

Biodiversité en forêts tropicales : Origine, maintien et mesure

Module FTH 2021

Guillaume SALZET

02/09/2021



1. Contexte : Pourquoi s'intéresser à la diversité des FTH ?

- Conseils aux gestionnaires sur la protection de la diversité

2. La mesure de diversité

- Une boîte à outils pour mesurer une/ des communauté(s)

3. Cadres conceptuels : Les théories de la diversité

- Des processus déterministes et stochastiques qui façonnent la diversité de l'échelle locale à régionale



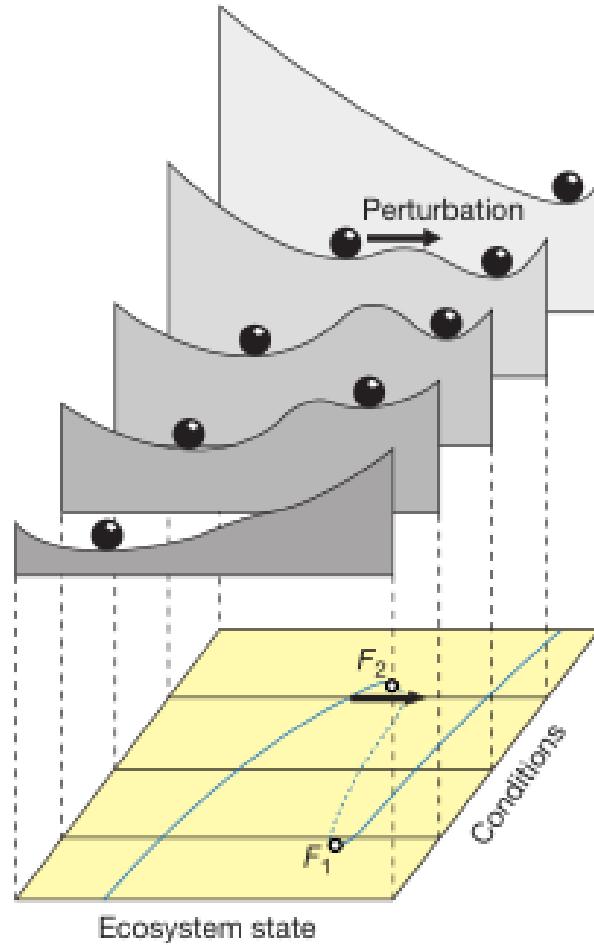
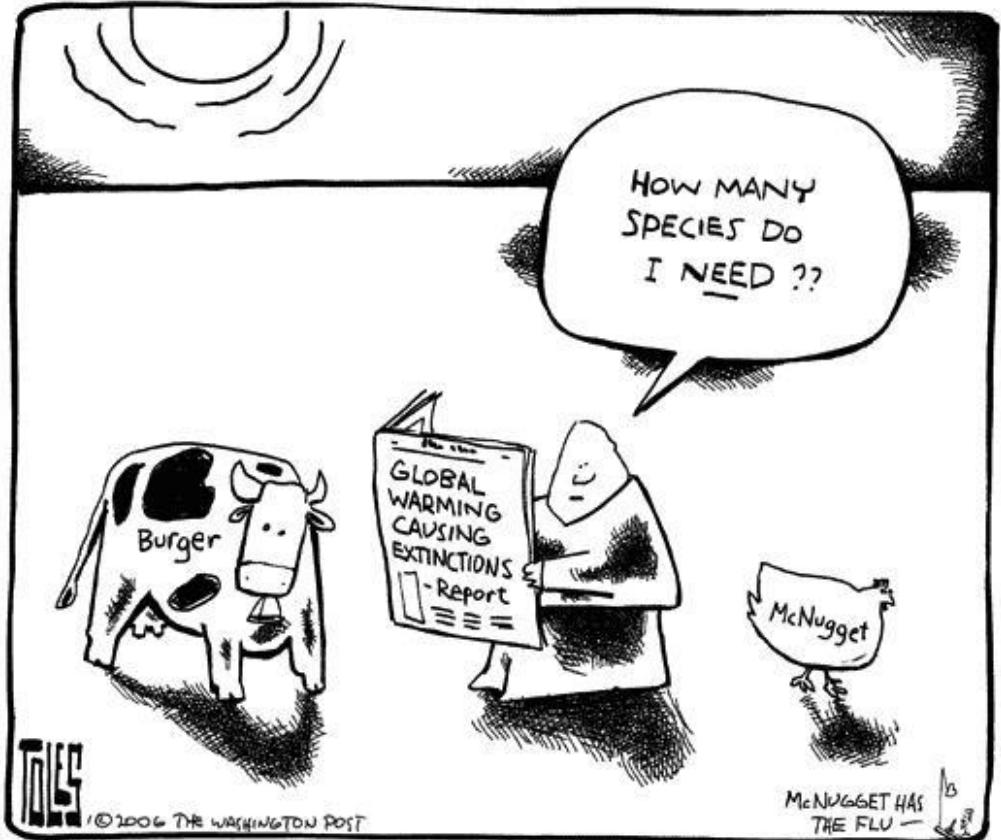
1. Contexte :

Pourquoi s'intéresser à la diversité des FTH ?

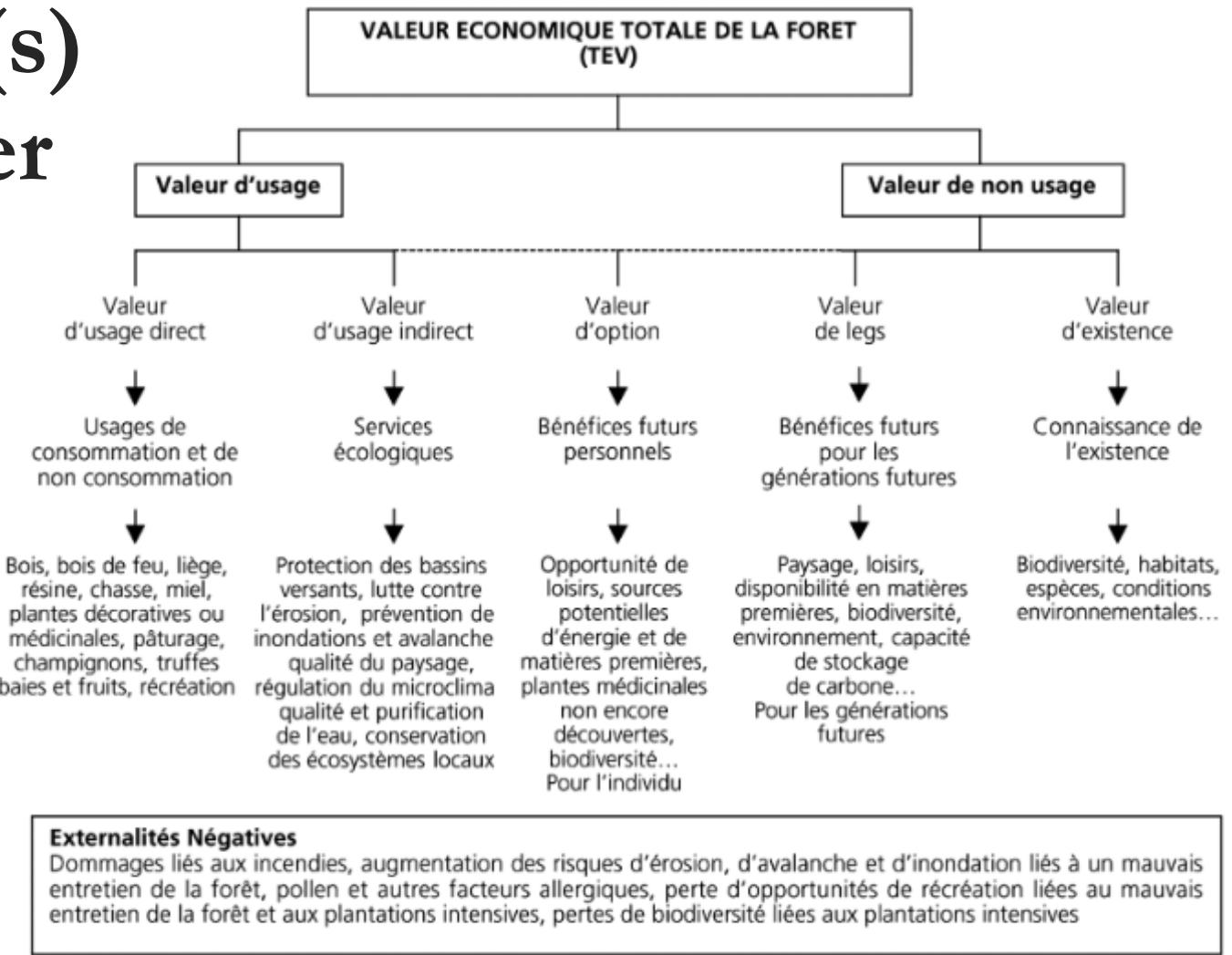
1.1 Quelques chiffres en forêts tropicales

- **FTH: concentre 50% des espèces terrestres sur 7% surface terres émergées**
- **Entre 100 et 300 espèces pour 1 ha (>10cm DBH)**, la diversité variable entre continents : Afrique < Asie < Amérique (max en Equateur , Valencia et al. 1994)
- **50 000 à 60 000 espèces d'arbres en FTH** (Turner 2006)
- **La Nouvelle-Calédonie : 4200 espèces, métropole 4500**, pour 30 fois moins de surface.
5000 pour la Guyane de nouvelles descriptions chaque année
- **Cohabitation d'espèces « proches » : 82 % des espèces ont un congénérique** sur une parcelle de 50 ha (Manokaran et al, 1992), 70 % dans la même catégorie de taille.
- Étude de la faune de la voûte forestière de 19 arbres au Panama : 950 espèces de coléoptères, 80% inconnues !

1.2 Quel(s) intérêt(s) de protéger / gérer les FTH ?

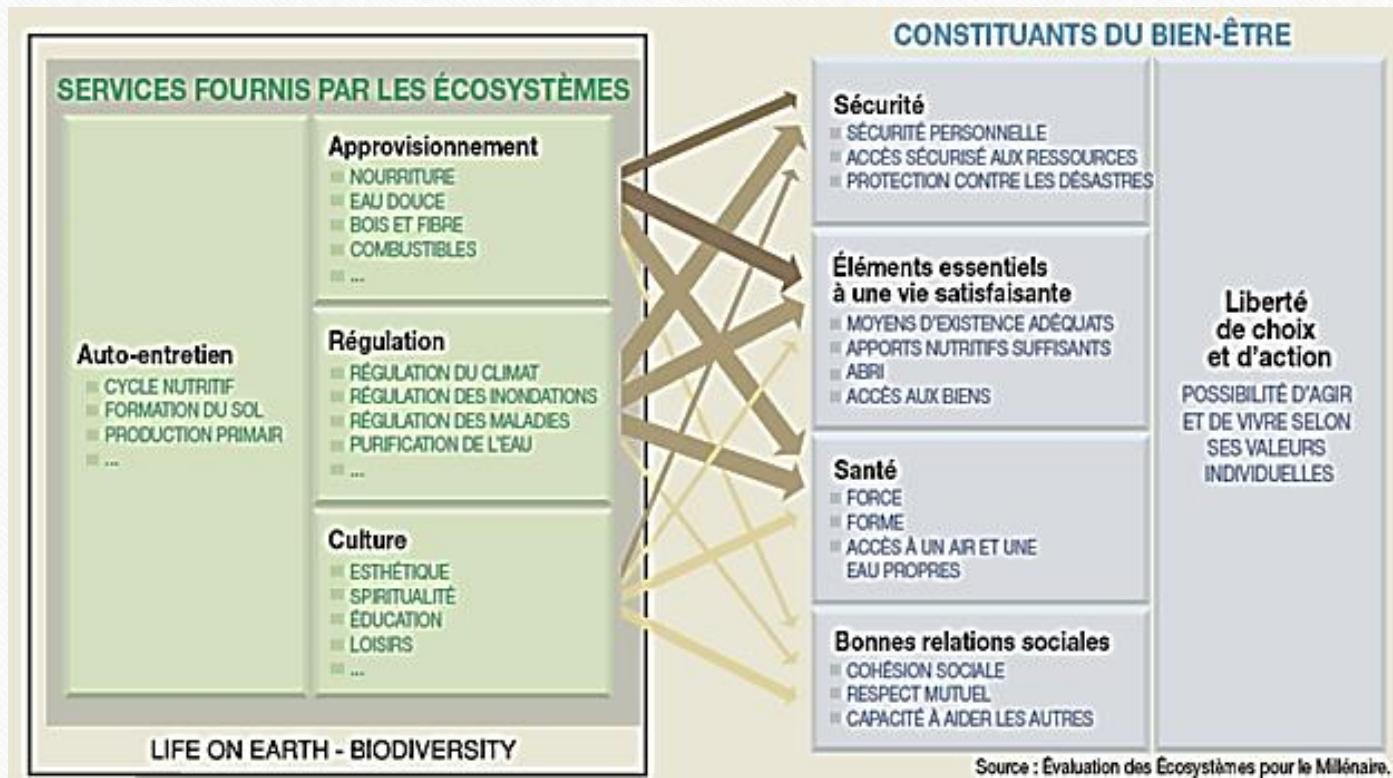


1.2 Quel(s) intérêt(s) de protéger / gérer les FTH ?

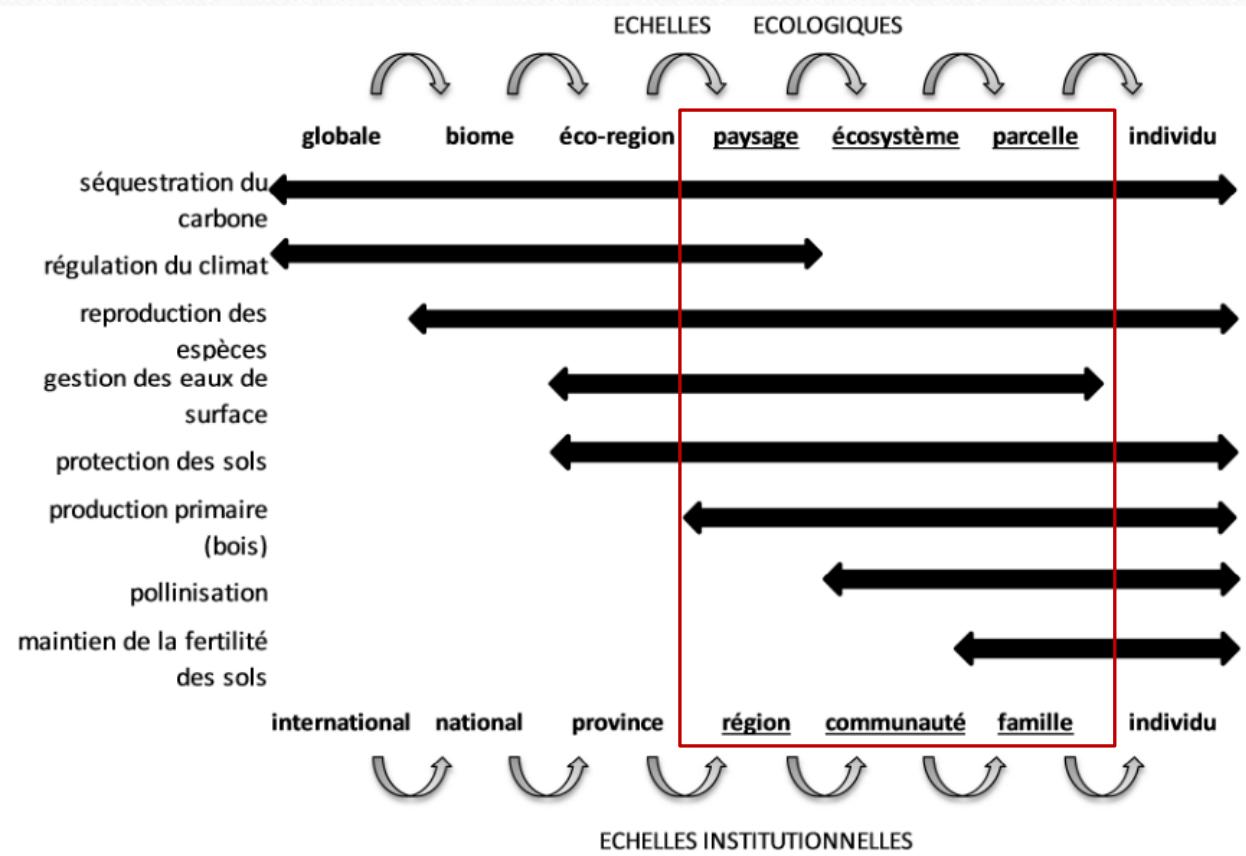


Source : Merlo and Croitoru, 2005 ; adapté de Pierce et Moran, 1994

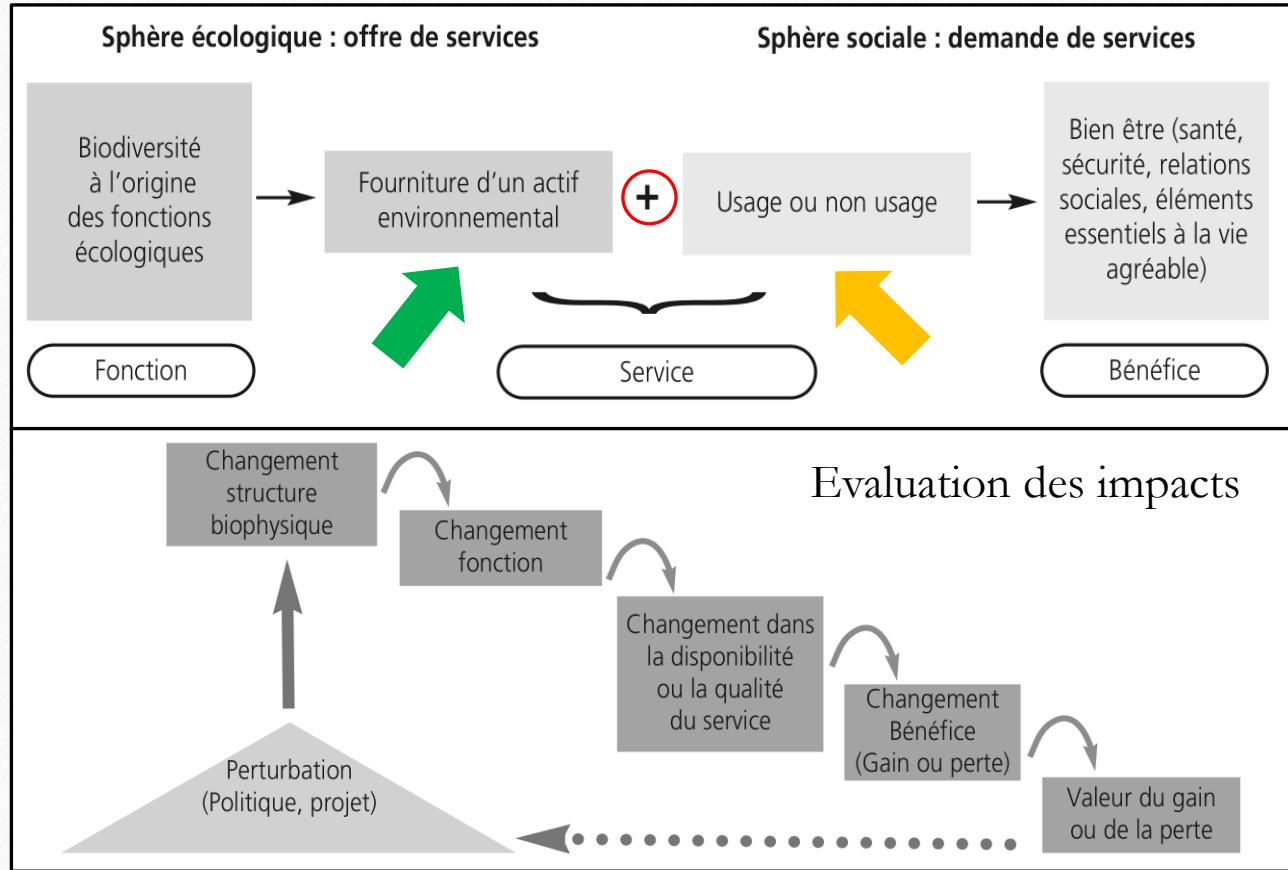
1.2 Quel(s) intérêt(s) de protéger / gérer les FTH ?



