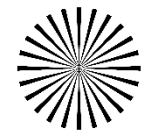


COLLÈGE
DE FRANCE

— 1530 —

Ecologie fonctionnelle des paysages

Sandra LAVOREL
Chaire annuelle
Biodiversité et écosystèmes



Fondation
Jean-François
de Clermont-Tonnerre



Définition des paysages

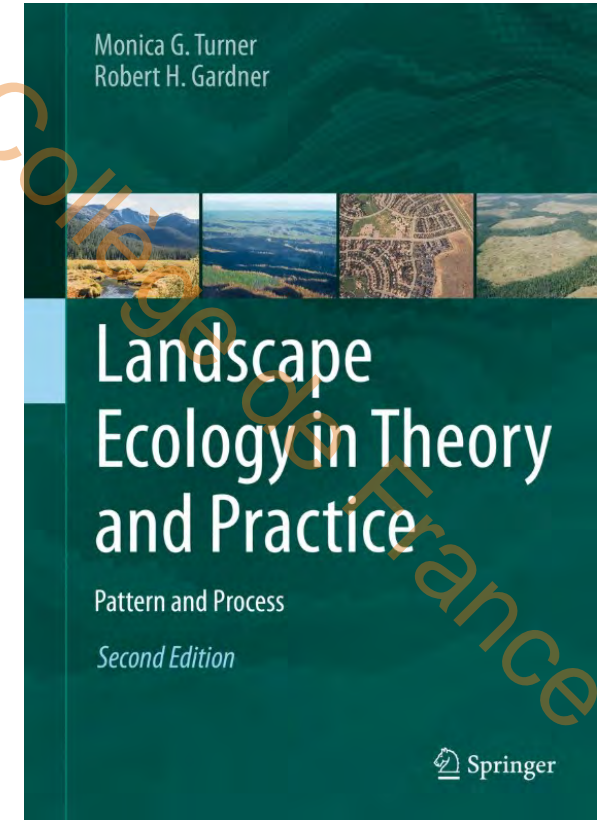
- Unités écologiques (dizaines à centaines km²)
 - Facteurs biophysiques et usage des terres
 - Variabilité spatiale et temporelle
 - Mosaïque de parcelles (forêt, culture, prairie, zone humide...).
- Parcelle : unité homogène



Ecologie du paysage

Description des patrons spatiaux des paysages et compréhension des processus qui déterminent leur biodiversité et leur fonctionnement

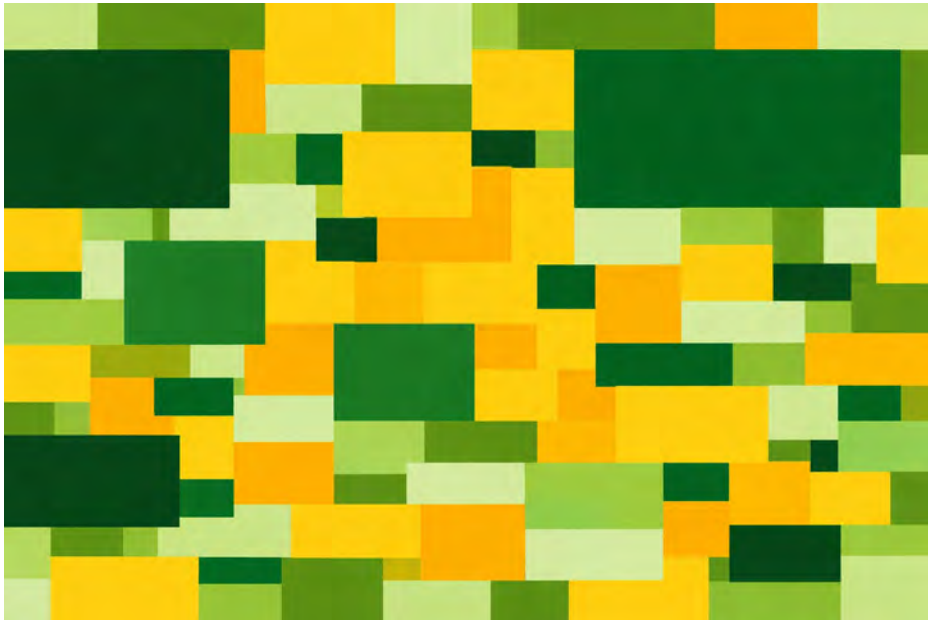
1. **Hétérogénéité spatiale**: diversité de parcelles d'un paysage avec différents types d'écosystèmes et d'usages des terres
2. **Dynamique**: cette hétérogénéité change constamment sous l'influence de facteurs écologiques, dont les perturbations naturelles comme les incendies et les inondations, et des activités humaines
3. **Interactions** entre la configuration spatiale et les processus écologiques
4. Processus à de **multiples échelles** (organismes - parcelles d'écosystèmes – paysage) façonnant les structures et dynamiques paysagères



Ecologie fonctionnelle du paysage

- Etude des patrons et des processus de réponse et d'effets de la structure du paysage sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes.
- **Processus basés sur les traits fonctionnels des espèces** déterminant :
 - la variabilité spatiale et les valeurs à l'échelle du paysage de la biodiversité et des processus écosystémiques
 - leurs évolutions temporelles

Composition du paysage

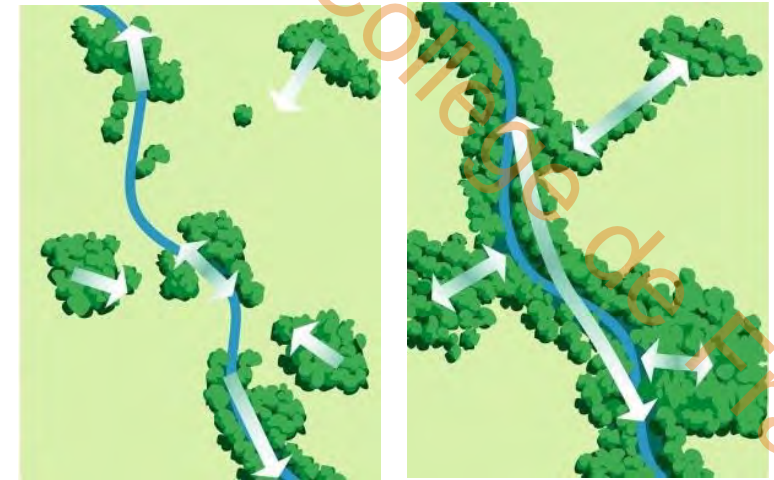


- Types d'écosystèmes
- Quantités relatives
- Distribution de taille des parcelles

Université de France

Configuration du paysage

- Agencement spatial
- Connectivité
- Corridors



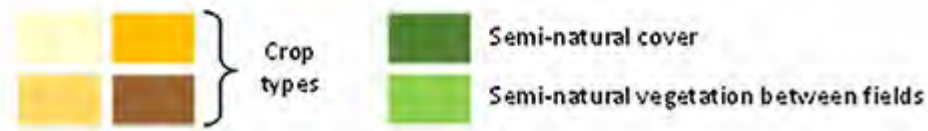
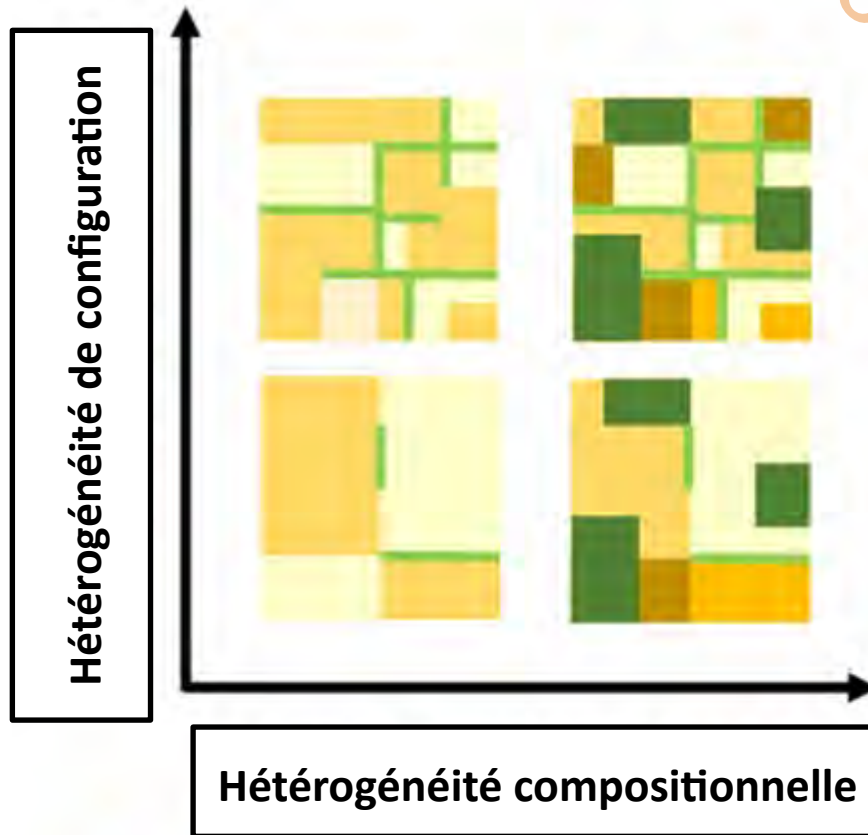
Hétérogénéité du paysage

Indices de variabilité spatiale

Distribution de taille

Maille spatiale

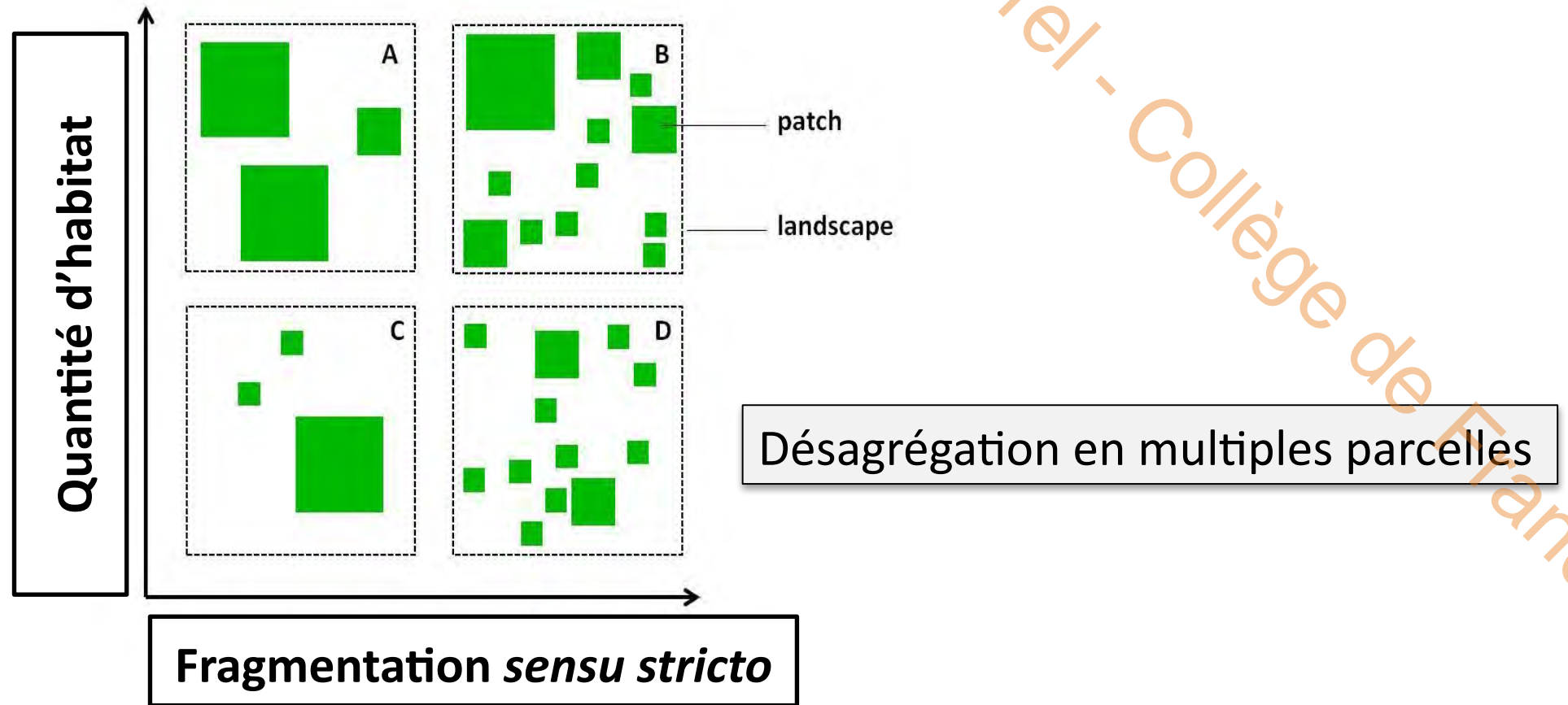
Distances de voisinage



Variance de la composition

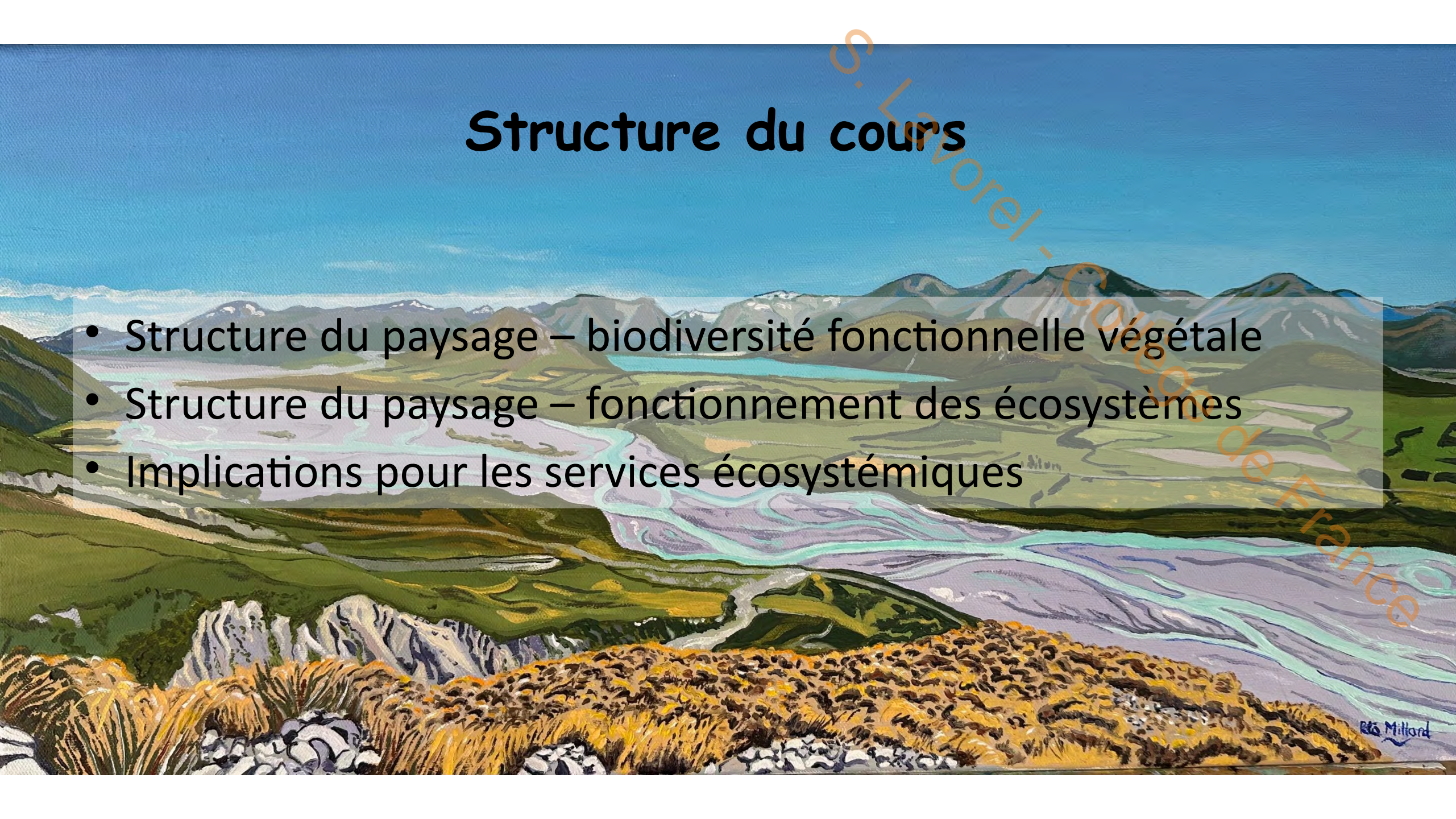
Indices de diversité

Fragmentation du paysage



Structure du cours

- Structure du paysage – biodiversité fonctionnelle végétale
- Structure du paysage – fonctionnement des écosystèmes
- Implications pour les services écosystémiques



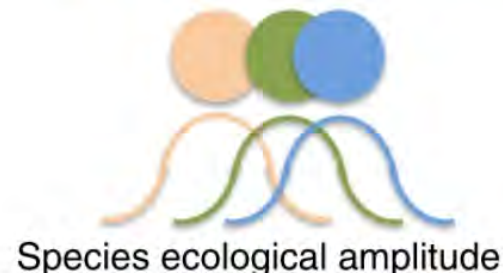
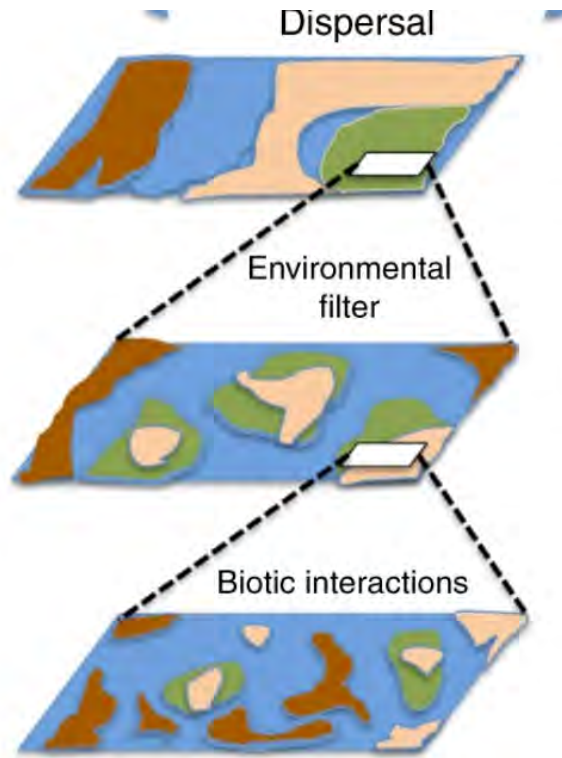
Etia Millard

Réponses fonctionnelles à la composition du paysage

Abiotic drivers of community structure operate on large scale, landscape to regional (climate, topography)

Structure driven by plot, field, local abiotic drivers

Structure driven by fine scale abiotic drivers (microclimate)



Pool d'espèces présentes

Distribution selon les habitats

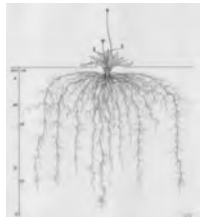
Hétérogénéité intra-parcellaire et interactions biotiques

Figure d'après Caruso, T. et al. (2019) Nematodes in a polar desert reveal the relative role of biotic interactions in the coexistence of soil animals. *Commun Biol* 2, 63

Traits de réponse aux facteurs physico-chimiques de l'environnement



Température +

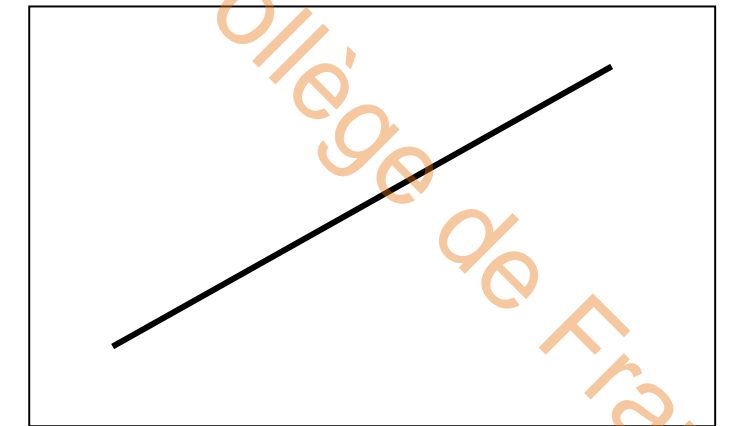


Taille des feuilles, N, P +

Fibres / matière sèche +

- Fertilité des sols +

Trait fonctionnel

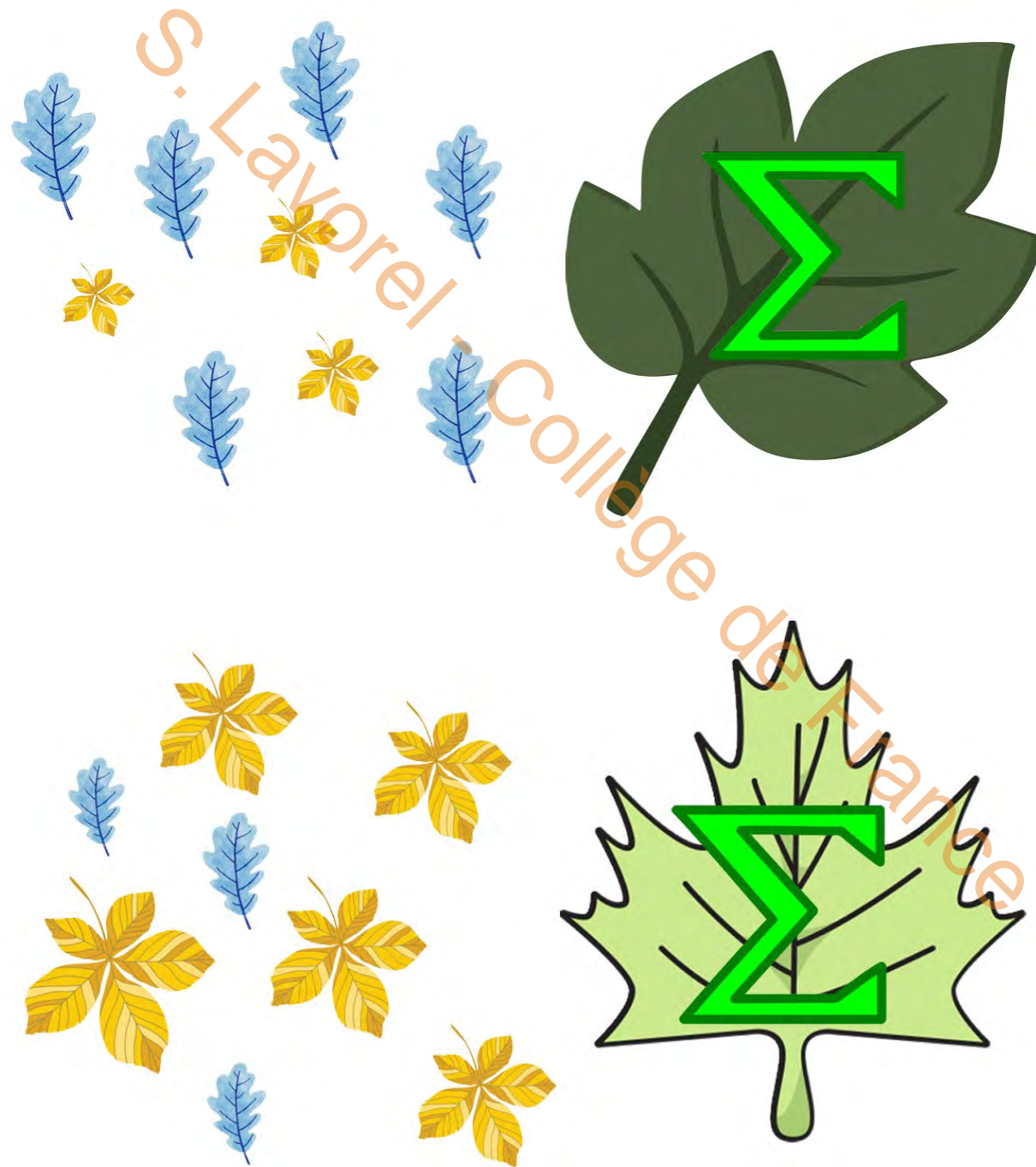


Variable environnementale

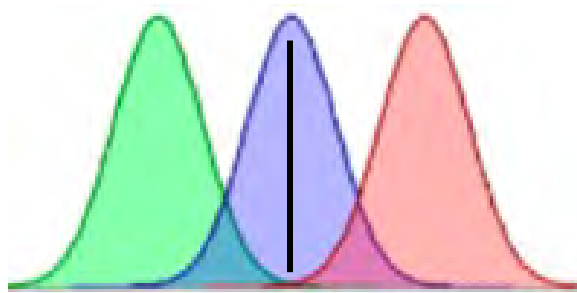
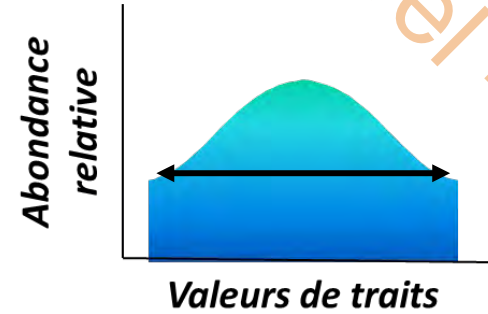
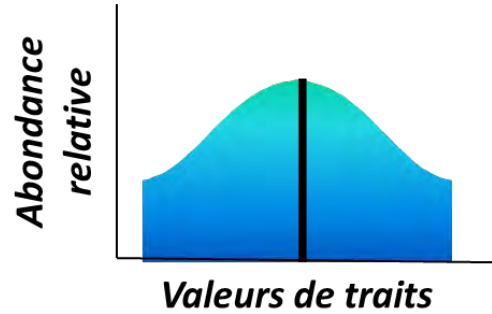
S. Travairel - Collège de France

