

Ce document est autorisé sous la Licence CC BY-NC-SA 4.0.

Pour obtenir une copie de cette License, veuillez consulter :

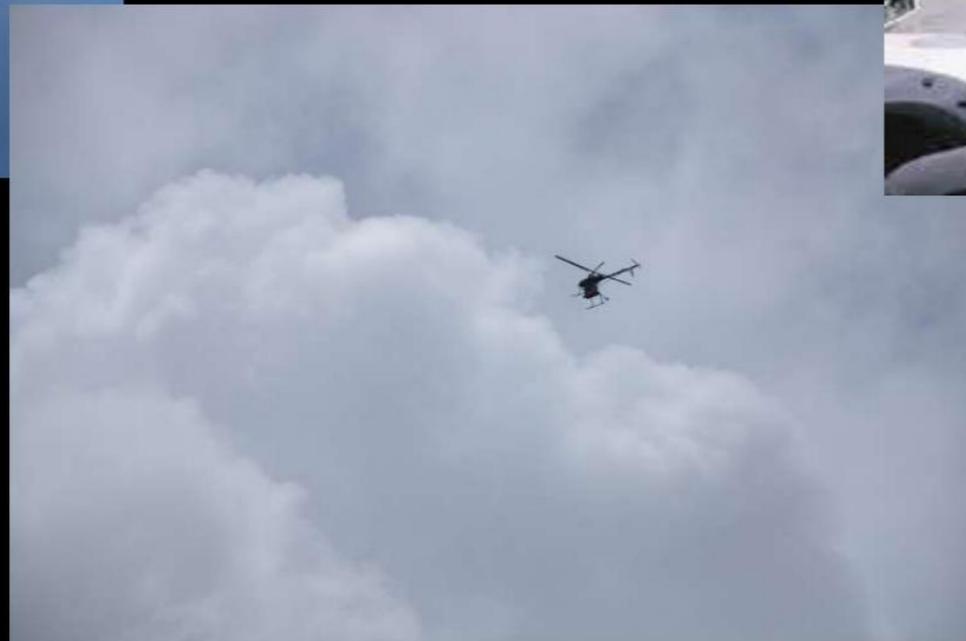
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

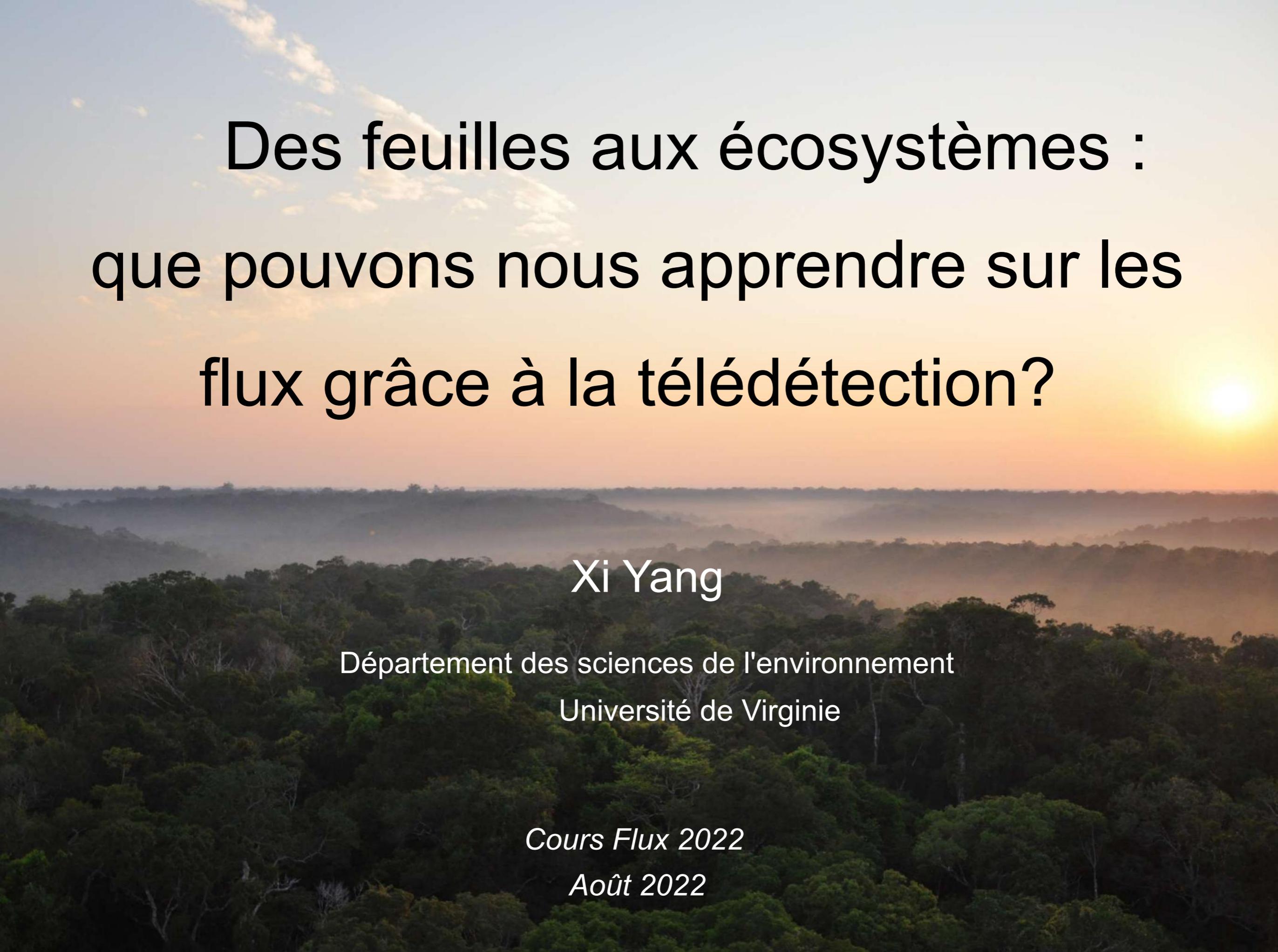
Pour les document traduits, nous vous suggérons de donner credit à l'auteur(s) original(s) et au(x) traducteur(s).



Qu'est ce que la télédétection ?

- Télédétection : acquisition d'informations sur un objet sans qu'il n'y ait de contact physique avec les objets.





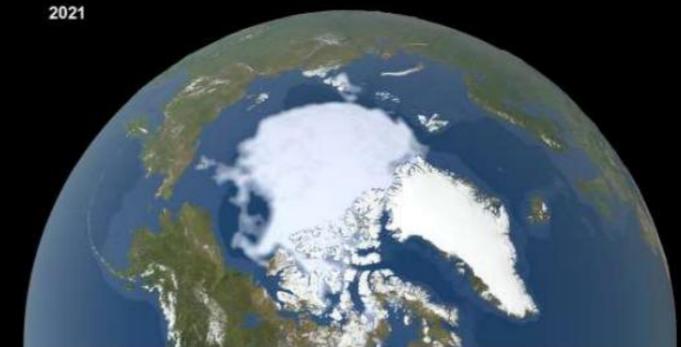
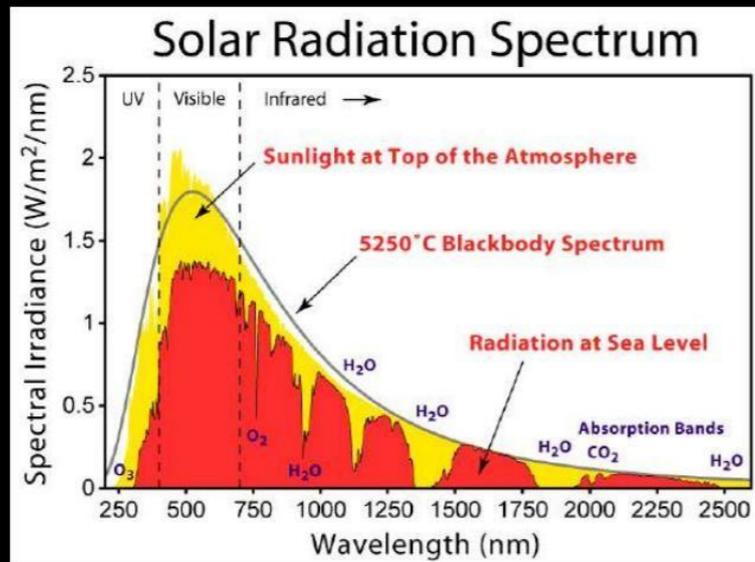
Des feuilles aux écosystèmes : que pouvons nous apprendre sur les flux grâce à la télédétection?

Xi Yang

Département des sciences de l'environnement
Université de Virginie

Cours Flux 2022
Août 2022

La télédétection mesure les rayonnements

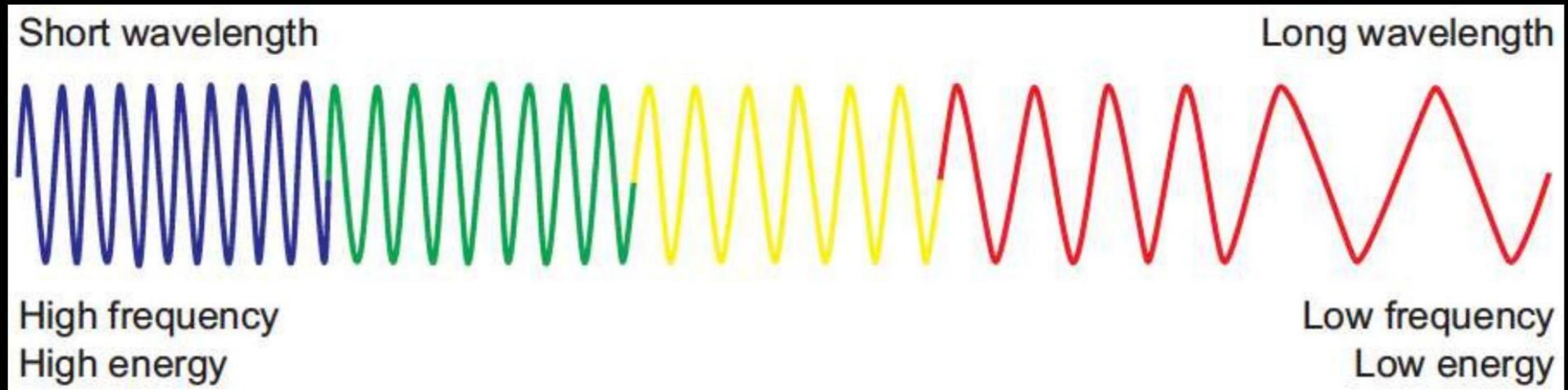


UV Visible NIR SWIR

TIR

SAPIN

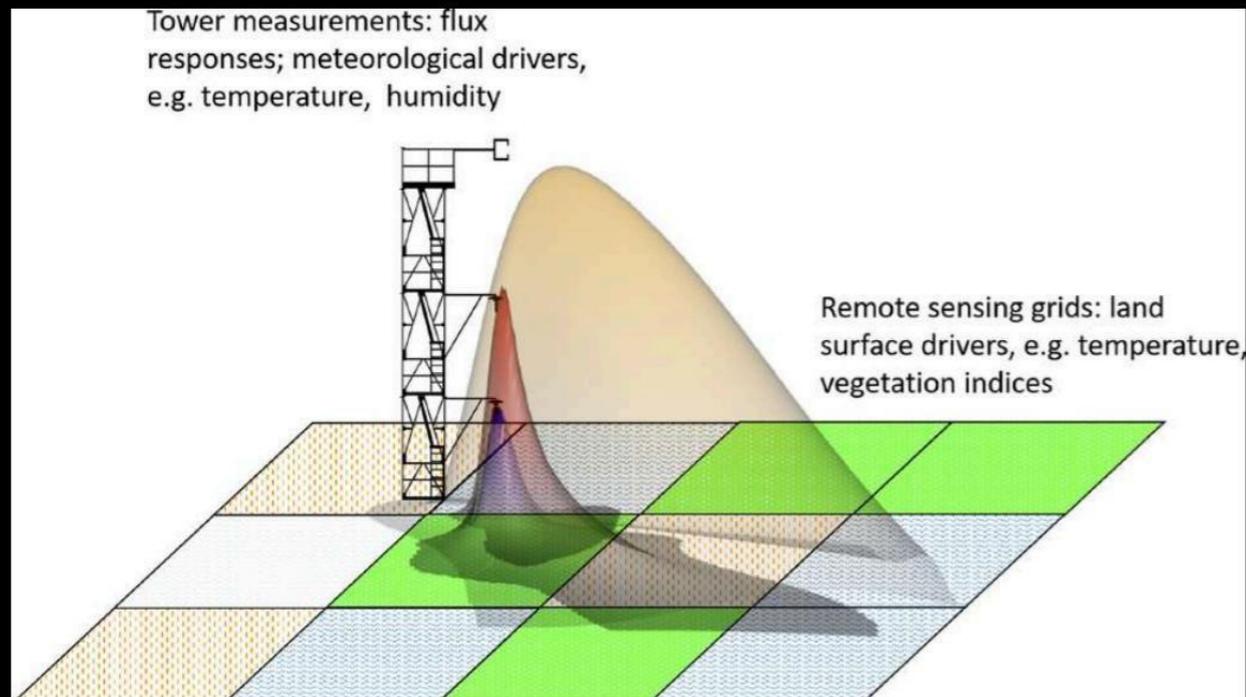
Micro-ondes



Les **produits de télédétection** des flux (par exemple, GPP et ET) ne sont pas des **mesures**, mais plutôt des résultats de **modélisation** utilisant des mesures de télédétection du rayonnement basées sur certaines hypothèses.

