

SFPT-GH – Paris - 5-6 Juillet 2023

Cartographie de la diversité spécifique forestière tempérée à partir d'imagerie hyperspectrale

Marc Lang, Max Ferrière, Florian de Boissieu, Xavier Briottet, Sophie Fabre, David Sheeren, Jean-Baptiste Féret

TOULOUSE
INP Ensat
L'AgroToulouse

INRAE

ONERA



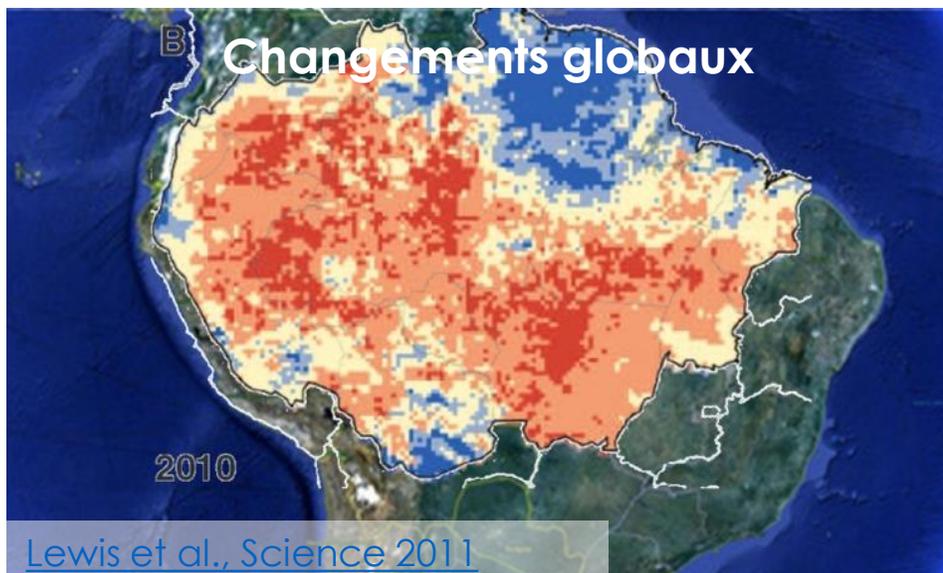
DYNAFOR



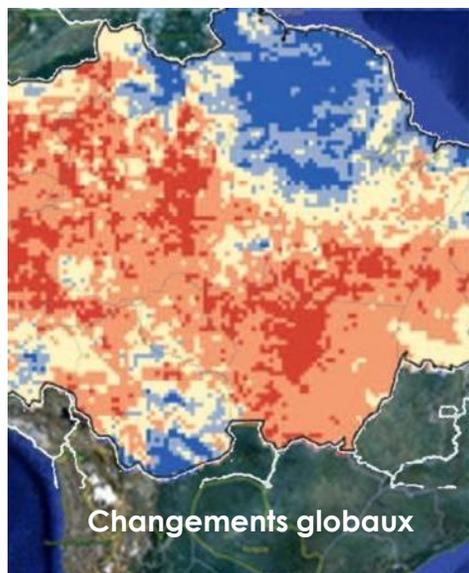
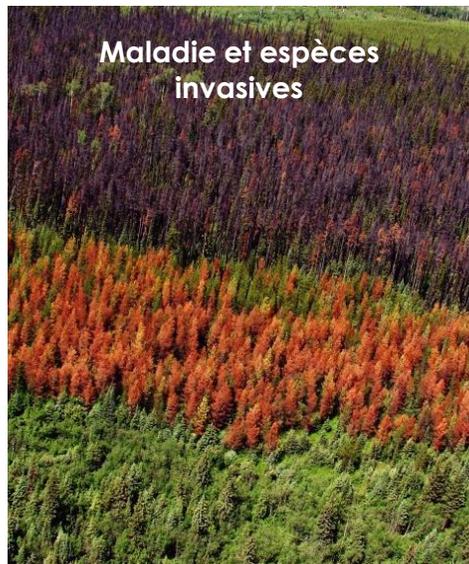
tetis

TERRITOIRE ENVIRONNEMENT TÉLÉDÉTECTION
INFORMATION SPATIALE

L'érosion de la biodiversité s'accélère, tous les écosystèmes sont impactés, notamment les forêts



L'érosion de la biodiversité s'accélère, tous les écosystèmes sont impactés, notamment les forêts



Besoin de méthodes opérationnelles pour cartographier puis suivre l'évolution de la biodiversité



Les données télédétection peuvent fournir des informations clés pour ce suivi opérationnel, de manière répétée et à large échelle

Enjeux

Notions

Biodiversité

Etat de
l'art

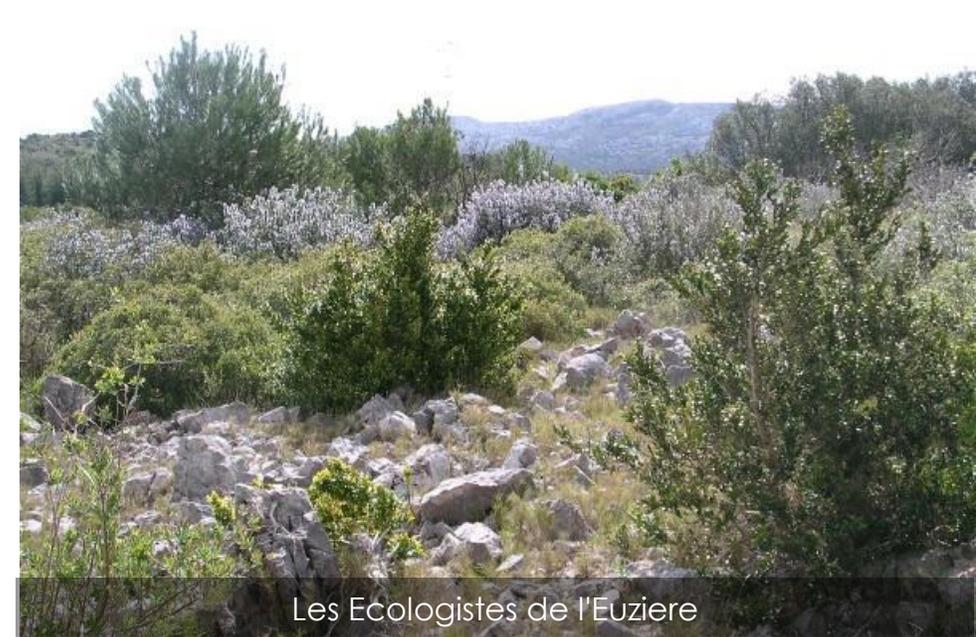
Objectifs

Méthode

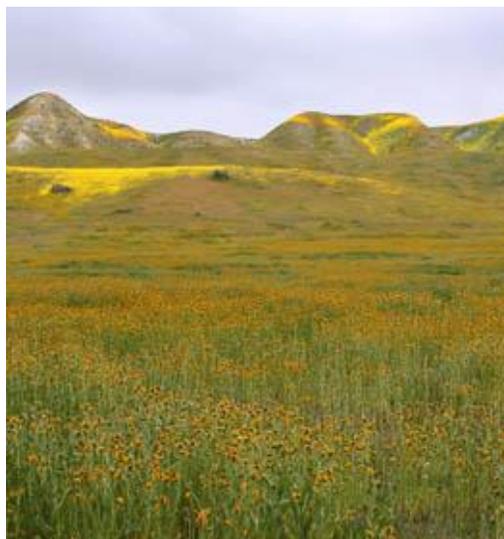
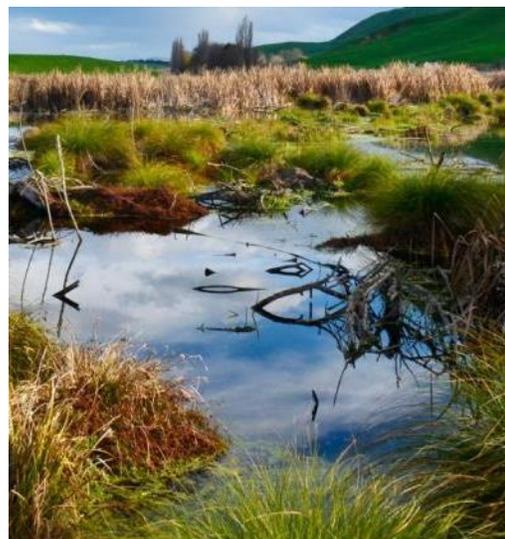
Résultats

Discussion et
Perspectives

Qu'est-ce que la biodiversité ?



Qu'est-ce que la biodiversité ?



Un concept complexe et multidimensionnel

- Différents niveaux d'organisation :
 - Écosystèmes
 - Espèces
 - Génétique
- Et différents :
 - Processus et fonctions
 - Distribution spatiale
 - Configuration spatiale

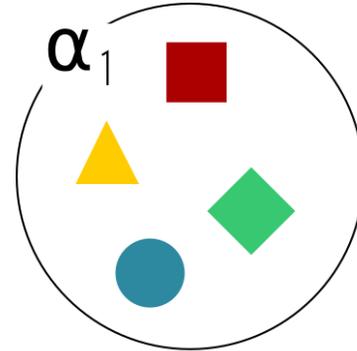


Distribution spatiale de la diversité taxonomique en espèces d'arbres d'une forêt tempérée

Comment caractérise-t-on la biodiversité ?

Différents niveaux d'analyse :

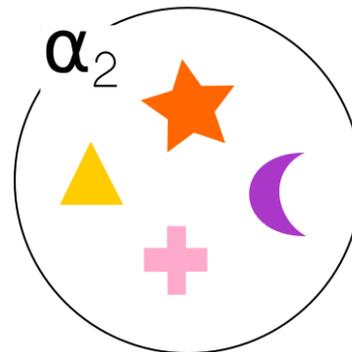
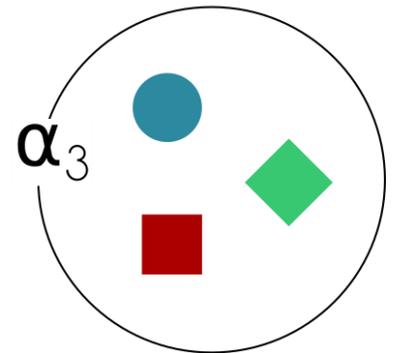
- Alpha



$$\alpha_1 = \alpha_2$$

$$\alpha_1 > \alpha_3$$

$$\alpha_2 > \alpha_3$$



Comment caractérise-t-on la biodiversité ?

Notions

Biodiversité

Différents niveaux d'analyse :

- Alpha
- Beta
- Gamma

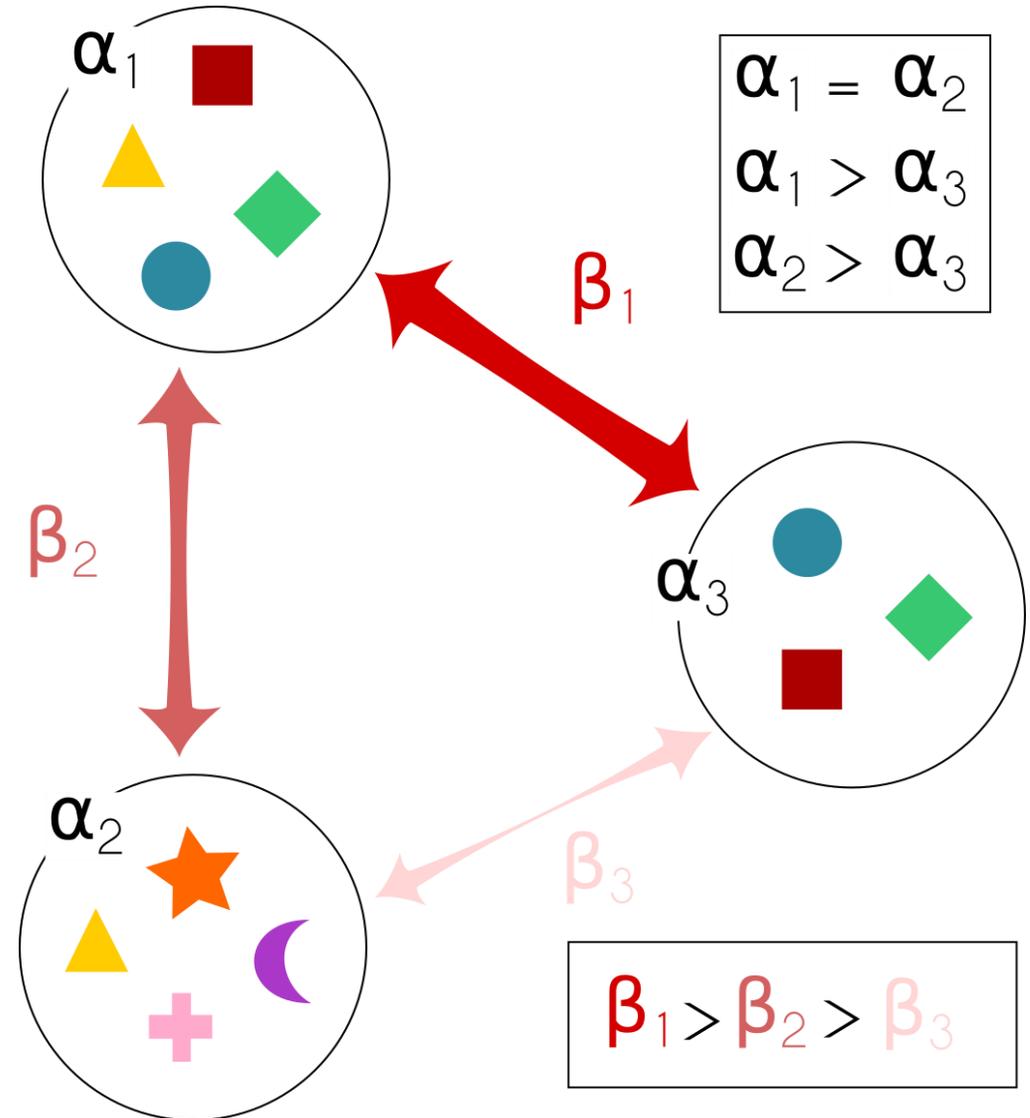
Différent indices :

Alpha :

- Richesse spécifique
- Shannon index
- Simpson index
- ...

Beta :

- Bray Curtis dissimilarity
- Jaccard distance
- ...



Comment caractérise-t-on la biodiversité ?

Notions

Biodiversité

Etat de l'art

Objectifs

Méthode

Résultats

Discussion et Perspectives

Différents niveaux d'analyse :

- **Alpha**
- Beta
- Gamma

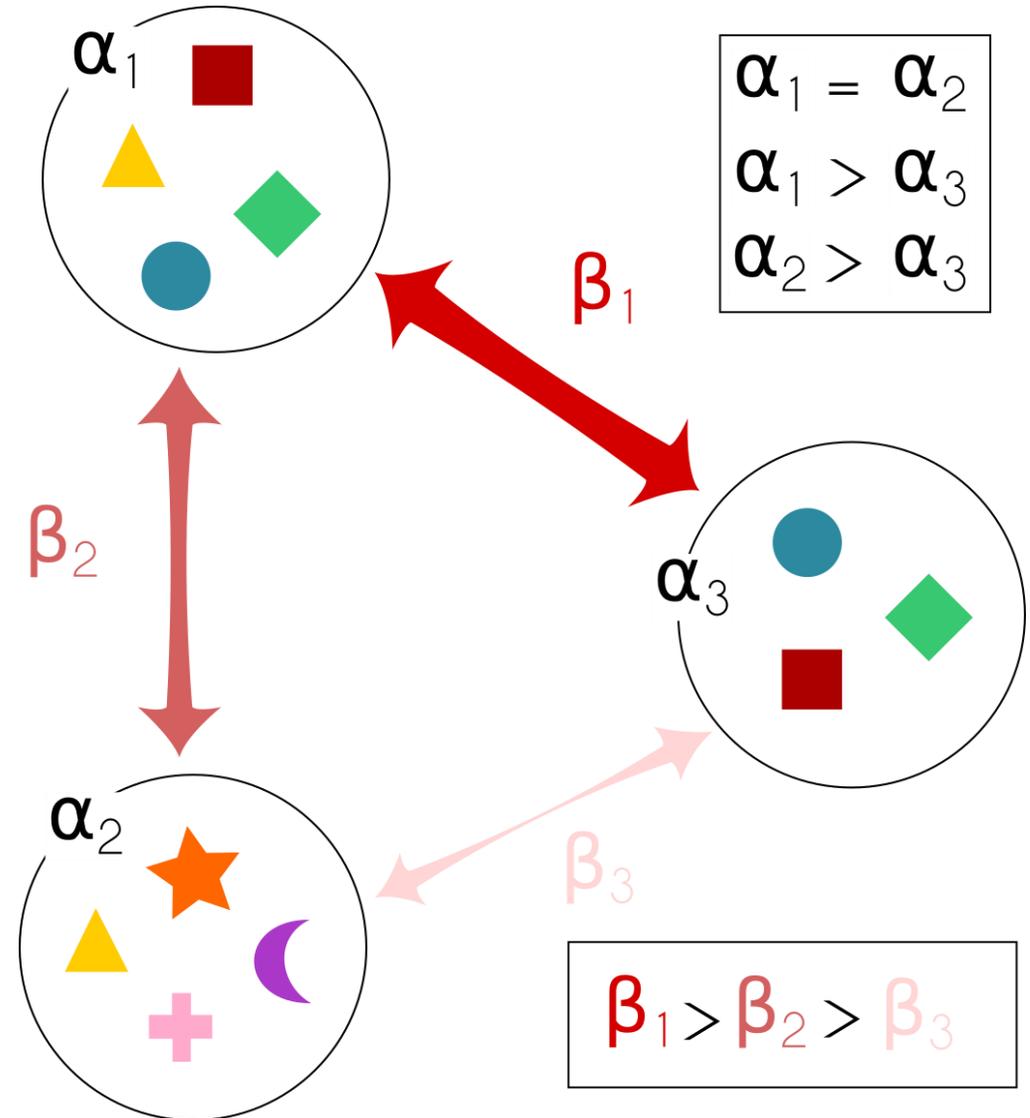
Différent indices :

Alpha :

- **Richesse spécifique**
- **Shannon index**
- Simpson index
- ...

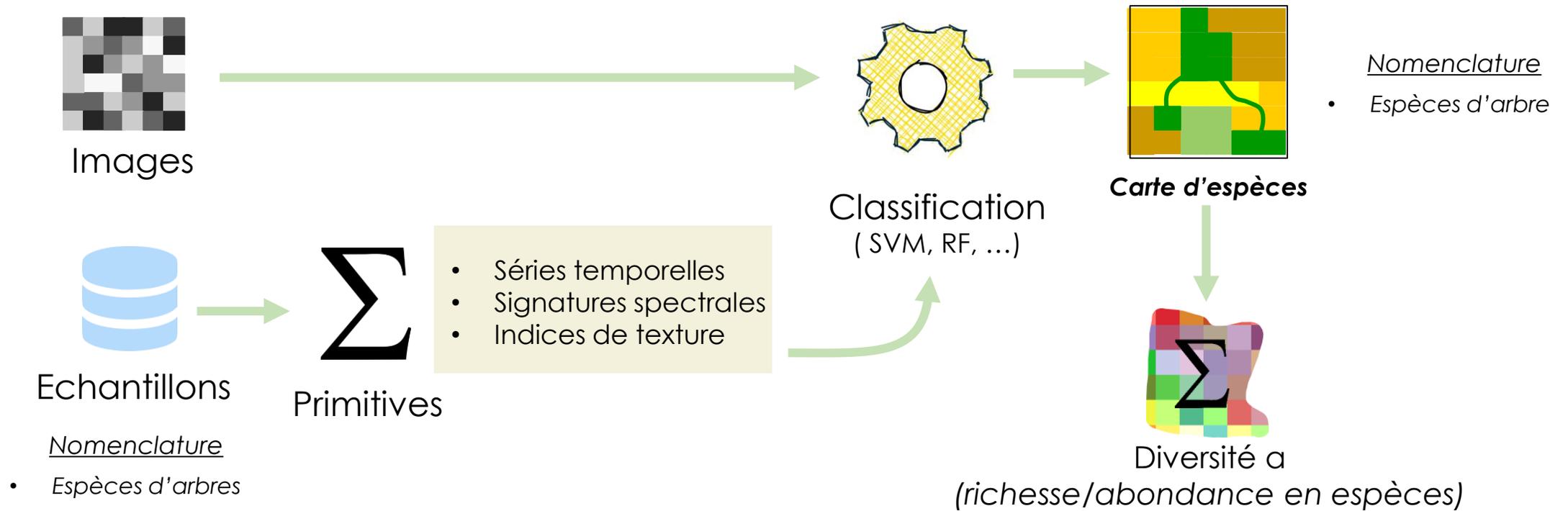
Beta :

- Bray Curtis dissimilarity
- Jaccard distance
- ...