1.2 Quel(s) intérêt(s) de protéger / gérer les FTH ?



1.3 « Faut il avoir peur de l'approche économique de la biodiversité et des services rendus par les écosystèmes ? »



Valeur issues de la conservation des écosystèmes = 0 ?

Permet de se rendre compte de la valeur tirés des écosystèmes (externalités)

Mais une approche :
anthropocentré, instrumentale et subjectif

Comment prendre en compte ces gains ou ces pertes dans la gestion des écosystèmes ?

→ Comprendre & mesurer la diversité

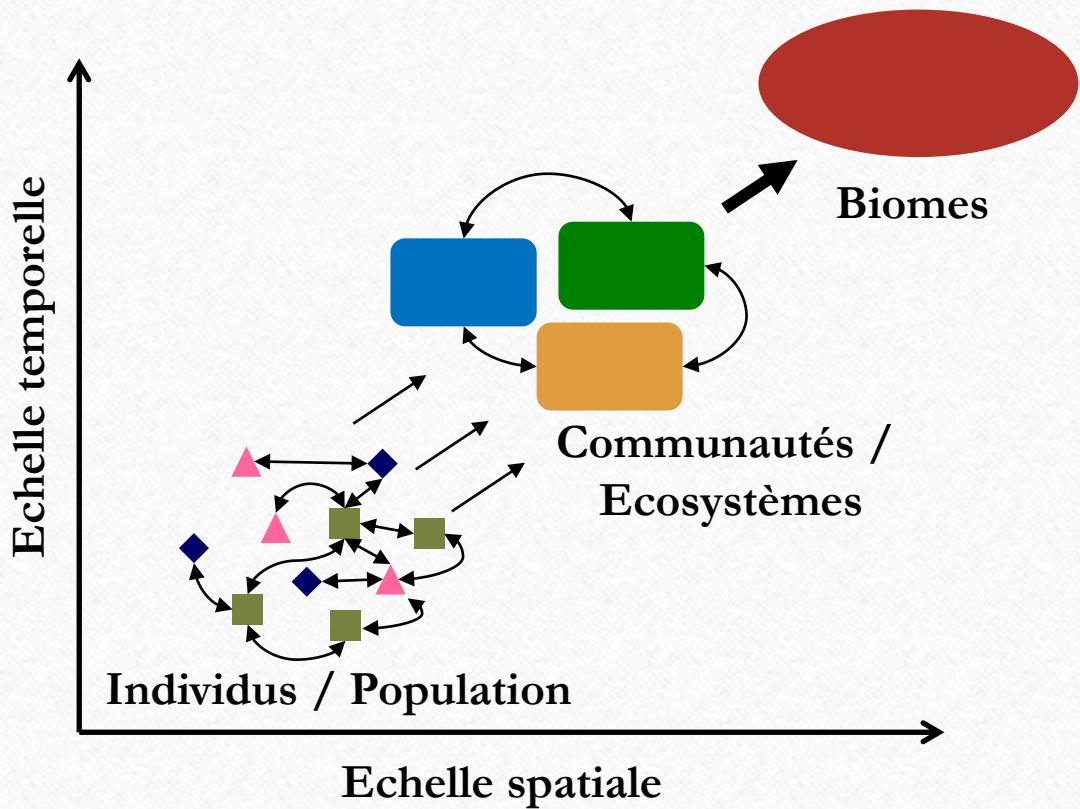
1.3 Intérêt du concept de biodiversité

- **Intérêt conceptuel** : Qu'est que la diversité ? Comment la définir et la mesurer ?
- **Intérêt scientifique** : expliquer les variations dans le temps et l'espace de la diversité biologique.
- **Intérêt patrimonial** : la diversité biologique tend à être considérer comme une richesse à préserver tend dans une optique utilitariste que déontologique.
- **Intérêt pratique** : les mesures de biodiversité sont impliquées dans la construction d'indicateurs de l'état de dégradation du systèmes biologique

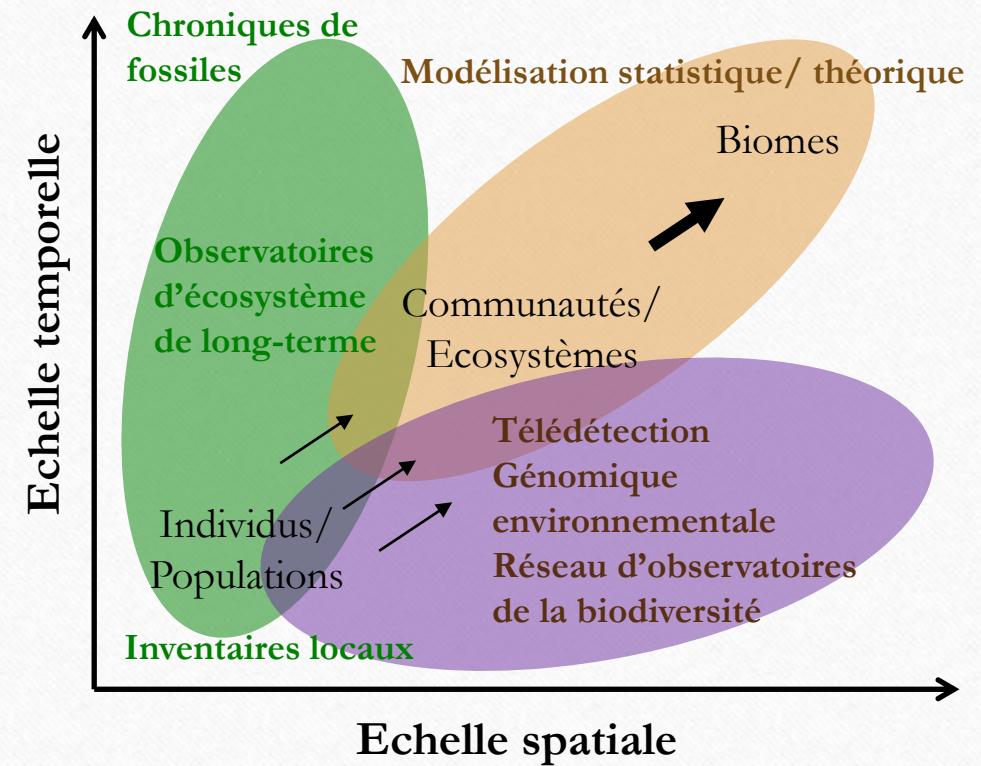


2. La mesure de la diversité

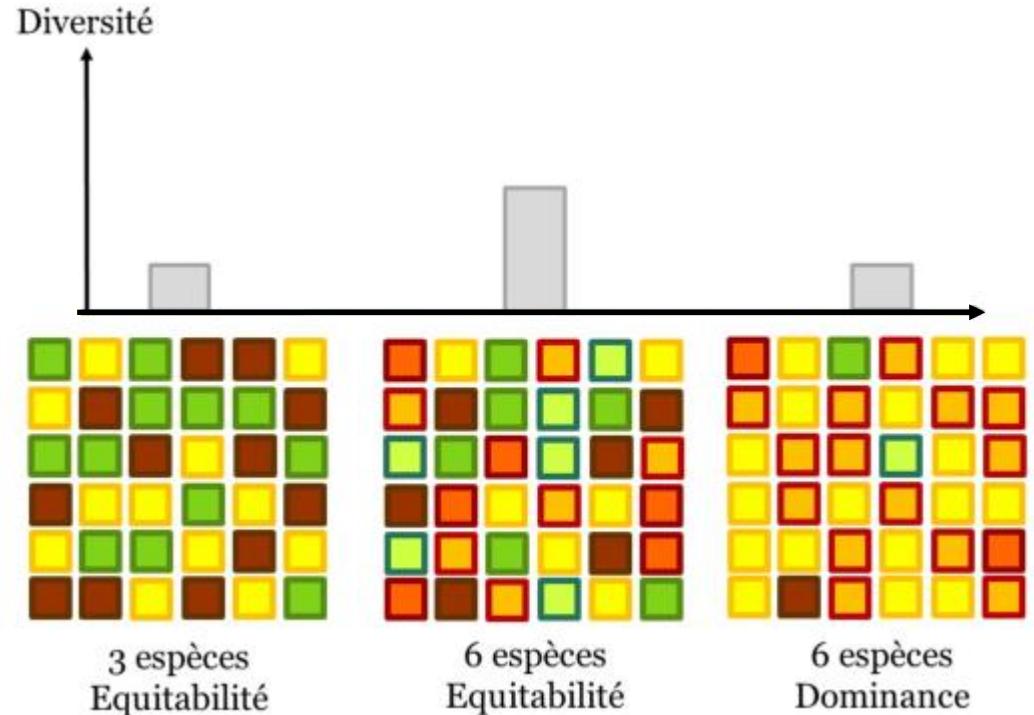
2.1 Objets et méthodes pour la mesure de la biodiversité



→ **Unités fondamentales** : individus, espèces, traits, lignée



2.2 Les différentes facettes de la diversité taxonomique

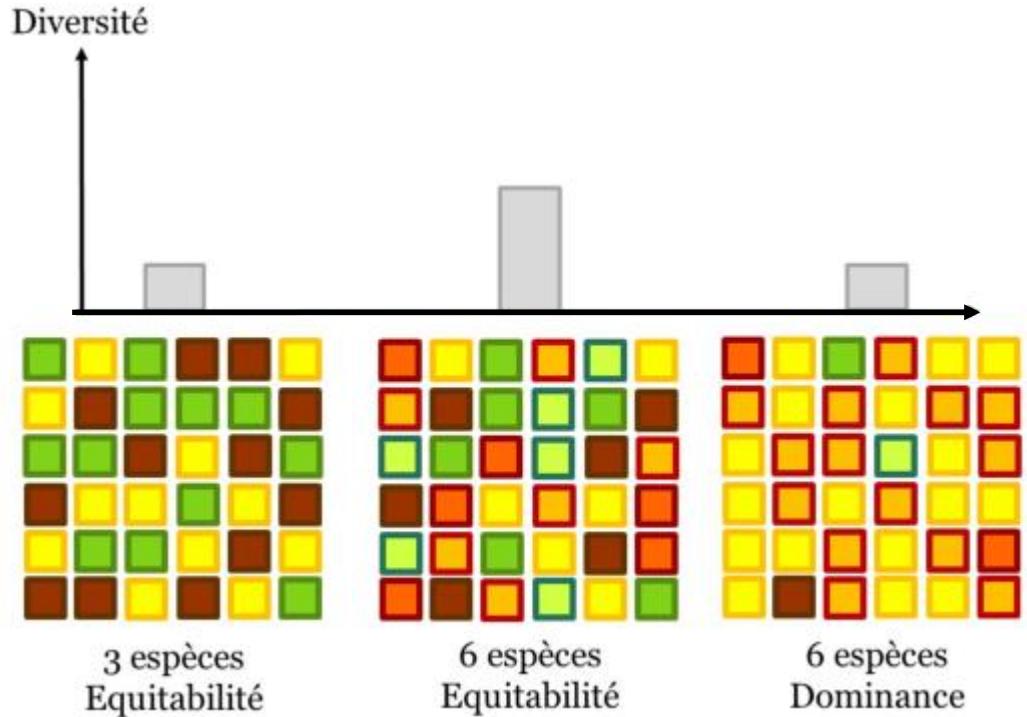


Mesures de la Biodiversité

Eric Marcon

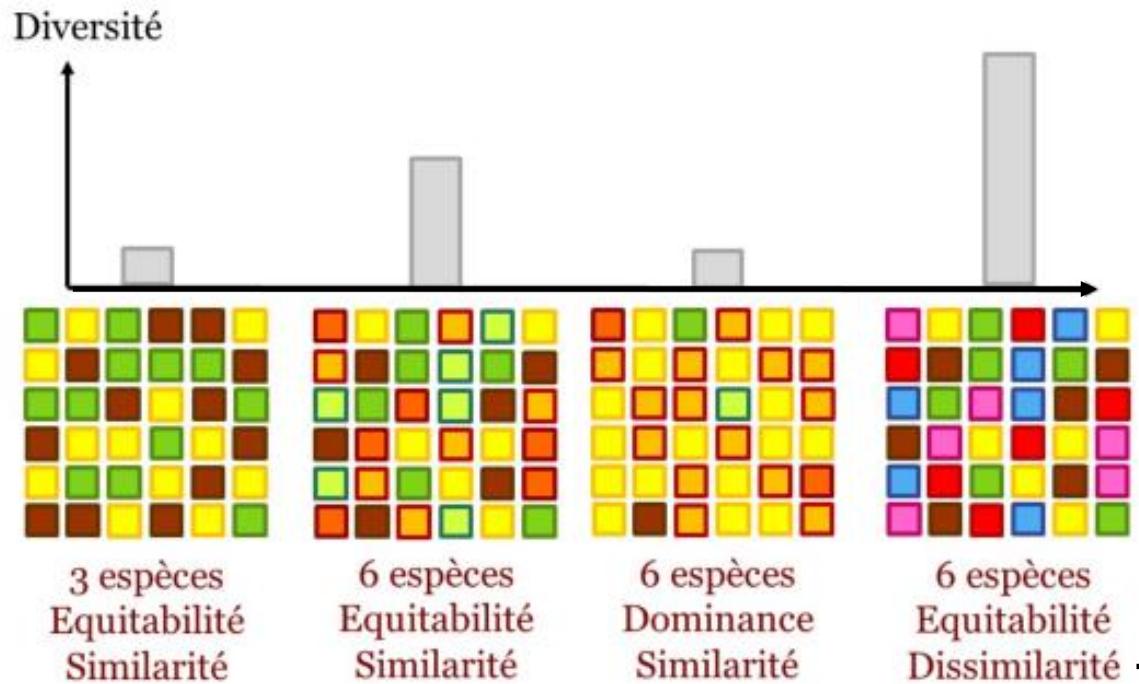
Version : 2020-11-15

2.2 Les différentes facettes de la diversité taxonomique



→ Permet de suivre changements temporels d'une communauté (ex : introduction EEE)

2.3 La dissimilitarité, la diversité fonctionnelle et phylogénétique



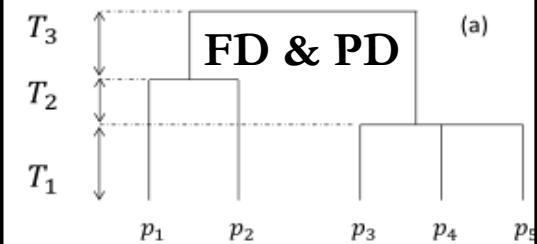
Dissimilitarité :
distance individu à
un autre dans \mathbb{R}^n

Matrice de distance
de la communauté

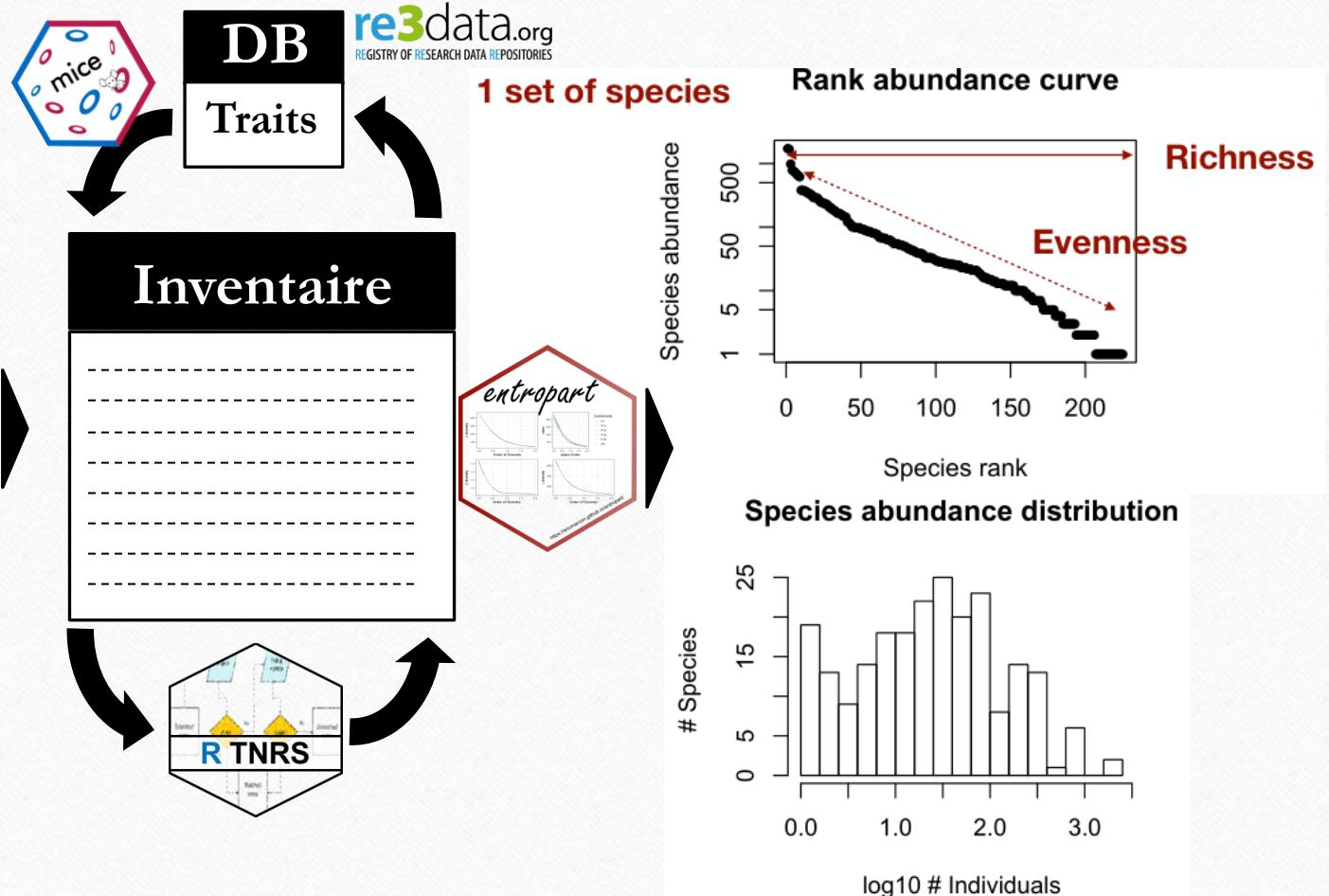
Classification &
dendrogrammes

Diversité de
Leinster et Cobbold

$${}^qD^Z = \left(\sum_s p_s (Zp)_s^{1-q} \right)^{\frac{1}{1-q}}$$

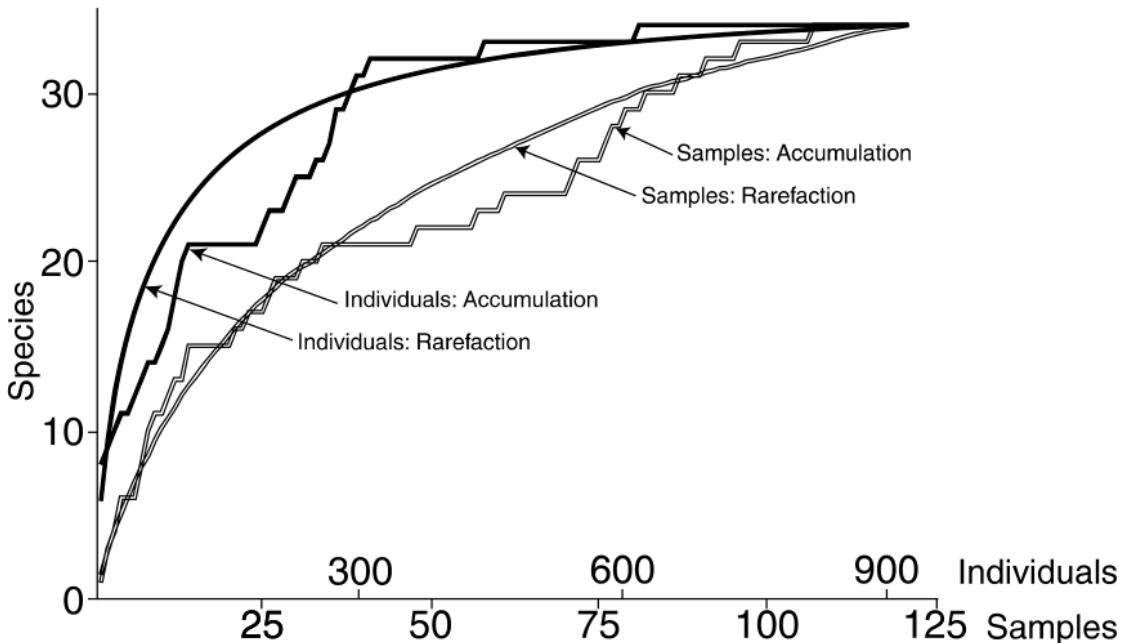


2.4 Diversité α : la mesure de la diversité à l'échelle locale



2.5 Réduction biais div. α : A-t-on bien tout compter ?

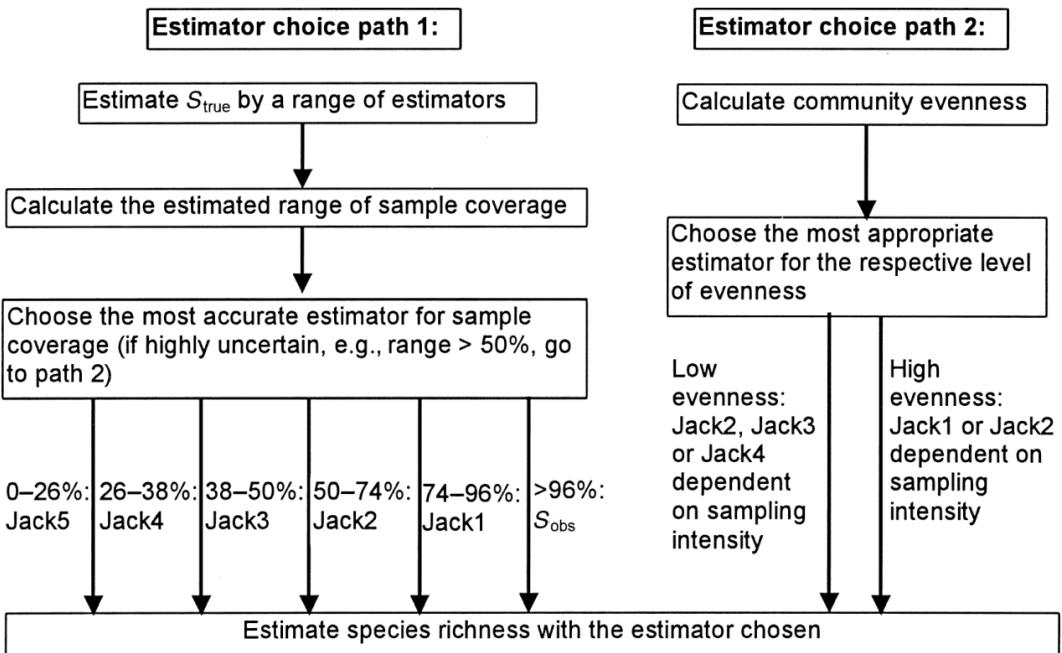
Courbes d'accumulation ou de raréfaction d'espèces



