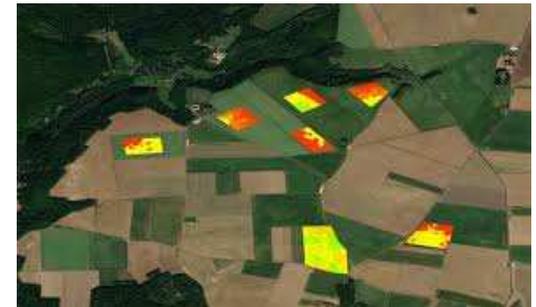


Proxidétection en agriculture

B. de Solan
ARVALIS – UMT CAPTE
b.desolan@arvalis.fr

Le phénotypage : applications

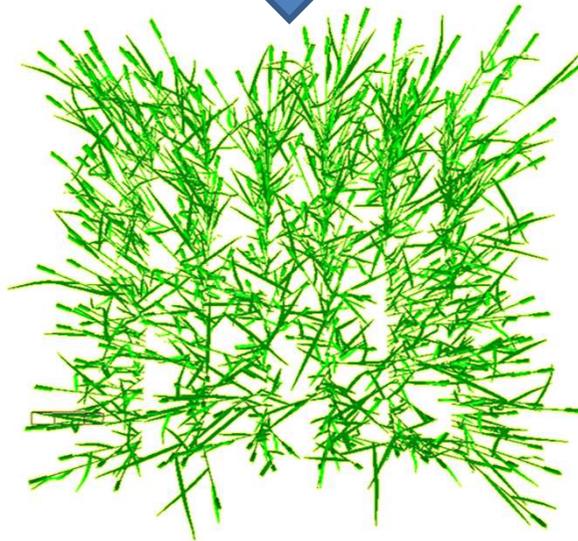
- **Aide à la sélection** (phénomique) : étude du lien entre les gènes et le phénotype. Démarche rigoureuse de caractérisation des liens entre traits et gènes / allèles.
- **Aide à l'expérimentation** : étude des performances de pratiques agronomiques (intrants, système de culture, ...)
- **Aide à la décision** (Smart Agriculture) : caractérisation de l'état des cultures au cours de la saison pour ajuster les préconisations, déclencher des alertes, etc.



Les capteurs permettent de disposer des observations nécessaires avec les résolutions spatiales et temporelle nécessaires

Le phénotype

Pratiques
culturales



Phénotype
Etat de la culture

Matériel
génétique de la
plante

Environnement

Climat

Pathogènes,
ravageurs, adventices

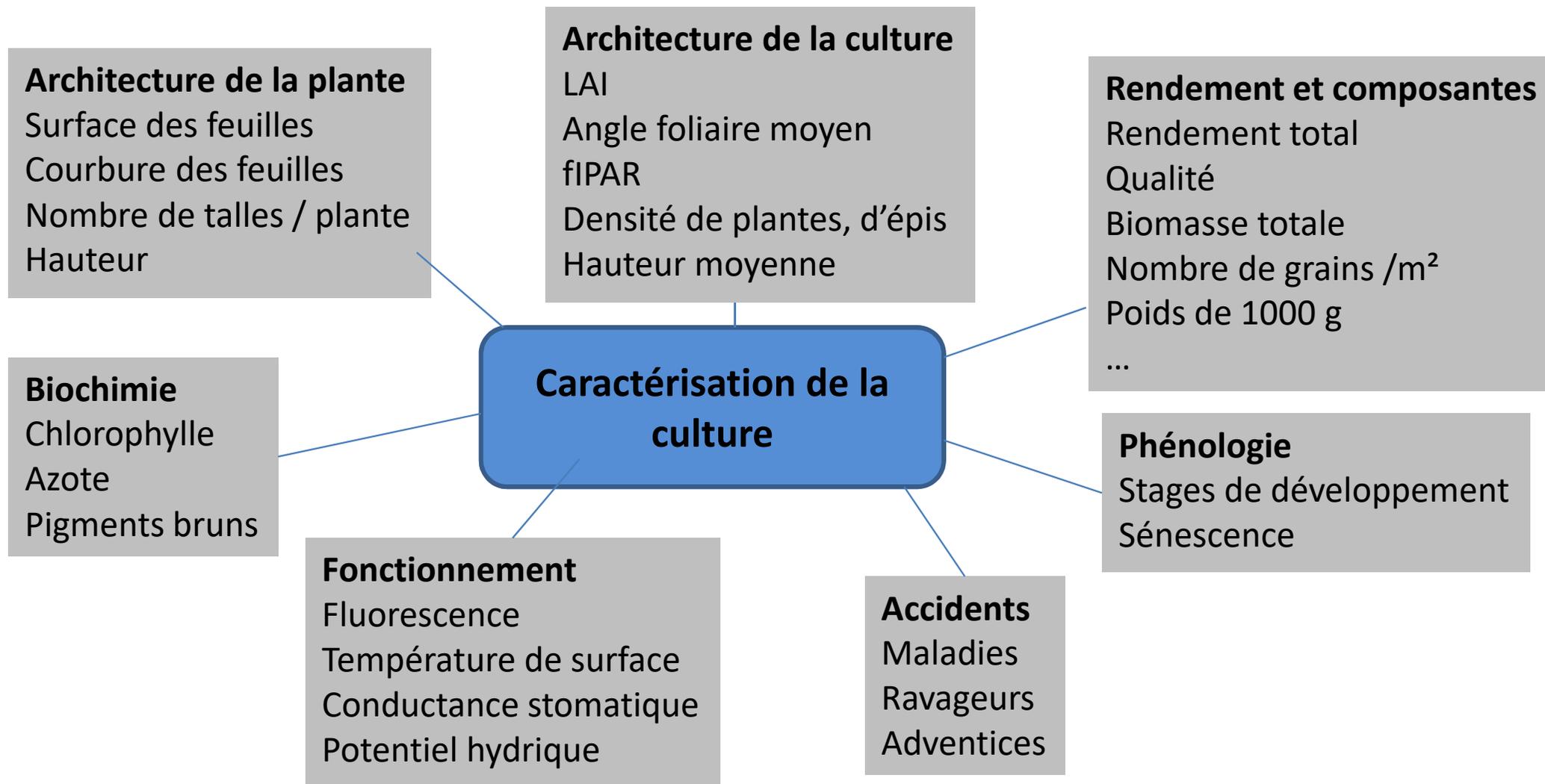
Sol

Plan

- Les principaux types de capteurs en agriculture
- Les méthodes d'analyse des données
- Applications

Sol, plante, air :

La culture et son environnement

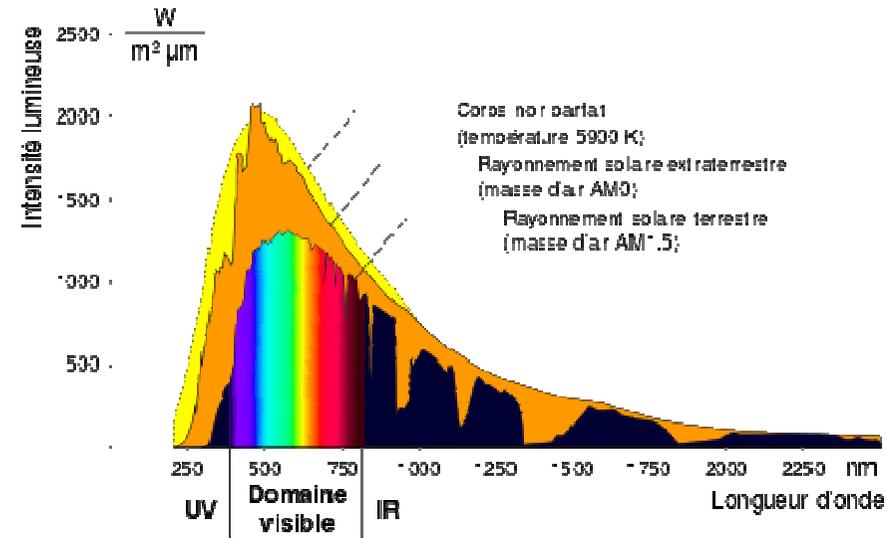
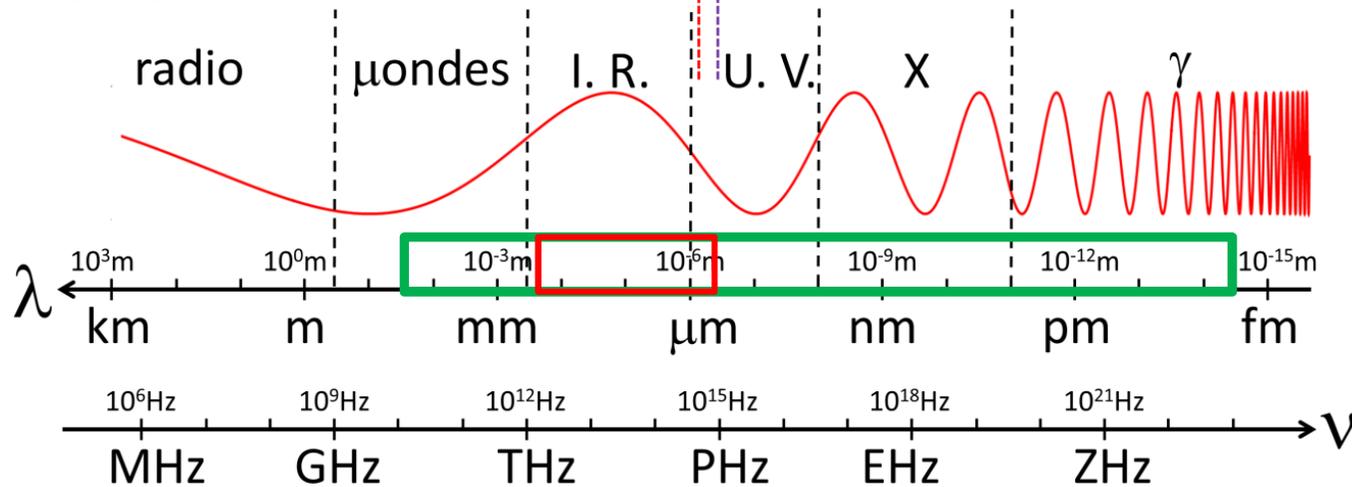
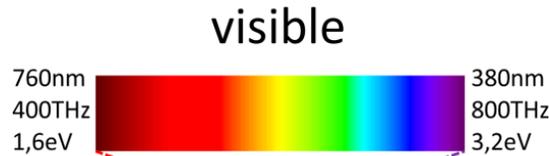


La télédétection

Les différents domaines spectraux

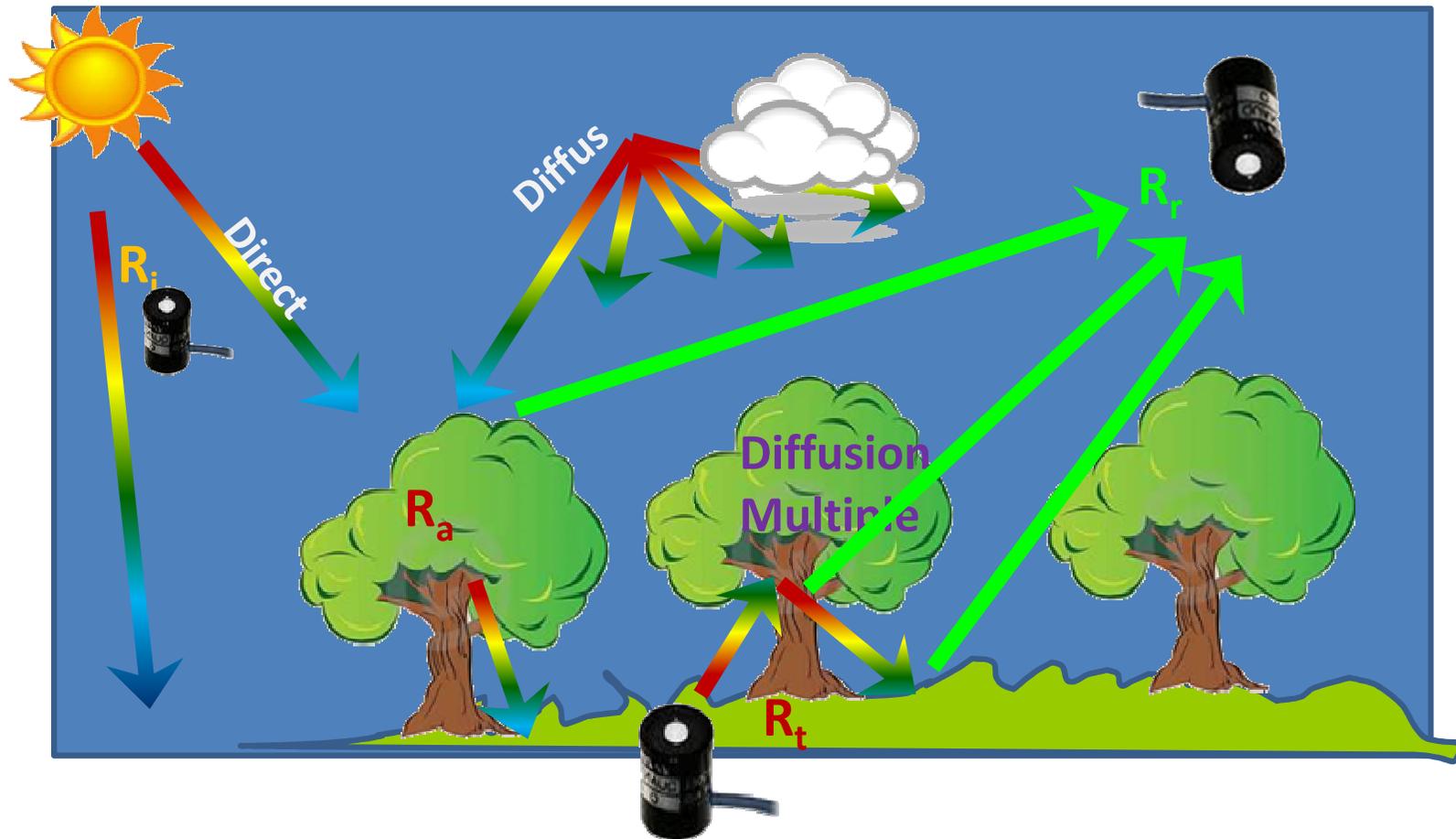
La télédétection est l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci.

