

Centre universitaire de Mila
Institut des sciences de la nature et de la vie
Département des sciences biologiques

Cours de Modélisation des systèmes écologiques

Niveau : Master II Protection des écosystèmes

Par: Semara Lounis
Enseignant - chercheur
Centre universitaire de Mila



Introduction

Les écosystèmes sont des systèmes complexes. Ils sont vastes et hétérogènes, et leurs composantes interagissent sur différentes échelles d'espace et de temps. Leur état est en constante évolution, façonné à la fois par les processus internes et par les variations environnementales et les pressions exercées par les activités humaines. Ces propriétés limitent la capacité à prévoir la dynamique des écosystèmes et compliquent la gestion durable des ressources et des services qu'ils fournissent.



Introduction

Les outils traditionnels d'aide à la décision offrent essentiellement une description statique des variables environnementales d'intérêt (statistiques, systèmes d'information géographique...). Les modèles quant à eux, permettent une représentation dynamique des écosystèmes. Pour cette raison, les modèles sont imposés progressivement comme des outils incontournables en gestion de l'environnement et des ressources naturelles.



Introduction

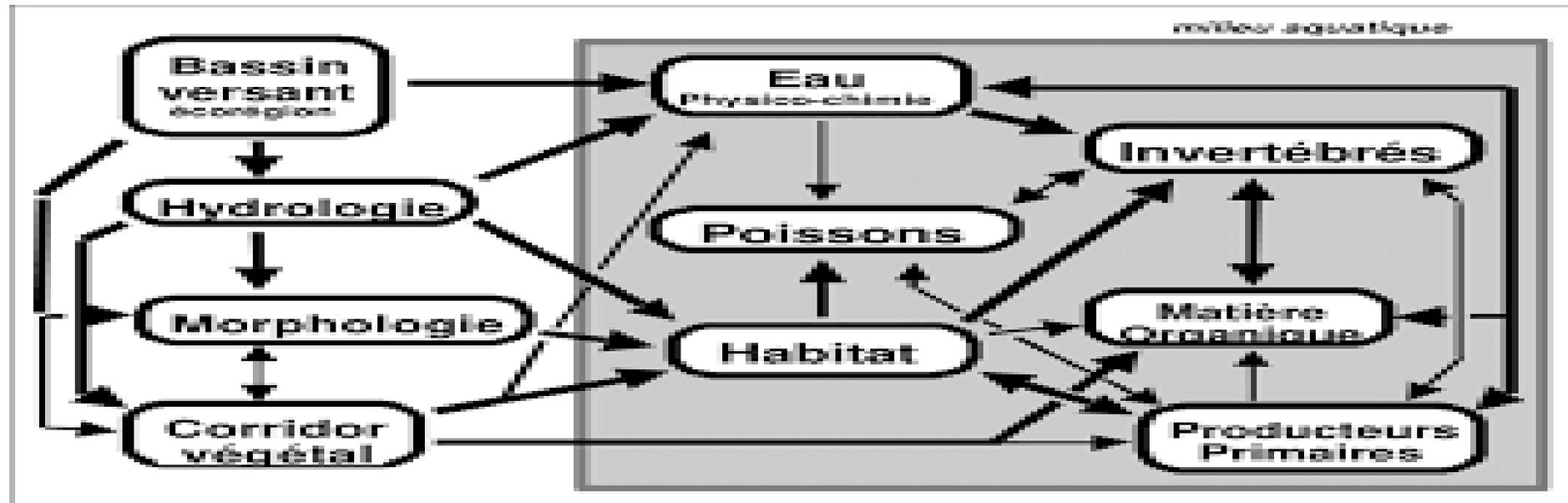
Ce cours vise à animer votre intérêt pour la modélisation des écosystèmes et à vous sensibiliser à l'ubiquité des modèles en science de l'environnement. Bien que la programmation informatique soit un élément important dans la construction d'un modèle de simulation, ce cours n'enseigne pas à programmer un modèle et ne requière pas la connaissance d'un langage de programmation.

