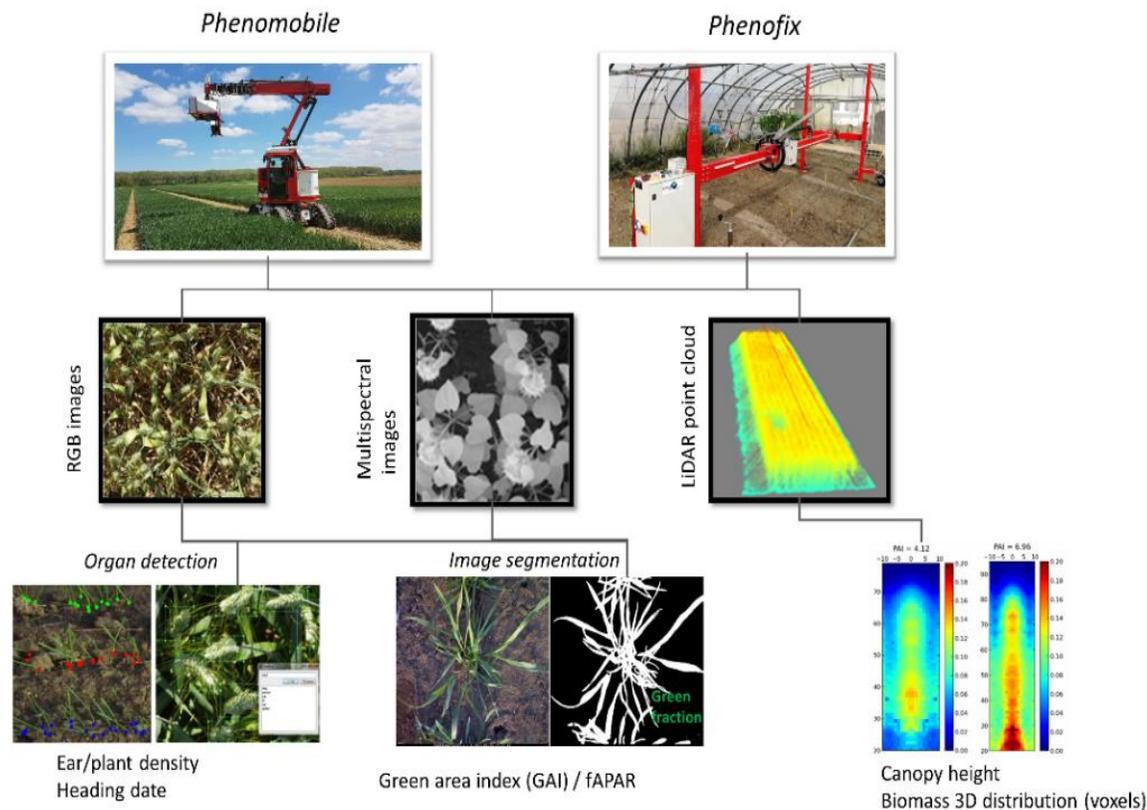


# FFAST : Fonctionnement à partir de l'assimilation de traits structurels

Ou comprendre le fonctionnement du blé à partir de l'assimilation d'observations à haut débit dans un modèle de culture



- **Financement** : ANR (PRCE)
- **Début** : 1<sup>er</sup> avril 2022
- **Durée** : 4 ans
- **Partenaires** : EMMAH-CAPTE, LEPSE, Hi-PHEN + UEs DiaScope, APC, et PHACC
- **Coordinateur** : Raul Lopez-Lozano (EMMAH-CAPTE)

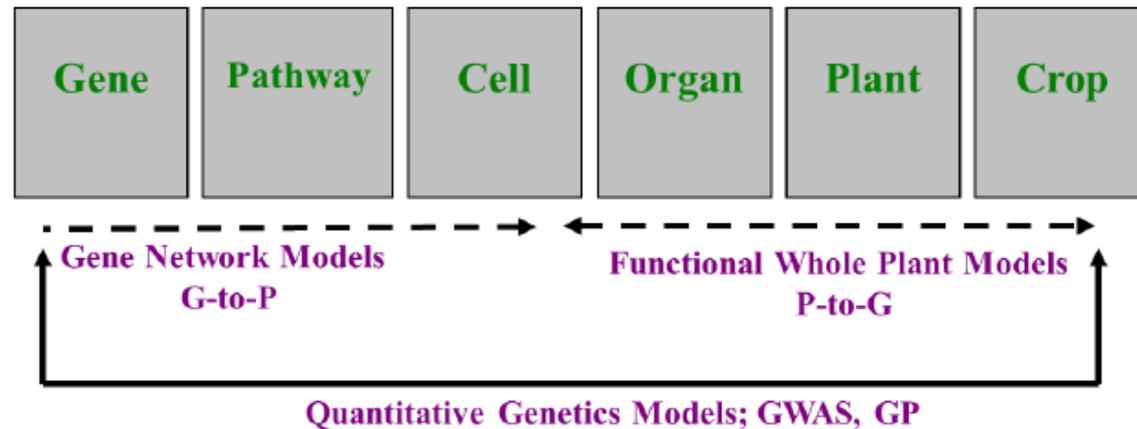


lepse  
Montpellier



## Distance phénotypique et prédictions

Les échelles d'organisation biologique brouille les prédictions

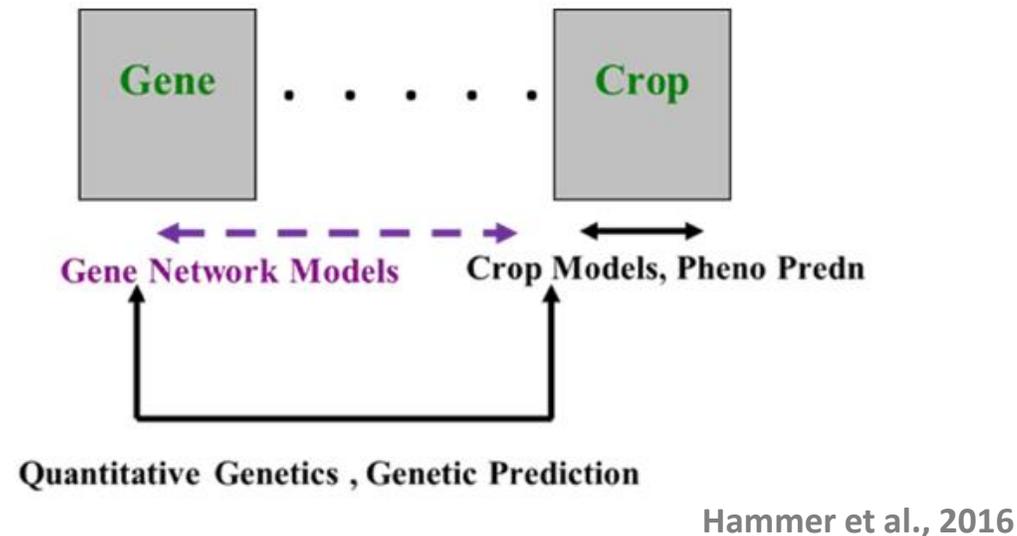


Hammer et al., 2016

Les modèles biologiques sont incapables de franchir toutes les échelles

## Distance phénotypique et prédictions

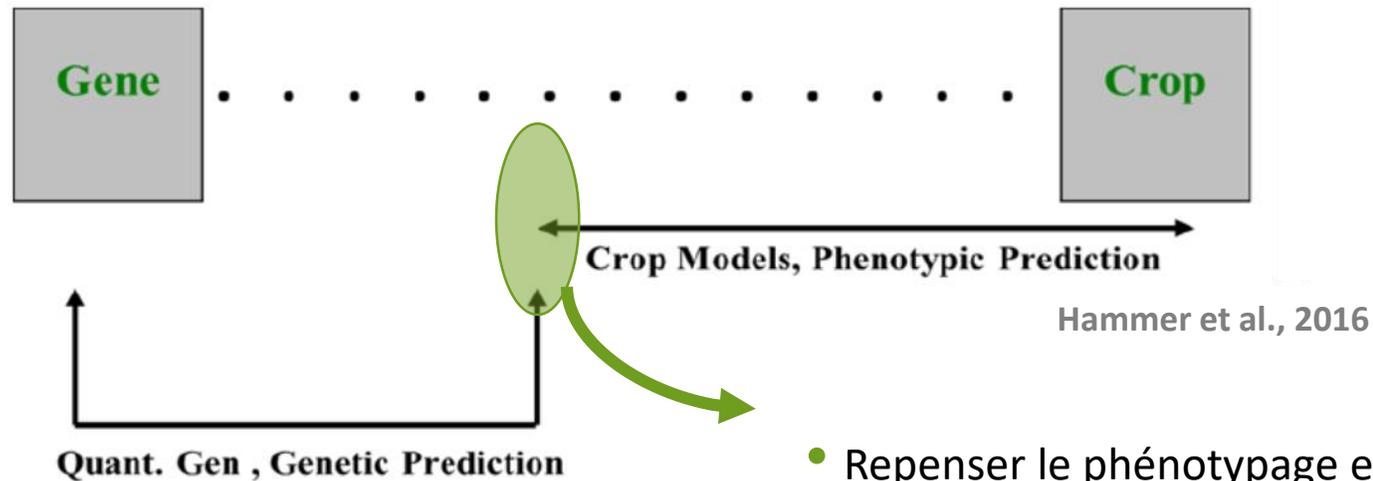
Courte distance phénotypique : les traits passent à l'échelle directement



