



**HAL**  
open science

## Opportunities for high throughput phenotyping in agrecology

Christophe Salon

► **To cite this version:**

Christophe Salon. Opportunities for high throughput phenotyping in agrecolgy. Séminaire SFR Structure Fédérative de Recherche, Angers IRHS, Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). FRA., Nov 2014, Angers, France. hal-02791956

**HAL Id: hal-02791956**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02791956v1>**

Submitted on 5 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



# Opportunities for High Throughput Phenotyping in Agrecology

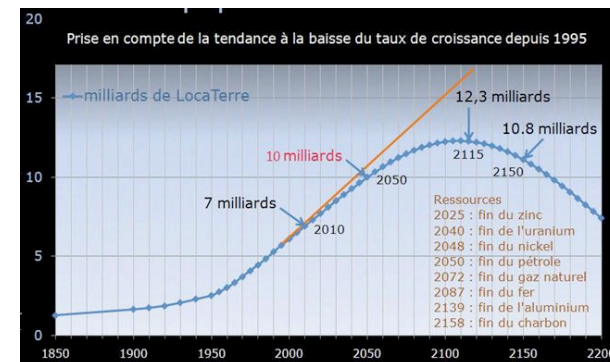
**Christophe SALON**  
**UMR 1347-AgroSup/INRA/uB**  
**17 rue Sully - BP 86510 - 21065 Dijon - France**



## Contexte socio environnemental et économique

- Augmentation de la population mondiale, réduction des terres arables
- Augmentation de la consommation d'intrants (engrais, pesticides, eau)
- Changements globaux

⇒ *Proposer des systèmes agricoles plus durables*






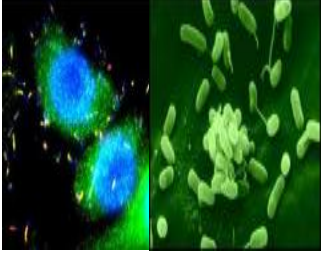
## Enjeux du projet d'UMR Agroécologie

Proposer des systèmes de cultures innovants permettant d'assurer une production agricole de qualité, en quantité suffisante tout en respectant la qualité de l'environnement



# UMR Agroécologie → Systèmes de Culture innovants

Exploiter et caractériser la variabilité génétique, les interactions entre organismes

EcoDur	GEAPSI	IPM	MERS
			
<p>Légumineuses Céréales Colza Adventices Associations</p>	<p>Légumineuses Adventices Associations Medicago Arabidopsis</p>	<p>Légumineuses Vigne, Tabac Tomate Medicago Arabidopsis</p>	<p>Listeria et Tissus racinaire</p>

***Spécificités : une gamme définie d'objets d'étude, interactions plantes/micro-organismes***

# Sélectionner les plantes les plus performantes pour les crops.. ..“meilleur” rendement, « efficacité environnementale.

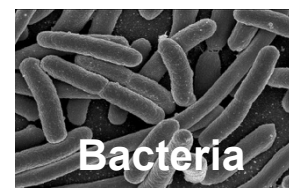
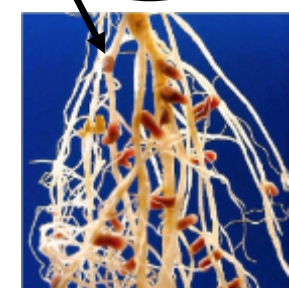
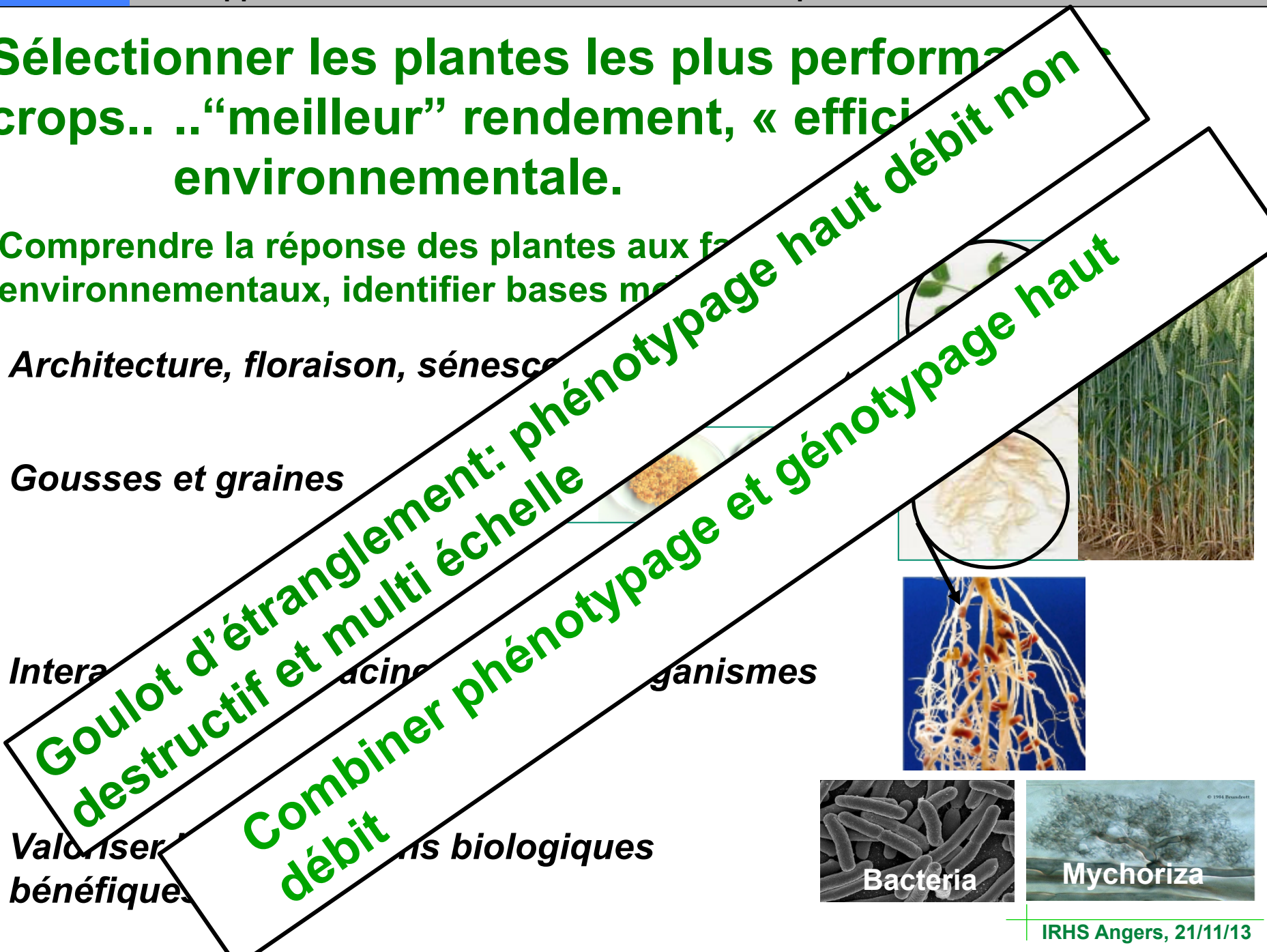
Comprendre la réponse des plantes aux facteurs  
environnementaux, identifier bases moléculaires

Architecture, floraison, sénescence

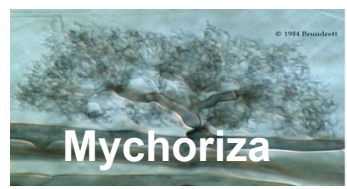
Gousses et graines

Interactions racines-microorganismes

Valoriser les microorganismes biologiques  
bénéfiques



Bacteria



Mychoriza

**Outils et méthodes**

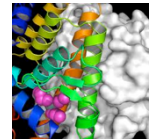


**Variabilité génétique**



**Conception d'Idéotypes de plantes**

**Mécanismes et bases moléculaires**



Fluxomique
PPHD
Rhizotrons
Rhizobox

### Dispositifs de culture

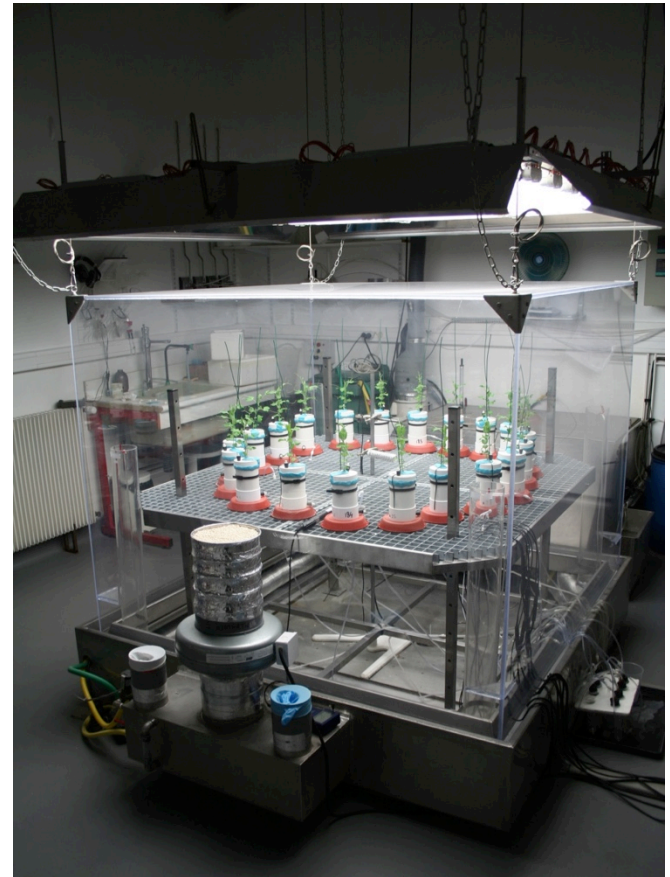


Poches, hydroponique



Split root isotopique N<sub>2</sub>

### Mesures des C, N, S



Chambre de marquage  
<sup>13</sup>C/<sup>15</sup>N/<sup>34</sup>S



Contexte	Approche	Outils	Exemples	Modèles	Conclusion
		Fluxomique			
		PPHD		Equipements	
		Rhizotrons		Shoot roots etc...	
		Rhizobox		Spielberg's	

## Plateforme de Phénotypage Haut Débit





**Bâtiment,**  
**Serres (240+110m<sup>2</sup>),**  
**Chambres climatiques (80m<sup>2</sup>)**  
**Robots et caméras Lemnatec<sup>©</sup>**



Contexte	Approche	Outils	Exemples	Modèles	Conclusion
----------	----------	--------	----------	---------	------------

Fluxomique	
<b>PPHD</b>	Equipements
Rhizotrons	<b>Shoot roots etc...</b>
Rhizobox	Spielberg's



**Architecture aérienne**


20 unités/h

# Plantes des agrosystèmes


**Organes (graines...)**


**Petites plantes**





**Germination**



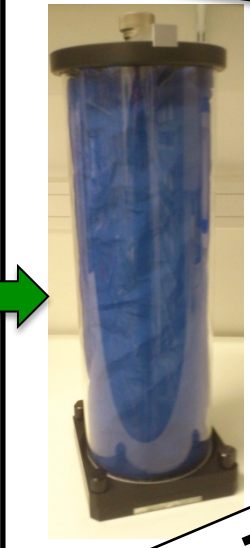
6 unités/h



2 unités/h

**Racines**



120 unités/h



100 unités/h



**Capacité ≈ 1800 plantes**

**Très large capacité**

Cabines de phototypage avec caméras et robots

Contexte	Approche	Outils	Exemples	Modèles	Conclusion
		Fluorimétrie			
		PPHD	Equipements		
		Rhizotrons	Shoot roots etc...		
		Rhizobox	Spielberg's		











Contexte	Approche	Outils	Exemples	Modèles	Conclusion
			Vigne		Objectifs
			Légumineuses		Détection maladie

## Détecter les maladies en viticulture

Problèmes majeurs en viticulture →  
maladies cryptogamiques (oïdium,  
pourriture grise) de la vigne



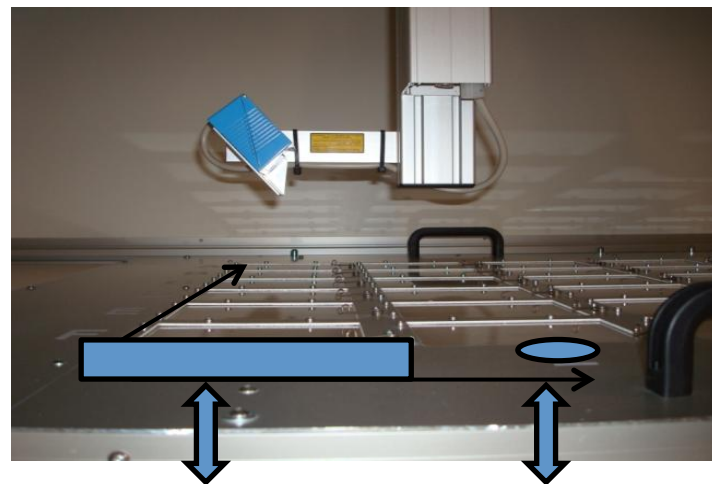
### Approches:

1) ↓ nombre de fongicides  
traitements et ↓ quantités appliquées  
(règles de décisions) + images  
(thermographie IR...)

2) stratégies alternatives aux  
fongicides



Contexte	Approche	Outils	Exemples	Modèles	Conclusion
			Vigne		Objectifs
			Légumineuses		Détection maladie

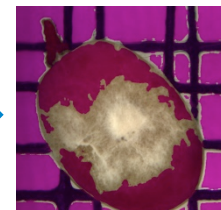
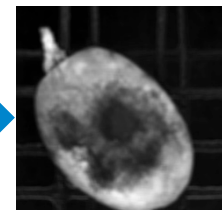
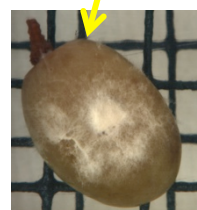


Microplaques, boîte de pétri

## HTS (petites unités biologiques)

### Couleur/texture, espaces hybrides

- images RVB dans des espaces colorimétriques qui intègrent la texture,
- objets à couleurs similaires peuvent avoir des textures différentes

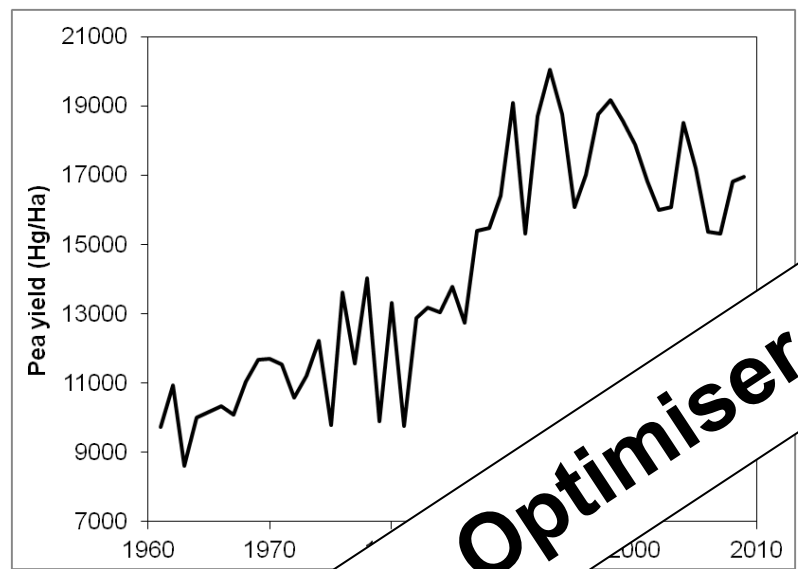


## Détection/évaluation de l'intensité des maladies sur la vigne, les baies

Vigne
Légumineuses

Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
Clast Génotypes

- Deux voies de nutrition azotée
- Fixation symbiotique et durabilité:
  - ↓ engrais, énergie fossile, émission GES, irrigation



Mais...