Comment cartographier la biodiversité par télédétection ?

Approche Supervisée



Avantage

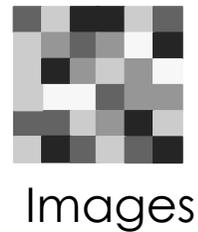
- Information de biodiversité explicite

Inconvénients

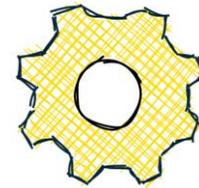
- Sensible à la méthode de classification
- Besoin d'échantillons

Comment cartographier la biodiversité par télédétection ?

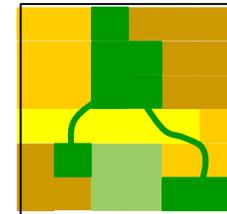
Approche Non Supervisée : Basée sur l'hypothèse de variation spectrale



Images



Clustering (k-means)



Carte d'espèces spectrales

- Nomenclature
- Classes inconnues



Echantillons

- Nomenclature
- Espèces d'arbres



Primitives

- Séries temporelles
- Signatures spectrales
- Indices de texture



Diversité a spectrale

Avantage

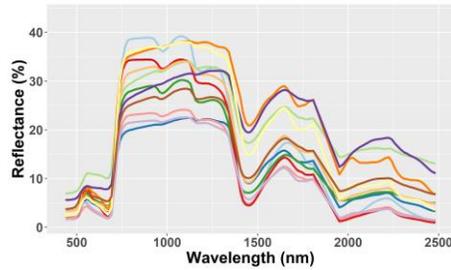
- Pas besoin d'échantillons d'apprentissage

Inconvénients

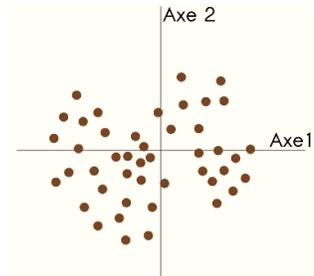
- Information de biodiversité non explicite

Enjeux

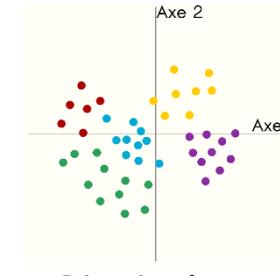
Comment cartographier la biodiversité par télédétection ?



Prétraitements



Espace spectral restreint



Clustering



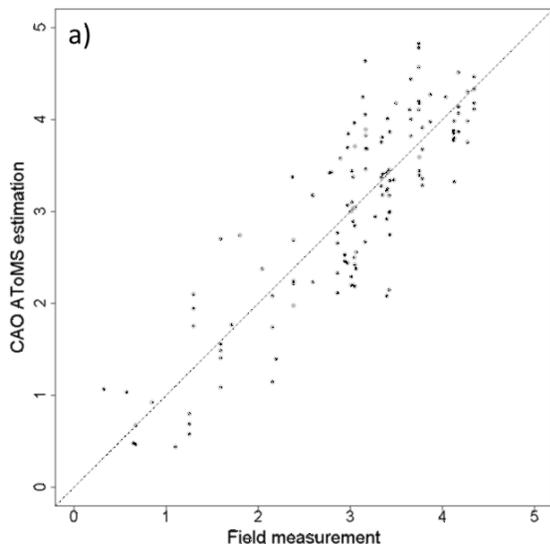
Diversité spectrale

Ecological Applications, 24(6), 2014, pp. 1289–1296
© 2014 by the Ecological Society of America



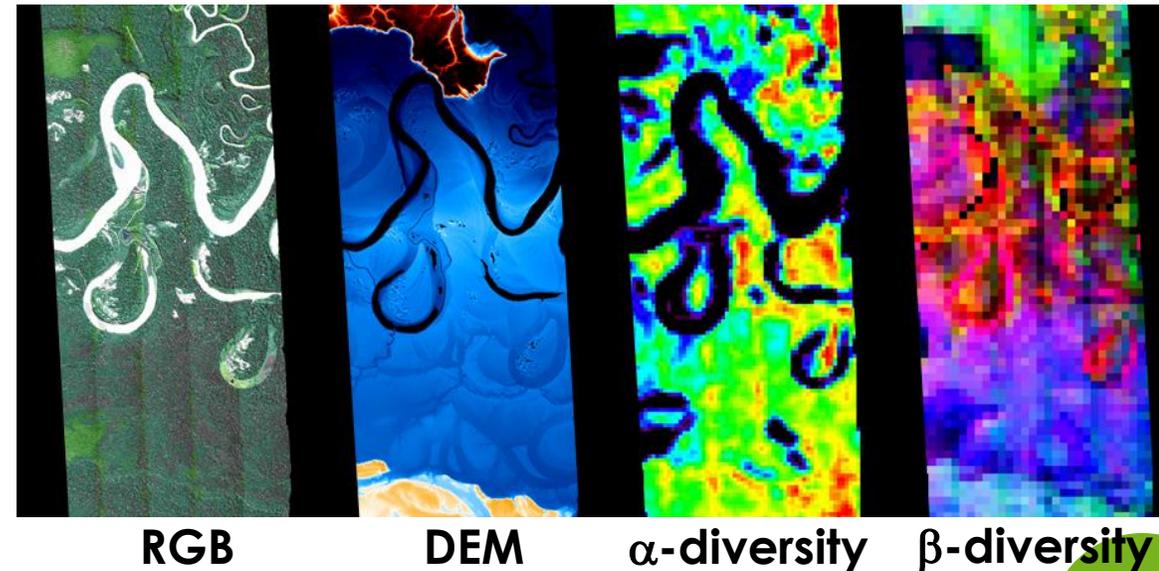
Mapping tropical forest canopy diversity using high-fidelity imaging spectroscopy

JEAN-BAPTISTE FÉRET¹ AND GREGORY P. ASNER



R = 0.86
Validation
(153 plots
sur 10 sites)

Carte de diversité α produite à partir d'imagerie hyperspectrale aéroportée



RGB

DEM

α -diversity

β -diversity

Notions
Biodiversité

Etat de
l'art

Objectifs

Méthode

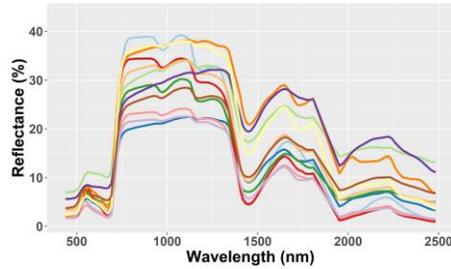
Résultats

Discussion et
Perspectives

Enjeux

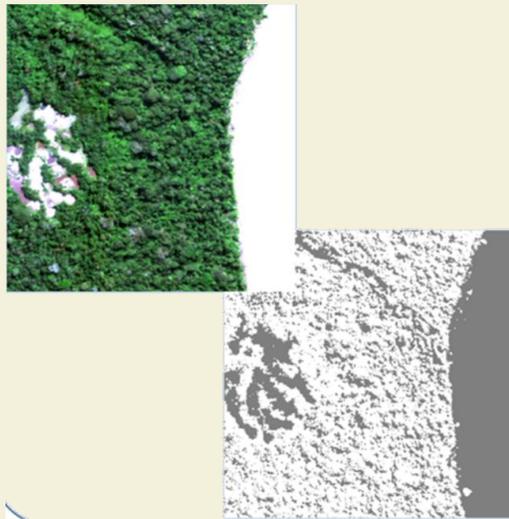
Comment cartographier la biodiversité par télédétection ?

Notions
Biodiversité

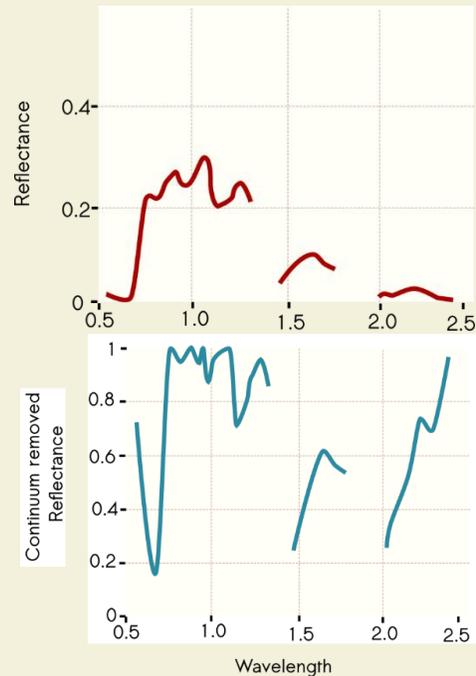


Prétraitements

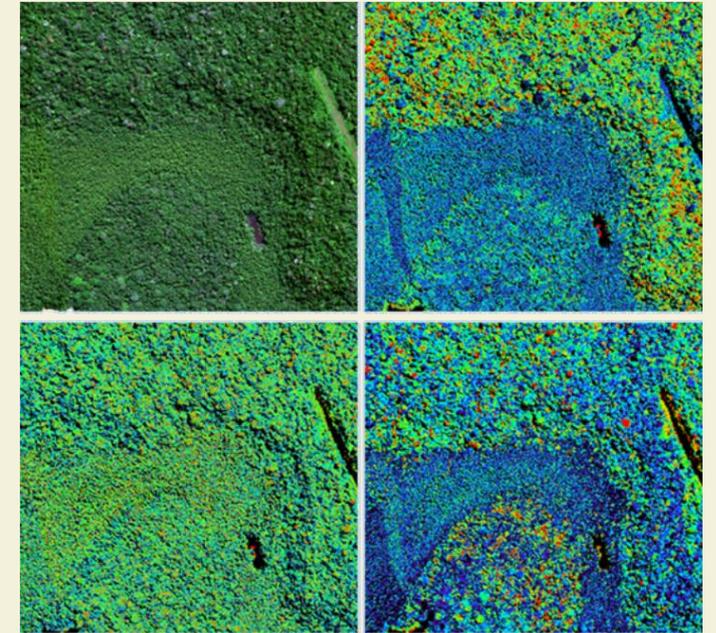
Etat de
l'art



Masque pixels
ombragés



Continuum Removal



PCA et sélection des
composantes

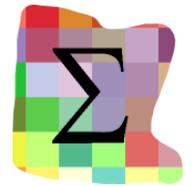
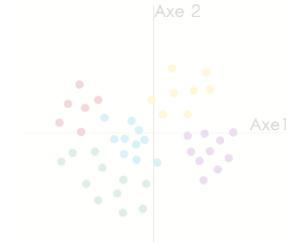
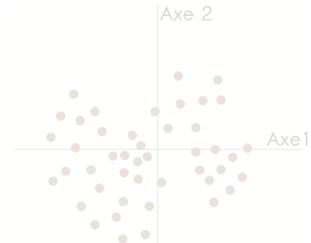
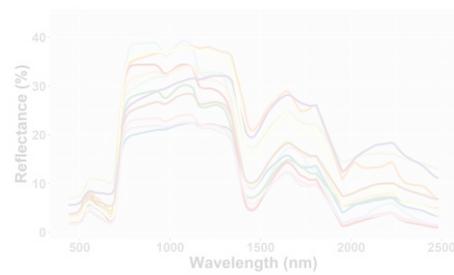
Objectifs

Méthode

Résultats

Discussion et
Perspectives

Comment cartographier la biodiversité par télédétection ?



Diversité spectrale α

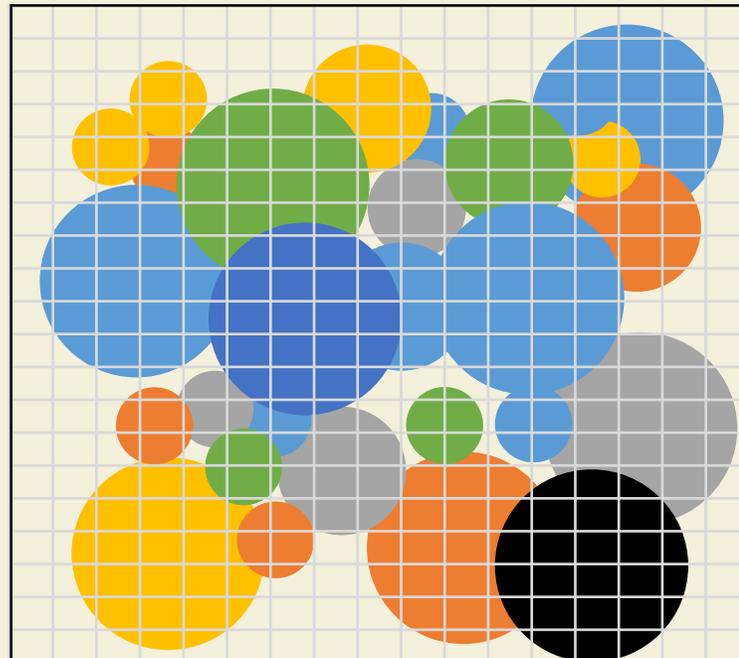
Inventaire d'espèces

- p_1 sp 1 p_4 sp 4
- p_2 sp 2 p_5 sp 5
- p_3 sp 3 p_6 sp 6



Shannon index

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$



Inventaire des classes spectrales

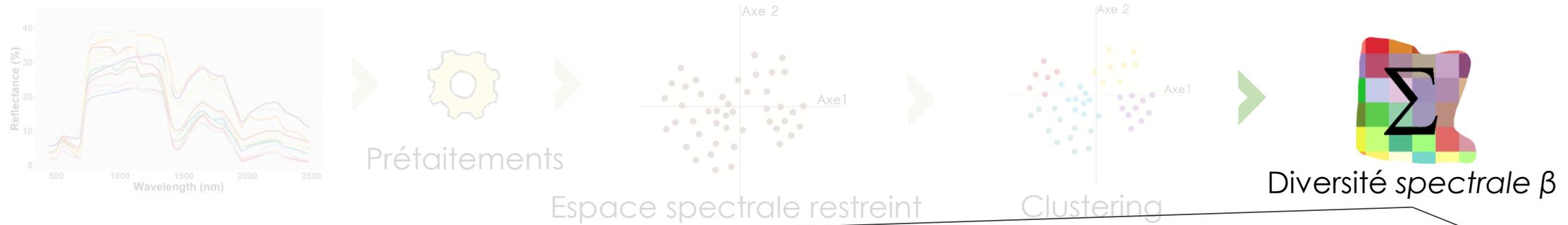
- p_1 classe spectrale 1
- p_2 classe spectrale 2
- p_3 classe spectrale 3
- p_4 classe spectrale 4
- p_5 classe spectrale 5



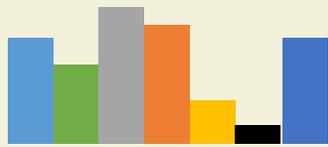
Shannon index

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

Comment cartographier la biodiversité par télédétection ?

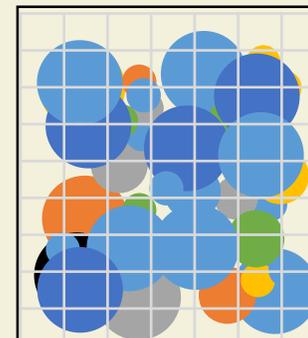
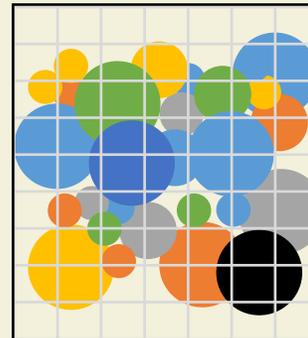
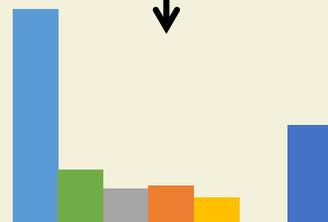


Distribution d'espèces



Bray Curtis Dissimilarity

$$BC_d = \frac{\sum |x_i - x_j|}{\sum (x_i + x_j)}$$

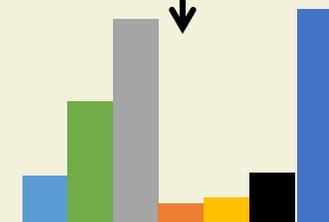


Distribution de classes spectrale



Bray Curtis Dissimilarity

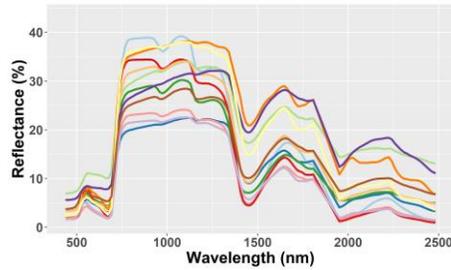
$$BC_d = \frac{\sum |x_i - x_j|}{\sum (x_i + x_j)}$$



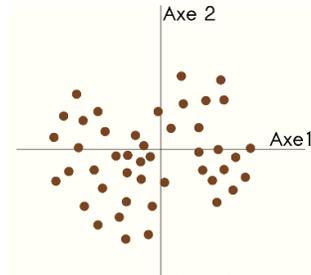
Enjeux

Comment cartographier la biodiversité par télédétection ?