Dans ce module, nous intéressons **au rôle de la modélisation en sciences de l'environnement.**

Qu'est-ce que la modélisation et quelles sont les motivations justifiant son utilisation en sciences de l'environnement?

Définir un système

La définition du système étudié et l'étude des interactions entre les éléments de ce système constituent deux étapes fondamentales de la démarche scientifique et revêtent une importance toute particulière en écologie du fait de la complexité des systèmes étudiés. Nous commencerons donc ce cours par définir la notion de système.



Caractéristiques d'un système écologique dans une optique de modélisation

Le système constitue l'objet à modéliser

Un système se définit d'abord comme une collection d'objets en interactions

Exemples : la compétition des arbres entre eux (dominants / dominés) ou les interactions entre les bactéries du sol et les racines en ce qui concerne le cycle de l'azote.

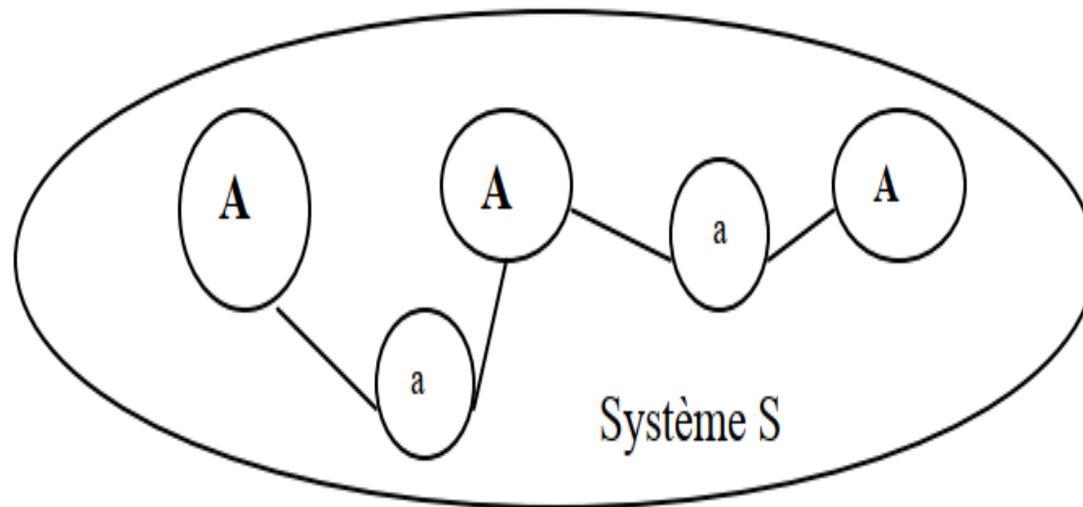


Figure 5 : Cas de la compétition entre arbres dominants (A) et arbres dominés (a). H. DAVI.

Caractéristiques d'un système écologique dans une optique de modélisation

Dynamique du système

Les systèmes écologiques sont en général des systèmes dynamiques, c'est-à-dire que les interactions modifient l'état du système. On obtient un système dynamique quand on a des boucles d'actions et de rétroactions.

Un cas très explicite de système dynamique est le système proies - prédateurs de Lotka- Volterra ; les populations de proies et de prédateurs évoluent au cours du temps, sans aucune hypothèse sur l'évolution du milieu extérieur.

Dans le cas d'un écosystème forestier, nous pouvons prendre le cas de l'évolution d'une population de loups et de cervidés.

