

L'infrastructure

PHENOME-EMPHASIS

5 avril 2022, Paris

Jacques Le Gouis



anr[®]
agence nationale
de la recherche
AU SERVICE DE LA SCIENCE

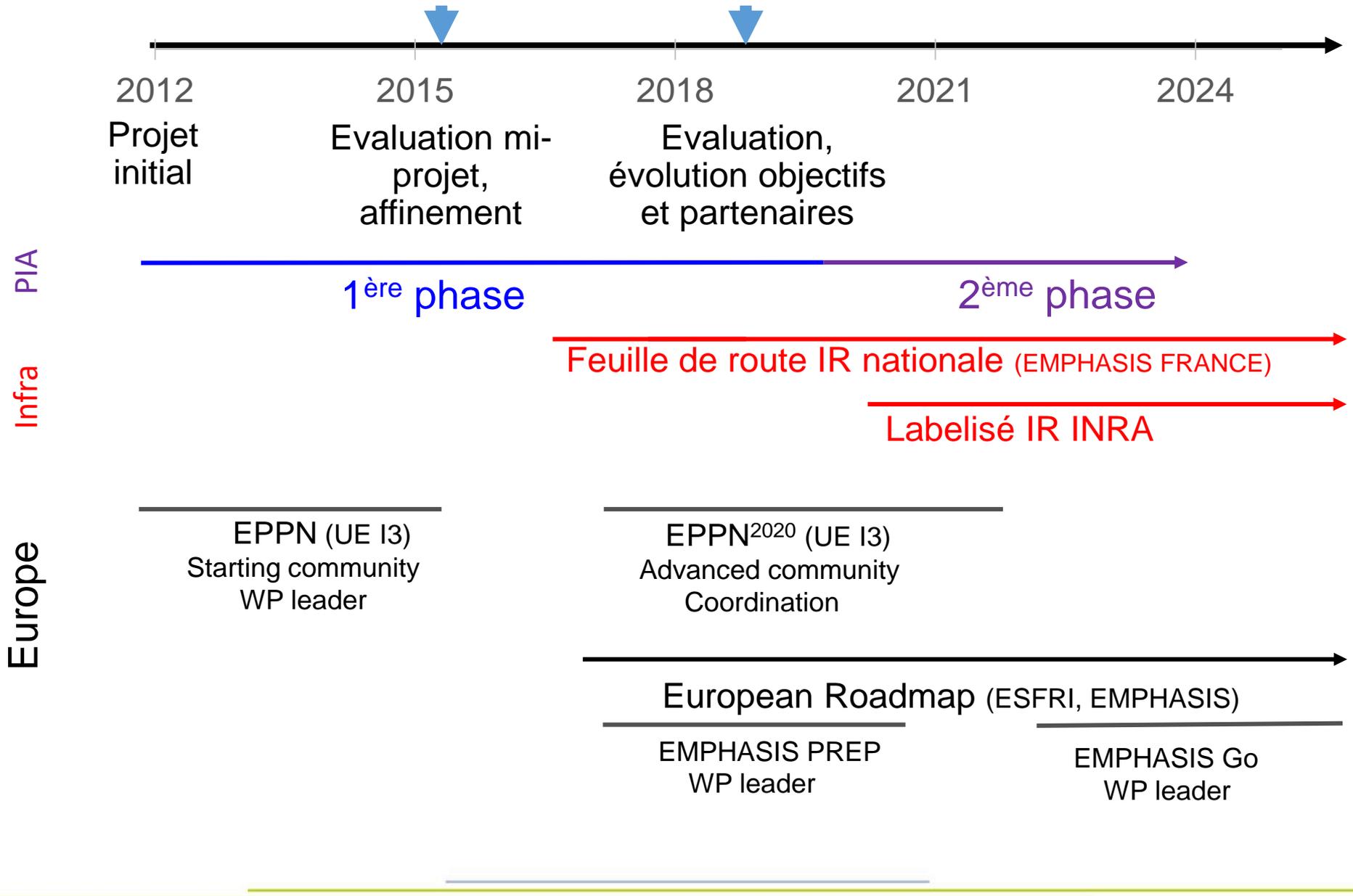
ANR11-INBS-0012

INRAE

ARVALIS
Institut du végétal

**Terres
Inovia**
l'agronomie en mouvement

Le projet PHENOME-EMPHASIS



Développer l'infrastructure qui aidera à concevoir des génotypes adaptés au changement climatique et à l'agroécologie

1. **Caractériser** de grandes collections de génotypes permettant des études de génétique quantitative (GWAS - GS) : **phénotypage à haut débit**
 2. **Manipuler / contrôler** des scénarios environnementaux contrastés, y compris les principales composantes abiotiques/biotiques du changement climatique et de l'agroécologie
 3. **Développer des méthodes / applications** pour la communauté végétale permettant de répondre à de nouvelles questions scientifiques fondamentales et appliquées
 4. **Faciliter l'existence d'un écosystème de PME** autour du phénotypage et de l'agriculture numérique
 5. **Participer au développement d'une infrastructure européenne** pour la phénomique (EMPHASIS) et interagir avec des infrastructures connexes (ELIXIR, AnAEE, MetaboHub)
-

Infrastructure de phénotypage

Plateformes en conditions contrôlées

Plateformes au champ

Plateformes métabolomique et structurale

Développements technologique et méthodologique

Systèmes d'acquisition et chaînes d'analyses d'images

Systèmes d'information et analyses de données

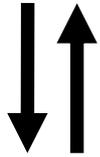
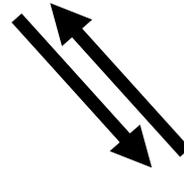
Gouvernance