→ Vérifier si l'échantillonnage est suffisant

Gotelli, Nicholas J., and Robert K. Colwell. 2001. "Quantifying Biodiversity: Procedures and Pitfalls in the Measurement and Comparison of Species Richness." *Ecology Letters* 4 (4): 379–91.
<https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2001.00230.x>

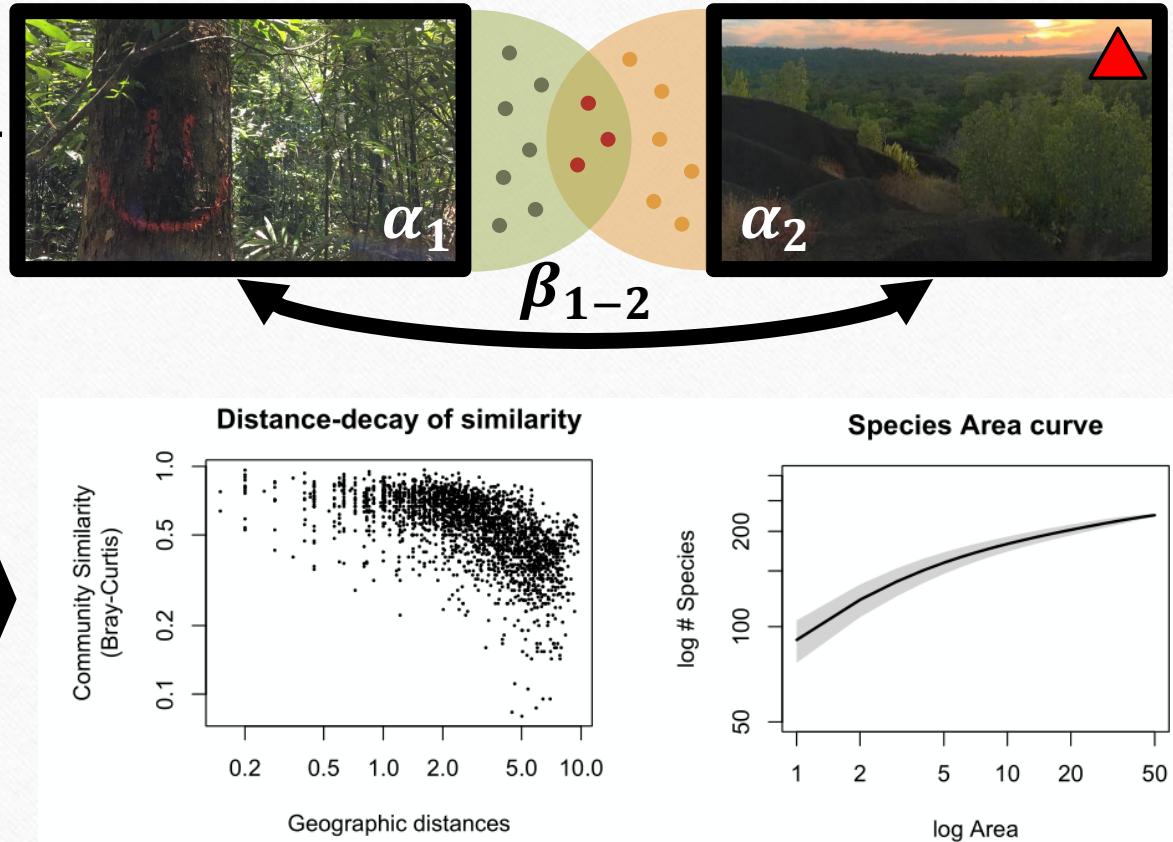
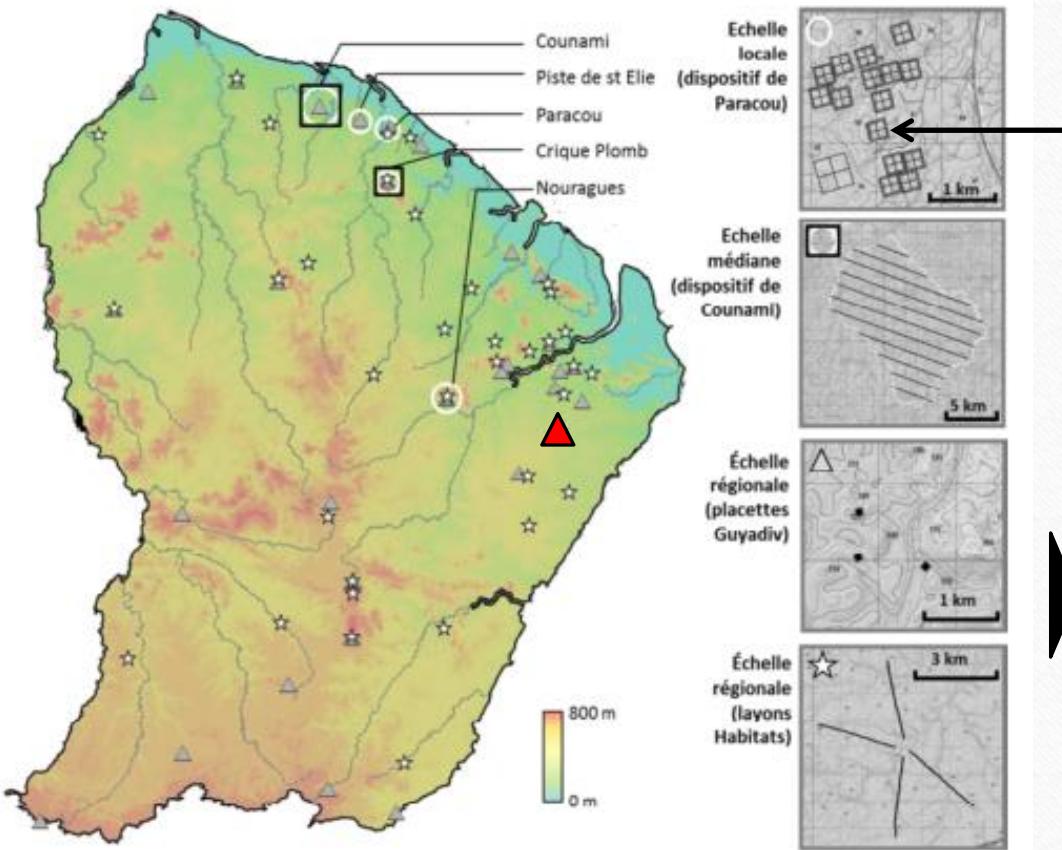
Estimateur non paramétrique des espèces non observées



Estimer le #espèce non observées → % couverture Obs

Brose, Ulrich, Neo D. Martinez, and Richard J. Williams. 2003. "Estimating Species Richness: Sensitivity to Sample Coverage and Insensitivity to Spatial Patterns." *Ecology* 84 (9): 2364–77.
<https://doi.org/10.1890/02-0558>

2.6 Diversité β : la mesure de la dissimilarité des communautés

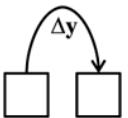


2.7 Diversité β : Les méthodes de mesure du « remplacement » des communautés

TURNOVER → Changement directionnel

Mission statement

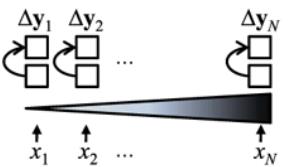
T1. Measure turnover between two communities.



Analysis

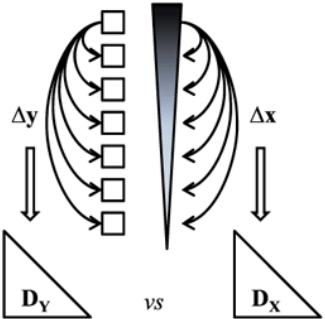
Calculate Δy
(e.g., Jaccard or Sørensen).

T2. Model turnover between two communities along an environmental factor or gradient.



Linear or non-linear regression of Δy vs x .

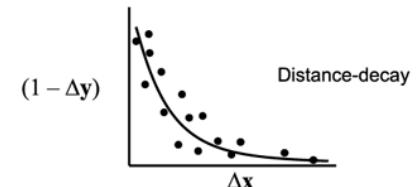
T3. Model pair-wise dissimilarities in communities as a function of pair-wise spatial, temporal or environmental distances.



Linear or non-linear regression of Δy vs Δx .

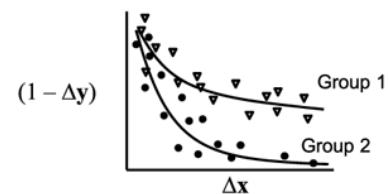
The Mantel test:
test of the null hypothesis of no relationship between two distance matrices.

Examine relationship at a series of distance classes:
Mantel correlogram.

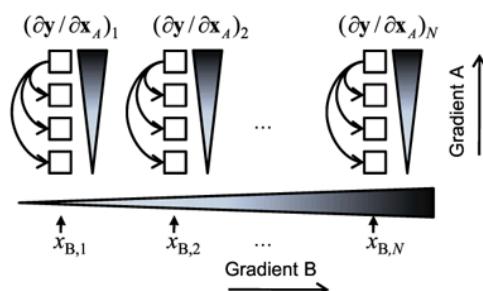


Linear or non-linear model of $(1 - \Delta y)$ vs Δx .

Rate $(\partial y / \partial x)$ is the estimated slope of a distance-decay model.



Compare slope (and r^2) values obtained for two different groups $(\partial y_1 / \partial x)$ and $(\partial y_2 / \partial x)$.



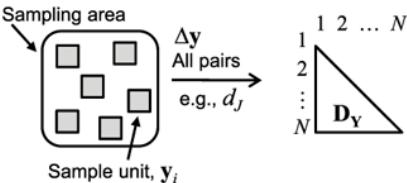
Linear or non-linear regression of $(\partial y / \partial x_A)$ vs x_B .

2.7 Diversité β : Les méthodes de mesure de la « variation » des communautés

VARIATION → Changement non-directionnel

Mission statement

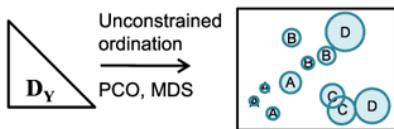
V1. Measure variation among communities from a set of samples.



Analysis

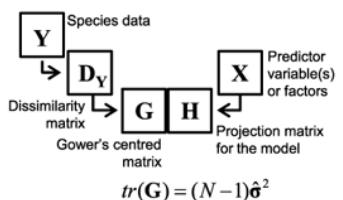
Calculate one or more of:
 β_W , β_{Add} , \bar{d}_{cen}
or
 $\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{(N-1)} \left(\sum_{i,j < i} d_{ij}^2 / N \right)$

V2. Explore relationships between community structure and factors or environmental variables.



Visualise patterns in an ordination (e.g., PCO or MDS), Superimpose labels, bubbles, vectors, etc.

V3. Partition variation in community structure according to some factors or continuous (spatial/environmental) variables.



Linear or non-linear RDA (Euclidean), CCA (chi-squared) or dbRDA (other measures).

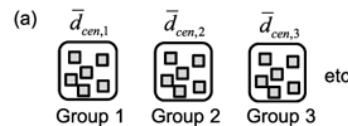
Explained: $tr(HG)$

Residual: $tr((I - H)G)$

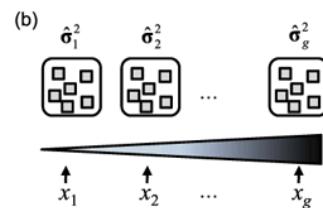
Total SS: $tr(G)$

For dbRDA, partitioning is done on Gower's centred matrix (G); for RDA, partitioning is done on the SSCP matrix of Y.

V4. Compare variation either
(a) among *a priori* groups or
(b) along a continuous gradient.

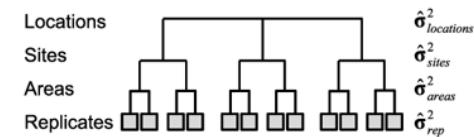


For (a), do a test for homogeneity of multivariate dispersions.



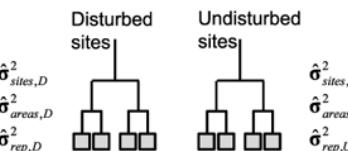
More generally (for a or b), fit a linear or non-linear model of $\hat{\sigma}_\ell^2$ or $\bar{d}_{cen,\ell}$ vs x. ($\ell = 1, \dots, g$)

V5. Partition variation according to a series of hierarchical spatial (or temporal) scales.



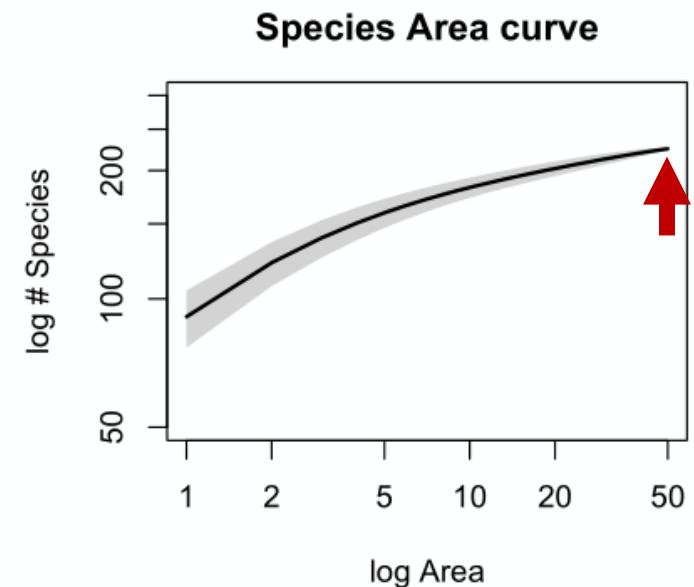
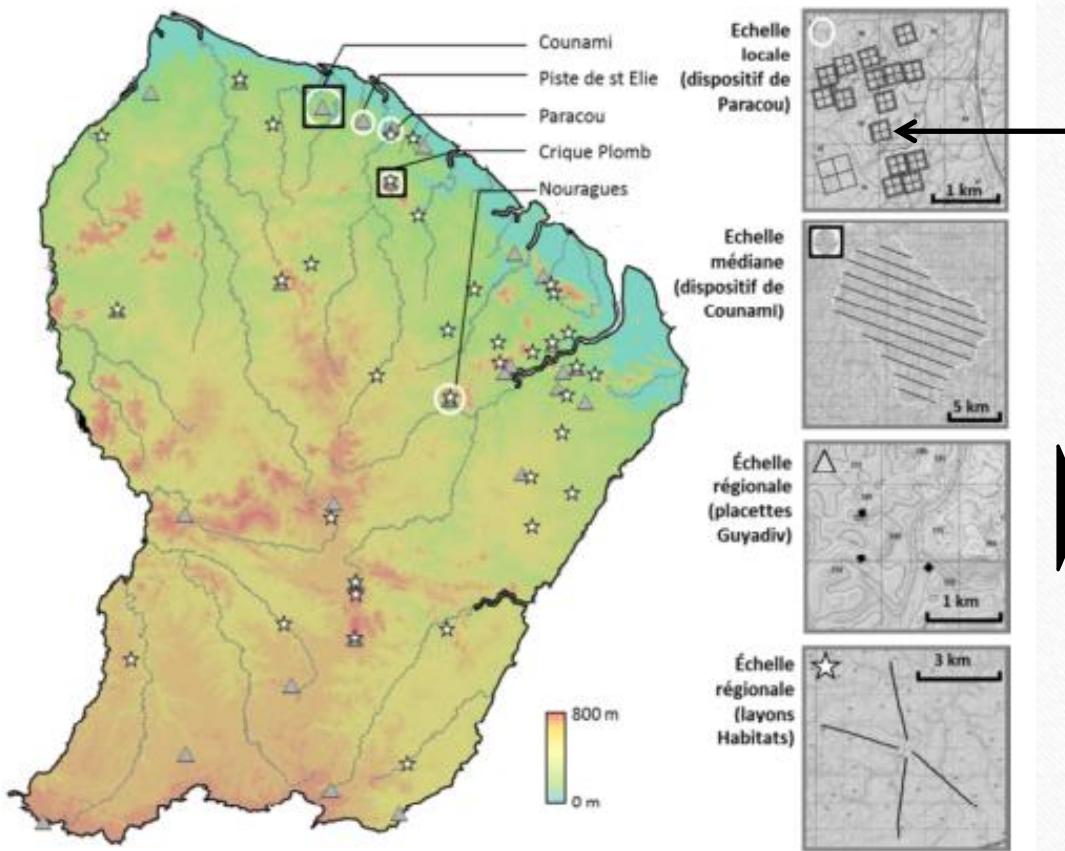
Partition $\hat{\sigma}^2$ and estimate components of variation (based on dissimilarity of choice).

V6. Compare components of variation or effect sizes across levels of another factor or for different groups of taxa (V7).

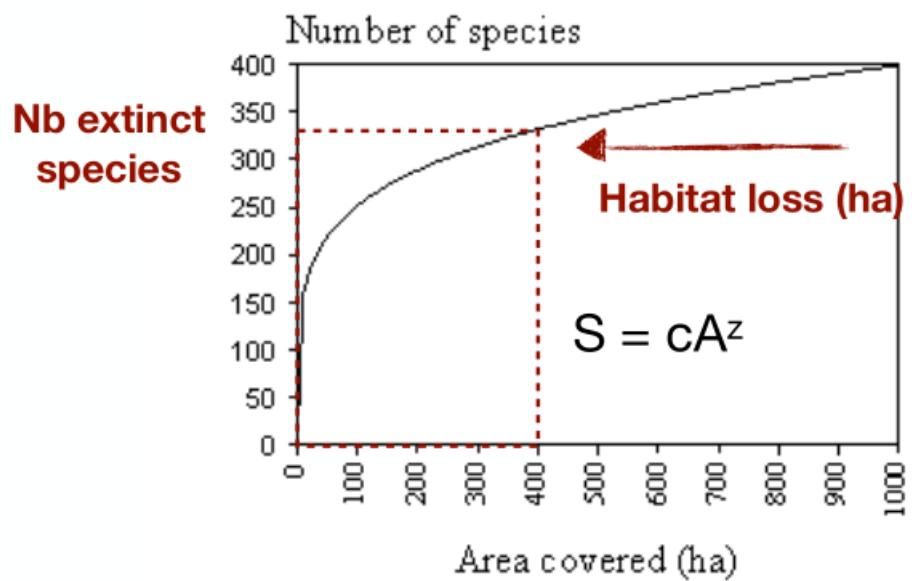


Estimate sizes of components. Test for differences in sizes of components using separate-sample bootstraps on differences or on two-tailed pseudo-F values.