Rende... tuants

**Optimiser la nutrition azotée**



Sensitivité de la fixation symbiotique  $N_2$  aux conditions environnementales



**Régulation de la fixation symbiotique  $N_2$  et assimilation  $NO_3$ , déterminisme, constituants de la plasticité, ratio optimal racines/ nodosités?**

Contexte	Approche	Outils	Exemples	Modèles	Conclusion
			Vigne		
			Légumineuses		
					Objectifs
					Diversité Génét.
					Ident. Strategies
					Clast Génotypes

**Outils et méthodes**



**Variabilité génétique**




**Conception d'Idéotypes de plantes**



**Mécanismes et bases moléculaires**



Vigne
Légumineuses

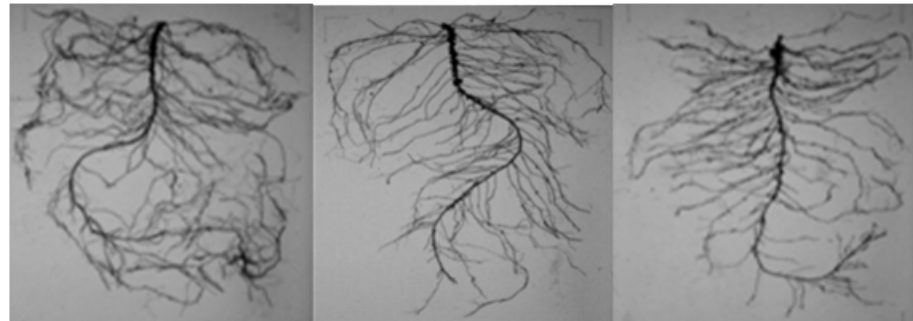
Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
Clast Génotypes

# Variabilité génétique naturelle

Collection nationale de pois, féverole et lupin (10000 accessions)



Diversité génétique de l'architecture racinaire



Bourion et al. Annals Bot. 2007



Vigne
Légumineuses

Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
Clast Génotypes

# Lignées Recombinantes (1400 RILs)

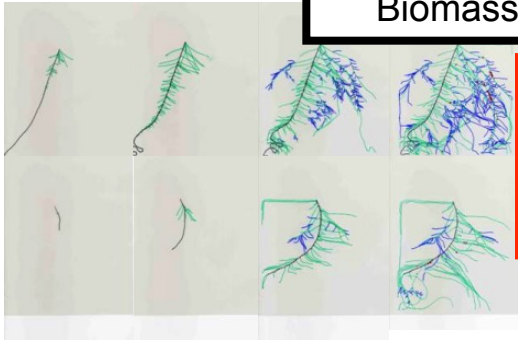
## STRUCTURE



**Parties aériennes :**  
 Hauteur  
 Biomasse  
 Surface foliaire

**Racines:**  
 Nombre  
 Longueur  
 Biomasse

**Nodosités:**  
 Nombre  
 Surface  
 Biomasse



## FONCTION

Efficiéce  
 d'acquisition de C



Efficiéce  
 d'acquisition de N



Bourion et al. TAG 2010

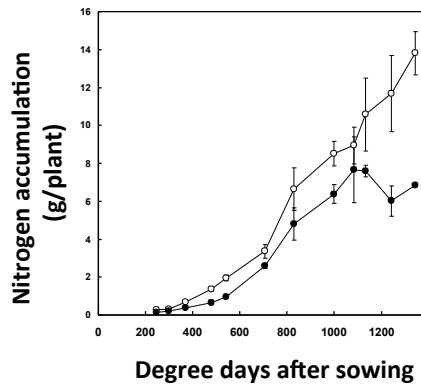


# Variabilité génétique induite

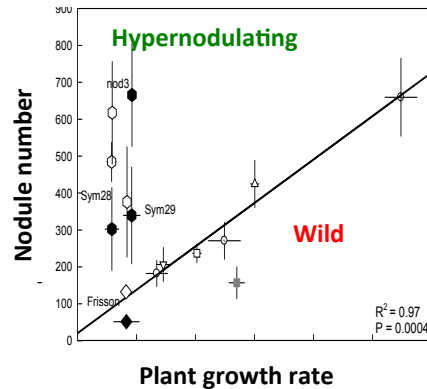
Identifier/caractériser les gènes impliqués dans la nodulation, son contrôle et celui de l'architecture racinaire

## Développement des nodosités

## Architecture racinaire



Salon et al. Agr 2001

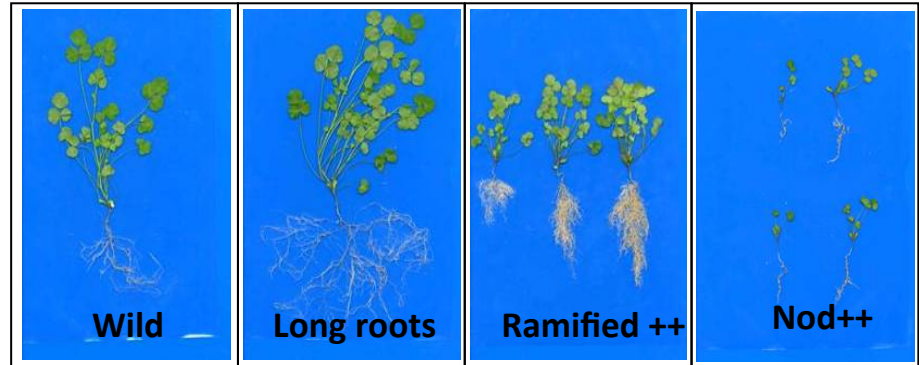


Voisin et al. Plant Soil 2010

Duc et al. 1998

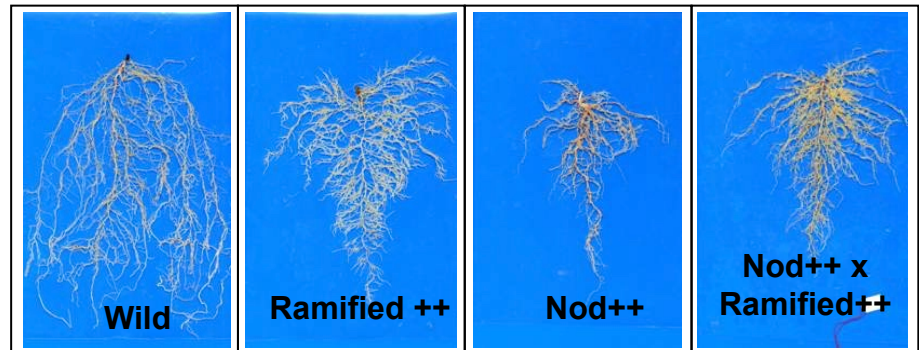
Cazenave et al. Plant Soil 2013

### Medicago truncatula, Tnt1



Porceddu et al. BioMed 2008

### Pea, EMS



Coll. KK Sidorova

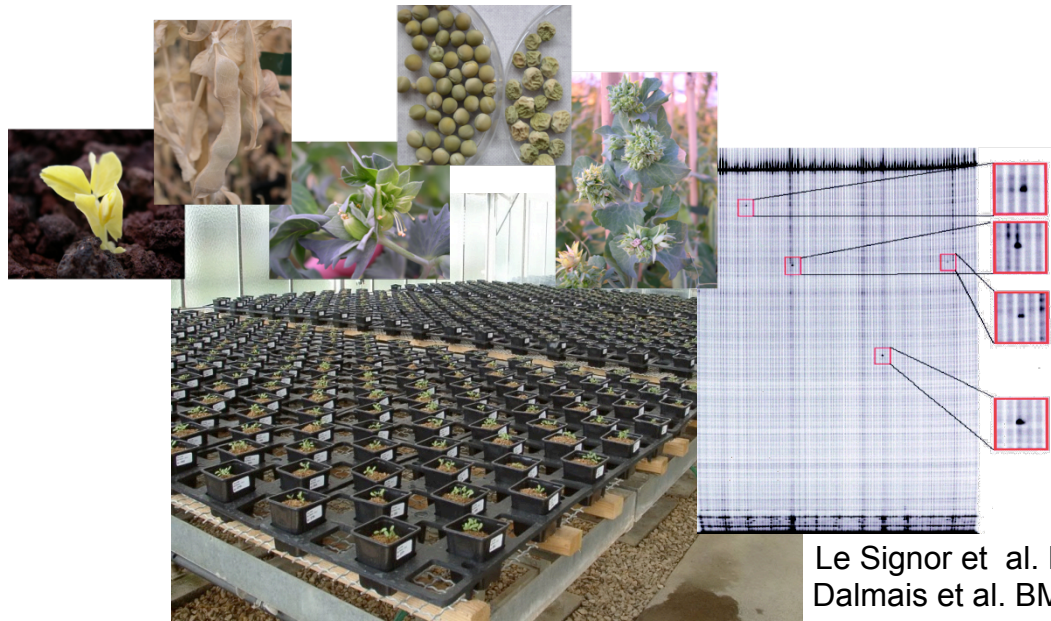
Vigne
Légumineuses

Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
Clast Génotypes

## Collection de mutants

Rechercher un mutant sur un gène cible, analyser l'effet de la mutation

*Medicago truncatula* Jemalong A17 (9000 M2) et pois (*Pisum sativum*) var. Caméor (5000 M2)



Le Signor et al. Plant Biotechnol 2009  
Dalmais et al. BMC Genome Biol 2008

✓ Plateforme HTP TILLING : ABI 3730 (Contact: [lesignor@dijon.inra.fr](mailto:lesignor@dijon.inra.fr))

Contexte	Approche	Outils	Exemples	Modèles	Conclusion
			Vigne		
			Légumineuses		
				Objectifs	
				Diversité Génét.	
				Ident. Strategies	
				Clast Génotypes	

**Outils et méthodes**



**Variabilité génétique**



**Conception d'Idéotypes de plantes**

**Mécanismes et bases moléculaires**

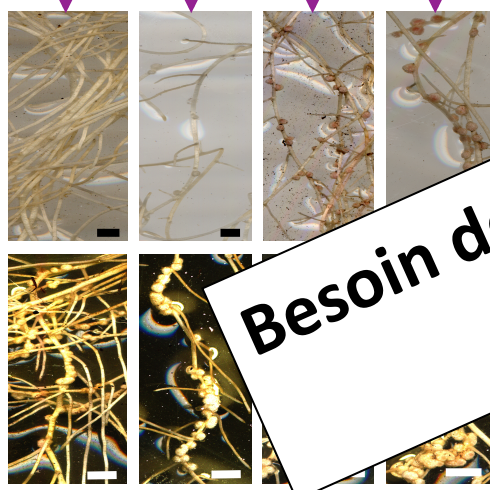
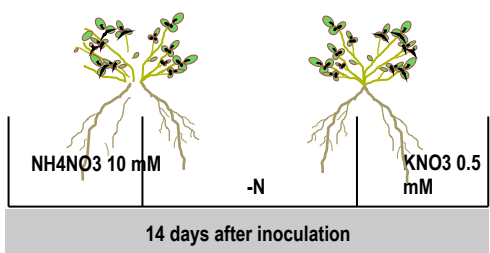


Vigne
Légumineuses

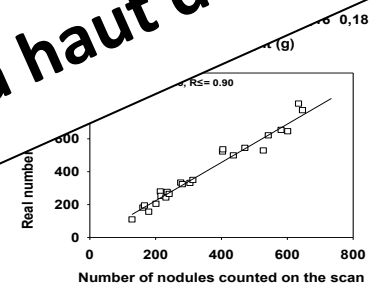
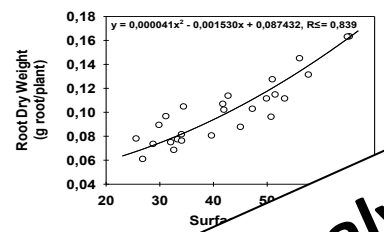
Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
Clast Génotypes

# Quelle est la stratégie d'une légumineuse en réponse à une contrainte azotée?

## Caractérisation phénotypique "bas" débit du système racinaire nodulé



**Besoin de rhizotrons et d'analyse d'image à haut débit**



**Stratégie structurale versus fonctionnelle**



**Split roots**

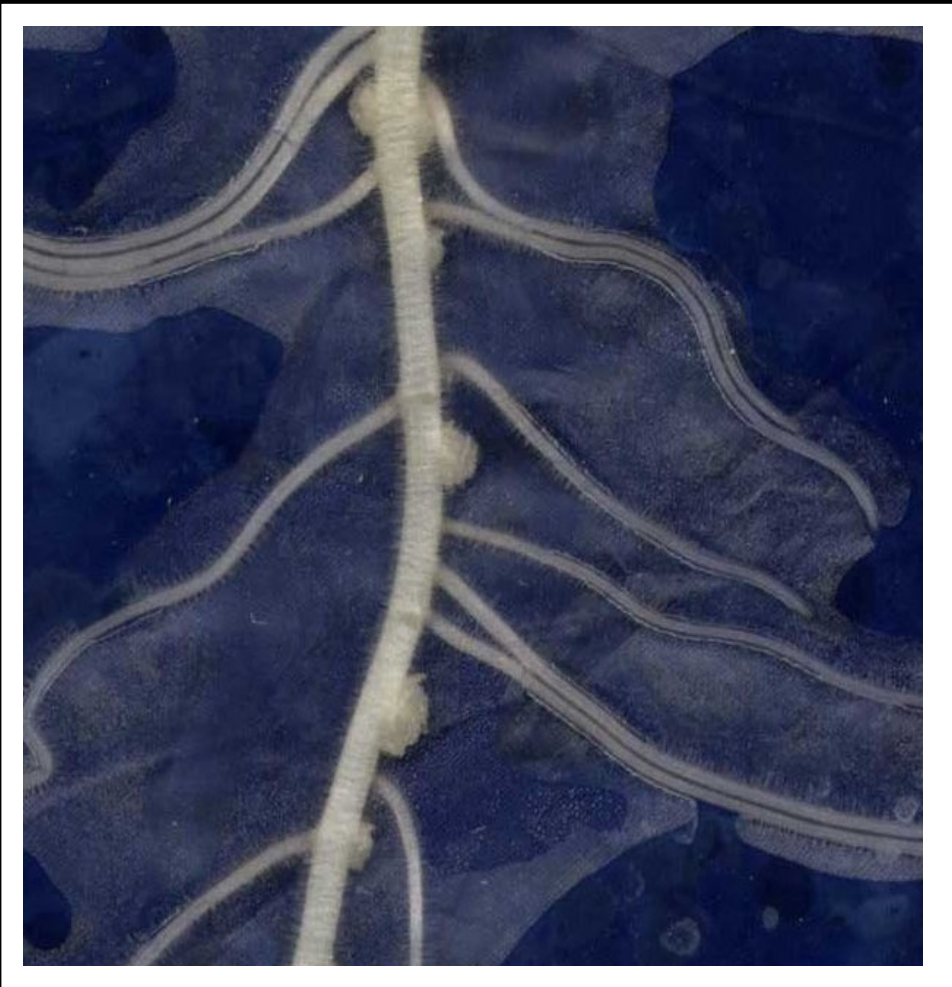
**Nombre, taille et apparence des nodosités**

Ruffel et al. (2008), Plant Physiol. 146: 2020-2035.  
 Salon et al. (2009), CRAS, 332 :1022-1033.  
 Jeudy et al. (2010), New Phytol, 185:817-828.



