



Carrefours de l'innovation  
agronomique



# Des Cultures Intermédiaires Multi-Services pour une production agroécologique performante

4 octobre 2017 | INP-ENSAT Auzeville | Toulouse

# Les CIMS pour améliorer la productivité en Agriculture Biologique dans les systèmes de culture assolés

Charles Raphaël<sup>1</sup>, Wendling Marina<sup>1</sup>, Büchi Lucie<sup>2</sup>, Casagrande Marion<sup>3</sup>, Celette Florian<sup>4</sup>, Fontaine Laurence<sup>5</sup>, Jouany Claire<sup>6</sup>

<sup>1</sup> FiBL Antenne romande, CH-1001 Lausanne

<sup>2</sup> Agroscope, DSR Systèmes de production Plantes, CH-1260 Nyon

<sup>3</sup> ITAB RHÔNE-ALPES Agronomie et Systèmes, F-26800 Etoile sur Rhône

<sup>4</sup> ISARA Lyon Unité Agro-écologie et Environnement (AGE), F-69364 Lyon

<sup>5</sup> ITAB PAYS DE LA LOIRE, Grandes Cultures, F- 49100 Angers

<sup>6</sup> INRA UMR AGIR, Centre INRA Occitanie-Toulouse, F-31326 Castanet-Tolosan



FiBL



INRA  
SCIENCE & IMPACT



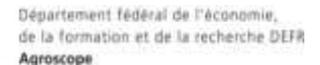
Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra



ITAB  
Institut Technique de  
l'Agriculture Biologique



isaralyon  
Une école d'ingénieurs au cœur de la vie



Département fédéral de l'économie,  
de la formation et de la recherche DEFR  
Agroscope

