

Licence BIOLOGIE & ECOE DES MILIEUX AQUATIQUES
UNITE D'ENSEIGNEMENT FONDAMENTALE (UEF):

BIOLOGIE DE DEVELOPPEMENT ET DYNAMIQUE DE POPULATIONS

Responsable de l'UEF: BOUREHAIL N.

Matière: Biologie et dynamique des populations

Responsable de la matière: BOUREHAIL N.

Contenu de la matière d'enseignement (VHG: 90h, Coef.: 3, Cr: 5)

- 1. Historique**
- 2. Systèmes population-environnement**
- 3. Croissance exponentielle et le paradigme de la régulation dépendante de la densité**
- 4. Fluctuations, limitation et régulation des populations**
 4. 1. Régulation densité-dépendant
 4. 2. Compétition intraspécifique
 4. 3. Variabilité des populations naturelle
 4. 4. Rôle de la diversité et de l'hétérogénéité des populations
- 5. Accès aux paramètres démographiques**
- 6. Biodémographie et biologie évolutive**
 6. 1. Concept de stratégie en écologie
 6. 2. Contraintes et compromis
 6. 3. Coût de la reproduction
 6. 4. Approche comparative et les modèles d'optimisation
- 7. Gestion et conservation des populations**

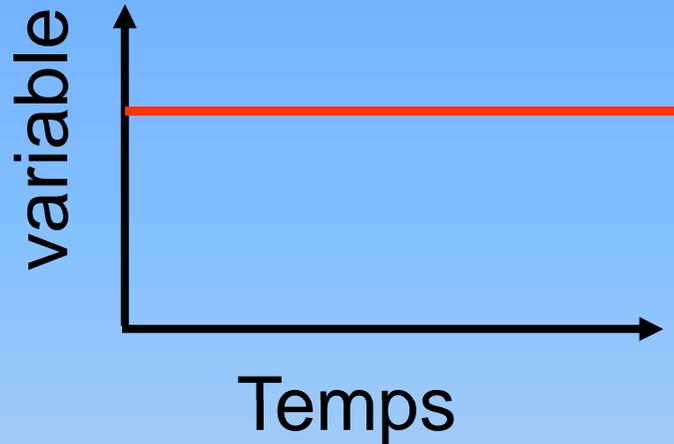
2. SYSTÈMES POPULATION-ENVIRONNEMENT

Qu'est ce qu'un système dynamique en biologie?

Comment étudier un système dynamique?

Grands types de comportement d'un système dynamique

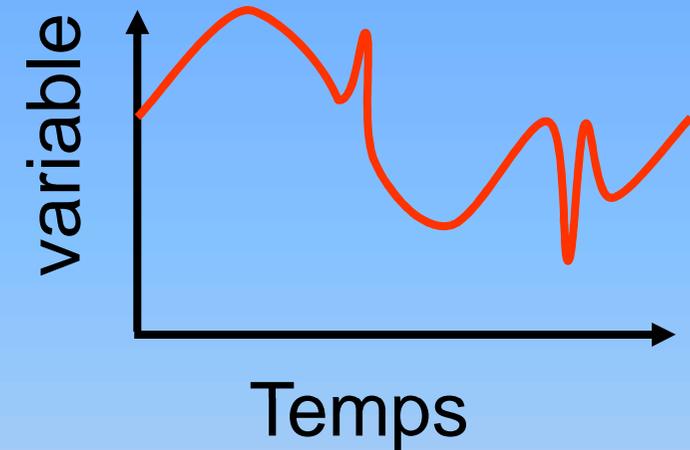
Qu'est ce que la dynamique d'un système?



**Absence
de dynamique**



**Ecosystème
(Lac)**

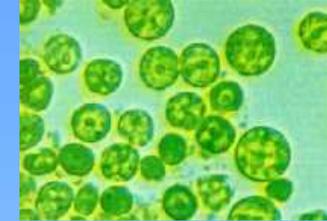
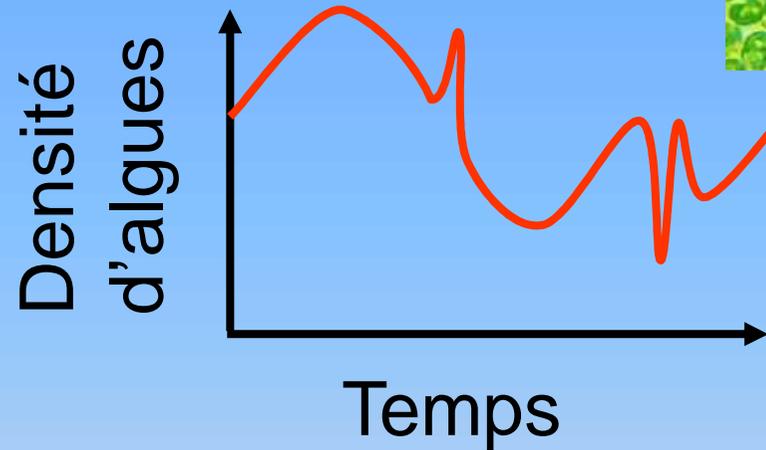


Dynamique

La plupart des phénomènes écologiques sont variables dans le temps: **dynamique**

Qu'est ce qu'un système écologique?

Exemple du lac

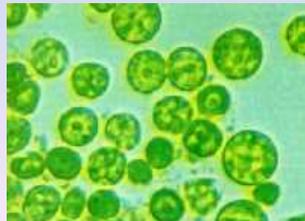


Pourquoi la densité d'algue fluctue?

Interactions avec d'autres "acteurs" ou variables

Température

Lumière



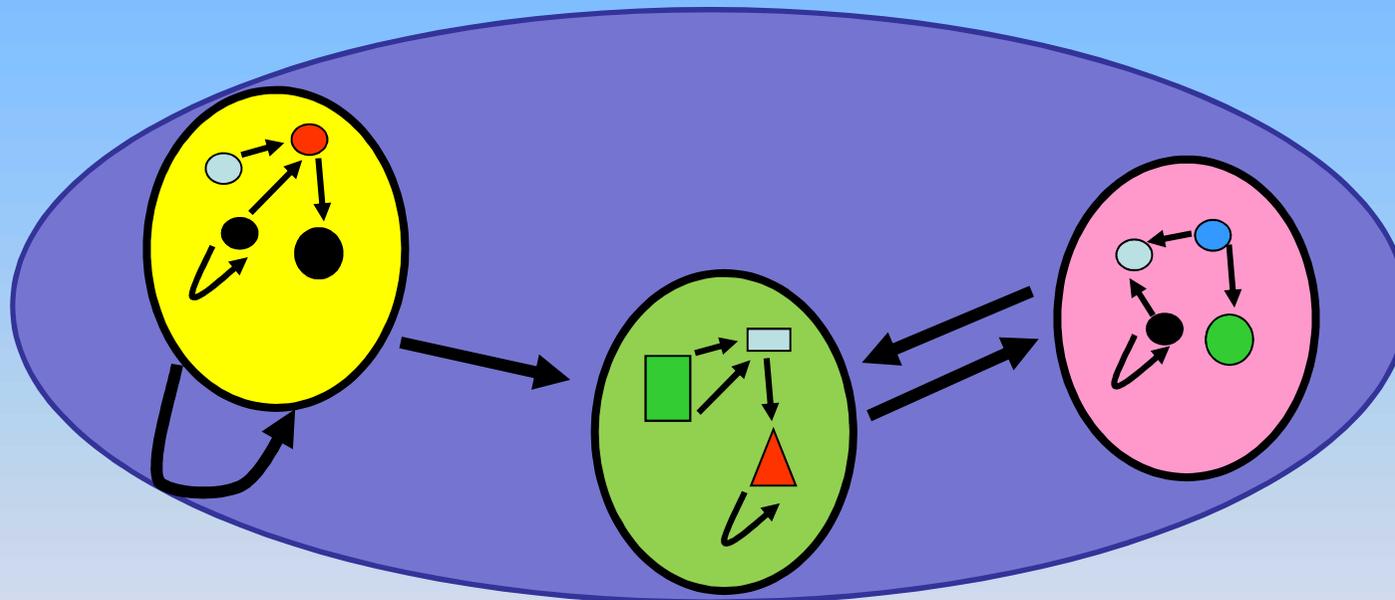
Herbivores

Compétiteurs



Définition général du terme “système”