Diversité fonctionnelle

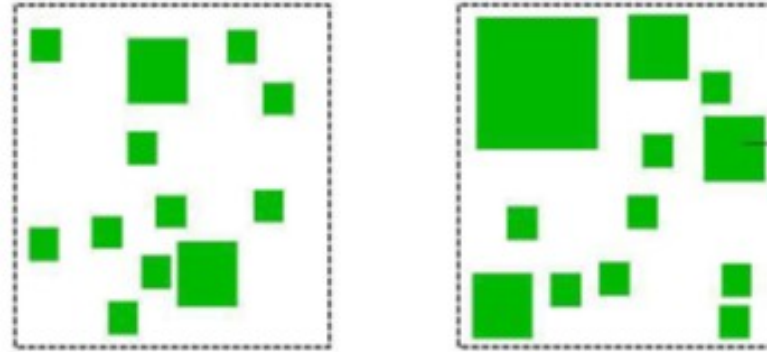
Moyenne pondérée des traits = $\sum_{i=1}^n p_i * trait_i$



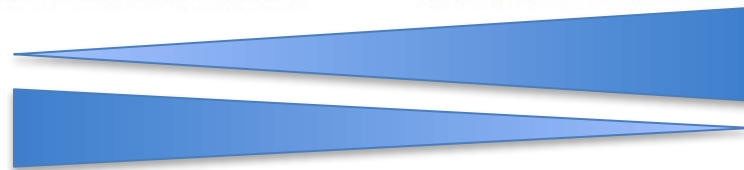
Diversité fonctionnelle - variance des traits



Effets de la quantité d'habitat



Variabilité environnement

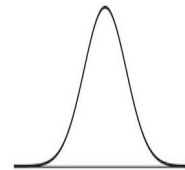
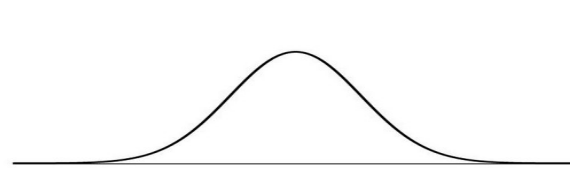
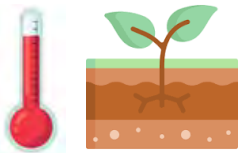


Quantité habitat
Taille populations

DEMOGRAPHIE



NICHE
ENVIRONNEMENTALE



NICHE
BIOTIQUE



SENSIBILITE
PERTURBATIONS

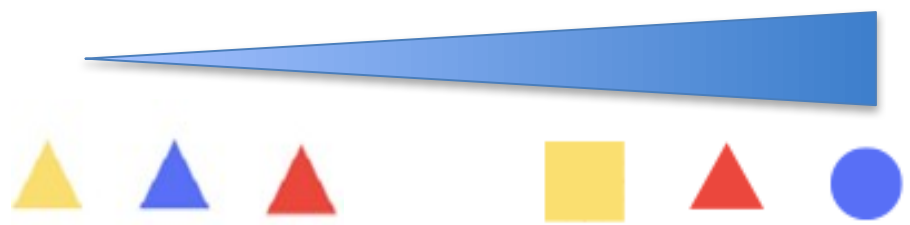
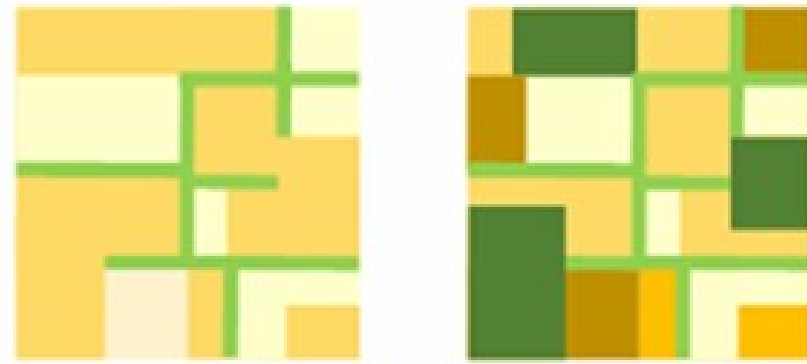


-

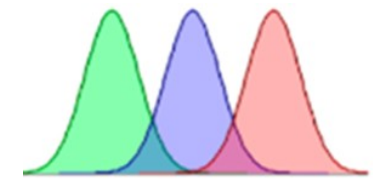
+

Lavorel - Collège de France

Effets de l'hétérogénéité compositionnelle : Diversité des habitats

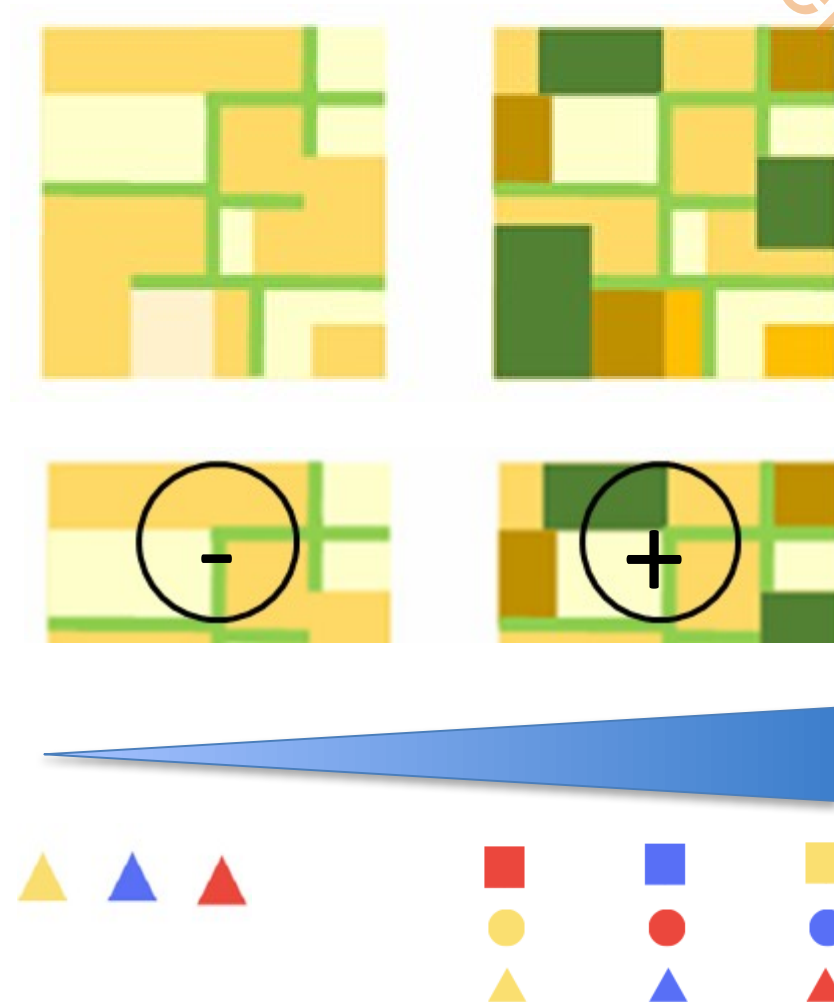


Richesse fonctionnelle



S. J. Vorel - Collège de France

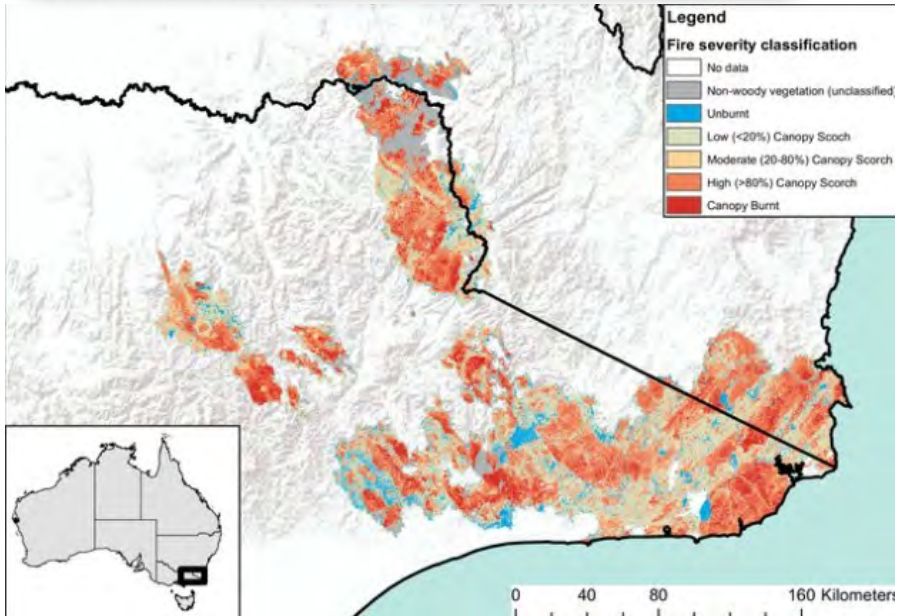
Effets de l'hétérogénéité compositionnelle : Diversité des voisinages



Hétérogénéité locale
Flux d'espèces

S. Lauréol - Collège de France

Hétérogénéité des perturbations

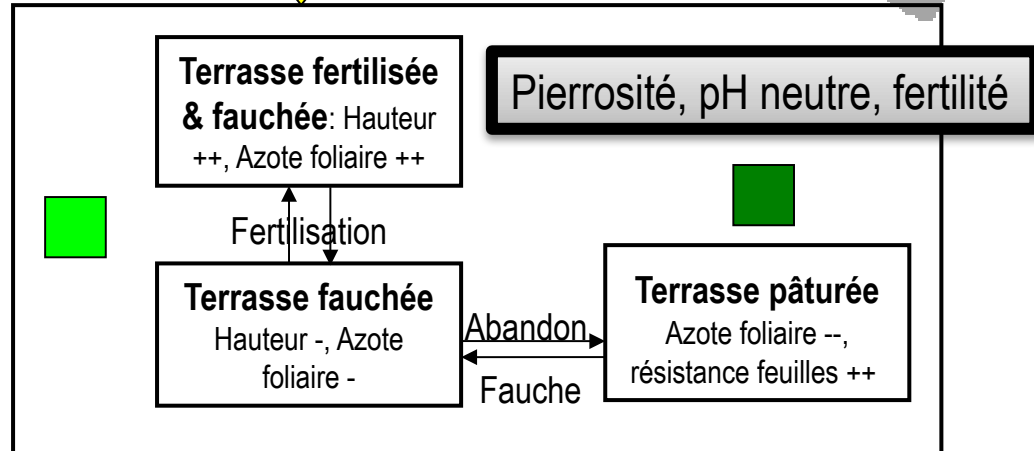
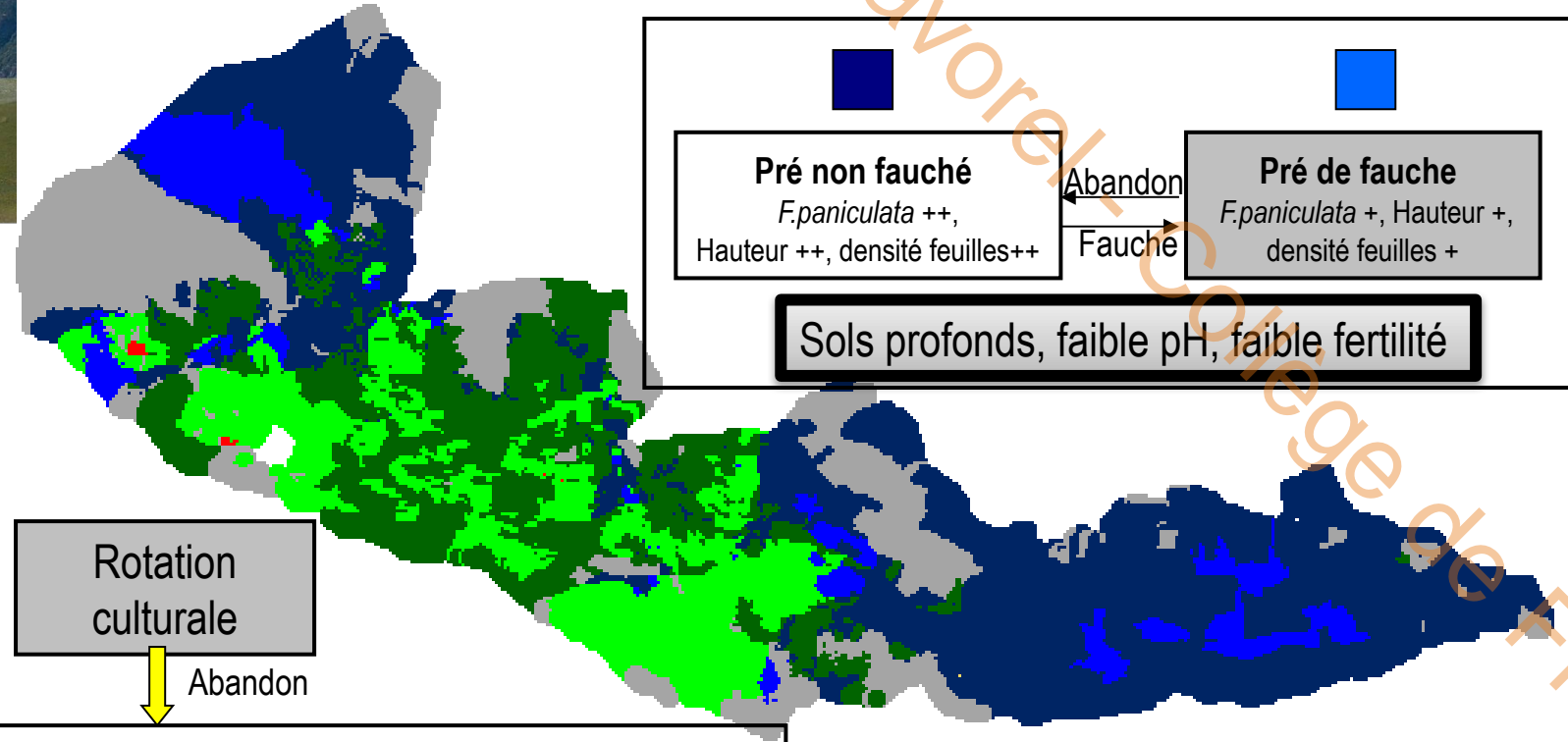
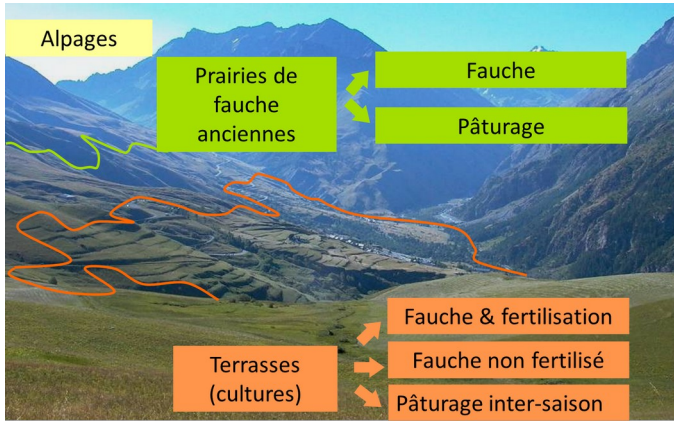


Carte: Geary WL et al. (2022) *Diversity and Distributions* 28:463–478

1 Few signs of burning (Mean 5.84, SD 0.89)	2 Dead stems over regeneration (Mean 5.34, SD 1.05)	3 Recently burnt (Mean 3.96, SD 1.49)	4 Dense regeneration (Mean 4.86, SD 1.24)	5 Black stems, green leaves (Mean 5.75, SD 0.90)
Photo 27: Obligate seeder, long unburnt	Photo 7: Obligate seeder, 5 years since bushfire	Photo 16: Obligate seeder, recently burnt	Photo 13: Obligate seeder, 10 years since bushfire	Photo 4: Resprouter, 15 years since bushfire
Photo 29: Resprouter, long unburnt	Photo 6: Obligate seeder, 5 years since bushfire	Photo 15: Obligate seeder, recently burnt	Photo 12: Obligate seeder, 10 years since bushfire	Photo 3: Resprouter, 5 years since bushfire
Photo 25: Obligate seeder, long unburnt	Photo 8: Obligate seeder, 5 years since bushfire	Photo 19: Resprouter, recently burnt	Photo 11: Obligate seeder, 10 years since bushfire	Photo 2: Resprouter, 5 years since bushfire

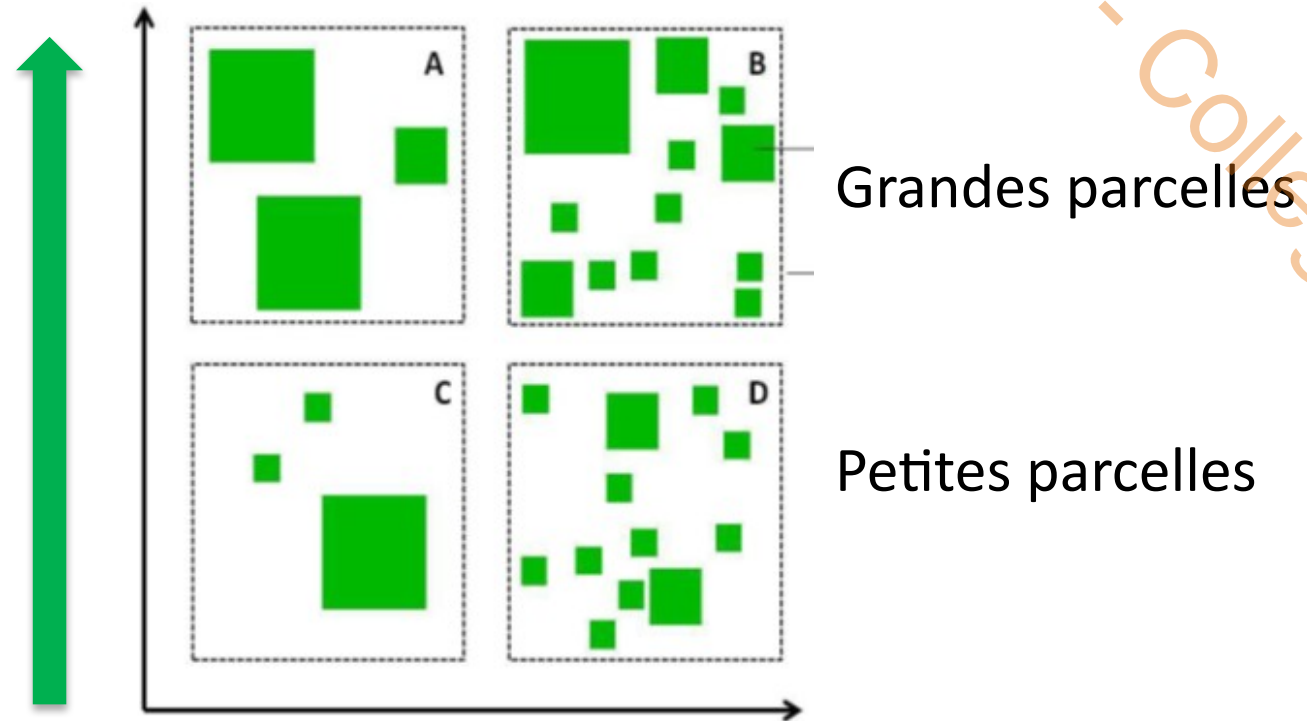
Ford, RM et al. (2025) *Landscape and Urban Planning*, 253, 105201.

