



Les Rencontres du
Végétal

8^e édition

12-13 JANVIER 2015
AGROCAMPUS OUEST
ANGERS, FRANCE

RECHERCHE
EXPÉRIMENTATION
INNOVATION
.....

Fruits

Légumes

Ornement

Plantes aromatiques
et médicinales

Semences

Cidriculture

Viticulture

Paysage

Imagerie hyperspectrale et teneur en azote foliaire

Approche par modélisation pour documenter
les effets liés à l'architecture de la plante

Martin ECARNOT
INRA de Montpellier

Introduction

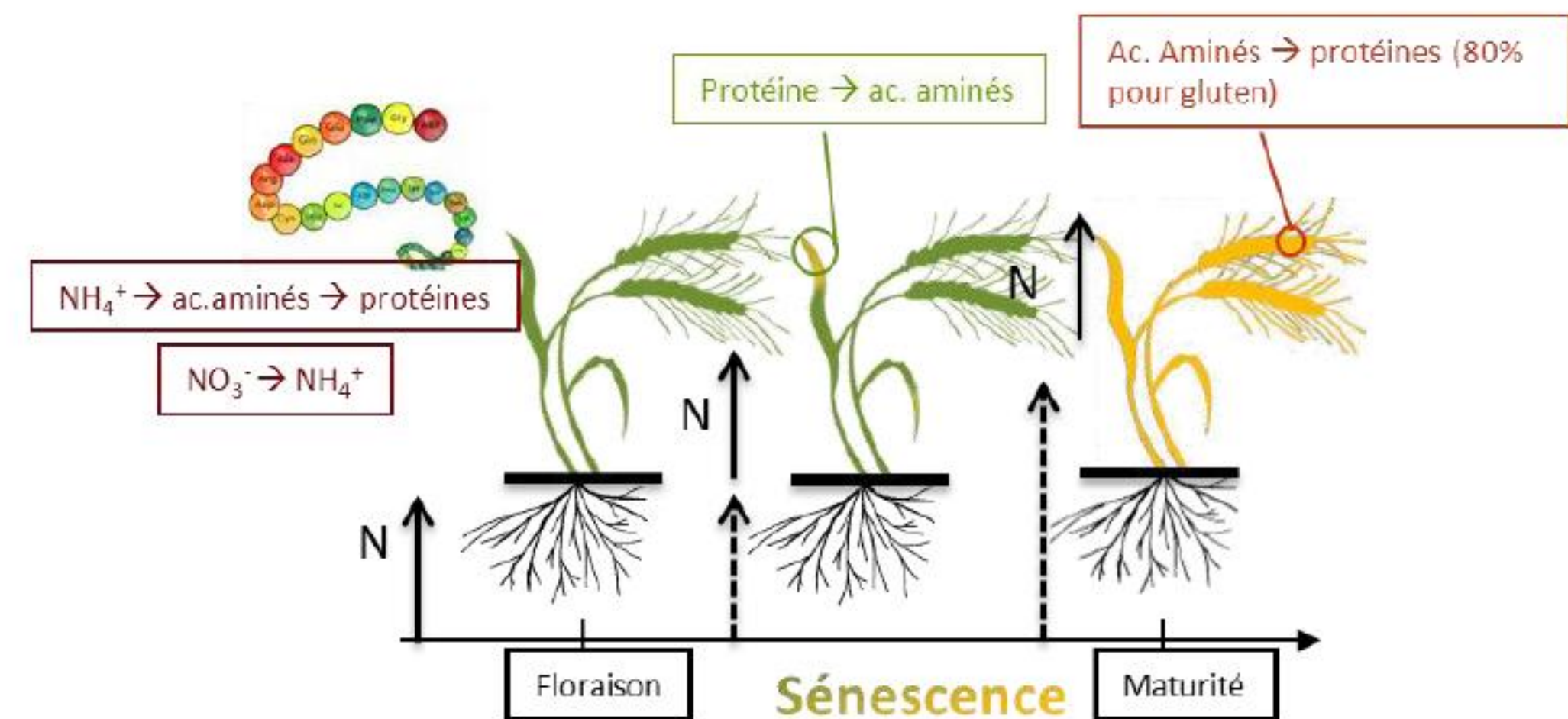
Importance de l'azote pour le blé dur

- L'azote pour la **croissance** de la plante
 - Protéines (Rubisco) pour photosynthèse

- L'azote pour la **qualité des grain**
Parties végétatives -> grain entre Floraison et maturité

Les protéines des grains:



-  Mitadin  rendement semoulier
- + Qualité de cuisson des pates



Source: Thèse I. Vilnius

Introduction

Améliorer l'efficacité d'assimilation de l'azote

-  la qualité des grains =  l'apport d'azote au champ ?
- Apport azoté: **Cher** ; **Polluant** (Nappes phréatiques, Emission N_2O)
- **Création variétale** : Améliorer l'efficacité de l'assimilation + remobilisation N)

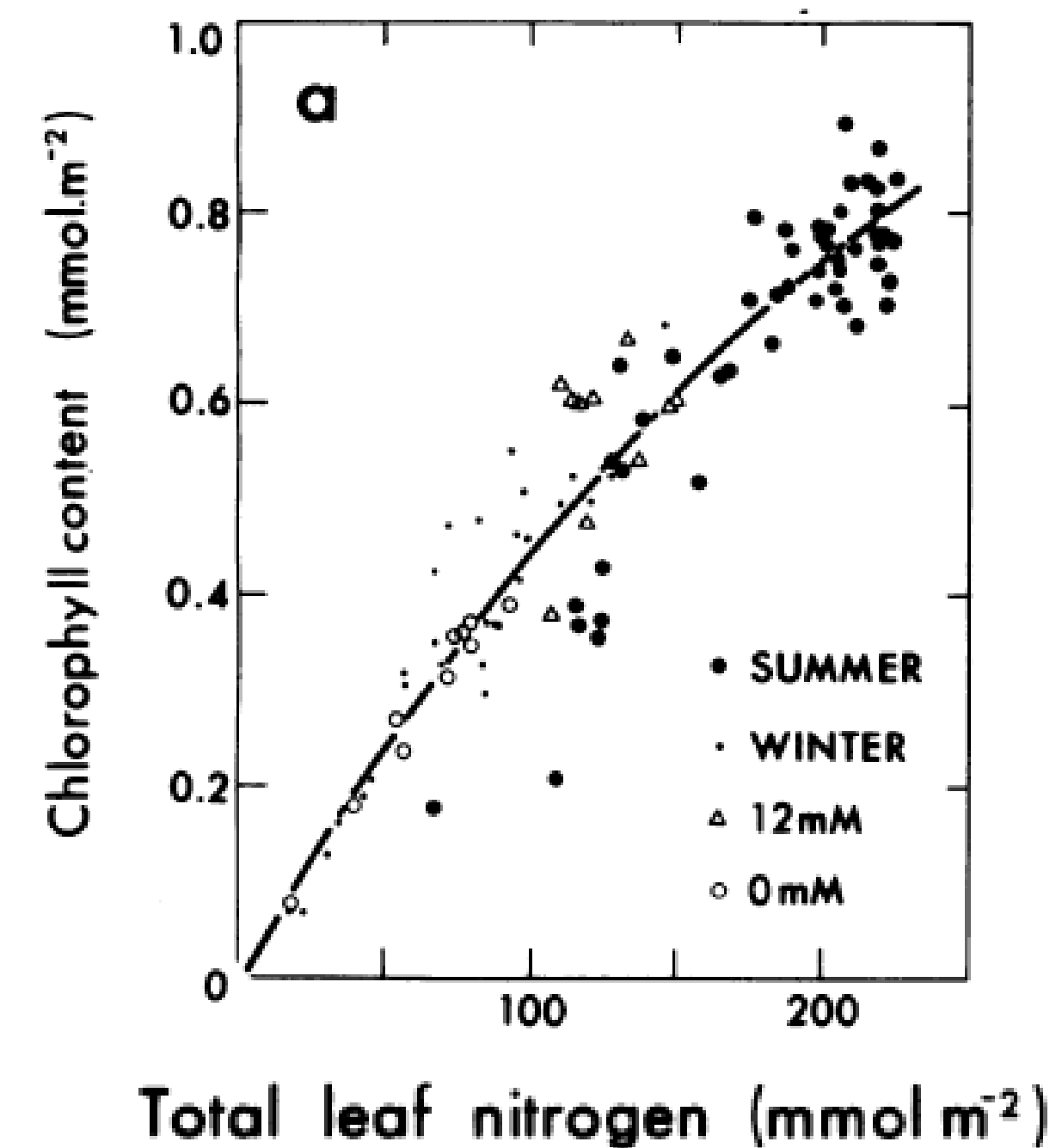


Introduction

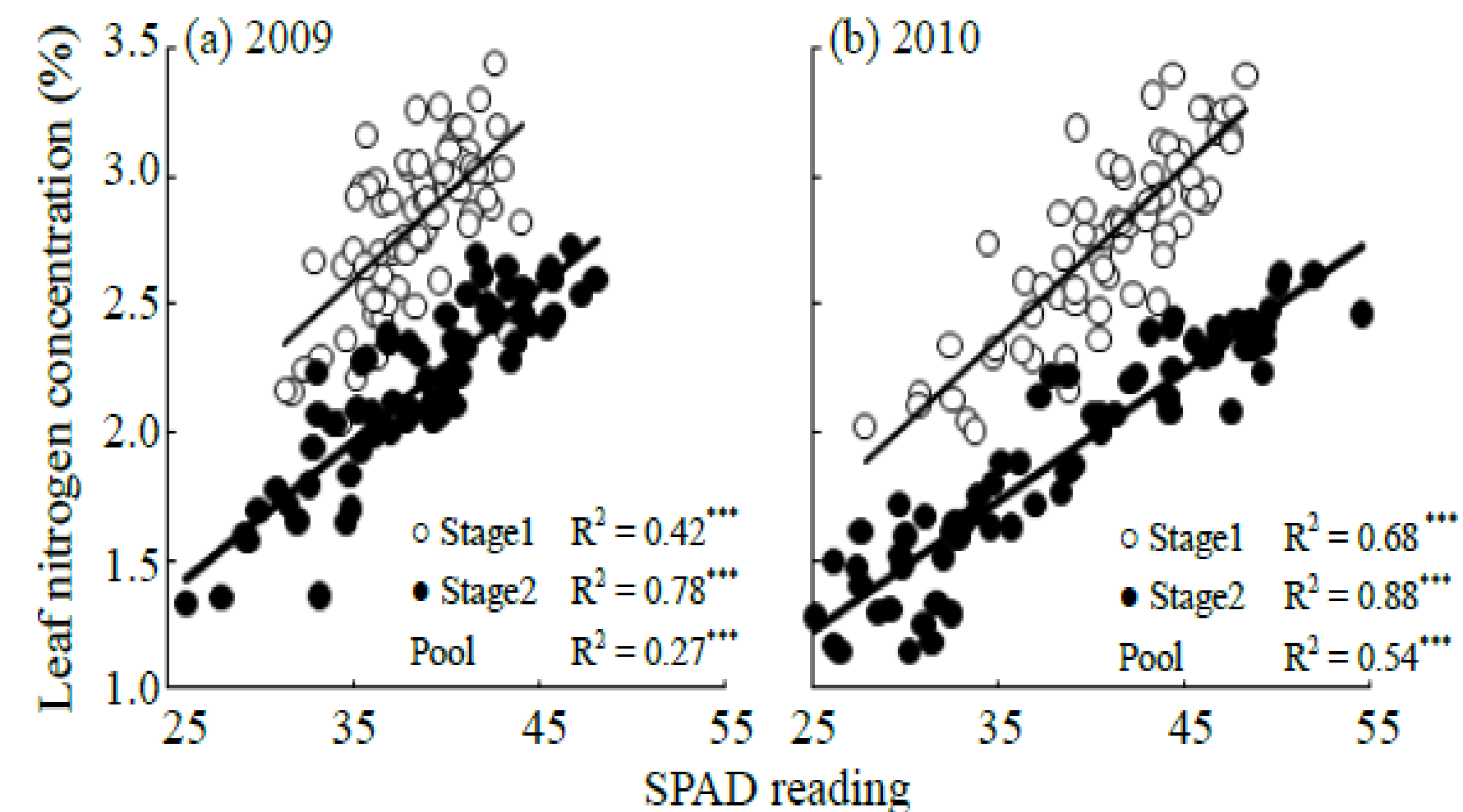
Mesurer l'Azote foliaire

- Besoin de méthodes non-destructives:
Spectrométrie Visible-Proche Infrarouge
- Estimer l'azote par la chlorophylle
=> Relation non robuste
- Estimer l'azote directement

Nguyen & Lee, 2006 (Riz);
Min, 2006 (Chou);
Moron, 2007 (Blé);
Asner & Martin, 2008 (Foret tropicale);
Doughty, 2011 (Foret tropicale);
Serbin, 2012 (arbres);
Bian, 2013 (Thé);
Ecarnot, 2013 (Blé);
Jie, 2014 (Poirier)



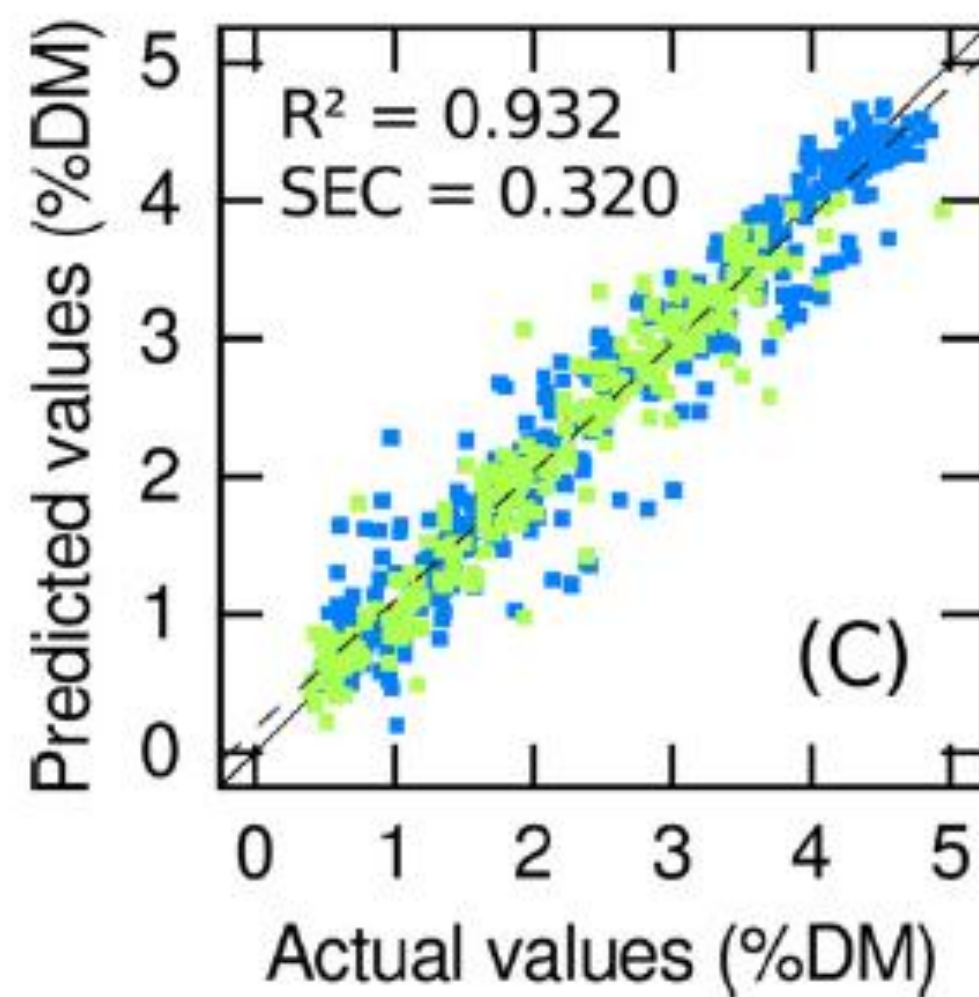
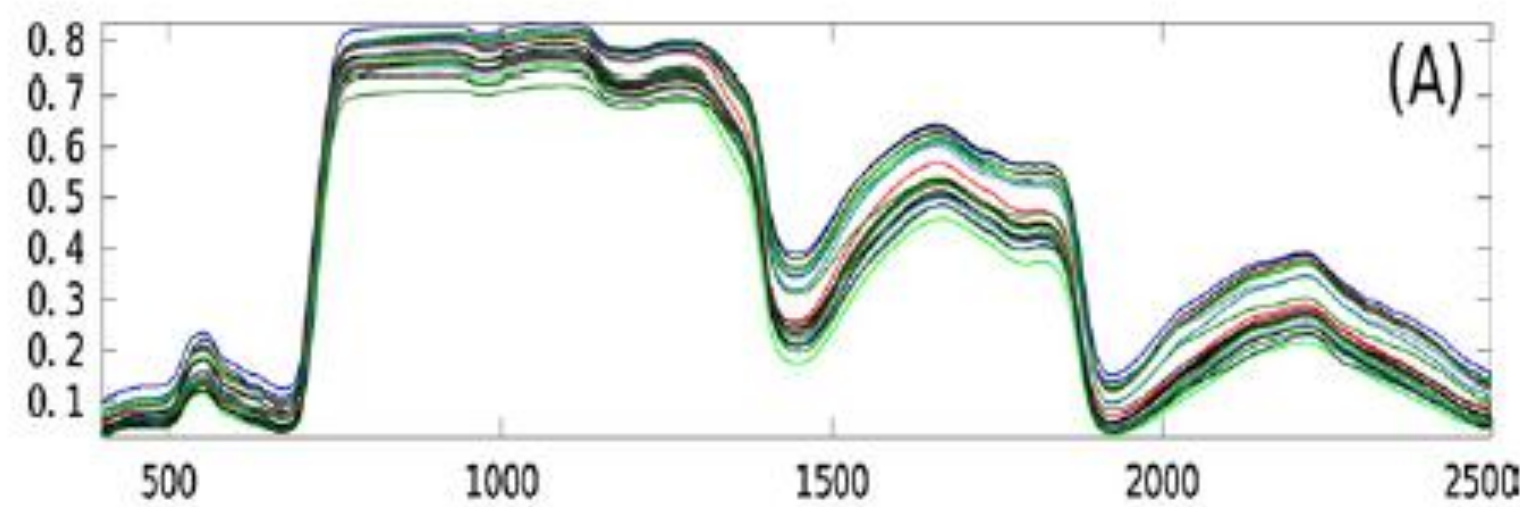
Evans, 1983