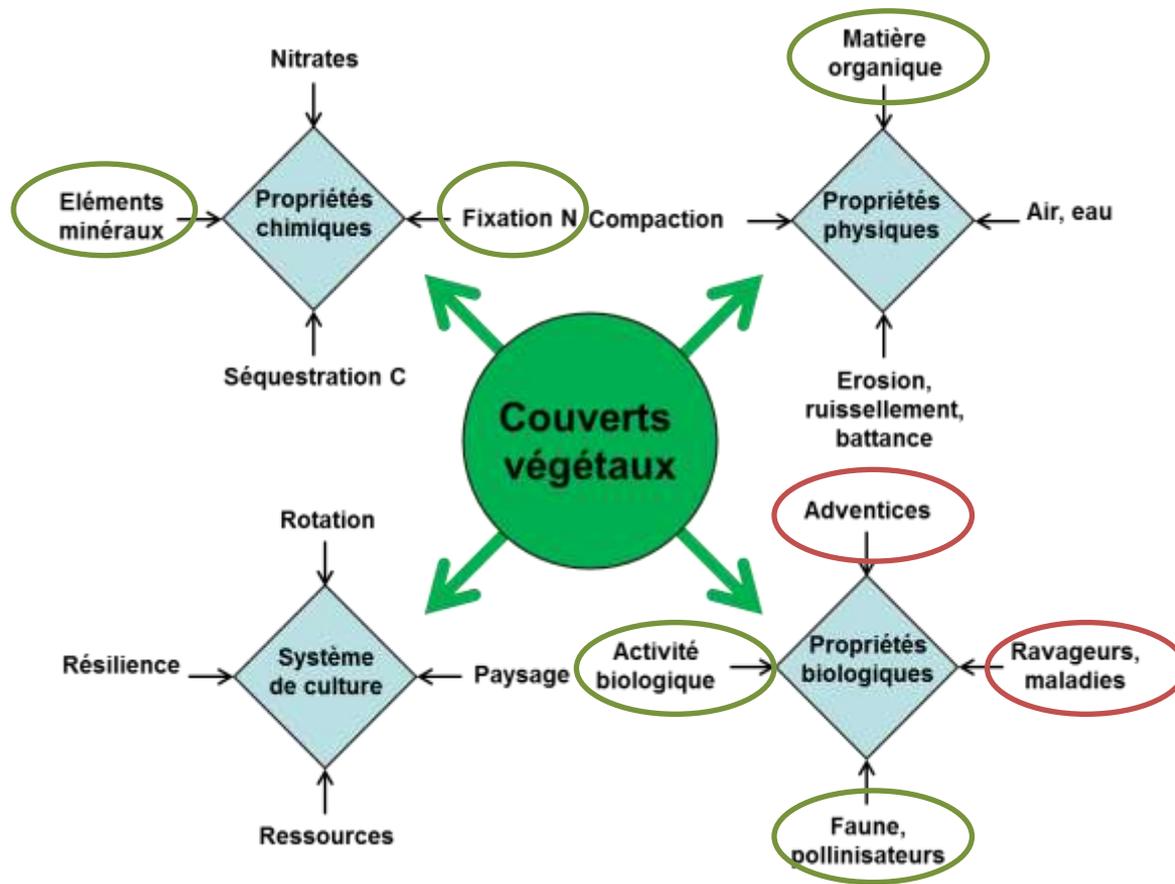


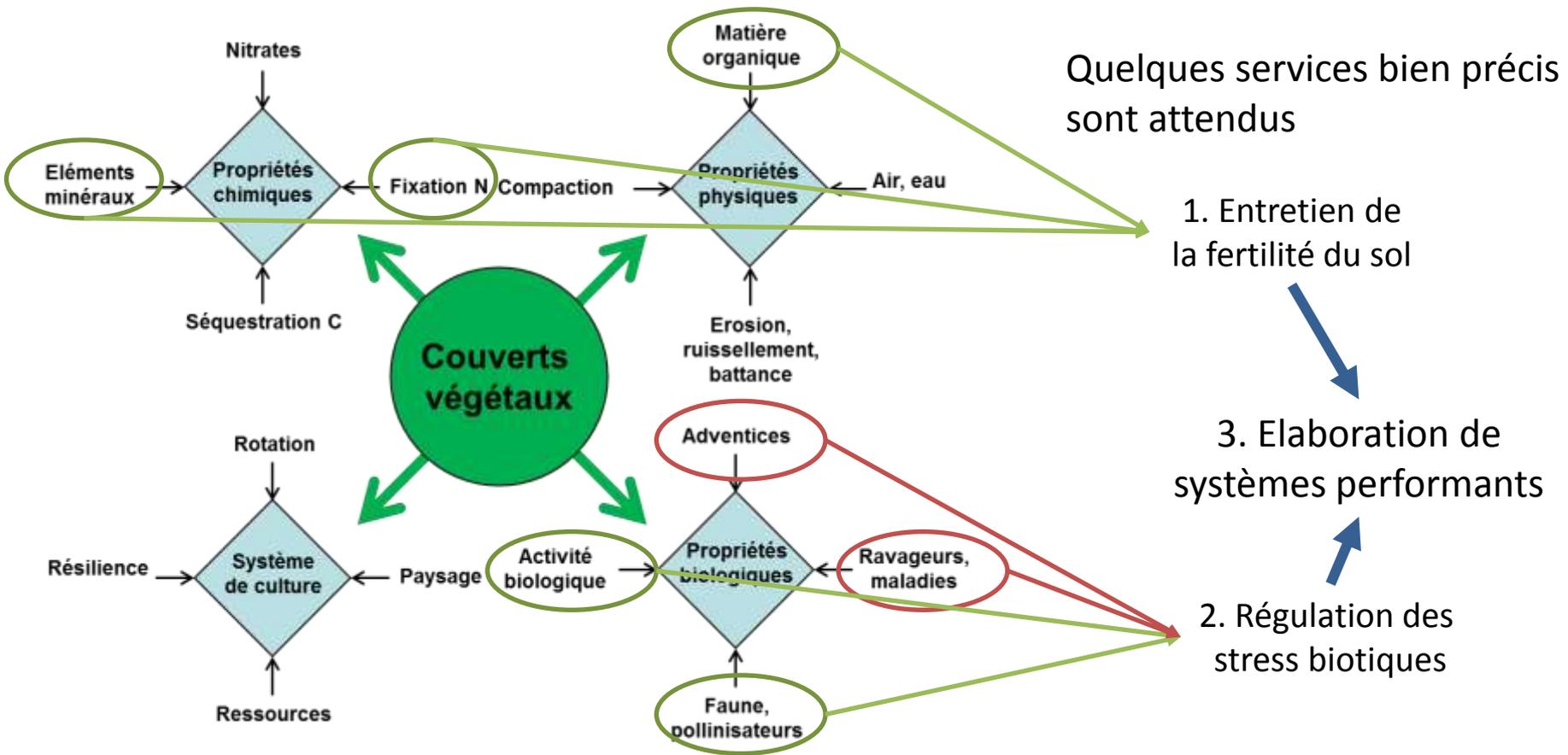
Carrefours de l'innovation  
agronomique