Vigne
Légumineuses

Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
Clast Génotypes



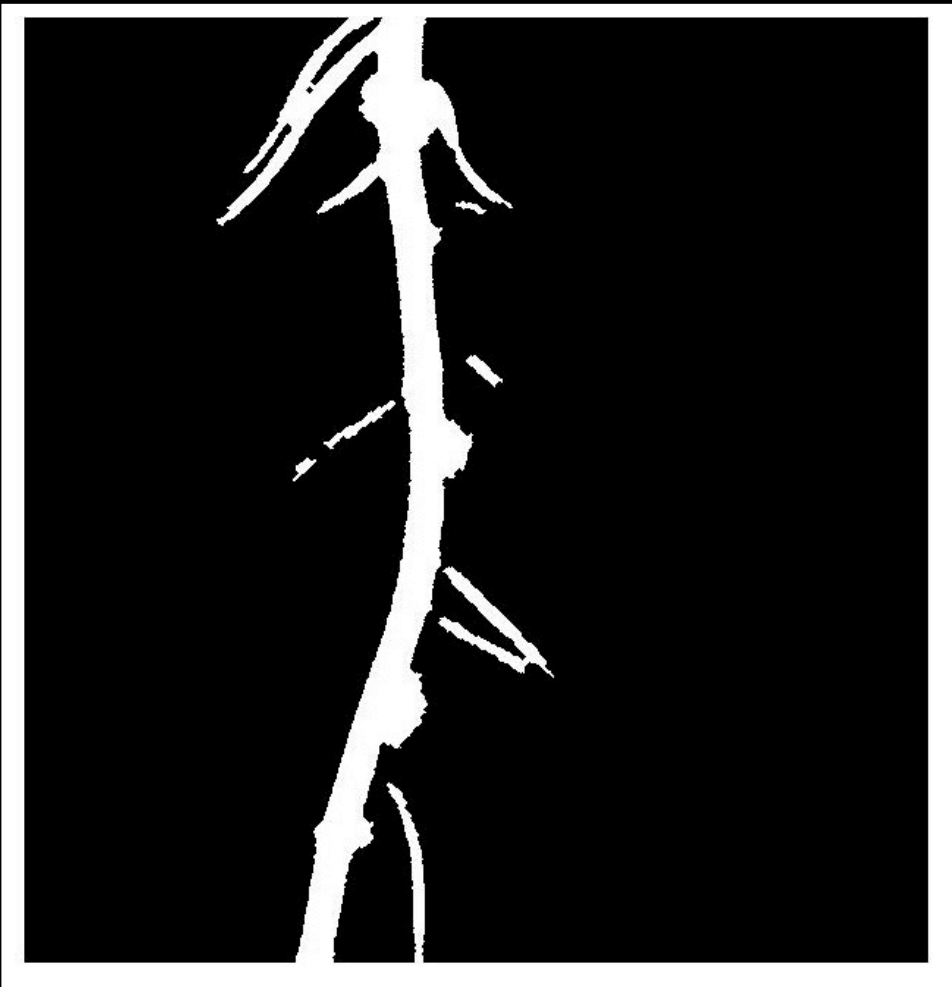
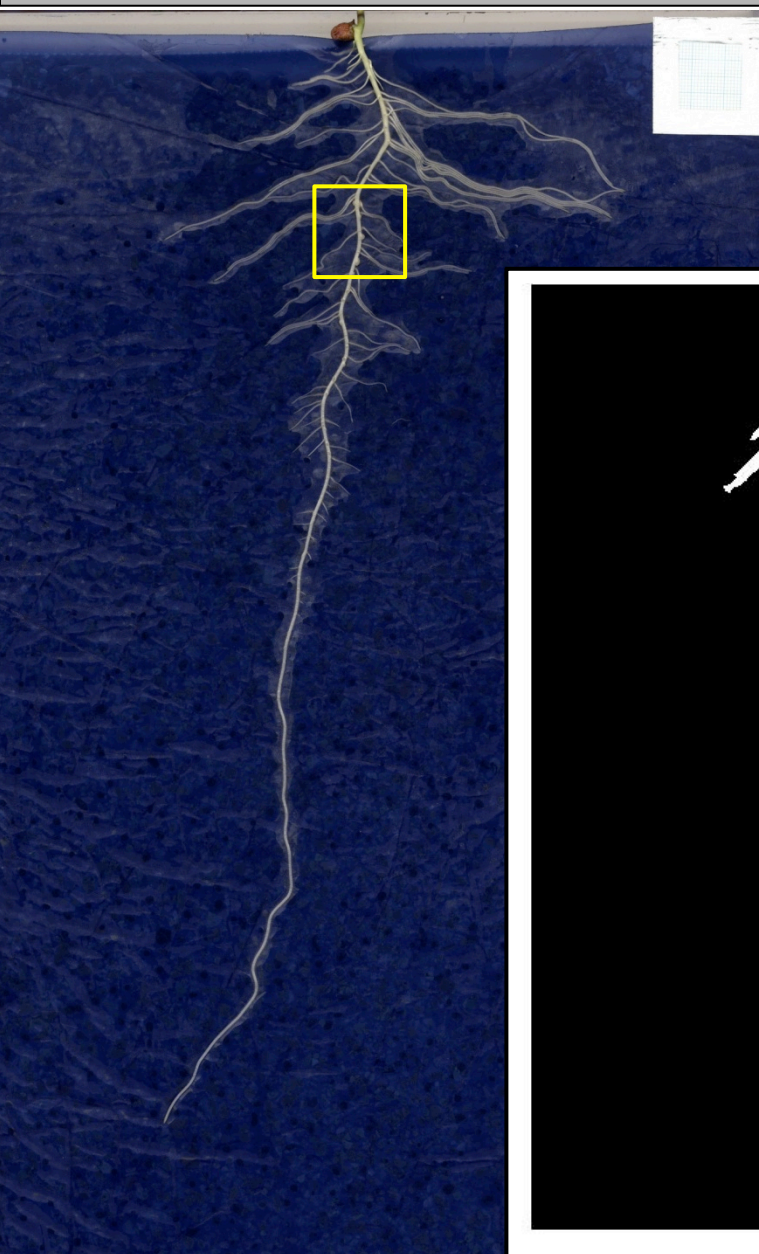
**Jeune plante**

Thèse Simeng Han (unpublished)



Vigne  
Légumineuses

Objectifs  
Diversité Génét.  
Ident. Strategies  
Clast Génotypes



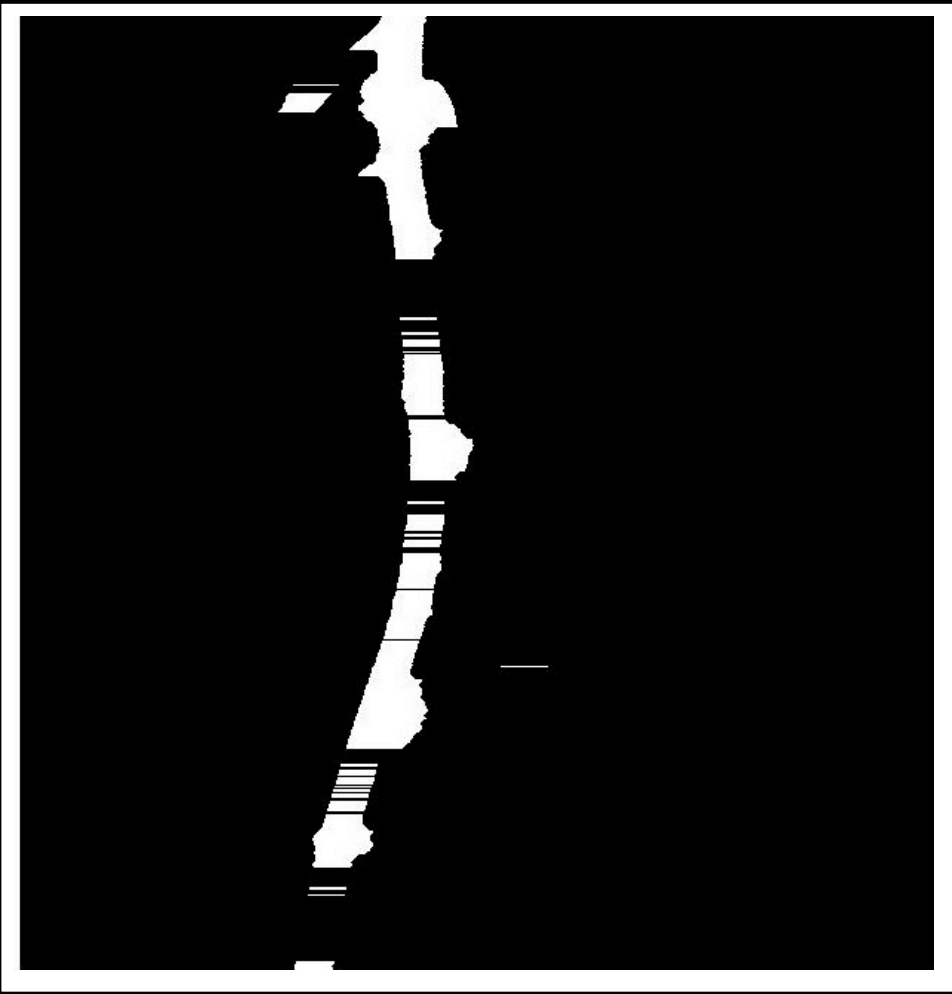
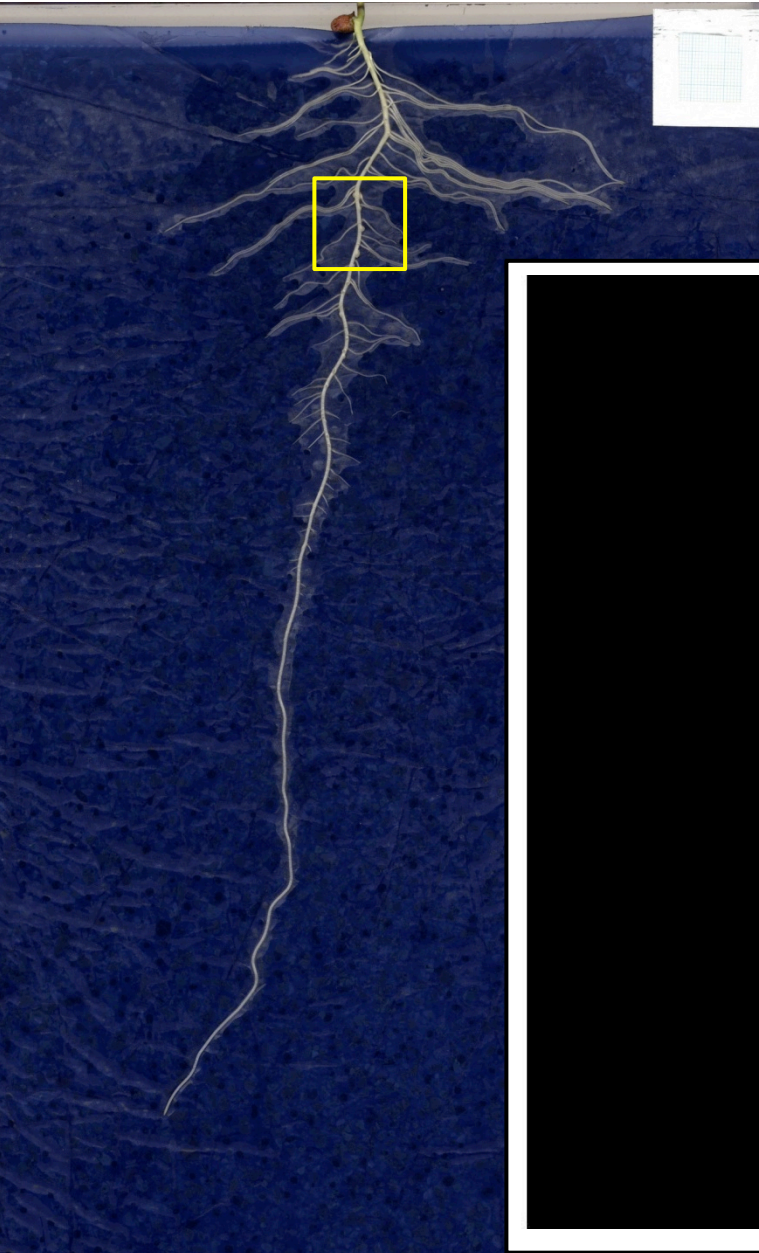
Seuillage,  
image  
binaire

Jeune plante

Thèse Simeng Han (unpublished)

Vigne  
Légumineuses

Objectifs  
Diversité Génét.  
Ident. Strategies  
Clast Génotypes



Ne garder  
que les  
formes  
ressemblant  
à des  
nodosités

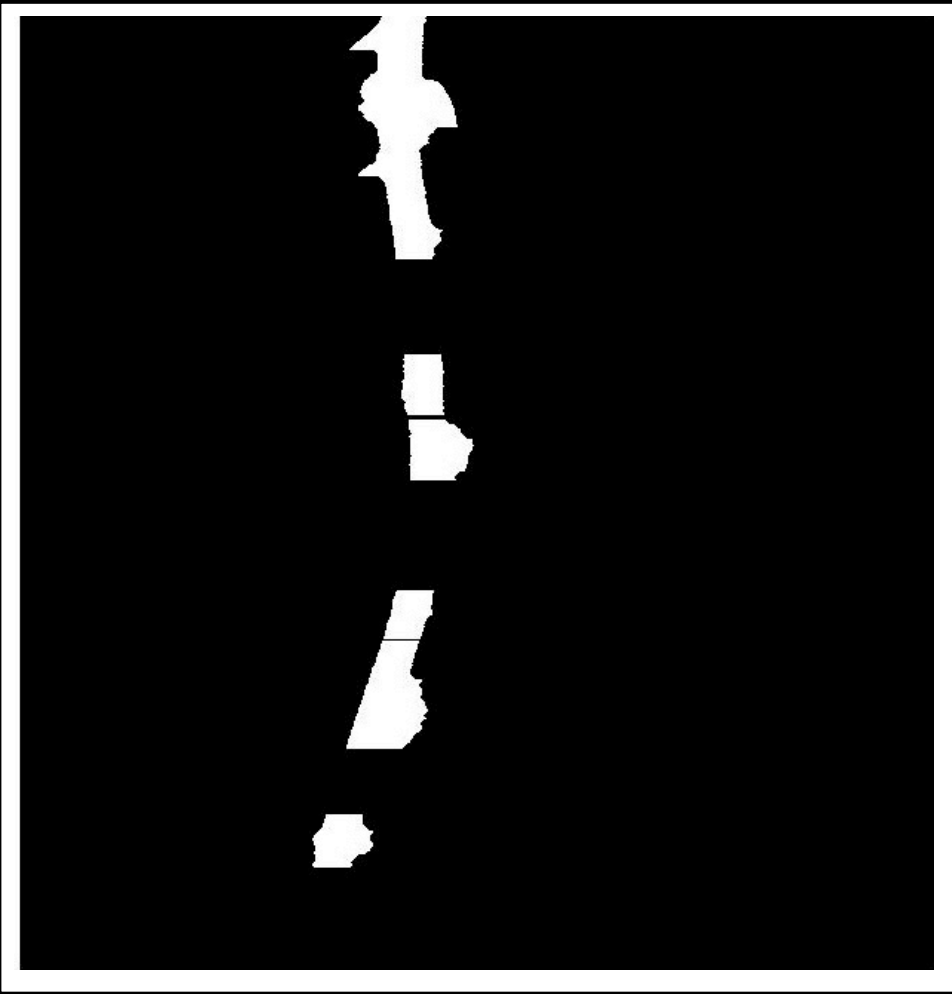
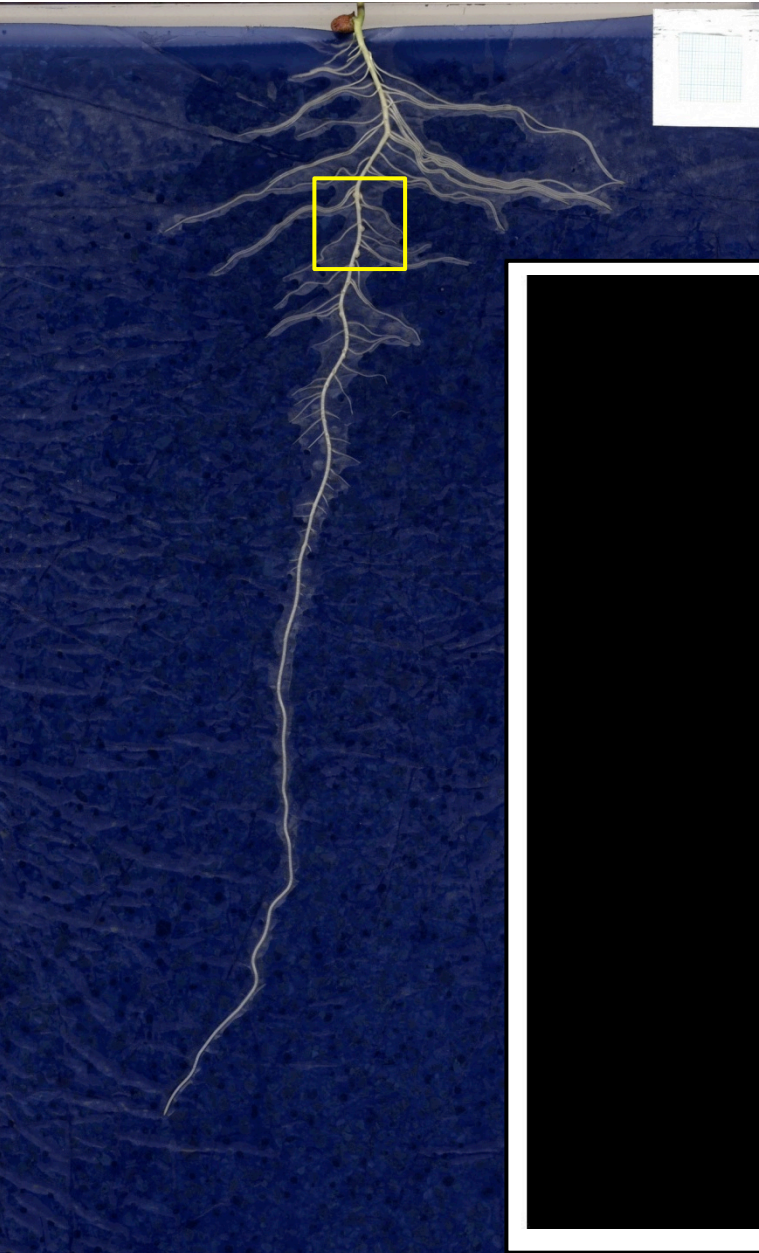
Jeune plante

