

Introduction à l'environnement et la biodiversité

UE CERES-AA-05-S1
David Claessen

De l'écologie à la biodiversité et l'environnement (une histoire des idées)

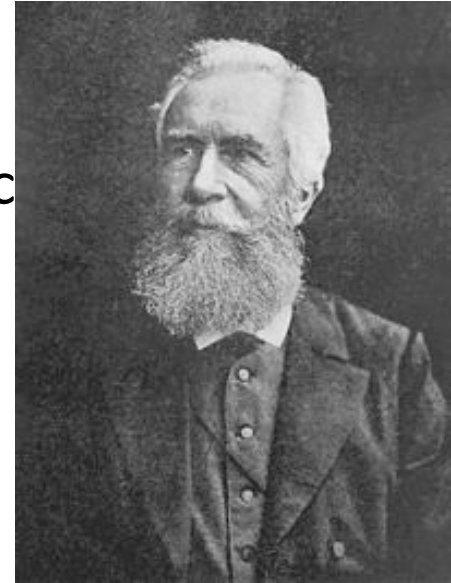
UE CERES-AA-05-S1
David Claessen

Histoire de l'écologie

- Trois courants de pensée
 - Botaniste
 - Géologique
 - Populationnel

Histoire de l'écologie

- 1866, le biologiste Ernst Haeckel
- « (...) la science des relations des organismes avec le monde environnant, c'est-à-dire, dans un sens large, la science des conditions d'existence. »
- « écologie », « **oekologie** »
 - Grec **oikos** (« maison », « habitat »)
et **logos** (« science », « connaissance »)
 - « la science de l'habitat »



Histoire des idées

- 1798 **Malthus** « *population, croissance exponentielle, limitation* »
- 1805 **Von Humboldt** « *géographie des plantes* »
- 1809 **Lamarck** « *individu, évolution, transmutation* »
- 1838 **Verhult** « *fonction logistique* »
- 1859 **Darwin, Wallace** « *biocénose, lutte pour la vie, sélection naturelle, fitness* »
- 1866 **Haeckel** « *écologie* »
- 1875 **Suess, Vernadsky** « *biosphère* »
- 1910 **Lotka, Volterra** « *écologie mathématique, cycles prédateur-proie* »
- 1911 **Cowles, Clements** « *succession écologique* »
- 1927 **Charles Elton** « *niche écologique, chaîne trophique, écologie animale* »
- 1932 **Gause** « *principe d'exclusion compétitive* »
- 1935 **Tansley, Lindeman, Odum** « *écosystème* »
- 1947 **Lack** « *écologie évolutive* »
- 1957 **Hutchinson** « *niche écologique* »
- 1962 **Rachel Carson** « *environnement, environmentalism, écologisme* »
- 1963 **Holling, McArthur, Rosenzweig** « *réponse fonctionnelle, paradox of enrichment* »
- 1973 **Maynard-Smith** « *théorie des jeux, stratégie évolutivement stable (ESS)* »
- 1976 **McArthur, Wilson** « *la biogéographie insulaire* »
- 1969 **Levins** « *métapopulations* »
- 1976 **May** « *chaos* »
- 1988 **Wilson** « *biodiversité* »
- 1998 **Levin** « *système complexe adaptatif* »

Malthus



- Croissance exponentielle intrinsèque à la population
- Régulation par adaptation sociétale et des catastrophes

Lamarck

- « Biologie »
- Evolution des êtres vivants



Darwin



Wallace



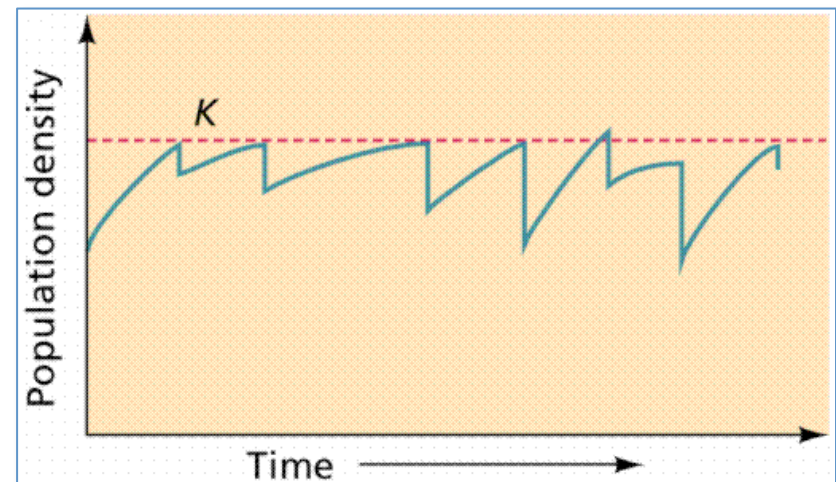
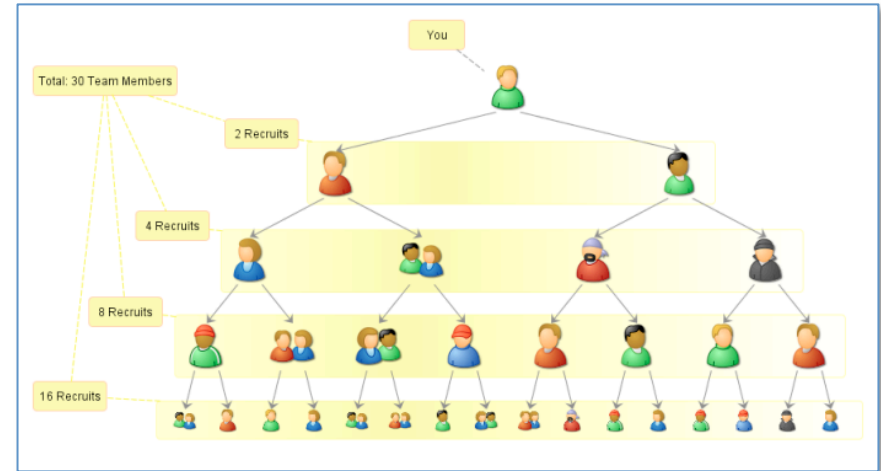
- Struggle for existence
- Natural selection

The origin of this struggle

(« *It is the doctrine of Malthus applied with manifold force to the whole animal and vegetable kingdoms* »)

Two basic observations:

1. All populations tend to grow exponentially
2. Exponentially growing populations are kept in check by regulatory mechanisms
 - *Food depletion, predation, disease, competition, etc*