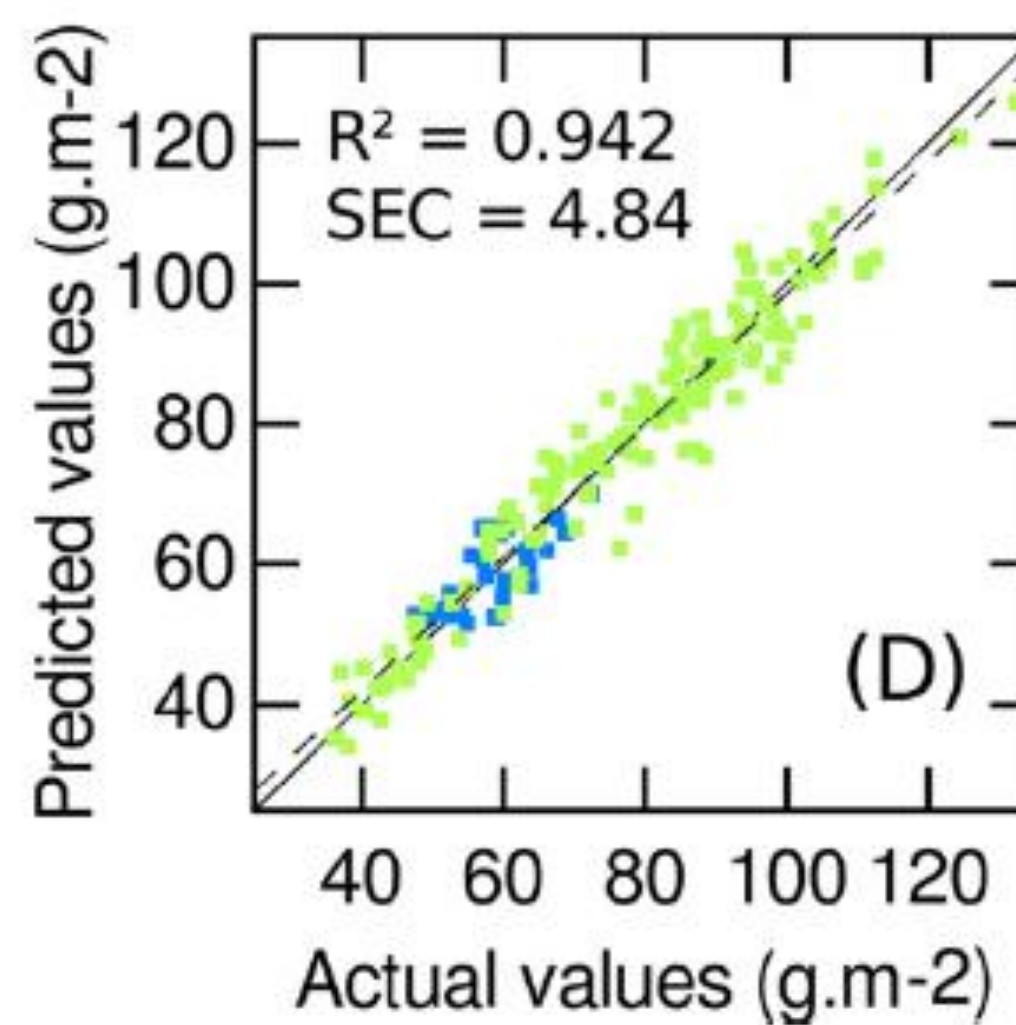
Uchino, 2013

Mesure de l'Azote Foliaire

- Spectrométrie Proche infrarouge sur les feuilles de blé
 - Spectromètre portable ASD Labspec 2500 (400-2500 nm)



Azote

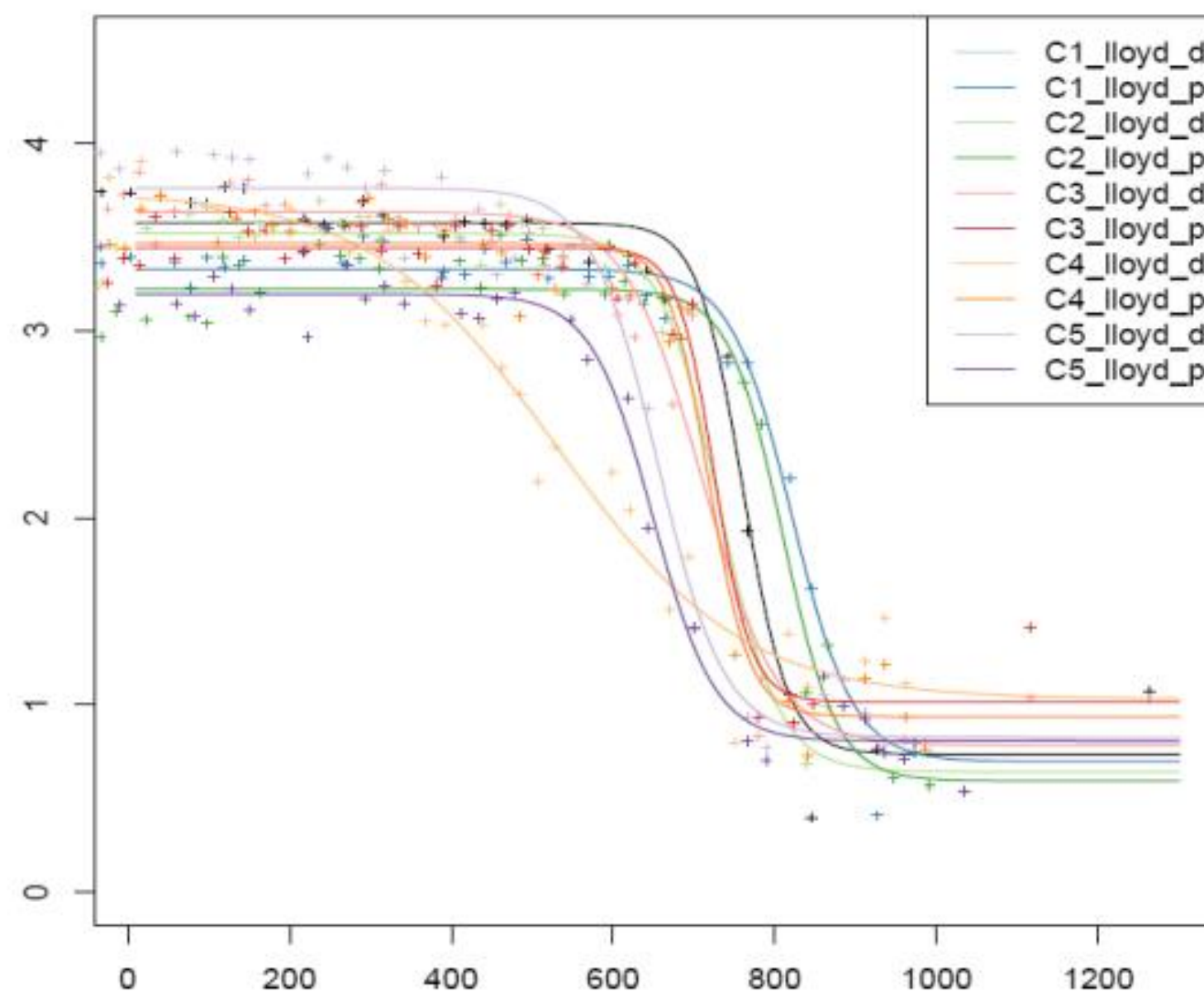


Masse surfacique

Ecarnot et al., 2013

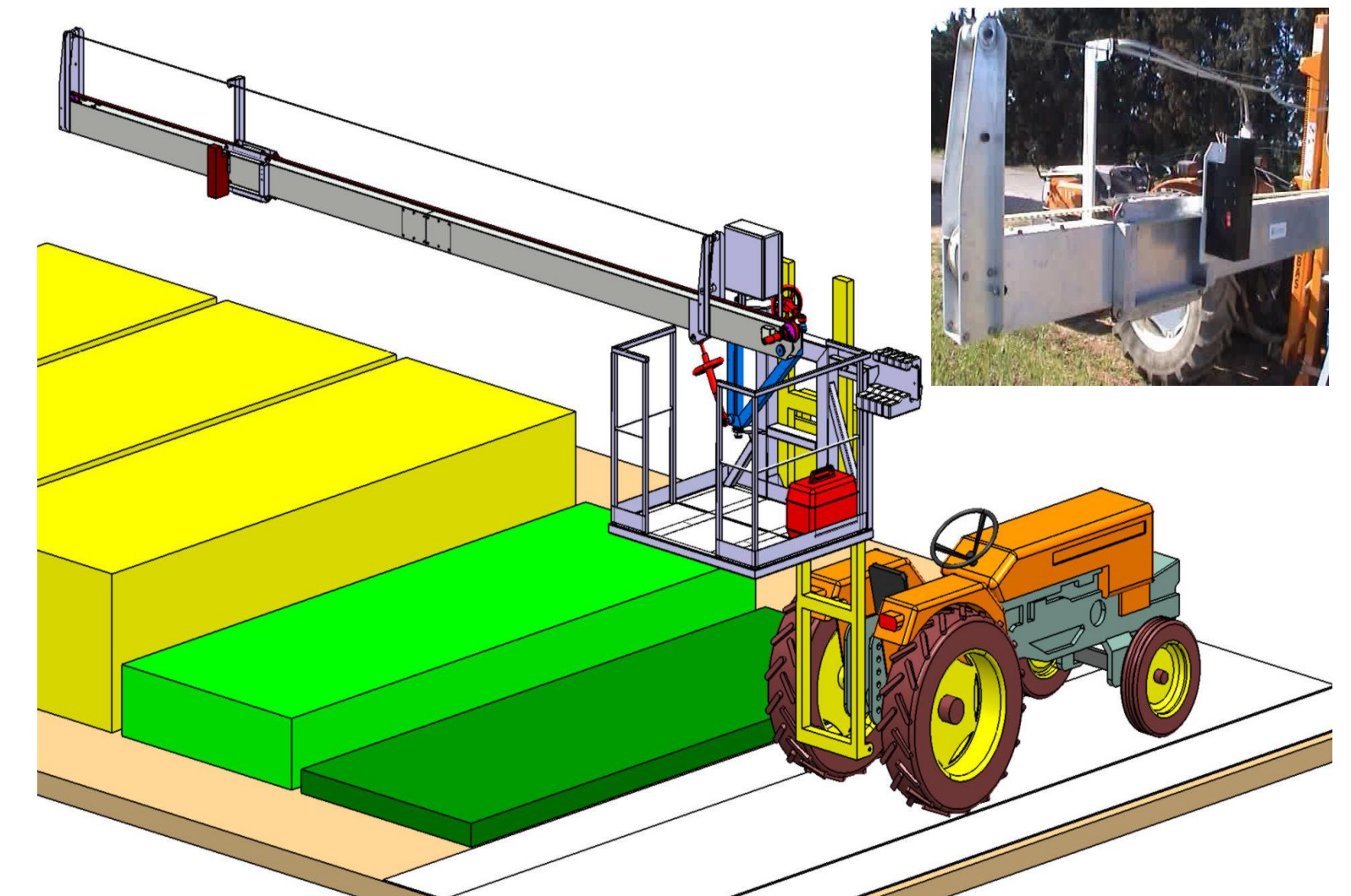
Mesure de l'Azote Foliaire

- Spectrométrie Proche infrarouge sur les feuilles de blé
 - Application à l'amélioration des plantes: Thèse d'Ingrid Vilmus (2010-2013)
 - Mesures de la teneur en azote de manière non destructive.
 - Dynamique de la résorption de l'azote foliaire
 - Paramètre de cinétique = phenotype

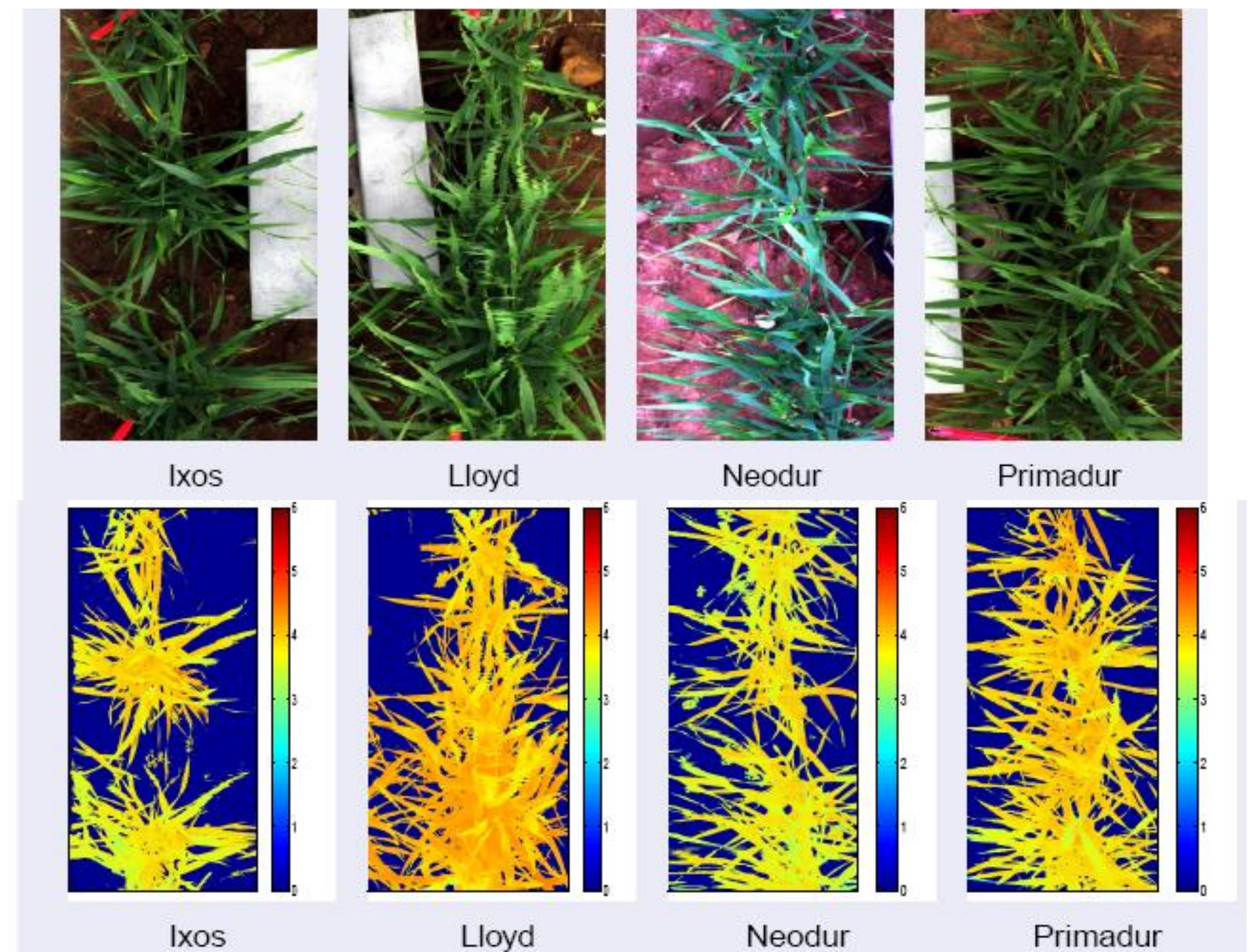
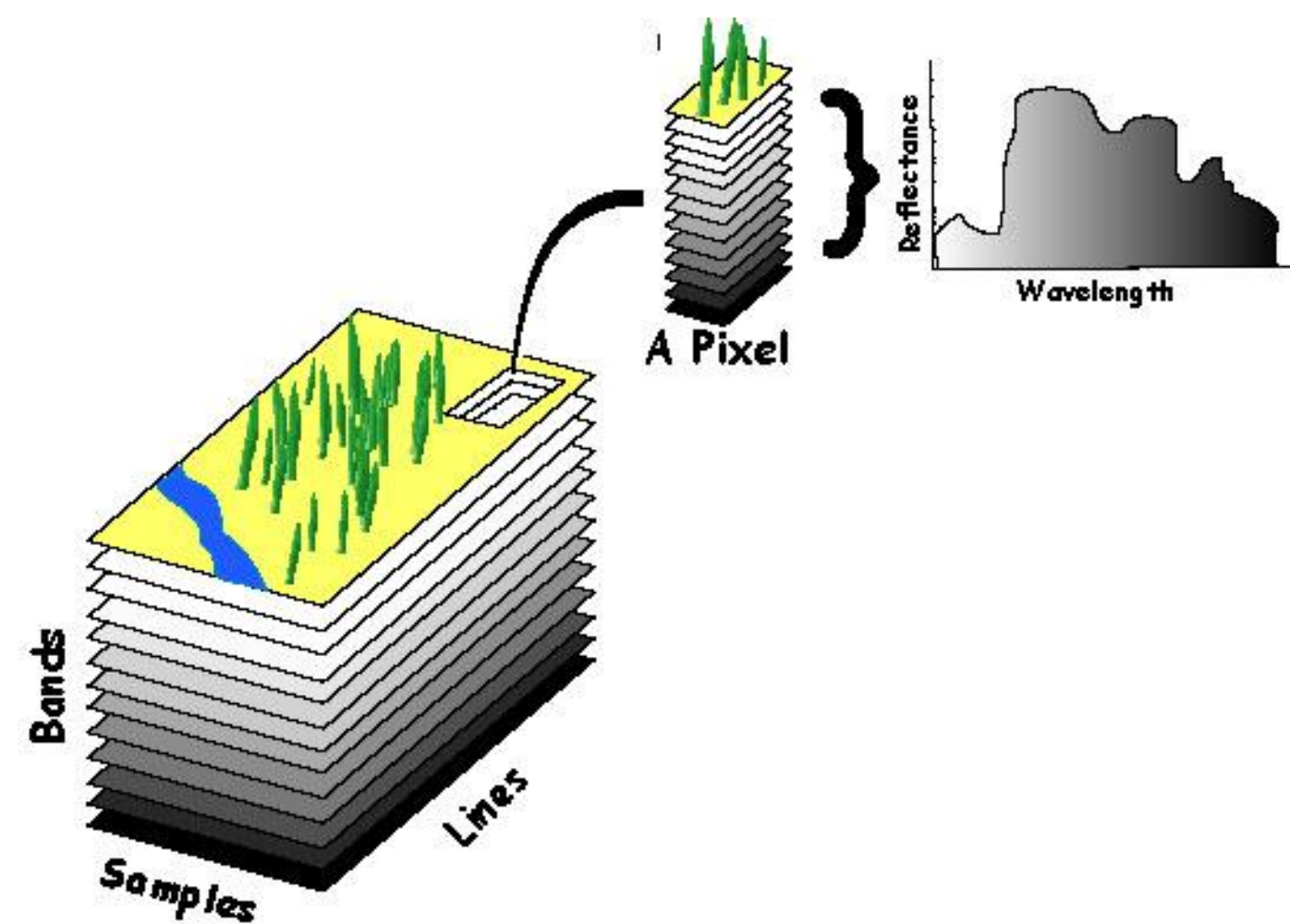


