

La mesure passive de la fluorescence de la chlorophylle: Un nouveau champ d'application hyperspectral

Laboratoire de Météorologie Dynamique – Site Palaiseau – Equipe Fluorescence et Télédétection

Ismaël Moya (DR)

Yves Goulas (IR)

Abderrahmane Ounis (IE)

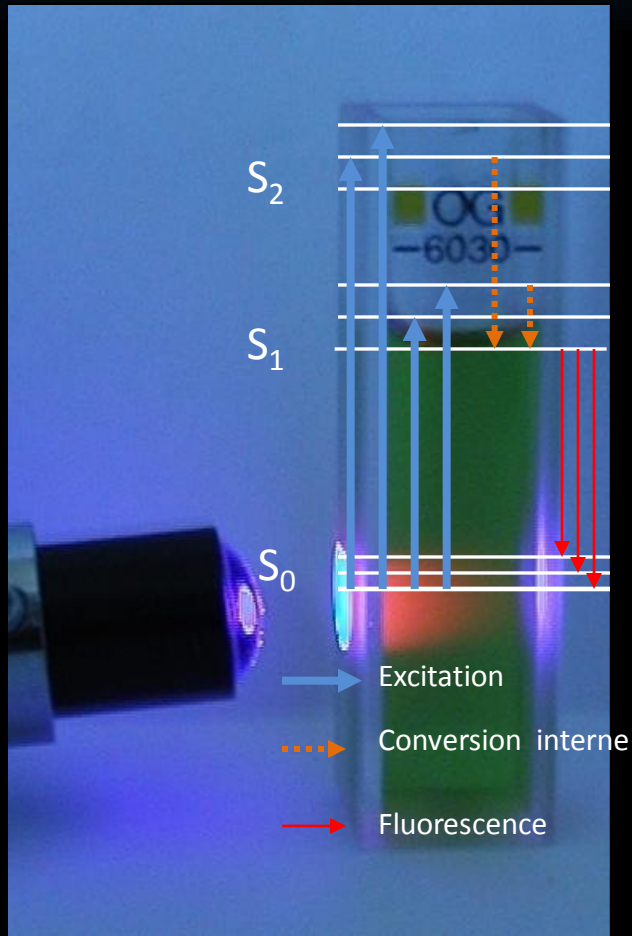
Fabrice Daumard (post-doc / INRA)

Sébastien Champagne (IR-cdd)

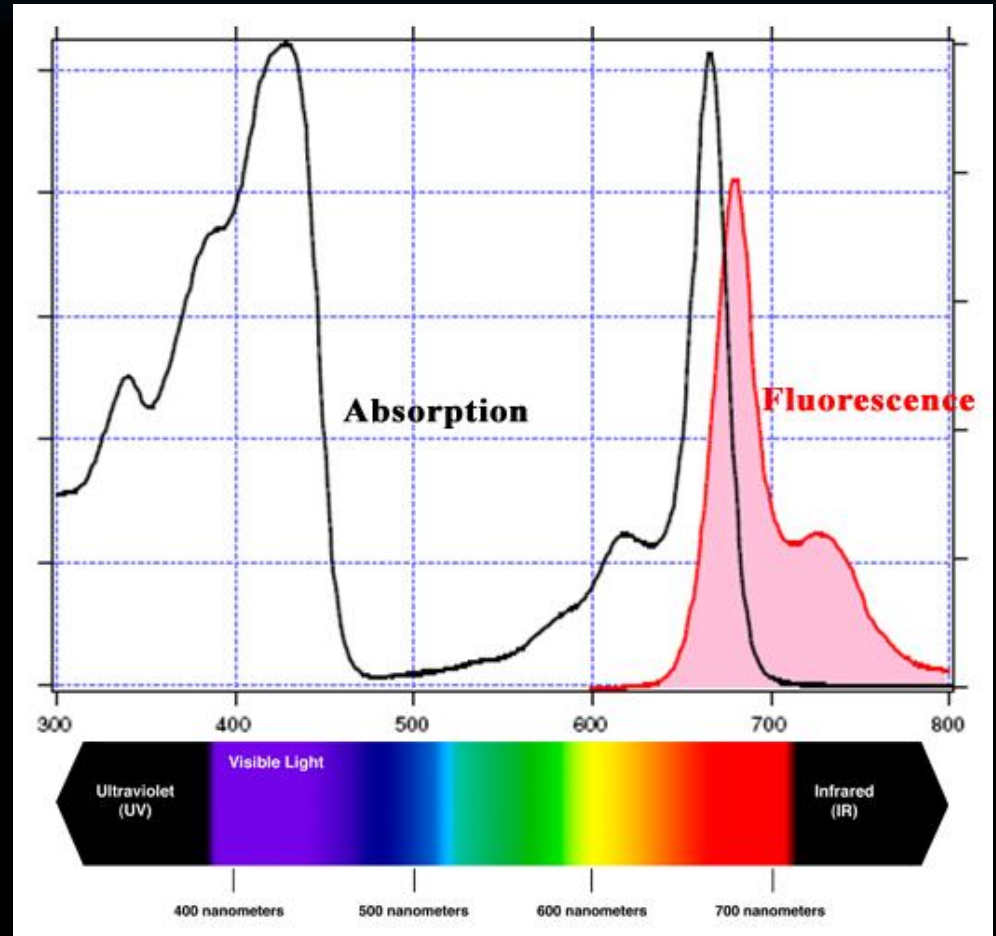
Antoine Fournier (Doctorant)



Fluorescence chlorophyllienne

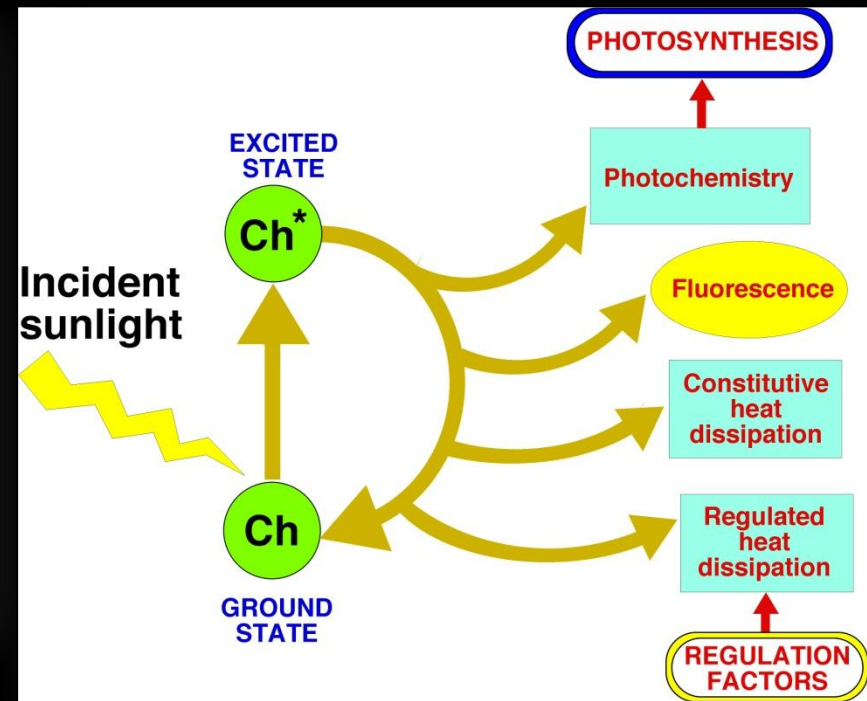
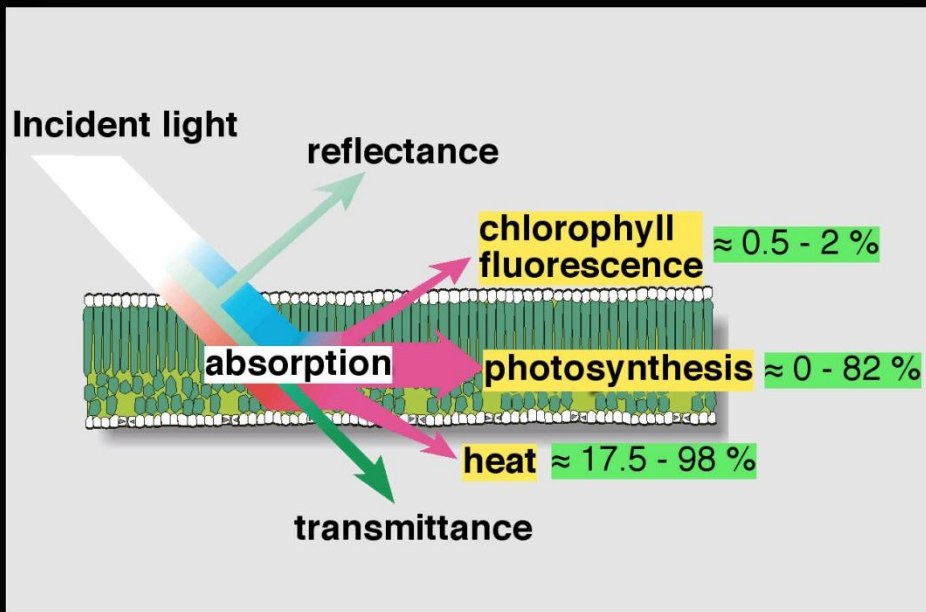