Une combinaison de plateformes et méthodes



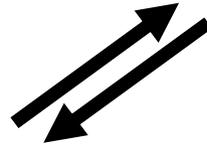
Conditions contrôlées

- Traits non mesurables au champ
- Plantes individuelles
- Paramètres de modèles



Omics haut-débit

- Couverts
- Validation en conditions agronomiques
- Rendement



Champ

- Composition, qualité, réponses physiologiques

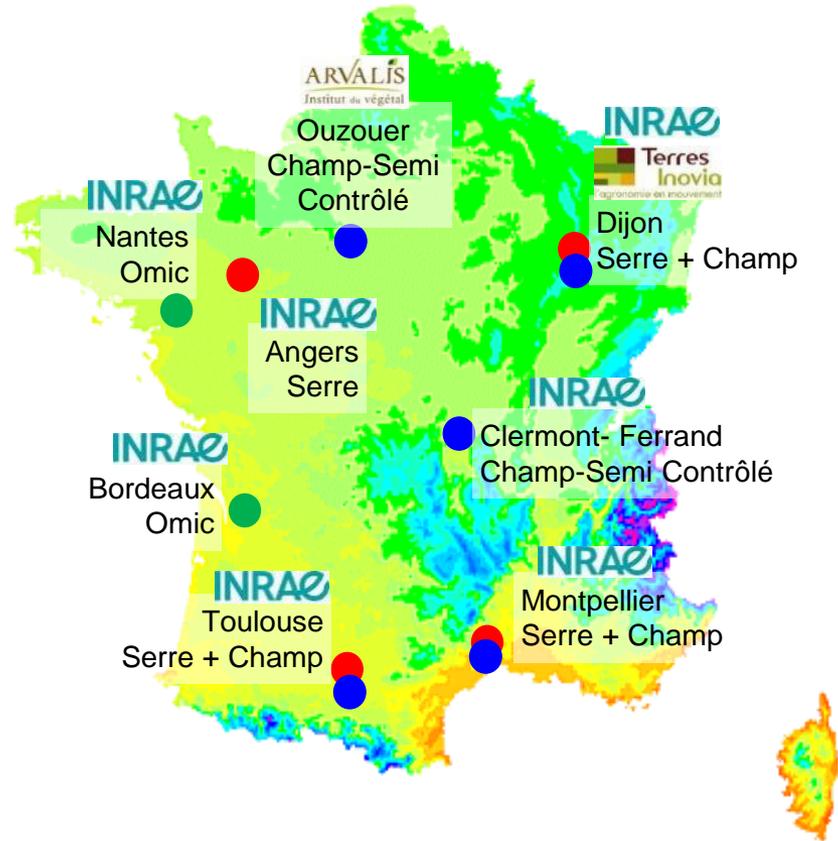
L'infrastructure PHENOME-EMPHASIS

11 plateformes

Conditions contrôlées



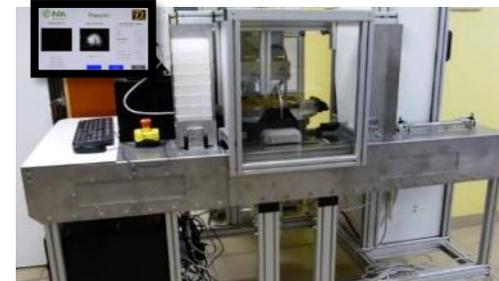
Champ semi-contrôlé



Champ



Omic



Analyses génétiques de la variabilité de réponse aux stress

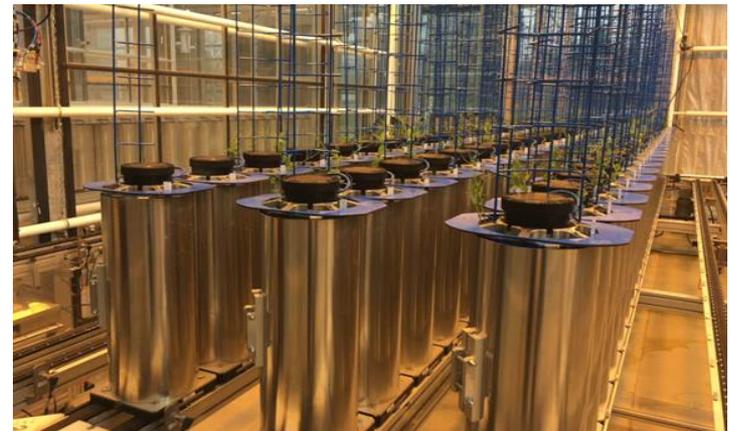
Effectif de quelques centaines à quelques milliers de plantes en pots ou en RhizoTubes

A l'échelle de l'organe ou de la plante individuelle

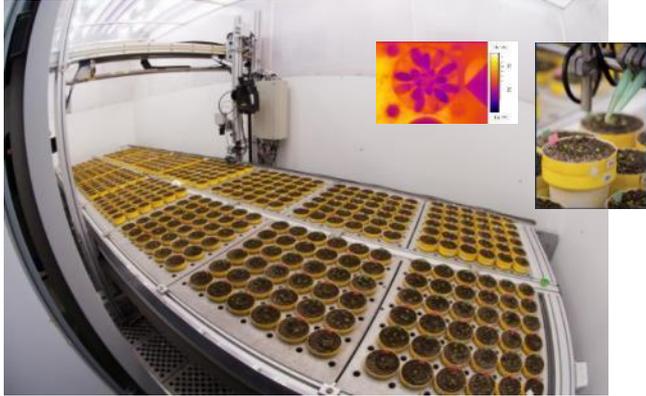
Mais possibilité d'analyser des interactions entre plantes ou avec des microorganismes

Permet d'imposer des contraintes climatiques ou nutritionnelles contrôlées

Caractérisation précise de la croissance et du développement des plantes



Analyses génétiques de la variabilité de réponse aux stress



PHENOPSIS

Analyse multi-échelle de la plasticité



PHENODYN

Elongation des organes et transpiration



PHENOARCH

Croissance, architecture et transpiration



4PMI

Croissance et architecture du système racinaire (RhizoTube™) - Interaction avec microorganismes



Conditions contrôlées (Toulouse-Angers)

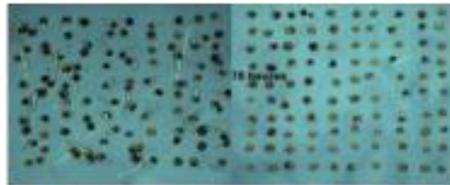
Analyses génétiques de la variabilité de réponse aux stress



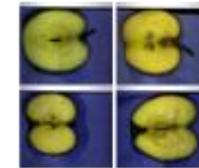
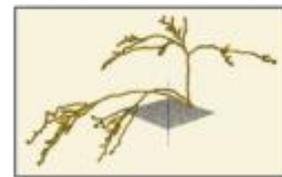
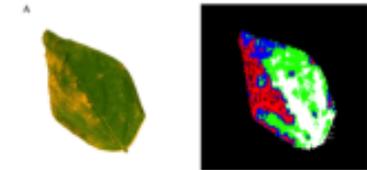
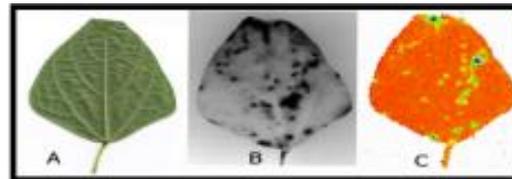
TPMP
Interaction plantes - microorganismes



HELIAPHEN
Croissance et réponses au stress



PHENOSEM
Morphologie et qualité des semences et jeunes plants



PHENOTIC-PLANT
Architecture des plantes et impact des stress

Disponibilité en eau et réponse du couvert

Abris mobiles et automatisés - Protection de ~400 microparcelles



PhenoField®

- 8 toits roulants de 655 m² se déplaçant sur 8 lignes de culture
- 4 positions par ligne de culture
- 384-768 microparcelles de 5.2m²