Télédétection
Optique

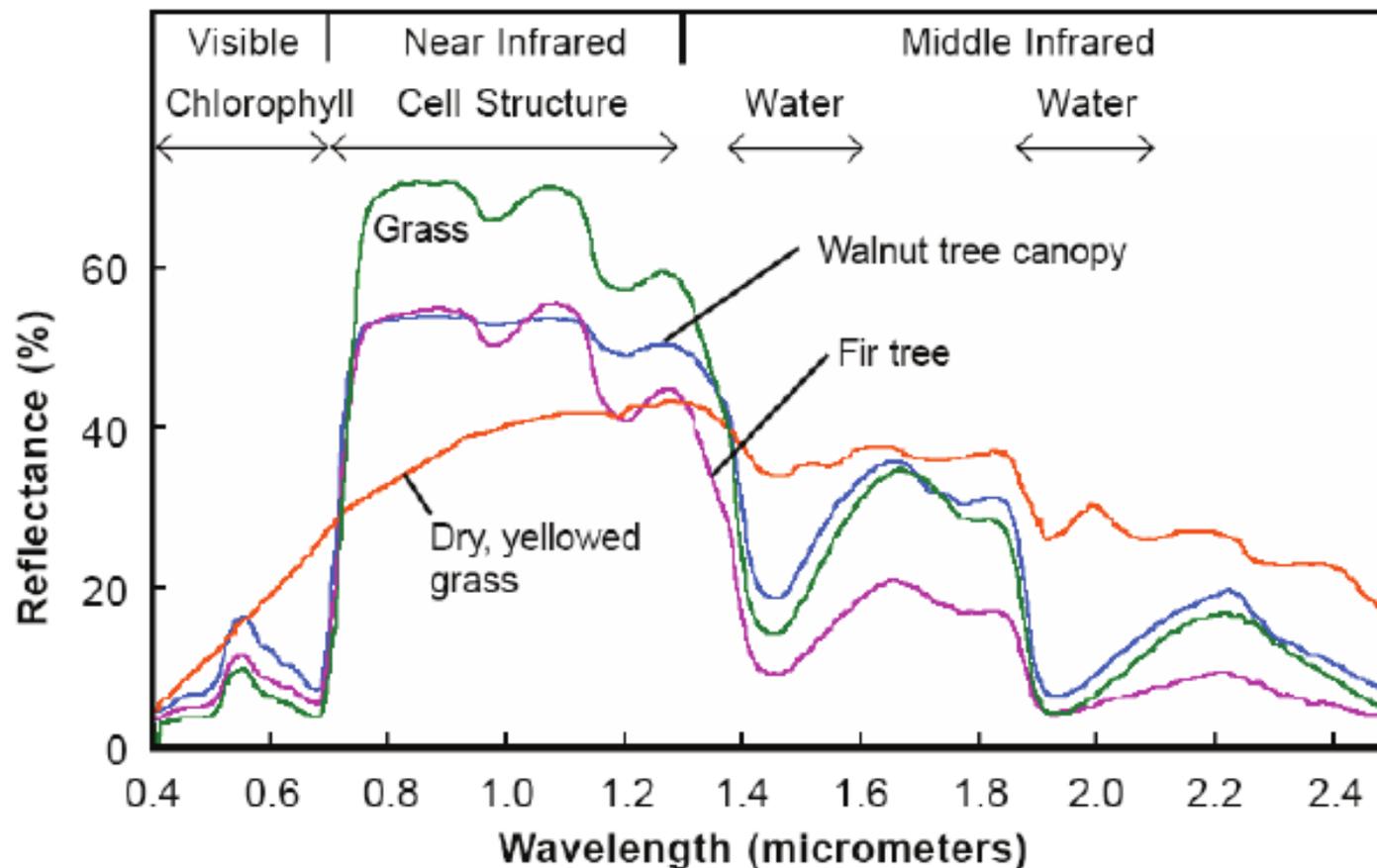


Domaine réflectif solaire

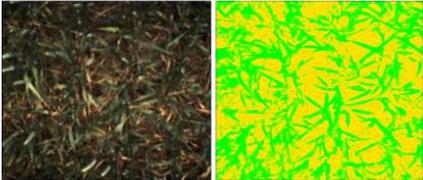
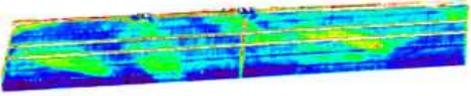
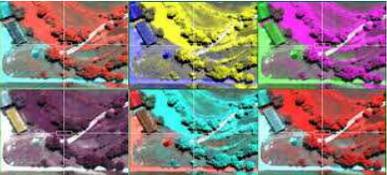
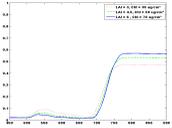
Capteurs optiques : mesure de l'interaction du rayonnement avec la végétation



Principales caractéristiques accessibles par télédétection selon la zone spectrale

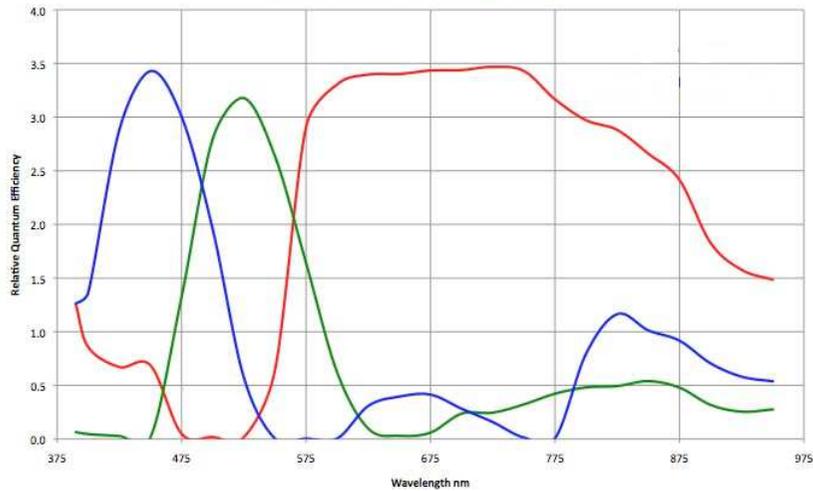
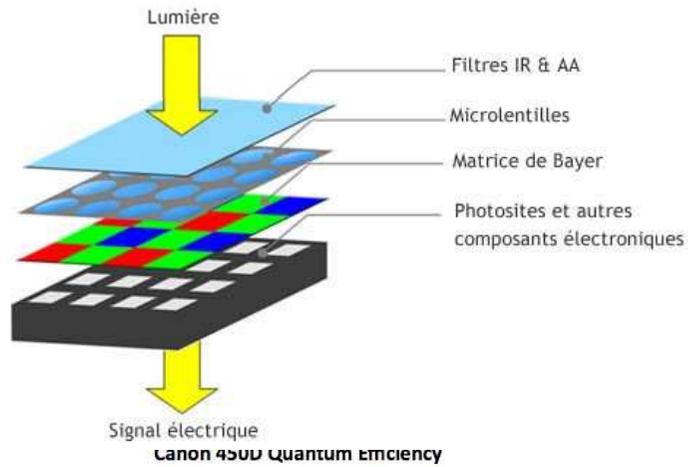


Les principaux capteurs optiques

			Utilisations
	Camera haute résolution/RVB		<ul style="list-style-type: none"> • Identification adventices • Enherbement • Taux de couverture verte • Développement foliaire • Comptage de plante • Dégâts de nuisibles • Biomasse, risque de verse
	LIDAR Mesure de distance et profondeur (LIDAR-stéréo)		<ul style="list-style-type: none"> • Structure • Port du couvert • Interception lumineuse • Expérimentation
	Caméra IR thermique		<ul style="list-style-type: none"> • Température de surface • Stress hydrique • Pilotage de l'irrigation
	Camera multispectrale		<ul style="list-style-type: none"> • Développement • Statut azoté/chlorophylle • Stress • Pilotage de l'azote
	Spectromètre		<ul style="list-style-type: none"> • Chlorophylle/statut azoté • Stress (hydrique, ...) • Développement • Composés de la plante

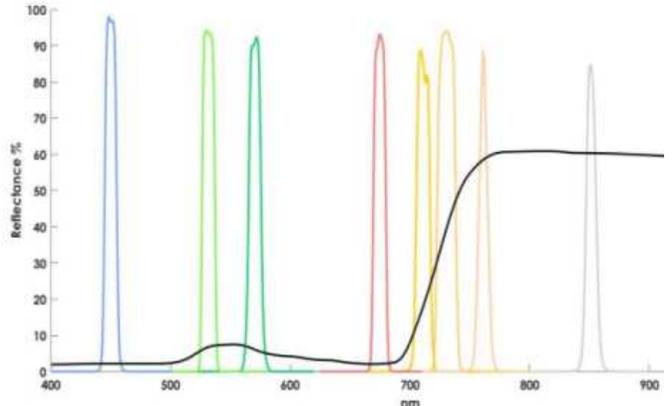


Caméra RGB

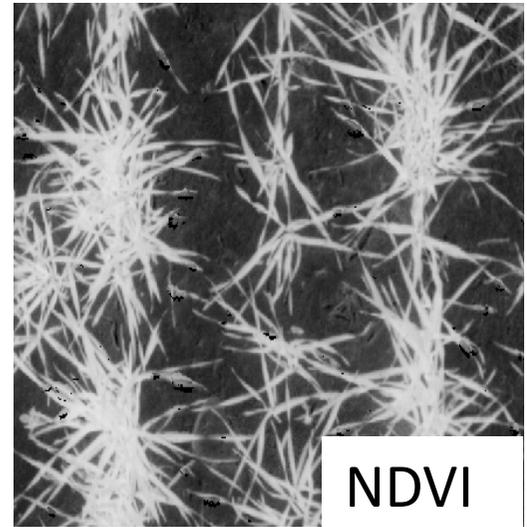
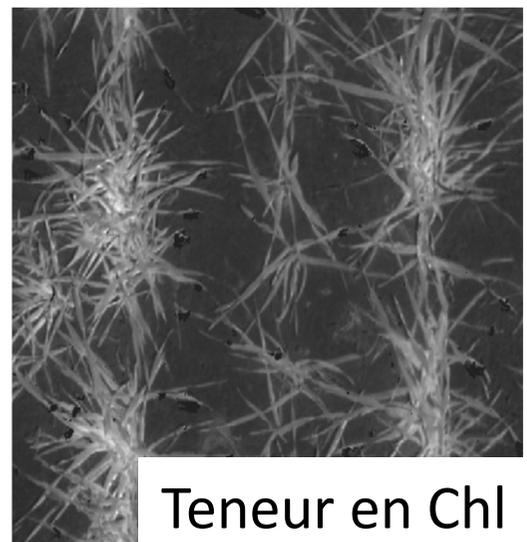




Caméra multispectrale



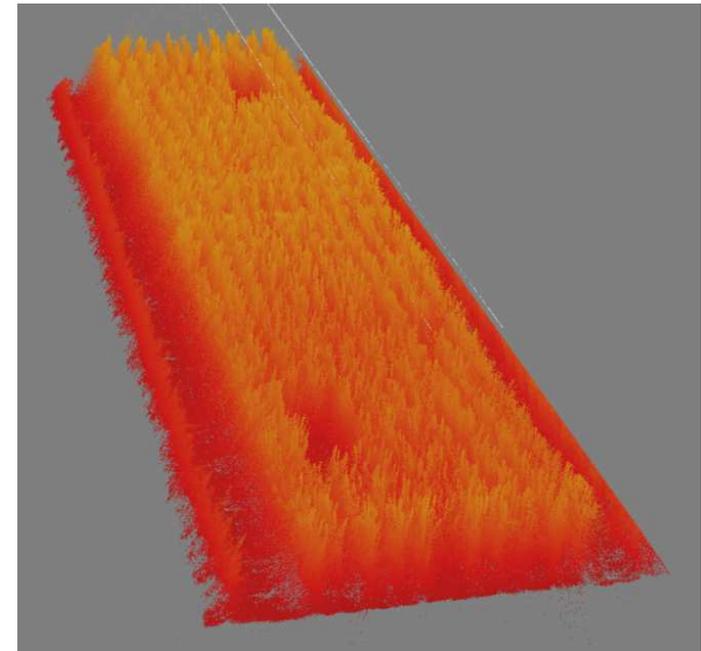
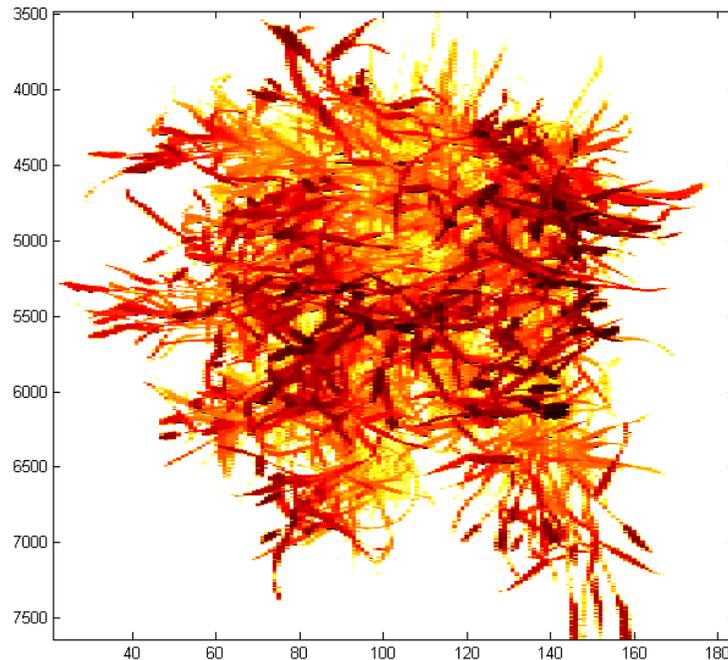
Composition colorée [850, 675, 530] nm





Lidar

(Light induced detection and ranging)



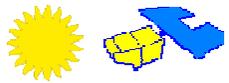
Emission : Source laser dans une longueur d'onde

Réception :

- Temps de retour du signal (temps de vol) -> distance au capteur
- Intensité du signal retourné -> réflectivité de l'objet détecté

Les 4 dimensions de la télédétection

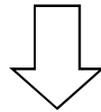
$$\rho(\underbrace{\Omega_v, \Omega_s, x, y}_{\text{Géométrie}}, \underbrace{t}_{\text{Date d'acquisition}}, \underbrace{\lambda}_{\text{Radiométrie}})$$