Fluorescence chlorophyllienne



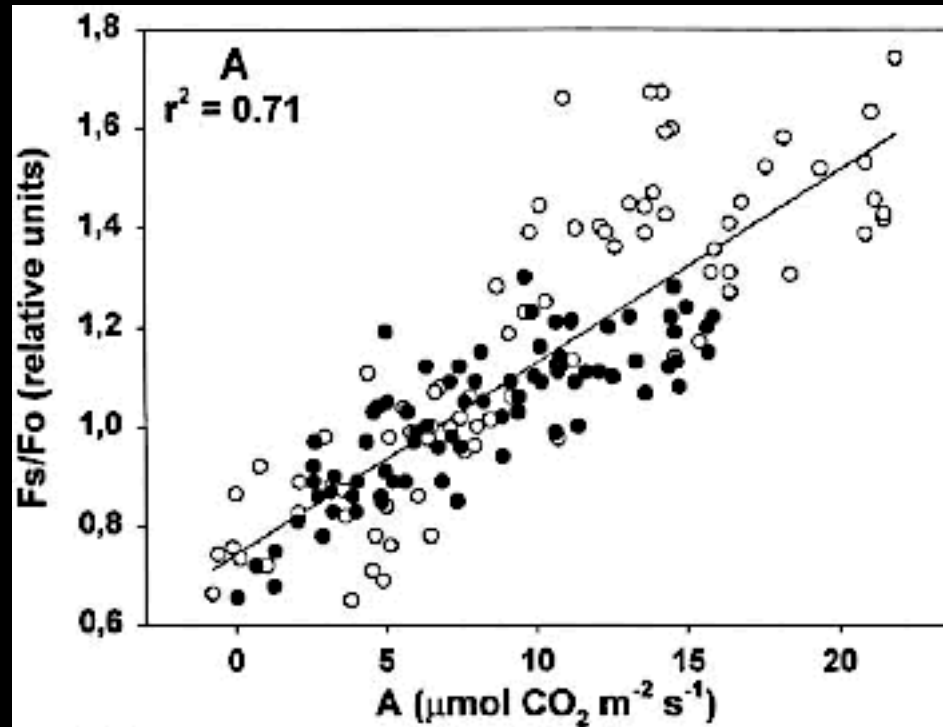
Fluorescence, photosynthèse

Fluorescence is emitted from the core of the photosynthetic machinery and can be correlated to plant functional status.



Fluorescence, assimilation

Au niveau de la feuille



D'après Flexas, J., Escalona, J. M., Evain, S., Gulias, J., Moya, I., Osmond, C. B., & Medrano, H. (2002) *Physiologia Plantarum*, 114(2), 231-240

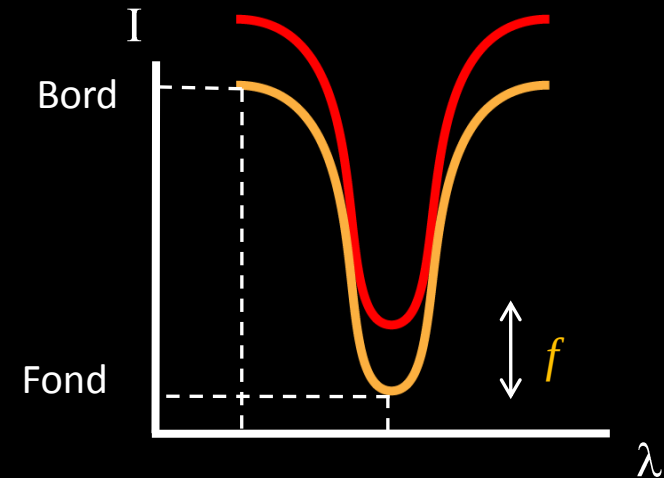
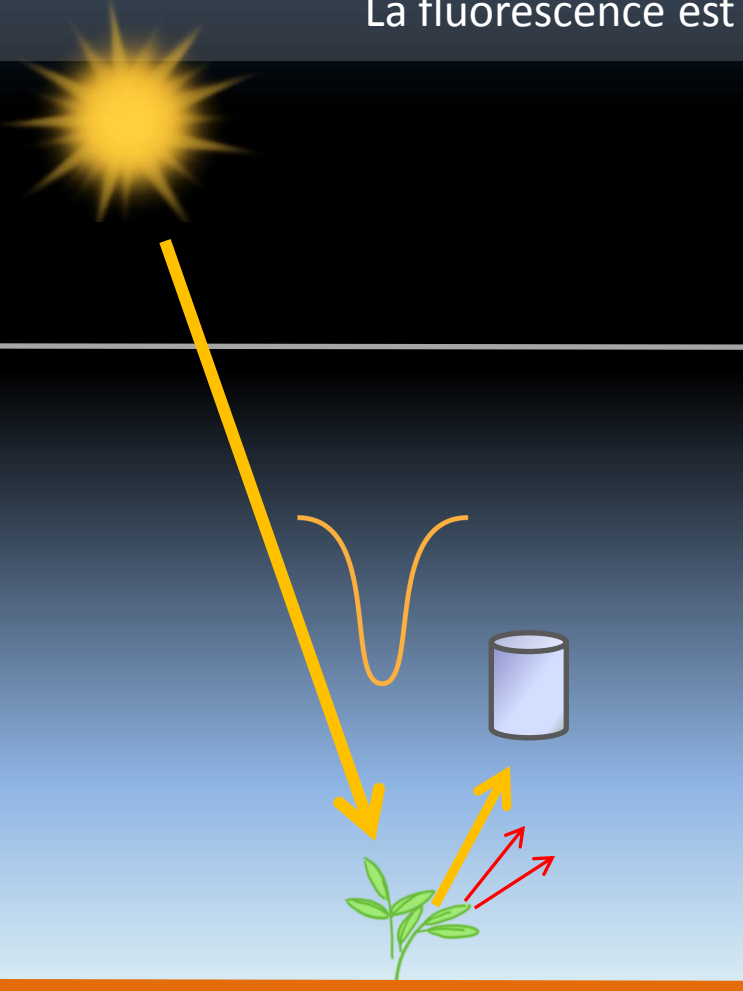
Mesure LIDAR