Azote Foliaire à l'échelle de la canopée

- Imagerie hyperspectrale au champ
 - Thèse Nathalie Vigneau (2008-2011)
 - Un spectre pour chaque pixel
 - Etalonnage pour la teneur en azote



Prototype développé par Irstea

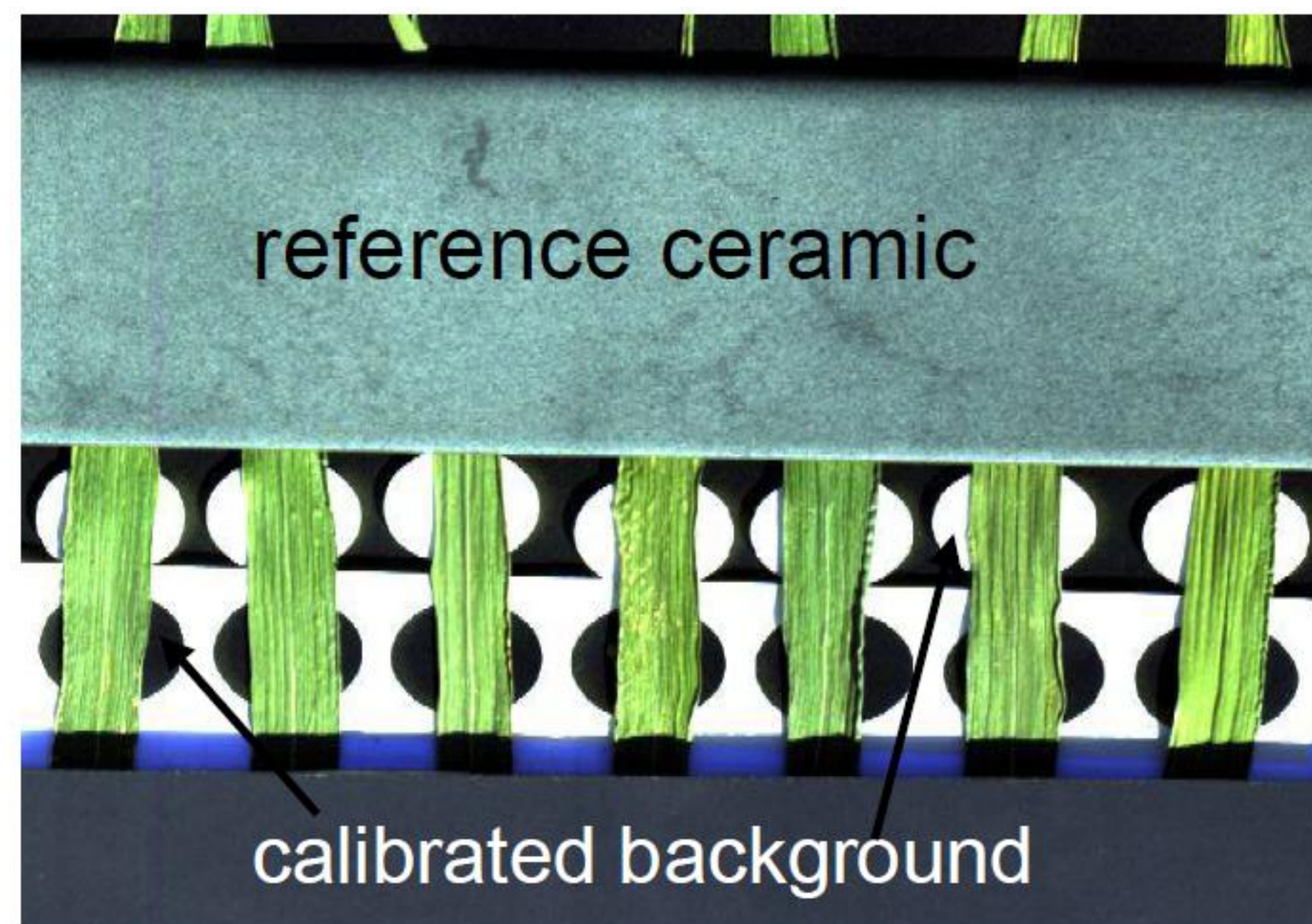
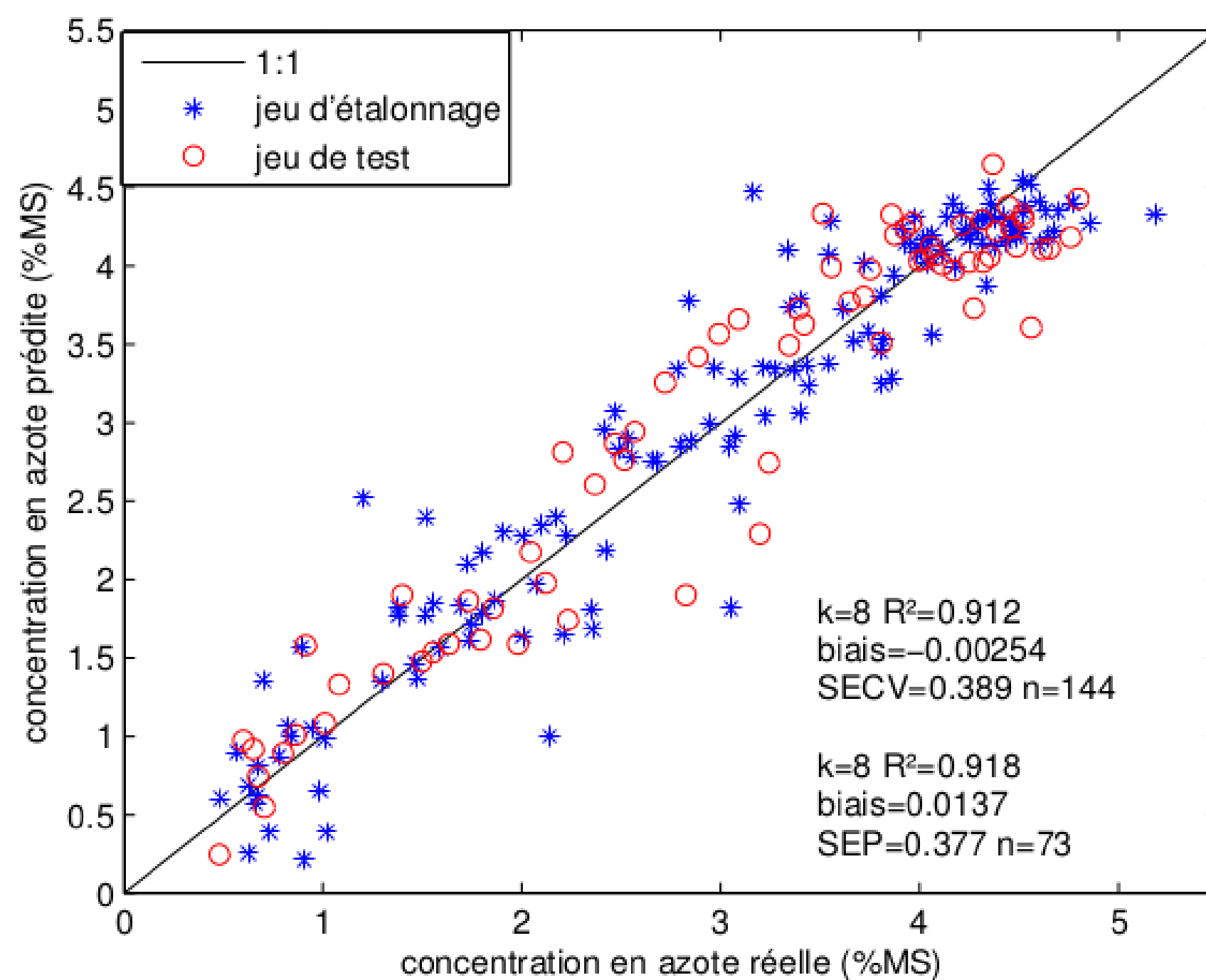


Azote Foliaire à l'échelle de la canopée

- Imagerie hyperspectrale au champ

Thèse Nathalie Vigneau (2008-2011)

– Feuilles à plat

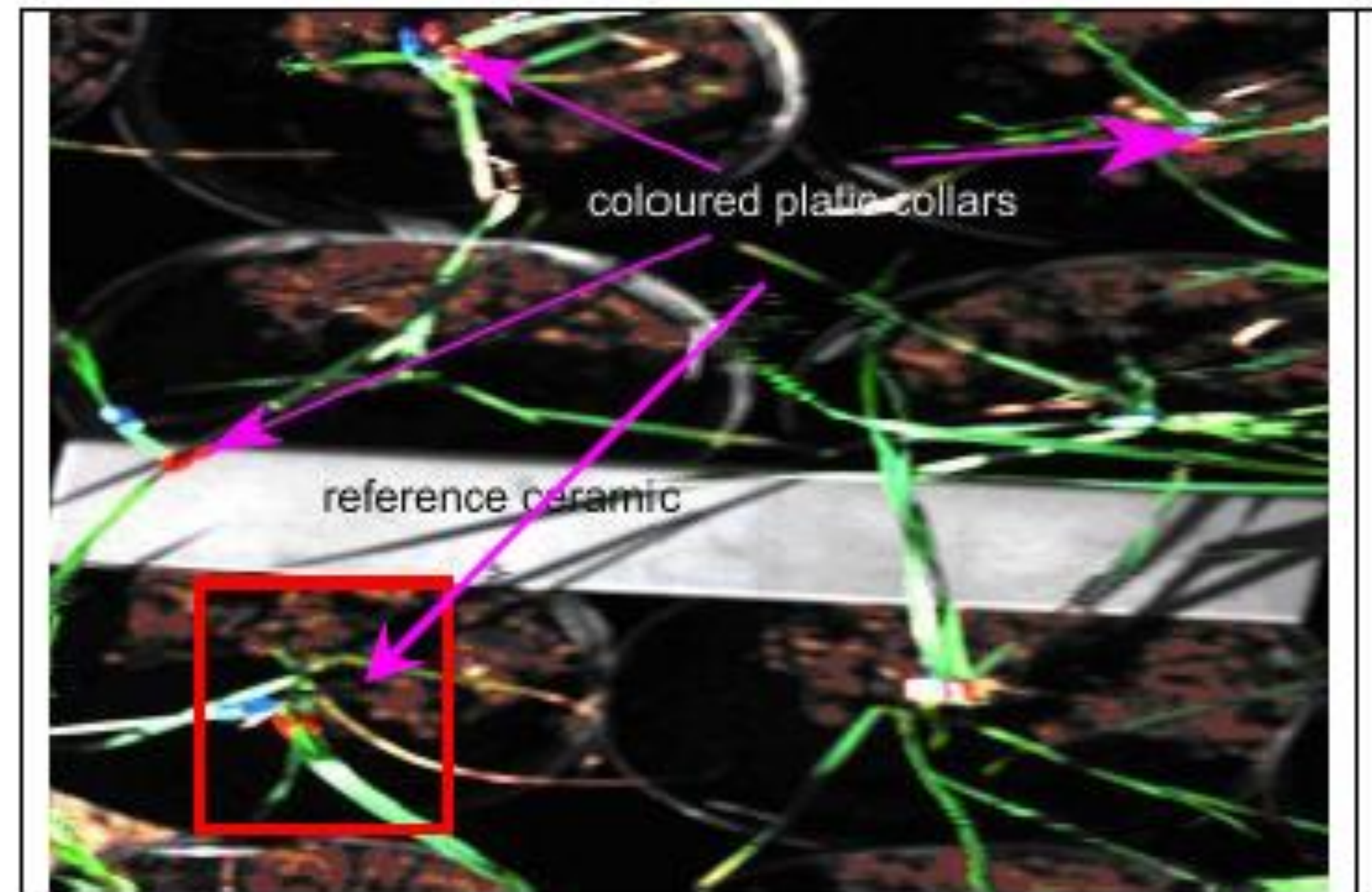
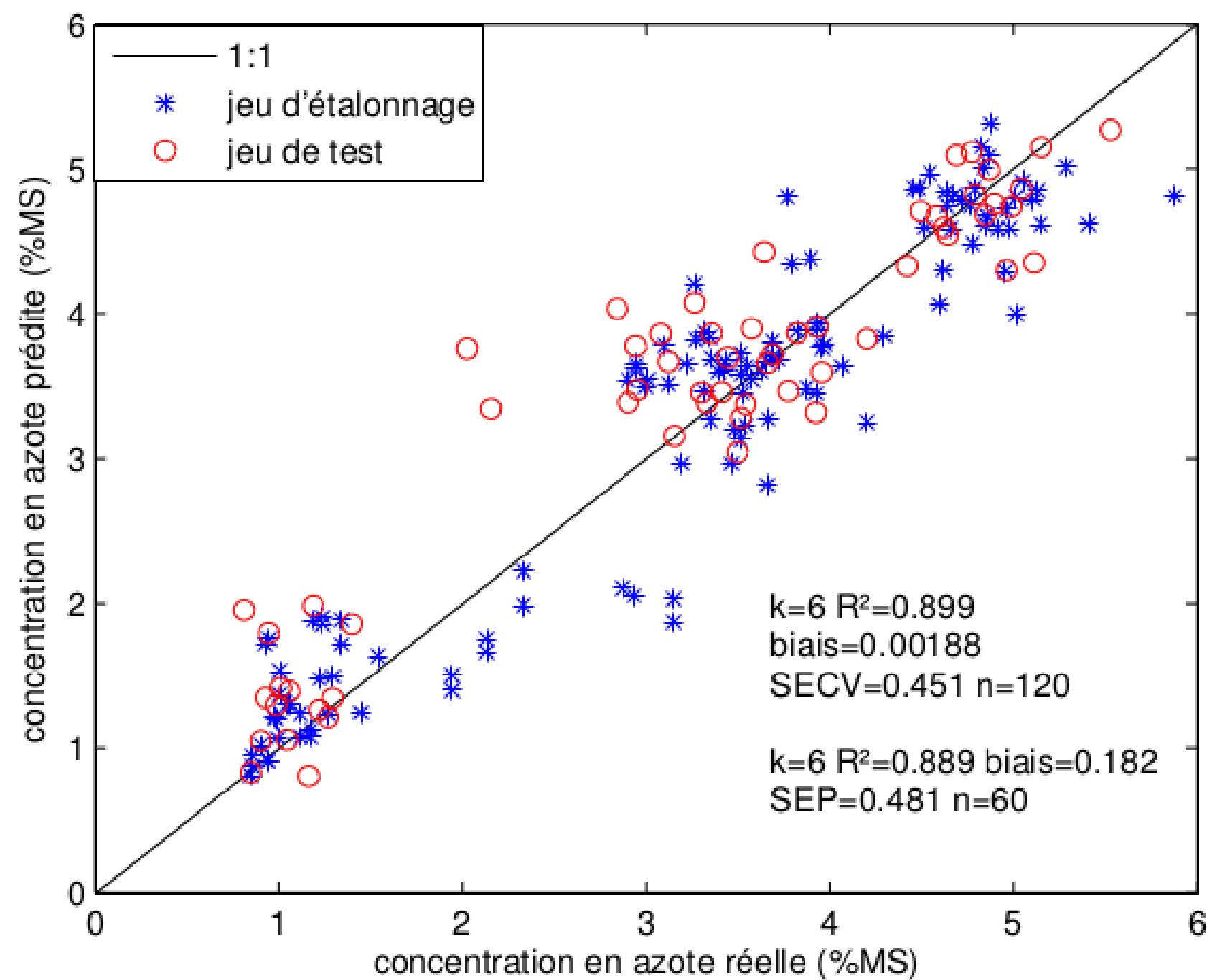


