Comparaison des gammes VNIR et SWIR pour l'estimation de la teneur azotée dans les plants de betterave sucrière par imagerie hyperspectrale

S. JAY, N. GORRETTA, G. RABATEL

4ème Journée Proxi-détection

27 novembre 2014

Pour mieux affirmer ses missions, le Cemagref devient Irstea

irstea

www.irstea.fr

AKER Betterave2020

INVESTISSEMENTS D'AVENIR

Introduction

- **Teneur en azote foliaire (LNC)**
  - L'azote, un des éléments nutritifs les plus importants pour le développement de la plante.
  - Nécessité d'ajuster la fertilisation azotée à chaque culture.
  - Comment la plante réagit à un certain type de fertilisation, et comment l'azote foliaire (LNC, Leaf Nitrogen Content) est assimilé ?

- **La spectroscopie, un moyen non-destructif d'accéder au LNC**

- **Apport de l'imagerie hyperspectrale**
  → Spatialisation des valeurs prédites, cartographie du LNC.

Introduction

Deux modalités d'imagerie HS à disposition

- Résolution spatiale ~ mm.

→ + **Données acquises avec spectromètre de terrain**

Plants étudiés:

→ 5 variétés de betteraves sucrières, 4 fertilisations azotées, 4 sites, 7 dates sur 2 ans.

→ Environ 5 plants imagés, puis mesure destructive du LNC.

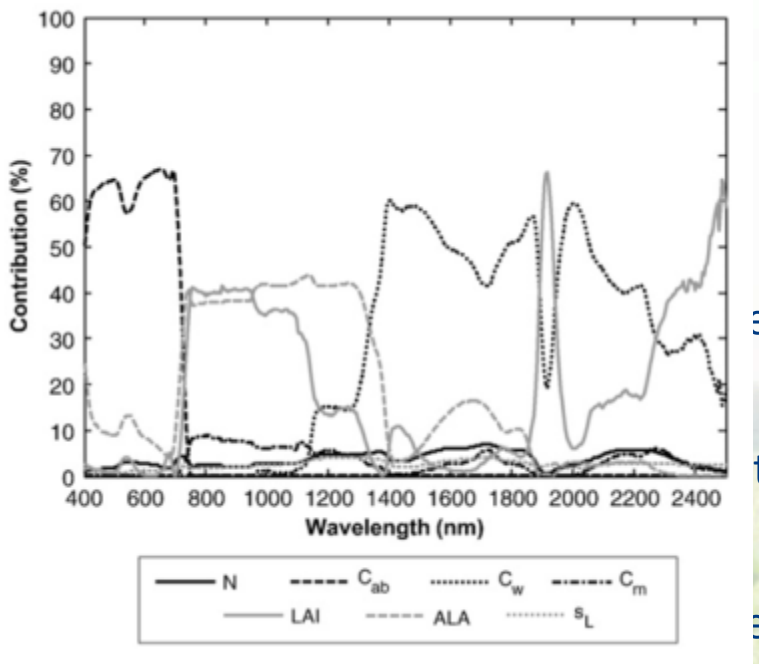
Plan

- Etude de la gamme VNIR
  - Méthodes (pré-traitements, méthode de régression),
  - Résultats (pré-traitements, performances de prédiction, cartographies).
- Etude de la gamme SWIR
  - Problématiques vis-à-vis du VNIR,
  - Résultats,
  - Comparaison avec mesures spectromètre.
- Conclusions & Perspectives

Etude

Pré-traitements

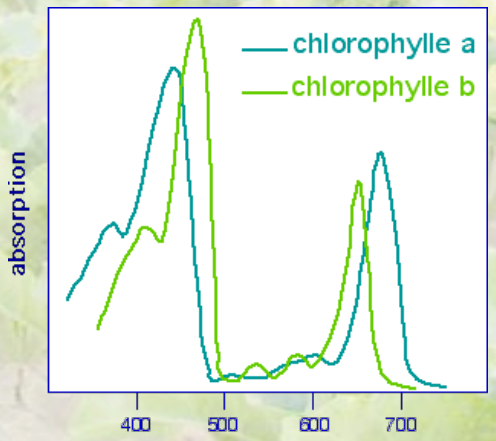
Régression PLSR

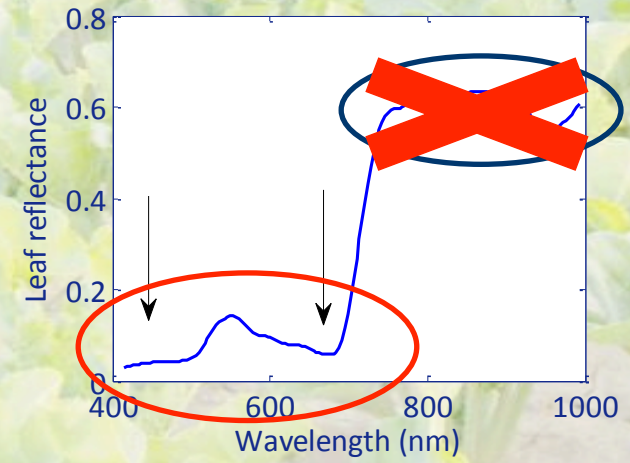


Objectif: I reliée à la variabilité du LNC.
es de variabilité.