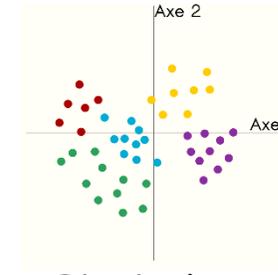
Notions
Biodiversité



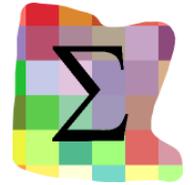
Prétraitements



Espace spectral restreint

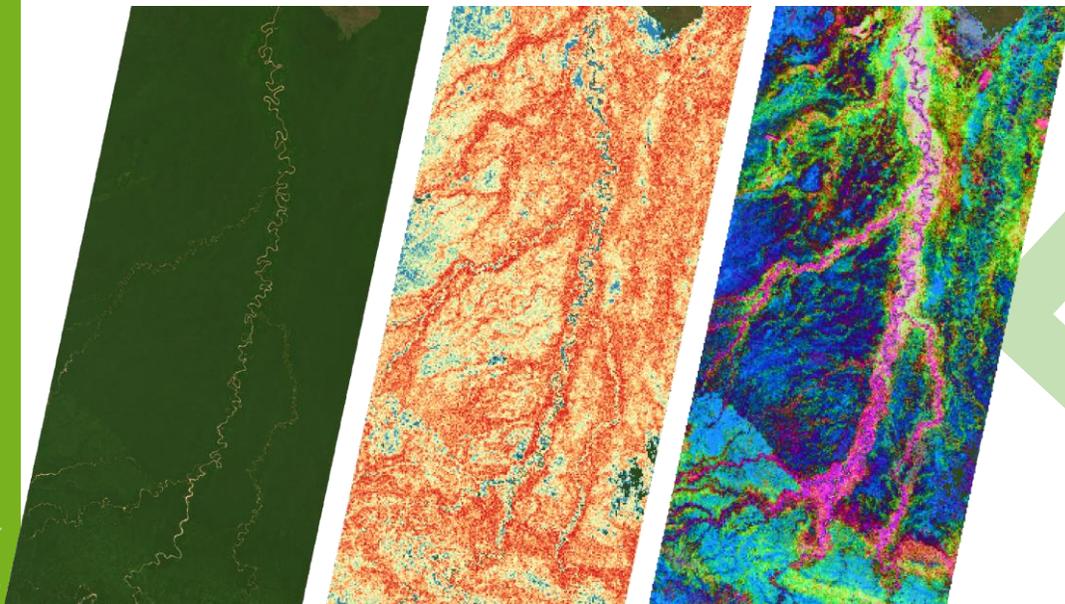


Clustering



Diversité spectrale

Cartes de biodiversité produites à partir de données EnMAP (Amazonie Péruvienne)

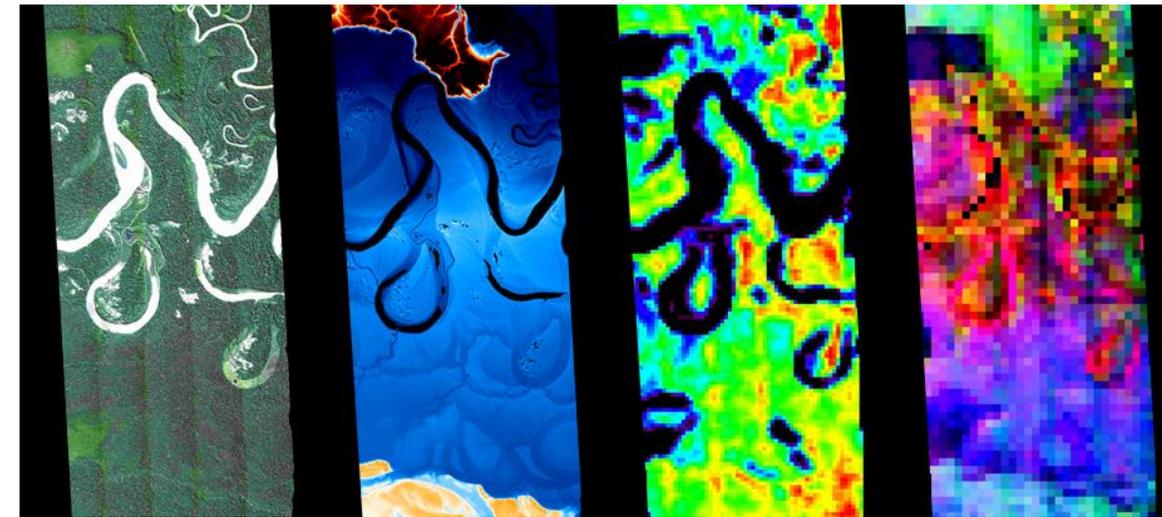


RGB

α -diversity

β -diversity

Cartes de diversité α et β produite à partir d'imagerie hyperspectrale aéroportée



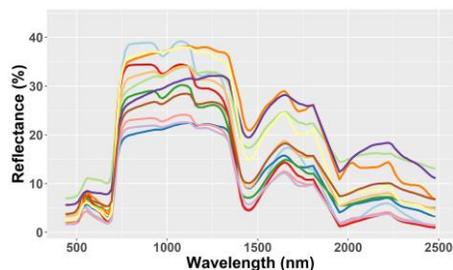
RGB

DEM

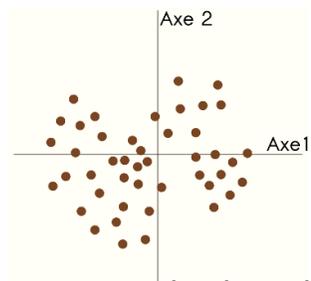
α -diversity

β -diversity

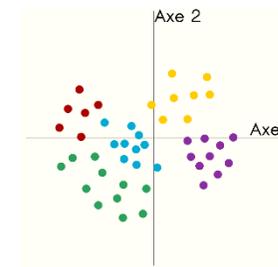
Comment cartographier la biodiversité par télédétection ?



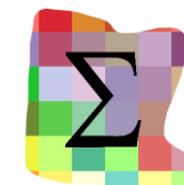
Prétraitements



Espace spectral restreint



Clustering



Diversité spectrale



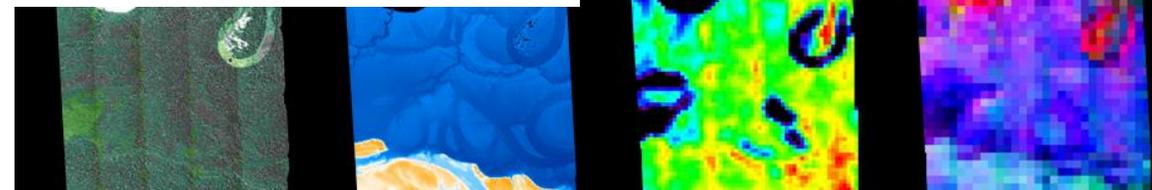
Cartes de diversité α et β produite à partir d'imagerie hyperspectrale aéroportée

APPLICATION

biodivMapR: An R package for α - and β -diversity mapping using remotely sensed images

Jean-Baptiste Féret | Florian de Boissieu

<https://jbferet.github.io/biodivMapR/index.html>



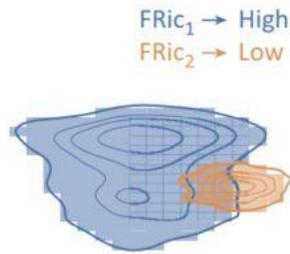
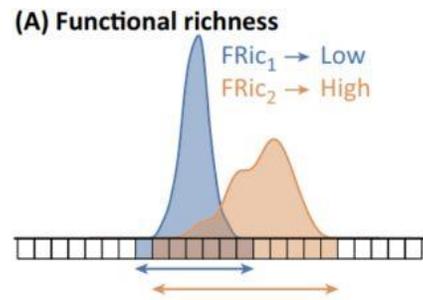
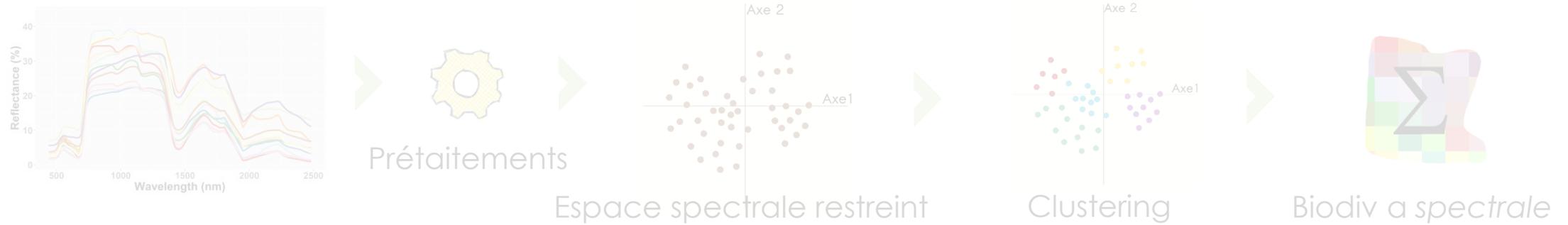
RGB

DEM

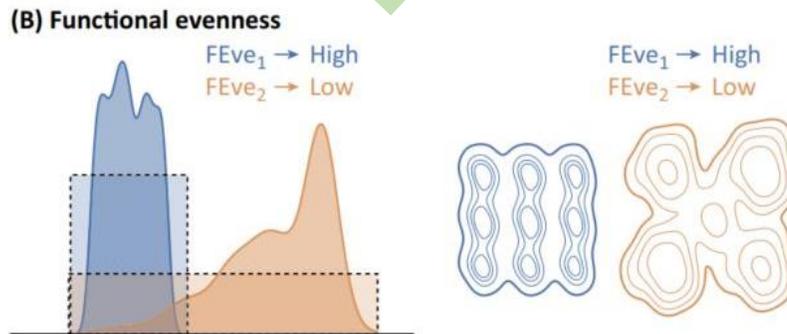
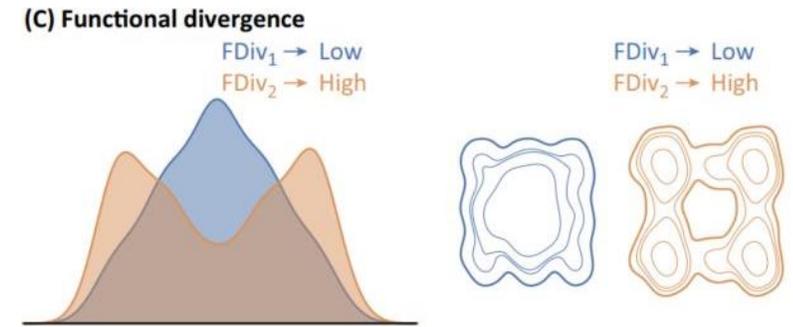
α -diversity

β -diversity

Comment cartographier la biodiversité par télédétection ?



Biodiv spectrale
fonctionnelle
(Villegier et al., 2008)



D'après Carmona et al. (2016).

Hypothèses de l'étude

Hypothèses

H1

La méthode fonctionne pour les forêts tempérées, moins riches en espèces

H1. a. Il existe une **corrélation** élevée entre diversité spectrale et diversité mesurée sur le terrain

H1. b. La méthode permet de décrire les **variations spatiales** de la diversité

H2

Le nombre de classes spectrales doit être adapté aux milieux

H2. a. Il existe un **nombre optimal** de classes spectrales

H2. b. Ce nombre est inférieur à celui paramétré pour les forêts tropicales

H3

Les indices de **diversité fonctionnelle**

H3. a. Sont **corrélés** avec la diversité mesurée sur le terrain

H3. b. Sont **complémentaires** aux indices de diversité spectrale taxonomique

Site d'étude : Massif forestier de Fabas

Enjeux

Notions

Biodiversité

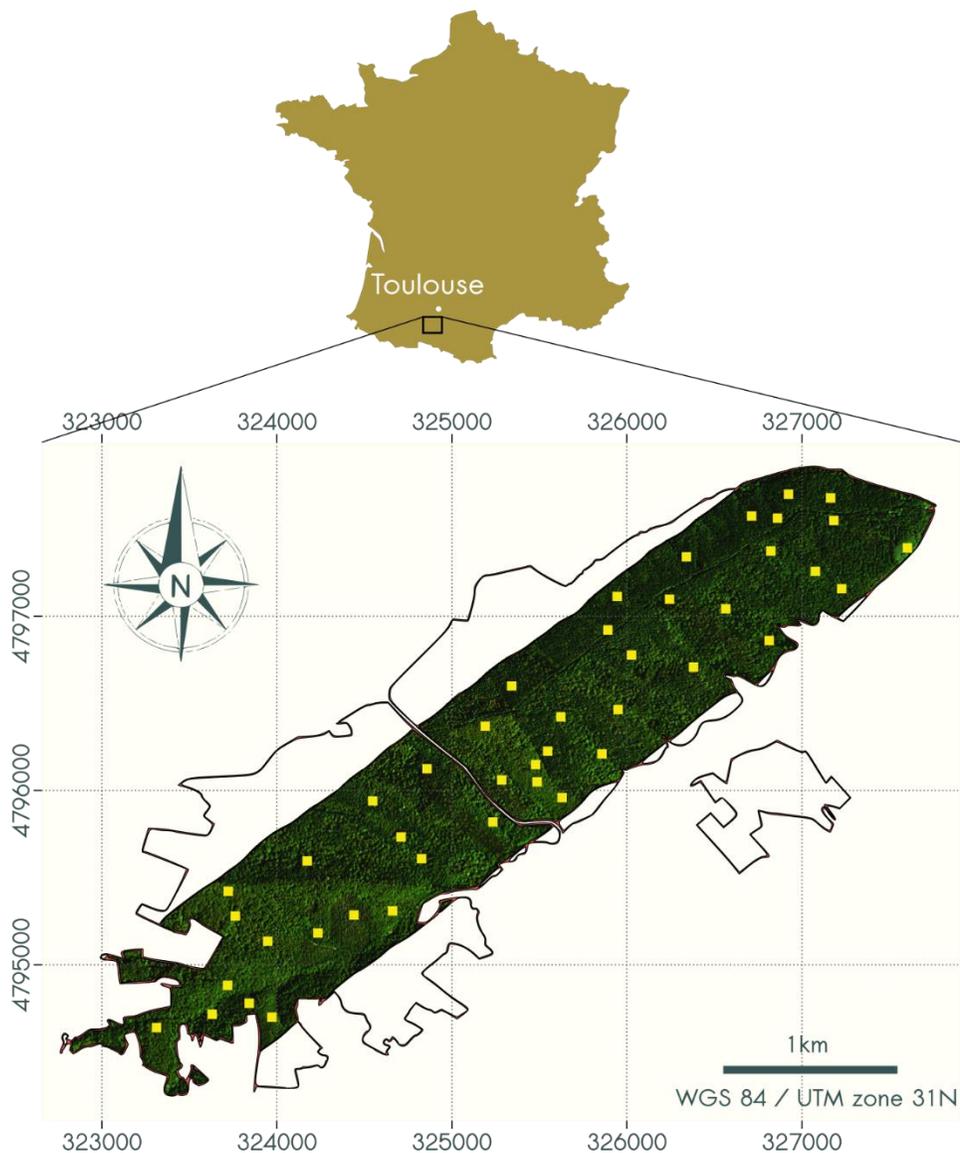
Etat de l'art

Objectifs

Méthode

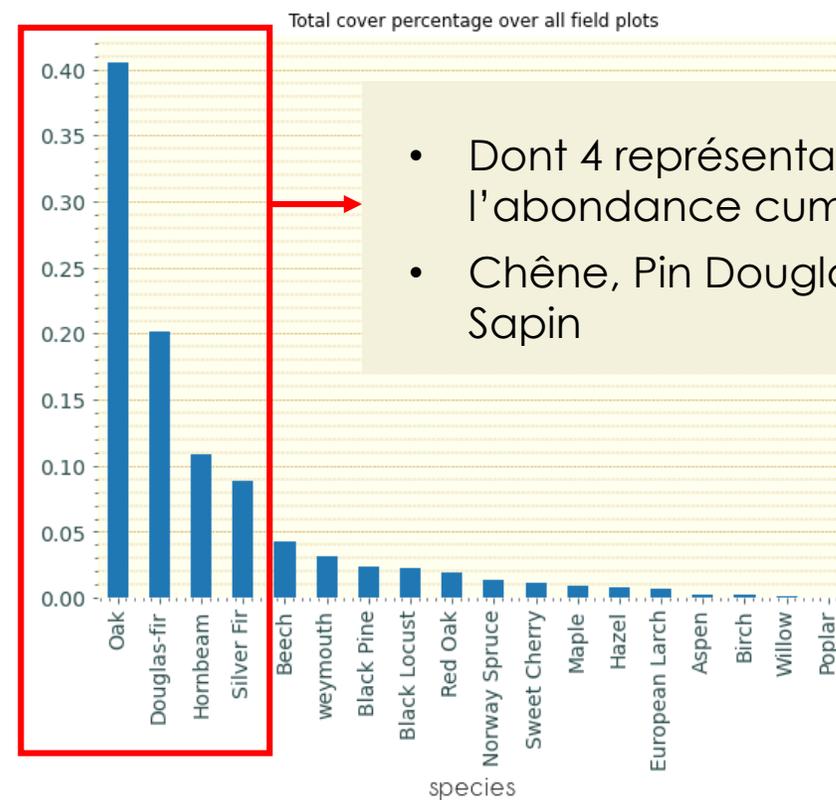
Résultats

Discussion et Perspectives



Inventaires terrains

- 44 placettes
- 40m par 40m
- Identifier les espèces d'arbres et leur recouvrement
- 18 espèces



- Dont 4 représentant 80% de l'abondance cumulée
- Chêne, Pin Douglas, Charme, le Sapin

Site d'étude : Massif forestier de Fabas

Enjeux

Notions

Biodiversité

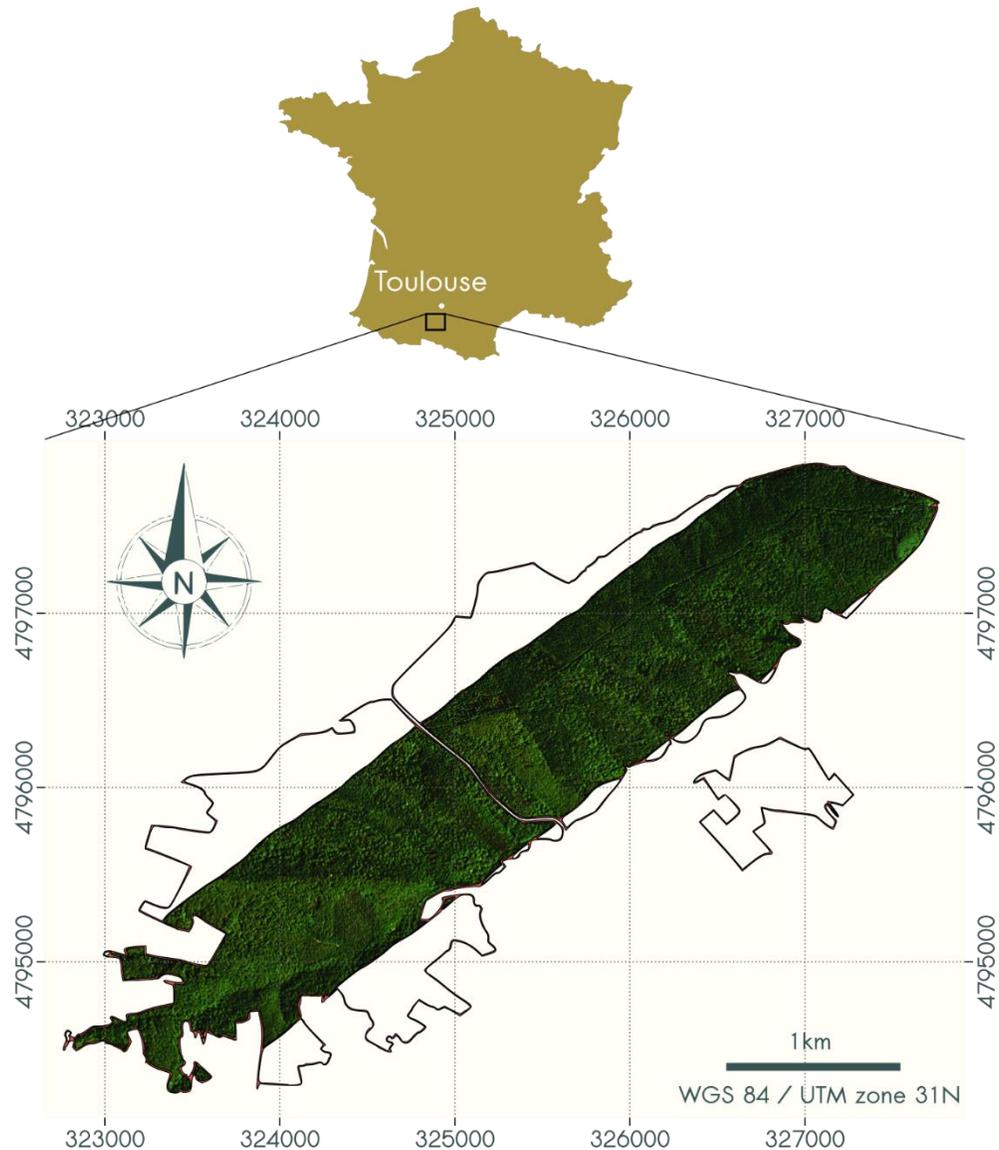
Etat de
l'art

Objectifs

Méthode

Résultats

Discussion et
Perspectives



Images

- Acquisées en Septembre 2015
- À 1287m d'altitude
- Avec deux capteurs :
 - Hypspx VNIR-1600
 - Hypspx SWIR-320
- En luminance à 1m et 2m