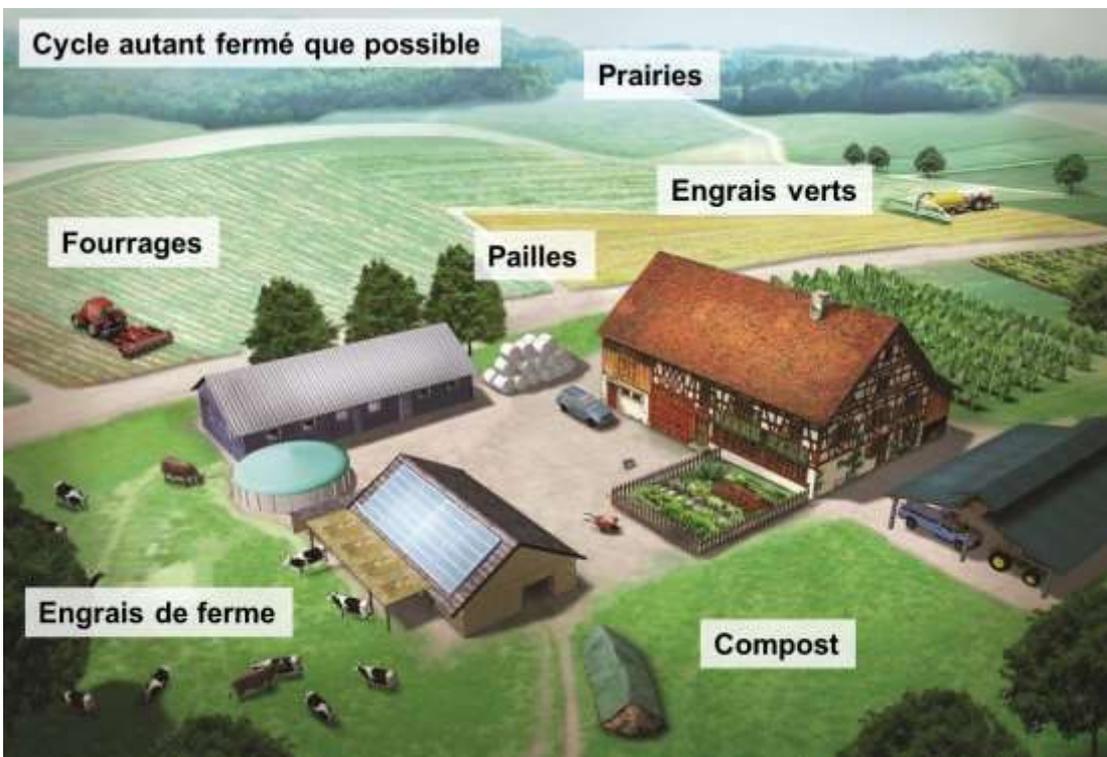


4 octobre 2017

INP-ENSAT Auzeville | Toulouse







Les CIMS pour remplacer le fonctionnement vertueux de la ferme de polyculture élevage

Les CIMS pour intensifier le fonctionnement écologique des systèmes de production

# ENTRETIEN DE LA FERTILITÉ DU SOL



Carrefours de l'innovation  
agronomique



4 octobre 2017

INP-ENSAT Auzerville | Toulouse

# Amendements organiques et sources d'azote selon les types de fermes



	Fermes herbagères	Fermes polyvalentes	Fermes grandes cultures	Fermes maraîchères
Engrais de ferme	xx	xx		
Achats eng. de ferme, composts			x	x
Compostage		x	x	x
Engrais org. comm.			x	xx
Prairies perm.	xx	x		
Prairies temporaires		xx	x	x
<b>Engrais verts</b>		x	xx	x
Légumin. à graines		x	xx	

© 2016 FiBL, Bio Suisse · Collection de transparents · 7) Production végétale · Transparent 7.6



