



**HAL**  
open science

# Phénotypage haut débit des interactions entre plantes et micro-organismes : exemple des légumineuses

Christophe Salon

## ► To cite this version:

Christophe Salon. Phénotypage haut débit des interactions entre plantes et micro-organismes : exemple des légumineuses. Conférence "Structure Fédérative de Recherche QUASAV" Toulouse Phénotypage, May 2014, Toulouse, France. hal-02791946

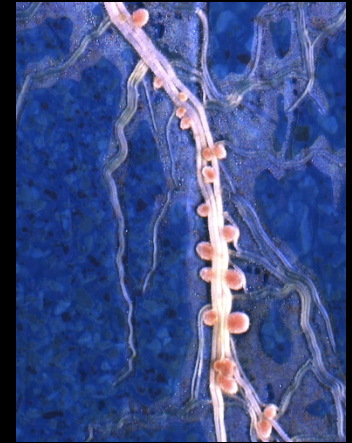
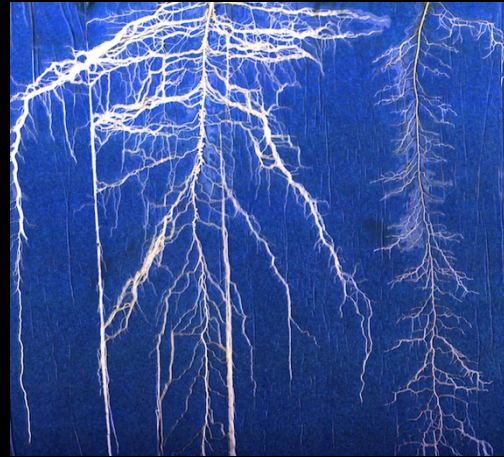
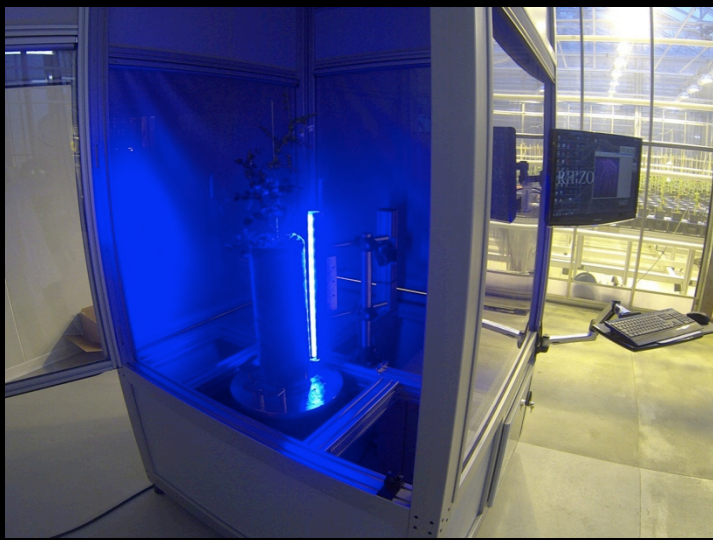
**HAL Id: hal-02791946**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02791946>**

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.






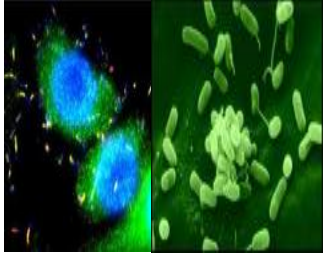
# Phénotypage haut débit des interactions entre plantes et micro-organismes : exemple des légumineuses

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



# 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**

**Outils et méthodes**

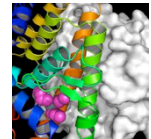


**Variabilité génétique**



**Conception d'Idéotypes de plantes**

**Mécanismes et bases moléculaires**





Contexte	Approche	Outils	Exemples	Modèles	Conclusion
		Fluorimétrie PPHD Rhizotrons Rhizobox			

### Dispositifs de culture

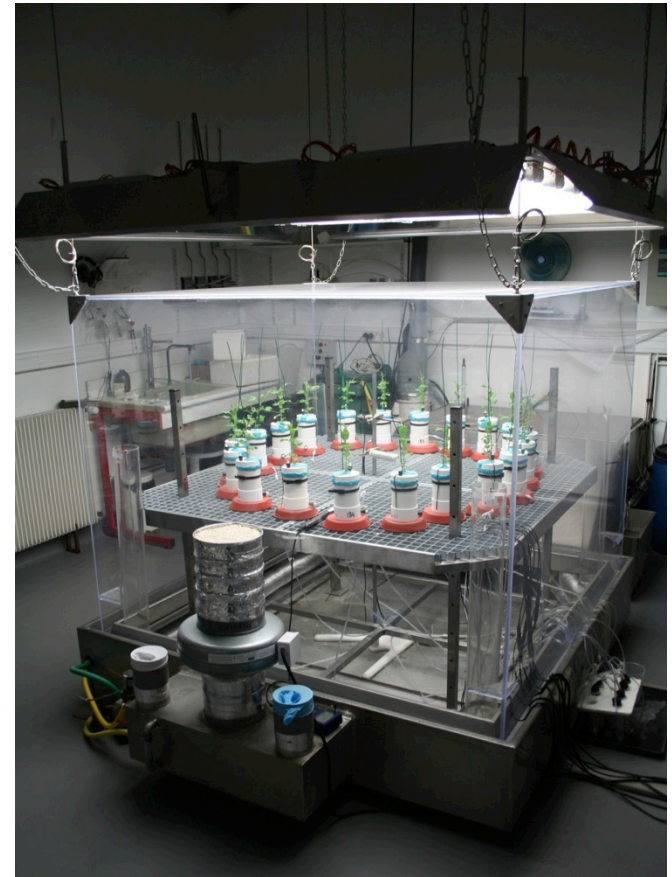


Poches, hydroponique



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	Comme au cinéma..		

## Plateforme de Phénotypage Haut Débit





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

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

Fluxomique	
<b>PPHD</b>	Equipements
Rhizotrons	<b>Shoot roots etc...</b>
Rhizobox	Comme au cinéma..



**Architecture aérienne**


20 unités/h

# Plantes des agrosystèmes


**Organes (graines...)**

**Petites plantes**





**Germination**

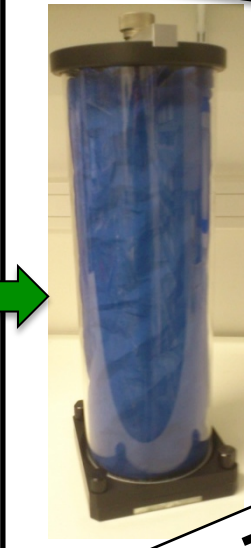


6 unités/h

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		

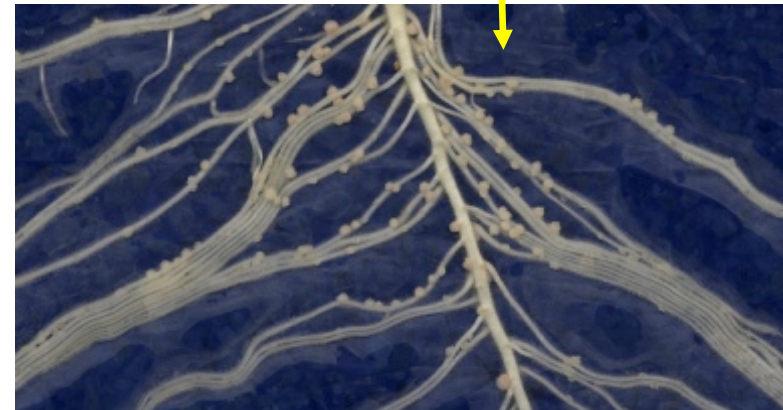
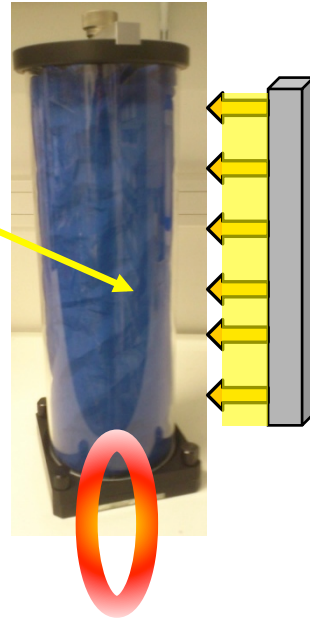
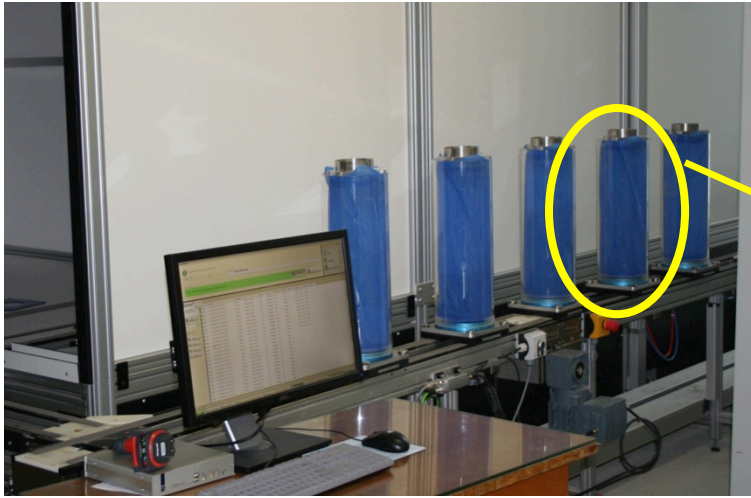




**Rhizotrones**  
**Brevet EU INRA-**  
**Inoviaflow, 1300 unités**

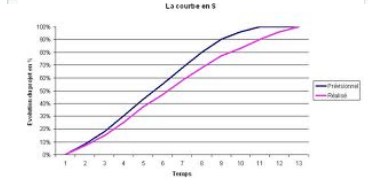
- Fluorimétrie
- PPHD
- Rhizotrons
- Rhizobox

Brushless motor



Haute résolution

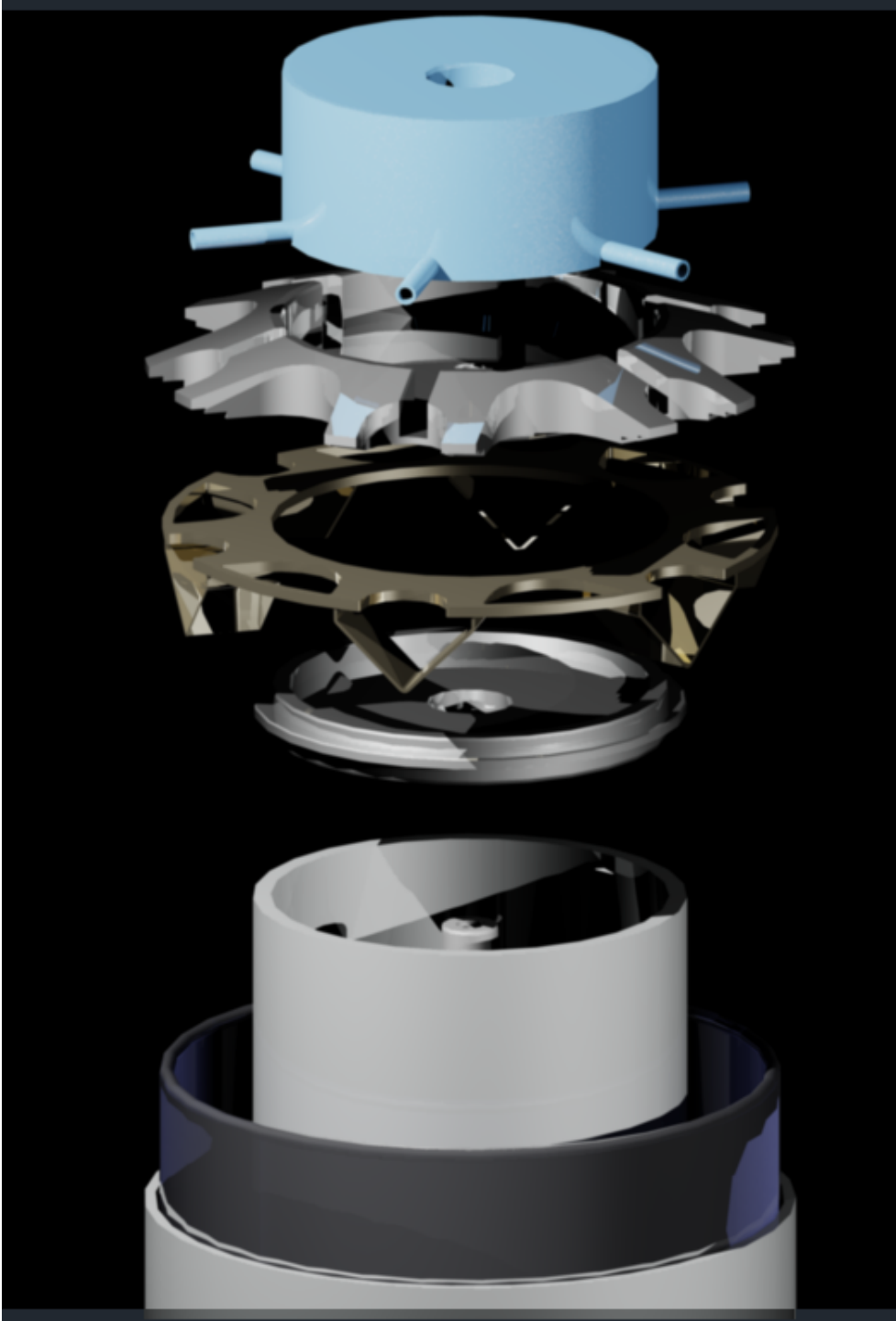
Exp	Gen	Rep	Stat	Evolution	T (°C)	pH	Stat	Moisiss 1	Moisiss 2	Moisiss 3	Moisiss 4
001	AB01	001	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	002	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	003	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	004	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	005	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	006	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	007	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	008	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	009	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	010	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	011	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	012	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	013	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	014	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	015	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	016	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	017	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	018	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	019	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	020	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	021	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	022	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	023	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	024	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	025	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	026	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	027	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	028	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	029	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	030	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	031	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	032	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	033	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	034	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	035	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	036	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	037	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	038	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	039	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	040	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	041	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	042	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	043	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	044	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	045	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	046	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	047	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	048	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	049	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	050	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	051	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	052	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	053	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	054	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	055	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	056	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	057	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	058	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	059	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	060	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	061	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	062	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	063	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	064	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	065	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	066	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	067	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	068	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	069	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	070	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	071	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	072	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	073	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	074	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	075	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	076	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	077	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	078	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	079	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	080	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	081	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	082	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	083	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	084	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	085	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	086	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	087	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	088	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	089	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	090	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	091	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	092	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	093	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	094	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	095	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	096	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	097	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	098	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	099	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0
001	AB01	100	Rep	0	20	7	120	0.0	0	0	0



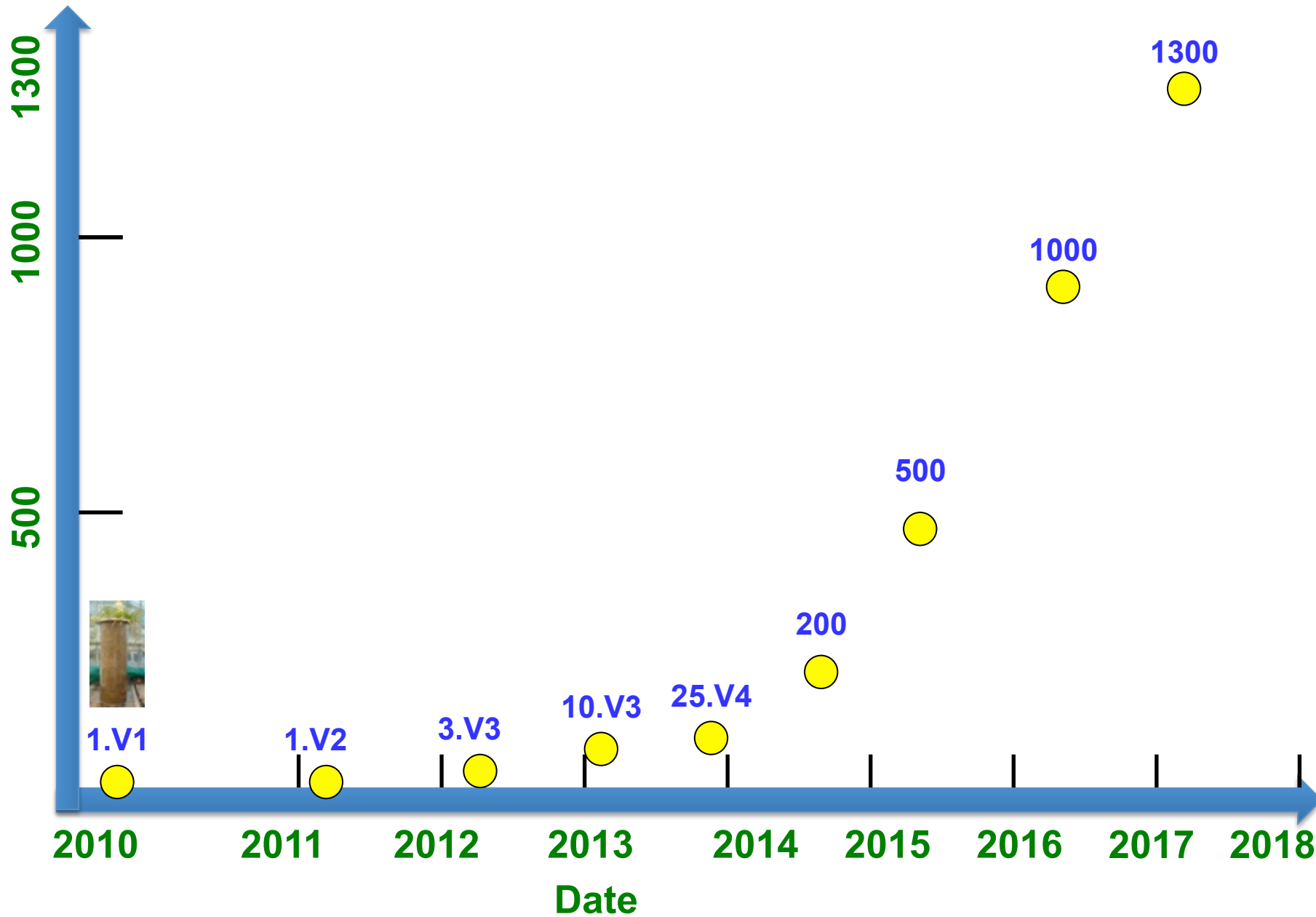
- Traits phénotypiques:
- projected **root** area
  - projected **nodule** area
  - total nodule **number**
  - nodule size** classification
  - total root length....