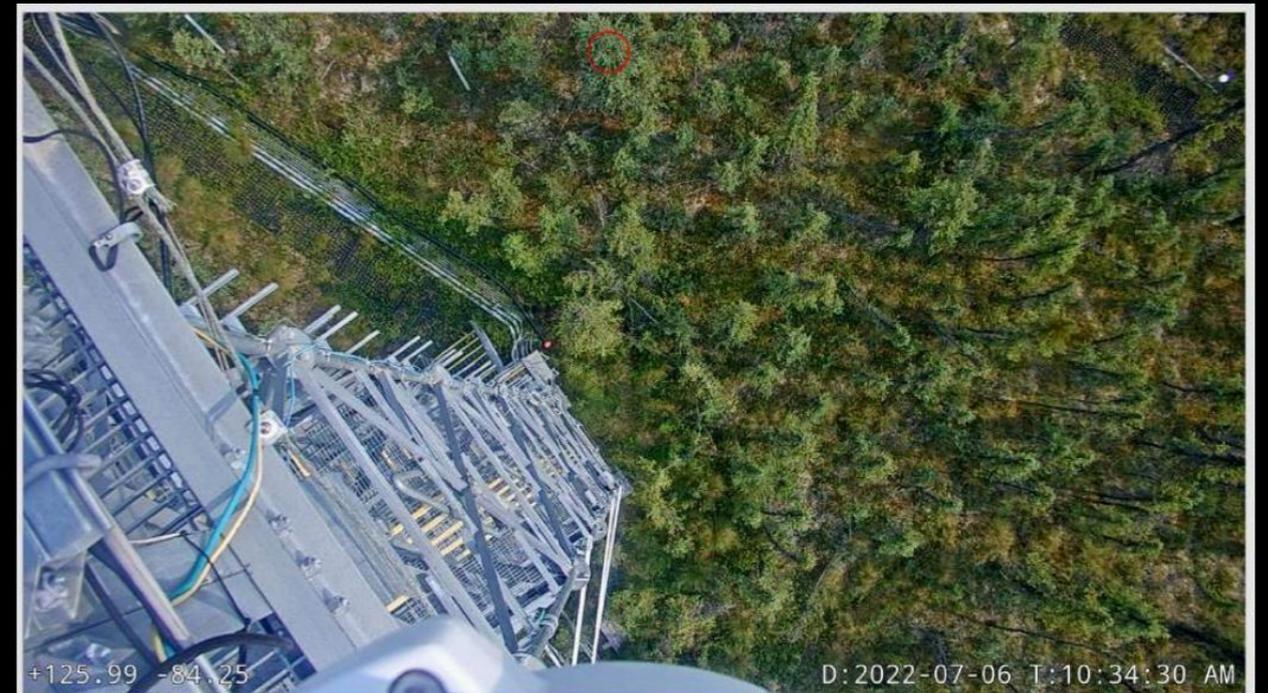
TELEDETECTION et Tour à FLUX se complètent

Satellite vs. Tour à flux



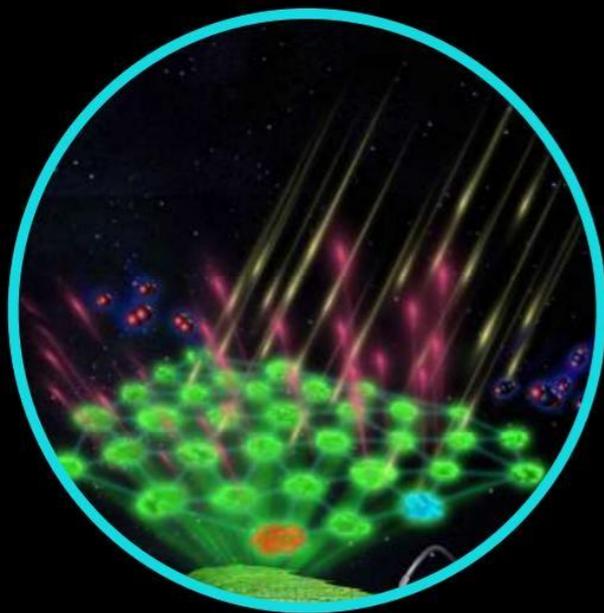
Metzger 2018

Instruments d'optique basés sur une tour vs. une tour à flux



Source : Wayne Dawson

Une ère passionnante pour la télédétection



Les nouvelles technologies
et les nouveaux algorithmes
ouvrent de nouvelles
perspectives



Les capteurs satellites de
nouvelle génération



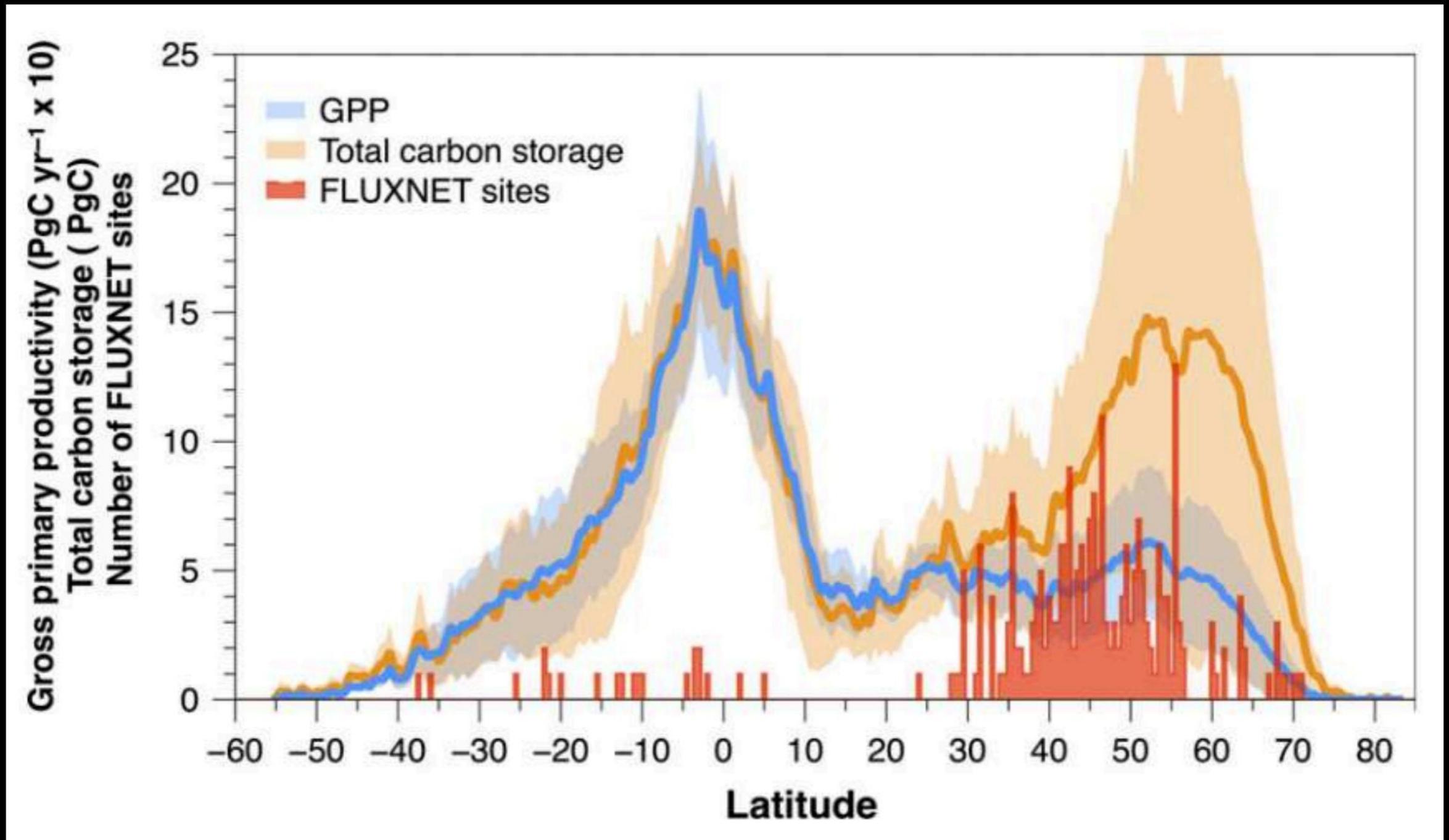
Des drones !



Réseaux mondiaux
basés sur des tours de
télédétection

Que pouvons-nous apprendre sur les flux grâce à la télédétection ?

Téledétection de la photosynthèse globale



Comment la photosynthèse est-elle estimée ? — échelle de la feuille



Portable

Système de photosynthèse

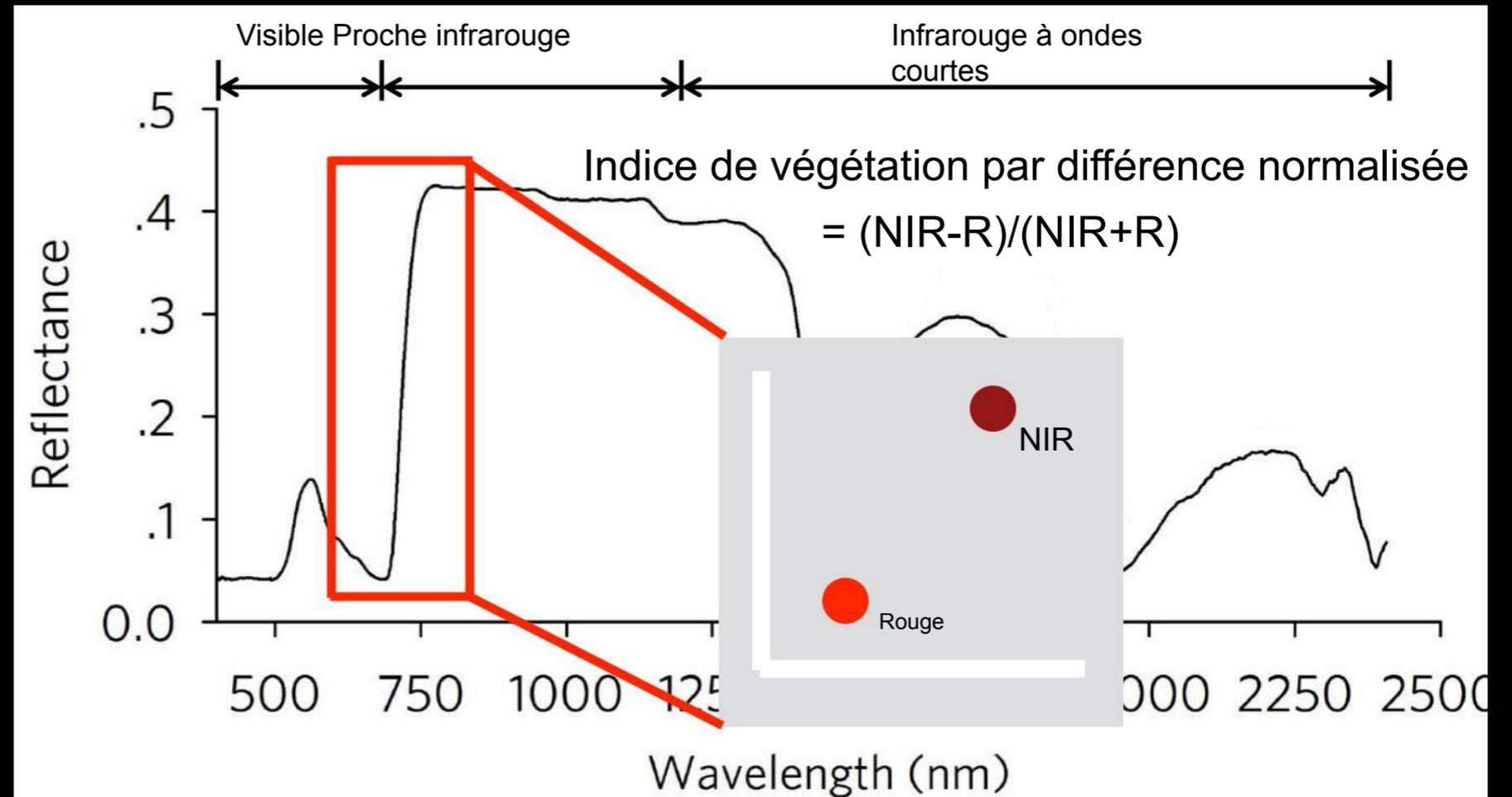


Pas si portable que ça

Système de photosynthèse

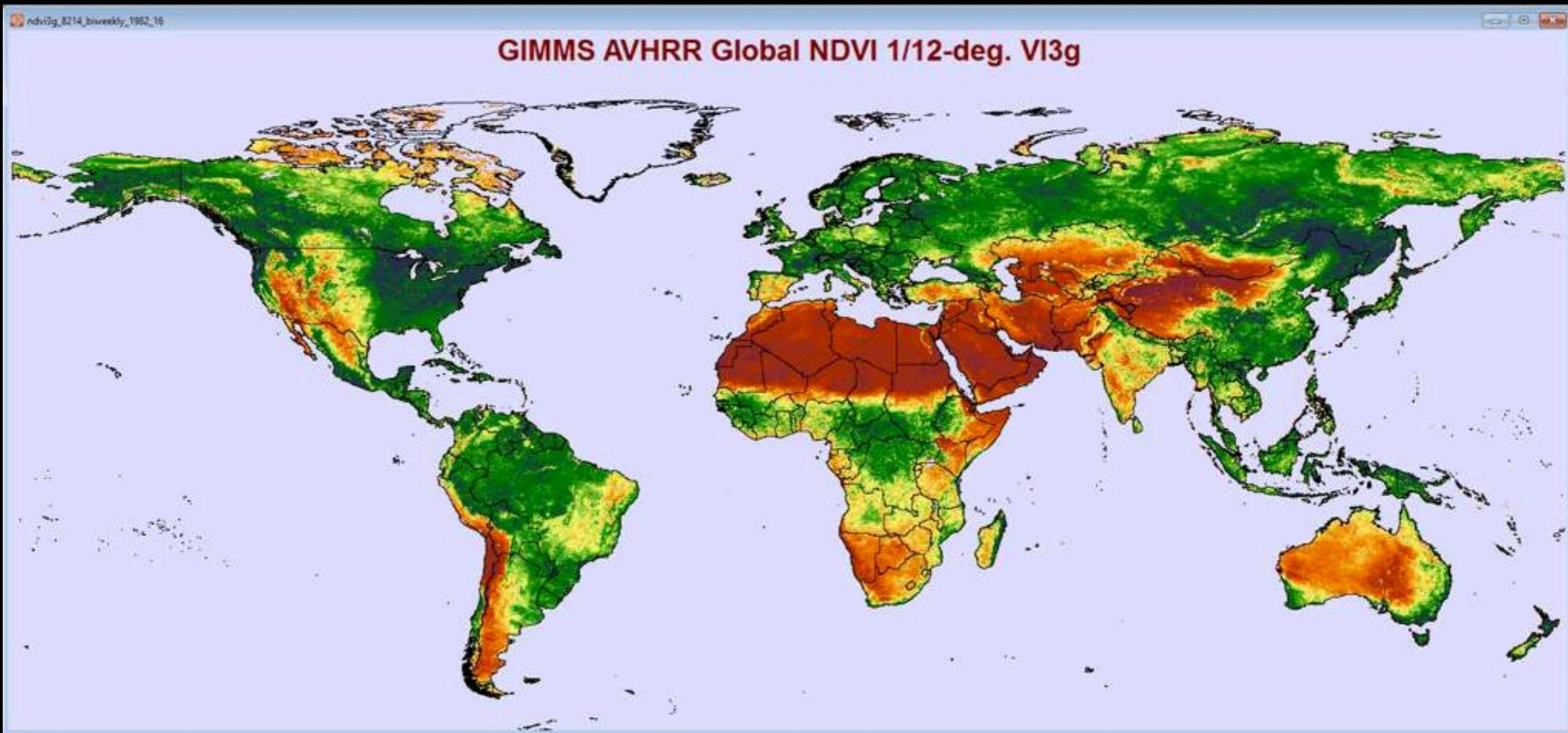
Télédétection de la photosynthèse globale