Considéra

- Dan tion chlorophylle ↑ (Curran, 1989),
- LNC
- Plat e, à la matière sèche, et à la géométrie de la plante (Knyazikhin et al, 2012, Jacquemoud et al, 2009),
- Restriction à 400-700 nm (absorption CHL max., effets de structure min.)





Etude de la gamme VNIR

Considérations géométriques

- Proxi-détection → Mesures spectrales perturbées par la géométrie complexe de la scène (réflexions spéculaires, inclinaison des feuilles, ombres, réflexions multiples).

- Différentes approches pour prendre en compte ces effets structuraux:

  - Modèles de transfert radiatif dans la canopée, e.g., SAIL (Scattering by Arbitrary Inclined Leaves) développé par Verhoef (1984, 1985).

  - Modélisation mathématique proposée par Vigneau et al (2011):

$$R_{meas}(\lambda) = \alpha . R_{leaf}(\lambda) + \beta$$

α : effet multiplicatif lié à l'angle entre la feuille et la surface de référence (indépendant de λ).

β : effet additif constant modélisant la réflexion spéculaire (indépendant de λ).

Etude de la gamme VNIR

Pré-traitements mis en œuvre (pour chaque image HS)

0. Sélection de zones « soumises au même éclairement » que la surface de référence (i.e., pas d'ombres)
1. Débruitage spectral
   → Réduction du bruit de mesure
2. Centrage autour de la valeur moyenne du spectre
   → Suppression des réflexions spéculaires
3. Calcul du spectre moyen

➔ Pour l'instant, faible prise en compte des hétérogénéités d'éclairement (i.e., feuilles supposées perpendiculaires à la caméra ⇔ $\alpha = 1$).

Etude de la gamme VNIR

Différentes approches pour l'estimation de variables biochimiques

- Inversion de modèles de transfert radiatif : PROSPECT (Jacquemoud & Baret, 1990), PROSAIL (Baret et al., 1992), etc.
- Méthodes empiriques à partir de données réduites spectralement (régression sur indices de végétation, SMLR, PLSR, NN, etc).

Régression PLSR

- Réduction préalable des spectres pour garder uniquement l'info. pertinente pour l'estimation du LNC → PLS (Partial Least Square).
- Régression du LNC sur ces nouvelles directions spectrales.
- Choix de la complexité du modèle par validation croisée sur la base d'étalonnage.

Résultats VNIR

Pré-traitements

Prédiction sur spectres moyens

Cartographie du LNC

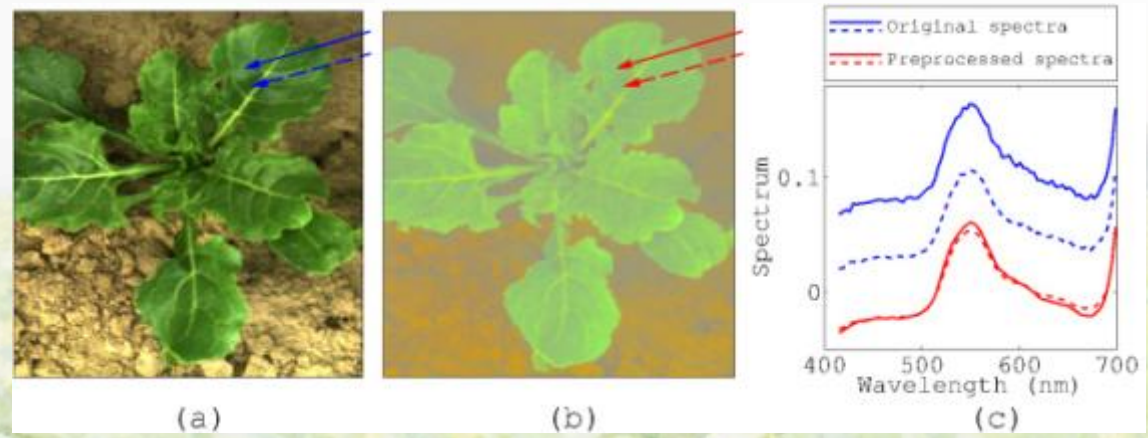


Figure: *(a) Image RGB originale, (b) Image en fausses couleurs après pré-traitements, et (c) Spectres extraits avec (lignes pleines) ou sans (lignes pointillées) réflexion spéculaire.*