- Peu de dépendance au contexte (G & E)
- Caractères simples (e.g. dureté)

## Distance phénotypique et prédictions

Longue distance phénotypique : les traits complexes ne se mettent pas directement à l'échelle



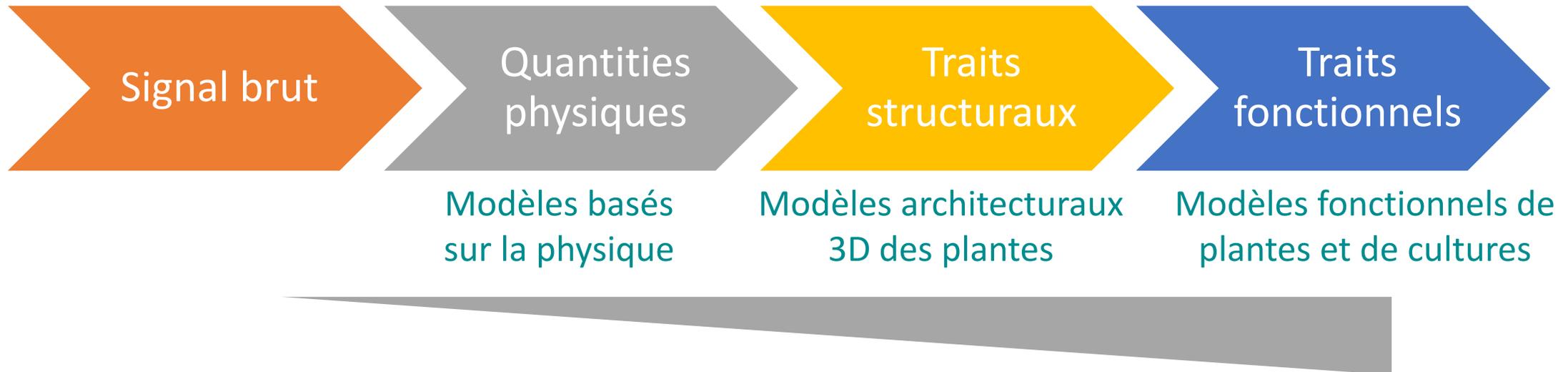
- Repenser le phénotypage et les modèles de culture pour accroître la valeur des informations sur le génotypage
- Découverte de traits (connaissance biologique)
- Gérer la complexité des interactions traits x traits x E

# Interprétation des données de phénotypage à haut débit

## Utilisation d'information

données

Connaissance



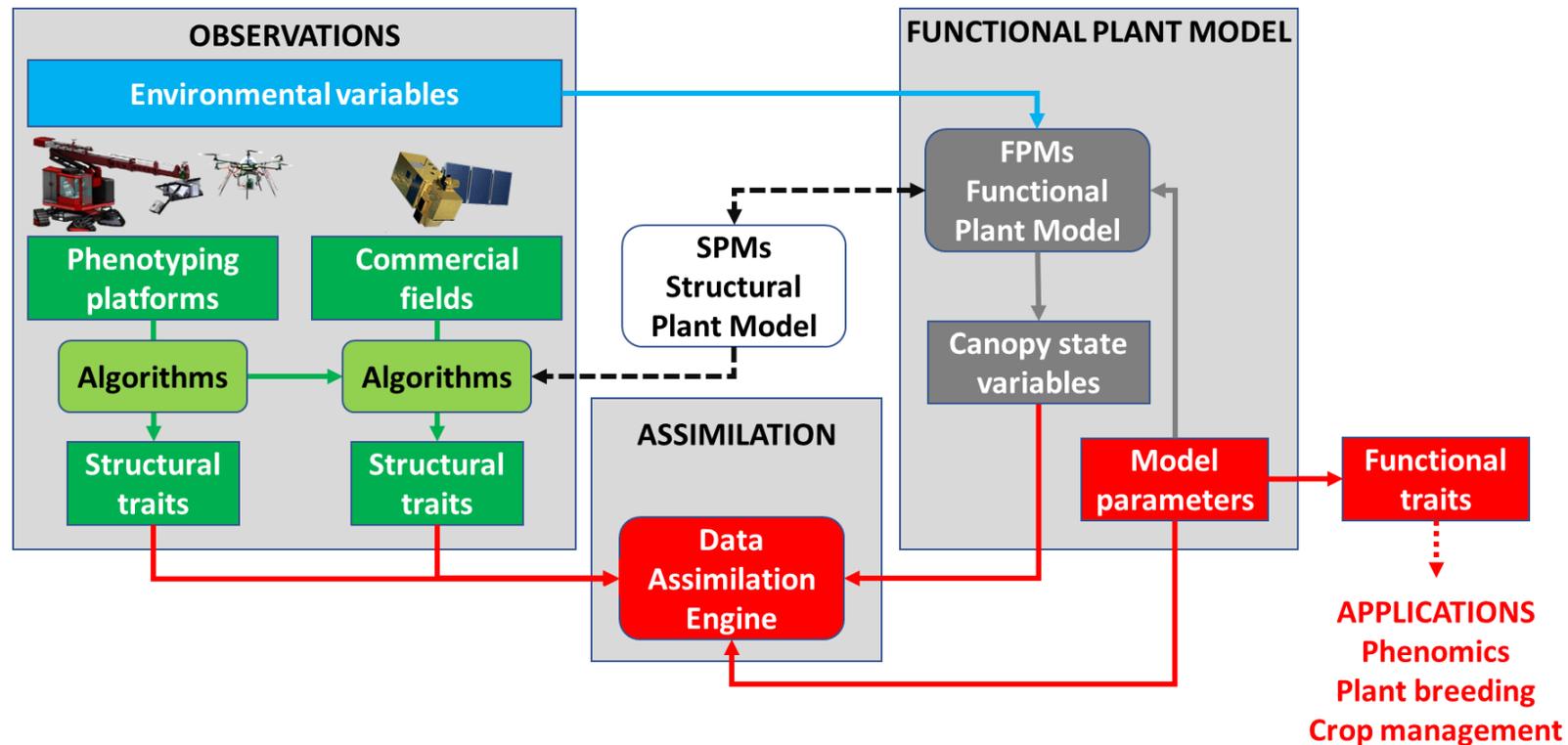
**Complexité de l'interprétation**  
**Connaissance préalable des processus**  
**physiologiques**

## Questions de recherche

1. Combien et avec quelle précision les traits structuraux décrivant l'état de la culture (LAI, hauteur de la plante, taille et angle des feuilles, nombre de talles ...) peuvent-ils être estimés à partir d'observations à haut débit dans les plateformes de phénotypage et les champs d'agriculteurs ?
2. Combien de traits structuraux doivent être observés, à quelle fréquence et avec quelle précision, pour estimer de manière robuste les paramètres génotypiques de modèles de culture ?
3. Quel degré de variabilité environnementale -climat, soil, gestion- est nécessaire ?
4. Est-ce que des observations supplémentaires des traits phénotypiques - non encore fournies par les plateformes - sont nécessaires pour estimer de manière robuste les paramètres génotypiques de modèles de culture ?
5. Les paramètres génotypiques des modèles de culture, estimés à partir de l'assimilation des traits structuraux observés pour différents génotypes, expriment-ils un fonctionnement différent (traits fonctionnels) ?
6. Les traits estimés à partir d'observations à haut débit peuvent-ils être utilisés pour prédire la performance des génotypes dans de nouveaux environnements ?
7. Est-ce que le suivi de génotypes dans des champs éloignés à l'aide d'observations par satellite peut contribuer à identifier des traits structuraux et fonctionnels ?