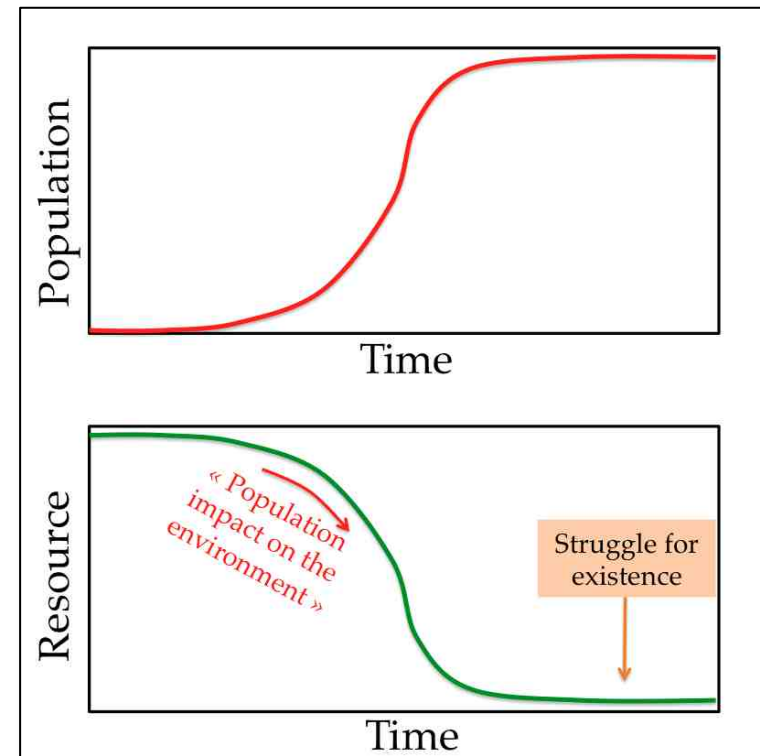
Struggle for existence

- As a population grows exponentially, its impact on the **environment** is such that conditions get less favorable for population growth
- This results in **population regulation**
- In combination with heritable variation, this also results in **natural selection**
(or: **survival of the fittest**)

Feedback loop

- The struggle for existence corresponds to a **feedback loop**:
 - The environmental conditions determine the population growth rate
 - The population size determines the environmental conditions

« régulation de la population »

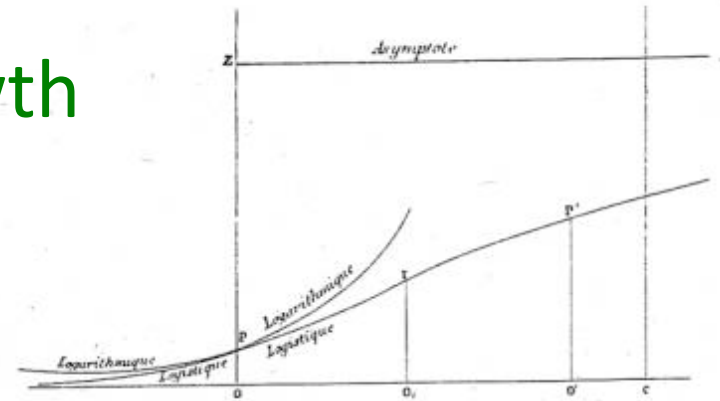


Logistic growth



P. F. VERHULST.

Mathématicien, inspiré par le « principe de population » de Malthus, il proposa en 1838 ce modèle pour la dynamique des populations animales grâce à un modèle qui ne soit pas exponentiel.



$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K}\right)$$

$$N(t) = \frac{K}{1 + CKe^{-rt}}$$

K = capacité de charge

r = taux intrinsèque de croissance

Redécouvert en 1920 par Raymond Pearl et Lowell Reed, depuis très répandu en écologie

Histoire des idées

- 1798 **Malthus** « *population, croissance exponentielle, limitation* »
- 1805 **Von Humboldt** « *géographie des plantes* »
- 1809 **Lamarck** « *individu, évolution, transmutation* »
- 1838 **Verhult** « *fonction logistique* »
- 1859 **Darwin, Wallace** « *biocénose, lutte pour la vie, sélection naturelle, fitness* »
- 1866 **Haeckel** « *écologie* »
- 1875 **Suess, Vernadsky** « *biosphère* »
- 1910 **Lotka, Volterra** « *écologie mathématique, cycles prédateur-proie* »
- 1911 **Cowles, Clements** « *succession écologique* »
- 1927 **Charles Elton** « *niche écologique, chaîne trophique, écologie animale* »
- 1932 **Gause** « *principe d'exclusion compétitive* »
- 1935 **Tansley, Lindeman, Odum** « *écosystème* »
- 1947 **Lack** « *écologie évolutive* »
- 1957 **Hutchinson** « *niche écologique* »
- 1962 **Rachel Carson** « *environnement, environmentalism, écologisme* »
- 1963 **Holling, McArthur, Rosenzweig** « *réponse fonctionnelle, paradox of enrichment* »
- 1973 **Maynard-Smith** « *théorie des jeux, stratégie évolutivement stable (ESS)* »
- 1976 **McArthur, Wilson** « *la biogéographie insulaire* »
- 1969 **Levins** « *métapopulations* »
- 1976 **May** « *chaos* »
- 1988 **Wilson** « *biodiversité* »
- 1998 **Levin** « *système complexe adaptatif* »