Pré-traitements

1. Images coregistrées
2. Corrigées en réflectance
3. Ré-échantillonnage spatiale

Image finale

- 409 bandes de 400 à 2500 nm
- Résolution spatiale de 4 m

Enjeux

Notions

Biodiversité

Etat de l'art

Objectifs

Méthode

Résultats

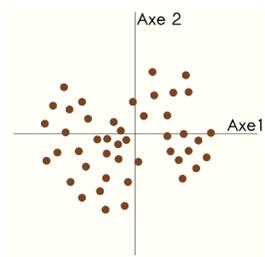
Discussion et Perspectives



Image finale



Prétraitements

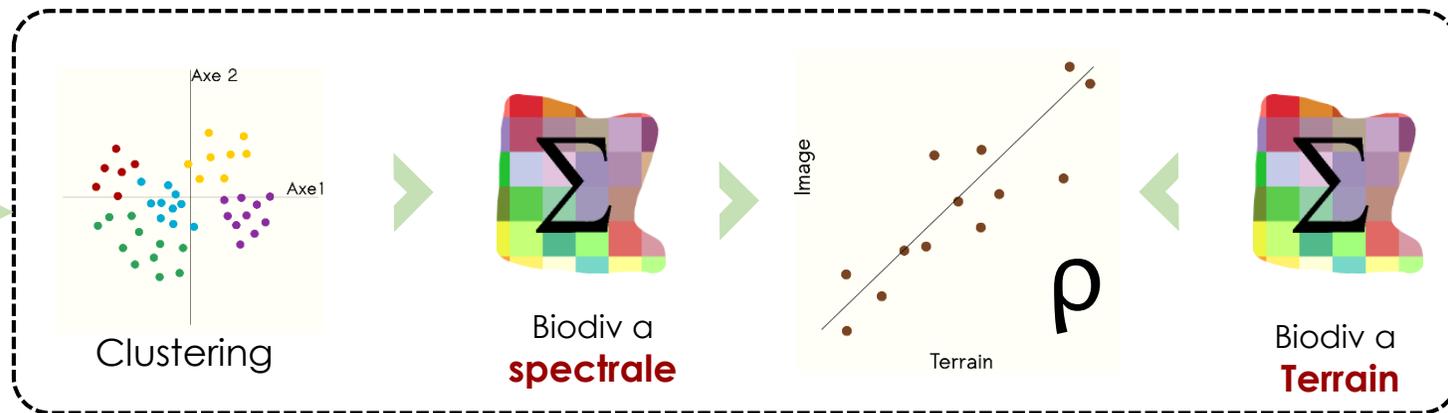


Espace spectrale restreint

H2

Le nombre de classes spectrales doit être adapté aux milieux

Pour k allant de 2 à 100



Enjeux

Notions

Biodiversité

Etat de l'art

Objectifs

Méthode

Résultats

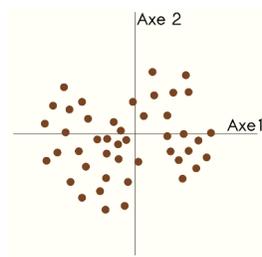
Discussion et Perspectives



Image finale



Prétraitements



Espace spectrale restreint

Pour un **k optimal**

H2

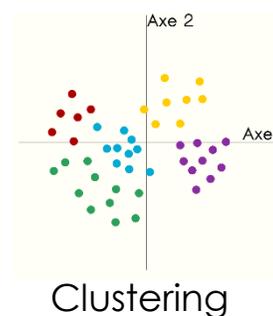
Le nombre de classes spectrales doit être adapté aux milieux

Pour **k** allant de 2 à 100

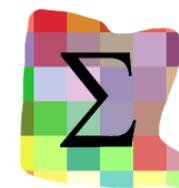


H1

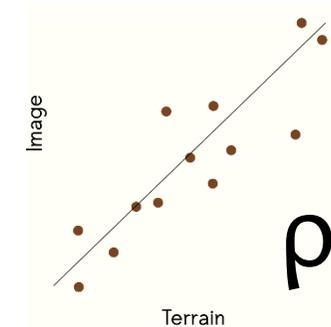
La méthode fonctionne pour les forêts tempérées



Clustering



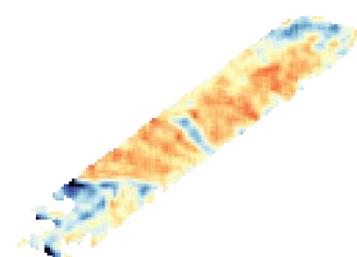
Biodiv a spectrale



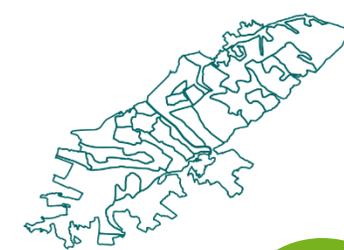
Terrain



Biodiv a Terrain



Carte de Biodiv a



Données de validation

Enjeux

Notions

Biodiversité

Etat de l'art

Objectifs

Méthode

Résultats

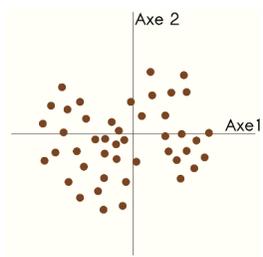
Discussion et Perspectives



Image finale



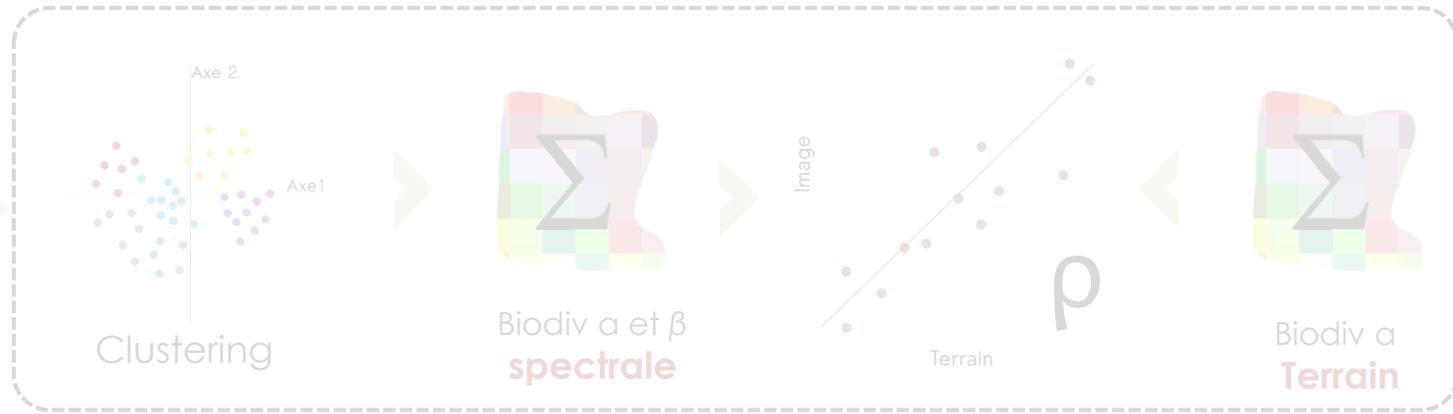
Prétraitements



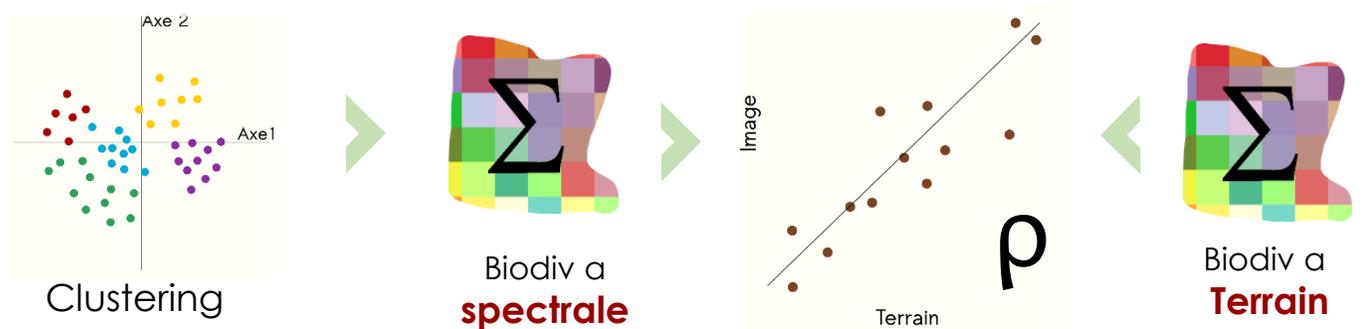
Espace spectral restreint

Pour un **k optimal**

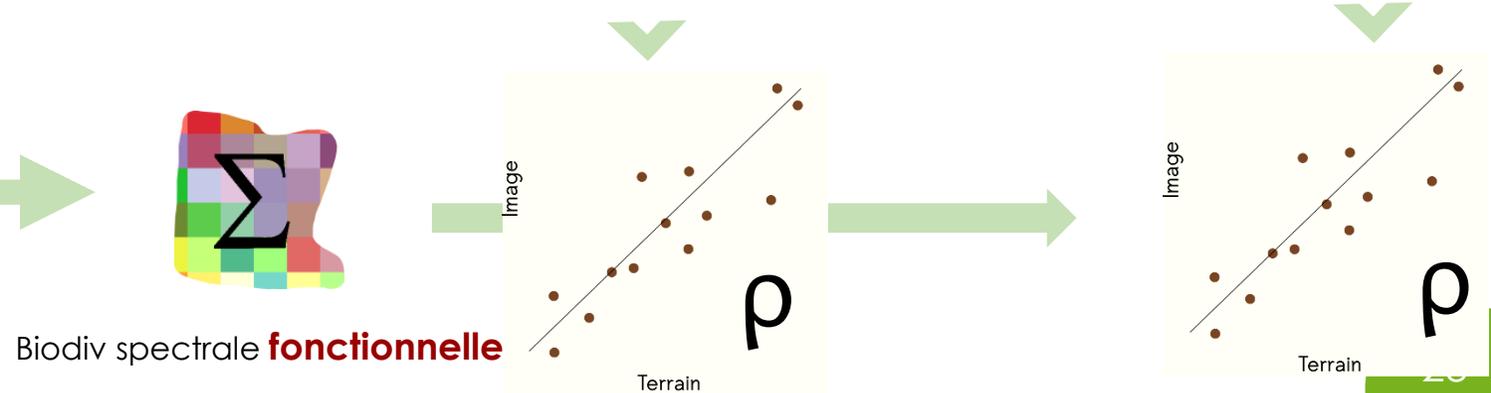
H2 Le nombre de classes spectrales doit être adapté aux milieux
Pour **k** allant de 2 à 100



H1 La méthode fonctionne pour les forêts tempérées



H3 Les indices fonctionnels sont une alternatives



Enjeux

Notions
Biodiversité

Etat de
l'art

Objectifs

Méthode

Résultats

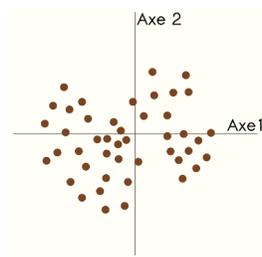
Discussion et
Perspectives



Image finale



Prétraitements

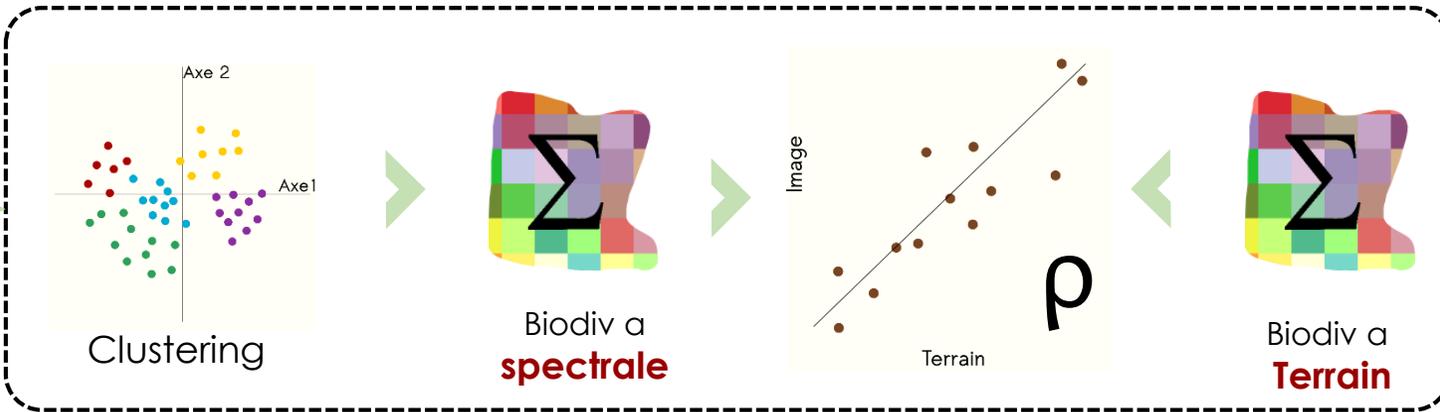


Espace spectral
restreint

H2

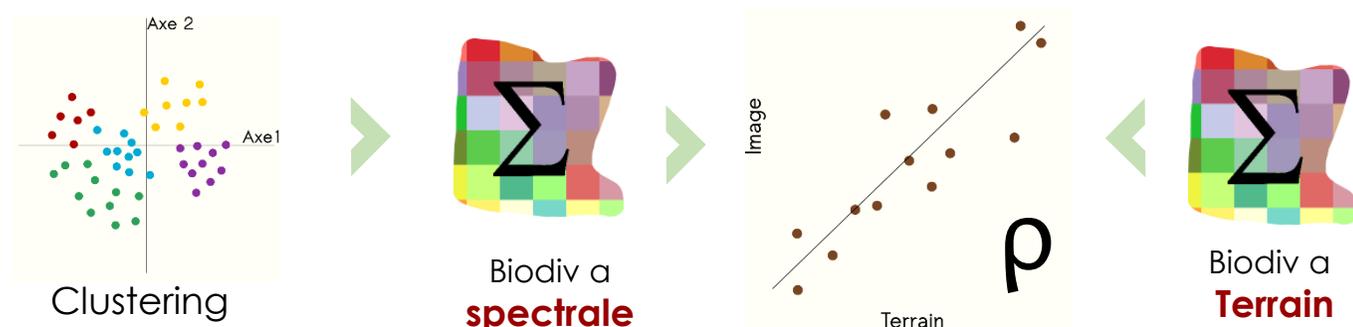
Le nombre de classes spectrales doit être adapté aux milieux