## FFAST - objectifs et hypothèses de travail

**Objectif:** Utiliser les modèles structure-fonction (FSPM) et de culture pour interpréter les observations de phénotypage à haut débit et satellite

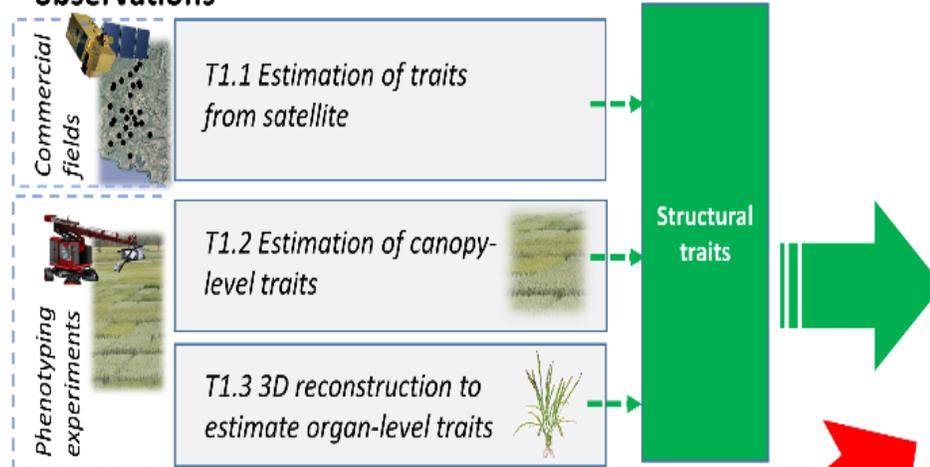


### Hypothèses de travail

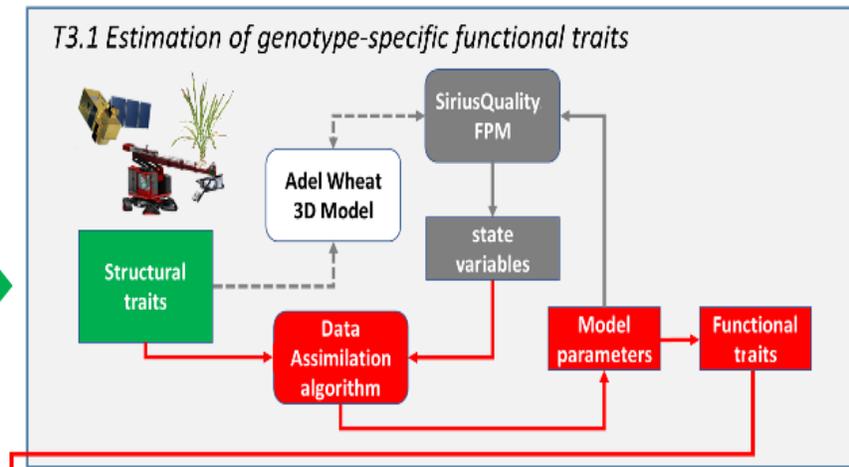
- On peut estimer des paramètres variétaux du modèle SiriusQuality à partir des observations à haut débit au champ
- Ces paramètres du modèle constituent des traits fonctionnels
- Ces traits fonctionnels sont fortement liées à la génétique

# Structure du projet

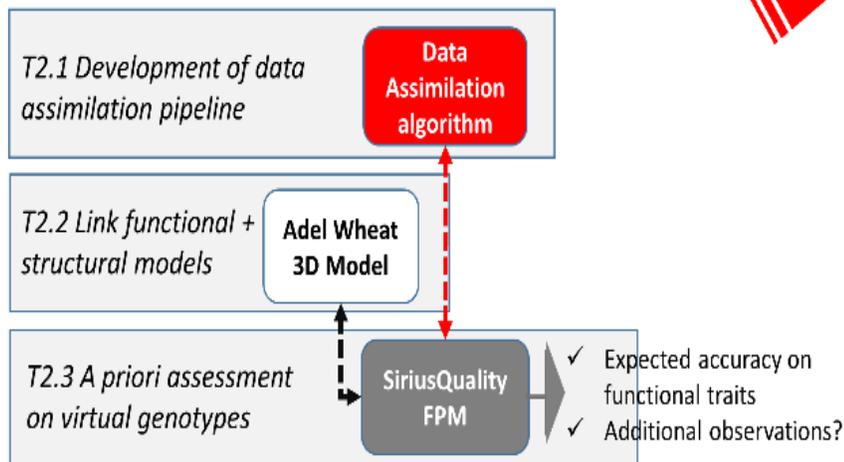
## WP1. Traits estimation from high-throughput observations



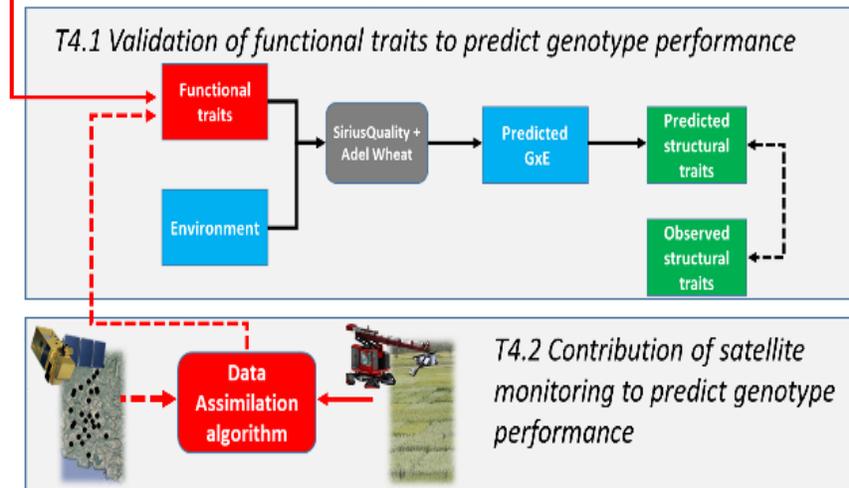
## WP3. Identifying genotype functional traits from assimilation



## WP2. Construction of the assimilation framework



## WP4. Evaluation of the proposed framework



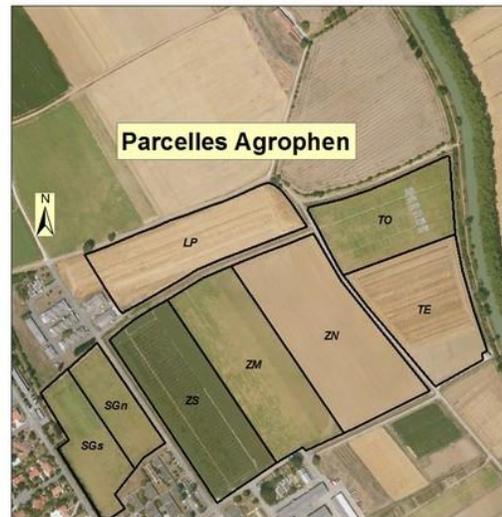
## Expérimentations – Sites

Trois années d'expérimentations (récoltes 2022-2024) sur trois plateformes champs de l'infrastructure PHENOME-EMPHASIS

DiaPHEN – Mauguio



AgroPhen – Toulouse



PHENO3C – Clermont-Ferrand



# Expérimentations – Dispositif expérimental



- Bordures non récoltées semées en continu
- Bordures récoltées
- Petites parcelles
- Grandes parcelles (= 7 petites parcelles)
- Imagerie phéno-mobile
- Témoins instrumentés