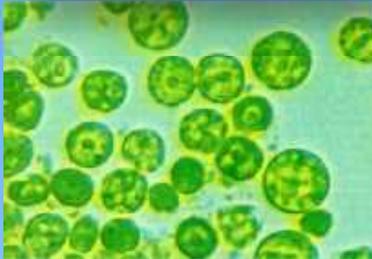
Un système est un objet complexe, formé de composants distincts reliés entre eux par un certain nombre de relations. Les composants sont considérés comme des sous-systèmes, ce qui signifie qu'ils entrent dans la même catégorie d'entités que les ensembles auxquels ils appartiennent.



Un sous-système peut être décomposé à son tour en sous-systèmes d'ordre inférieur ou être traité (au moins provisoirement) comme un système indécomposable, c'est-à-dire comme un système réduit à un seul élément.

Les systèmes écologiques classiques

Population



Population:

Ensemble d'individus conspécifiques en interaction

Communauté



Communauté:

ensemble d'espèces en interaction (et tous leurs individus)

Ecosystèmes



Ecosystème:

ensemble des espèces en interaction avec le milieu physique local

Biosphère

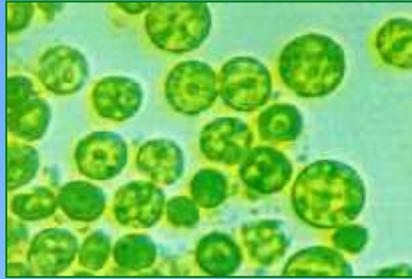


Biosphère:

ensemble des écosystèmes en relation avec le milieu physique (lithosphère, atmosphère)

Des échelles emboîtées

3. Croissance exponentielle et le paradigme de la régulation dépendante de la densité



Population

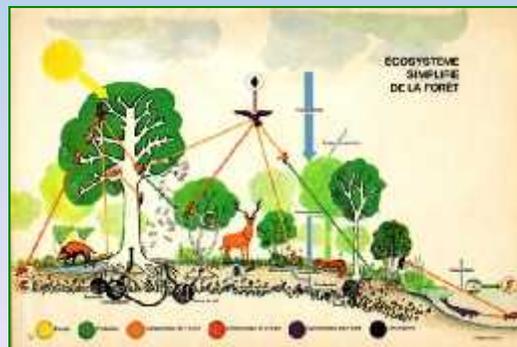
Nombre d'individus = densité
Traits des individus =
caractéristiques (taille, sexe,
physiologie, gènes ...etc)



Communauté

Nombre d'espèces =
biodiversité
Nature des espèces
Biomasse de chaque
espèce

Caractéristiques
physico-chimiques :
t°, CO₂, ‰S,
humidité, quantité de
MO...

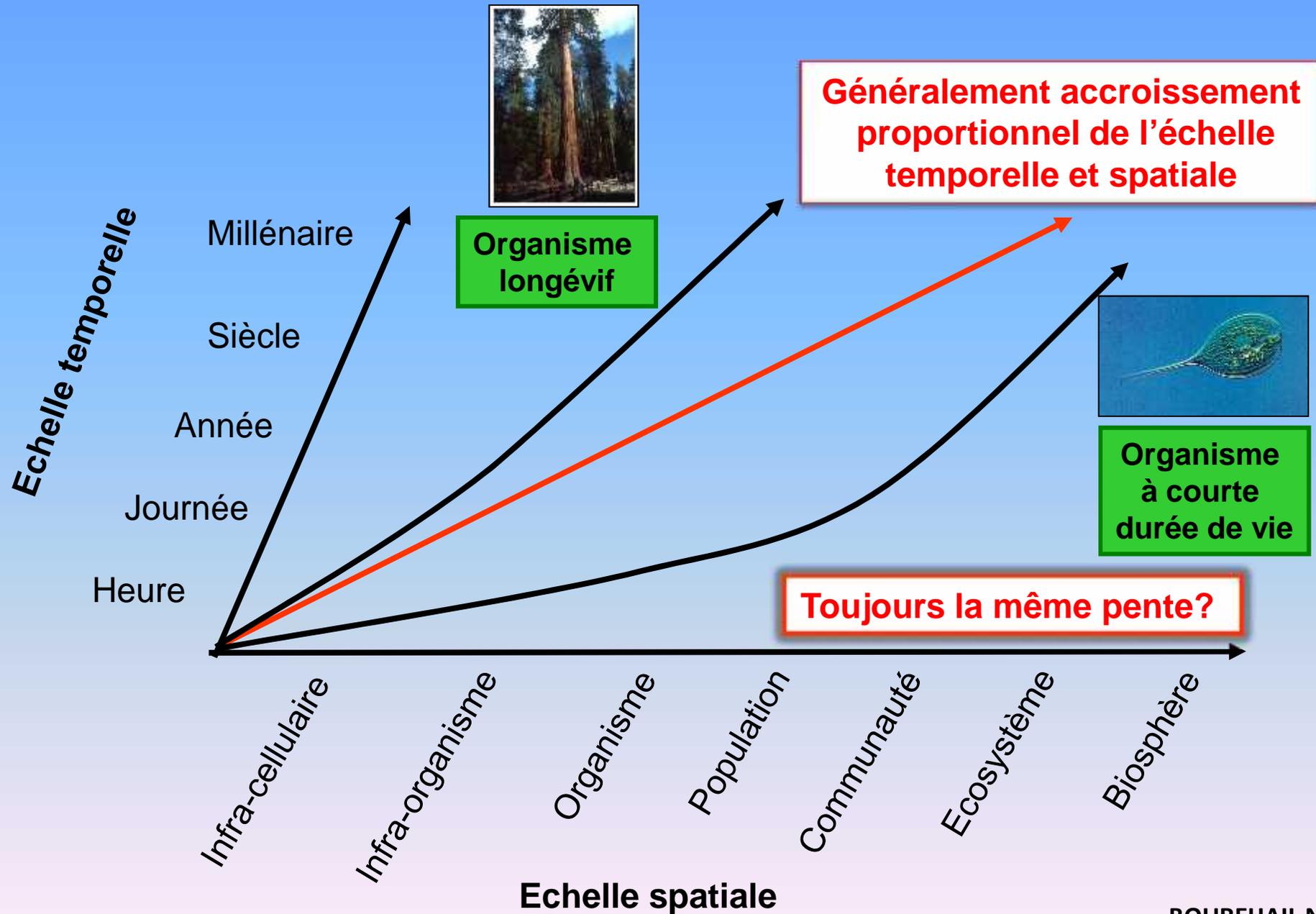


Ecosystèmes



Biosphère

Des échelles temporelles et spatiales très variables



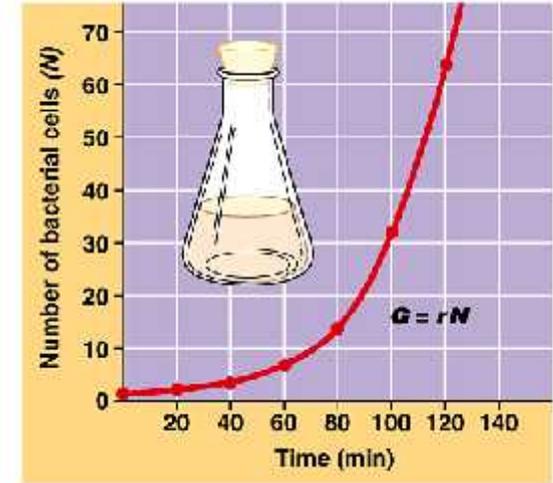
Modèles les plus simples de croissance d'une population isolée



