



**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. Journée Scientifique de la Plate-Forme BIBS, Plateforme Génomique Santé Biogenouest®. FRA., Jan 2014, Nantes, France. hal-02795598

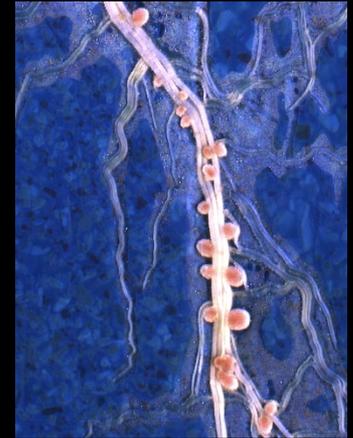
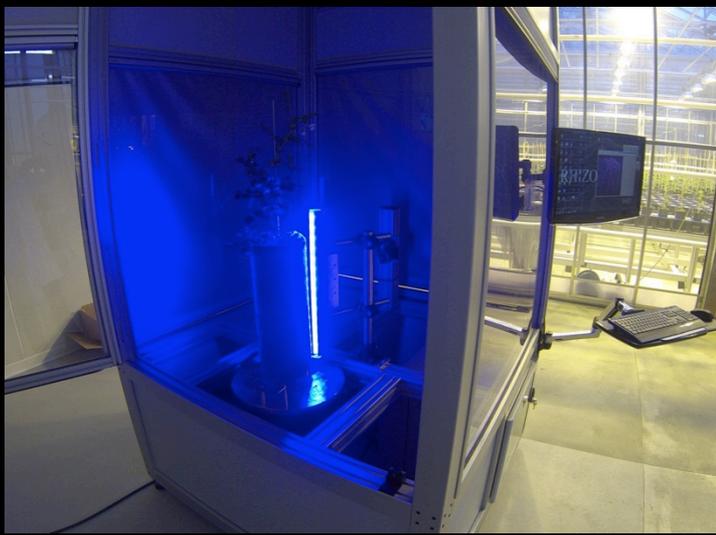
**HAL Id: hal-02795598**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02795598v1>**

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.



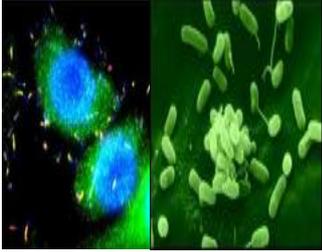
# Phénotypage haut débit des interactions entre plantes et micro-organismes : exemple des légumineuses

**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

EcoIDur	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

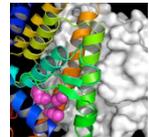


# Variabilité génétique



# Conception d'Idéotypes de plantes

# Mécanismes et bases moléculaires



Fluxomique
PPHD
Rhizotrons
Rhizobox

### Dispositifs de culture

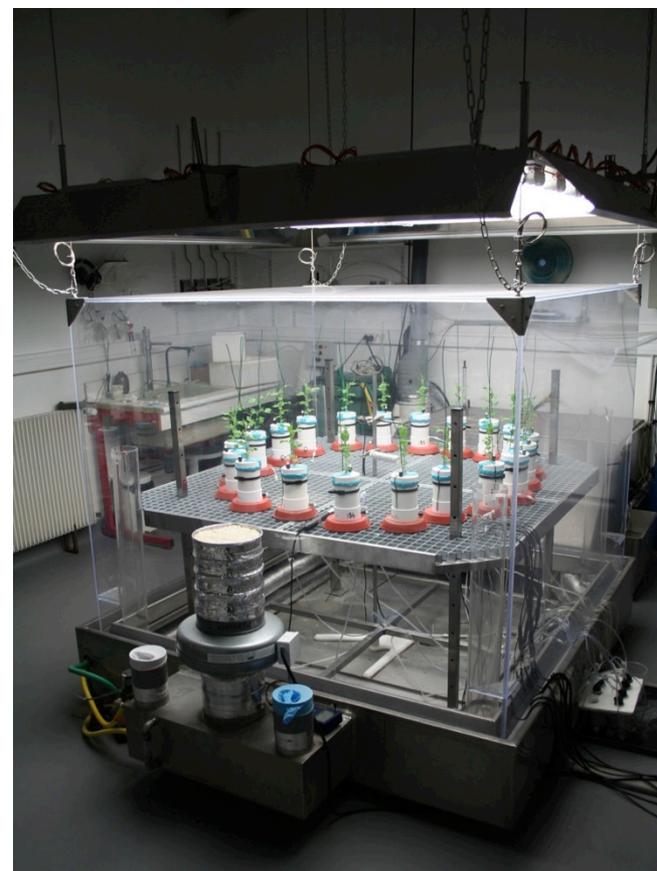


Poches, hydroponique



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		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**



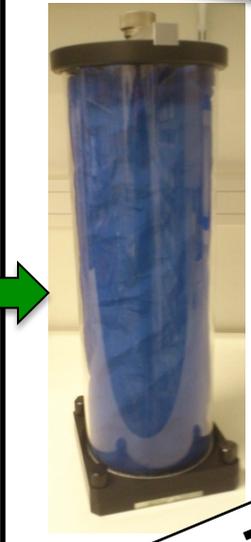
6 unités/h



2 unités/h




Racines



120 unités/h




100 unités/h



**Capacité ≈ 1800 plantes**

**Très large capacité**

Cabines de phototypage avec caméras et robots

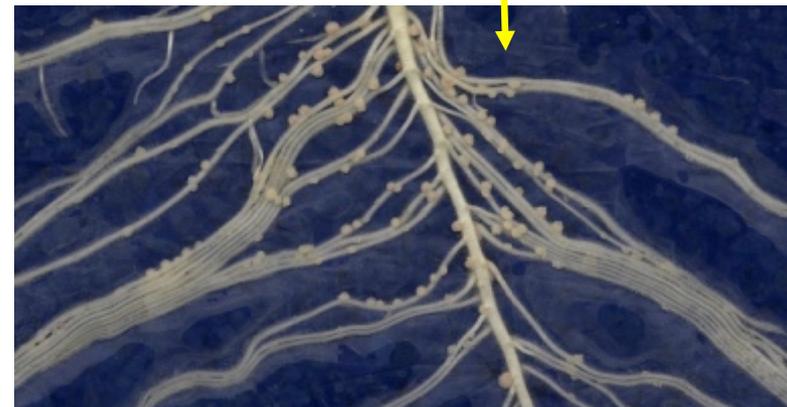
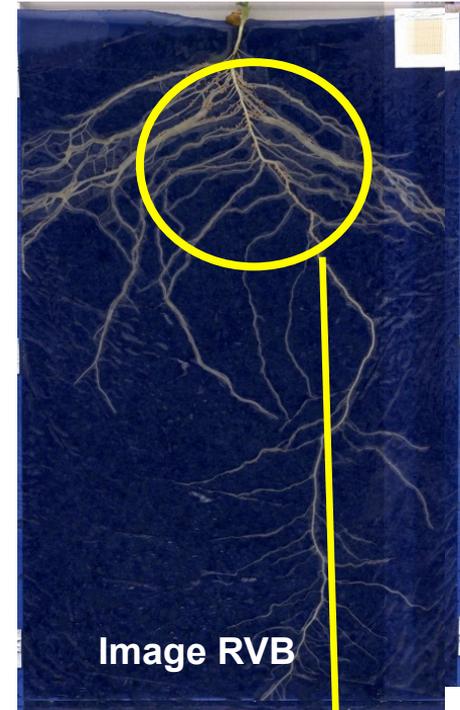
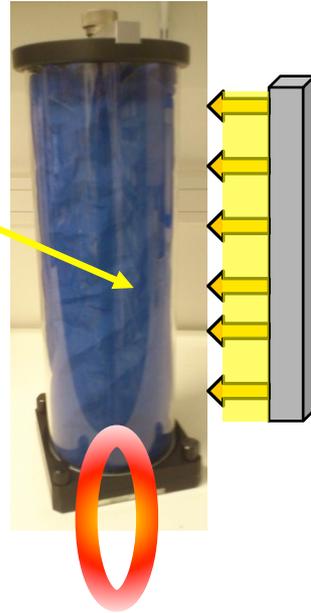
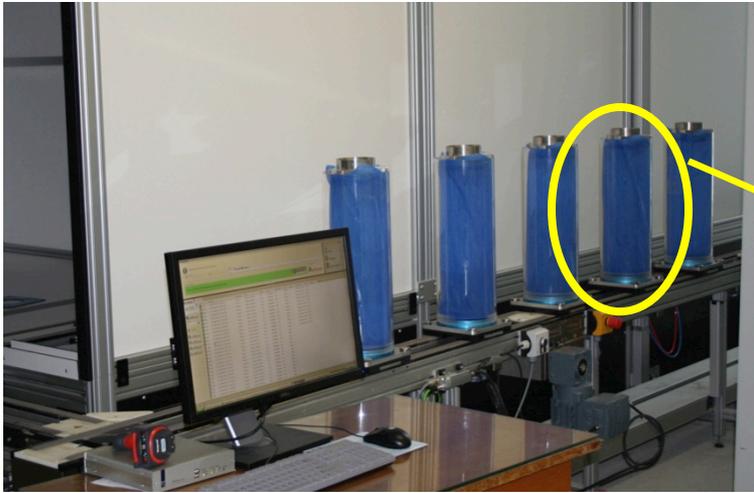
Contexte	Approche	Outils	Exemples	Modèles	Conclusion
		Fluxomique			
		PPHD	Equipements		
		Rhizotrons	Shoot roots etc...		
		Rhizobox	Comme au cinéma..		



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

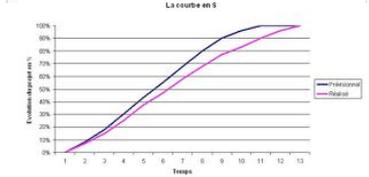
- Fluxomique
- PPHD
- Rhizotrons
- Rhizobox

Brushless motor



Haute résolution

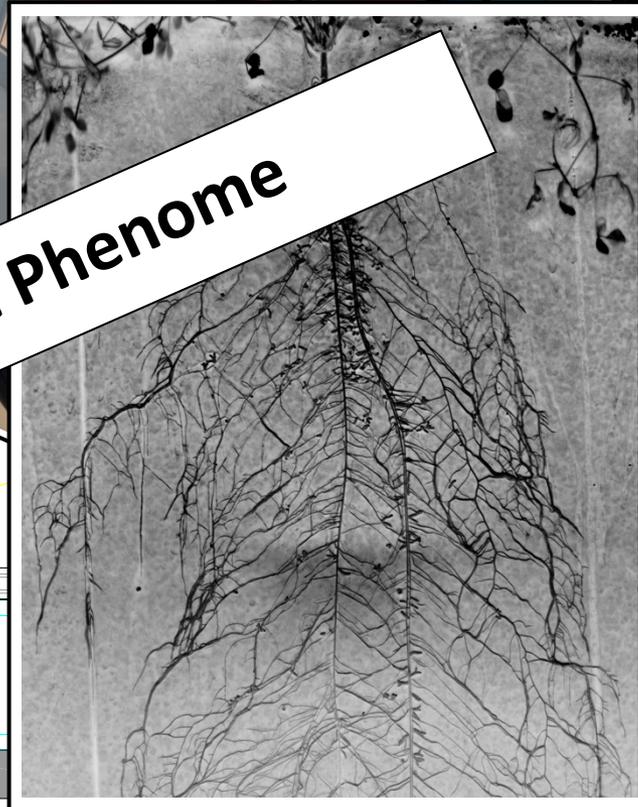
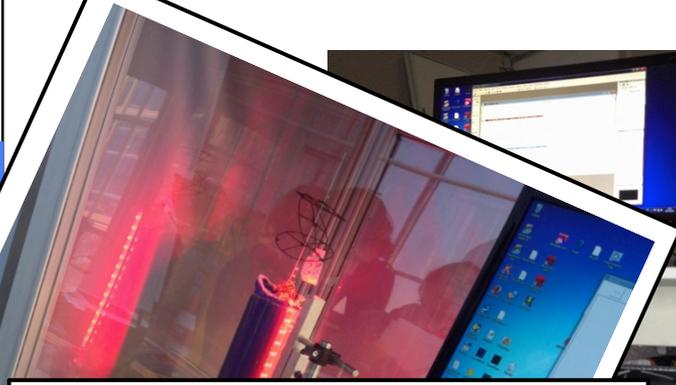
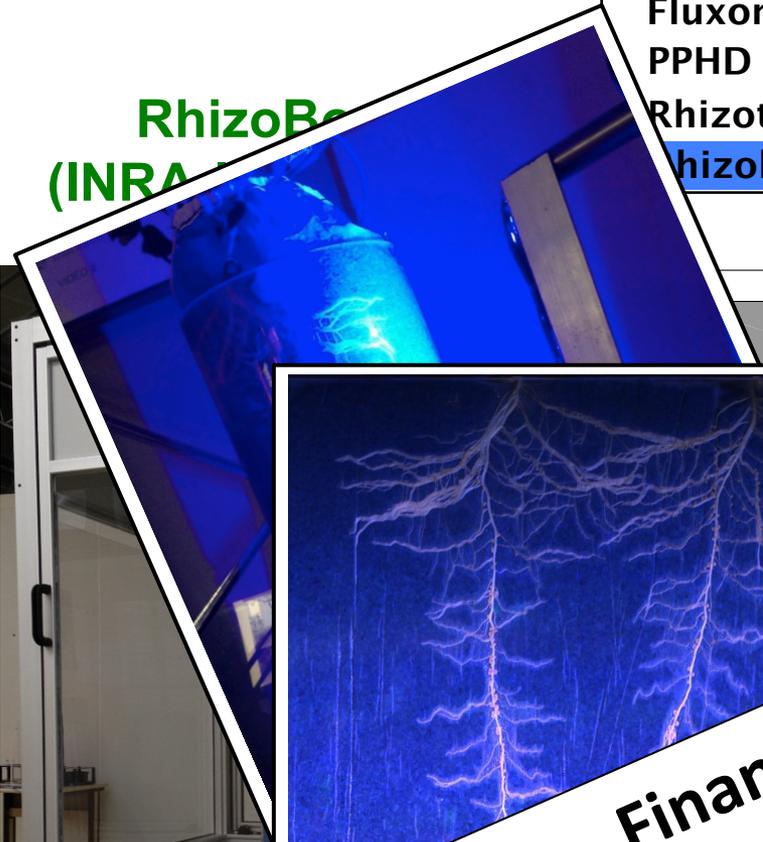
PK	Chaine	Mod	IP	Ref	Evolution	T (°C)	IP	Stat	Moyen 1	Moyen 2	Moyen 3	Moyen 4
001	AP01	500	500	500	0	1200	0.0	0	1200	0.0	0	1200
002	AP02	500	500	500	1	1200	0.0	1	1200	0.0	1	1200
003	AP03	500	500	500	2	1200	0.0	2	1200	0.0	2	1200
004	AP04	500	500	500	3	1200	0.0	3	1200	0.0	3	1200
005	AP05	500	500	500	4	1200	0.0	4	1200	0.0	4	1200
006	AP06	500	500	500	5	1200	0.0	5	1200	0.0	5	1200
007	AP07	500	500	500	6	1200	0.0	6	1200	0.0	6	1200
008	AP08	500	500	500	7	1200	0.0	7	1200	0.0	7	1200
009	AP09	500	500	500	8	1200	0.0	8	1200	0.0	8	1200
010	AP10	500	500	500	9	1200	0.0	9	1200	0.0	9	1200
011	AP11	500	500	500	10	1200	0.0	10	1200	0.0	10	1200
012	AP12	500	500	500	11	1200	0.0	11	1200	0.0	11	1200
013	AP13	500	500	500	12	1200	0.0	12	1200	0.0	12	1200
014	AP14	500	500	500	13	1200	0.0	13	1200	0.0	13	1200
015	AP15	500	500	500	14	1200	0.0	14	1200	0.0	14	1200
016	AP16	500	500	500	15	1200	0.0	15	1200	0.0	15	1200
017	AP17	500	500	500	16	1200	0.0	16	1200	0.0	16	1200
018	AP18	500	500	500	17	1200	0.0	17	1200	0.0	17	1200
019	AP19	500	500	500	18	1200	0.0	18	1200	0.0	18	1200
020	AP20	500	500	500	19	1200	0.0	19	1200	0.0	19	1200
021	AP21	500	500	500	20	1200	0.0	20	1200	0.0	20	1200
022	AP22	500	500	500	21	1200	0.0	21	1200	0.0	21	1200
023	AP23	500	500	500	22	1200	0.0	22	1200	0.0	22	1200
024	AP24	500	500	500	23	1200	0.0	23	1200	0.0	23	1200
025	AP25	500	500	500	24	1200	0.0	24	1200	0.0	24	1200
026	AP26	500	500	500	25	1200	0.0	25	1200	0.0	25	1200
027	AP27	500	500	500	26	1200	0.0	26	1200	0.0	26	1200
028	AP28	500	500	500	27	1200	0.0	27	1200	0.0	27	1200
029	AP29	500	500	500	28	1200	0.0	28	1200	0.0	28	1200
030	AP30	500	500	500	29	1200	0.0	29	1200	0.0	29	1200
031	AP31	500	500	500	30	1200	0.0	30	1200	0.0	30	1200
032	AP32	500	500	500	31	1200	0.0	31	1200	0.0	31	1200
033	AP33	500	500	500	32	1200	0.0	32	1200	0.0	32	1200
034	AP34	500	500	500	33	1200	0.0	33	1200	0.0	33	1200
035	AP35	500	500	500	34	1200	0.0	34	1200	0.0	34	1200
036	AP36	500	500	500	35	1200	0.0	35	1200	0.0	35	1200
037	AP37	500	500	500	36	1200	0.0	36	1200	0.0	36	1200
038	AP38	500	500	500	37	1200	0.0	37	1200	0.0	37	1200
039	AP39	500	500	500	38	1200	0.0	38	1200	0.0	38	1200
040	AP40	500	500	500	39	1200	0.0	39	1200	0.0	39	1200
041	AP41	500	500	500	40	1200	0.0	40	1200	0.0	40	1200
042	AP42	500	500	500	41	1200	0.0	41	1200	0.0	41	1200
043	AP43	500	500	500	42	1200	0.0	42	1200	0.0	42	1200
044	AP44	500	500	500	43	1200	0.0	43	1200	0.0	43	1200
045	AP45	500	500	500	44	1200	0.0	44	1200	0.0	44	1200
046	AP46	500	500	500	45	1200	0.0	45	1200	0.0	45	1200
047	AP47	500	500	500	46	1200	0.0	46	1200	0.0	46	1200
048	AP48	500	500	500	47	1200	0.0	47	1200	0.0	47	1200
049	AP49	500	500	500	48	1200	0.0	48	1200	0.0	48	1200
050	AP50	500	500	500	49	1200	0.0	49	1200	0.0	49	1200
051	AP51	500	500	500	50	1200	0.0	50	1200	0.0	50	1200
052	AP52	500	500	500	51	1200	0.0	51	1200	0.0	51	1200
053	AP53	500	500	500	52	1200	0.0	52	1200	0.0	52	1200
054	AP54	500	500	500	53	1200	0.0	53	1200	0.0	53	1200
055	AP55	500	500	500	54	1200	0.0	54	1200	0.0	54	1200
056	AP56	500	500	500	55	1200	0.0	55	1200	0.0	55	1200
057	AP57	500	500	500	56	1200	0.0	56	1200	0.0	56	1200
058	AP58	500	500	500	57	1200	0.0	57	1200	0.0	57	1200
059	AP59	500	500	500	58	1200	0.0	58	1200	0.0	58	1200
060	AP60	500	500	500	59	1200	0.0	59	1200	0.0	59	1200
061	AP61	500	500	500	60	1200	0.0	60	1200	0.0	60	1200
062	AP62	500	500	500	61	1200	0.0	61	1200	0.0	61	1200
063	AP63	500	500	500	62	1200	0.0	62	1200	0.0	62	1200
064	AP64	500	500	500	63	1200	0.0	63	1200	0.0	63	1200
065	AP65	500	500	500	64	1200	0.0	64	1200	0.0	64	1200
066	AP66	500	500	500	65	1200	0.0	65	1200	0.0	65	1200
067	AP67	500	500	500	66	1200	0.0	66	1200	0.0	66	1200
068	AP68	500	500	500	67	1200	0.0	67	1200	0.0	67	1200
069	AP69	500	500	500	68	1200	0.0	68	1200	0.0	68	1200
070	AP70	500	500	500	69	1200	0.0	69	1200	0.0	69	1200
071	AP71	500	500	500	70	1200	0.0	70	1200	0.0	70	1200
072	AP72	500	500	500	71	1200	0.0	71	1200	0.0	71	1200
073	AP73	500	500	500	72	1200	0.0	72	1200	0.0	72	1200
074	AP74	500	500	500	73	1200	0.0	73	1200	0.0	73	1200
075	AP75	500	500	500	74	1200	0.0	74	1200	0.0	74	1200
076	AP76	500	500	500	75	1200	0.0	75	1200	0.0	75	1200
077	AP77	500	500	500	76	1200	0.0	76	1200	0.0	76	1200
078	AP78	500	500	500	77	1200	0.0	77	1200	0.0	77	1200
079	AP79	500	500	500	78	1200	0.0	78	1200	0.0	78	1200
080	AP80	500	500	500	79	1200	0.0	79	1200	0.0	79	1200
081	AP81	500	500	500	80	1200	0.0	80	1200	0.0	80	1200
082	AP82	500	500	500	81	1200	0.0	81	1200	0.0	81	1200
083	AP83	500	500	500	82	1200	0.0	82	1200	0.0	82	1200
084	AP84	500	500	500	83	1200	0.0	83	1200	0.0	83	1200
085	AP85	500	500	500	84	1200	0.0	84	1200	0.0	84	1200
086	AP86	500	500	500	85	1200	0.0	85	1200	0.0	85	1200
087	AP87	500	500	500	86	1200	0.0	86	1200	0.0	86	1200
088	AP88	500	500	500	87	1200	0.0	87	1200	0.0	87	1200
089	AP89	500	500	500	88	1200	0.0	88	1200	0.0	88	1200
090	AP90	500	500	500	89	1200	0.0	89	1200	0.0	89	1200
091	AP91	500	500	500	90	1200	0.0	90	1200	0.0	90	1200
092	AP92	500	500	500	91	1200	0.0	91	1200	0.0	91	1200
093	AP93	500	500	500	92	1200	0.0	92	1200	0.0	92	1200
094	AP94	500	500	500	93	1200	0.0	93	1200	0.0	93	1200
095	AP95	500	500	500	94	1200	0.0	94	1200	0.0	94	1200
096	AP96	500	500	500	95	1200	0.0	95	1200	0.0	95	1200
097	AP97	500	500	500	96	1200	0.0	96	1200	0.0	96	1200
098	AP98	500	500	500	97	1200	0.0	97	1200	0.0	97	1200
099	AP99	500	500	500	98	1200	0.0	98	1200	0.0	98	1200
100	AP100	500	500	500	99	1200	0.0	99	1200	0.0	99	1200



