



Estimation de la teneur en chlorophylle foliaire sur la betterave sucrière par imagerie hyperspectrale de proxi-détection – Etude de l'impact de la résolution spatiale

Sylvain Jay^{*}, Nathalie Gorretta^{*}, Ryad Bendoula^{*}, Fabienne Maupas^{}**

+ Frédéric Baret^{*}, Dan Dutartre^{**}, Gilles Rabatel^{*}**

^{} IRSTEA, Montpellier; ^{**} ITB, Paris; ^{***} INRA, Avignon*

Pour mieux
affirmer
ses missions,
le Cemagref
devient Irstea



www.irstea.fr

4^{ème} colloque scientifique du groupe thématique hyperspectral de la SFPT

13 mai 2016

Introduction

■ Contexte :

- ✓ **La connaissance de la biochimie foliaire**, un enjeu important pour des applications environnementales et agricoles (e.g., détection de stress, agriculture de précision, sélection de variétés ou phénotypage, etc),
- ✓ **La chlorophylle foliaire**, un pigment photosynthétique indispensable pour la croissance des plantes et la séquestration du CO₂.
- ✓ **La télédétection optique dans le VIS-NIR**, un outil adapté pour estimer C_{ab} de l'échelle locale à l'échelle globale.

■ Problème avec l'estimation de C_{ab}...

- ✓ Ok à l'échelle de la feuille [1-3]
- ✓ Difficile à l'échelle de la canopée [4,5], notamment dû aux compensations entre LAI et C_{ab} !

[1] Gitelson et al, *J. Plant Physiol.*, 2003

[2] Féret et al, *Remote Sens. Environ.*, 2011.

[3] Schlemmer et al, *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 2013

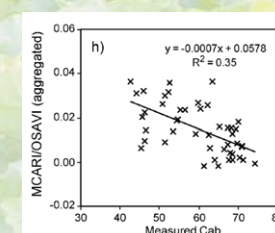
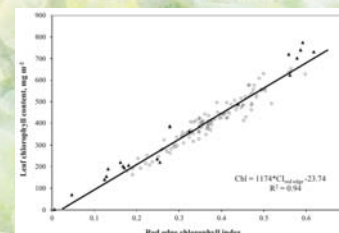
[4] Zarco-Tejada et al, *Remote Sens. Environ.*, 2004.

[5] Moorthy et al, *Remote Sens. Environ.*, 2008.

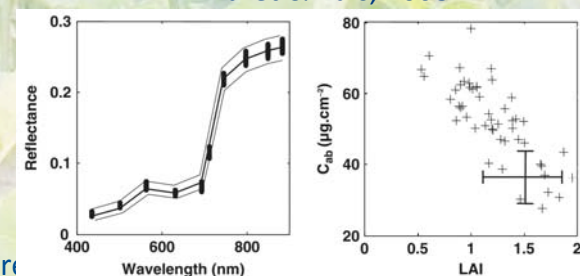
[6] Baret & Buis, *Advances in Land Remote Sensing. New York, USA. 2008*

Schlemmer et al, 2013

Zarco-Tejada et al, 2004



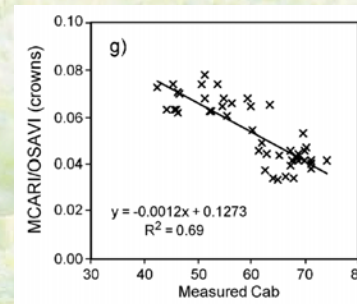
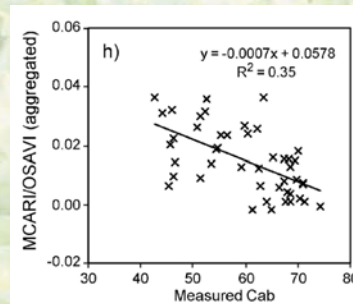
Baret & Buis, 2008



Introduction

■ Or,

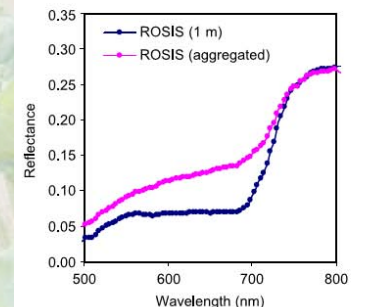
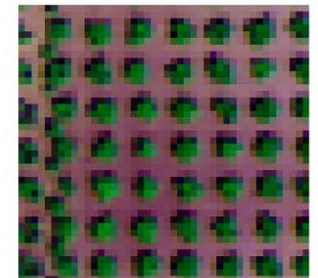
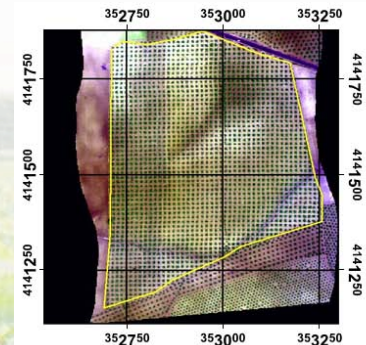
- ✓ La précision de l'estimation augmente avec la résolution spatiale notamment grâce à la possibilité de séparer efficacement sol et végétation, e.g., [4],



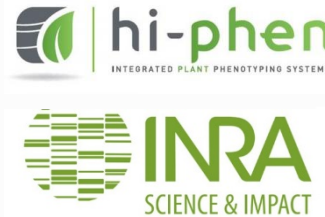
- ✓ La démocratisation (1) des imageurs multi/hyper-spectraux et (2) des drones permet maintenant d'obtenir des données spectrales à haute résolution spatiale ($\leq \text{cm}$).