Thèse Simeng Han (unpublished)



Vigne  
Légumineuses

Objectifs  
Diversité Génét.  
Ident. Strategies  
Clast Génotypes



Enlever les zones inutiles

Jeune plante

Thèse Simeng Han (unpublished)

Vigne

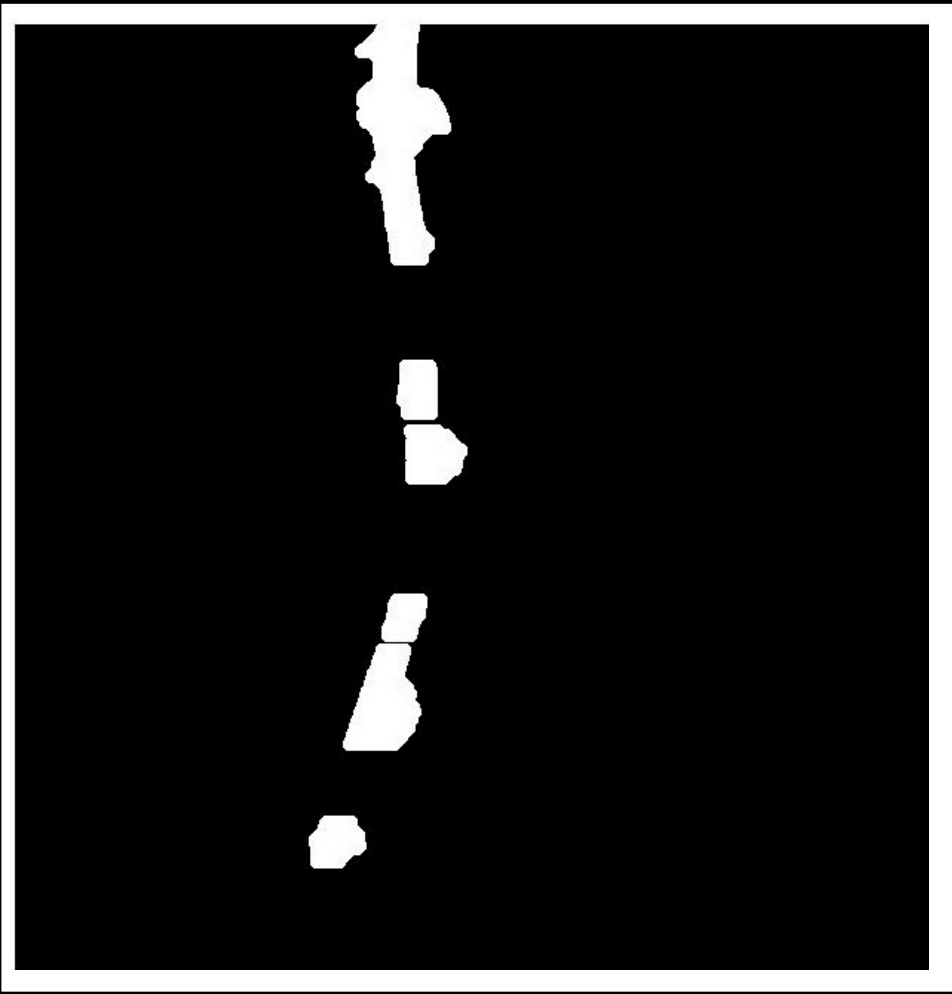
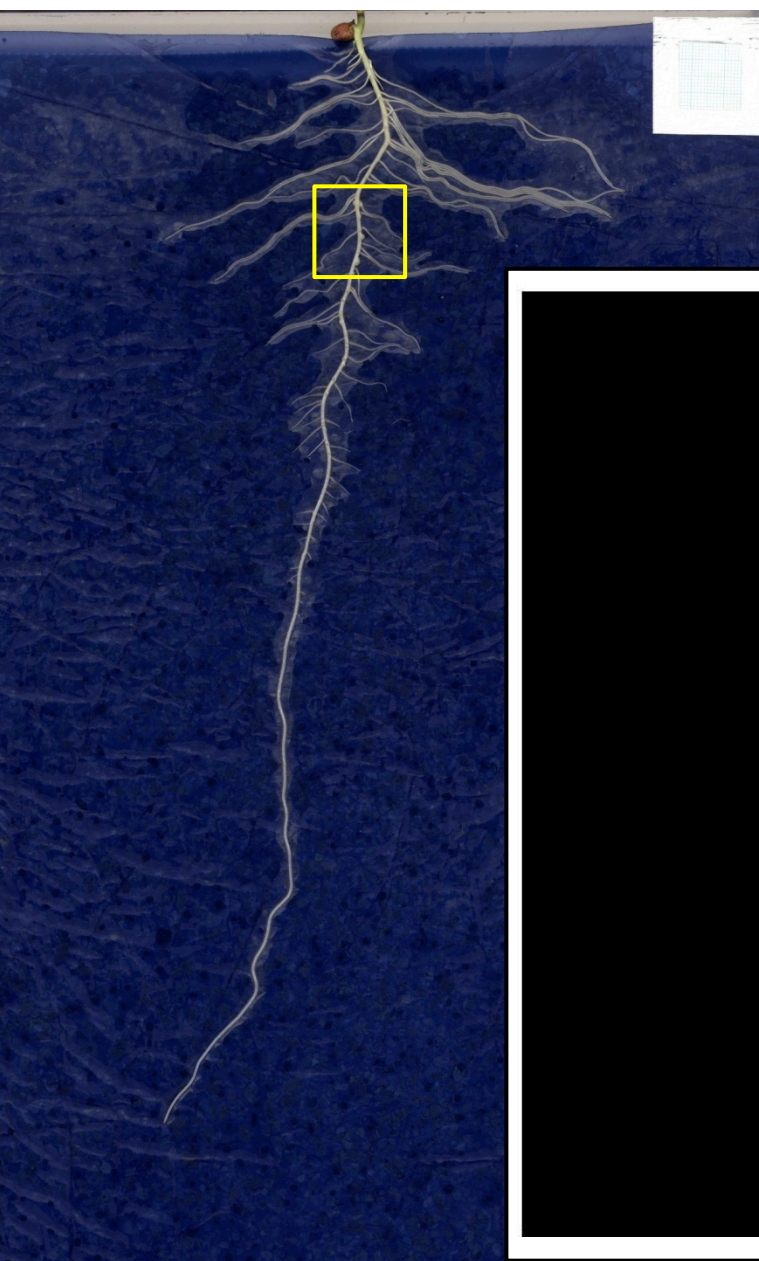
Légumineuses

Objectifs

Diversité Génét.

Ident. Strategies

Clast Génotypes



Lisser l'image

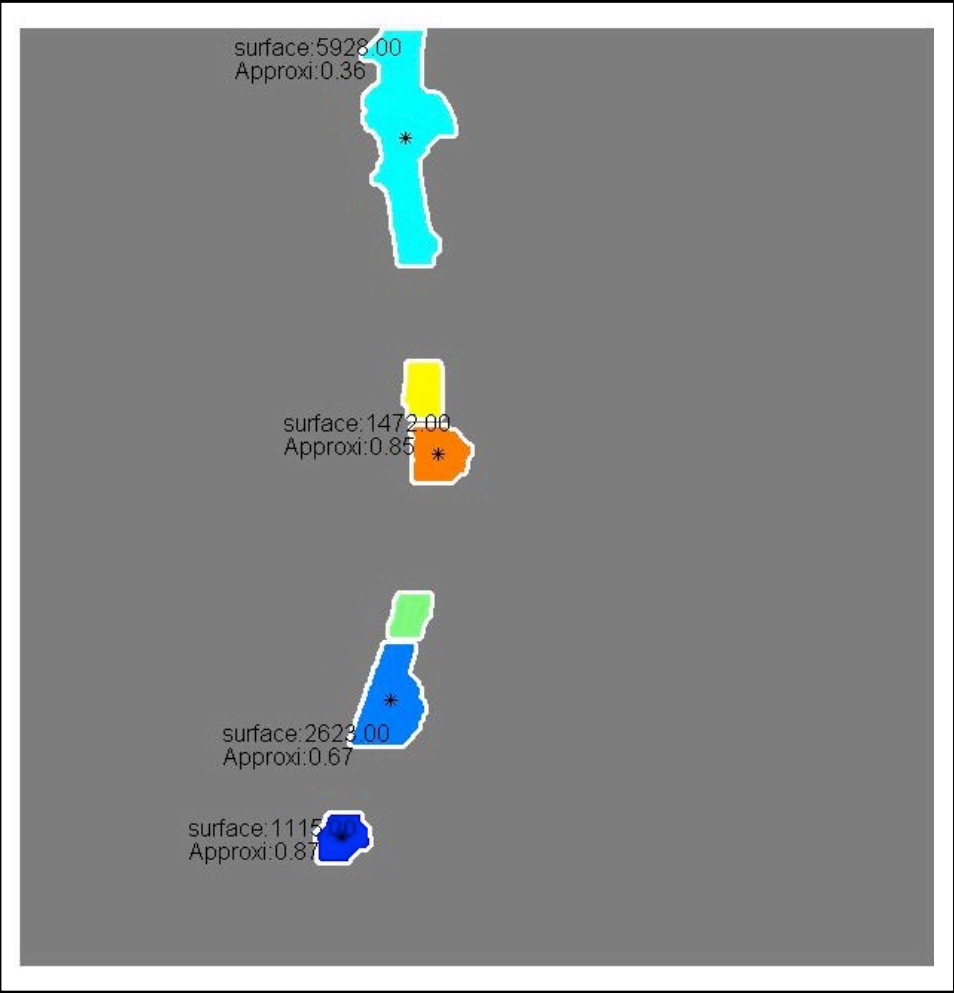
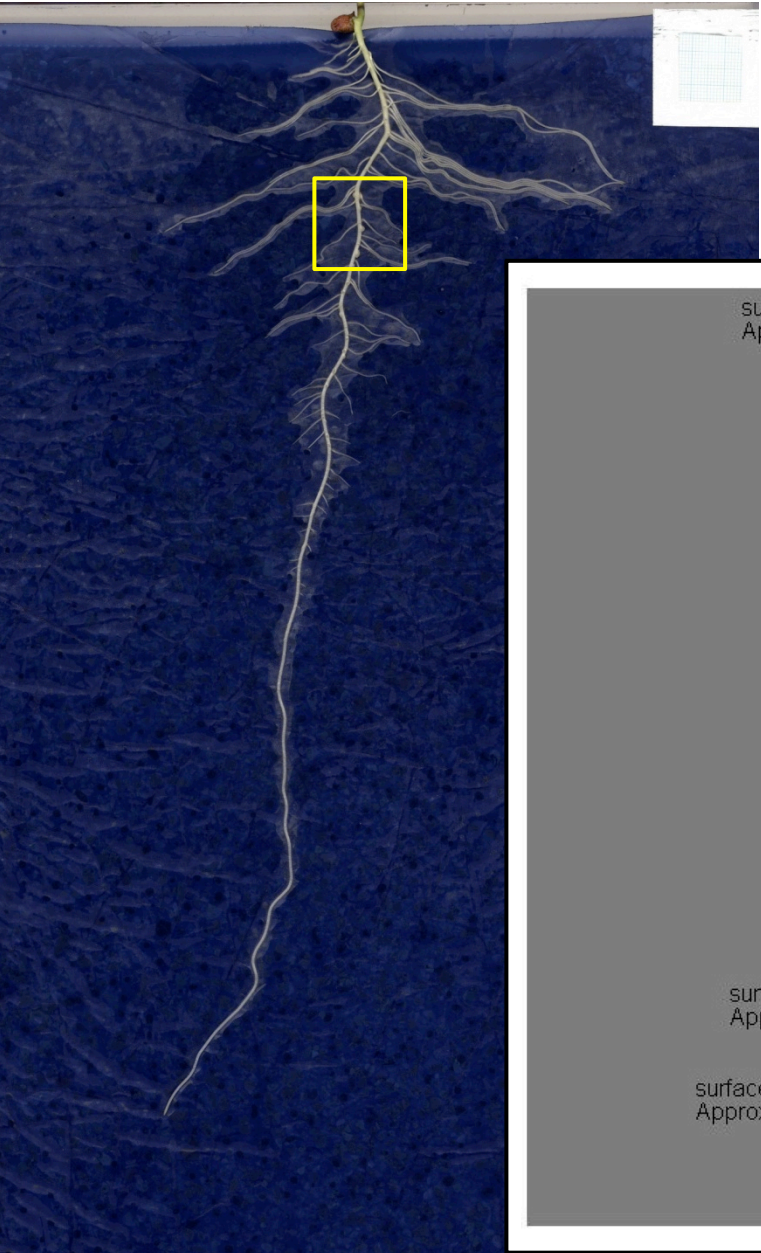
Jeune plante

Thèse Simeng Han (unpublished)



Vigne
Légumineuses

Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
Clast Génotypes



**Compter les nodosités de forme circulaire approximative**

**Jeune plante**

Thèse Simeng Han (unpublished)

Vigne
Légumineuses

Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
Clast Génotypes



**Original image  
+ nodosités  
superposées**

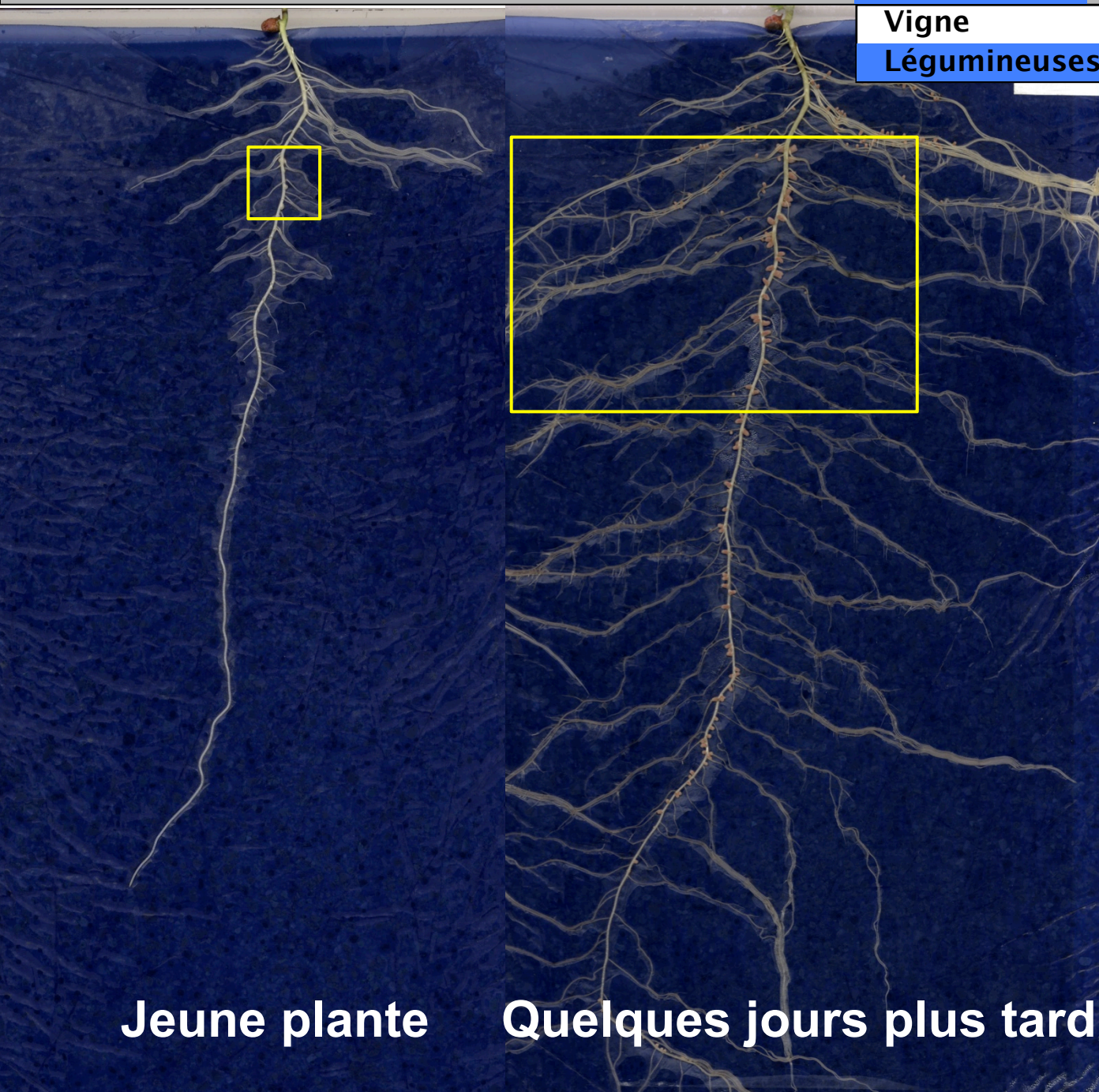
**Jeune plante**

Thèse Simeng Han (unpublished)



Vigne  
Légumineuses

Objectifs  
Diversité Génét.  
Ident. Strategies  
Clast Génotypes



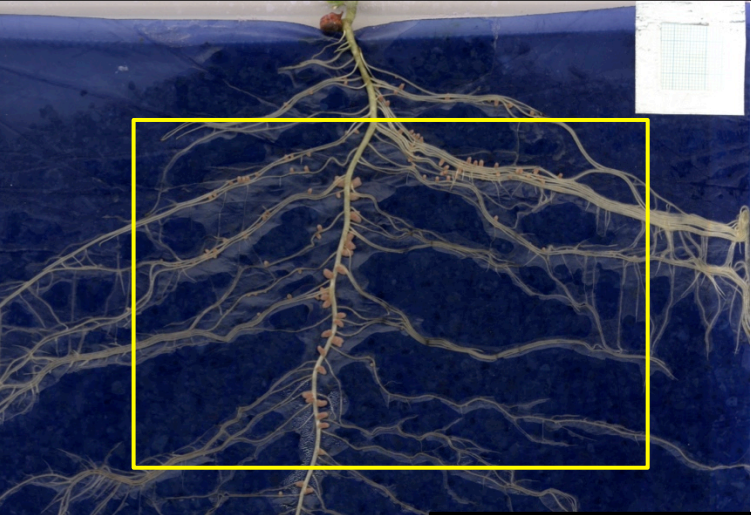
Jeune plante

Quelques jours plus tard.