Pour k allant de 2 à 100



H1

La méthode fonctionne pour les forêts tempérées



Pour un k optimal

H3

Les indices fonctionnels
sont une alternatives

Biodiv spectrale **fonctionnelle**



Enjeux

Notions

Biodiversité

Etat de
l'art

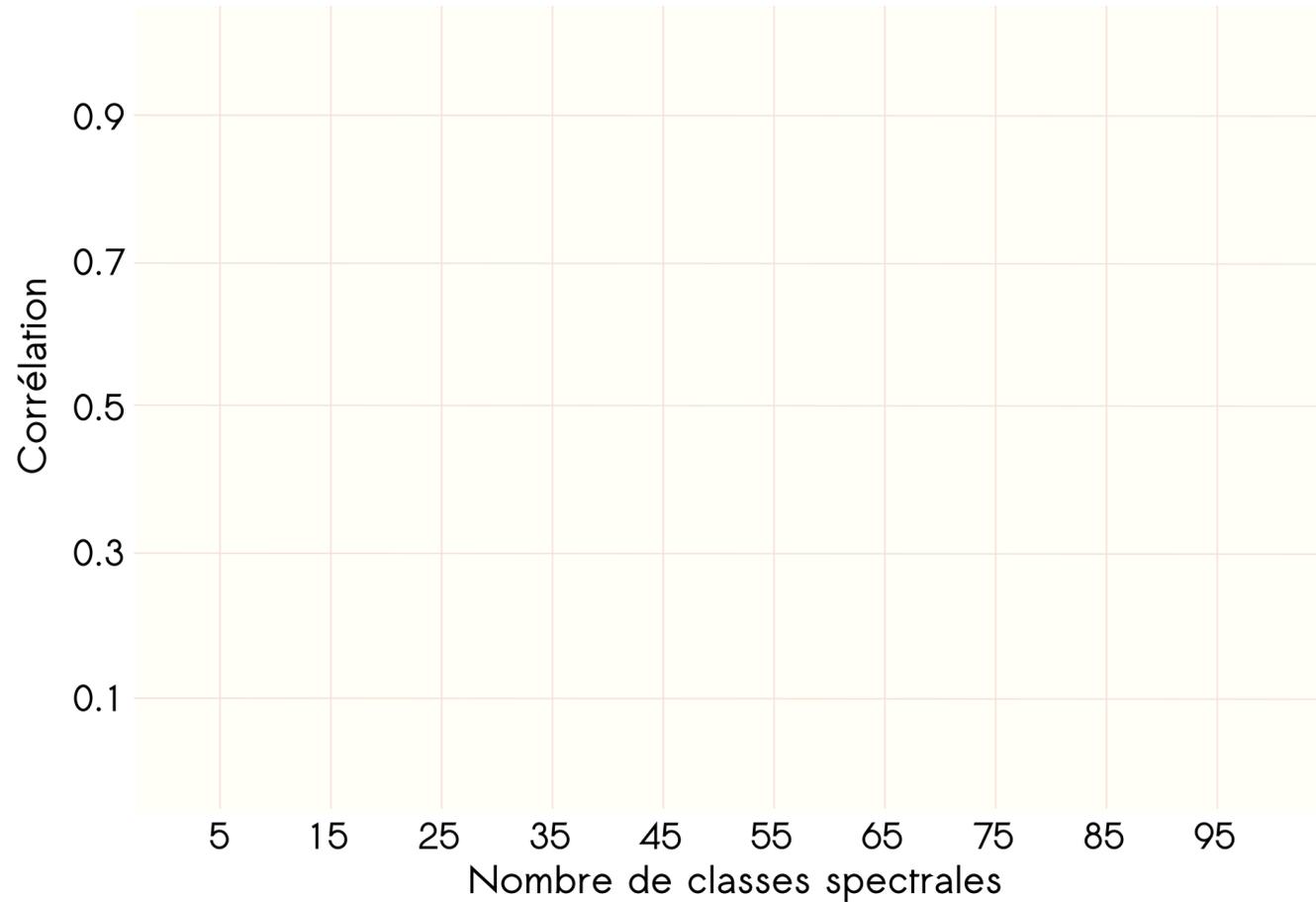
Objectifs

Méthode

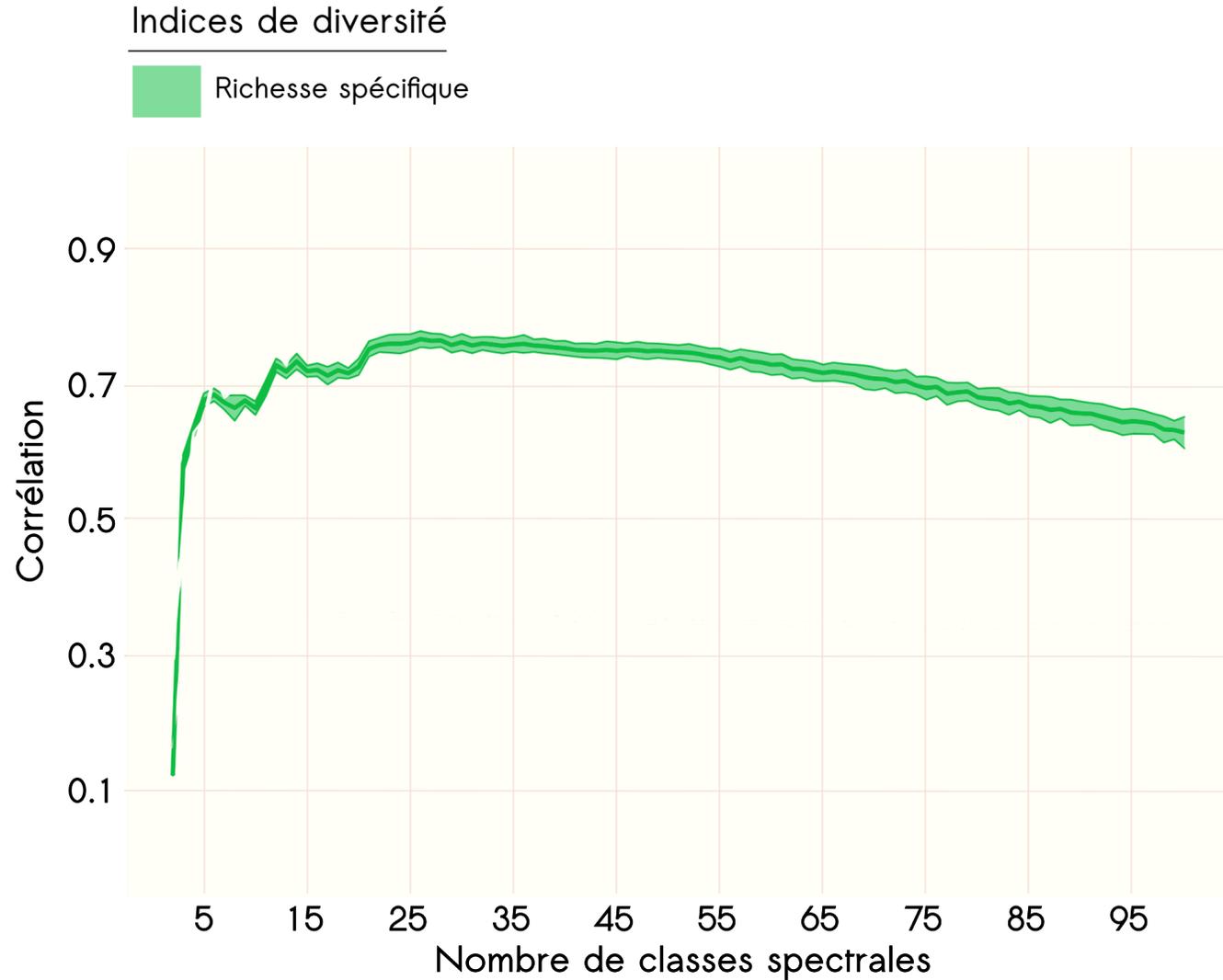
Résultats

Discussion et
Perspectives

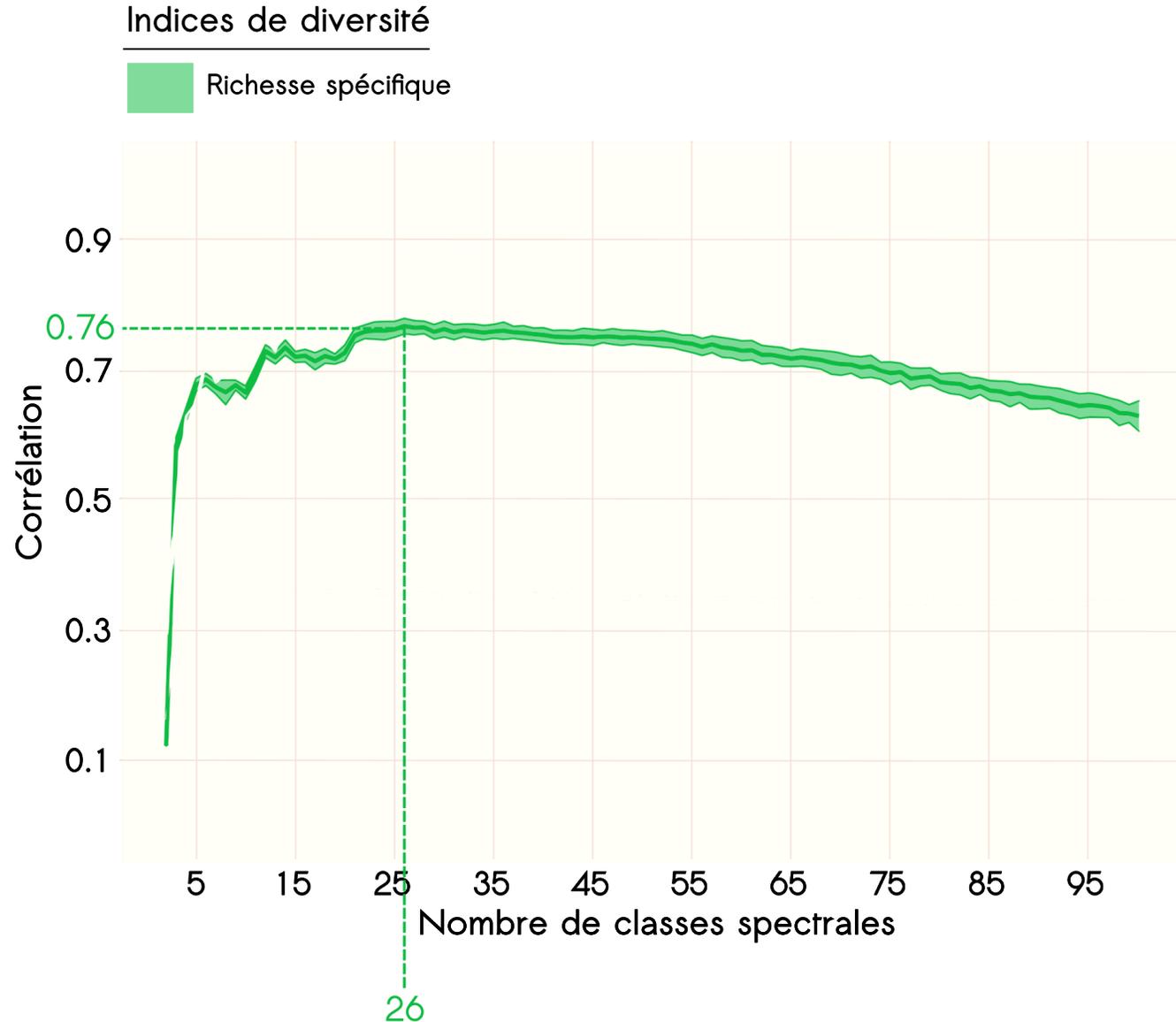
Nombre de classes optimal



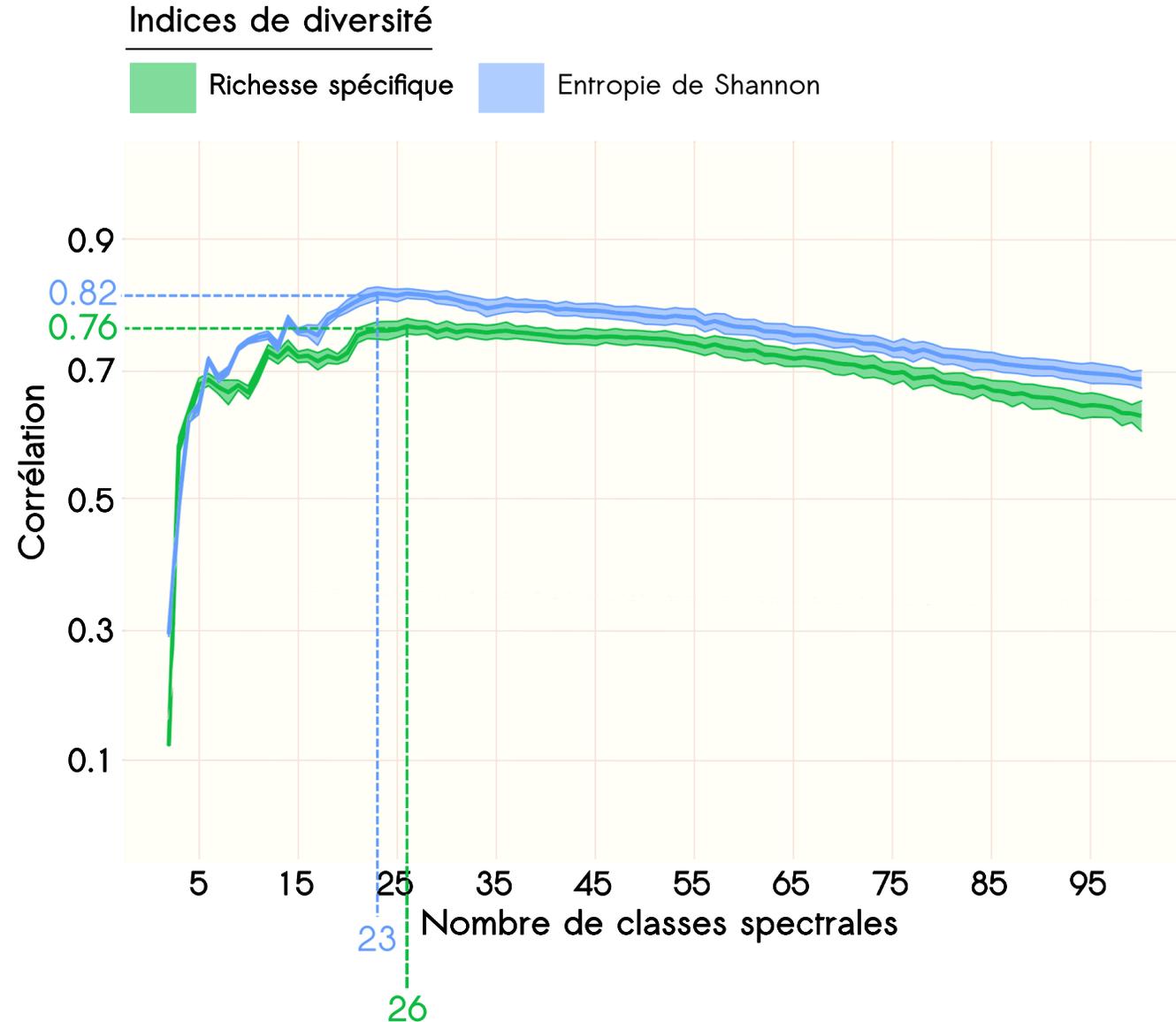
Nombre de classes optimal



Nombre de classes optimal

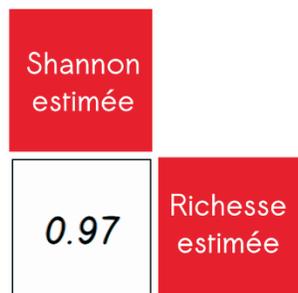


Nombre de classes optimal



- Il existe un nombre de classes spectrales optimal
- Différents selon les indices :
 - **K = 26** pour la richesse spécifique
 - **K = 23** pour l'entropie de Shannon

Corrélation entre indices de diversité spectrale et taxonomique



Enjeux

Notions

Biodiversité

Etat de
l'art

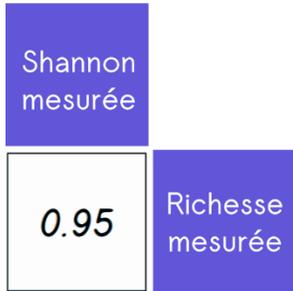
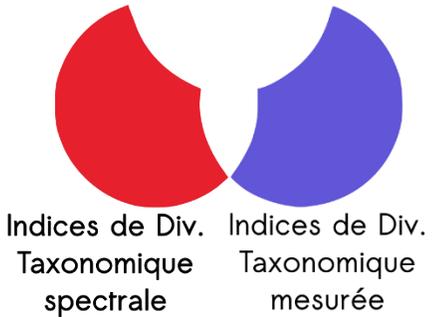
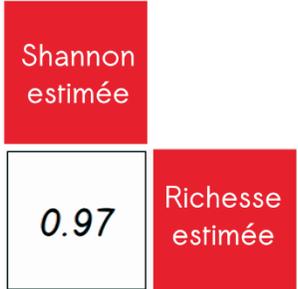
Objectifs

Méthode

Résultats

Discussion et
Perspectives

Corrélation entre indices de diversité spectrale et taxonomique



Enjeux

Notions
Biodiversité

Etat de
l'art

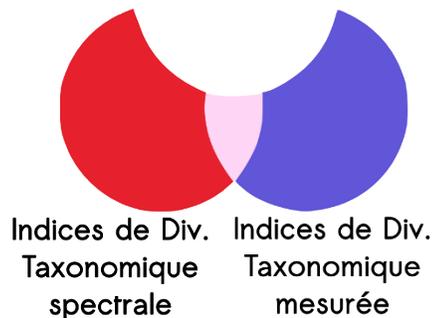
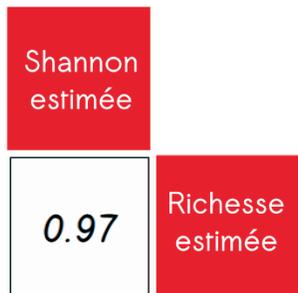
Objectifs

Méthode

Résultats

Discussion et
Perspectives

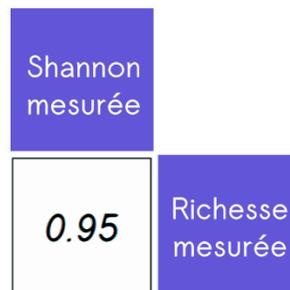
Corrélation entre indices de diversité spectrale et taxonomique



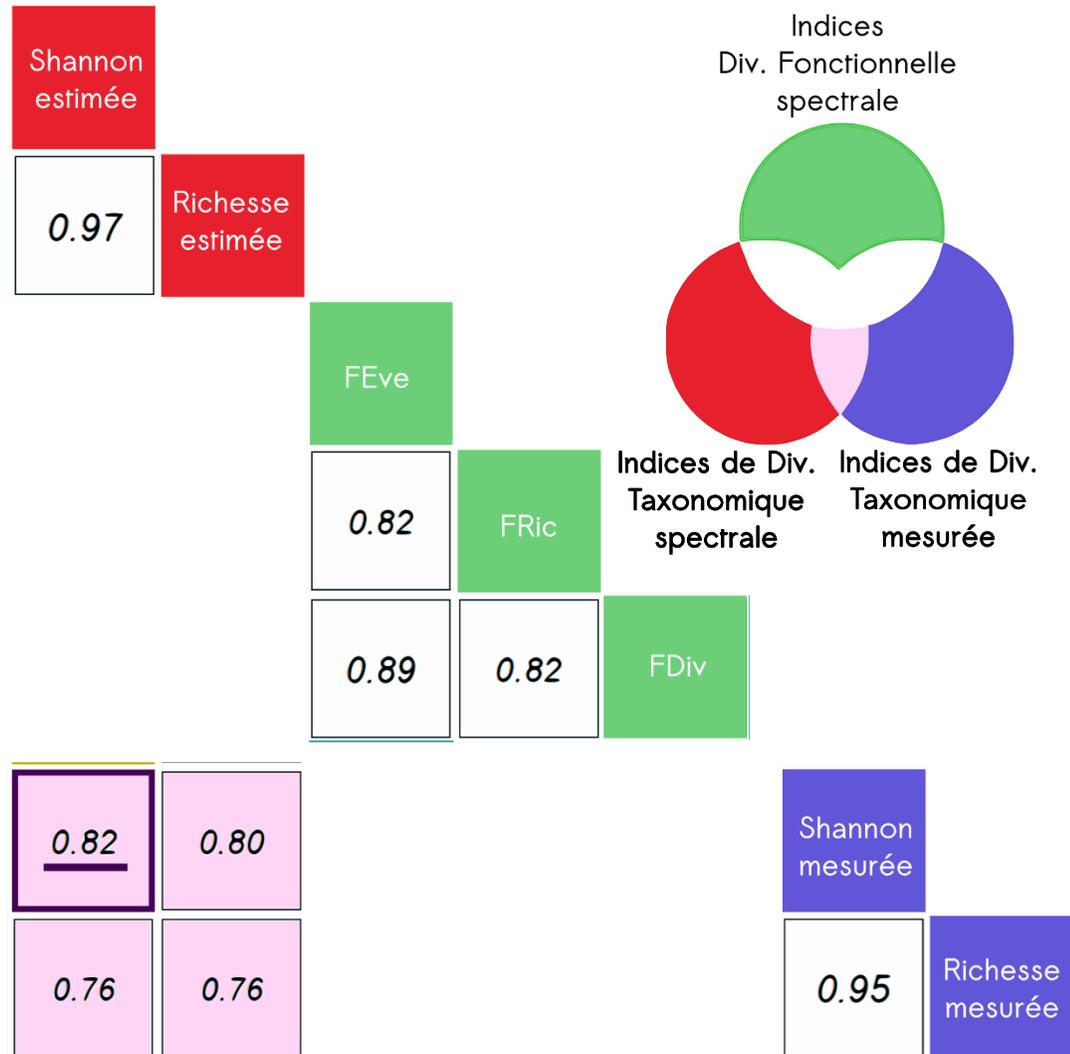
1

Comparaison des indices de **Div. spectrale Taxonomique**

- **Shannon Spectrale** avec Shannon mesurée



Corrélation entre indices de diversité spectrale et taxonomique



- 1 Comparaison des indices de **Div. spectrale Taxonomique**
- **Shannon Spectrale** avec Shannon mesurée

Enjeux

Notions
Biodiversité

Etat de l'art

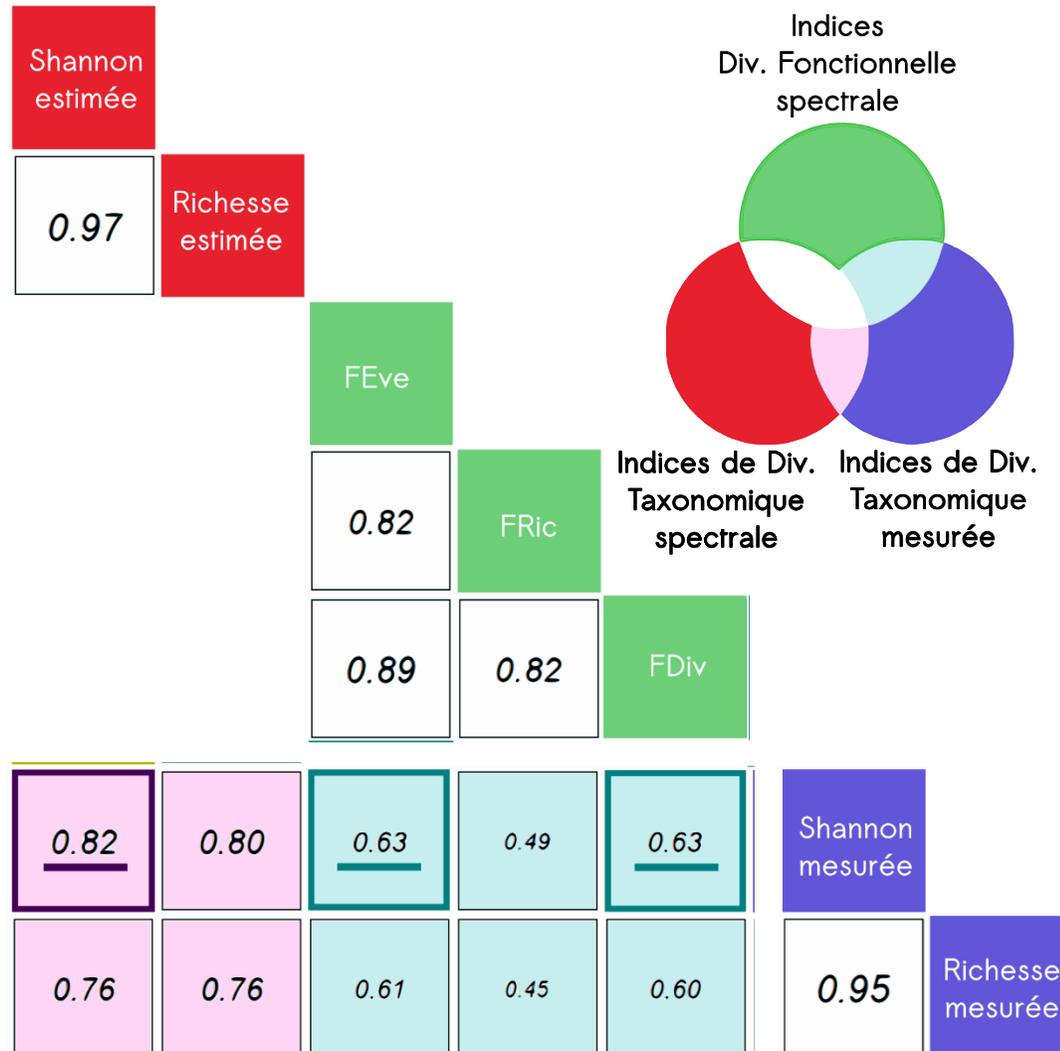
Objectifs

Méthode

Résultats

Discussion et Perspectives

Corrélation entre indices de diversité spectrale et taxonomique



- 1 Comparaison des indices de **Div. spectrale Taxonomique**
 - **Shannon Spectrale** avec Shannon mesurée
- 2 Comparaison des indices de **Div. spectrale Fonctionnelle**
 - **Feve et Fdiv** avec Shannon mesurée
- 3 Div. spectrale **Taxonomique Vs Fonctionnelle**
 - **Div. Tax. > Div Fn**