2.8 Diversité γ : la mesure de la diversité à large échelle



2.8 Diversité γ : la mesure de la diversité à large échelle



Le cas de la fragmentation → étude à l'échelle du paysage

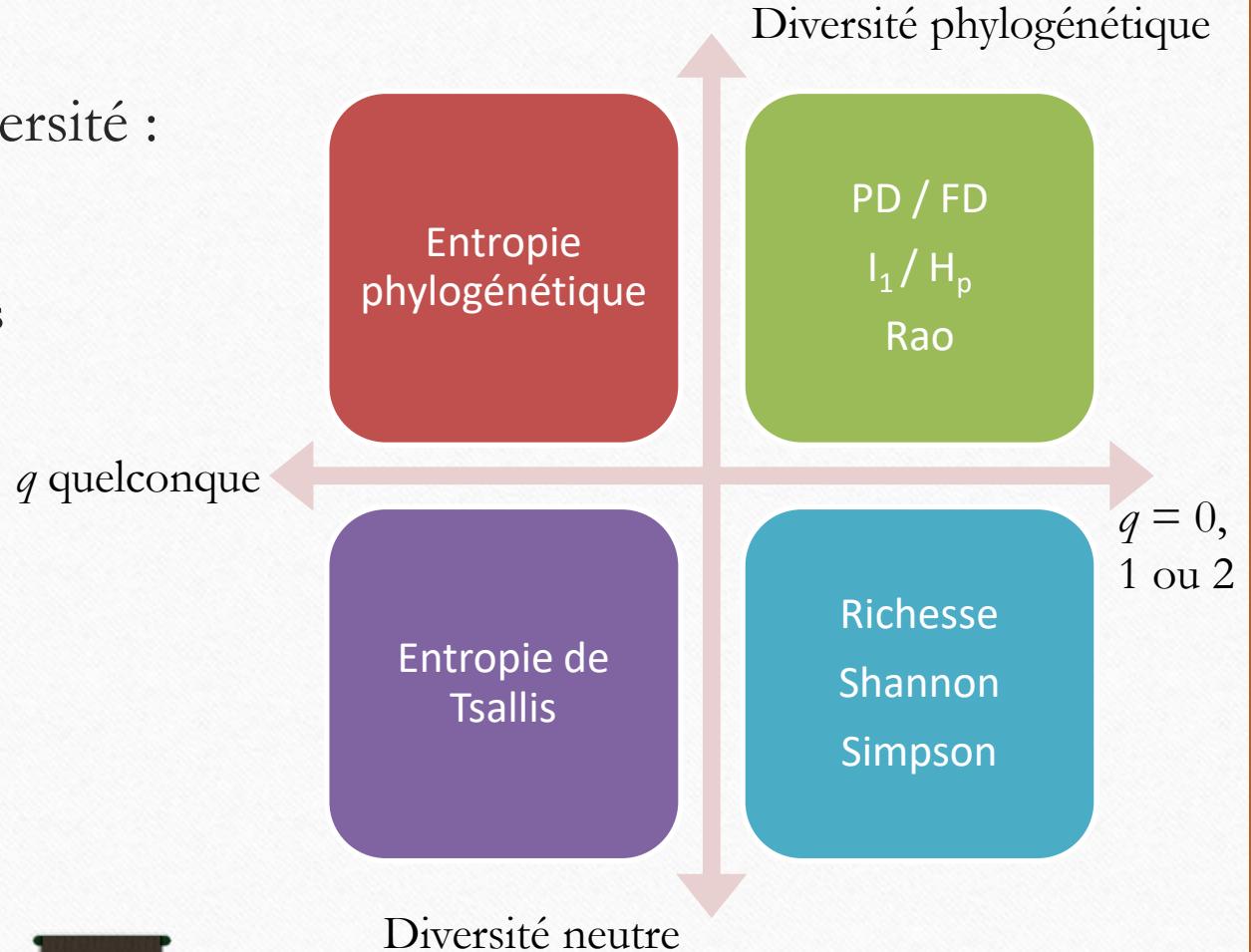
Immigration, extinction locale d'espèce selon le patron de fragmentation ?

2.9 Décomposition de la diversité

- α : diversité locale moyenne
 - γ : diversité globale
 - $\beta = \gamma/\alpha$: nombre effectif de communautés
 - La diversité β est le nombre de communautés de même poids, sans espèce commune, qui aurait la diversité des données
 - L'entropie γ est l'information totale obtenue en inventoriant l'ensemble des communautés et en mélangeant les données: $\sum_s p_s \ln_q \frac{1}{p_s}$
 - L'entropie α est l'information moyenne obtenue en inventoriant une communauté: $\sum_i w_i \sum_s p_{si} \ln_q \frac{1}{p_{si}}$
 - L'entropie β est le supplément d'information obtenu en connaissant la composition de chaque communauté en plus de celle du mélange: $\sum_i w_i \sum_s p_{si} \left(\ln_q \frac{1}{p_s} - \ln_q \frac{1}{p_{si}} \right)$
- Les diversités sont interprétables, pas les entropies...**
- Convertir les entropies en nombre de Hill / nombre équivalents ${}^qD_\gamma = {}^qD_\beta {}^qD_\alpha$

Conclusion partielle : de savoir bien mesurer ...

- Importance de bien mesurer la biodiversité :
 - Patrimoine
 - Pour le fonctionnement des écosystèmes
- Difficulté de la mesure :
 - Données à obtenir
 - Méthodologie
- Lien entre l'écologie et l'évolution

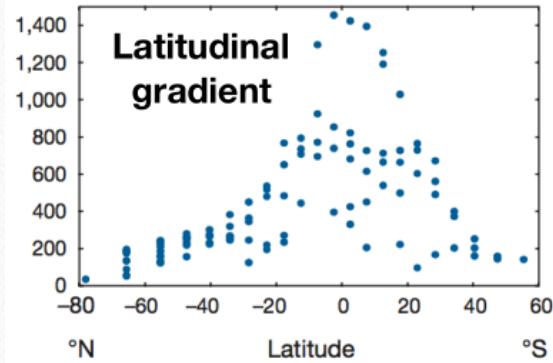
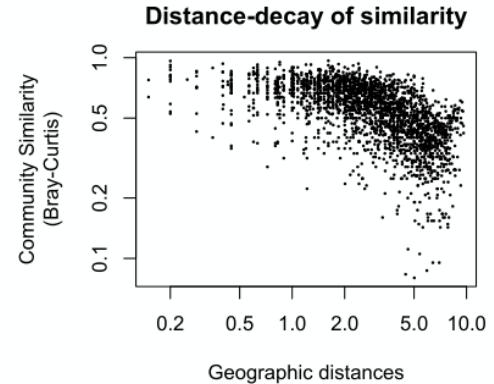
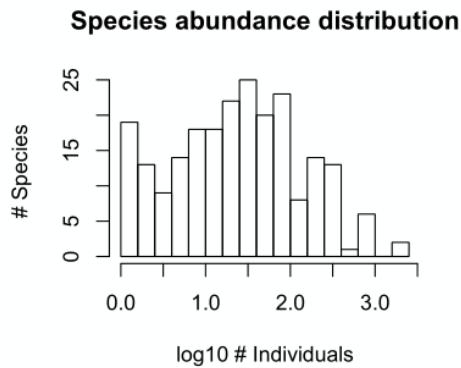
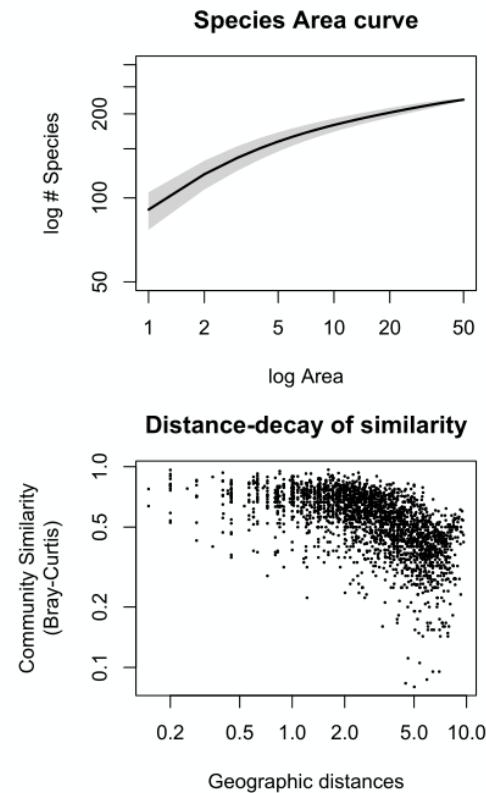
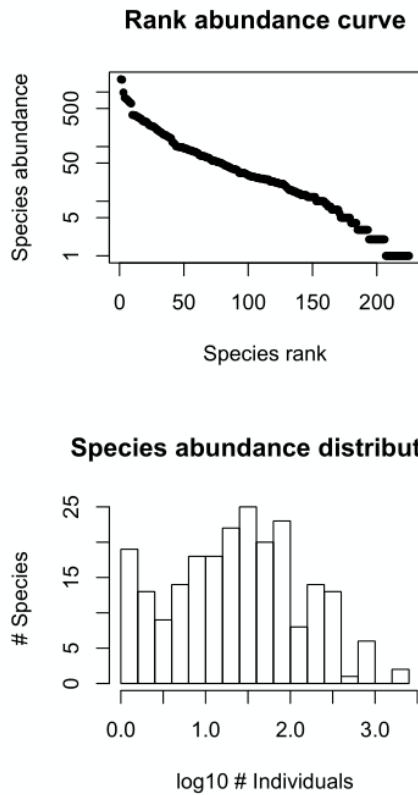




3. Cadres conceptuels :

Les théories de la diversité

3.0 Quels sont les processus derrière les données empiriques ?



Théories à grande échelle (diversité γ)

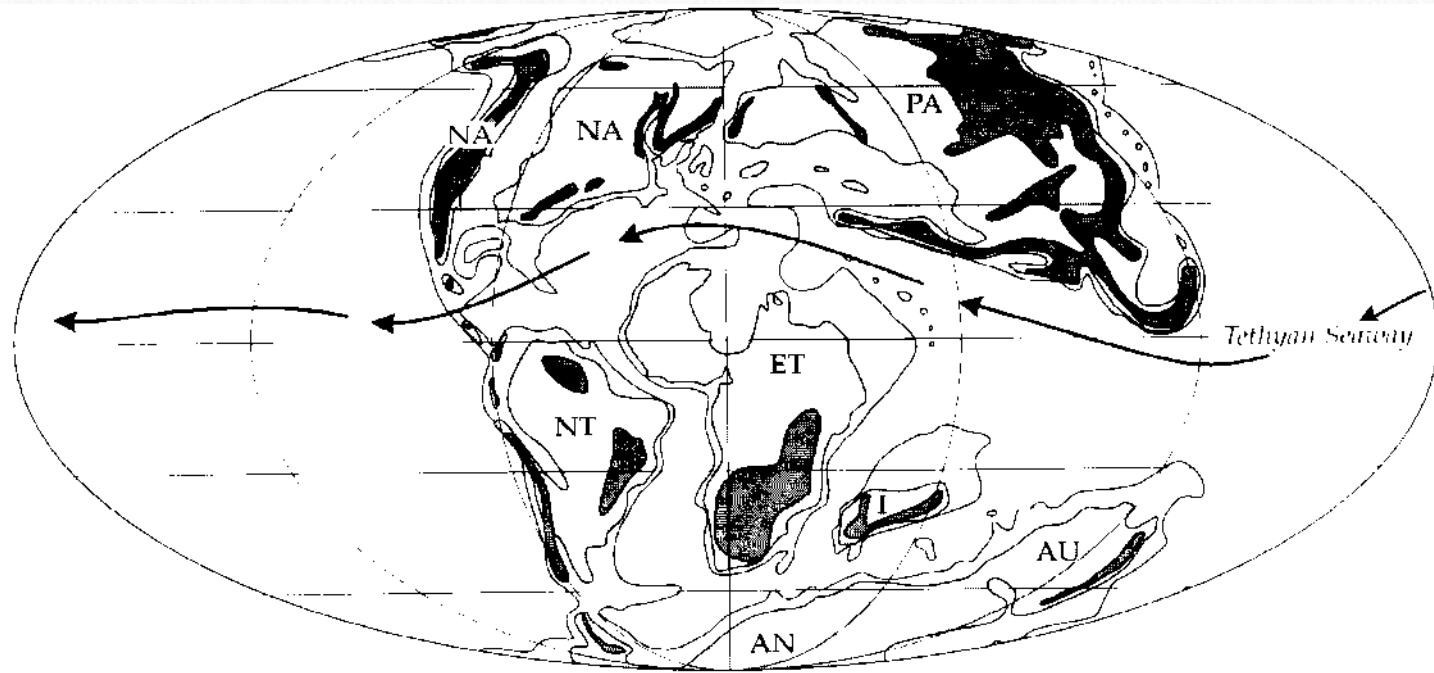
- Evolution accumulée dans le temps
- Les refuges du Pléistocène (Haffer 1967)

Théories à grande échelle (diversité γ)

- Evolution accumulée dans le temps
 - Mécanisme du type « Différentiation génétique »
 - Principe : sous les tropiques les espèces ont eu plus de temps pour évoluer et co-évoluer
 - Apparition des forêts « modernes » depuis le début du tertiaire (65 millions années)
 - Pas d'hiver et moins de perturbations liées aux glaciations permet de faibles taux d'extinction depuis l'apparition des forêts d'angiospermes
 - Arguments : genres et familles diversifiés, exemples de co-évolution très poussée
 - Limites : dépend de la stabilité de l'environnement des FTH depuis le tertiaire.

Théories à grande échelle (diversité γ)

- Evolution accumulée dans le temps



Fin du secondaire (Crétacé)
94 Million d'années

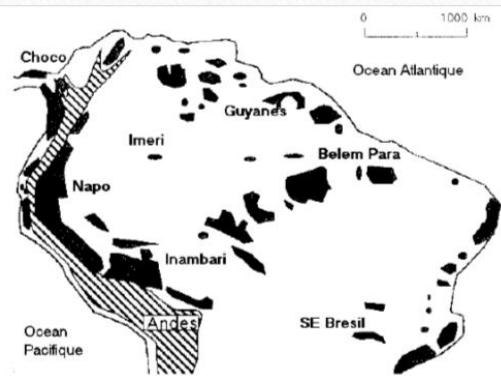
Théories à grande échelle (diversité γ)

■ Les refuges du Pléistocène (Haffer 1967)

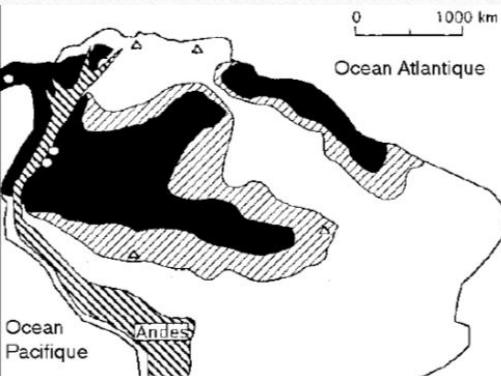
- Mécanisme du type « variation de l'environnement »
- Principe : recul des FTH devant des forêts sèches pendant les périodes glaciaires
 - Allopatrie dans des zones refuges
 - 4 à 8 événements entre -100 000 et -50 000 : pompe à espèces
- Arguments : changements climatiques avérés
- Limites :
 - Etudes confirment l'isolement mais dénotent peu ou pas d'endémisme
 - Problème sur la localisation des refuges pour les végétaux et temps de spéciation peu cohérents.
 - Extinction > Spéciation dans les refuges (taille et durée d'isolement)

Théories à grande échelle (diversité γ)

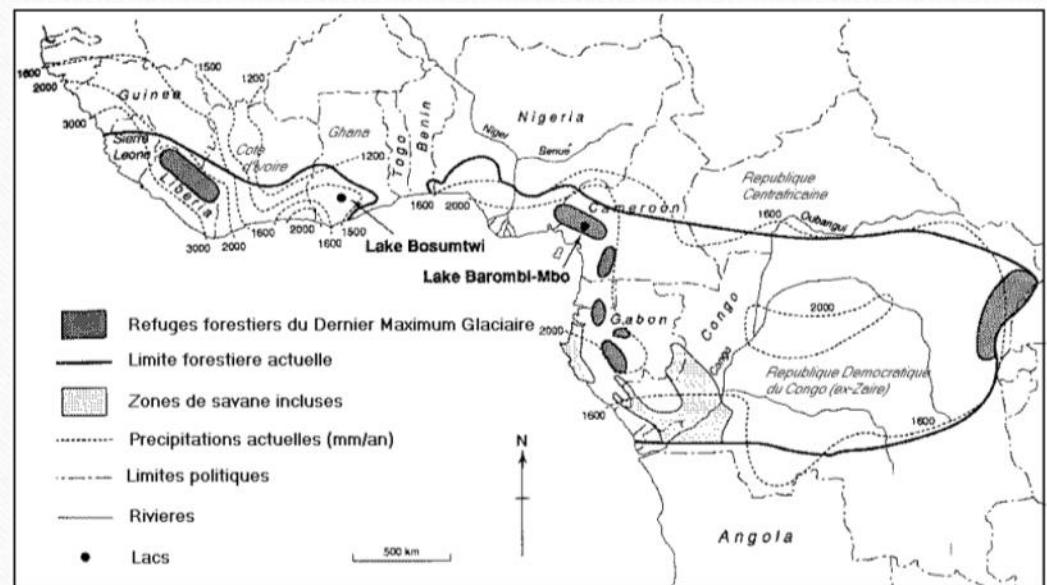
- Les refuges du Pléistocène (Haffer 1967)



D'après Brown (1987)



D'après Bush (1994) et Haberle et Maslin (1999).