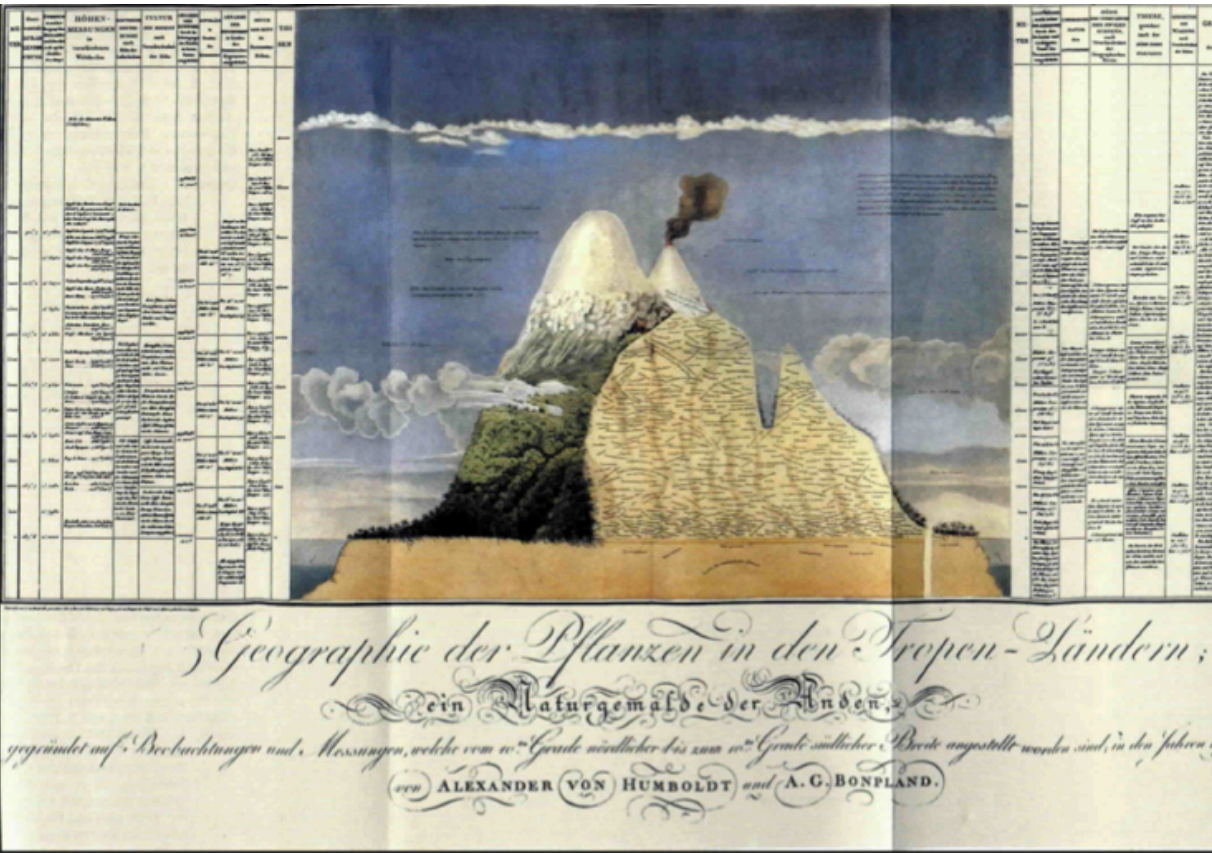
Géographie des plants

- Alexandre de Humboldt, « *Essai sur la géographie des plantes* », 1805 ;
- Alphonse de Candolle, « *Géographie botanique raisonnée* », 1855.

Eugen Warming, professeur de botanique à l'Université de Copenhague, qui publie en 1895 un traité de géobotanique végétale portant en titre le mot « écologie ». Il y est notamment écrit :

« *La géographie végétale traite de la distribution des plantes à la surface de la terre, et des principes qui la déterminent. Nous pouvons considérer cette distribution de deux points de vue différents, et, en conséquence, diviser cette science en deux branches, la géobotanique floristique et la géobotanique écologique* ».

Alexander von Humboldt



Humboldt's Scientific Representation of the Chimborazo
Humboldt, Essai sur la géographie des plantes (1805–1807)

The image is flanked by extensive descriptions, his attempt to correlate vegetation to everything from altitude to zoological life to rainfall and temperature.



- Alexander von Humboldt's American expedition 1799-1804**
- Expedition way
 - City / Stopping place
 - Spanish viceroys and United States
- I With the spanish corvette "Pizarro" from La Coruña over the Canary Islands to Caracas
 - II 75-days journey with Bonpland, on the Cherokee and the Rio Negro
 - III With the ship from Nueva Barcelona to Havana, 3-months voyage on Cuba, over Trinidad to Cartagena
 - IV Through today's Colombia, Ecuador and Peru to Lima
 - V From Quito to Acapulco, longer voyage in Mexico City and back to Havana over Veracruz
 - VI With the cargo ship "Concepción" to Philadelphia, Washington, with the French frigate "La Favorite" to Bordeaux

Géographie des plants

- Alexandre de Humboldt, « *Essai sur la géographie des plantes* », 1805 ;
- Alphonse de Candolle, « *Géographie botanique raisonnée* », 1855.

Eugen Warming, professeur de botanique à l'Université de Copenhague, qui publie en 1895 un traité de géobotanique végétale portant en titre le mot « écologie ». Il y est notamment écrit :

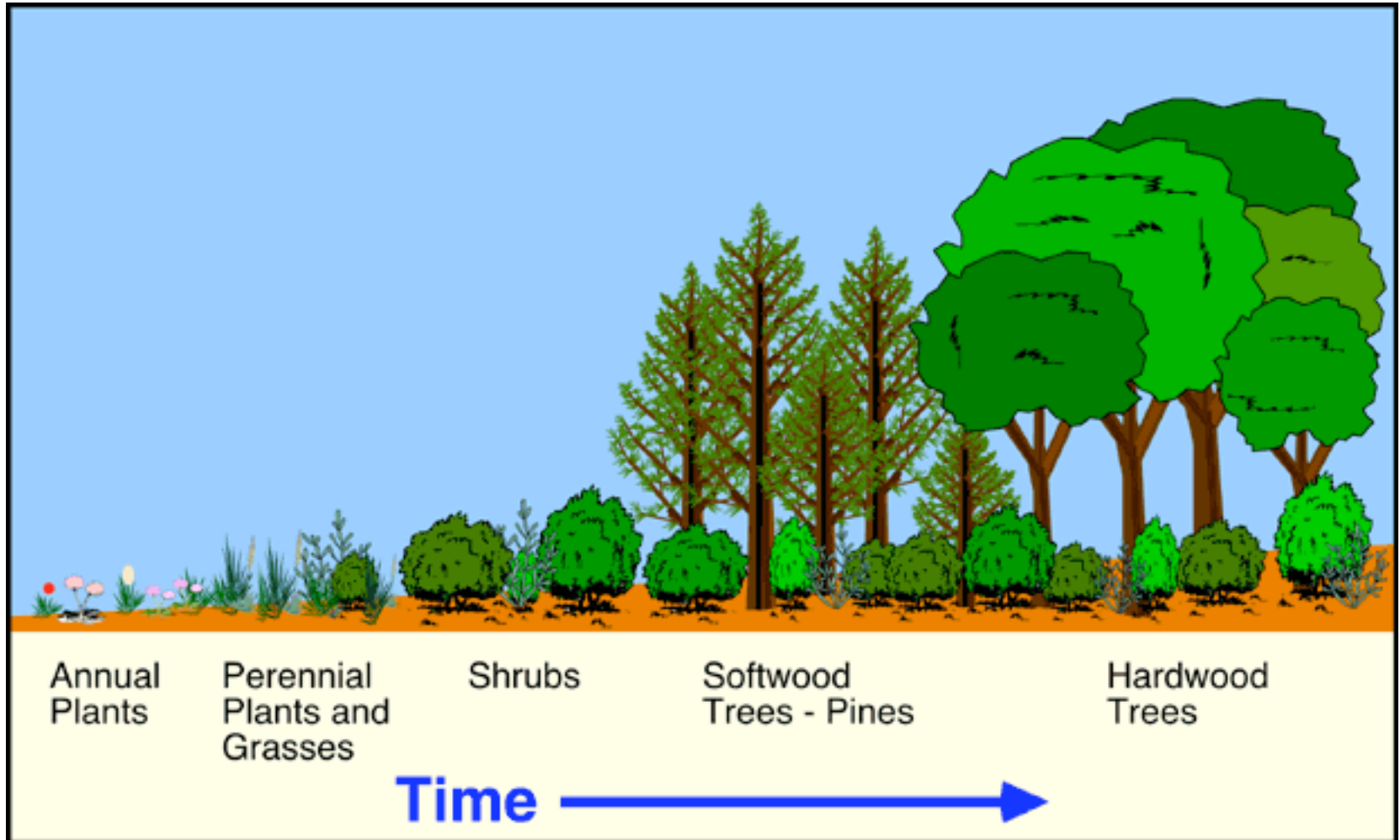
« *La géographie végétale traite de la distribution des plantes à la surface de la terre, et des principes qui la déterminent. Nous pouvons considérer cette distribution de deux points de vue différents, et, en conséquence, diviser cette science en deux branches, la géobotanique floristique et la géobotanique écologique* ».