Géométrie

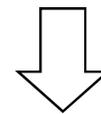


Résolution



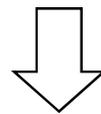
Information spatiale

Date d'acquisition



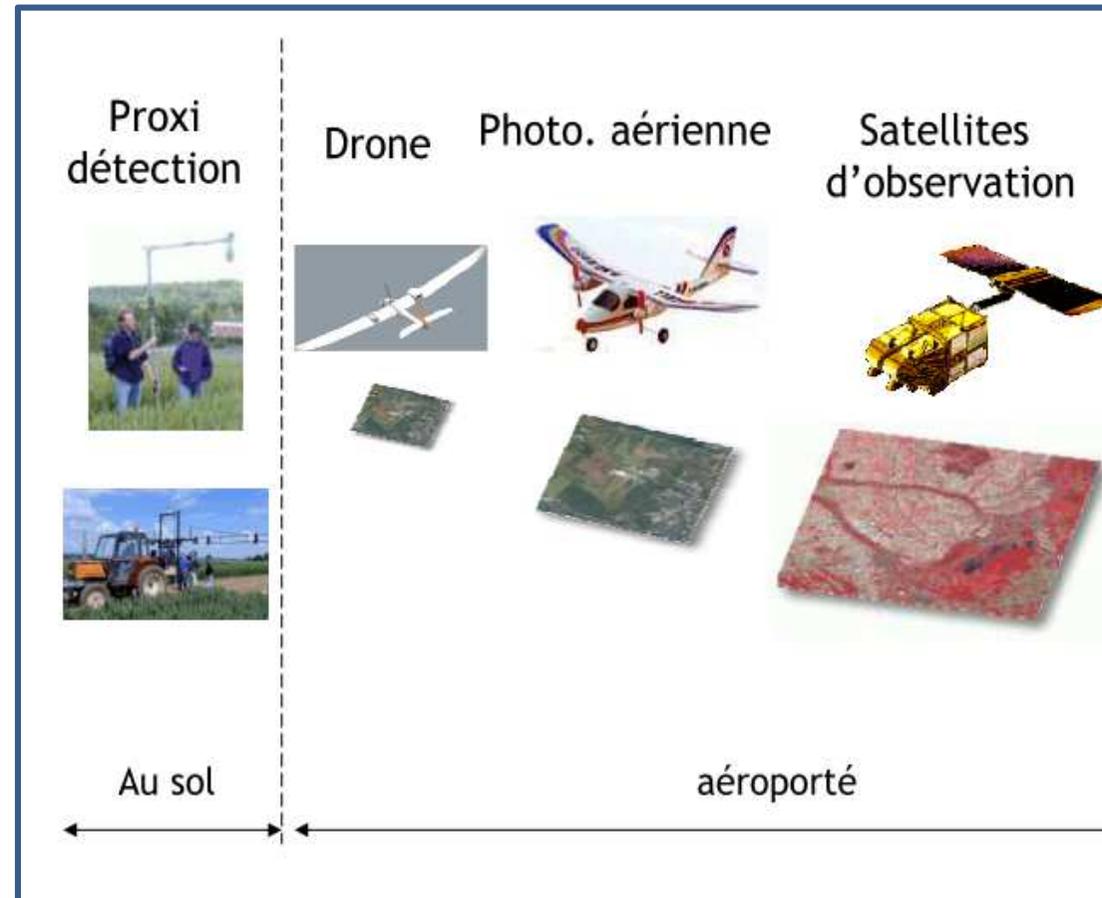
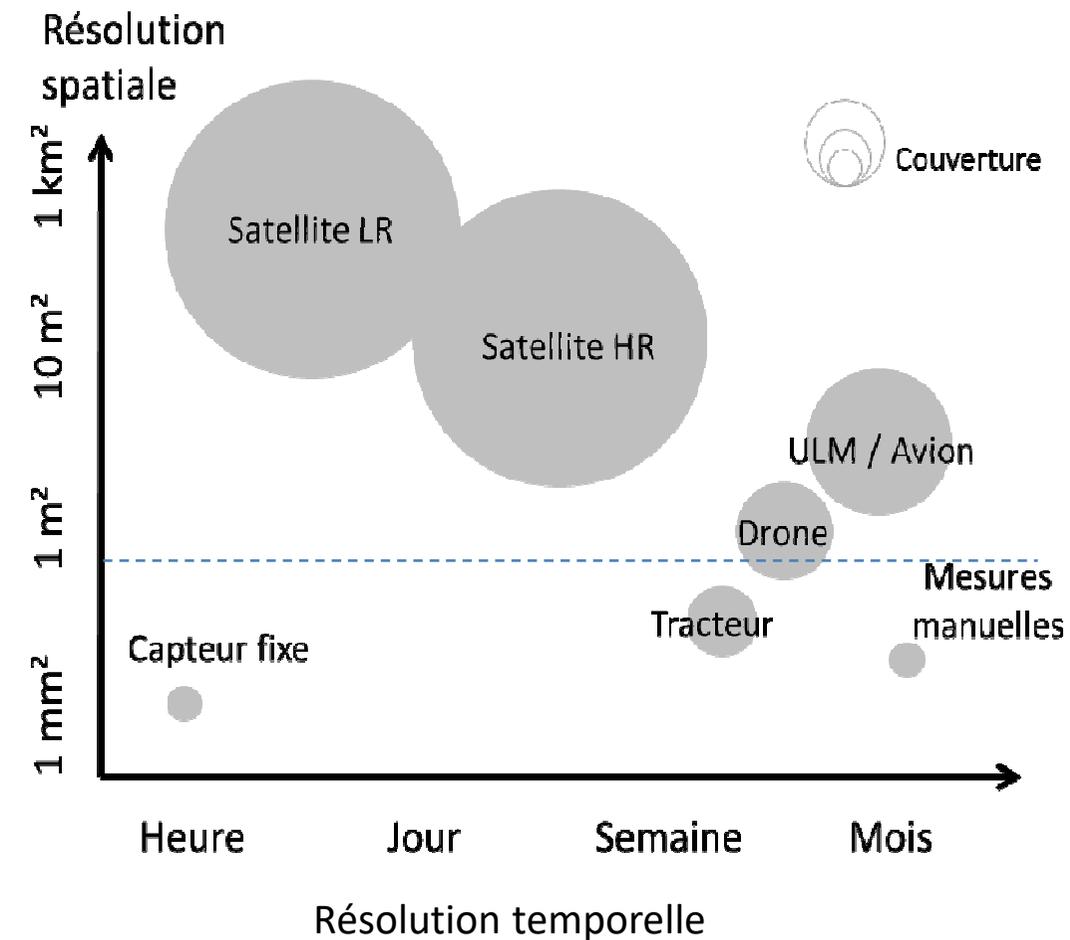
Information temporelle

Radiométrie



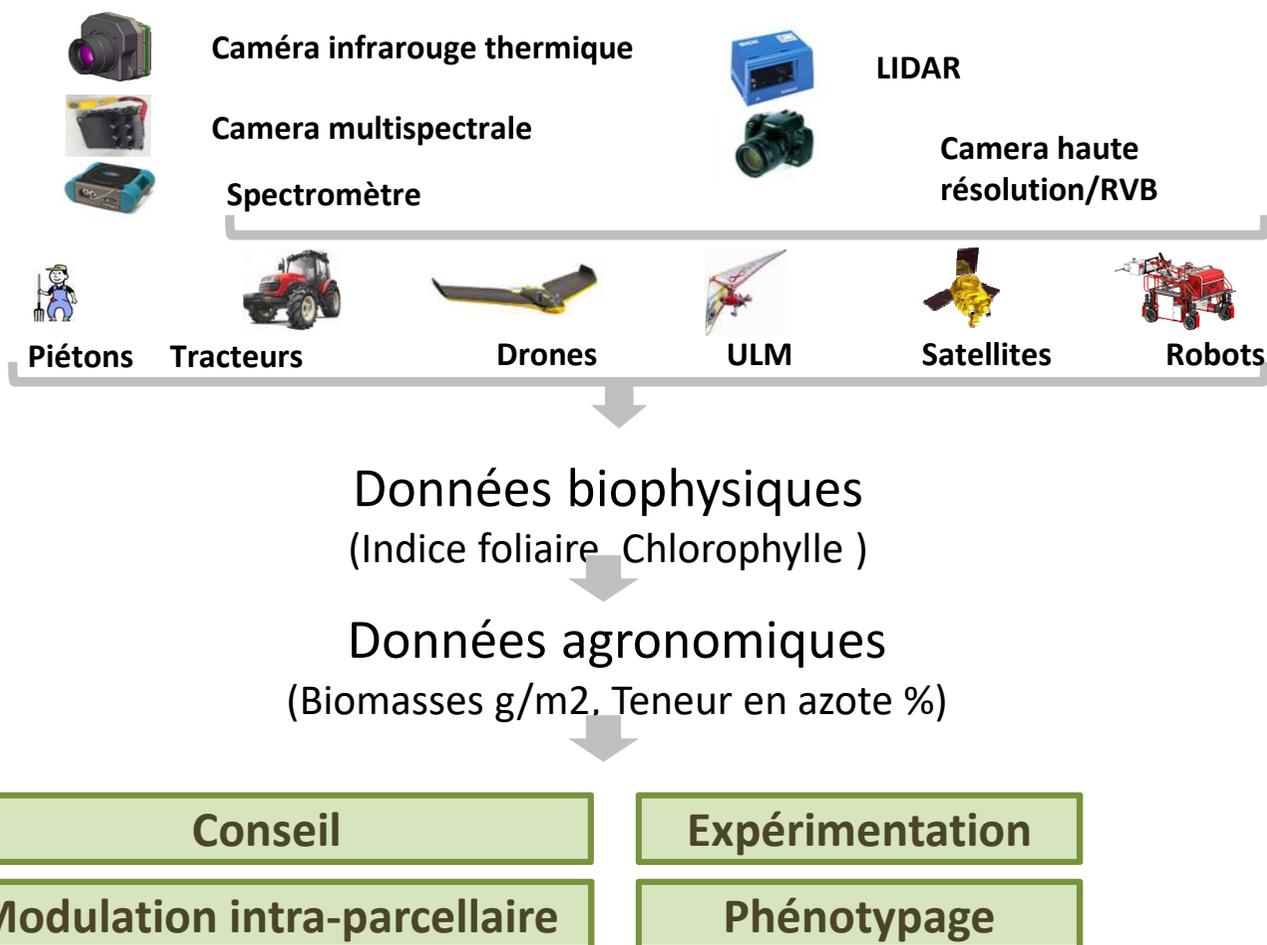
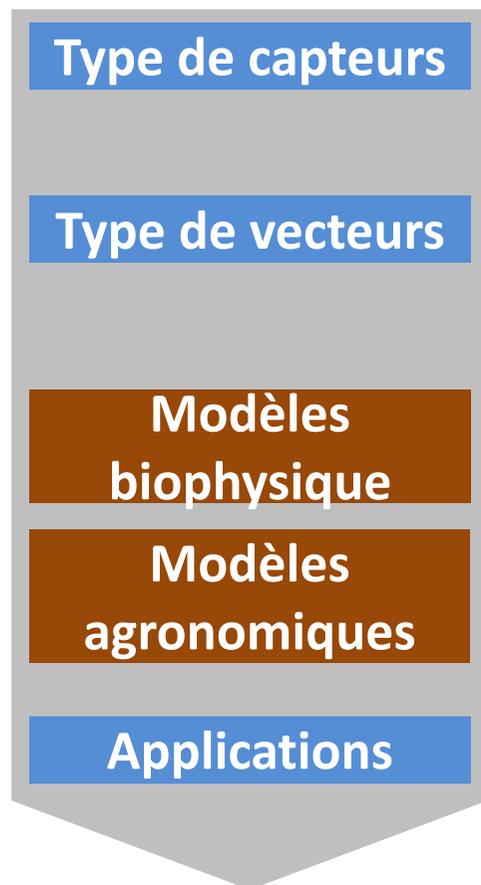
Information spectrale

Capteur / vecteur

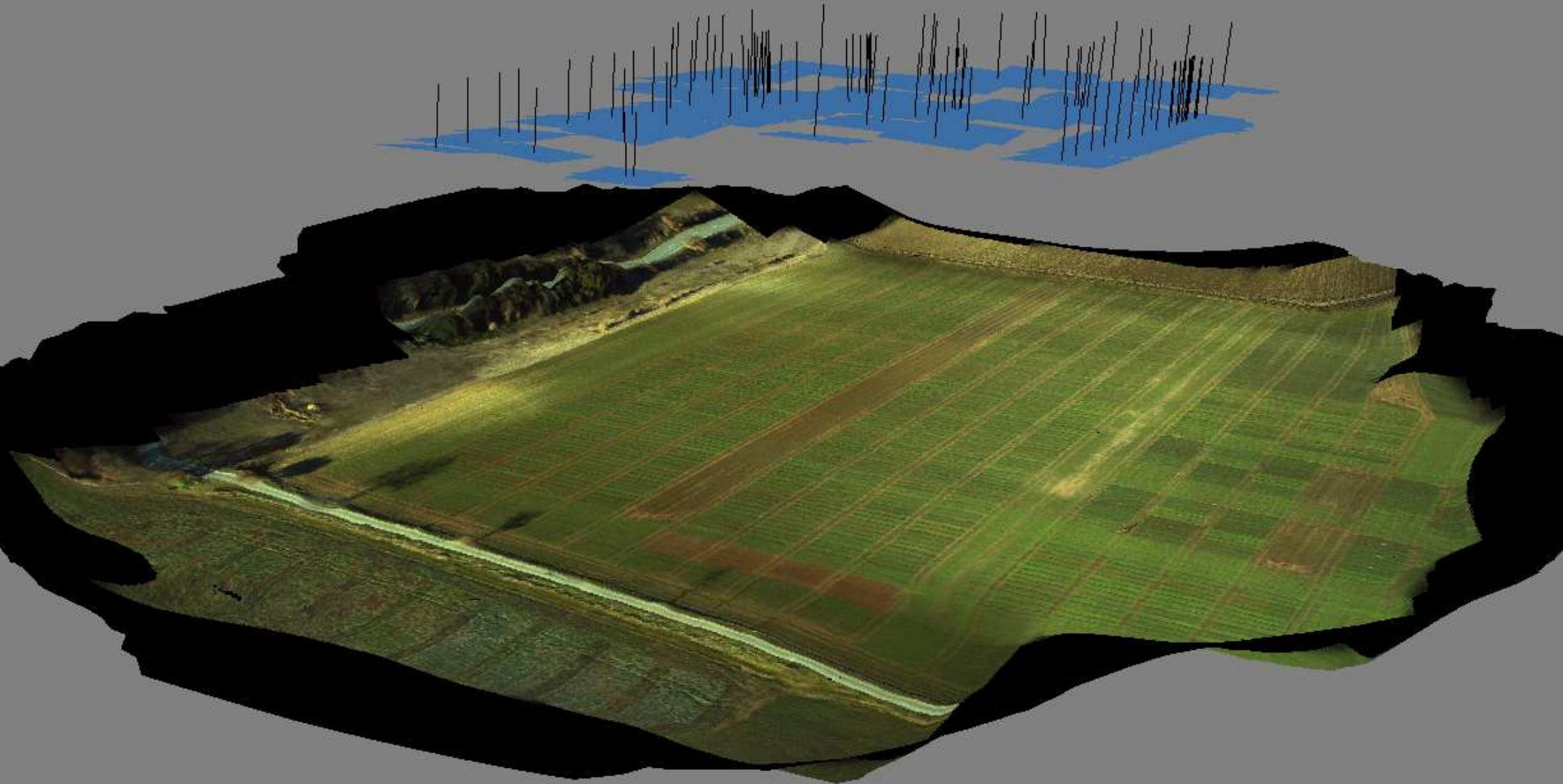


Un compromis technico-économique et une forte complémentarité

Capteurs, vecteurs, modèles, conseils



Méthodes d'analyse des données capteurs



Méthodes d'analyse des données capteurs

- Analyse d'image et vision artificielle
 - > Comptage, identification de formes, objets
- Analyse 3D
 - > Hauteur, architecture de la culture
- **Analyses biochimiques**
 - > **Biochimie de la feuille et de la culture**

Analyse biochimique

- **Pour les objets “simples”** (feuille, grain, sol), en conditions contrôlées
 - Chambres de cultures : “on cultive le champ dans un labo” : pas forcément représentatif des conditions réelles, taille limitée
 - Analyses de laboratoire : “on transporte le champ au labo” : destructif
 - Outils d’analyse portable type pince : “on transporte le labo au champ” : conditions moins contrôlées

Etalonnage efficace

Mesure de référence = $f(\text{mesure capteur})$

- **Pour les objets “complexes”** (échelle du couvert), en conditions non contrôlées
 - Indice foliaire, contenu en azote du couvert végétal, ...
 - On utilise des variables que l’on sait interpréter