Carrefours de l'innovation  
agronomique

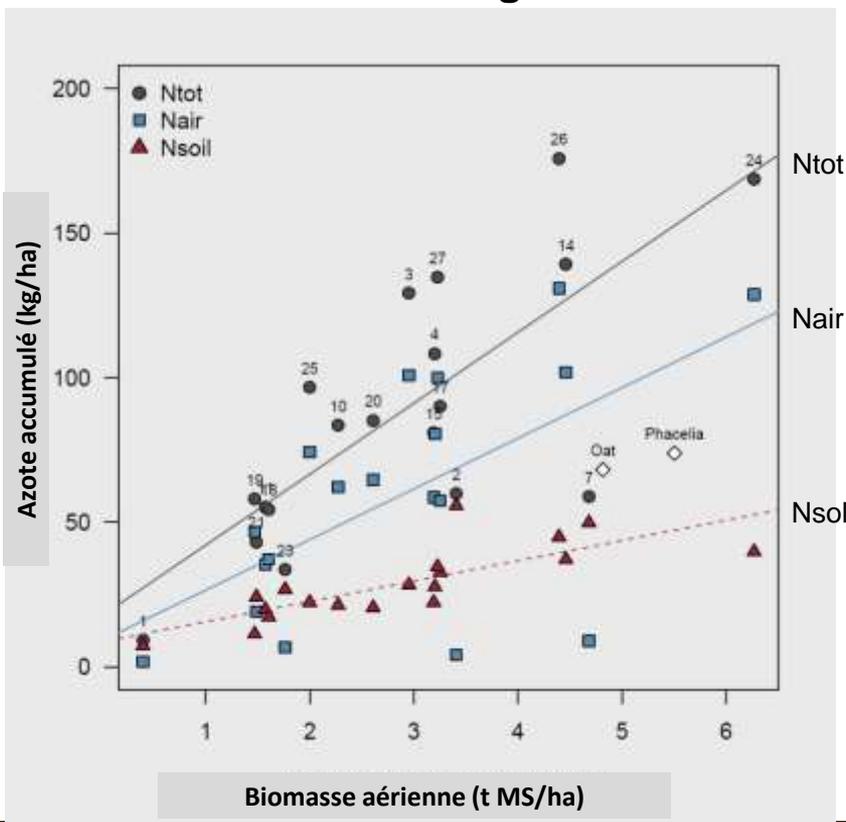


4 octobre 2017

INP-ENSAT Auzeville | Toulouse

# Rôle central des légumineuses

- 1 pois chiche
- 2 soja
- 3 gesse
- 4 lentille
- 7 lupin blanc
- 10 luzerne
- 11 mélilot
- 14 pois fourrager
- 15 trèfle
- Alexandrie
- 17 trèfle incarnat
- 18 trèfle violet
- 19 trèfle blanc
- 20 trèfle de Perse
- 21 trèfle souterrain
- 23 fenugrec
- 24 féverole
- 25 vesce de Hongrie
- 26 vesce commune
- 27 vesce d'hiver
- phacélie
- avoine (oat)



# Rapport C/N, entrée hiver

Espèce	C/N
pois	12-15
féverole	16-18
vesce	10-11
t. Alexandrie	17-19
lupin blanc	27-38
phacélie	33-38
avoine	32-41



*Gebhard et al., 2013*

*Büchi et al., 2015*



Carrefours de l'innovation  
agronomique

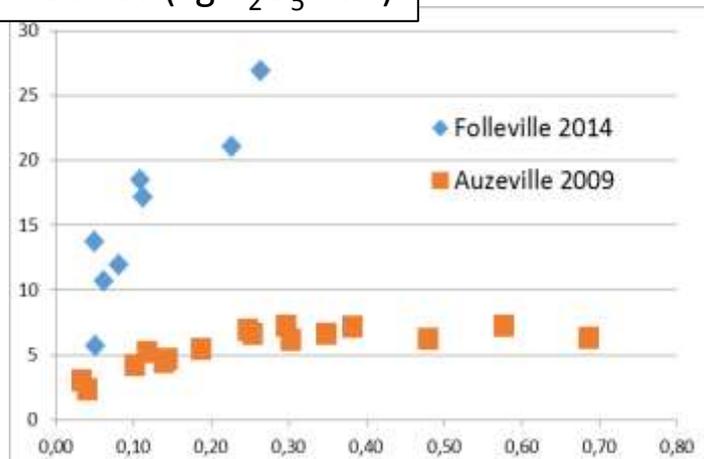


4 octobre 2017

INP-ENSAT Auzeville | Toulouse

## Les autres nutriments comptent également !

P immobilisé (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>)



P de la solution du sol (mg P l<sup>-1</sup>)

Effet site: effet biomasse  
0,7 t MS ha<sup>-1</sup> à Auzeville  
3,0 t MS ha<sup>-1</sup> à Folleville

Folleville : 6 à 25 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>  
Auzeville : 2 à 7 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>

Folleville 20 +/- 9 kg N ha<sup>-1</sup>  
Auzeville 28 +/- 3 kg N ha<sup>-1</sup>

- **P dans la CIMS augmente avec la disponibilité du P**
- N dans la CIMS est indépendante de la disponibilité du P