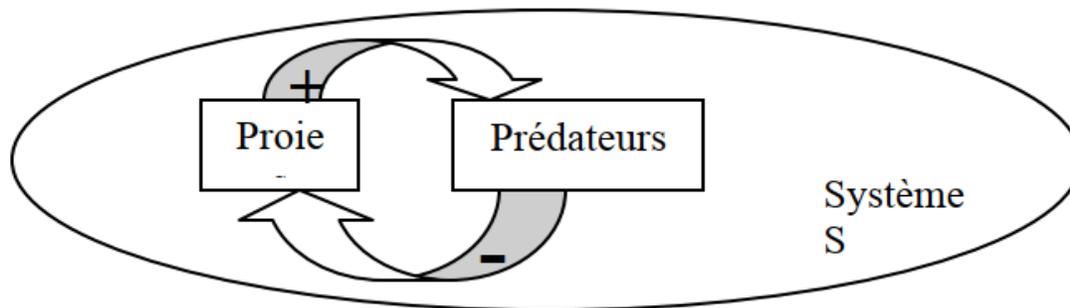


Figure 6 : Nature des interactions dans un système proies – prédateurs.
H. DAVI

Caractéristiques d'un système écologique dans une optique de modélisation

Système et milieu extérieur

Les systèmes naturels sont en général non isolés (ils échangent de l'énergie avec l'extérieur) et ouverts (ils échangent de la matière avec l'extérieur).

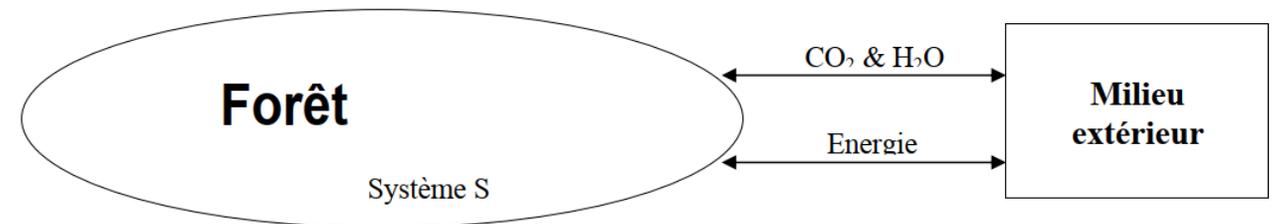
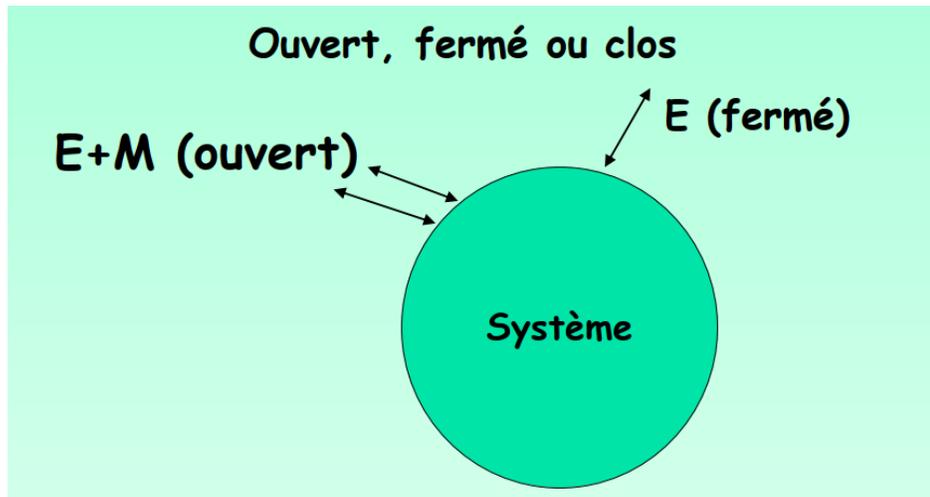


Figure 7 : Les échanges entre l'écosystème forestier et le milieu extérieur. H. DAVI.

Caractéristiques d'un système écologique dans une optique de modélisation

Système et milieu extérieur

Les systèmes naturels sont en général non isolés (ils échangent de l'énergie avec l'extérieur) et ouverts (ils échangent de la matière avec l'extérieur).

