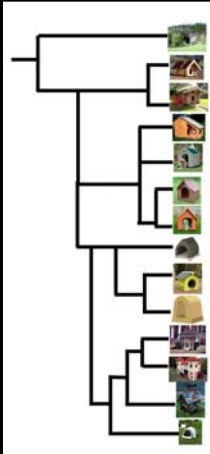


Théorie des niches écologiques



1859



Economie de la Nature

L'augmentation récente de la grive draine dans des parties de l'Ecosse a conduit au déclin de la grive musicienne. [...] Nous pouvons vaguement voir pourquoi la concurrence devrait être plus vive entre les formes alliées, qui remplissent à peu près la même place dans l'économie de la nature, mais probablement *dans aucun cas*, ne pourrions-nous dire précisément **pourquoi** une nouvelle espèce a été victorieuse sur l'autre dans la grande bataille de la vie.



Grive draine



Grive musicienne

Darwin, Origin of Species, chap III, 1st Edition (1859)

1959



THE AMERICAN NATURALIST

Vol. XCIII May-June, 1959 No. 870

HOMAGE TO SANTA ROSALIA or WHY ARE THERE SO MANY KINDS OF ANIMALS?*

G. E. HUTCHINSON

Department of Zoology, Yale University, New Haven, Connecticut

When you did me the honor of asking me to fill your presidential chair, I accepted perhaps without duly considering the duties of the president of a society, founded largely to further the study of evolution, at the close of the year that marks the centenary of Darwin and Wallace's initial presentation of the theory of natural selection. It seemed to me that most of the significant aspects of modern evolutionary theory have come either from geneticists, or from those heroic museum workers who suffering through years of neglect, were able to establish about 20 years ago what has come to be called the "new systematics." You had, however, chosen an ecologist as your president and one of that school at times supposed to study the environment without any relation to the organism.

Monte Pellegrino, Palerme

- « Sanctuaire dédié à Santa Rosalia (+1160), la patronne de la capitale. La légende rapporte qu'elle aurait vécu dans cette grotte. Rosalia, fille du duc de Sinibaldo, avait choisi d'y vivre en ermite dès l'âge de 14 ans. Elle se nourrissait de végétaux et fruits sauvages environnants et buvait l'eau d'une source. »




D'après la légende, Santa Rosalia descendait de Charlemagne

Evolution, 35(1), 1981, pp. 124-138

SKEPTICISM TOWARDS SANTA ROSALIA, OR WHY ARE THERE SO FEW KINDS OF ANIMALS?¹

JOSEPH FELSENSTEIN
Department of Genetics, University of Washington, Seattle, Washington 98195

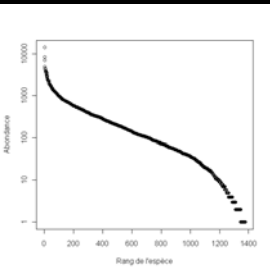
Received January 3, 1980. Revised May 21, 1980



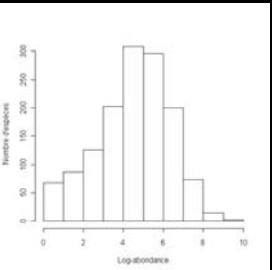
Questions

- La compétition entre espèces est-elle la processus principal à l'origine de la sélection naturelle dans la Nature ?
- En quoi les interactions entre espèces permettent-elles d'expliquer la biodiversité ?

Abondance des espèces

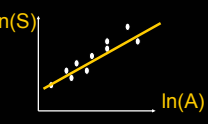


Courbe rang-abondance

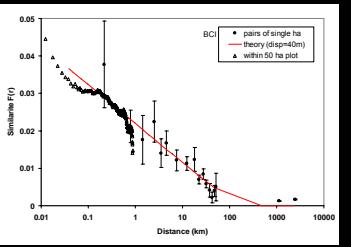


Distribution d'abondance d'espèces

Distribution spatiale de la biodiversité



Courbe aire-espèce

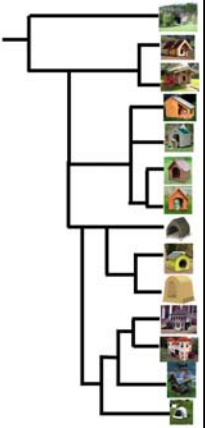


Courbe de similarité

Plan

1. Niches écologiques : définition
2. Niches, abondance et coexistence
3. Modéliser la niche fondamentale

Niches écologiques : définition



Niches écologiques

THE NICHE-RELATIONSHIPS OF THE CALIFORNIA THRASHER.¹

BY JOSEPH GRINNELL.