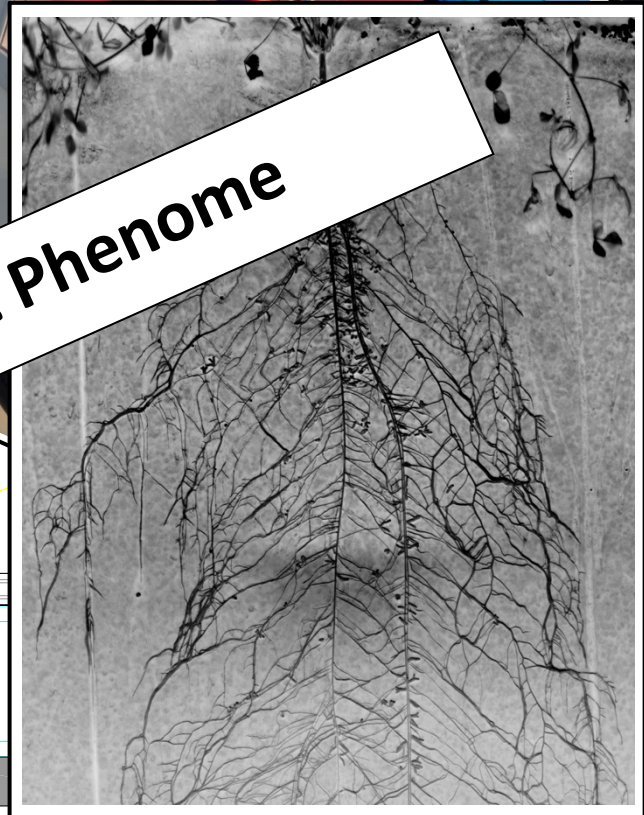
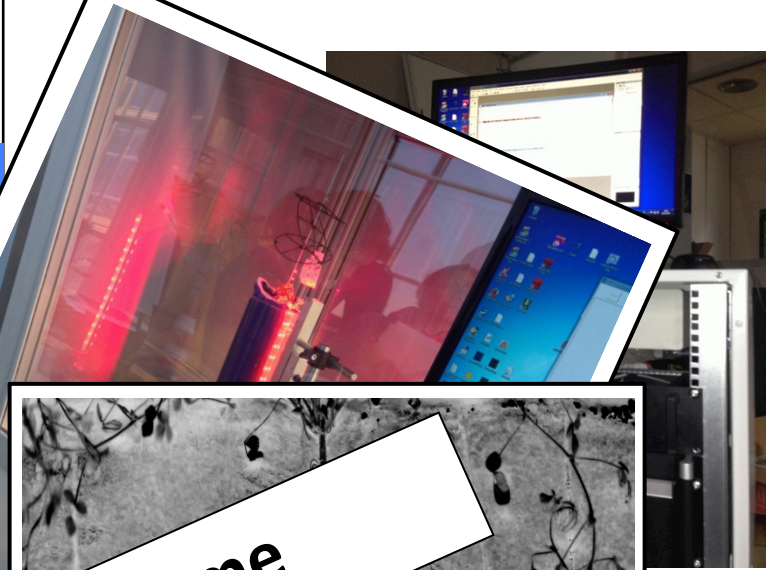
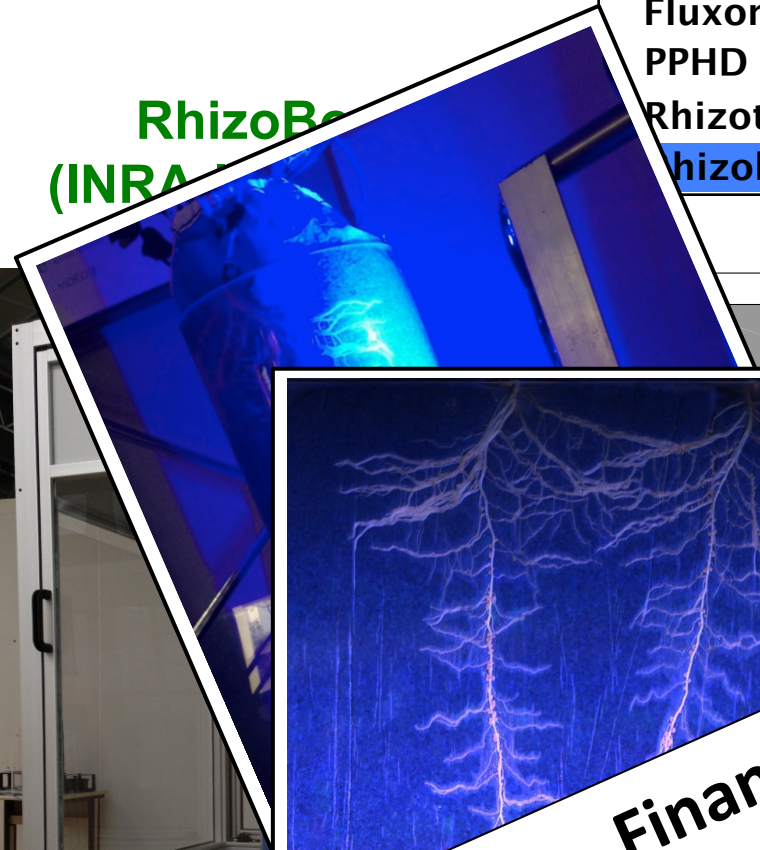


# Rhizotrons



		Fluorimétrie PPHD Rhizotrons Rhizobox			
--	--	--	--	--	--

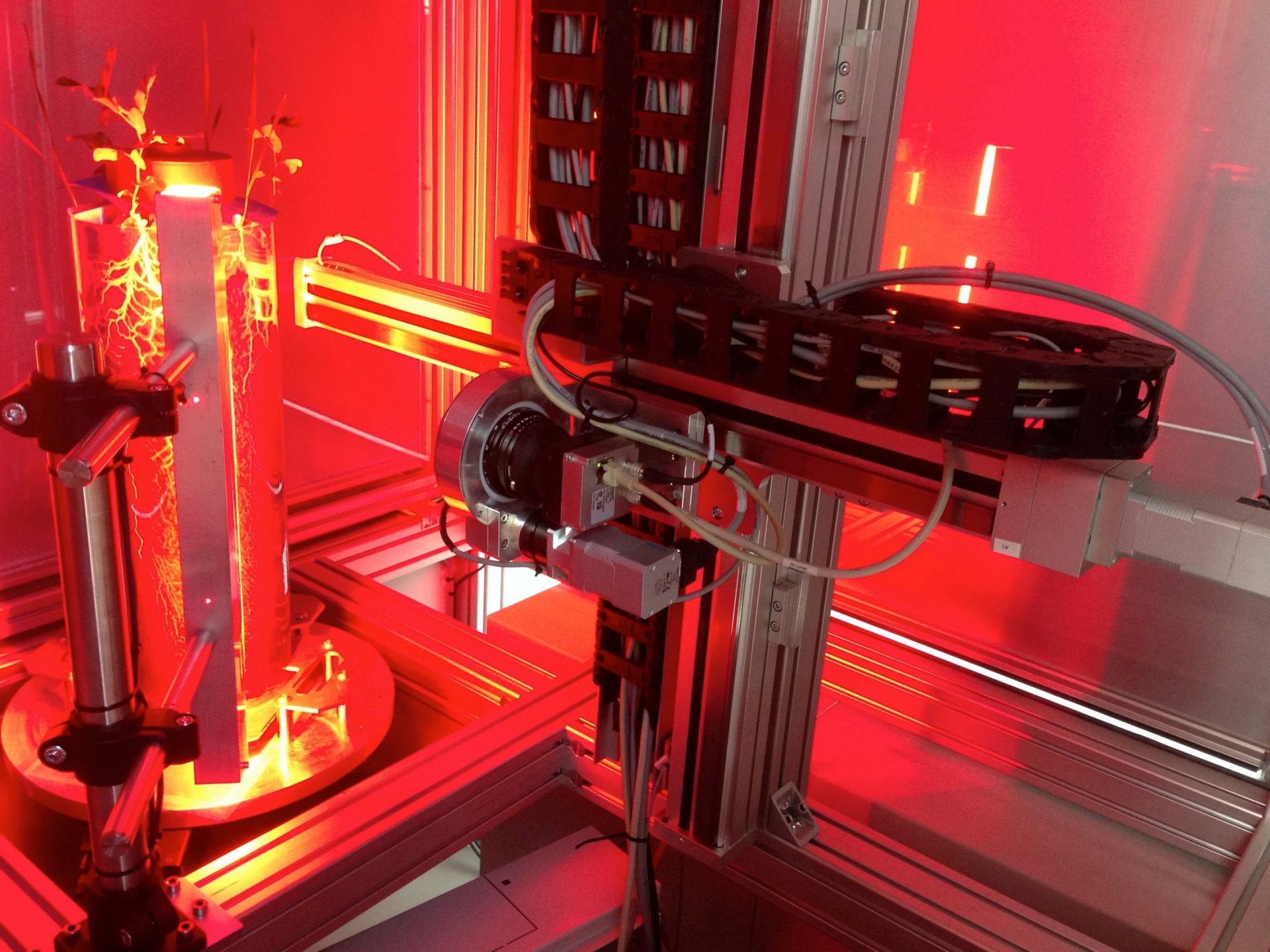
RhizoBox  
(INRA)



**Financement Phenome**

**Capteur 12MP, 3 LEDs RVB, précision 50µm  
Caméra : BASLER racer**







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



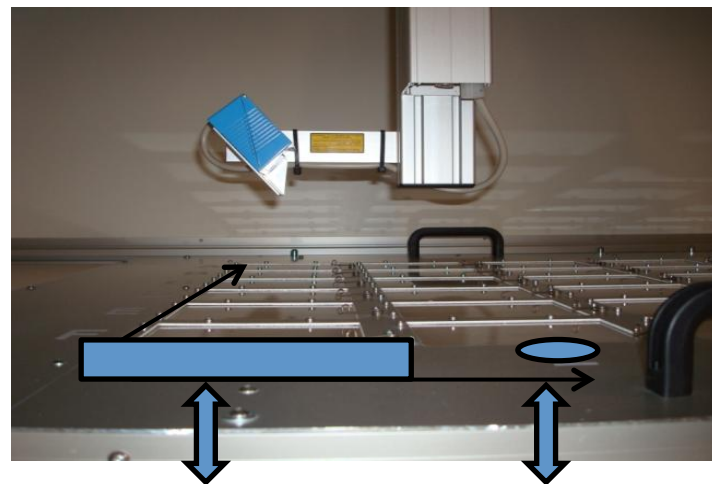
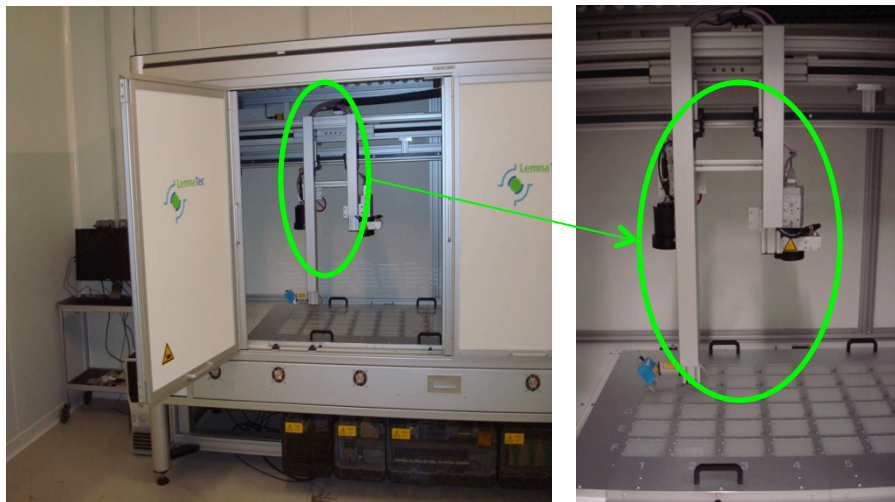
### Approches:

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

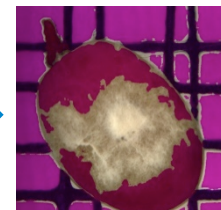
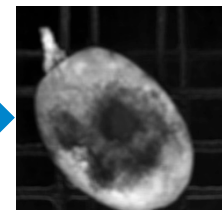
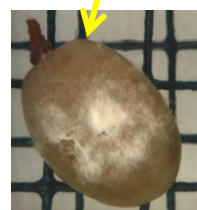


Microplaques, boîte de pétri

## 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

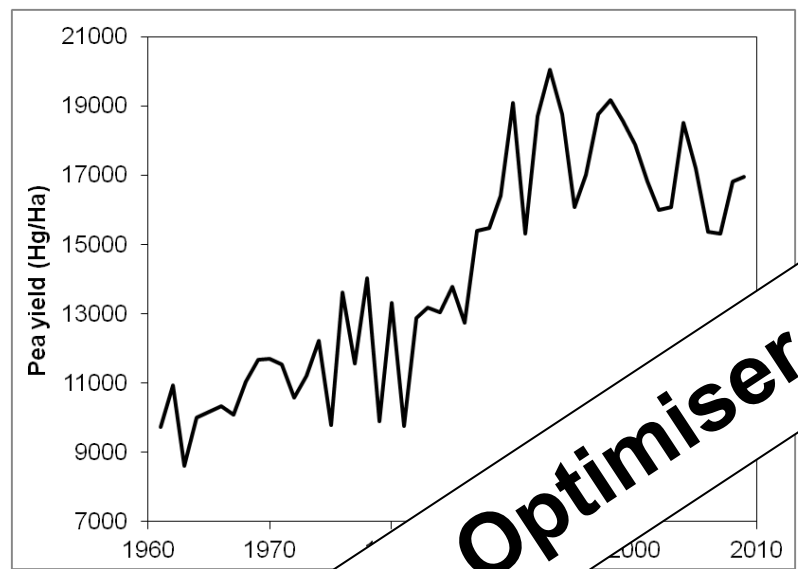


## Détection/évaluation de l'intensité des maladies sur la vigne, les baies

Vigne
Légumineuses

Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
Traitements Image
et ensuite ?

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



**Optimiser la nutrition azotée**

Mais...  
Rende... tuants

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
					Traitements Image
					Et ensuite ?

**Outils et méthodes**



**Variabilité génétique**




**Conception d'Idéotypes de plantes**



**Mécanismes et bases moléculaires**



Vigne
Légumineuses

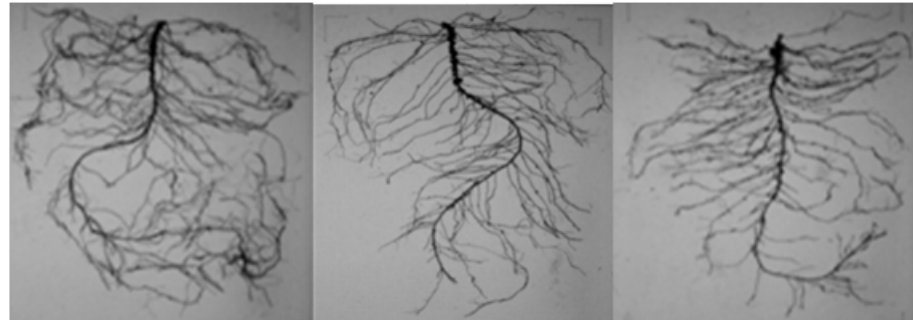
Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
Traitements Image
Et ensuite ?

# 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
Traitements Image
Et ensuite ?

# Lignées Recombinantes (1400 RILs)

## STRUCTURE

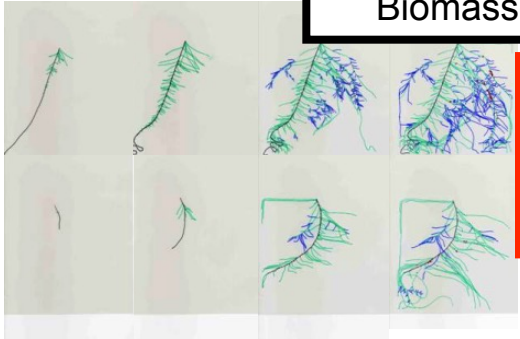
## FONCTION



**Parties aériennes :**  
 Hauteur  
 Biomasse  
 Surface foliaire

Efficiéce  
 d'acquisition de C

**Racines:**  
 Nombre  
 Longueur  
 Biomasse



**Nodosités:**  
 Nombre  
 Surface  
 Biomasse

Efficiéce  
 d'acquisition de N

Bourion et al. TAG 2010



Vigne
Légumineuses

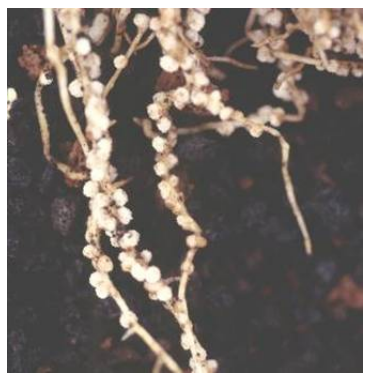
Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
Traitements Image
Et ensuite ?