NDVI développé dans les années 1970



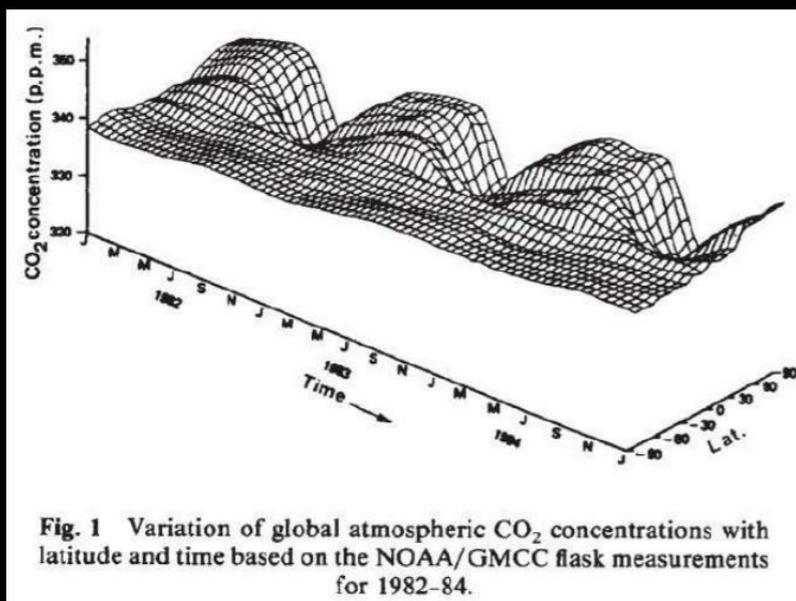
Téledétection de la photosynthèse globale

Cartographie mondiale de la végétation dans les années 1980

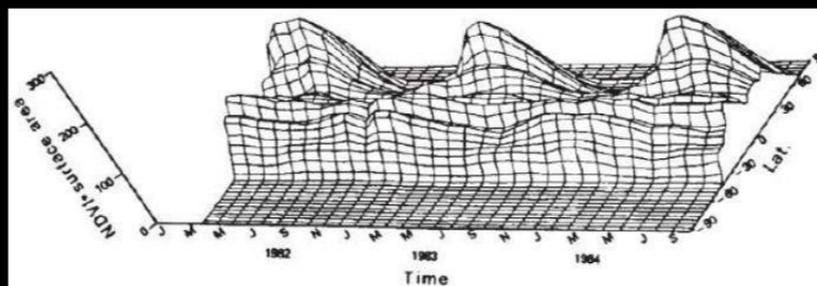


Téledétection de la photosynthèse globale

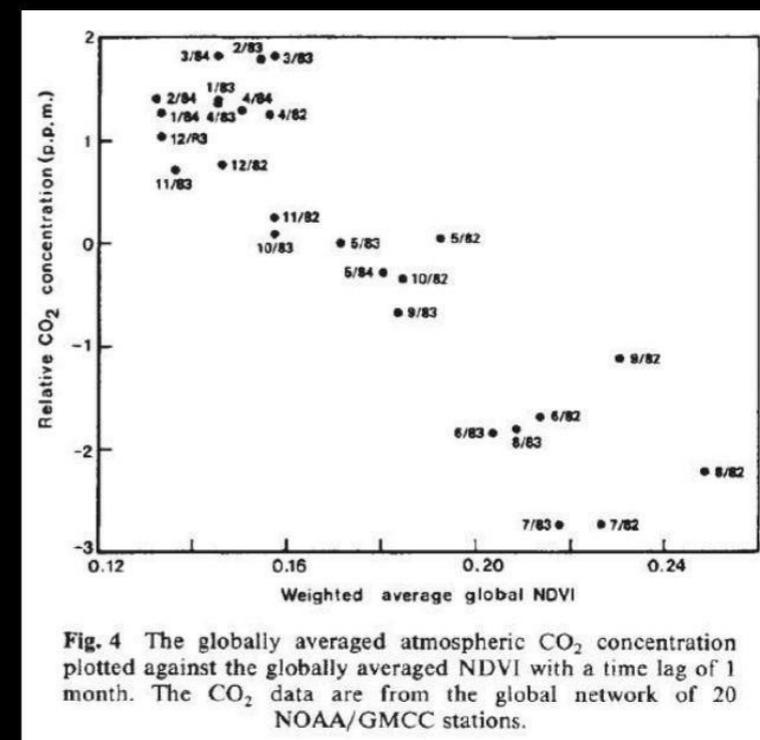
Cartographie mondiale de la végétation dans les années 1980



Concentration de CO₂



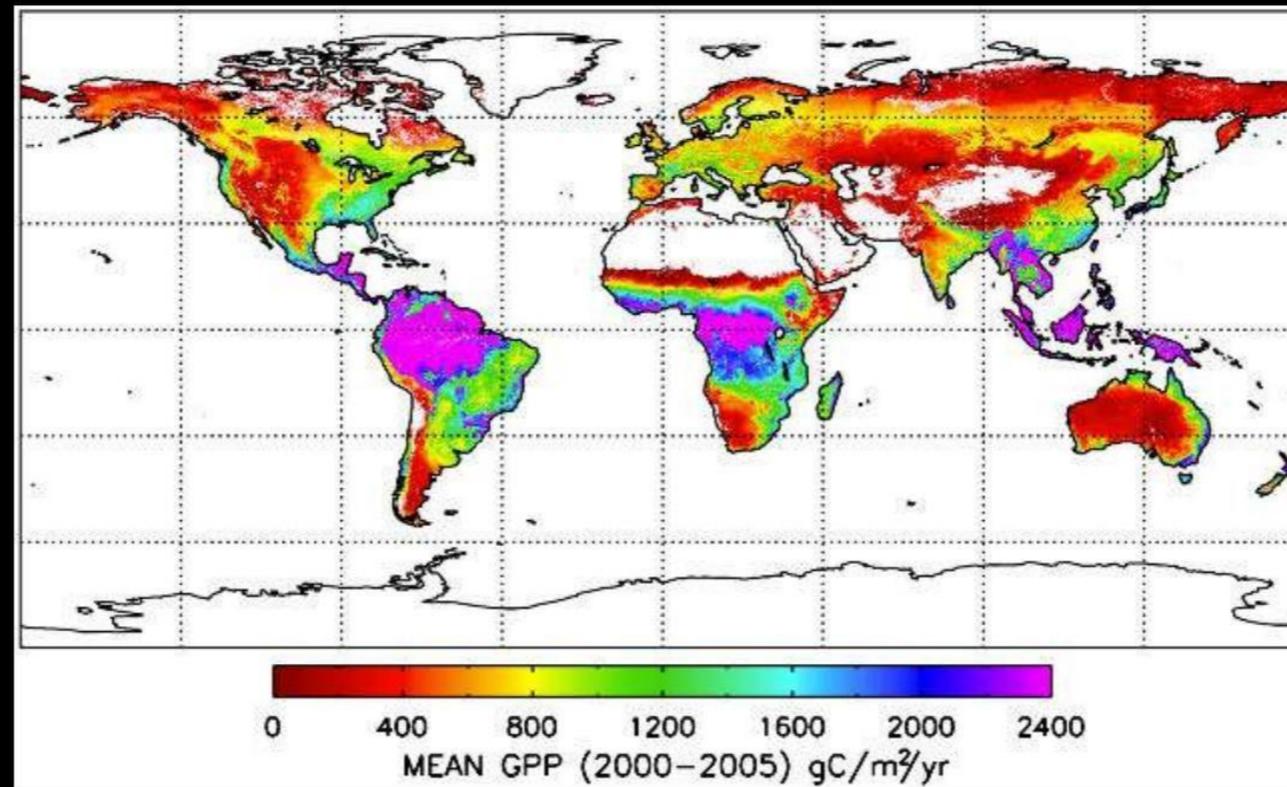
NDVI



Une relation négative entre la concentration du CO₂ et NDVI

Téledétection de la photosynthèse globale

MODIS dans les années 2000



$$\text{GPP} = \text{PAR} \times f_{\text{APAR}} \times \epsilon_p$$

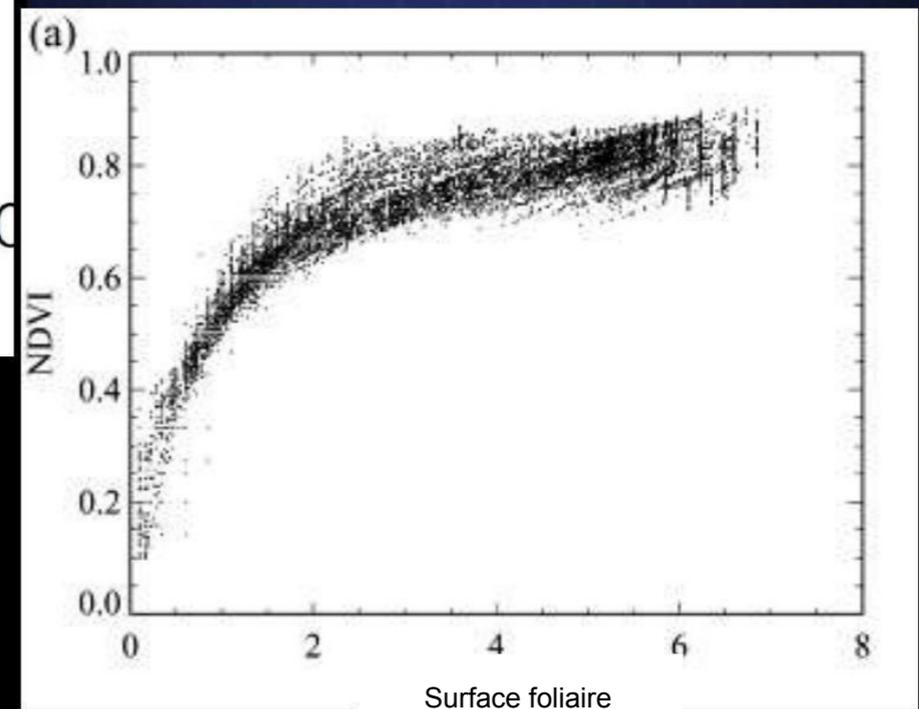
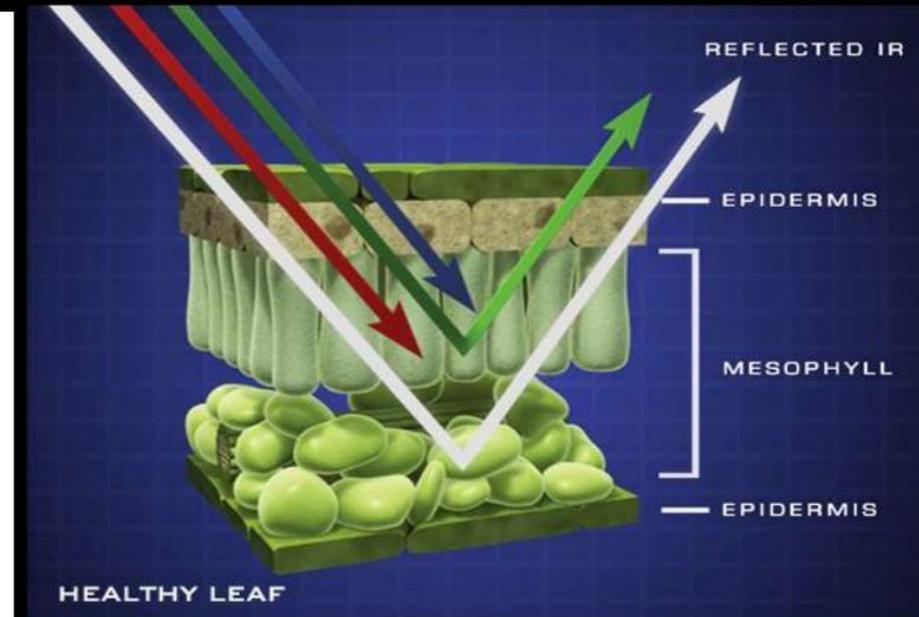
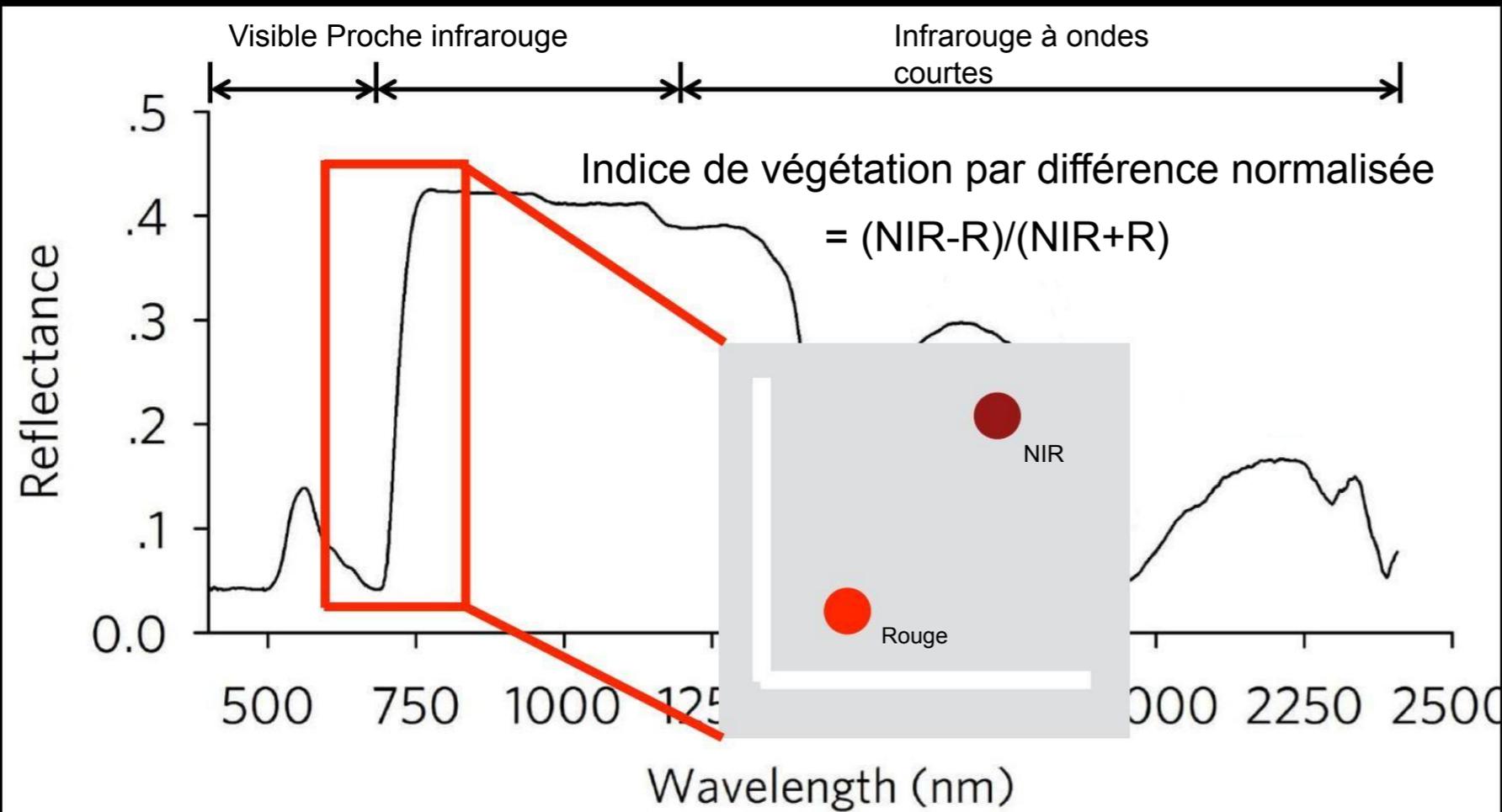
PAR absorbé