THE California Thrasher (*Toxostoma redivivum*) is one of the several distinct bird types which characterize the so-called "Californian Fauna." Its range is notably restricted, even more so than that of the Wren-Tit.

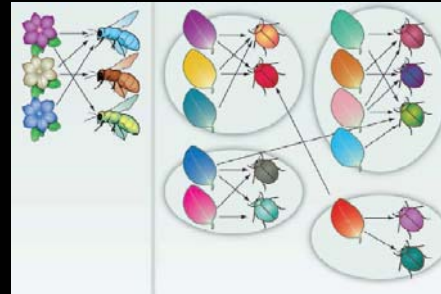
These various circumstances, which emphasize dependence upon cover, and adaptation in physical structure and temperament thereto, go to demonstrate the nature of the ultimate associational niche occupied by the California Thrasher. This is one of the minor niches which with their occupants all together make up the chaparral association. It is, of course, axiomatic that no two species regularly established in a single fauna have precisely the same niche relationships.



Joseph Grinnell (1877-1939)

Source: *The Auk*, Vol. 34, No. 4 (Oct., 1917), pp. 427-433

Niche : Position d'une espèce dans son réseau d'interactions



Interactions mutualistes

Interactions antagonistes



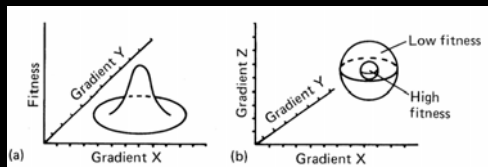
Charles Elton (1861-1945)

La niche fondamentale

- Ensemble des conditions abiotiques dans lesquelles une population peut se développer
- On peut représenter la niche fondamentale dans un espace des paramètres environnementaux
- La niche écologique mesure la variation de la valeur sélective (fitness) dans un gradient environnemental



G Evelyn Hutchinson (1903-1991)

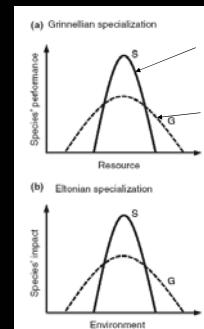


Spécialistes versus généralistes

Performance d'une espèce dans un environnement donné



Joseph Grinnell



spécialiste

généraliste

Impact d'une espèce sur son environnement

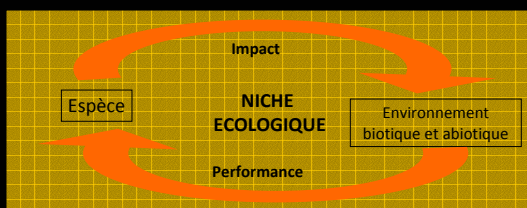


Charles Elton

Dualité

Niche =

- Capacité de l'espèce de survivre dans un environnement
- Impact de l'espèce sur cet environnement



Compétition interspécifique

ON COMPETITION BETWEEN *GALIUM SAXATILE* L. (*G. HERCYNICUM* WEIG.) AND *GALIUM SYLVESTRIS* POLL. (*G. ASPERUM* SCHREB.) ON DIFFERENT TYPES OF SOIL

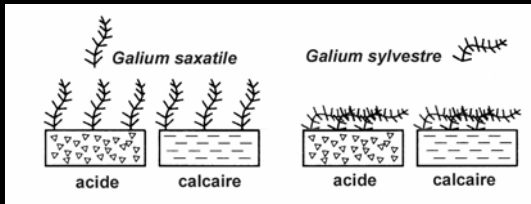
By A. G. TANSLEY



The experiments of which an account is given below were begun in the Botanic Garden at Cambridge by Miss E. M. Hume in the autumn of 1911 at the writer's suggestion, and continued until she left Cambridge in the autumn of 1913. They were then carried on by the late Captain A. S. Marsh until he joined the army in the autumn of 1914. Subsequent observations on Miss Hume's and Captain Marsh's cultures have been made at intervals by the writer up to the autumn of the present year, 1917.