**Dispositif : split-plot avec 2 répétitions**

**Traitements : (irrigué + pluvial) x (semis précoce + semis tardif)**

**Génotypes : 10 variétés commerciales de blé tendre**

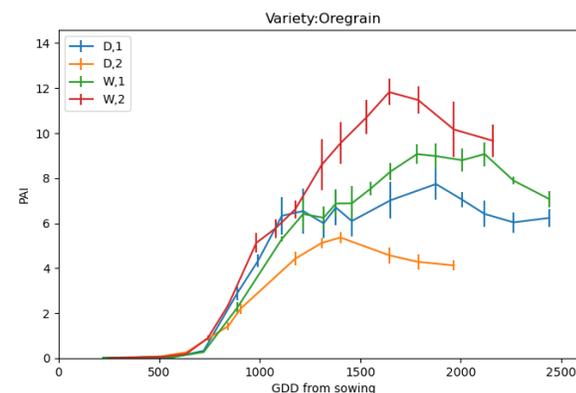
80 microparcelles

=> 72 de tailles standard (8 rangs x 10 m)

=> 8 de grande taille pour l'imagerie satellite (10 m x 10 m)



Essai 2021 à Mauguio



## Expérimentations – Variétés

Variétés	Année d'inscription	Besoin en froid <sup>a</sup>	Précocité à montaison <sup>b</sup>	Précocité à épiaison <sup>b</sup>	Hauteur <sup>c</sup>	Barbes	Panel génétique <sup>d</sup>
Renan	1990	1	1	6	4	Oui	WH
Fructidor	2014	2	3	6	3.5	Oui	BW
Rubisco	2012	3	3	6.5	3	Non	BW, SA, IN
Nemo	2015	3	3	6.5	3.5	Oui	BW
LG Absalon	2016	3	3	6.5	3.5	Non	SA, IN
Chevignon	2017	3	2	6	4	Non	IN
Apache	1998	4	3	7	3.5	Non	BW, SA, IN, WH
RGT Sacramento	2014	4	6	6.5	3.5	Oui	IN
Oregrain	2012	5	4	7	3.5	Non	BW, SA, IN
Nogal	2006	8	5	8	3.5	Oui	BW, SA, IN

<sup>a</sup> 1: très hiver ; 9: très printemps

<sup>b</sup> 1: très précoce ; 9: très tardif;

<sup>c</sup> 1: très court ; 9: très haut

<sup>d</sup> BW: ANR PIA Breedwheat, SA: H2020 SoIACE, WH: FP7 Whealbi, IN: H2020 INVITE

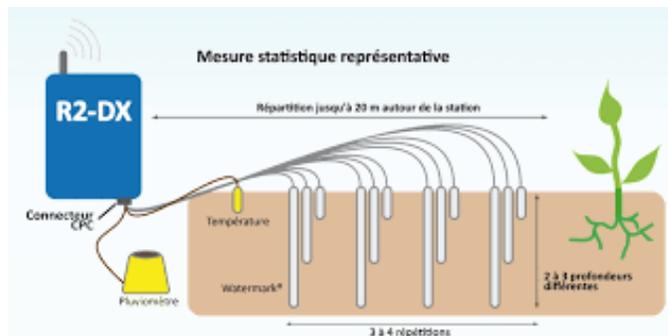
**Augmentation de la taille du panel en année 3 (~30 génotypes)**

## Expérimentations – Caractérisation environnementale

**Données météo** horaires sur chacun des sites (pluviométrie dans chaque sous-bloc)



**Teneur en eau du sol** jusqu'à 1 m de profondeur (sondes tensiométriques + sondes capacitive, dans chaque sous-bloc)

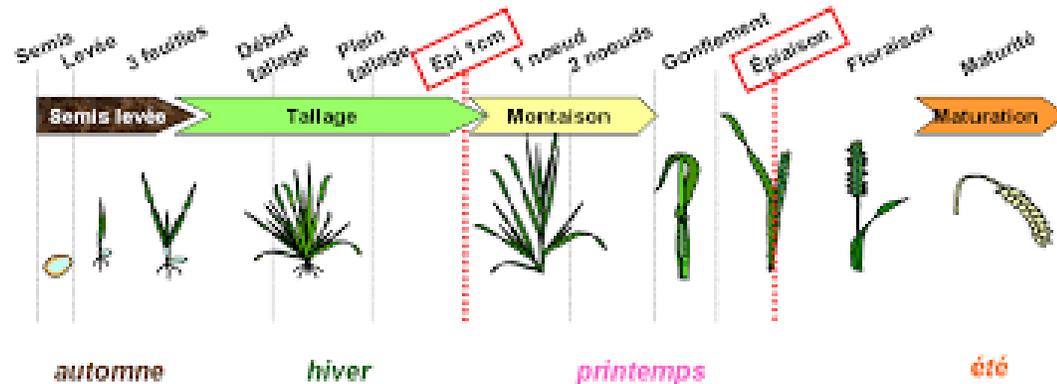


## Expérimentations – Phénotypage



### Acquisition d'images (RGB, LiDAR, multispectrale) avec la Phénomobile (tous les 100 °Cj)

- Fraction de rayonnement intercepté par la culture (fiPARdiff, fiPARdir)
- Surface foliaire (GAI, distribution verticale)
- Fraction de trou (GF)
- Stade phénologiques
- Nombre de talles et d'épis



### Mesures de terrain

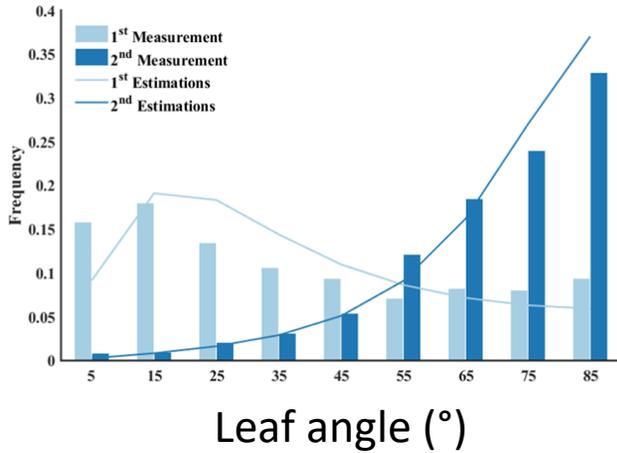
- *Stades phénologiques* (levée, épi 1 cm, dernière feuille ligulée, floraison, maturité)
- *Stades foliaires* (levée à dernière feuille ligulée)
- *Surface des feuilles individuelles*
- *Biomasse* (fin tallage, dernière feuille ligulée, floraison, maturité)
- *Surface foliaire* (fin tallage, dernière feuille ligulée, floraison, maturité)
- *Vitesse et durée de remplissage des grains*



### Imagerie satellitaire (résolution spatial 3.7 m, 1 image par jour)

- Fraction de rayonnement intercepté par la culture (fiPAR)
- Surface foliaire (GAI)
- Fraction de trou (GF)
- Teneur en chlorophylle du couvert (Chl)

# Estimation du GAI et de l'interception de la lumière à partir de l'imagerie RGB sur le terrain



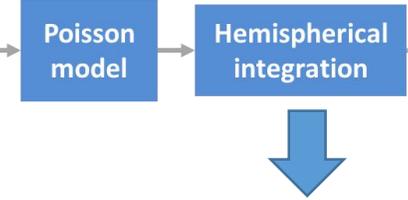
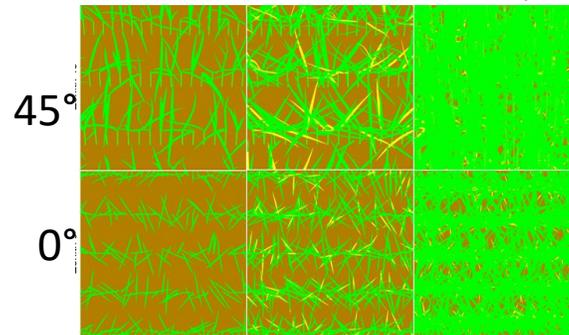
1D radiative transfer model using ellipsoidal leaf angle distribution is a good proxy of wheat canopy.