D'après Richards (1996)

Théories à l'échelle de l'écosystème et des communautés (diversité β et α)

- Diversité des habitats (1/2)
- Cloisonnements des ressources (biotiques) dans le temps
- Energie et Productivité
- Le chablis et la théorie des perturbations intermédiaires

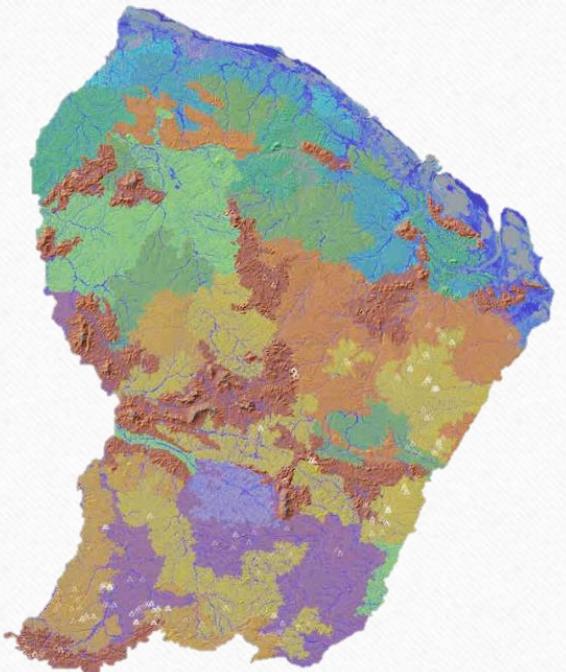
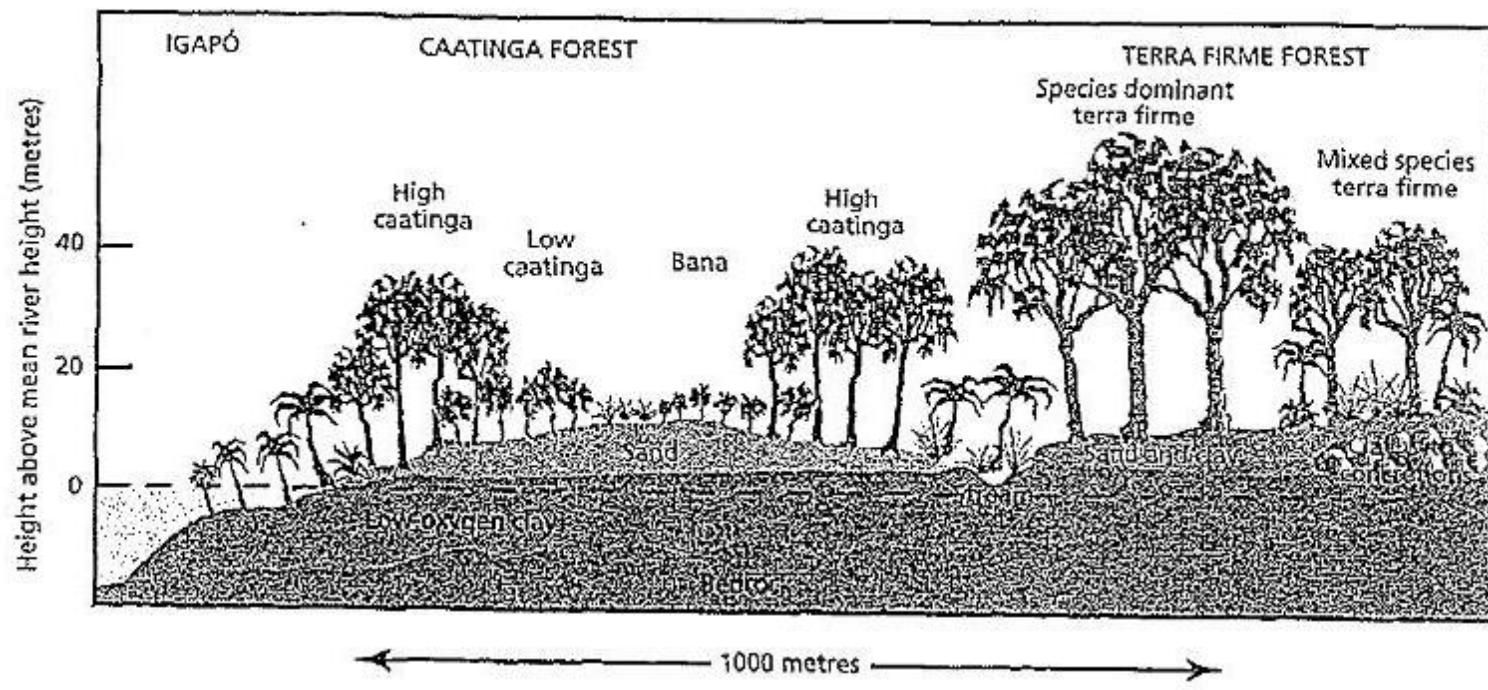
Théories à l'échelle de l'écosystème et des communautés (diversité β et α)

■ Diversité des habitats (1/2)

- **Mécanisme du type « variabilité du milieu »**
- **Principe :** la variabilité importante des conditions pédologiques, hydrologiques différencie de multiples habitats
 - Origine principale de la diversité β des FTH , richesse spécifique démultipliée
- **Arguments :** de nombreux exemples sur des échelles variables
 - Venezuela (transect 1 km) : 5 types de forêts
 - Pérou (1500 km^2) : 14 types de forêts (réserve Tampota-Candamo)
 - Pérou ($34\,000 \text{ km}^2$) : en moyenne 4 forêts par transect de 30km

Théories à l'échelle de l'écosystème et des communautés (diversité β et α)

Diversité des habitats (1/2)



Projet Habitat

Théories à l'échelle de l'écosystème et des communautés (diversité β et α)

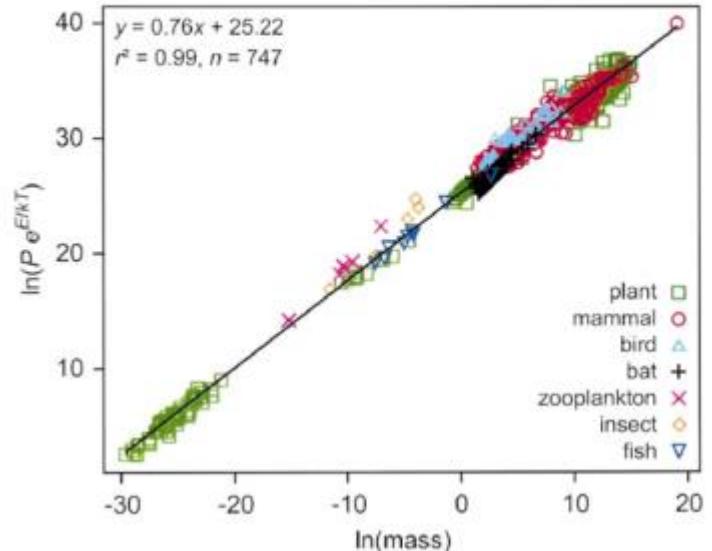
- **Cloisonnements des ressources dans le temps**
 - Mécanisme du type « interactions biotiques »
 - **Principe :** saisonnalité de la fructification et de la germination pour de nombreuses espèces,
 - réduit la compétition entre espèces pour pollinisation par les animaux , la zoothorie et les ressources du milieu pour la germination
 - **Argument :** exemple et modèle mathématique
 - **Limites :** non testable en raison des nombreuses interactions
 - réduit la compétition mais ne l'élimine pas

Théories à l'échelle de l'écosystème et des communautés (diversité β et α)

- **Energie et Productivité**

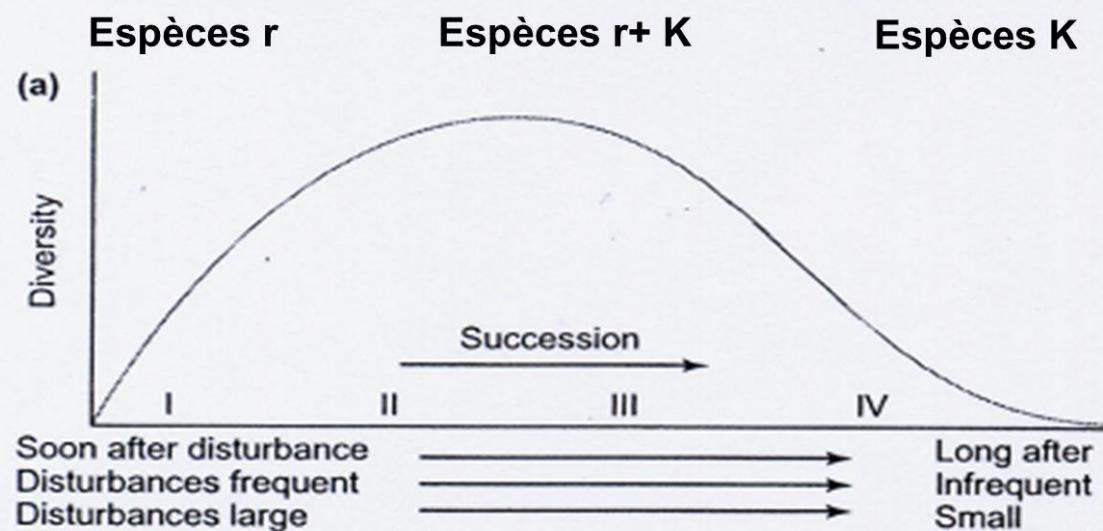
- Mécanisme du type « Disponibilité énergie»
- **Principe :** conditions climatiques idéales pour la croissance en FTH (T° et pluie)
 - Taux de reproduction élevé et taux d'extinction faible, favorise les différenciations génétiques viables
 - L'énergie est capturée, est transformée en matière vivante par unité de temps et d'espace

Temperature corrected rates of individual biomass production



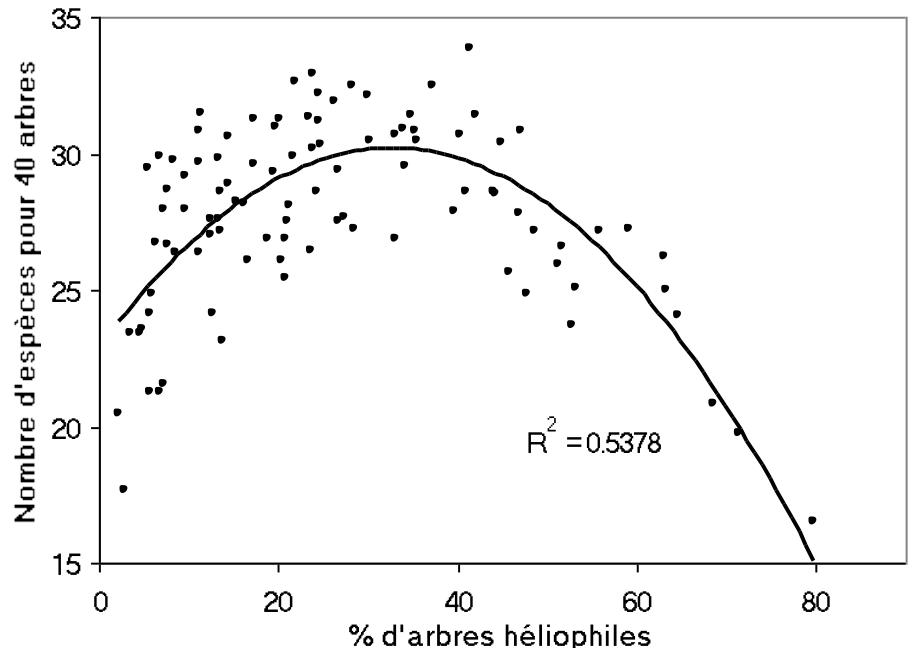
Théories à l'échelle de l'écosystème et des communautés (diversité β et α)

- Le chablis et la théorie des perturbations intermédiaires



Théories à l'échelle de l'écosystème et des communautés (diversité β et α)

- **Le chablis et la théorie des perturbations intermédiaires**



Arbres de 2 à 10 cm de D130

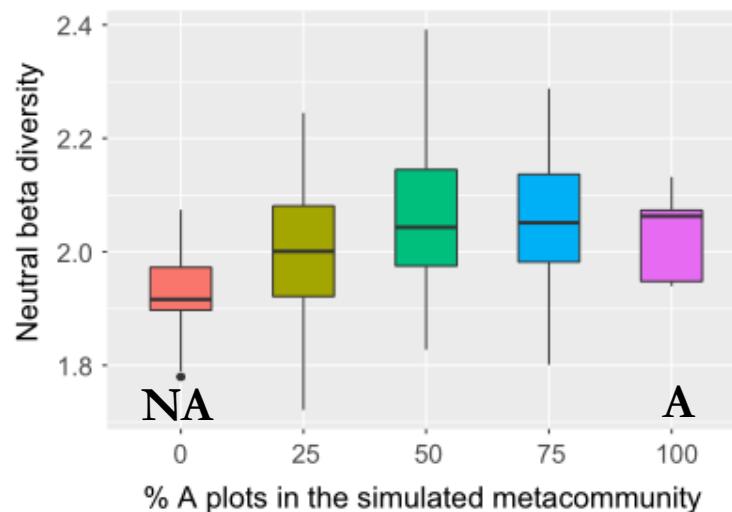
99 cadrats de 400 m² du dispositif de Paracou,

niveau de perturbation estimé par % d'individus héliophiles.

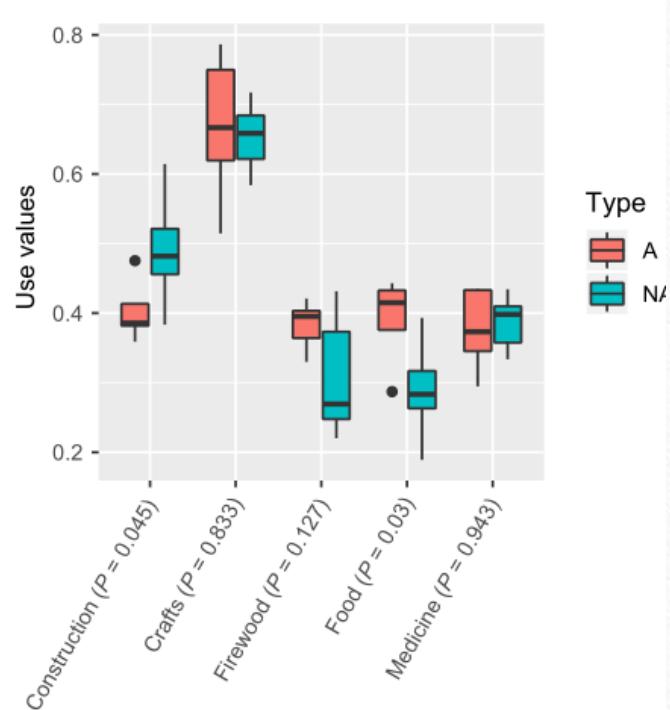
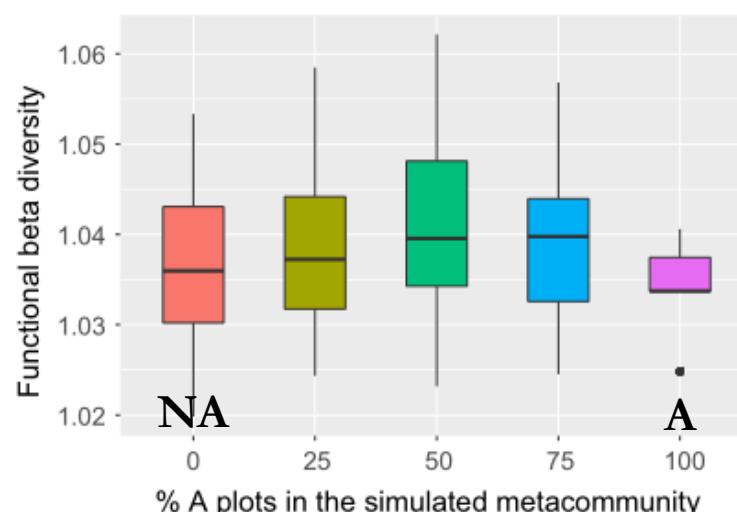
(adapté de Molino & Sabatier 2001).

Théories à l'échelle de l'écosystème et des communautés (diversité β et α)

- Occupation amérindienne ?



A : Anthropisé
NA : Non Anthropisé



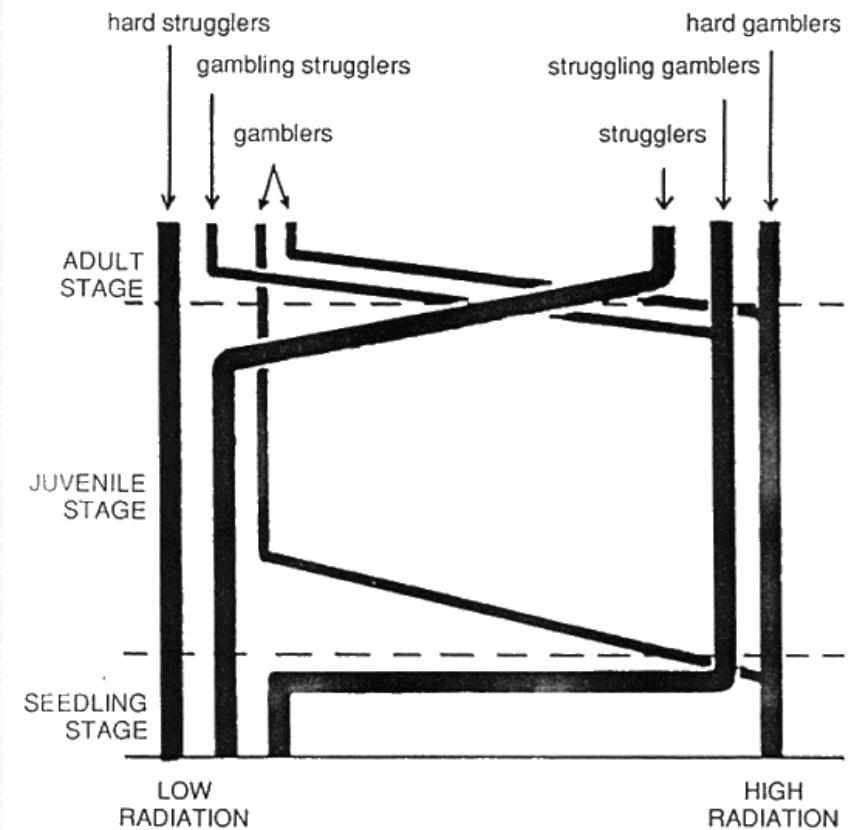
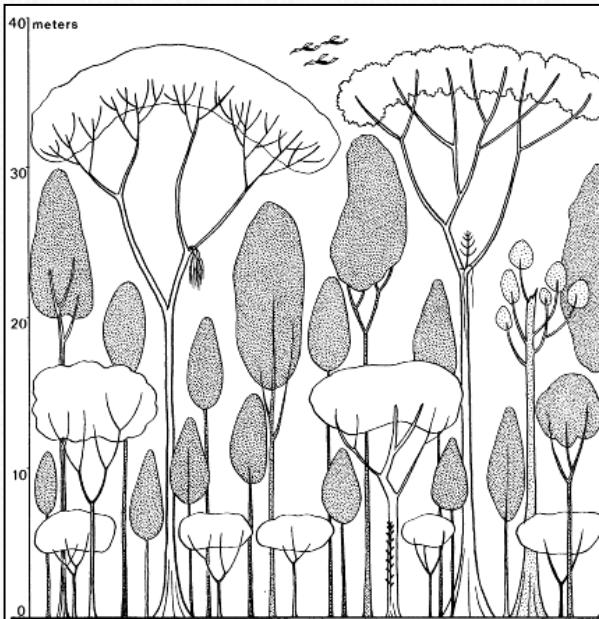
Théorie à l'échelle des communautés et des populations (diversité α)

- **Théories déterministes**
 - Diversité des habitats (2/2)
 - Théorie des niches et « niche packing »
 - La mise à distance (escape hypothesis) – mortalité compensatoire
- **Théories neutres , liées au hasard**
 - Recruitment limitation
 - Loterie de l'installation
 - Les modèles de Hubbell

Théories déterministe : diversité des habitats 2/2

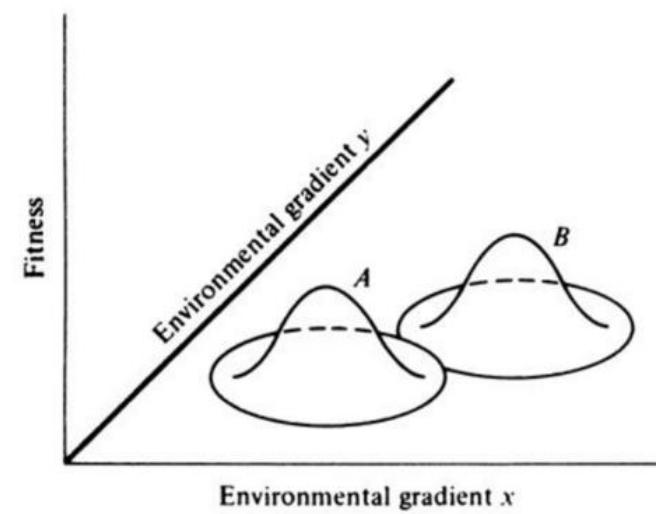
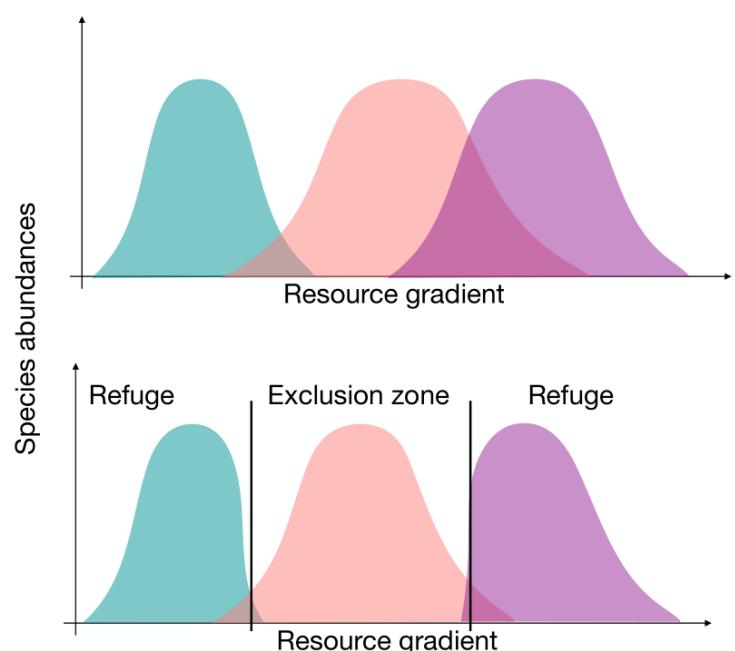
- Mécanisme du type « variation du milieu »
- Principe : structuration verticale des forêts tropicales en strates, engendre une grande diversité des habitats