The Journal of Ecology, Vol. 5, No. 3/4 (Dec., 1917), pp. 173-179

Compétition interspécifique



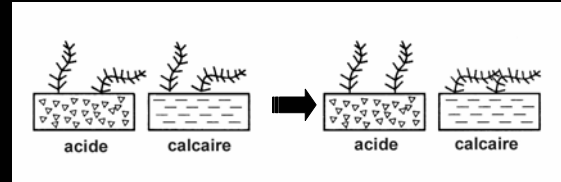
Prises seuls, les deux espèces poussent sur sol calcaire et sur sol acide



« gaillet », ou caille-lait
Rubiaceae



Compétition interspécifique



En compétition, G saxatile exclut G sylvestre sur sol acide, et G sylvestre exclut G saxatile sur sol calcaire



Equations de Lotka-Volterra

$$\frac{du}{dt} = au(t) \left(1 - \frac{u(t)}{u_{\max}} - bv(t) \right)$$

$$\frac{dv}{dt} = cv(t) \left(1 - \frac{v(t)}{v_{\max}} - du(t) \right)$$



Vito Volterra (1860-1940)

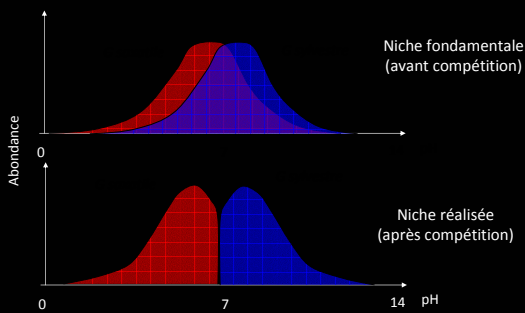
Principe d'exclusion compétitive

- Si deux espèces sont en compétition pour une même ressource, l'une finit par exclure l'autre
- Loi explicite dans les travaux de Volterra
- Georgii Frantsevich Gause (1910-1986) : expériences avec des espèces de paramécies permettant un test direct des prédictions du modèle de Lotka-Volterra



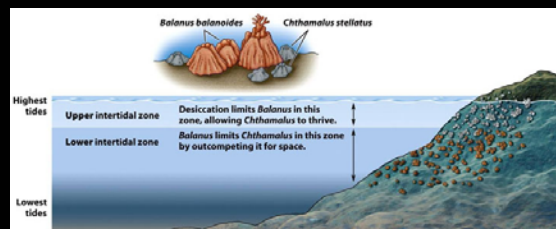
Gause

Niche réalisée



Deux espèces avec des niches similaires ont tendance à modifier leur niche (déplacement de caractère), ou s'excluent compétitivement (non co-occurrence)

Compétition



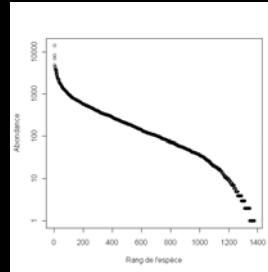
... un autre exemple classique.



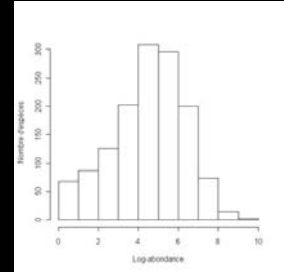
Joseph Connell

Niches, abondance et coexistence

Abondance des espèces

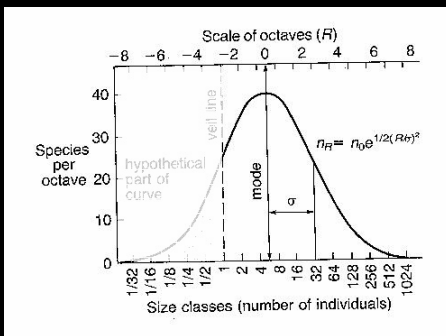


Courbe rang-abondance



Distribution d'abondance d'espèces

Distribution d'abondance log-normale



Preston (1948)