f (type fonctionnel de la
plante, température,
disponibilité en eau)

PAR : rayonnement photosynthétique actif

fAPAR : Fraction de PAR absorbée par les feuilles

L'indice de végétation est une mesure de l'état de la « couleur verte » de la canopée des arbres



$$GPP = PAR \times fAPAR \times \epsilon_p$$

Estimé de la
 même manière que
 l'indice de végétation

f(type fonctionnel de la
 plante, température, eau)

PAR : rayonnement photosynthétique actif

fAPAR : Fraction de PAR absorbée par les feuilles

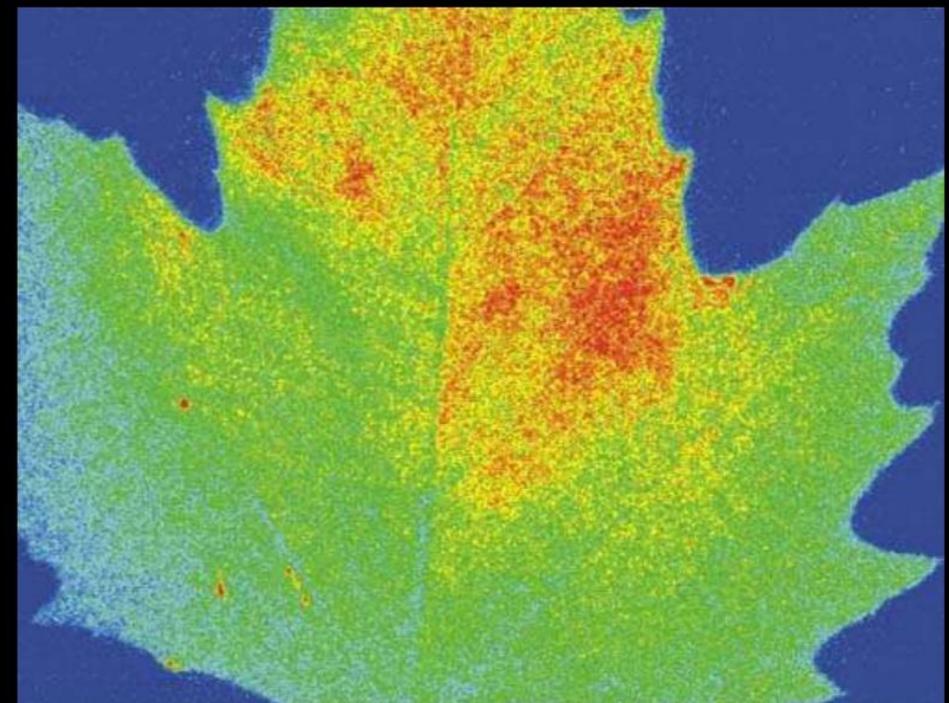
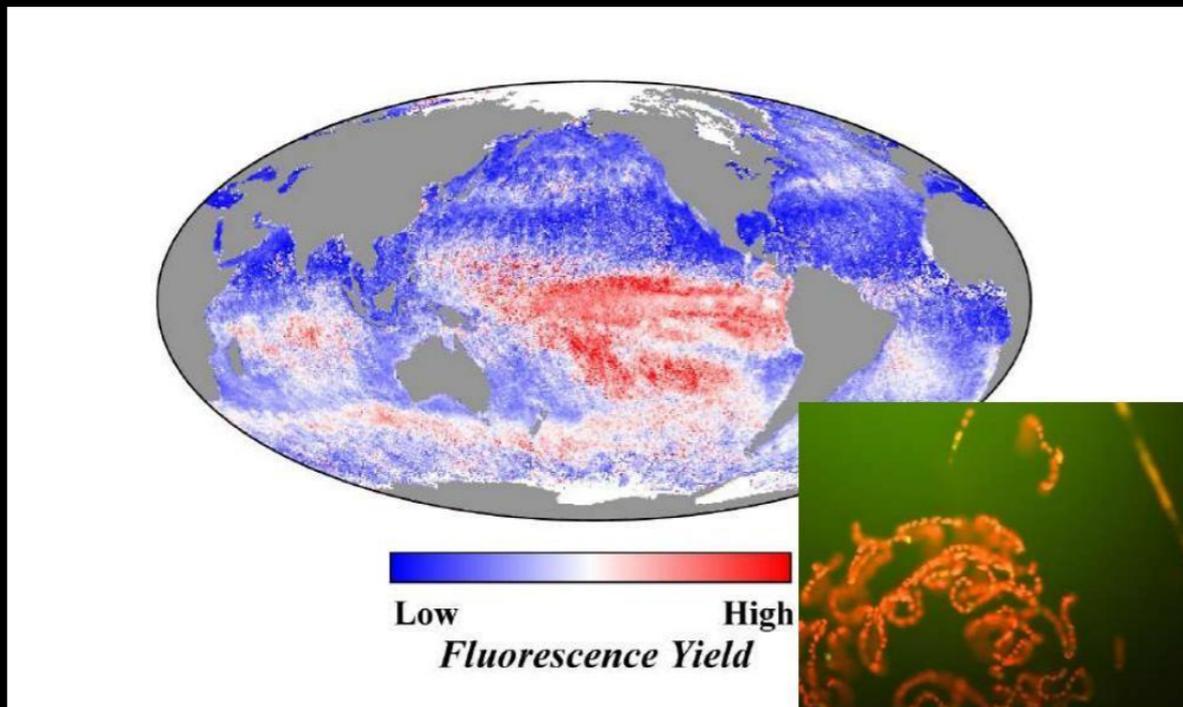
Myneni et al. 2002

L'indice de la végétation concerne la photosynthèse potentielle

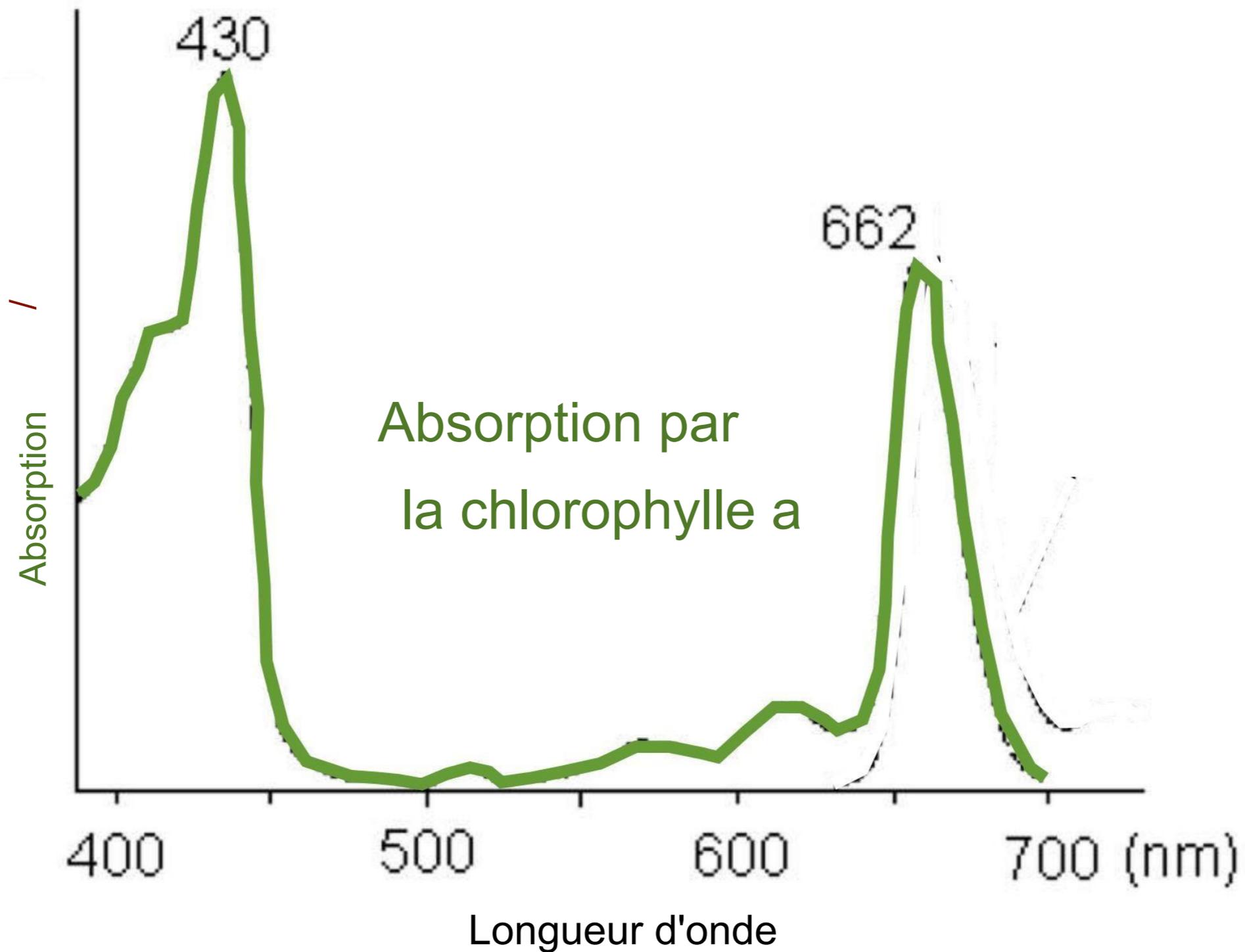


Existe-t-il un outil qui peut nous aider à connaître en temps réel la photosynthèse des plantes à l'échelle mondiale ?