Thomas Robert Malthus
(1766-1834)

$$\frac{dN}{dt} = a.N$$

| Time | Number of Cells | |
|-----------------|-----------------|-------------------|
| 0 minutes | 1 | = 2 ⁰ |
| 20 | 2 | = 2 ¹ |
| 40 | 4 | = 2 ² |
| 60 | 8 | = 2 ³ |
| 80 | 16 | = 2 ⁴ |
| 100 | 32 | = 2 ⁵ |
| 120 (= 2 hours) | 64 | = 2 ⁶ |
| 3 hours | 512 | = 2 ⁹ |
| 4 hours | 4,096 | = 2 ¹² |
| 8 hours | 16,777,216 | = 2 ²⁴ |
| 12 hours | 68,719,476,736 | = 2 ³⁶ |

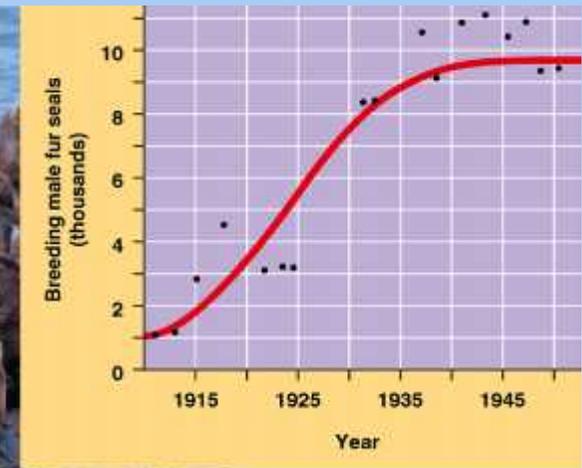


Croissance exponentielle (croissance exponentielle)



Pierre François Verhulst
(1804-1849)

$$\frac{dN}{dt} = a.N.\left(\frac{K-N}{K}\right)$$



Croissance logistique (compétition intraspécifique)

Comment étudier un système dynamique?

- Echelle spatiale
- Echelle temporelle
- Acteurs/variables pris en compte
- Mécanismes pris en compte



- En fonction des connaissances déjà acquises sur le système
- Récolte de données empiriques complémentaires

Exemple: eutrophisation d'un lac



Multiplication des algues:

- Diminution du taux d'oxygène
- Disparition d'organismes

De nombreuses questions

- Quels sont les facteurs de l'eutrophisation?
- Quelle est leur importance relative?
- L'eutrophisation est-elle réversible?
- Que faire pour éviter l'eutrophisation?

Variables à prendre en compte:

- Biomasse d'algue
- Taux d'oxygène
- Taux d'azote minéral
- Taux de phosphore minéral

Echelle spatiale et temporelle

- Mouvement d'eau et de nutriments (bassin versant)
- Echelle temporelle: au moins une année dynamique pluriannuelle

❖ Déterminer les liens entre les différentes variables = **Mécanismes**



❖ Déterminer l'importance de chaque mécanismes: **Forme des relations**

$$\Delta \text{Biomasse d'algue} = f(\text{disponibilité des nutriments, herbivores})$$

$$\Delta \text{Disponibilité des nutriments} = f(\text{apports, sorties, biomasse d'algue})$$

Que veut dire le Δ ?

Passage à la dynamique

❖ **Passage à système d'équations différentielles**

Pour 3 variables A, b, C
et le temps considéré
comme discontinu

$$\Delta A = f(A, B, C)$$

$$\Delta B = g(A, B, C)$$

$$\Delta C = h(A, B, C)$$

Passage au temps
continu

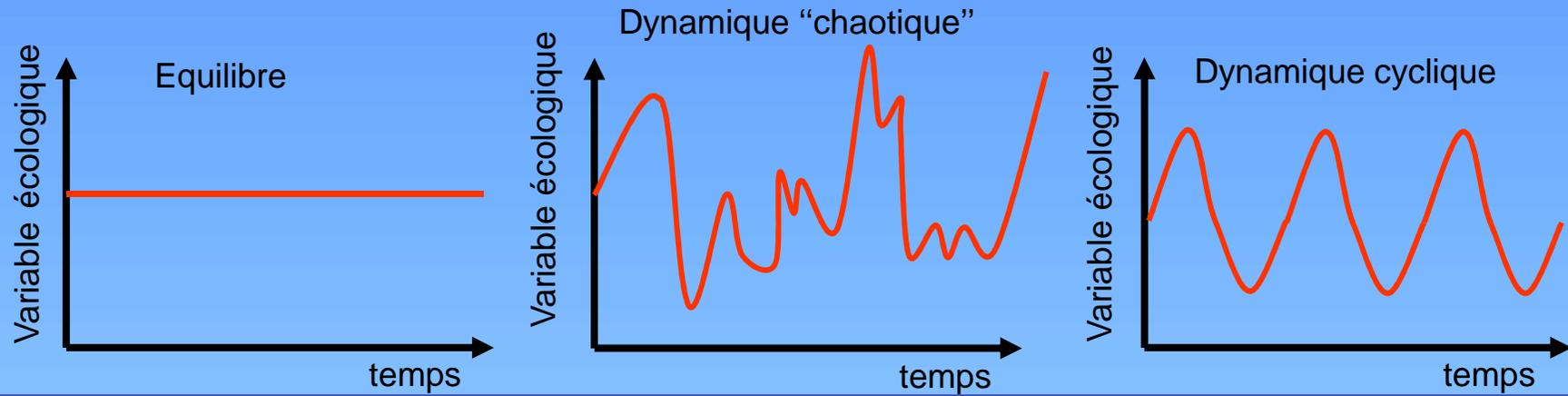
$$dA / dt = f(A, B, C)$$

$$dB / dt = g(A, B, C)$$

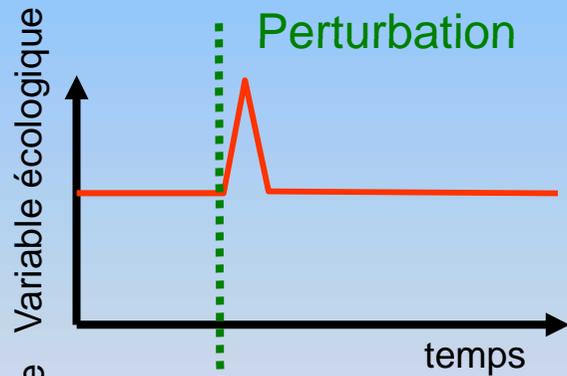
$$dC / dt = h(A, B, C)$$

Il existe d'autres formalismes mathématiques mais c'est un des plus communs et qui offre le plus d'outils d'analyse

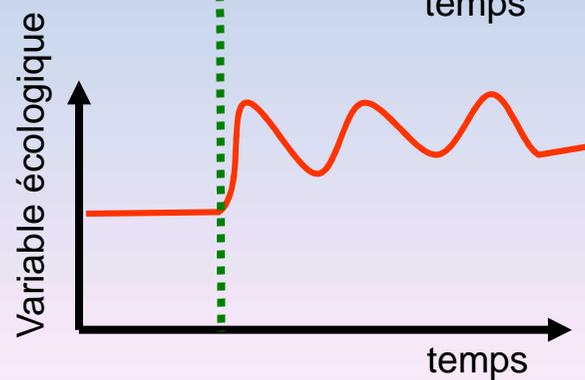
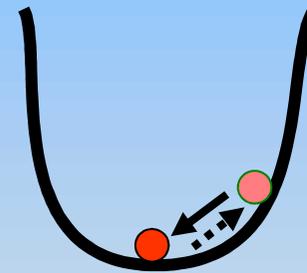
Grands types de comportement d'un système dynamique