Azote Foliaire à l'échelle de la canopée

- Imagerie hyperspectrale au champ

Thèse Nathalie Vigneau (2008-2011)

- Feuilles en pots isolées

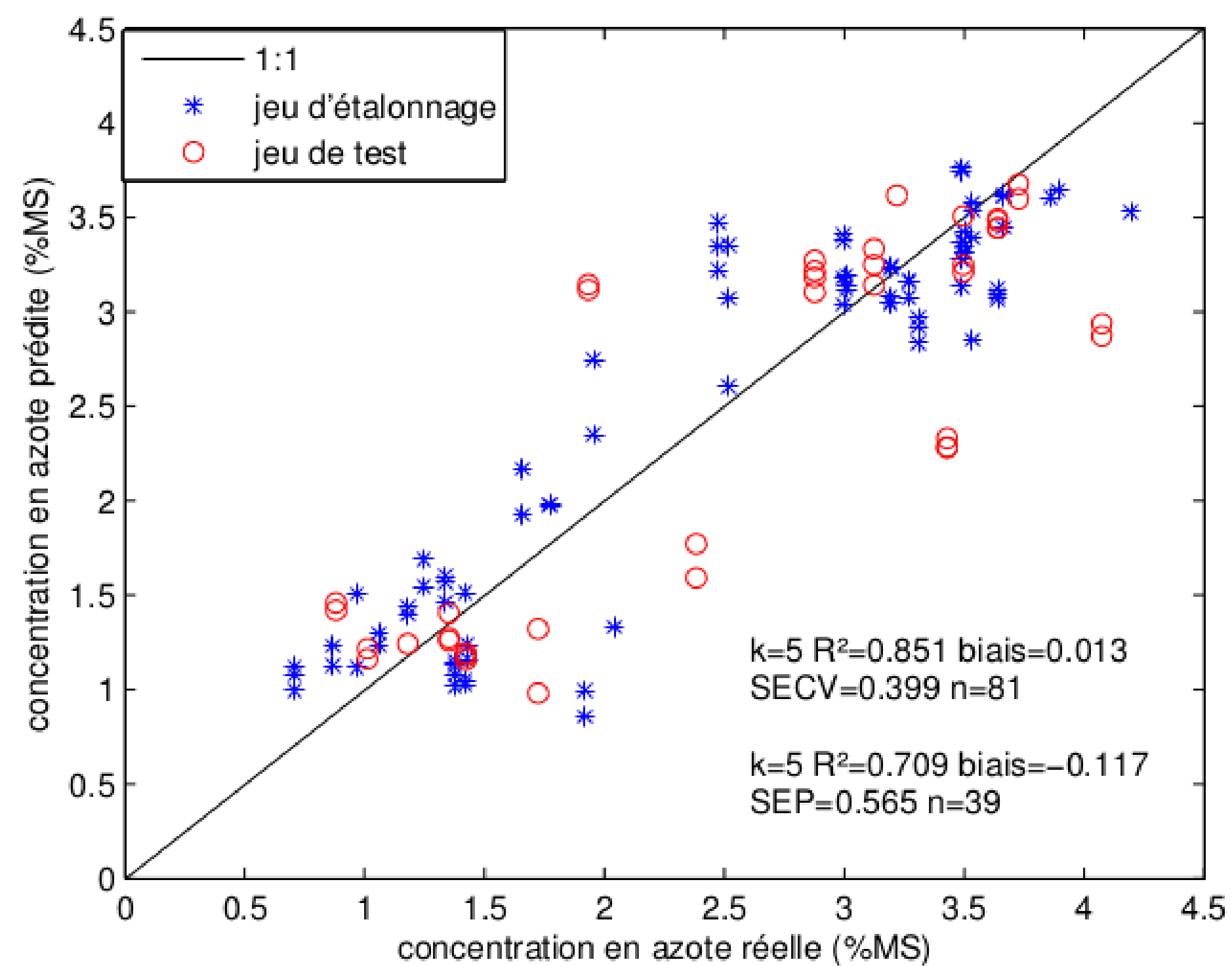


Azote Foliaire à l'échelle de la canopée

- Imagerie hyperspectrale au champ

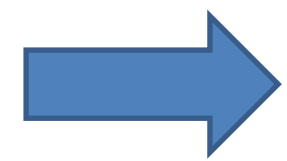
Thèse Nathalie Vigneau (2008-2011)

– Feuilles au champ



Comprendre la complexité optique d'une parcelle

- Influence des réflexions multiples sur l'étalonnage azote.
- Répartition des réflexions multiples dans la parcelle.
- Influence de l'architecture sur les réflexions multiples.



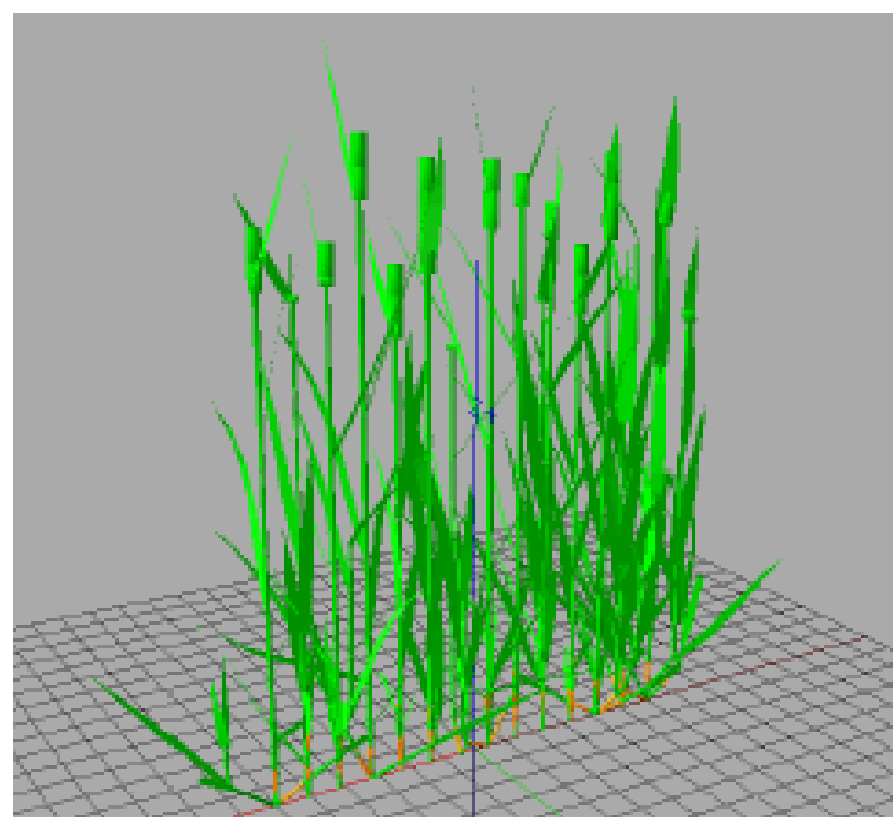
Approche par Modélisation

Projet ANR Phenoblé : CDD de Pierre-Antoine Jean (oct. 2013 – oct. 2014)

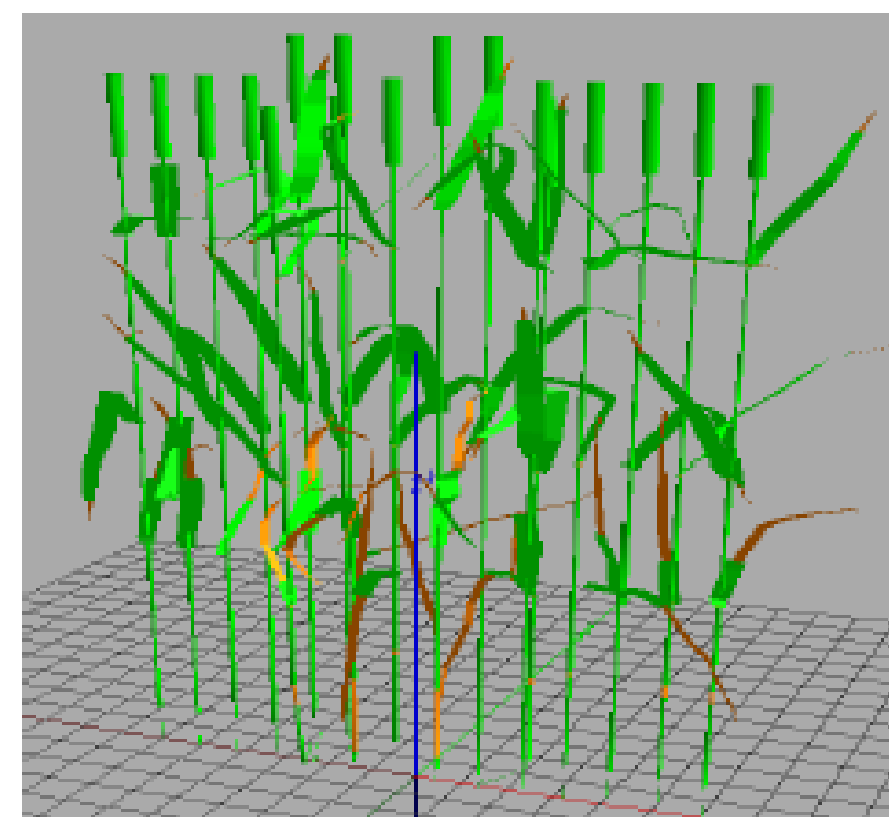
Modélisation de l'architecture et des propriétés optiques du couvert

- Matériel & Méthodes

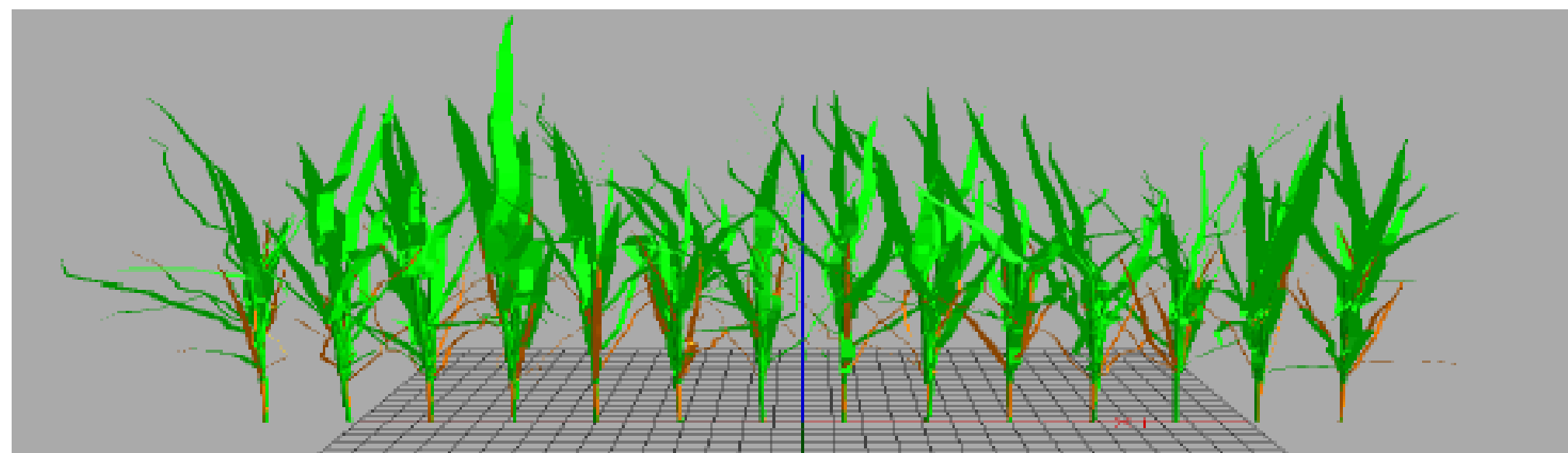
Modèle d'Architecture **Adel-Blé** (C. Fournier – B. Andrieu)



- Variété : Maxwell
- Degré jour : 1200



- Variété : Soissons
- Degré jour : 1650



- Variété : Soissons
- Degré jour : 600

Modélisation de l'architecture et des propriétés optiques du couvert

- Matériel & Méthodes

Modèle de radiosit  **Caribu** (M. Chelle – B. Andrieu)

Radiosit  Imbriqu e

Radiosit 
(contributions proches)

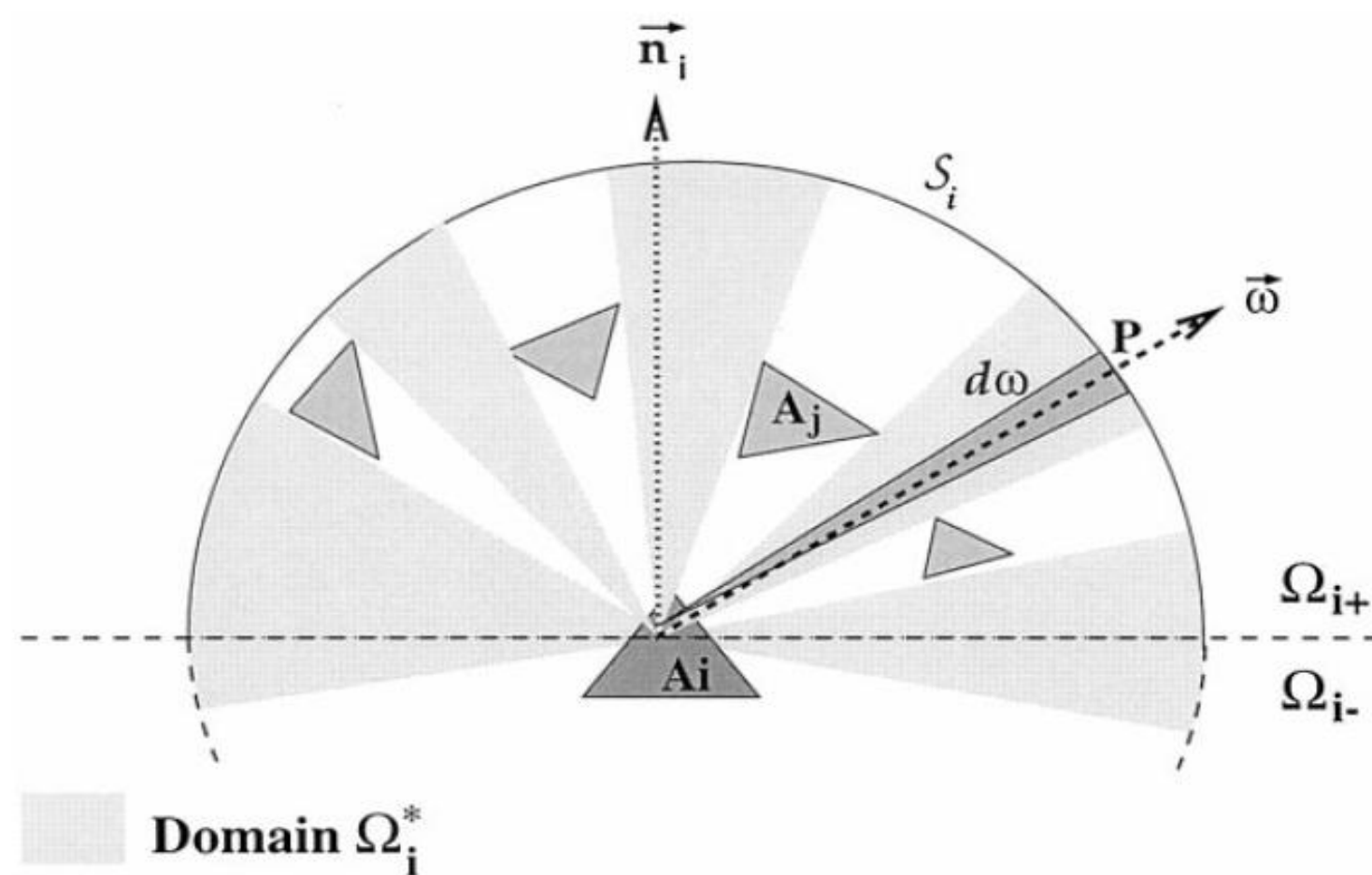


Fig. 1. Close and far contributions ($\vec{\omega}$ is a direction and $d\omega$ is a differential solid angle around $\vec{\omega}$, P is the intersection between $\vec{\omega}$ and S_i).