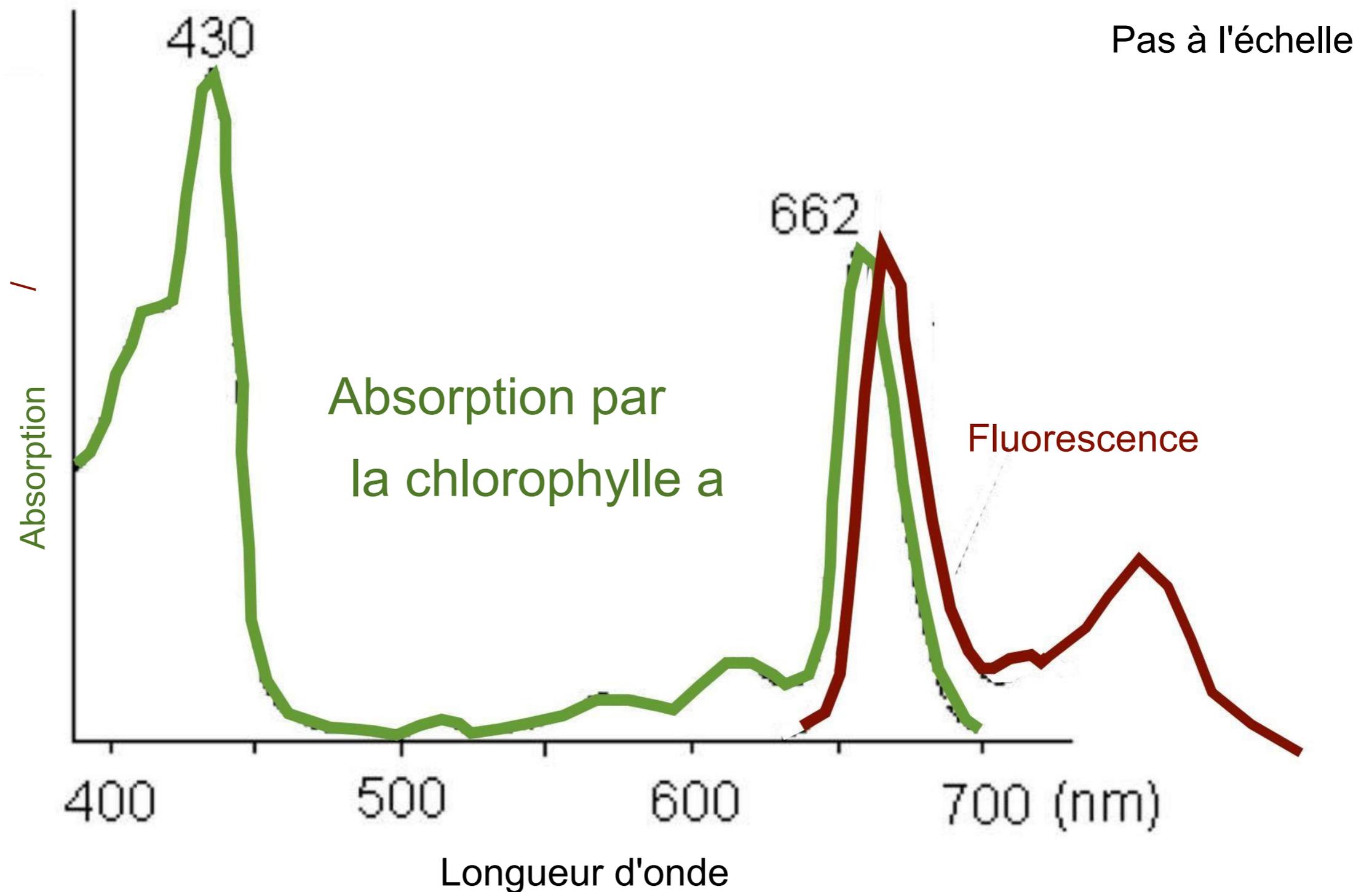
La fluorescence dans la nature



La chlorophylle absorbe principalement les photons bleus et rouges

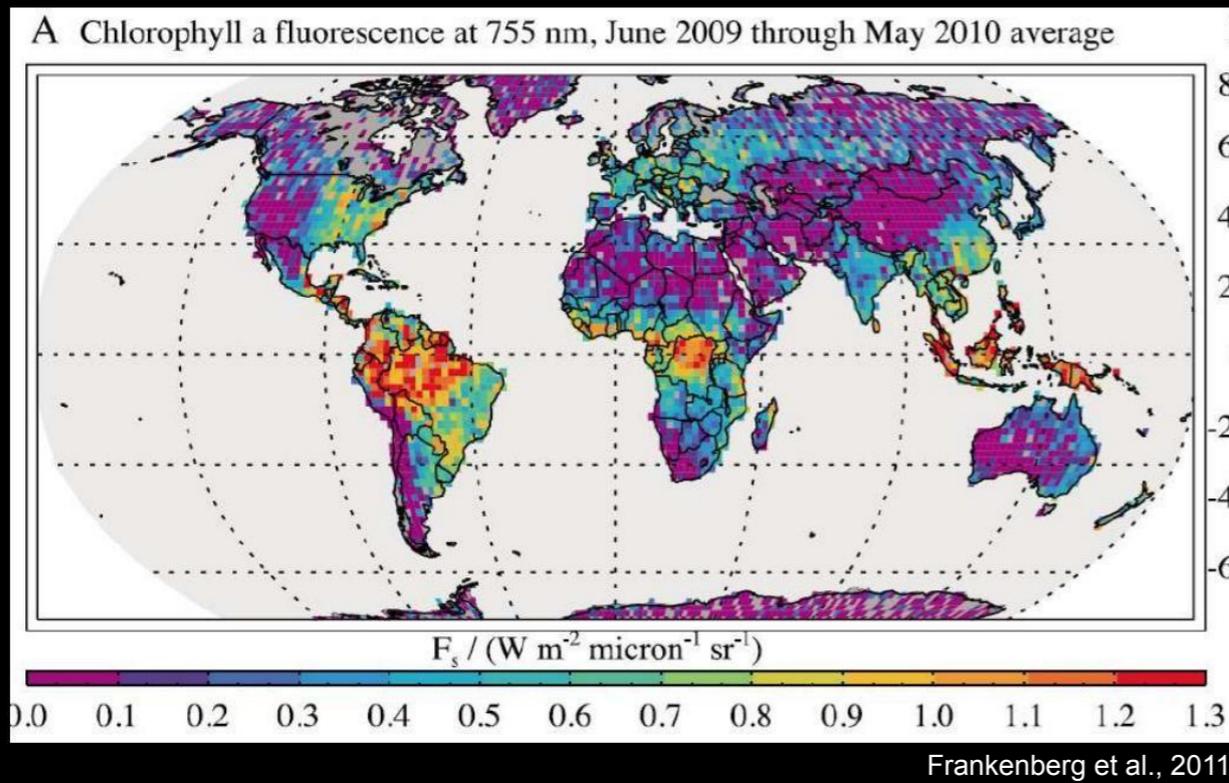


Le SIF est émis dans une longueur d'onde plus grande

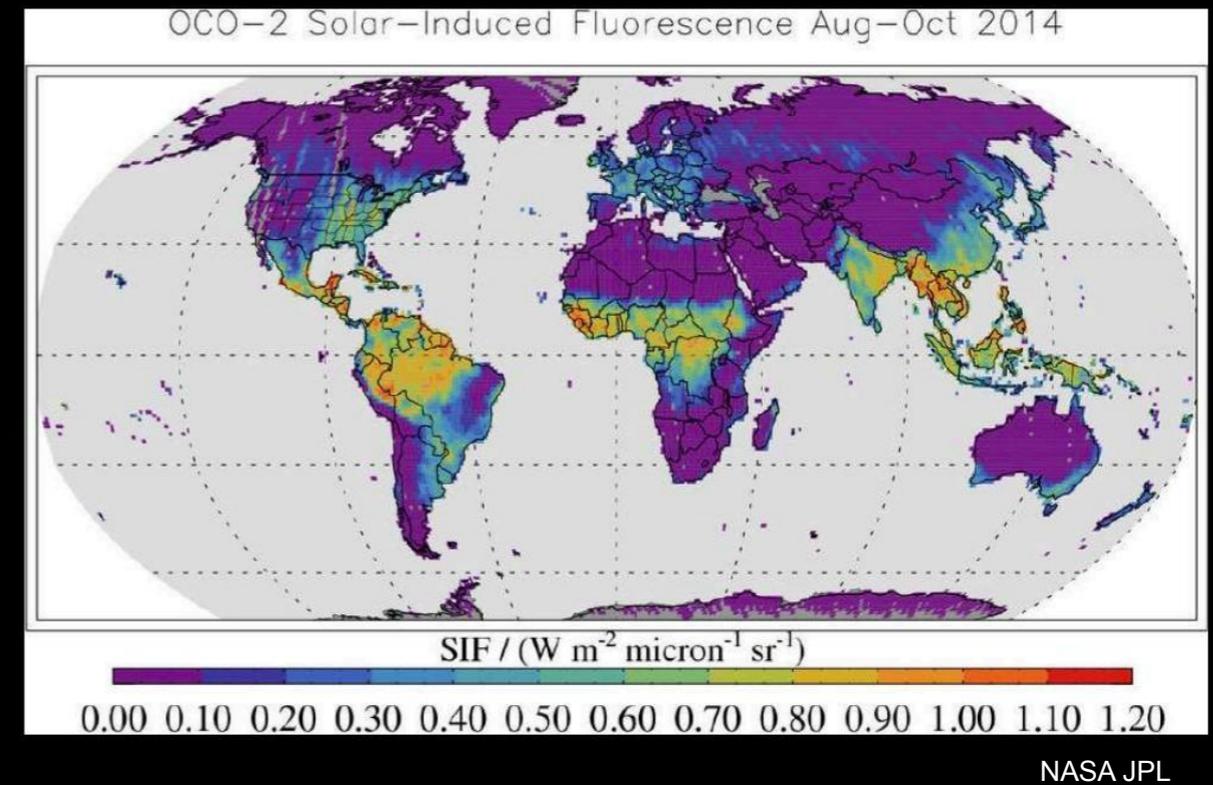


Mesures satellitaires du SIF

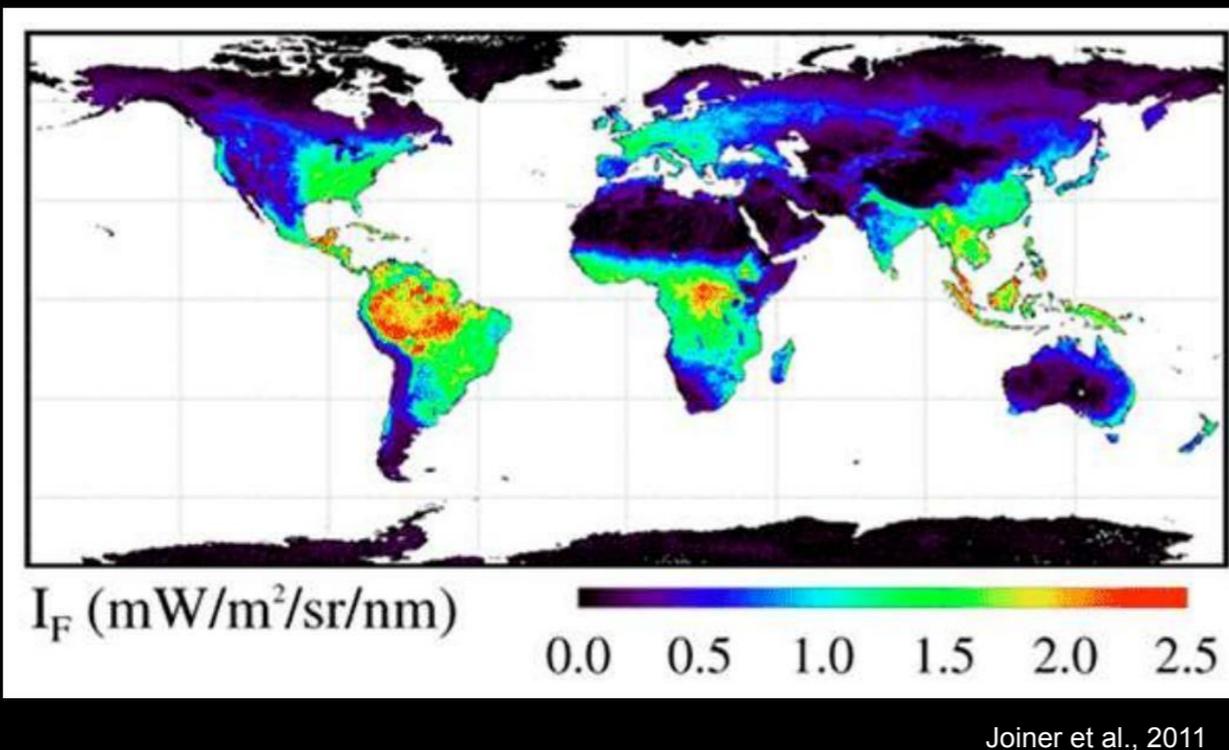
SIF de GOSAT



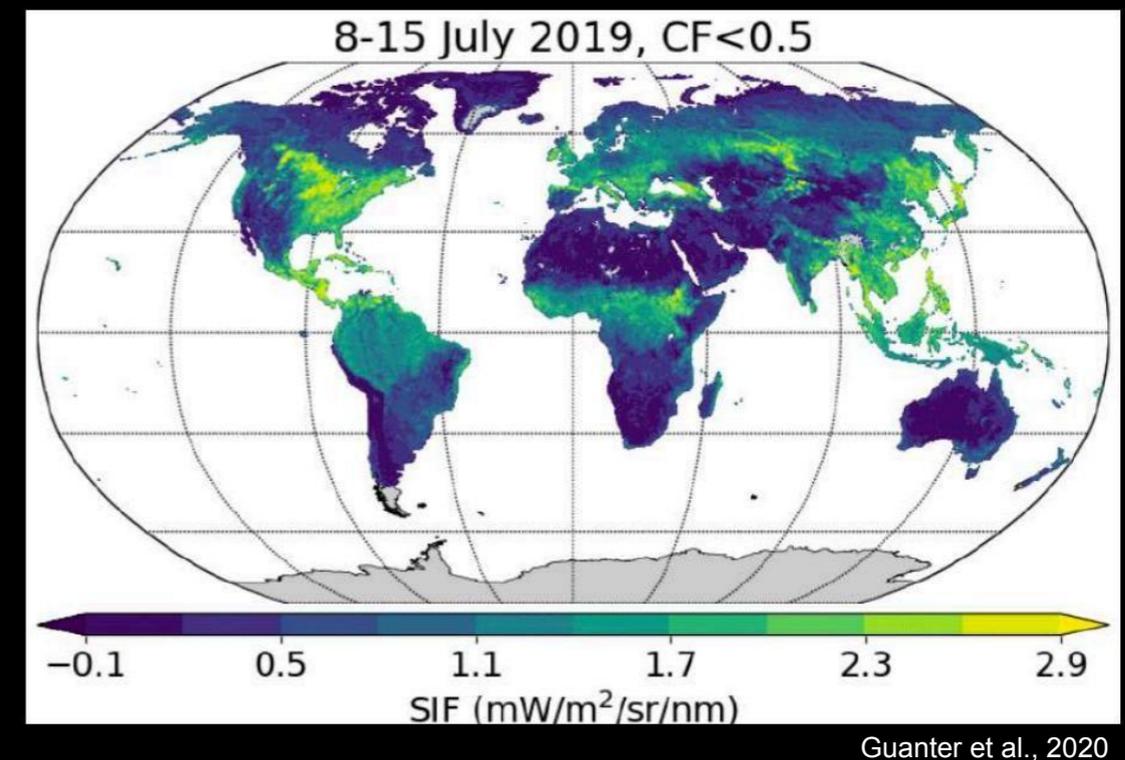
SIF de OCO-2



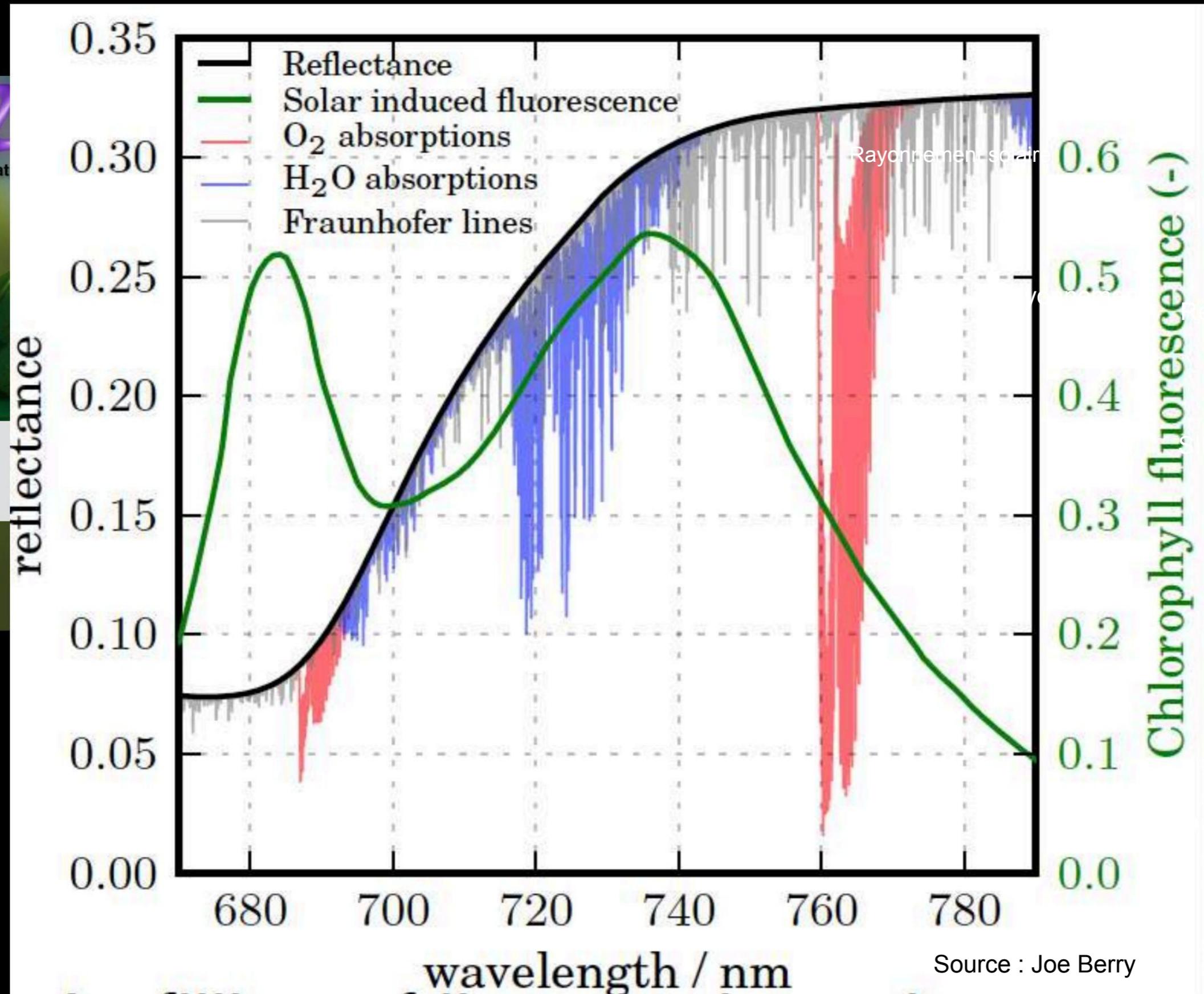
SIF de GOME-2



SIF de TROPOMI



Fluorescence chlorophyllienne induite par le soleil (SIF)



Plantes en développement

Autres produits SIF disponibles :

SCIAMACHY (Joiner et al., 2016)

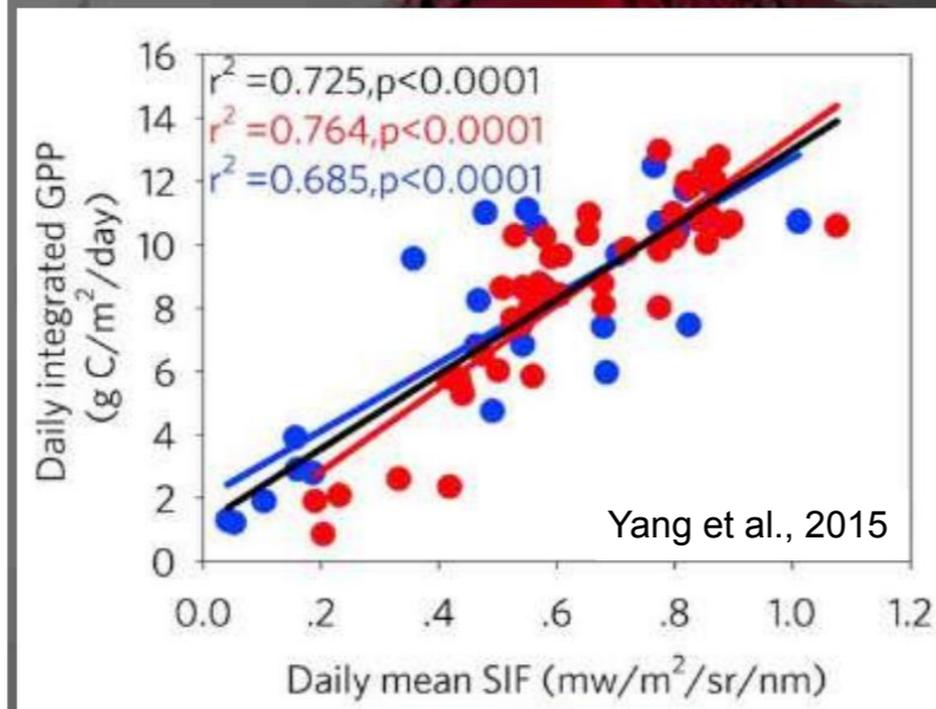
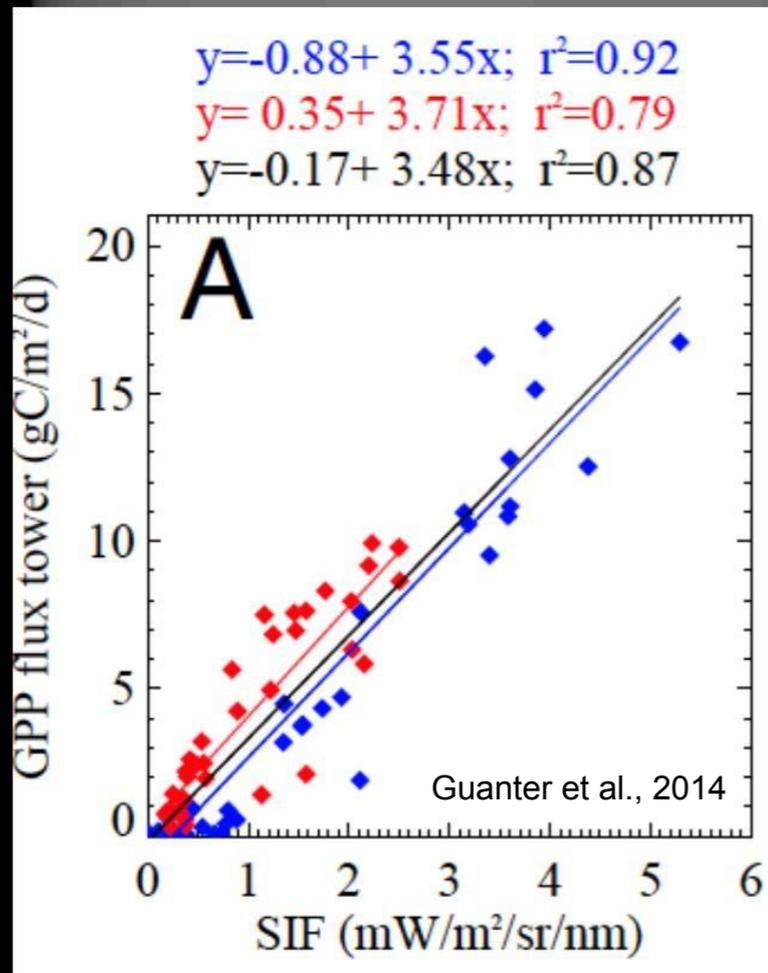