# Variabilité génétique induite

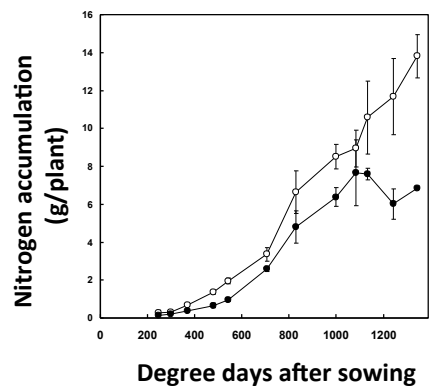
Identifier/caractériser les gènes impliqués dans la nodulation, et l'architecture racinaire

## Développement des nodosités

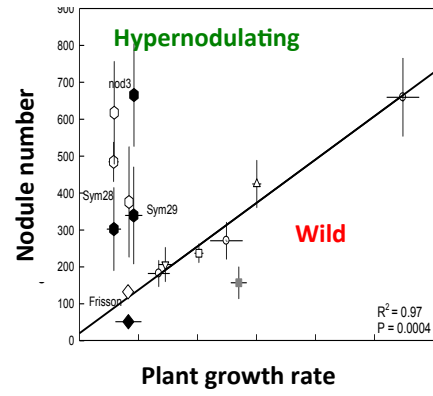
## Architecture racinaire



Duc et al. 1998  
Cazenave et al. Plant Soil 2013

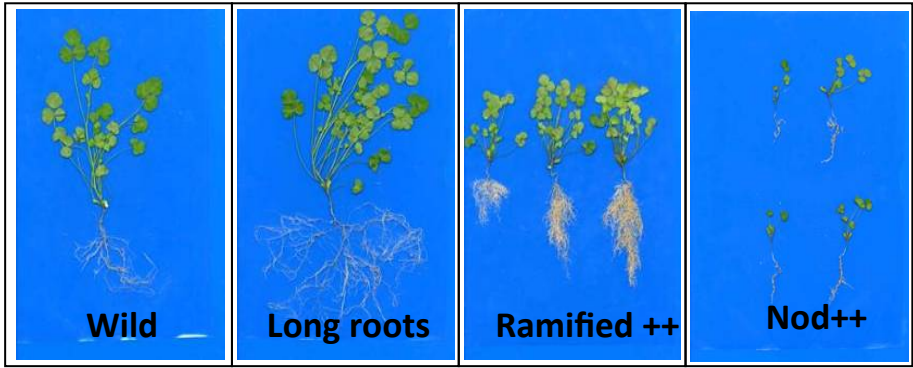


Salon et al. Agr 2001



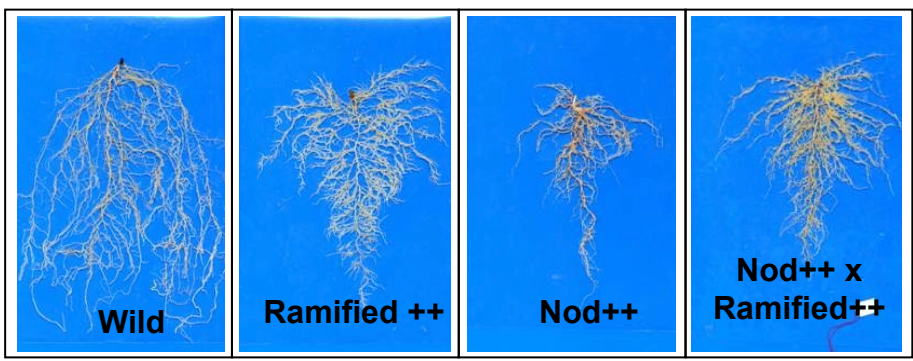
Voisin et al. Plant Soil 2010

### Medicago truncatula, Tnt1



Porceddu et al. BioMed 2008

### Pea, EMS



Coll. KK Sidorova

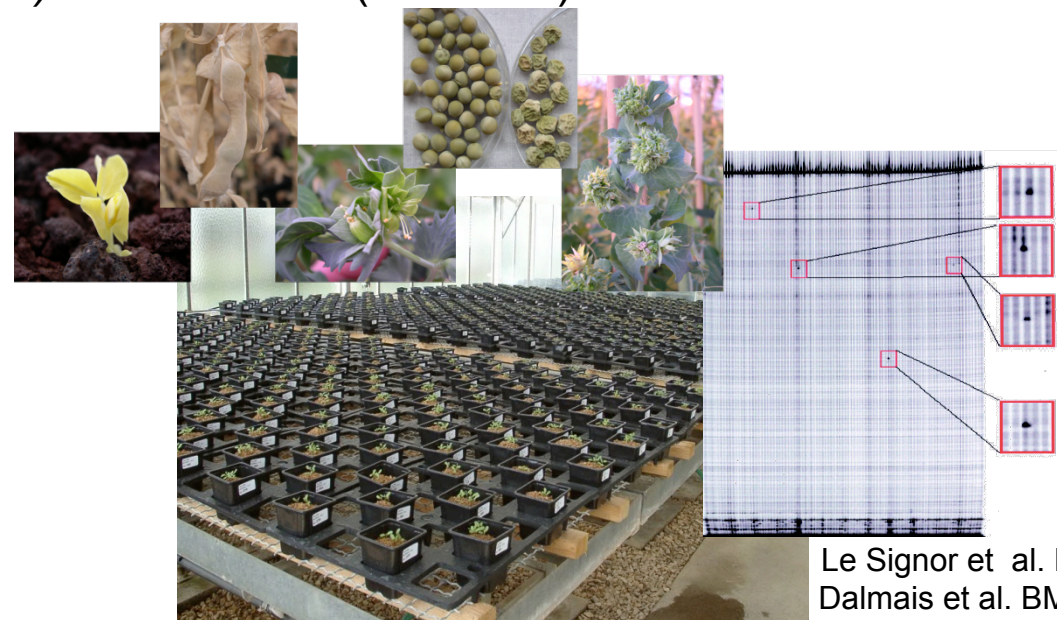
Vigne
Légumineuses

Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
Traitements Image
Et ensuite ?

## 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	
				Traitements Image	
				Et ensuite ?	

**Outils et méthodes**



**Variabilité génétique**



**Conception d'Idéotypes de plantes**

**Mécanismes et bases moléculaires**

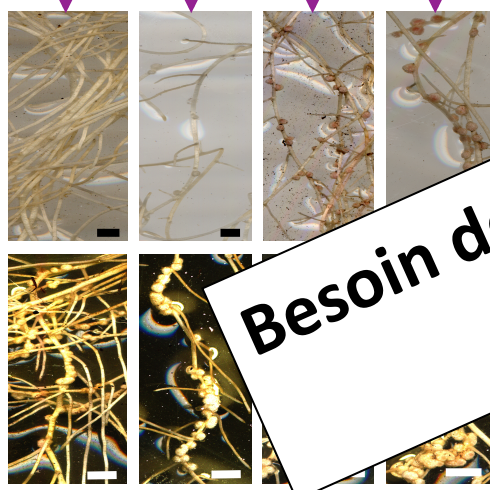
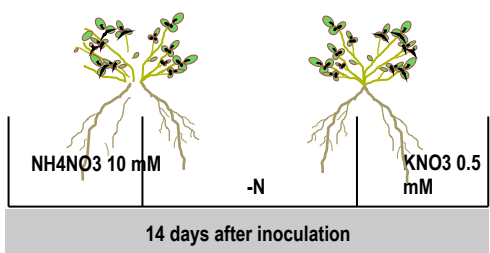


Vigne
Légumineuses

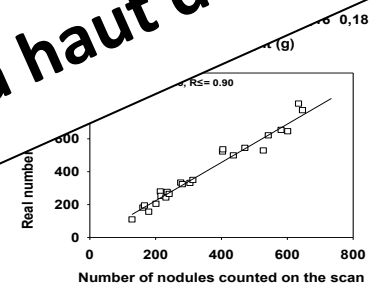
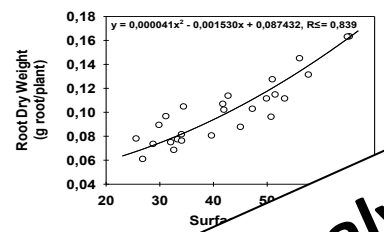
Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
Traitements Image
Et ensuite ?

# 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**



Vigne
Légumineuses

Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
Traitements Image
Et ensuite ?

# Surface projetée de racine

*Thèse Simeng Han*

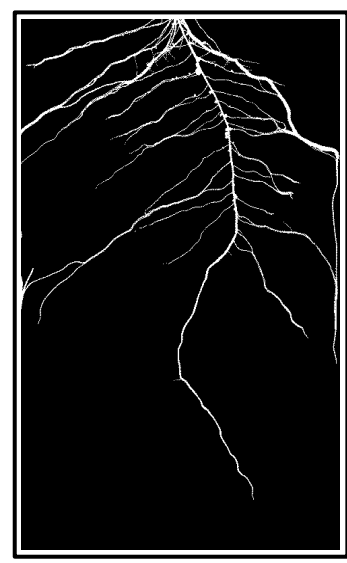
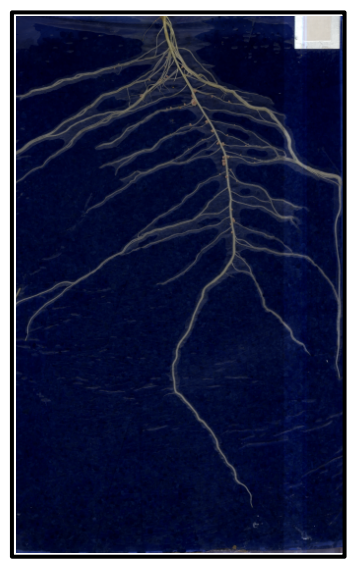


Image origine  
(A)

Meilleure bande

Image binaire  
(B)

Superposition  
(B/A)



# Longueur de racines

*Thèse Simeng Han*

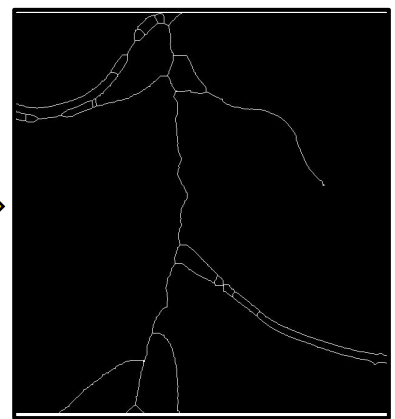
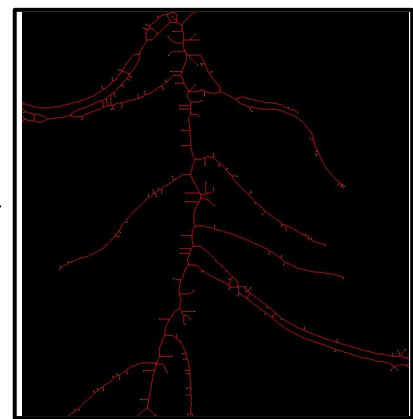
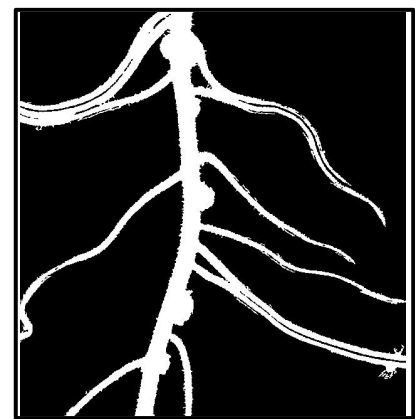
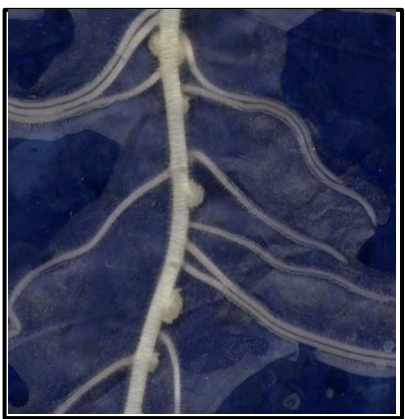


Image origine

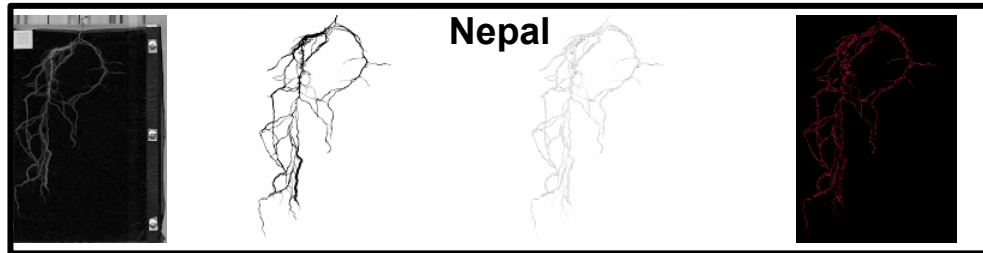
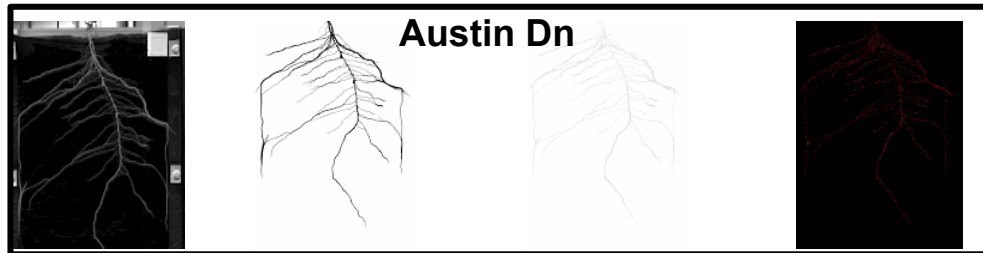
Binarisation

Squelettisation

Connectivité

# Résultats sur 4 images

*Thèse Simeng Han*



Vigne  
Légumineuses

Objectifs  
Diversité Génét.  
Ident. Strategies  
Traitements Image  
Et ensuite ?

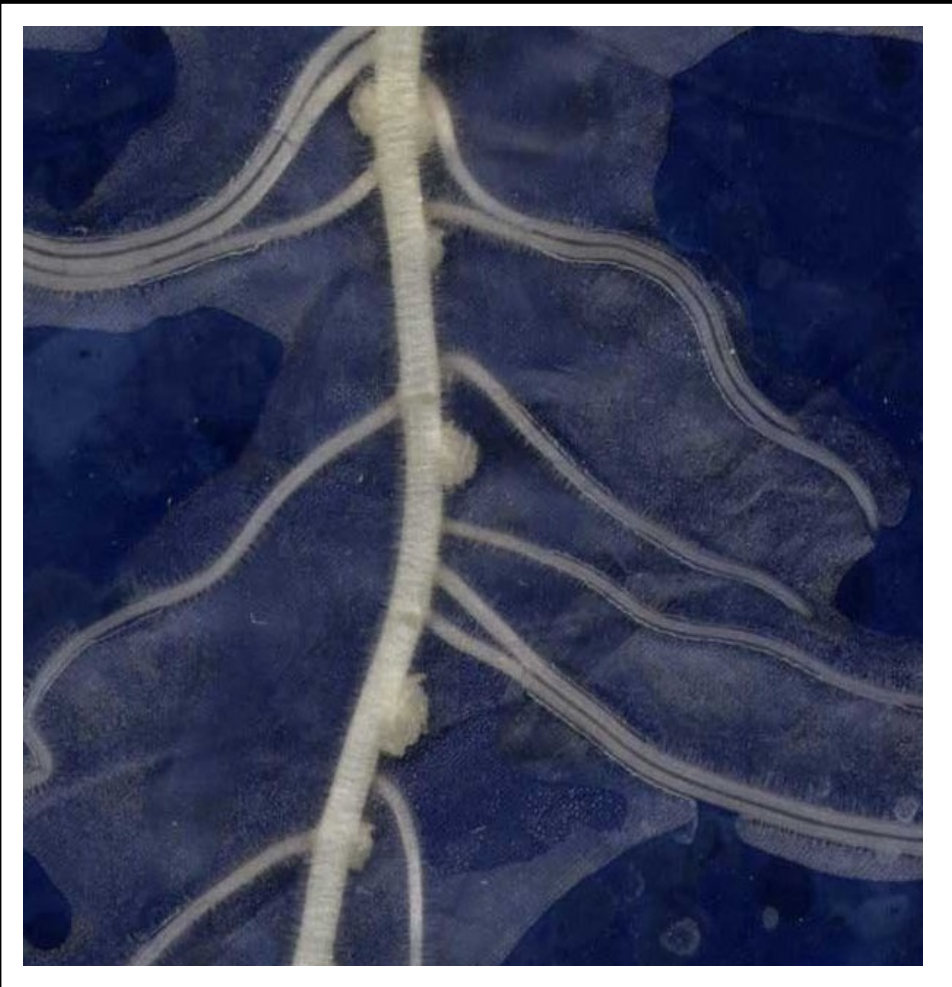


Nom	Surface	Longueur
Austin Dn	38 cm <sup>2</sup>	38cm
Austin Dn+5	58 cm <sup>2</sup>	40cm
L1073	105 cm <sup>2</sup>	40cm
Nepal	39 cm <sup>2</sup>	35 cm

Vigne
Légumineuses

Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
Traitements Image
Et ensuite ?

# Détection de nodosités



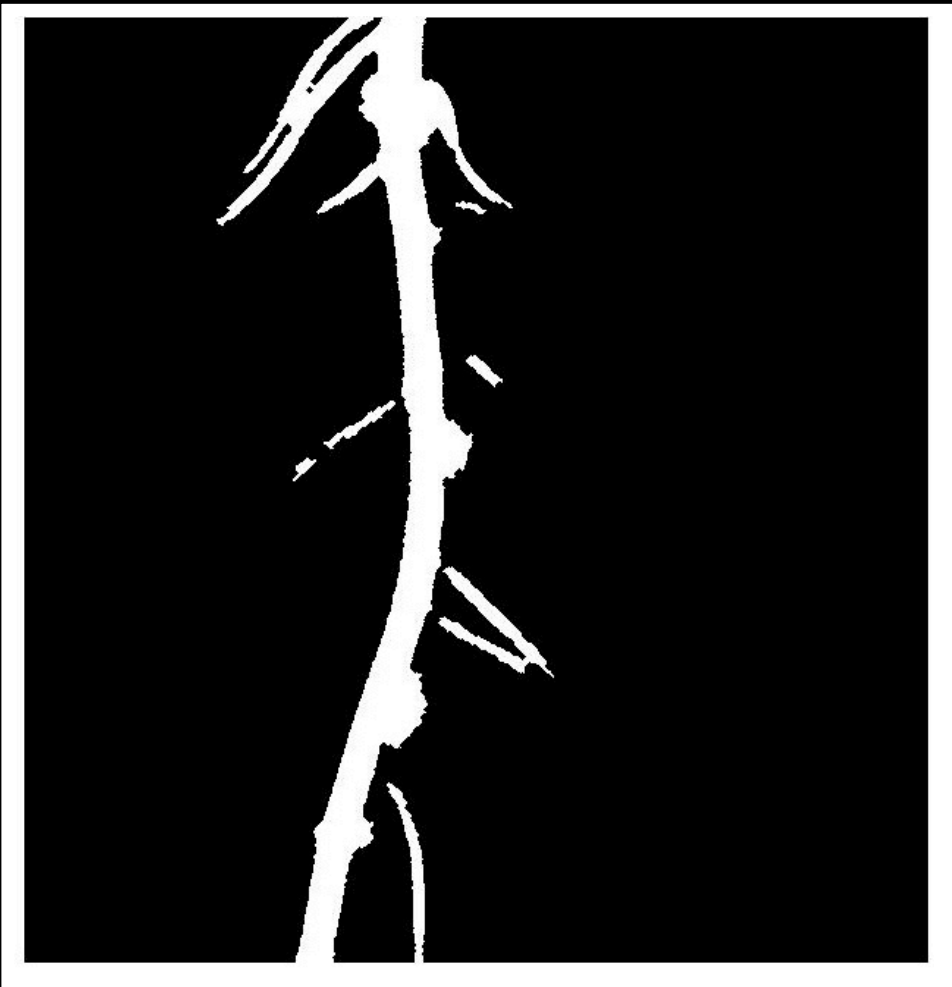
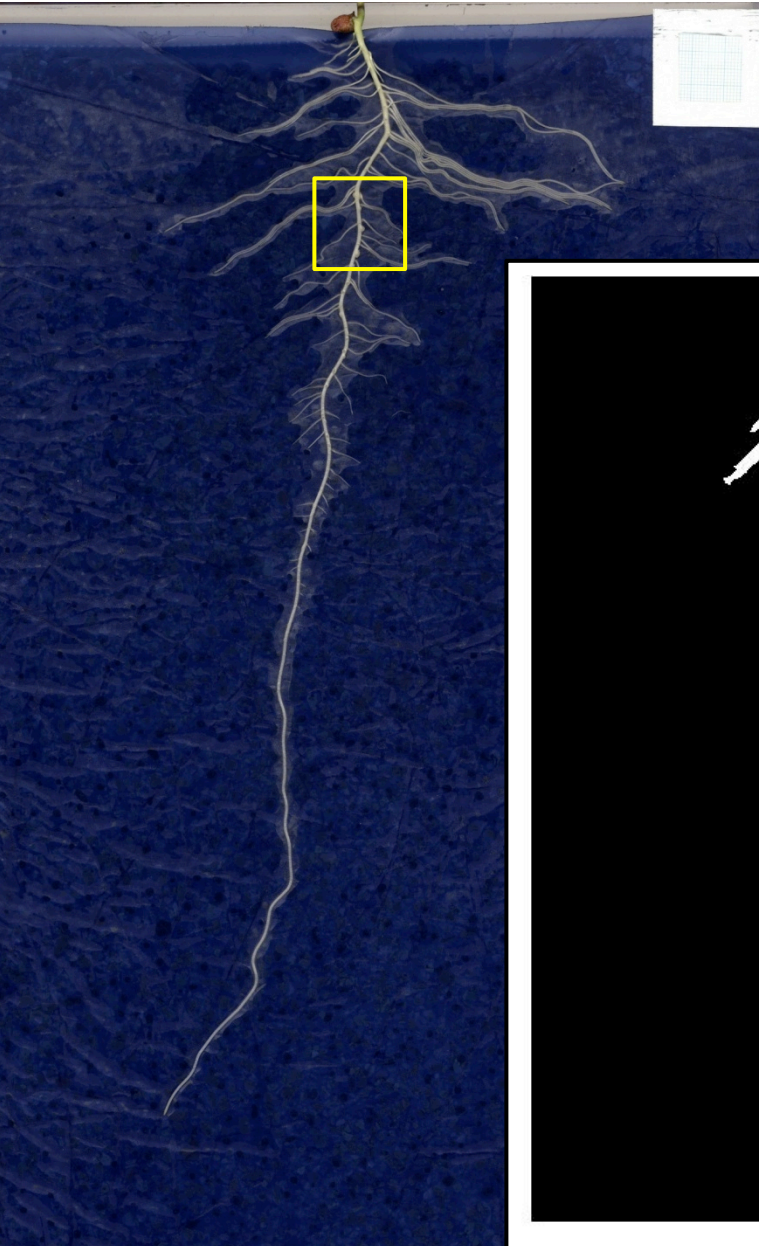
Jeune plante

Thèse Simeng Han (unpublished)



Vigne  
Légumineuses

Objectifs  
Diversité Génét.  
Ident. Strategies  
Traitements Image  
Et ensuite ?