[4] Zarco-Tejada et al, *Remote Sens. Environ.*, 2004.

Zarco-Tejada et al, 2004



Introduction



- **Objectif final** : Phénotypage par imageur multispectral embarqué sur drone
- **Objectifs de l'étude** :
 - ✓ Caractériser les longueurs d'onde (et résolutions FWHM) nécessaires pour une bonne estimation de C_{ab} ,
 - ✓ Déterminer la résolution spatiale ($\rightarrow$ altitude du vol) minimale requise (compromis précision / rapidité d'acquisition).
- **Comment ?**
 - ✓ Utilisation d'un imageur hyperspectral en proxi-détection (≈ 1 m),
 - ✓ Dégradation successive de la résolution spatiale (0,1 cm $\rightarrow$ 30 cm),
 - ✓ Comparaison d'indices de végétation (2 à 3 longueurs d'onde).



Sommaire

- **Présentation des données,**
- **Méthodes utilisées,**
- **Résultats**

Présentation des données

Site 1 : La Selve



Site 2 : Vaucogne



■ Caractéristiques générales du jeu de données (36 images)

Date	Site	Weather	Cultivar	# of samples
June, 2 nd	2	Clear	1-3	9
June, 3 rd	1	Cloudy	1-3	9
June, 23 rd	1	Partly cloudy	1-3	9
June, 24 th	2	Clear	1-3	9

■ Variabilité assurée par la prise en compte de 3 variétés, 3 fertilisations azotées, 2 stades de développement, et diverses conditions pédoclimatiques.

Présentation des données

■ Images hyperspectrales

- ✓ Caméra HySpex VNIR-1600 (160 bandes entre 415 et 994 nm, résolution spatiale < mm, FWHM = 4.5 nm),
- ✓ Fauchée de ~ 30 cm à 1 m,
- ✓ 5 plants / image.