Enjeux

Notions
Biodiversité

Etat de l'art

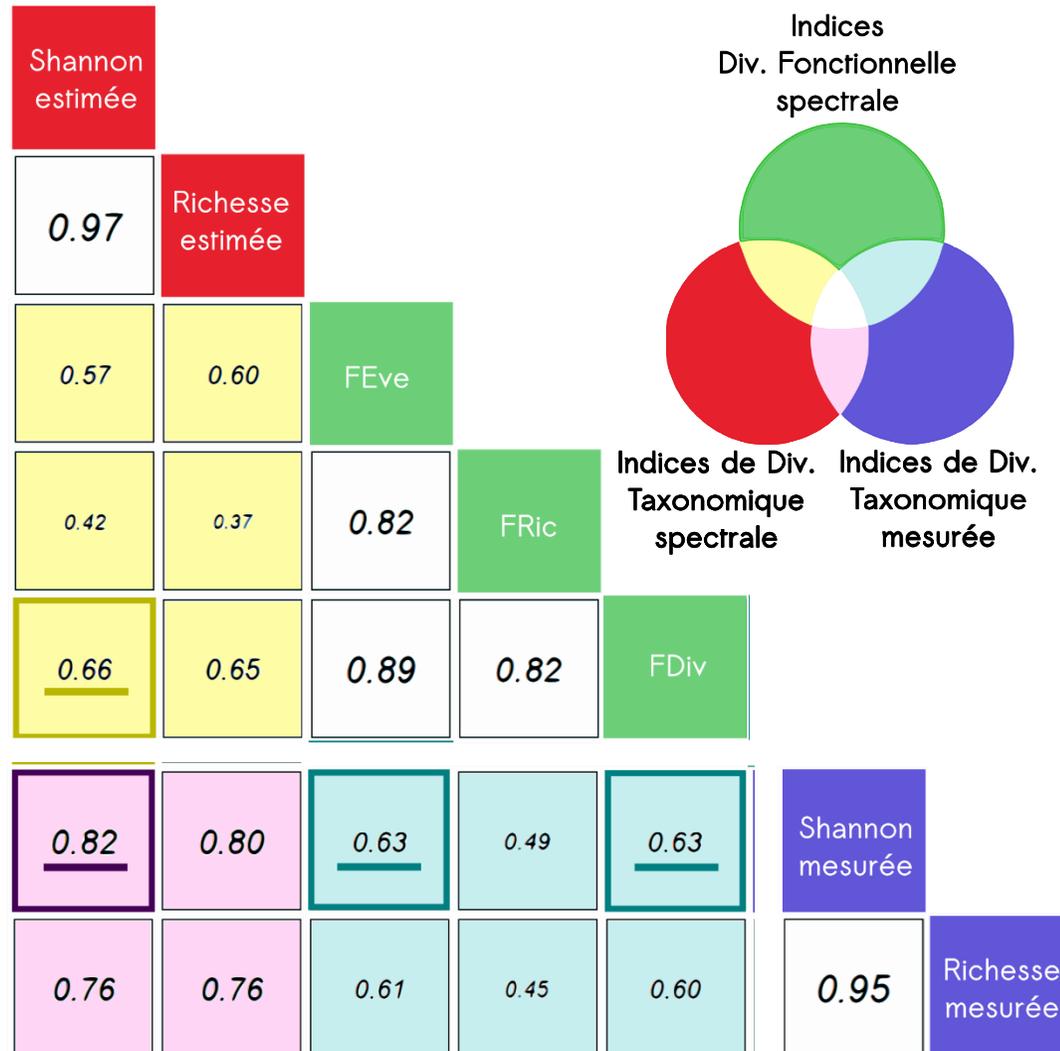
Objectifs

Méthode

Résultats

Discussion et Perspectives

Corrélation entre indices de diversité spectrale et taxonomique



- 1** Comparaison des indices de **Div. spectrale Taxonomique**

 - **Shannon Spectrale** avec Shannon mesurée
- 2** Comparaison des indices de **Div. spectrale Fonctionnelle**

 - **Feve et Fdiv** avec Shannon mesurée
- 3** Div. spectrale **Taxonomique Vs Fonctionnelle**

 - **Div. Tax. > Div Fn**
 - Corrélations entre les indices de différentes natures plus faibles que les indices du même types entre eux

Enjeux

Notions

Biodiversité

Etat de
l'art

Objectifs

Méthode

Résultats

Discussion et
Perspectives

Carte de biodiversité

Image hyperspectrale (compo RVB)



