houérou., H.N. (eds), Actes du 4ème Congrès International des Terres de Parcours, Montpellier, France,22-26 avril 1991, pp. 198-199. CIRAD, Montpellier

Aidoud, A., **1994.** - Pâturage et désertification des steppes arides en Algérie. Cas de la stepped'alfa (*Stipa tenacissima* L.). Paralelo 37° 16 : 33-42.

Barbault R., 1981. Ecologie des populations et des peuplements. Ed. Masson. Paris, 200 p. **Barbault R.**, 1990. Ecologie générale, Structure et fonctionnement de la biosphère. Paris.Masson. 2nde édition. 269 p.

Berner, R.A., 1994. GEOCARB II: a revised model of atmospheric CO₂ over Phanerozoictime. *American Journal of Science*. V. 294. Pp : 56-91.

Bouazza, M., 1995, Etude phyto-écologique des steppes à *Stipa tenacissima* L. et *Lygeum spartum* L. au Sud de Sebdou (Oranie, Algérie). Thèse de Doctorat ès Sciences. Université de Tlemcen, Algérie.

Boyce, M. S. & Haney, A. 1997. *Ecosystem management: applications for sustainable forest and wildlife resources*. New Haven, Conn., Yale Univ. Press. 361 pp.

Cornet, A., 2002, La désertification à la croisée de l'environnement et du développement : unproblème qui nous concerne, 35 p.

Dajoz R., 1974. Dynamique des populations. Paris. Masson. 301 p. **Dajoz R.**, 1996. Précis d'écologie. Paris. Dunod. 6ème

édition. 551p.**Dajoz R.**, 2006. Précis d'écologie. Paris. Dunod. 8ème édition. 631p.

D'Eon, R.G., Johnson, J. & Alex Ferguson, E. eds. 2000. *Ecosystem management*

Master1 : Ecologie des Communautés et des écosystèmes *Chapitre 4 : Circulation de la matière dans les écosystèmes*

offorested landscapes: Directions and implementation. Vancouver, UBC Press. 432

pp.

- Djebaili, S.**, 1978, Recherche phytosociologique et écologique sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien. Thèse doct., univ. Sci. Tech. Languedoc, montpelier, 299p. + annexes.
- Duquet M.**, 1993. Glossaire d'écologie fondamentale. Ed. Fernand Nathan. 127 p.
- Duvigneaud P.**, 1984. L'écosystème forêt. Nancy. ENGREF. 160 p.
- Fournier A.**, 1991. Phénologie, croissance et production végétales dans quelques savanes d'Afrique de l'Ouest. Variations selon un gradient climatique. Paris, Orstom, 312 p.
- Franklin, J. F.** 1997. Ecosystem management: an overview. In M. S. Boyce, and A. Haney, eds. *Ecosystem management: applications for sustainable forest and wildlife resources*. pp 21-53. New Haven, Conn., Yale Univ. Press. 361 pp.
- Franklin, J. F., Berg, D. R., Thornberg, D. A. & Tappeiner. J.** 1997. Alternative silviculture approaches to timber harvesting: variable retention harvesting systems. In K. A. Kohm, and J. F. Franklin, eds. *Creating a forestry for the 21st century: The science of ecosystem management*, pp 11-139. Washington, D.C., Island Press. 475 pp.
- Franklin, J.F. Spies, T.A., Van Pelt, R., Carey, A.B., Thornburgh, D.A., Berg, D. R., Lindenmayer, D. B., Harmon, M E., Keeton, W. S. , Shaw, D. C. , Bible, K., and Chen, J.** 2002. Disturbances and structural development of natural forest ecosystems with silvicultural implications, using Douglas-fir forests as an example. *For. Ecol. Manage.* 155: 399-423.
- Frontier S.**, 1983. Stratégies d'échantillonnage en écologie. Masson, Paris. Les Presses de l'Université Laval, Quebec. 494 p.
- Frontier S. et Pichod-Viale D.**, 1993. Ecosystèmes, Structure-fonctionnement-évolution, Paris. Masson. 2nde édition. 2^{ème} tirage. 447 p.
- Gaudin S.**, 1997. Quelques éléments d'écologie utiles au forestier. BTSA Gestion Forestière. Module D41. V.1.1. 88p.
- Guyot G.**, 1999. Climatologie de l'environnement. 2^{ème} édition. Dunod. Paris. 525P.
- Léveque C.**, 2000. Ecologie de l'écosystème à la biosphère. Edition. Dunod. Paris. 502P.
- Mackenzie, F.T.**, 1998. Our Changing Planet - An introduction to Earth Science and global environmental change. Prentice-Hall. Upper Saddle River. 2^{ème} édition. 486p.
- Ramade F.**, 1982. Élément d'écologie: écologie appliquée. 3^{ème} Edition. Ed. McGraw-Hill. Paris, 452p.
- Ramade F.**, 2003. Élément d'écologie: écologie fondamentale (3^{ed}). Ed. Dunod.

Paris, 690p.