Carrefours de l'innovation  
agricole



4 octobre 2017

INP-ENSAT Auzeville | Toulouse



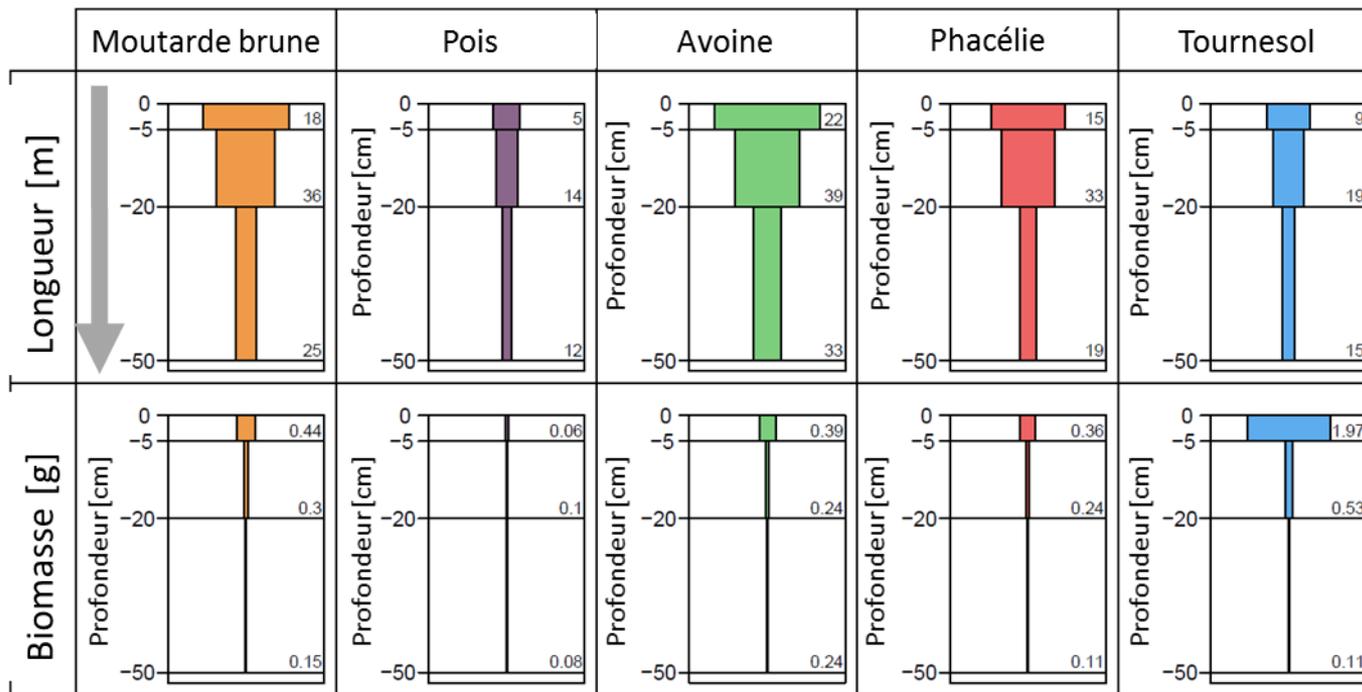
Carrefours de l'innovation  
agronomique



4 octobre 2017

INP-ENSAT Auzerville | Toulouse

# Système racinaire



*Wendling et al., 2016*



Carrefours de l'innovation  
agronomique



4 octobre 2017

INP-ENSAT Auzerville | Toulouse

### Groupe 'biomasse'

↑ biomasse racinaire  
↑ densité des tissus  
↑ diamètre  
↑ surface racinaire  
↓ [P], → [K] and [Ca]  
↑ biomasse aérienne