L'actif ne permet pas la mesure à large échelle

Méthode passive

La fluorescence est un petit signal par rapport au flux réfléchi

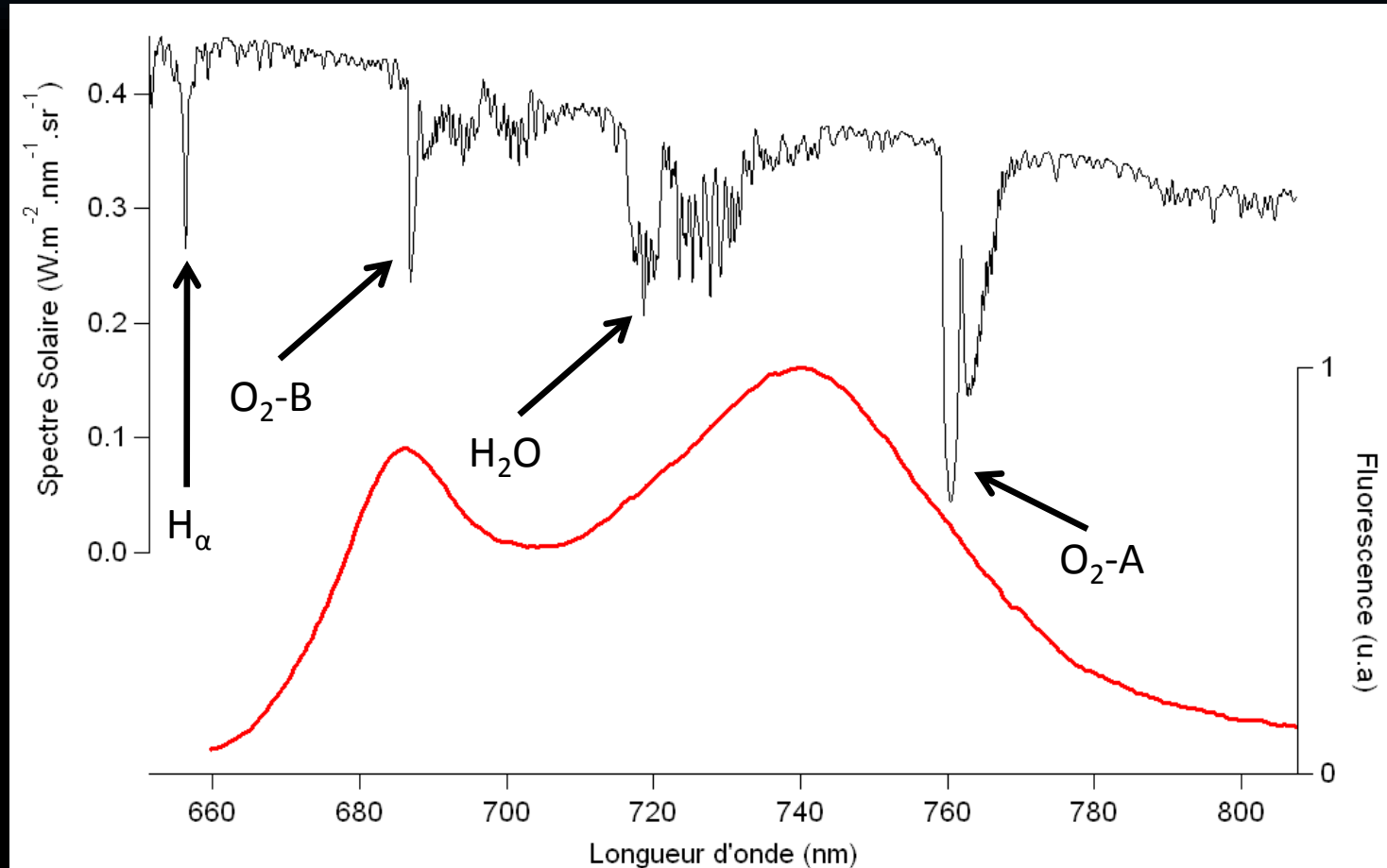


$$\text{Profondeur} = \frac{\text{Flux au bord}}{\text{Flux au fond}}$$

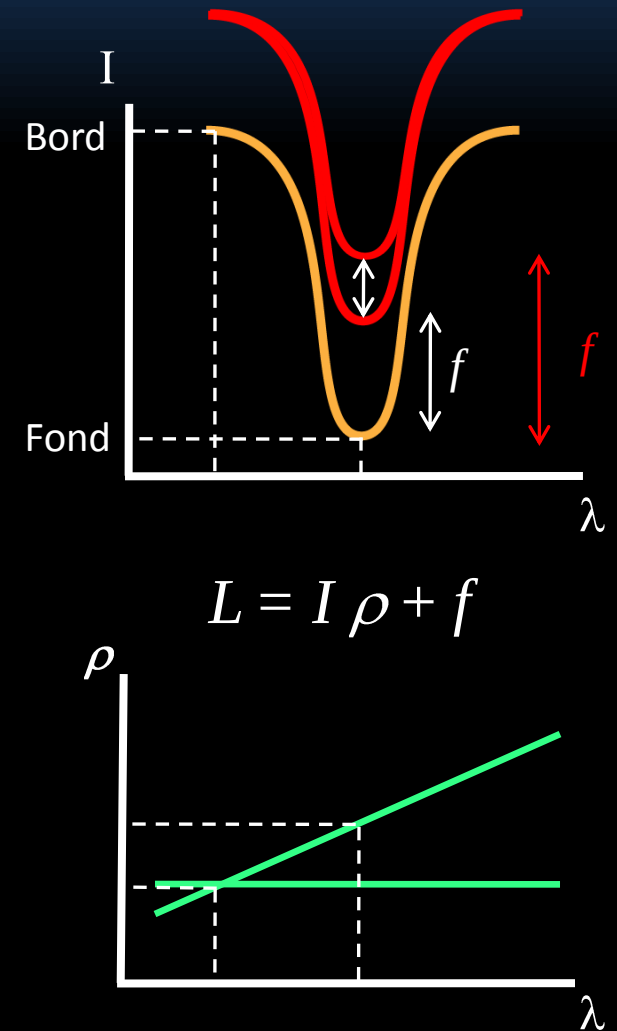
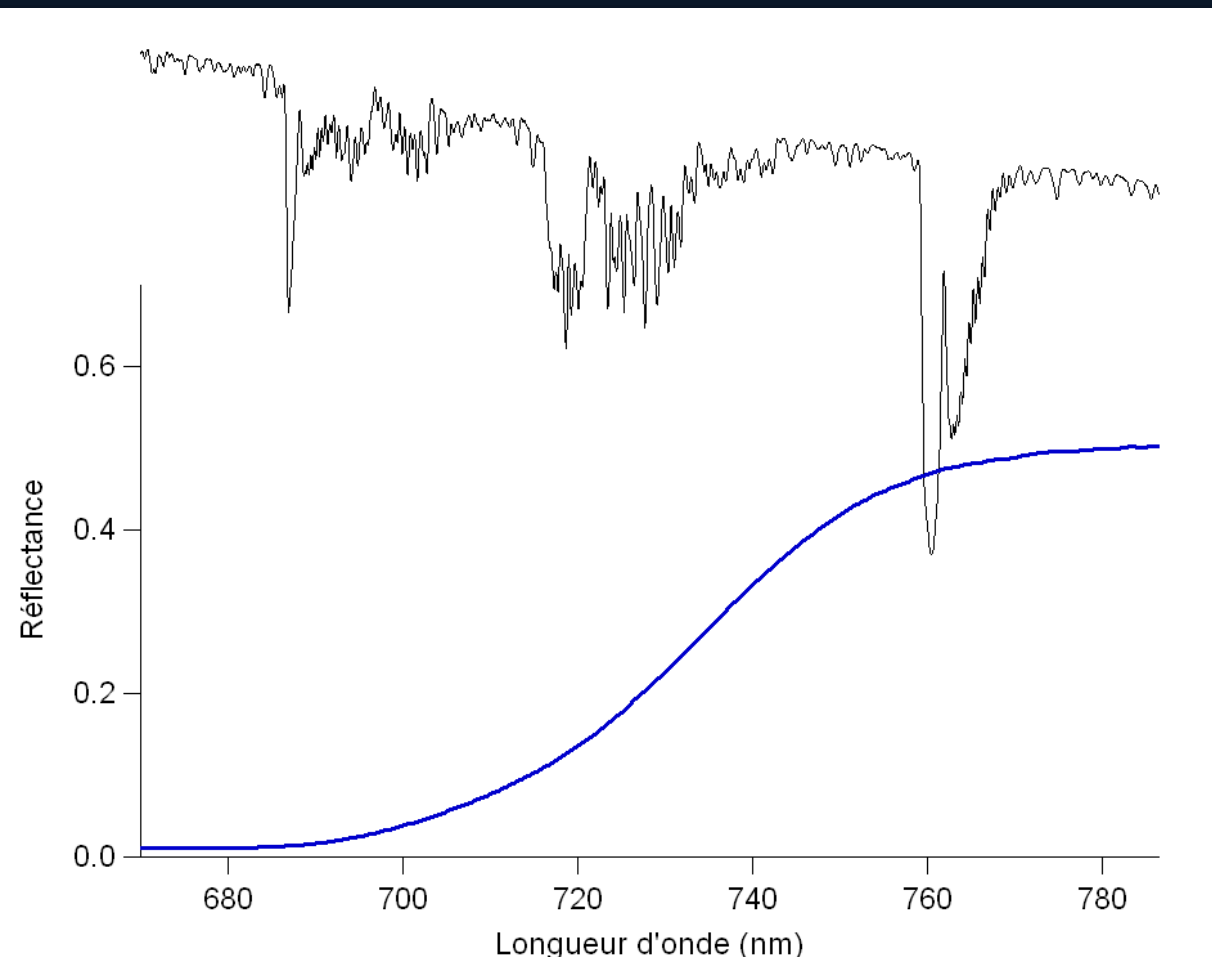
$$P_{\text{végétation}} = \frac{\text{Flux au bord} + f}{\text{Flux au fond} + f}$$

Mesure du
complement de la
bande
d'absorption

Bandes de l'oxygène



Variations de profondeur, fluorescence - réflectance



Il faut tenir compte des variations spectrales de la réflectance de la végétation

Algorithme pour retrouver la fluorescence

Mesure par bande (FLD)

Spectral Fitting Method (SFM)