Interprétation probabiliste

Soit (r_1, r_2, \dots) variables iid de moyenne 0 et variance σ^2 .
Les r_i sont les taux de croissance pour toutes les espèces

(biologiquement, les fluctuations des r peuvent être interprétées comme l'influence différentielle d'un environnement stochastique sur chacune des espèces)

$$N_i = N_0 \exp\left(\sum_{t=1}^i r_t\right) \quad \ln(N_i) = \ln(N_0) + \sum_{t=1}^i r_t$$

- Donc $\ln(N_i)$ converge en distribution vers une loi normale de moyenne $\ln(N_0)$ et de variance $t \sigma^2$.



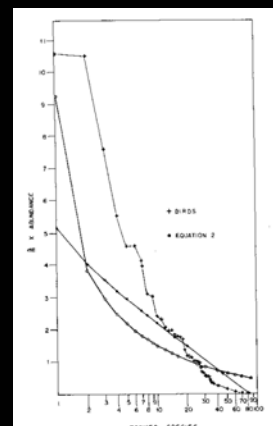
Abondance des espèces et niches : un modèle simple

$(n-1)$ points sont jetés au hasard sur un segment de longueur 1 (abondance relative). Les sous-segments ainsi définis, et classés de 1 à n , constituent la « niche écologique » des n espèces.

Les abondances relatives des espèces peuvent être classées de la plus petite (1) à la plus longue (n), de sorte que la k ème espèce a une abondance relative attendue de

$$E[p_k] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \frac{1}{n-i+1}$$

MacArthur (1957)



MacArthur (1957)

Un autre modèle : «sequential random broken stick »

La première espèce occupe une fraction z_1 de l'espace total de niche $\mathbf{z} = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}, \forall i, z_i \text{ iid}$

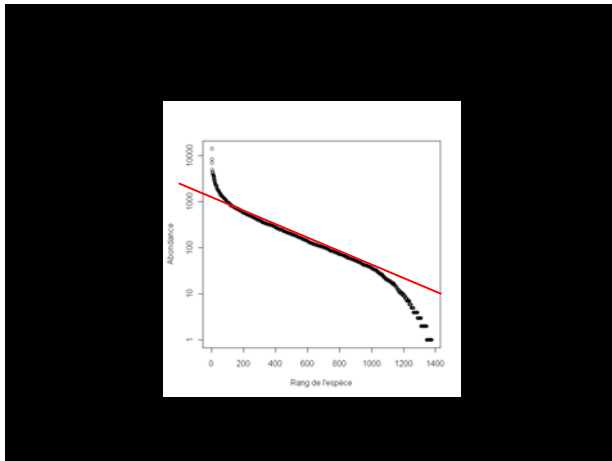
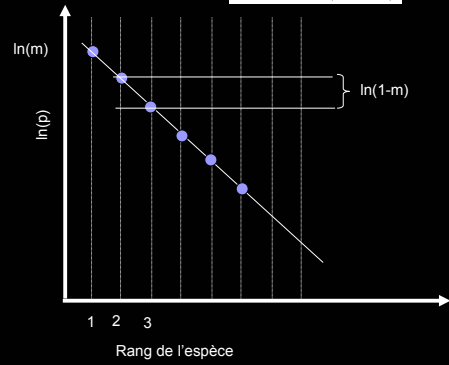
La seconde espèce occupe une fraction z_2 de l'espace *restant* (soit $z_2(1-z_1)$)

$$p_k = z_k \prod_{i=1}^{k-1} (1 - z_i)$$



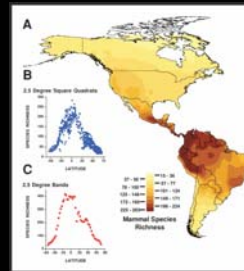
Engen (1975)

$$P(z) = \delta(z - m)$$



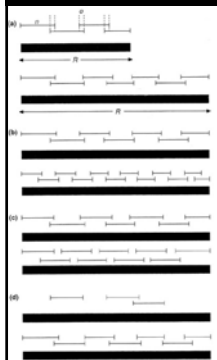
Gradients latitudinaux de biodiversité

- Mammifères terrestres d'Amérique
- 1418 espèces (dont 255 chiroptères)



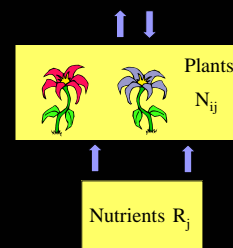
Kaufman & Willig 1998 J Biog

Pourquoi y a-t-il plus d'espèces sous les tropiques?