### Groupe 'intermédiaire'

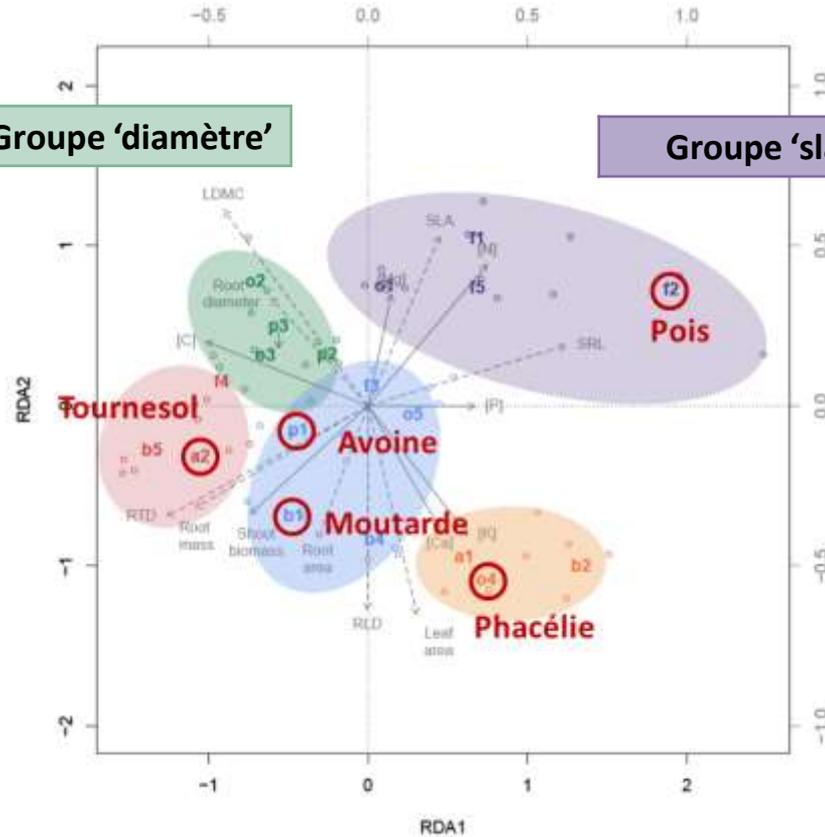
↑ longueur et surface  
↑ biomasse racinaire  
↑ densité des tissus  
→ [P], [K] and [Ca]  
↑ biomasse aérienne

### Groupe 'diamètre'

### Groupe 'sla'

### Groupe 'longueur'

↑ longueur racinaire  
↑ surface foliaire et racinaire  
↑ [P], [K] and [Ca]  
→ biomasse aérienne



Wending et al., 2016



Carrefours de l'innovation  
agronomique



4 octobre 2017

INP-ENSAT Auzeville | Toulouse



# RÉGULATION DES STRESS BIOTIQUES, BIODIVERSITÉ



Carrefours de l'innovation  
agronomique



4 octobre 2017

INP-ENSAT Auzerville | Toulouse

# Contrôle des adventices: trouver le compromis

Interculture: période de lutte contre les vivaces, les repousses, les graminées

- date de semis des CIMS
- limitations des services

Empêcher la multiplication générative des adventices

Intégration dans le système de culture

- Mécanismes (concurrence ressources, modification milieu) non impactant sur la culture suivante
- Compatibilité avec la gestion de l'azote de la culture suivante
- Sans effet sur le désherbage de la culture suivante (résidus)

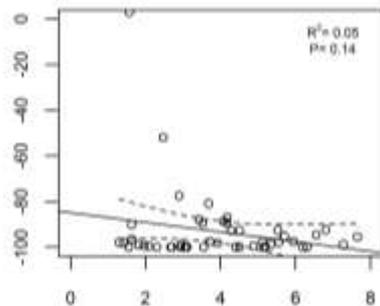
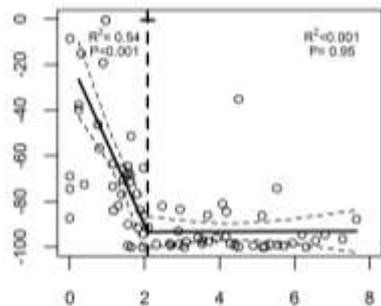


# Couverts de légumineuses et adventices: service - dyservice ?

## Contrôle des adventices dans des cultures relais

Fin de l'été (Septembre)

Destruction du couvert (Février)

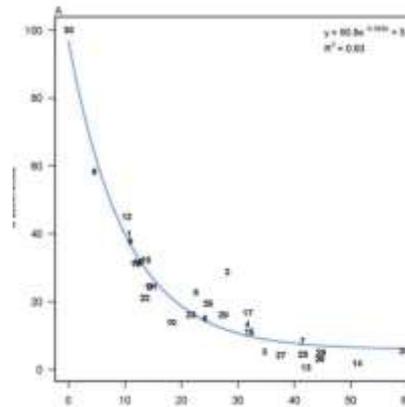


Biomasse des légumineuses en Septembre ( t ha<sup>-1</sup>)