Legs du passé



Quétier, F et al. (2007) Plant traits in a state and transition framework as markers of ecosystem response to land-use change. *Ecological Monographs*, 77, 33-52

Effets de la configuration du paysage

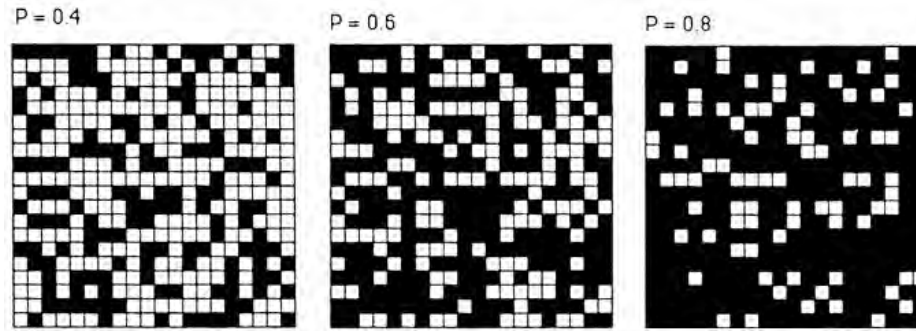


S. Lavorel - Collège de France

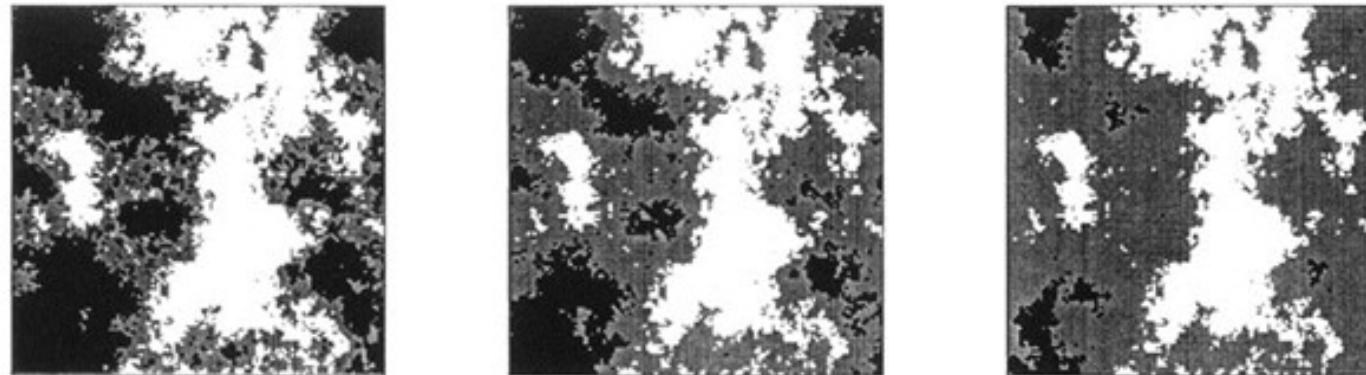
Connectivité du paysage

Capacité d'un paysage à faciliter ou à entraver le mouvement des organismes et des processus naturels entre différentes zones d'habitat

Théories physiques de la percolation
Configuration aléatoire



Paysages naturels
Configuration fractale



Connectivité fonctionnelle

Connectivité structurelle



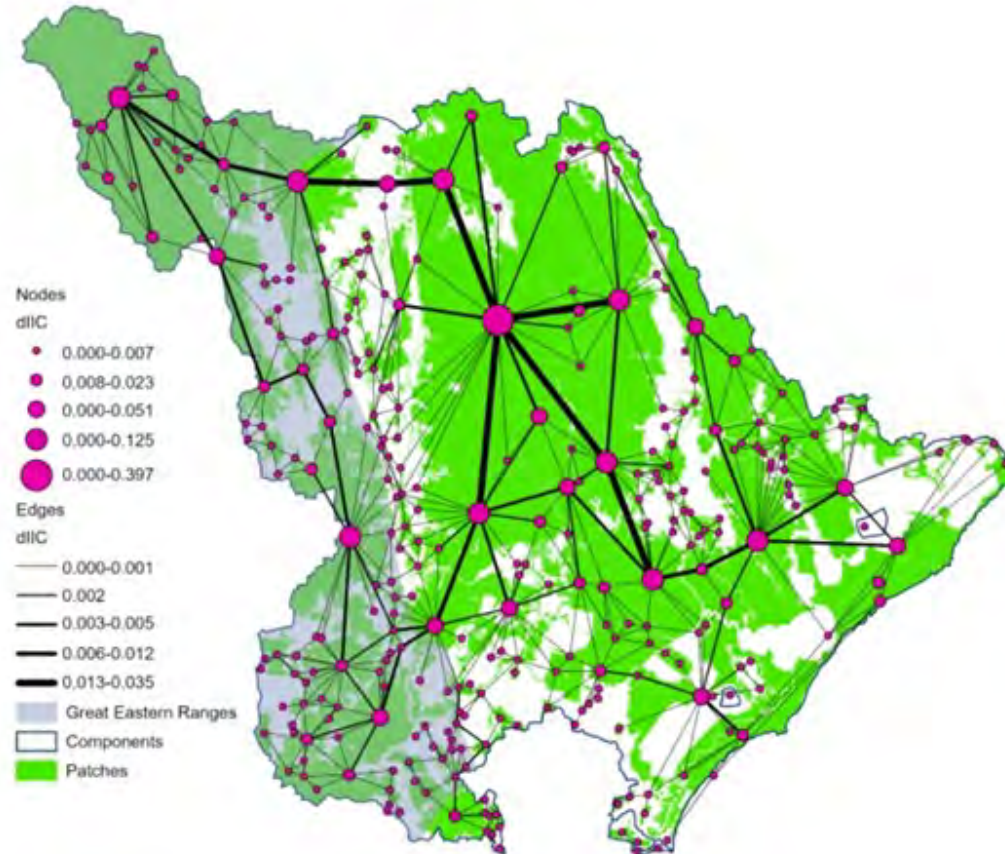
Se concentre sur l'**agencement physique** des éléments du paysage (ex: parcelles, corridors, haies) et leur contigüité

Connectivité fonctionnelle



Prend en compte la **réponse des espèces** à la structure du paysage selon leurs traits: capacité de dispersion, tolérance à la matrice agricole ou urbaine)

Quantifier la connectivité fonctionnelle



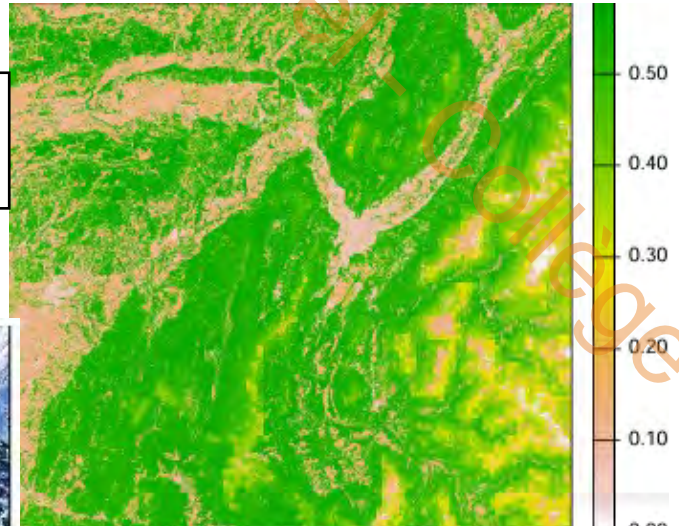
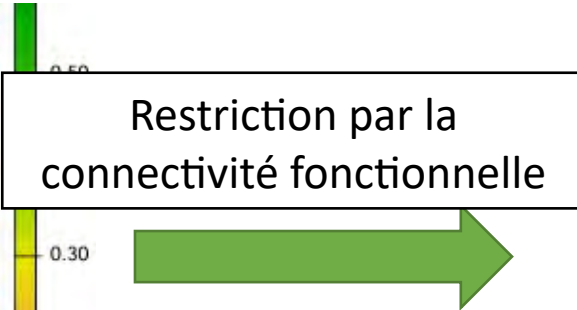
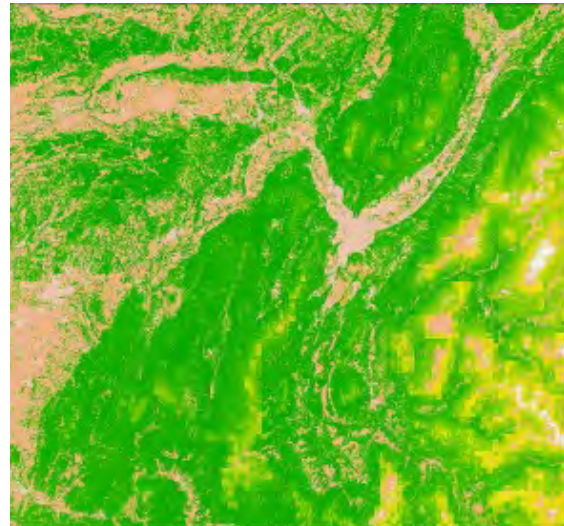
S. K. Lavoirel - Collège de France

Tiang, DCF et al. (2021) Ecological connectivity in fragmented agricultural landscapes and the importance of scattered trees and small patches. *Ecological Processes*, 10, 20

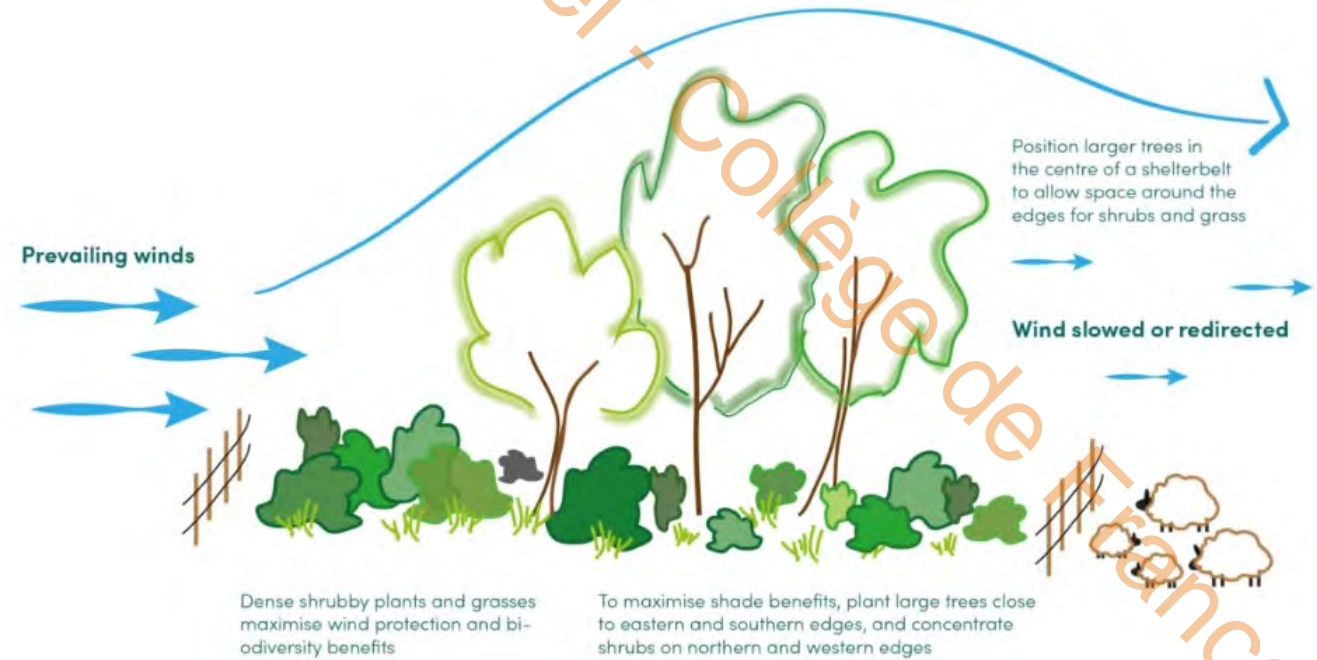
Connectivité fonctionnelle : biodiversité

Espèces de gibier – Habitat

Habitat filtré par la résistance du paysage et les capacités de déplacement des espèces



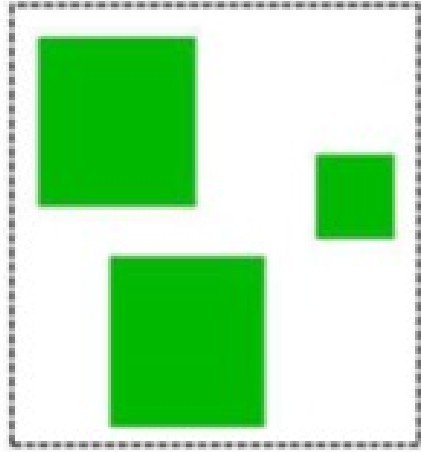
Connectivité fonctionnelle : flux de matière et d'énergie



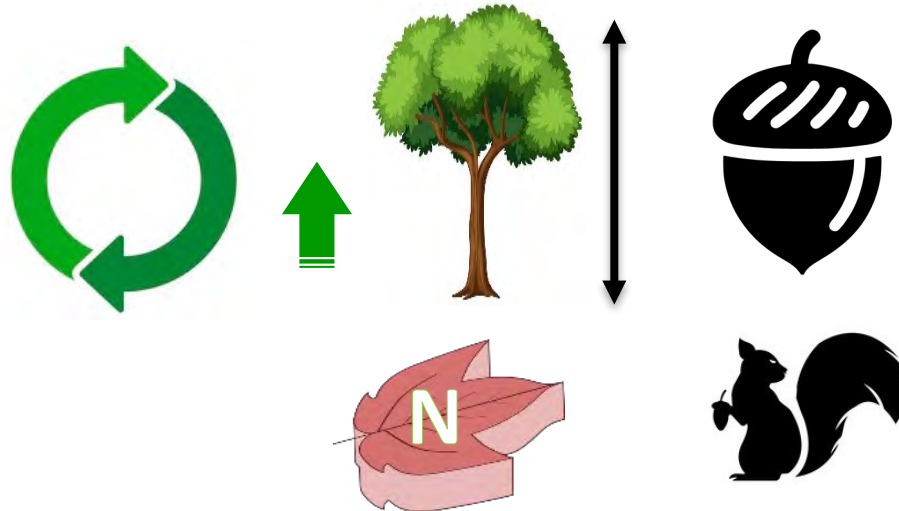
<https://www.sustainablefarms.org.au/>

Grandes parcelles

Espèces compétitrices

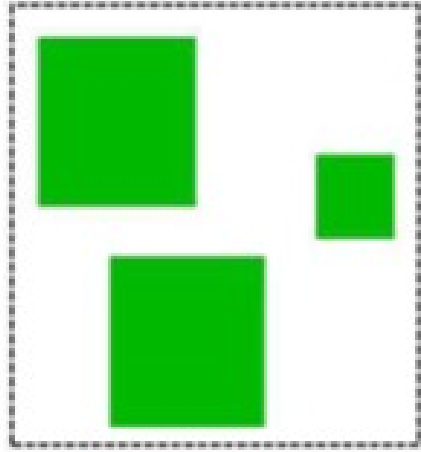


Grande surface d'habitat
Stabilité

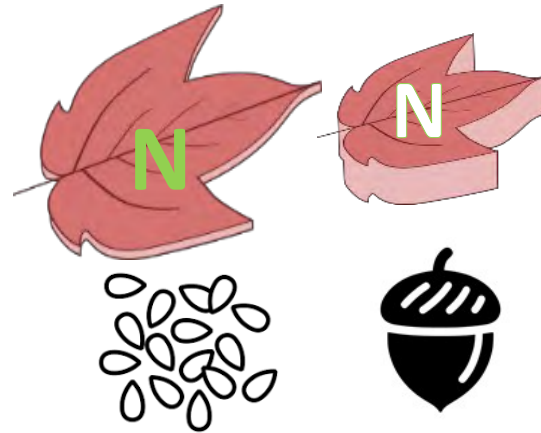
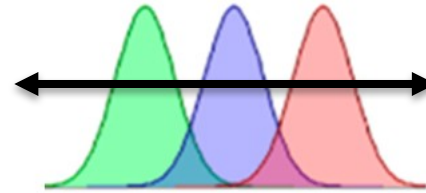


Collège de France

Grandes parcelles

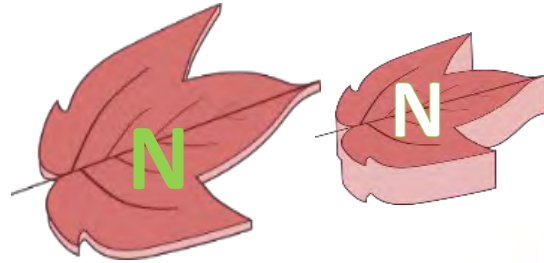
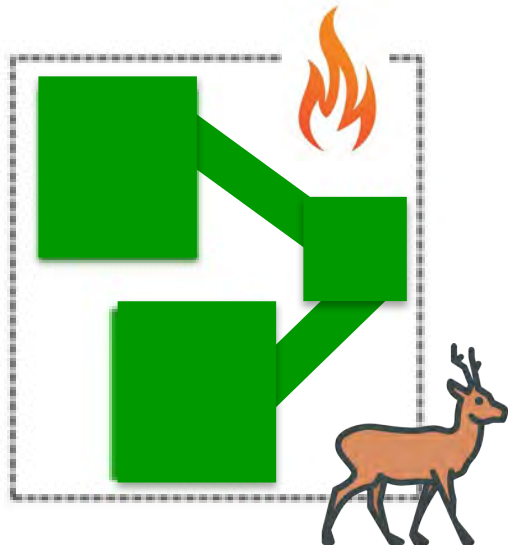


Hétérogénéité
intraparcellaire



S. Lavorel - Collège de France

Grandes parcelles connectées - Perturbations récentes / fréquentes



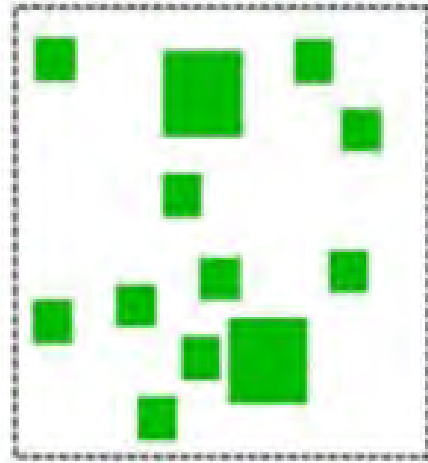
Régénération par graines
obligatoire

*Eucalyptus
delegatensis*

S. Lacroix - Collège de France

Petites parcelles

Espèces rudérales



© Patrice Prunier

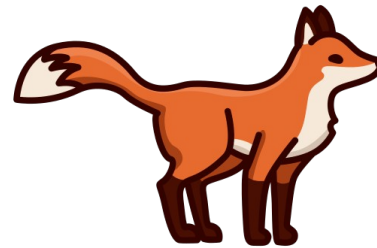
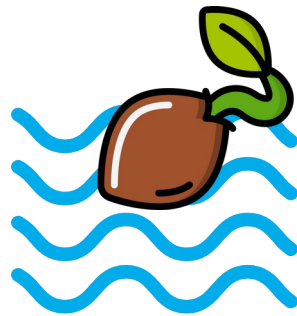
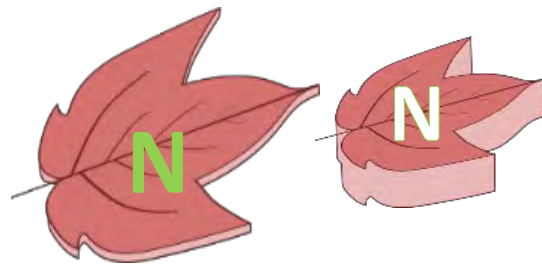
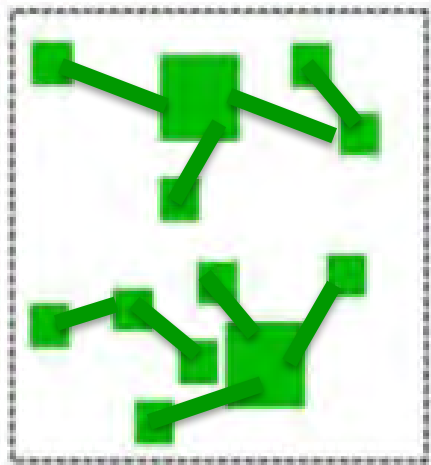