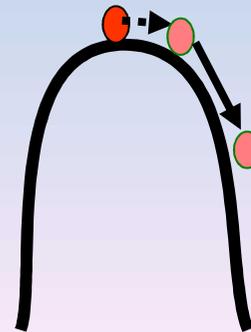
Types d'équilibre



Stable



Instable



Définitions

→ **Equilibre** : état d'un système dont aucune des variables ne varient plus

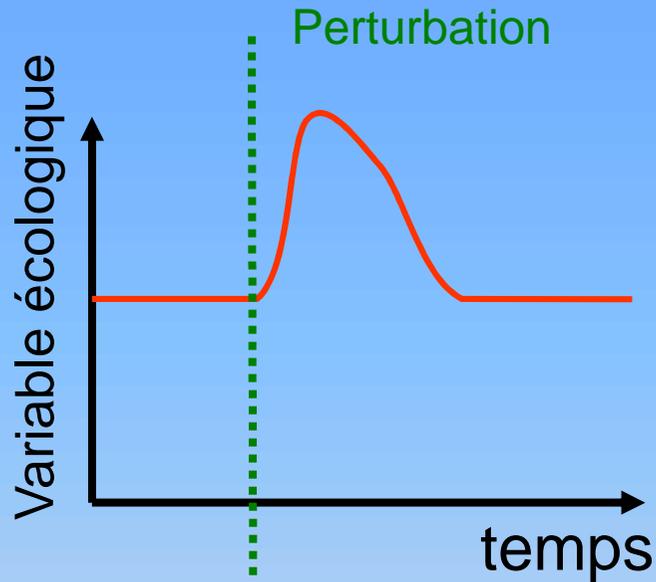
$$\frac{dv_1}{dt} = 0 \quad \frac{dv_2}{dt} = 0 \quad \dots\dots\dots$$

→ **Equilibre stable** : le système retourne à son état d'équilibre après une petite perturbation

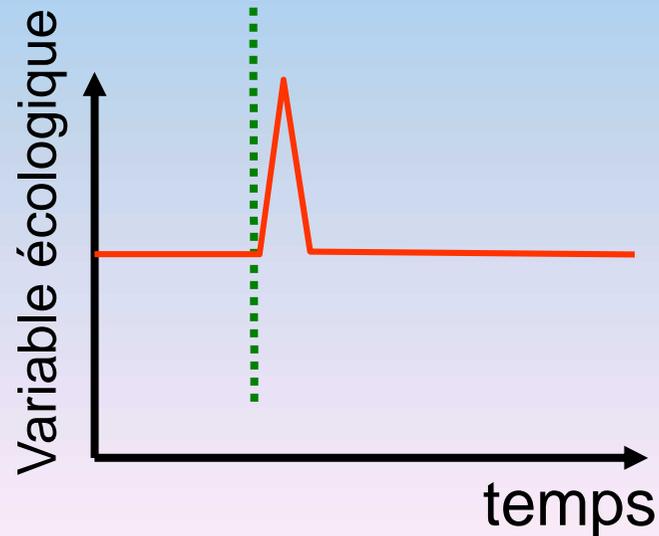
→ **Equilibre instable** : le système ne retourne pas à son état d'équilibre après une petite perturbation... passe à un autre type de dynamique

Résilience

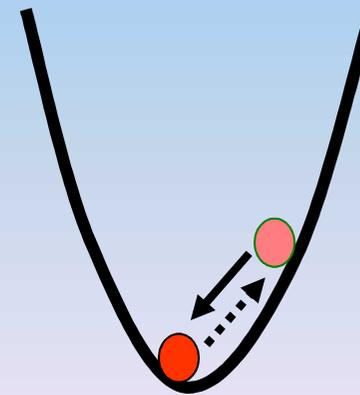
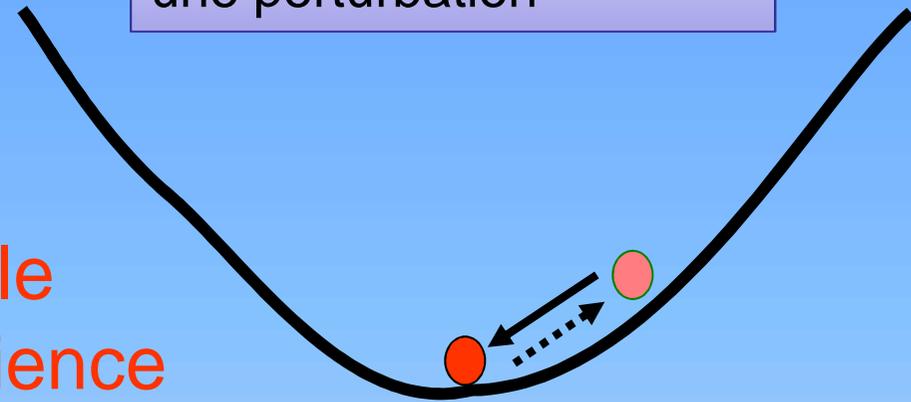
Résilience: capacité du système à revenir vite à son état d'équilibre après une perturbation