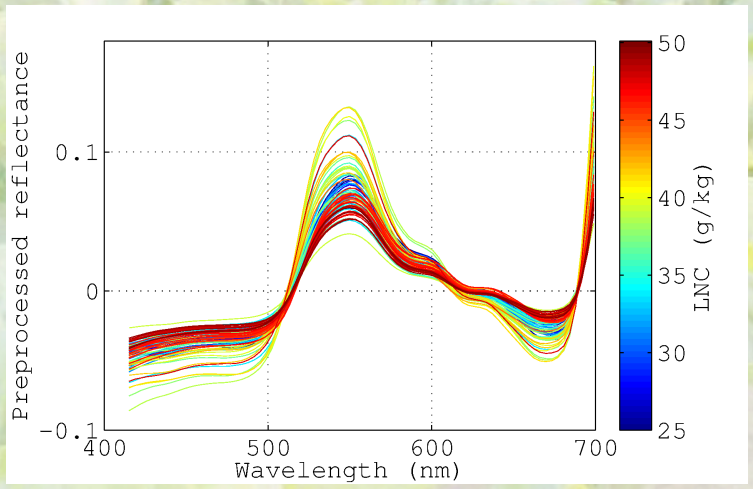


Figure: *Spectres moyens pré-traités*

Résultats VNIR

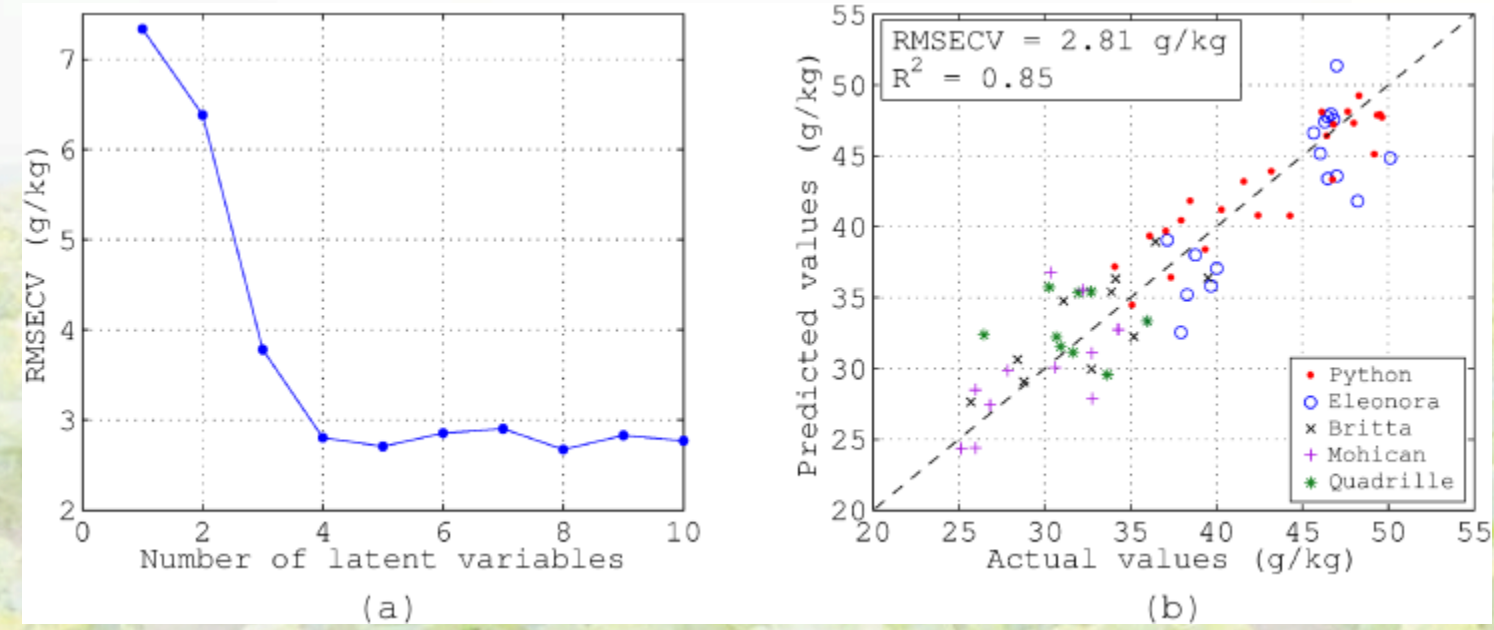


Figure: *(a) Choix du nombre de variables latentes, (b) Résultats de prédiction (4 variables latentes).*