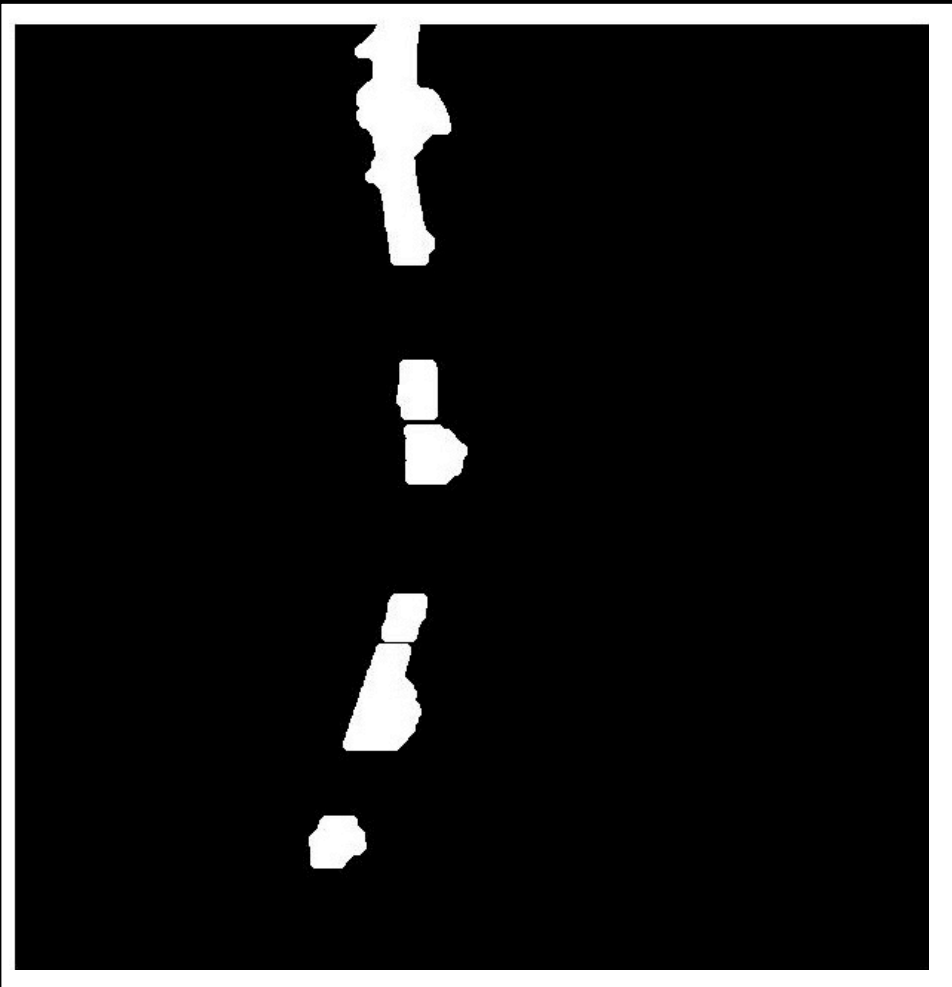
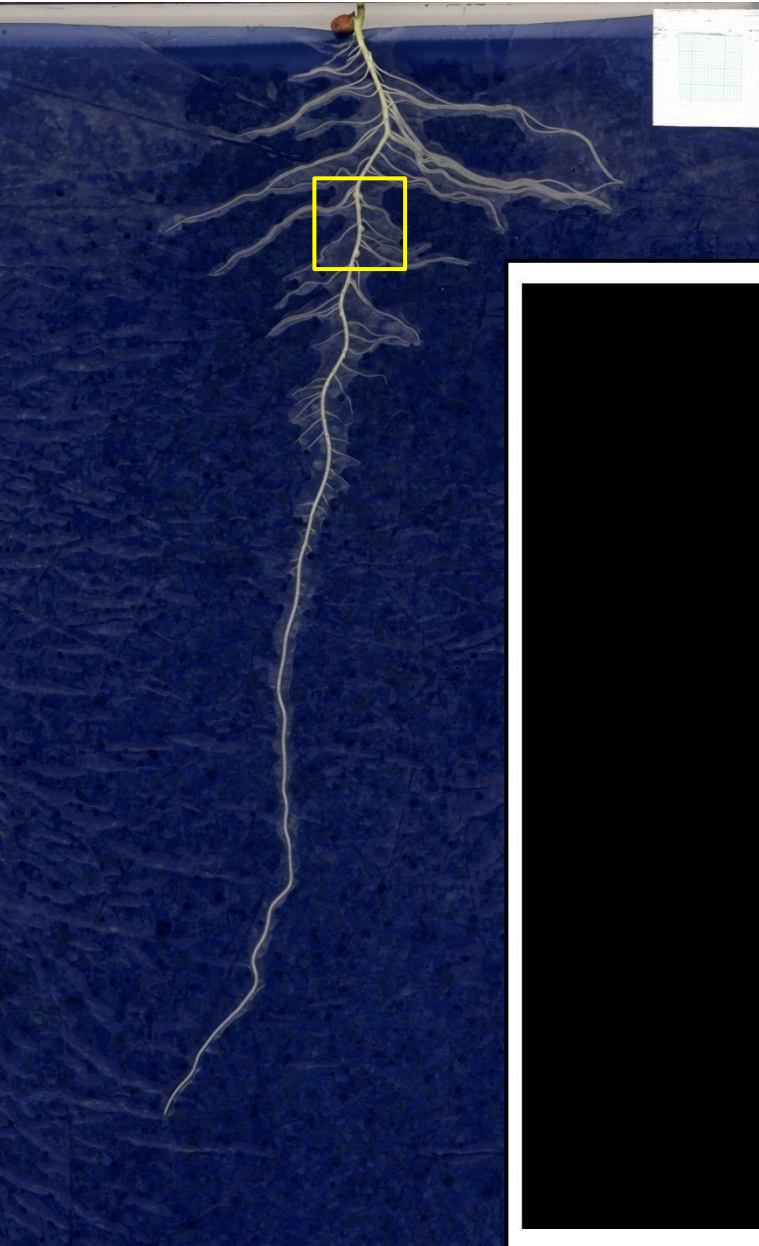
Seuillage,  
image  
binaire

Jeune plante

Thèse Simeng Han (unpublished)

Vigne  
Légumineuses

Objectifs  
Diversité Génét.  
Ident. Strategies  
Traitements Image  
Et ensuite ?



Lisser  
l'image

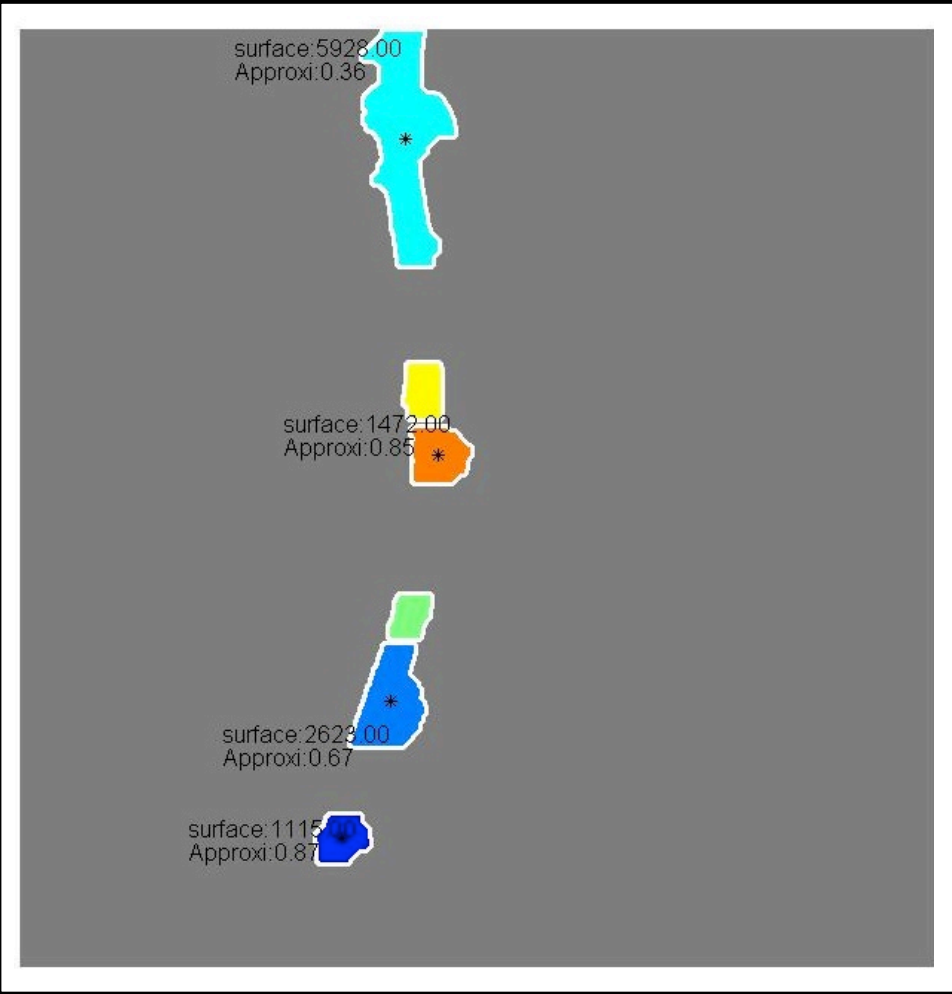
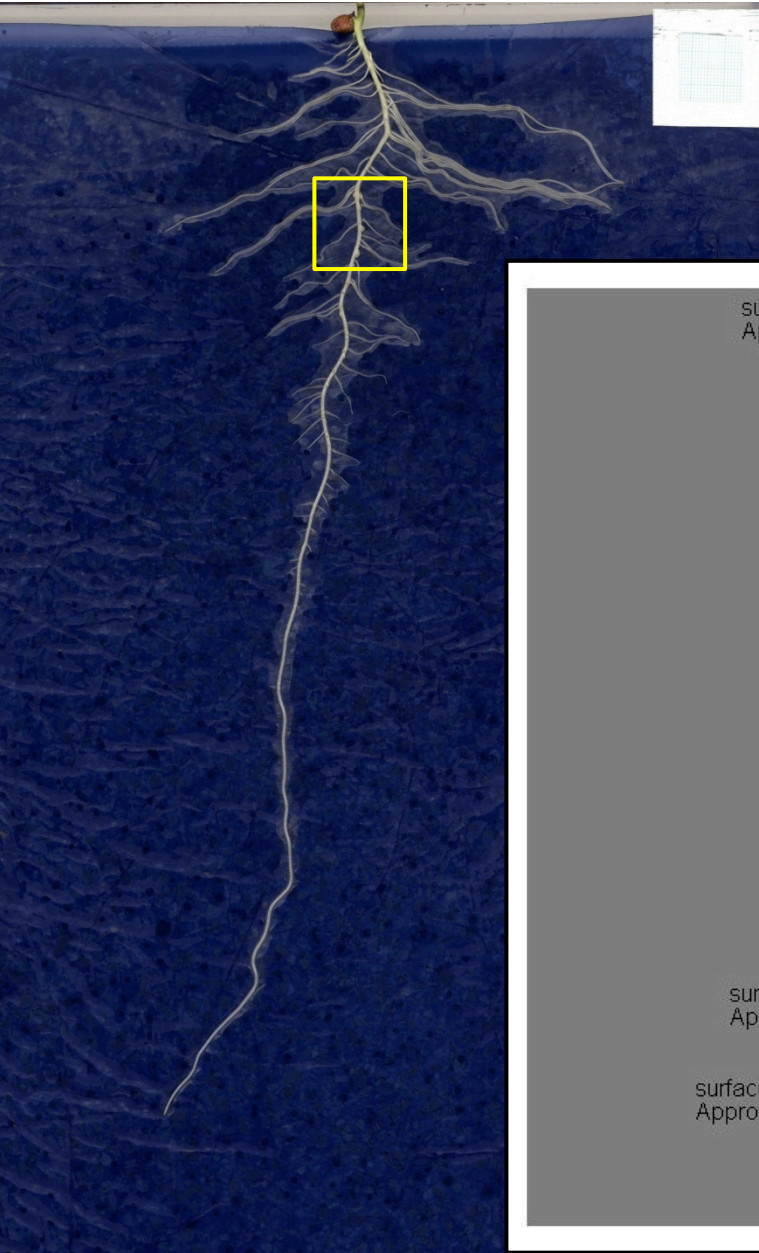
Jeune plante

Thèse Simeng Han (unpublished)



Vigne
Légumineuses

Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
Traitements Image
Et ensuite ?



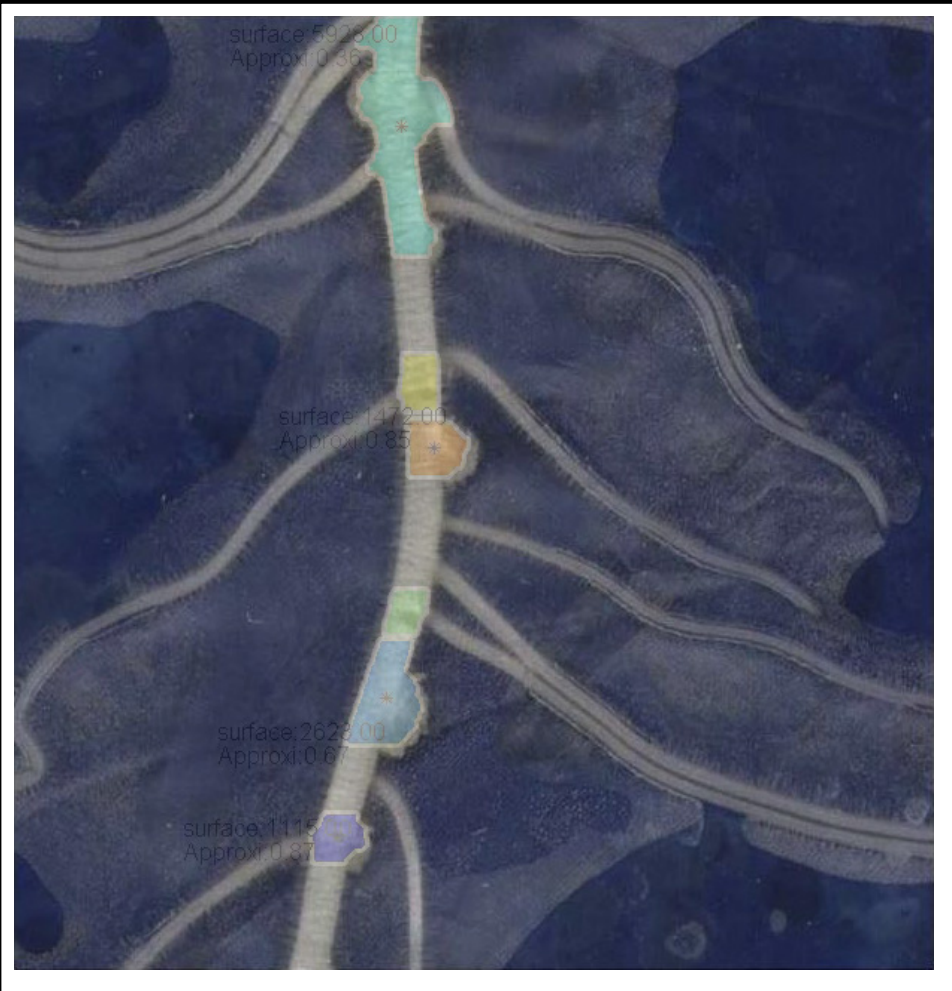
**Compter les nodosités**

**Jeune plante**

Thèse Simeng Han (unpublished)

Vigne
Légumineuses

Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
Traitements Image
Et ensuite ?