Mod le de milieu turbide
(contributions lointaines)

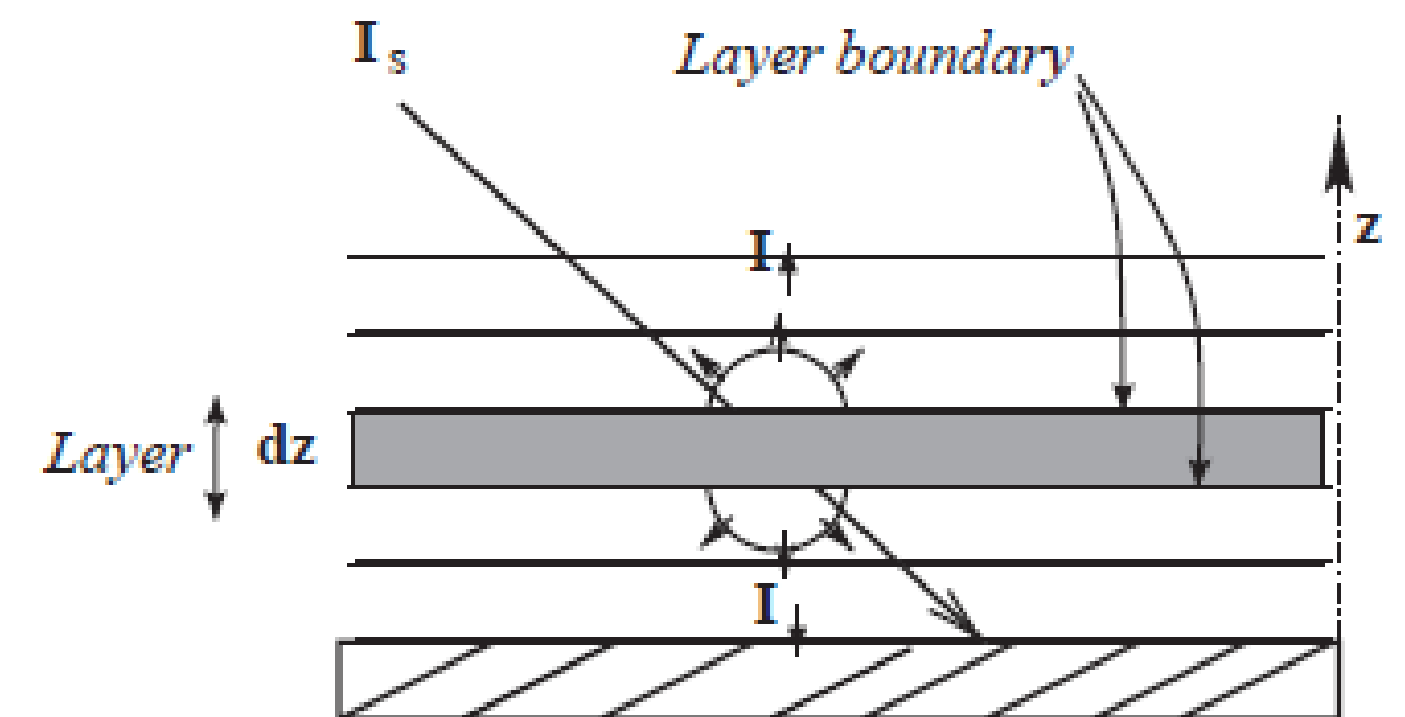
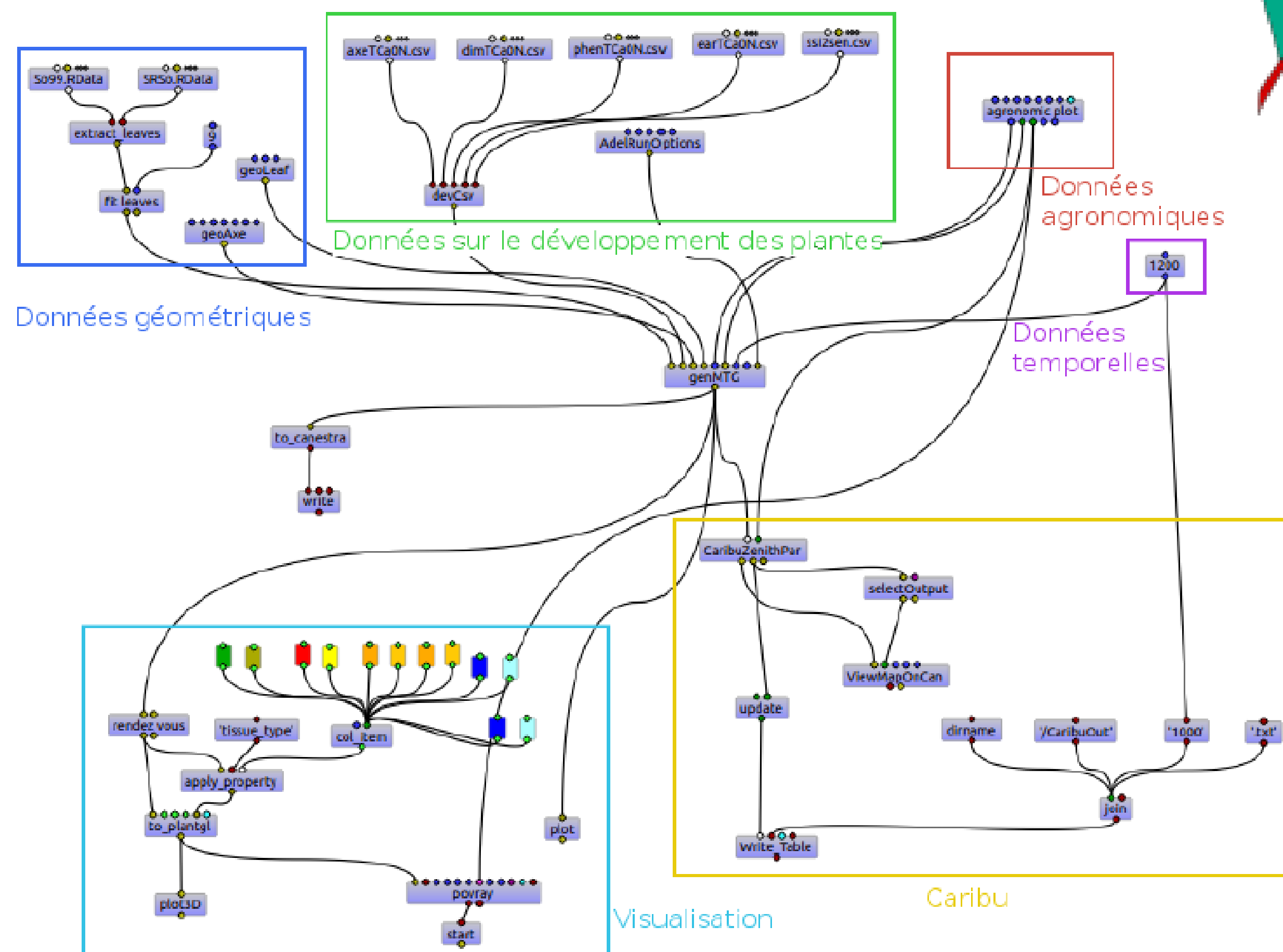


Fig. 1. Scattering by arbitrarily inclined leaves (SAIL): a volume-based model

Modélisation de l'architecture et des propriétés optiques du couvert

- Matériel & Méthodes

Plateforme OpenAlea

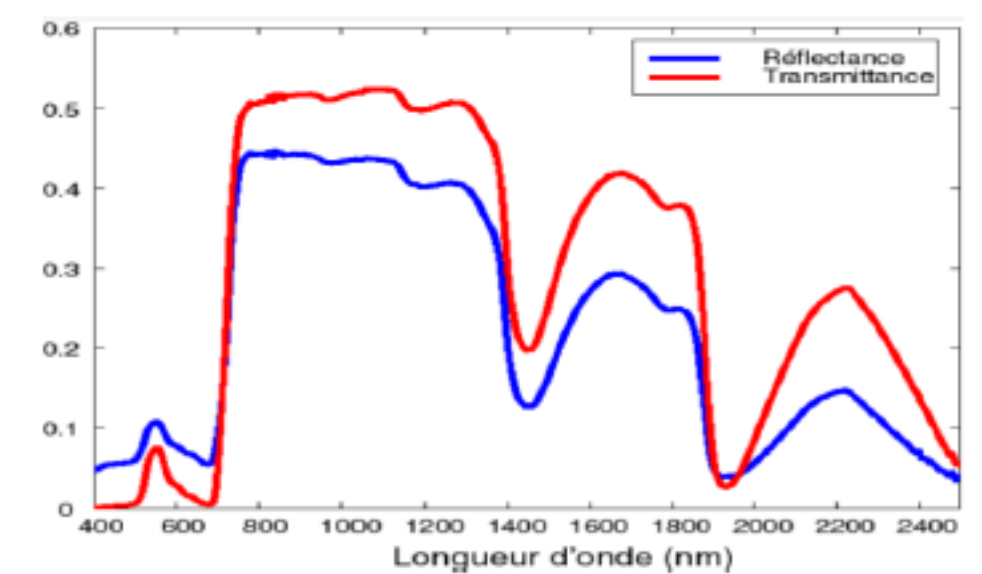
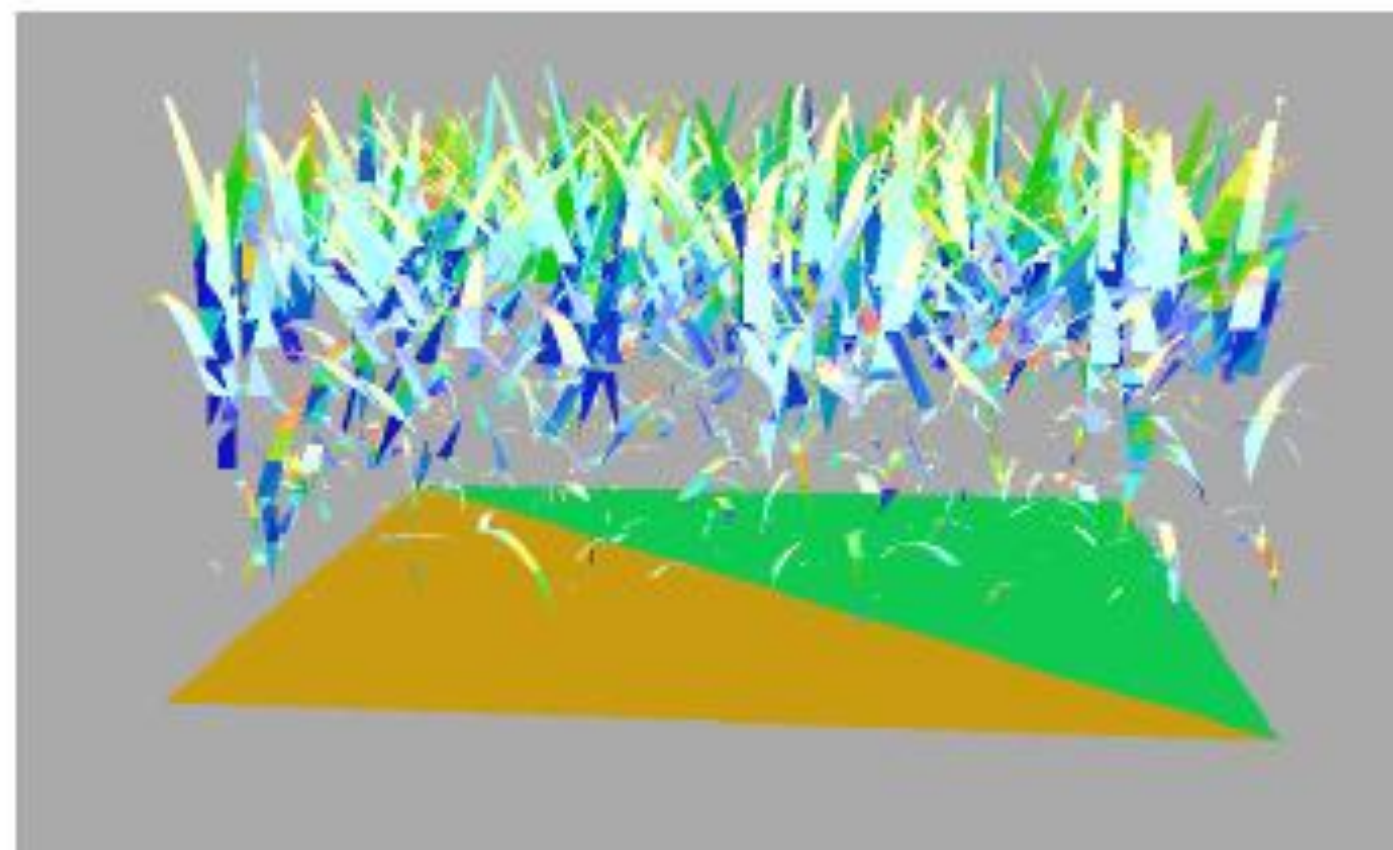
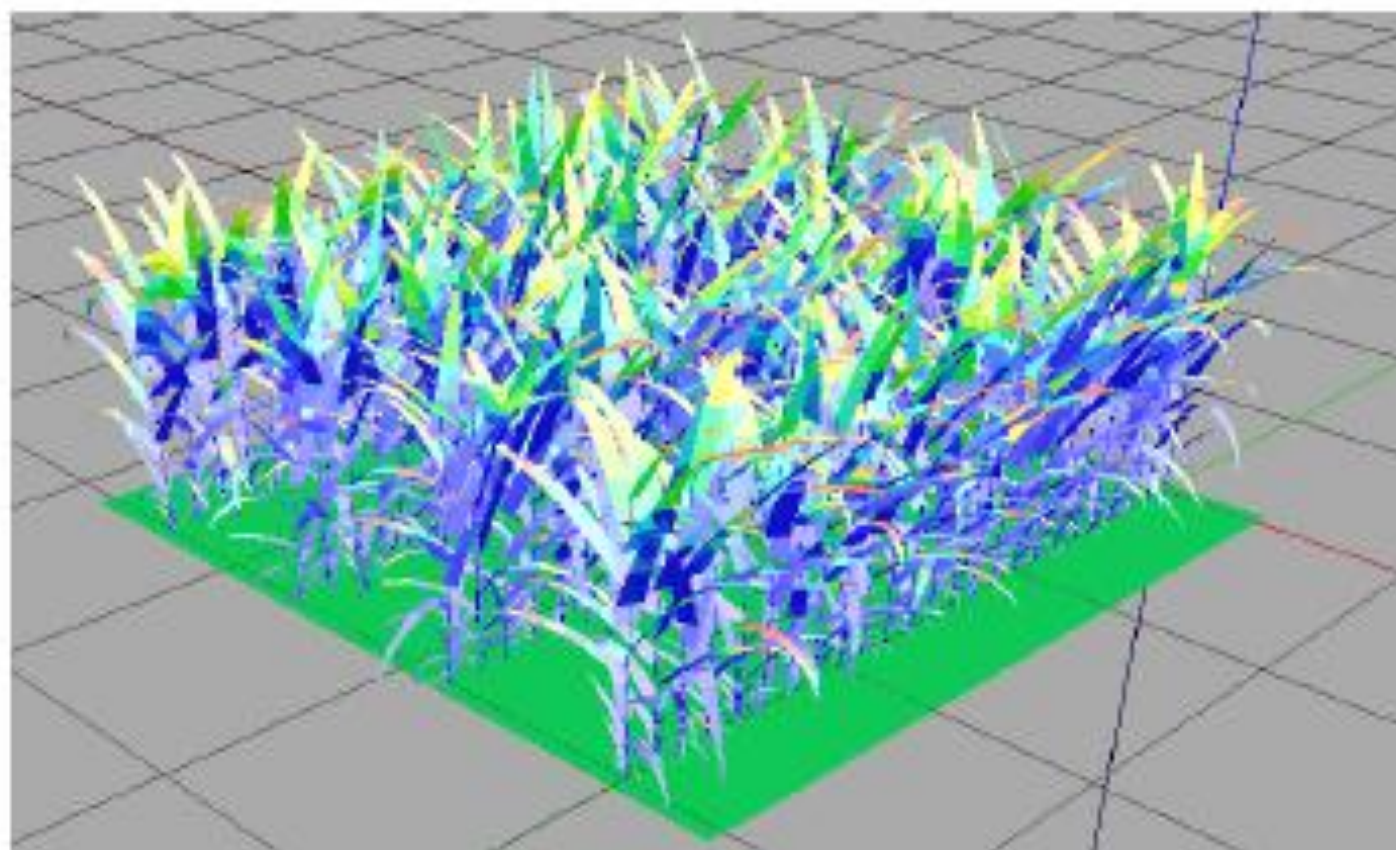
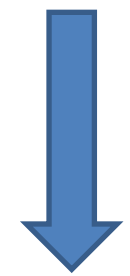


Modélisation de l'architecture et des propriétés optiques du couvert

• Matériel & Méthodes

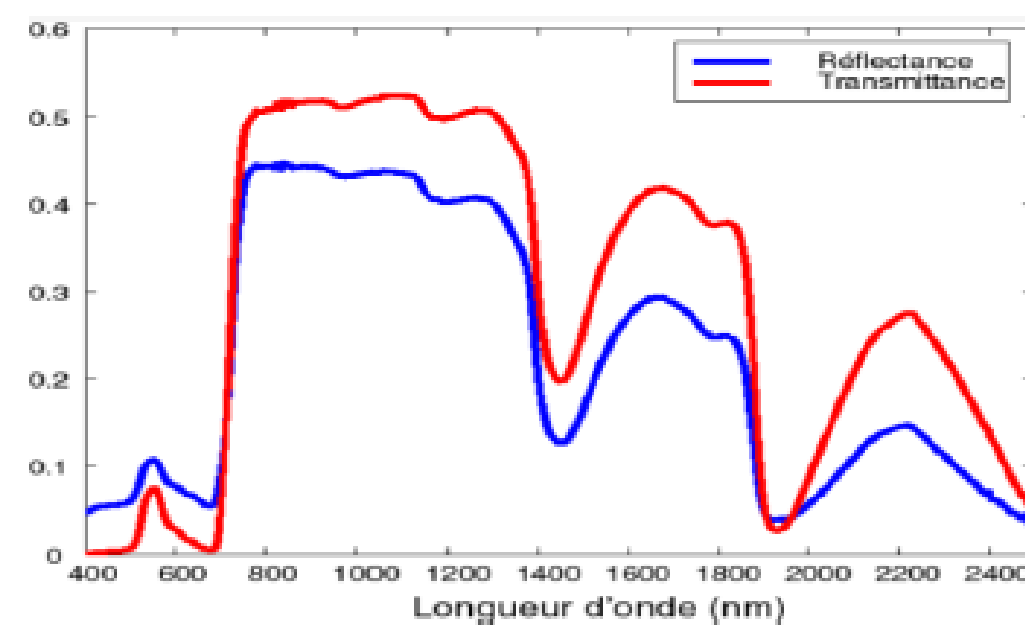
Variables en entrée de Caribu

- Spectre de réflectance + Transmittance (400-1000 nm) à partir de l'ASD Labspec
- Mêmes réflectance et transmittance appliqué à tous les pixels de la parcelle
- Face supérieure = Face inférieure
- Simulations avec ou sans réflexions multiples
- Lumière mesurée au nadir.
- On ne conserve que les pixels vus au nadir