(d'après Halle,
Oldeman &
Tomlinson 1978)



Théories déterministe : le « niche packing »

- **Théorie de la Niche écologique :** hyper-volume où chaque dimension de l'espace est une ressource de l'environnement (Hutchinson, 1957)

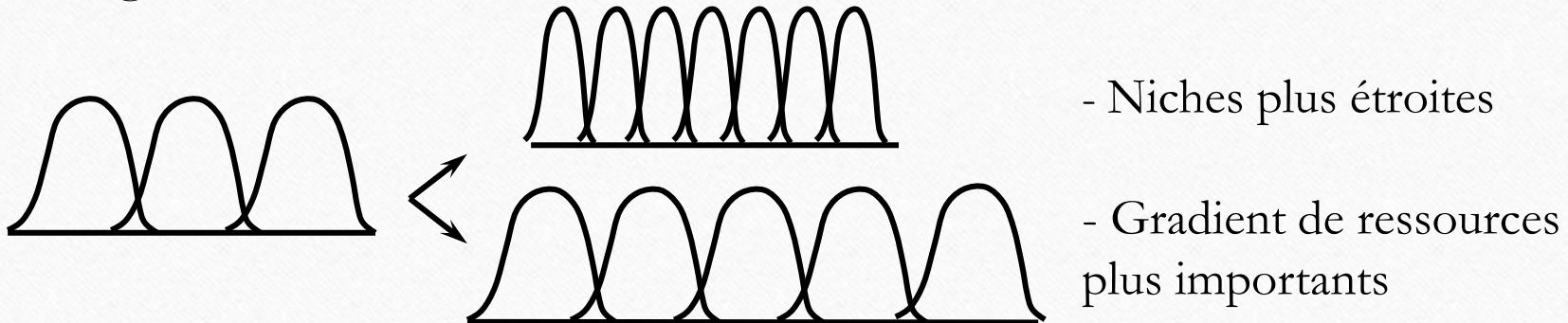


Chaque espèce occupe une niche différente

➔ une espèce est présente car elle est la plus compétitive

Théories déterministe : le « niche packing »

- Mécanisme du type « interaction biotiques »
- Principe : Augmentation diversité dans deux cas



- Argument : hypothèse testable, études probantes en conditions contrôlées et pour espèces pionnières
- Limites : difficultés à décrire une niche, étude pas toujours probantes sous les tropiques

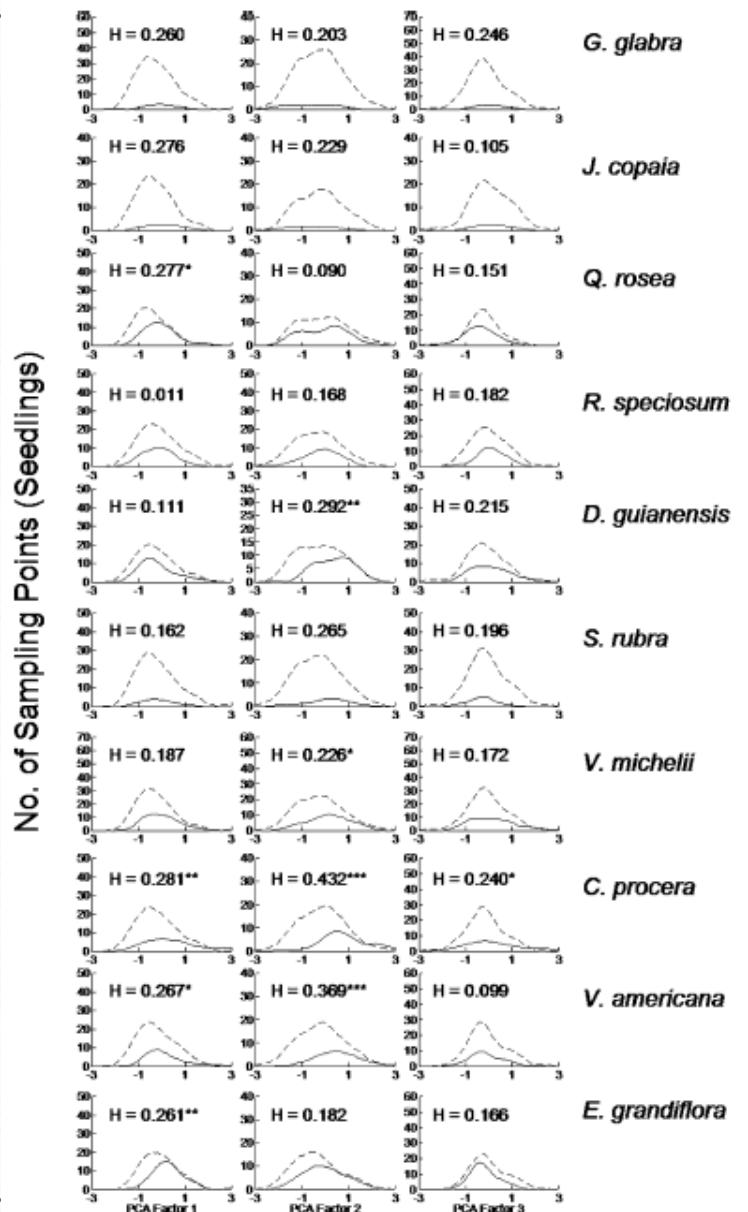
Théories déterministe : le « niche packing »

Suivi de plantules sur 2 années

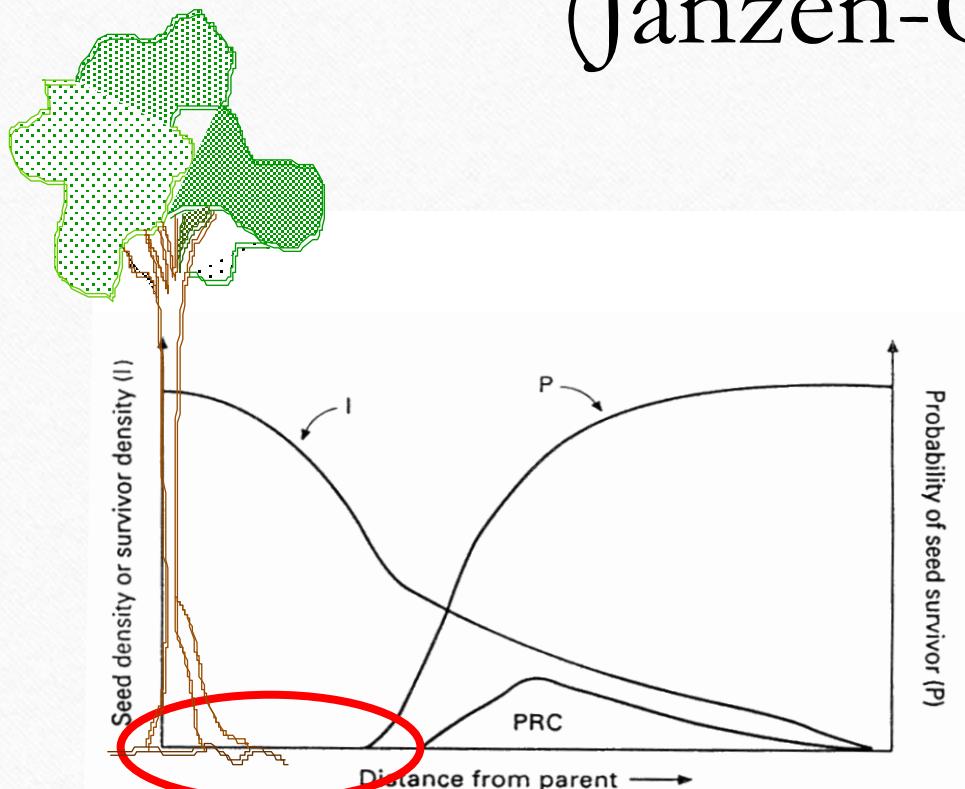
Pas de spécialisation significative des espèces en fonction de trait environnementaux

Remarque : lien entre niche et traits fonctionnels

- Dimension = trait fonctionnel
- Arbre de Guyane : Graine, densité du bois, surface massique foliaire, Hmax



Théories déterministe : La mise à distance (Janzen-Connell 1970-71)



- Mécanisme du type « interaction biotiques »
- Principe : prédation spécifique des graines et semis à proximité des pieds mères (mortalité densité ou distante dépendante)

Espace libéré pour l'installation d'autres espèces, éventuellement moins compétitives

Mécanisme de petite échelle

Théories déterministe : La mise à distance (Janzen-Connell 1970-71)

- **Argument** : testable avec de très (très) nombreuses études probante (Clark et Clark 1984, Hammond et al 1999= dimension spatio-temporelle de la dissémination)
- **Limites** : existence de forêts monodominante, études montrant une répartition aléatoire des semis survivants (Hubbell 1980, Hubbell et al 1990)

Théories neutre : Recruitment limitation (Tilman 1994)

- **Mécanisme du type « interaction biotiques »**
- **Principe :** absence locale de l'espèces compétitive par manque de dispersion, permet à une espèce moins compétitive de s'installer
- **Argument :** hypothèse testable avec des exemples probants (Hubbell *et al.* 1999)

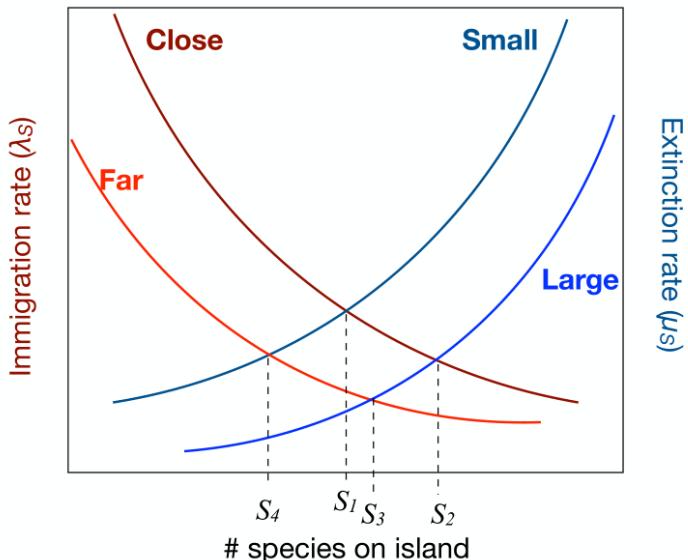
Théories neutre : La loterie de l'installation (Chesson et Warner 1981)

- **Mécanisme du type « interactions biotiques »**
- **Principe :** les fluctuations temporelles de l'environnement permettent à des espèces de devenir temporairement les plus compétitives et donc de s'installer
- **Argument :** intuitif chez les biologistes et modèles mathématiques

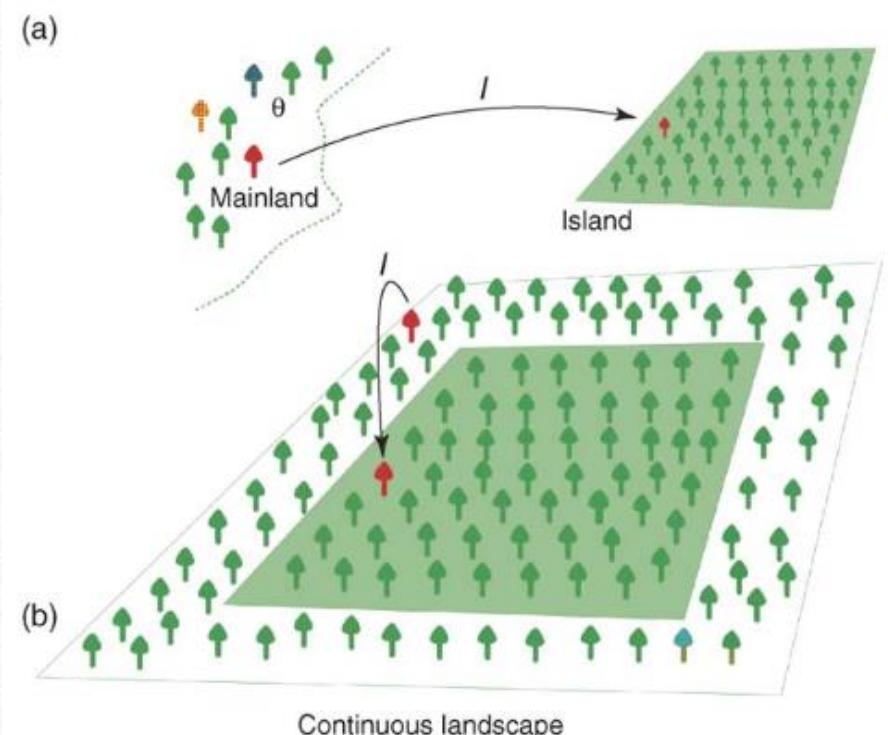
Théories neutre :

Le modèle neutre (Hubbell, 1979) et (1997,2001)

- Mécanisme du type «pas de mécanisme»
- Principe : mise en place des espèces de manière aléatoire en fonction de leur abondance locale

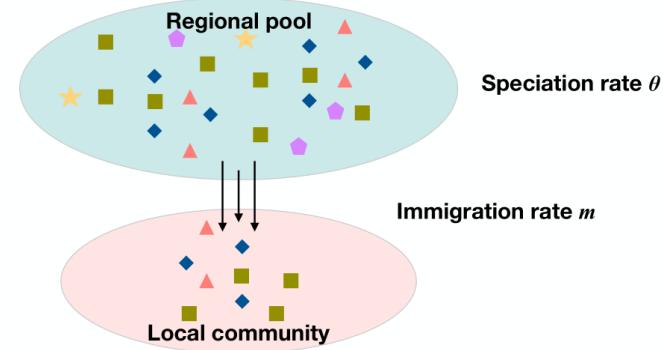


a) Mac Arthur et
Wilson (1974)
b) Hubbell (1979)

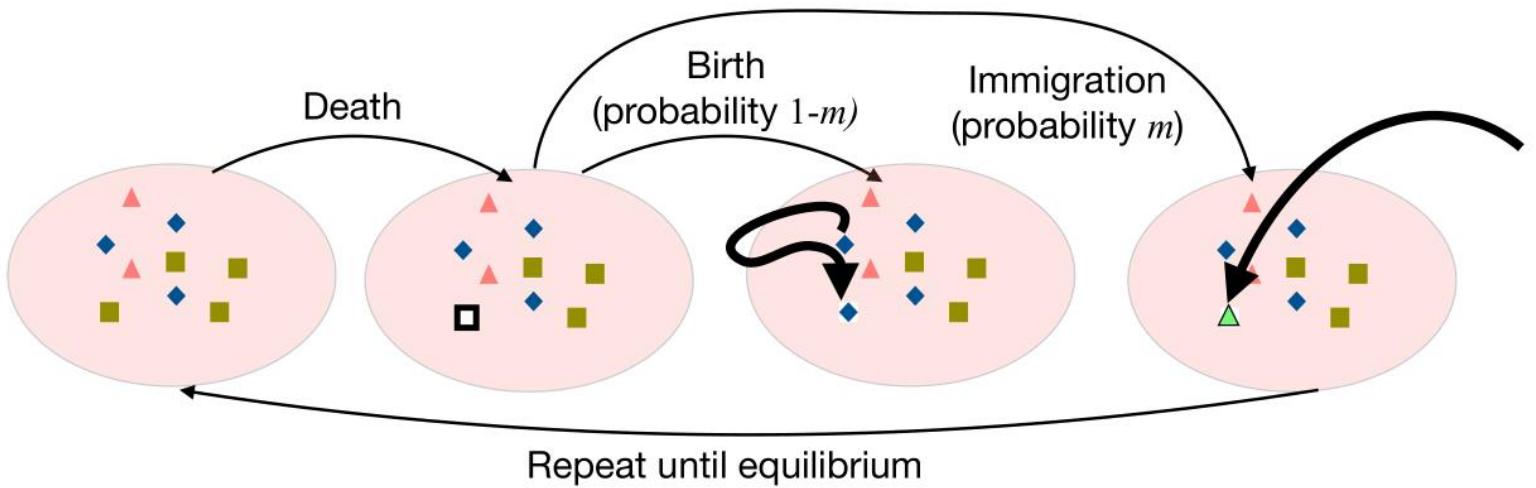


Théories neutre :

Le modèle neutre (Hubbell, 1979) et (1997,2001)



J = number of individuals in the local community
 m = immigration rate

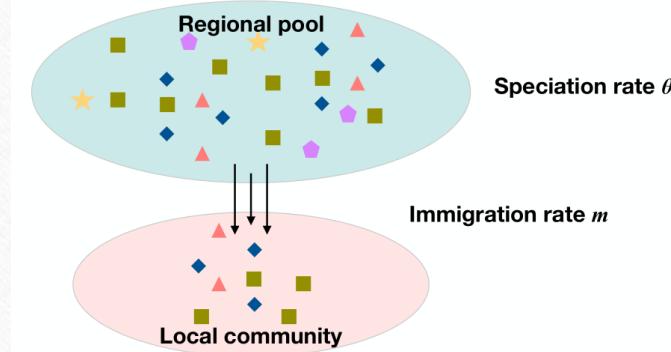


Fundamental dispersal number

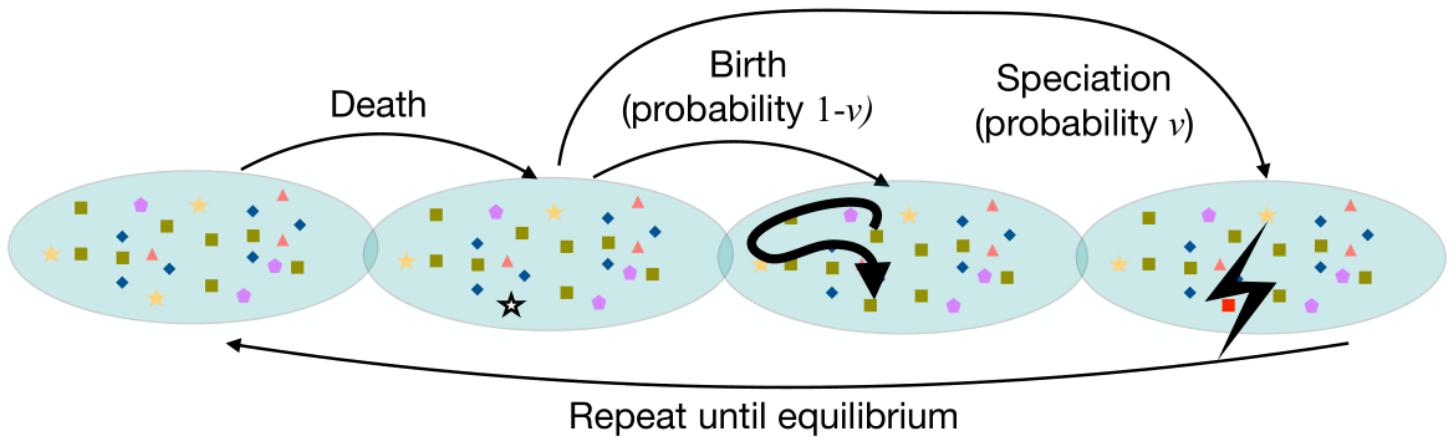
$$I \approx 2Jm$$

Théories neutre :

Le modèle neutre (Hubbell, 1979) et (1997,2001)