Liu et al., 2021 *Plant Physiology*, 186: 977-997

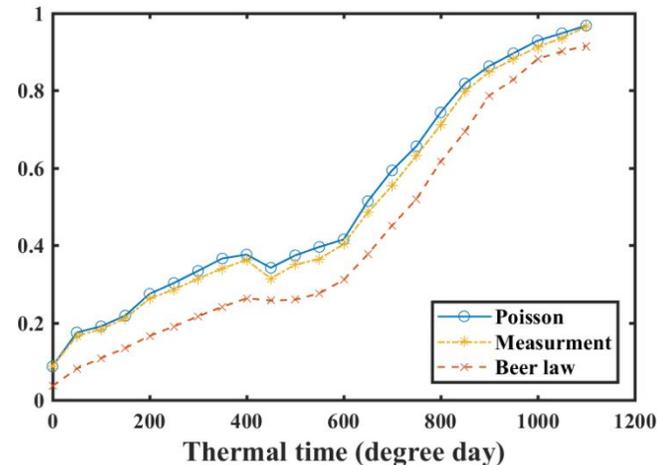
- Average leaf angle (light extinction coeff.)
- Green area index
- fraction of intercepted radiation



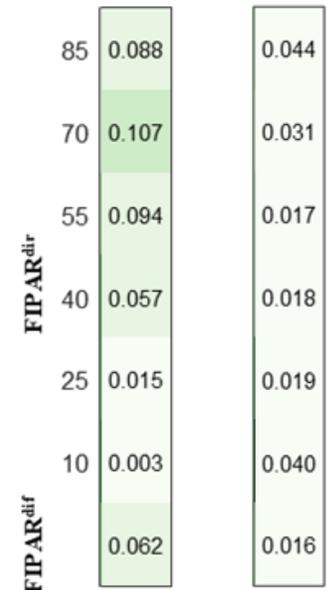
Time →



Fraction of intercepted light



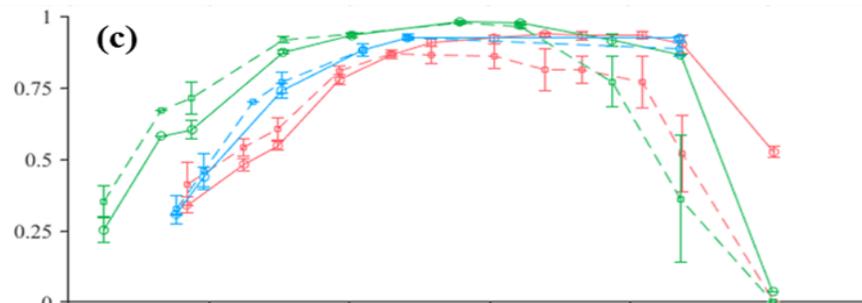
Relative error GS31 GS39



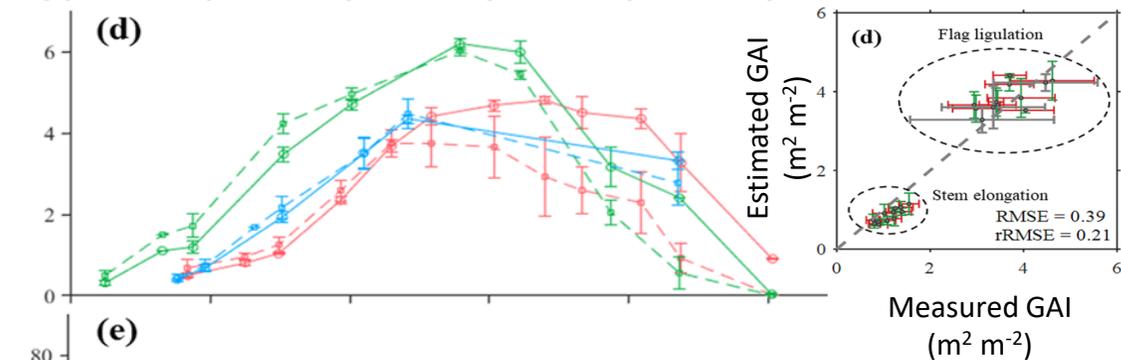
# Dynamique de la structure de la canopée, de la lumière interceptée et de l'efficacité de l'utilisation de la lumière

Year — 2016 — 2017 — 2018 Treatment ○ Irrigation —□— Non-Irrigation

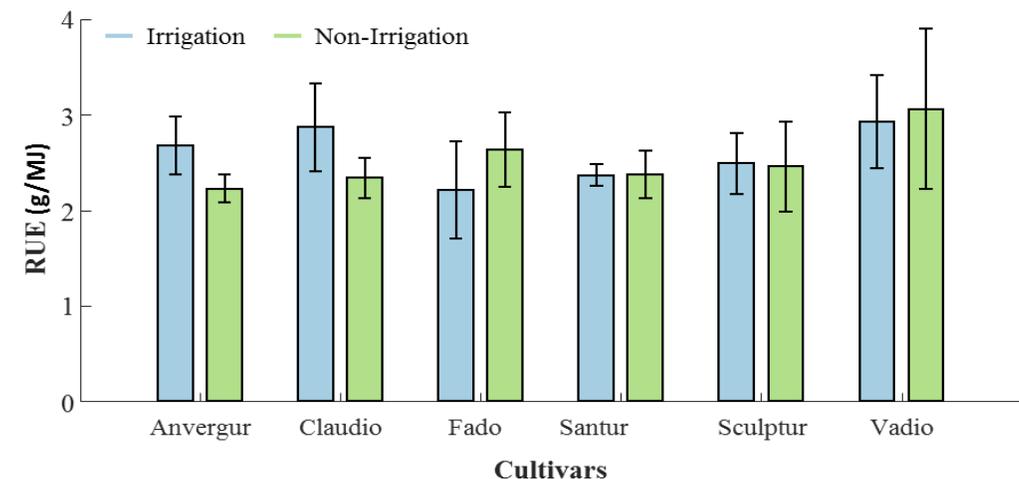
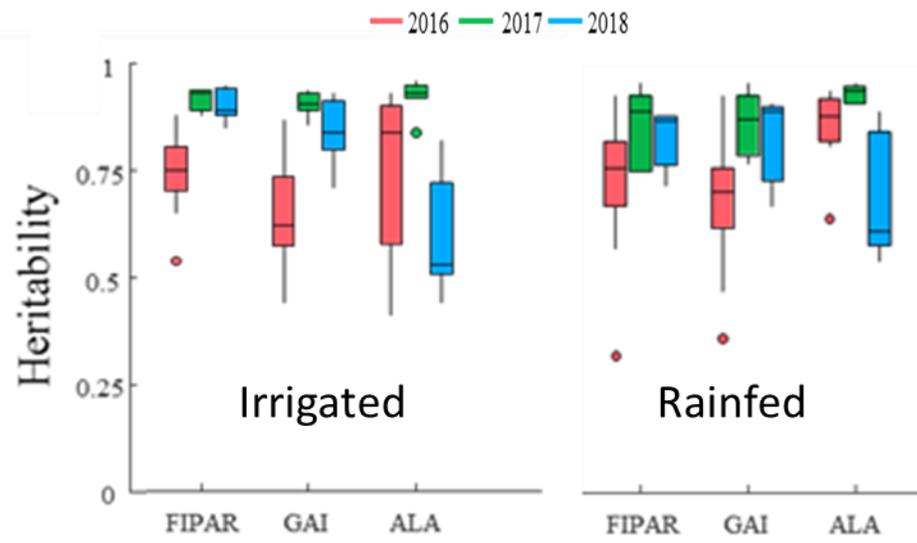
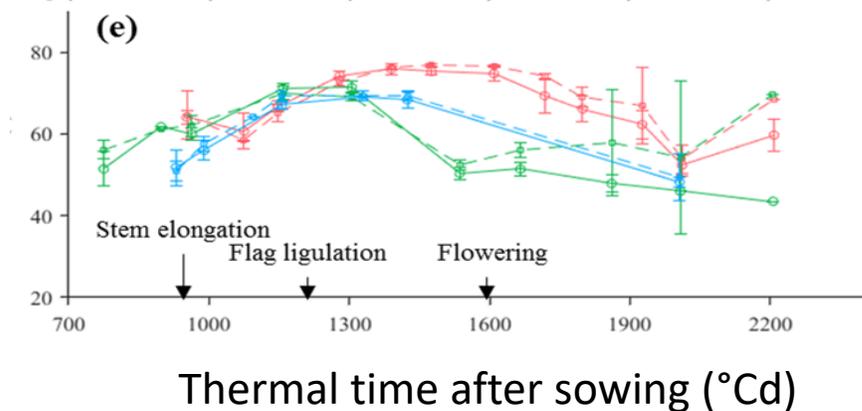
Fraction of intercepted light, FIPAR (-)



Green area index, GAI (m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>)