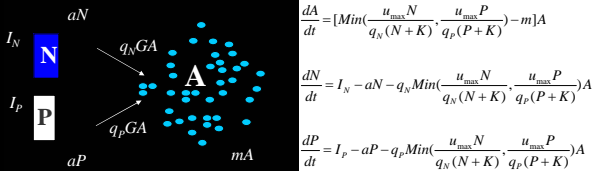
- Interprétation**
- + de ressources Plus d'énergie sous les tropiques => un espace de niches plus large
 - + de spécialistes Plus de diversification sous les tropiques => plus de spécialisation
 - + de recouvrement de niche Moins de compétition en zone tropicale
 - + d'occupation Moins de contraintes environnementales sous les tropiques (plus d'extinctions en zones tempérées)

Modèle de Tilman

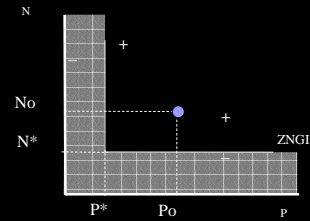


Modèle de Tilman (1982)

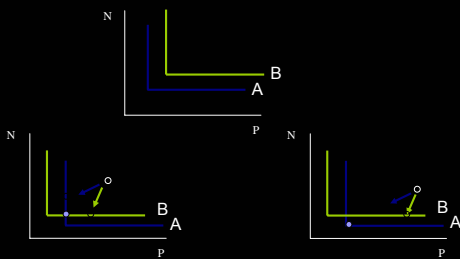
- Toute espèce modifie son environnement pour optimiser sa croissance (cas d'une plante limitée en N et P)



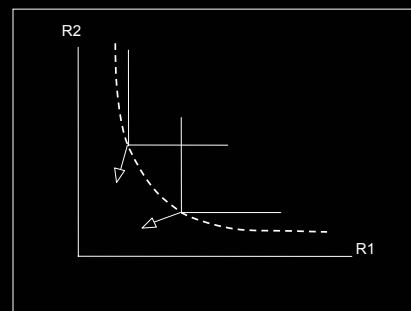
Représentation graphique



Cas à deux espèces



Conditions de coexistence : tradeoffs



Tradeoff compétition colonisation (Tilman 1994)

- Cas d'une espèce : modèle de métapopulation de Levins :

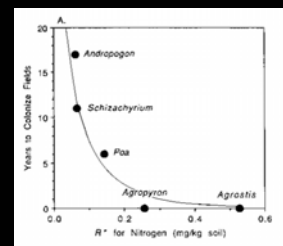
$$\frac{dp}{dt} = cp(1-p) - ep$$

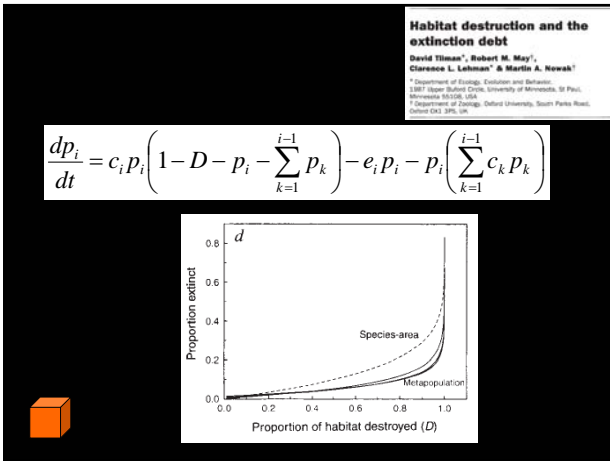
- Supposons maintenant qu'une deuxième espèce est présente, et qu'elle n'envahit que des sites où l'espèce 1 est absente. Sur un site occupé par l'espèce 2, l'espèce 1 peut s'installer, excluant ainsi l'espèce 2. Par contre, l'espèce 2 n'a aucune action sur la dynamique de l'espèce 1 (et ainsi de suite).