Résultats VNIR

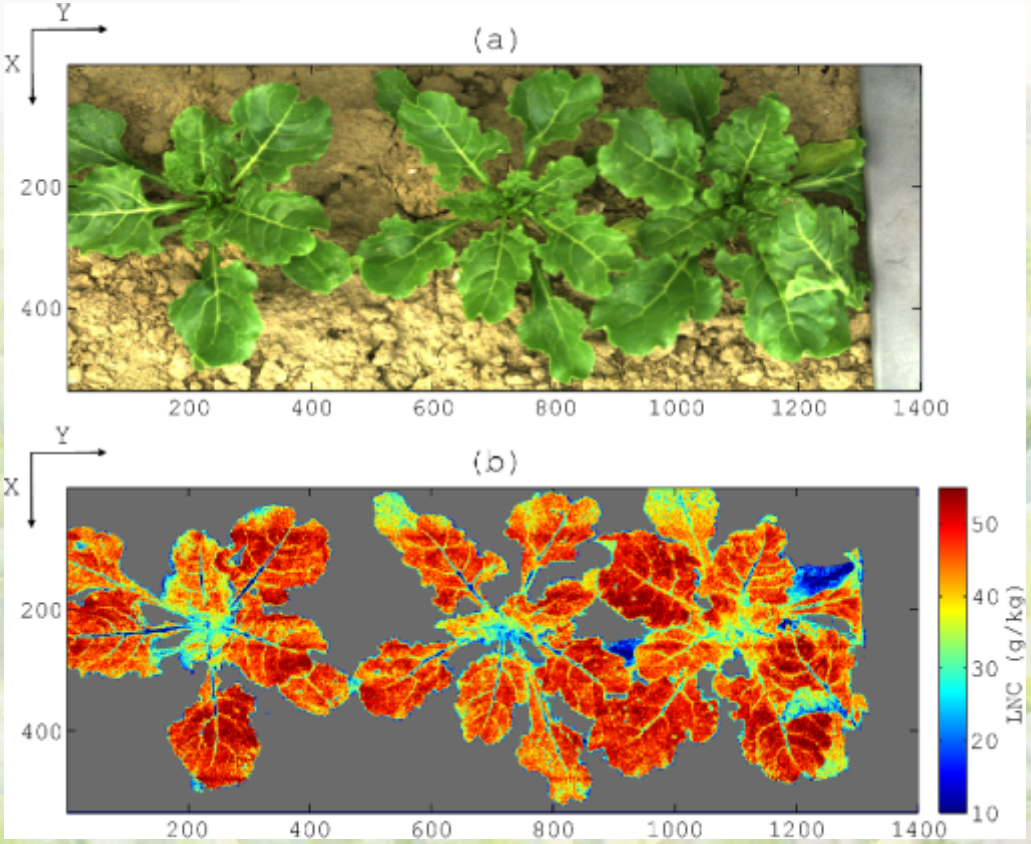


Figure:
(a) Image RGB reconstruite, et (b) Carte de prédiction.