OCO-2 (Sun et al., 2020)

TROPOMI (Kohler et al., 2020)

GOSAT (Frankenberg et al., 2012)

GOSAT-2

TanSat (Liu et al., 2020)



OCO-3 (Premier produit disponible)

GEOCarb (2024)

FLEX (2025)

TEMPO (2022)

Relier le SIF au GPP

$$\text{GPP} = \text{PAR} \times f_{\text{APAR}} \times \phi_p \times 1/k$$

$$\text{SIF} = \text{PAR} \times f_{\text{APAR}} \times \phi_F \times f_{\text{esc}}$$

PAR : Rayonnement photosynthétique actif

f_{APAR} : Fraction de PAR absorbée par les feuilles

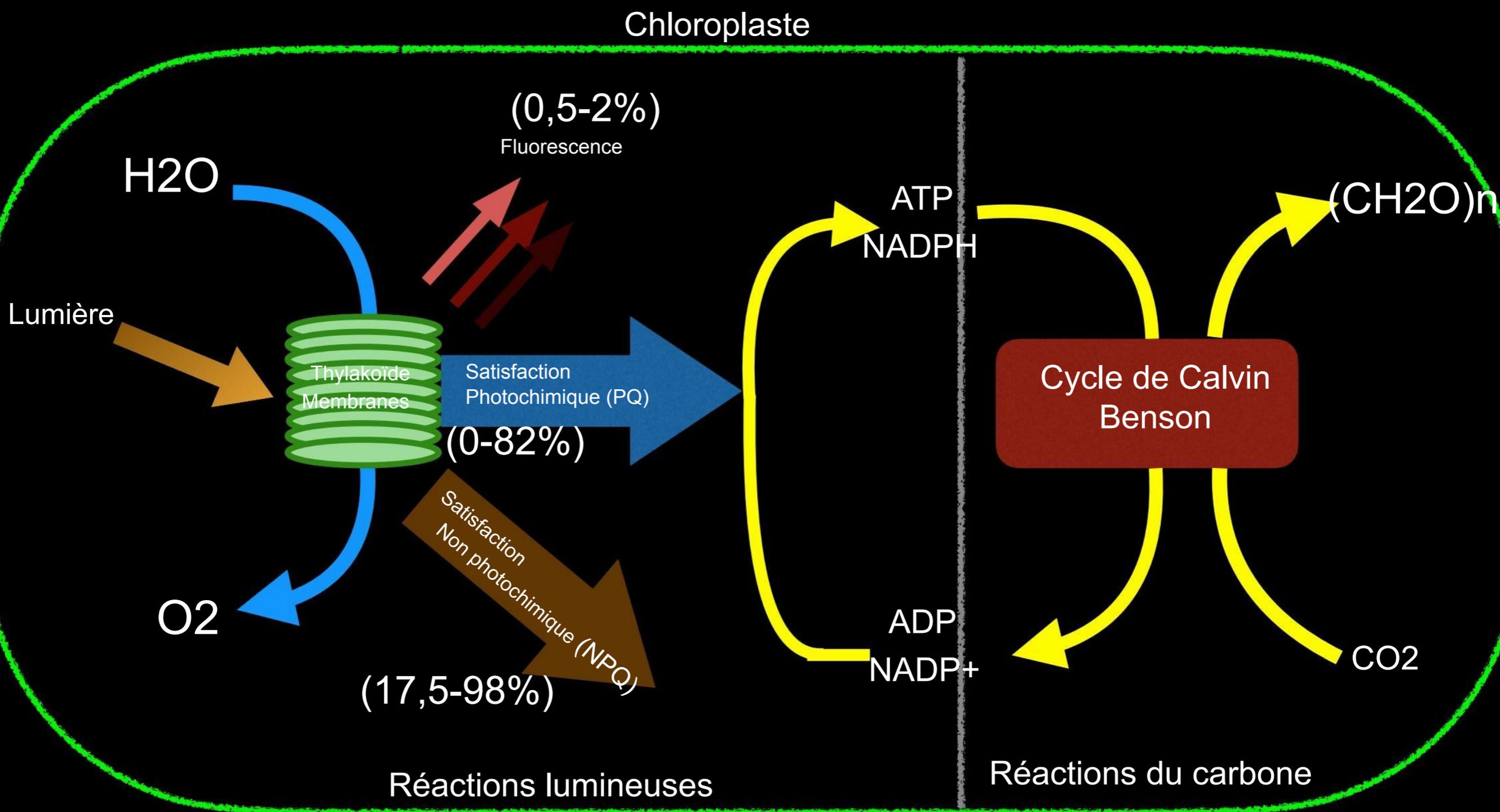
ϕ_p : Rendement photochimique

k : en supposant que la fraction de lumière utilisée par PSII est de 0.5, k est le nombre d'électron équivalents produits par LEF et requis pour réduire une molécule de CO₂.