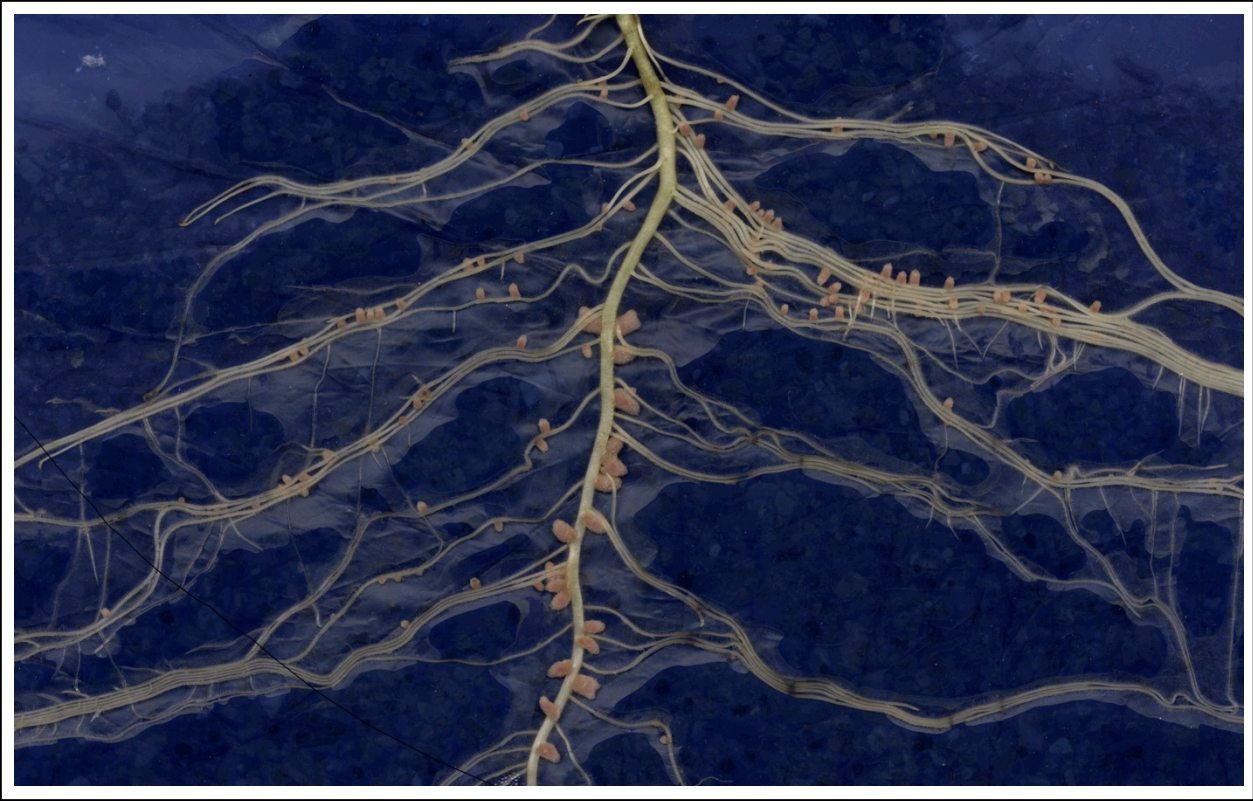


Vigne  
Légumineuses

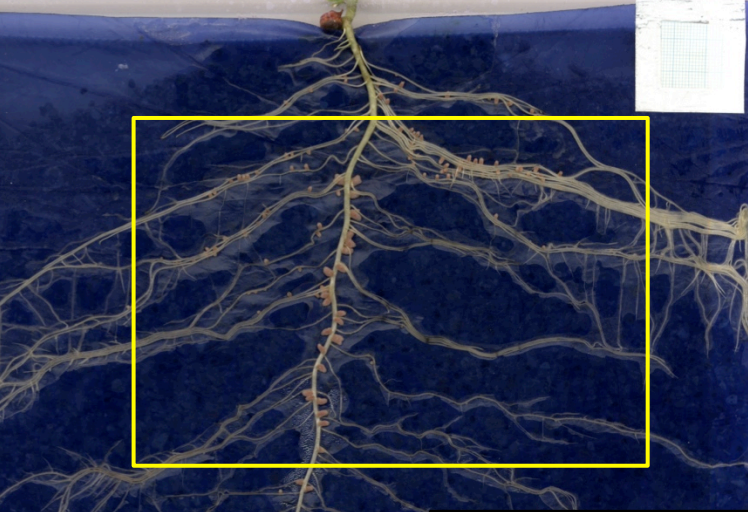

Objectifs  
Diversité Génét.  
Ident. Strategies  
Clast Génotypes



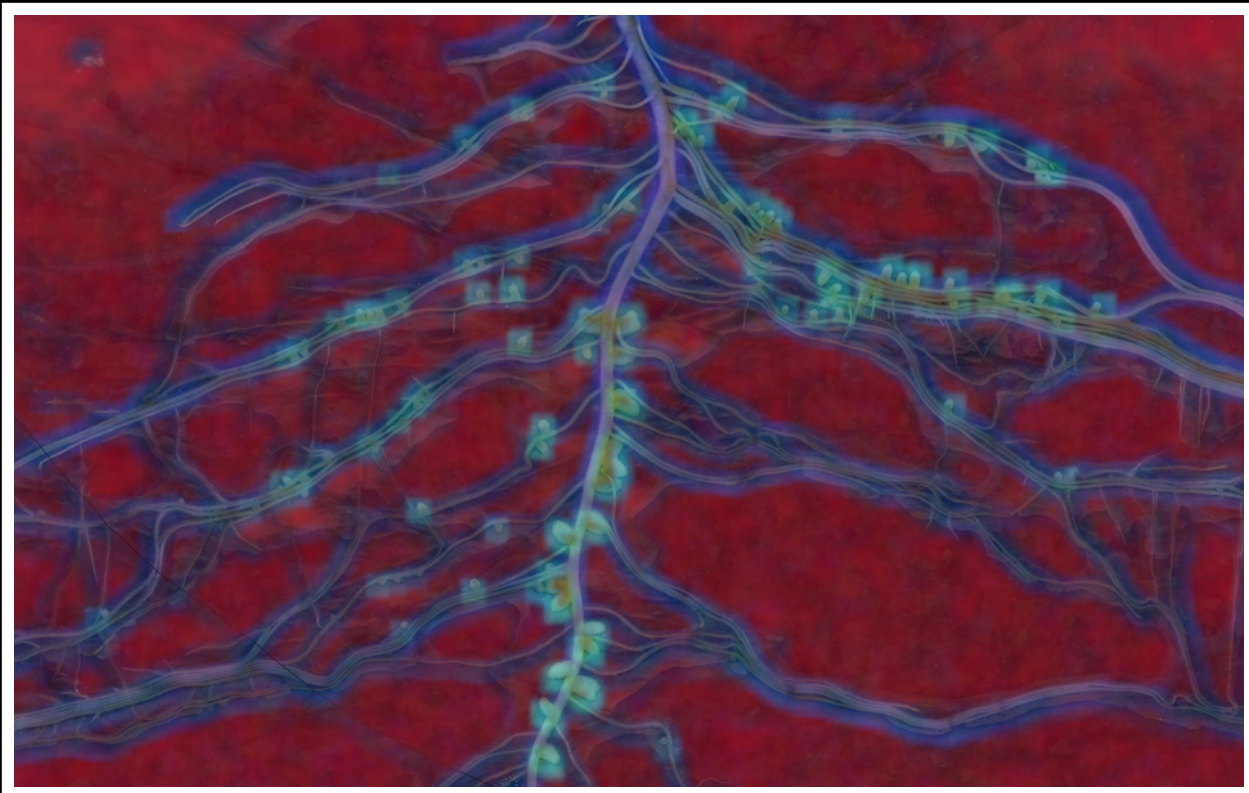
Focus sur image





Contexte	Approche	Outils	Exemples	Modèles	Conclusion
			Vigne		<b>Objectifs</b> Diversité Génét. <b>Ident. Strategies</b> Clast Génotypes
			Légumineuses		

Espace hybrides (couleur + texture)





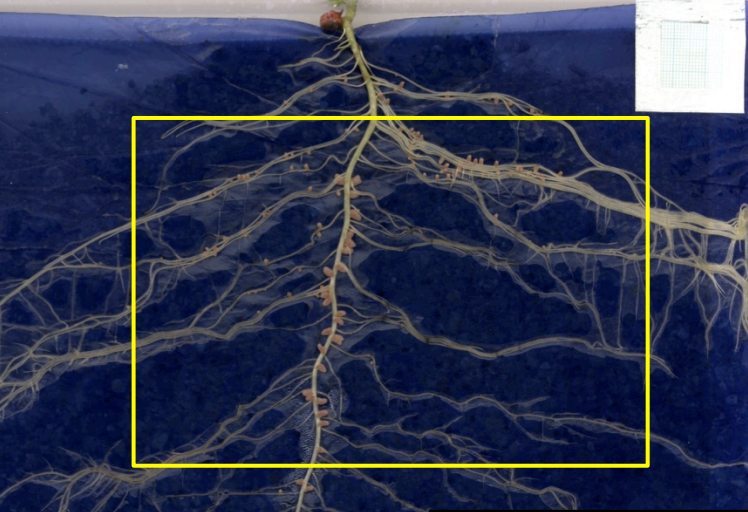

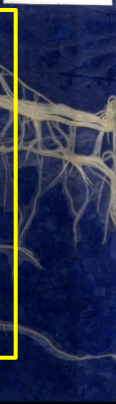
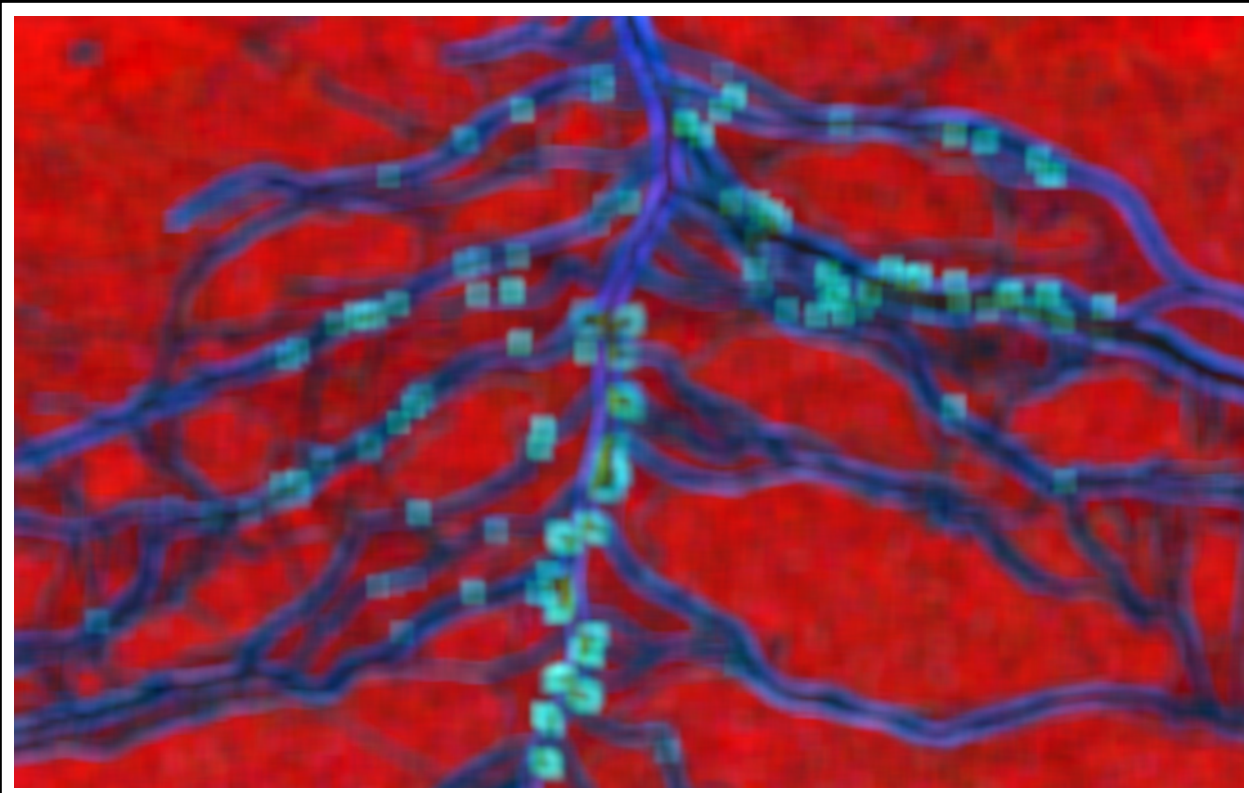
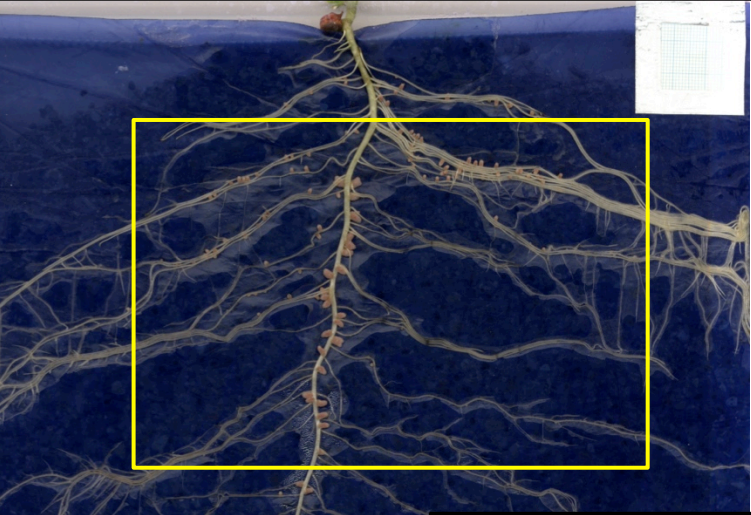
Contexte	Approche	Outils	Exemples	Modèles	Conclusion
			Vigne		
			Légumineuses		Objectifs Diversité Génét. <b>Ident. Strategies</b> Clast Génotypes