Compromis: quelques bandes judicieusement placées

Mesure par bandes - optimisation

Pas d'évaluation de la réflectance, une hypothèse sur la forme suffit

Quelques canaux bien placés : 4 canaux pour O₂-B et 3 pour O₂-A

FWHM optimales:

O₂-B : 0.7 nm

O₂-A : 1 - 3 nm

Pour une fluorescence de 2 mW.m⁻².nm⁻¹.sr⁻¹ :

<i>SNR</i>	<i>Erreur fluorescence O₂-B</i>	<i>Erreur fluorescence O₂-A</i>
250	22.5 %	19 %
500	11 %	9 %
1800	3.2 %	2.7 %

Capteurs



Capteurs avionnés

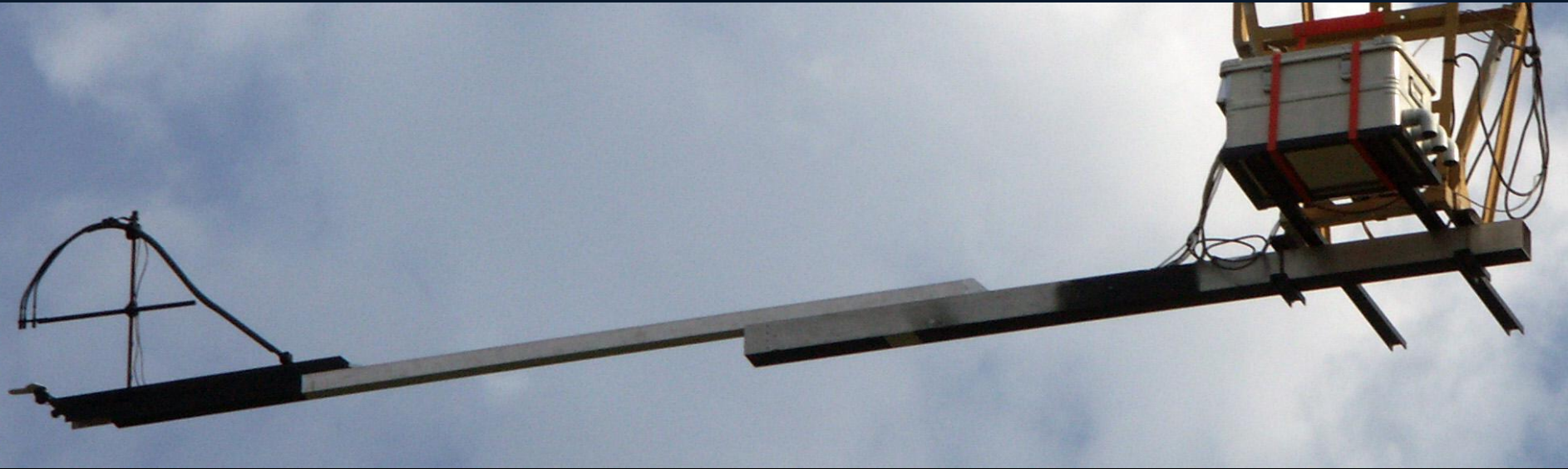
- Grand échantillonnage spatial
- Faible échantillonnage temporel

Capteurs au sol

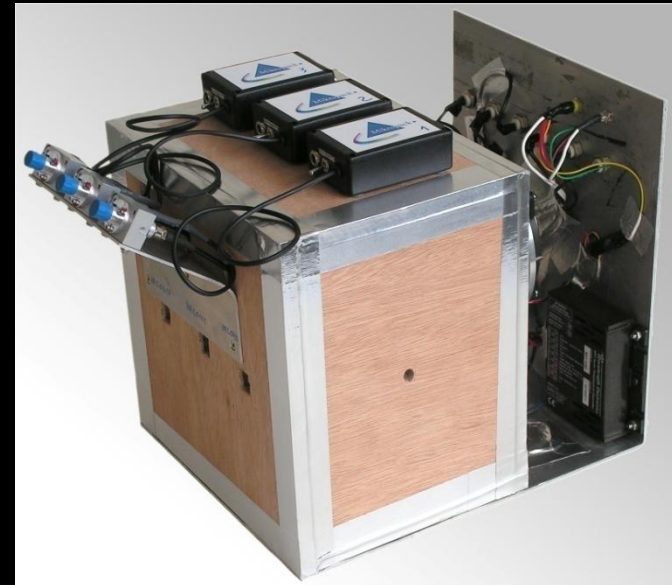
- Pas d'échantillonnage spatial
- Grand échantillonnage temporel