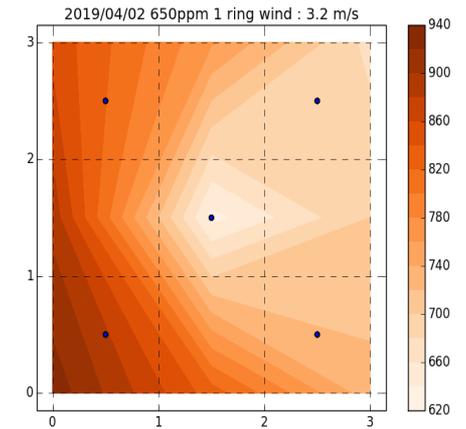
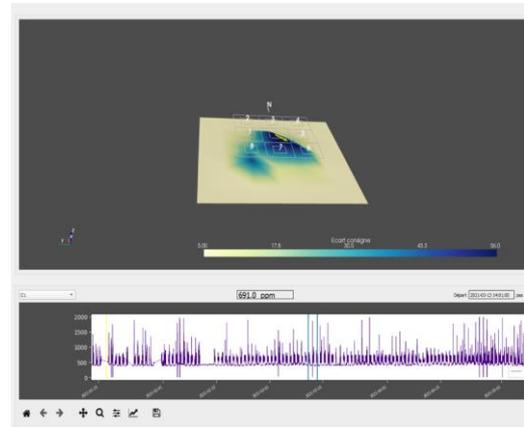
Phéno3C

- 4 toits roulants de 1200 m² se déplaçant sur 4 lignes de
- 3 positions par ligne de culture
- 768 microparcelles de 2.2m²