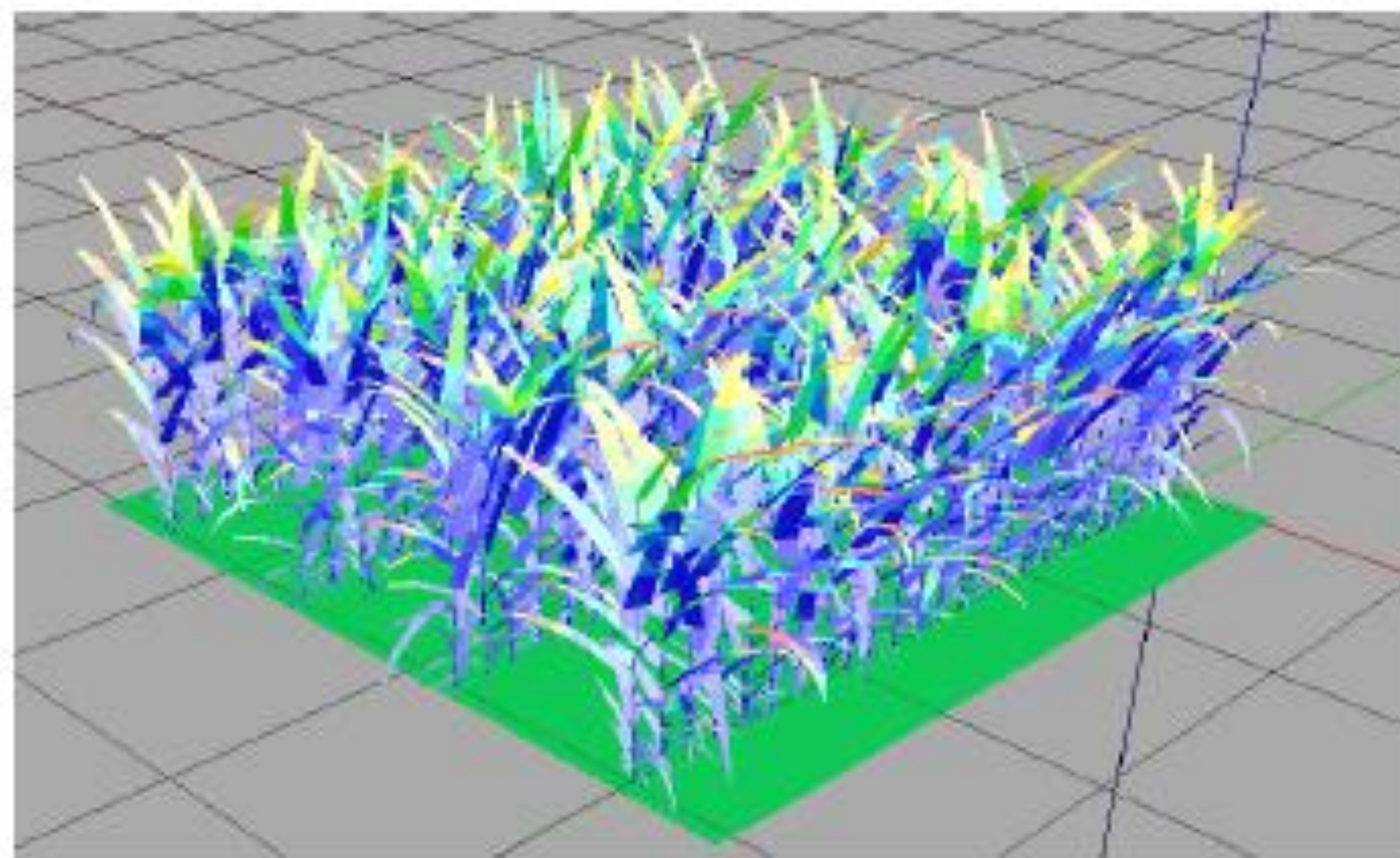
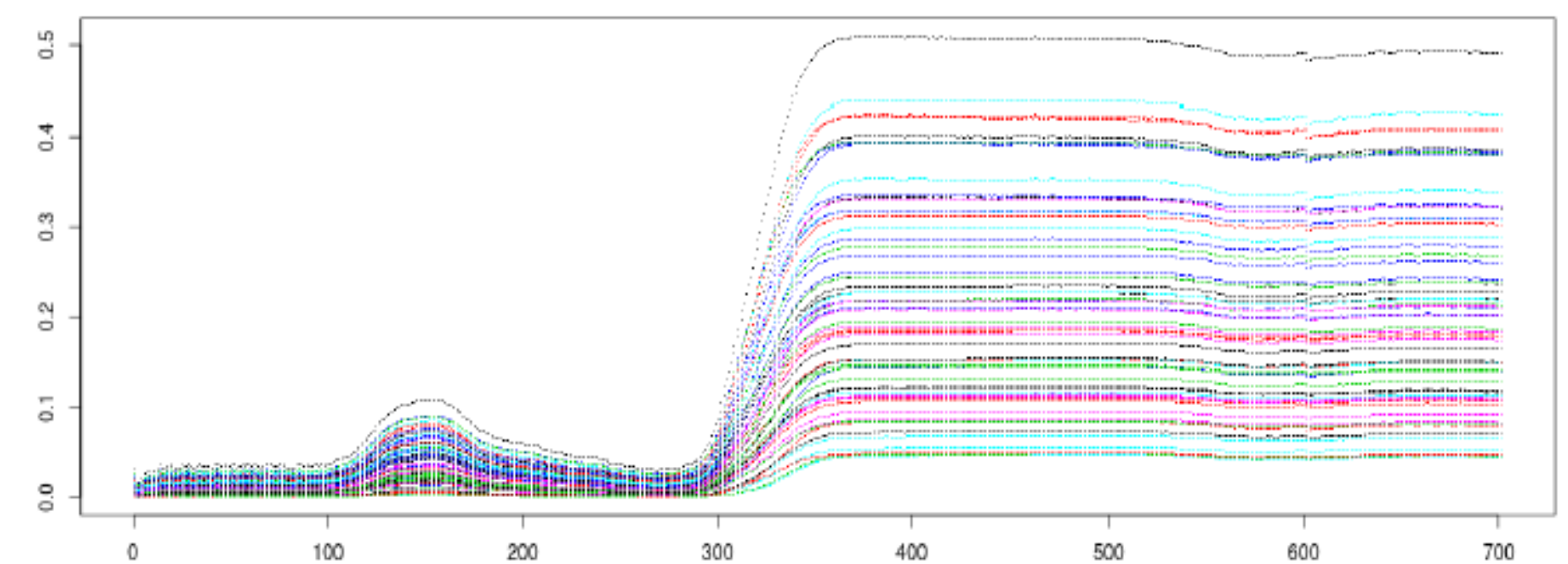


Comprendre la diversité spectrale du couvert

- 1 spectre pour chaque pixel du couvert

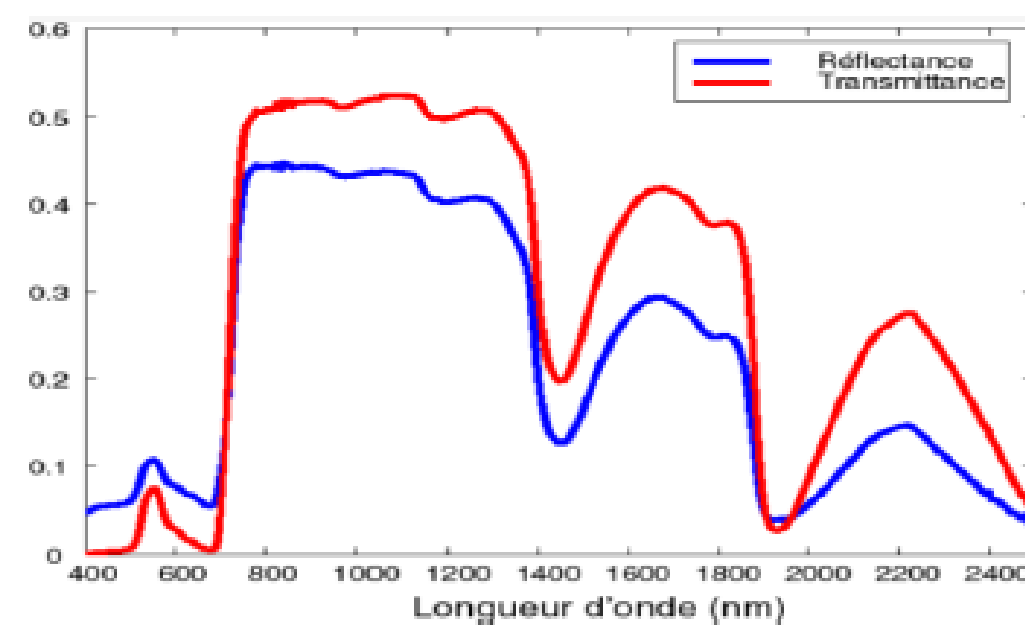


ADEL +
CARIBU

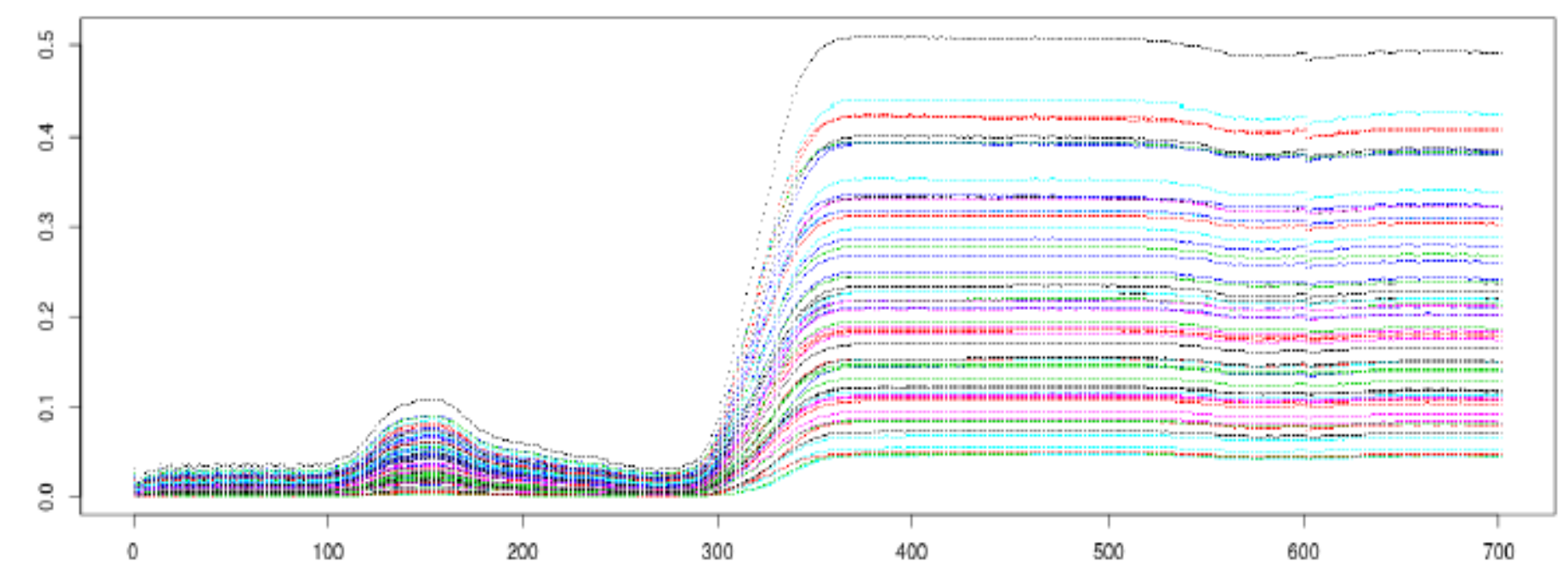


Comprendre la diversité spectrale du couvert

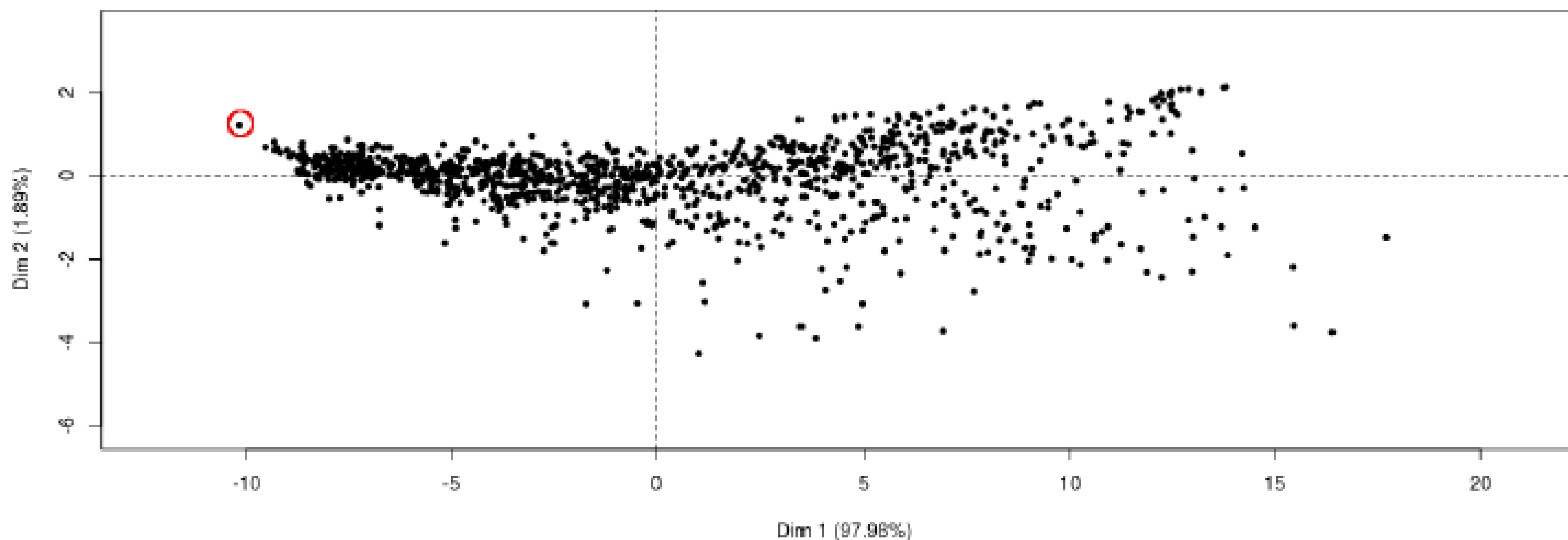
- 1 spectre pour chaque pixel du couvert