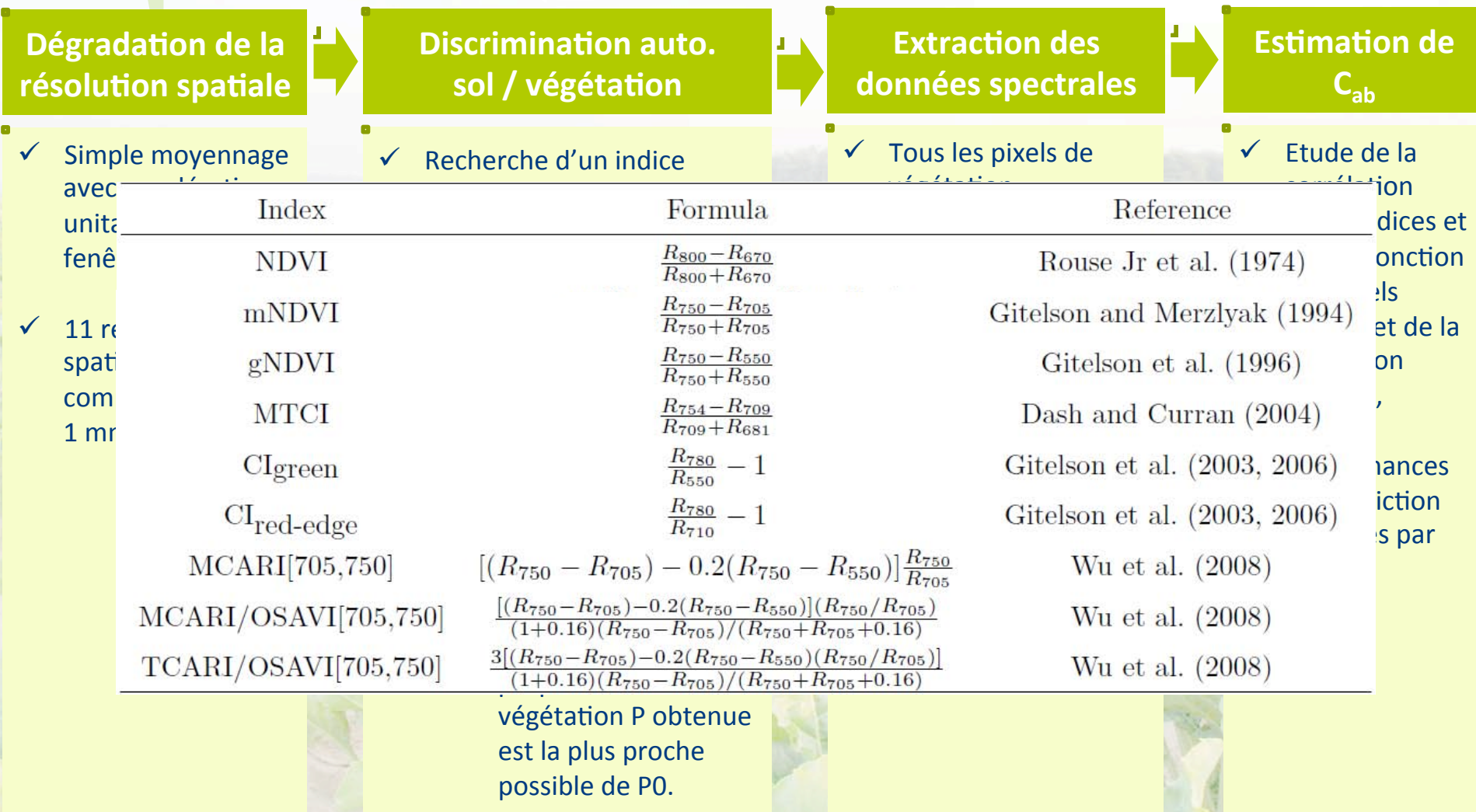
■ Mesures de référence

- ✓ LAI & C_{ab} (6 mesures Dualex / plant)

Table 2: Statistics of reference measurements.

Parameter	Unit	Min/Max	Mean	Standard deviation
C_{ab}	$\mu\text{g}/\text{cm}^2$	31.3/53.6	42.0	5.7
LAI	m^2/m^2	0.47/3.25	1.51	0.82

Méthodologie



Méthodologie

■ Mais aussi...

$$\text{NDVI}_{\text{ms}}[\lambda_1, \lambda_2] = \frac{\lambda_1 \text{NIR} - \lambda_1 \text{1}}{\lambda_1 \text{NIR} - \lambda_1 \text{2}}$$

- ✓ Diminution effets de BRDF et inclinaisons aléatoires des feuilles [7,8] notamment à forte résolution spatiale,
- ✓ Etude de la corrélation Cab / $\text{NDVI}_{\text{ms}}[\lambda_1, \lambda_2]$ pour tous les couples λ_1 et λ_2 dans le visible,
- ✓ Choix de l'indice optimal en terme de R^2 .