Expansion aux USA

(besoin économique, vastes écosystèmes aux USA, inventorier les richesses)

- Henry Chandler Cowles, qui publie en 1899 sa thèse sur les successions végétales ;
- Frédéric Clements, qui publia en 1905 son « *Research methods in ecology* » puis en 1916, « *Plant succession* ». Influencé par Cowles, il y développe l'idée d'une homéostasie des formations végétales. Celles-ci sont assimilées à des superorganismes.

Succession écologique



Terminologie des « unités d'organisations »

- Karl Mobius 1877 : « **biocénose** » = ensemble des êtres vivants qui coexistent dans un même habitat
- Clements (succession) : vision **organismique**
- Arthur Tansley (1935) : « **ecosystem** », par opposition au vision de Clements.

- On en parlera un peu plus tard (Hutchinson, Lindeman, Odum 1945-1960)

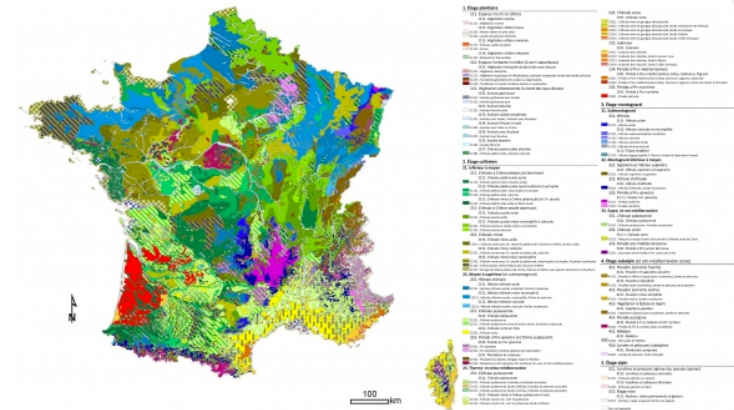
Ecologie des populations

- S'est construit à partir de trois courants:
 - Botanique et géographie,
 - mathématique,
 - écologie animale
- Courant Darwinien beaucoup plus tard

« L'argumentation consistant à présenter l'écologie de la fin du XIX^e siècle comme issue à la fois du courant biogéographique et du courant Darwinien, théoriquement juste, est historiquement fausse : les deux traditions ne se rencontreront que dans les premières décennies du XX^e siècle, bien après que l'écologie eût été constituée comme discipline à part entière de la biologie ».

Phytosociologie et la biologie des populations de plantes

- Le développement de la « **sociologie végétale** » ou « **phytosociologie** » a empêché l'émergence de la biologie de pop de plantes



- La biologie des pops de plantes est issue de la biologie de pops d'animaux



Ecologie théorique

- Modélisation mathématique de la dynamique de population
- Verhulst 1838
- Pearl 1925 « the biology of population growth »
- Alfred Lotka, 1925: « elements of physical biology »
- Vito Volterra 1931 « leçons sur la théorie mathématique de la lutte pour la vie »
- Georgii Frantsevich Gause 1932 « competitive exclusion »
 - Alistair Crombie: démonstration expérimentale

Ecologie animale

- 1907 Shelford, travaille avec Clements. Distribution d'insectes en relation avec succession végétale
- « Equivalence ecologique »
 - Des espèces jouant le même rôle dans des communautés écologiques différentes
 - Ex Labbes et Frégates, se nourrissent par piratage des proies de sternes, en zone septentrionales ou tropicales
- 1927 Charles Elton « **niche écologique** »

Ces travaux conduiront ultérieurement Charles Elton (1927) à assigner au concept de niche écologique² un contenu strictement fonctionnel : « *Il est commode (...) de disposer d'un terme qui décrive le statut d'un animal dans sa communauté pour indiquer ce qu'il y fait et pas seulement à quoi il ressemble, et le terme utilisé est celui de niche* ».



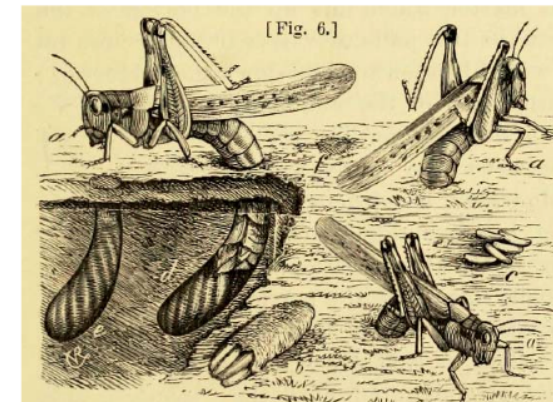
Ecologie animale



- Lutte biologique
- Charles V Riley
 - Entomologiste amateur
- Lutte contre les ravageurs
- Jeunes USA, expansion vers ouest, monocultures de maïs, blé, coton, tabac, vigne
- Conditions pour graves problèmes liés au pullulations de ravageurs importés ou indigènes
 - Phylloxera, parasite de la vigne.
 - Solution: greffe de plantes résistantes
 - Cochenille australienne, ravageur des plantations californiennes d'agrumes (depuis 1868)
 - 1889 : introduction de 10,000 coccinelles résulte en régulation