Image RVB de nodosités

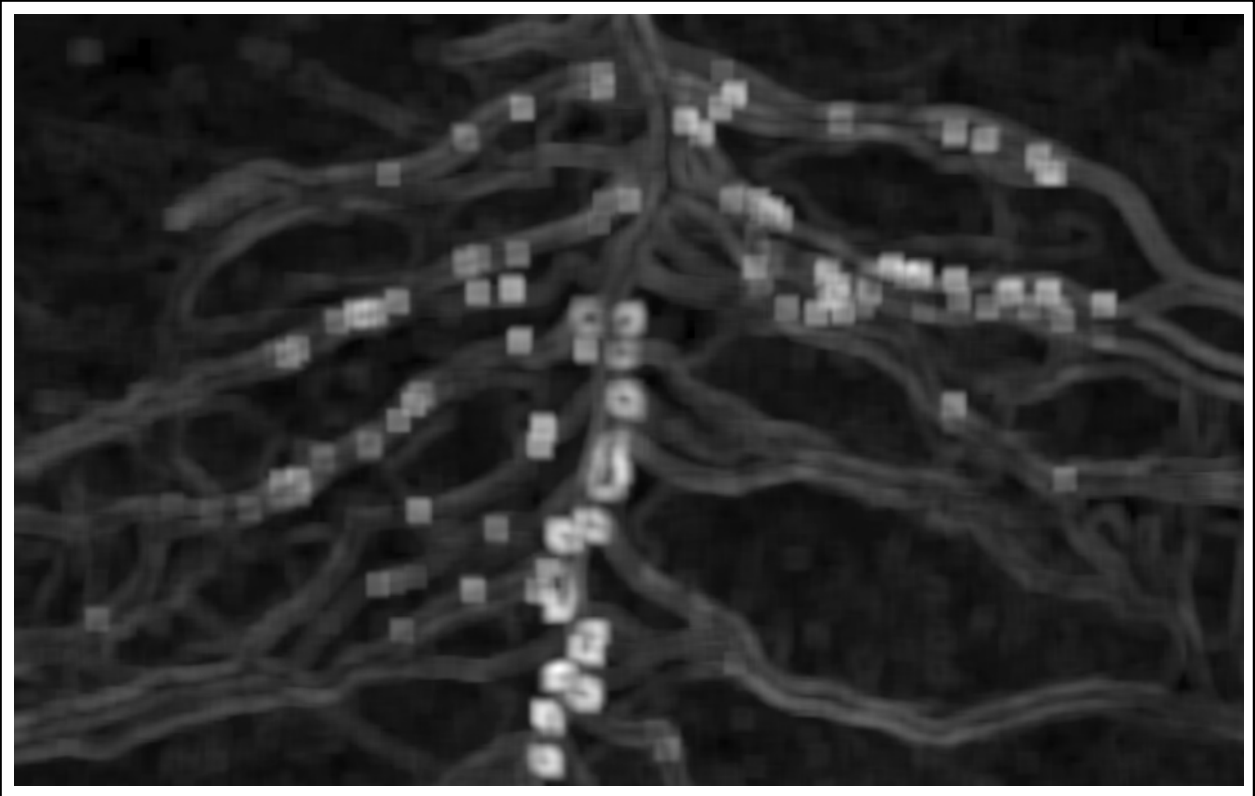


Vigne
Légumineuses

Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
Clast Génotypes



Bande d'image RVB





Vigne
Légumineuses

Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
Clast Génotypes

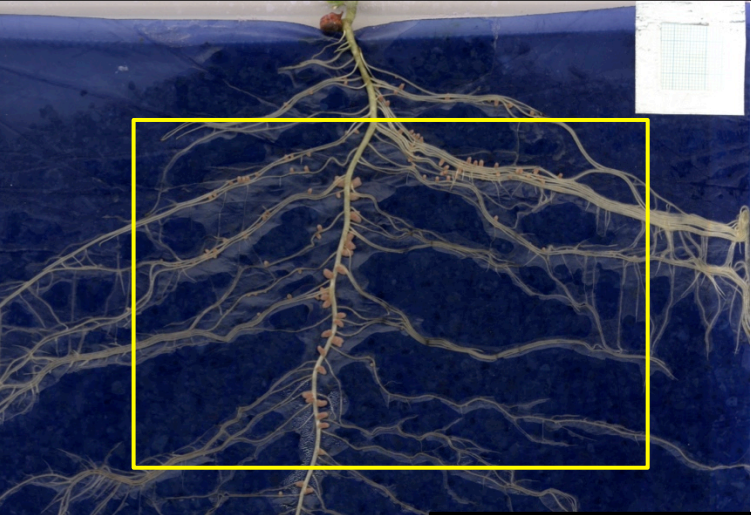
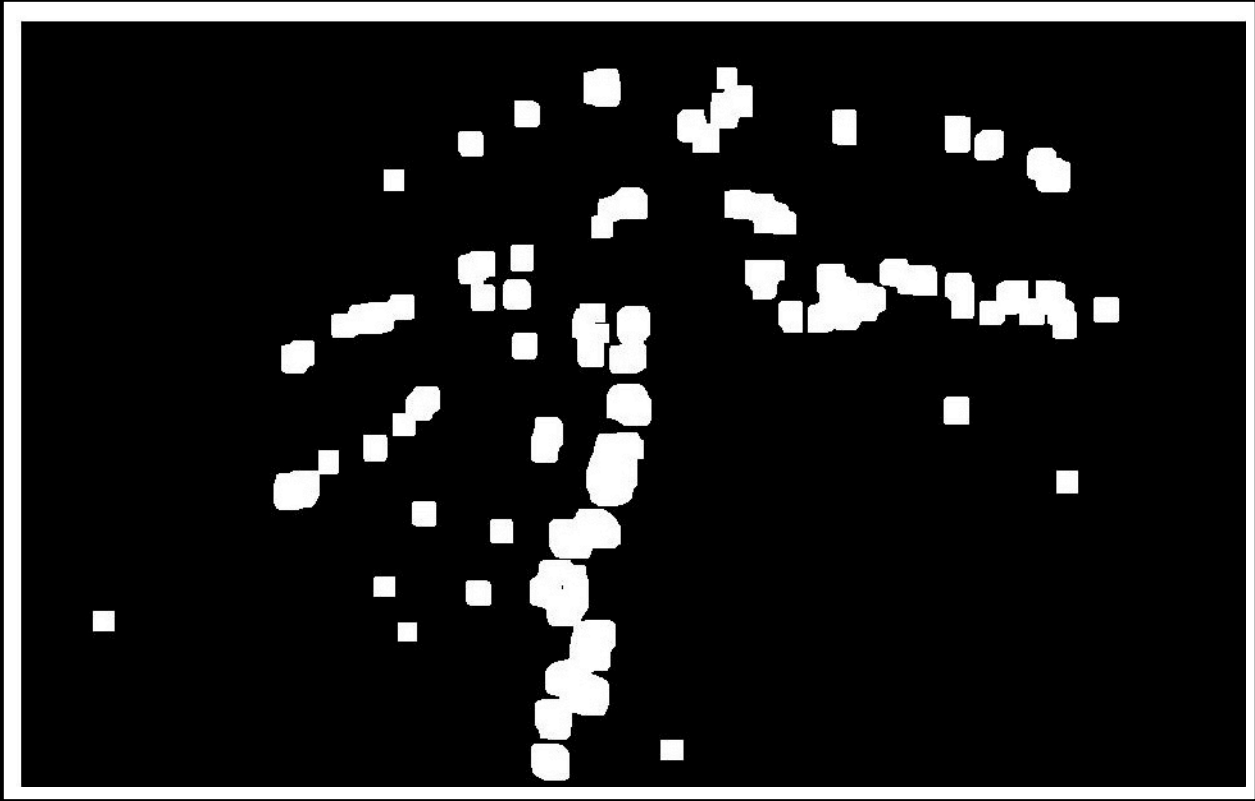
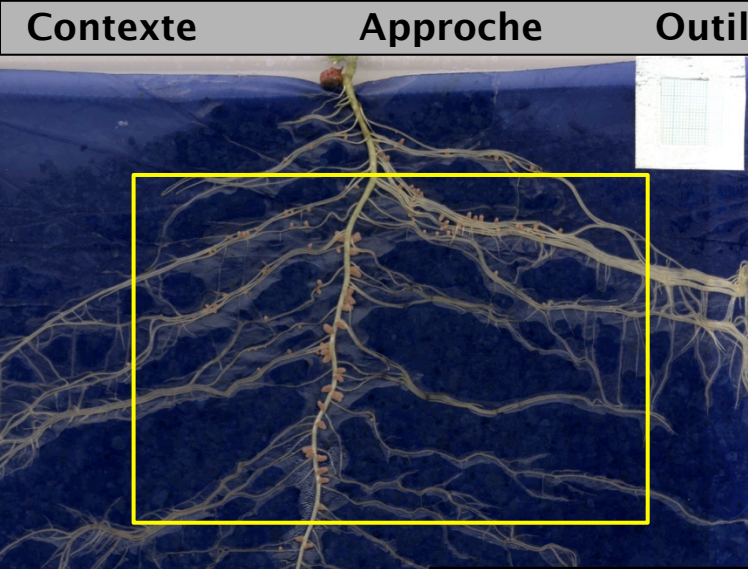

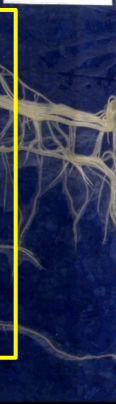


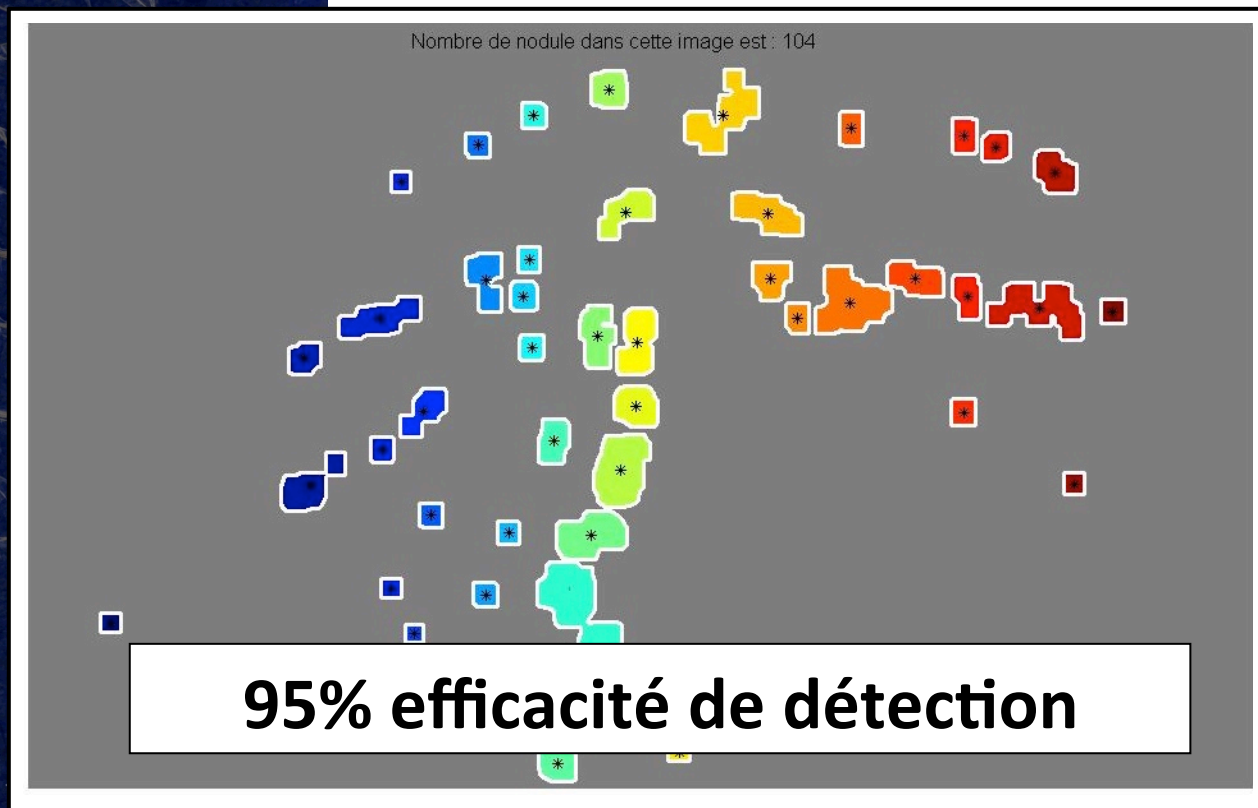
Image avec nodosités





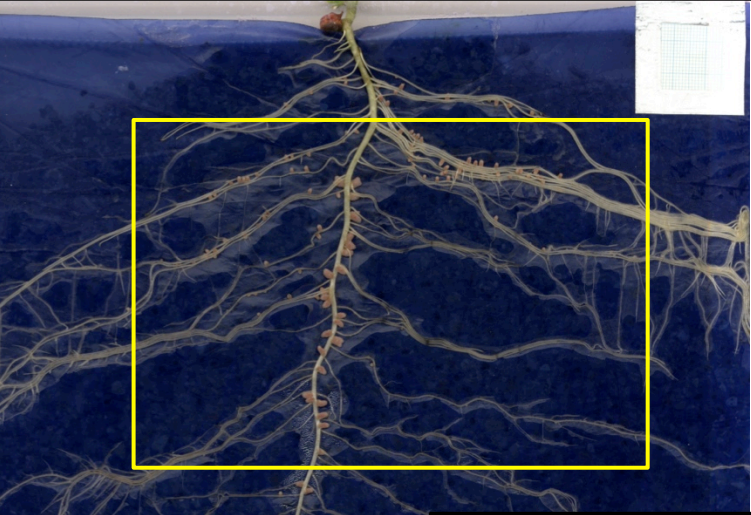
Contexte	Approche	Outils	Exemples	Modèles	Conclusion
			Vigne		Objectifs
			Légumineuses		Diversité Génét.
					Ident. Strategies
					Clast Génotypes