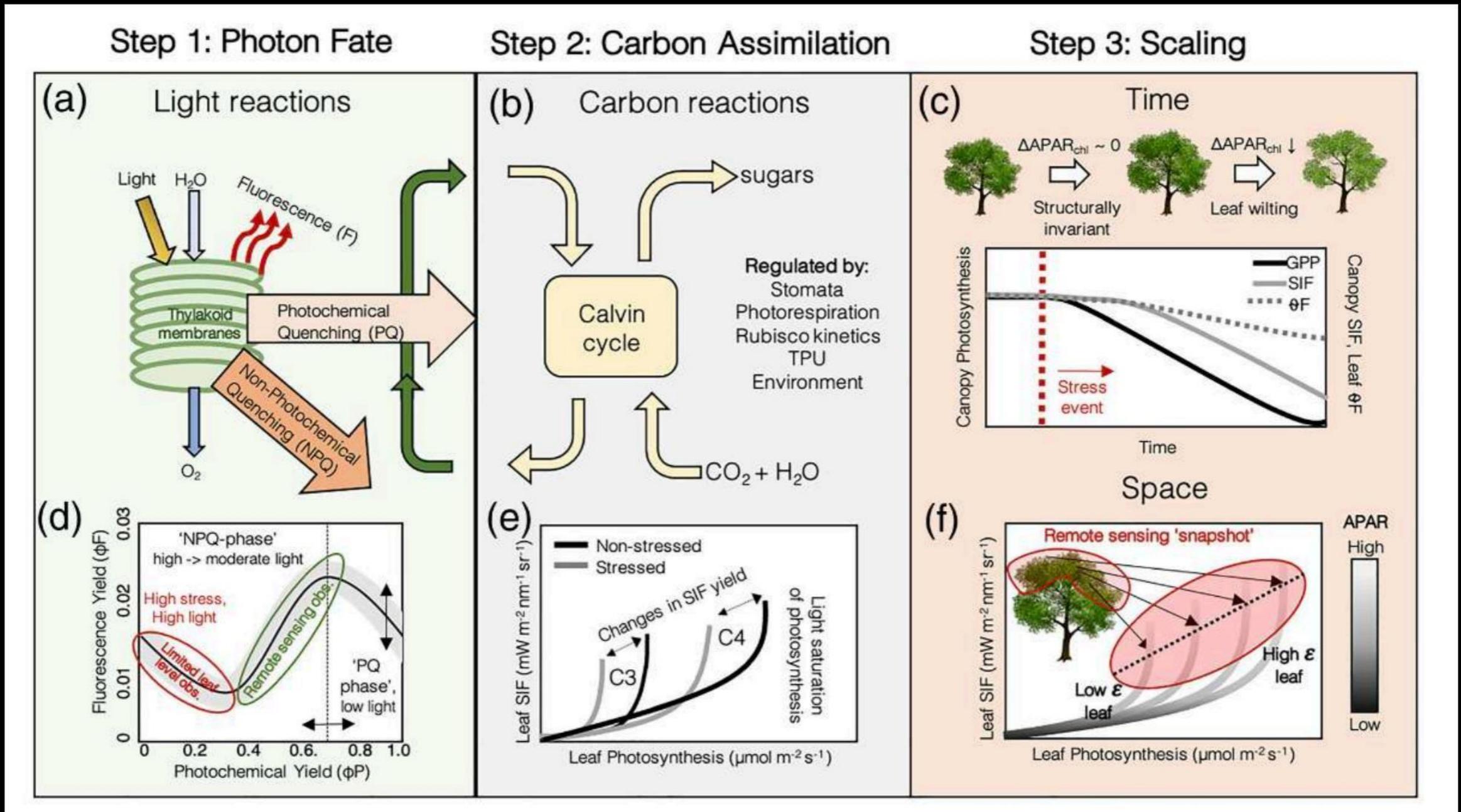
ϕ_F : Rendement de fluorescence

f_{esc} : probabilité d'échappement (structure)

La fluorescence fournit une sonde optique dans le mécanisme photosynthétique



Que vous indique un changement dans le SIF ?



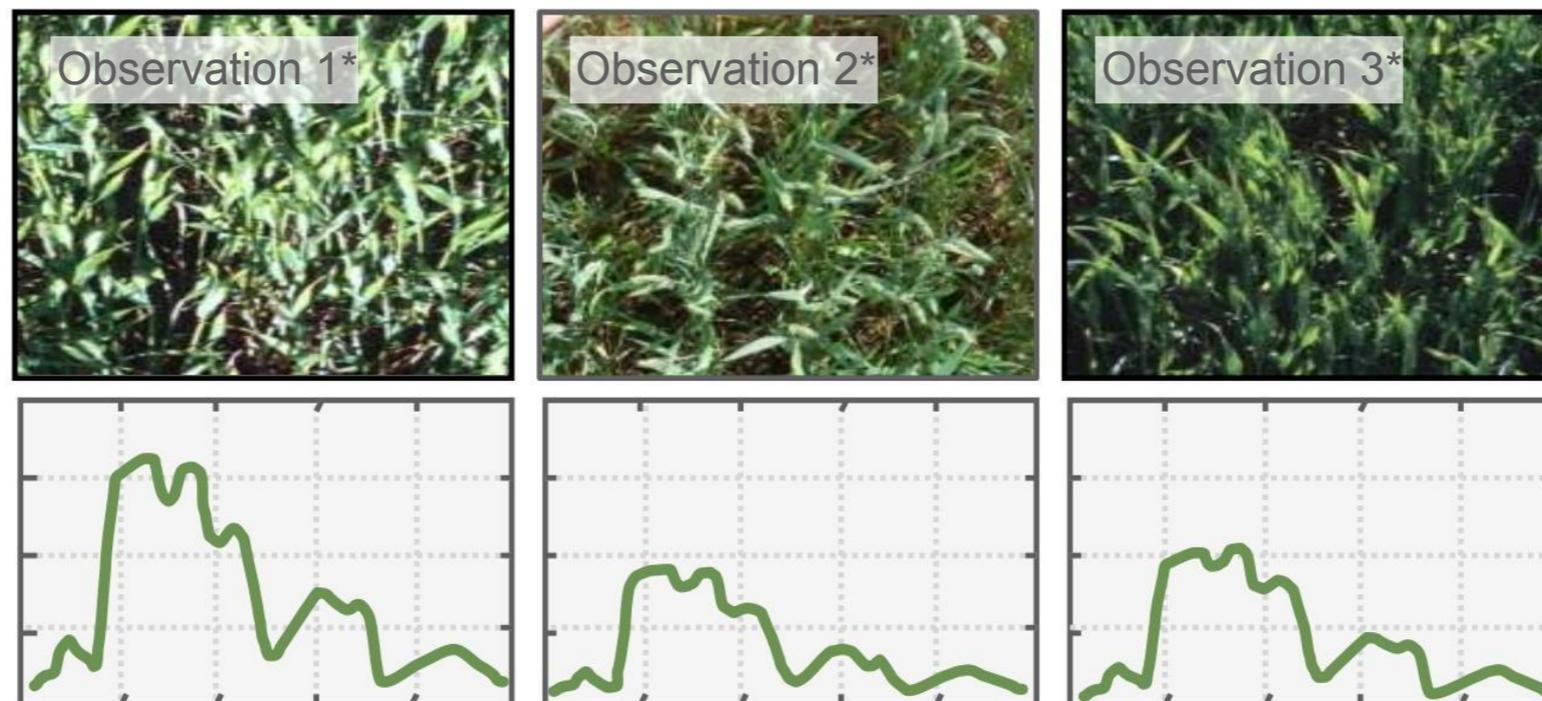
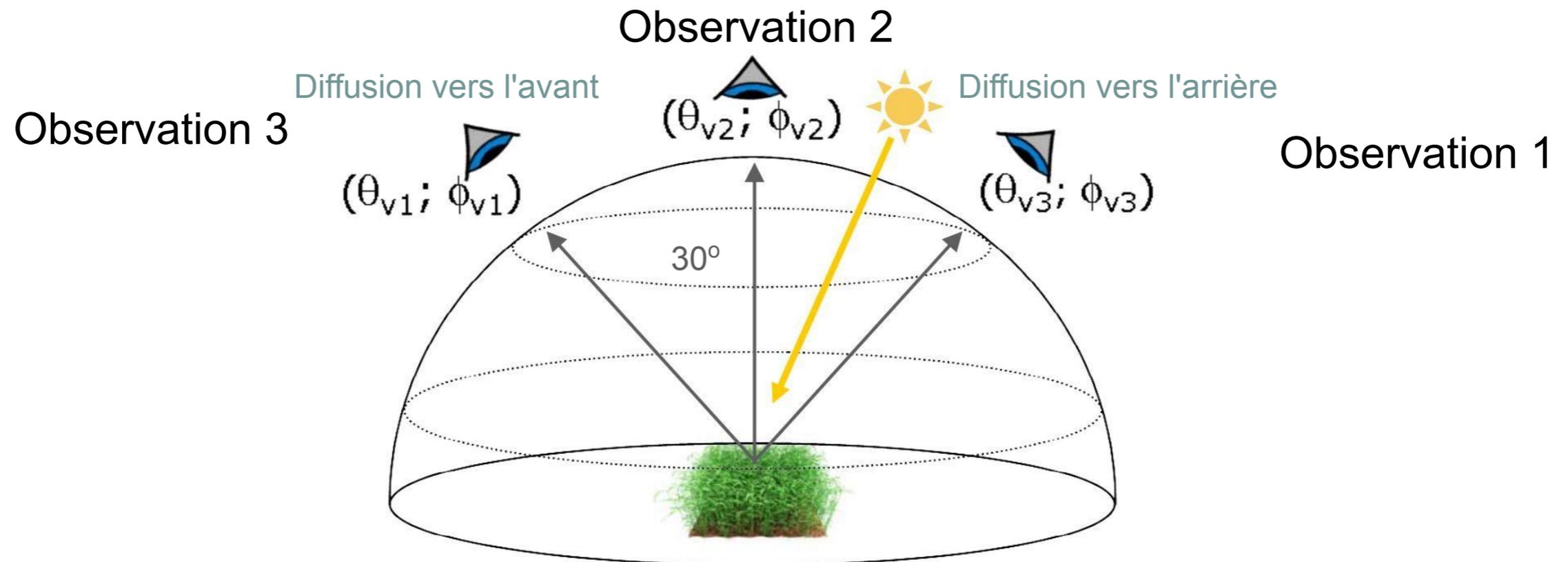
$$\text{SIF} = \text{PAR} * f\text{APAR} * \phi F * f\text{esc}$$

Physiologie au niveau des feuilles : modifications de la teneur en PQ ou en chlorophylle

Structure de la canopée : modifications de la surface foliaire et/ou de l'angle des feuilles

Angle de vue : l'angle d'un capteur par rapport à l'objet est très important

La géométrie du capteur solaire et de l'objet est essentielle en télédétection optique



Fonction de distribution de la réflectance bidirectionnelle (BRDF)



Pluie légère au début du printemps (
初春小雨)

par Han Yu

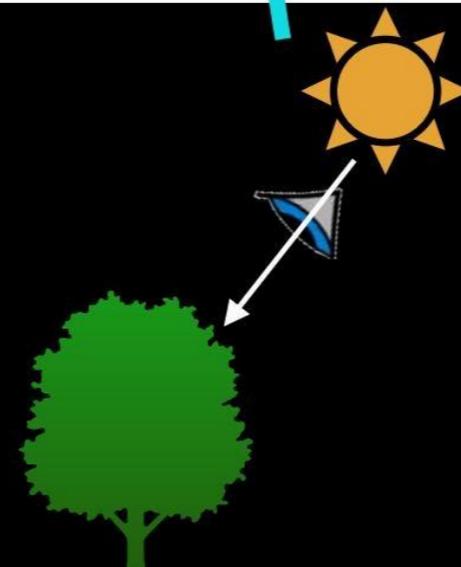
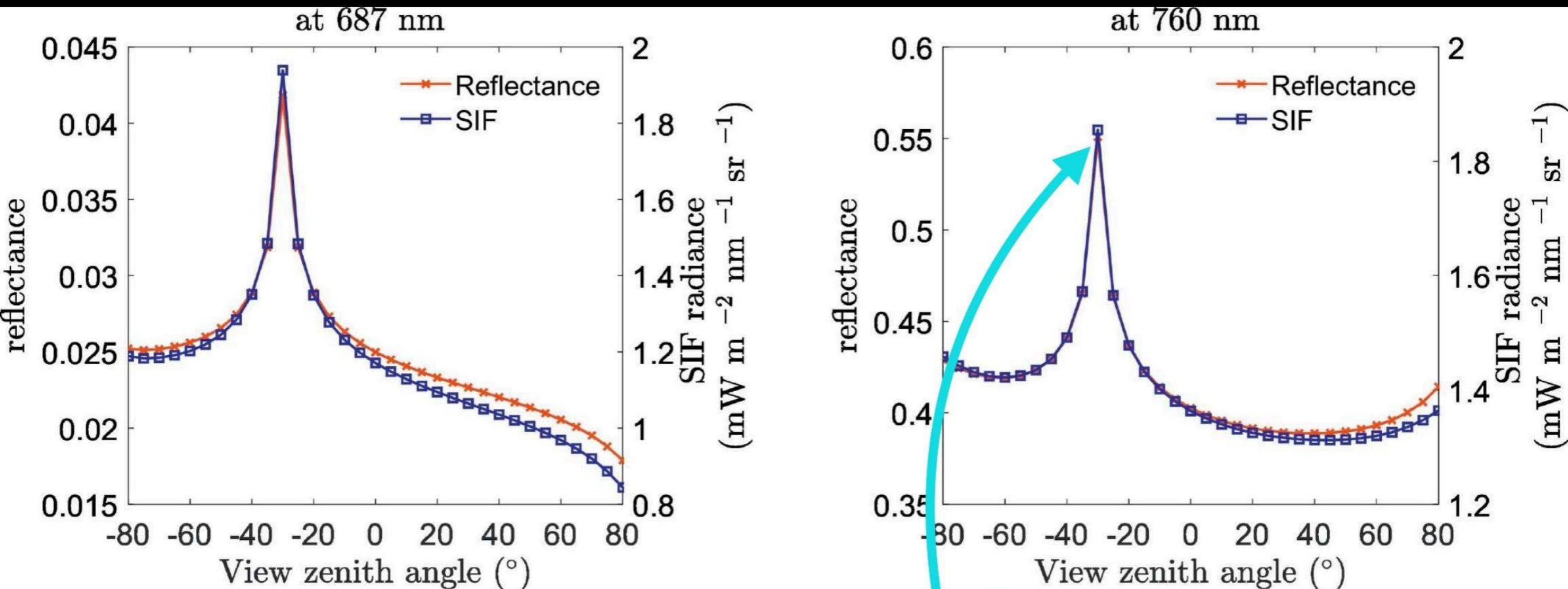
草色遥看近却无

bien que l'on voie la couleur de
l'herbe de loin, si l'on s'approche,
elle n'est plus vraiment là.

Fonction de distribution de la réflectance bidirectionnelle (BRDF)



La géométrie du capteur solaire et de l'objet est essentielle en télédétection optique



Que vous indique un changement dans le SIF ?

GPP ?

Sécheresse?

Transpiration?

Impacts du rayonnement diffus ?

Fertilisation au CO₂ ?

Stress thermique ?