Modélisation pour prendre en compte différents facteurs de variation

Variable d’intérêt = $f(\text{mesure mesure physique, type de couvert, ...})$

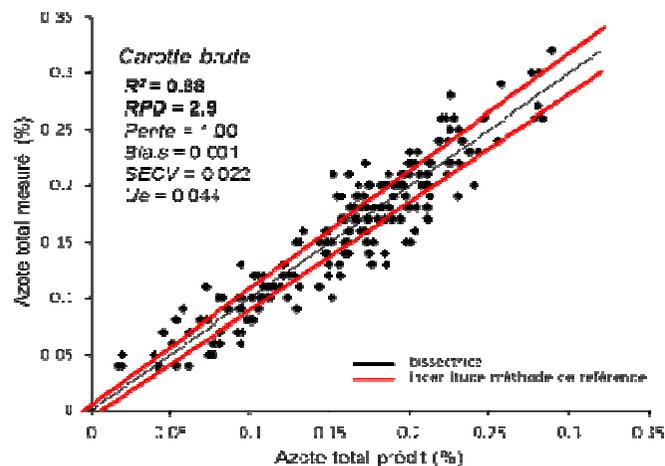
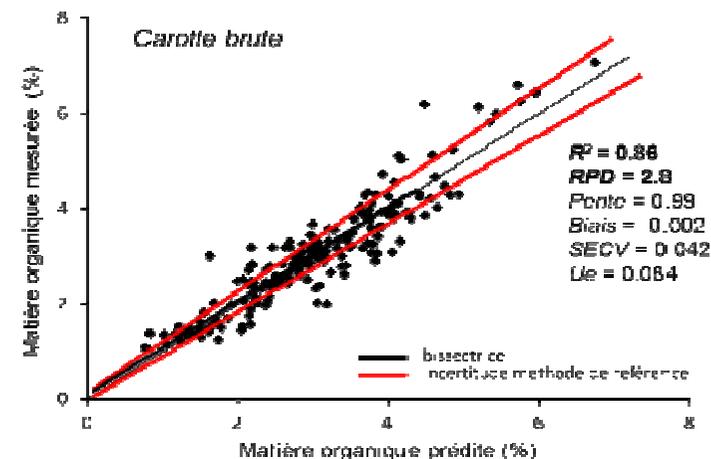
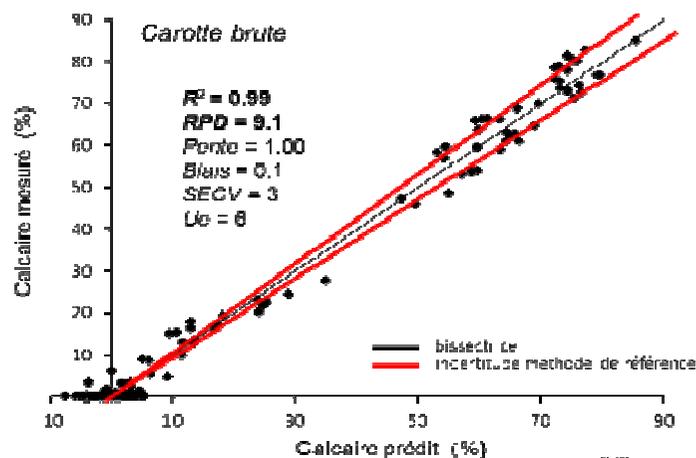
Spectrométrie IR

- Mesure en réflexion
- Gamme de longueurs d'onde : 350 – 2500 nm
- Différents accessoires disponibles
- Format des échantillons : graines entières, poudres, broyats, semi-liquides, sols...
- Utilisateurs : organismes de recherche, industriels de l'agro-alimentaire, fabricants d'aliments pour animaux...
- Temps d'analyse = quelques secondes



Analyse des sols au champ par SPIR

➤ Volet analyse de sol au champ, résultats de l'étude méthodologique



Analyse biochimique

- **Pour les objets “simples”** (feuille, grain, sol), en conditions contrôlées
 - Chambres de cultures : “on cultive le champ dans un labo” : pas forcément représentatif des conditions réelles, taille limitée
 - Analyses de laboratoire : “on transporte le champ au labo” : destructif
 - Outils d’analyse portable type pince : “on transporte le labo au champ” : conditions moins contrôlées

Etalonnage efficace

Mesure de référence = $f(\text{mesure capteur})$

- **Pour les objets “complexes”** (échelle du couvert), en conditions non contrôlées
 - Indice foliaire, contenu en azote du couvert végétal, ...
 - On utilise des variables que l’on sait interpréter

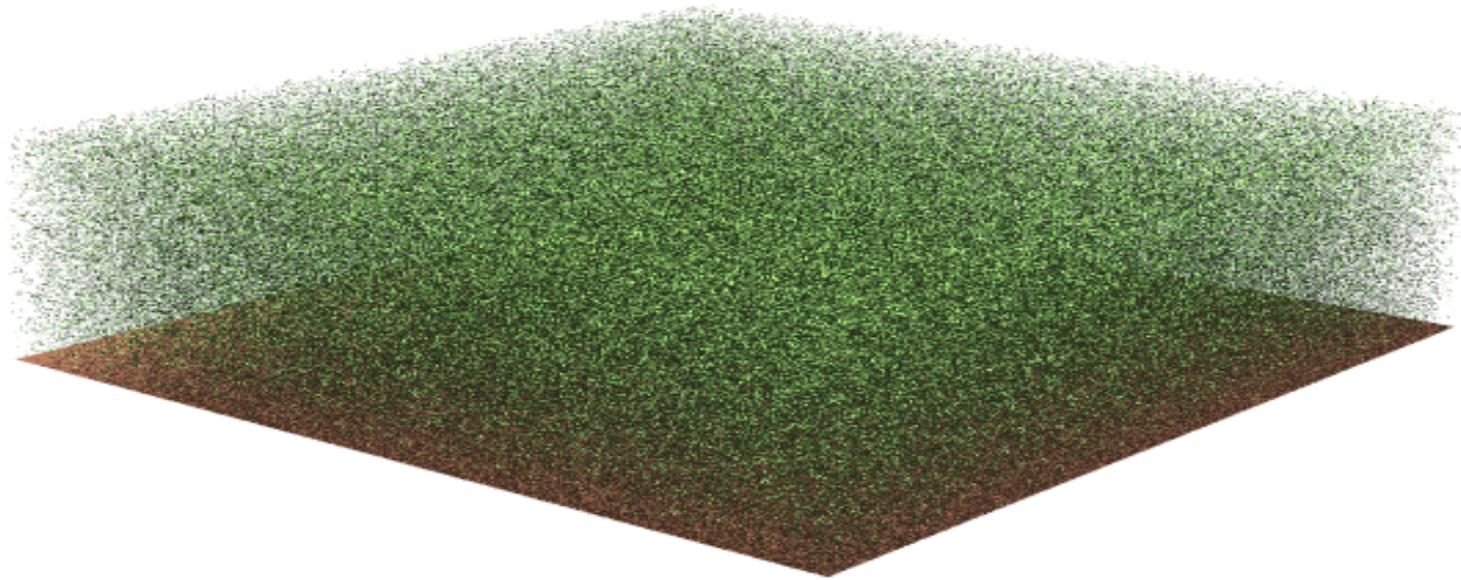
Modélisation pour prendre en compte différents facteurs de variation

Variable d’intérêt = $f(\text{mesure mesure physique, type de couvert, ...})$

Modèle de canopée (SAIL) + modèle de feuille (PROSPECT)

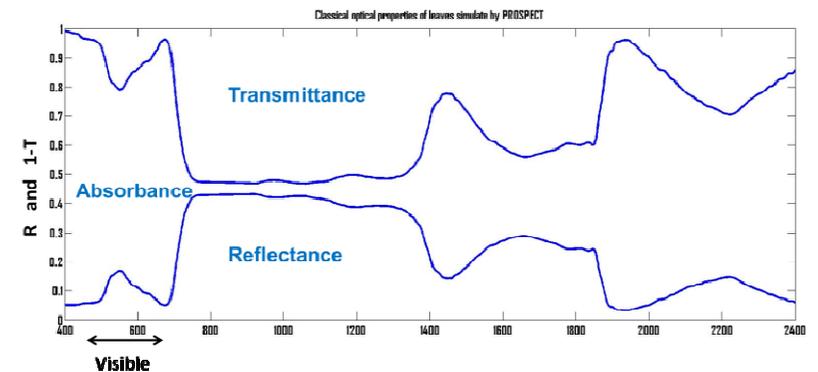
Variables d'entrée :

- Surface foliaire
- Inclinaison foliaire
- Taille relative des feuilles



Variables d'entrée :

- Chl a+b
- Eau
- Matière sèche
- Structure de la feuille
- Pigments bruns



Exemple de modèle : PROSAIL

- Ajout des constituants biochimiques dans les feuilles
- On regarde les différentes combinaisons
 - Réflexion/transmission
 - Flux descendant/montant
 - Flux direct ou diffus

$n(\text{level, way, direction, inter_sol, inter_veget})$

=number of photons (radiance)

level: b=bottom; t=top

way: - = downward; + = upward

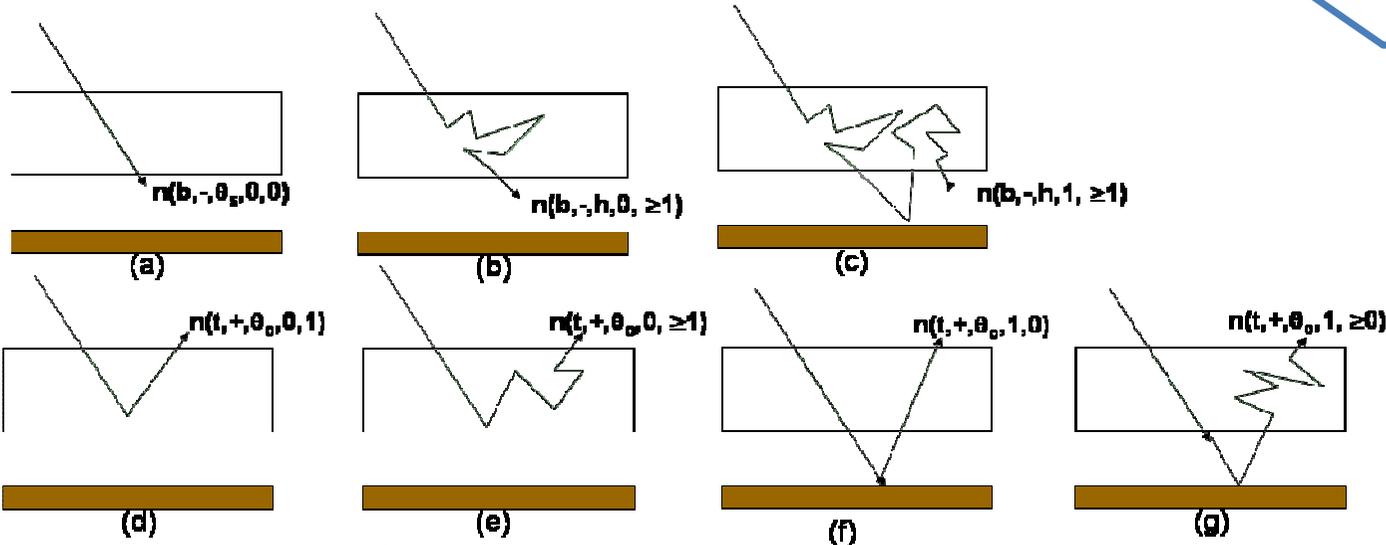
direction: θ_s =sun direction; θ_v =view direction;
h=hemispheric

interaction order (inter_sol, inter_veget):