J_M = number of individuals in the local community
 v = speciation rate

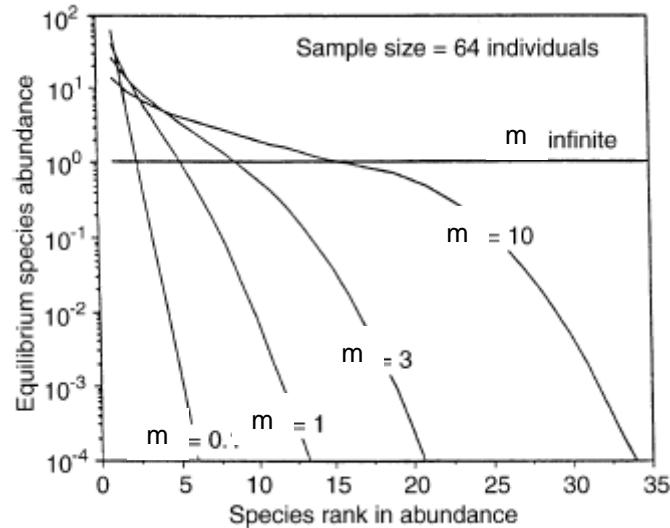


Fundamental biodiversity number
 $\theta \approx 2J_Mv$

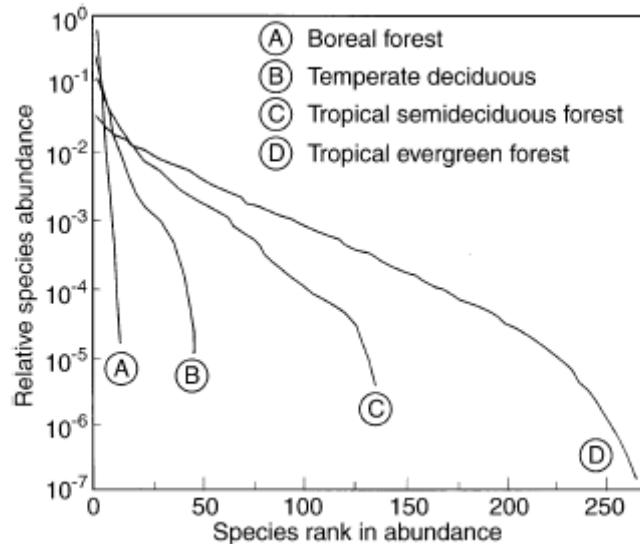
Théories neutre : le modèle neutre de Hubbell

- Arguments : « quantitative fit »

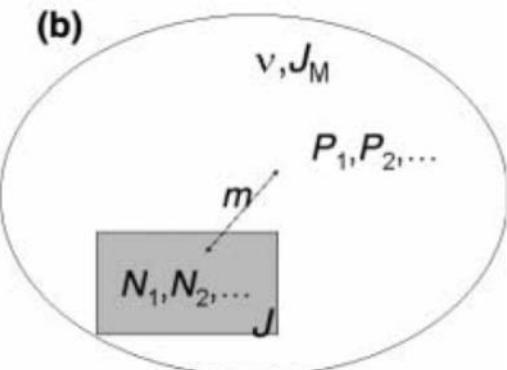
Modèle de 1979



Equilibre des graphes rang- abondance pour un taux de migration (m) donné



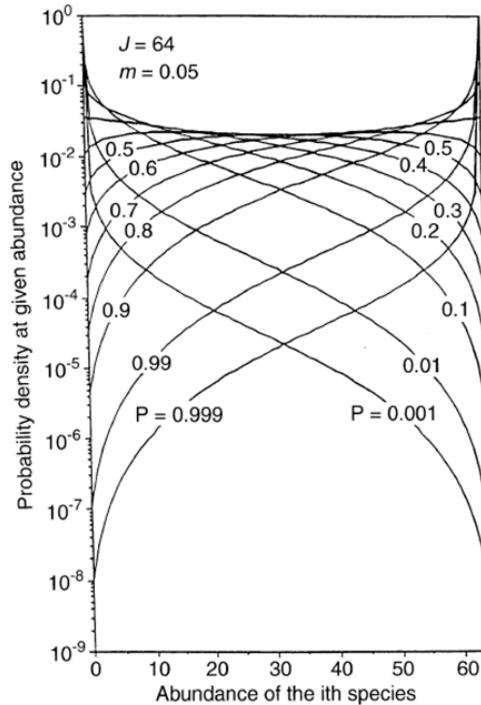
Théories neutre : le modèle neutre de Hubbell



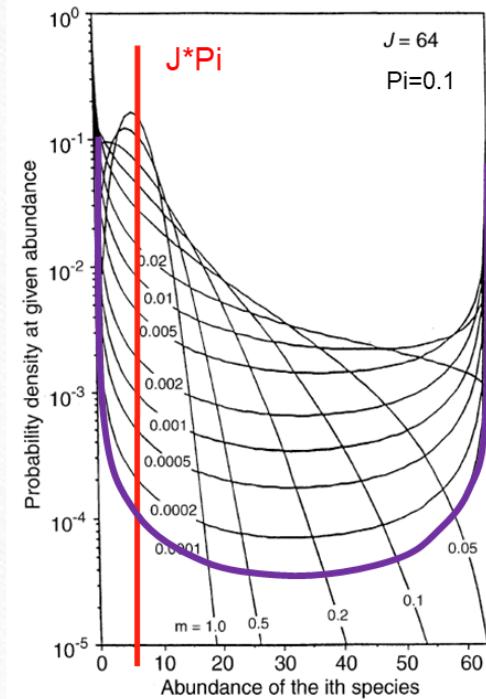
v = metacommunity speciation rate
 m = migration rate
 J_M = number of individuals in the metacommunity
 P_1, P_2, \dots = relative species abundances in the metacommunity

Chave (2004)

Influence de l'abondance dans la méta communauté (P_i)

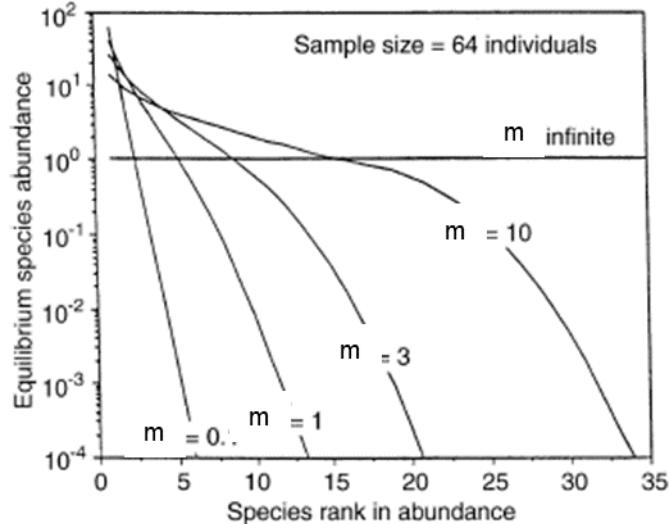


Influence de la limitation de la dispersion (m)

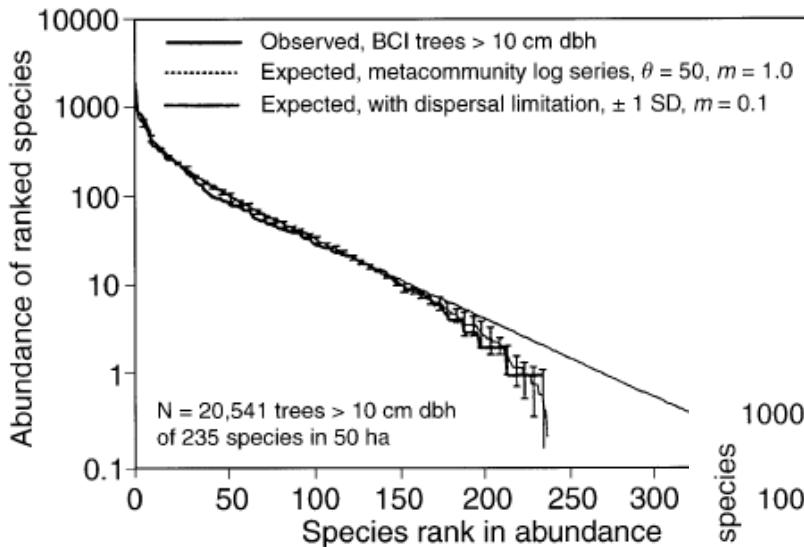


Nombre fondamental de biodiversité d'une métacommunauté = alpha de Fisher: $\theta = J_m * v * 2 = \alpha$ pour $S = \alpha * \ln(n)$

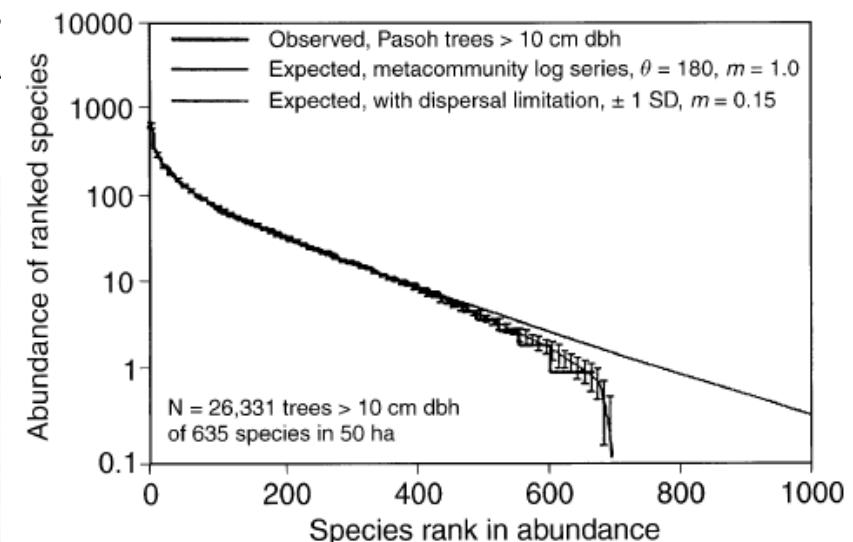
Théories neutre : le modèle neutre de Hubbell



Modèle de 1979



Modèle de 1997



Théories neutre : le modèle neutre de Hubbell

- De lourdes conséquences ...théoriques
 - Tous les individus ont la même fitness
 - Pas de lien entre fonctionnement et diversité
 - Community drift (\approx dérive génétique)
 - Un lourd débat scientifique
- limites :
 - C'est un bon modèle , mais un modèle faux (Hubbel 1997)
 - Etudes à grande échelles mettent le modèle en défaut (Terborg et al 1996)

Forêt à l'équilibre

Théorie de la niche

Théorie de Janzen-Connell

Forêts non à l'équilibre

Processus stochastiques

(recruitment limitation)

Perturbation intermédiaire

Vers une « réconciliation » des théories déterministes et stochastiques



Trièves valley, Rhône-Alpes, France

Ecology Letters, (2004) 7: 601–613

doi: 10.1111/j.1461-0248.2004.00608.x

REVIEW

The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology

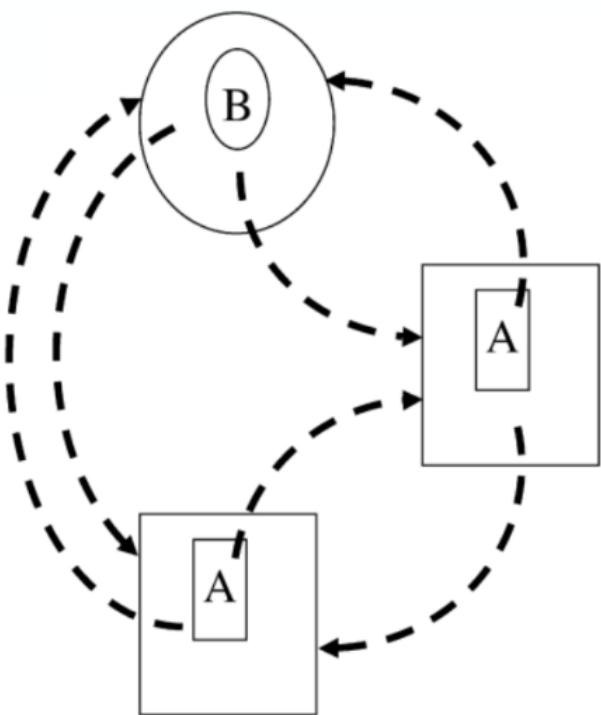
M. A. Leibold,^{1*} M. Holyoak,²
 N. Mouquet,^{3,4} P. Amarasekare,⁵
 J. M. Chase,⁶ M. F. Hoopes,⁷
 R. D. Holt,⁸ J. B. Shurin,⁹ R. Law,¹⁰
 D. Tilman,¹¹ M. Loreau¹² and
 A. Gonzalez¹³

Paysage de communautés connectées par la dispersion → métacommunautés

Les 4 paradigmes des métacommunautés

Le paradigme de la répartition des espèces (Species-sorting paradigm SS)

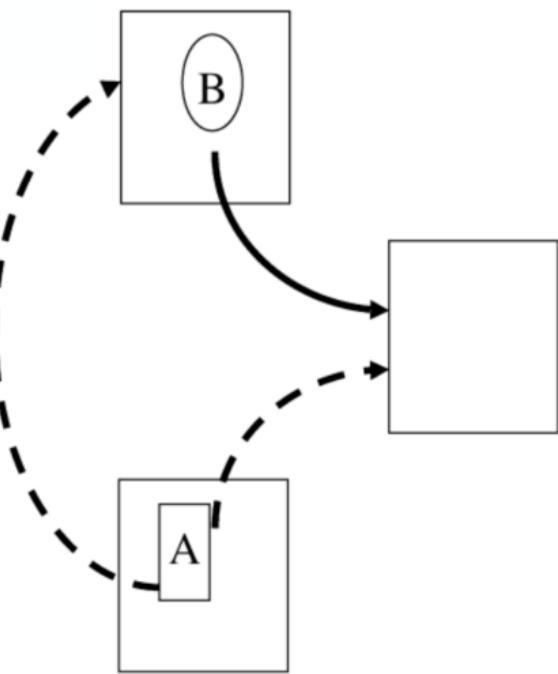
Les patch locaux sont hétérogènes pour leur conditions environnementales et déterminent l'issue des interactions spécifiques



- Dispersion non limitée; succès de colonisation d'un patch par une espèce :
~ fct préférences abiotiques & de la concurrence
- La distribution/ abondance des espèces et la dynamique de la communauté est déterminé par les condition environnementales locales

→ Théorie des niches

Les 4 paradigmes des métacommunautés

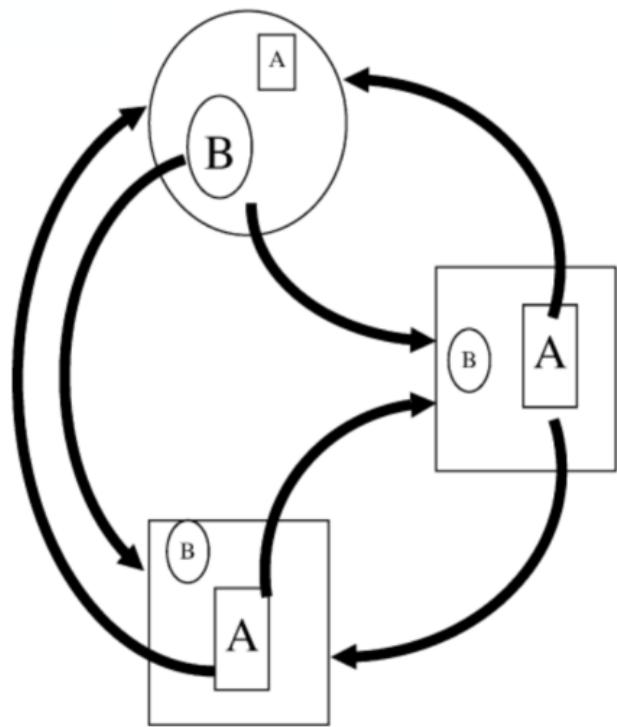


Le paradigme de la dynamique par patch (Patch-Dynamic PD)

Multitude de patches identiques soumis à des extinctions stochastiques & déterministes, affectés par les interactions interspécifiques et contrebalancé par la dispersion

- A meilleur compétiteur que B mais Best mieux colonisateur donc un 3 ème patch peut être colonisé par les deux.
 - Compromis des capacités colonisation-compétition ~proche de la théorie des niches
- Environnements perturbés

Les 4 paradigmes des metacommunautés



Le paradigme de l'effet de masse (Mass-Effect ME)

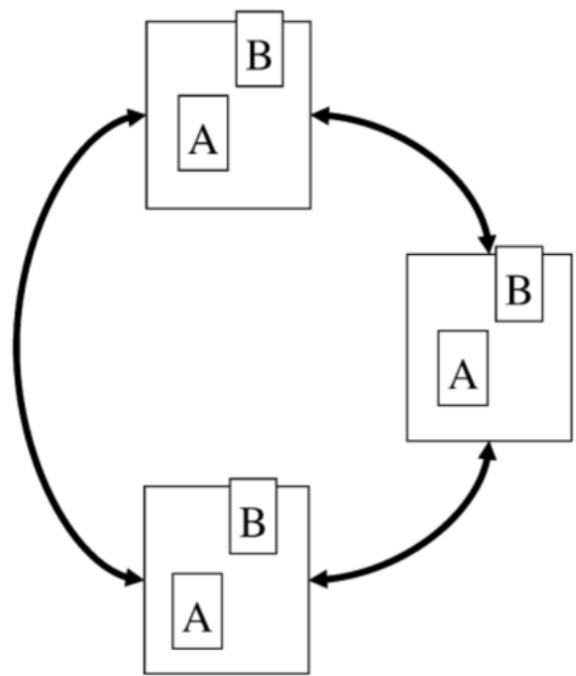
Multitude de patches differents avec des espèces vouées déterministiquement à disparaître mais qui est contrebalancé par la dispersion

- Les espèces localement dominantes peuvent occuper des sites de qualité basse par une forte capacité de dispersion
- Dynamique source-puit, en lien avec la théorie des niches

Les 4 paradigmes des metacommunautés

Le paradigme neutraliste (NM)

Les espèces sont équivalentes dans leurs préférences abiotiques, leur démographie et leur capacité de dispersion



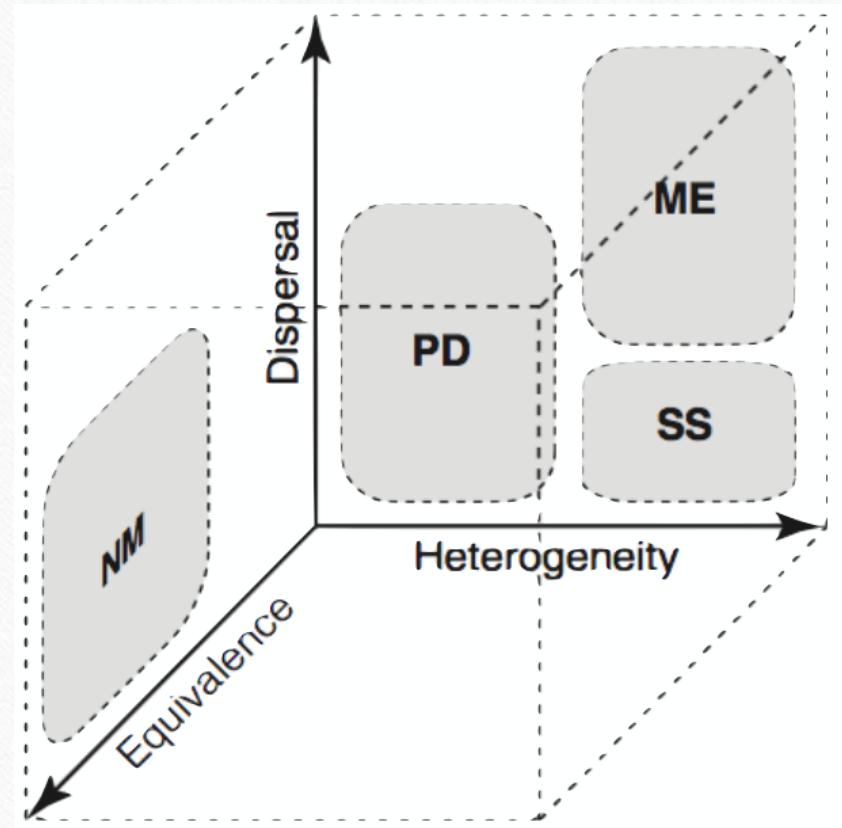
- Toutes les espèces peuvent être présentes dans tous les patches; la plupart des espèces pourront graduellement disparaître mais la spéciation et l'immigration compensent l'extinction
- La distribution/abondance des espèces et la dynamique de la communauté est déterminée par la balance entre immigration/extinction