Résultats VNIR

Pré-traitements

Prédiction sur spectres moyens

Cartographie du LNC

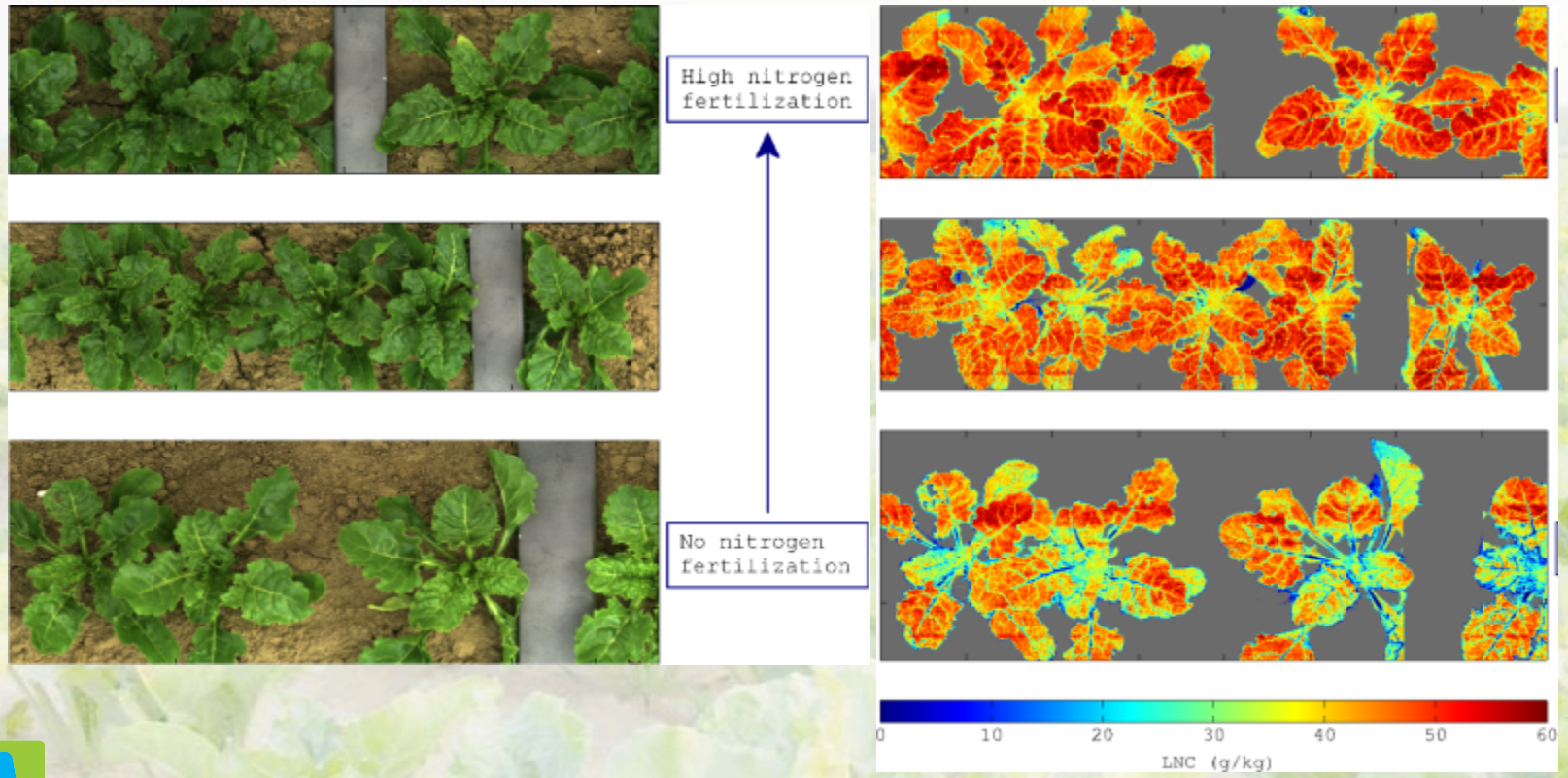


Figure: *Cartographies obtenues à partir de plants soumis à différents niveaux de fertilisation azotée.*

Plan

- Etude de la gamme VNIR
  - Méthodes (pré-traitements, méthode de régression),
  - Résultats (pré-traitements, performances de prédiction, cartographies).

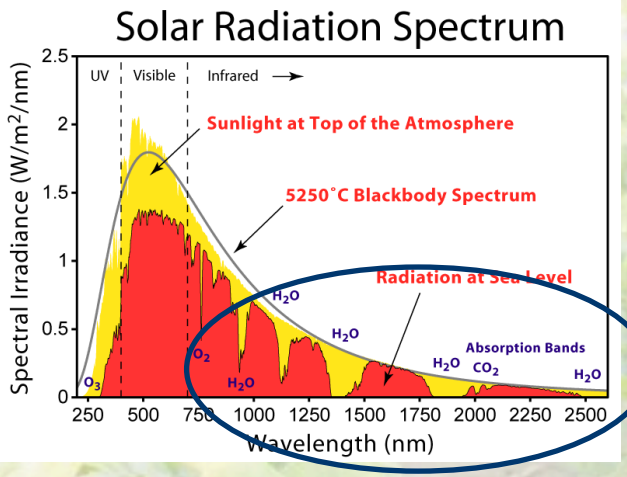
- Etude de la gamme SWIR
  - Problématiques vis-à-vis du VNIR,
  - Résultats,
  - Comparaison avec mesures spectromètre.