Enjeux

Notions

Biodiversité

Etat de
l'art

Objectifs

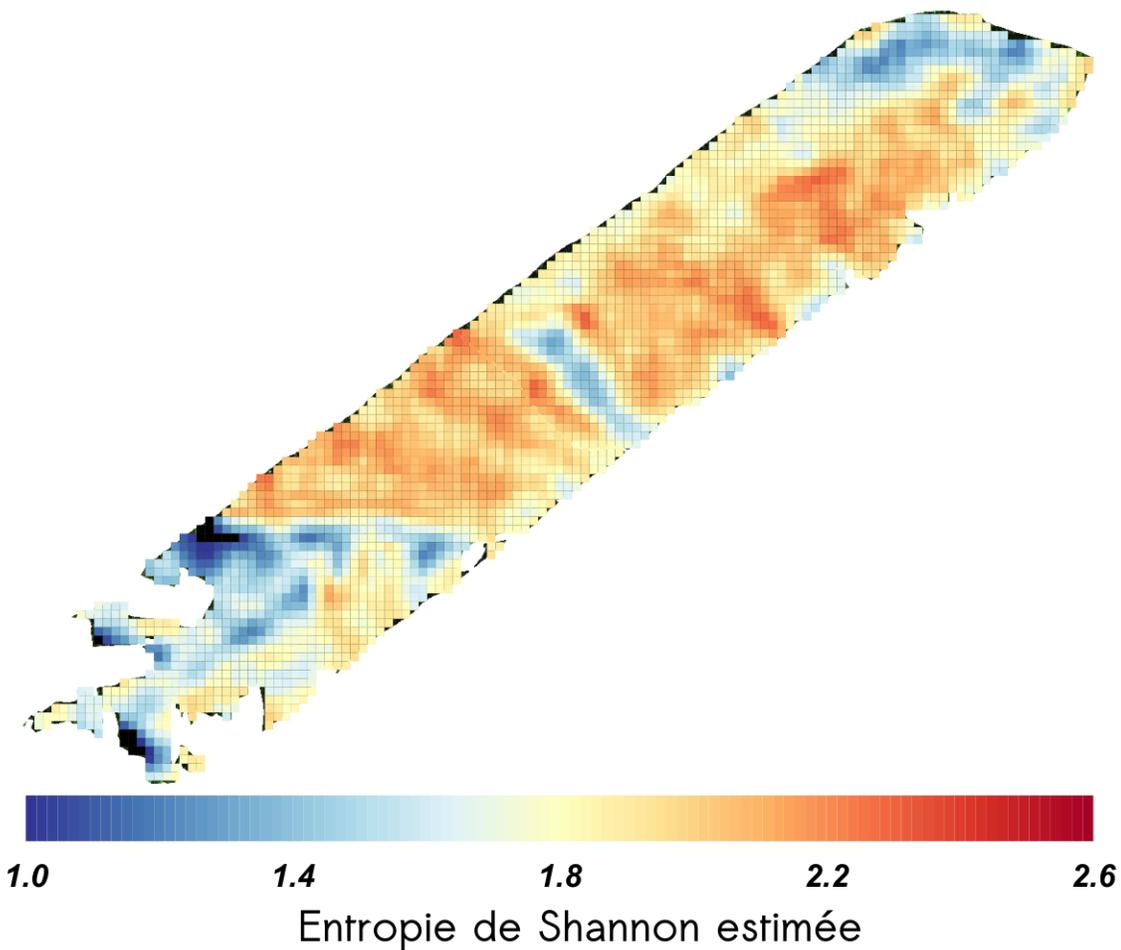
Méthode

Résultats

Discussion et
Perspectives

Carte de biodiversité

Carte de biodiversité

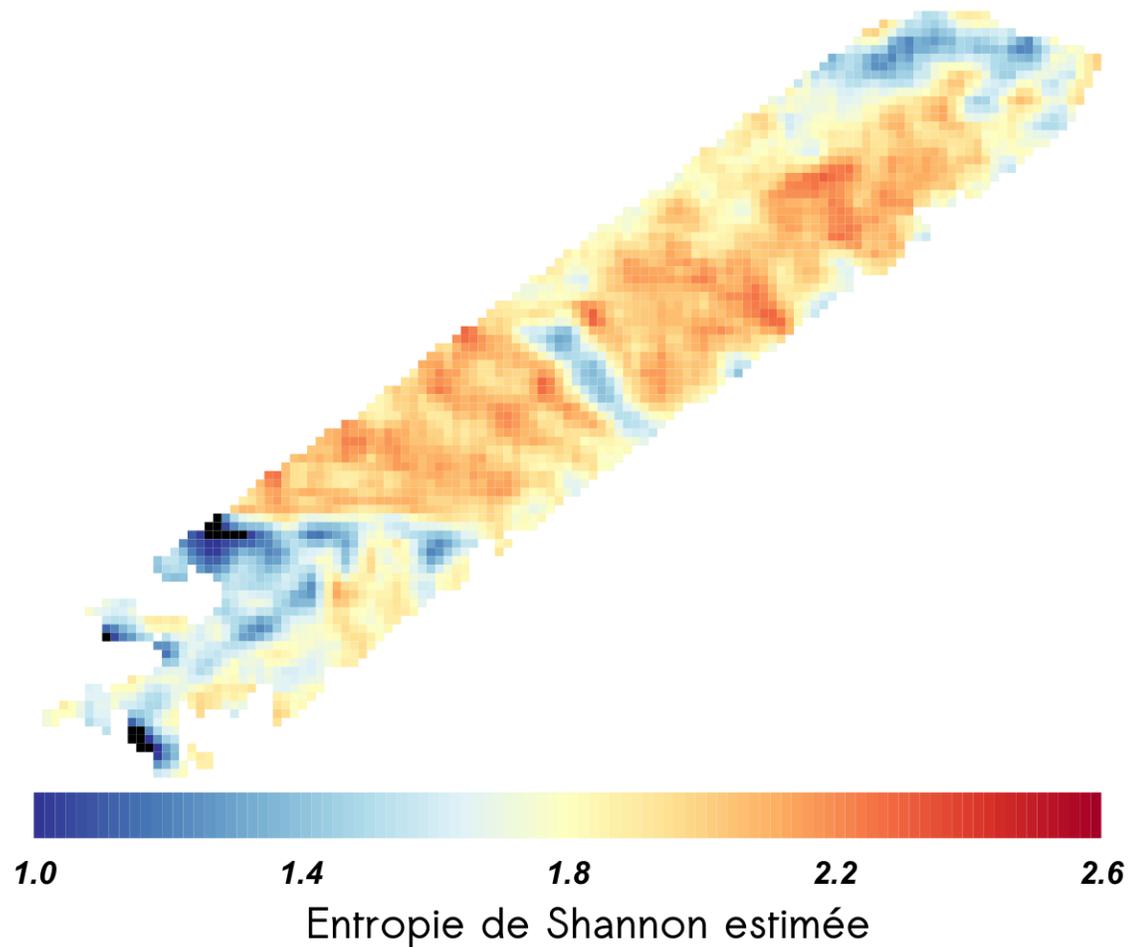


BD Forêt V2 de l'IGN

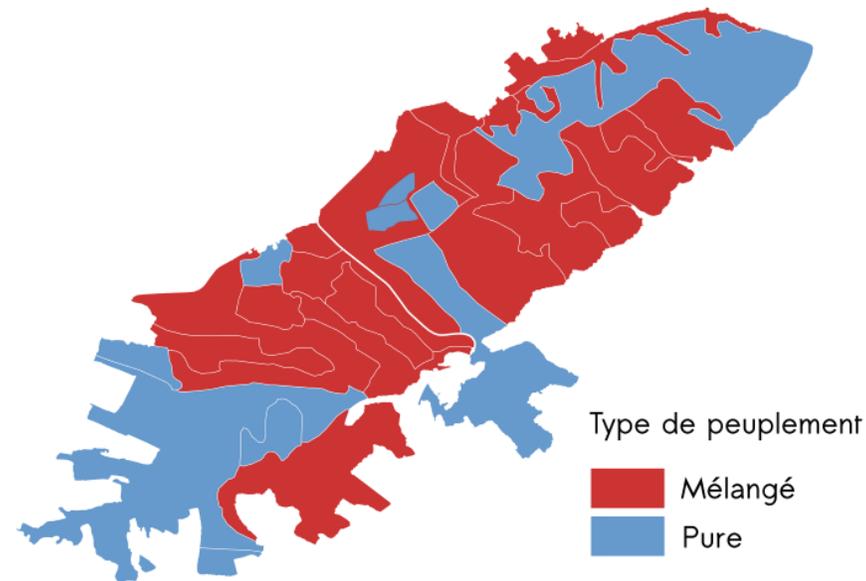


Carte de biodiversité

Carte de biodiversité

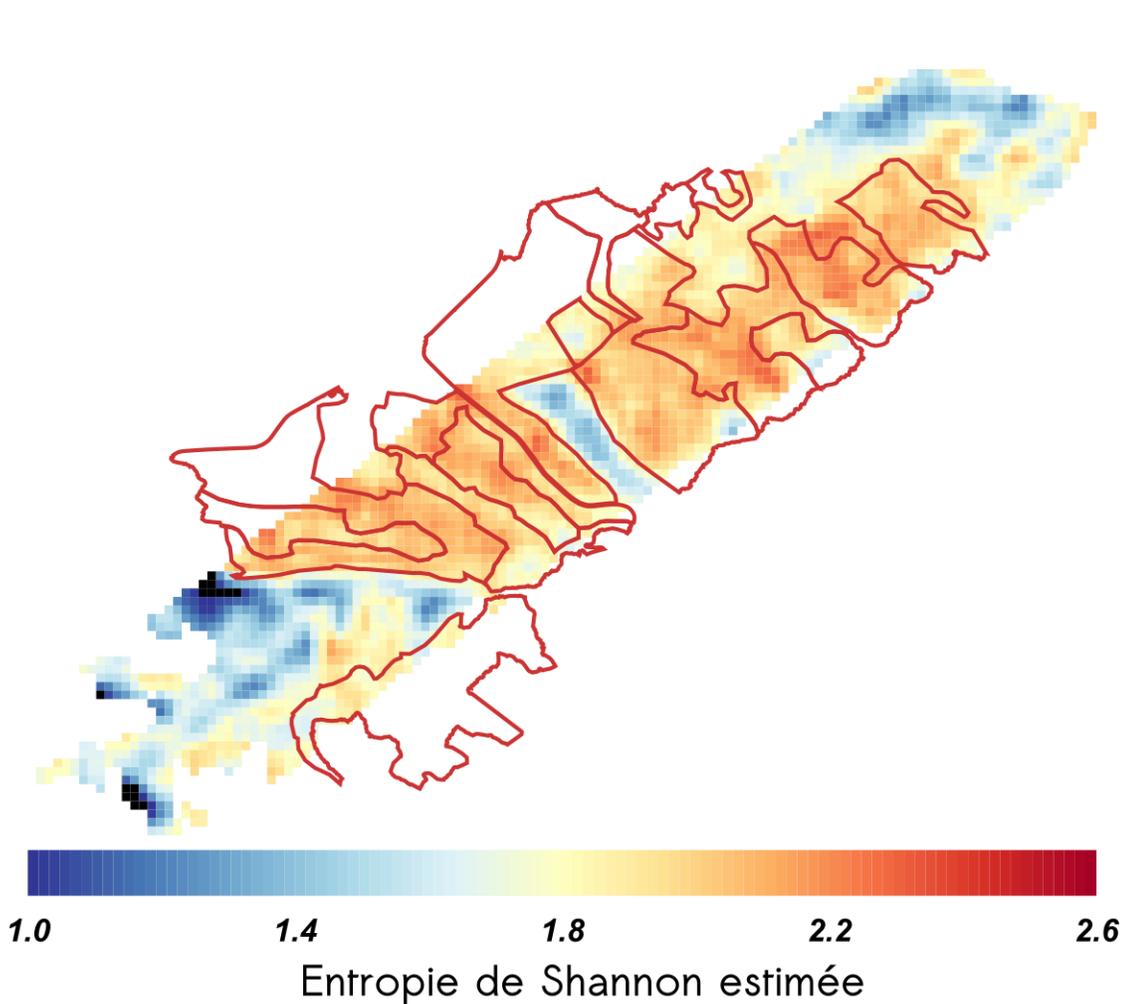


BD Forêt V2 de l'IGN

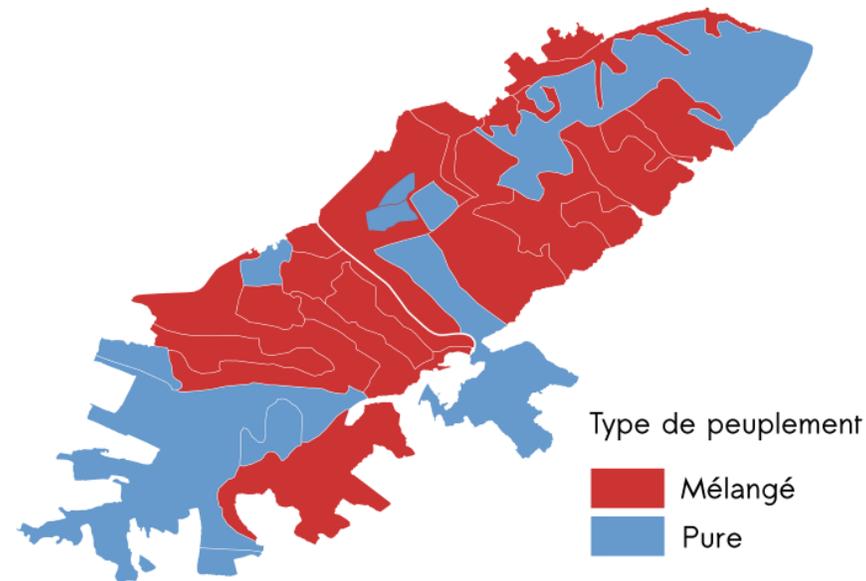


Carte de biodiversité

Carte de biodiversité et BD Forêt

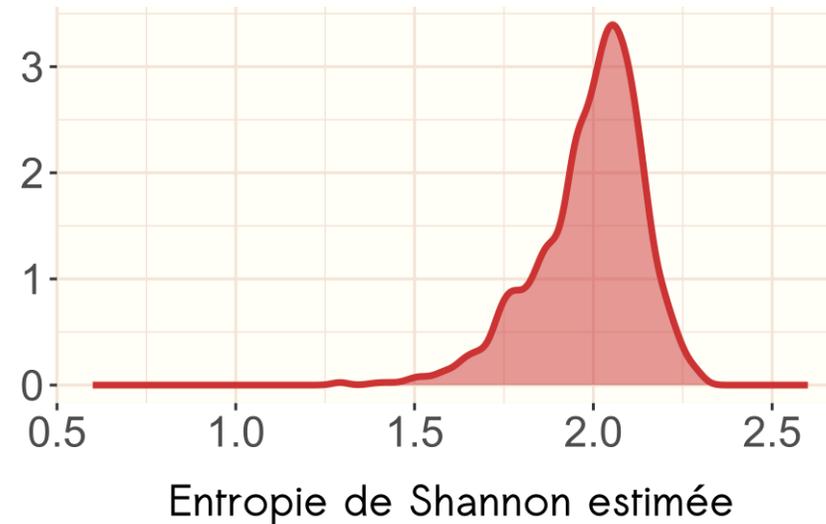
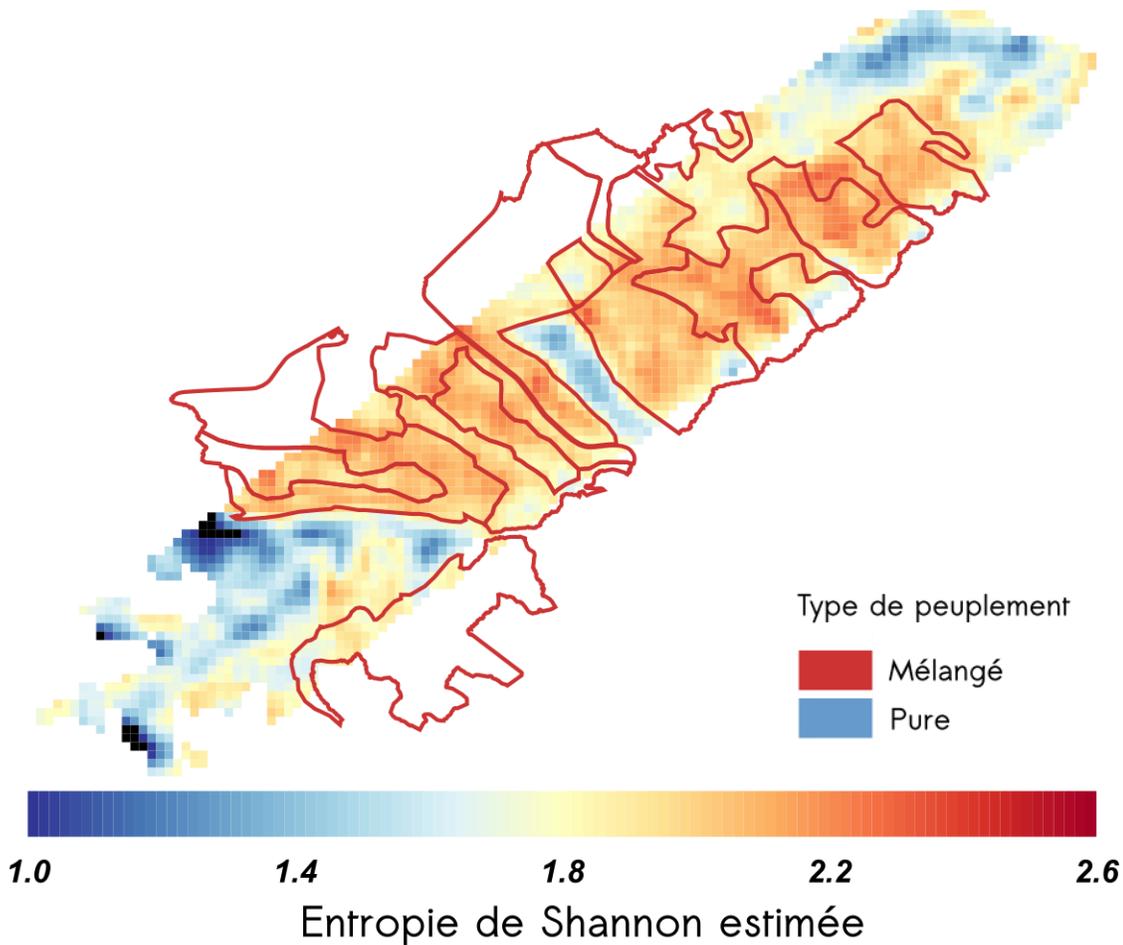


BD Forêt V2 de l'IGN



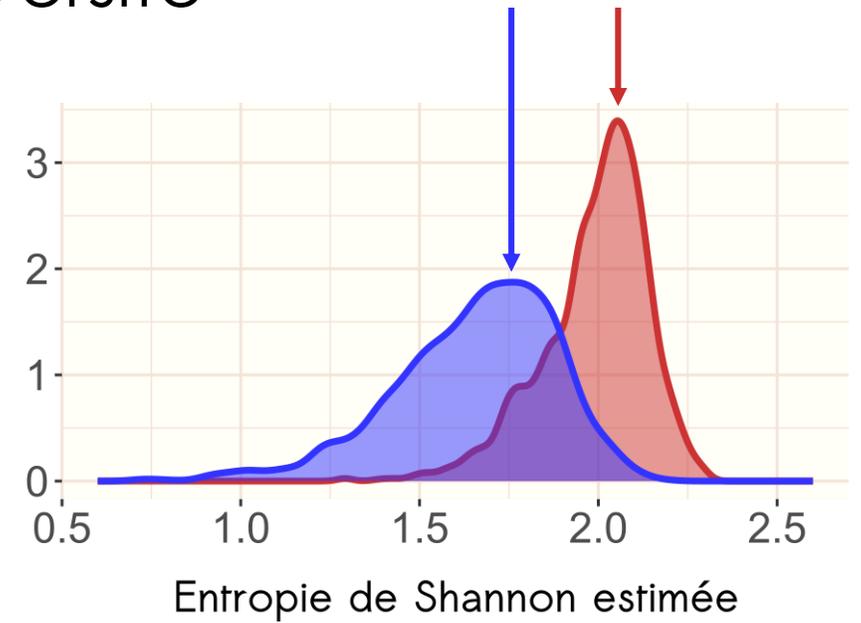
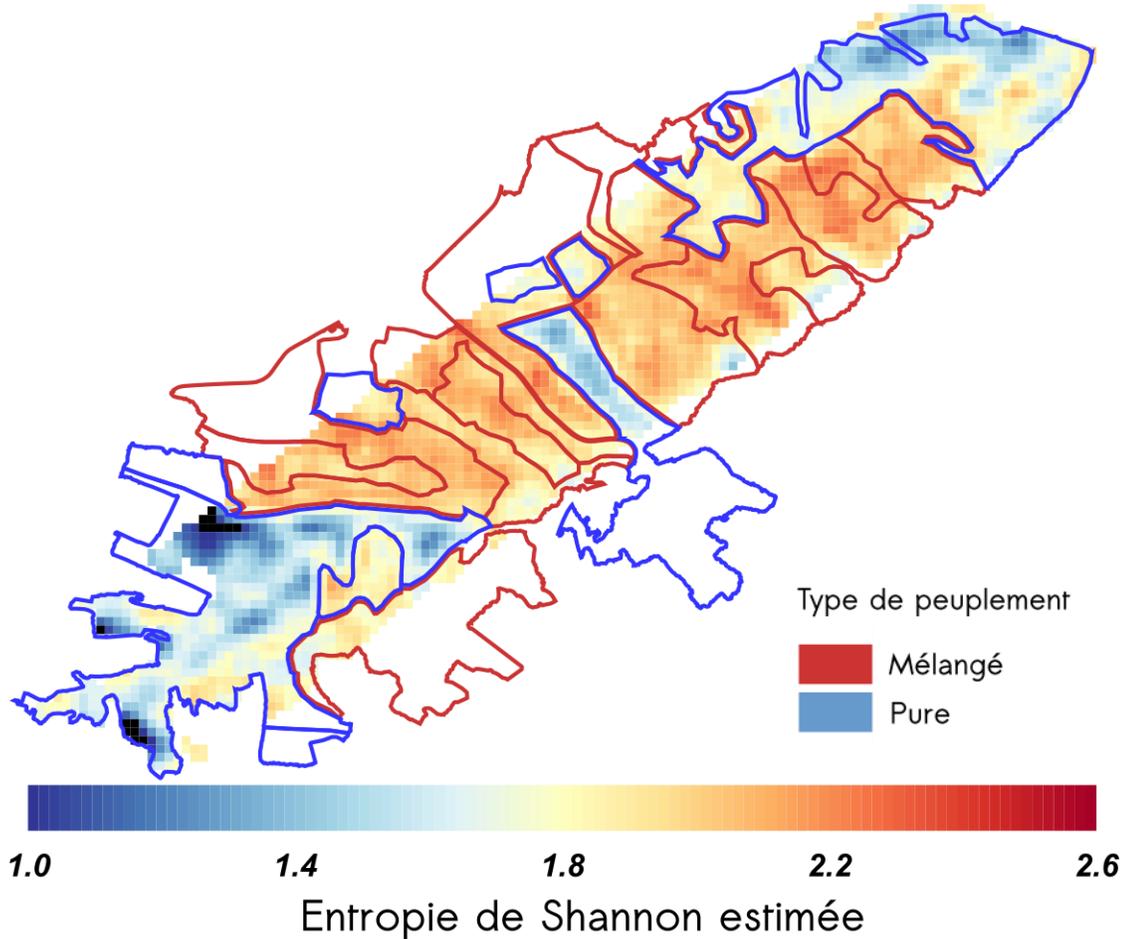
Carte de biodiversité

Carte de biodiversité et BD Forêt



Carte de biodiversité

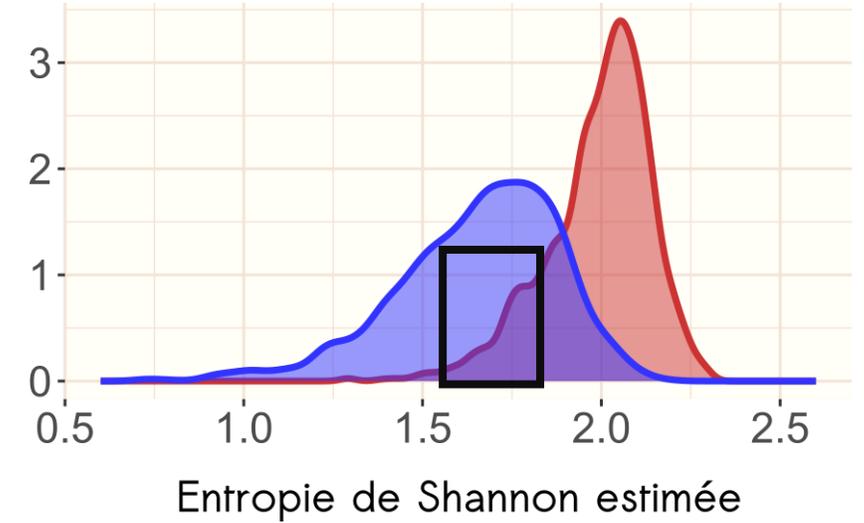
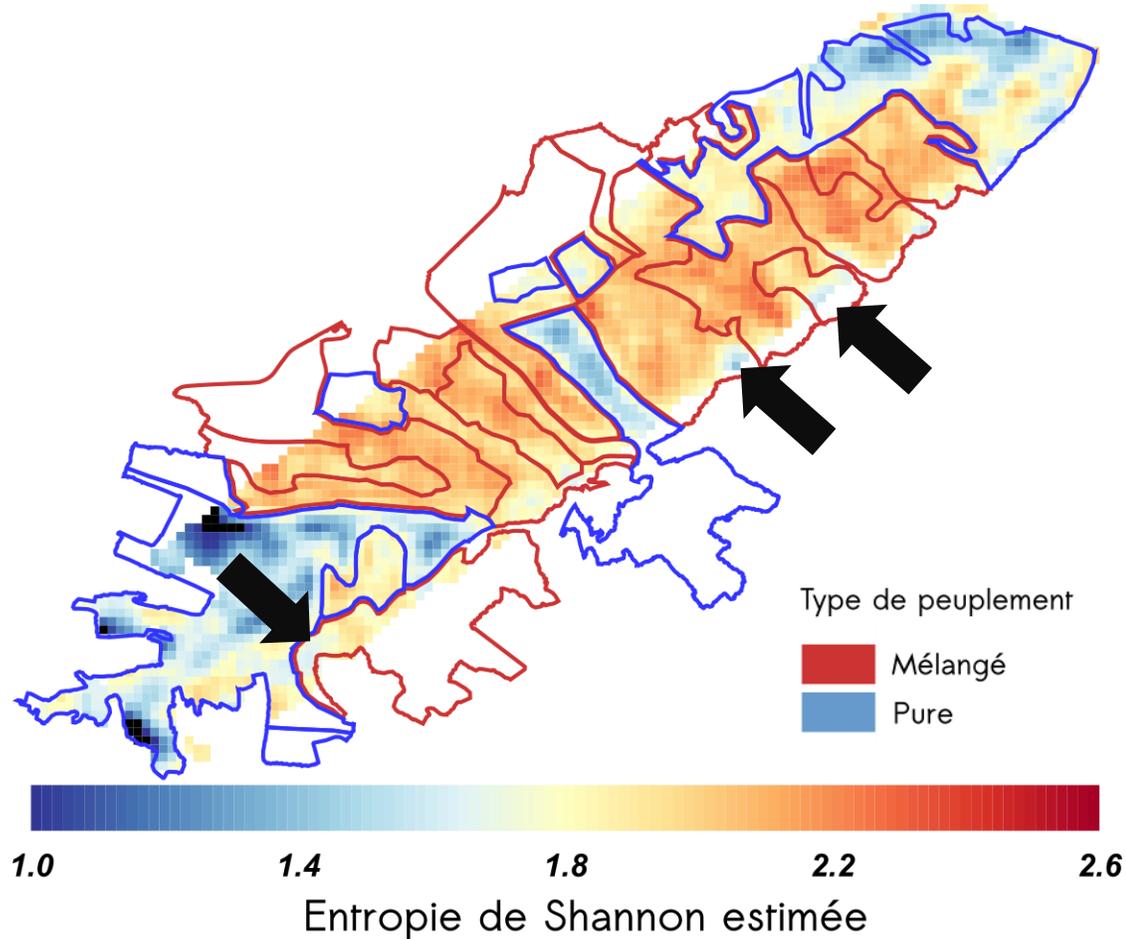
Carte de biodiversité et BD Forêt



- Variations spatiales de la biodiversité à l'échelle du massif bien identifiées

Carte de biodiversité

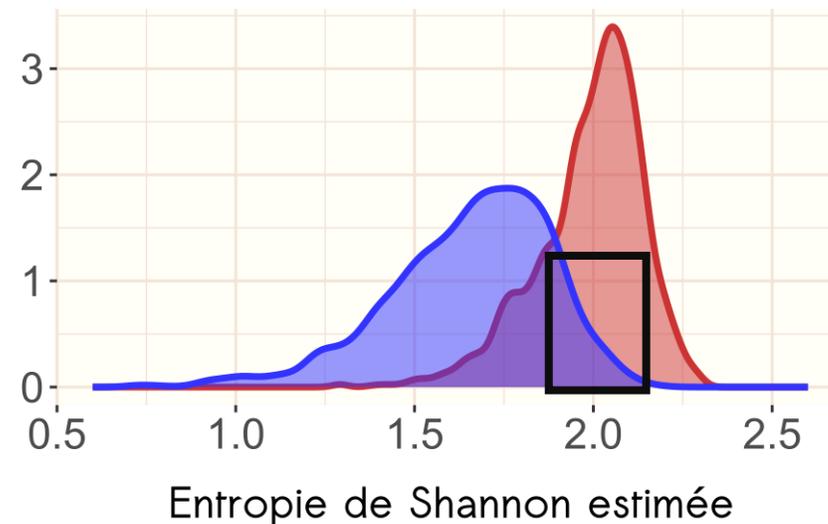
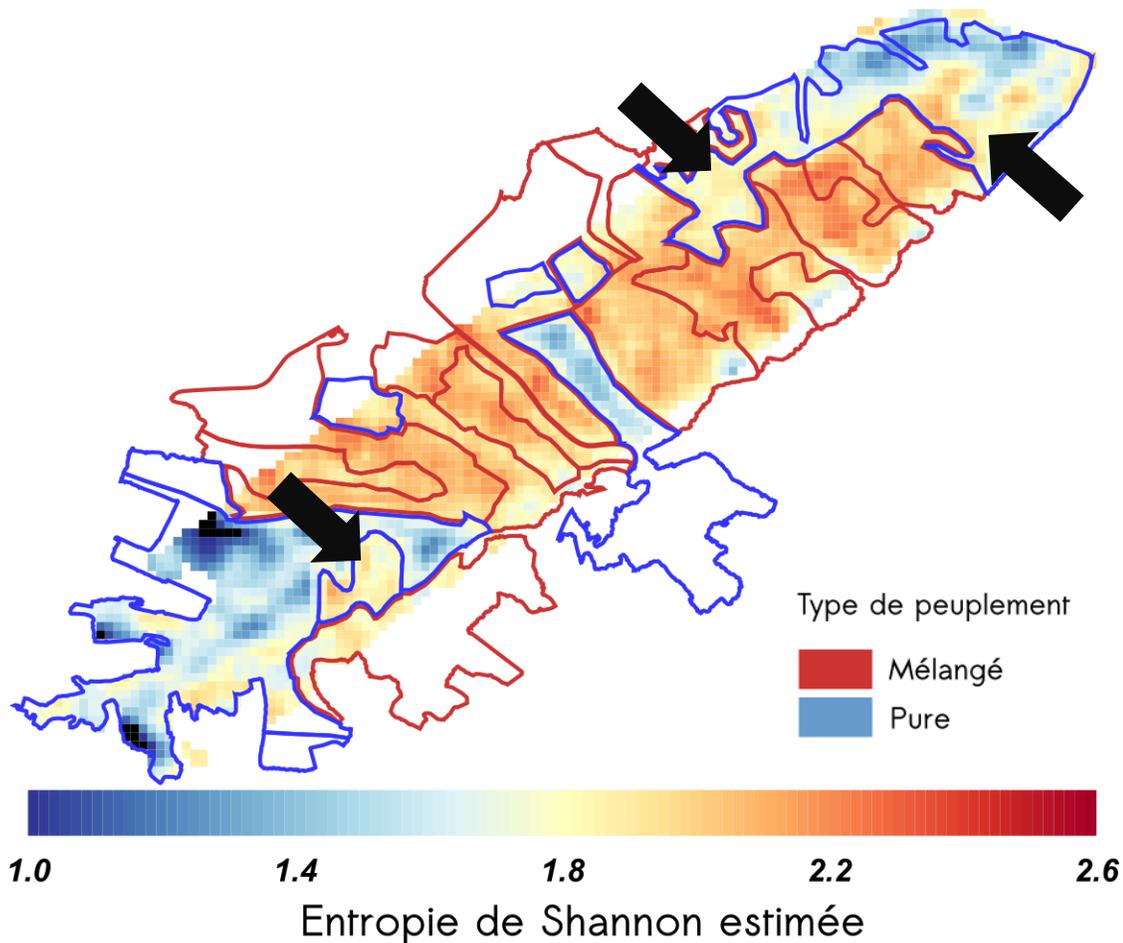
Carte de biodiversité et BD Forêt



- Variations spatiales de la biodiversité à l'échelle du massif bien identifiées

Carte de biodiversité

Carte de biodiversité et BD Forêt



- Variations spatiales de la biodiversité à l'échelle du massif bien identifiées
- Descriptions des variations à une échelle plus fine que celle de la BD Forêts

Les hypothèses de l'étude sont-elles vérifiées ?