$$\frac{dp_i}{dt} = c_i p_i \left(1 - p_i - \sum_{k=1}^{i-1} p_k \right) - e_i p_i - p_i \left(\sum_{k=1}^{i-1} c_k p_k \right)$$

Interprétation biologique

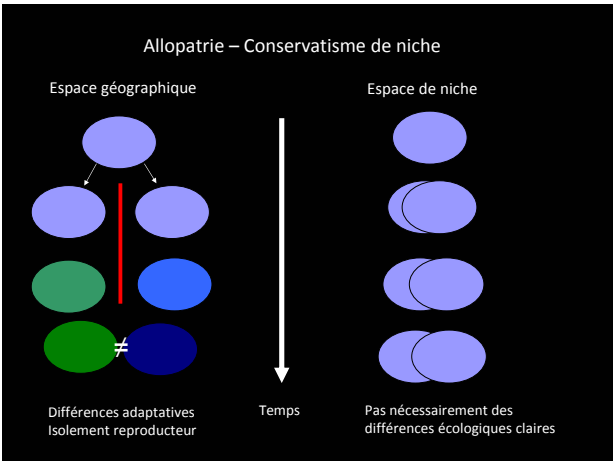
- Les bons disperseurs ne sont pas de bons compétiteurs





- ### Traits écologiques et coexistence
- Les traits écologiques (R* dans la théorie de Tilman) caractérisent la niche écologique des espèces.
 - Ces traits déterminent donc le potentiel de persistance d'une espèce en présence d'autres
 - Ces traits sont aussi soumis à la sélection naturelle

Conséquences évolutives



Mécanisme de l'isolement post-zygotique

- Modèle de Bateson-Dozhansky-Muller

Bateson Dobzhansky Muller

Stabilité évolutive des niches : conservatisme

Conservatism of Ecological Niches in Evolutionary Time

A. T. Peterson,^{1*} J. Suberón,² V. Sánchez-Cordero³

Theory predicts low niche differentiation between species over evolutionary time scales, but little empirical evidence is available. Biogeographical predictions based on ecological niche models of sister taxon pairs of birds, mammals, and butterflies in southern Mexico indicate conservation over several million years of independent evolution (between putative sister taxon pairs) but little conservation at the level of families. Niche conservatism over such time scales indicates that speciation takes place in geographic, not ecological, dimensions and that ecological differences evolve later.

Deux espèces de colibris

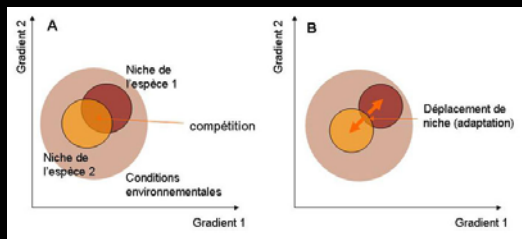
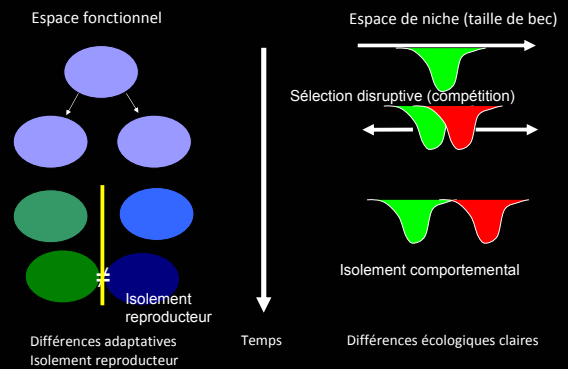
Une autre vision du problème

■ La vision de Darwin :

La compétition différentielle pour les ressources (plutôt que l'isolement en allopatrie) explique la divergence des lignages