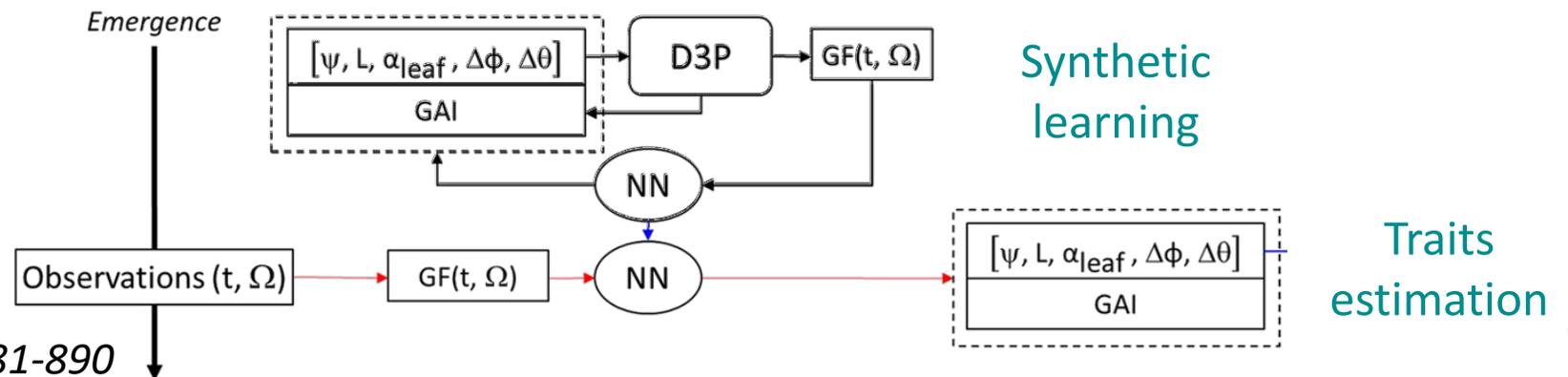
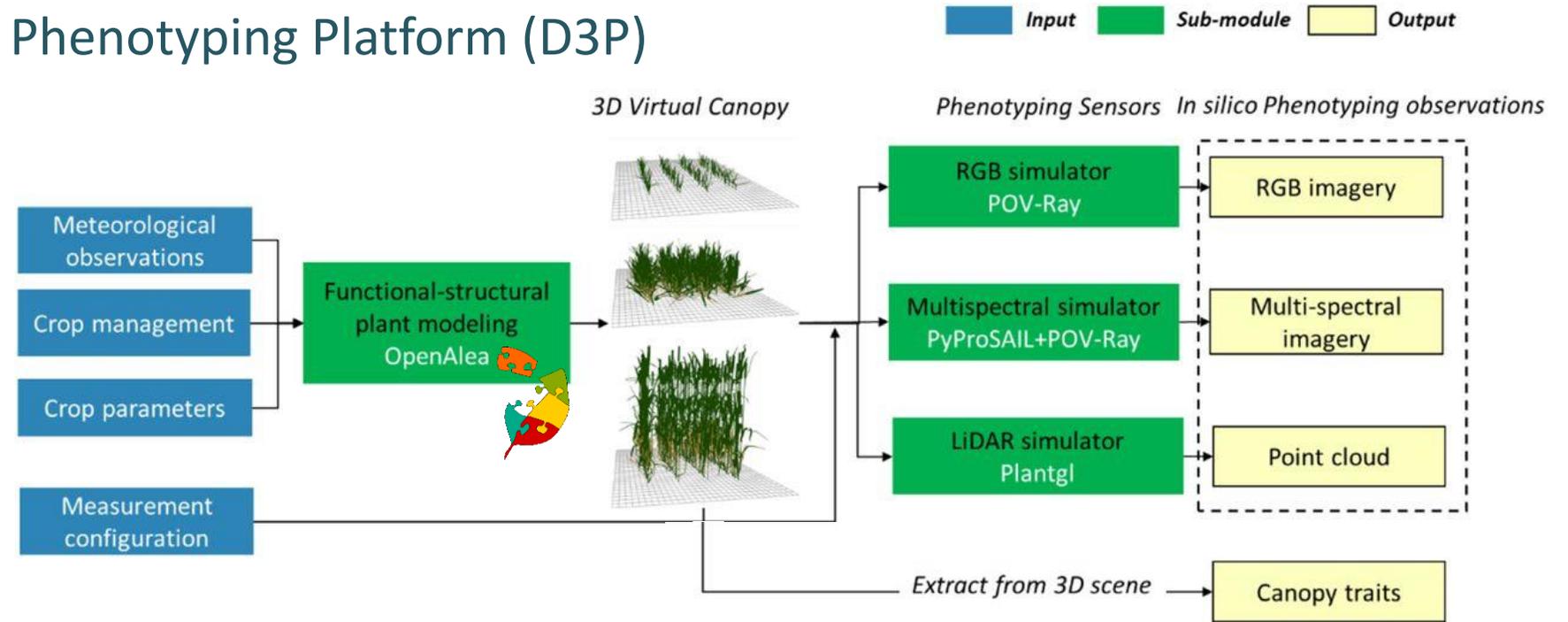


Average leaf angle, ALA (°)



# Extraction des caractéristiques architecturales en couplant des observations phénotypiques à haut débit et un modèle architectural 3D

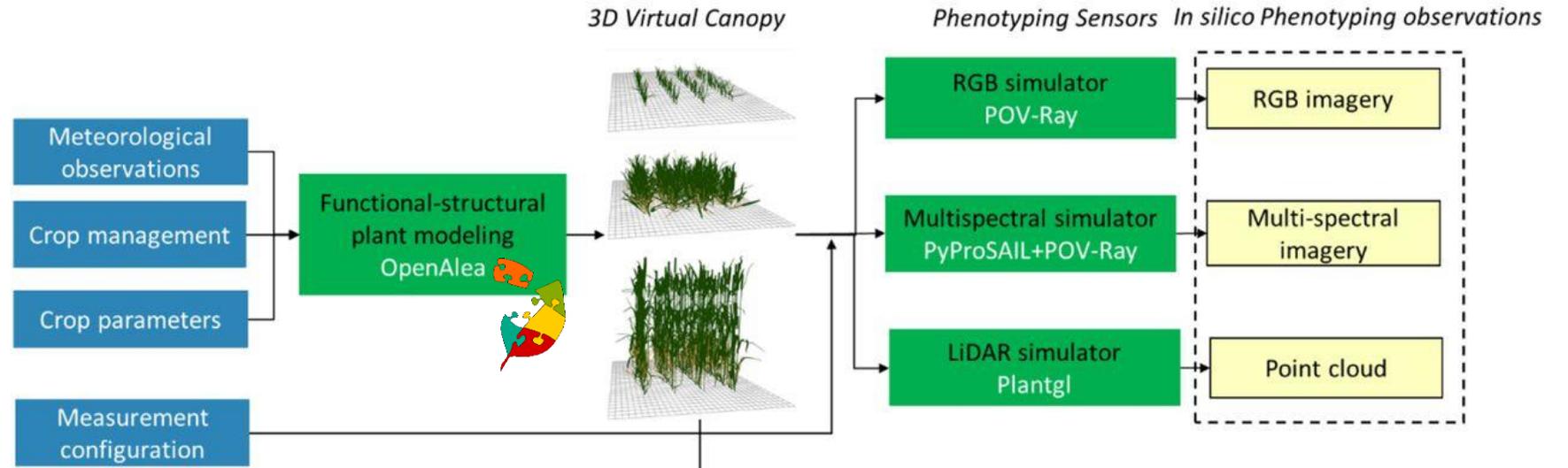
## Digital Plant Phenotyping Platform (D3P)



# Extraction des caractéristiques architecturales en couplant des observations phénotypiques à haut débit et un modèle architectural 3D

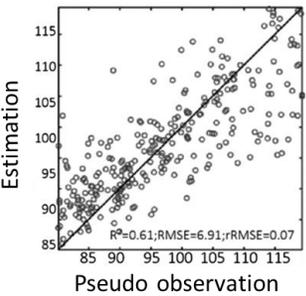
## Digital Plant Phenotyping Platform (D3P)