Hypothèses

H1

La méthode fonctionne
pour les forêts tempérées,
moins riches en espèces

H2

Le nombre de classes
spectrales doit être
adapté aux milieux

H3

Les indices de **diversité**
fonctionnelle

Les hypothèses de l'étude sont-elles vérifiées ?

Hypothèses

H1

La méthode fonctionnelle pour les forêts tempérées, moins riches en espèces

OUI

- H1. a. Il existe une **corrélation** élevée entre diversité spectrale et diversité mesurée sur le terrain
- H1. b. La méthode permet de décrire les **variations spatiales** de la diversité

H2

Le nombre de classes spectrales doit être adapté aux milieux

H3

Les indices de **diversité fonctionnelle**

Les hypothèses de l'étude sont-elles vérifiées ?

Hypothèses

H1

La méthode fonctionnelle pour les forêts tempérées, moins riches en espèces

H2

Le nombre de classes spectrales doit être adapté aux milieux

- H2. a. Il existe un **nombre optimal** de classes spectrales
- H2. b. Ce nombre est inférieur à celui paramétré pour les forêts tropicales

H3

Les indices de **diversité fonctionnelle**

Les hypothèses de l'étude sont-elles vérifiées ?

Hypothèses

H1

La méthode fonctionnelle pour les forêts tempérées, moins riches en espèces

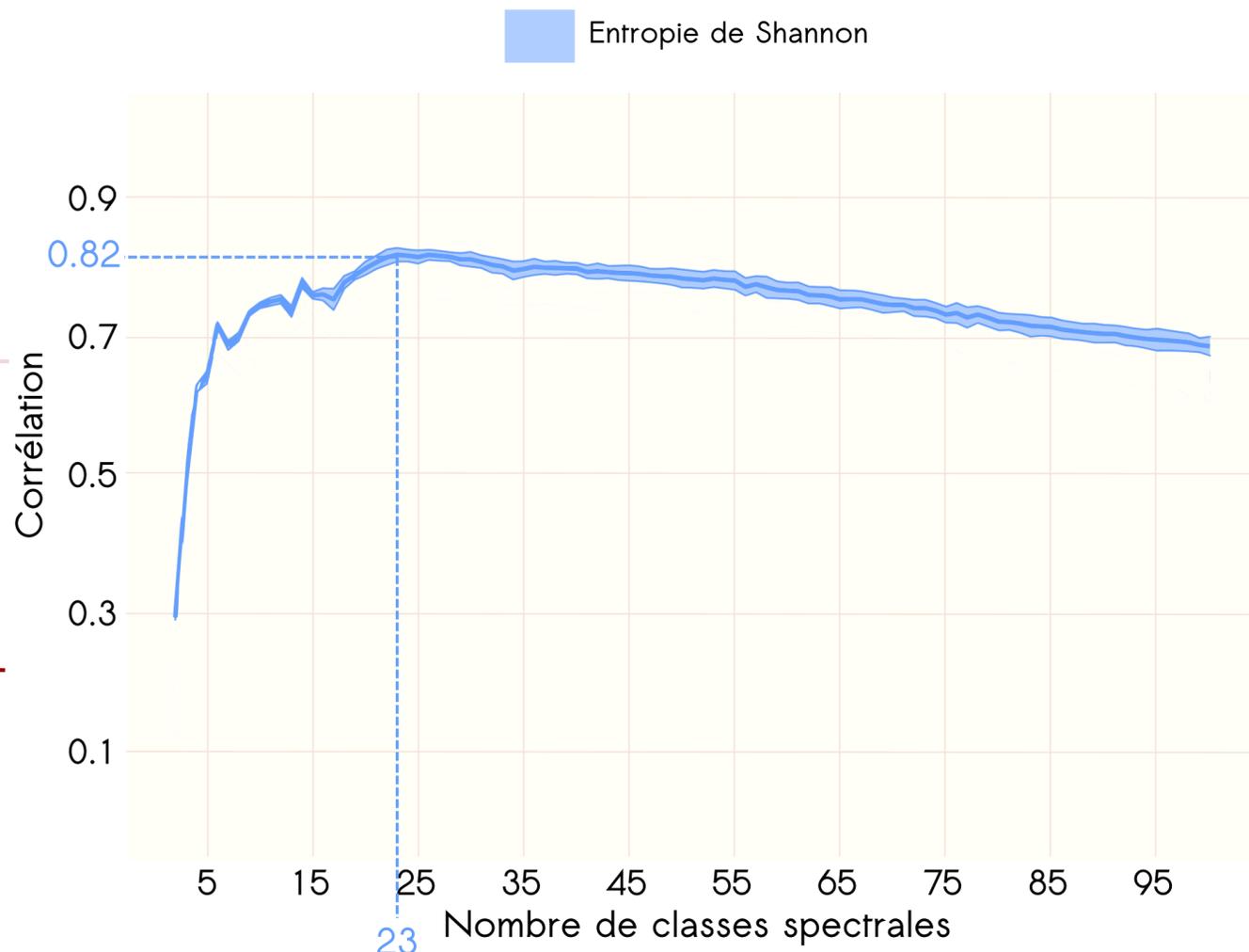
H2

Le nombre de classes spectrales doit être adapté aux milieux

H3

Les indices de diversité fonctionnelle

Indices de diversité



Les hypothèses de l'étude sont-elles vérifiées ?

Hypothèses

H1

La méthode fonctionnelle pour les forêts tempérées, moins riches en espèces

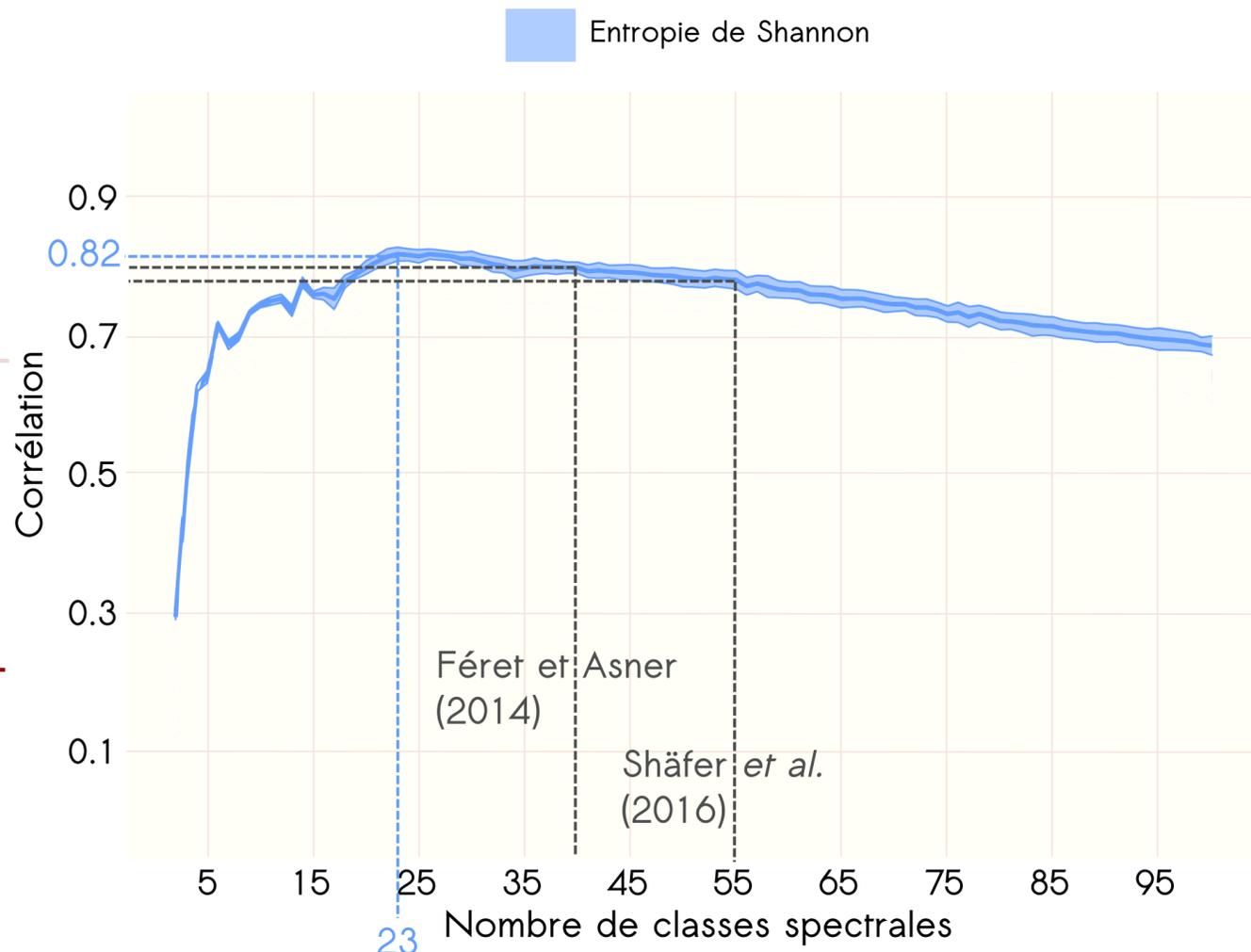
H2

Le nombre de classes spectrales doit être adapté aux milieux

H3

Les indices de diversité fonctionnelle

Indices de diversité



Les hypothèses de l'étude sont-elles vérifiées ?

Hypothèses

H1

La méthode fonctionnelle pour les forêts tempérées, moins riches en espèces

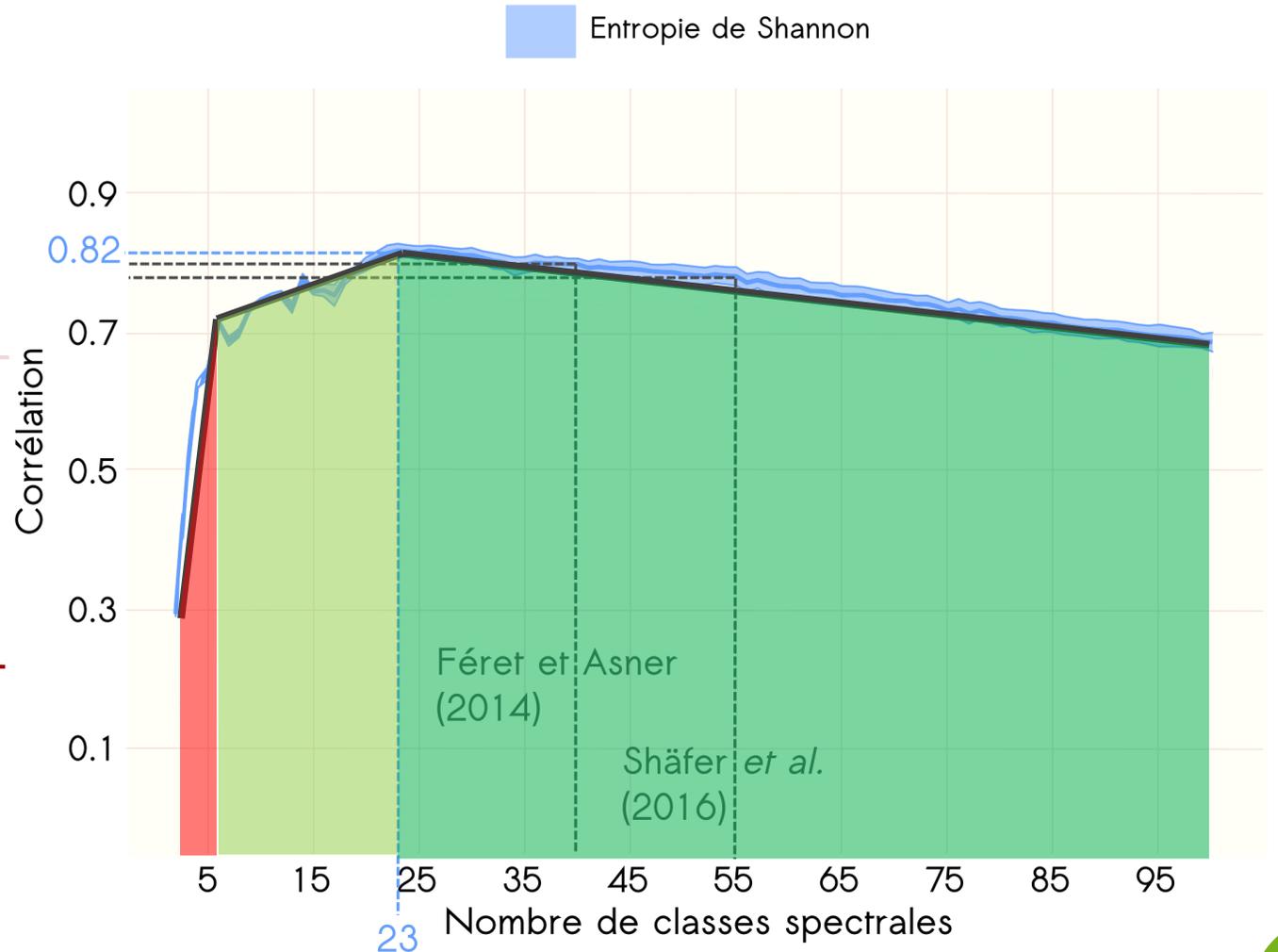
H2

Le nombre de classes spectrales doit être adapté aux milieux

H3

Les indices de diversité fonctionnelle

Indices de diversité



Les hypothèses de l'étude sont-elles vérifiées ?

Hypothèses

H1

La méthode fonctionnelle pour les forêts tempérées, moins riches en espèces

H2

Le nombre de classes spectrales doit être adapté aux milieux

H2. a. Il existe un **nombre optimal** de classes spectrales

H2. b. Ce nombre est inférieur à celui paramétré pour les forêts tropicales

H3

Les indices de **diversité fonctionnelle**

Les hypothèses de l'étude sont-elles vérifiées ?

Hypothèses

H1

La méthode fonctionnelle pour les forêts tempérées, moins riches en espèces

OUI

H2

Le nombre de cibles spectrales doit être adapté aux milieux

OUI

H3

Les indices de **diversité fonctionnelle**

H3. a. Sont **corrélés** avec la diversité mesurée sur le terrain
H3. b. Sont **complémentaires** aux indices de diversité spectrale taxonomique

Hypothèses

H1 La méthode **fonctionnelle** pour les forêts tempérées, moins riches en espèces

H2 Le nombre de **classes** spectrales doit être adapté aux milieux

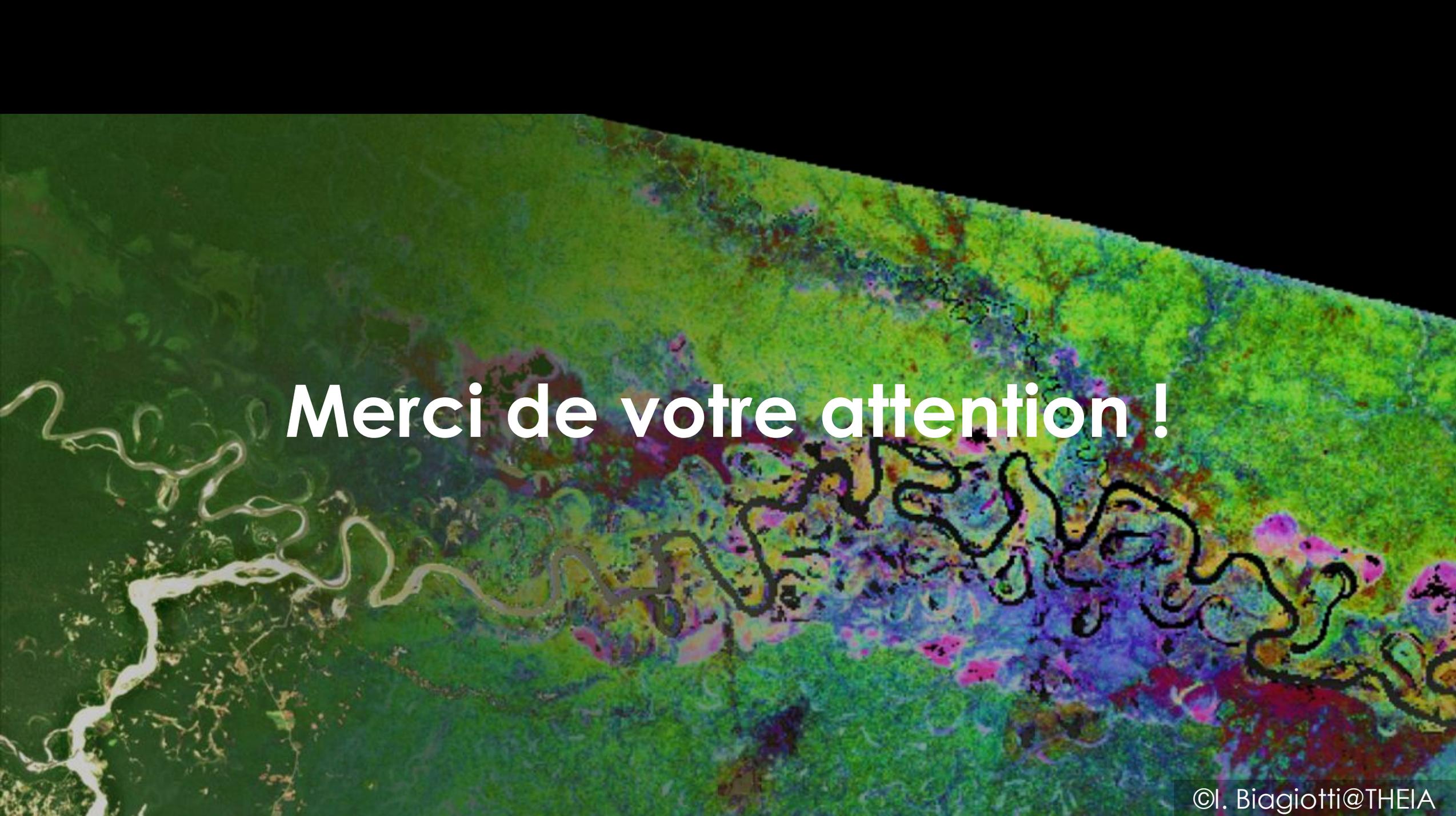
H3 Les indices de **diversité fonctionnelle**

Perspectives

Explorer le lien entre classes spectrales et espèces d'arbres

- Est-ce que **l'espace spectral est structuré** ?
 - Nb de classes spectrales optimal basé sur des **critères statistiques**
 - Tester une méthode de clustering naïve (**une grille**)
- Quel lien aurait cette structure avec les espèces d'arbres ?

Inclure la **diversité Beta** dans l'ensemble des analyses

An aerial photograph of a river delta, likely the Nile, with a vibrant, multi-colored overlay (green, blue, purple, red) that resembles a topographic map or a data visualization. The text "Merci de votre attention !" is centered over the image in white. The background shows the intricate patterns of the river channels and the surrounding land.

Merci de votre attention !