Banque de graines
souterraine



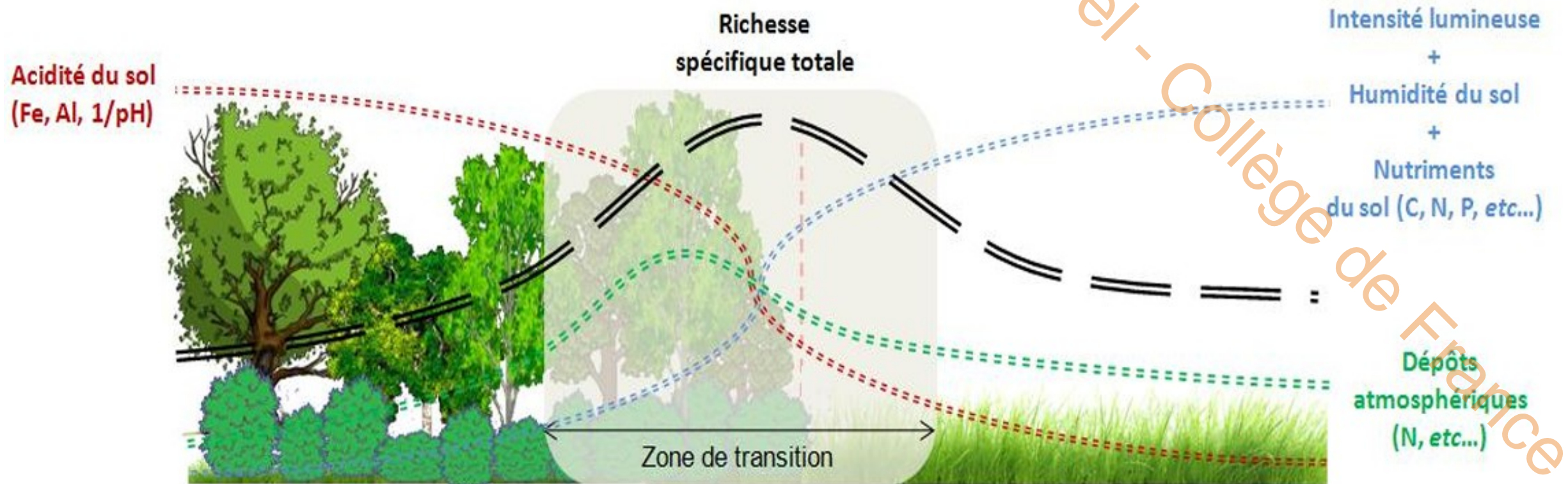
Collège de France

Petites parcelles connectées



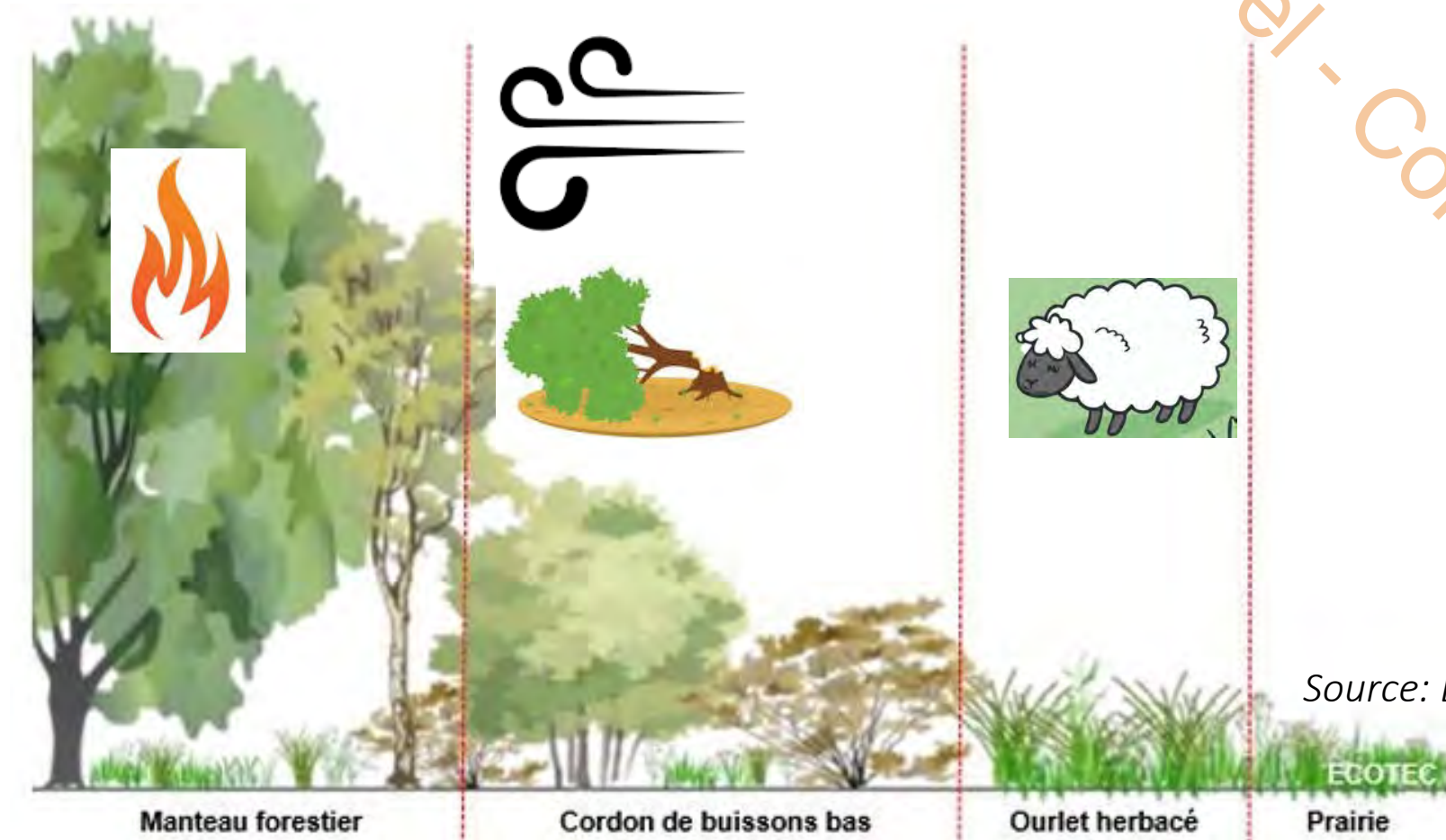
S. Lavoirel - Collège de France

Effets de lisière : gradients environnementaux



© Maxime Burst (2017) *Les communautés végétales des interfaces forêt-prairie et leur environnement face aux cas d'afforestation et de déforestation*. Thèse de Doctorat, Université de Lorraine.

Effets de lisière : gradients de perturbations



S. Lavoirel - Collège de France

Effets de lisière sur les petites parcelles



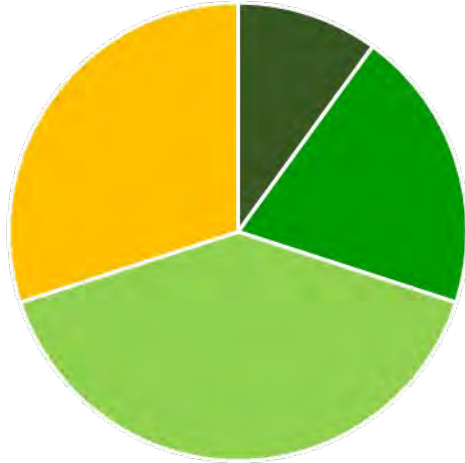
S. Lavoire Collège de France

Synthèse

- Premier déterminant de la composition fonctionnelle : quantité d'habitat / taille des parcelles
- La connectivité modifie la composition fonctionnelle :
 - Augmente la diversité fonctionnelle en permettant la dispersion des espèces
 - Favorise les perturbations : espèces tolérantes aux perturbations / forte dissémination / spécialistes des habitats de bordure

Composition de paysage optimale pour la diversité fonctionnelle

Composition '30-40-20-10'



■ Protection stricte ■ Semi-naturel ■ Extensif ■ Intensif

~30% habitats naturels

Importance parcelles intermédiaires

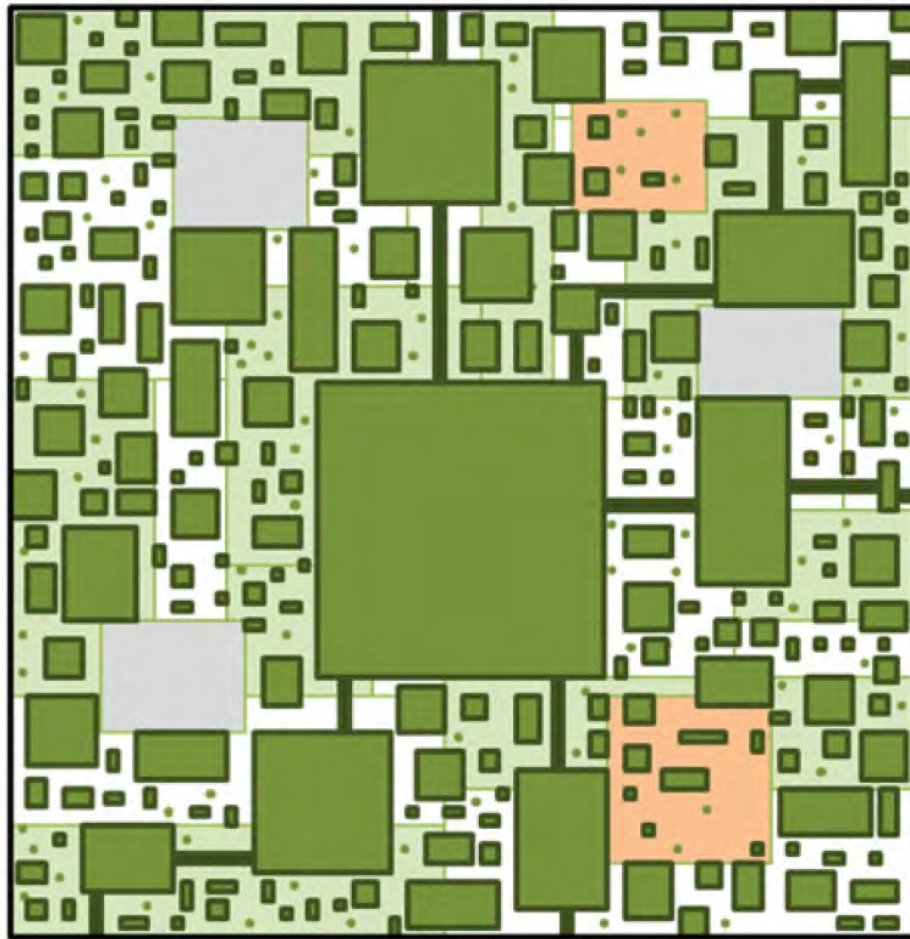
Connectivité assurée

Diversité spatiale



— Chemin de connectivité

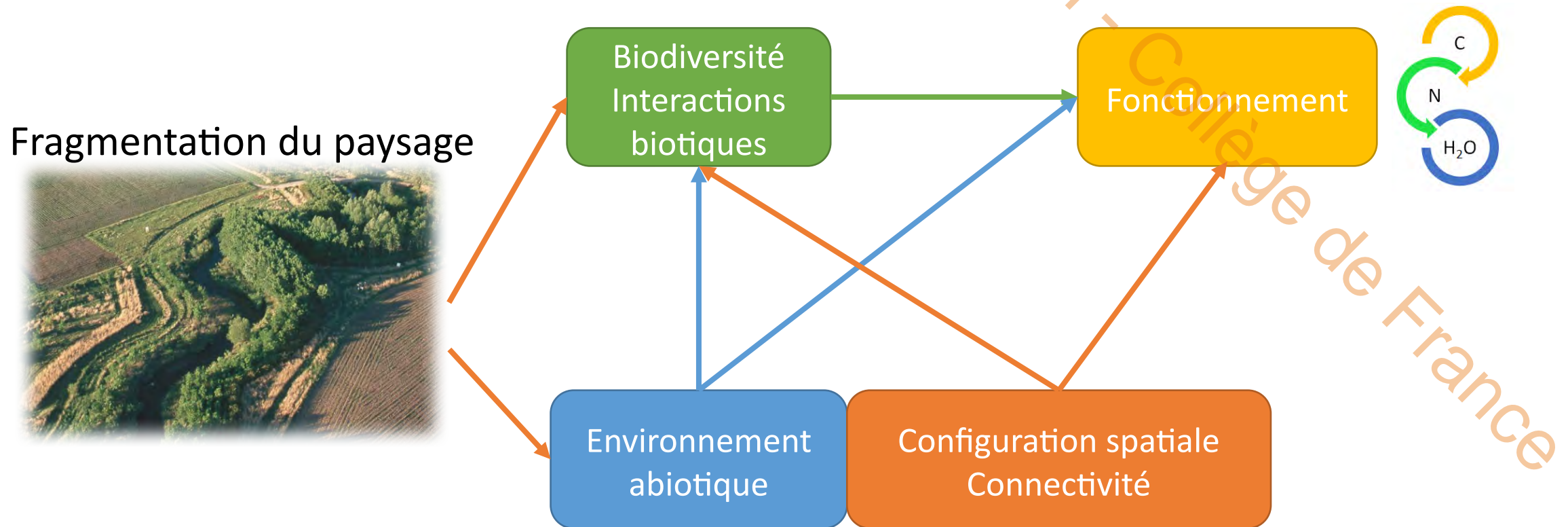
Configuration spatiale optimale



- Composition '30-40-20-10'
- Végétation naturelle : quelques grandes, beaucoup de petites parcelles
- Corridors : connexions

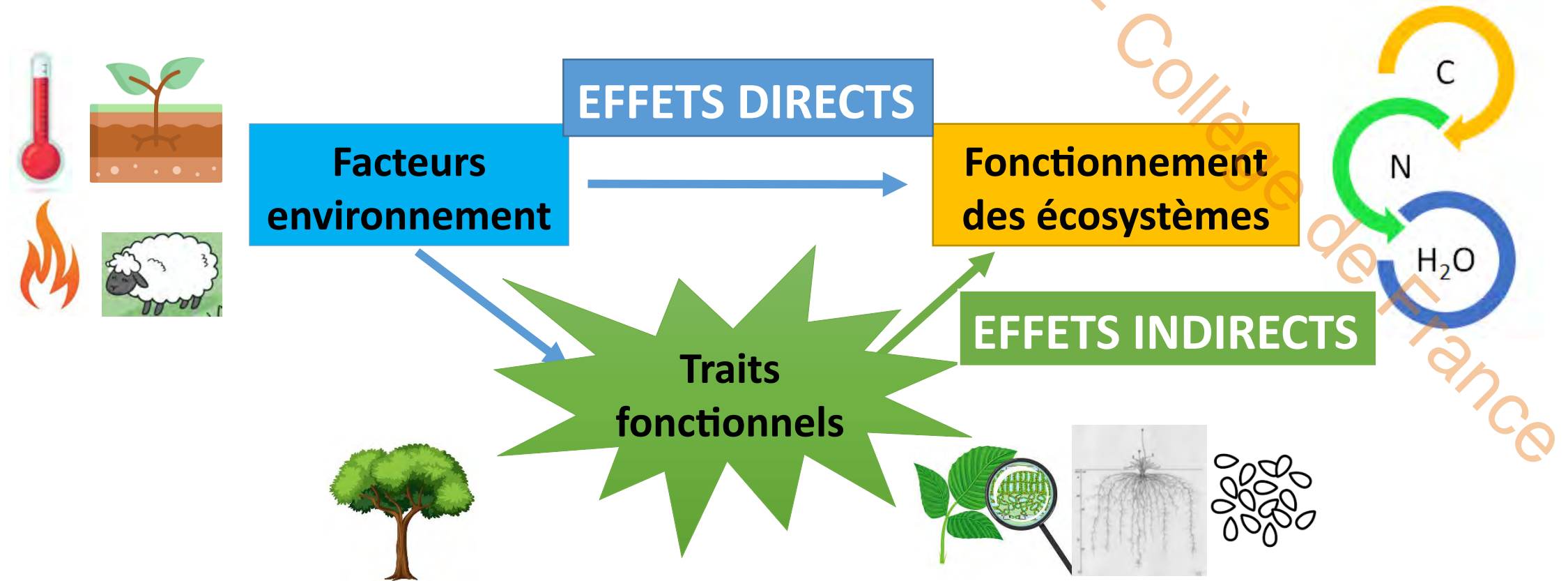
- Native forest (with edges included)
- Riparian corridors
- Wildlife-friendly matrices
- Open areas (e.g. pastures, meadows)
- Intensive agriculture
- Human settlements
- Hedges, living fences
- Isolated native trees

Effets de la structure des paysages sur le fonctionnement des écosystèmes

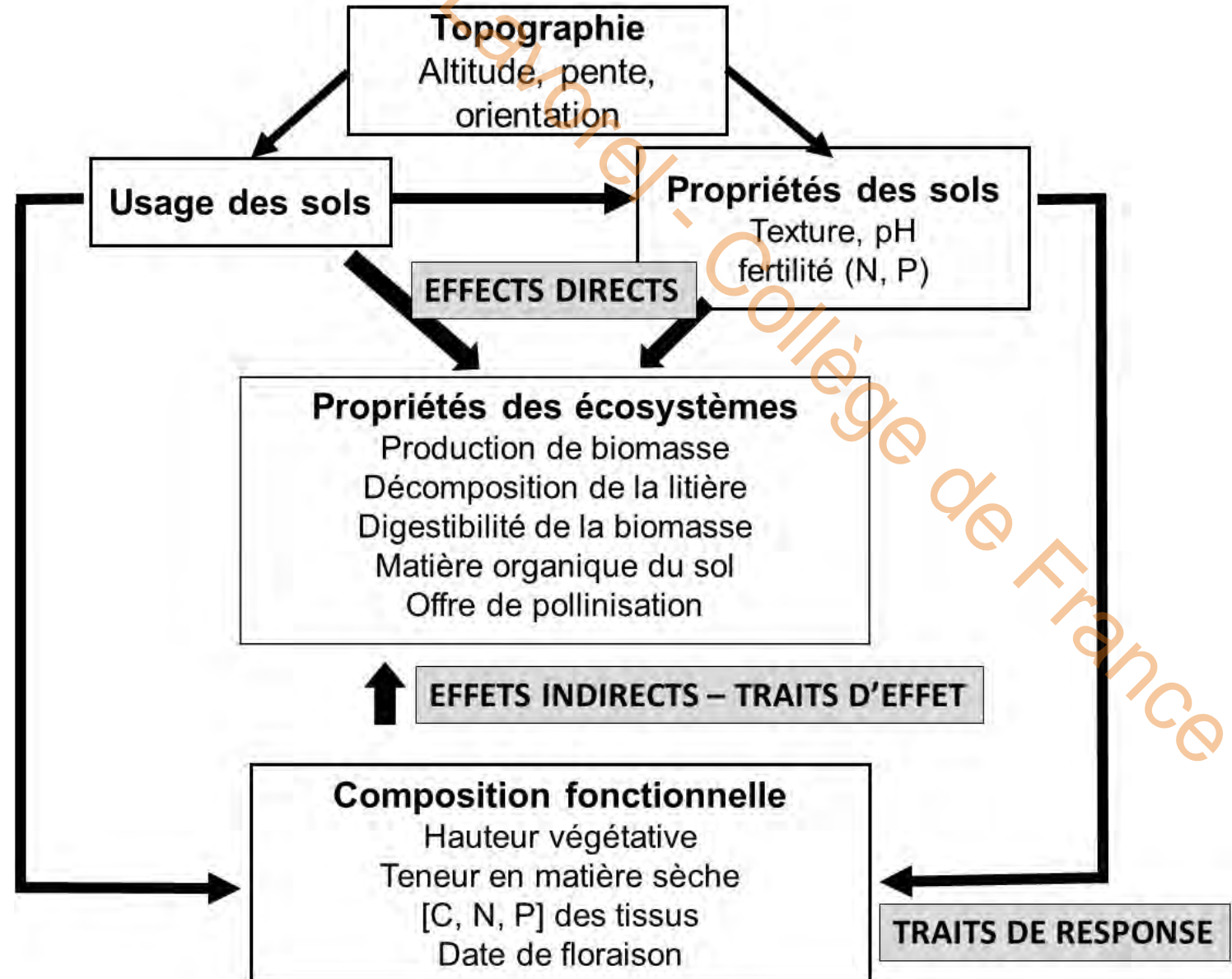
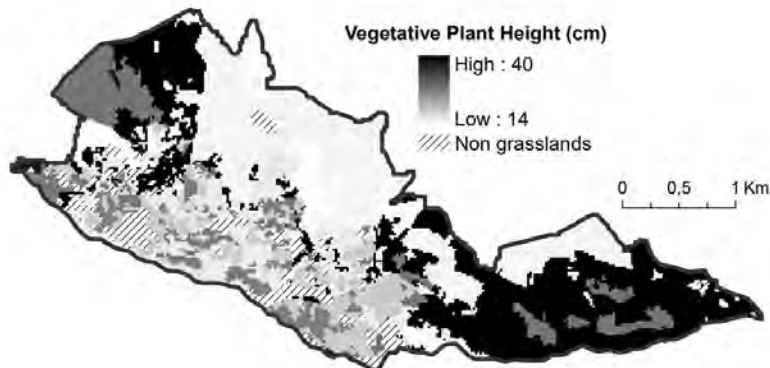
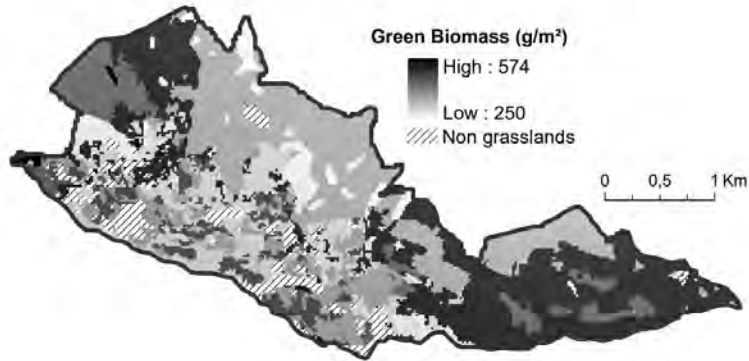
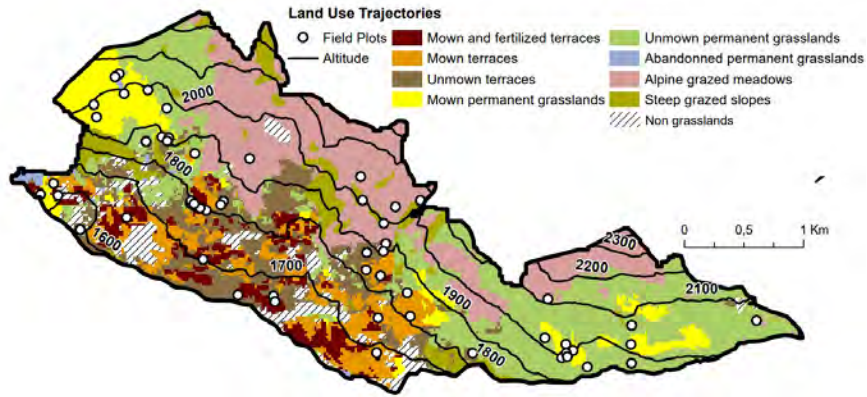


D'après Liu, J et al. (2018) *How does habitat fragmentation affect the biodiversity and ecosystem functioning relationship?* *Landscape Ecology*, 33, 341-352

Les traits fonctionnels pour comprendre les effets de la structure des paysages sur le fonctionnement des écosystèmes



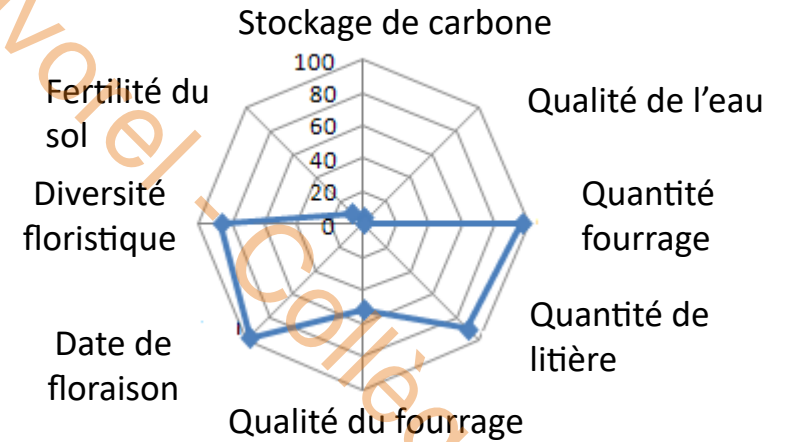
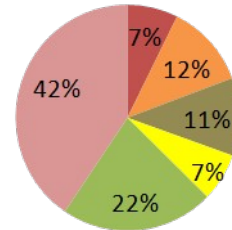
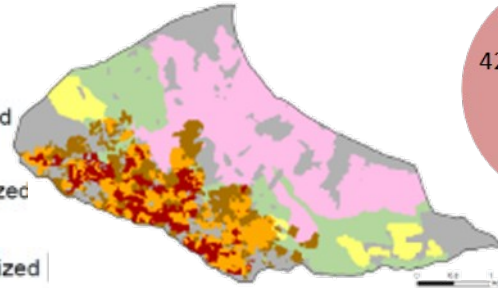
Effets de la composition du paysage