**Original image  
+ nodosités  
superposées**

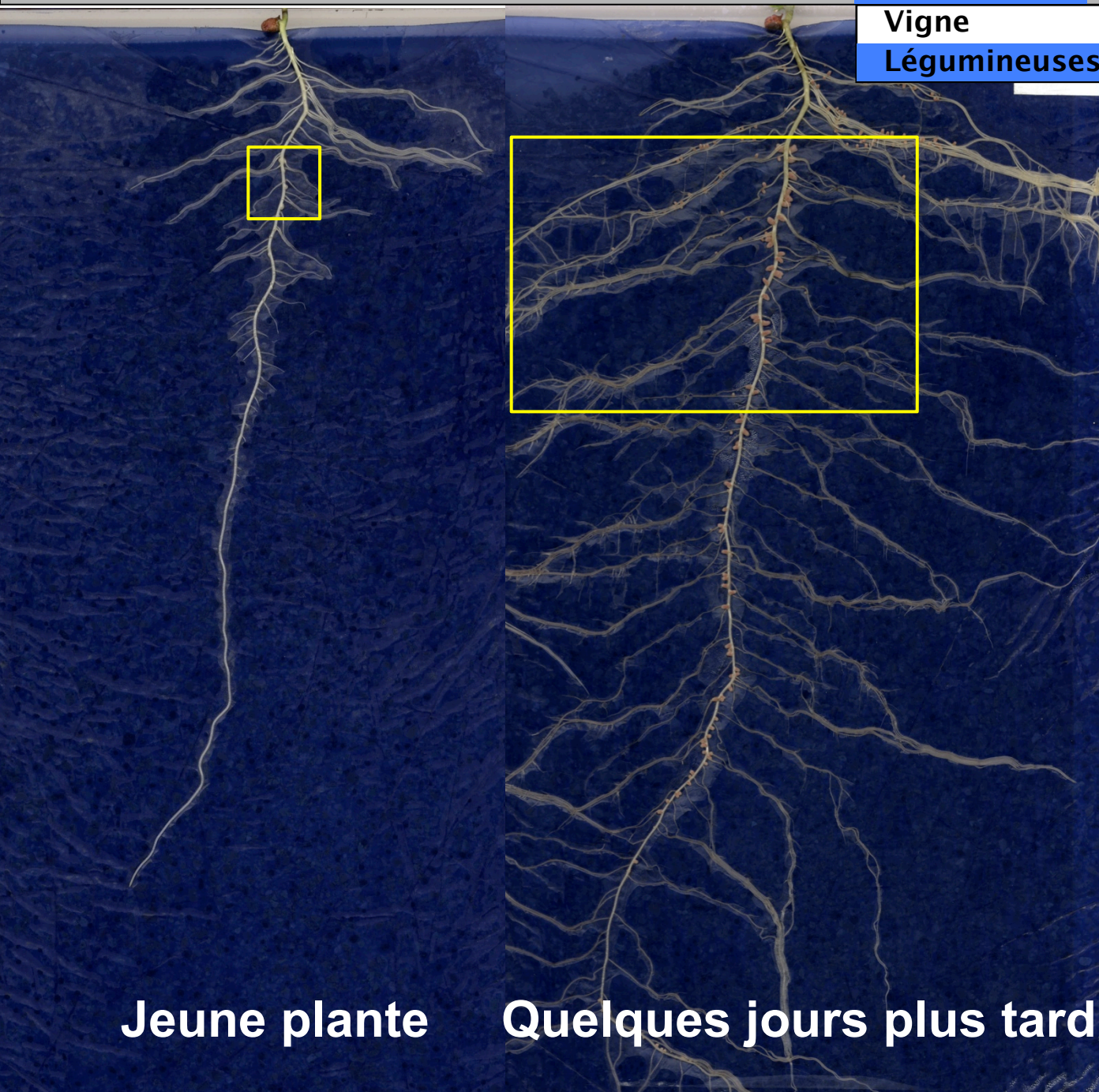
**Jeune plante**

Thèse Simeng Han (unpublished)



Vigne  
Légumineuses

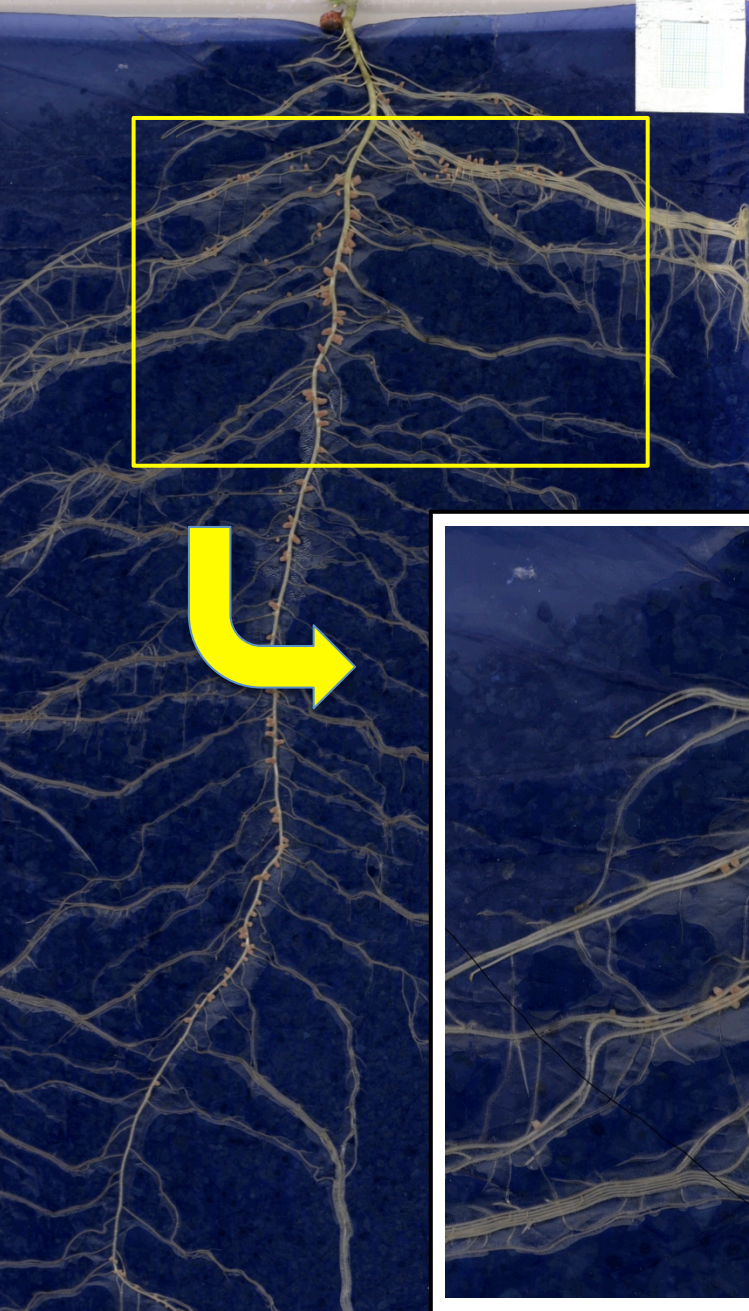

Objectifs  
Diversité Génét.  
Ident. Strategies  
Traitements Image  
Et ensuite ?



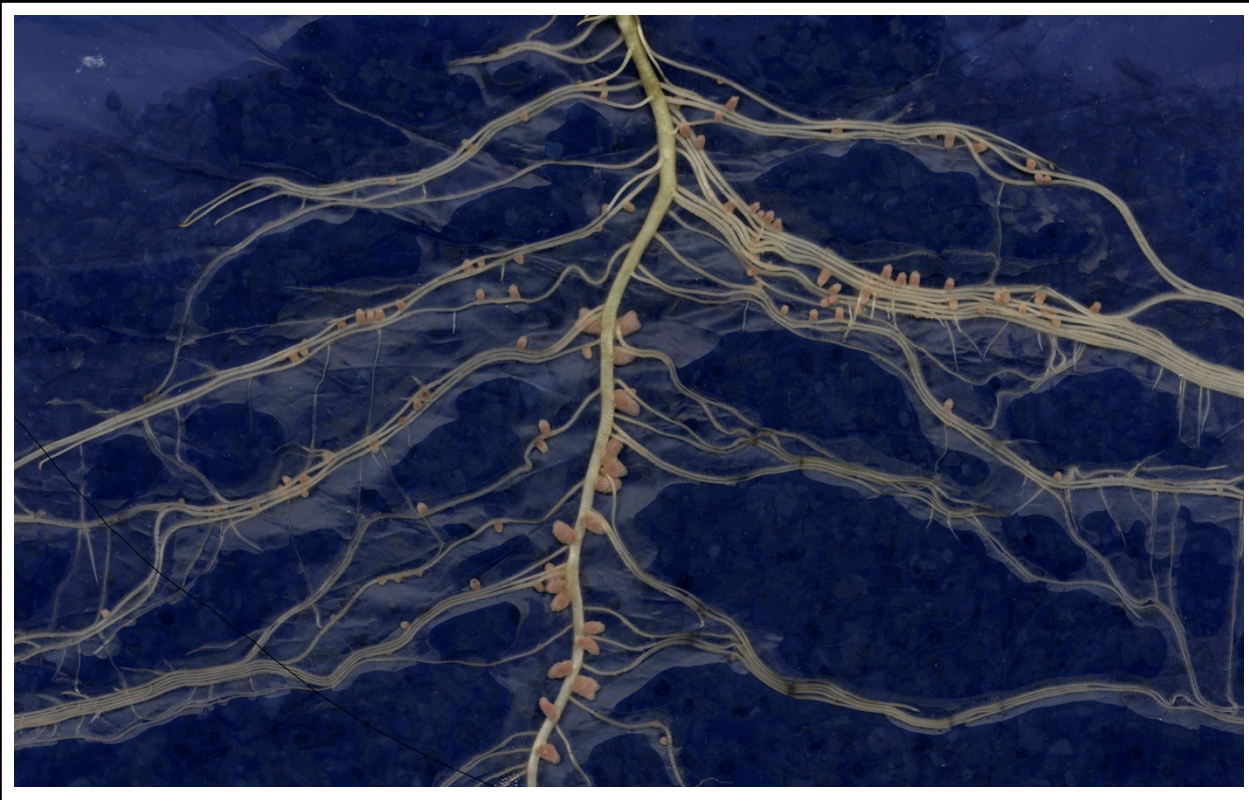
Jeune plante

Quelques jours plus tard.

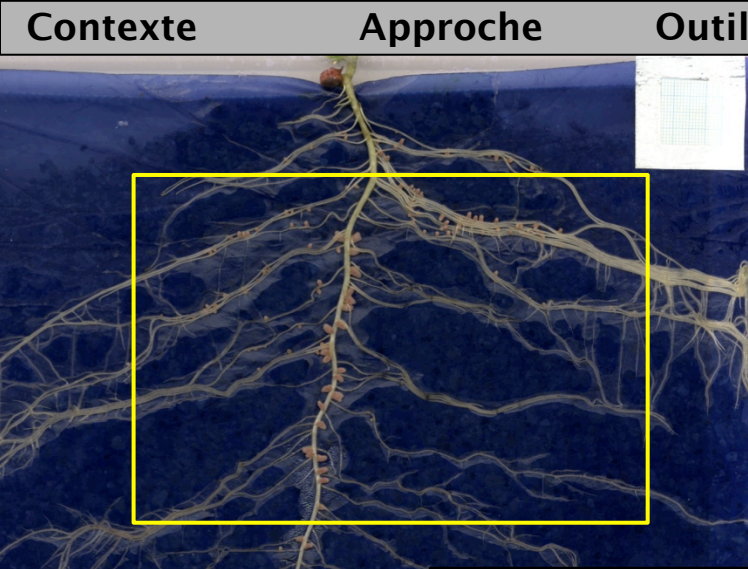



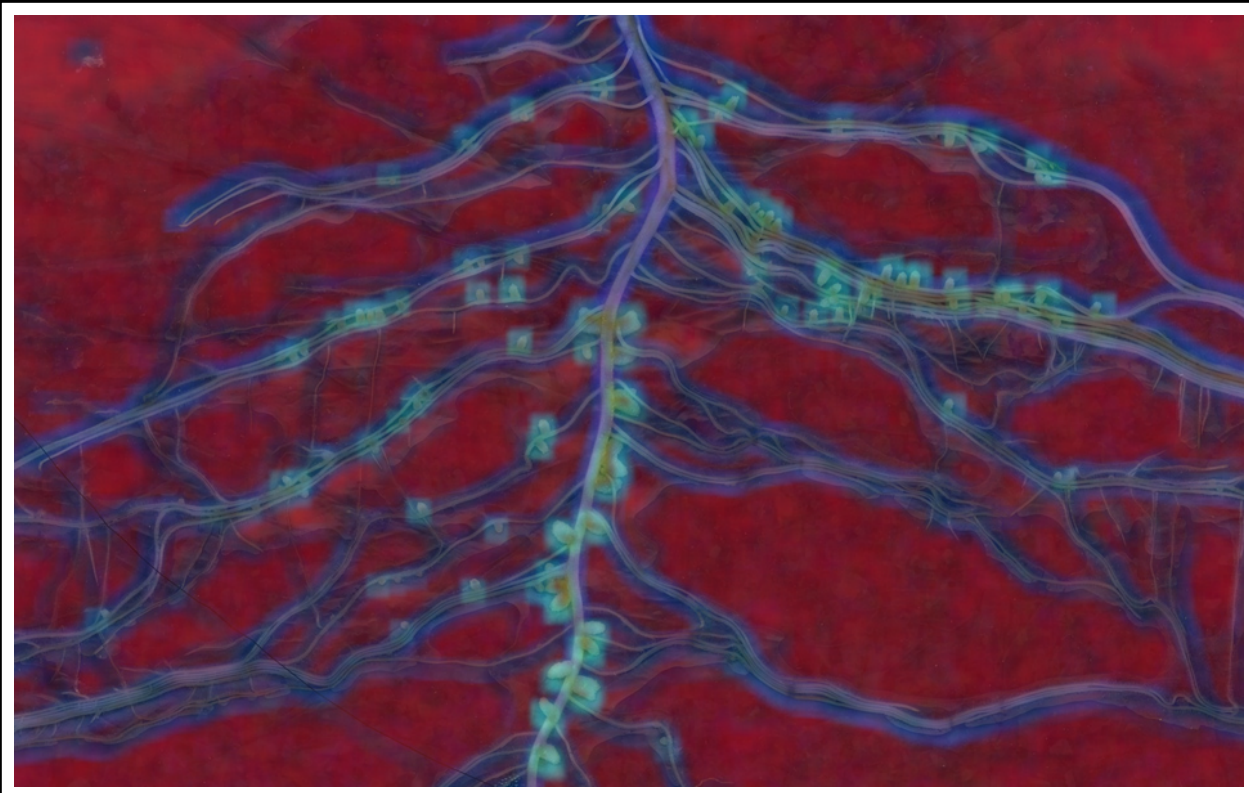
Contexte	Approche	Outils	Exemples	Modèles	Conclusion
			Vigne		<b>Objectifs</b> Diversité Génét. Ident. Strategies <b>Traitements Image</b> Et ensuite ?
			Légumineuses		

Focus sur image





Contexte	Approche	Outils	Exemples	Modèles	Conclusion
			Vigne		<b>Objectifs</b> Diversité Génét. Ident. Strategies <b>Traitements Image</b> Et ensuite ?
			Légumineuses		
			<b>Espace hybrides (couleur + texture)</b> Cointault et al, 2008)		





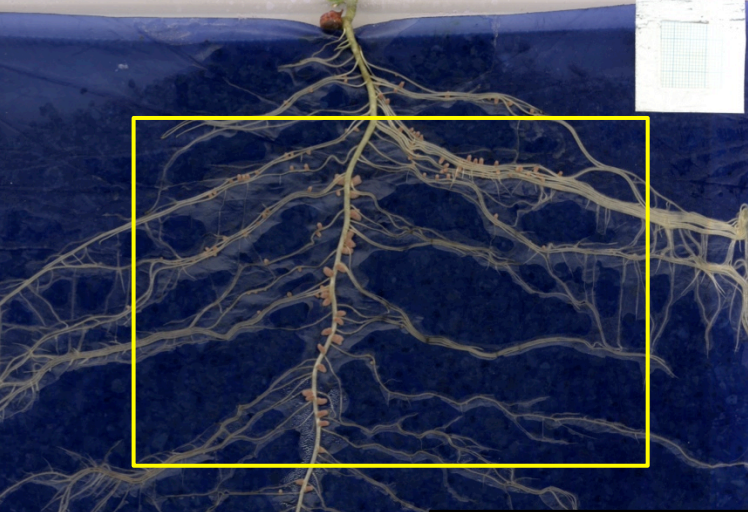

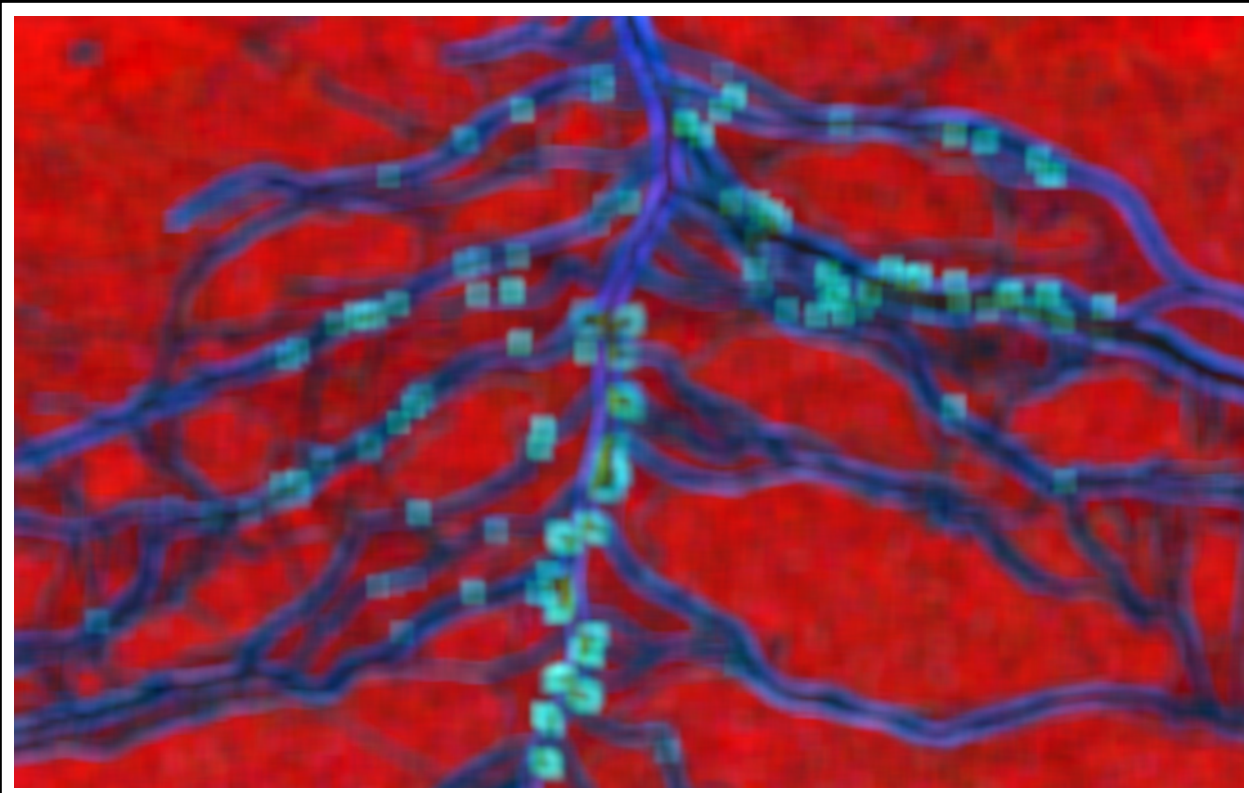
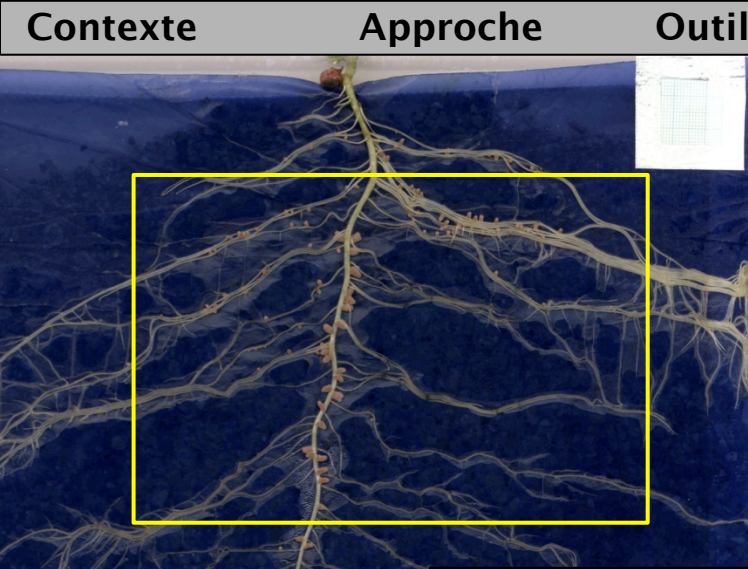