*Vrignon et al, 2016b*

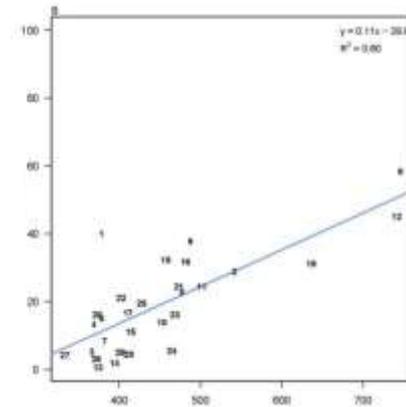
## Adventices (entrée hiver) en fonction du développement du couverts de

Adventices (% couverture)



Biomasse couvert  
(q MS /ha)

*Gebhard et al., 2013*



Temps pour atteindre 35%  
de couverture (degrés-  
jours)



Carrefours de l'innovation  
agronomique



4 octobre 2017

INP-ENSAT Auzeville | Toulouse

# Fatigue des légumineuses

Racines des pois protéagineux (variété Isard) croissants dans le sol traité à la chaleur (gauche) ou non traité (droite).



Sol: bonne activité biologique, taux d'humus passé de 2,2% en 2004 à 3,6% en 2014.

Pas de bétail, pas de prairie temporaire.

Légumineuses présentes dans la rotation pratiquement chaque année dans les engrais verts complexes.

*Fuchs et al., 2015*

Culture pois/orge de 2014, cause possible : effet du mélange GPS 2012 qui contenait des pois et des pois de senteur.



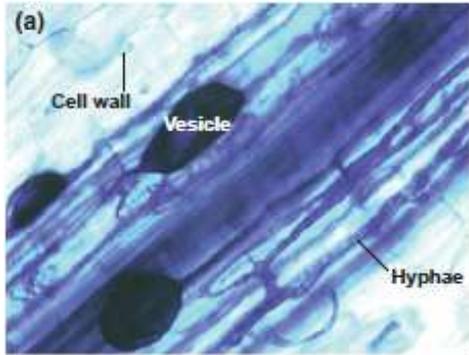
Carrefours de l'innovation  
agronomique



4 octobre 2017

INP-ENSAT Auzerville | Toulouse

# Support à la vie du sol, en particulier pour la nutrition des plantes et un biocontrôle par conservation



Champignon mycorrhizien arbusculaire colonisant une racine de trèfle

*van der Heijden et al., 2015*



Contribution à la biodiversité de l'exploitation agricole

*Graf et al., 2016*



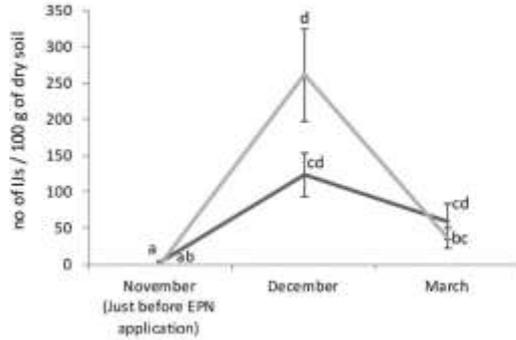
Carrefours de l'innovation  
agronomique



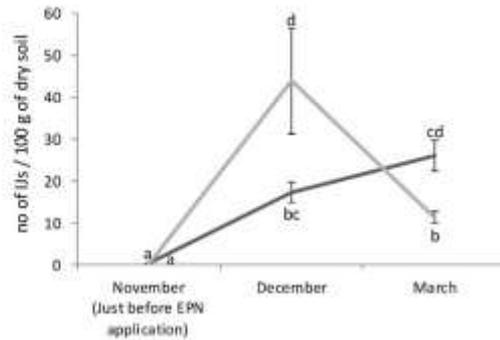
4 octobre 2017

INP-ENSAT Auzerville | Toulouse

*H. bacteriophora* applied

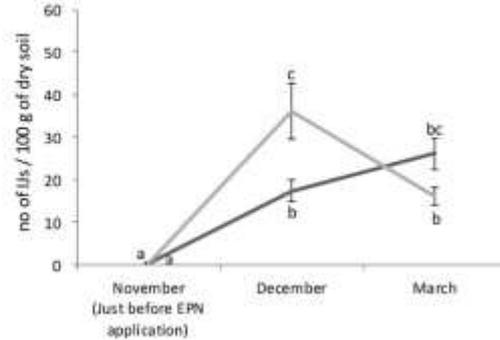
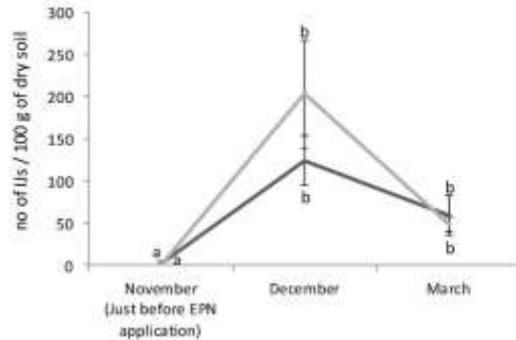