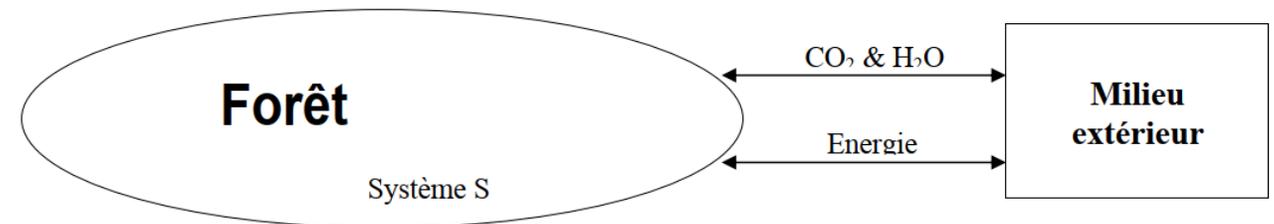
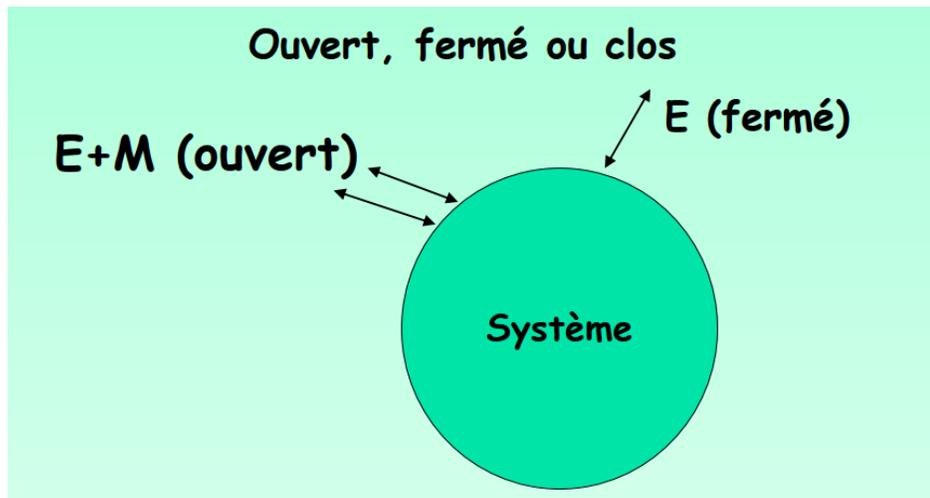


Figure 7 : Les échanges entre l'écosystème forestier et le milieu extérieur. H. DAVI.

Caractéristiques d'un système écologique dans une optique de modélisation

Notion de sous-système

Un système peut être constitué d'une collection de sous-systèmes, ce qui pose la question des limites du système et celle de la hiérarchisation des sous-systèmes.

Dans l'écosystème forestier, on peut définir divers sous systèmes : strate herbacée, strate arborée, communauté d'oiseaux, population de cervidés, racines, communautés de bactéries. Certains sous-systèmes interagissent entre eux.

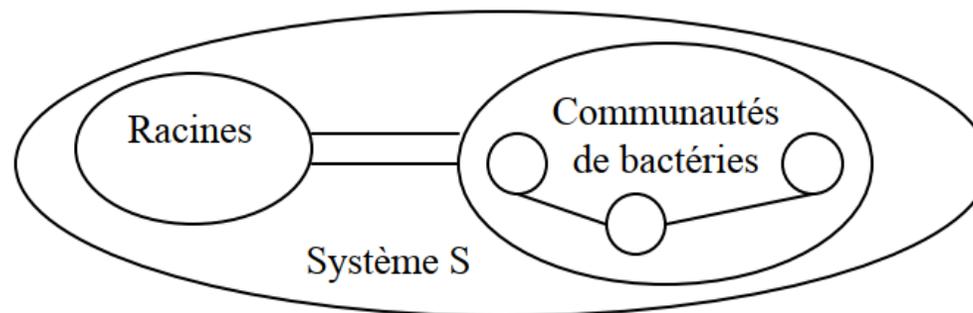


Figure 8 : Les communautés bactériennes du sol et les racines de plantes sont deux sous-systèmes de l'écosystème forestier qui interagissent entre eux.
H. DAVI.

Caractéristiques d'un système écologique dans une optique de modélisation

Echelle spatiale et temporelle

Les systèmes d'étude en écologie sont variés et peuvent d'un point de vue spatial et temporel, représenter des réalités très différentes, allant de la seconde au siècle et du m² à la planète dans son ensemble.