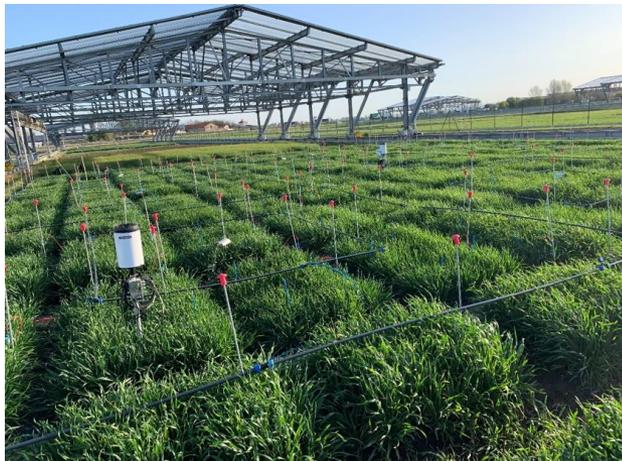
Citerne et réchauffeur CO2



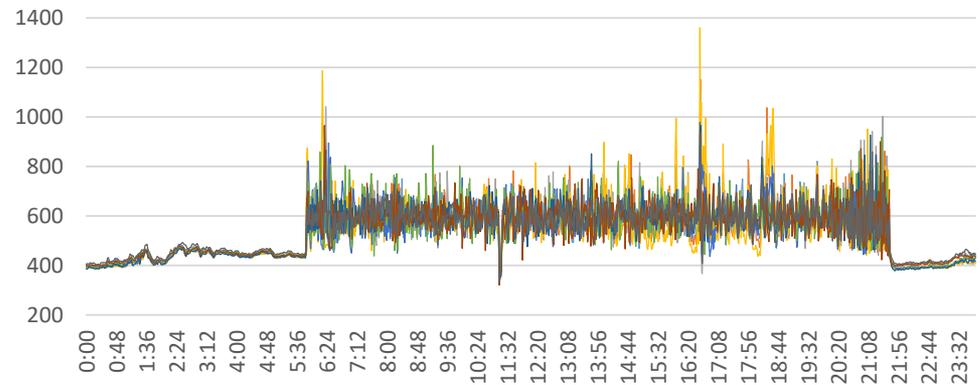
Cartes de distribution



Implantation



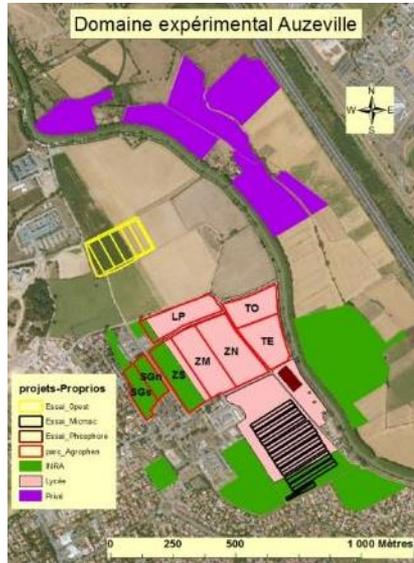
Régulation CO2 28 Mai 2021



Collaboration F. Miglietta (CREA)
V. Allard, D. Cormier, B. Adam

Analyse de la diversité en conditions agronomiques

Toulouse Agrophén

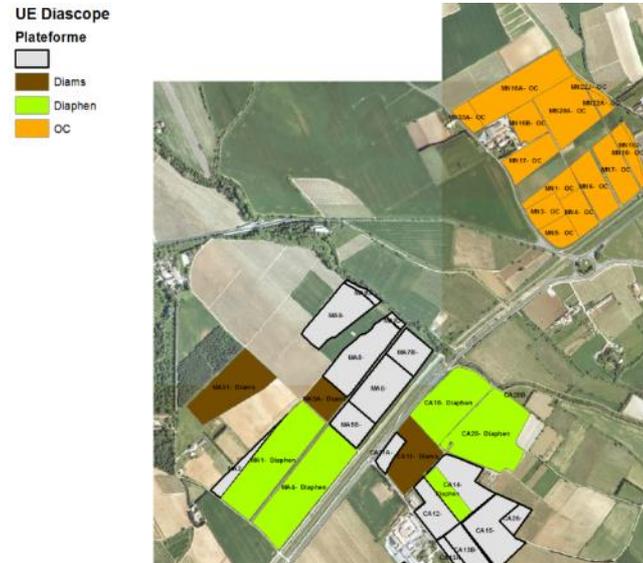


Capacité expérimentale ~ 3 ha

- 0.5-1.0 ha semis printemps

- 1.5 -2.0 ha semis automne

Montpellier Diaphén



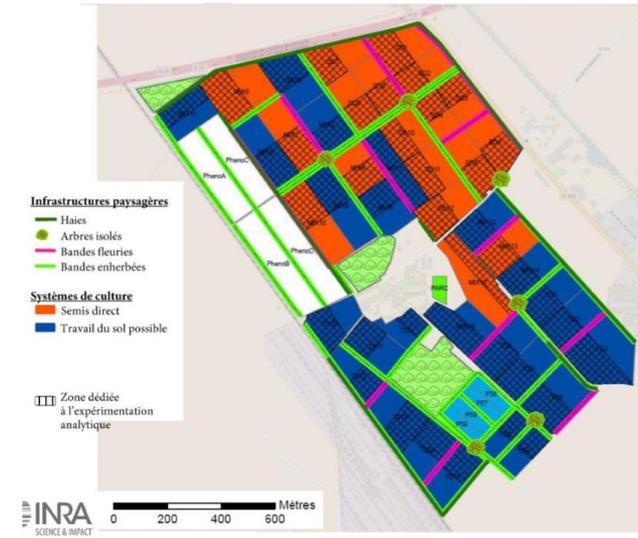
Capacité expérimentale ~ 10 ha

- 4 ha semis printemps

- 4 ha semis d'automne

- 2 ha espèces pérennes

Dijon Phenovia

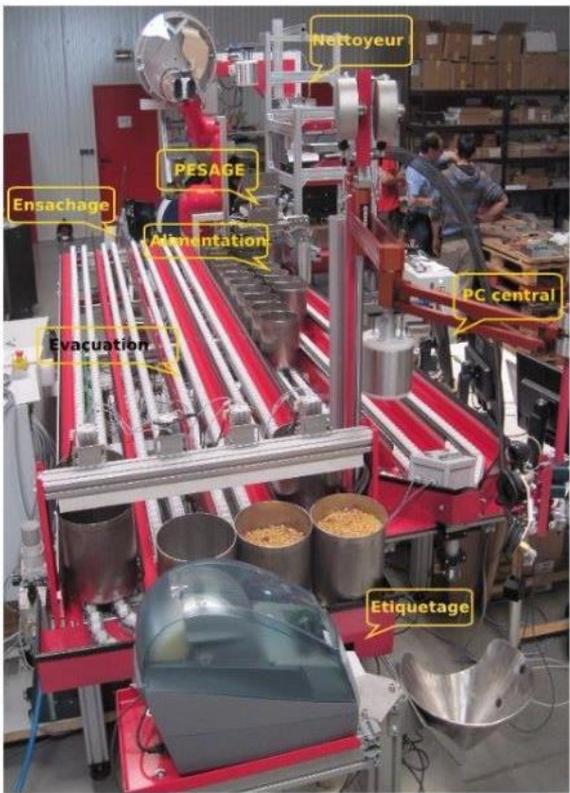


Capacité expérimentale ~ 20 ha

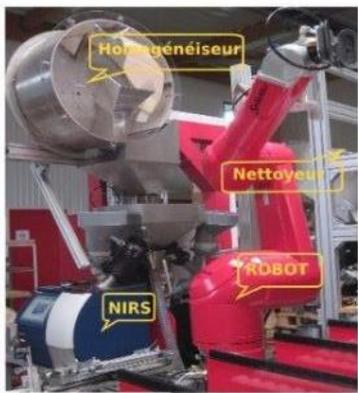
- 2 zones de 8-10 ha

Caractérisation précise de l'environnement
Outils de phénotypage (phénomobile, drone, Phenoman)

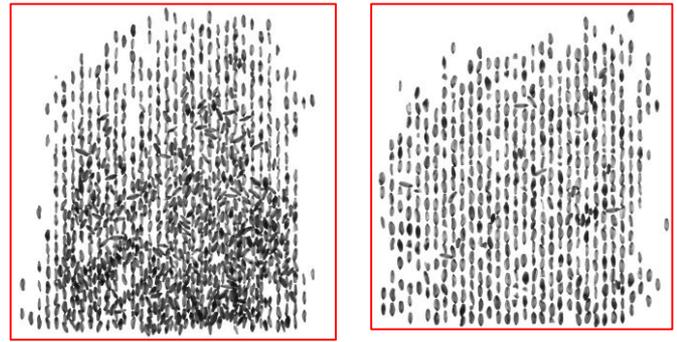
Analyse de la diversité des grains récoltés



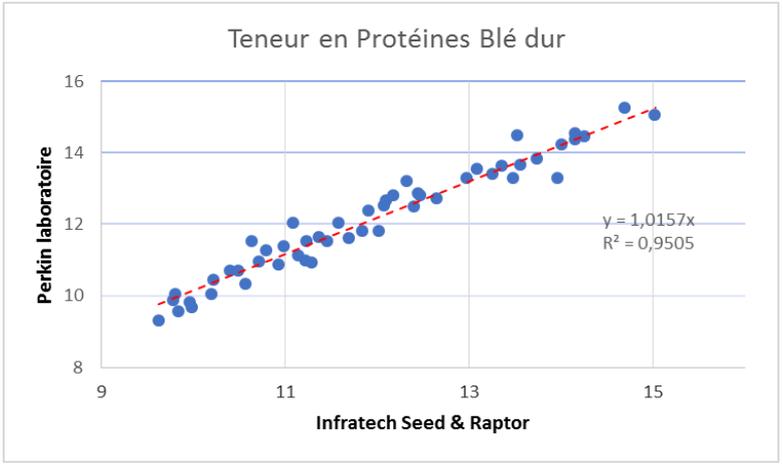
Seed & Raptor



Réglages des automatismes

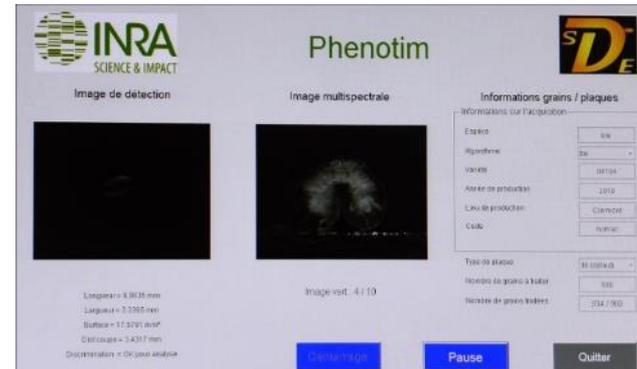
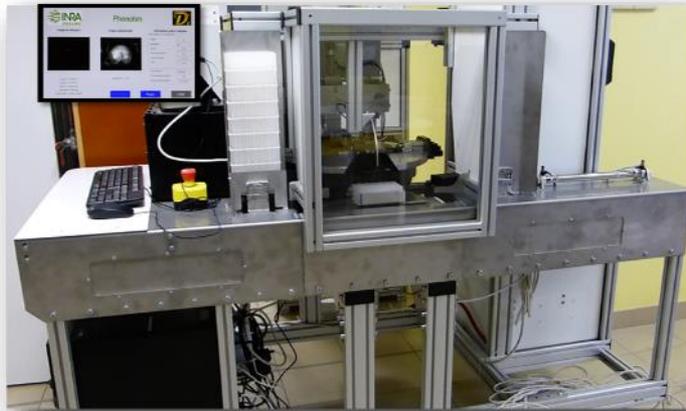


Répartition des grains pour analyse morphométrique



Validation des prédictions

Caractériser la structure interne des graines dans des collections d'échantillons par imagerie multi-spectrale



- acquisition d'une image multi-spectrale / grain
- opérationnel sur **blé** et espèce apparentée (orge, ...)
- débit : **300-500 images/24h**
- **traçabilité** des images et des grains (récupération individuelle des grains dans boîte 96 puits), traçabilité des meta-données

Criblage biochimique de collections d'échantillons (céréales, légumineuses, oléagineux, fruits, biomasse lignocellulosique...) sur la base de leur composition en biopolymères (polysaccharides pariétaux, oligosaccharides, amidon, protéines, lipides, ...)