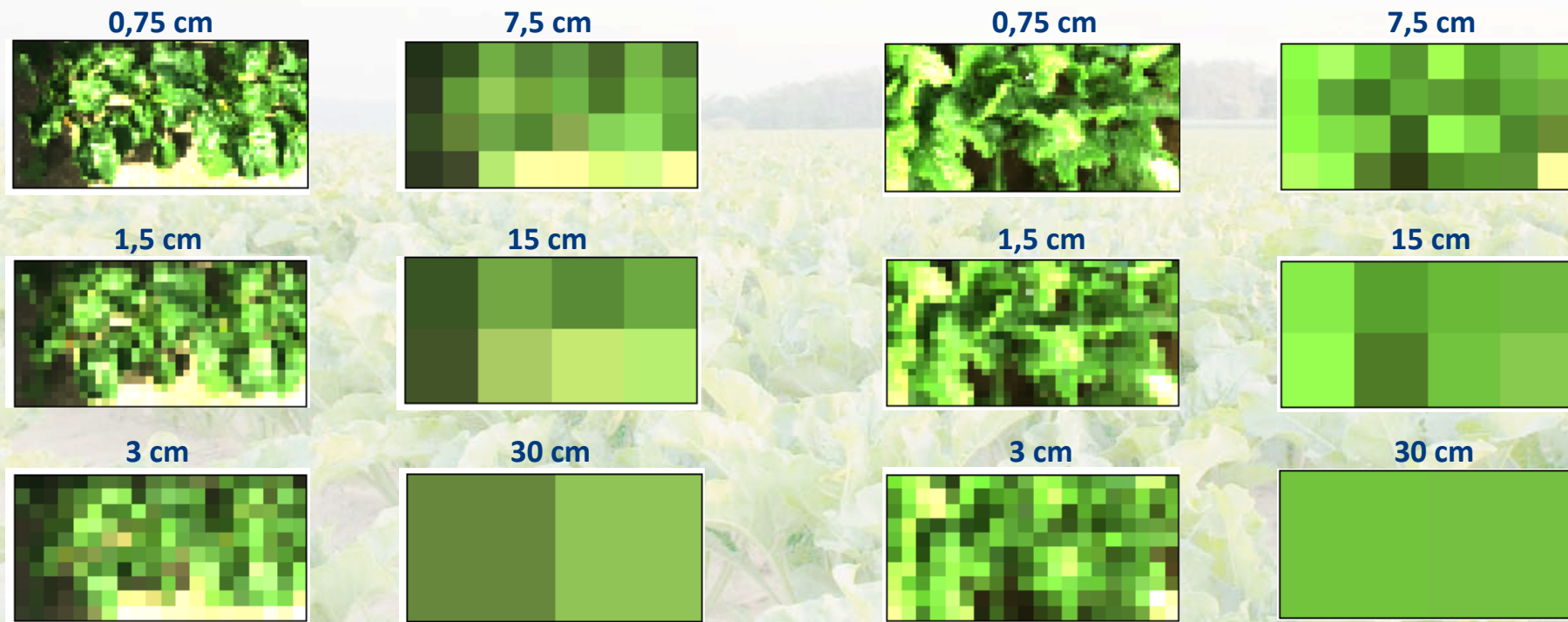
Dégradation de la
résolution spatiale

Discrimination auto.
sol / végétation

Extraction des
données spectrales

Estimation de
 C_{ab}

Résultats – Dégradation de la résolution spatiale



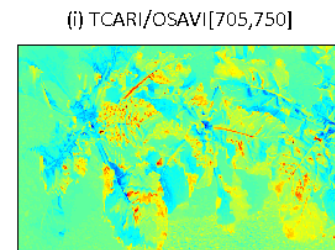
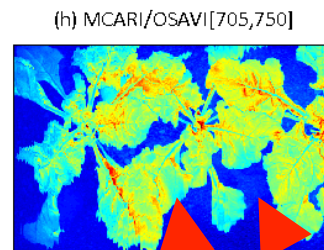
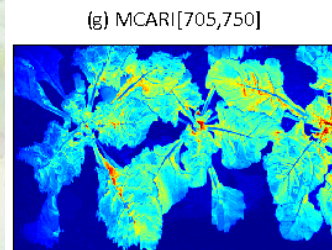
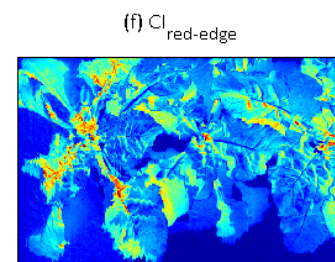
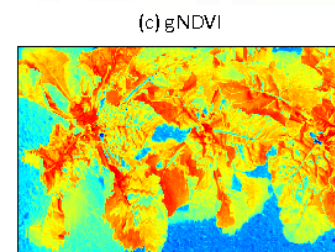
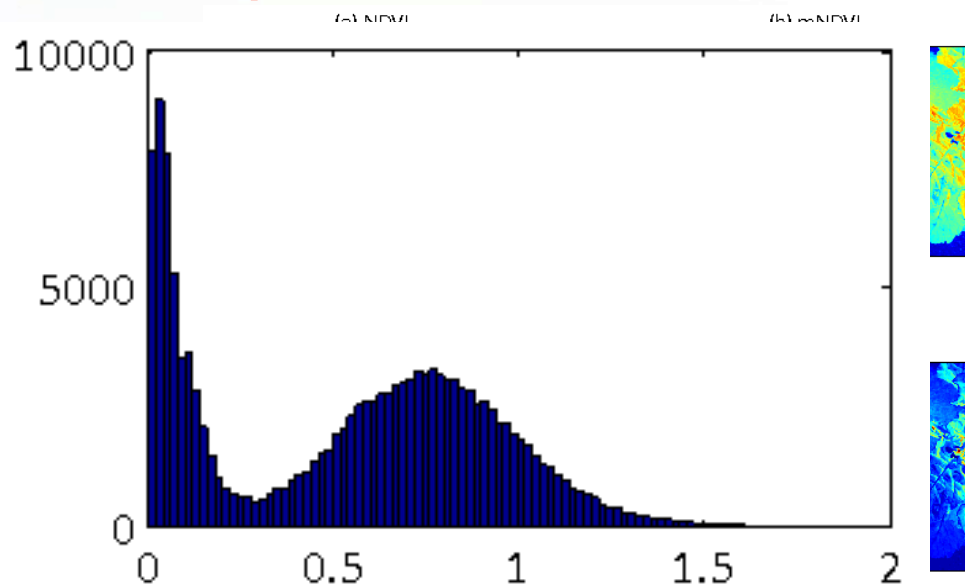
Dégradation de la
résolution spatiale