Icerya purchasi et *Rodolia cardinalis*, larves et adultes - Cliché J. d'Aguilar



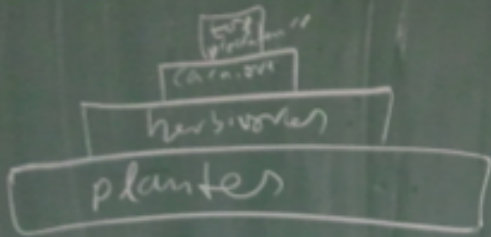
Melanopus spretus, le "Rocky mountain locust", espèce aujourd'hui disparue. Différentes vues de la femelle oviposant, de l'oothèque et des œufs. Dessin de Ch. V. Riley, in : *The locust plague in the United States: being more particularly a treatise on the Rocky Mountain locust or so-called grasshopper, as it occurs east of the Rocky Mountains, with practical recommendations for its destruction*, 1877.

Ecologie animale

- Charles Elton 1927, « *Animal ecology* »
 - **Niche écologique**
 - **Structure pyramidale des populations d'une biocénose**
 - **Chaine alimentaire**
 - **Reseaux trophique**
- **Les bases de l'écologie des populations**
- (Sans évolution !)

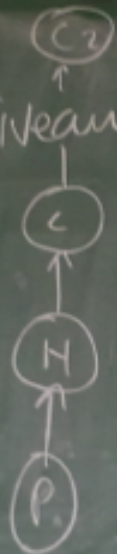


Charles Elton with a sack of mouse traps headed for a survey trip (from Chitty 1996, p. xvi)



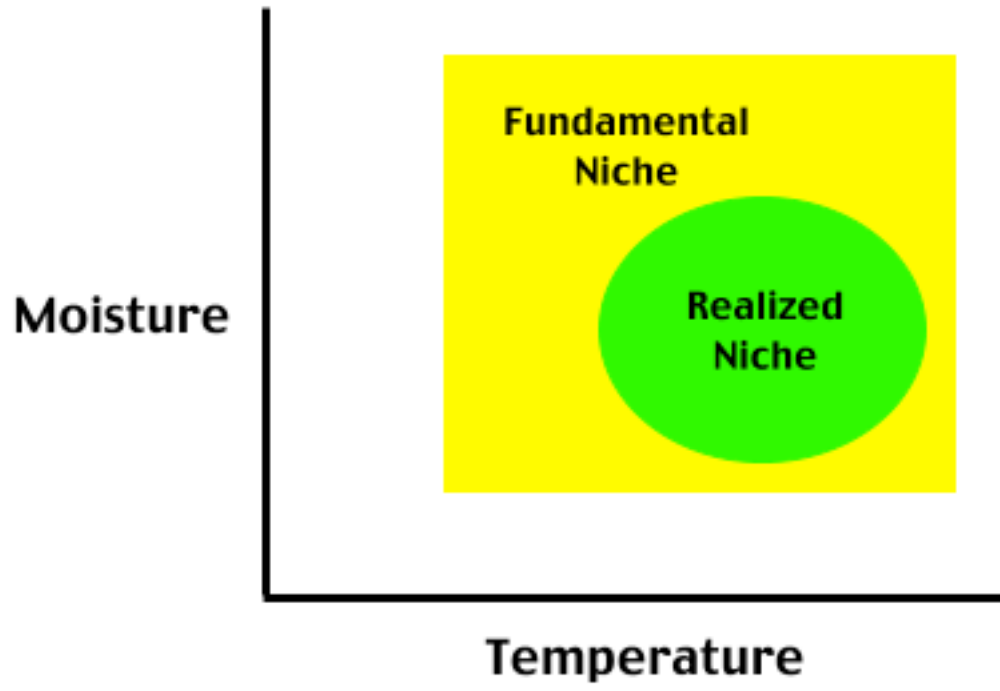
nutriments

niveau trophique



L'écologie moderne 1950-70

- George Evelyn Hutchinson
 - Raymond Lindeman, Robert MacArthur, Eugene Odum, Howard Odum, Lawrence Slobodkin, Rachel Carson, ...
- 1928 Yale
 - Cycles trophiques, biogéochimiques, écosystème
- 1957 formalisation du concept du « **niche écologique** » :
« hypervolume à n dimensions » dont chaque dimension, biologique ou physique, représenterait une ressource utilisable par les populations de la biocénose
- 1953: Odum & Odum « Fundamentals of ecology »
« **ecosystem** »



Odum & Odum

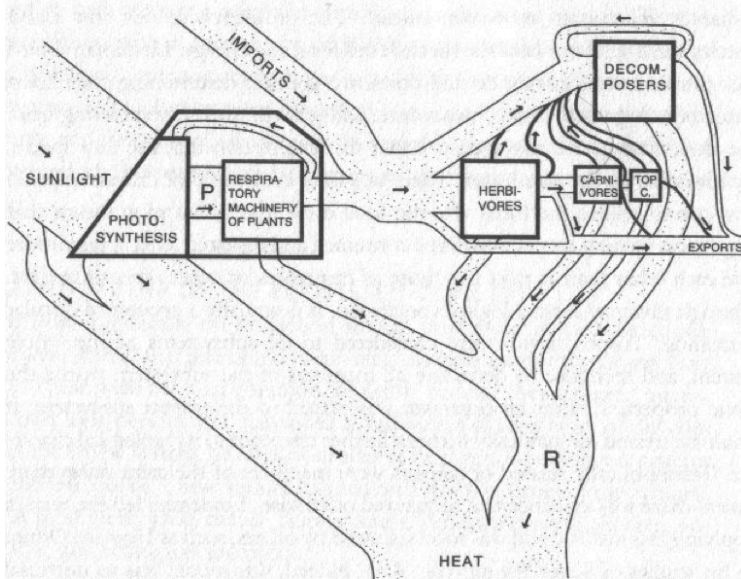
- Inspirés par la thermodynamique (Schroedinger)