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

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

RhizoBox  
(INRA)



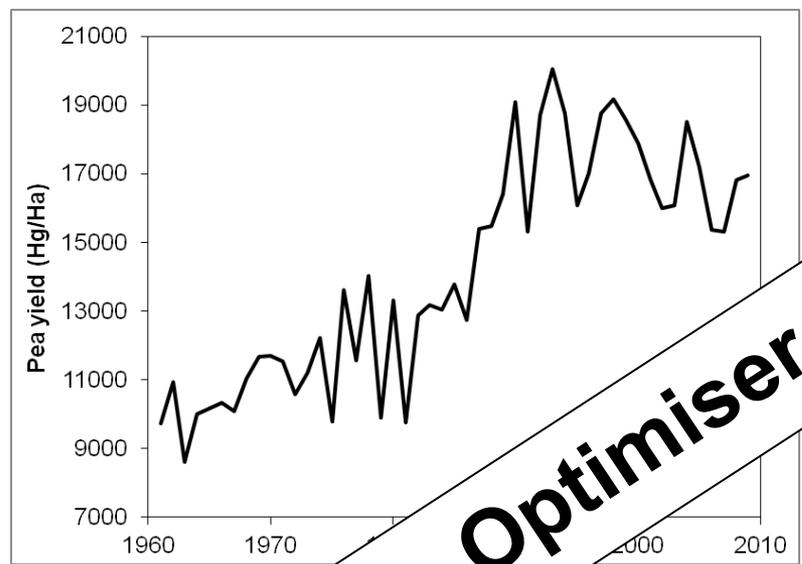
**Financement Phenome**

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

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...  
Rendement...  
Sensitivité de la fixation symbiotique N<sub>2</sub> aux conditions environnementales



**Régulation de la fixation symbiotique N<sub>2</sub> et assimilation NO<sub>3</sub>, 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**



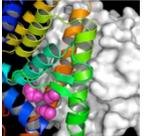
**Variabilité génétique**




**Conception d'Idéotypes de plantes**



**Mécanismes et bases moléculaires**



Vigne
Légumineuses

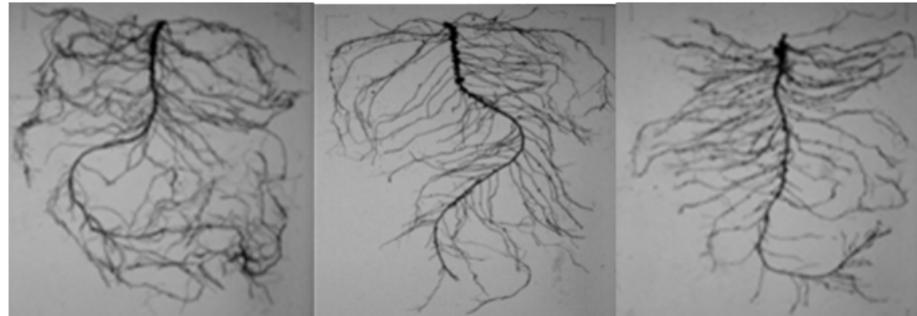
Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
Traitements Image
Et ensuite ?

# Variabilité génétique naturelle

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



Diversité génétique de l'architecture racinaire



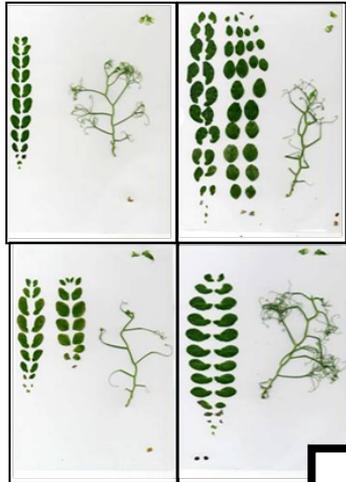
Bourion et al. Annals Bot. 2007

Vigne
Légumineuses

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

# Lignées Recombinantes (1400 RILs)

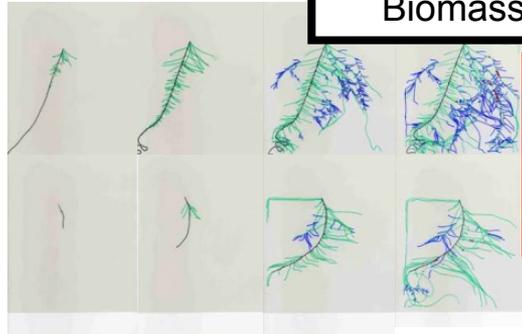
## STRUCTURE



**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



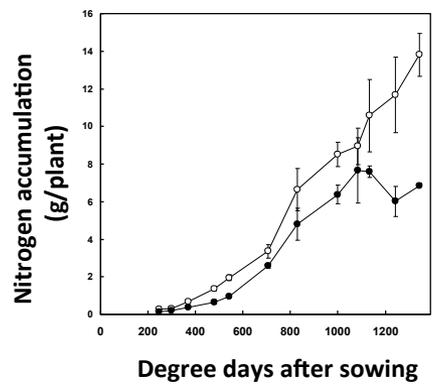
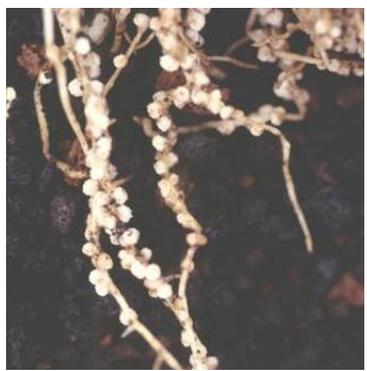
Bourion et al. TAG 2010

## Variabilité génétique induite

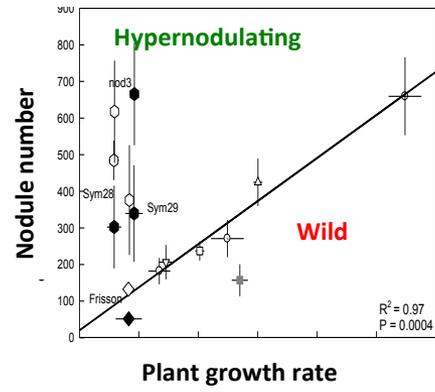
Identifier/caractériser les gènes impliqués dans la nodulation, et l'architecture racinaire

## Développement des nodosités

## Architecture racinaire



Salon et al. Agr 2001

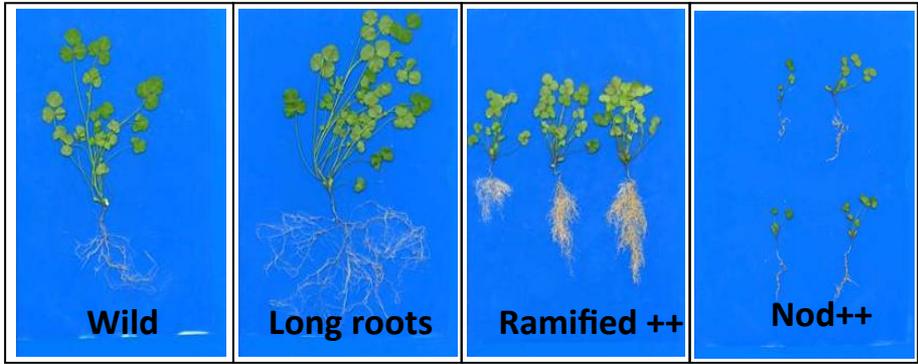


Voisin et al. Plant Soil 2010

Duc et al. 1998

Cazenave et al. Plant Soil 2013

## Medicago truncatula, Tnt1



Porceddu et al. BioMed 2008

## Pea, EMS



Coll. KK Sidorova

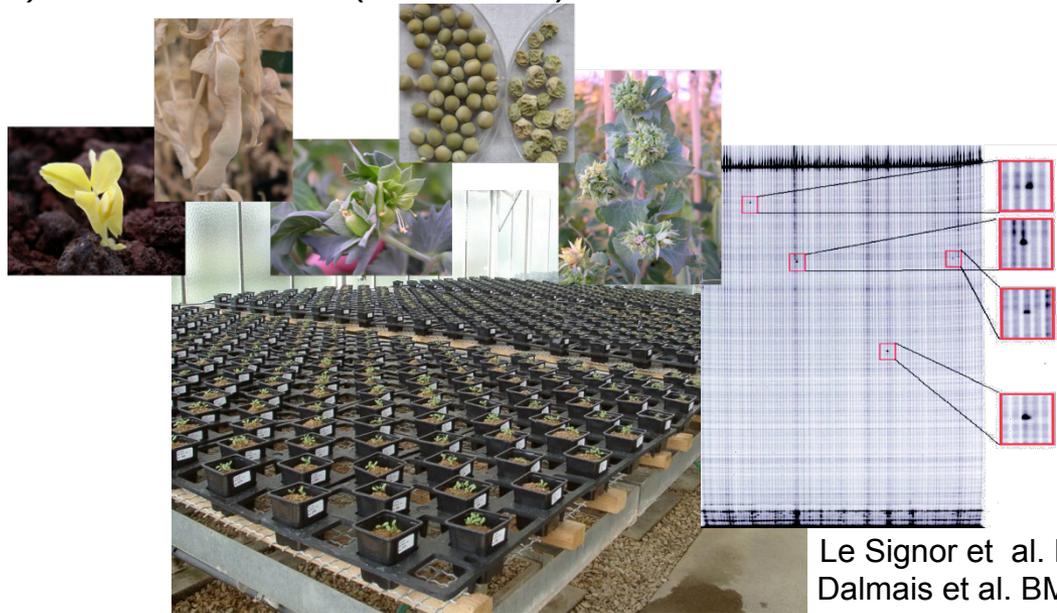
Vigne
Légumineuses

Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
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**

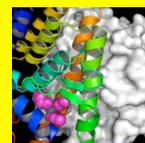


**Variabilité génétique**



**Conception d'Idéotypes de plantes**

**Mécanismes et bases moléculaires**

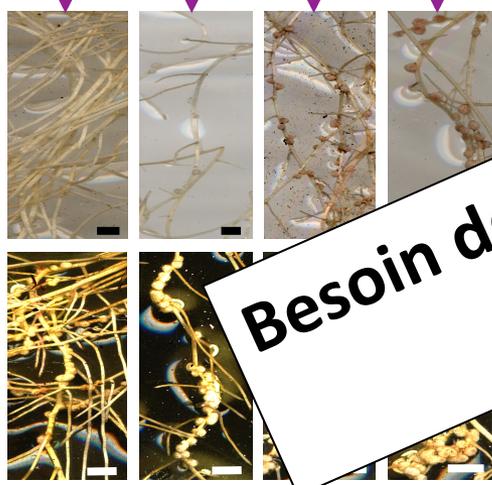
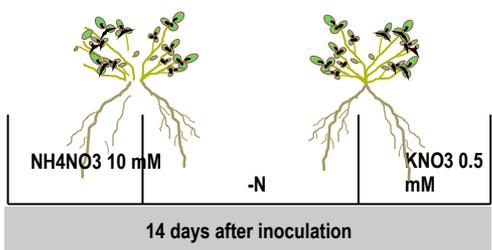


Vigne
Légumineuses

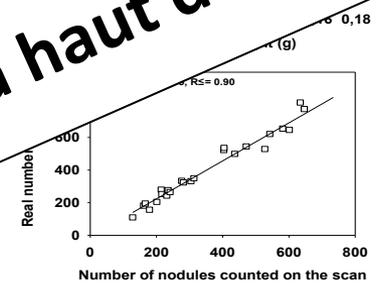
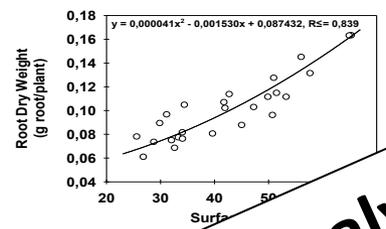
Objectifs
Diversité Génét.
Ident. Strategies
Traitements Image
Et ensuite ?