- Conclusions & Perspectives

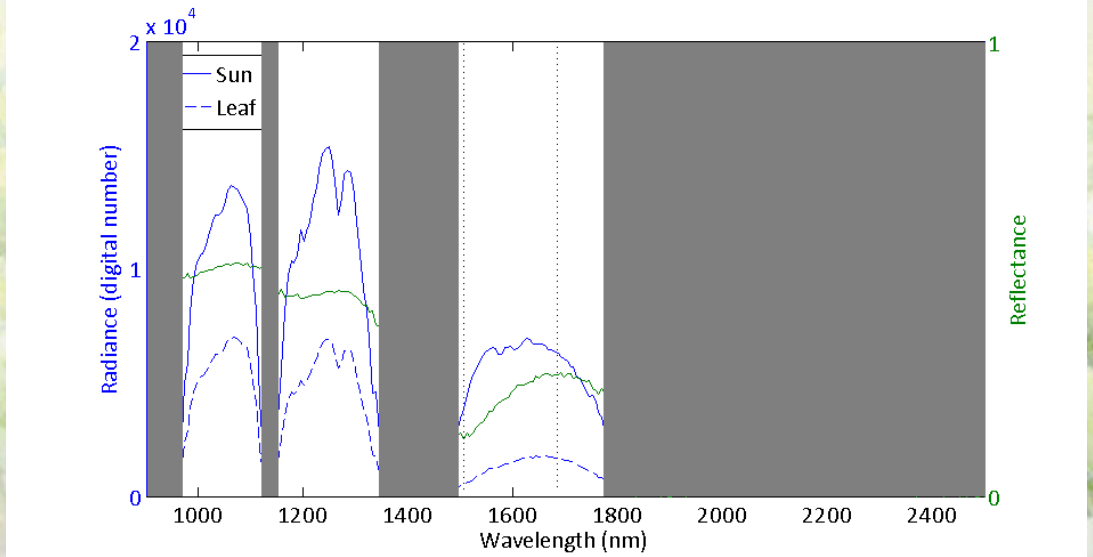
Etude de la gamme SWIR

Plusieurs problématiques / VNIR

1. Le niveau d'éclairement du soleil est plus faible que dans le VNIR, et très variable en fonction de la longueur d'onde.



Source: Wikipédia



➔ Restriction du domaine de longueurs d'onde pour conserver un SNR élevé.

Etude de la gamme SWIR

Plusieurs problématiques / VNIR

1. Le niveau d'éclairement du soleil est plus faible que dans le VNIR, et très variable en fonction de la longueur d'onde.
2. La présence de l'eau contenue dans les plantes fraîches peut cacher l'effet des variables biochimiques telles que le LNC.

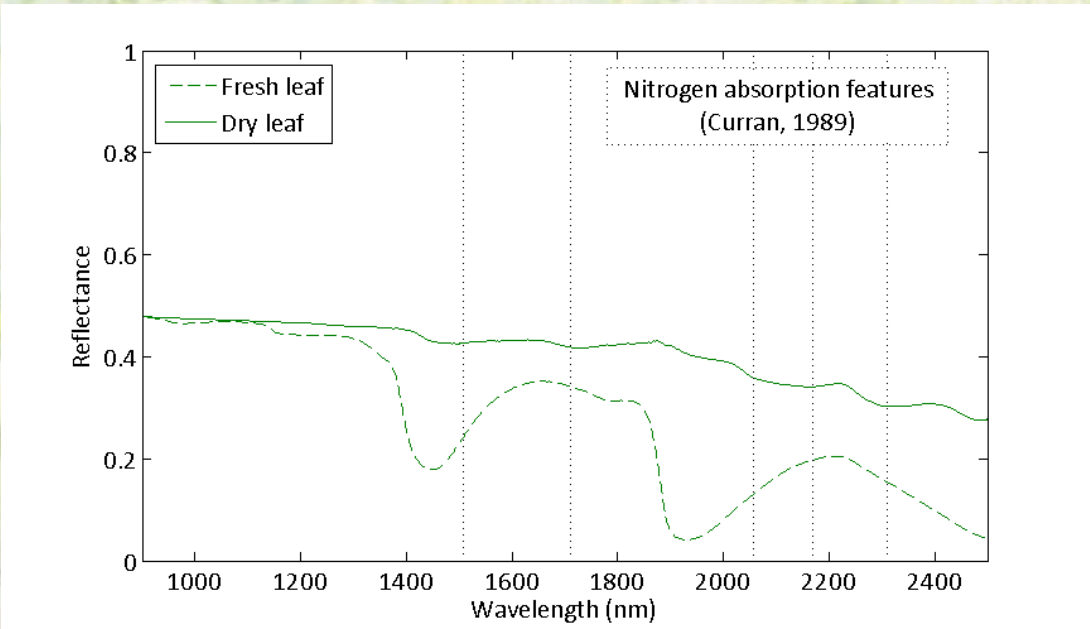
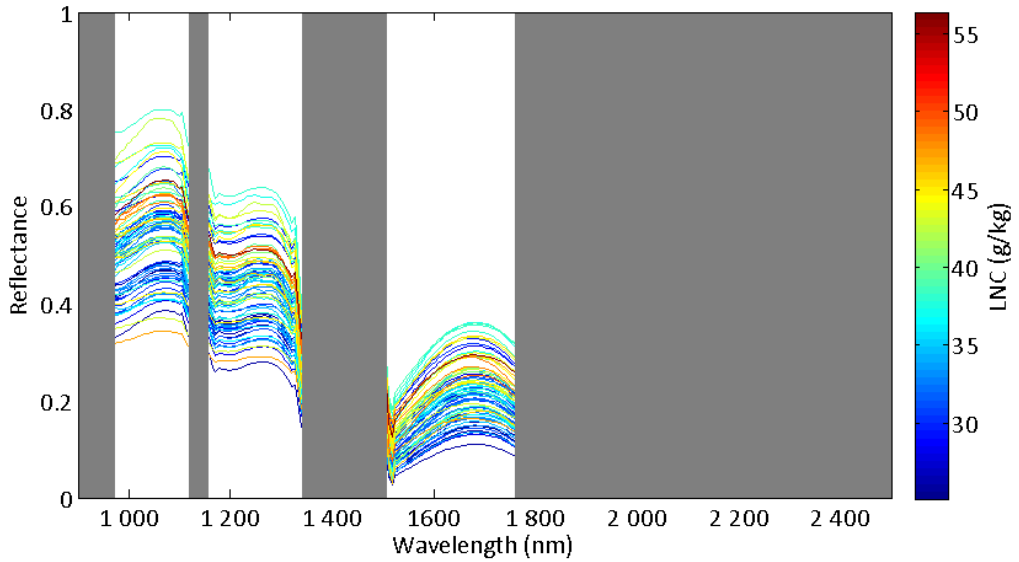