Discrimination auto.
sol / végétation

Extraction des
données spectrales

Estimation de
 C_{ab}

Résultats – Discrimination sol / végétation



Dégradation de la
résolution spatiale

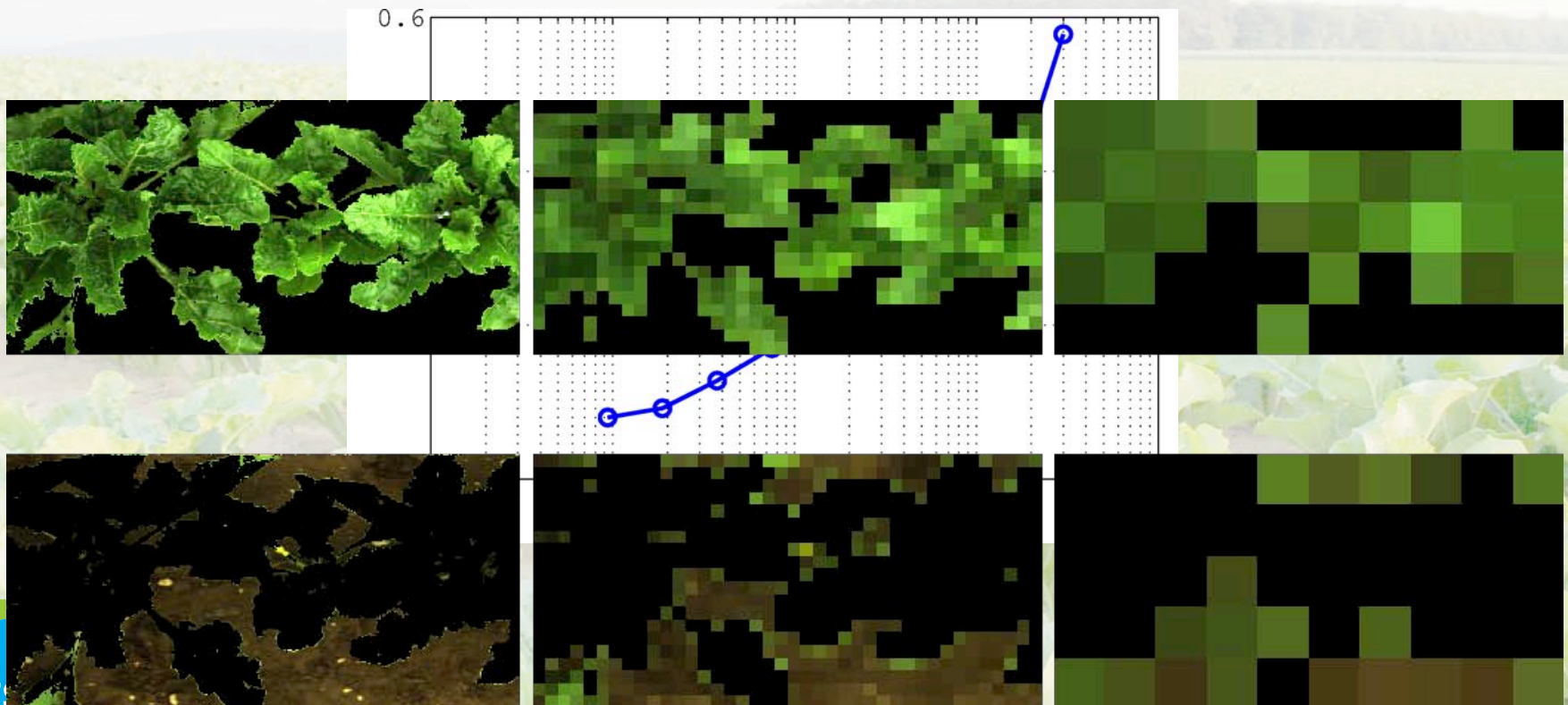
Discrimination auto.
sol / végétation

Extraction des
données spectrales

Estimation de
 C_{ab}

Résultats – Discrimination sol / végétation

- Discrimination automatique adaptée à chaque résolution spatiale / image



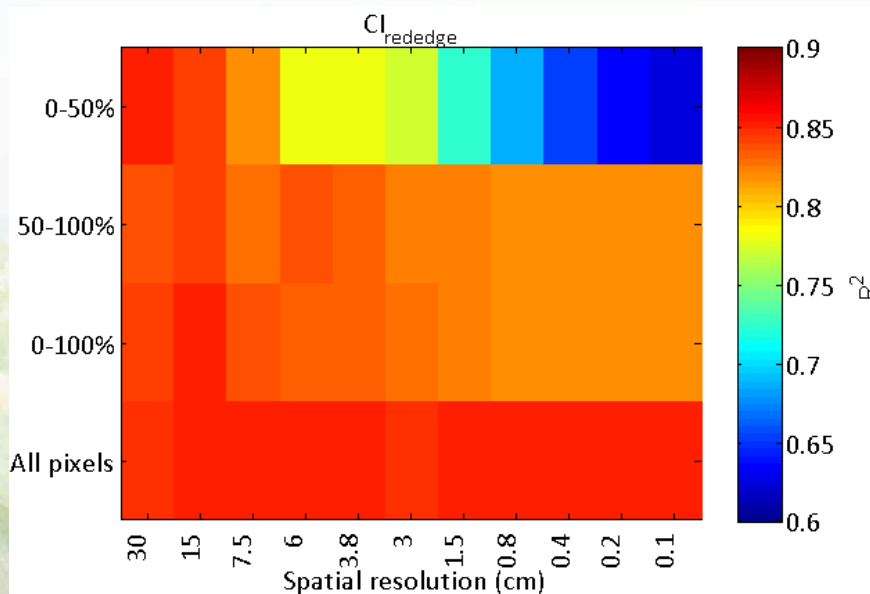
Dégradation de la
résolution spatiale

Discrimination auto.
sol / végétation

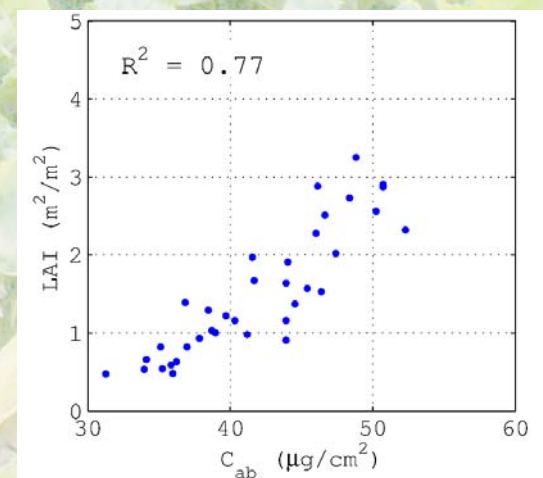
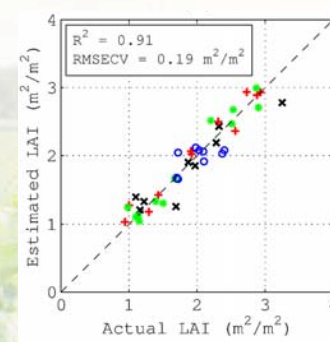
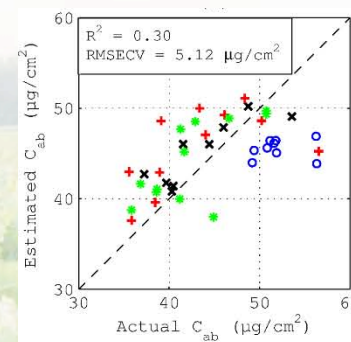
Extraction des
données spectrales