Automates de préparations chimiques des échantillons

Systèmes analytiques dédiés (chromatographies & spectrométrie de masse)

→ Méthodes de **préparation automatisée** des échantillons

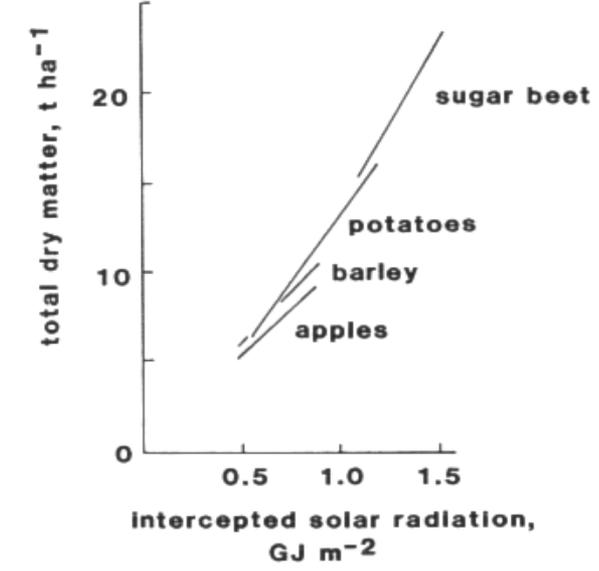
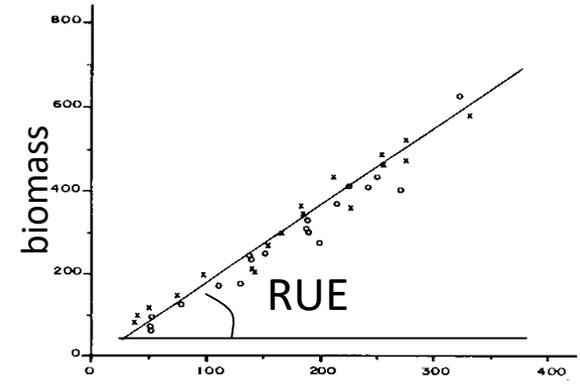
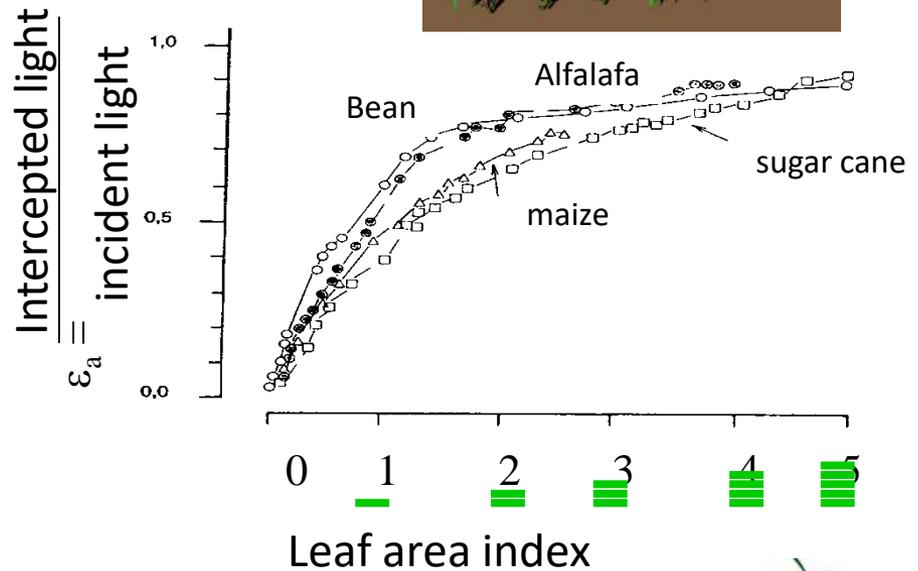
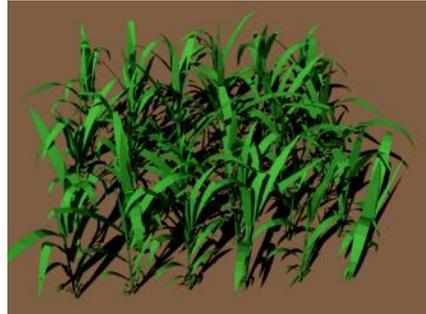
- **Robot de pesées**
- **Système d'extraction accélérée par solvant**, méthodes développées pour une **50^aaine de substrats différents**
- **Automate de préparations chimiques** (hydrolyse acide, dérivation chimique, digestion enzymatique...)

Impact environnement/stress sur variabilité compositionnelle des matières premières et lien avec leurs propriétés d'usages (nutrition, techno, santé..)