Figure: *Spectres de réflectance de feuilles simulés avec PROSPECT.*

Etude de la gamme SWIR

(a)



(b)

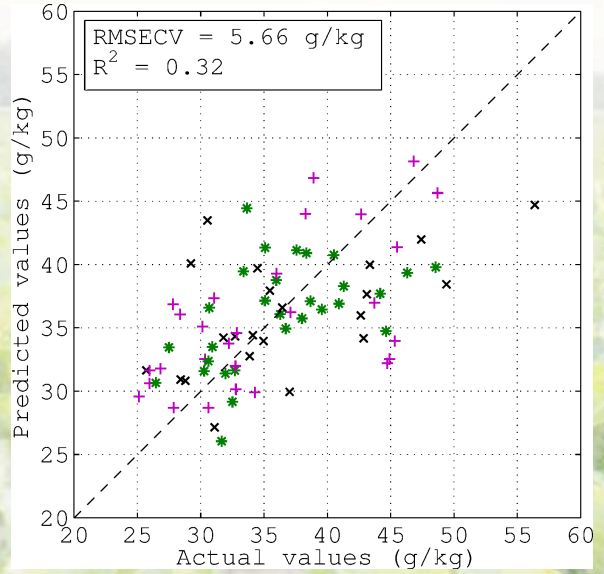
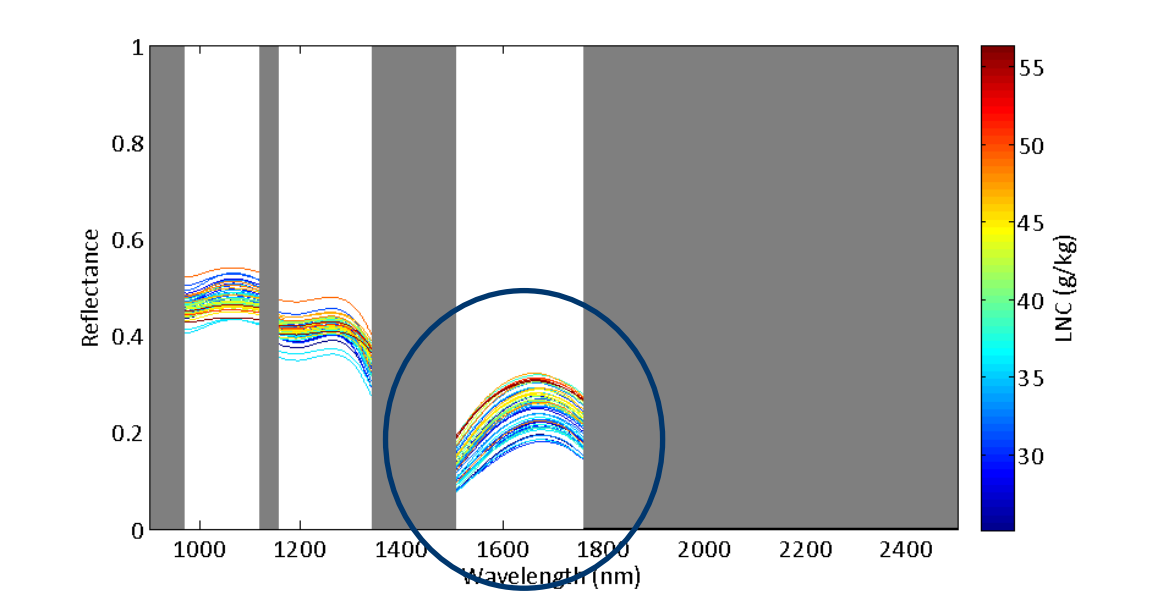


Figure: *(a) Spectres de réflectance mesurés par IHS, et (b) Résultats de prédiction (7 variables latentes).*

➔ Causes possibles: absorption de l'eau trop forte, effets de structure plus importants, restriction trop forte du domaine spectral.