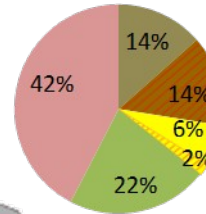
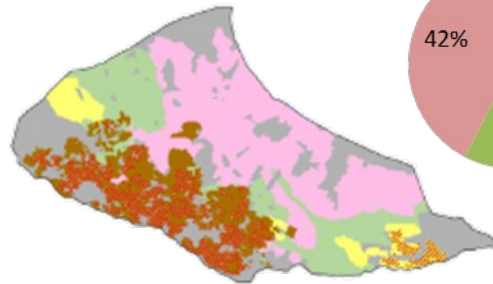
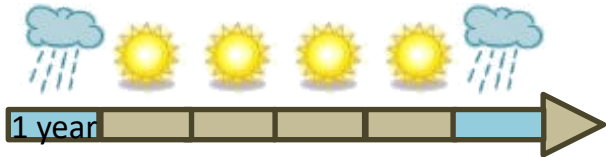
Effets de masse des usages dominants

Actuel

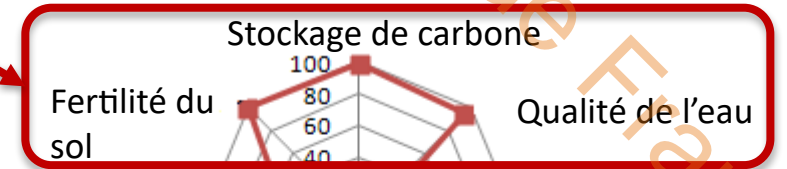
Land management types



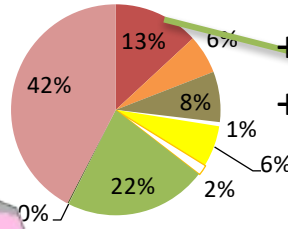
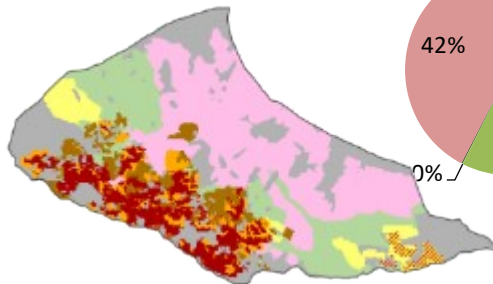
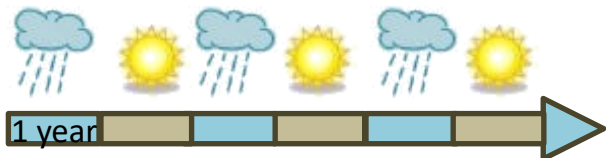
Sécheresse extrême



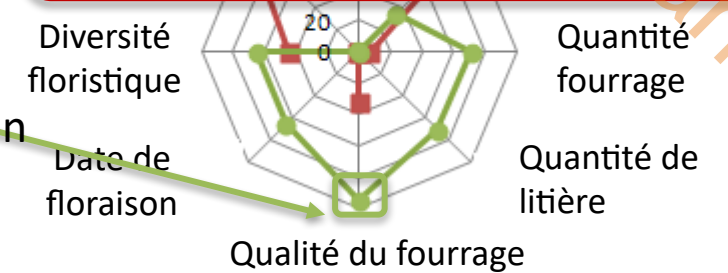
Conversion
fauche -
pâtures



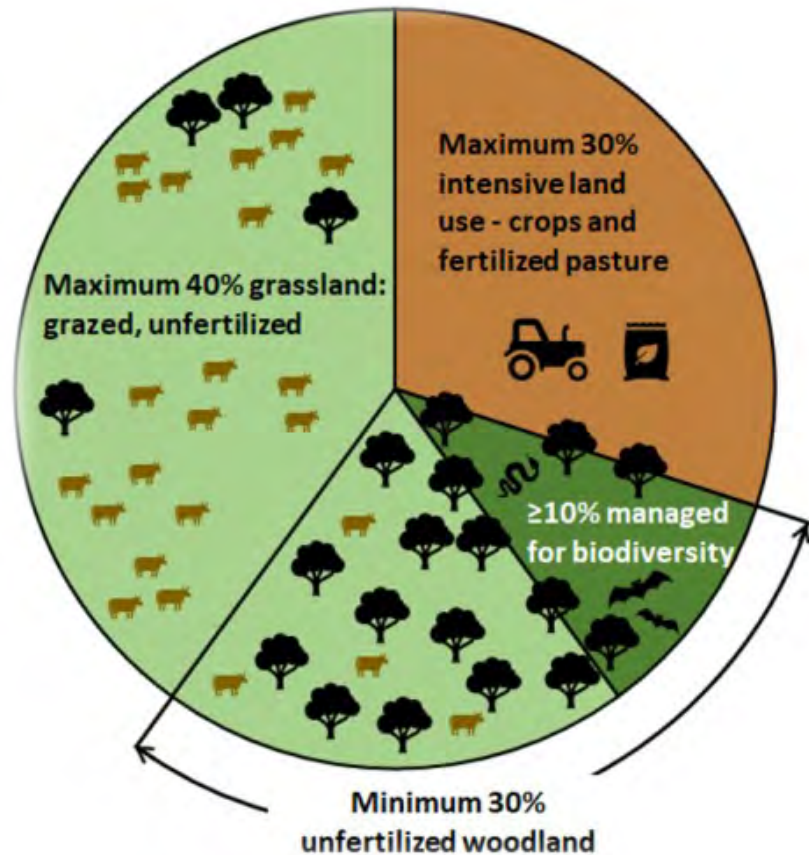
Sécheresse épisodique



+ Fauche
+ Fertilisation



Effets de l'hétérogénéité du paysage: Complémentarité entre usages et types de végétation

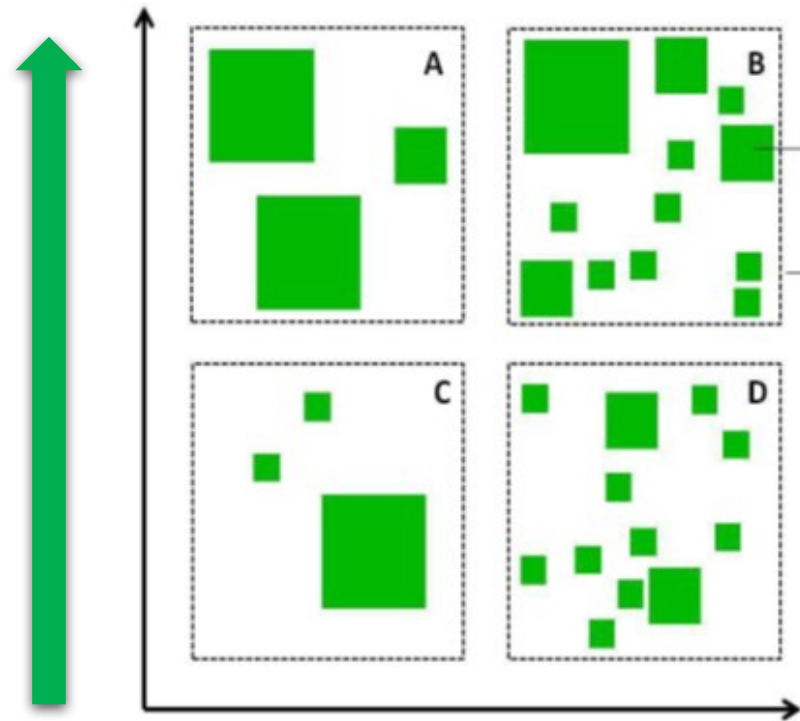


Configuration optimale pour la multifonctionnalité :

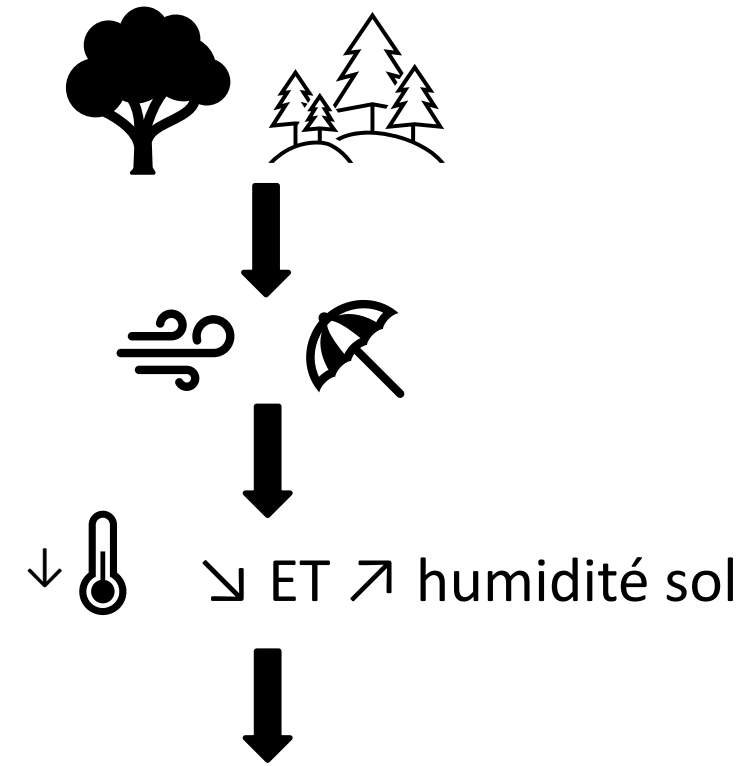
< 30% intensif, $\geq 30\%$ boisements et landes

- **Diversité spatiale** \Rightarrow complémentarité spatiale
- Contribution de masse des usages d'intensité intermédiaire $\Rightarrow \geq 40\%$ prairies semi-naturelles
- Petites parcelles boisées : multiple fonctions de régulation pour une production durable

Effets de la configuration des paysages sur le fonctionnement des écosystèmes

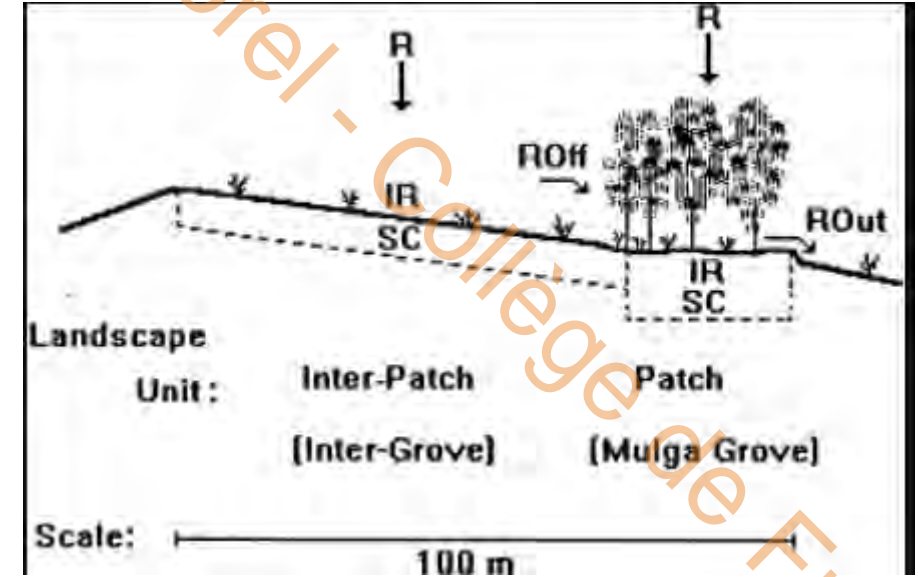


Effets directs de la configuration: microclimat



- ∨ production fourrage / (↑ quality)
- ∨ variabilité interannuelle / ↑ résilience aux extrêmes ☀
- C** ↑ décomposition de la matière organique
- ↑ séquestration carbone

Effets directs de la configuration: flux latéraux



Disposition en bandes de végétation :
+ 25% d'humidité du sol - capture des précipitations
+ 40% de productivité

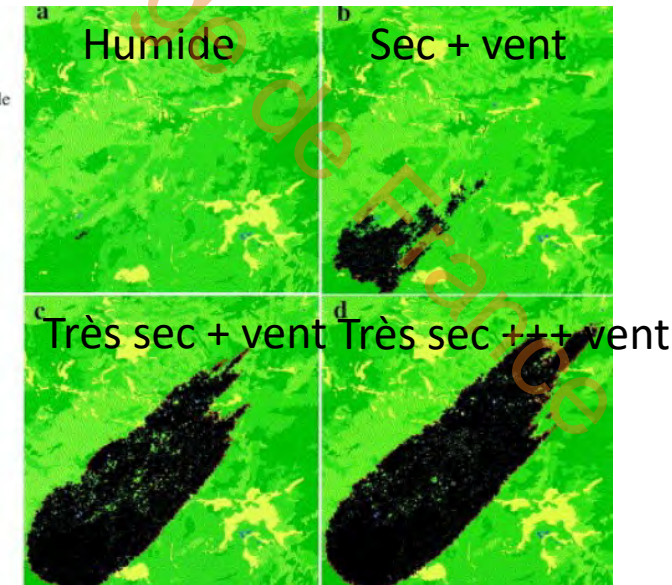
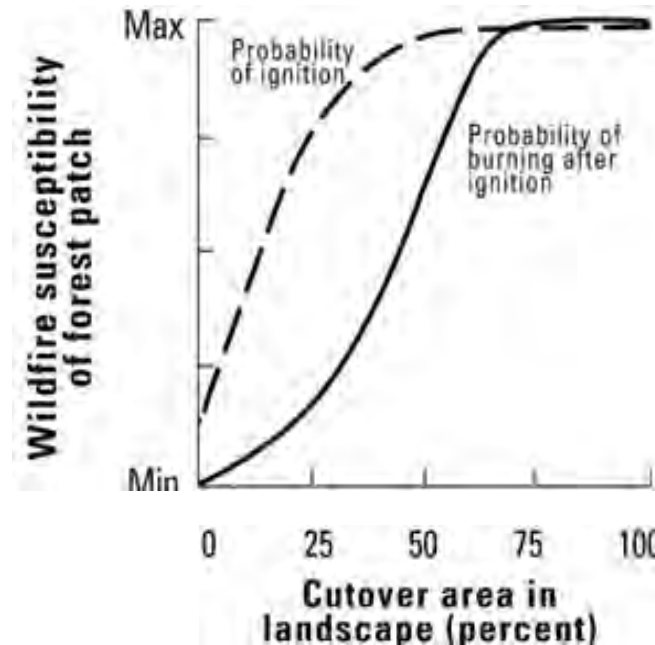
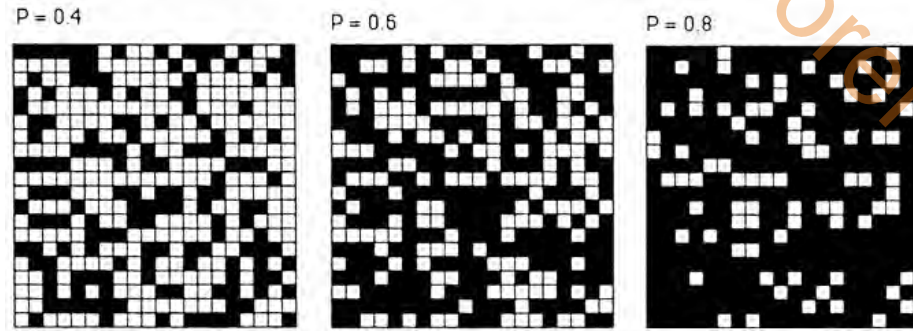
Effets via les flux latéraux : régulation des événements extrêmes



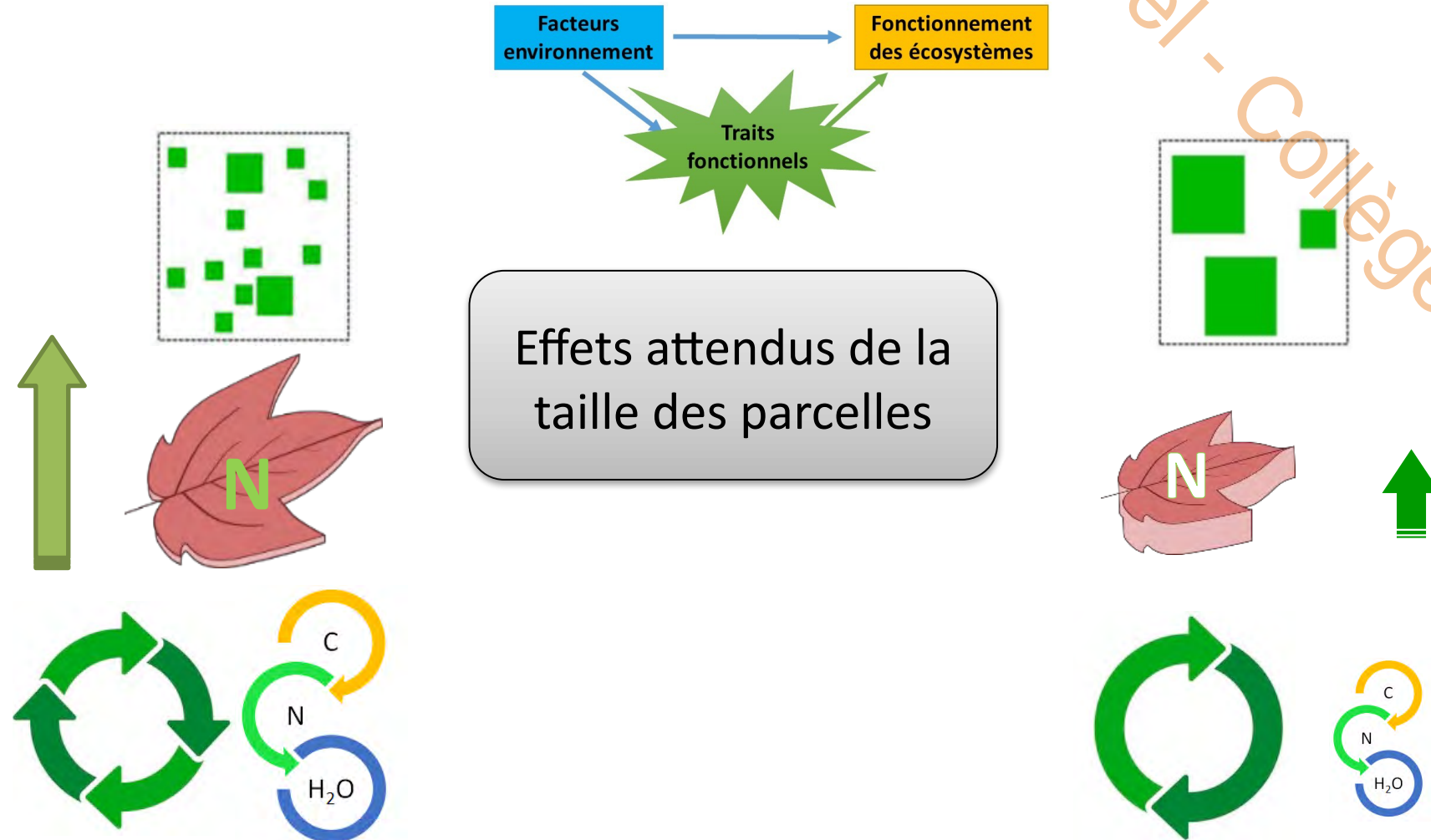
Configuration optimale pour intercepter les flux d'eau et de sédiments

Effets directs de la configuration spatiale : propagation des perturbations

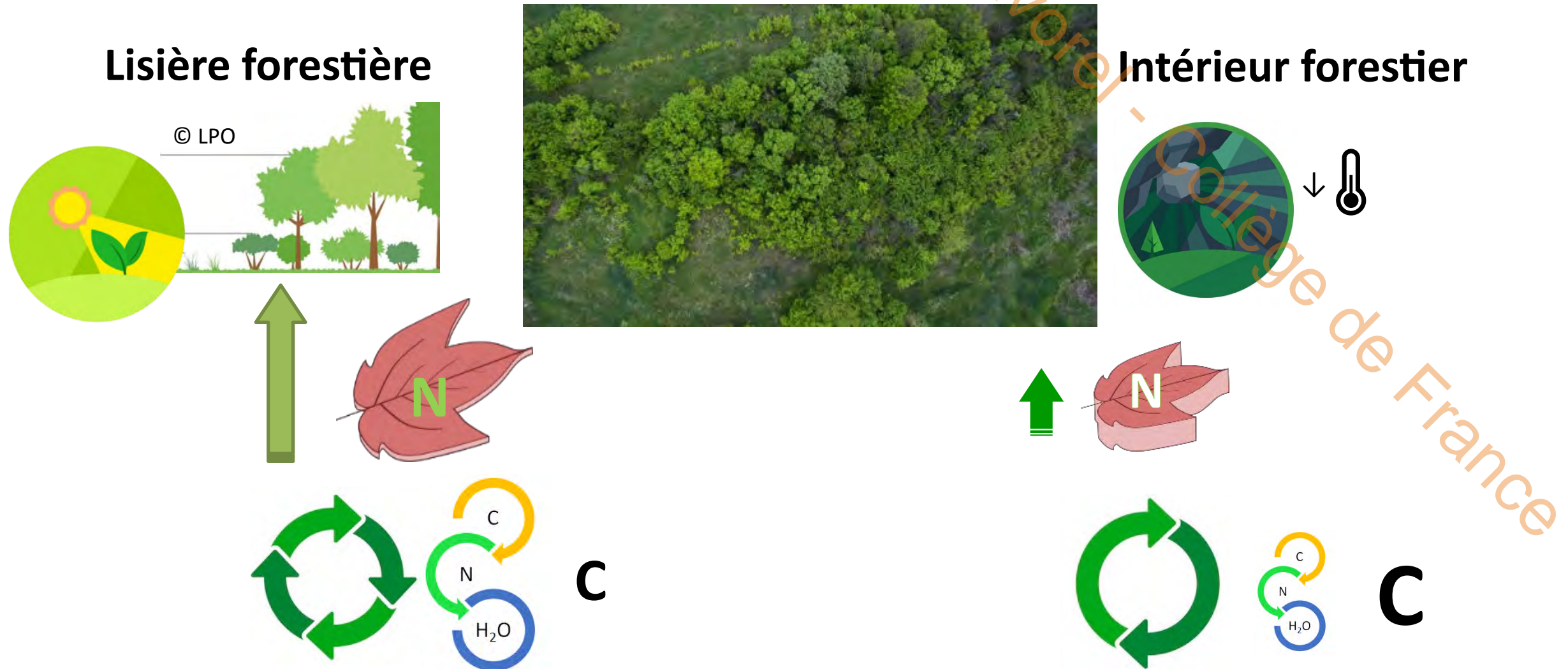
Théories physiques
de la percolation



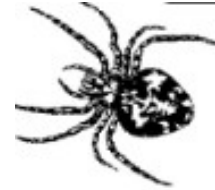
Effets indirects de la configuration spatiale via les traits fonctionnels des espèces



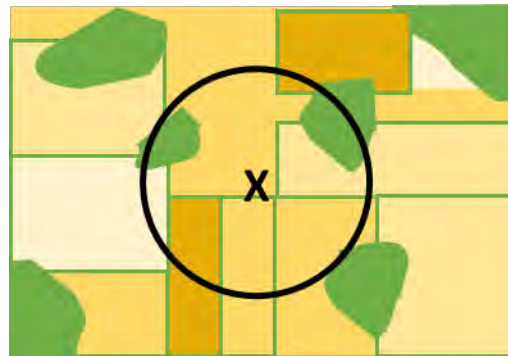
Effets indirects de la configuration spatiale via les traits fonctionnels des espèces



Effets indirects de la configuration spatiale via les interactions biotiques



Capacités de dispersion limitées : nécessité de grandes parcelles et/ou de petites parcelles connectées



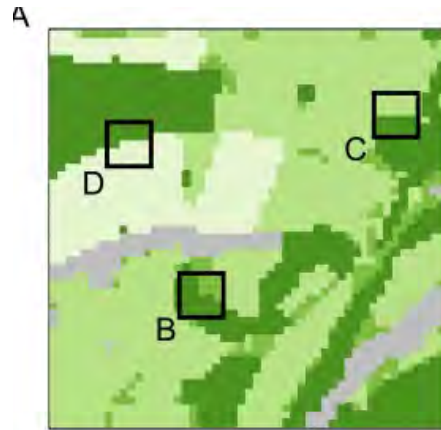
➤ **Diversité augmente avec la présence de prairies et la diversité des végétations voisines**

Martin, EA et al. (2019) *The interplay of landscape composition and configuration: new pathways to manage functional biodiversity and agroecosystem services across Europe*. *Ecology Letters*, 22, 1083-1094.