# 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**

# Surface projetée de racine

*Thèse Simeng Han*

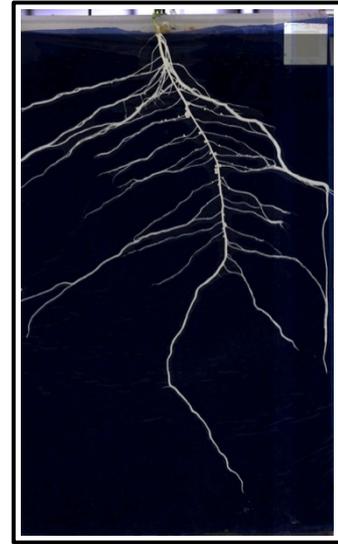
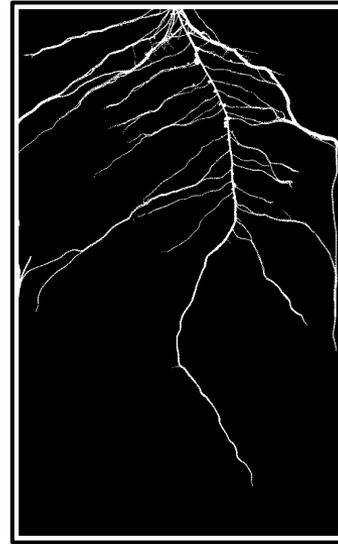
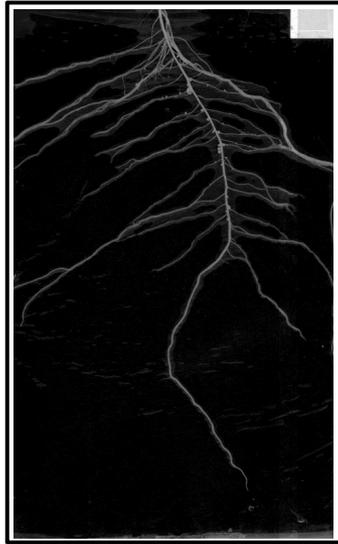
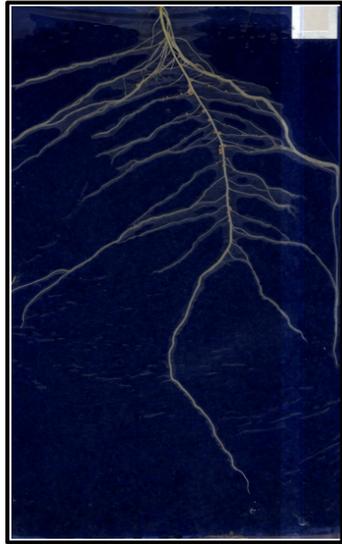


Image origine  
(A)

Meilleure bande

Image binaire  
(B)

Superposition  
(B/A)

# Longueur de racines

*Thèse Simeng Han*

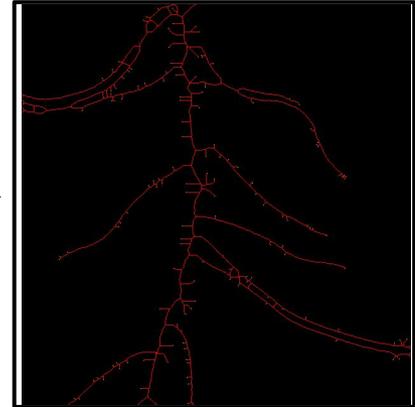
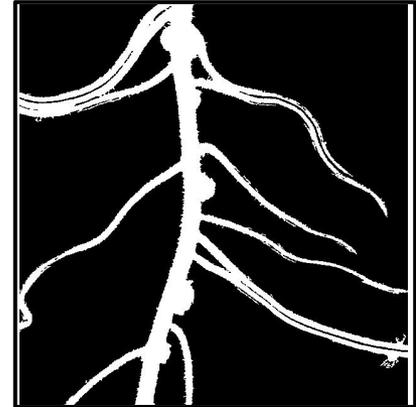


Image origine

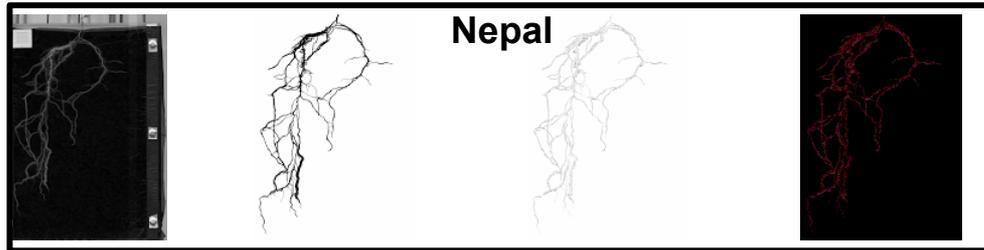
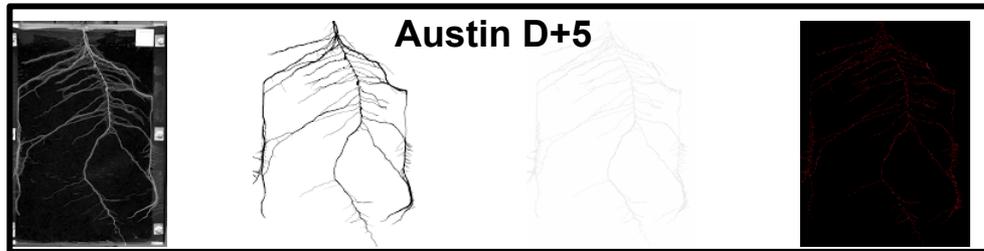
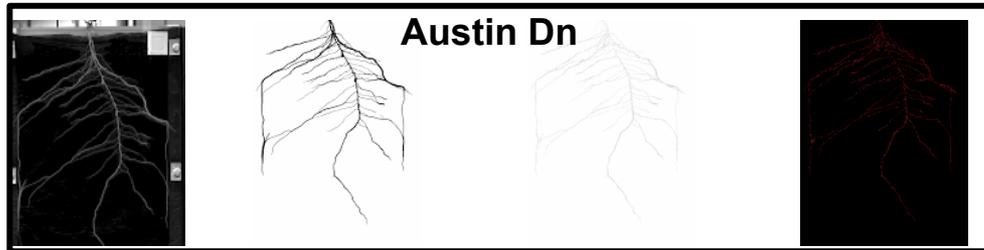
Binarisation

Squelettisation

Connectivité

# Résultats sur 4 images

*Thèse Simeng Han*



Vigne  
Légumineuses

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

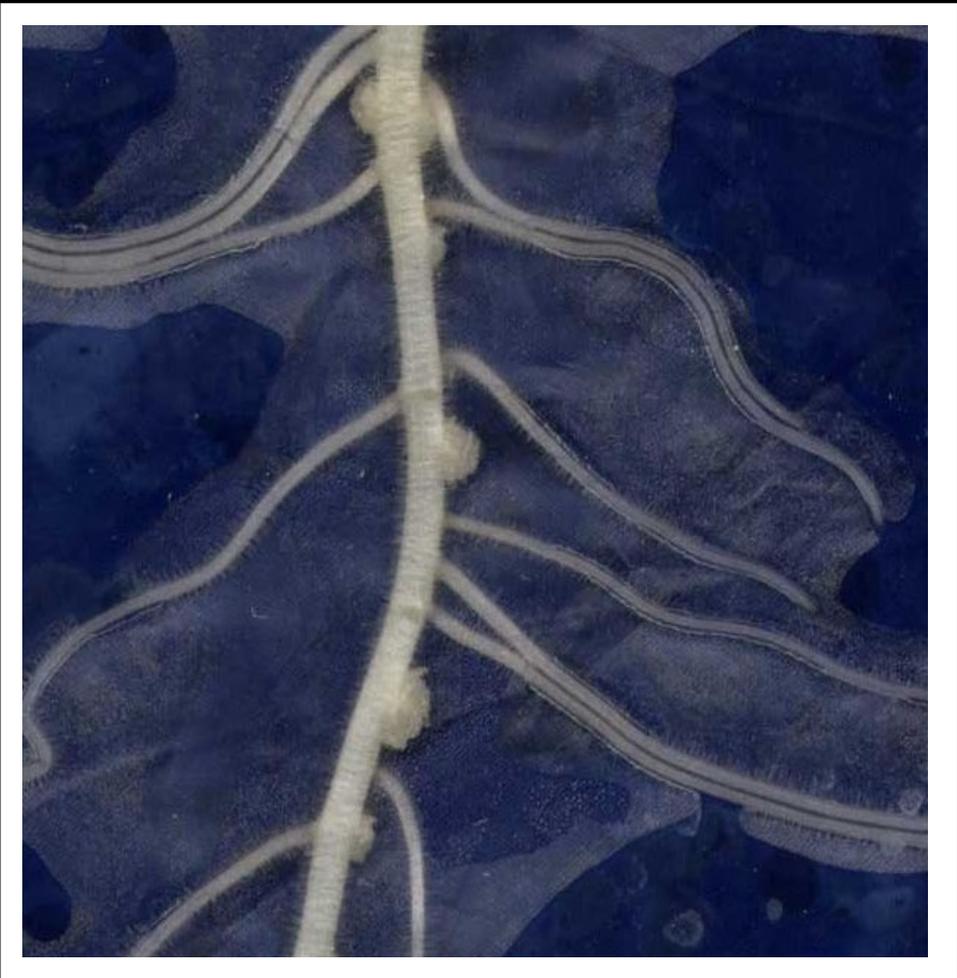


Nom	Surface	Longueur
Austin Dn	38 cm <sup>2</sup>	38cm
Austin Dn+5	58 cm <sup>2</sup>	40cm
L1073	105 cm <sup>2</sup>	40cm
Nepal	39 cm <sup>2</sup>	35 cm

Vigne
Légumineuses

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

# Détection de nodosités

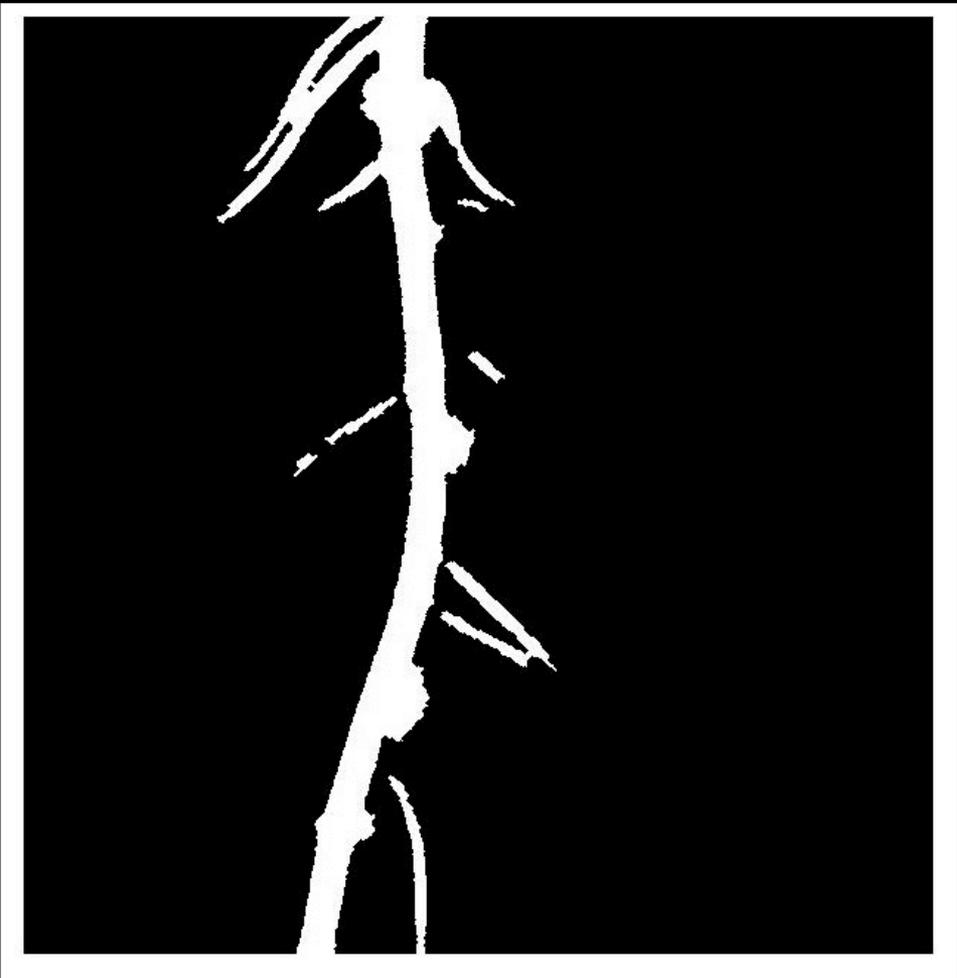
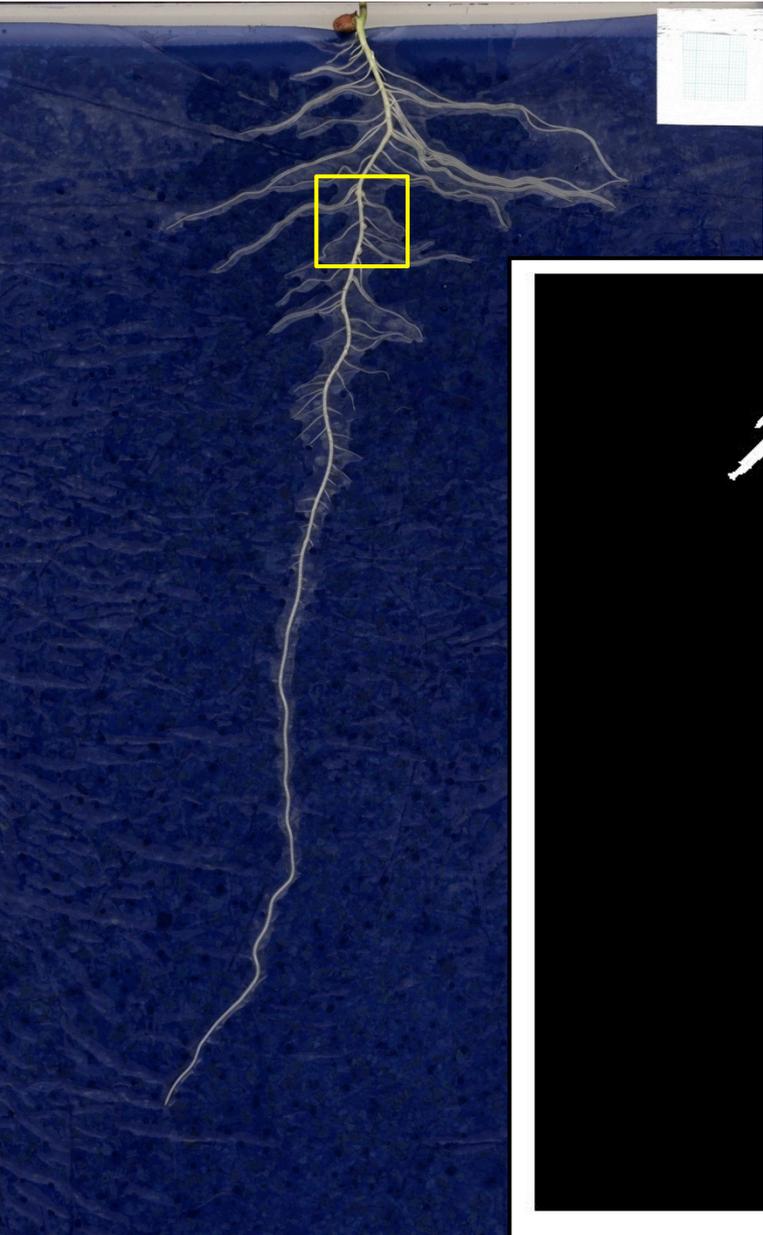


Jeune plante

Thèse Simeng Han (unpublished)