ADEL +
CARIBU



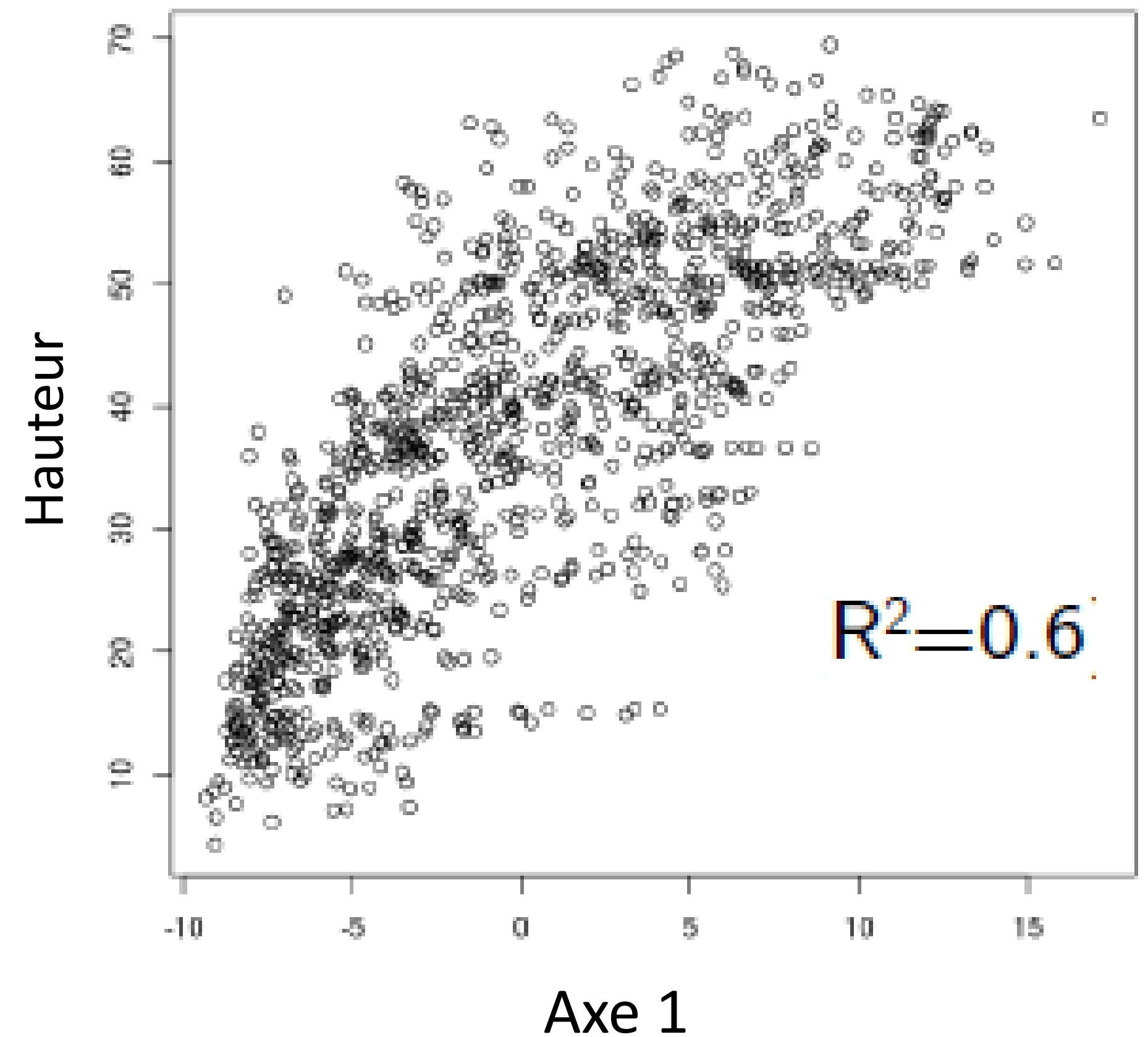
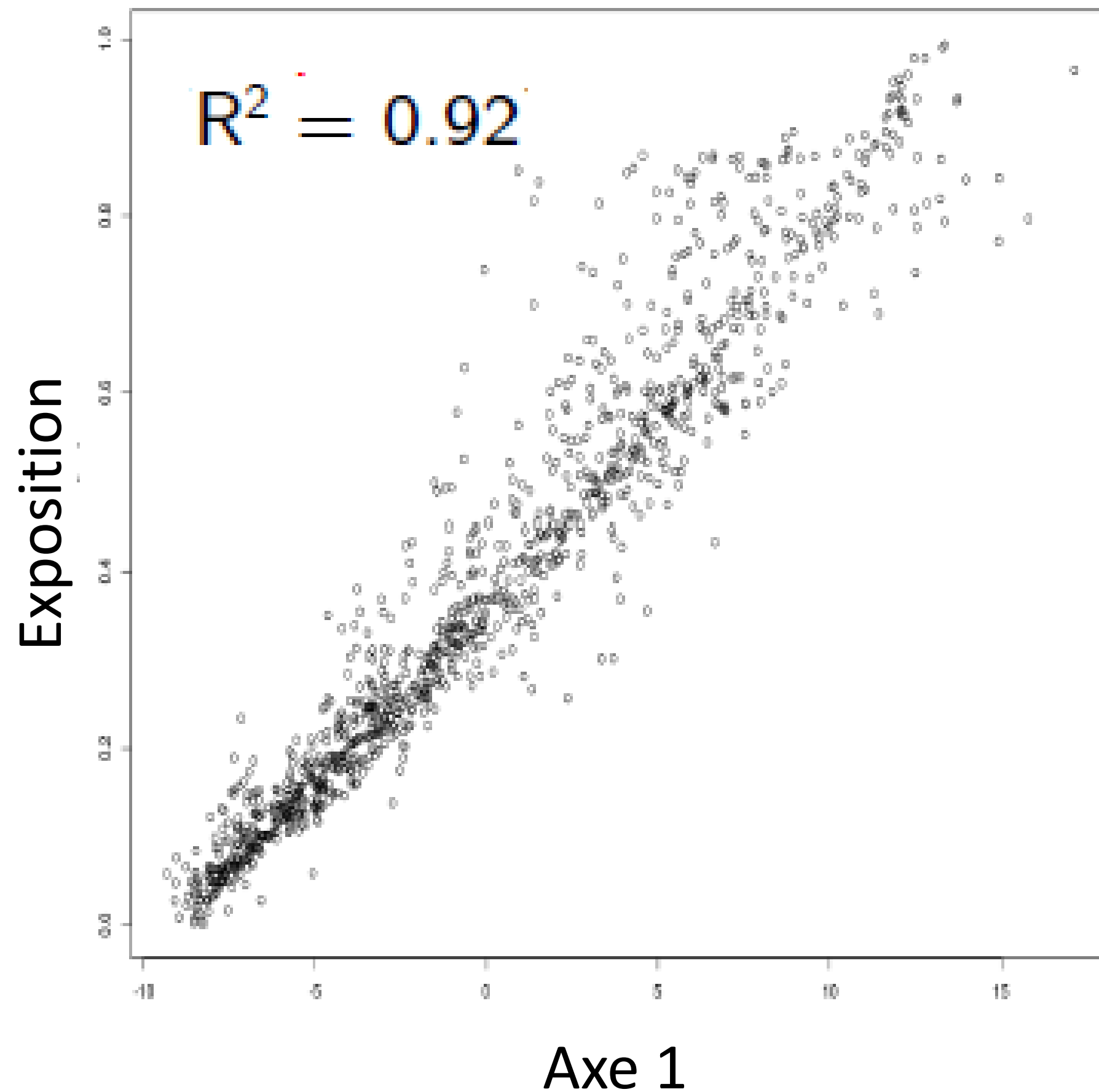
Individuals factor map (PCA)



99.9 % de la variance
expliquée par les 2
premières CP.

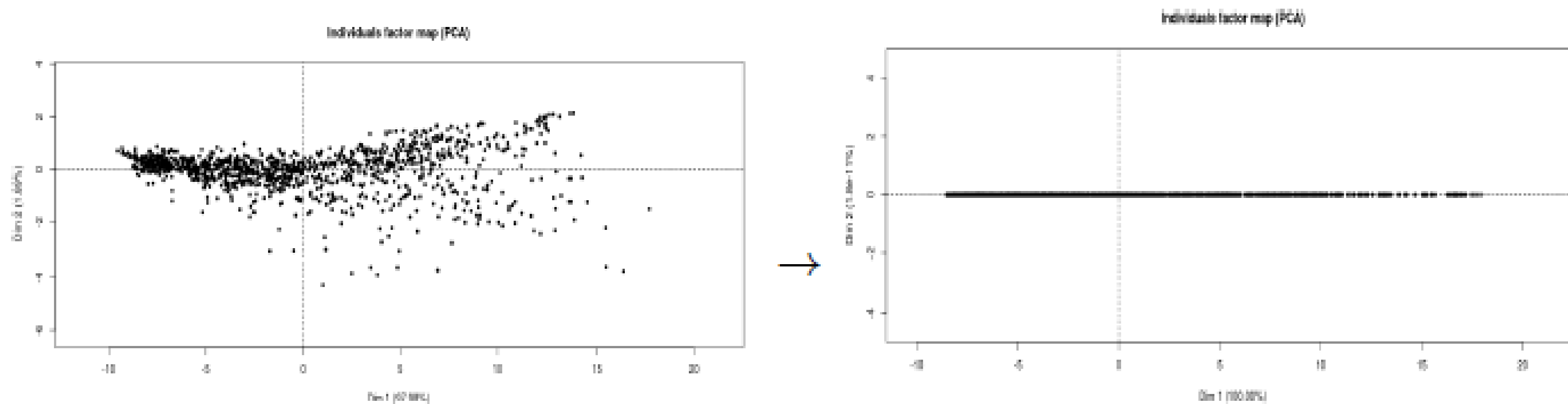
Comprendre la diversité spectrale du couvert

- Signification des axes de l'ACP – **Axe 1**
 - Exposition = f(Inclinaison , Recouvrement)
 - Hauteur du pixel dans le couvert



Comprendre la diversité spectrale du couvert

- Signification des axes de l'ACP – **Axe 2**



Avec réflexions multiples

Sans réflexions multiples

Axe 2 ~ axe des réflexions multiples

Comprendre la diversité spectrale du couvert

- Reconstruction des réflexions multiples

$$S_i = S_{iSRM} + \sum_j^n \Theta \cdot S_{iSRM} \cdot S_{jSRM}$$

En fixant 1 spectre d'interaction aléatoire

$$S_i = S_{iSRM} + n \cdot \Theta \cdot S_{iSRM} \cdot S_{xSRM}$$

n : Nombre
d'interactions

Θ = Coef.
D'atténuation



$$n = (S_i - S_{iSRM}) / \Theta \cdot S_{iSRM} \cdot S_{xSRM}$$

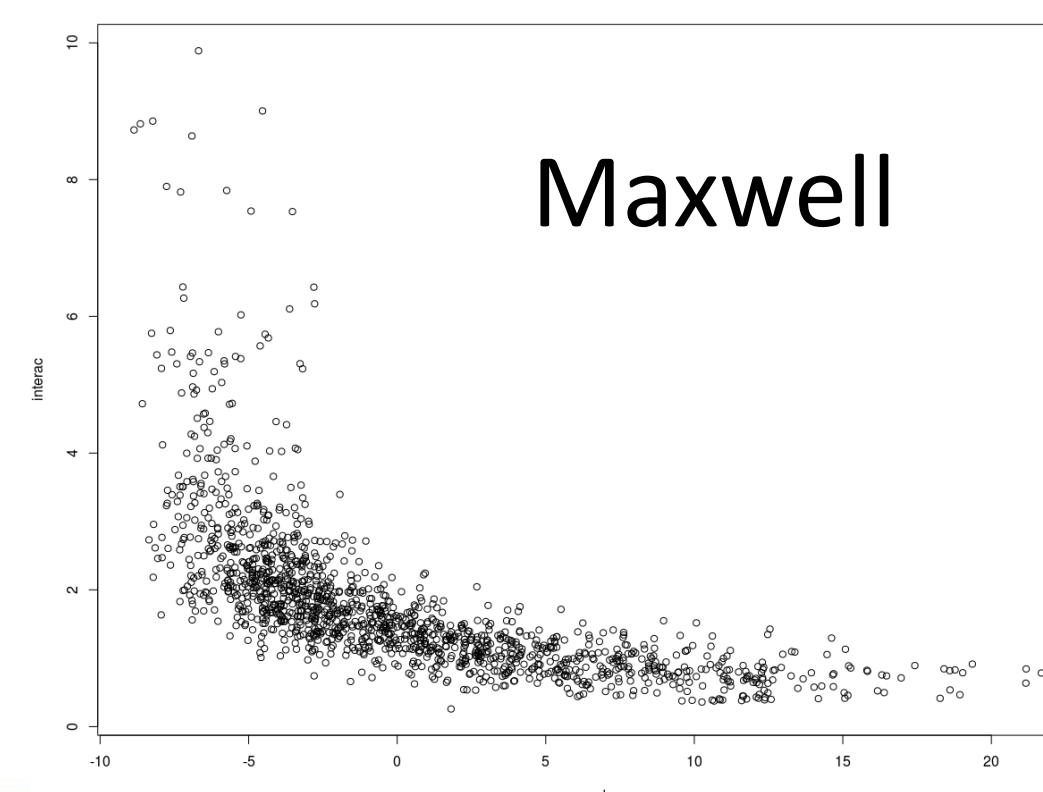
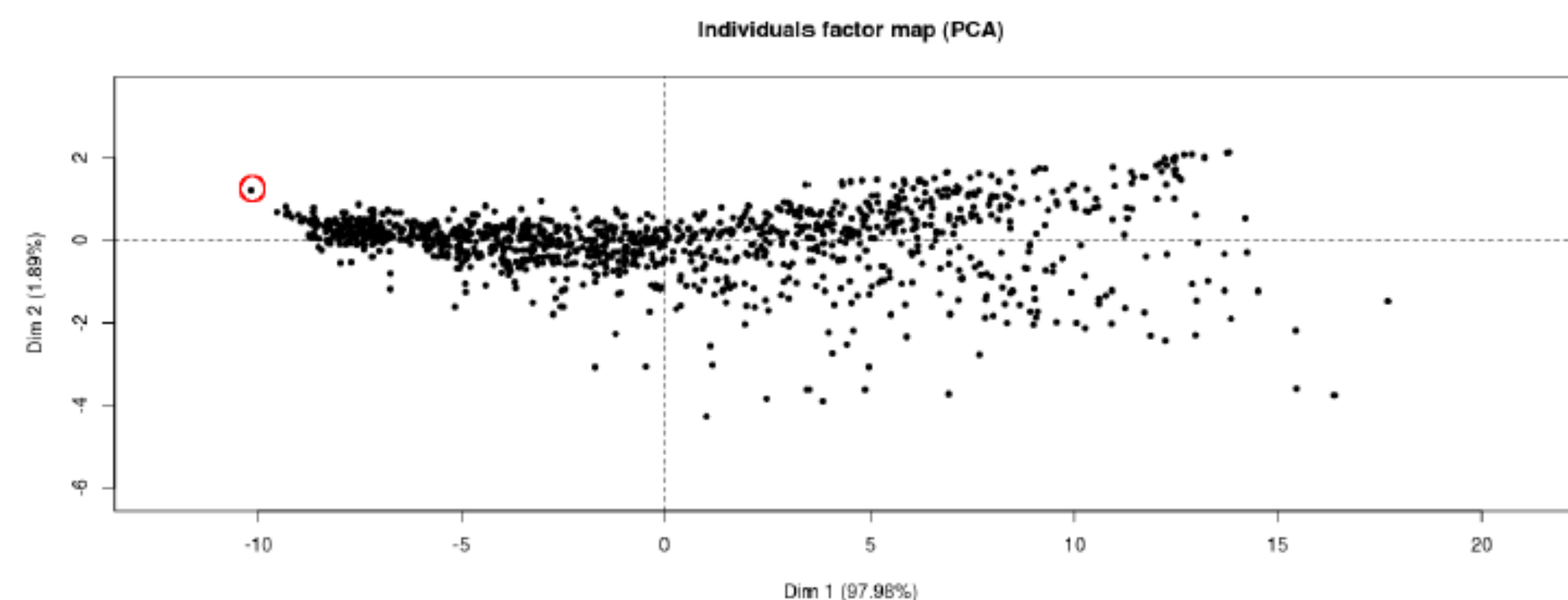
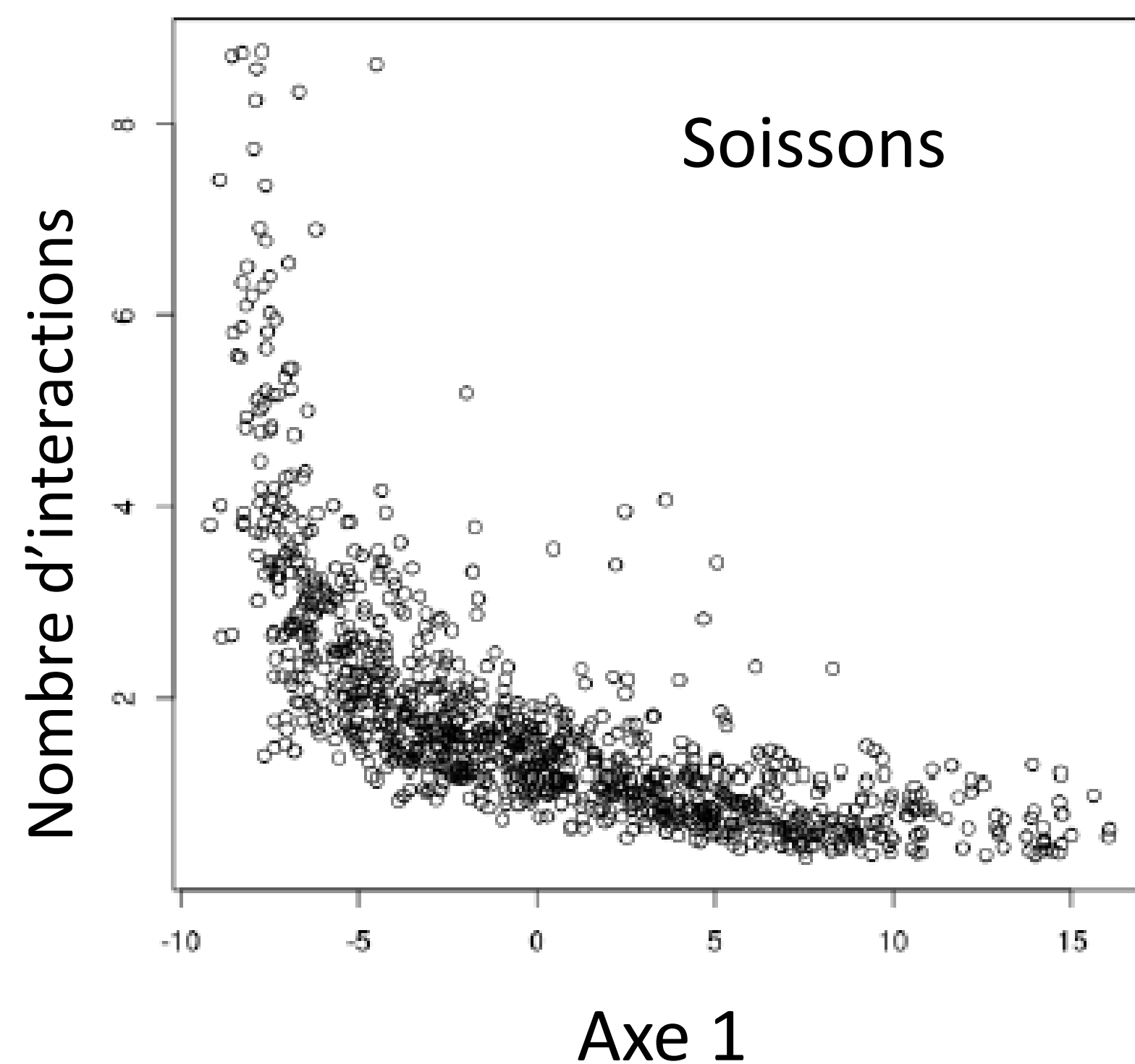
Comprendre la diversité spectrale du couvert