Faible
résilience

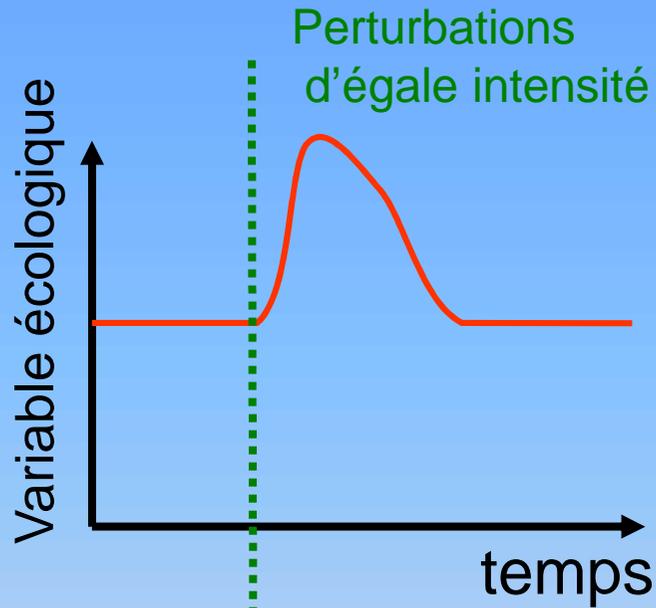


Forte
résilience

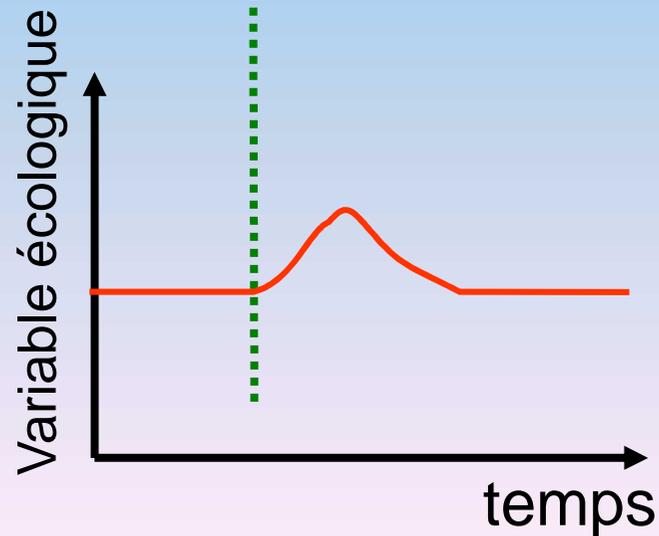


Résistance

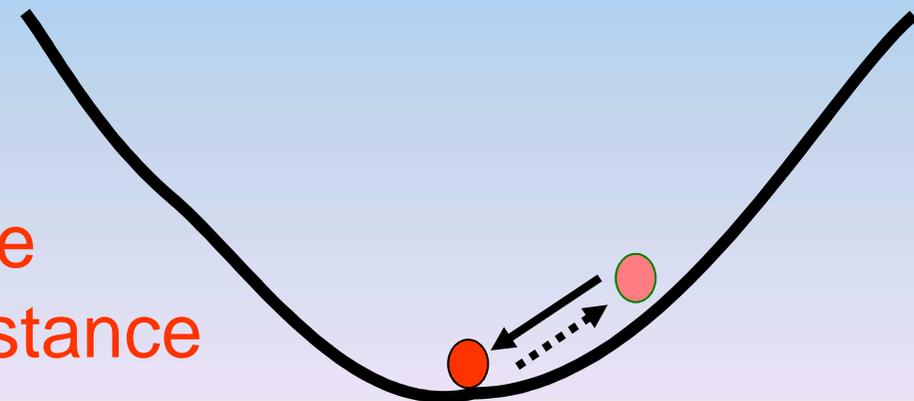
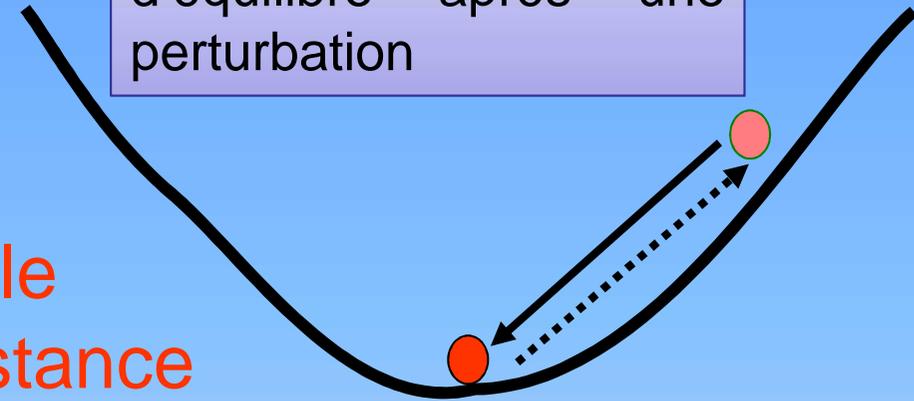
Résistance: capacité du système à ne pas s'éloigné loin de son état d'équilibre après une perturbation



Faible résistance



Forte résistance



4. FLUCTUATIONS, LIMITATION ET RÉGULATION DES POPULATIONS

Introduction

- Aucune population ne peut **croître indéfiniment**
- Avec la hausse de densité, les interactions entre les individus tendent à **réguler** la taille de la population
 - Régulation dépendante de la densité
 - Liée à la **baisse** de ressources
 - Liée à la **dispersion** des maladies et des parasites
 - ...
 - Ce type de régulation agit habituellement en modulant le taux de **mortalité** ou de **natalité**

4. 1. Régulation densité-dépendant

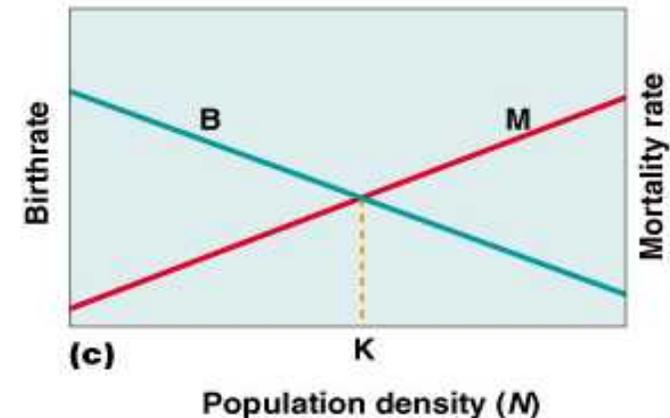
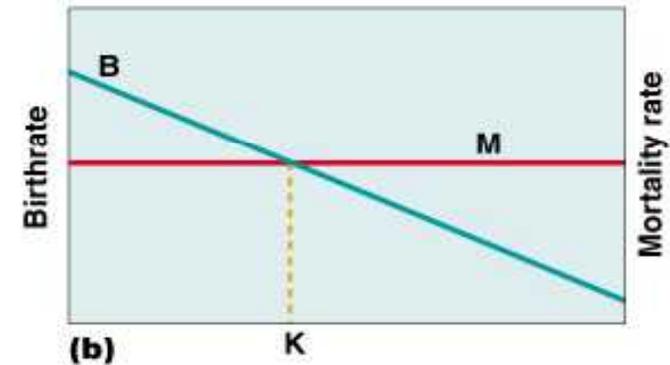
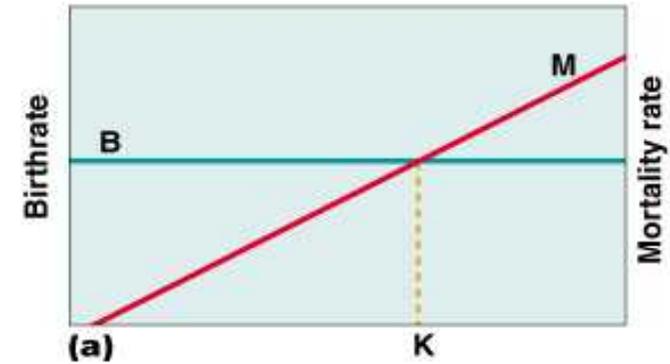
Taux de natalité indépendant de la densité
Taux de mortalité dépendant de la densité



Taux de natalité dépendant de la densité
Taux de mortalité indépendant de la densité



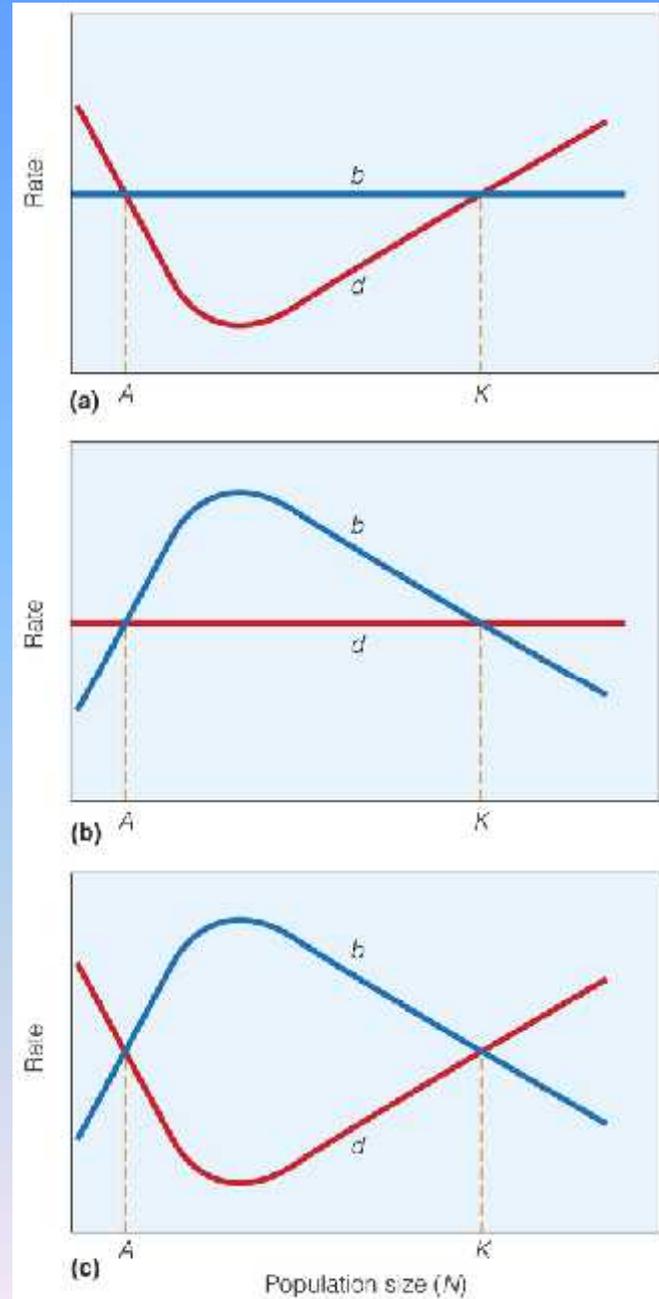
Taux de natalité dépendant de la densité
Taux de mortalité dépendant de la densité