Vigne
Légumineuses

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



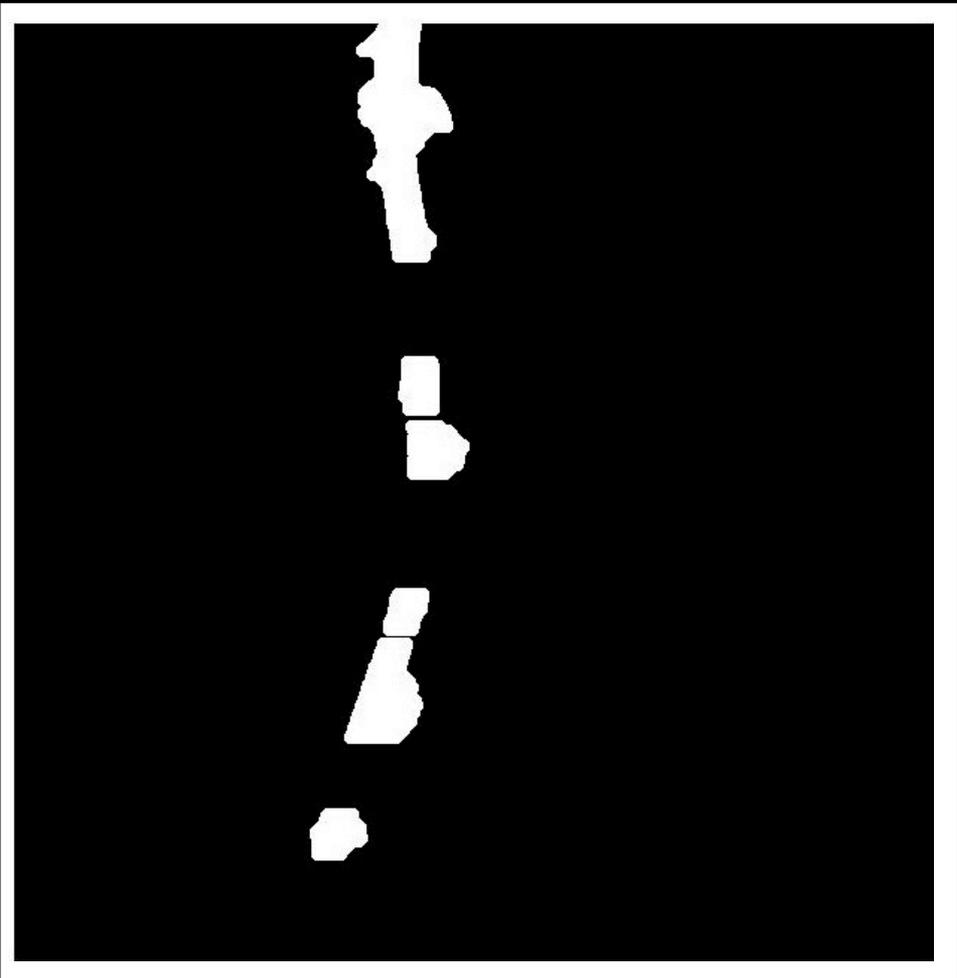
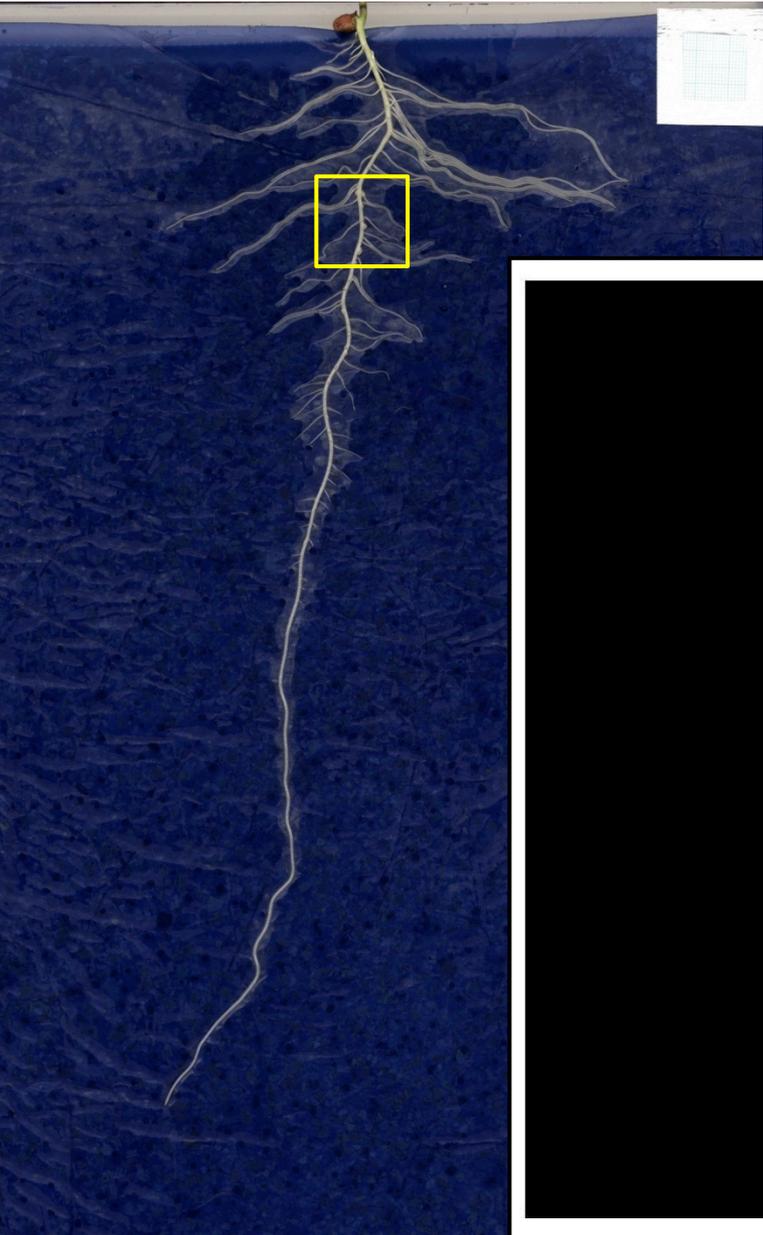
**Jeune plante**

Thèse Simeng Han (unpublished)

**Seuillage,  
image  
binaire**

Vigne
Légumineuses

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



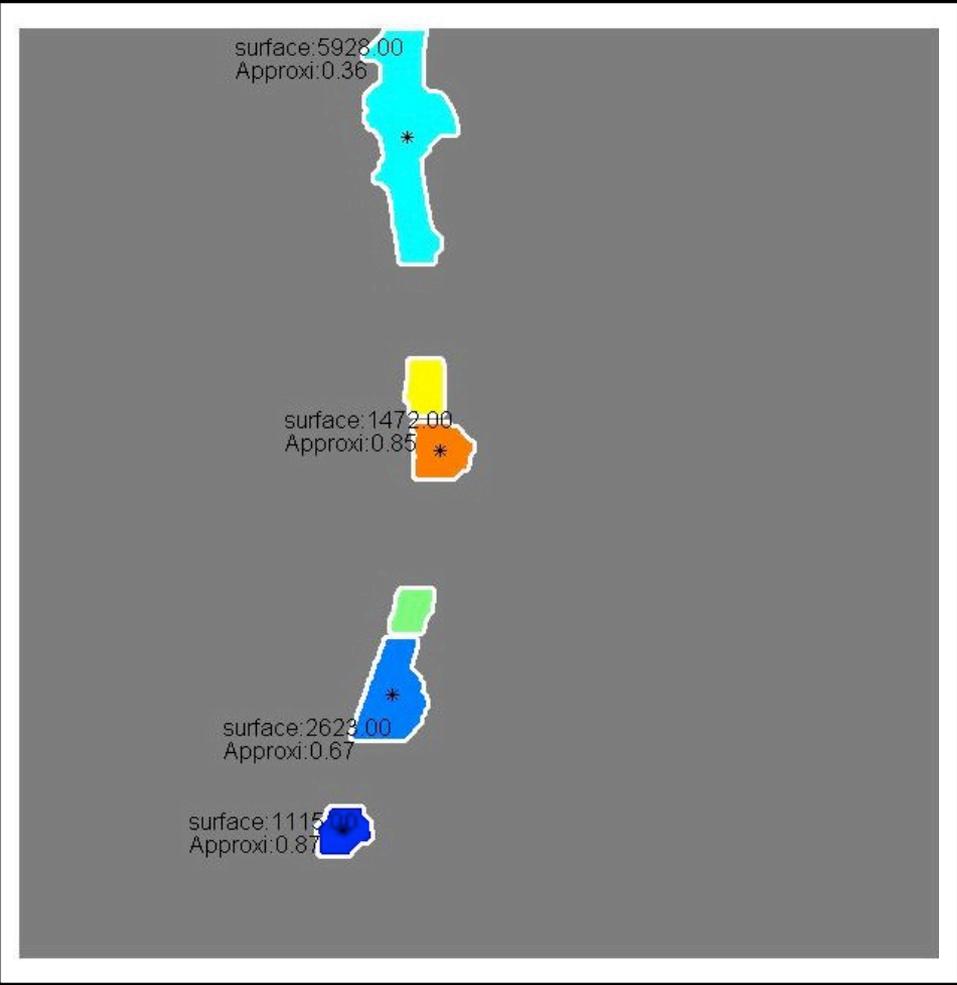
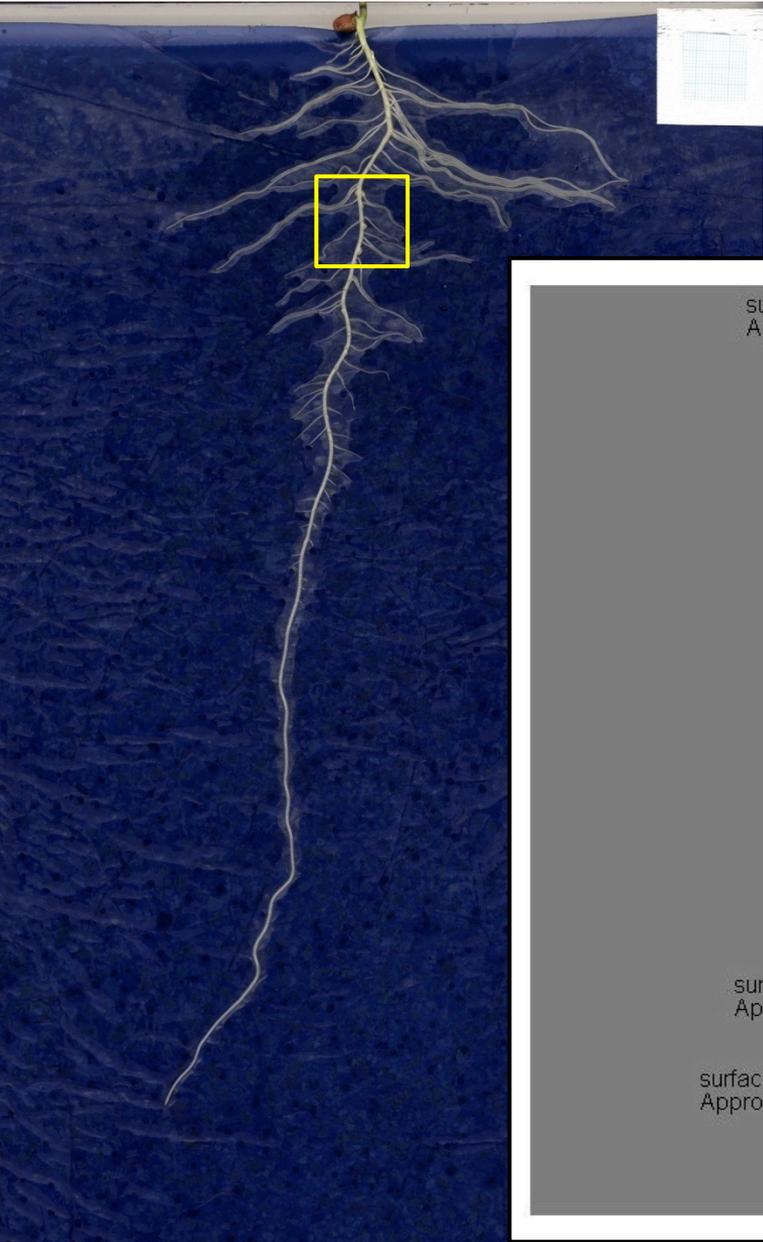
Lisser l'image

Jeune plante

Thèse Simeng Han (unpublished)

Vigne
Légumineuses

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



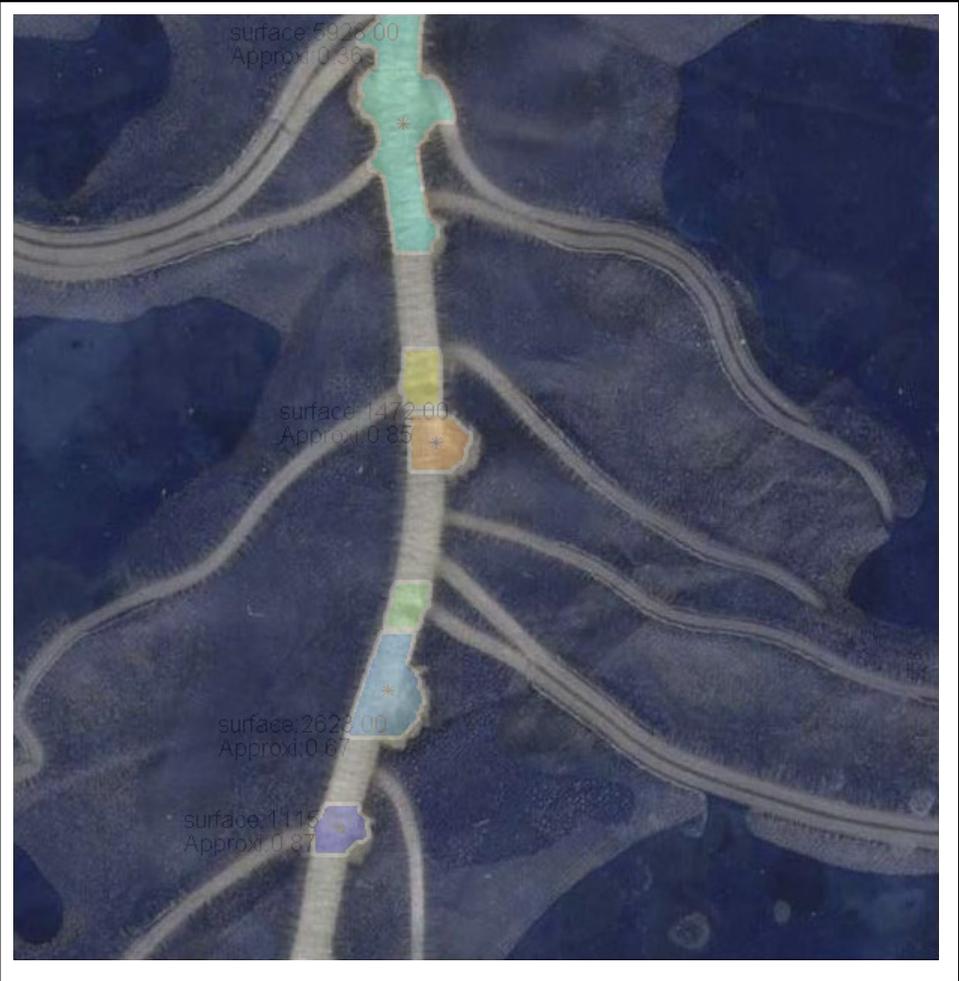
**Compter les nodosités**

**Jeune plante**

Thèse Simeng Han (unpublished)

Vigne
Légumineuses

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



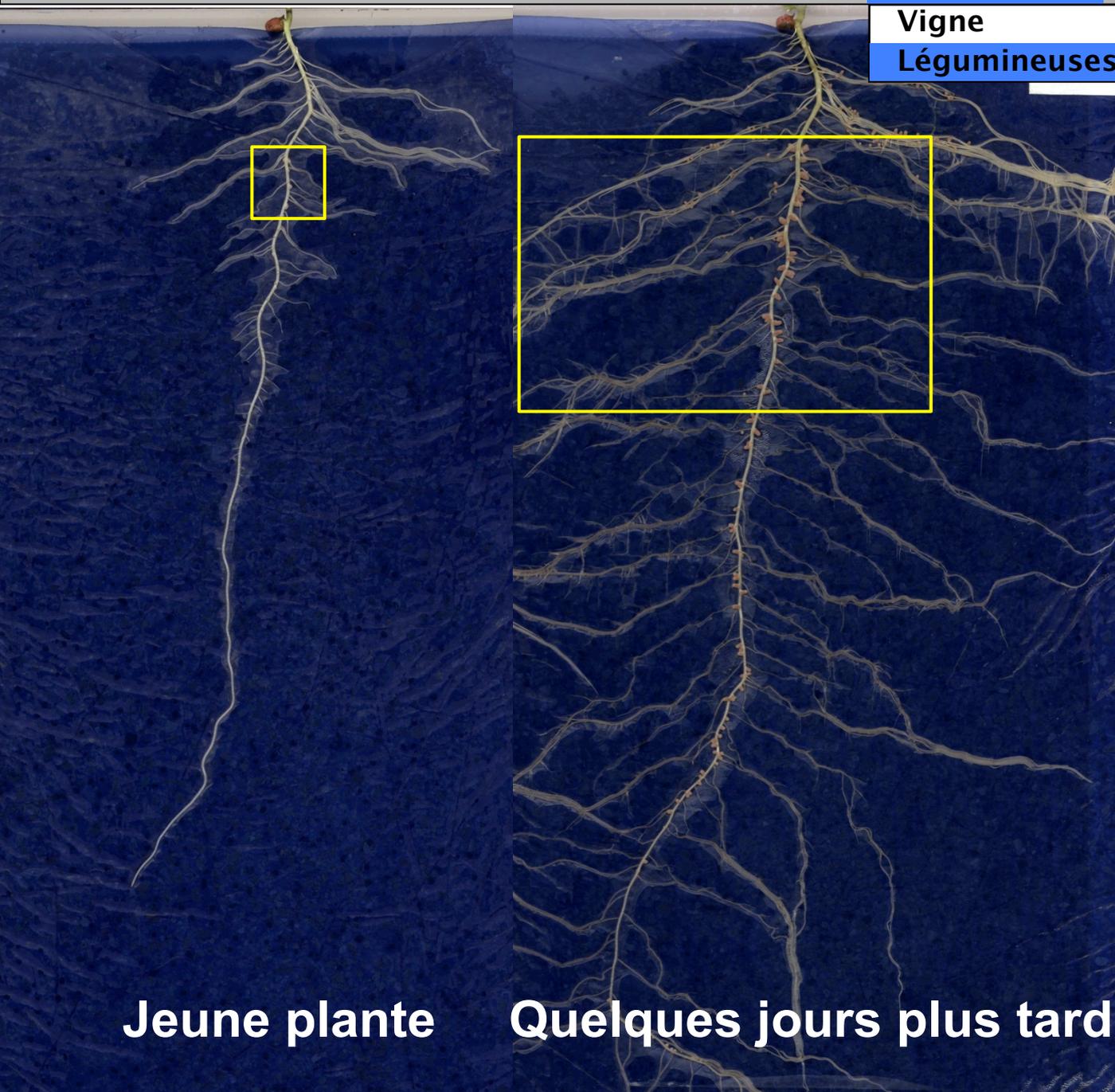
Original image  
+ nodosités  
superposées

Jeune plante

Thèse Simeng Han (unpublished)