Etude de la gamme SWIR

(a) (b)



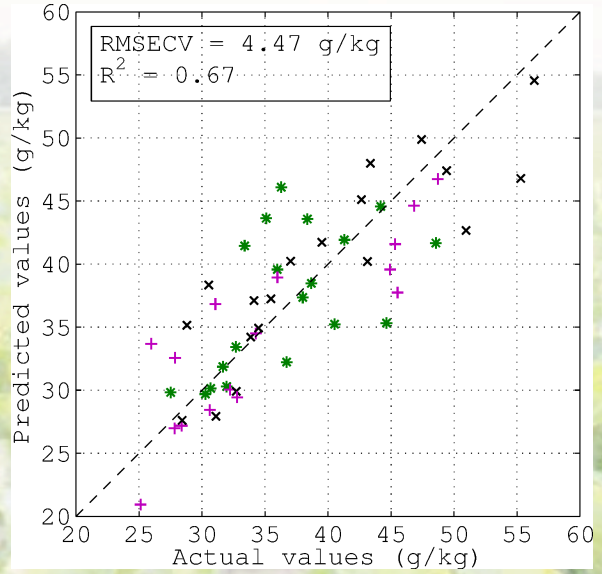
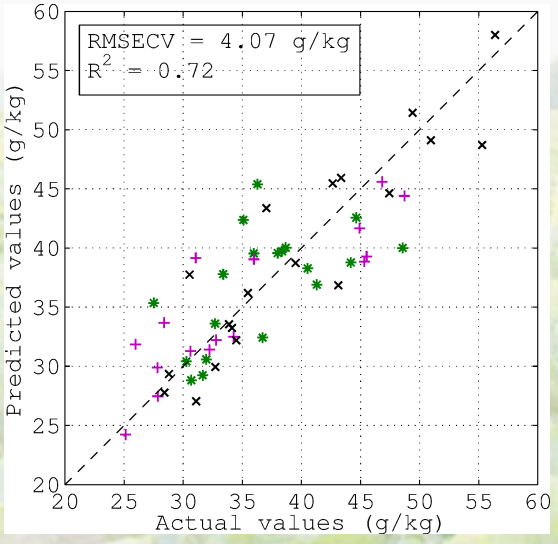


Figure: *(a) Spectres de réflectance bruts mesurées par spectro, et (b) Résultats de prédiction (11 variables latentes).*

Etude de la gamme SWIR

(a)



(b)

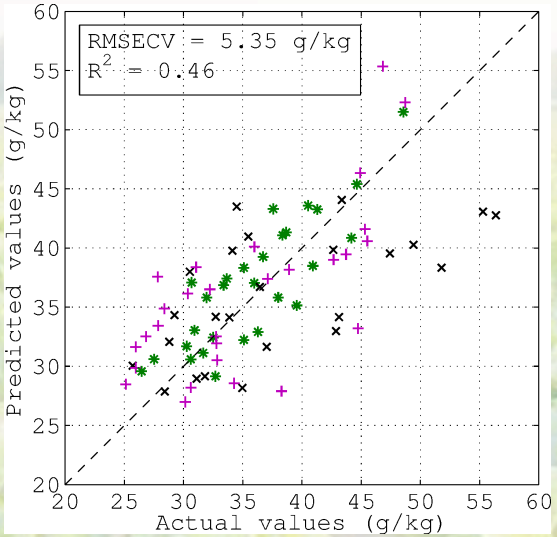


Figure: *(a) Données spectro- Résultats de prédiction obtenus sur spectres dérivés (7 variables latentes), et (b) Données IHS - Résultats de prédiction obtenus sur spectres dérivés (6 variables latentes).*

Conclusions & Perspectives

Conclusions

- Bonnes performances de prédiction dans le VNIR pour des structures de plants simples,
- Cartographies du LNC cohérentes pour ces mêmes plants,
- Performances moindres dans le SWIR.

Perspectives (pour les 2 gammes spectrales)

- Améliorer la modélisation mathématique des effets indésirables liés à la géométrie de la scène et à l'hétérogénéité des conditions d'éclairement (réflexions multiples, ombres, etc),
- Comparer avec l'inversion de modèles de TR type PROSAIL,
- Utiliser l'info. de polarisation,
- Eventuellement tester la possibilité (et l'intérêt !) d'utiliser un éclairage actif dans le SWIR,
- Continuer de diversifier la base de données afin d'obtenir un modèle robuste aux conditions pédo-climatiques.

Merci de votre attention !