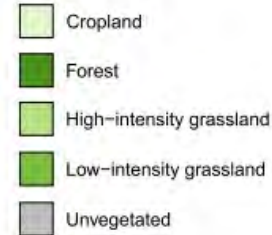
Le Provost, G et al. (2021) *Contrasting responses of above- and belowground diversity to multiple components of land-use intensity*. *Nature Communications*, 12, 3918.

Connectivités fonctionnelles dans les mosaïques paysagères

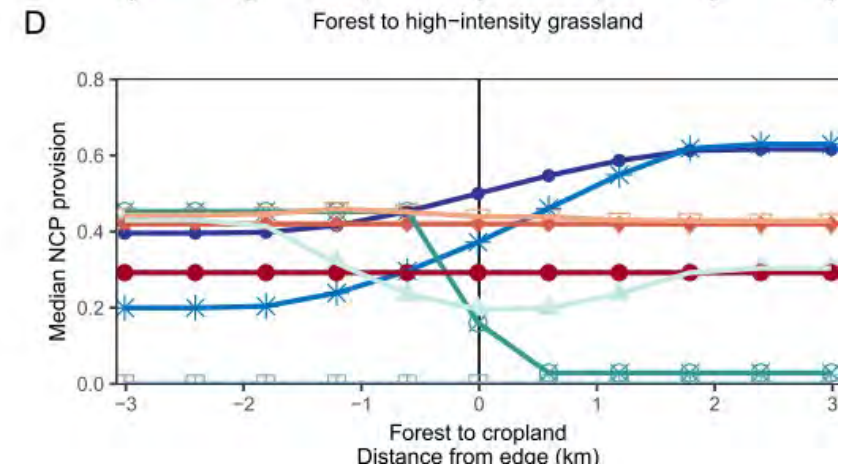
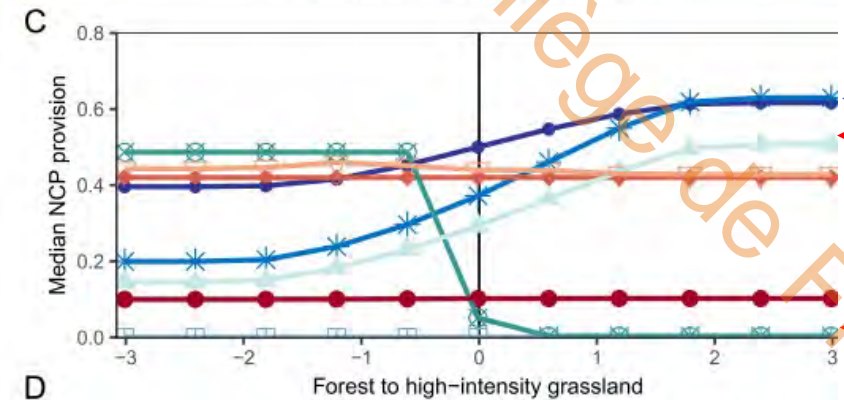
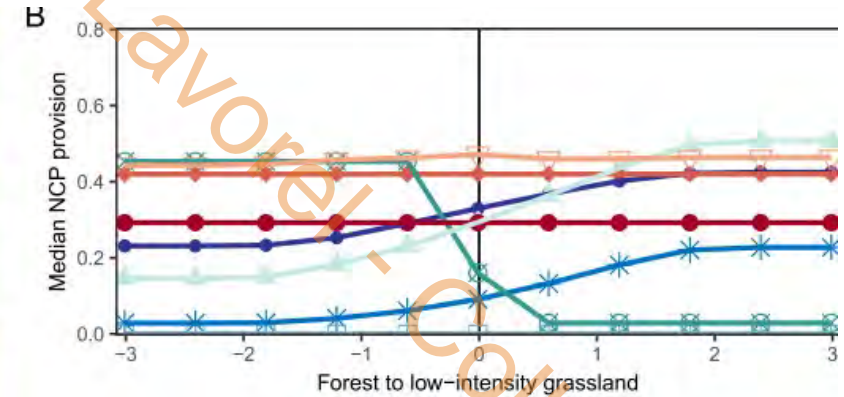
- Effets de la composition du paysage et de la distance entre boisements et espaces ouverts
- Sensibilité des fonctions selon l'écologie des espèces : habitats, capacités de dispersion
- Compromis et synergies entre fonctions



Land use



NCP

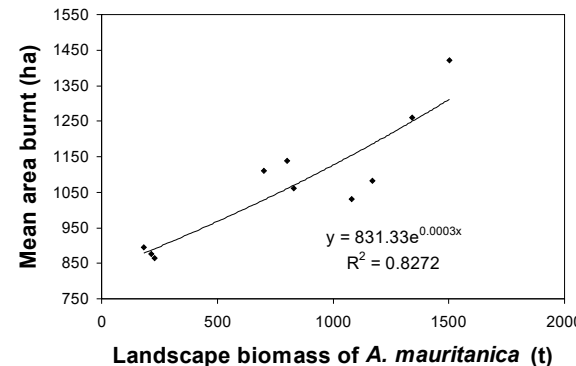
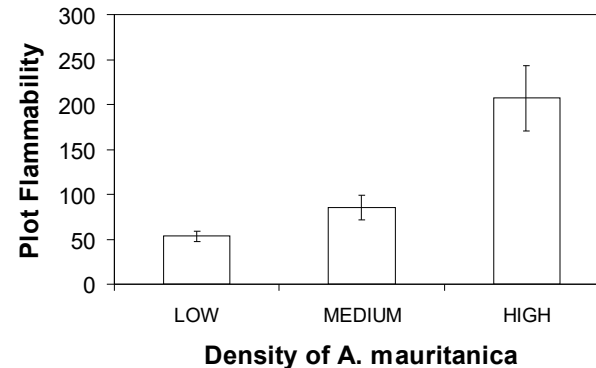
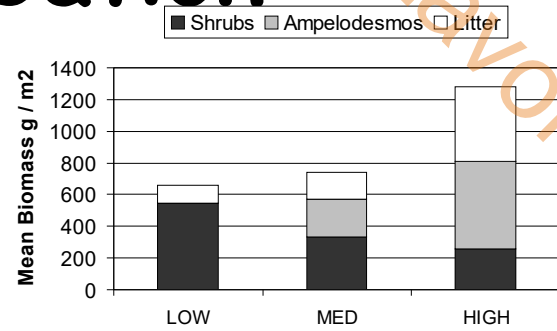
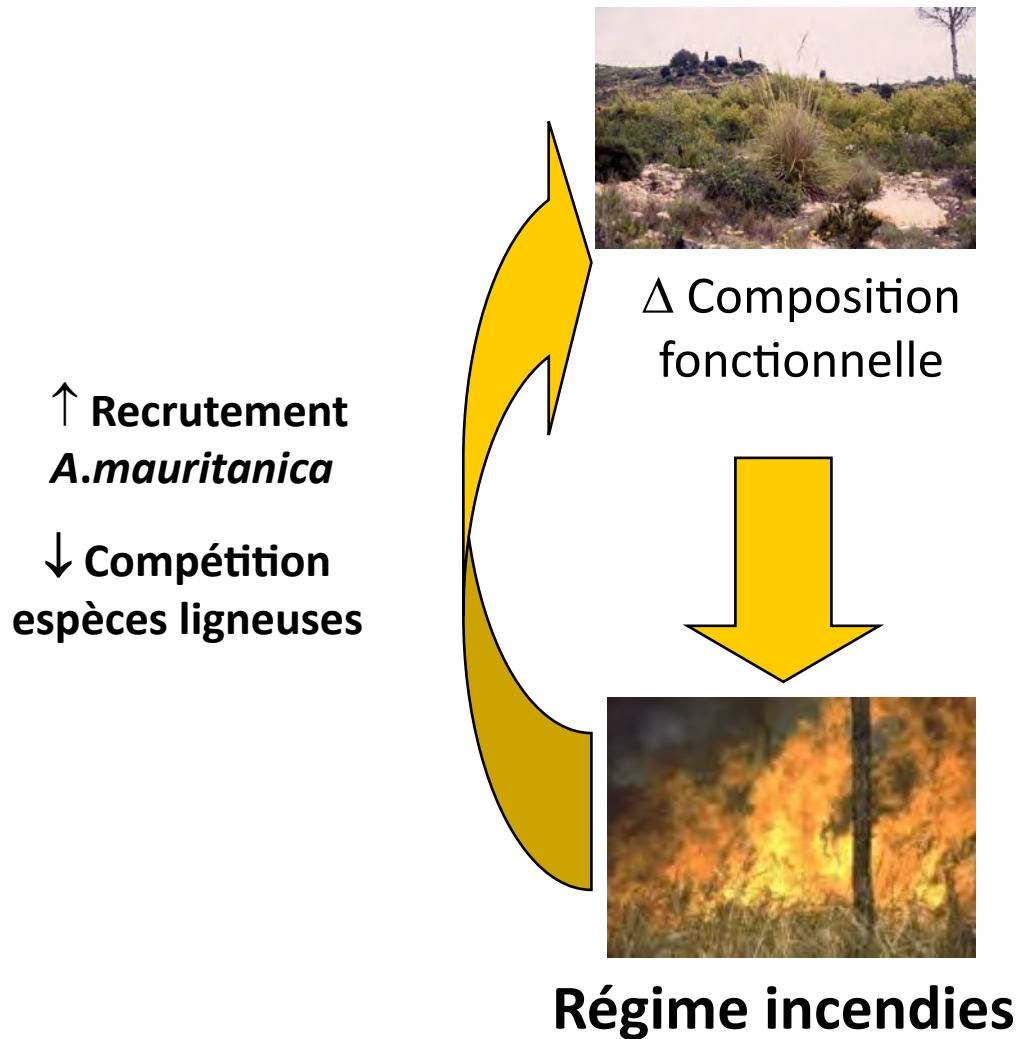


Synthèse des aménagements et des installations favorisant la présence d'oiseaux champêtres



Figure 8. Synthèse des aménagements et des installations favorisant la présence d'oiseaux champêtres. (Illustration: Lorraine Beaudoin, © 2022)

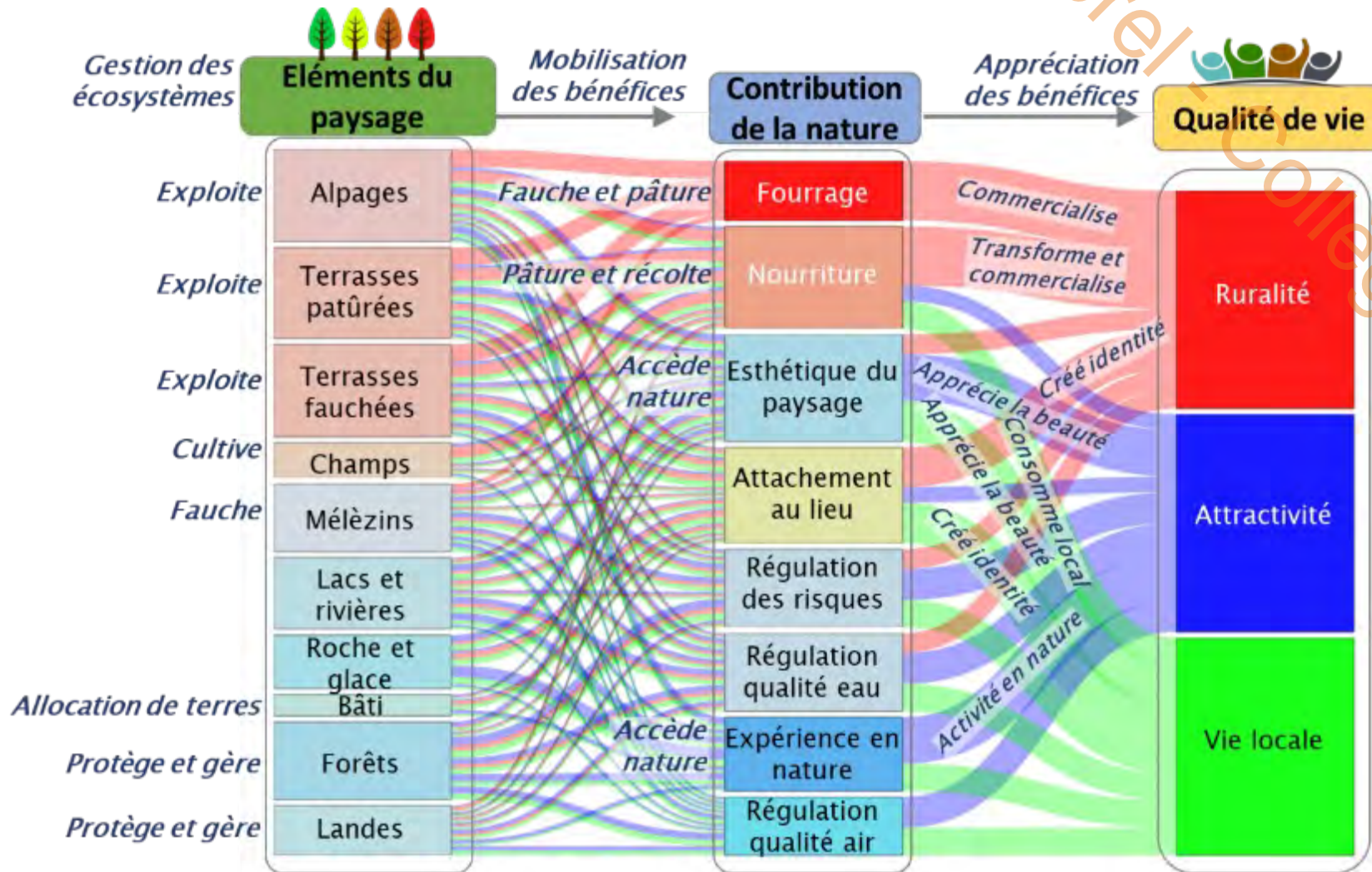
Effets indirects de la configuration spatiale via les régimes de perturbation



↑ Inflammabilité
↓ Décomposition

↑ Intensité incendies
↑ Connectivité paysage

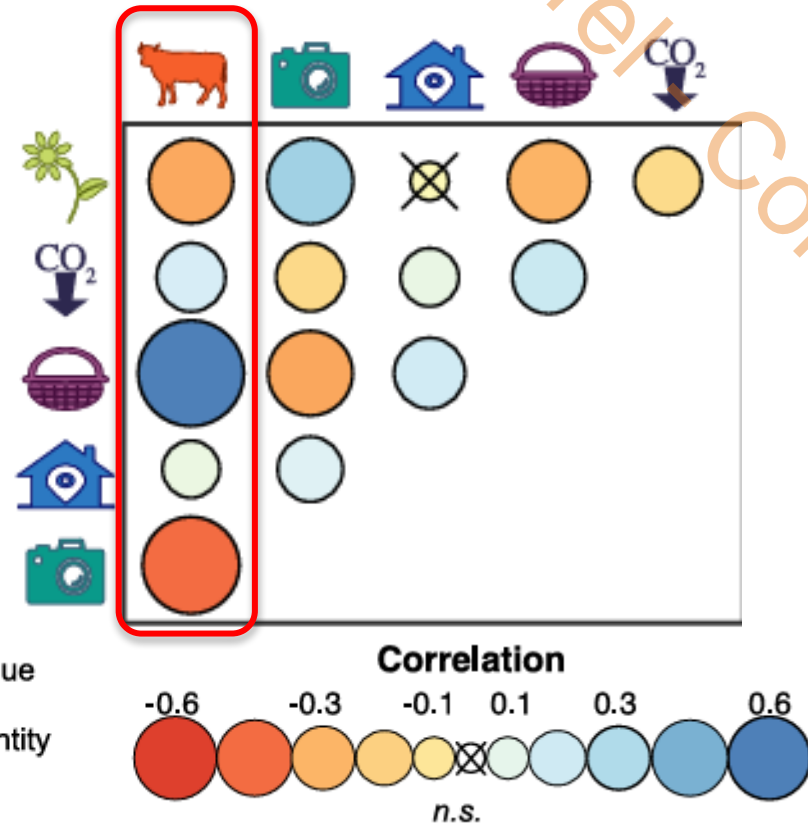
Gérer les paysages pour leur multiples fonctions et services écosystémiques



Des paysages hétérogènes multifonctionnels

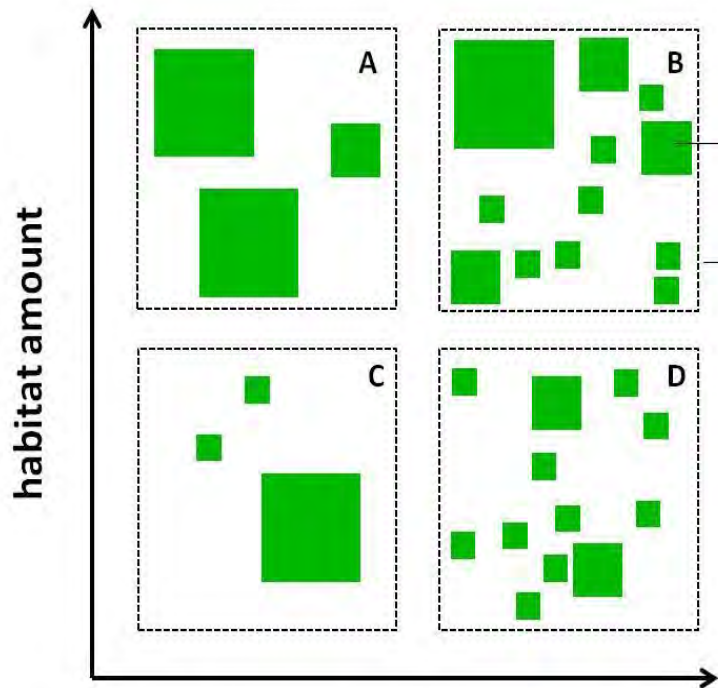


© Martin Fellendorf



Neyret, M et al. (2021) Assessing the impact of grassland management on landscape multifunctionality. *Ecosystem Services*, 52, 101366

Quelles configurations spatiales des paysages pour favoriser la multifonctionnalité?



↑ trees:
 ↑ C sequestration
 ↑ wildlife habitat
 ↑ flood & erosion regulation
 ↑ fire risk

habitat fragmentation →

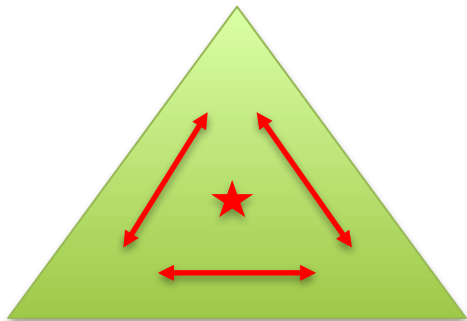
= trees:
 = C sequestration
 ± wildlife habitat
 ? flood & erosion regulation
 ↓ fire risk