Mesures au sol



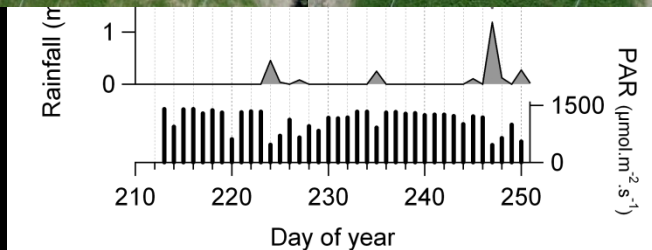
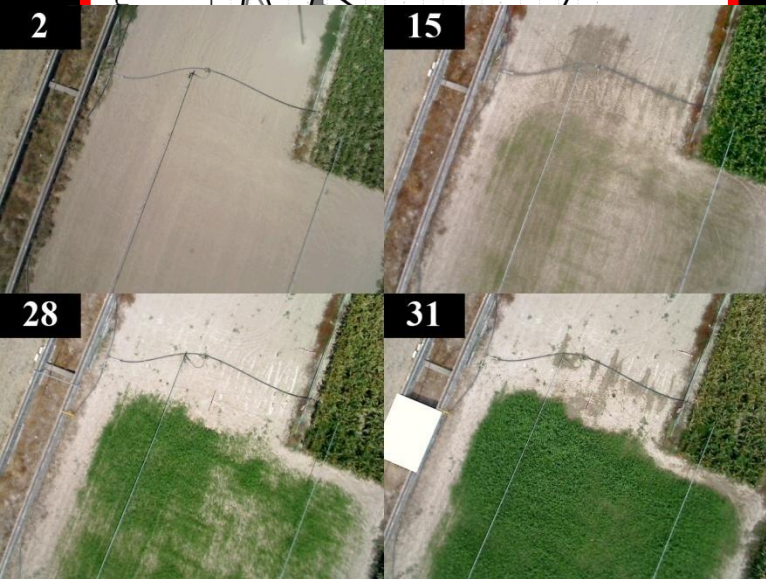
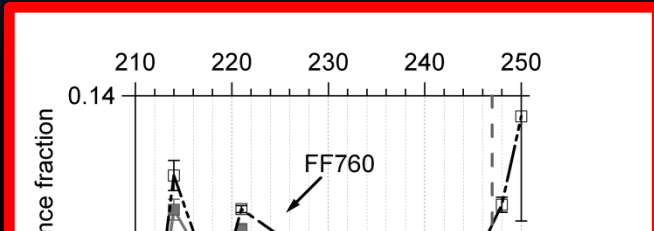


- Basé sur trois spectromètres
- Mesure : fluorescence, réflectance (NDVI, PRI), PAR
- Entièrement autonome
- Fréquence d'acquisition $> 1\text{Hz}$



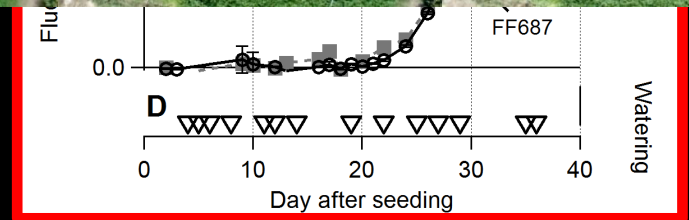
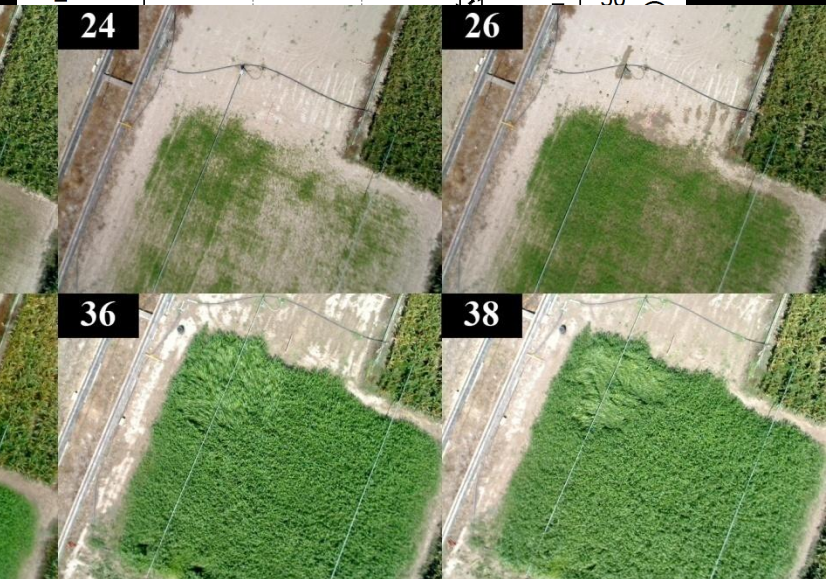
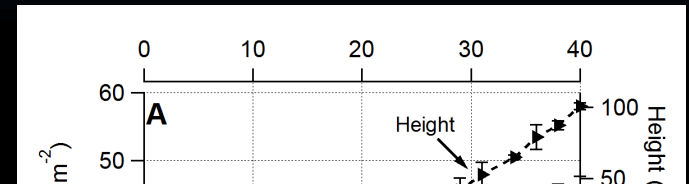
Suivi de fluorescence

Stress hydrique



Daumard *et al*, 2010, IEEE

Croissance



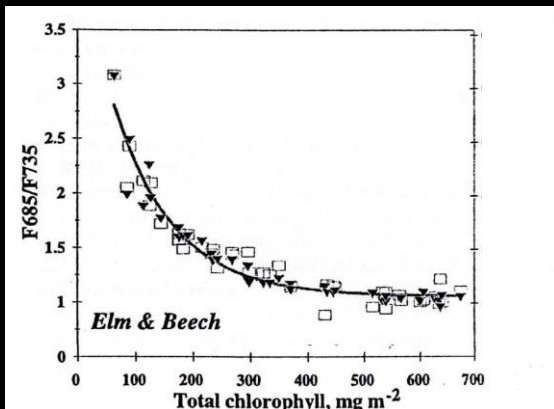
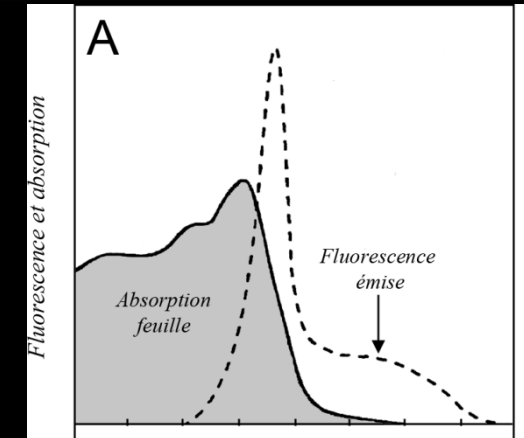
Daumard *et al*, submitted, IEEE