Estimation de
 C_{ab}

Résultats – Premières corrélations obtenues



Cf résultats obtenus au niveau du
couvert [9]



- Résultats contre-intuitifs / trompeurs !
- Bonnes corrélations dues à la (forte) corrélation LAI / C_{ab} !

[9] Jay et al, submitted to *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*

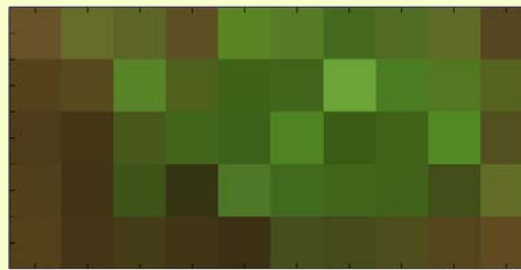
Réorganisation des données



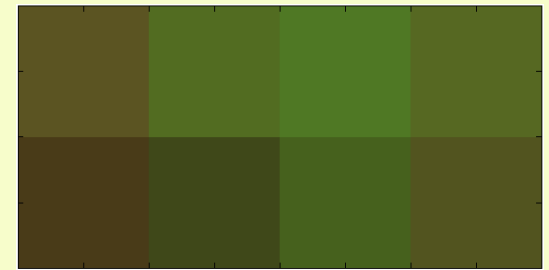
0,2 cm



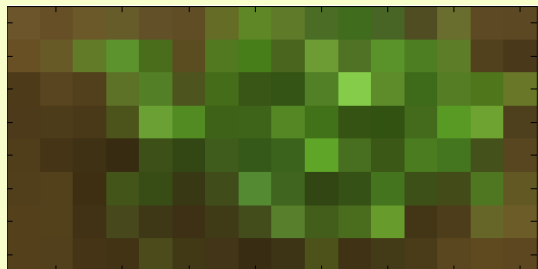
6 cm



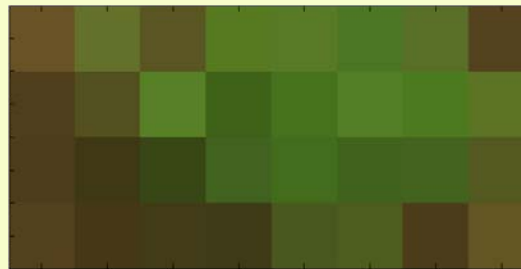
15 cm



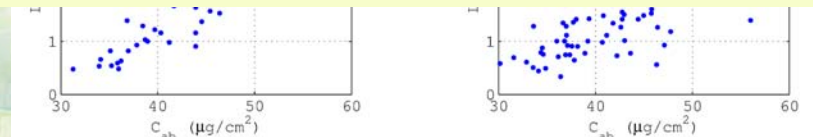
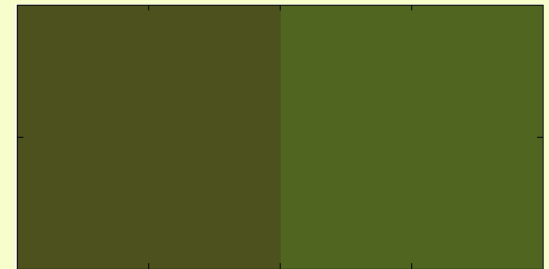
3,8 cm