Illustrations Hauraki Plains, New Zealand

Paysages ruraux multifonctionnels

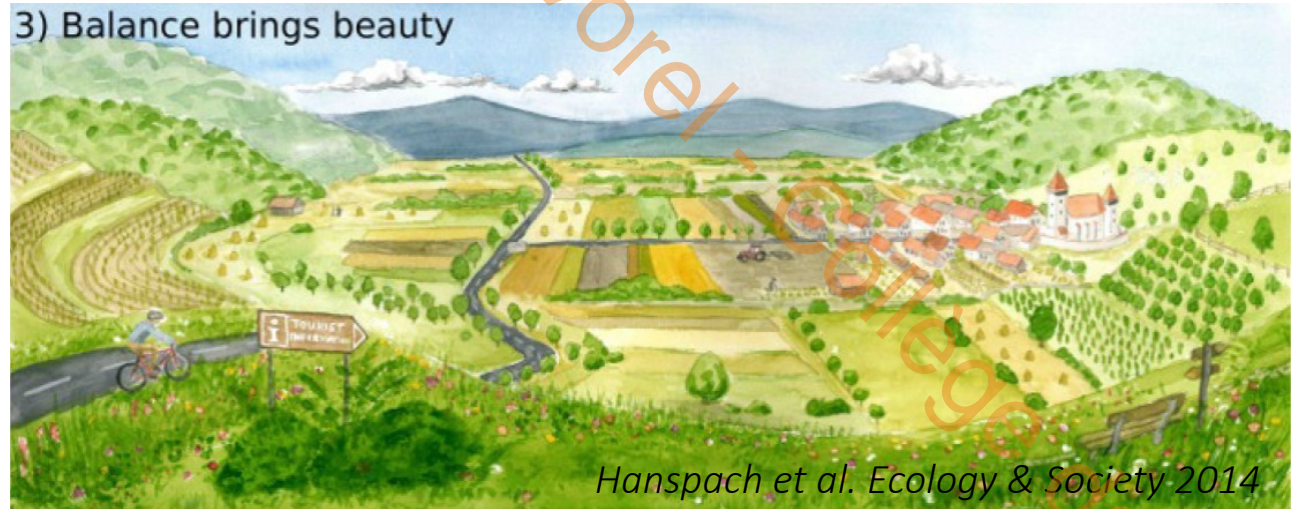
Production durable



Régulation
climat et risques
naturels

Conservation
biodiversité

3) Balance brings beauty

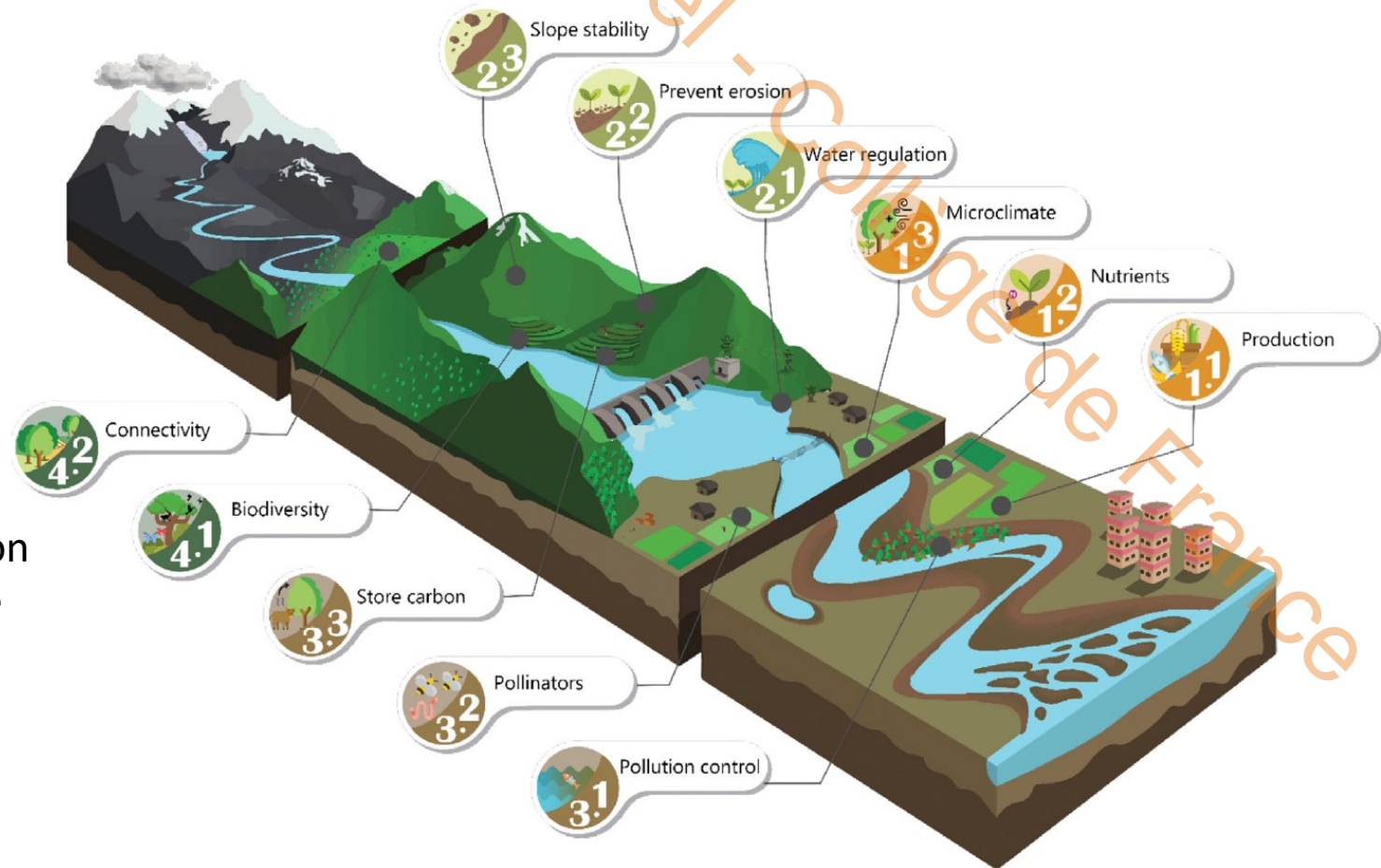
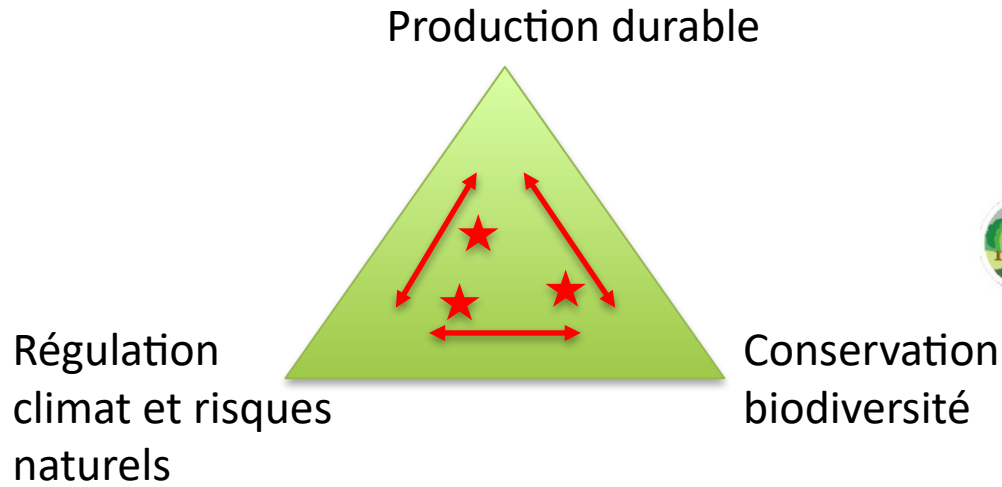


Hanspach et al. Ecology & Society 2014

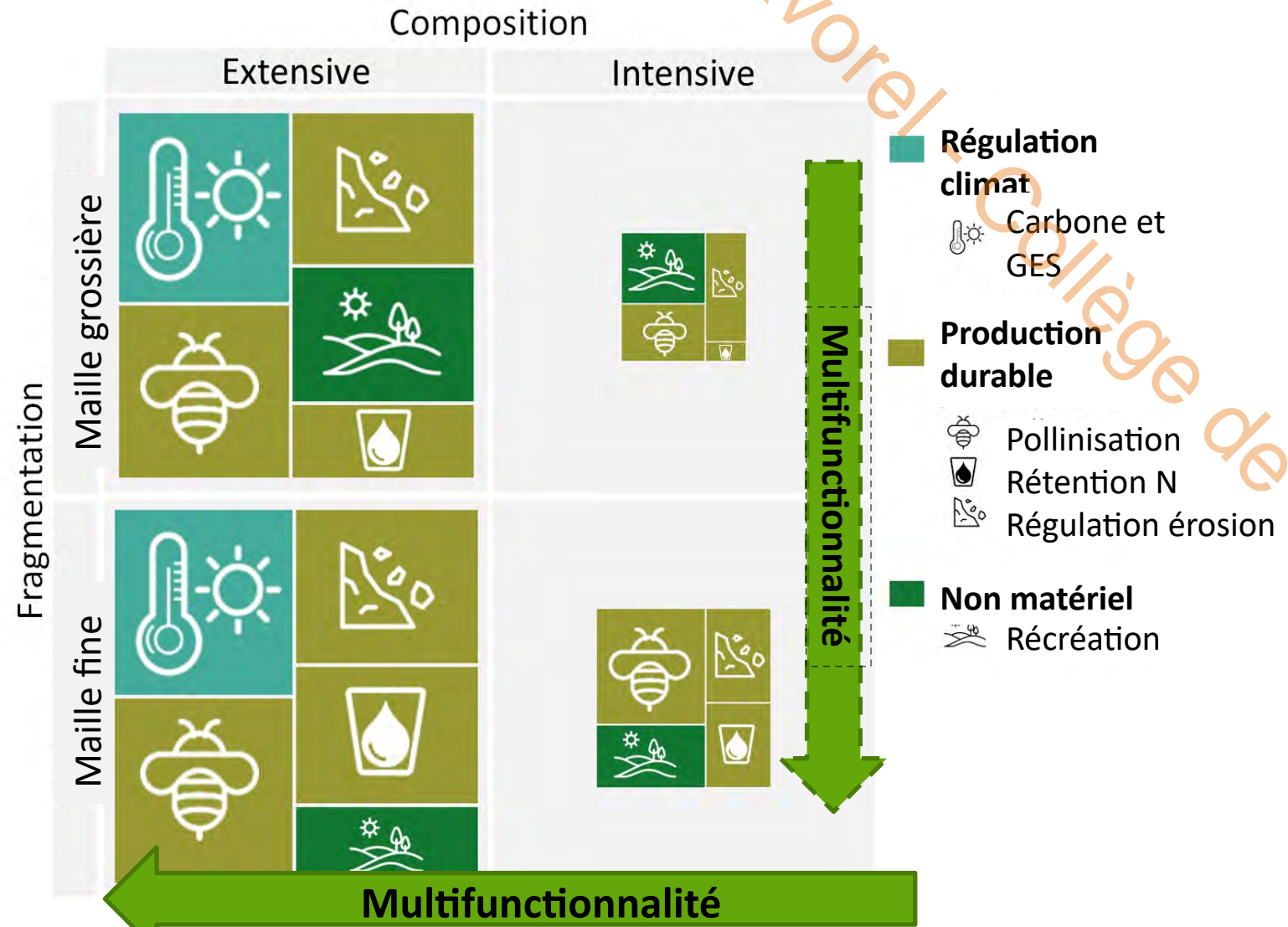
© Te Ara



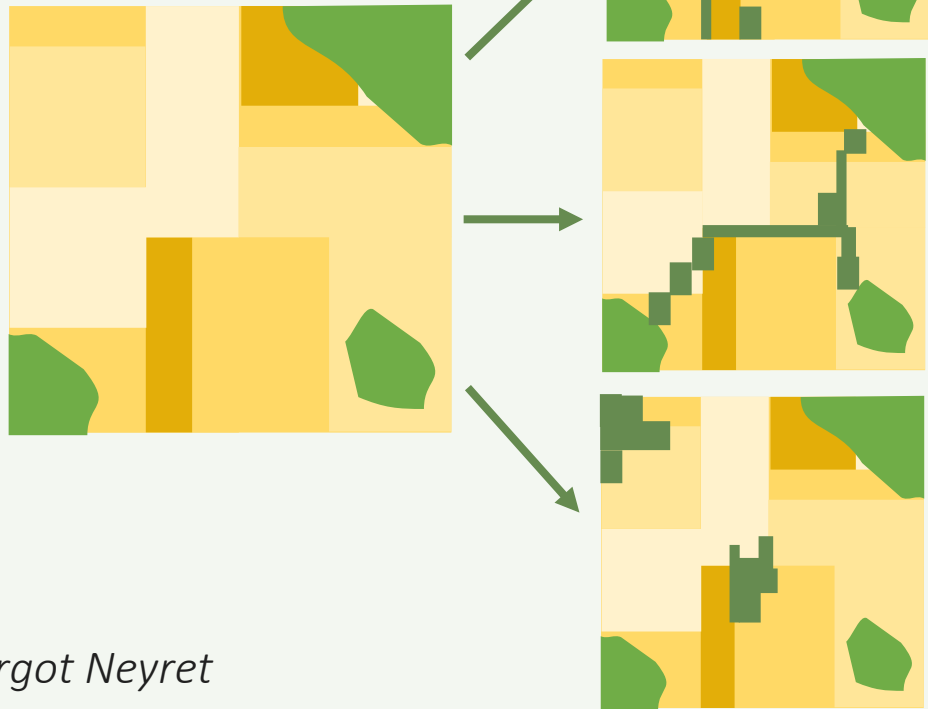
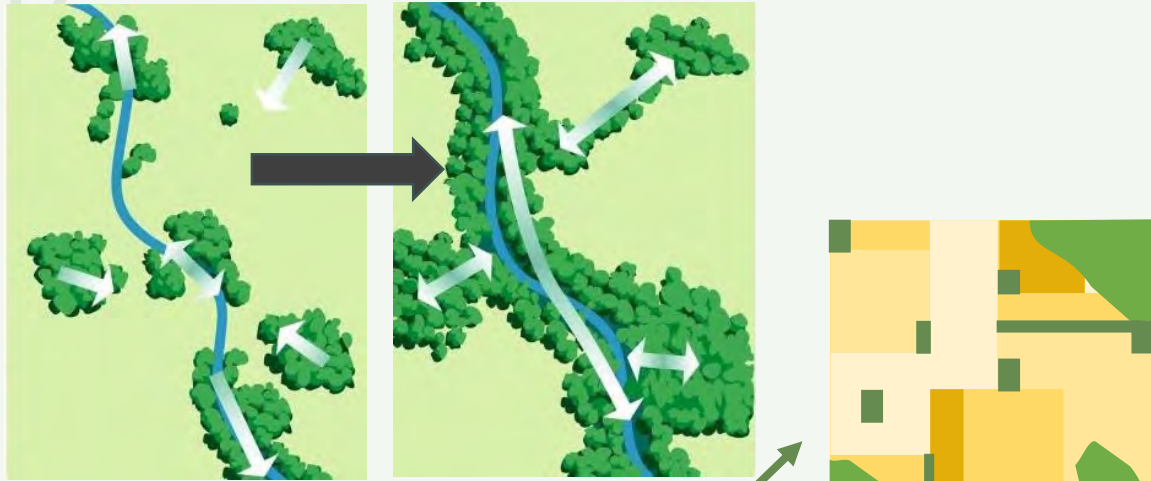
Paysages ruraux multifonctionnels



Effets de l'intensité des usages et de la fragmentation sur la multifonctionnalité



Restaurer la connectivité écologique



Aléatoire

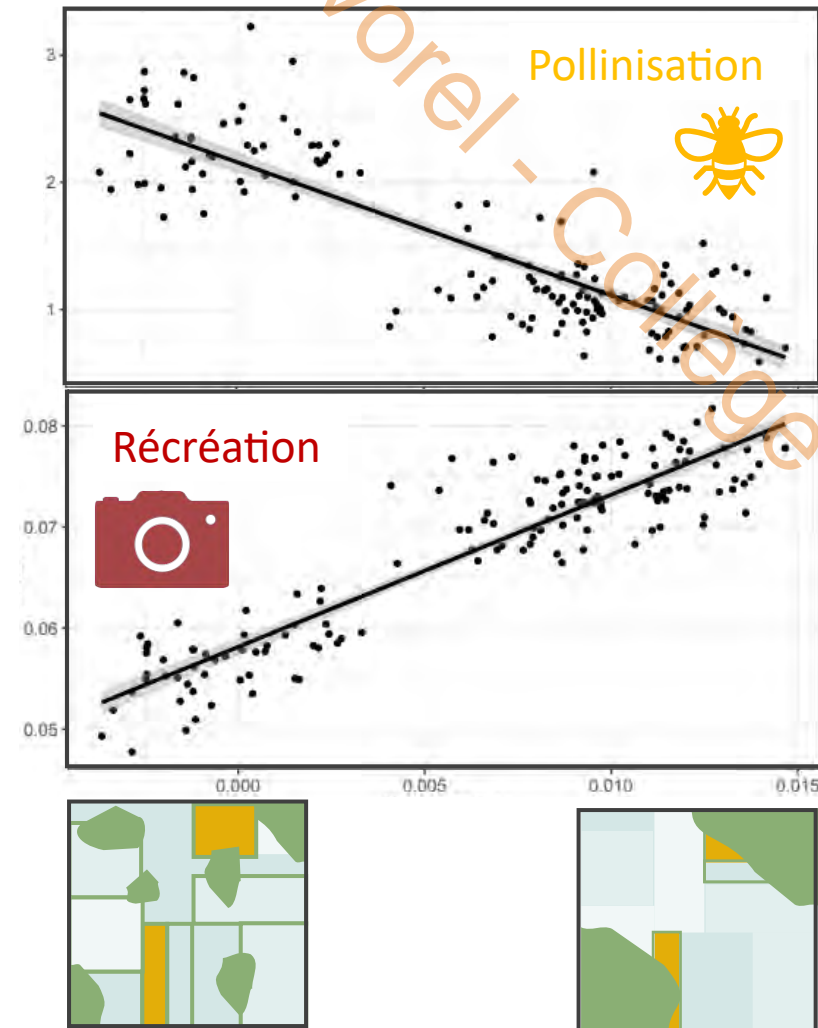
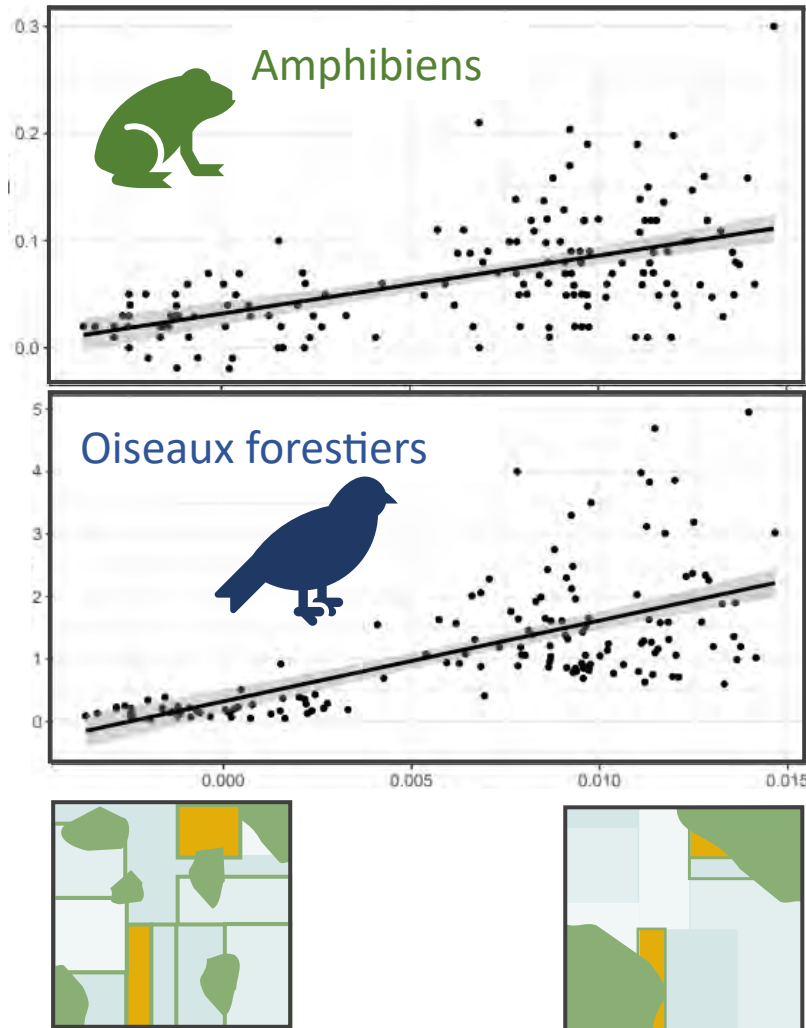
Corridors

Loin des aires
naturelles

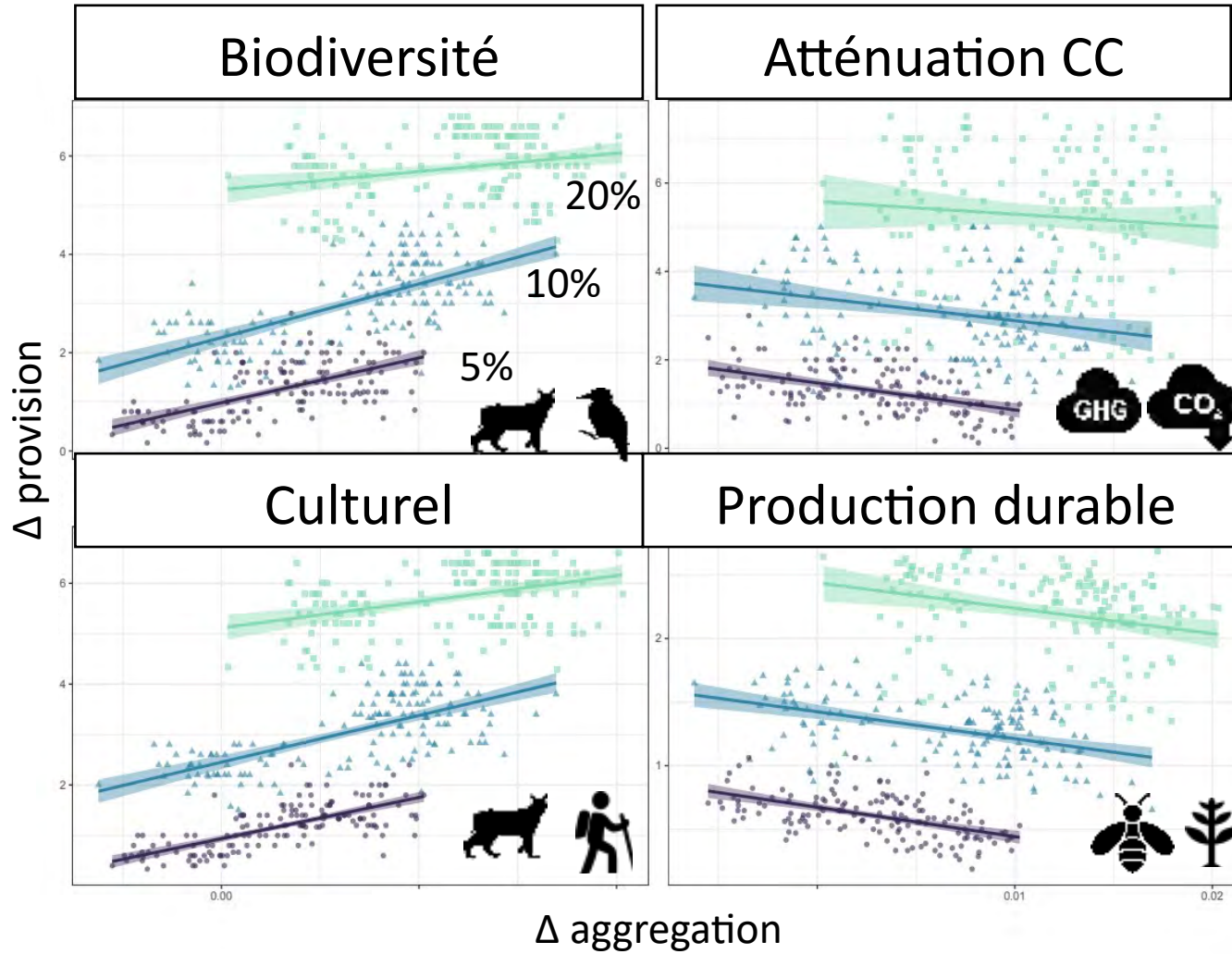


LA VORLE - Collège de France

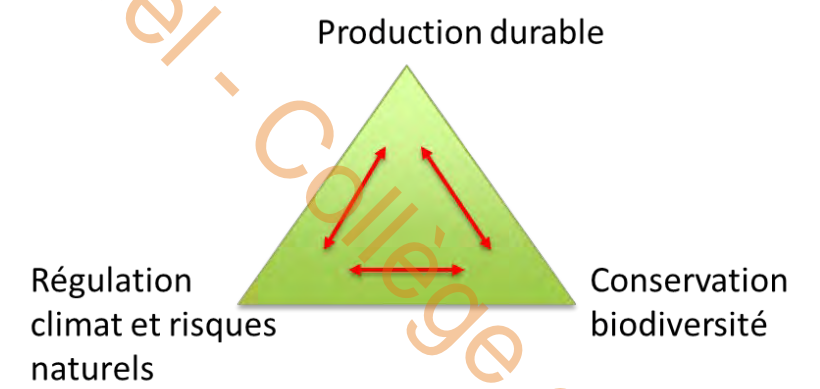
Connectivité écologique des paysages



Multifonctionnalité selon la configuration des paysages








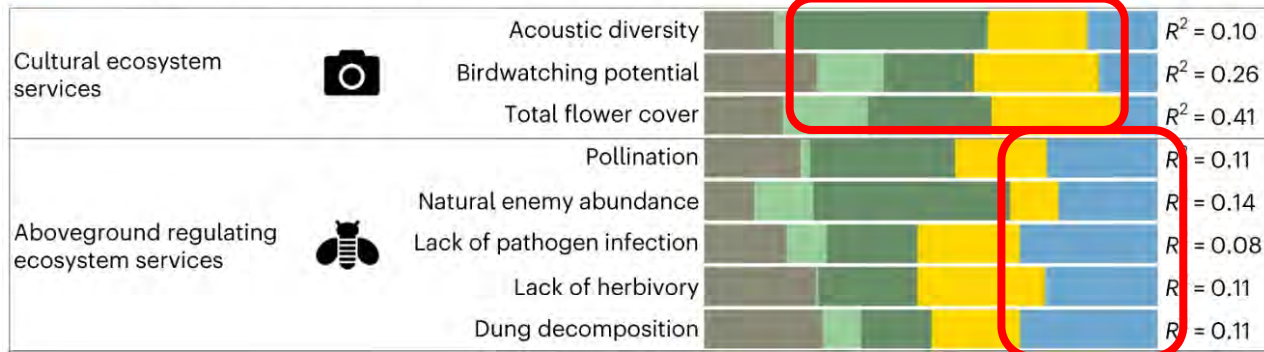
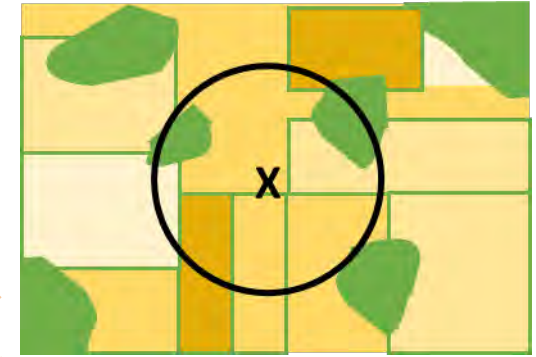
5% 10% 20%