Le rapport de fluorescence

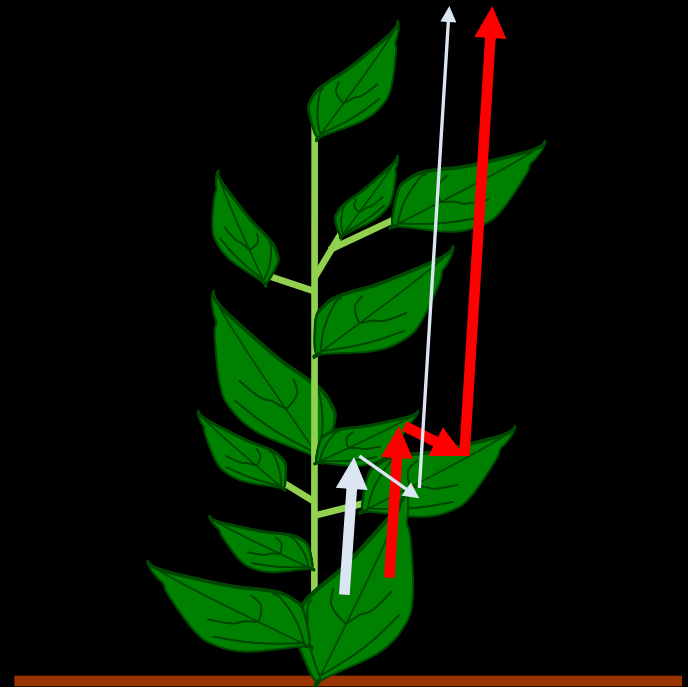
$$\text{Rapport} = F687/F760$$

Au niveau de la feuille :

Au niveau du couvert:



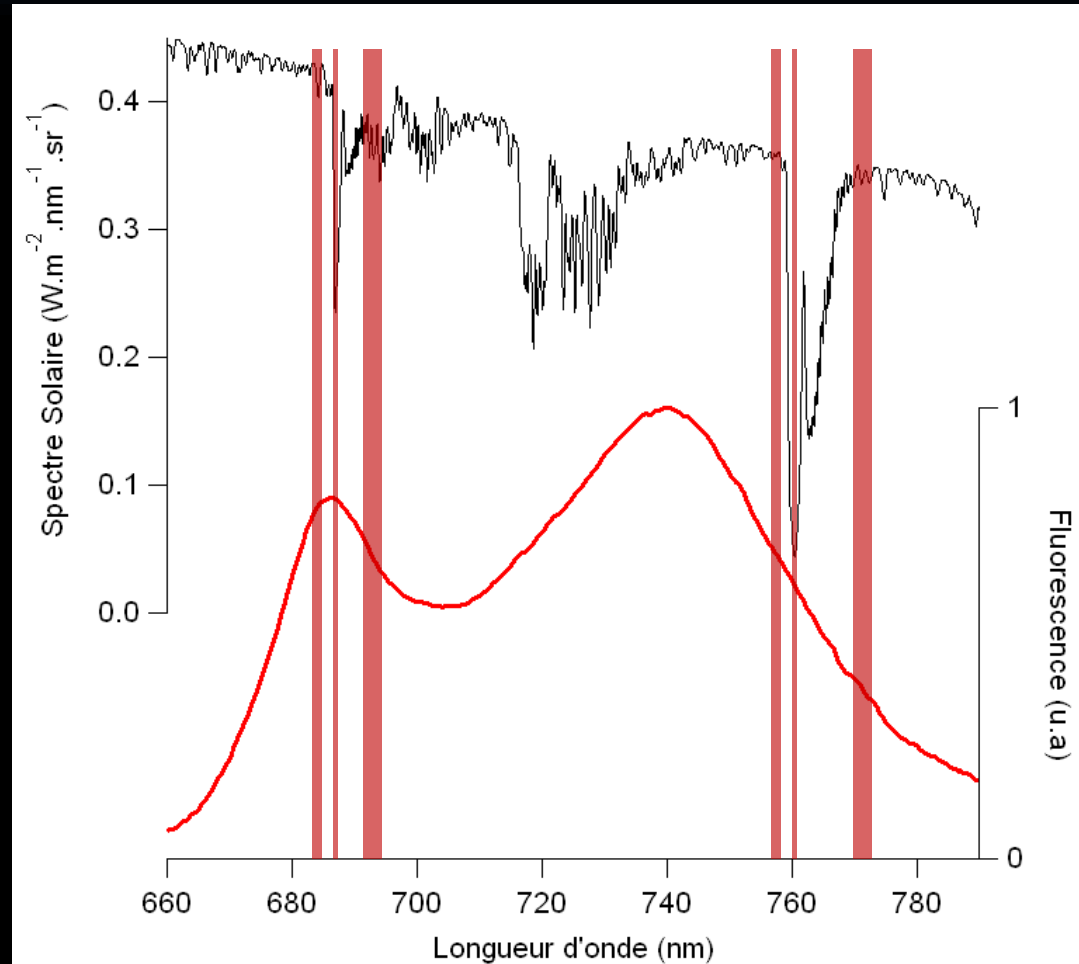
Gitelson et al (1998) *J. Plant Physiol.*, 152, 283-296.



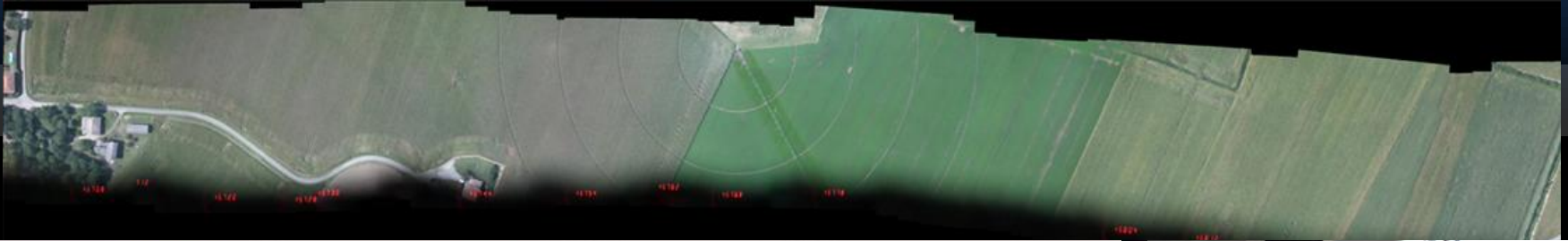
Le rapport dépend de [Chl]