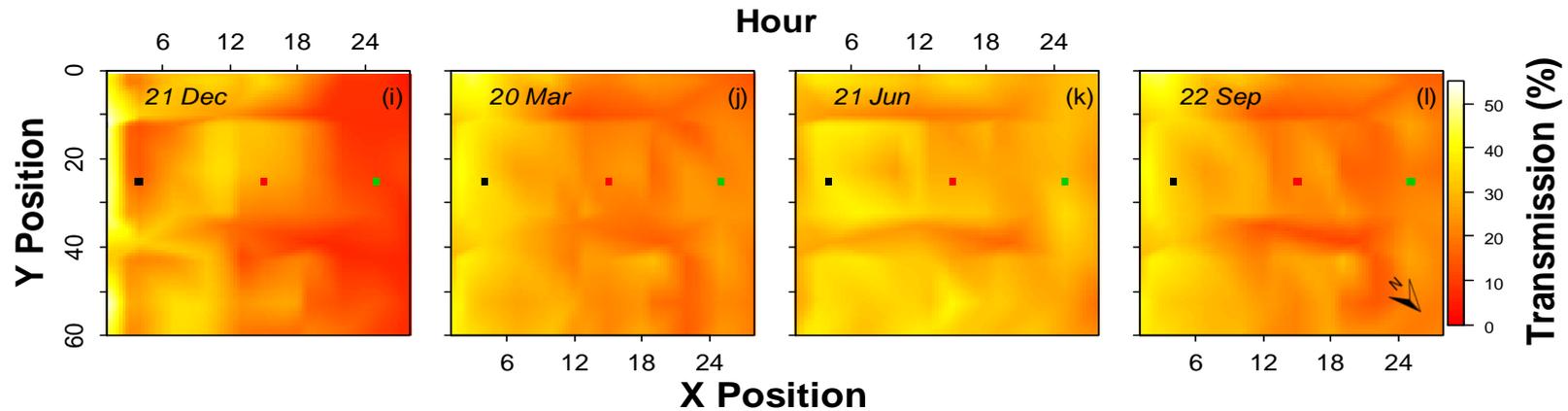
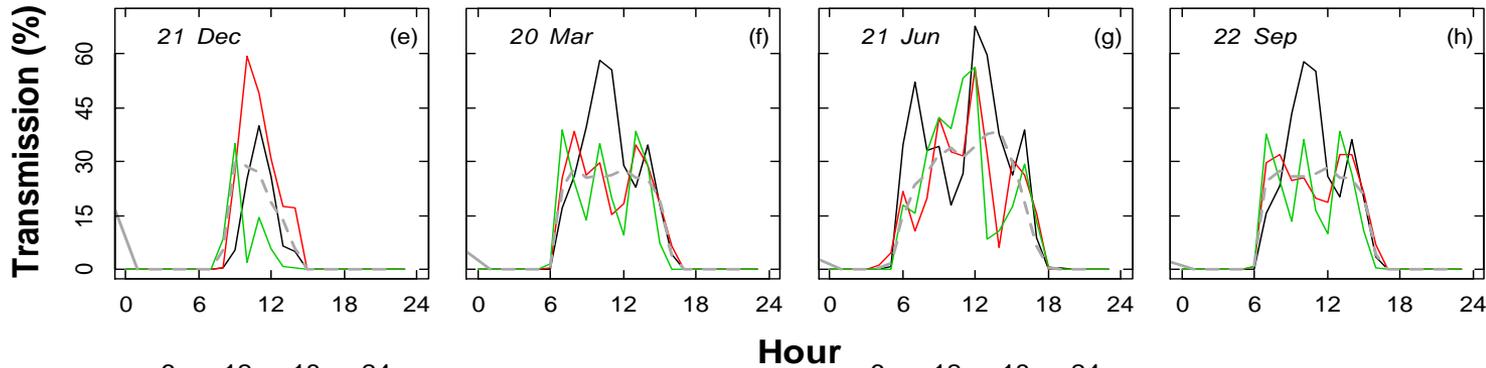
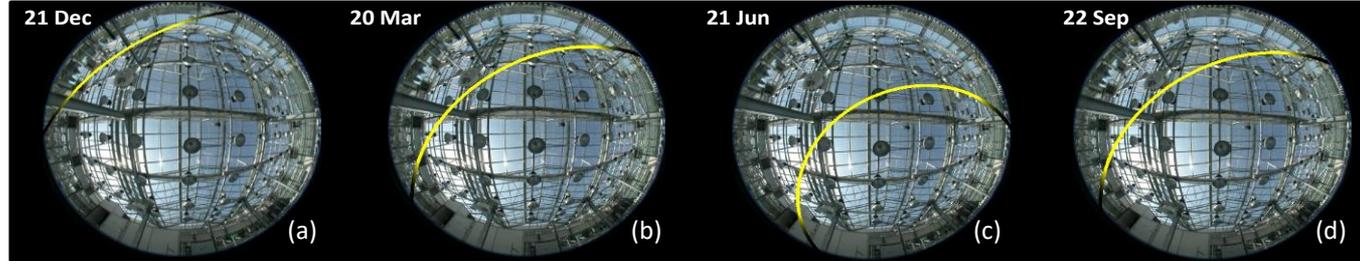
Un exemple d'analyse multi-échelle

Biomasse = \int_0^t rayonnement incident \times % intercepté \times Radiation Use Efficiency (RUE)

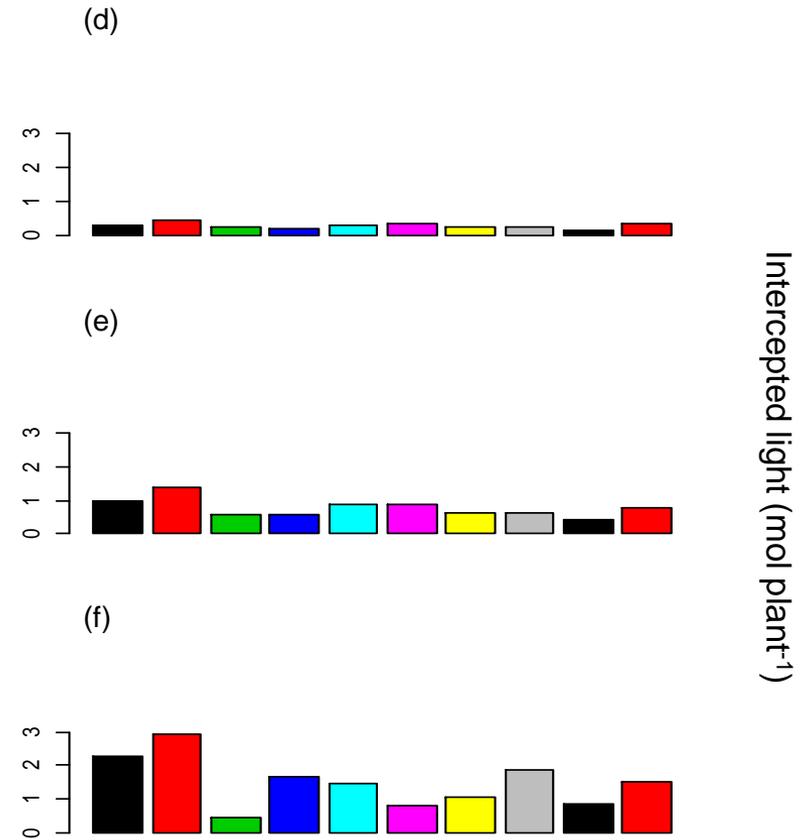
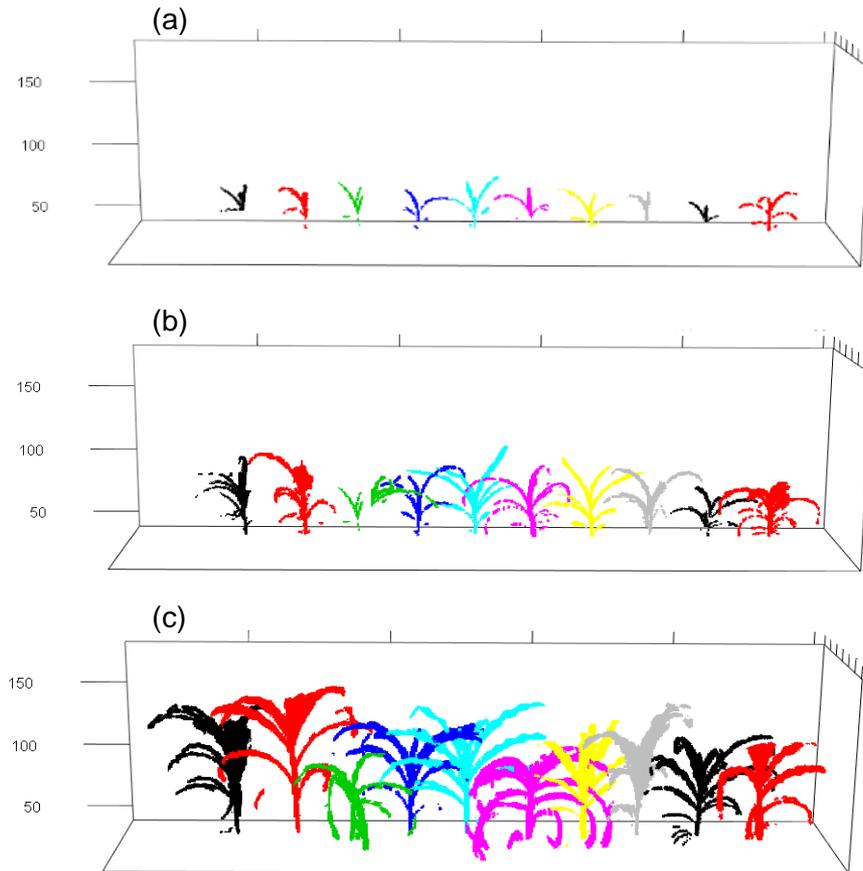
Durée