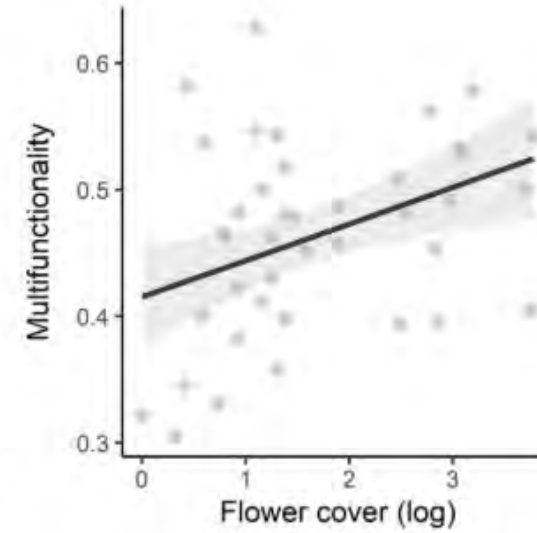
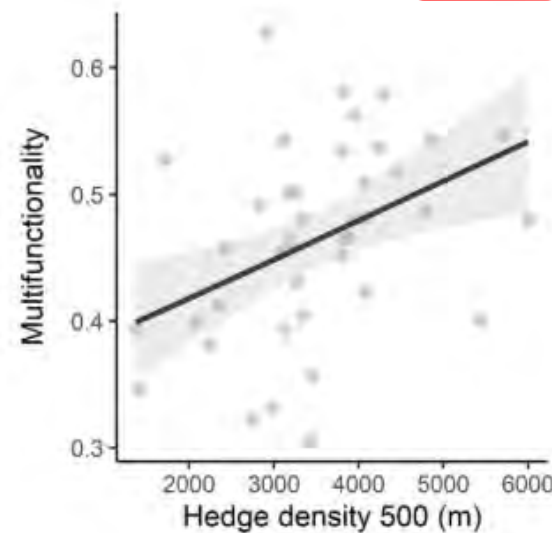
➤ **Compromis entre objectifs selon la configuration du paysage**

Echelle parcellaire et paysage

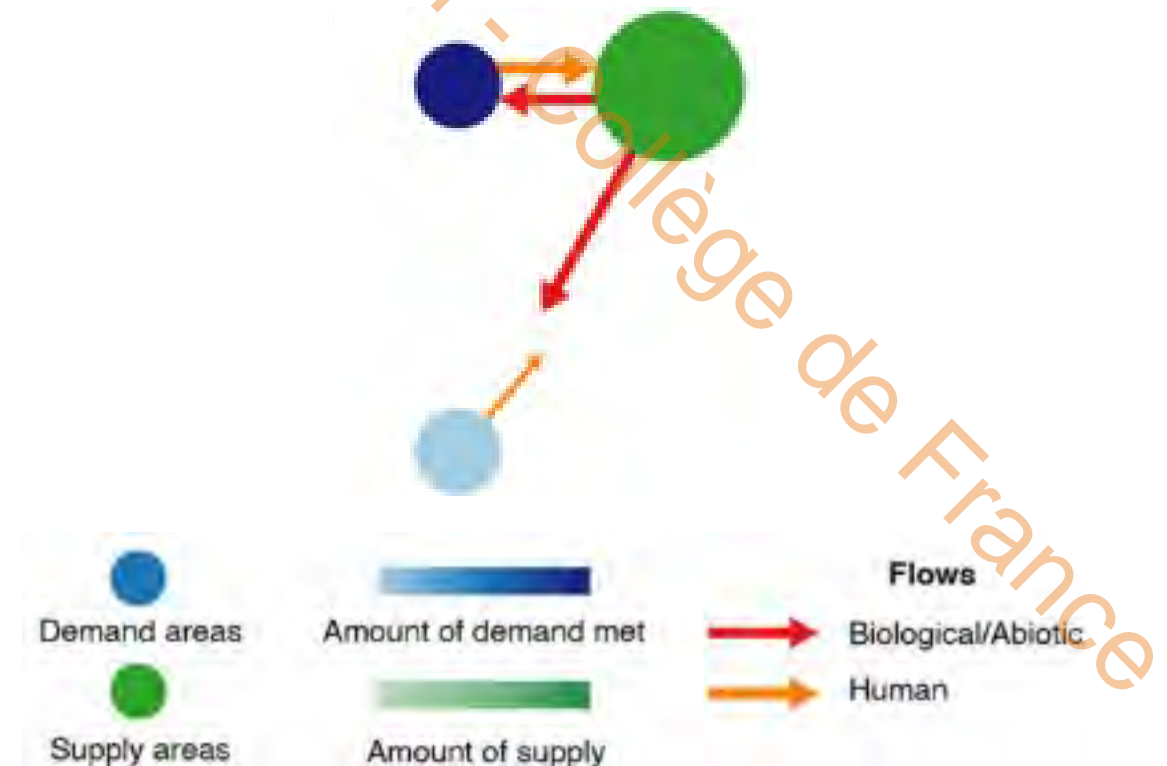
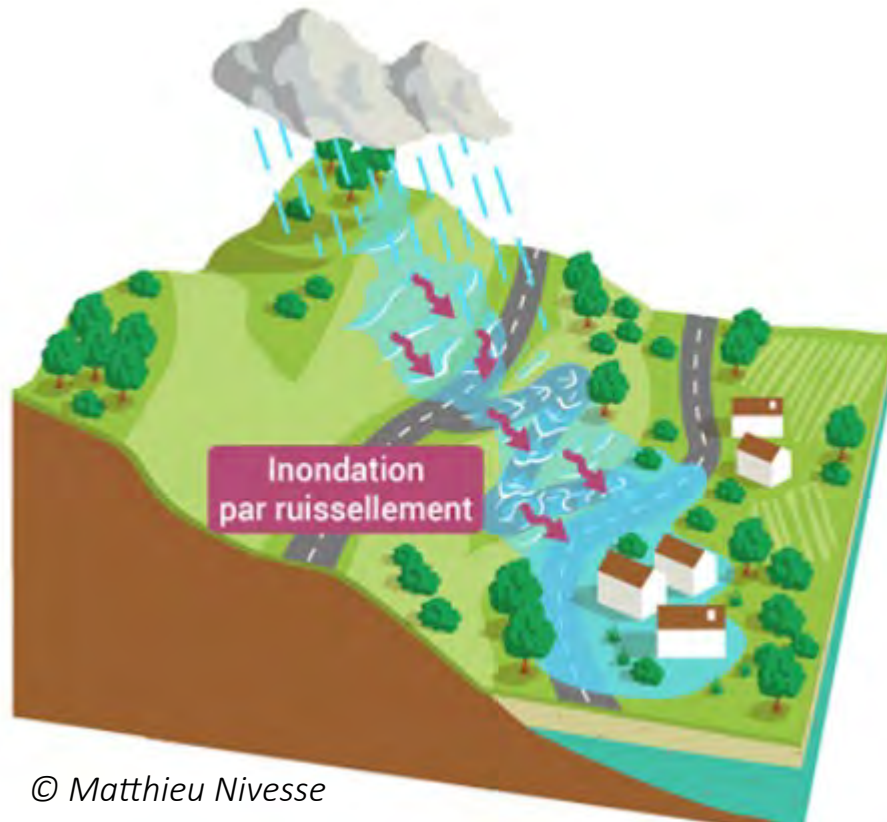
-  Environmental factors
-  Plot-level plant diversity (50 m × 50 m)
-  Field-level plant diversity (75 m radius from the plot centre)
-  Field-level land use (75 m radius from the plot centre)
-  Landscape-level land use (1,000 m radius from the plot centre)



Le Provost, G., et al. (2022) The supply of multiple ecosystem services requires biodiversity across spatial scales. Nature Ecology & Evolution, 7, 236-249



Demande de services écosystémiques dans les paysages

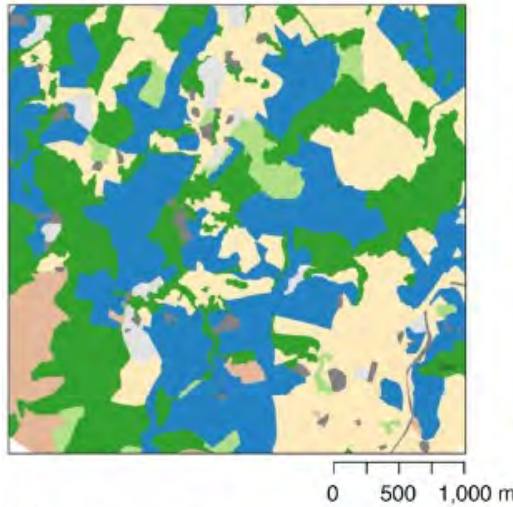


Effets de la configuration spatiale de la demande

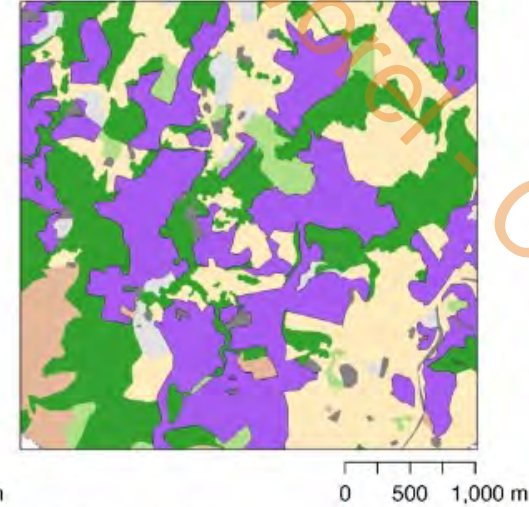


<https://blog.lobodis.com/>

a) Supply and Demand



b) Provision without landscape effects



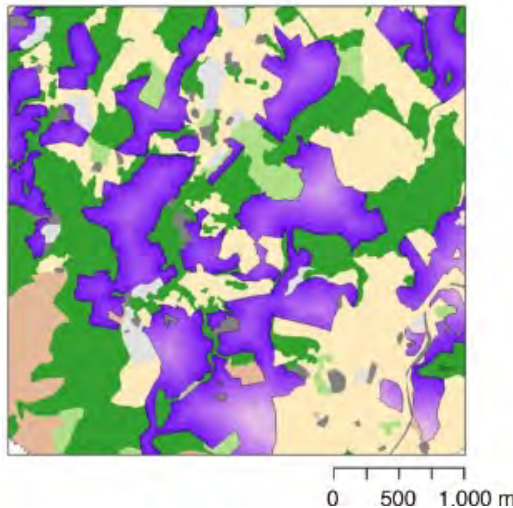
Land use

- Forest (Supply)
- Coffee (Demand)
- Pasture
- Fallow
- Eucalyptus
- Human settlements
- Others
- Water

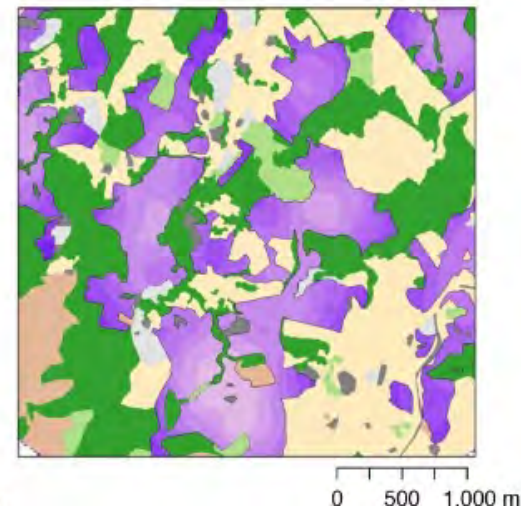
Pollination benefit (%)

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9

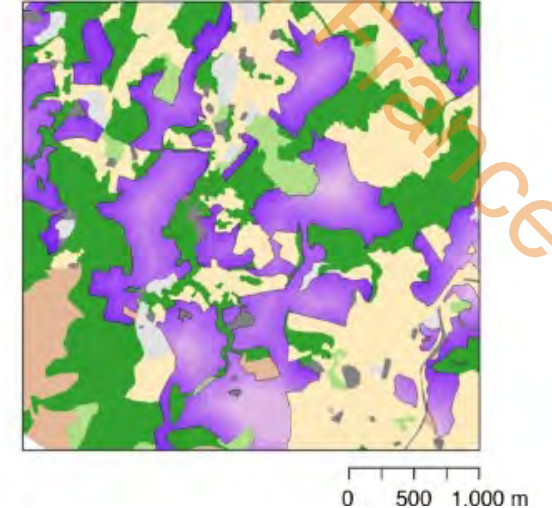
c) Proximity effect



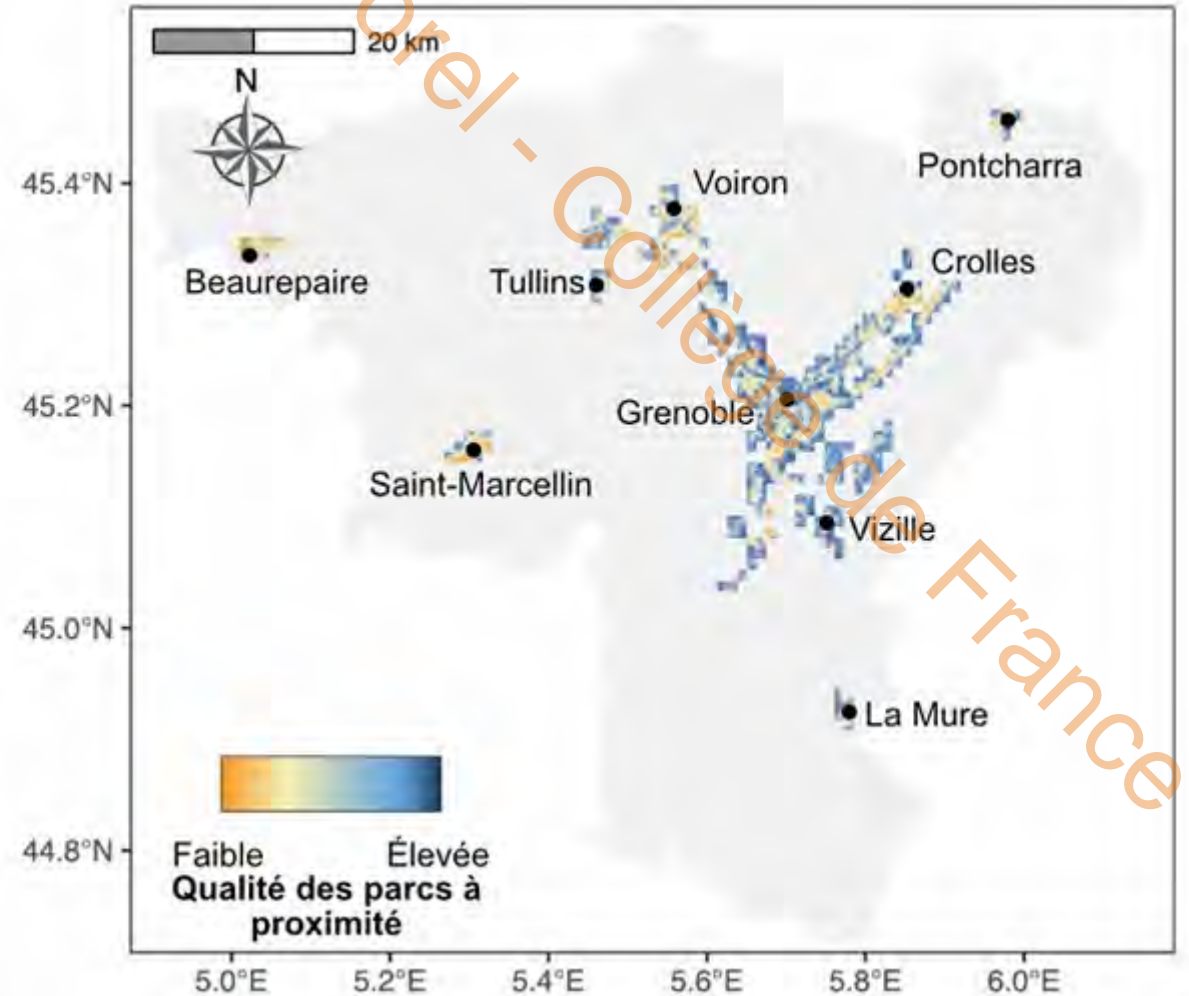
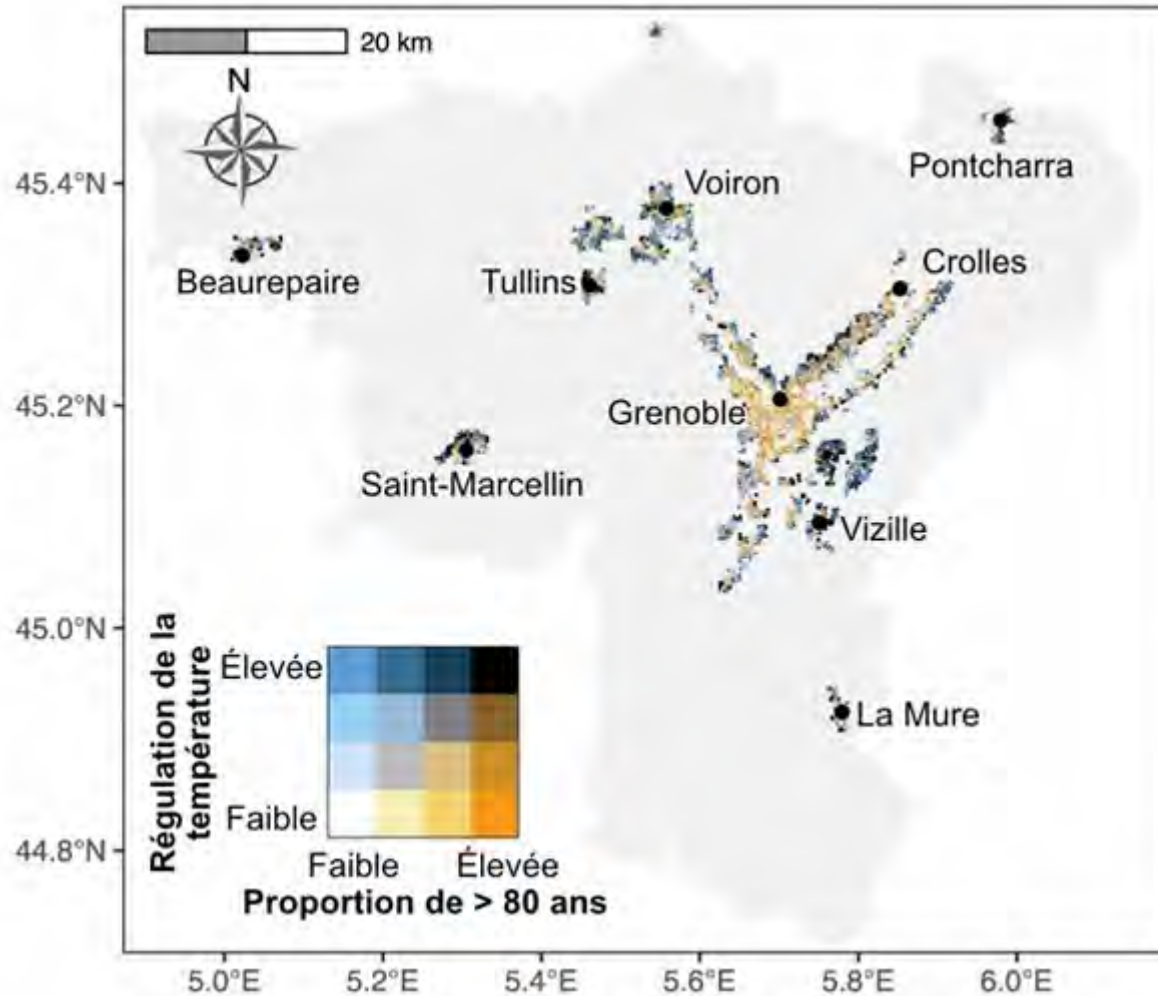
d) Demand effect



e) Combined effect



Accessibilité spatiale aux services écosystémiques



Synthèse

- La structure du paysage a un rôle clé pour le fonctionnement des écosystèmes
- Premier déterminant : composition – différents écosystèmes et usages
- La configuration spatiale modifie le fonctionnement : effets physiques directs et effets indirects via les traits fonctionnels des espèces
- Importance de la connectivité – écologique mais aussi sociale
 - recherches interdisciplinaires
- Enjeu pour la conservation et la gestion durable des écosystèmes

S. Lavoirel
COLLOQUE
Organisation : Sandra LAVOREL,
Chaire annuelle Biodiversité et écosystèmes
Towards a functional
landscape ecology for a resilient
and sustainable future
Mercredi 27 mai 2026
France