- Reconstruction des réflexions multiples

$$n = (S_i - S_{iSRM}) / \Theta \cdot S_{iSRM} \cdot S_{xSRM}$$

En prenant $\Theta = 0.5$

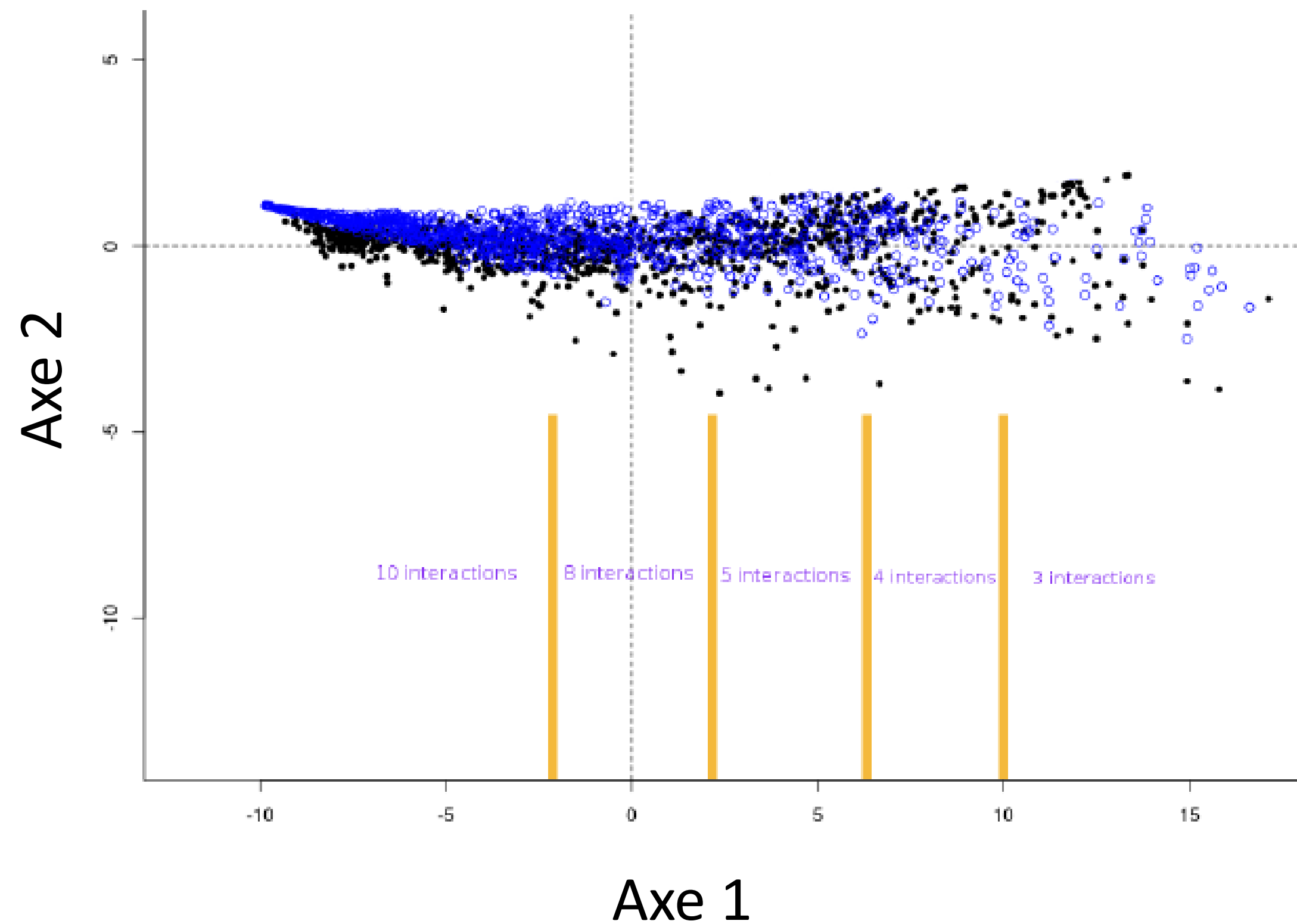
ACP de Référence



Comprendre la diversité spectrale du couvert

- Reconstruction des réflexions multiples

$$S_i = S_{iSRM} + \sum_j^n \Theta \cdot S_{iSRM} \cdot S_{jSRM}$$

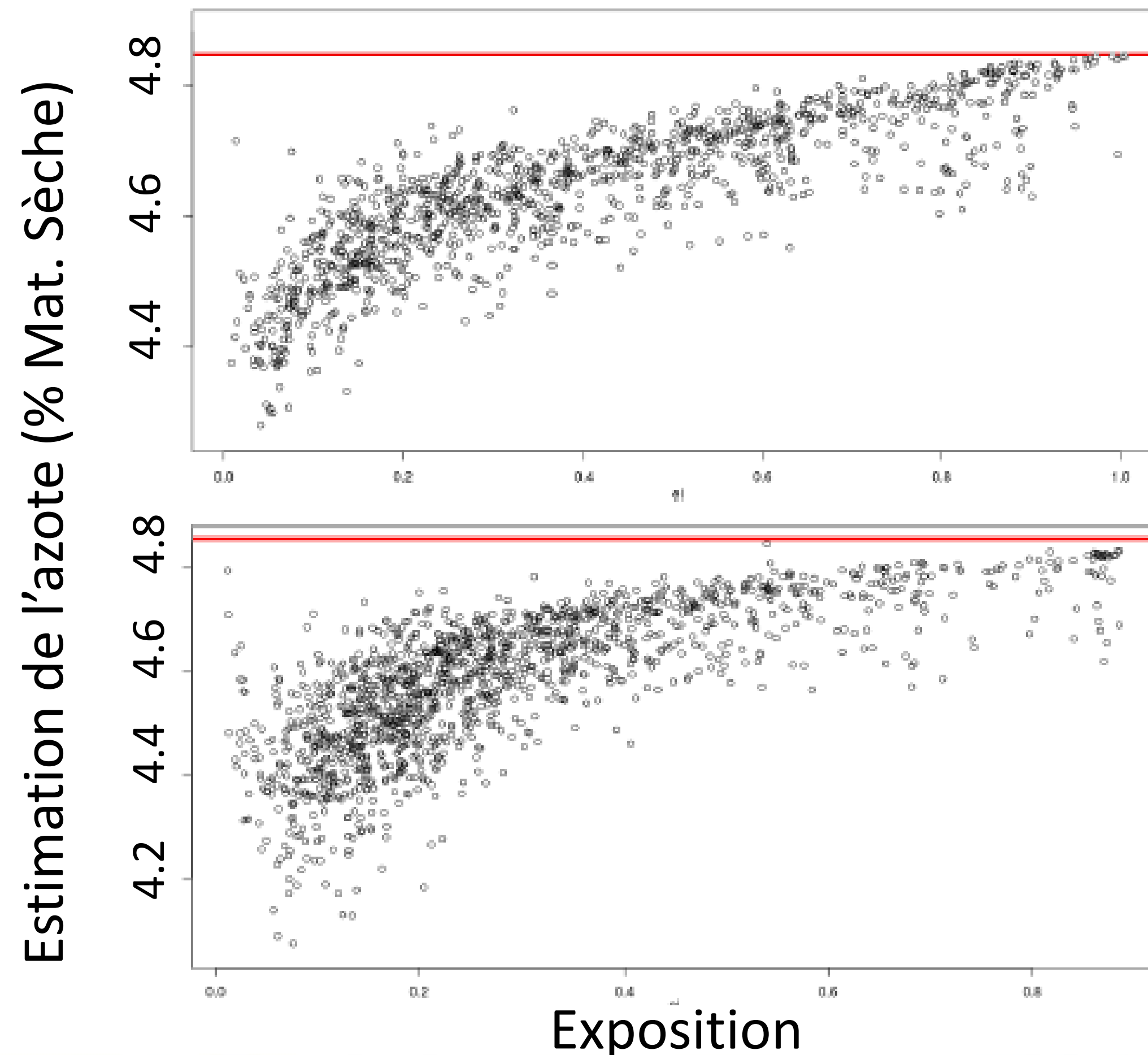


- ACP de référence
- Spectres reconstruits, projetés sur Axe 1 et Axe 2

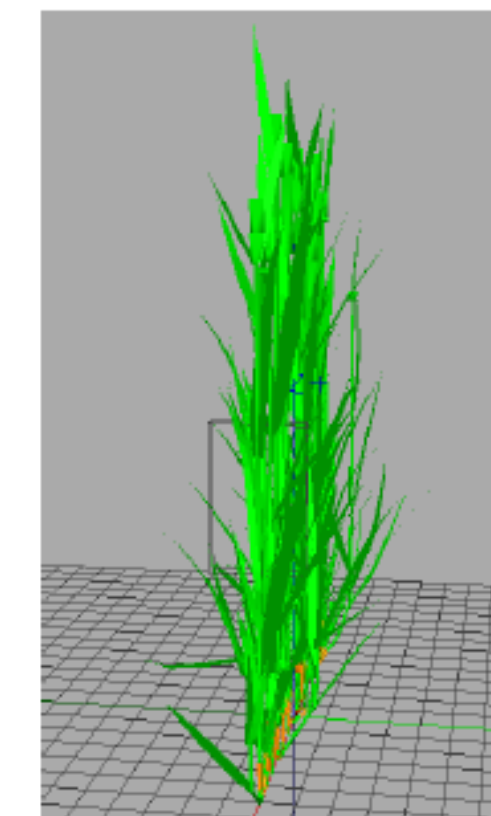
Influence sur l'estimation de l'azote

- Application de l'étalonnage Azote sur les spectres modélisés

- Spectre initial : Azote = 4.847 %
- Modélisation sans réflexions multiples : Tous les spectres prédits à 4.847 %
- **Influence des réflexions multiples :**



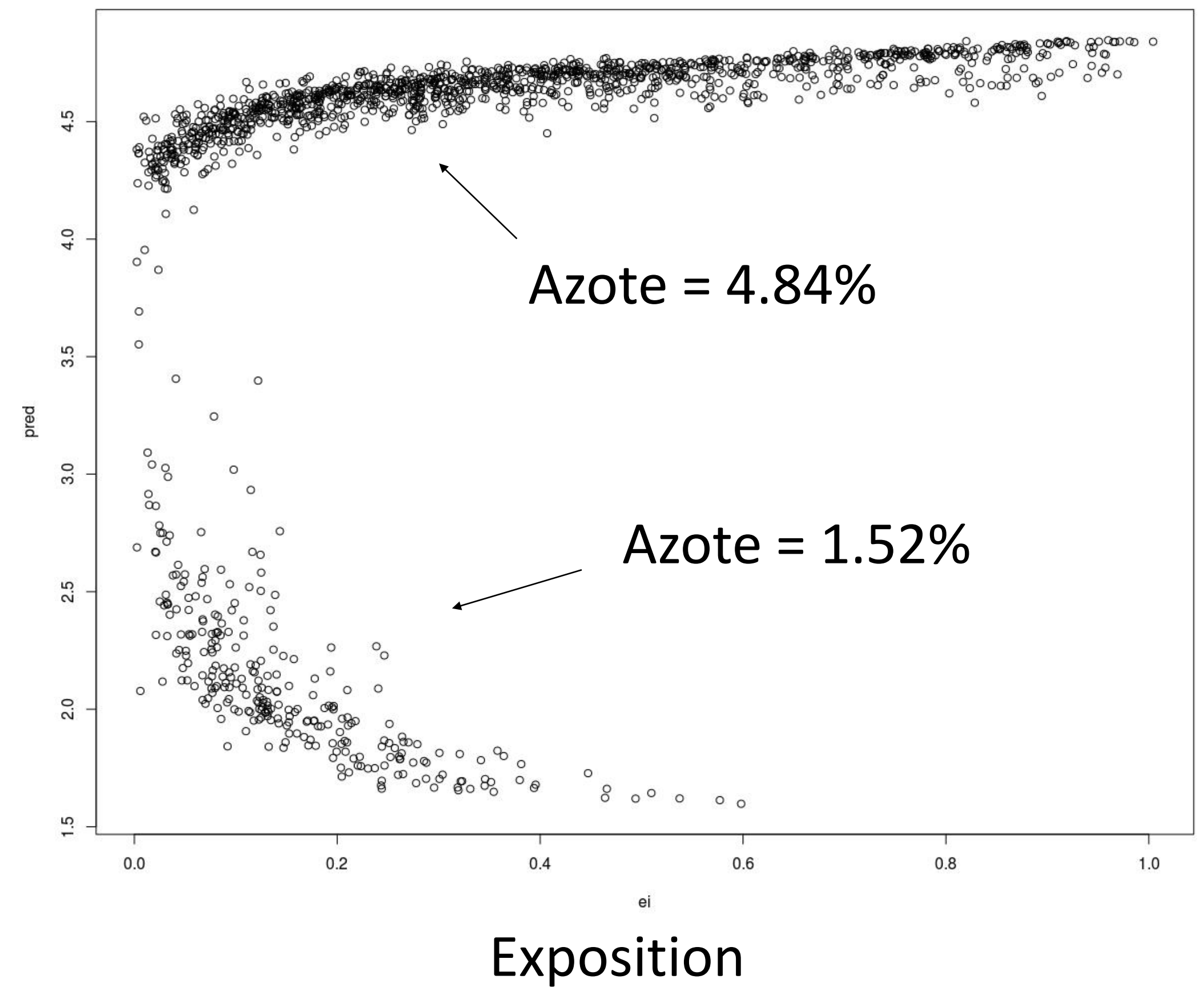
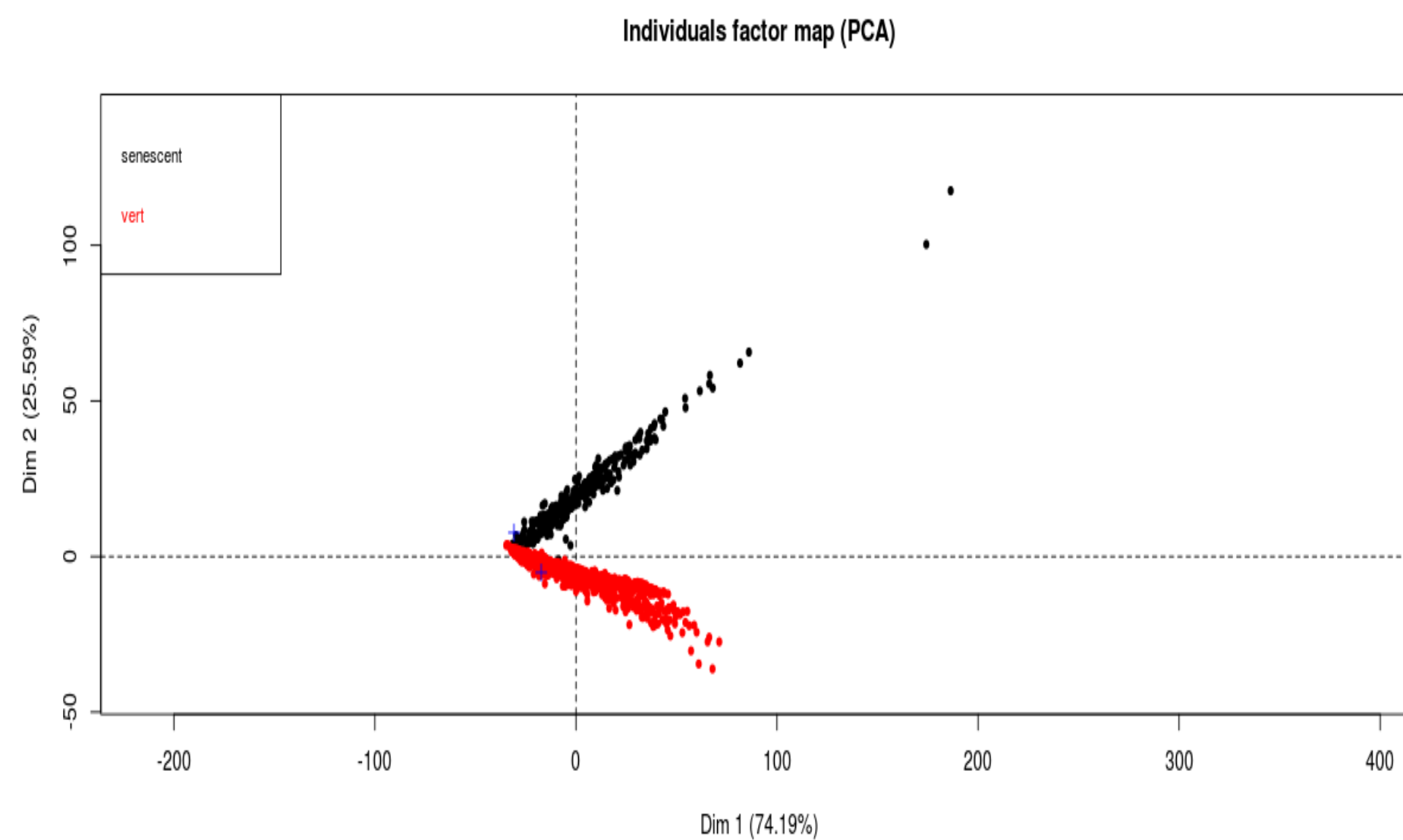
Variété Soissons



Variété Maxwell

Influence sur l'estimation de l'azote

- Scène complexe (2 feuilles différentes)



Conclusions

- Les réflexions multiples ne sont pas homogènes dans le couvert (elles sont plus nombreuses dans le bas du couvert).
- L'estimation de la teneur en azote décroît avec les réflexions multiples.
Possibilité de définir une gamme d'acceptabilité de l'estimation.
- Cette dégradation est vraie quelque soit l'architecture du blé.

Perspectives

- Mettre en place des méthodes chimiomériques pour réduire l'influence des réflexions multiples

⇒ Thèse de Nathalie Makdessi (IRSTEA de Montpellier, 2014-2017)

- Adapter les maquettes ADEL-Blé à l'algorithme de lancer de rayon DART pour prendre en compte la BRDF

Merci pour votre attention