Effet Allee

À basse densité,
difficulté à rencontrer
des partenaires et/ou
perte de la cohésion
sociale

Important
en conservation



Copyright © 2006 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings

4. 2. La compétition intraspécifique

- Il y a **compétition** quand deux ou plusieurs organismes ou populations utilisent des ressources communes présentes en quantité limitée, ou, si ces ressources ne sont pas limitantes, quand les organismes en concurrence se nuisent en les recherchant.
- La compétition est **intraspécifique** lorsque les organismes ou populations en présence appartiennent à la même espèce.

On distingue **deux types de compétition**



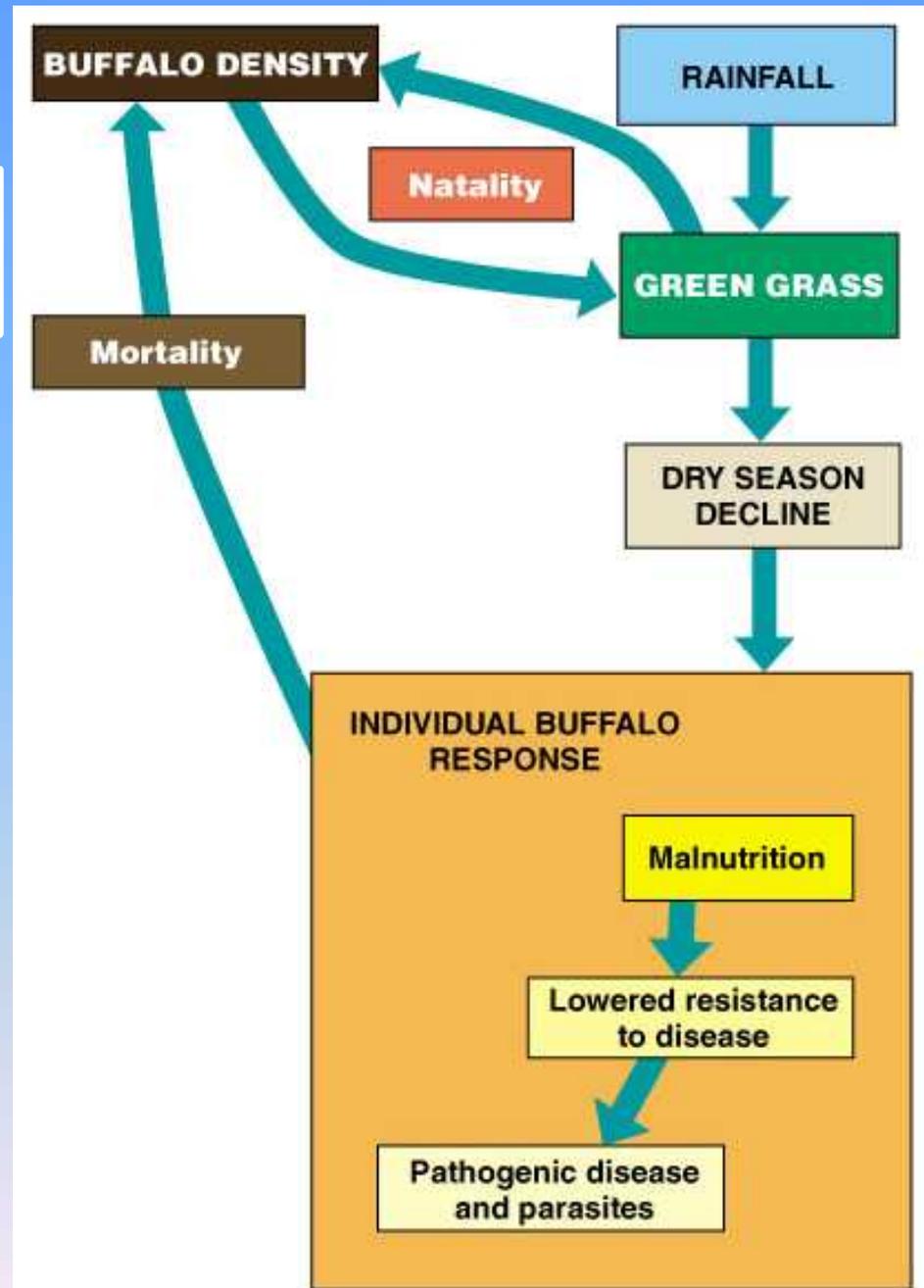
par **interférence**: action directe, active (agressivité) ou passive (médiation chimique) entre les organismes en concurrence:

par **exploitation**: l'utilisation des ressources par un des concurrents limite sa disponibilité pour l'autre:



La compétition intraspécifique affecte la **croissance et le développement**

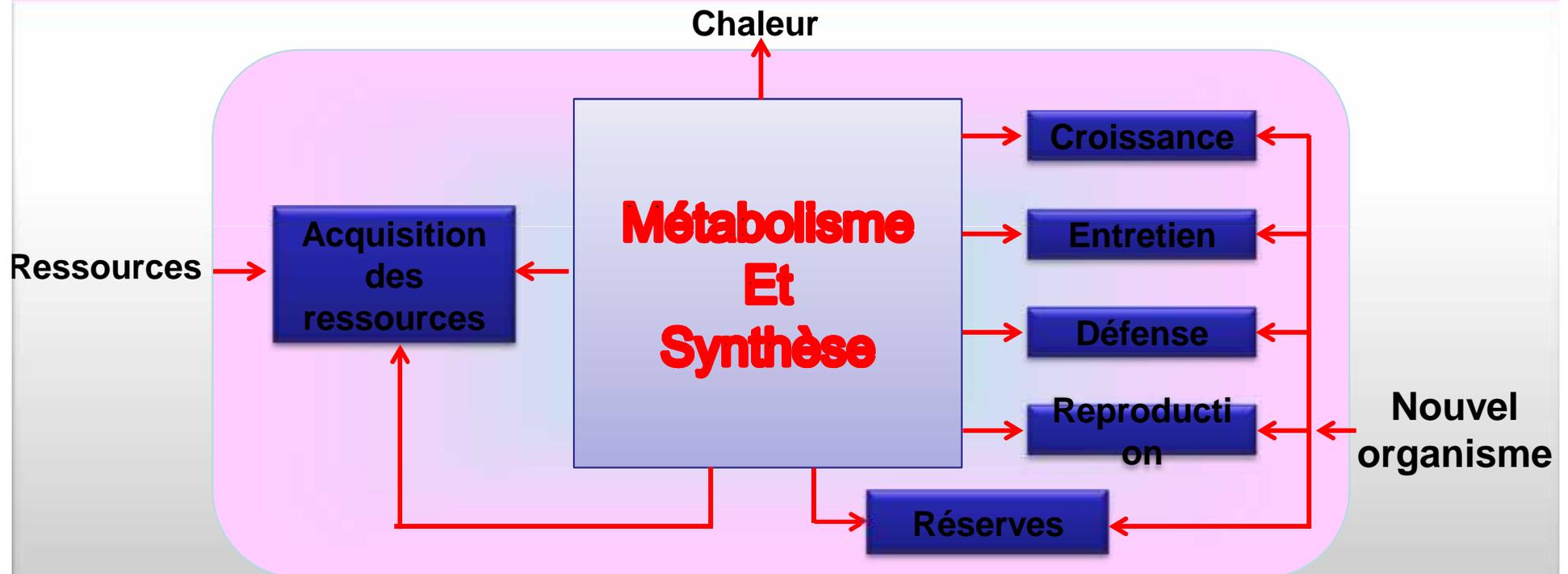
- L'intensité de la compétition intraspécifique est dépendante de la densité
- Effet graduel, affectant la qualité de vie, puis la survie et la reproduction
- Exemple du buffle africain dans la savane de l'est de l'Afrique (Serengeti)