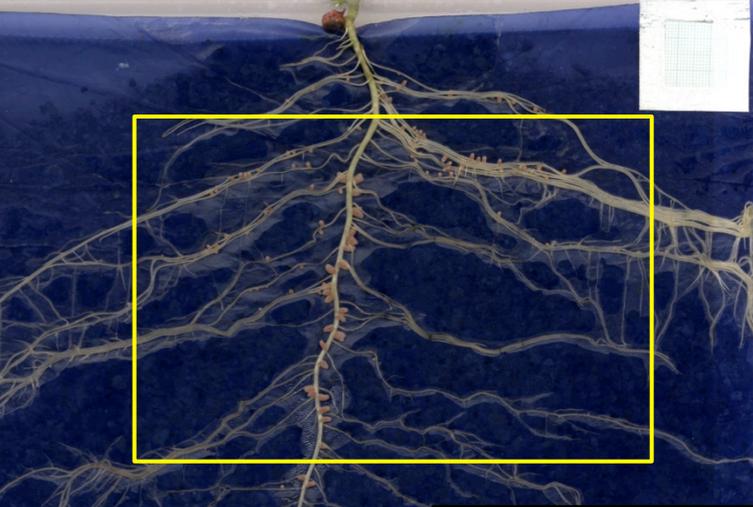
Vigne  
Légumineuses

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

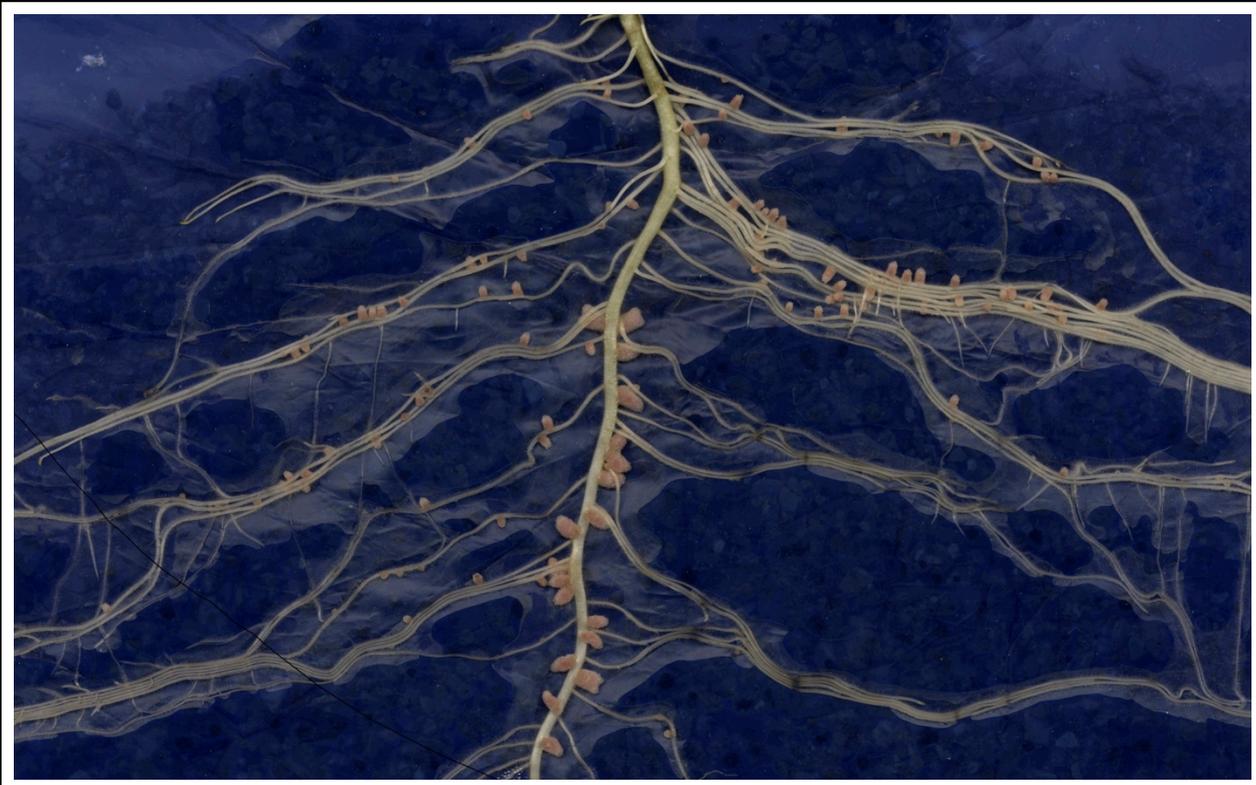


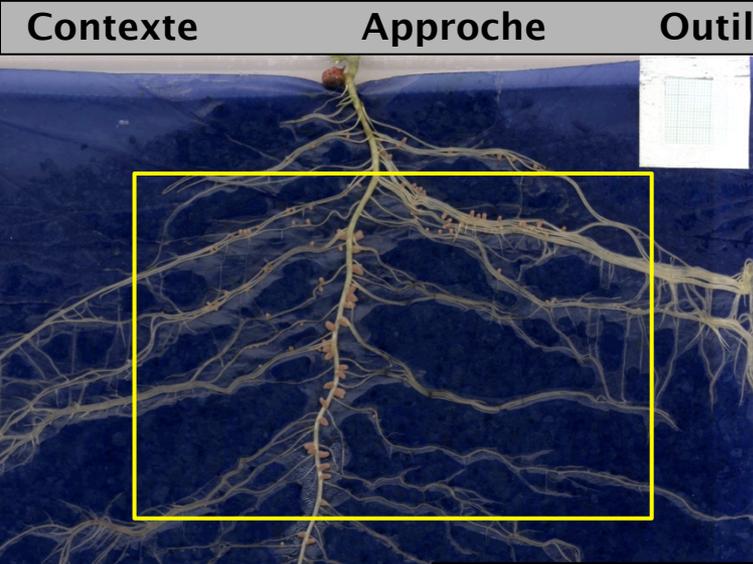
Jeune plante

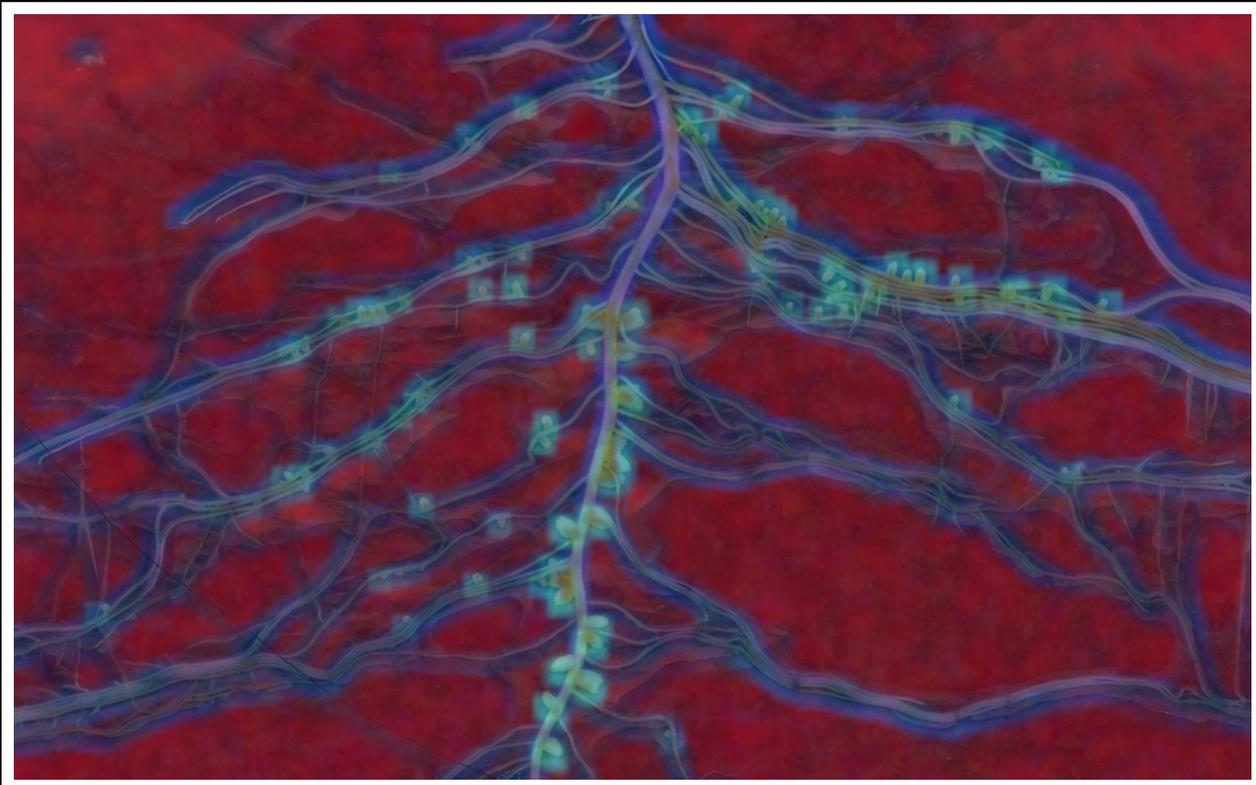
Quelques jours plus tard.

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)		



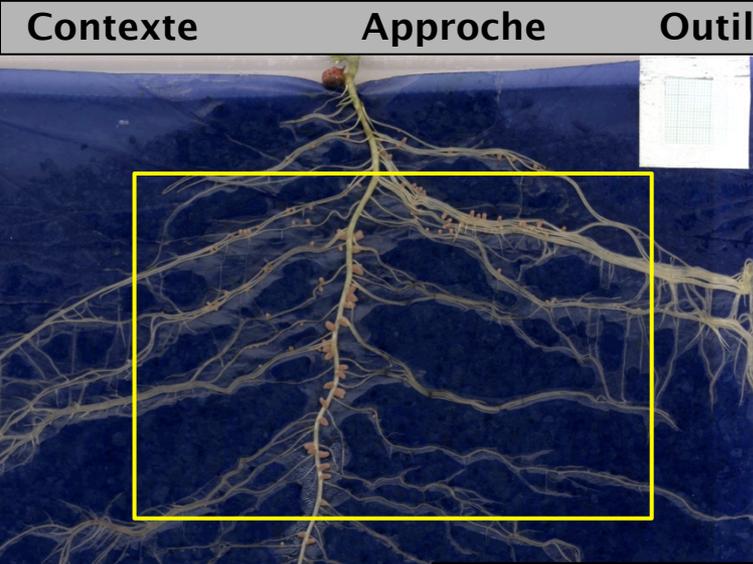
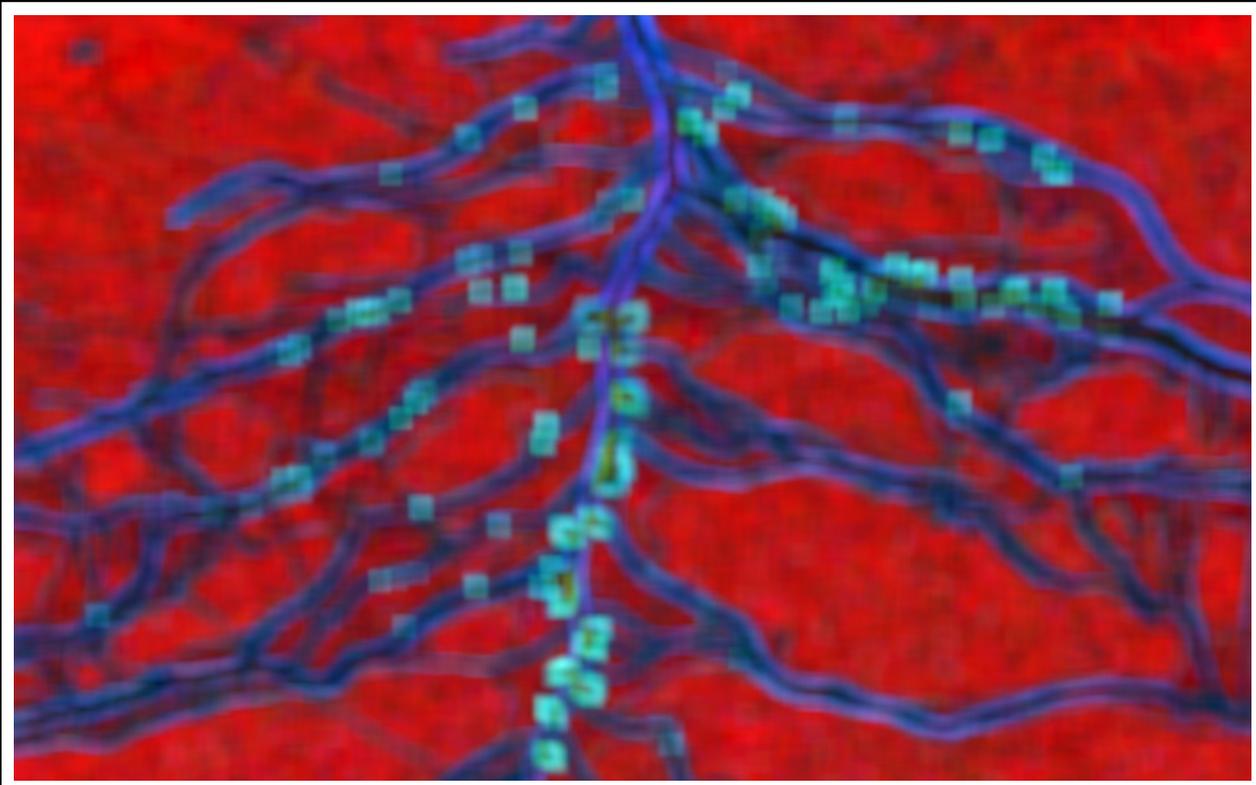
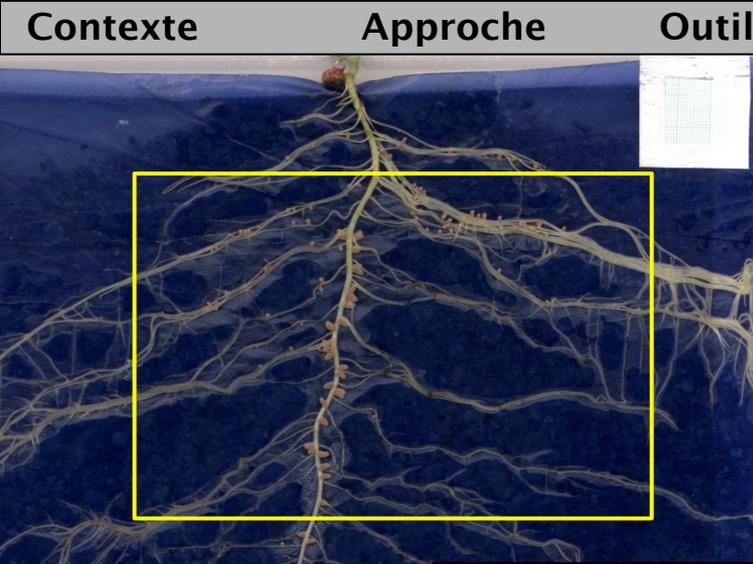
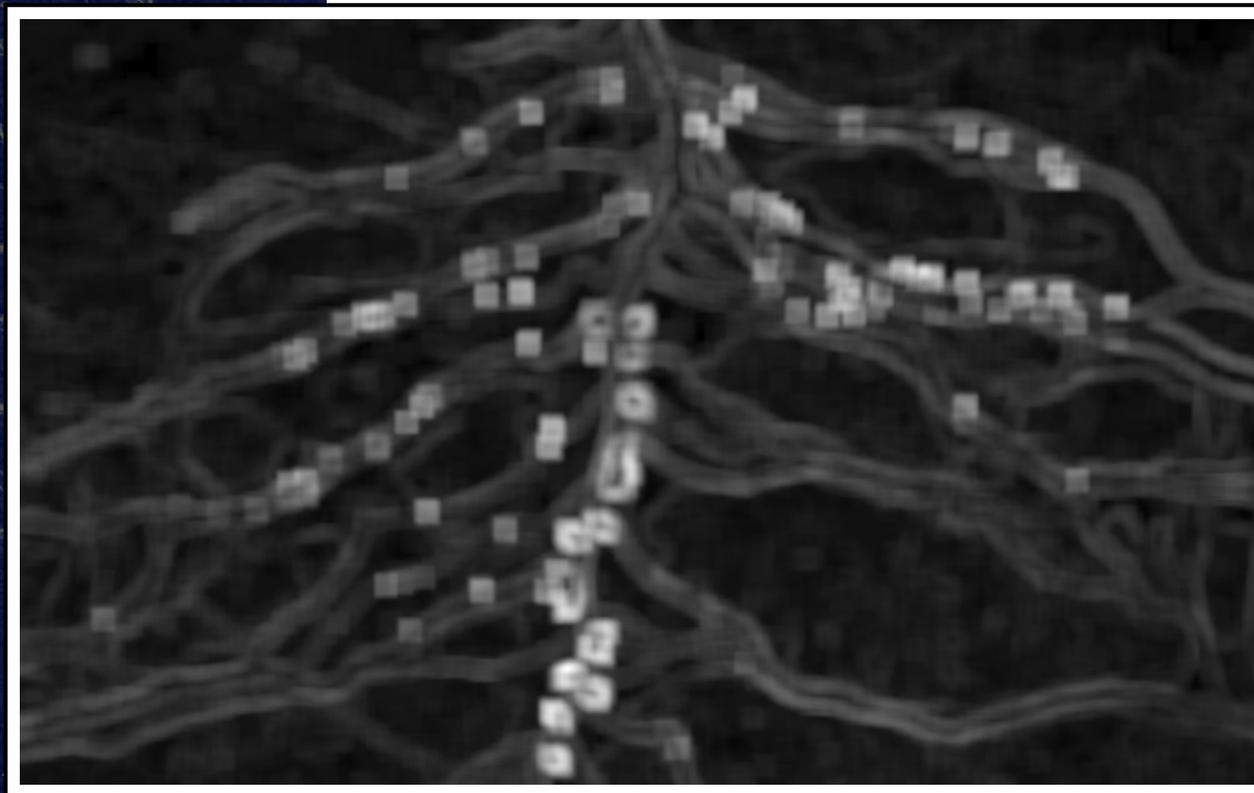
Contexte	Approche	Outils	Exemples	Modèles	Conclusion
			Vigne		<b>Objectifs</b> Diversité Génét. Ident. Strategies <b>Traitements Image</b> Et ensuite ?
			Légumineuses		