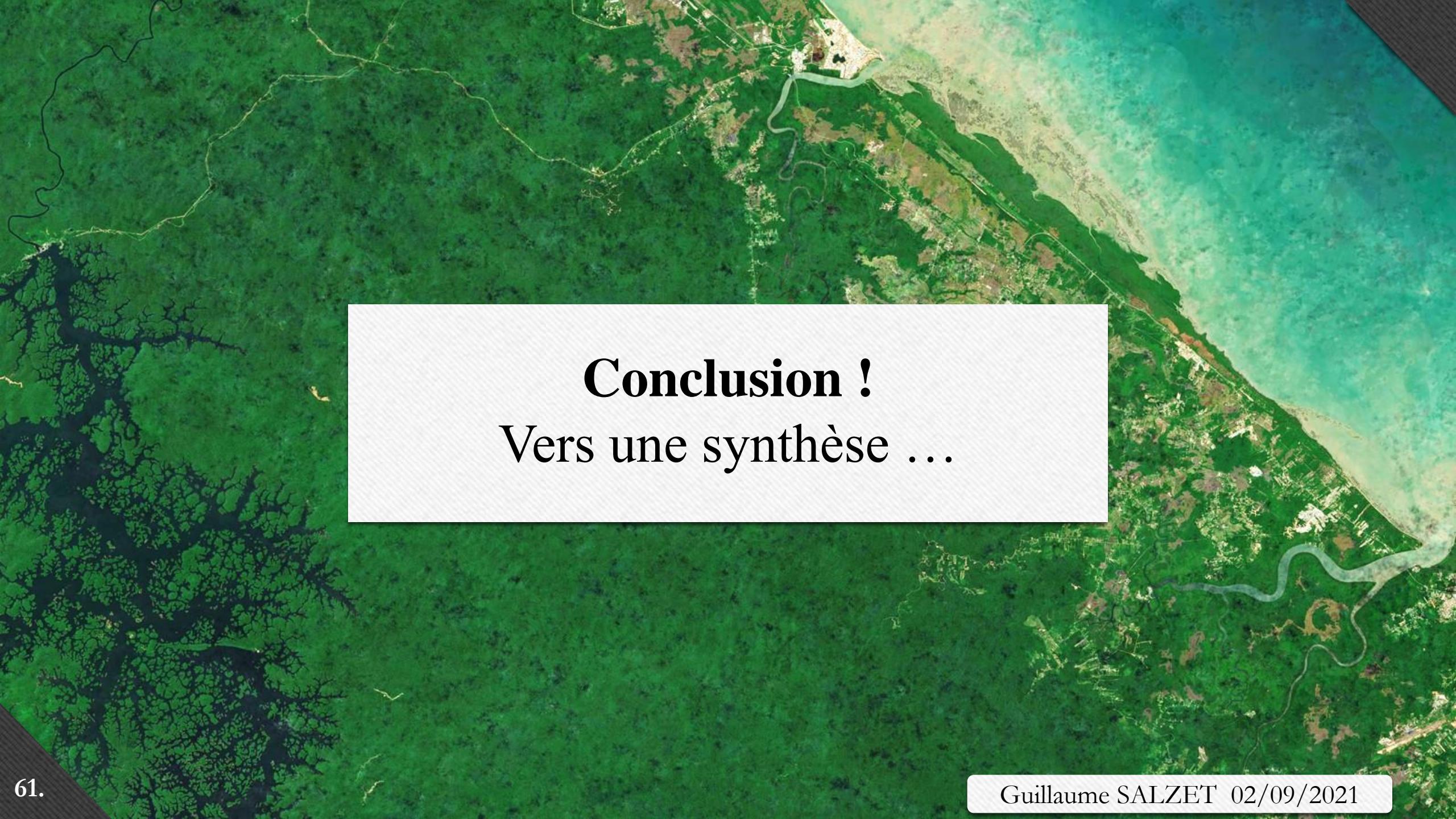
→ Théorie neutre

Les 4 paradigmes des metacommunautés

- Le maintien régional (et les 4 paradigmes) dépendent de :
 - La force des interactions locales
 - L'importance de la dispersion entre les zones
 - Les patrons de la dynamique spatiale

→ Equilibre entre les processus régionaux et locaux

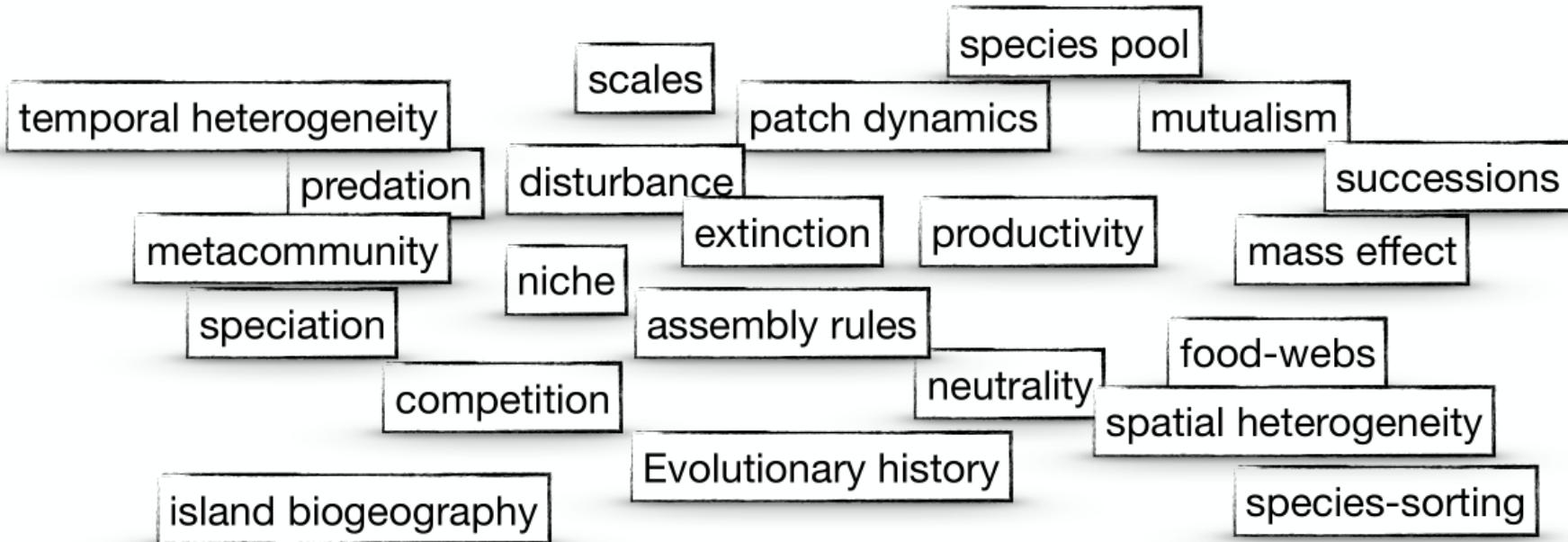




Aerial satellite image of a tropical forest landscape. The left side shows dense green forest with a complex network of black drainage canals. The right side features a winding river flowing into a coastal area with lighter green and brown land, indicating human impact or different vegetation types.

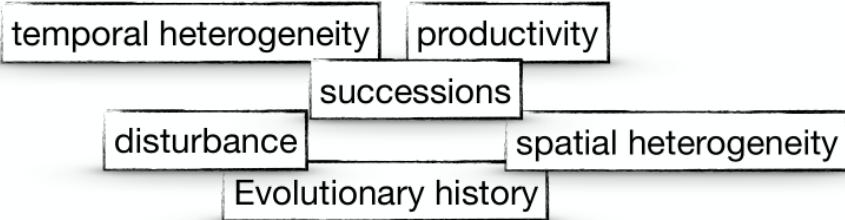
Conclusion !
Vers une synthèse ...

Des idées en pagailles ...

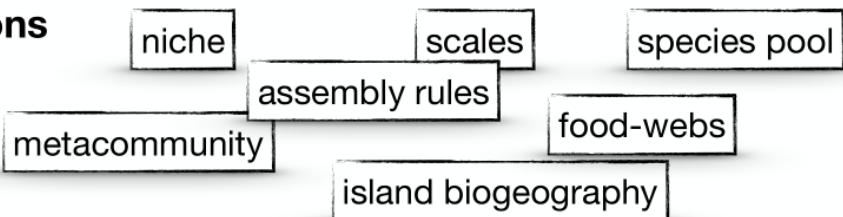


Que l'on peut classer en catégories !

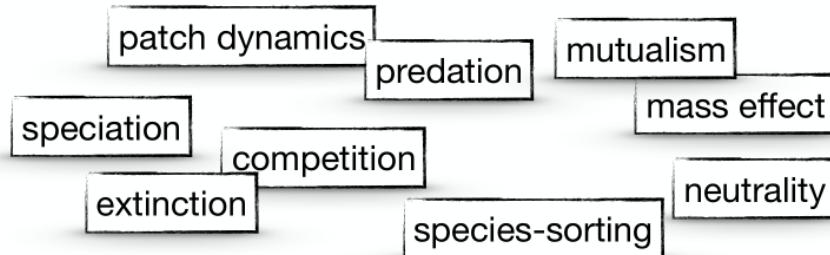
Patterns



Concepts/Considerations



Processes



Une synthèse conceptuelle des processus

- 4 fundamental processes

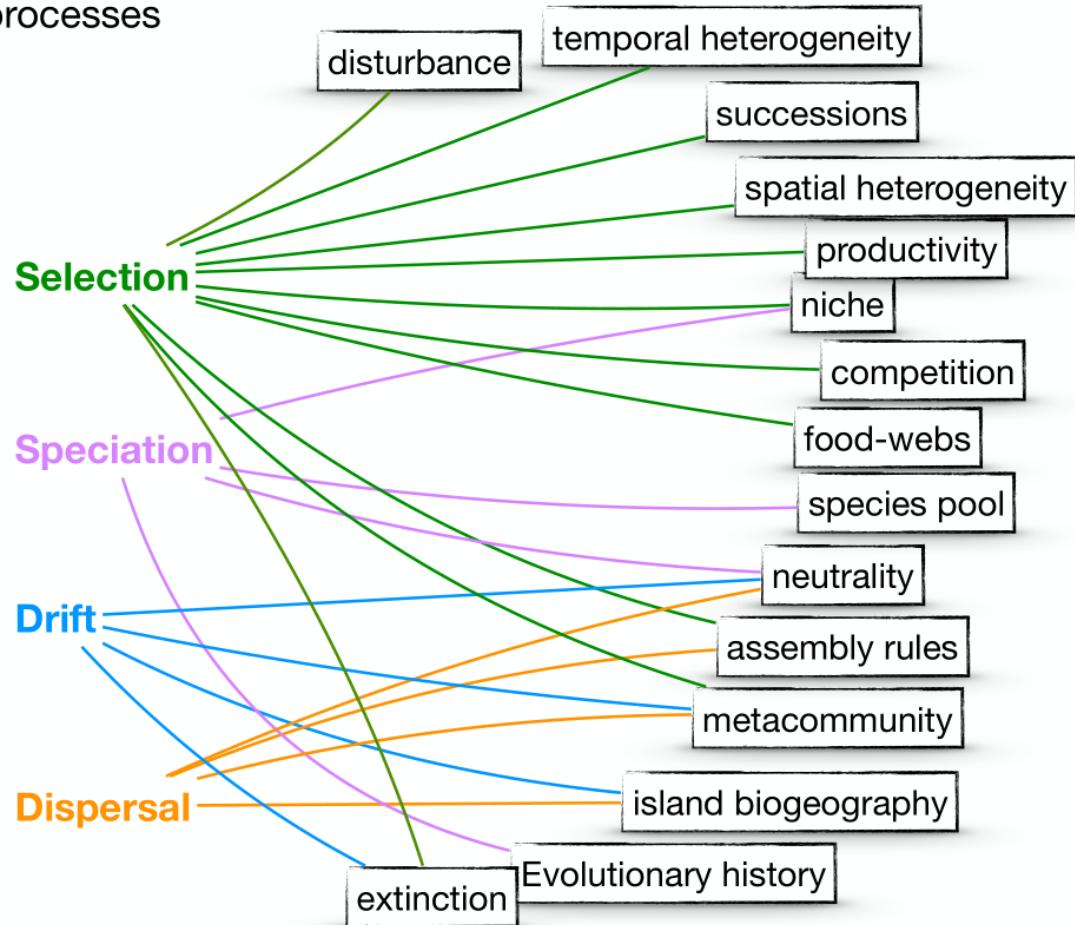
(parallel with
population genetics)

Selection

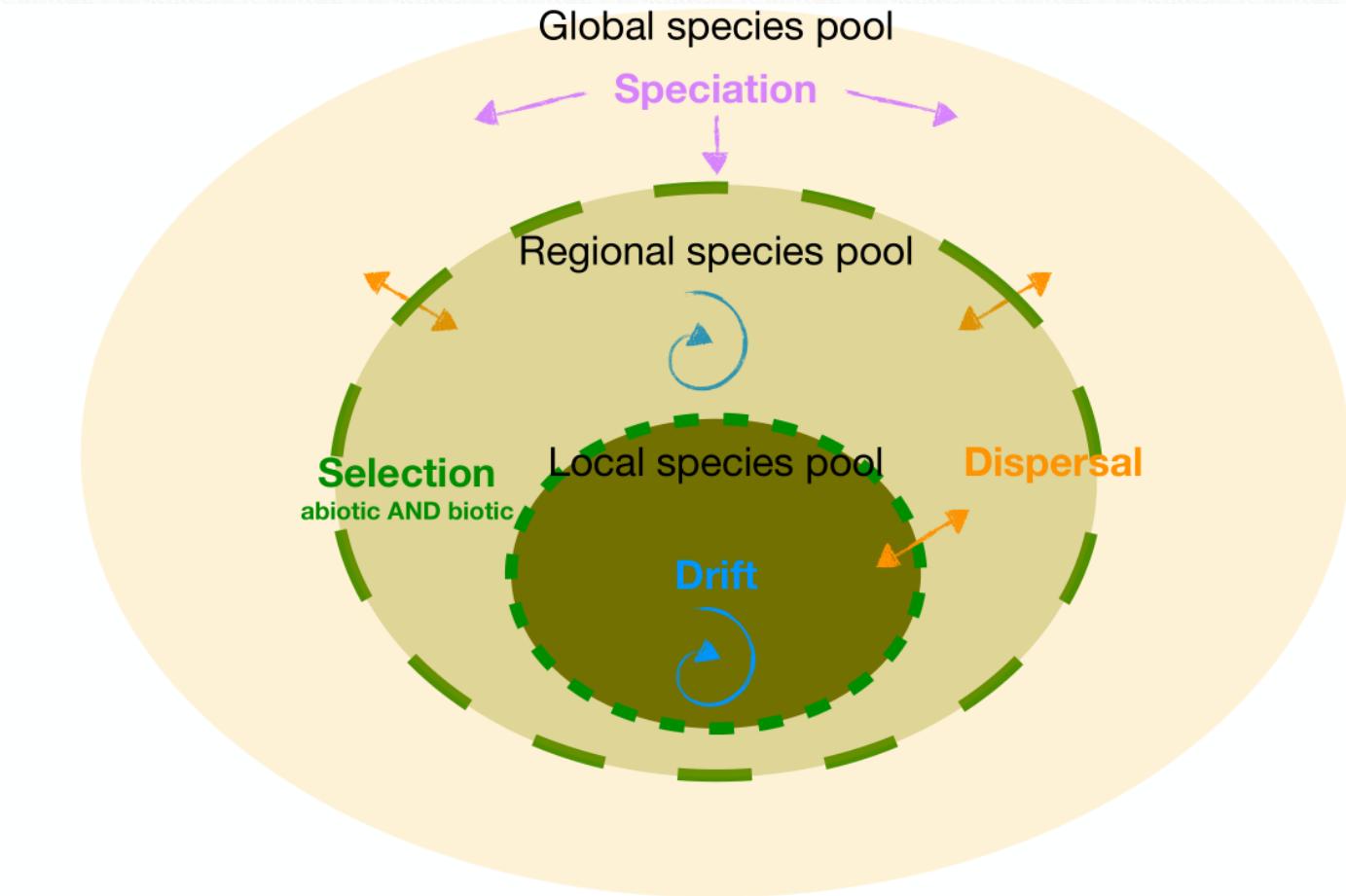
Mutation

Drift

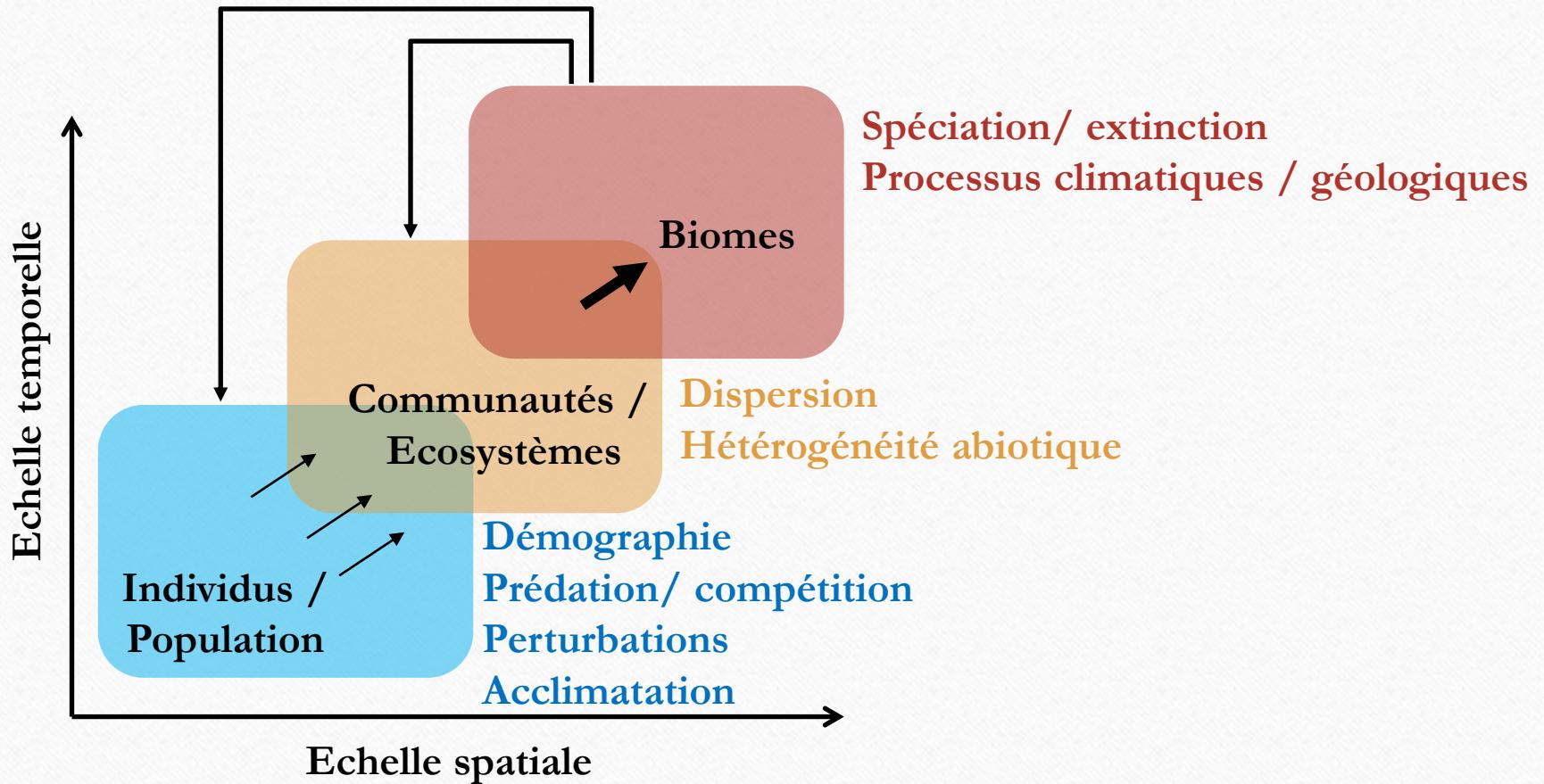
Migration



Une synthèse conceptuelle des théories



Une synthèse conceptuelle des théories





Merci de votre attention.

Guillaume SALZET
PhD Student in Tropical Forest
Bioeconomics
UMR BETA & UMR EcoFoG
guillaume.salzet@inrae.fr