6. Biodémographie et biologie évolutive

4 mécanismes fondamentaux: **croissance, entretien, défense, reproduction**

Les ressources disponibles pour un être vivant étant forcément limitées, cet organisme est toujours poussé à des **compromis**: l'accroissement de la part d'énergie allouée à l'un ou l'autre des quatre mécanismes fondamentaux réduit nécessairement la part des autres.



D'un point de vue **évolutionniste**, le choix le plus judicieux est celui qui **optimise l'adaptation à long terme** de la population à son environnement. La combinaison complexe de caractères coadaptés ayant trait à la morphologie, la physiologie, le comportement, l'écologie et la démographie est qualifiée de **stratégie**. BOUREHAIL N.

6. 1. Concept de stratégie en écologie

Les stratégies biodémographiques

- Il faut remarquer que la **valeur sélective** se mesure ultimement à la **proportion d'individus aptes à leur tour à la reproduction**, produits par un représentant d'un génotype donné.
 - Les deux types de stratégies les plus étudiés sont les **stratégies alimentaires** et les **stratégies reproductrices**.
-
- Sur le plan alimentaire, l'organisme considéré fait face à plusieurs types de "décisions":
 - ❖ choix entre divers habitats;
 - ❖ conflit entre rendement (abondance de nourriture) et risque (p.ex. prédation);
 - ❖ temps de séjour sur un site donné;
 - ❖ conflit entre qualité du site et densité de compétiteurs;
 - ❖ diète optimale: inclure ou non un élément alors que de meilleurs peuvent se trouver plus loin.

6. 2. Contraintes et compromis

Stratégie *r* et stratégie *K*

| | Sélection <i>r</i> | Sélection <i>K</i> |
|------------------------------|--|---|
| Climat | Variable, imprévisible | \pm constant, prévisible |
| Types d'écosystèmes | Souvent jeunes | Matures |
| Conséquences de la sélection | Développement rapide <i>r</i> élevé Reproduction précoce Petite taille Une seule période de reproduction (semelparité) | Développement lent <i>r</i> faible Reproduction tardive Taille plus grande Plusieurs périodes de reproduction (itéroparité) |
| Durée de vie | Courte | Longue |
| Mortalité | Indépendante de la densité | Dépendante de la densité |
| | Sélection <i>r</i> | Sélection <i>K</i> |
| Type de courbes de survie | Type III (mortalité juvénile très forte) | Types I (mortalité juvénile très faible) ou II (mortalité \pm constante au cours de la vie) |
| Taille de la population | Très variable | Assez constante, proche de <i>K</i> |
| Compétition | En général très faible | En général intense |
| Utilisation de l'énergie | Productivité élevée | Efficacité et stabilité |
| Modes de dispersion | Espèces mobiles, vagabondes | Espèces peu mobiles, souvent sédentaires |

6. 3. Coût de la reproduction

- La reproduction peut drainer de l'énergie et des nutriments: investissement des parents dans la reproduction actuelle.
- Si l'énergie n'est pas complètement restaurée avant la prochaine tentative de reproduction, la fécondité baisse: **coût en fécondité** (corrélation négative entre fécondité actuelle et fécondité future).
- Chaque individu nouveau-né commence à grandir avec l'aide de **l'énergie fournie (investie!) par son parent maternel**, mais cette quantité d'énergie varie grandement d'une espèce à l'autre:
 - ❖ une graine d'orchidée reçoit très peu d'énergie;
 - ❖ une noix de coco, un oiseau ou un mammifère placentaire en reçoit une grande quantité.
- Plus un rejeton reçoit d'énergie, plus il peut grandir avant de devoir s'en procurer lui-même, mais moins un parent peut produire de descendants pour une quantité donnée d'énergie: un **compromis** majeur.
- Le compromis se situe donc ici entre:
 - le **nombre de périodes de reproduction** durant la vie et
 - le **nombre de descendants pour une période** de reproduction.

6. 4. Approche comparative et les modèles d'optimisation

Exemple 1: Dynamique proie-prédateur



Modèle mathématique

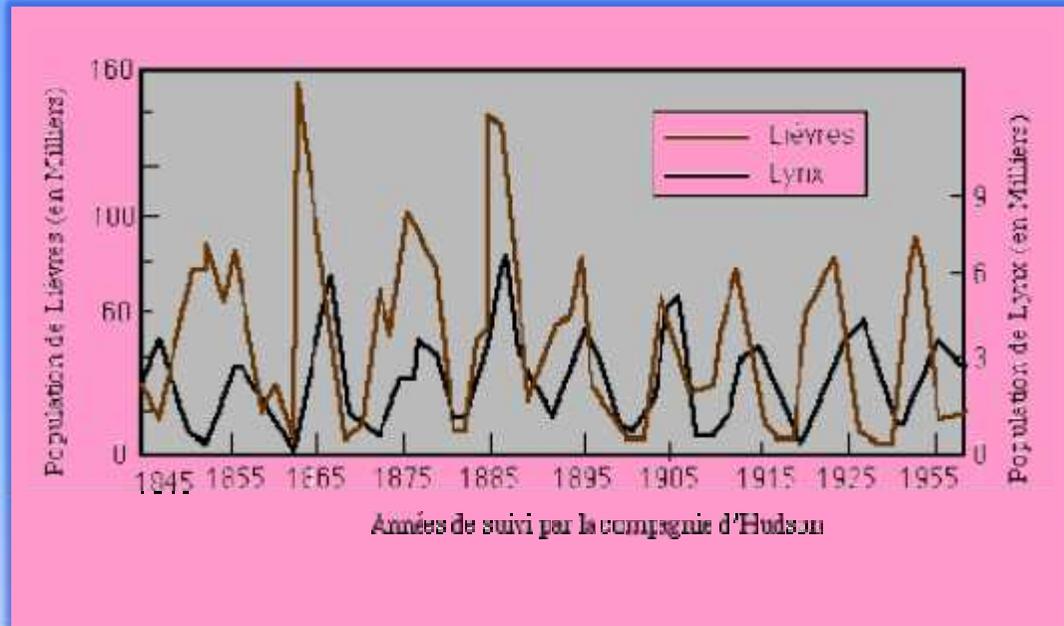
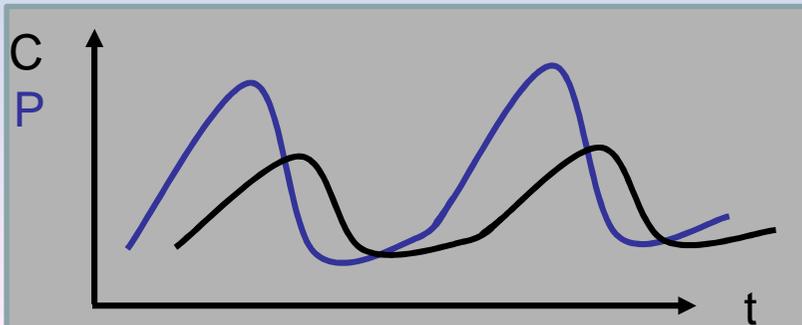
P = proie C = prédateur