Howard Thomas Odum

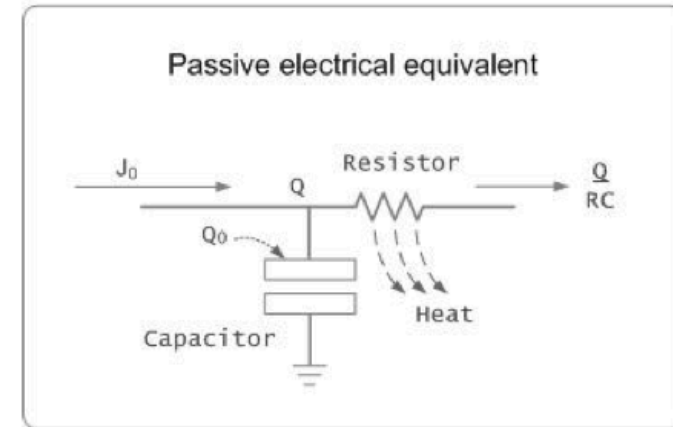
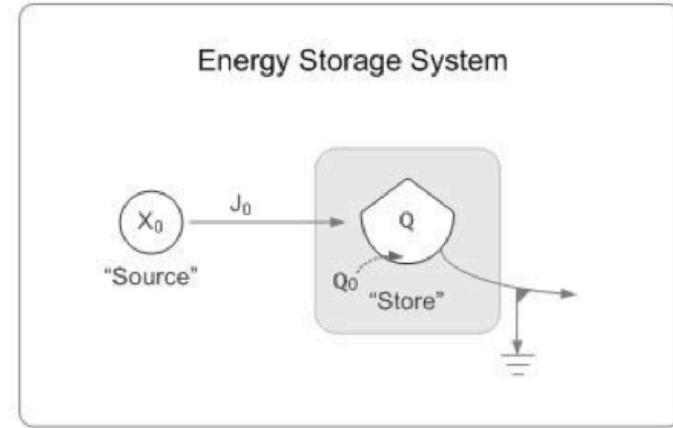


G.E. Hutchinson et les frères Odum furent les premiers à considérer que les écosystèmes se comportent, sur le plan thermodynamique, comme des êtres vivants : « *les organismes vivants, les écosystèmes et la biosphère tout entière possèdent la caractéristique thermodynamique essentielle d'être capables de créer et de maintenir un état élevé d'ordre interne, ou de basse entropie* ».

L'écosystème est désormais pensé comme une machine thermodynamique, capable de se maintenir en état d'équilibre oscillant autour de climax.



Energy Diagram: energy and matter flows through an ecosystem, adapted from the Silver Springs model. H are herbivores, C are carnivores, TC are top carnivores, and D are decomposers. Squares represent biotic pools and ovals are fluxes or energy or nutrients from the system. Odum, H.T. (1971). *Environment, Power, and Society*. Wiley-Interscience New York, N.Y.



Adapted from H.T.Odum (1994) Fig. 3-8, p. 35

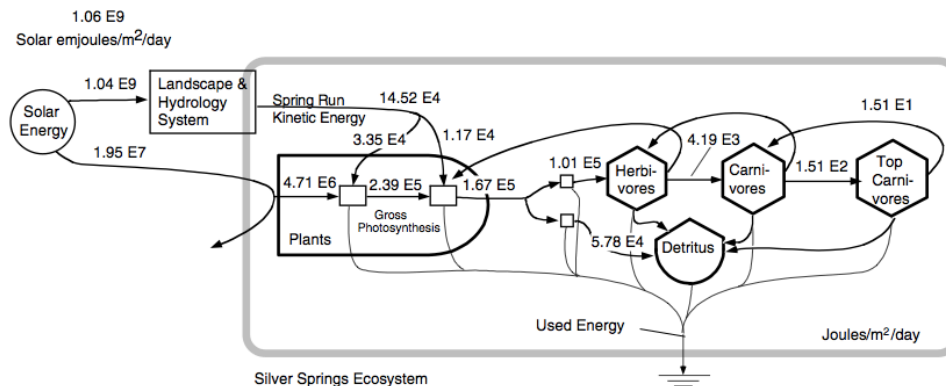
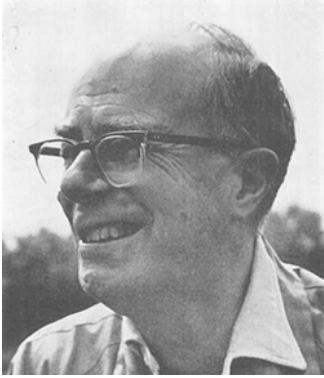


Fig. 1. Aggregated systems diagram of the ecosystem at Silver Springs, Florida, showing decreasing energy with each level in the metabolic chain [1,2].



David Lack

- Comment les populations sont-elles régulées?
- Odum : homeostasis, cybernetique
- Lotka-Volterra : cycles de populations
- Lack : « **densité dépendance** »
- Lack 1954 « *The natural regulation of animal numbers* »
- « **Ecologie évolutive** »



Fig. 5. Darwin's finches: male and female of each species. Numbers refer to Table III opposite. About $\frac{1}{2}$ life-size.

1-2

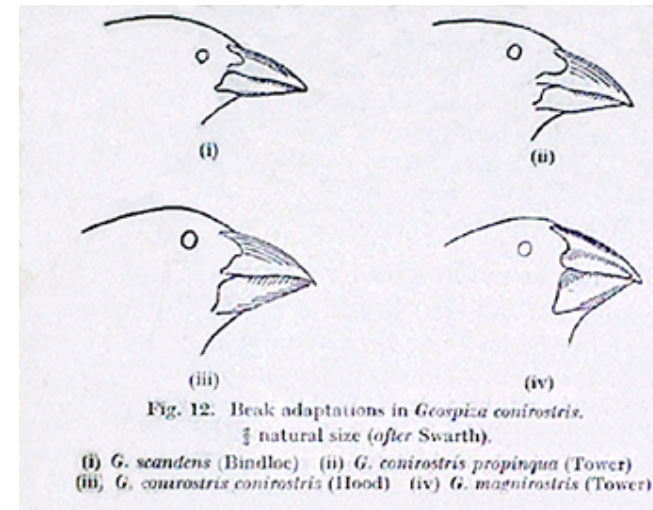


Fig. 12. Beak adaptations in *Geospiza conirostris*.