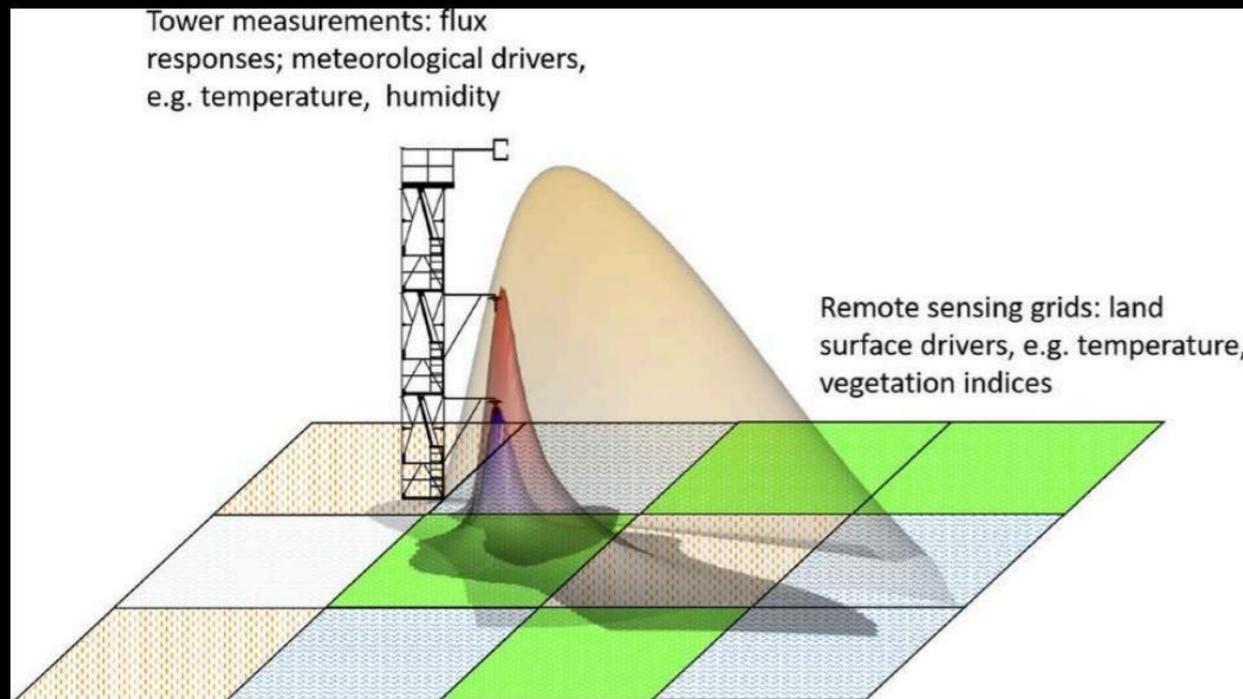
Inondation?

Attaque des insectes ?

Changements dans la composition de la forêt ?

Quelques considérations lors de la liaison de la télédétection avec les mesures des tours à flux

Satellite vs Tour à flux



Metzger 2018

Instruments basés sur une tour optique vs. une tour de flux



Source : Wayne Dawson

- Les données RS doivent correspondre à l'empreinte des mesures d'EC de la tour
- Les mesures optiques et thermiques par satellite ne sont efficaces que par temps ensoleillé
- Pour les écosystèmes à canopée complexe, les mesures satellitaires sont plus sensibles au sommet de la canopée
- N'oubliez pas que le GPP des mesures d'EC de la tour à flux est aussi 'modélisé' avec des hypothèses
- Les indices SIF et de végétation, au mieux, nous renseignent sur la part du transport d'électrons de la photosynthèse

- Les capteurs optiques basés sur une tour ont généralement des footprints plus petits comparativement à ceux d'EC, mais ils peuvent fournir des mesures des individus
- Avec une attention particulière, les systèmes optiques basés sur des tours sont valables pendant les jours nuageux
- Les données de télédétection peuvent fournir des informations au-delà de la GPP !

Synergie des méthodes télédétection

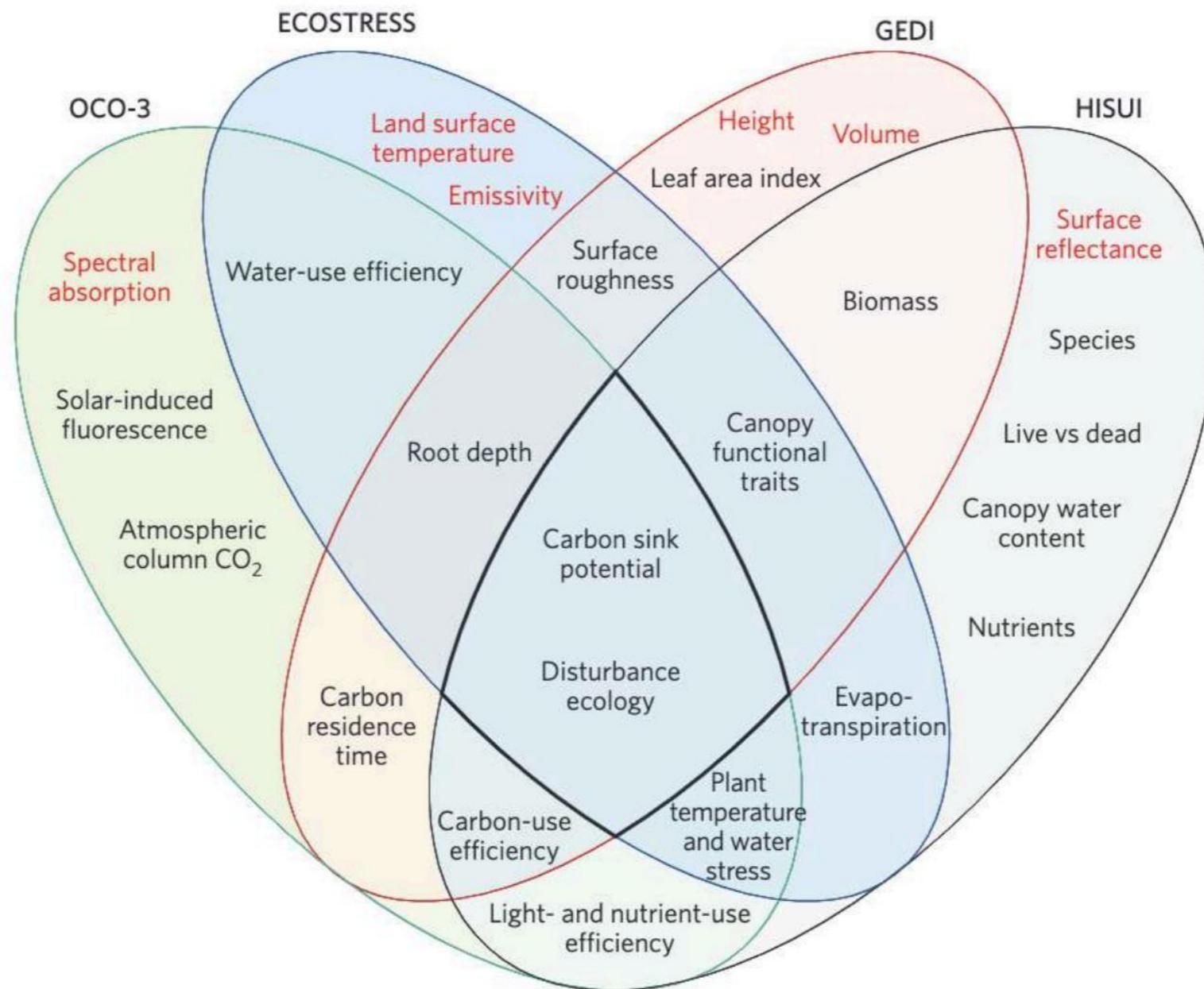
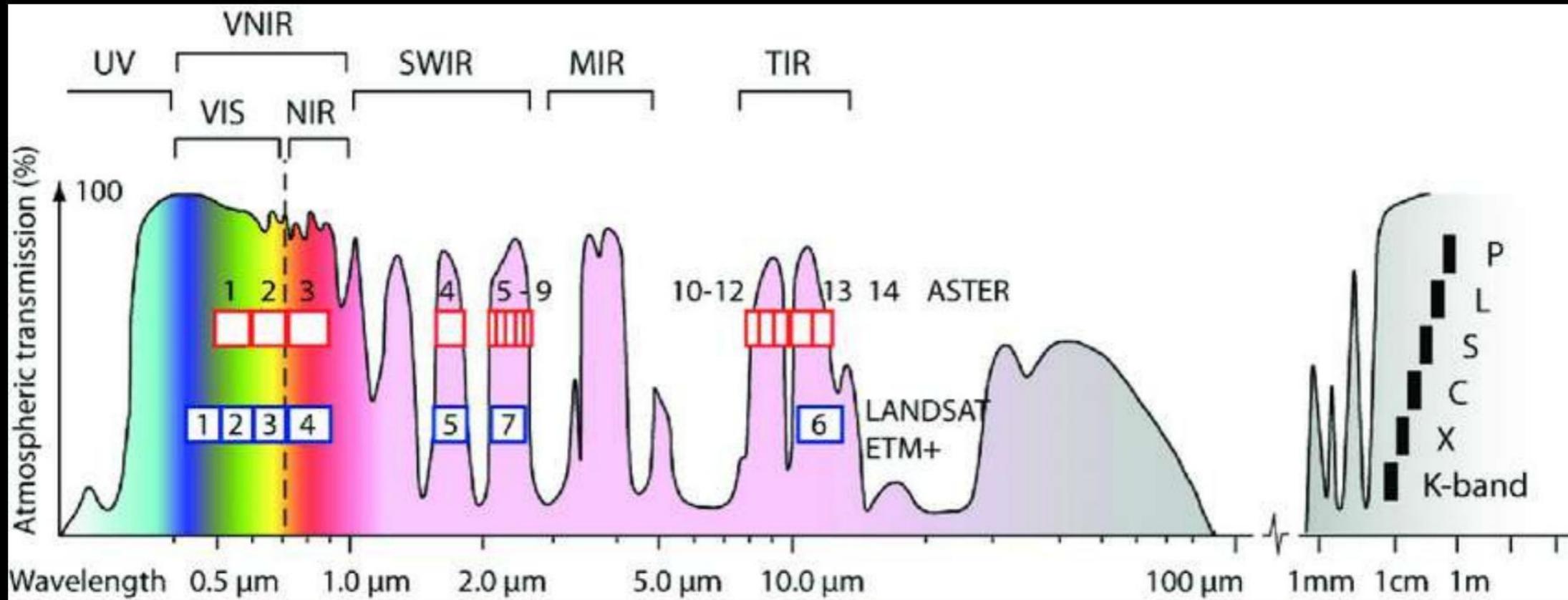


Figure 1 | Spatial and temporal synergy of observations and their applications. A pretzel diagram of observations (red text) from each instrument (coloured shapes) and the synergistic physical parameters that can be derived (black text) when observations are taken at synchronous and complementary spatial and temporal resolutions.

Aperçu des capteurs RS

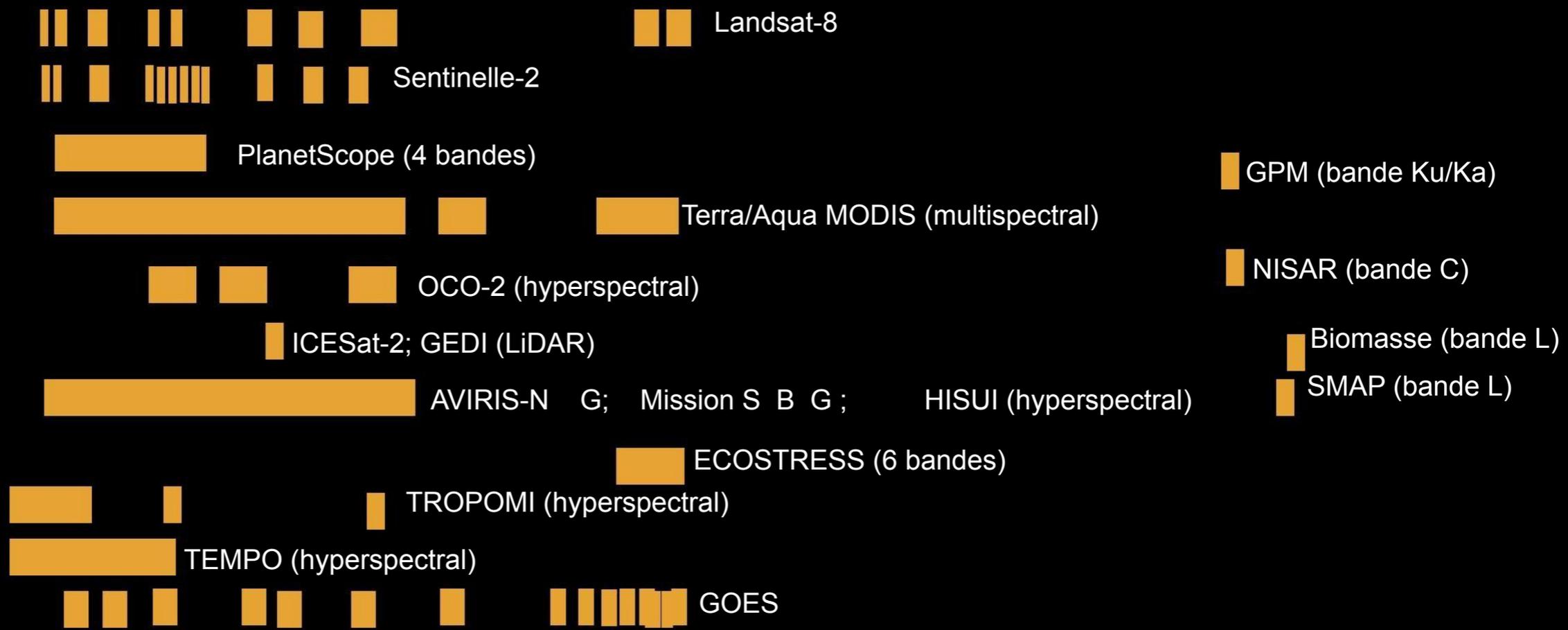


UV Visible NIR SWIR

TIR

SAPIN

Micro-ondes



Compromis entre les résolutions spatiales et temporelles