Le rapport dépend de la structure du couvert

AirFLEX

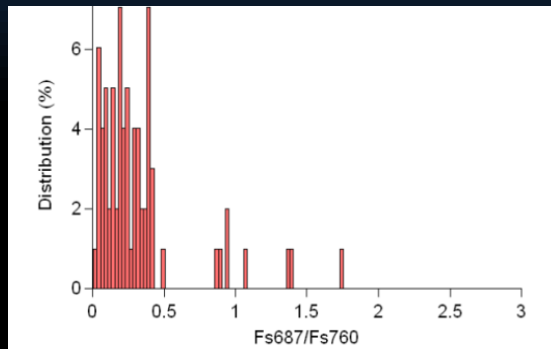


Mesures avionnées

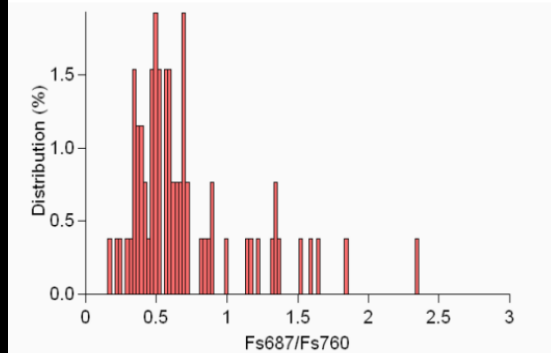


Variabilité de la fluorescence

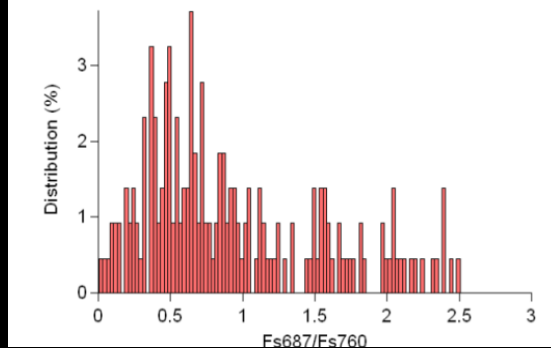
Blé



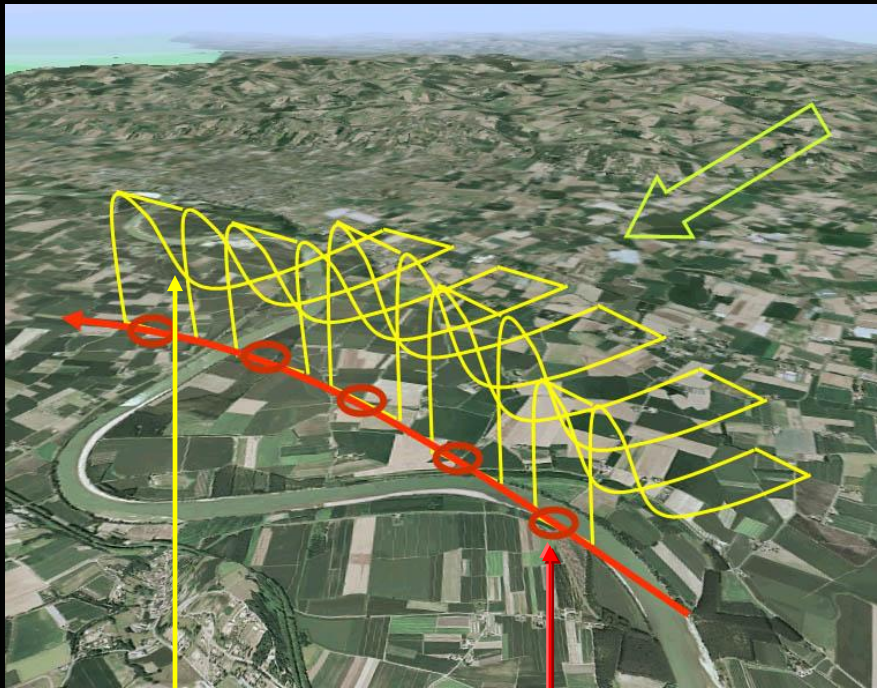
Maïs



Pin

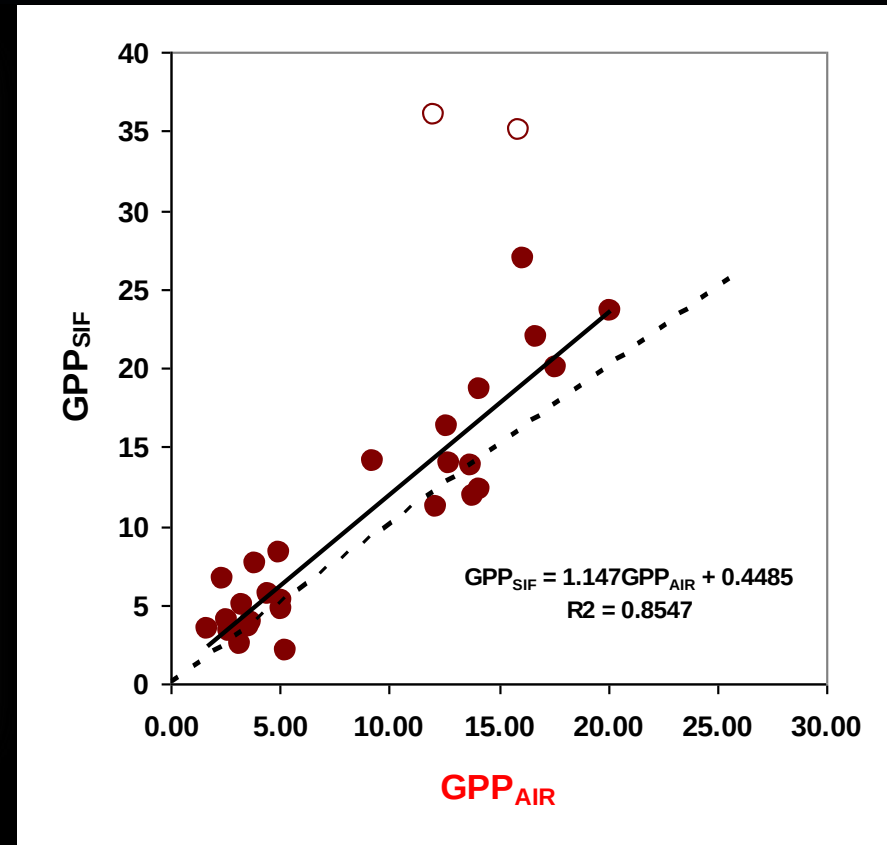


GPP : Gross Primary Production = Assimilation brute par la photosynthèse



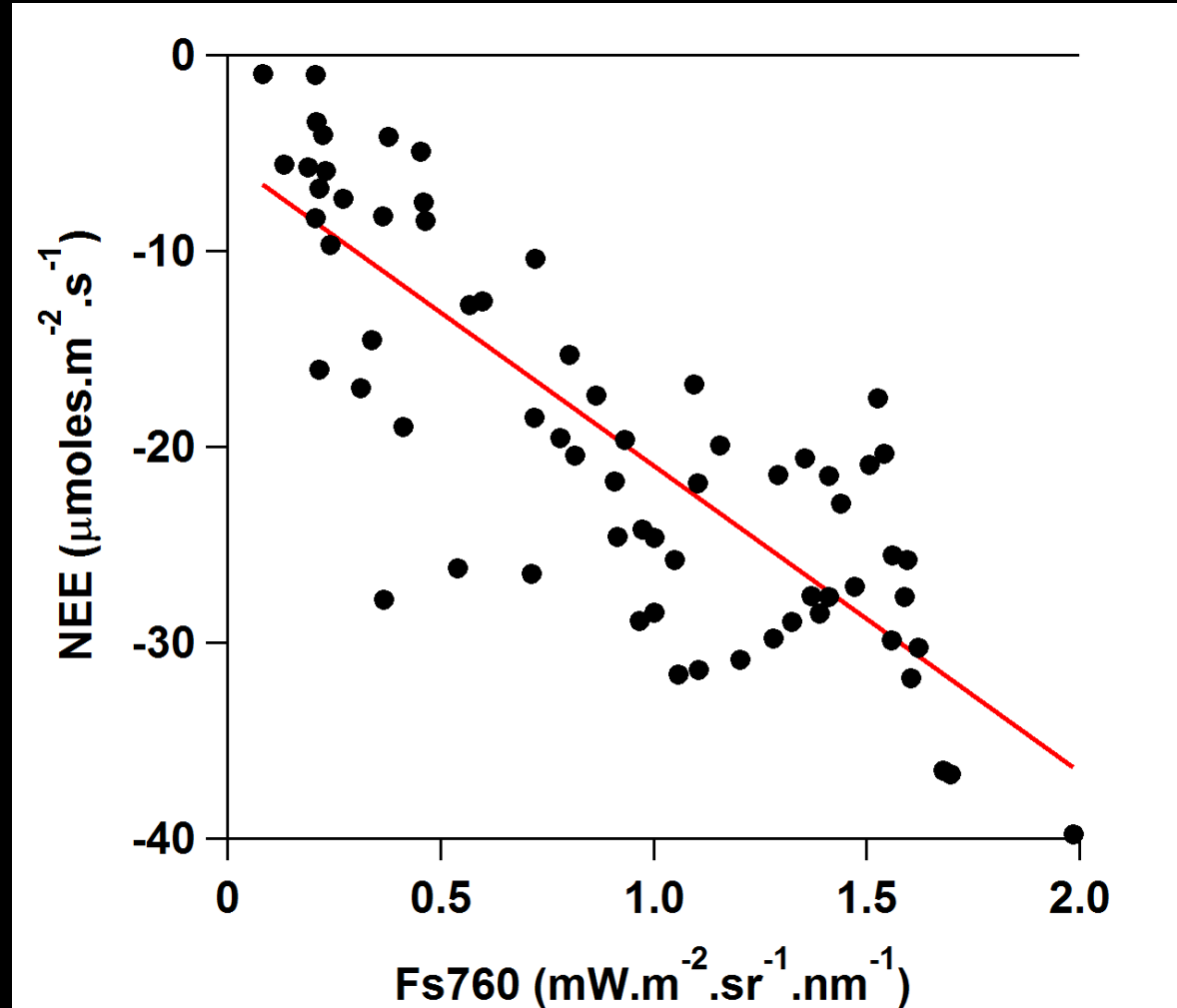
Mesures flux CO₂
avec Sky Arrow
GPP_{AIR}

Mesures fluorescence avec capteur AirFlex
GPP_{SIF}

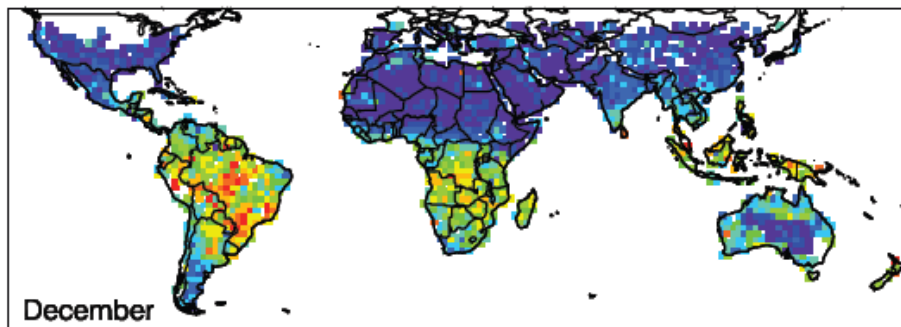
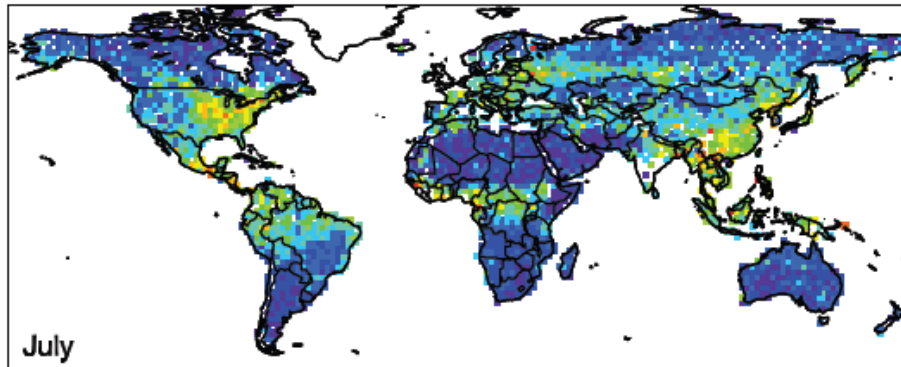


Miglietta *et al*, CNR-IBIMET

Suivi de croissance



Scaled Fluorescence 2009 (GOSAT P polarization)



- GOSAT

- OCO

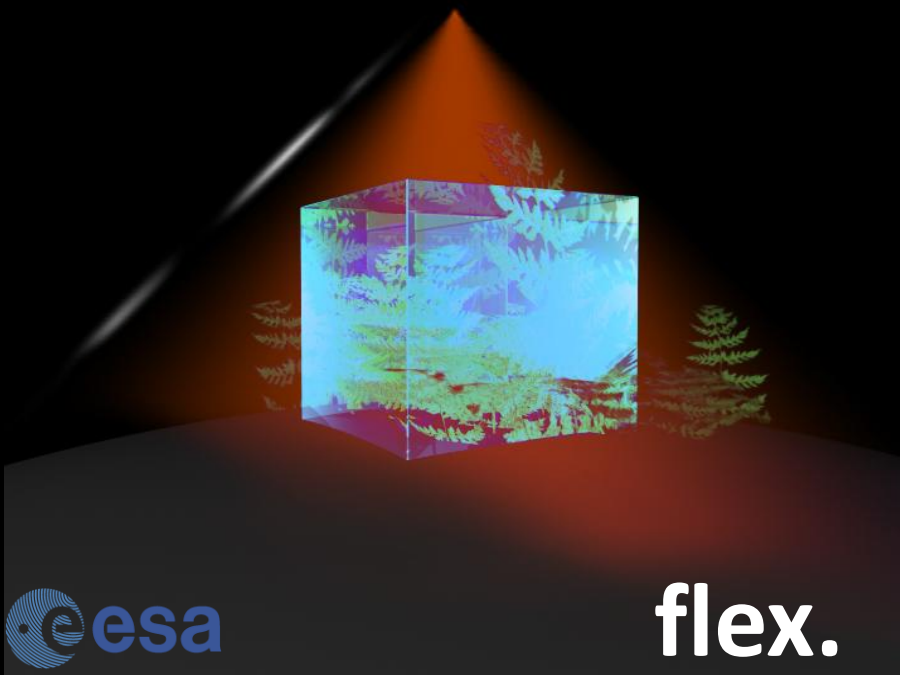
Résolution spatiale : 10 km

Joiner *et al*, 2011

FLEX – Opportunity mission, Earth Explorer 8, étude de faisabilité phase A/B1

Mesure dans les deux bandes de l'oxygène

Résolution spatiale : 300 m



Université de Valence
Helmholtz Centre for Env. Research
Ibimet/CNR
P&M Technologies
Ints. Landscape Ecology
ICG Forschungszentrum
ITC
LMD

Espagne
Allemagne
Italie
Canada
République Tchèque
Allemagne
Hollande
France

Objectif

Quantifier l'efficacité photosynthétique des écosystèmes à l'échelle du globe

Rôle de la végétation dans le cycle du carbone

Monitoring du stress de la végétation

Mesure de la fluorescence

La mesure de la fluorescence donne une information complémentaire des indices de réflectance, liée au fonctionnement de la végétation.

Mesure Visible-Proche infrarouge: 650 – 800 nm

Bande O₂-B: - 4 canaux
- FWHM: 0.7 nm

Bande O₂-A: - 3 canaux
- FWHM: 1 - 3 nm