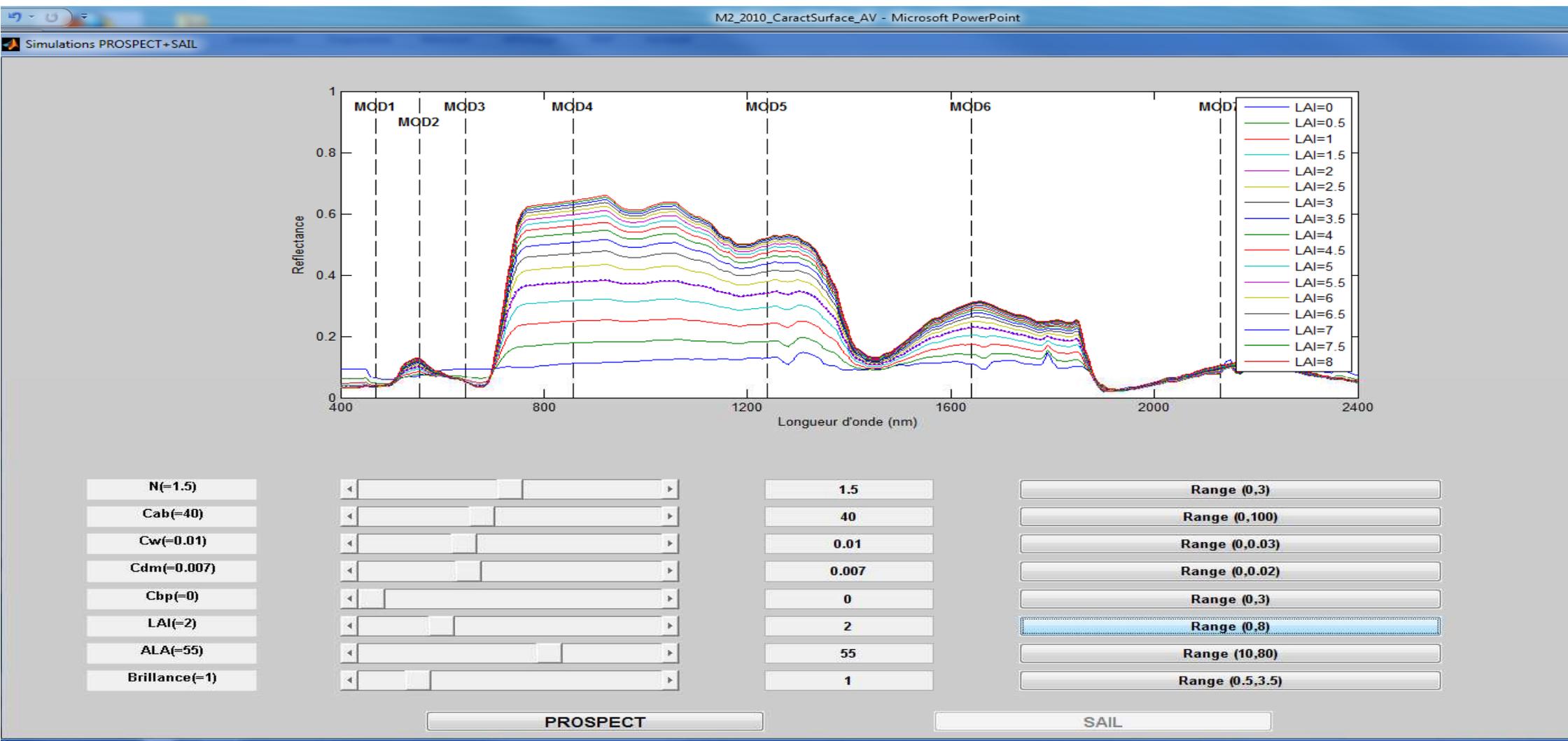
0: no interaction

1: 1 interaction only

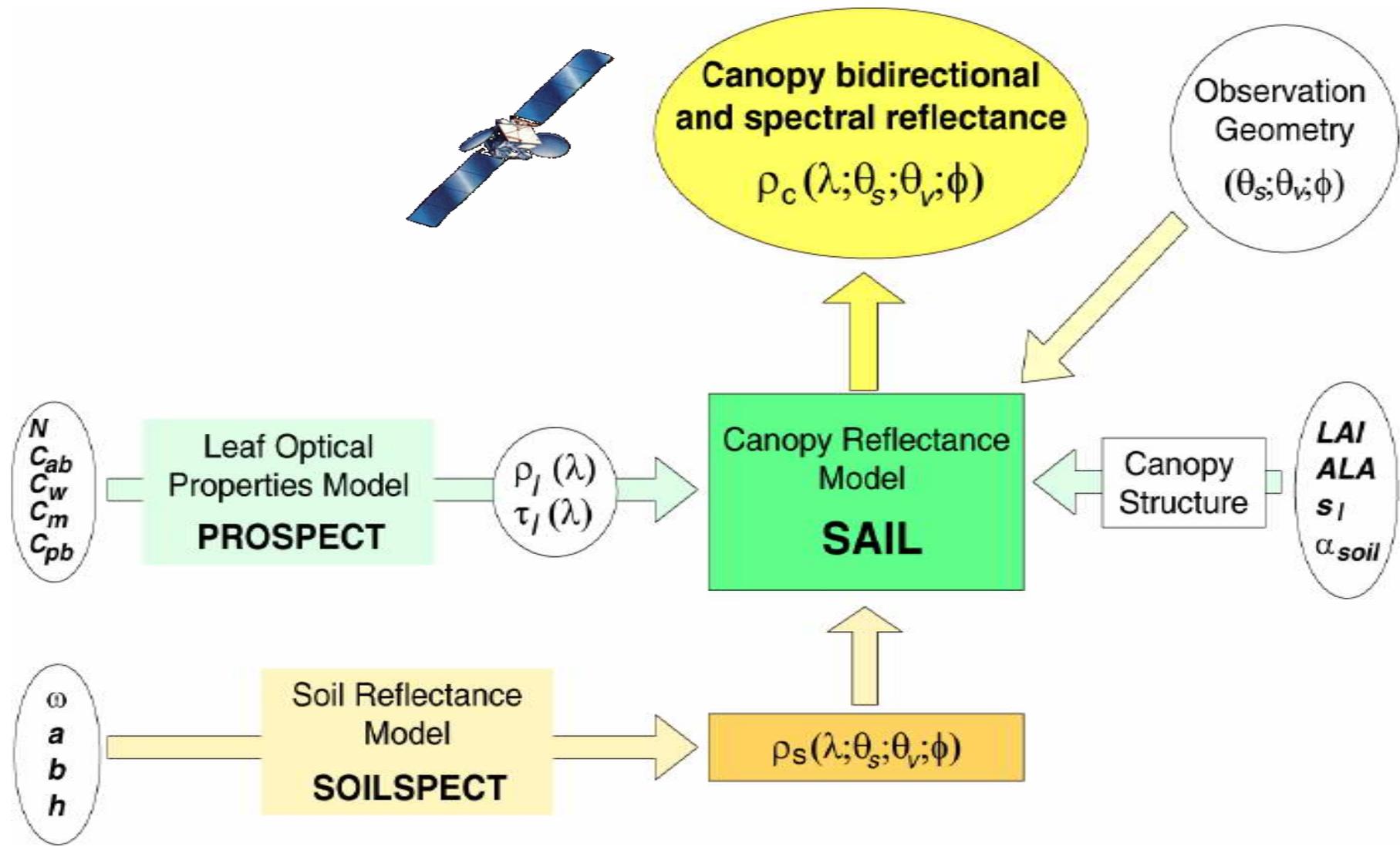
≥ 1 : one or more interactions



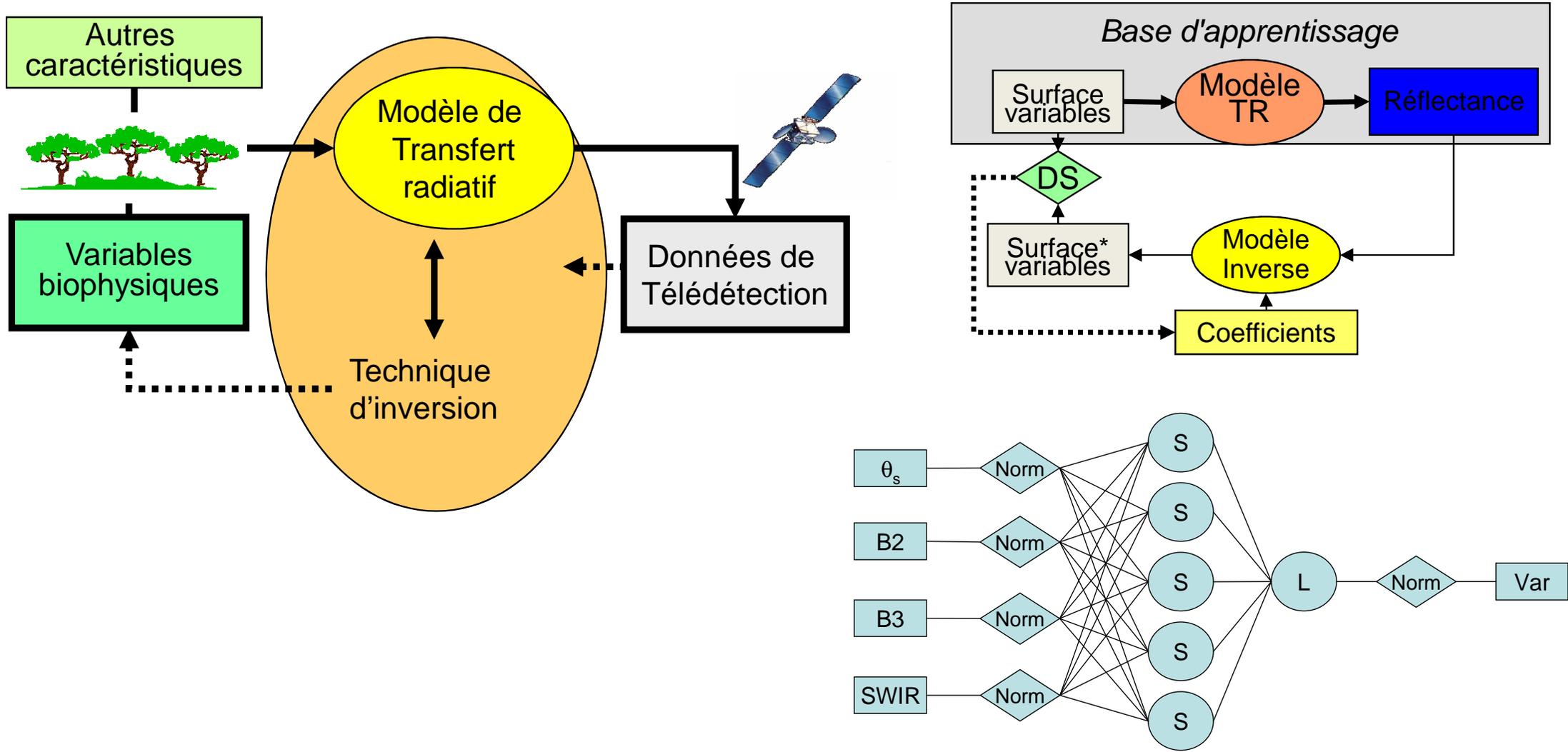
Exemple de simulations PROSAIL

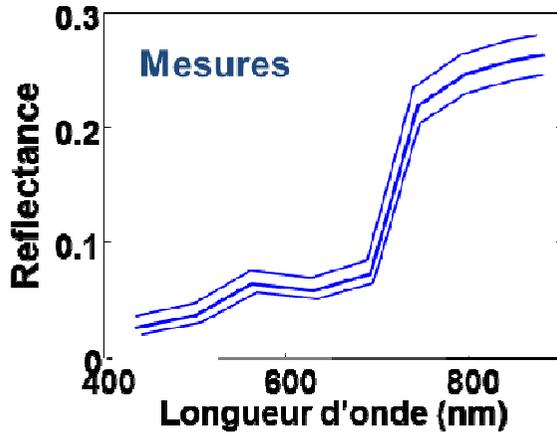


Application au traitement des données de télédétection

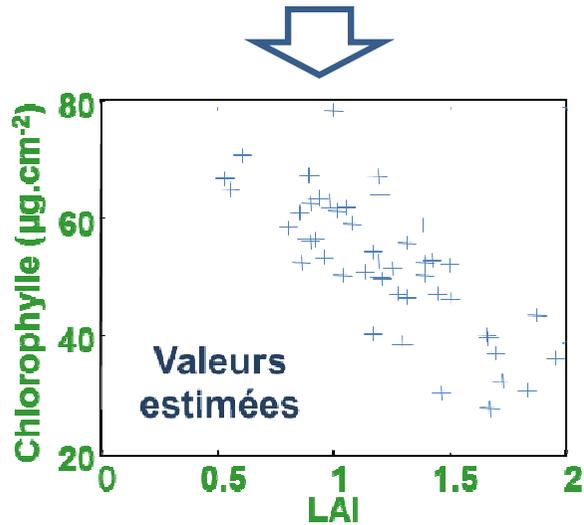


Le problème inverse





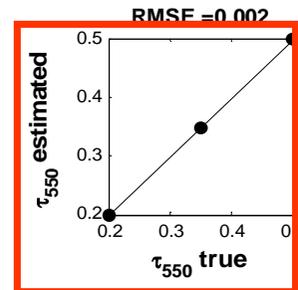
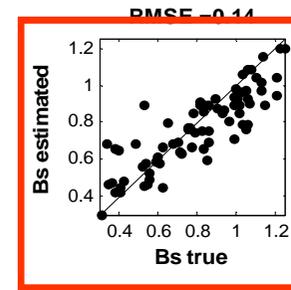
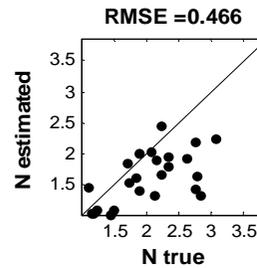
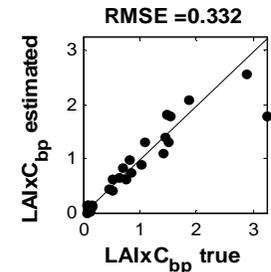
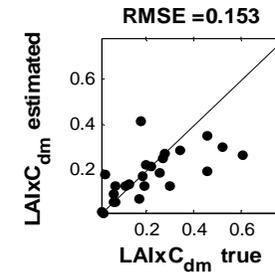
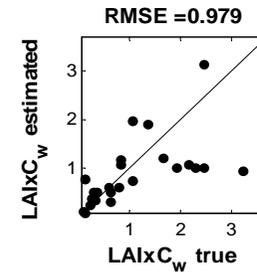
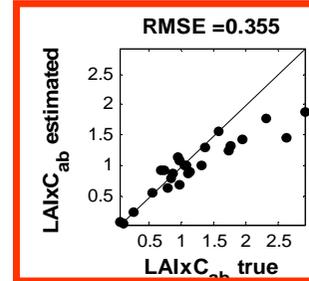
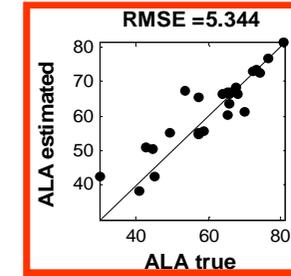
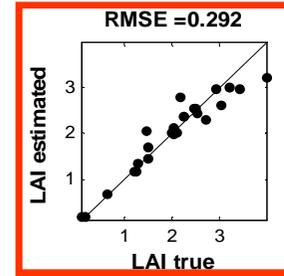
Incertitudes mesure et modèle



Un ensemble de variables permettent un bon ajustement aux données radiométriques

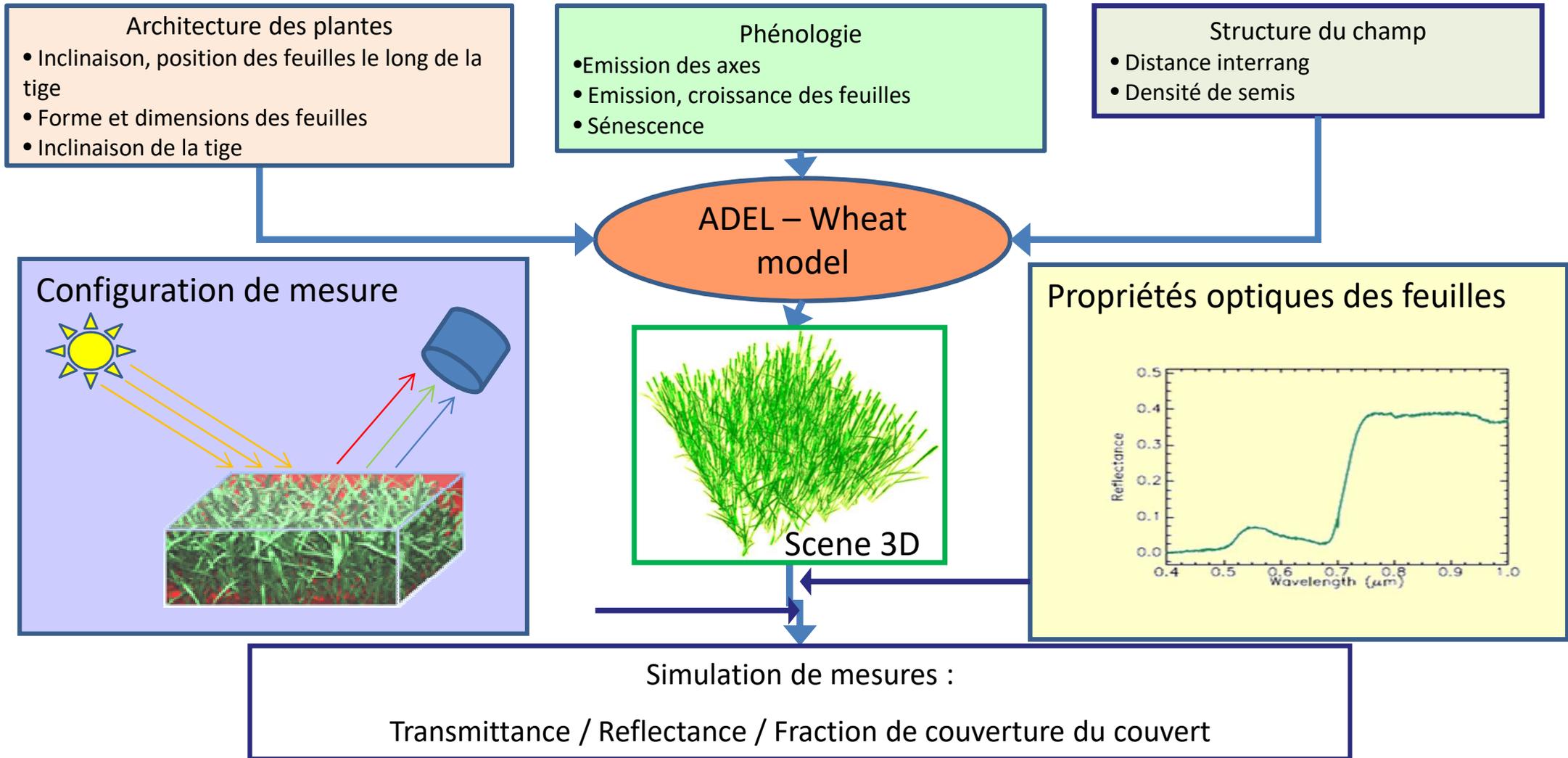
Performances

Avec contraintes



M. Weiss et al.

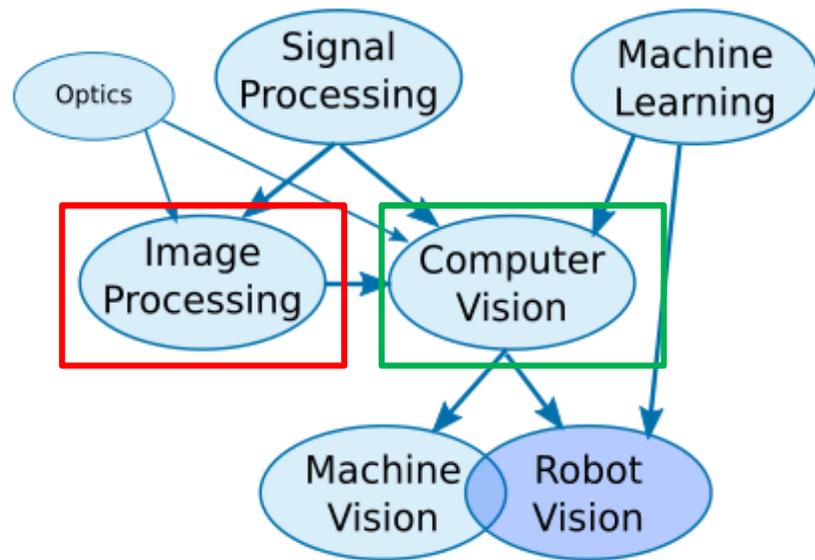
Utilisation des modèles 3D pour la simulation de mesures et l'estimation de variables