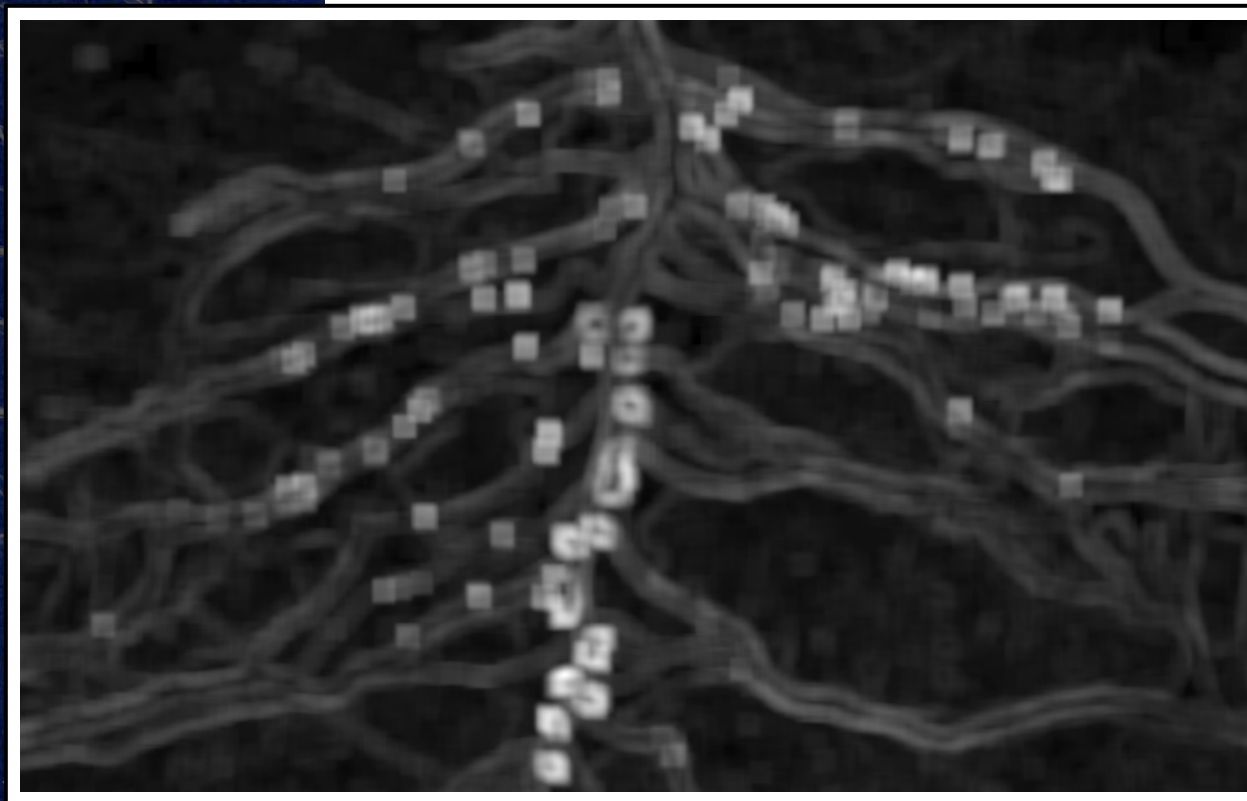
Contexte	Approche	Outils	Exemples	Modèles	Conclusion
			Vigne		<b>Objectifs</b> Diversité Génét. Ident. Strategies <b>Traitements Image</b> Et ensuite ?
			Légumineuses		

Image RVB de nodosités



Contexte	Approche	Outils	Exemples	Modèles	Conclusion
			Vigne		
			Légumineuses		<b>Objectifs</b> Diversité Génét. Ident. Strategies <b>Traitements Image</b> Et ensuite ?

**Bande d'image RVB**





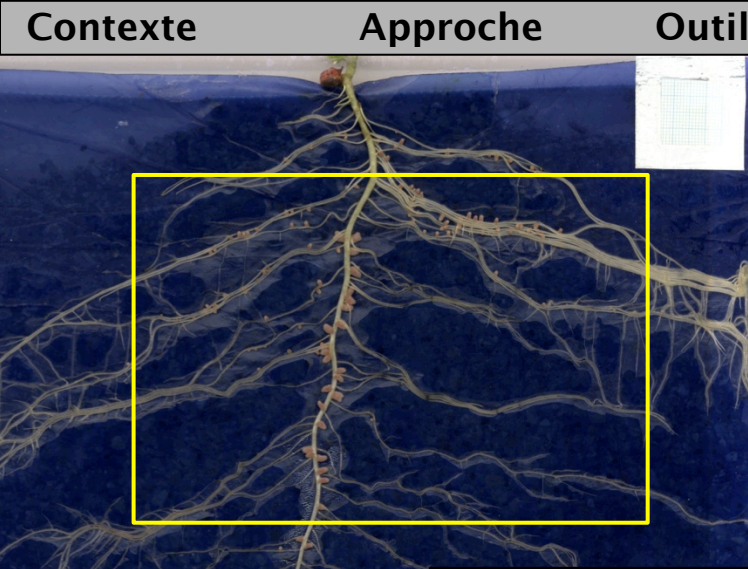

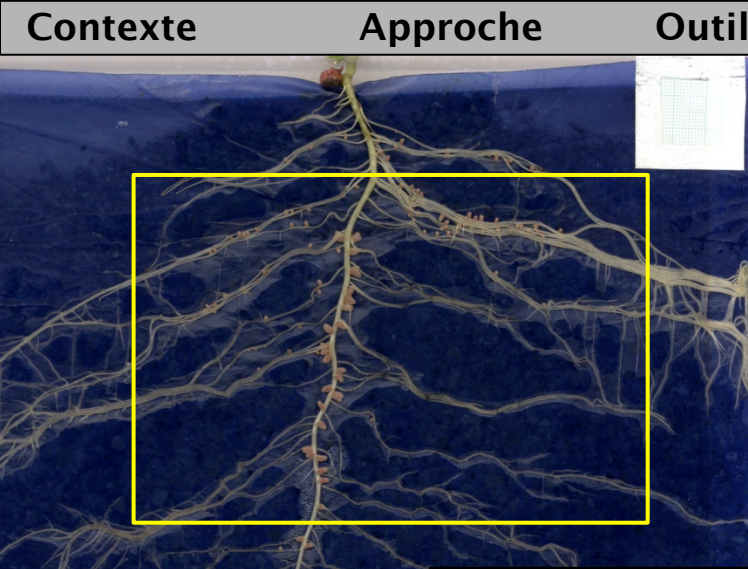

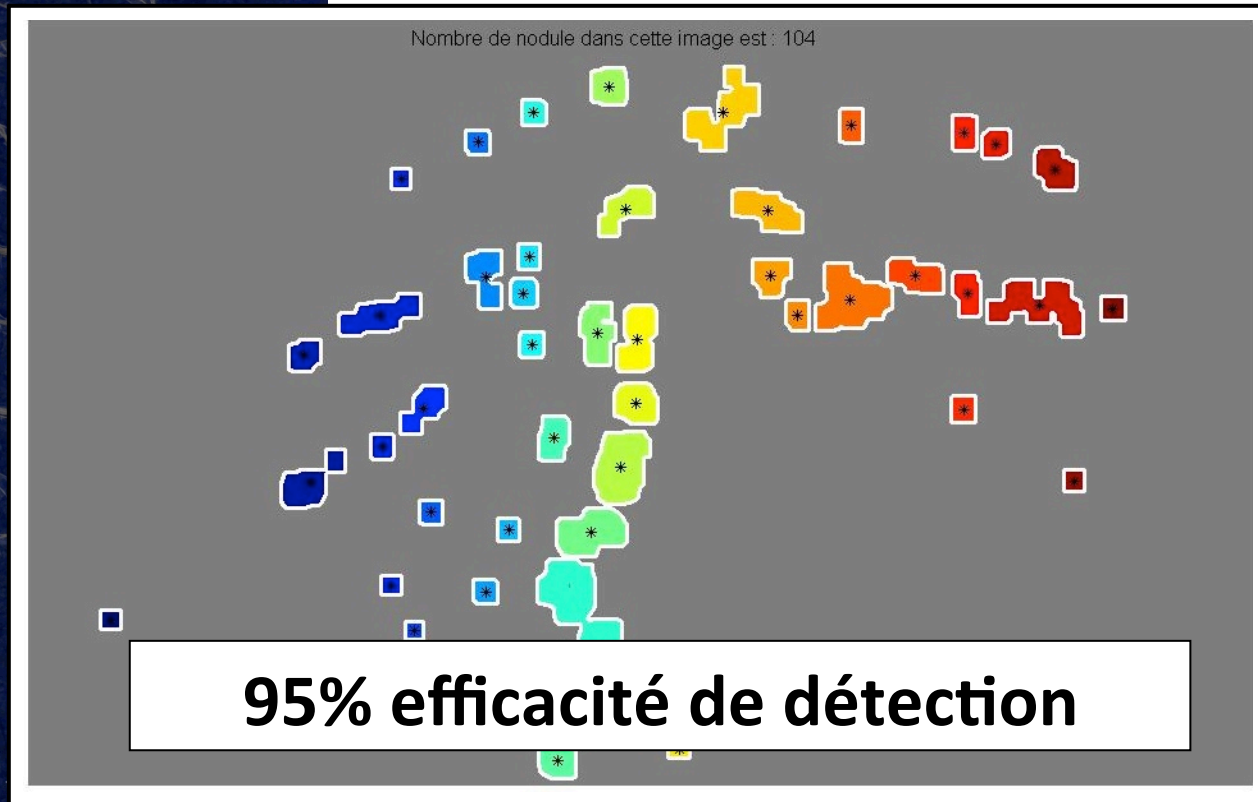
Contexte	Approche	Outils	Exemples	Modèles	Conclusion
			Vigne		<b>Objectifs</b> Diversité Génét. Ident. Strategies <b>Traitements Image</b> Et ensuite ?
			Légumineuses		

Image avec nodosités

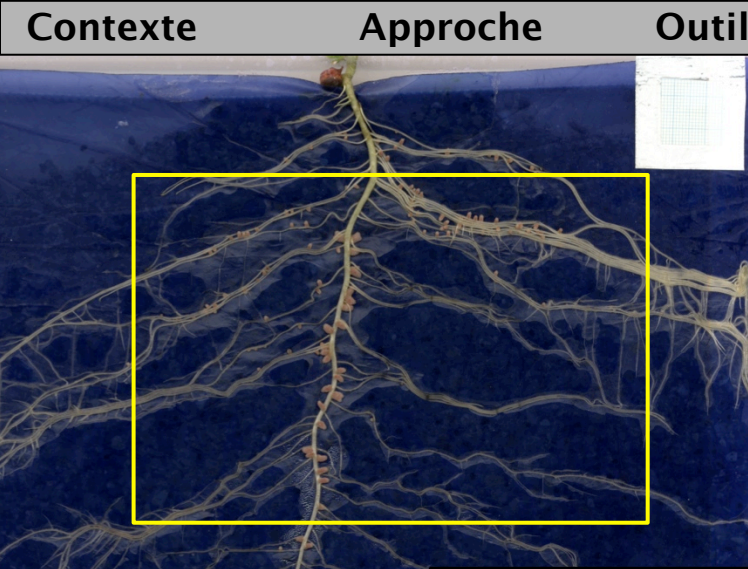



Contexte	Approche	Outils	Exemples	Modèles	Conclusion
			Vigne		<b>Objectifs</b> Diversité Génét. Ident. Strategies <b>Traitements Image</b> Et ensuite ?
			Légumineuses		

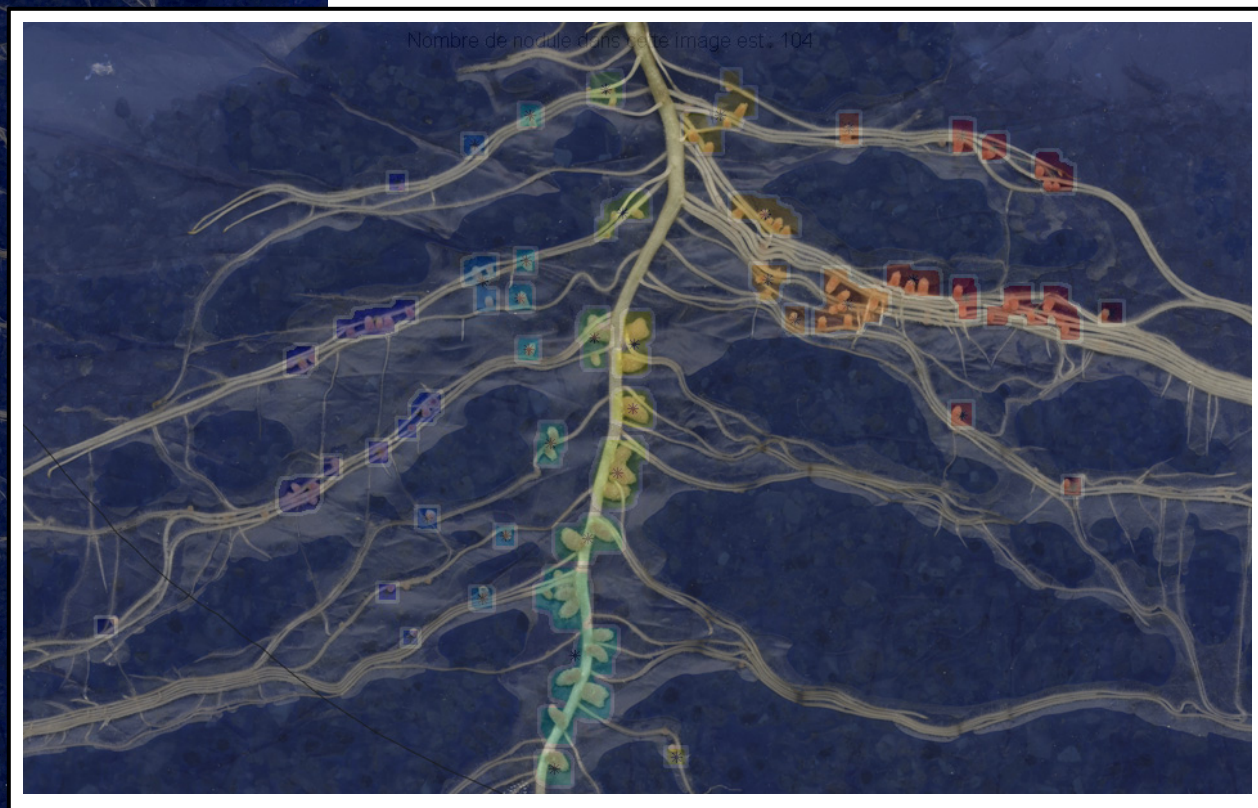
## Nodosités détectées automatiquement





Contexte	Approche	Outils	Exemples	Modèles	Conclusion
			Vigne		<b>Objectifs</b> Diversité Génét. Ident. Strategies <b>Traitements Image</b> Et ensuite ?
			Légumineuses		

**Image originale + nodosités superposées**

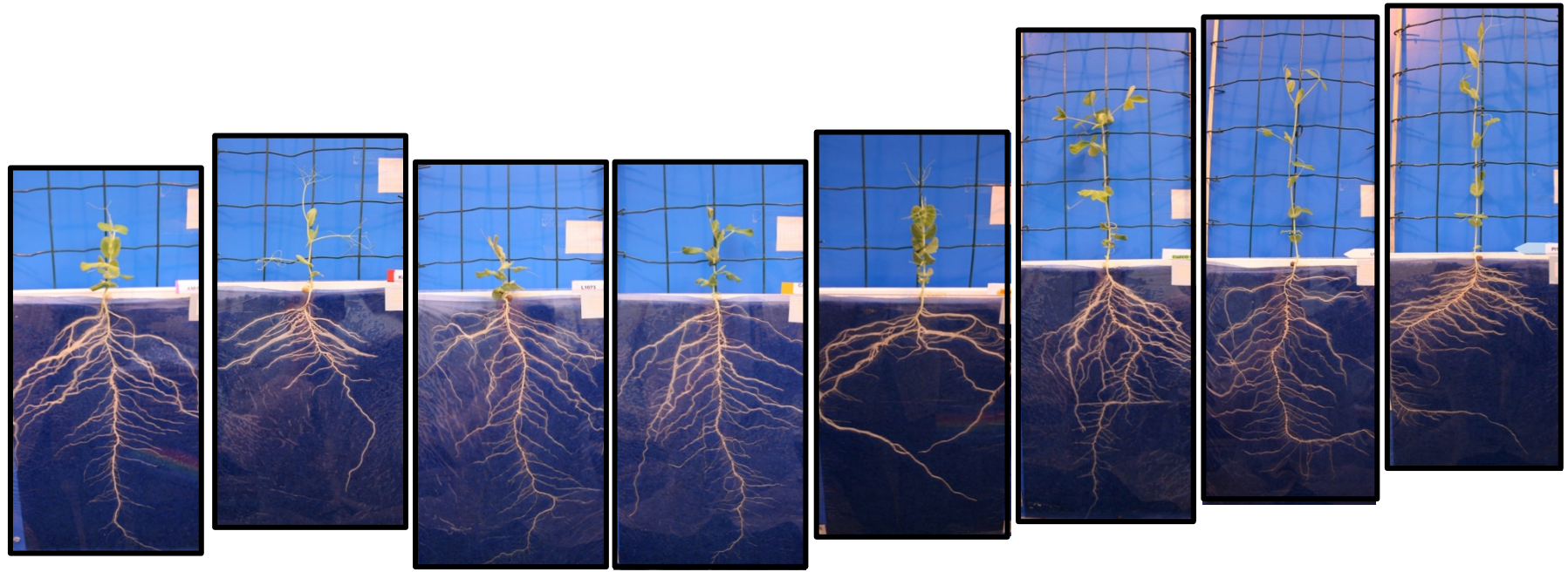




Vigne
Légumineuses

Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
Traitements Image
Et ensuite ?