$$\frac{dP}{dt} = (r - rC)P$$

$$\frac{dC}{dt} = (vrP - u)C$$

En état d'équilibre

$$C = \frac{r}{r} \quad P = \frac{u}{vr} \quad \text{ou} \quad C=0 \quad P=0$$



Les paramètres démographiques dépendent de la taille de la proie et du prédateur

- Sans prédateur, une taille intermédiaire est optimale pour la proie
- La taille optimale des proies du prédateur augmente avec la taille du prédateur

Exemple 2: cannibalisme

De nombreuses espèces pratiquent le cannibalisme:

Les adultes mangent les jeunes plus petites



Cela peut augmenter la survie des adultes et donc de l'espèce quand la nourriture est peu abondante mais diminue la descendance

F. Dercole, S. Rinaldi / Theoretical Population Biology 62 (2002) 365–374

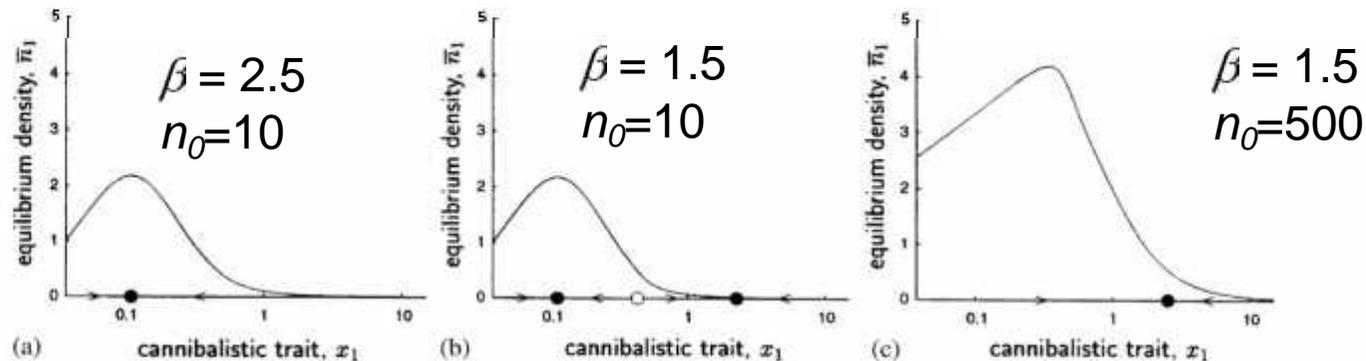
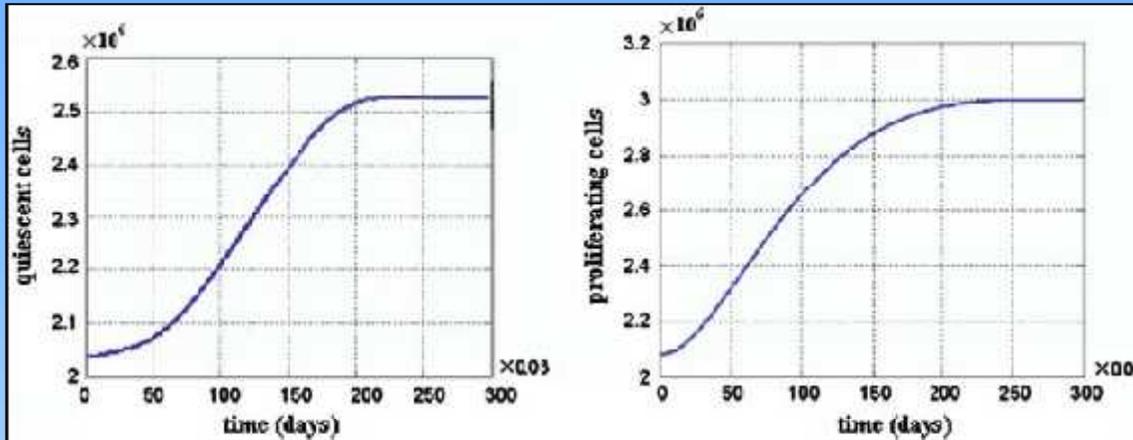


Fig. 2. The equilibrium density $\bar{n}_1(x_1)$ of model (1)–(4) and monomorphic dynamics on the horizontal axis, where circles indicate equilibria of model (6), (7): (A) $n_0 = 10$, $\beta = 2.5$, (B) $n_0 = 10$, $\beta = 1.5$, and (C) $n_0 = 500$, $\beta = 1.5$. Other parameter values: $A_{10} = 1$, $A_{ij} = 10$, $x^0 = 0.1$, $\bar{x} = 0.5$, $\bar{x} = 5$, $p = 0.2$, $\alpha = 2$, $\gamma = 8$, $\delta = 2$, $c = 1$, $e = 0.6$, $w_1 = 0.1$, $w_2 = 0.25$.

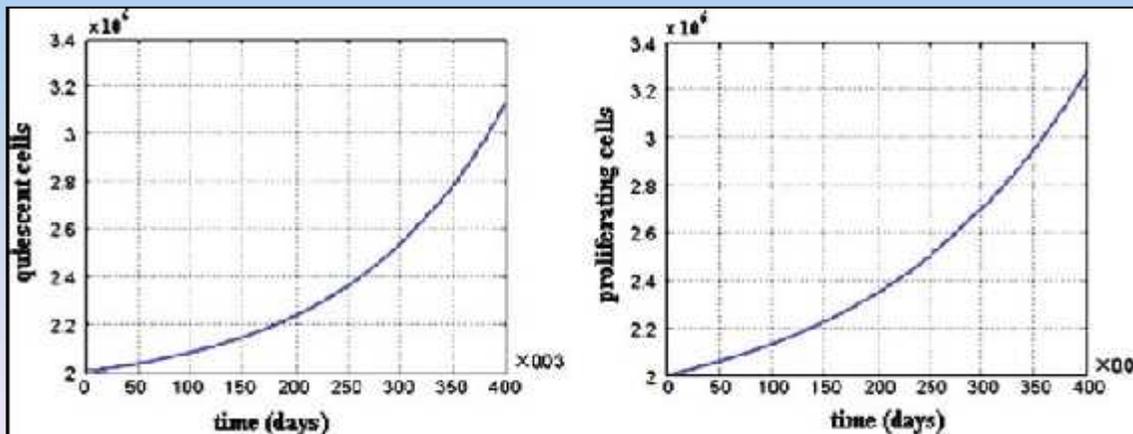
n_0 = disponibilité de la nourriture
 β : plus b est grand plus le cannibalisme est restreint à de petits individus

Exemple 3: Modélisation d'une population de cellules

On suit le nombre de cellules en multiplication



Cellules saines



Cellules cancéreuses

Mise au point de méthode de détection et de contrôle des cellules cancéreuses

Voir une cellule ou un organe comme un système qui est défini par la concentration en différentes molécules qui sont régulées génétiquement



Utilité

Compréhension du système
Mise au point des médicaments