Cartographie de la distribution du rayonnement incident dans une serre



Calcul de l'interception du rayonnement par les plantes



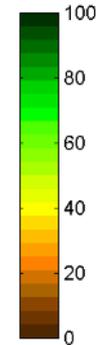
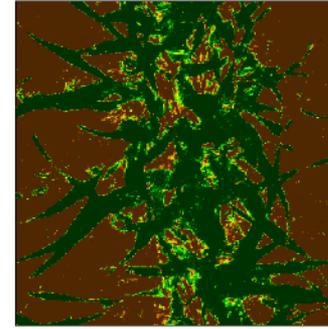
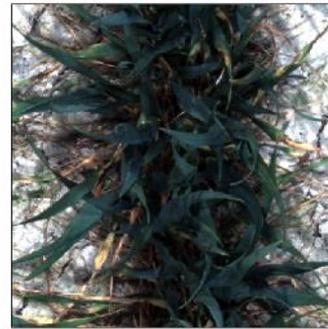
Analyse au champ

Phenomobiles / portiques

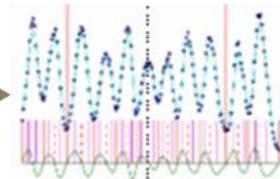
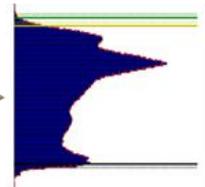
Estimation de la fraction verte, de l'interception de la lumière et de sa pénétration dans le couvert



3D image + LiDAR



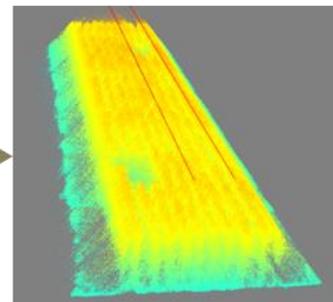
Profile z



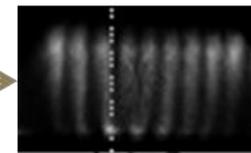
Raw data



Registration



3D point cloud

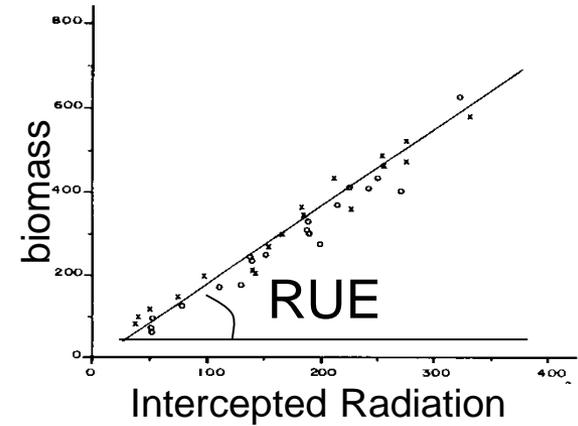
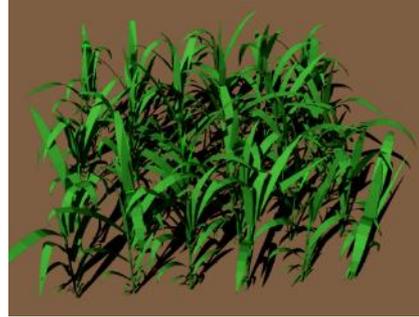


Average section

Sensibilité aux contraintes

$$\text{Biomasse} = \int_0^t \text{rayonnement incident} \times \% \text{ intercepté} \times \text{Radiation Use Efficiency (RUE)}$$

Durée



Architecture

Nb feuilles

Taille des feuilles

Durée de croissance

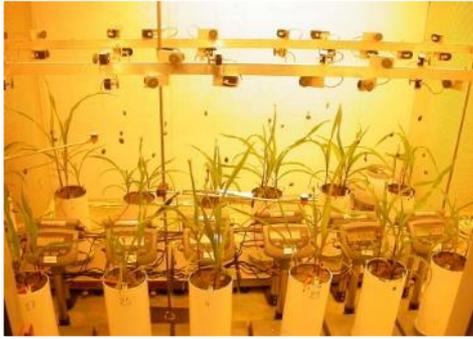
Vitesse de croissance

Sensibilité au stress

A / g_s
(WUE)