*Explorer la variabilité génétique intraspécifique :  
Pea core collection*



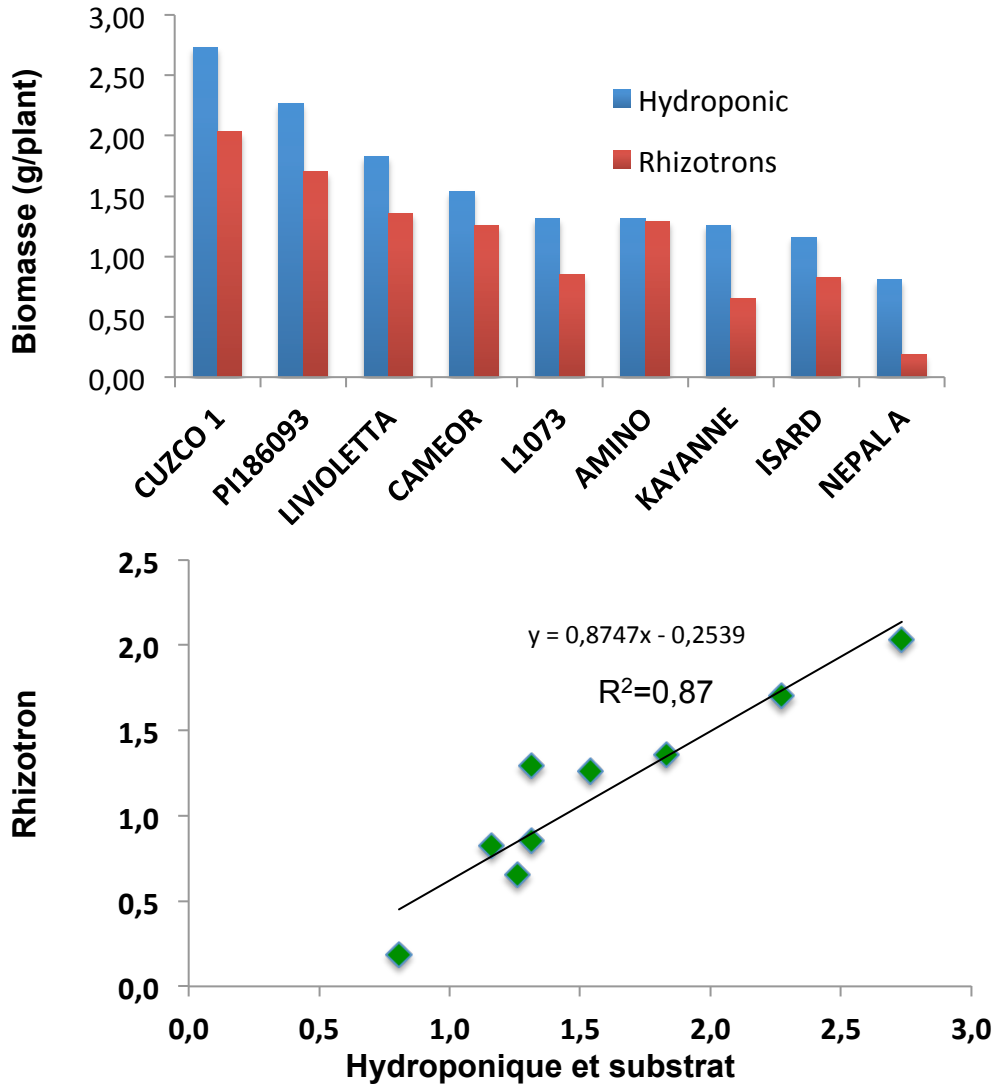
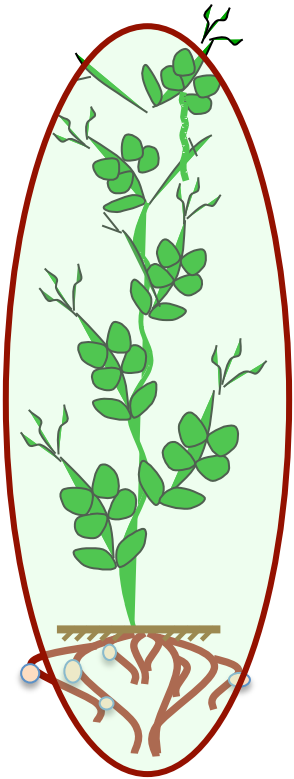
AMINO      KAYANNE      L1073      CAMEOR      ISARD      CUZCO      LIVIOLETTA      PI186093

Vigne
Légumineuses

Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
Traitements Image
Et ensuite ?

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

**Biomasse plante**



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

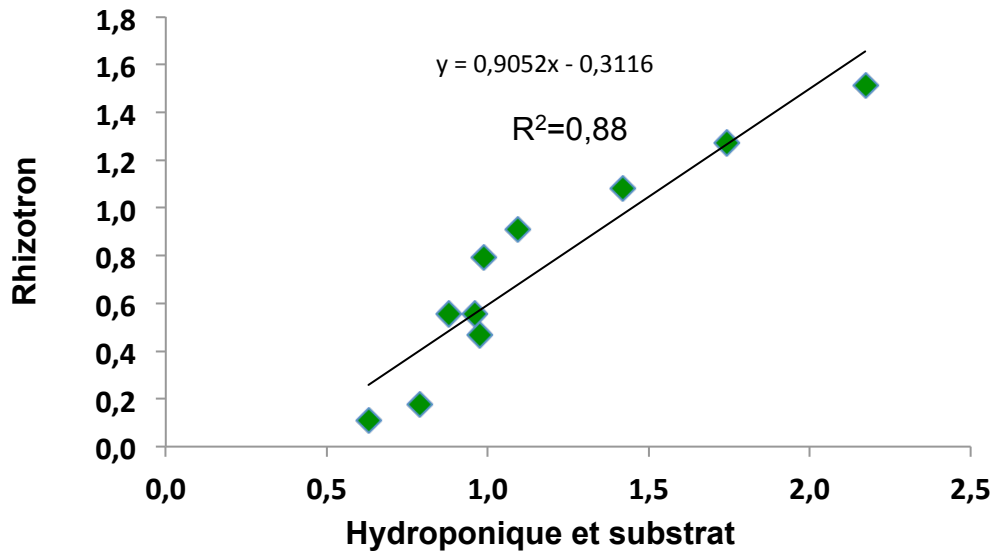
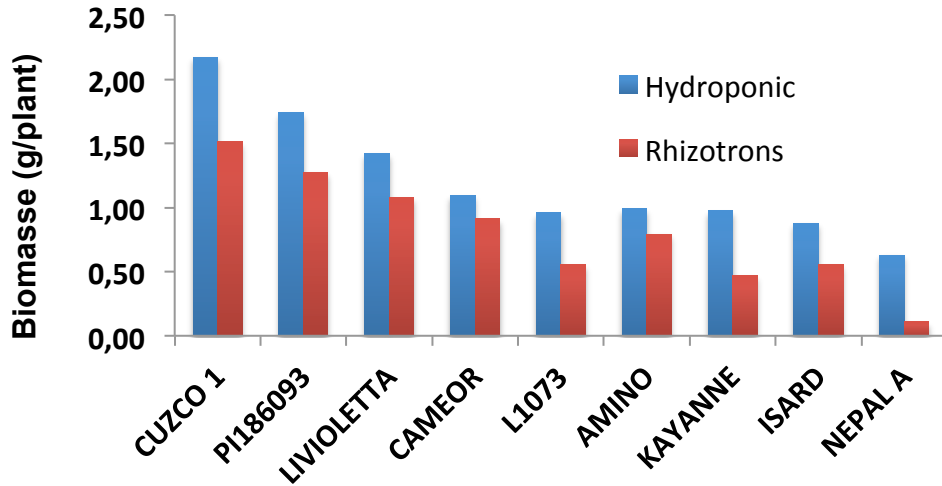
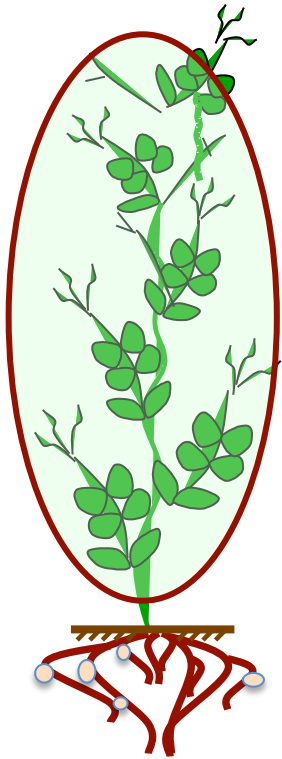
**Le classement des géotypes ne varie pas**

Vigne
Légumineuses

Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
Traitements Image
Et ensuite ?

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

**Biomasse aérienne**



**Le classement des génotypes ne varie pas**



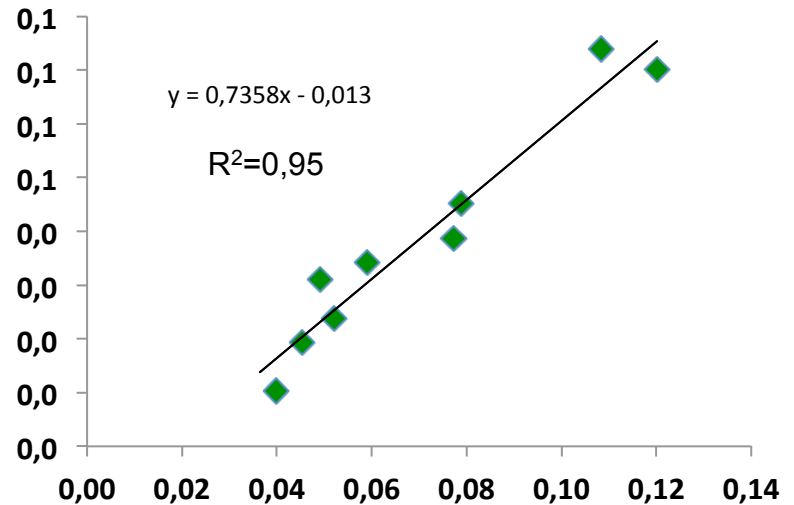
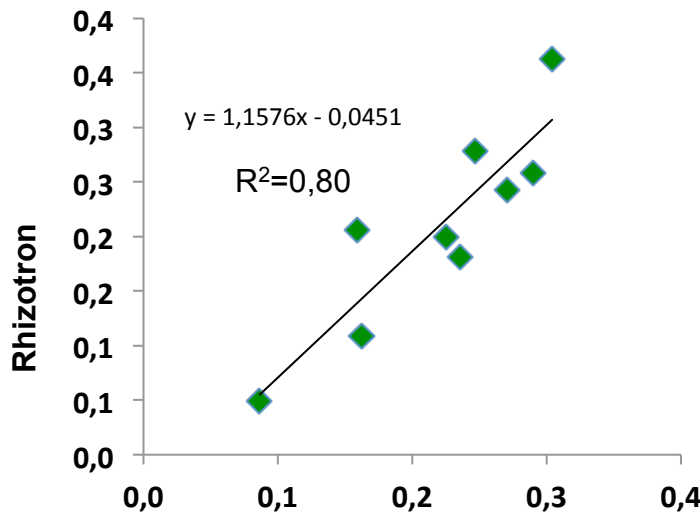
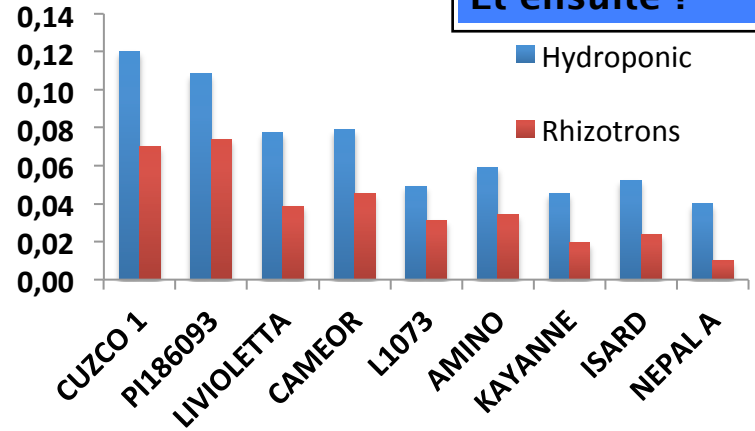
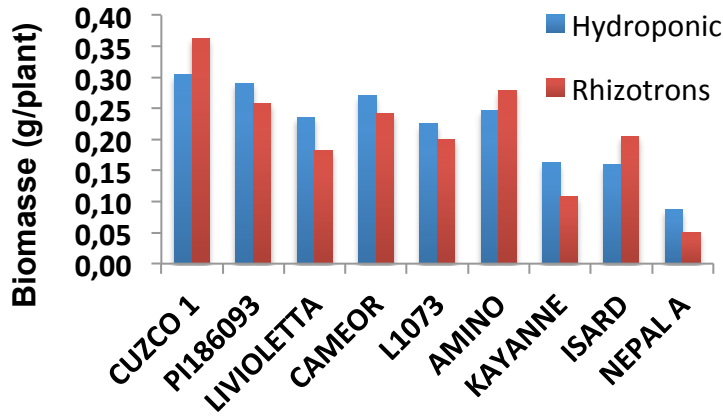
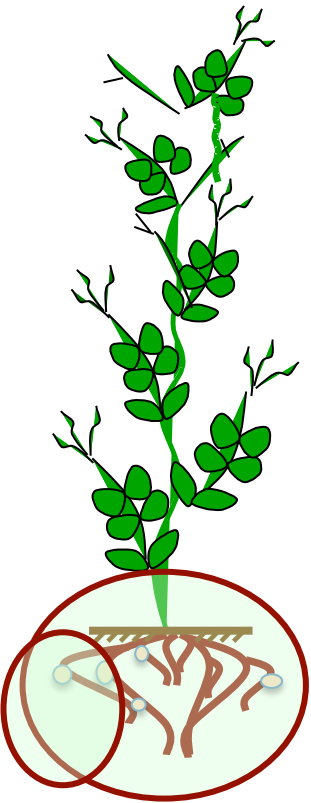
Vigne  
Légumineuses

Objectifs  
Diversité Génét.  
Ident. Strategies  
Traitements Image  
Et ensuite ?

## Classement de génotypes: Pea core collection

### Biomasse racinaires

### Biomasse nodosités

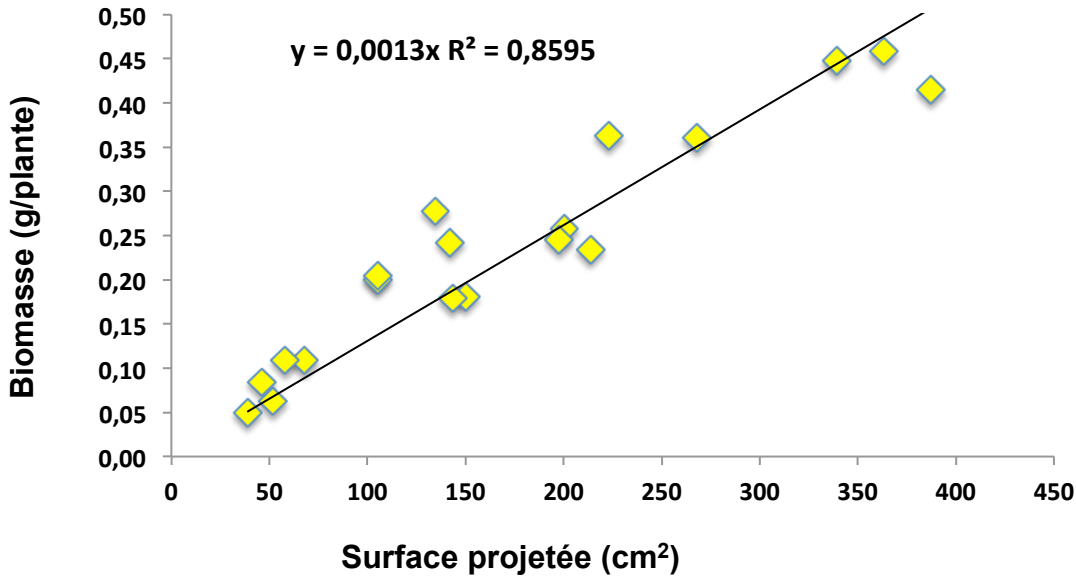
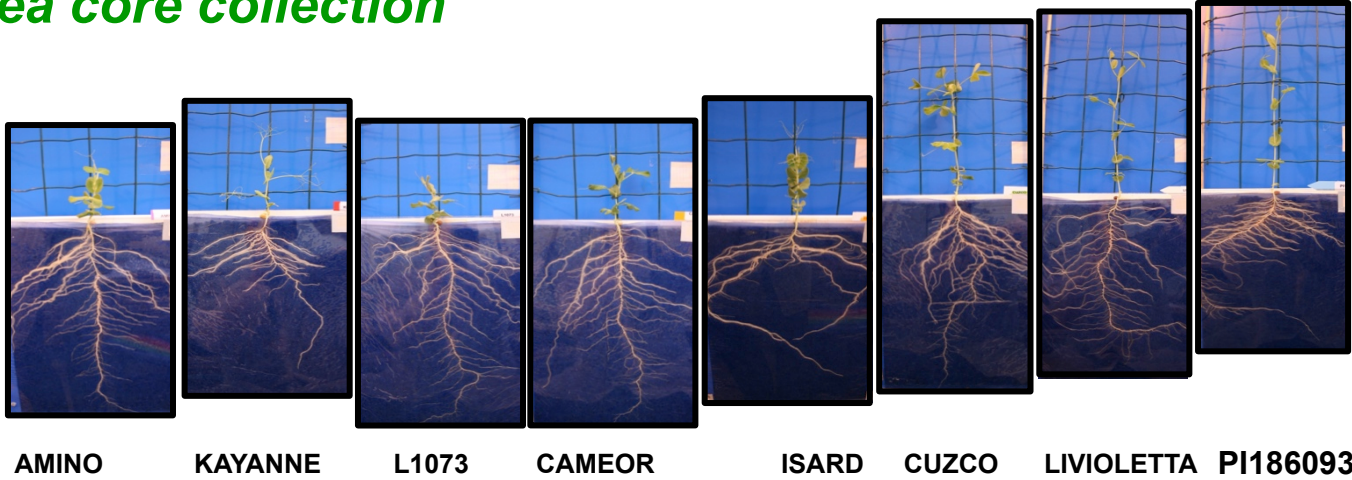


Hydroponique et substrat

Vigne
Légumineuses

Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
Traitements Image
Et ensuite ?