## Nodosités détectées automatiquement

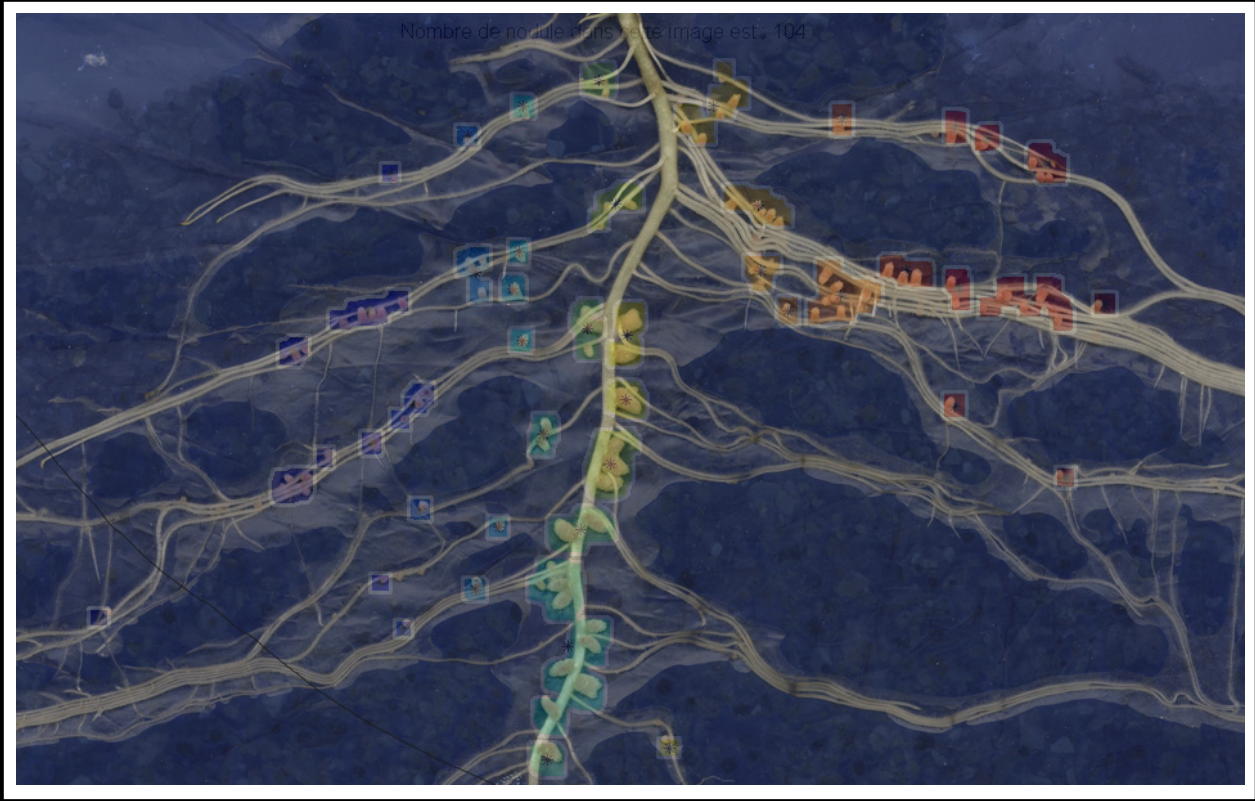


Vigne	
Légumineuses	

Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
Clast Génotypes



**Image originale + nodosités superposées**



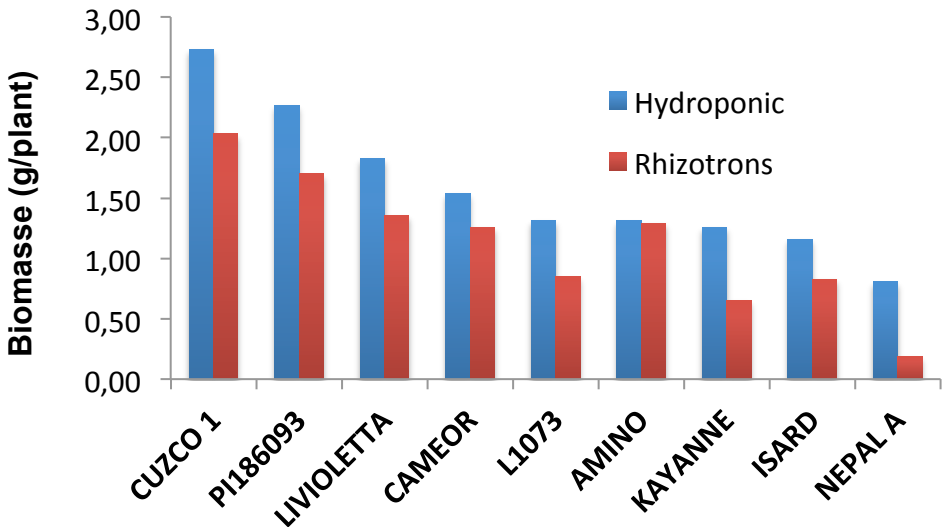
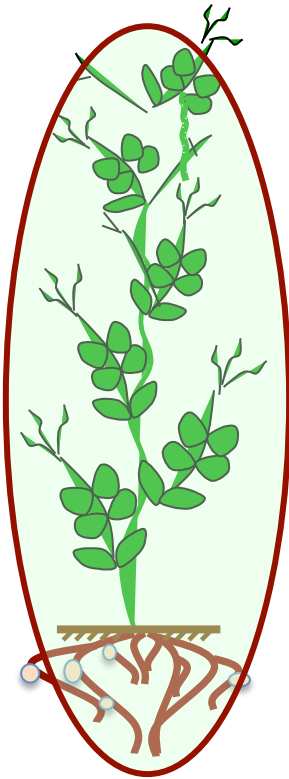


Vigne  
Légumineuses

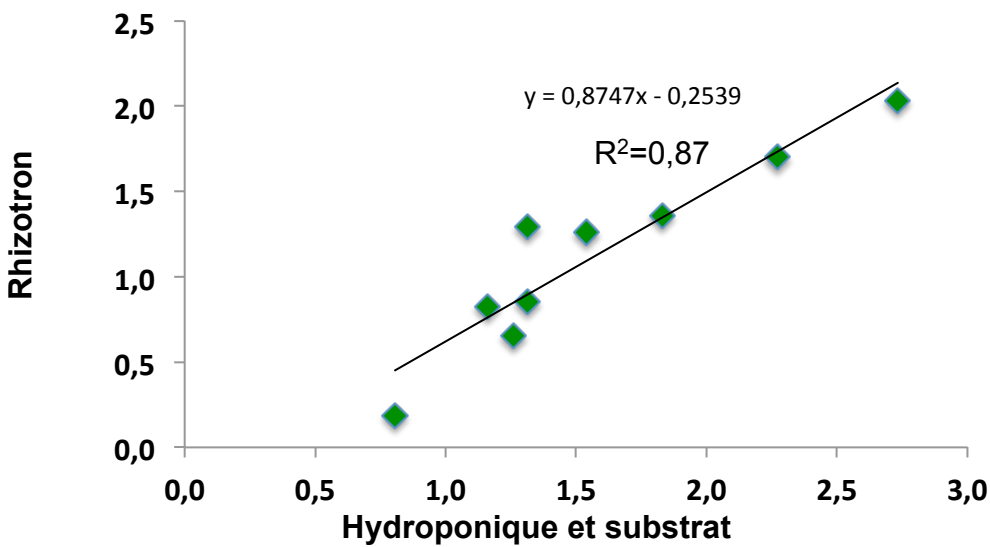
Objectifs  
Diversité Génét.  
Ident. Strategies  
Clast Génotypes

**Classement de génotypes: Pea core collection  
Hydroponique versus rhizotron**

**Biomasse  
plante**



**La biomasse  
des plantes  
diminue dans  
les rhizotrons**



**Le classement  
des génotypes  
ne varie pas**

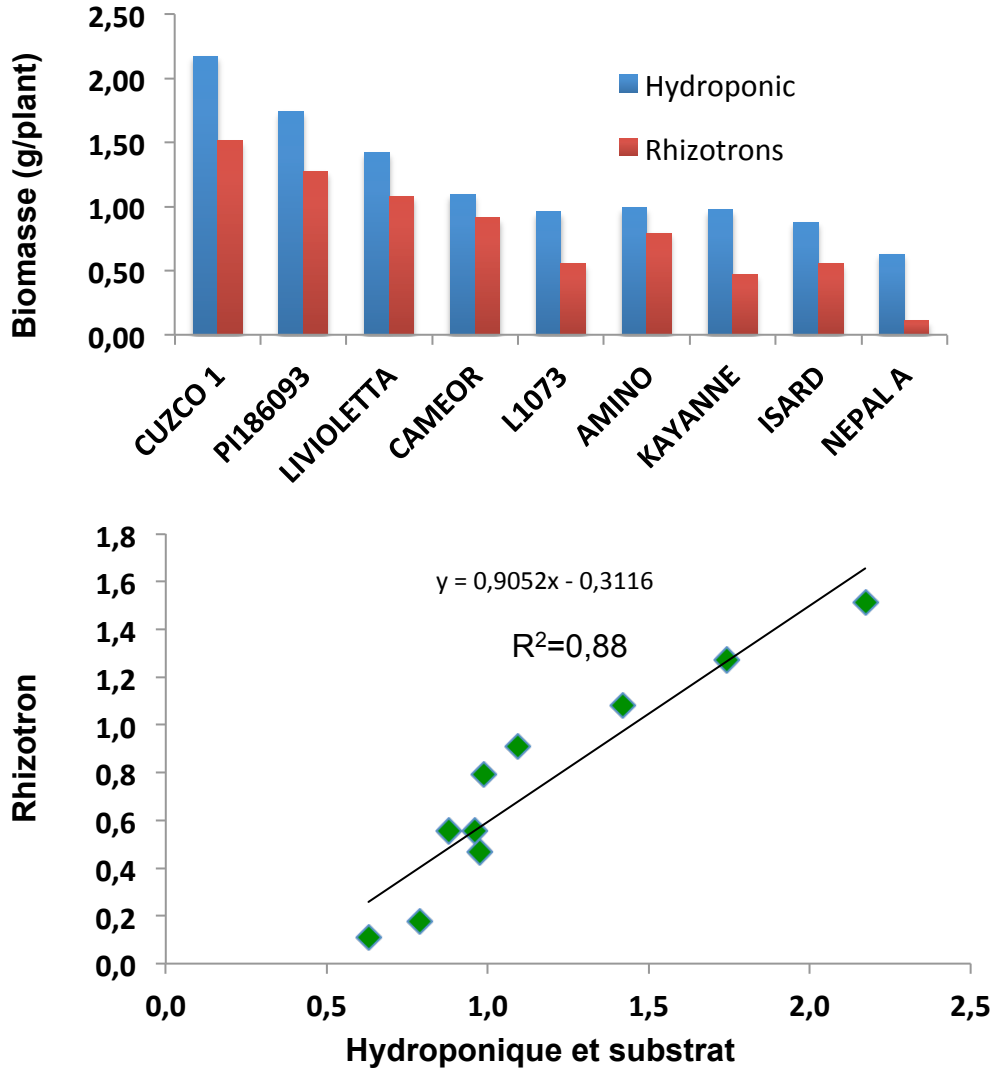
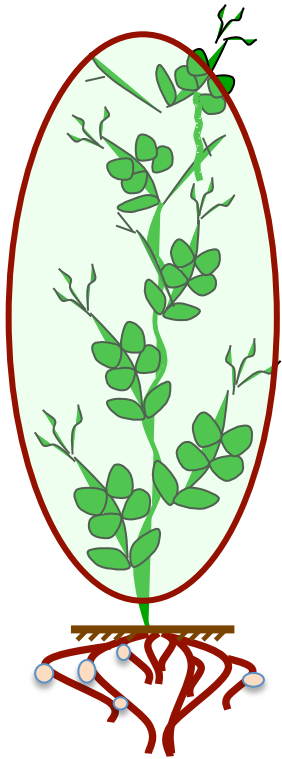


Vigne
Légumineuses

Objectives
Genetic diversity
Identify a strategy
Genotype ranking

**Classement de génotypes: Pea core collection**  
**Hydroponique versus rhizotron**

**Biomasse aérienne**



**Le classement des génotypes ne varie pas**

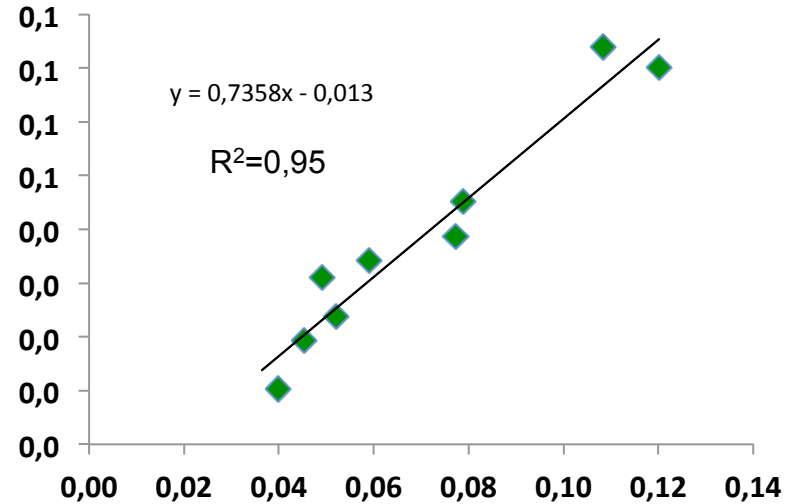
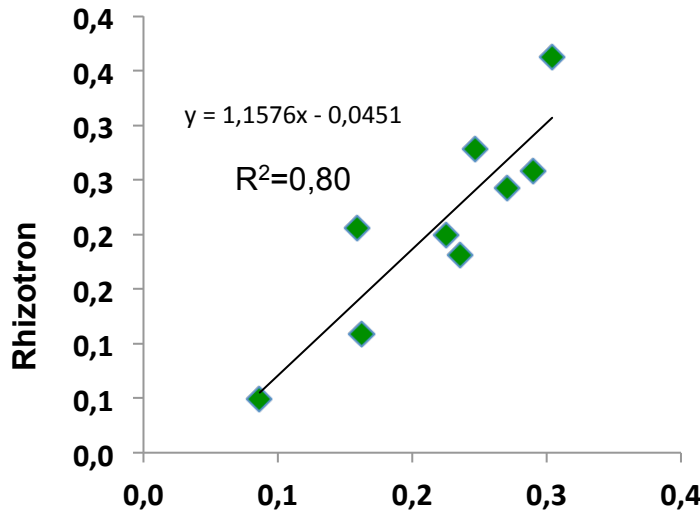
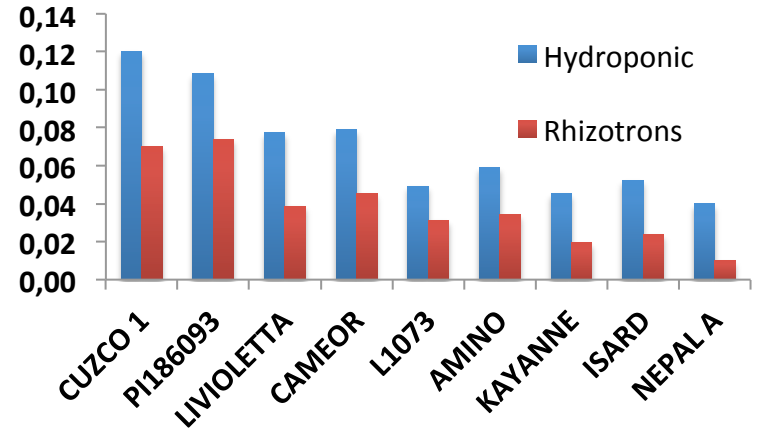
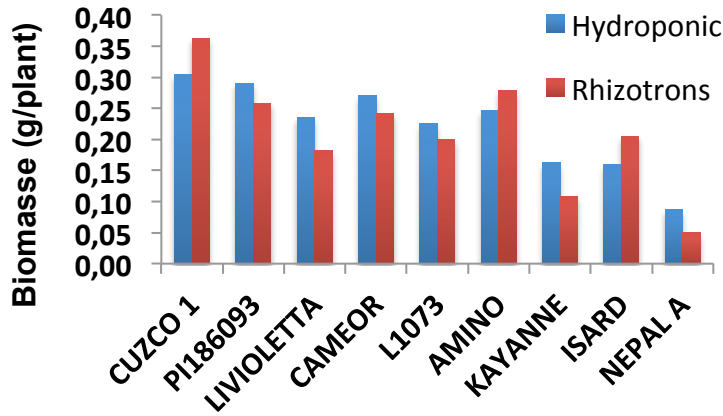
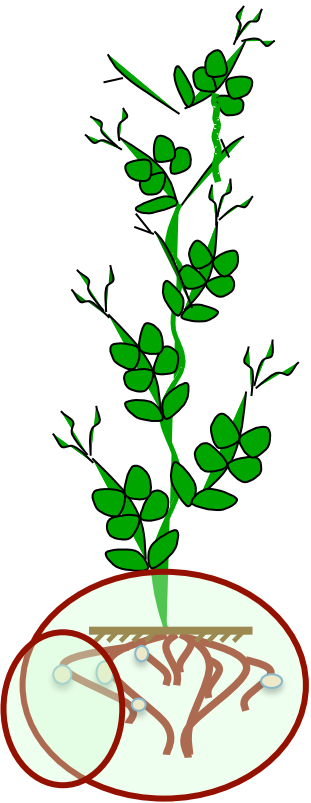
Vigne  
Légumineuses