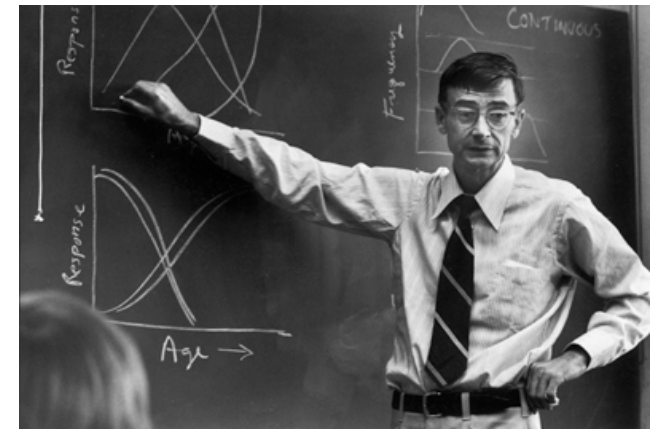
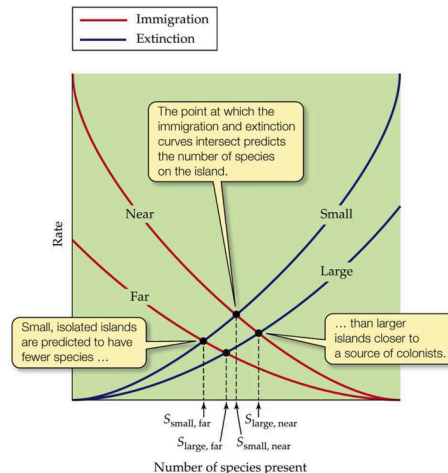
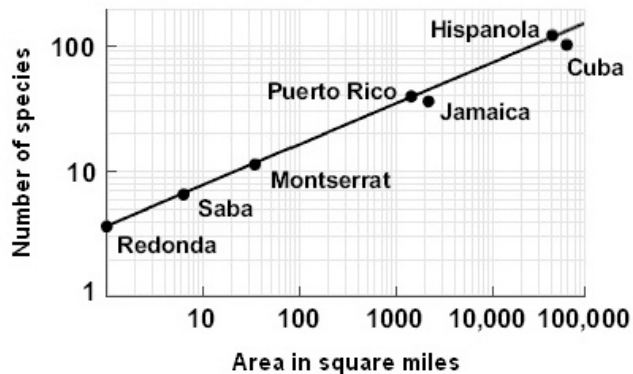
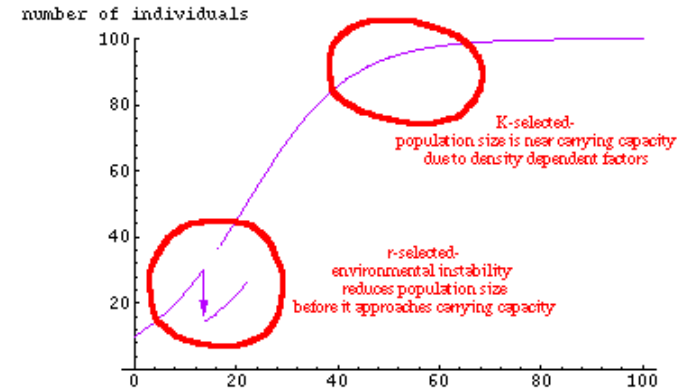
$\frac{1}{2}$ natural size (after Swarth).

(i) *G. scandens* (Burdock) (ii) *G. conirostris propinqua* (Tower)
(iii) *G. conirostris conirostris* (Hood) (iv) *G. magnirostris* (Tower)

Robert MacArthur et Edward O. Wilson



- MacArthur: Etudiant de Hutchinson
- 1967 Théorie de stratégies biodémographiques (« **selection r-K** »)
- 1967 « **Theory of island biogeography** », « *Théorie de la biogéographie insulaire* »



Le concept de Biosphère

Si l'inventeur du mot est le géologue autrichien Edward Suess, le concept de biosphère a, lui, été défini par Wladimir Vernadsky dans les années vingt. Ce géochimiste russe considéré aujourd'hui comme le père de l'écologie globale (au sens d'écologie de la planète) publie en 1926 un ouvrage majeur qui lui est consacré, *La Biosphère*.

Le fil conducteur de cet ouvrage, trop longtemps ignoré des écologues, est « d'attirer l'attention des naturalistes, des géologues et surtout des biologistes sur l'importance de l'étude quantitative de la vie dans ses rapports indissolubles avec les phénomènes chimiques de la planète ». Pour Vernadsky, la biosphère est la région de l'écorce terrestre occupée et animée par la vie. En d'autres termes, la vie, toute la matière vivante, est appréhendée comme une composante indivisible de ce tissu superficiel de notre planète qu'est la biosphère. Une composante qui transforme les rayonnements cosmiques en énergie terrestre active.

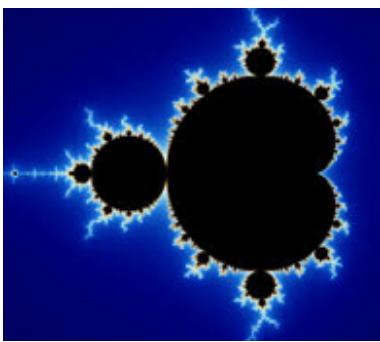
Tandis que Vernadsky rêve d'une construction écologique globale autour du concept de biosphère, Lotka développe aux États-Unis la tradition géochimique et

thermodynamique de la science européenne du XIX^e siècle dans une tout autre direction, celle d'une modélisation mathématique qui anticipe sur la cybernétique à venir. La forme la plus achevée de ces développements se trouve dans son œuvre classique *Éléments de biologie physique* (Deléage, 1991).

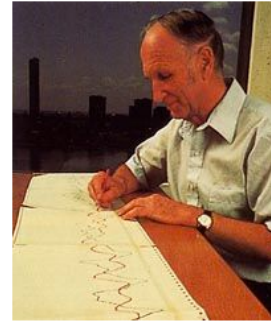
Ainsi, Vernadsky et Lotka ont posé les bases d'une science de la globalité de notre monde, bien avant que celui-ci fût prêt à en saisir la portée. Lorsque Vernadsky meurt en janvier 1945, la géochimie n'a pas encore reconnu le rôle déterminant de la vie dans le cycle des éléments et après les traumatismes d'une guerre planétaire, les sociétés en reconstruction ont d'autres soucis en tête.

Aujourd'hui la vision de la terre vivante en tant que gigantesque machine thermodynamique animée par la Vie ouvre de nouvelles perspectives à une écologie globale encore dans l'enfance. Des perspectives qui nous concernent tous, puisqu'il s'agit de la régulation de la biosphère, de son développement durable, d'une solidarité sous-jacente entre tous les êtres vivants embarqués dans le même vaisseau, non plus l'arche de Noé mais la planète Terre.

Cette approche intégrée du fonctionnement de la biosphère, de ses écosystèmes, a le grand mérite de « *nous préparer à mieux saisir les implications de l'émergence dans la Biosphère d'un nouvel acteur écologique planétaire : l'espèce humaine* » (Deléage, 1991).