Les niveaux spatiaux sont hiérarchisés et coexistent en interaction

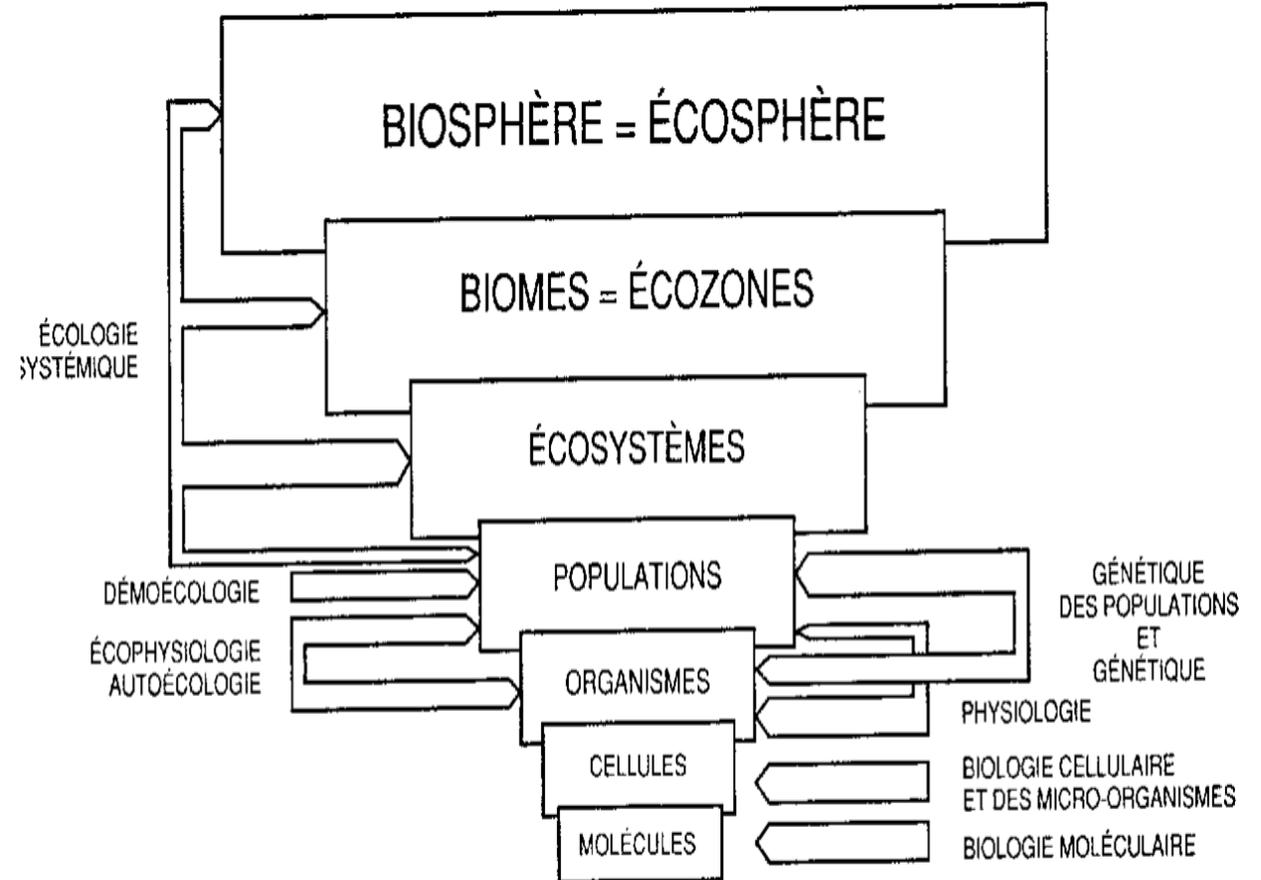


Figure 1. — Niveaux d'organisation dans la biosphère et échelle d'appréhension des différents domaines de l'écologie situés dans les disciplines biologiques. Le terme d'écosphère a été utilisé pour la première fois par l'écologiste américain LAMONT COLE en 1958 dans l'article « The Ecosphere », *Sc. Am.*, 198 (4), p. 83-96. Voir aussi GILLARD A., « On Terminology of Biosphere and Ecosphere », *Nature*, 223, 1969, p. 500-501