Objectives  
Genetic diversity  
Identify a strategy  
Genotype ranking

## Classement de génotypes: Pea core collection

### Biomasse racinaires

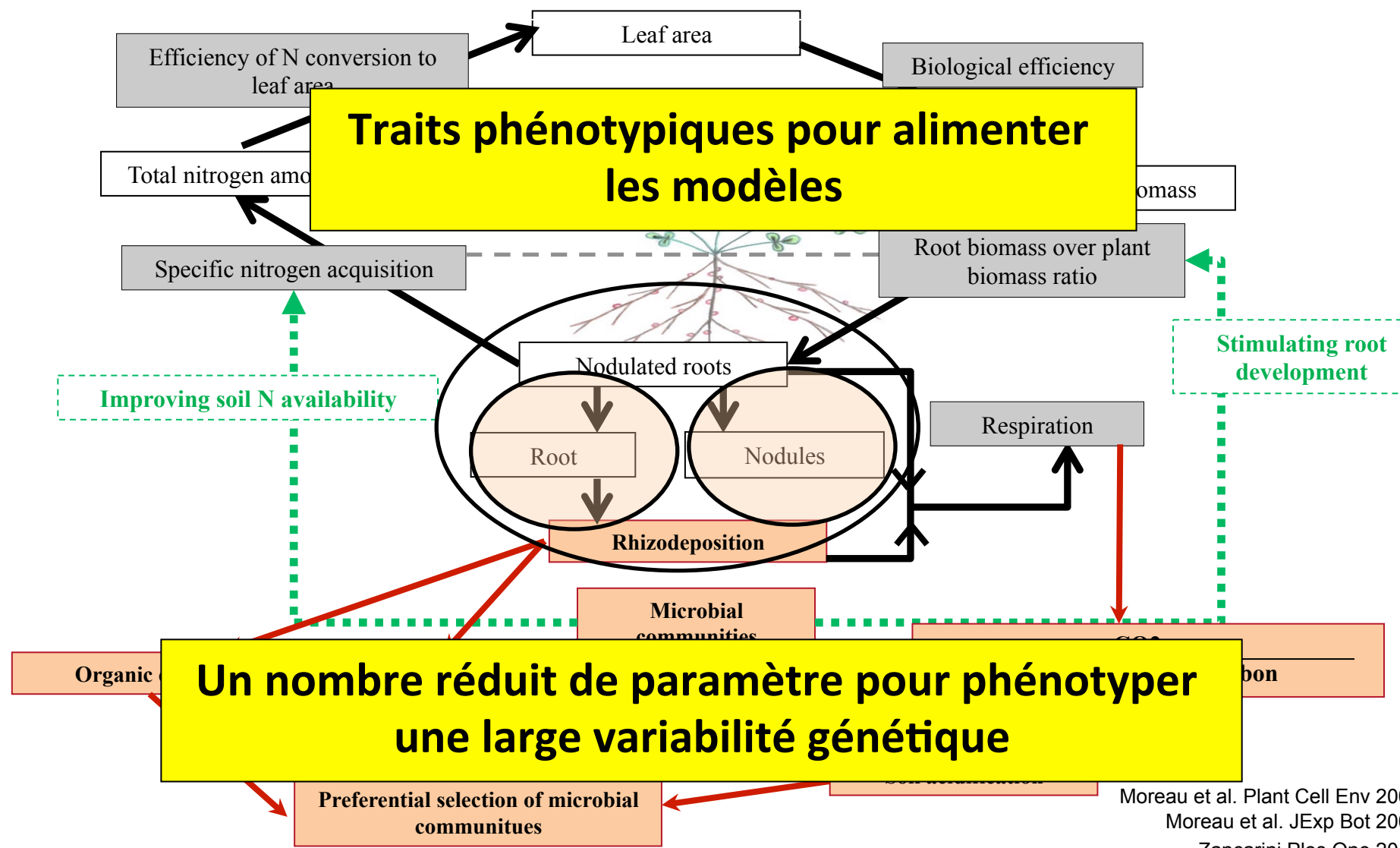
### Biomasse nodosités



Hydroponique et substrat

# Modèle Intégratif: *Medicago*

Décomposer des variables intégratives en processus physiologiques



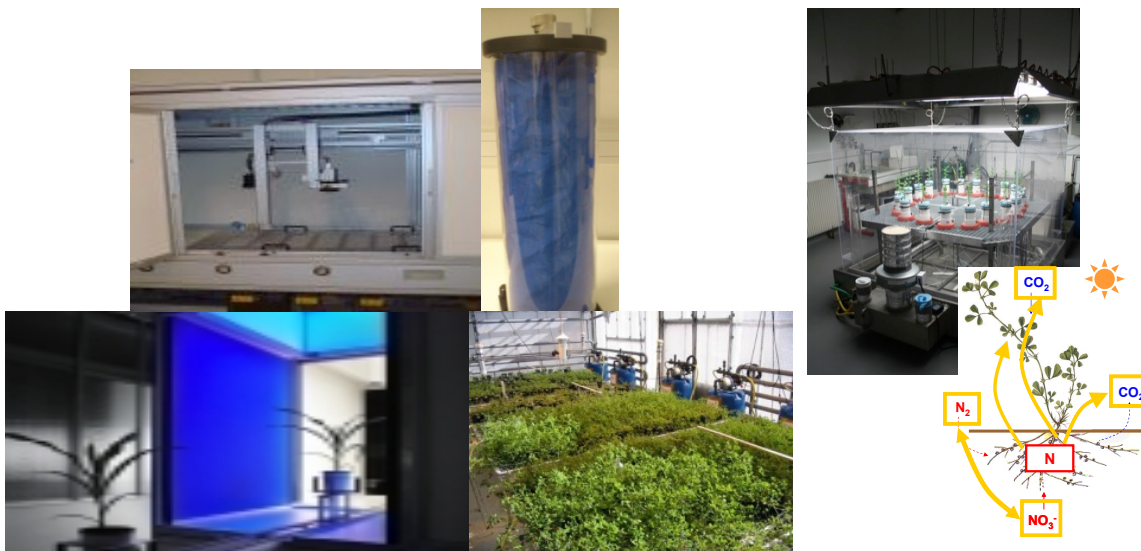


# Food for thoughts... Combiner les approches

## Phénotypage



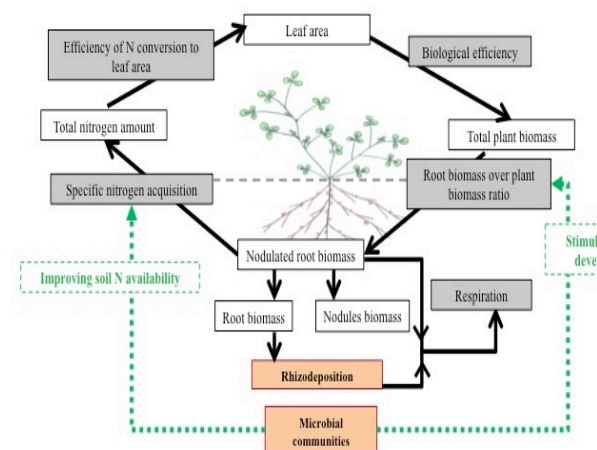
## Approche analytique



Identifier des différences entre génotypes



## Modélisation



Interpréter les différences détectées

- Vers le phénotypage fonctionnel (NAAS System)
- Valider au champ : Plateforme Phénotypage Dijon

EFOR

PPHD



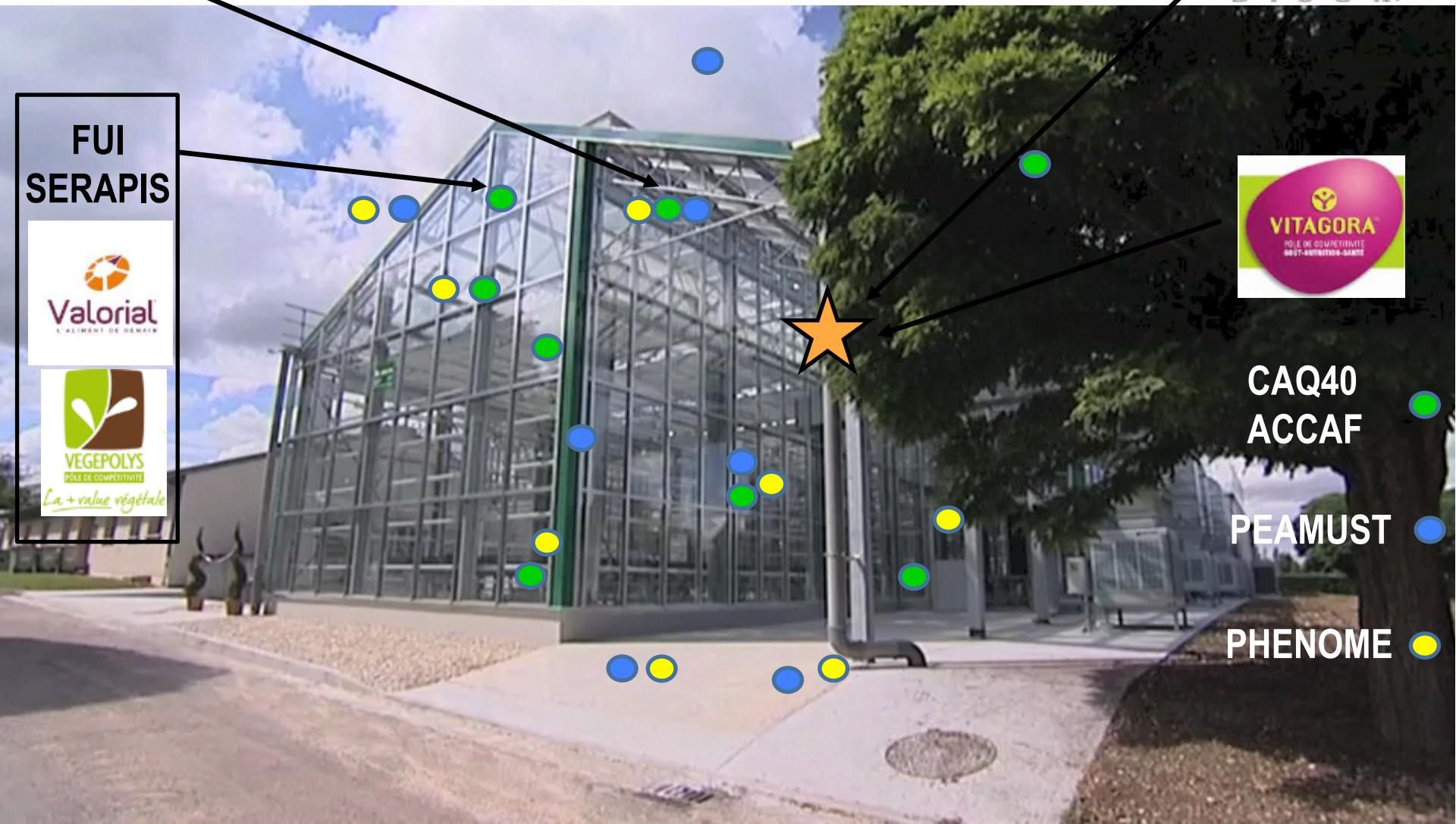
FUI  
SERAPIS



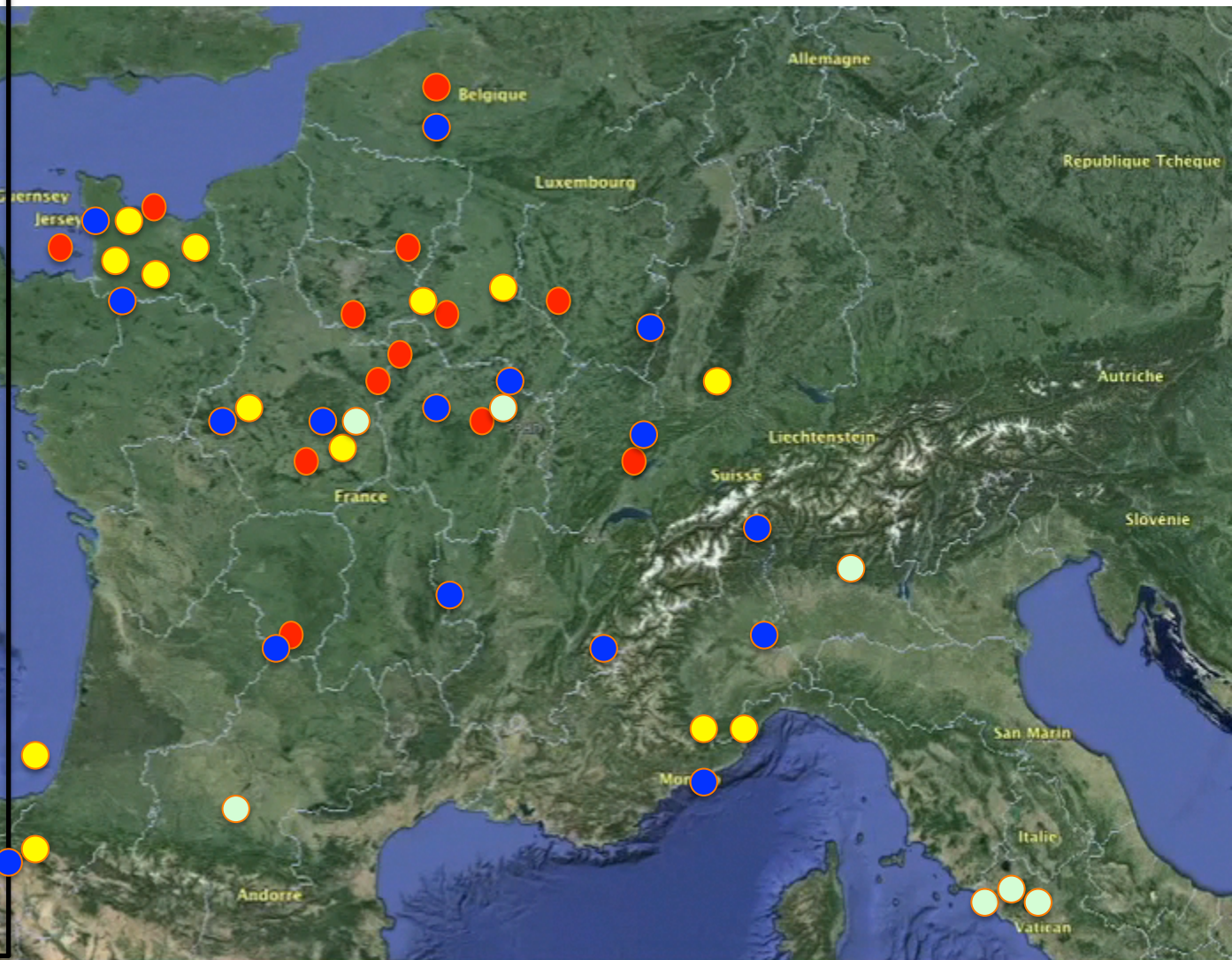
CAQ40  
ACCAF

PEAMUST

PHENOME







# *Distribution...*

**Christian JEUDY**



**Céline BERNARD**



**Jean-Claude SIMON**



**Frédéric COINTAULT**



**Simeng HAN**

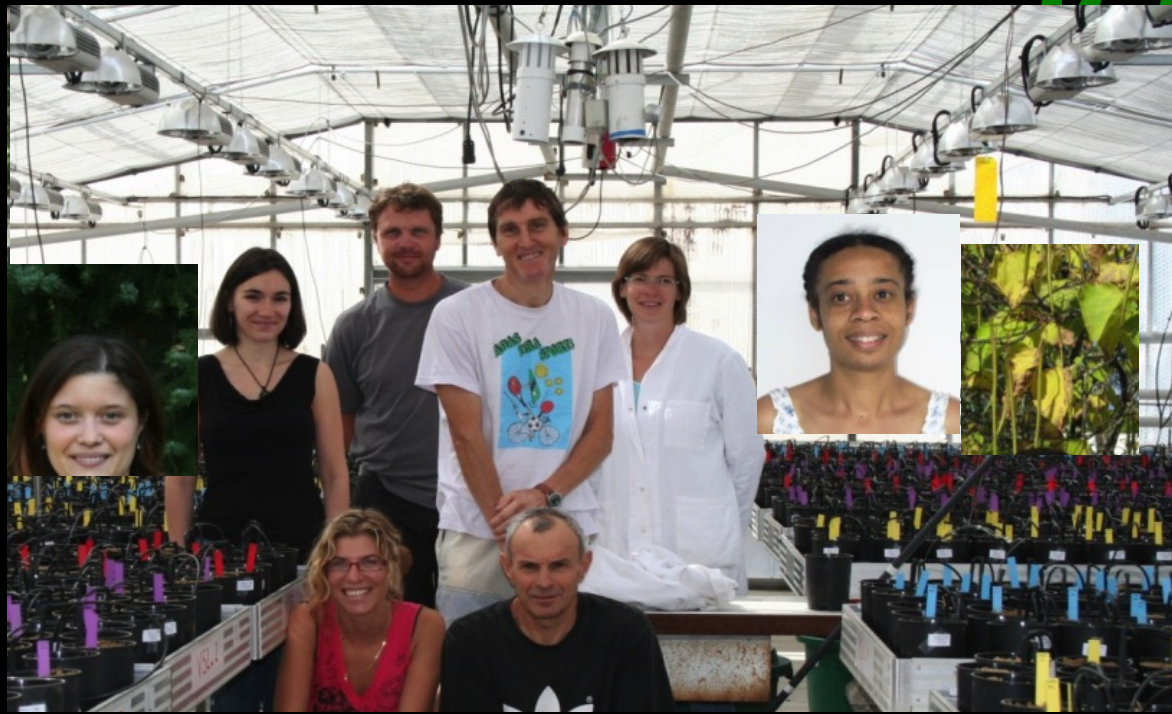


**Marielle ADRIAN**





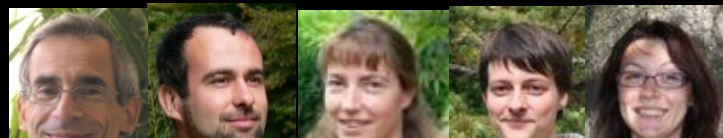
*It's aussi...*



**Ecophysiology team**



**Medicago truncatula team**



**Rhizotrones  
(EU Licence INRA-  
Inoviaflow, 1300 units  
planed)**

Fluxomic
PPHD
<b>Rhizotrons</b>
Rhizobox