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**



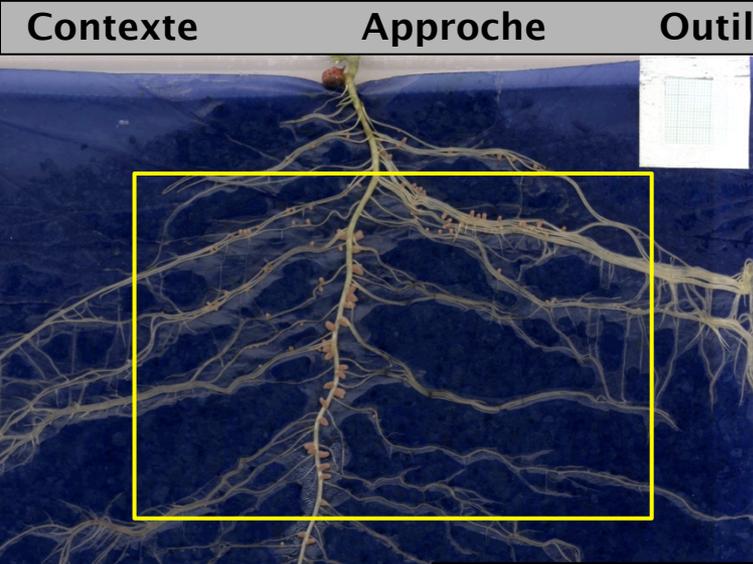
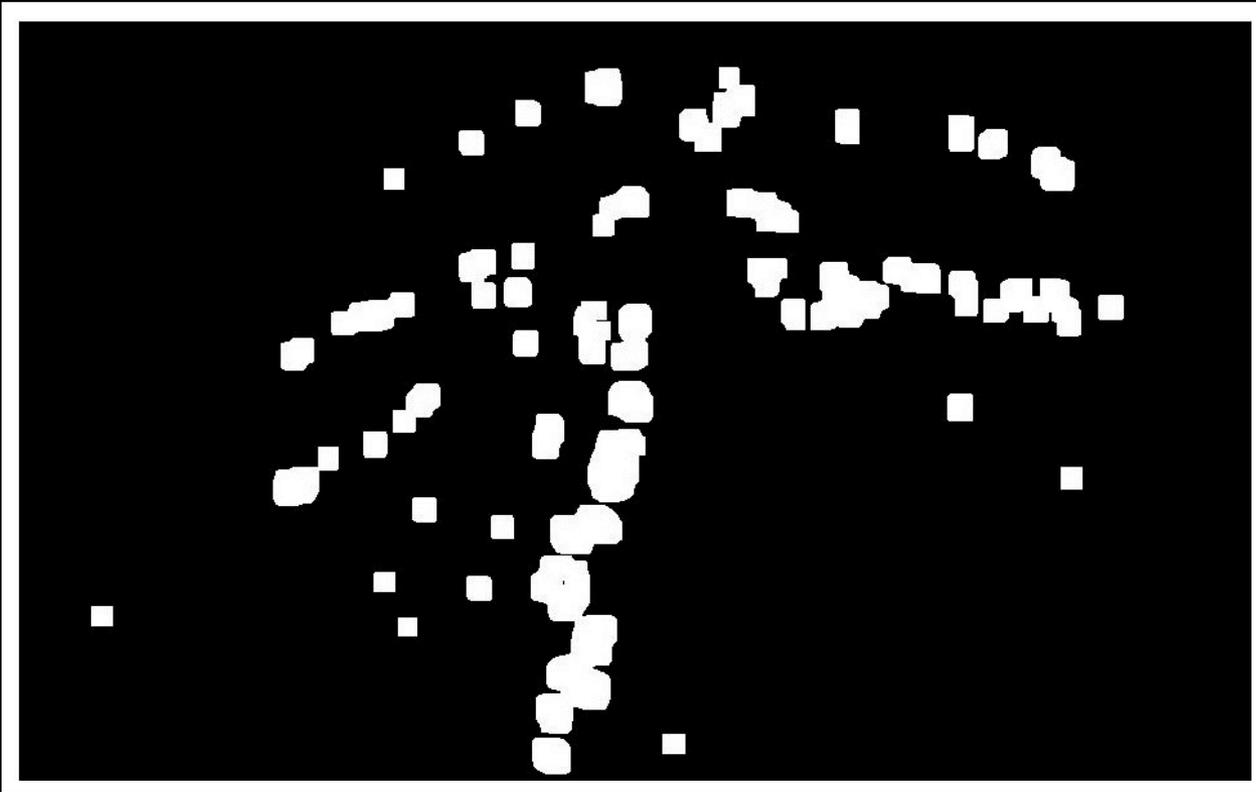
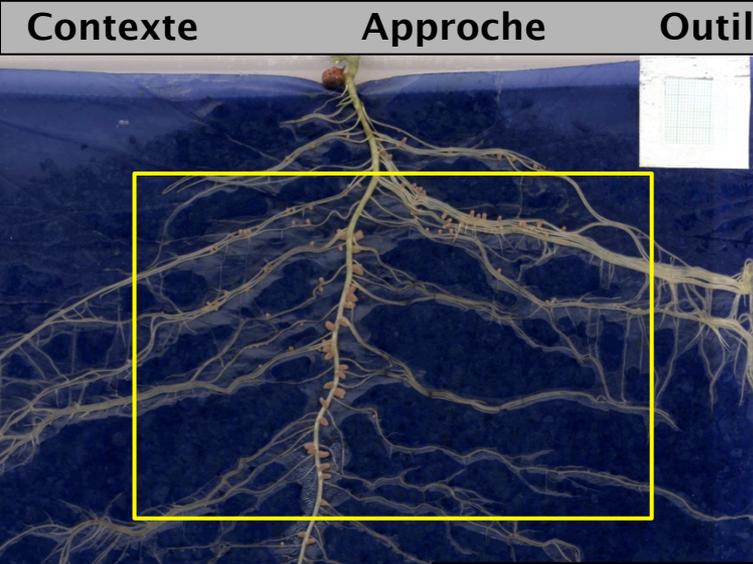
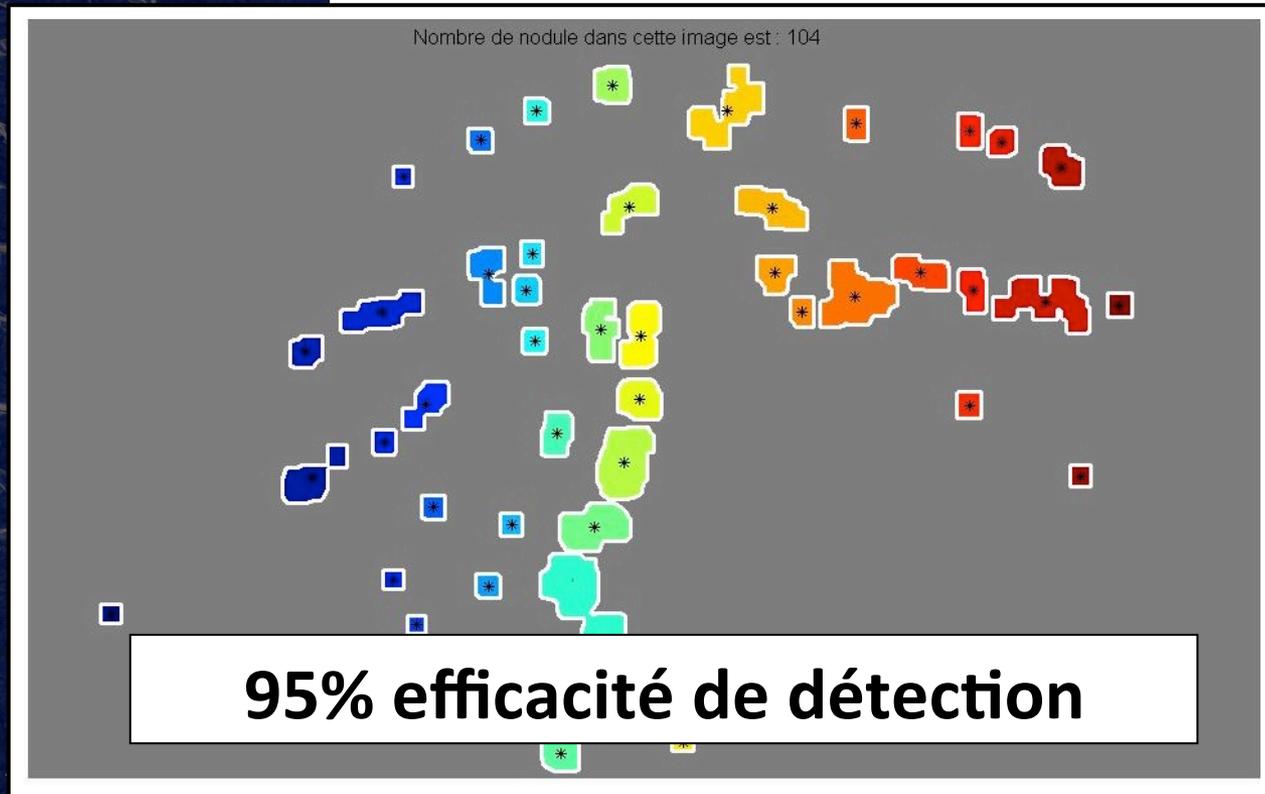
Contexte	Approche	Outils	Exemples	Modèles	Conclusion
			Vigne		<b>Objectifs</b> Diversité Génét. Ident. Strategies <b>Traitements Image</b> Et ensuite ?
			Légumineuses		

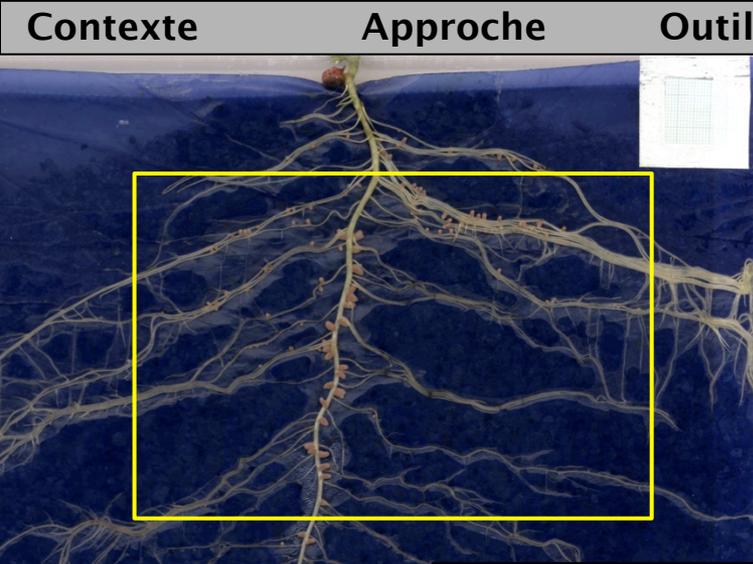
Image avec nodosités



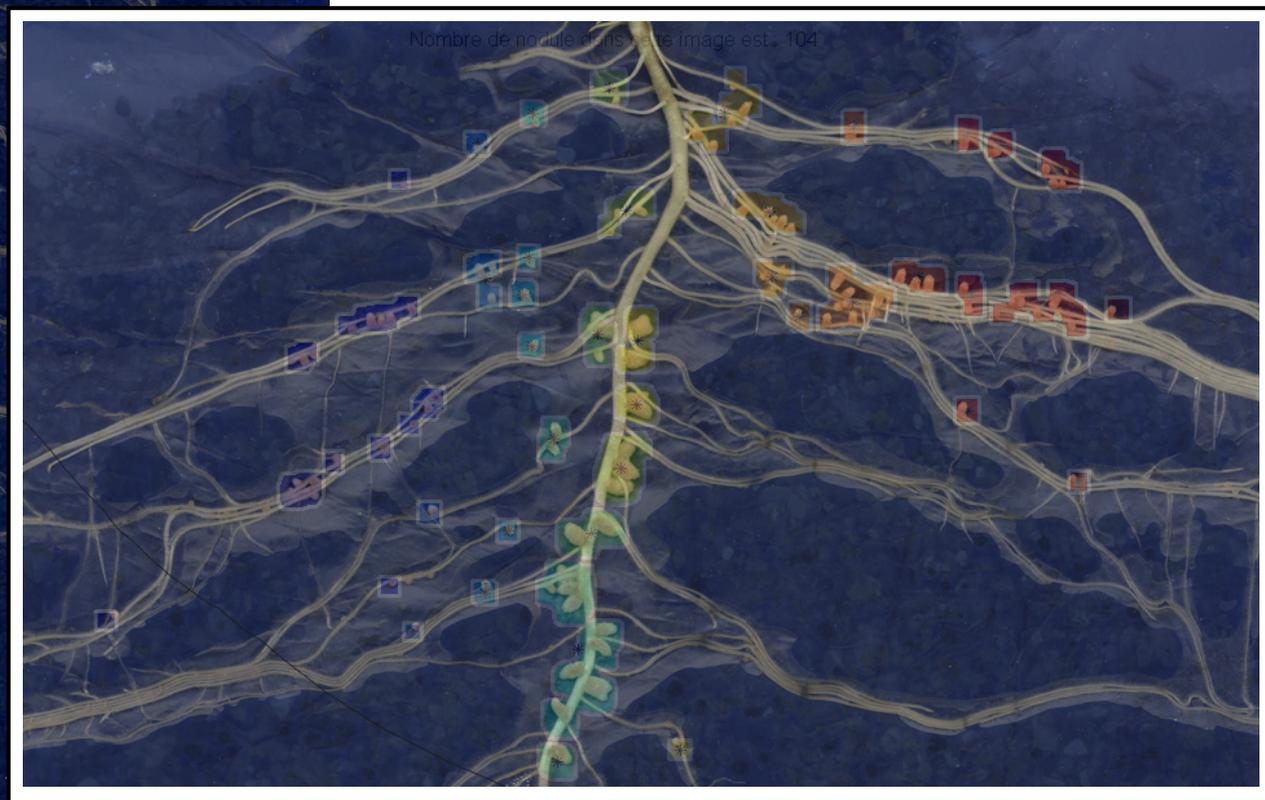
Contexte	Approche	Outils	Exemples	Modèles	Conclusion
			Vigne		<b>Objectifs</b> Diversité Génét. Ident. Strategies <b>Traitements Image</b> Et ensuite ?
			Légumineuses		

## Nodosités détectées automatiquement



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

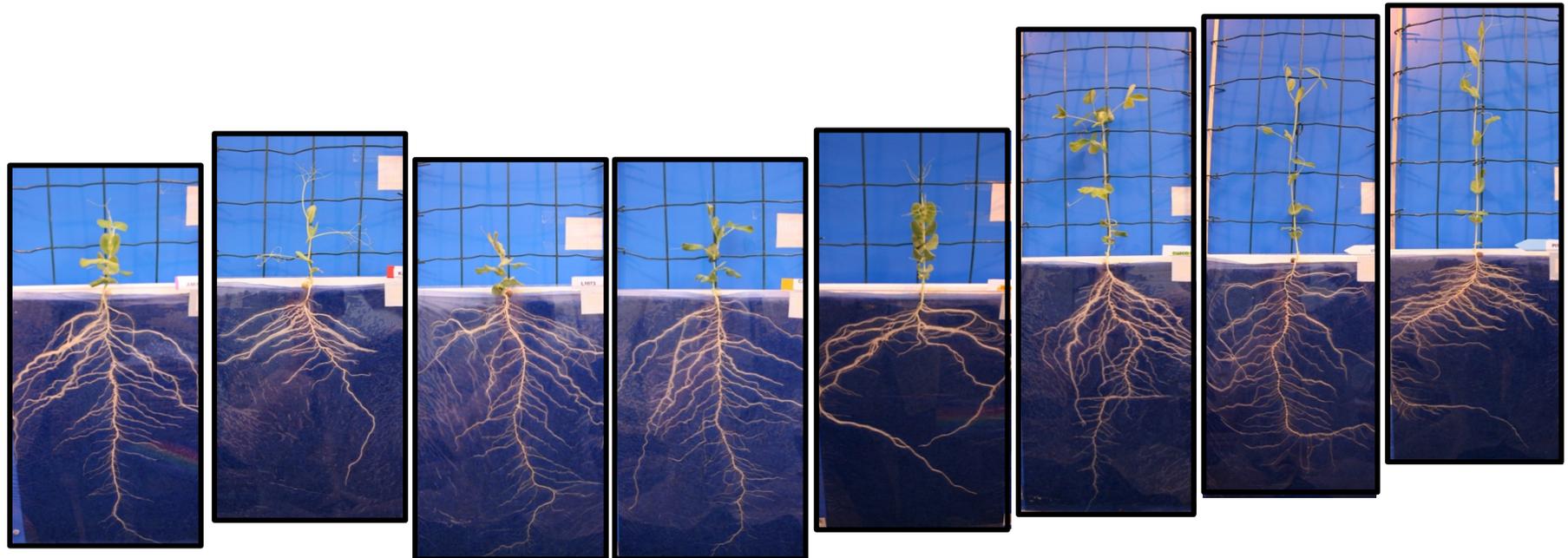
**Image originale + nodosités superposées**