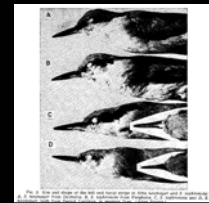
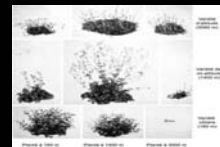
■ Remis au goût du jour par l'étude de la spéciation sympatrique (ou écologique)

Sympatrie – Divergence de niche

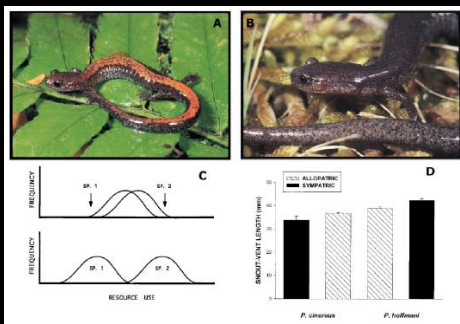


Déplacement de caractères

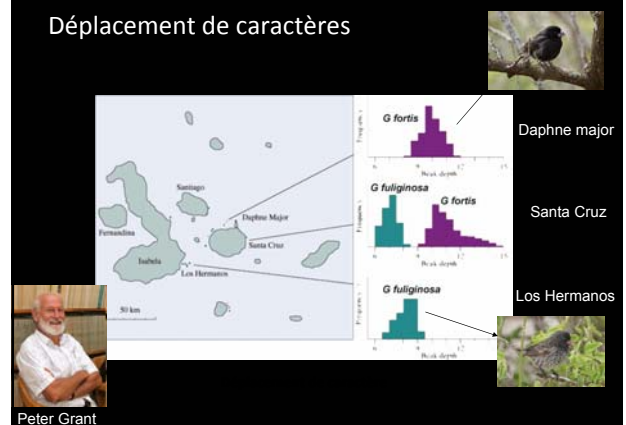
- Si deux espèces sœurs sont en contact, leurs caractères définissant leur niche tendent à changer.
- Brown & Wilson (1956) ont démontré que les espèces proches dans le genre *Sitta* avaient tendance à avoir un plus grand rapport de taille dans la zone de recouvrement que dans la zone dans laquelle une seule espèce est rencontrée




Déplacement de caractères



Déplacement de caractères



Spéciation sympatrique : dans la nature ?



Disruptive selection

Some palms survive better in volcanic acidic soils whereas others perform better in basic calcareous soils

Calcareous soil Volcanic soil

Assortative mating

Early flowering season Late flowering season

Palms growing in calcareous soil tend to flower later than palms growing in volcanic soils

Savolainen et al. Nature (2006)

Base génétiques des changements morphologiques dans les pinsons de Darwin

Bmp4 and Morphological Variation of Beaks in Darwin's Finches

Arhat Abzhinov,¹ Meredith Protas,¹ B. Rosemary Grant,² Peter R. Grant,² Clifford J. Tabin^{1*}

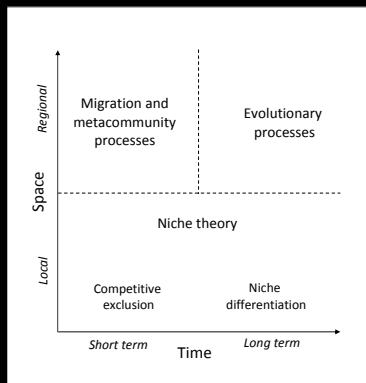
Darwin's finches are a classic example of species diversification by natural selection. Their impressive variation in beak morphology is associated with the exploitation of a variety of ecological niches, but its developmental basis is unknown. We performed a comparative analysis of expression patterns of various growth factors in species comprising the genus *Geospiza*. We found that expression of *Bmp4* in the mesenchyme of the upper beak strongly correlated with deep and broad beak morphology. When misexpressed in chicken embryos, *Bmp4* caused morphological transformations paralleling the beak morphology of the large ground finch *G. magnirostris*.



LETTERS

The calmodulin pathway and evolution of elongated beak morphology in Darwin's finches

Arhat Abzhinov^{1,2}, Winston P. Kuo^{1,2,3}, Christine Hartmann¹, B. Rosemary Grant², Peter R. Grant² & Clifford J. Tabin¹



Cet après-midi : théorie neutre