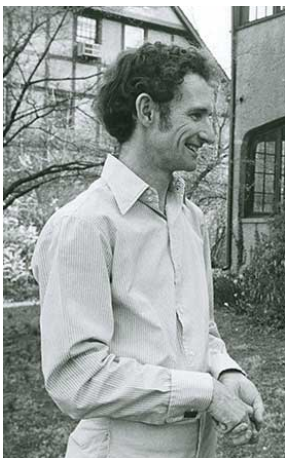
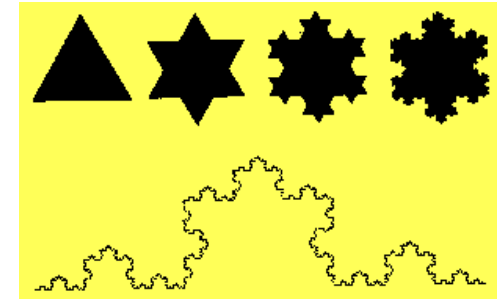


Chaos

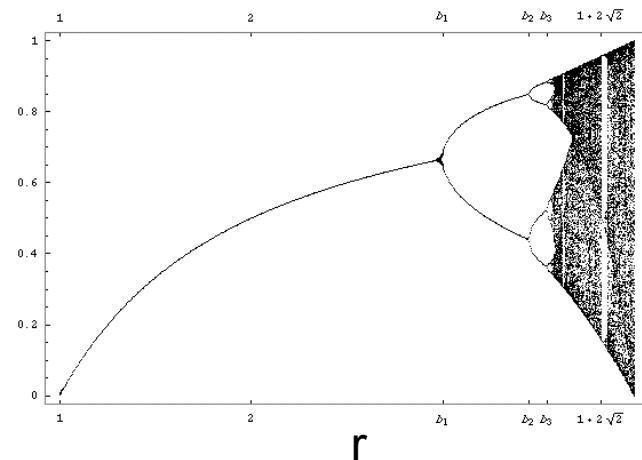


Edward Norton Lorenz

- 1963 « **Lorenz attractor** »
- Benoit Mandelbrot (1963) « **fractal** »
- Ruelle, Takens: « **strange attractor** »
- Bob May (1976) : « **logistic map** »



$$x_{n+1} = rx_n(1 - x_n)$$



Biodiversité

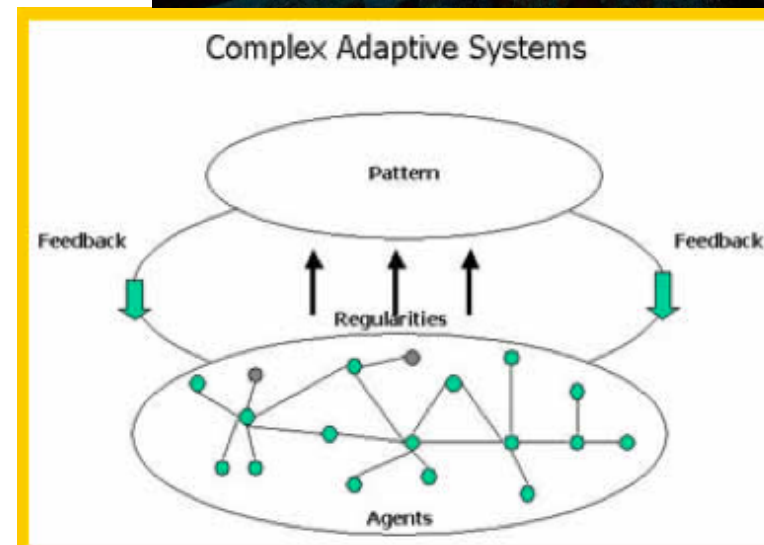
- E.O. Wilson 1988
- Définition
 - Diversité génétique (ou « intraspécifique » ; variabilité des gènes, entre les individus ou les populations)
 - Diversité spécifique (ou « interspécifique » ; la diversité des espèces vivantes, par leur nombre, leur nature et leur abondance)
 - Diversité écosystémique (la diversité des écosystèmes présents sur Terre qui forment la biosphère)
- 1992: Sommet de la Terre, **Rio** de Janeiro
 - la préservation de la biodiversité est considérée comme un des enjeux essentiels du développement durable
 - « Convention sur la diversité biologique », traité internationale :
- 2012: Création de l'**IPBES**
 - *Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*,
 - « Plate-forme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques »
 - Un « *Giec* » pour la biodiversité...



1. La conservation de la biodiversité ;
2. L'utilisation durable de ses éléments ;
3. Le partage juste et équitable des avantages découlant de l'exploitation des ressources génétiques

Systemes complexes adaptatifs

- Systeme complexe : un ensemble d'entites en interaction
 - 1970-1990 Santa Fe institute (New Mexico, USA), Prigogine, Murray Gell-Mann, Holland, Kauffman
 - « **auto-organisation, self-organized criticality, émergence** »
- Systeme complexe adaptatif :
 - Un systeme complexe, capable de s'adapter à son environnement
 - Evolution (adaptation)
 - Dynamique de population
 - Plasticité phenotypique
 - Apprentissage
- 1998: Simon Levin, « ecosystems as complex adaptive systems »



Histoire des idées

- 1798 **Malthus** « *population, croissance exponentielle, limitation* »
- 1805 **Von Humboldt** « *géographie des plantes* »
- 1809 **Lamarck** « *individu, évolution, transmutation* »
- 1838 **Verhulst** « *fonction logistique* »
- 1859 **Darwin, Wallace** « *biocénose, lutte pour la vie, sélection naturelle, fitness* »
- 1866 **Haeckel** « *écologie* »
- 1875 **Suess, Vernadsky** « *biosphère* »
- 1910 **Lotka, Volterra** « *écologie mathématique, cycles prédateur-proie* »
- 1911 **Cowles, Clements** « *succession écologique* »
- 1927 **Charles Elton** « *niche écologique, chaîne trophique, écologie animale* »
- 1932 **Gause** « *principe d'exclusion compétitive* »
- 1935 **Tansley, Lindeman, Odum** « *écosystème* »
- 1947 **Lack** « *écologie évolutive* »
- 1957 **Hutchinson** « *niche écologique* »
- 1962 **Rachel Carson** « *environnement, environmentalism, écologisme* »
- 1963 **Holling, McArthur, Rosenzweig** « *réponse fonctionnelle, paradox of enrichment* »
- 1973 **Maynard-Smith** « *théorie des jeux, stratégie évolutivement stable (ESS)* »
- 1976 **McArthur, Wilson** « *la biogéographie insulaire* »
- 1969 **Levins** « *métapopulations* »
- 1976 **May** « *chaos* »
- 1988 **Wilson** « *biodiversité* »
- 1998 **Levin** « *système complexe adaptatif* »