Méthodes d'analyse des données capteurs

- **Analyse d'image et vision artificielle**
 - > **Comptage, identification de formes, objets**
- Analyse 3D
 - > Hauteur, architecture de la culture
- Analyses biochimiques
 - > Biochimie de la feuille et de la culture

Traitement d'image / vision artificielle



Technique	Input	Output
Signal Processing	Electrical signals	Electrical signals
Image Processing	Images	Images
Computer Vision	Images	Information/features
Pattern Recognition/Machine Learning	Information/features	Information
Machine Vision	Images	Information
Robot Vision	Images	Physical Action

Exemple : Comptage d'épis

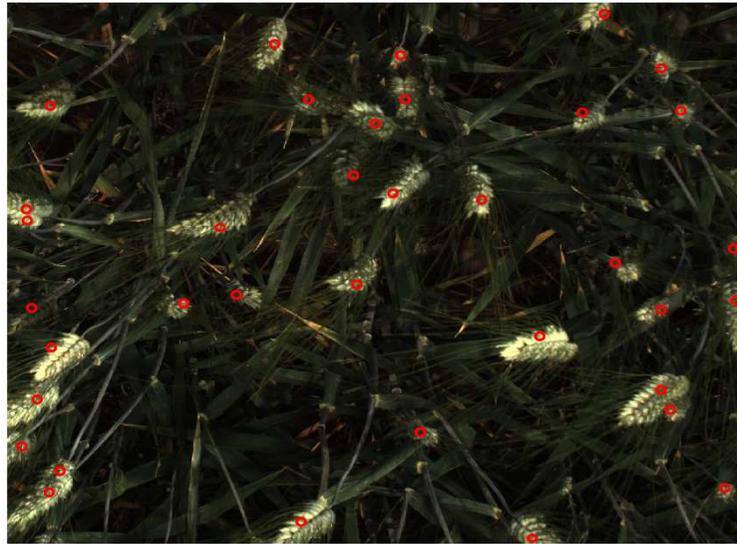


Image originale

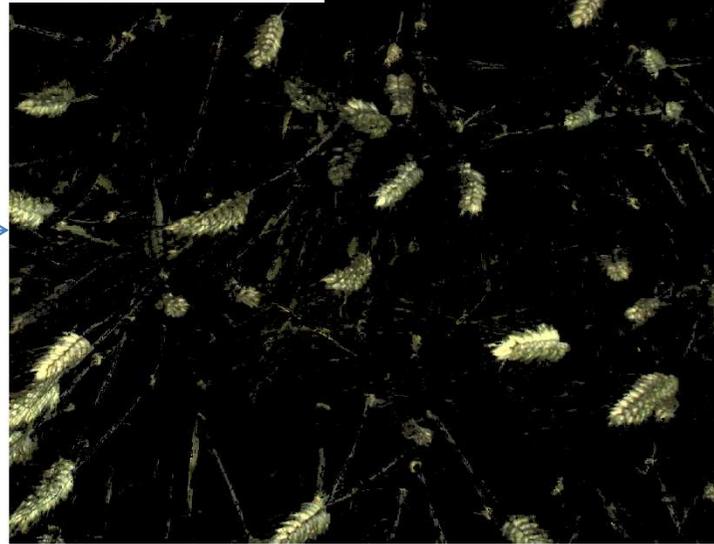


Image segmentée

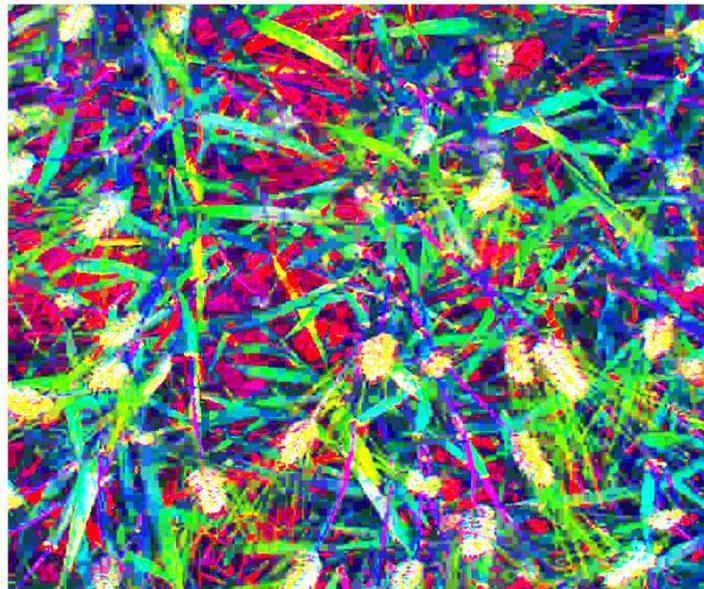
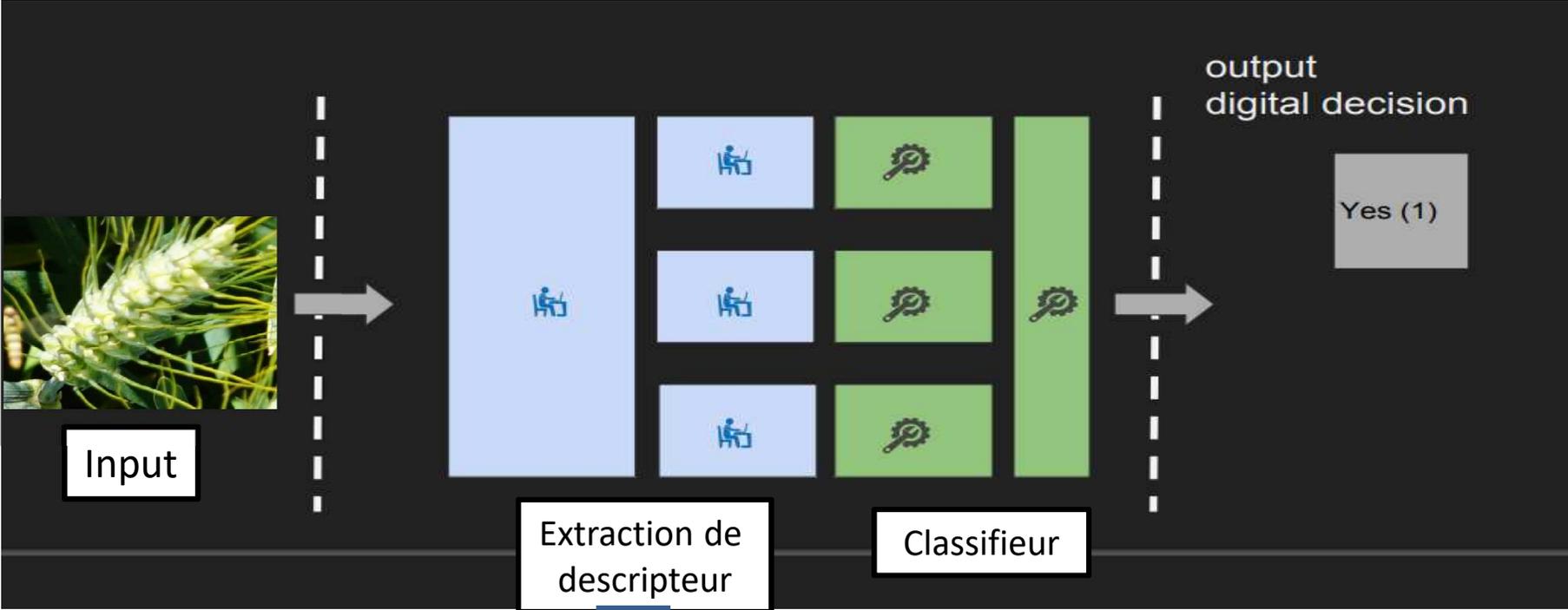


Image transformée

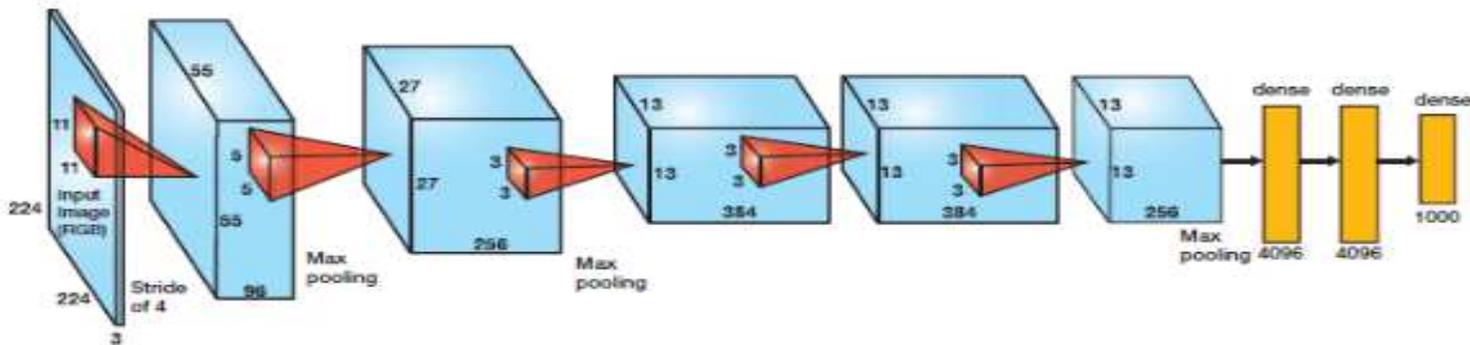


Image classifiée

Machine learning



Deep learning



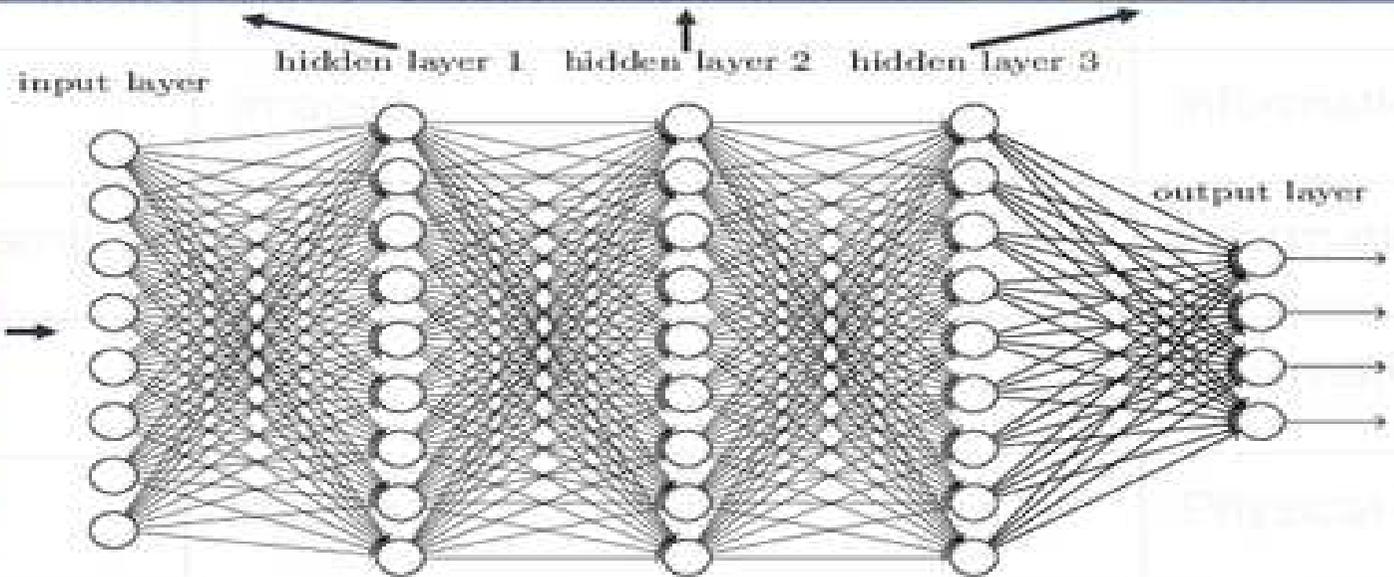
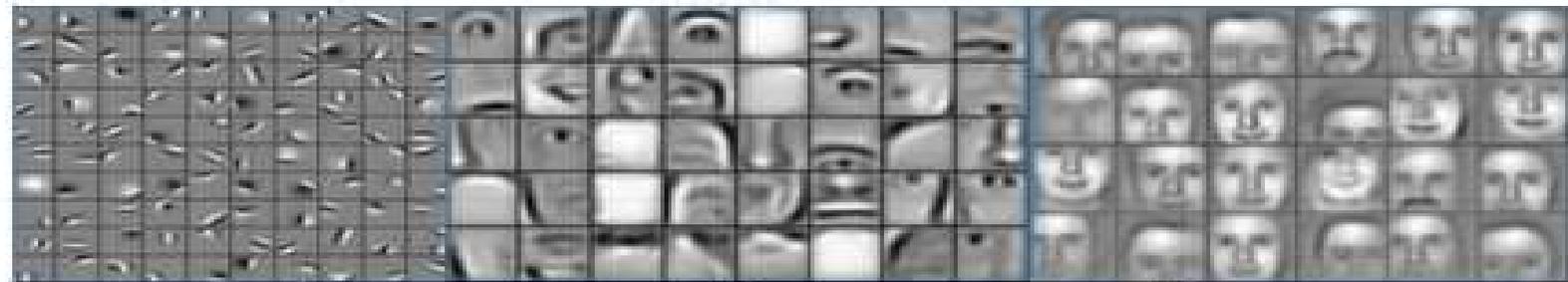
Alexnet : 60 millions de paramètres

Optimisation des paramètres par stochastic gradient descend (SGD)

Vision artificielle / CNN

La vision artificielle (computer vision) consiste à extraire de l'information des images, comme à détecter des objets.