Vigne
Légumineuses

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

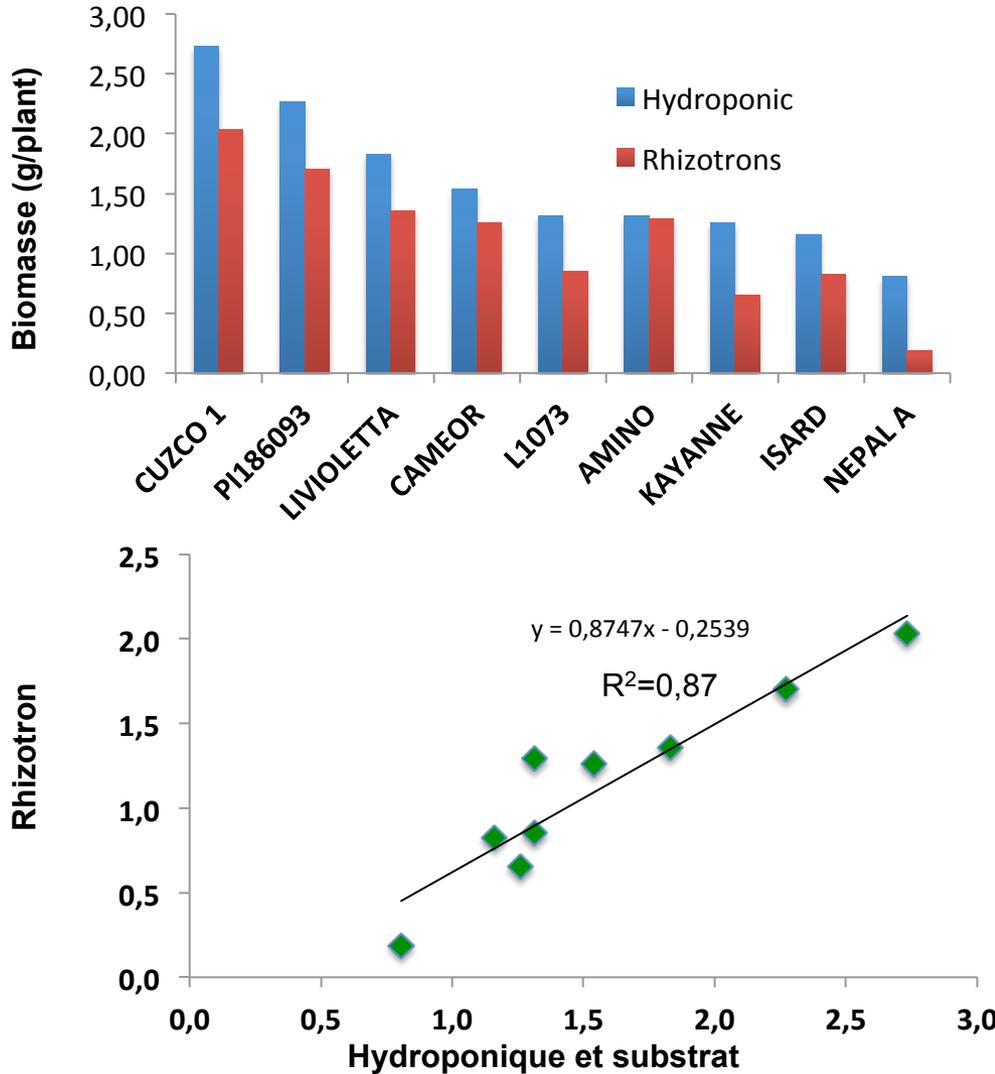
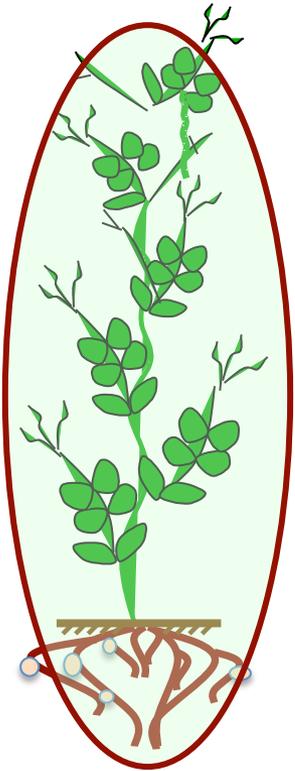
*Explorer la variabilité génétique intraspécifique :  
Pea core collection*



AMINO      KAYANNE      L1073      CAMEOR      ISARD      CUZCO      LIVIOLETTA      PI186093

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

**Biomasse plante**



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

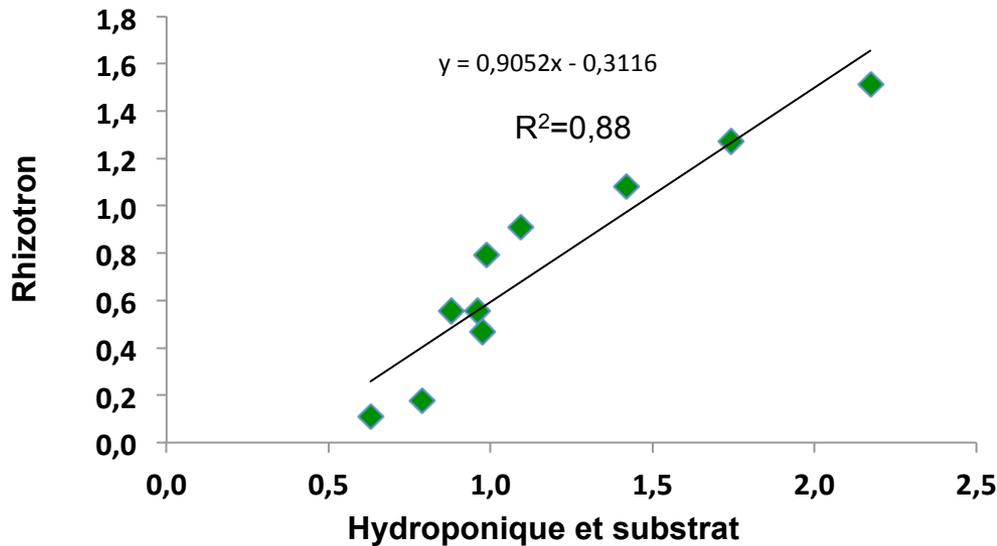
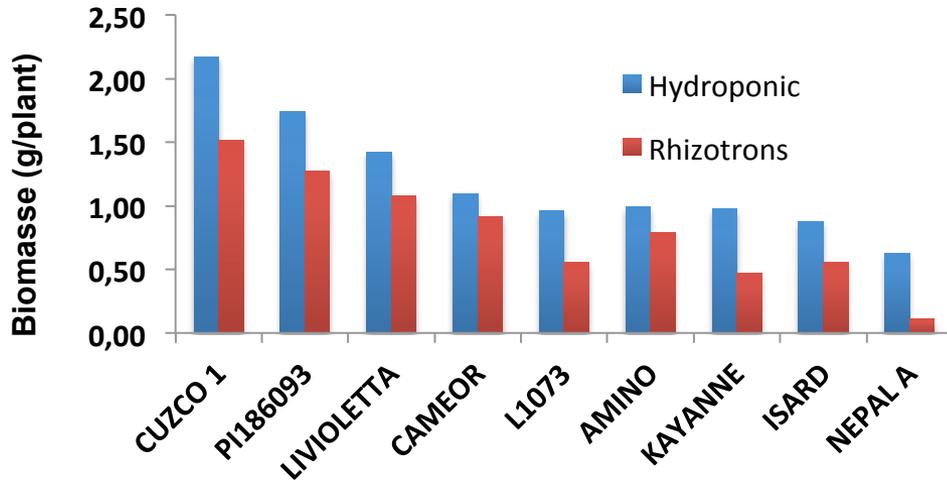
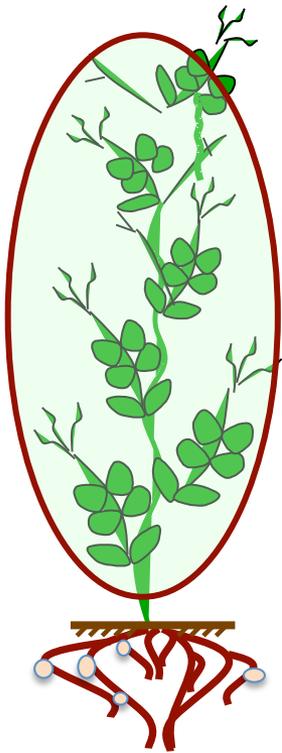
**Le classement des géotypes ne varie pas**

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**

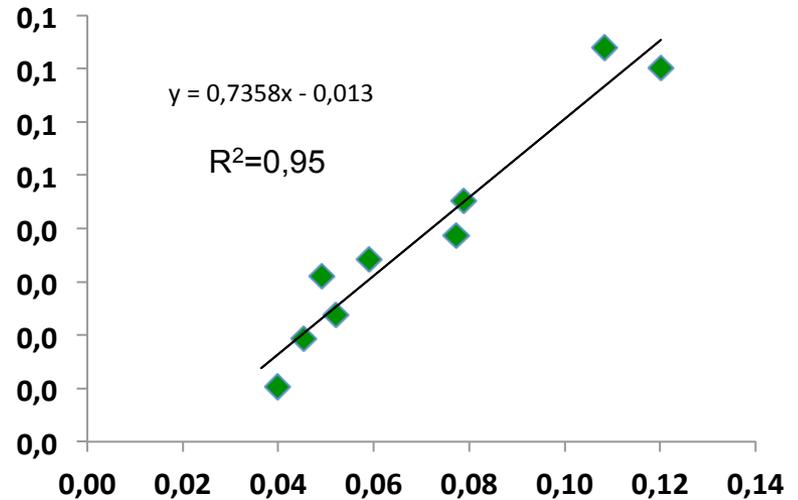
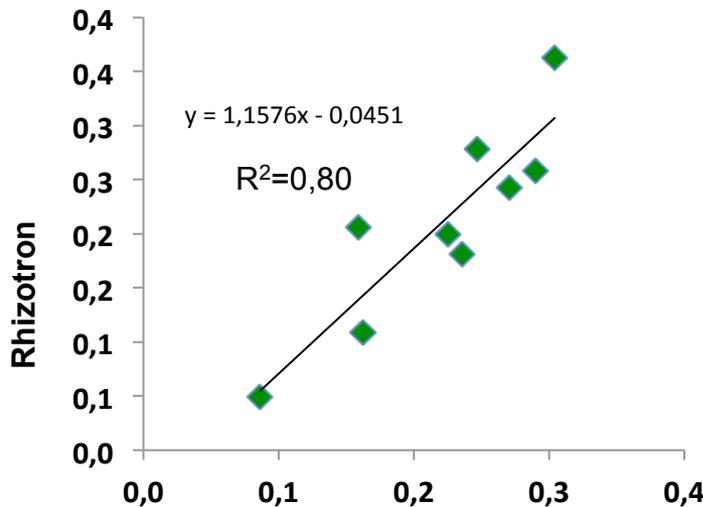
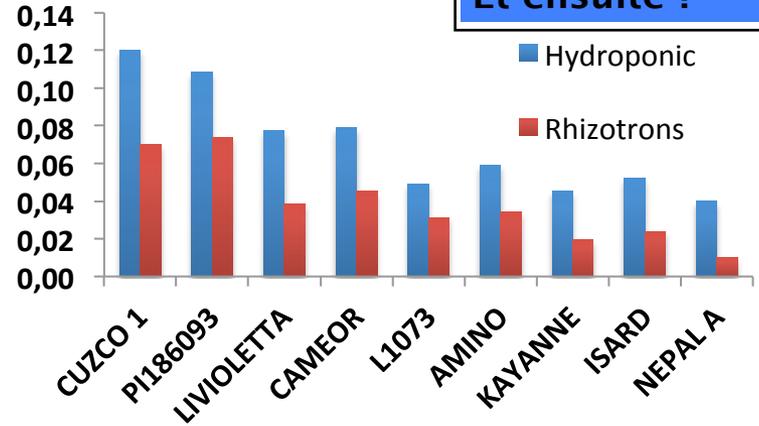
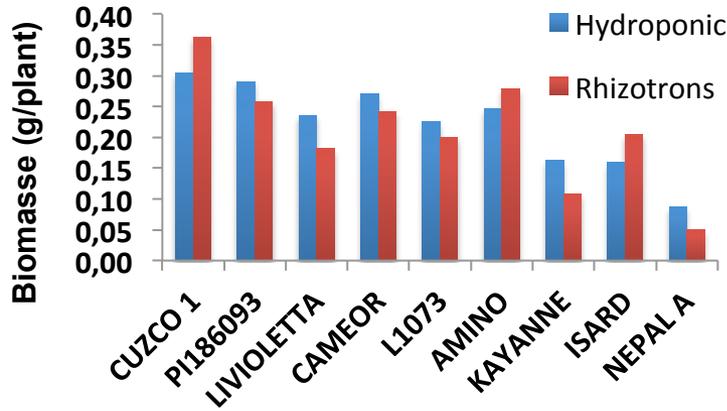
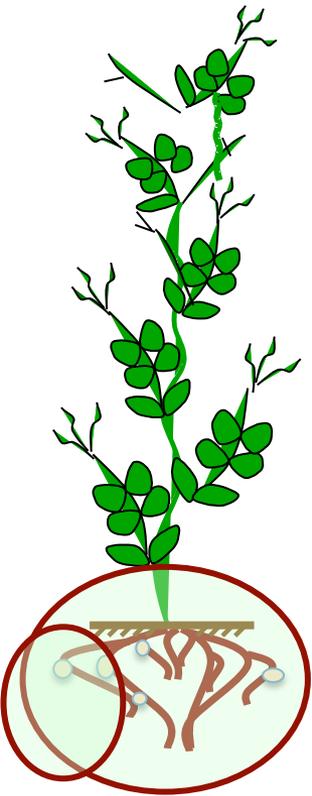
Vigne  
Légumineuses

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

## Classement de génotypes: Pea core collection

### Biomasse racinaires

### Biomasse nodosités

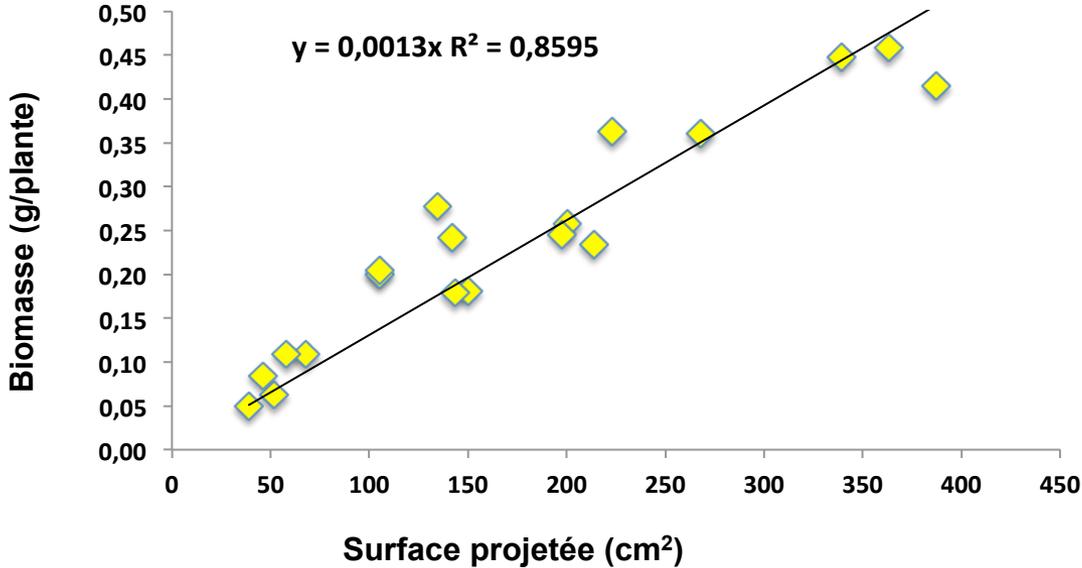
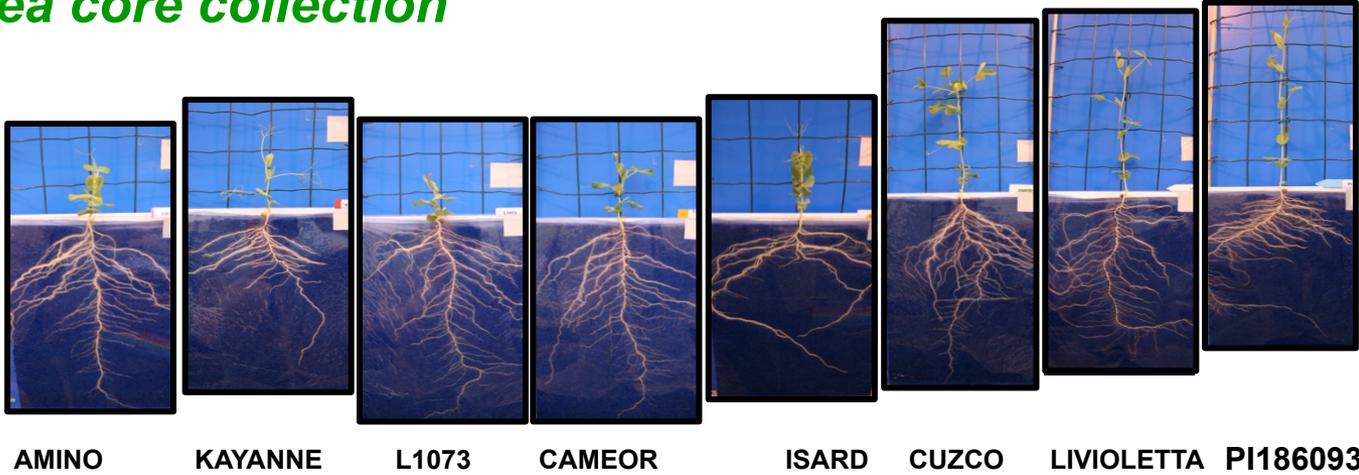