7,5 cm



30 cm



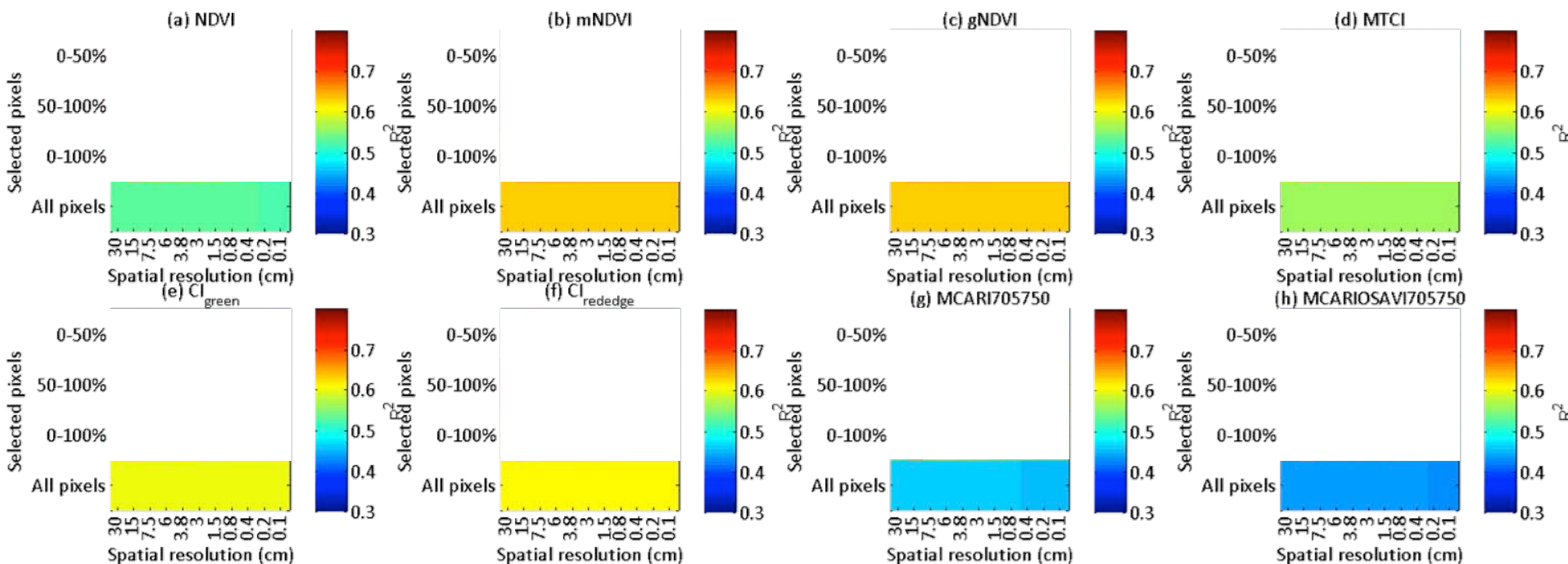
Dégradation de la
résolution spatiale

Discrimination auto.
sol / végétation

Extraction des
données spectrales

Estimation de
 C_{ab}

Résultats – Corrélations obtenues



- Influence d'effets parasites à forte résolution spatiale (e.g., spéculaire & ombres) !

Dégradation de la
résolution spatiale

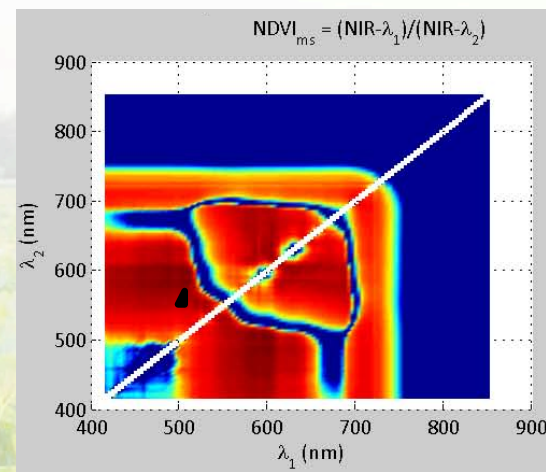
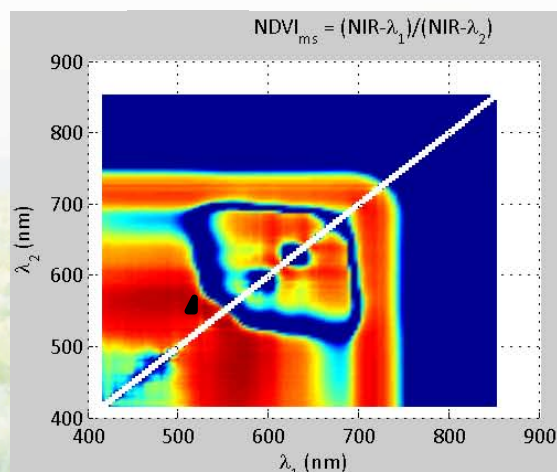
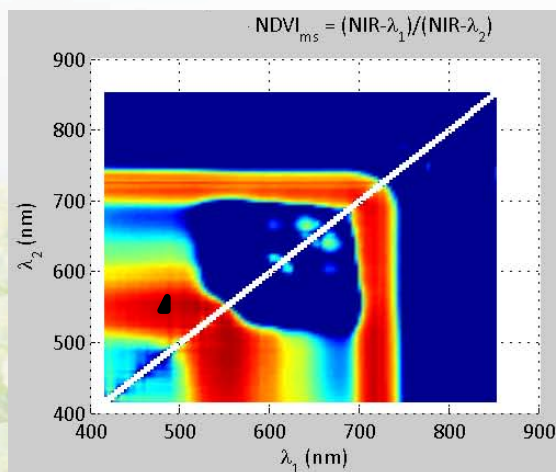
Discrimination auto.
sol / végétation