Deep neural networks learn hierarchical feature representations



Exemple : Comptage d'épis de blé



Image originale



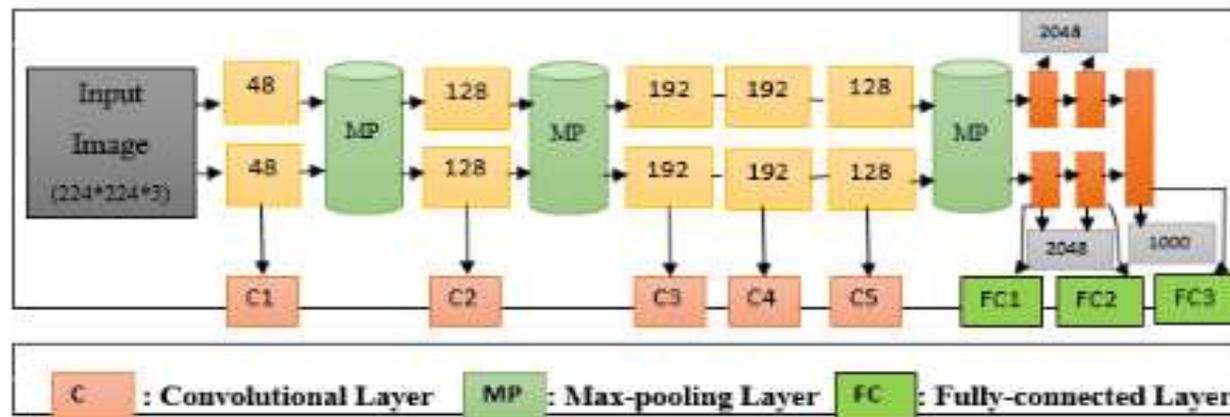
Détourage des objets



Mise à l'échelle des données d'entrée



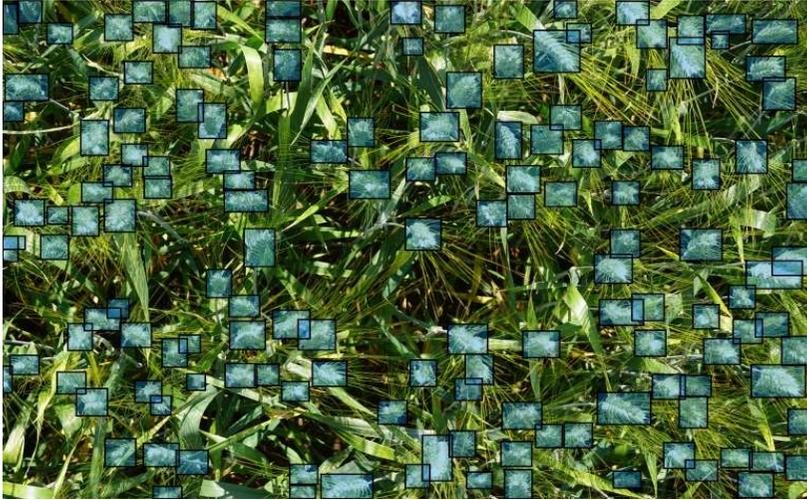
Sélection de chaque épi



Epi ? O/N
+ indice de confiance

Comptage d'épis de blé

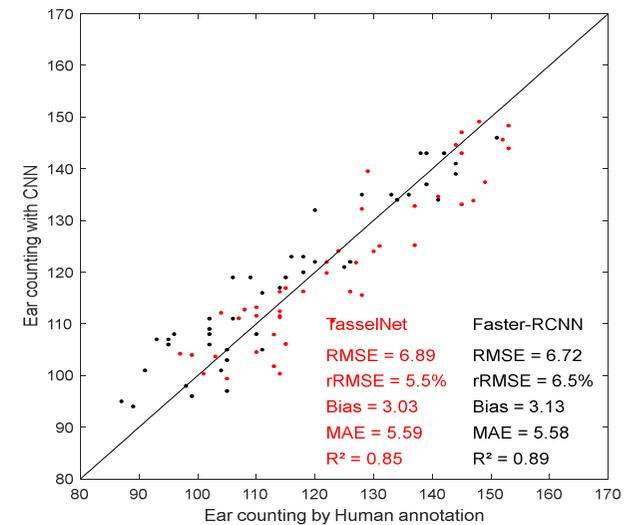
Comptage d'épis avec une approche détection d'objects (Faster – RCNN)



Modèle entraîné avec
14 génotypes x 3 répétitions x 2 modalités x 2
images

Validation sur
6 génotypes x ... x ... x ...

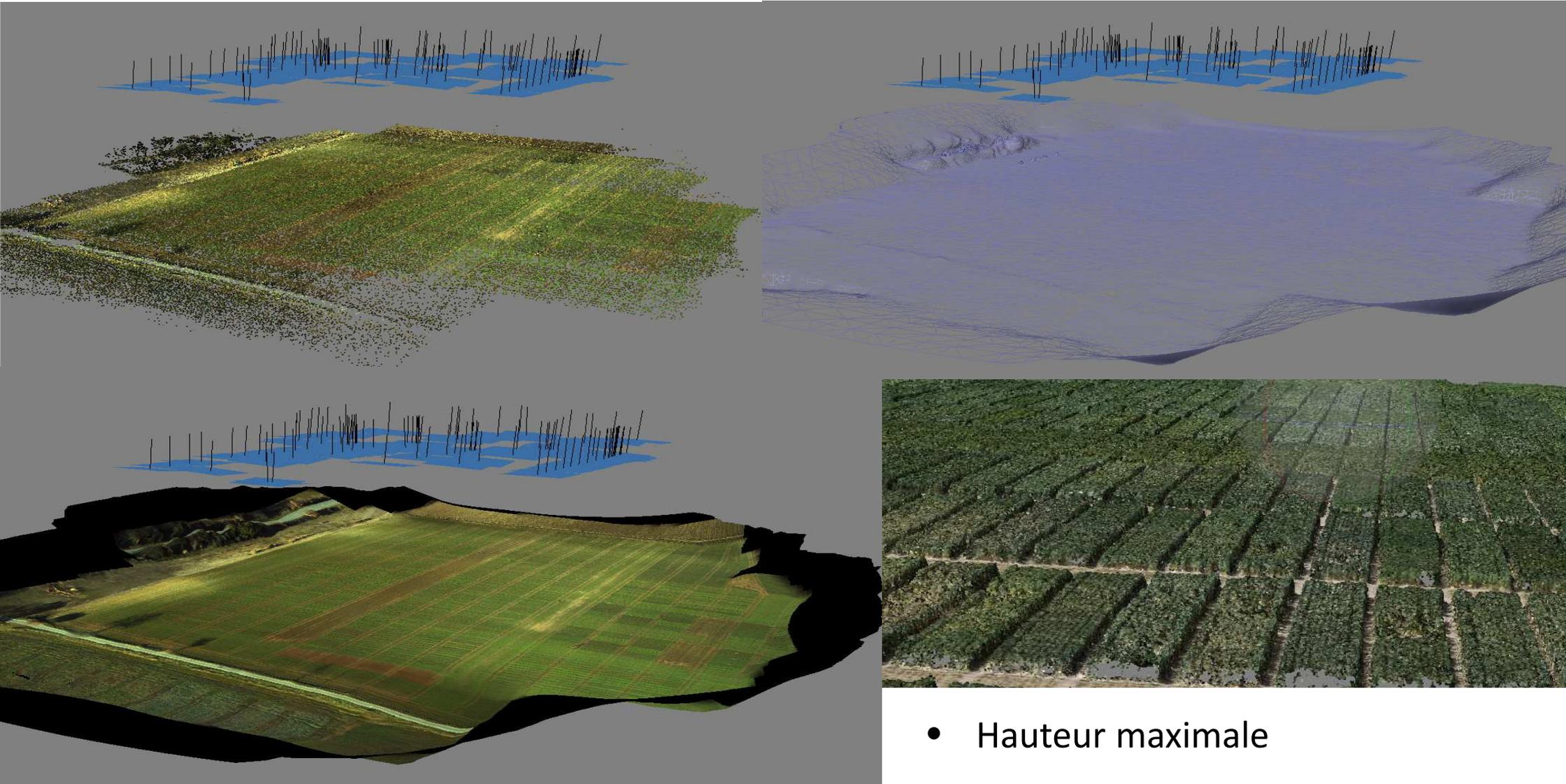
S. Madec, 2018



Méthodes d'analyse des données capteurs

- Analyse d'image et vision artificielle
 - > Comptage, identification de formes, objets
- **Analyse 3D**
 - > **Hauteur, architecture de la culture**
- Analyses biochimiques
 - > Biochimie de la feuille et de la culture

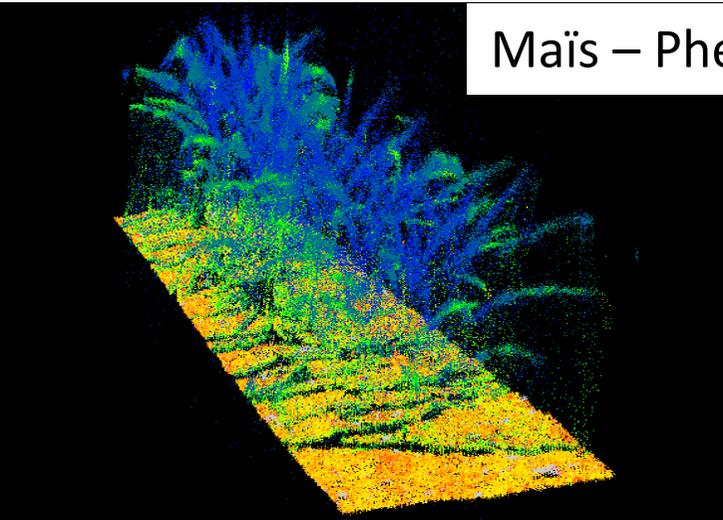
Essai : Drone + Photogramétrie



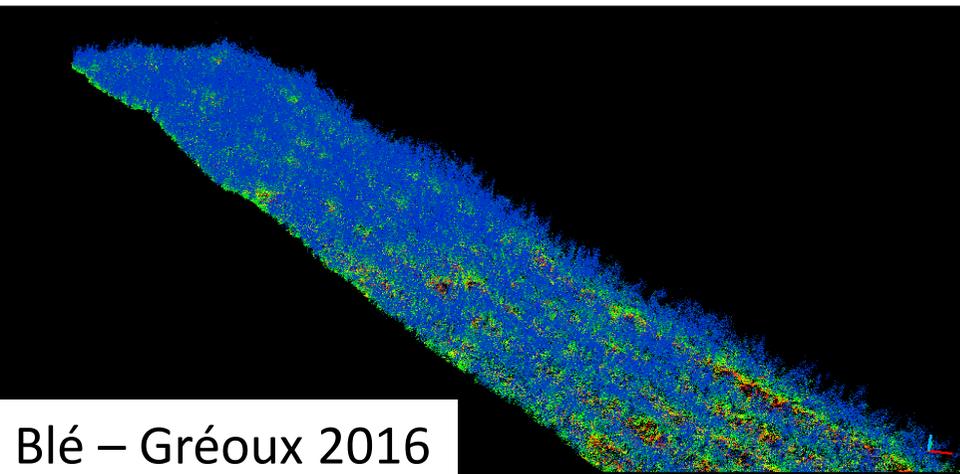
- Hauteur maximale

Parcelle : LiDAR

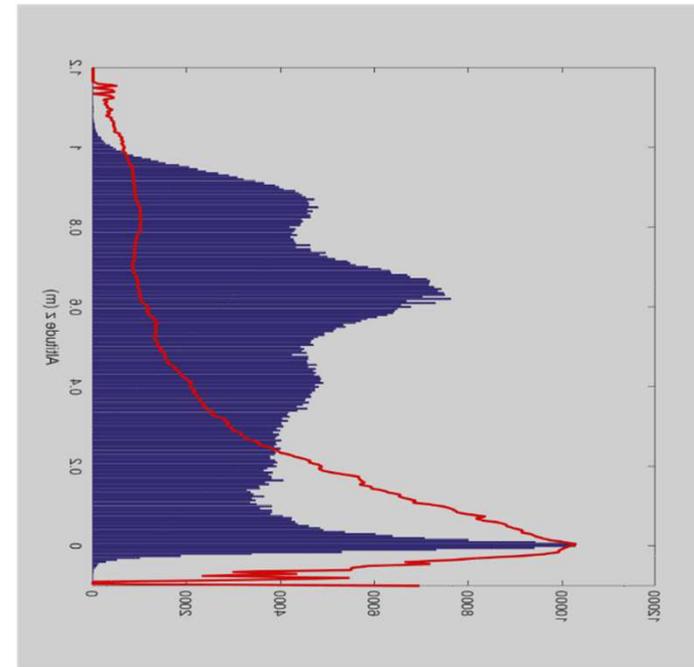
Maïs – Phenofield 2015



- Hauteur maximale
- Profil d'interception



Blé – Gréoux 2016



A l'échelle de la plante

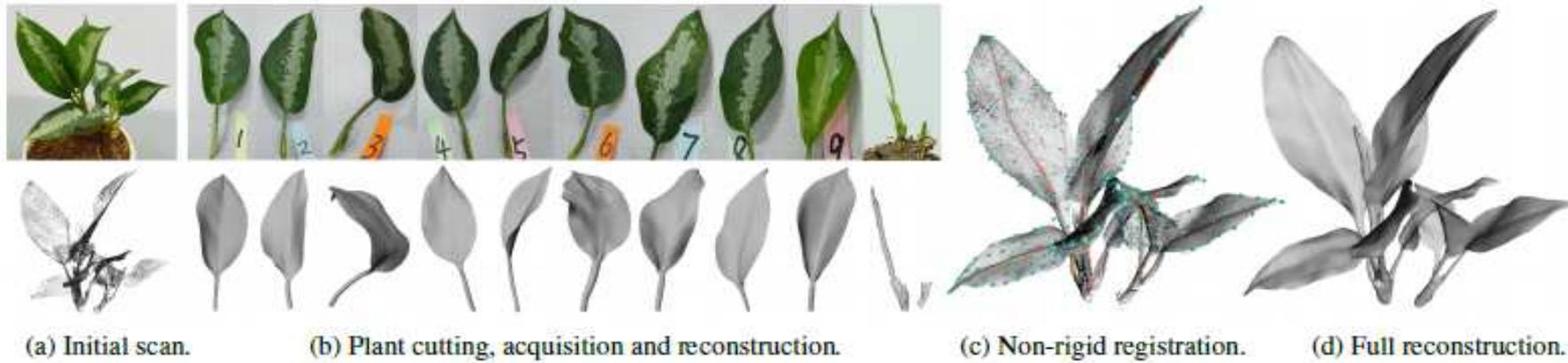
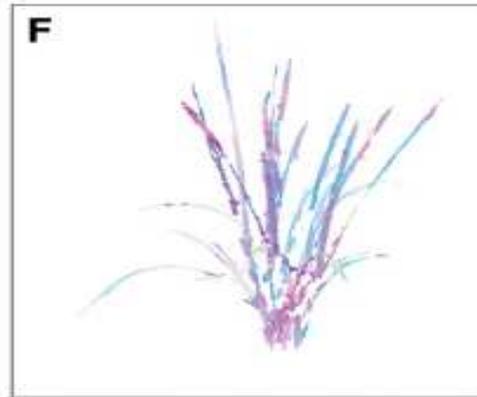


Figure 2: Overview of our intrusive acquisition and plant modeling algorithm.