Caractéristiques d'un système écologique dans une optique de modélisation

Notion de sous-système et échelle spatiale et temporelle

La détermination des limites du système et des sous-systèmes dépend de l'objet de la recherche : si l'on étudie la dynamique de la végétation, le microclimat dans la forêt peut être exogène au système étudié ; par contre si l'on étudie les relations plantes – atmosphère, le microclimat fait partie du système.

De même pour la définition des sous-systèmes : si l'on étudie l'effet de la compétition pour l'eau entre espèces herbacées et arborées, on définira deux classes de végétaux ; mais si l'on étudie l'effet de la diversité sur la productivité, on définira sûrement plus de deux classes.

Caractéristiques d'un système écologique dans une optique de modélisation

Systèmes déterministes et systèmes stochastiques

Un système est dit déterministe, si connaissant son état au temps t , on connaît son état au temps $t+1$.

Un système est dit stochastique (aléatoire), si connaissant son état au temps t , on ne connaît que la probabilité de son état au temps $t+1$.

Beaucoup de systèmes comportent les deux types de fonctionnement ; ils seront alors dits stochastiques ou déterministes selon le poids respectifs de chacun des deux types de fonctionnement.

L'évolution de la croissance d'un peuplement peut être simulée de façon déterministe et la dispersion des graines de façon stochastique.

Caractéristiques d'un système écologique dans une optique de modélisation

Systèmes déterministes et systèmes stochastiques

Le caractère stochastique ou déterministe dépend du choix du système et des sous-systèmes et non pas du type d'organisme ou de communauté étudié.

Pour un système 'individu centré', la croissance d'un seul arbre peut être déterministe ; pour un système 'peuplement', la croissance d'un arbre peut être stochastique.

Caractéristiques d'un système écologique dans une optique de modélisation

Évolution discrète et évolution continue

Un système est continu pour un pas de temps x , quand il est défini pour tout t au temps t et $t+x$.

Pour un pas de temps horaire, la respiration des branches peut être considérée comme continue ; mais la production de graines est discrète. .

En dynamique des populations, si on a synchronisation de la reproduction des individus, le système évolue en général de façon discrète (ex. : la population de cervidés). Par contre, si la reproduction est asynchrone, le système évolue de façon continue (ex. : une population bactérienne).

Caractéristiques d'un système écologique dans une optique de modélisation

Notions d'entité, d'attribut, d'activité et d'état d'un système

chaque entité est caractérisée par **ses attributs** qui correspondent à ses caractéristiques propres.
Exemple : la biomasse est un attribut de l'arbre ; l'effectif est un attribut de la population de cervidés.

Enfin, on appelle **état d'un système** à l'instant t l'ensemble des entités, attributs et activités qui le définissent à l'instant t.

Entités	Arbres Herbivores
Attributs	Biomasse Hauteur Effectifs
Activités	Photosynthèse Alimentation
État	Σ Entités attributs et activités

objet

variables

fonctions

Caractéristiques d'un système écologique dans une optique de modélisation

Variables d'état , variables de forçage et de sortie

Pour décrire un système, on réalise un certain nombre de mesures, qui se traduisent par des valeurs numériques caractéristiques : on parle de variables

Les Variables d'état qui décrivent l'état du système. Elles résultent des processus d'échanges dans le système

Les variables de forçage sont dits variables d'entrée car elles sont imposées au système par le milieu extérieur.

Les variables de sorties sont celles du modèle (qui décrivent l'état ou les différents flux);

Caractéristiques d'un système écologique dans une optique de modélisation

Variables d'état , variables de forçage et de sortie

Exemple : Modélisation du bilan hydrique (stock d'eau) sol agricole couvert par une culture

Processus à l'origine des flux d'eau : Évapotranspiration, Ruissellement, Drainage