Extraction des
données spectrales

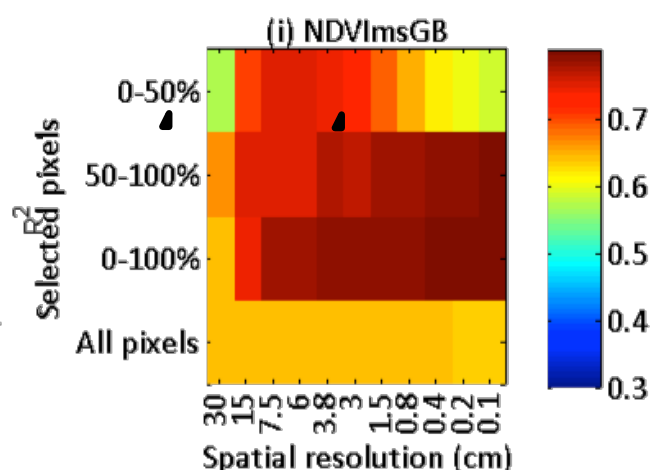
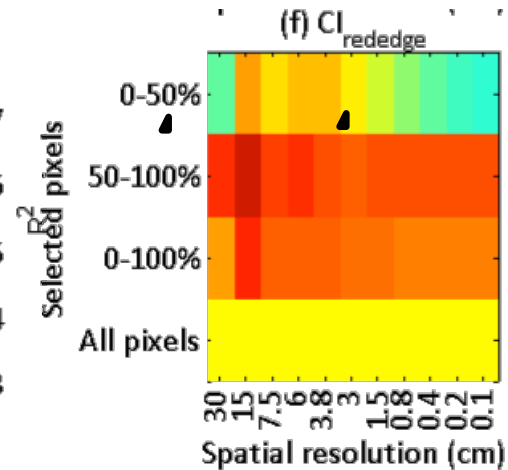
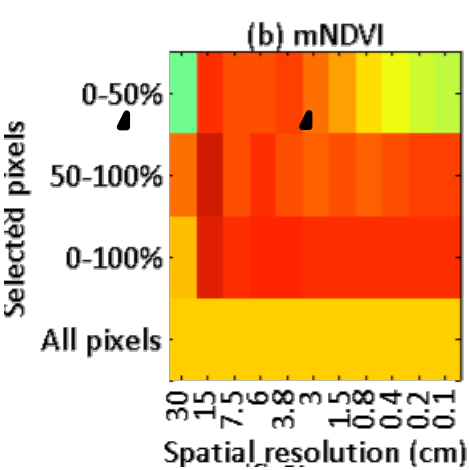
Estimation de
 C_{ab}

Résultats – Corrélations obtenues

$$NDVI_{ms}[\lambda_1, \lambda_2] = \lambda \downarrow NIR - \lambda \downarrow 1 / \lambda \downarrow NIR - \lambda \downarrow 2$$



Résolution spatiale



Dégradation de la
résolution spatiale

Discrimination auto.
sol / végétation

Extraction des
données spectrales

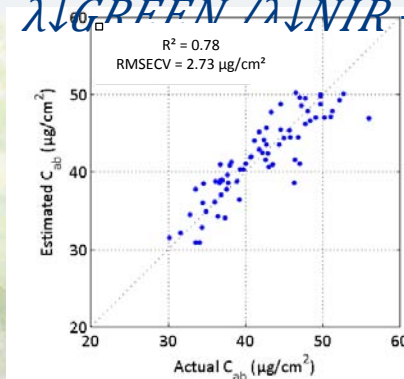
Estimation de
 C_{ab}

Résultats – Prédiction de C_{ab}

■ Différents indices en fonction de la résolution spatiale:

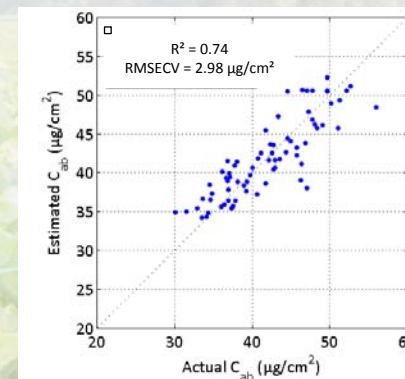
✓ Résolution spatiale < 10 cm

➤ $NDVI_{ms}[Green,Blue] = \frac{\lambda \downarrow NIR - \lambda \downarrow GREEN}{\lambda \downarrow NIR + \lambda \downarrow BLUE}$

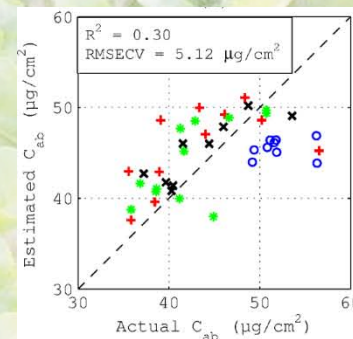


✓ Résolution spatiale ≈ 10-20 cm

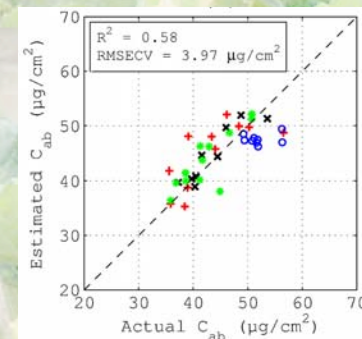
➤ $Ci_{red-edge}$, mNDVI, MTCI



■ En guise de comparaison [9]...



(a) Nadir (0°)



(b) Oblique (-50°)

[9] Jay et al, submitted to *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*

En résumé

- L'utilisation d'une résolution spatiale suffisante permet d'améliorer l'estimation de C_{ab} (RMSECV $\approx 3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ contre $\approx 5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ avec données spectros),
- Différents indices selon la résolution spatiale,
- Quelques perspectives...
 - ✓ Influence du « découpage » des images (transfert radiatif différent) ?
 - ✓ Validation des conclusions sur les données drone (dès cette année !).





Merci de votre attention !