g_s

Sensibilité aux contraintes



Déficit en eau

03:36



Source: Oury et al. 2015-INRA-LEPSE

SE=silk emergence

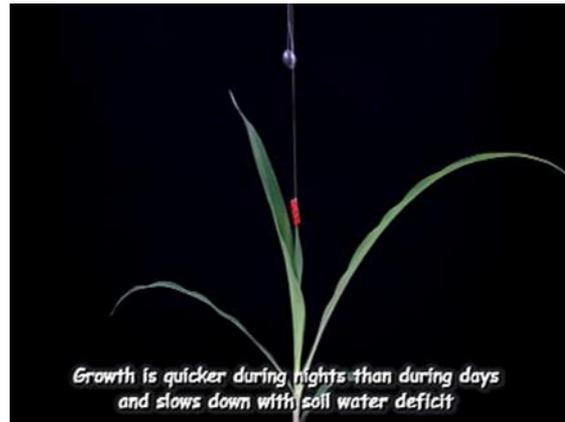
Non limitant

well-watered



Source: Oury et al. 2015-INRA-LEPSE

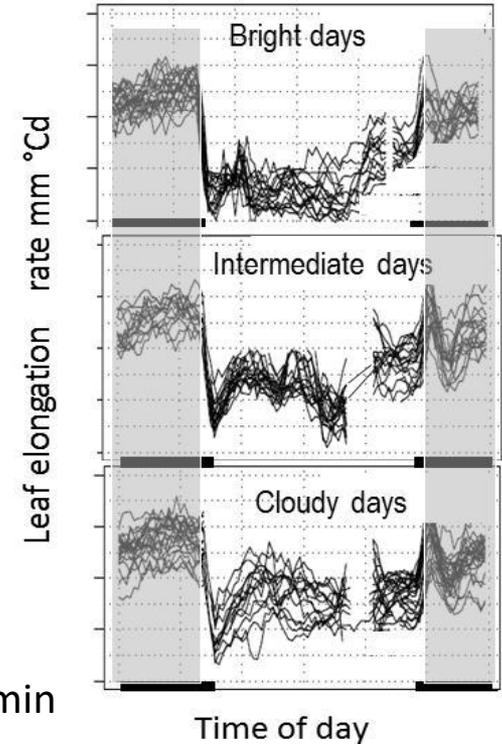
SE=silk emergence



Phenodyn

600 plantes

Définition: min



La complémentarité des outils de phénotypage

Des outils pour :

- Comprendre la réaction des variétés à un scénario précis
- Valider ces résultats à d'autres environnements



Toits roulants de PhénoField

- Scénario complexe de stress hydrique
- Surface limitée
- Saisons limitées

Perche Phenoman

- Vitesse de mesure plus faible
- Pas de Lidar possible
- Environnements exploitables infini



PhénoMobile / PheB

- Surface disponible importante
- Pas de scénario de stress imposé possible
- Plusieurs environnements exploitable

Collaboration : Arvalis, INRAE-LEPSE, ILVO, Agroscope et Université Angers

H2020-INVITE WP5, Task 5.1. Tools for varieties post registration evaluation Winter Wheat, campaign 2020-2021, 4 specific trials

	Ouzouer Le Marché	Greoux Les Bains	Estrées Mons	Pusignan
Additional measurements using phenotyping tools	Phénofield + drones + PHENOMAN stick + WP2 low cost phenotyping tools	Phénomobile + PHENOMAN stick + WP2 low cost phenotyping tools	Alphi + drones + PHENOMAN stick + WP2 low cost phenotyping tools	Drone + PHENOMAN stick + WP2 low cost phenotyping tools

Phenofield



Phenomobile



Alphi



PHENOMAN



Drones



Traits available over crop cycle

- Architectural traits:**
- Averaged height (*not for drones*)
 - Fcover: canopy coverage
 - GF: green fraction
 - GPAI: green plant area index
 - FiPAR: Light and radiation intercepted (*not for drones*)
 - Plant height
- Vegetation indices:**
- NDVI (proxy of Fcover) (*not for PHENOMAN*)
 - MTCI and MCARI2: proxy of chlorophyll (*not for PHENOMAN*)

H2020-INVITE WP5, Task 5.1. Tools for varieties post registration evaluation Maize, campaign 2022, 3 specific trials

	Ouzouer Le Marché	Montardon	Pusignan
Additional measurements using phenotyping tools	Phénofield + drones + PHENOMAN stick + KMScan + WP2 low cost phenotyping tools	Phe-B + PHENOMAN stick + KMScan + WP2 low cost phenotyping tools	+ Drone + PHENOMAN stick + KMScan + WP2 low cost phenotyping tools

PhénoField



Phe-B



Drones



PHENOMAN



KMScan



Traits available over crop cycle

Architectural traits: - Averaged height (*not for drones*)

- Fcover: canopy coverage

- GF: green fraction

- GPAL: green plant area index

- FiPAR: Light and radiation intercepted (*not for drones*)

Vegetation indices: - NDVI (proxy of Fcover) (*not for PHENOMAN*)

- MTCL and MCARI2: proxy of chlorophyll (*not for PHENOMAN*)

- ✓ Total kernel number,
- ✓ Number of row per ear,
- ✓ Ear length, width, volume

- Explorer des gammes environnementales étendues (ex CO₂, VPD) et des interactions complexes (ex bactérie, plante-plante)
- Conduire des diagnostics agronomiques et optimiser les plans d'expérience (cond. contrôlées, et champ, cartographie dynamique)
- Développer l'imagerie hyperspectrale pour accéder à de nouveaux traits (ex propriétés des parois cellulaires)
- Intégrer IA dans les processus d'analyse pour l'estimation de nouveaux traits (ex omics, croissance d'organes – talles, racines, fruits)
- Transformer des preuves de concepts en chaîne opérationnelle de traitement de données pour des traits déjà publiés (ex Architecture, RUE, Gs,...)
- Coupler traits de plateformes (organes, plantes) à traits du champ (couvert - complexe) via la modélisation

Et renouveler l'attractivité des plateformes dans la phase post PIA et post EPPN2020_TNA

Merci de votre attention



anr[®]
agence nationale
de la recherche
AU SERVICE DE LA SCIENCE

ANR11-INBS-0012

INRAE

ARVALIS
Institut du végétal

**Terres
Inovia**
l'agronomie en mouvement

Infrastructure				Control				traits/organs													
Local infrastructure	Institution/ research unit	Installation	Open. Year	Soil water	CO2	low N or P	Biotic	Time defin.	Growth	Transpir.	Root arch.	Shoot arch.	Photosynt.	Canopy arch.	Polysacch.	Proteins	Lipids	Starch	Oligosacch	Enzyme act. metabo.	
Montpellier controlled (M3P)	INRAE-LEPSE	PhenoArch	2013	x		x		d	x	x		x	RUE	x							
		PhenoDyn	2007			x		min	x	x											
		Phenopsis	2007	x	x	x		h	x	x		x	Fluo								
Dijon controlled	INRAE-Agro	4PMI	2014	x	x	x	x	d	x	x	x	x	RUE	x							
Angers controlled	INRAE-IRHS	Phenotic	2014				x	d					Fluo								
Toulouse controlled	INRAE-LIPME	HeliaPhen		x			x	d	x	x			RUE								
		TPMP-Phenopsis	2017	x	x	x	x	d	x	x		x	Fluo								
		TPMP-Phenoserre	2017	x		x	x	d	x	x		x									
Clermont field	INRAE-GDEC	Pheno3C	2016	x	x			d	x				RUE	x							
Ouzouer field	Arvalis	PhenoField	2015	x			x	d	x				RUE	x							
Montpellier field	INRAE - Diasc	DiaPhen	2015					w	x					x							
Toulouse field	INRAE - Auz	AgroPhen	2017			x	x	w	x					x							
Dijon field	Terres Inovia	Phenovia	2013			x	x	w	x					x							
Bordeaux Omic	INRAE - BFP	Hit me	2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						x	
Nantes Omic	INRAE - BIA	Phenics	2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			x				