Input Sub-module Output

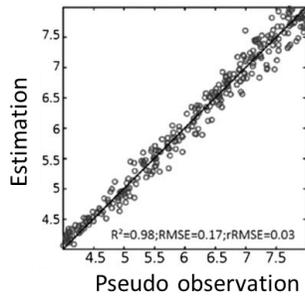


### Données in silico

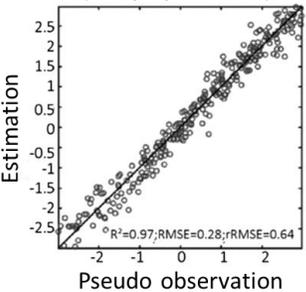
Phyllochron ( $^{\circ}\text{Cd leaf}^{-1}$ )



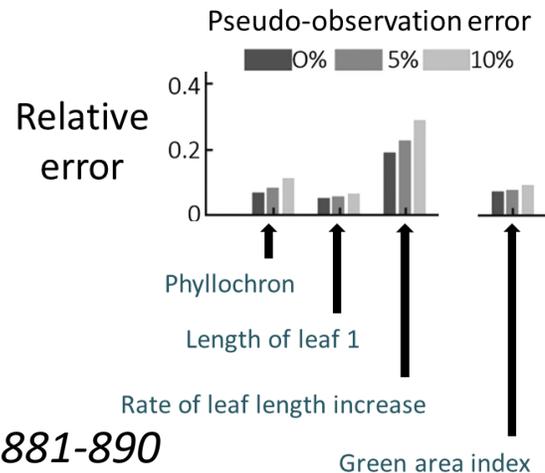
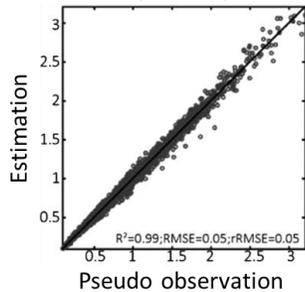
Length of leaf 1 (cm)



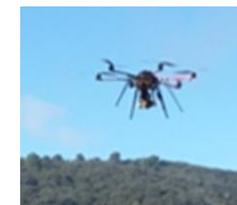
Rate of leaf length increase (cm phytomer $^{-1}$ )

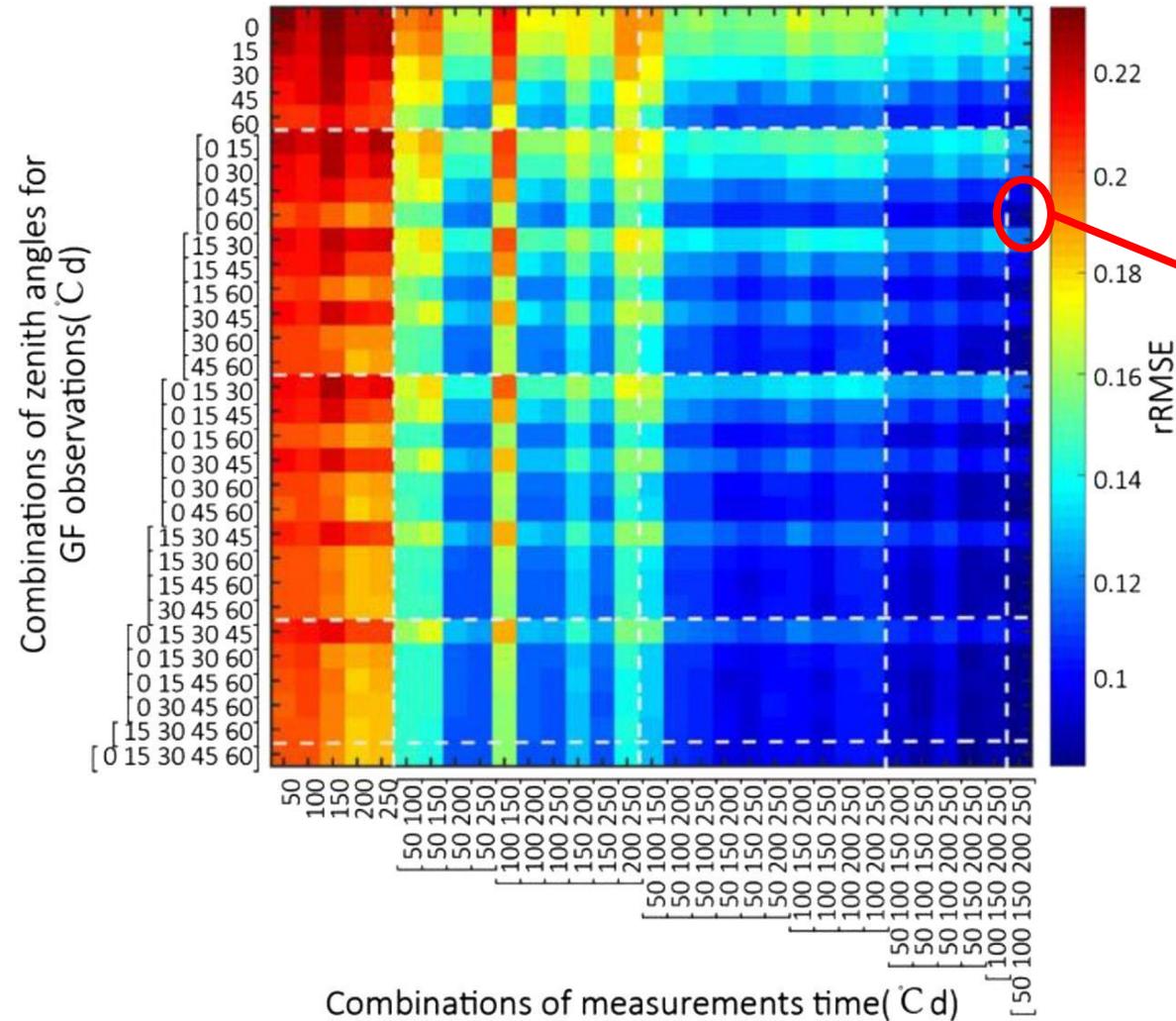


Green area index (m $^2$  m $^{-2}$ )



## Validation au champ dans FFAST

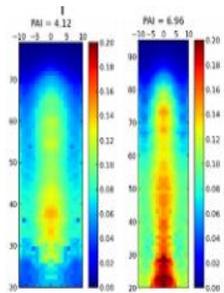




Observations à 0° et 60° (angle zénithal) répétées tous les 100 °Cj fournissent le meilleur compromis entre la précision de l'estimation du trait et le coût associé à la multiplication des mesures et des appareils