Hydroponique et substrat

Vigne
Légumineuses

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

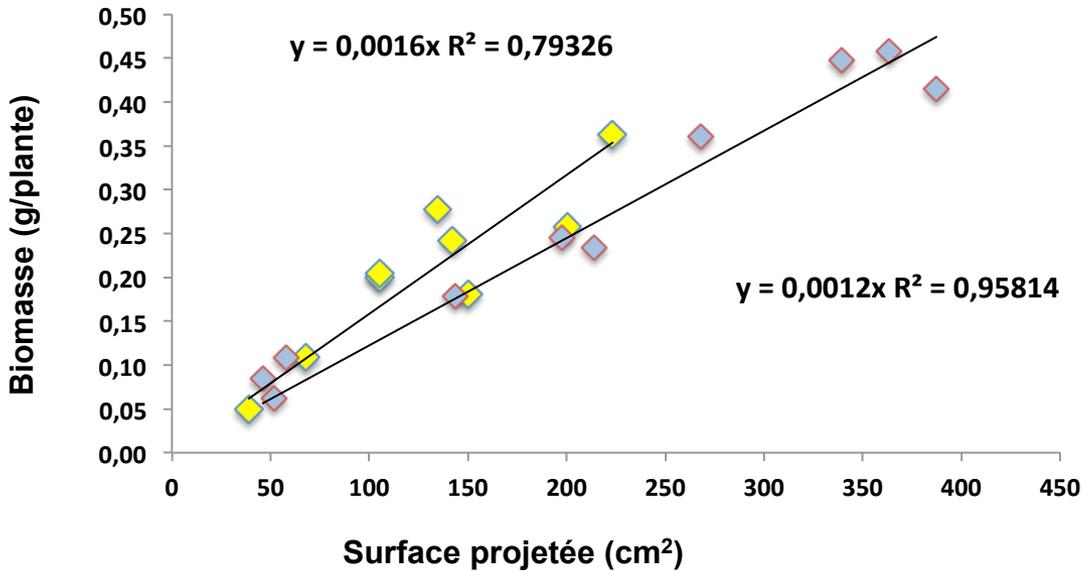
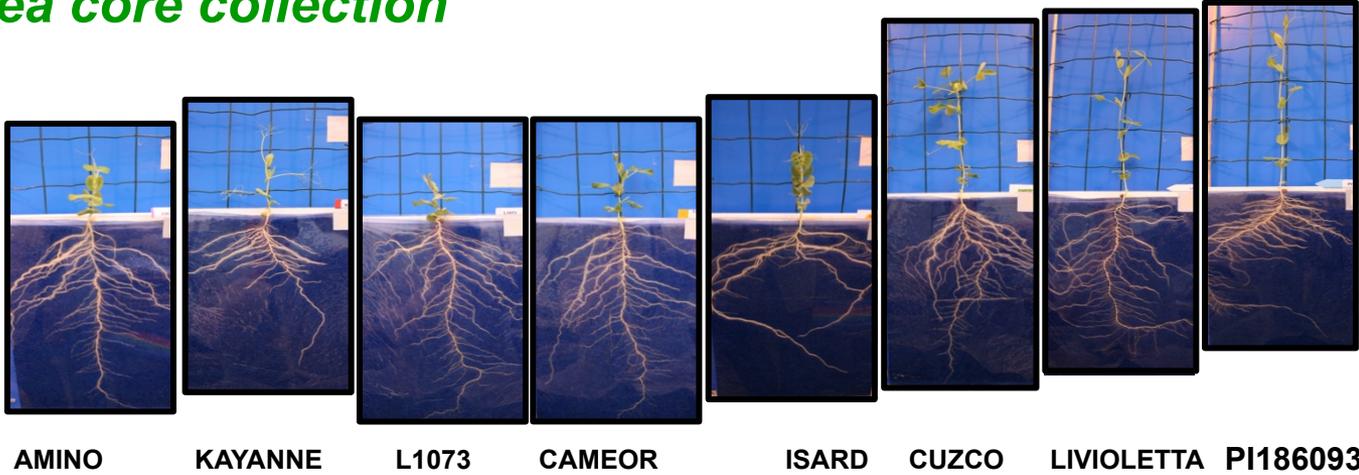
**Explorer la variabilité génétique intraspécifique :  
Pea core collection**



Vigne
Légumineuses

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

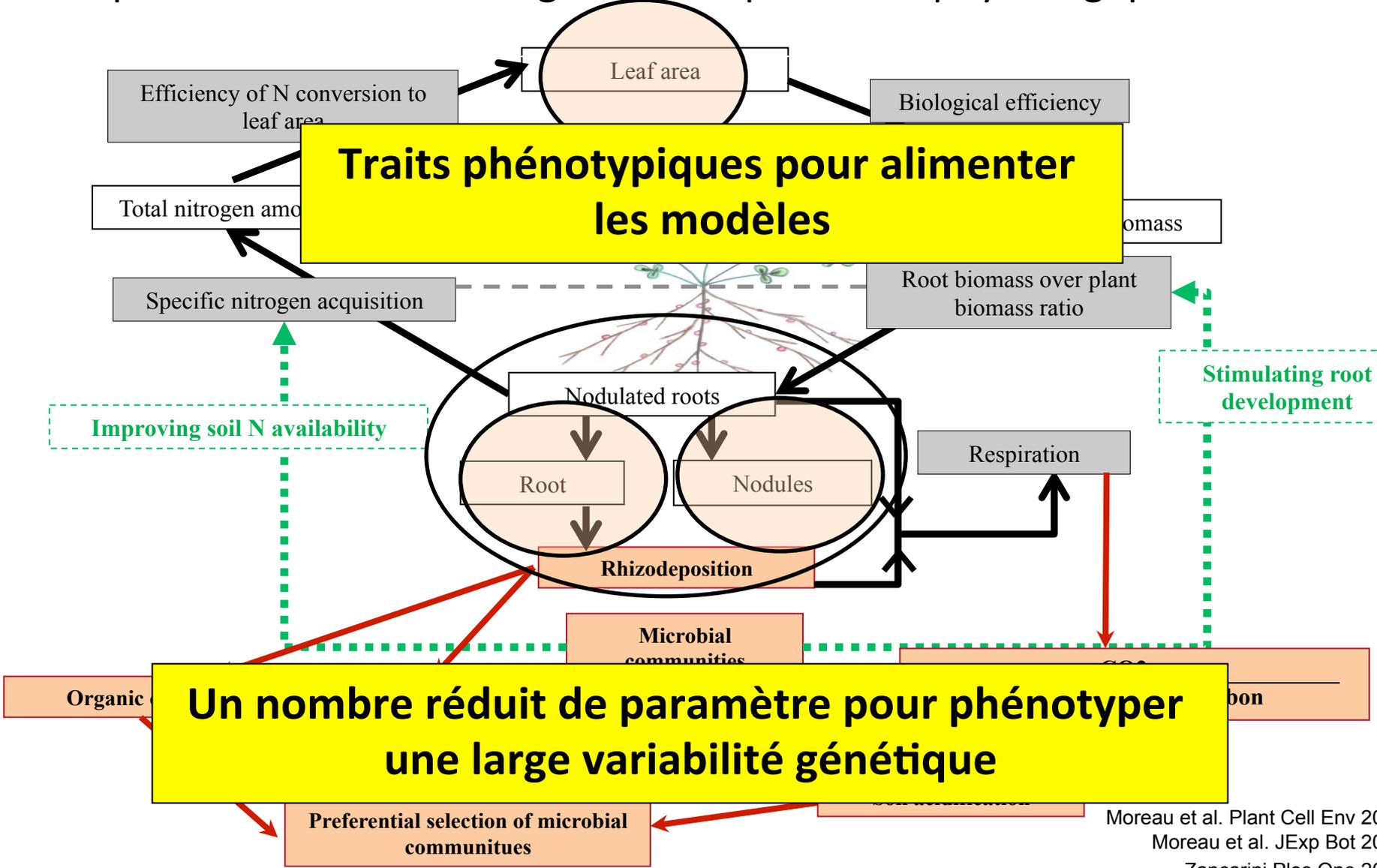
**Explorer la variabilité génétique intraspécifique :  
Pea core collection**



**Estimer la biomasse de manière non destructive**

# Modèle Intégratif: *Medicago*

Décomposer des variables intégratives en processus physiologiques

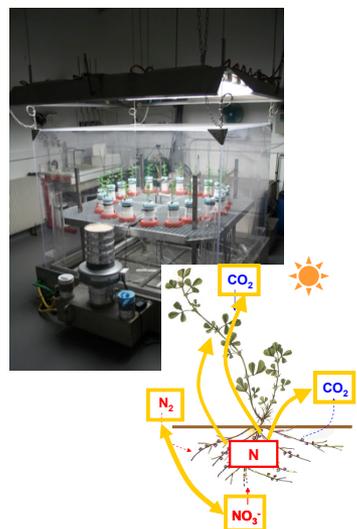


# Food for thoughts... Combiner les approches

## Phénotypage



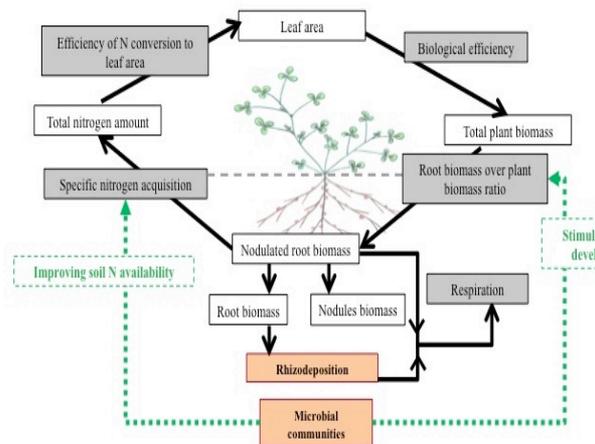
## Approche analytique



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 



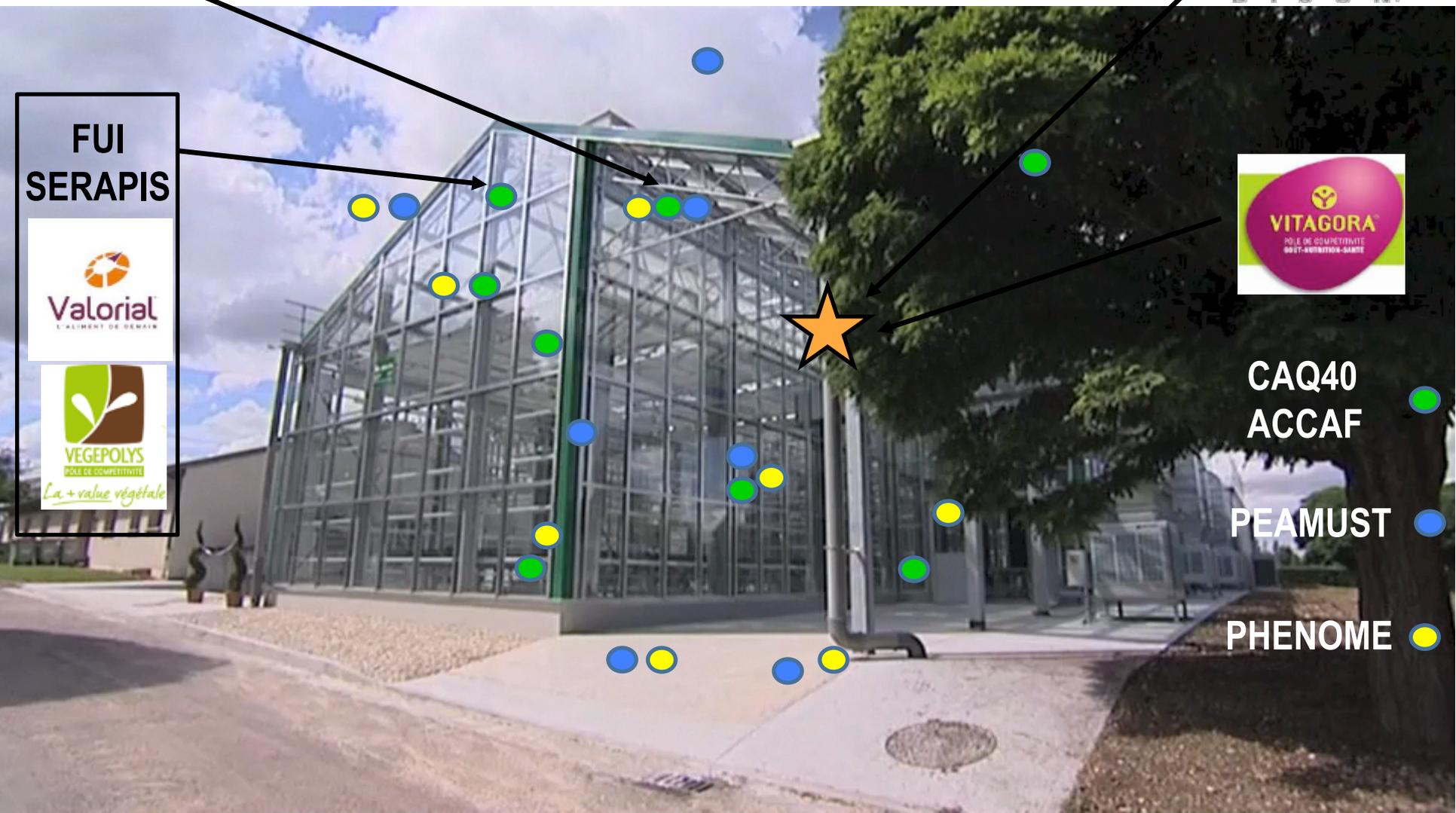
**FUI  
SERAPIS**

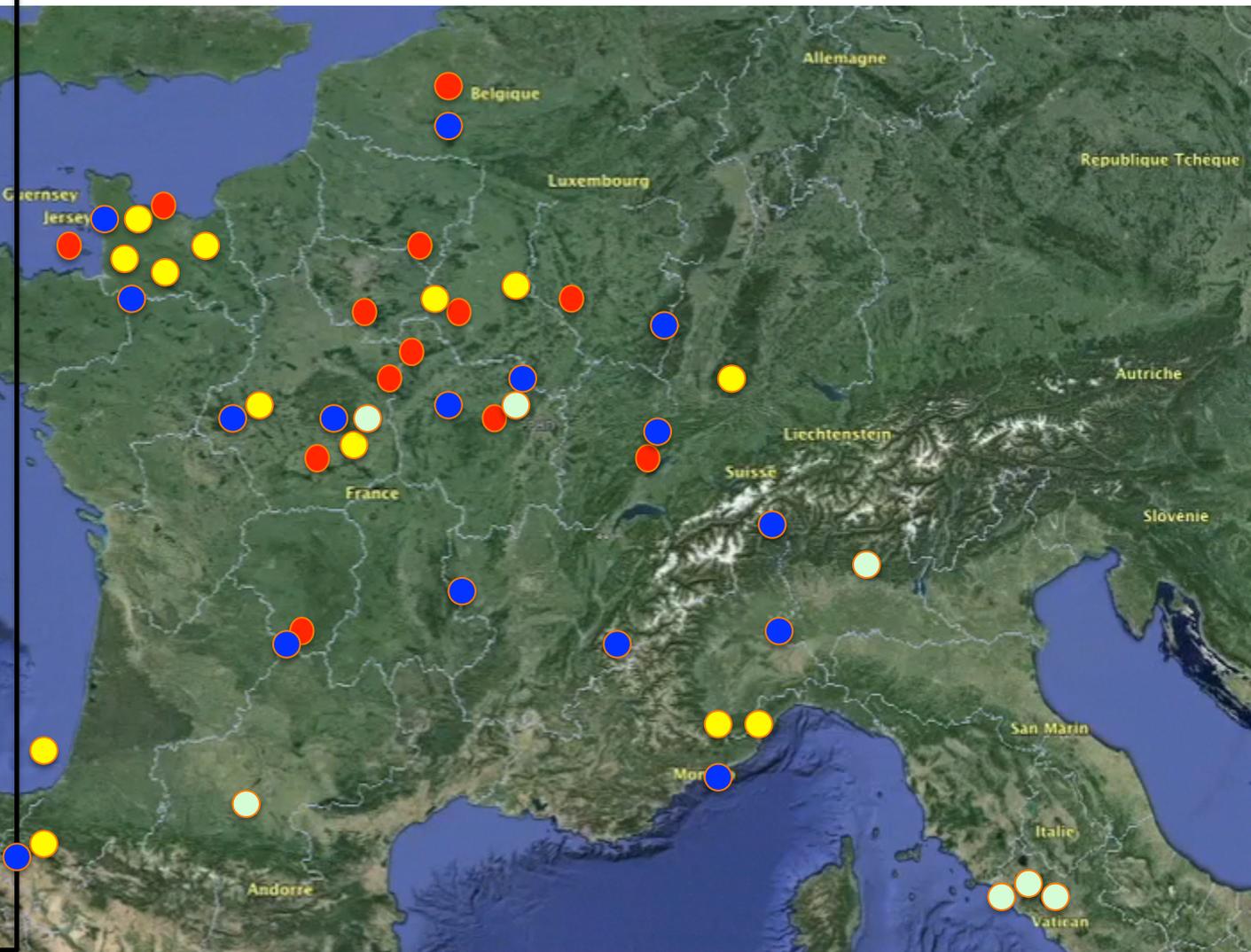


CAQ40  
ACCAF

PEAMUST

PHENOME





# *Distribution...*

**Christian JEUDY**



**Céline BERNARD**



**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