Caractéristiques d'organes

Pound et al., 2016

Applications et Perspectives



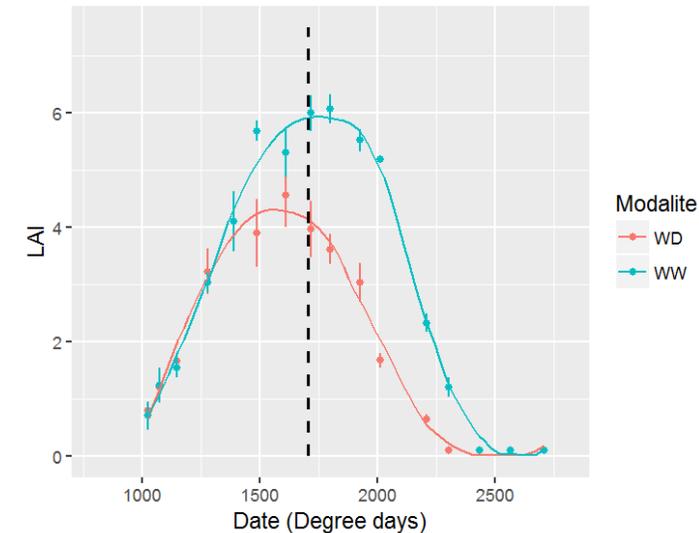
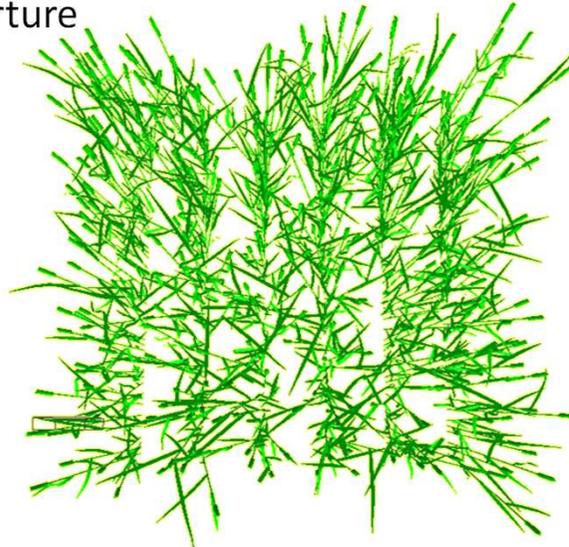
Quelles variables sont accessibles ?

A l'échelle du « m² moyen »

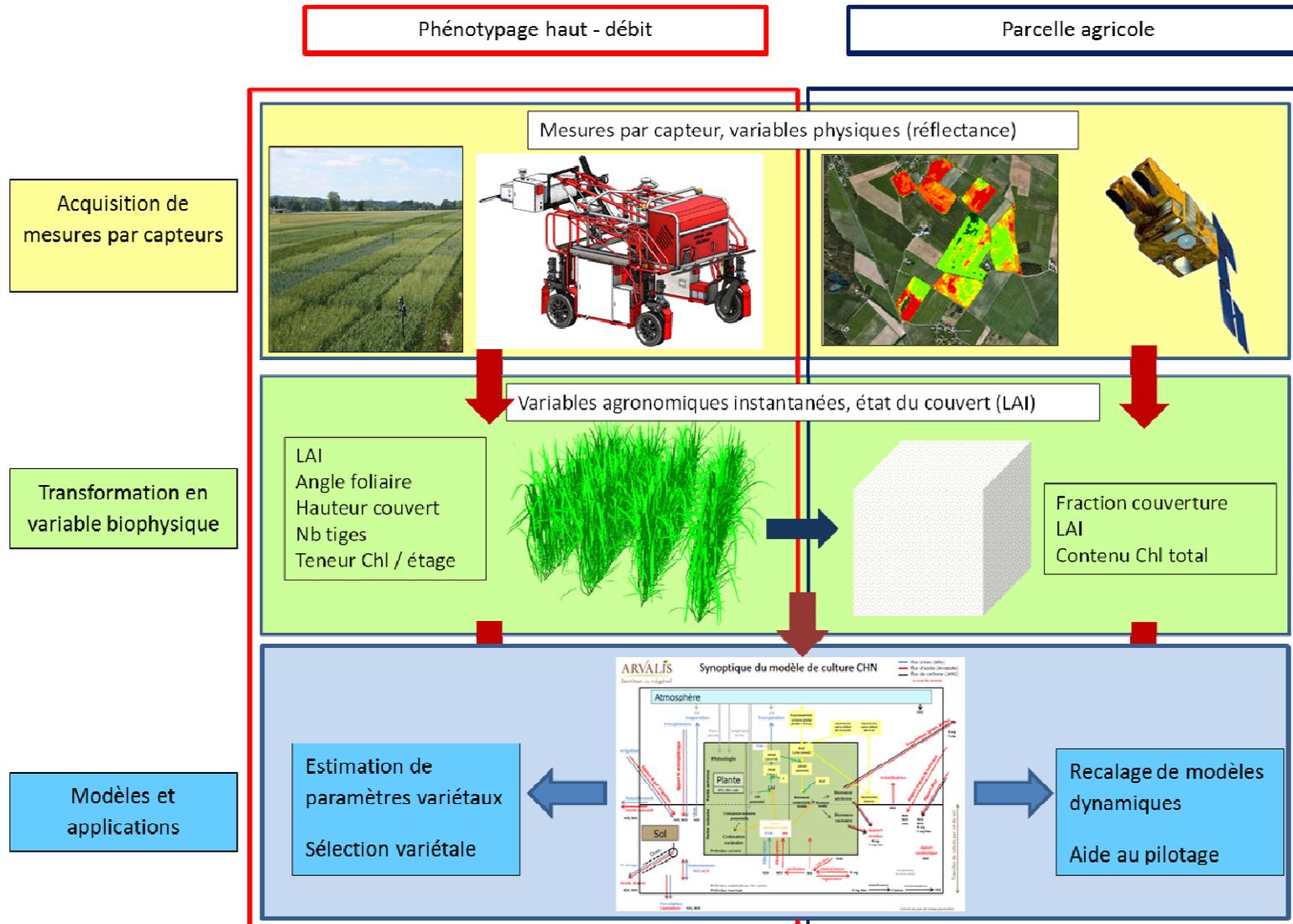
Variables d'état, qui intègrent les processus biochimiques sur un pas de temps journalier

Accès au fonctionnement en analysant l'évolution temporelle de ces variables

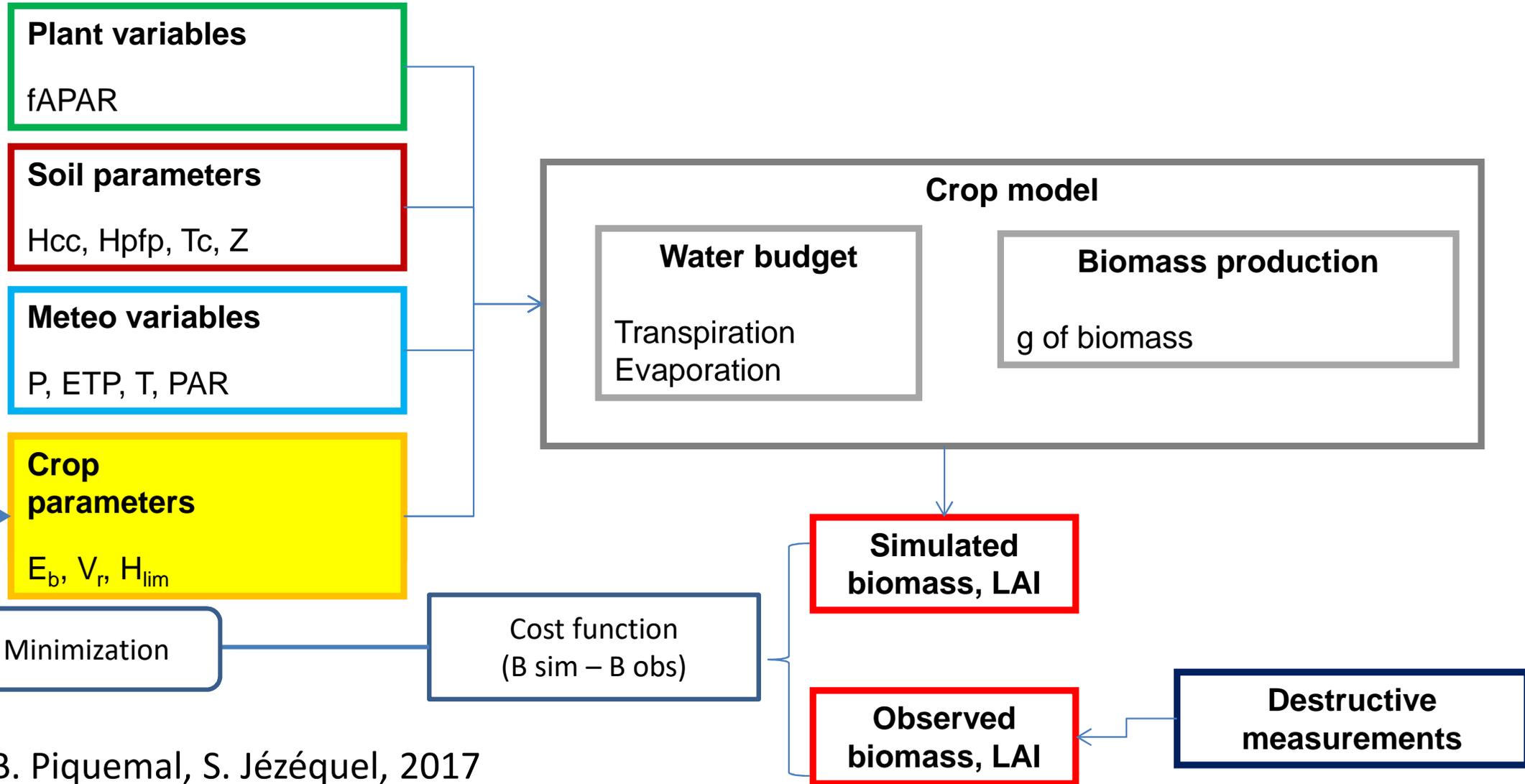
- Architecture de la culture
 - Hauteur
 - Surface foliaire, taux de couverture
 - Interception du rayonnement
- Biochimie
 - Contenu en chlorophylle
 - Suivi de la sénescence
- Comptages
 - Nombre de plantes
 - Nombre d'épis
- Maladies



Forte complémentarité entre les échelles



Estimation de paramètres variétaux



B. Piquemal, S. Jézéquel, 2017

Aide à la décision - Azote



Farmer's fields

Crop observations

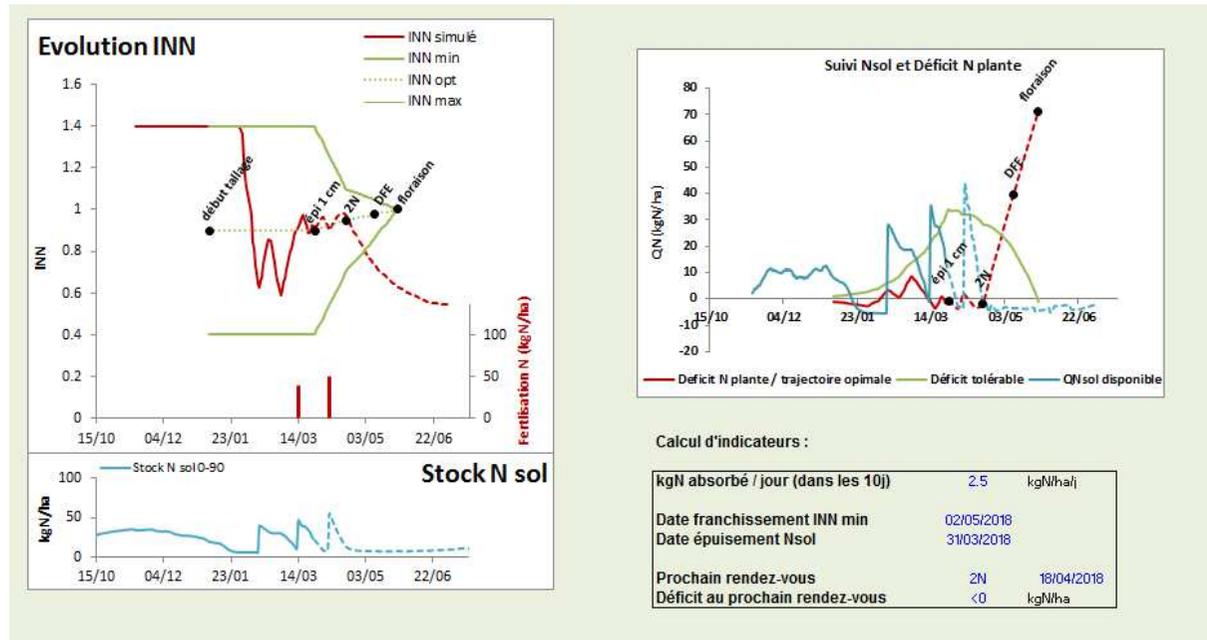
Climatic data

Data Assimilation

Decision rules

Crop model

Decisions & Actions



B. Soenen, B. Piquemal, 2018

Perspectives

- Modèles de cultures et mesures capteurs sont très complémentaires et sont à la base de nombreuses applications en agriculture
- Les données de proxidétection sont encore peu utilisées dans les modèles, car elles sont souvent d'une nature différente des mesures classiques (souvent destructives)
- Les nouvelles méthodes de traitement des données capteurs (deep learning / 3D) ouvrent des perspectives importantes pour l'acquisition de variables détaillées
- Les jeux de données disponibles par ces systèmes sont en augmentation très rapide (e.g. le réseau de plateformes PHENOME)
- Ces volumes importants ouvrent la possibilité d'analyses moins mécanistes : quelles performances par rapports aux modèles existants ?

Contributions



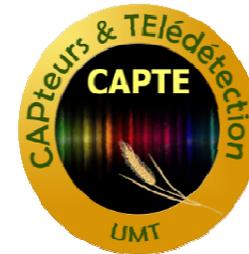
- S. Thomas, G. Daubige
- K. Beauchêne, A. Fournier, G. Touzy, JP. Cohan
- B. Piquemal, B. Soenen, S. Trupin
- O. Moulin, S. Jézéquel, M. Camous



- F. Baret, M. Weiss
- S. Madec, S. Liu, X. Jin



- A. Comar, M. Hemmerlé, G. Colombeau, D. Dutartre, J. Beauvois, J. Labrosse, W. Li





Merci de votre attention