## Analyse de l'architecture 2D et 3D

### Caractérisation de l'architecture 2D du couvert par Li-DAR



Canopy height

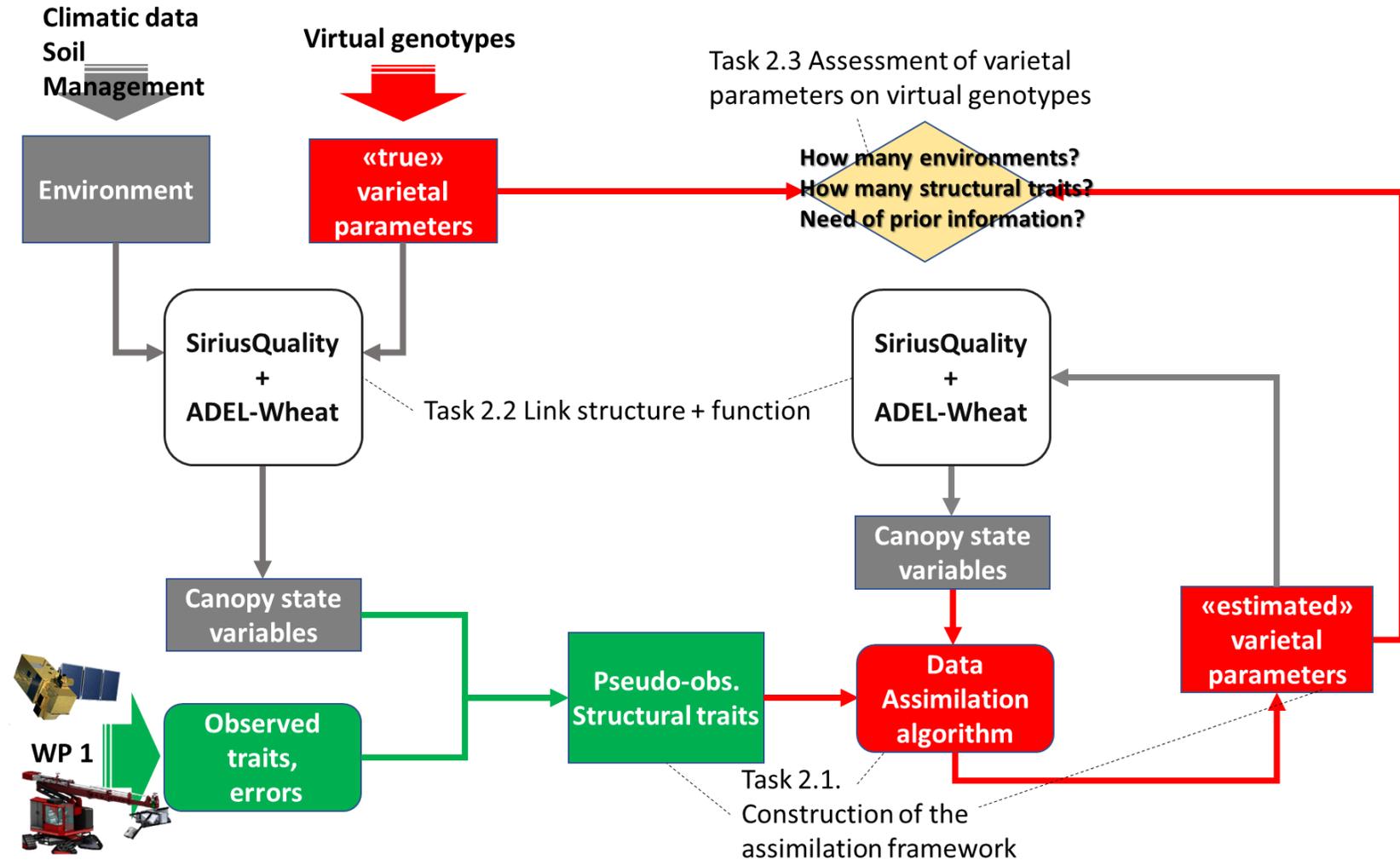
Biomass 3D distribution (voxels)

### Caractérisation de l'architecture 3D du couvert à l'échelle de l'organe par stéréovision (Pheonfix, UMT CAPT, Avignon)



# Workflow d'assimilation d'observations haut débit

Développement à partir des expérimentations *in silico*, avec des 'génotypes virtuels'

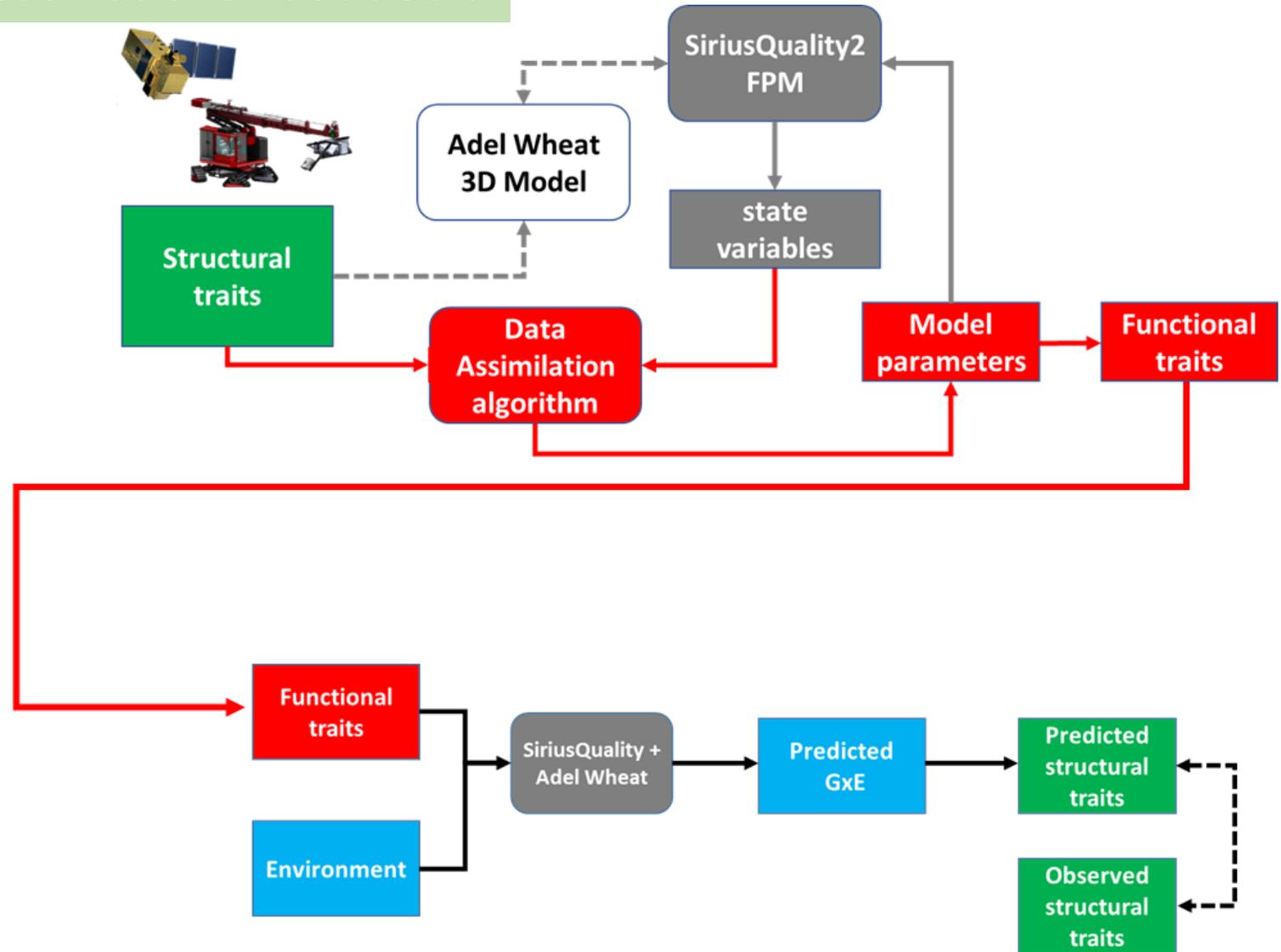


# Workflow d'assimilation d'observations haut débit

Développement à partir des expérimentations in silico, avec des 'génotypes virtuels'

Application aux génotypes réels avec les observations Phénomobile + satellite

Validation des prédictions du modèle dans des environnements non utilisés pour l'estimation de paramètres



## Validation – réseau multi-local



- Réseaux d'agricultures (Eure-et-Loir et vallée du Rhône), Living Labs (Puy de Dôme et Gers, Haute-Garonne), UE INRAE (PHACC, APC, DiaScope, + ?)
- Pratiques culturales locales, 0.5 ha par variétés
- 4 variétés commerciales de blé tendre (issues des variétés phénotypées dans le projet)



### Piquets connectés

- Données météo locale
- Imagerie RGB (fiPAR, GAI)



### Imagerie satellitaire (résolution spatiale 3.7 m, 1 image par jour)

- Fraction de rayonnement intercepté par la culture (fiPAR)
- Surface foliaire (GAI)
- Fraction de trou (GF)



### Mesures terrain (capteur piéton LITREAL, sur certain sites)

- Fraction de rayonnement intercepté par la culture (fiPAR)
- Surface foliaire (GAI)
- Fraction de trou (GF)

**Possible extension du réseau dans le cadre de l'Infra-Tech PHENET (en cours de montage): France, Suisse, Portugal, Belgique**

## Actions en cours

- Expérimentations en cours à Clermont et Mauguio (semis impossible à Toulouse)
  - Valider de manière systématique certains traits essentiels: PAI, fiPAR, densité d'épis, stades phénologiques
  - Traits par stéréovision (3D)
- Mise en place du système d'assimilation (expérimentation *in silico*) : identification des partenaires
- Identification du réseau de parcelles agricoles (plusieurs 'modalités, au suivi par satellite)
  - => Intérêt des UE et du réseau IBD pour contribuer au réseau de validation (e.g. sur parcelles d'homogénéisation) ?
- Partager des méthodes et expériences et collaborer avec des équipes potentiellement intéressés au projet