**Explorer la variabilité génétique intraspécifique :  
Pea core collection**

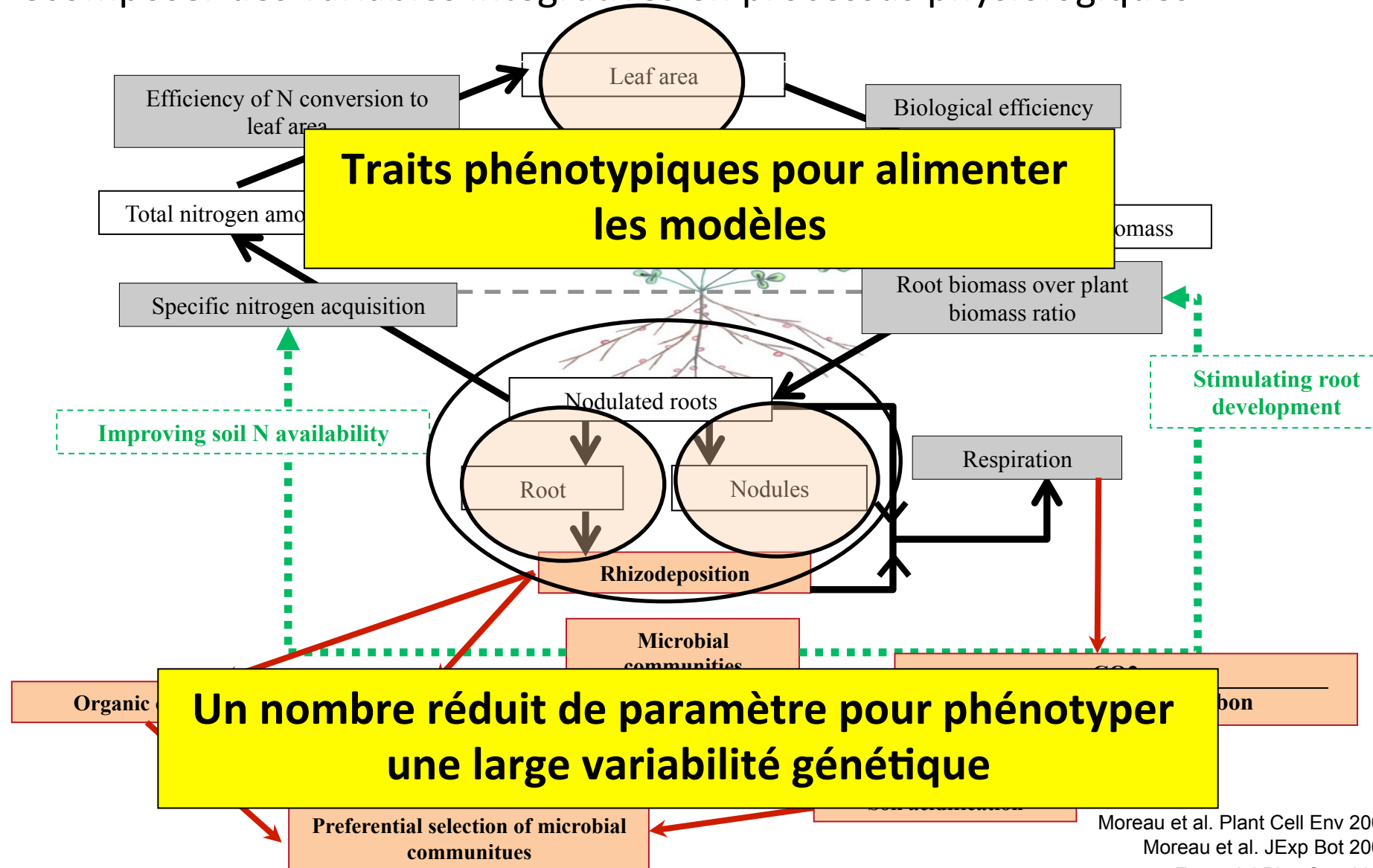


**Estimer la biomasse de manière non destructive**



# Modèle Intégratif: *Medicago*

Décomposer des variables intégratives en processus physiologiques

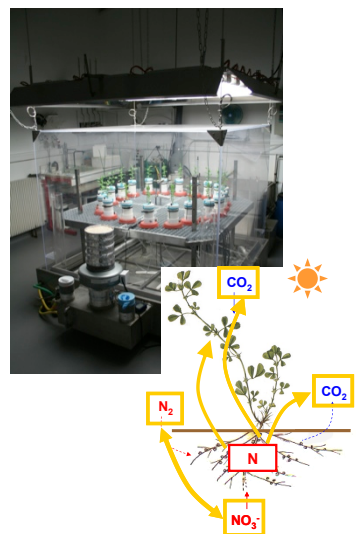
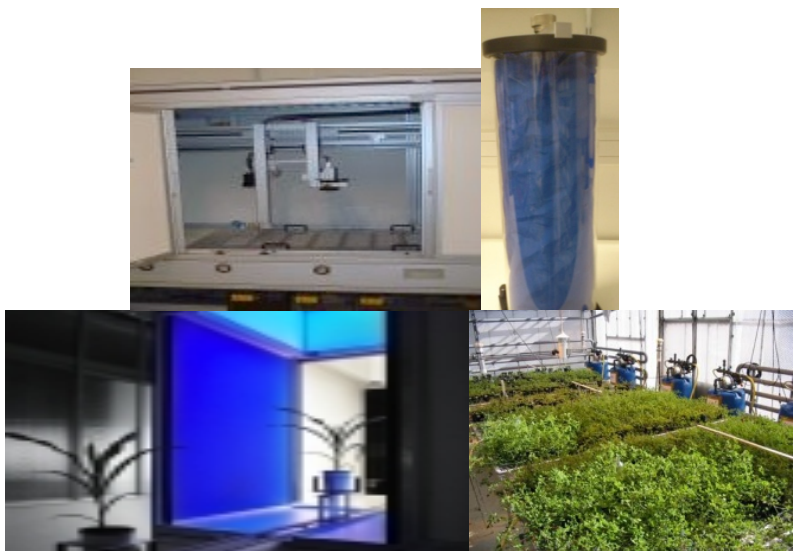


# Food for thoughts... Combiner les approches

## Phénotypage



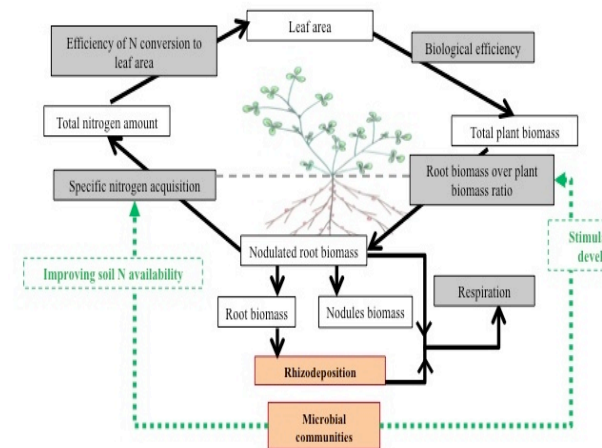
## Approche analytique



Identifier des différences  
entre géotypes



## Modélisation



Interpréter les  
différences détectées



# Perspectives

- **« Complexifier » les rhizotrons**
- **Discriminer organes : gamme de longueurs d'onde.**
- **Phénotypage fonctionnel (NAAS)**
- **Contrôler les conditions environnementales**
- **Valider au champ : Plateforme Phénotypage Dijon**

EFOR

PPHD



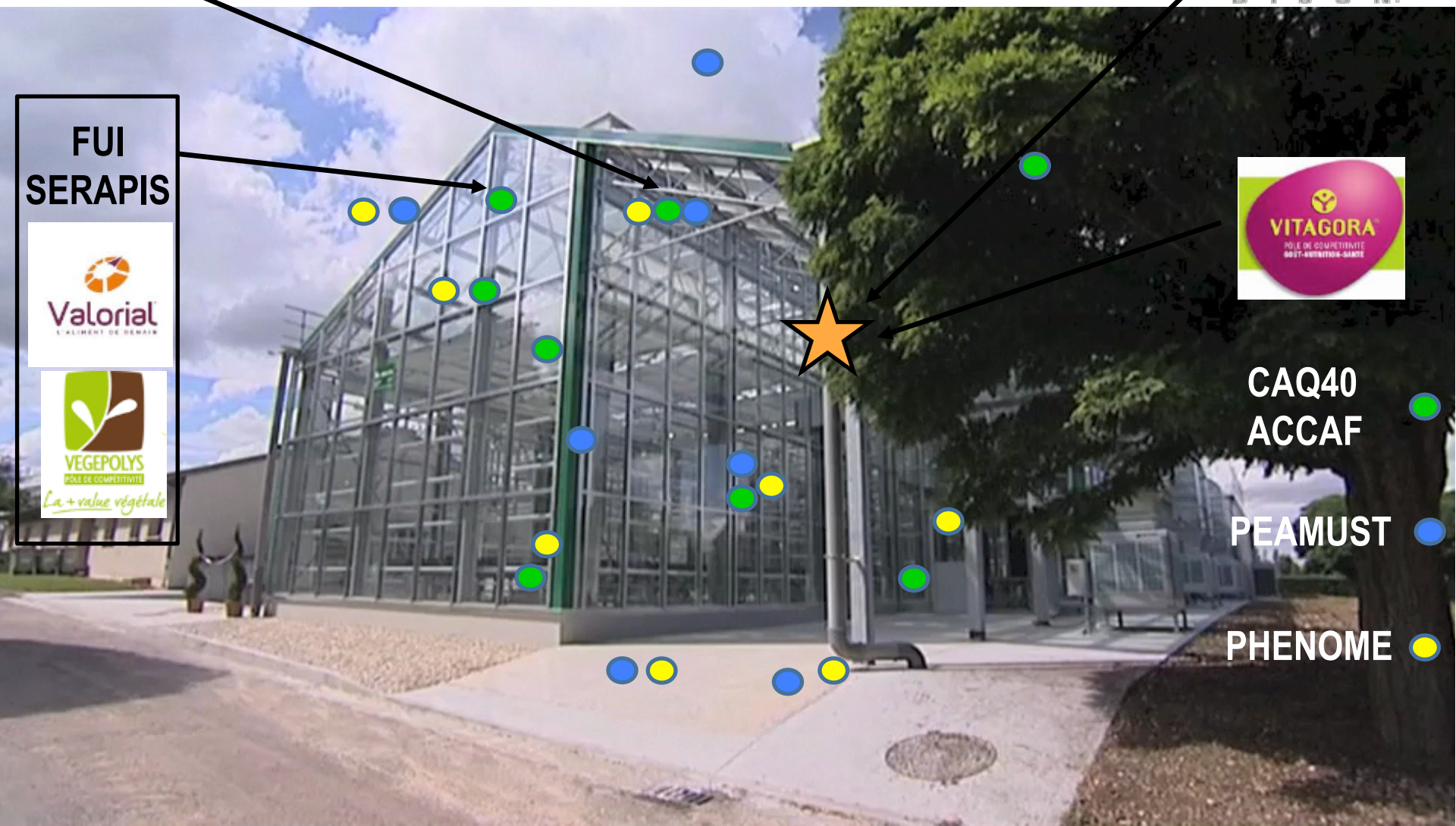
**FUI  
SERAPIS**



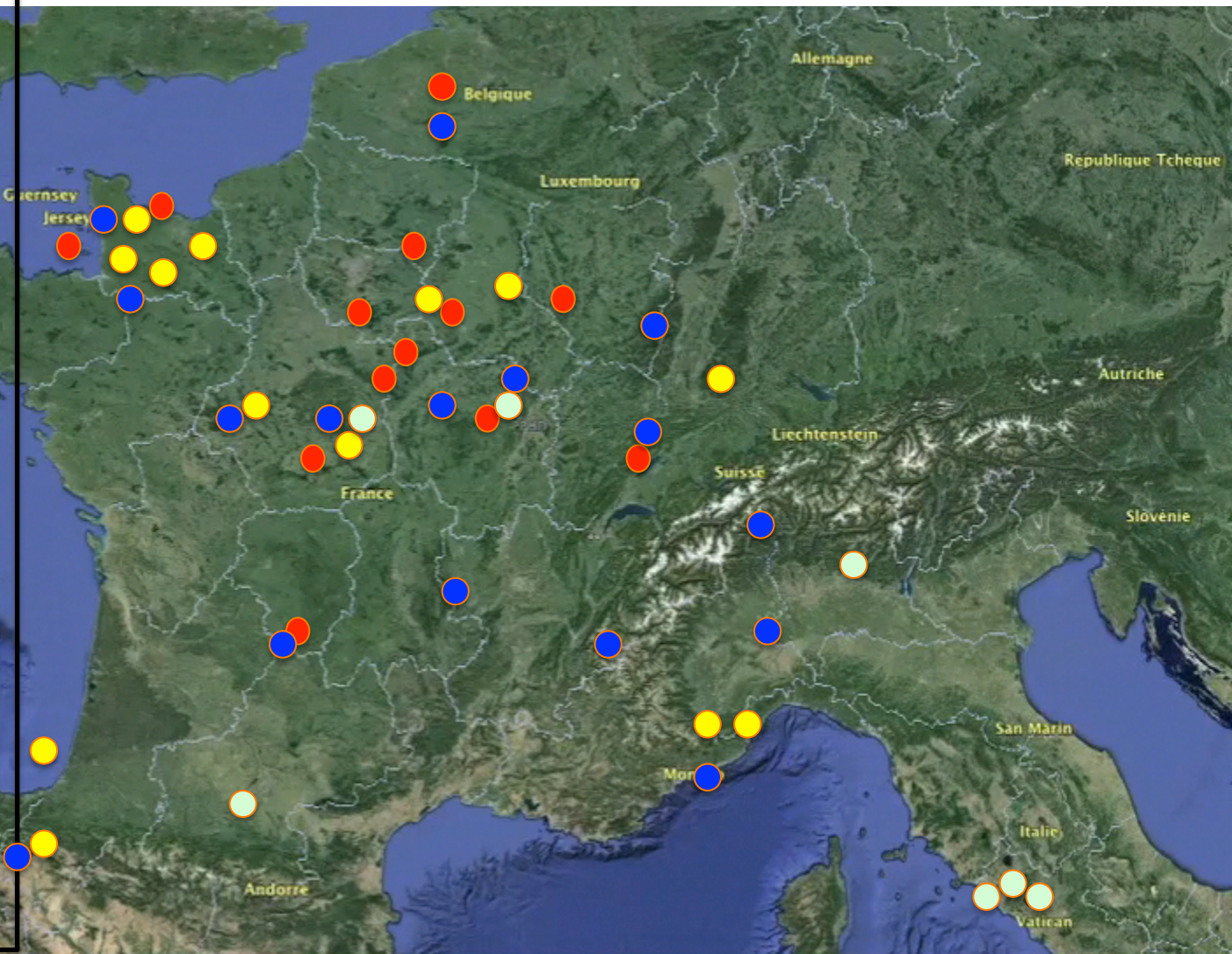
CAQ40  
ACCAF

PEAMUST

PHENOME









# *Distribution...*

**Christian JEUDY**



**Céline BERNARD**



**Frédéric COINTAULT**



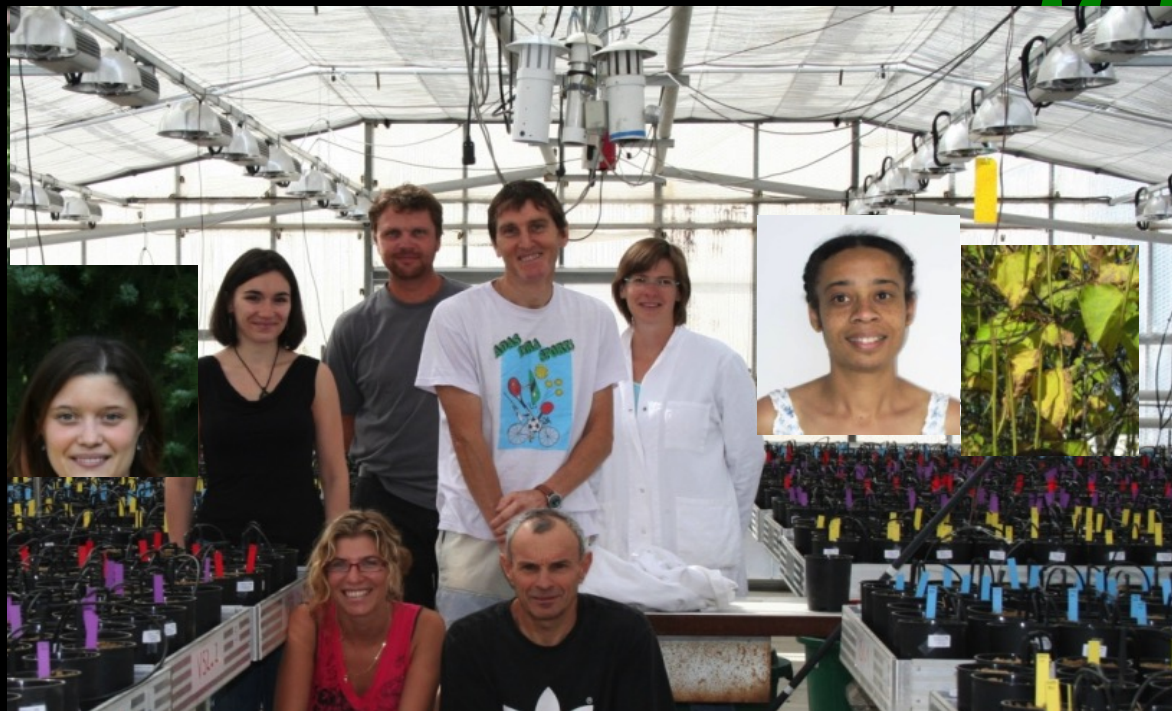
**Simeng HAN**



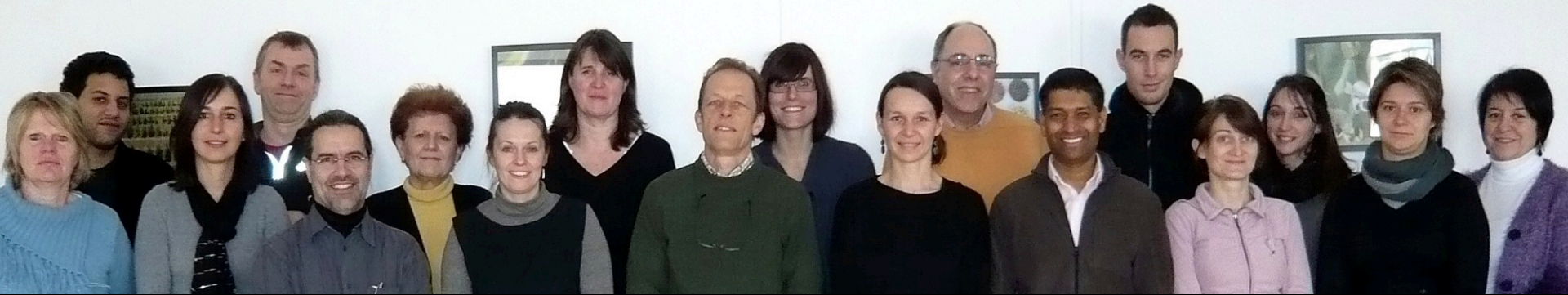
**Marielle ADRIAN**



*It's aussi...*



**Ecophysiology team**

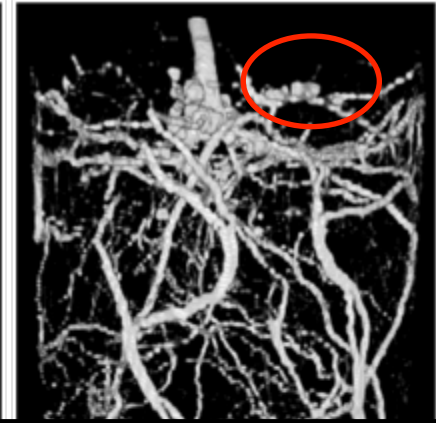
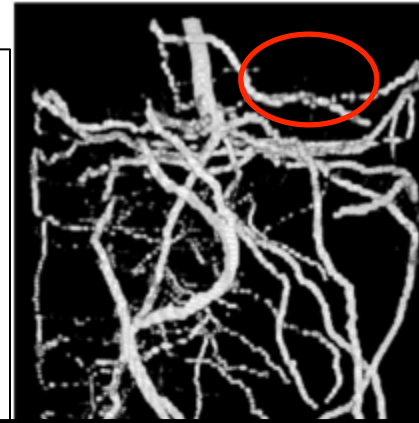


**Medicago truncatula team**



## Magnetic Resonance Imaging

- Non-invasive
- Soil-potted plants
- High contrast between



**Outcome:** Best combination of plant/rhizo (functional/structural traits) for drought

- development in 3D
- Measuring water and solid content development in pods
- Combines well with Positron Emission

Tomography (PET) for