*S. feltiae* applied

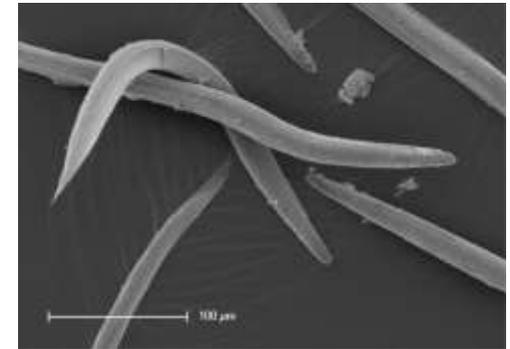


Moutarde

Soutien au biocontrôle par augmentation.  
Influence des couverts végétaux (pois et moutarde) sur l'abondance des nématodes entomopathogènes selon la période et l'espèce augmentée  
*Jaffuel et al., 2017*



Pois



# ELABORATION DE SYSTÈMES DE CULTURE PERFORMANTS

Choix des espèces  
Intégration dans la rotation  
ABC  
Elaboration de systèmes complexes



Carrefours de l'innovation  
agronomique



4 octobre 2017

INP-ENSAT Auzeville | Toulouse

*Un cahier technique  
Un recueil de fiches espèces (≈ 40)*

## Clés pour choisir et réussir les couverts végétaux en interculture en AB

- Choisir son couvert végétal
- Les mélanges
- Réussir l'implantation
- Détruire le couvert
- Méthode de choix

(2012)

<http://www.itab.asso.fr/downloads/com-agro/agro-cahier-couverts-vgtx.pdf>

[http://www.itab.asso.fr/downloads/Fiches-techniques\\_culture/fiches\\_especes\\_engraisverts\\_2017.pdf](http://www.itab.asso.fr/downloads/Fiches-techniques_culture/fiches_especes_engraisverts_2017.pdf)



Carrefours de l'innovation  
agronomique

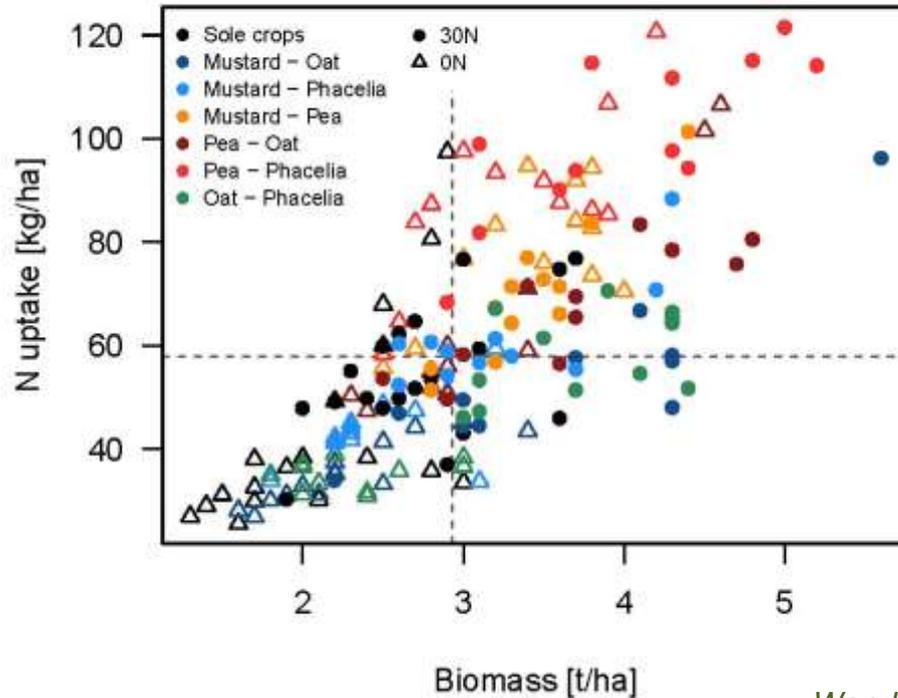


4 octobre 2017

INP-ENSAT Auzerville | Toulouse

**ITAB**  
Institut Technique de  
l'Agriculture Biologique

## Choix des couverts: biomasse et azote

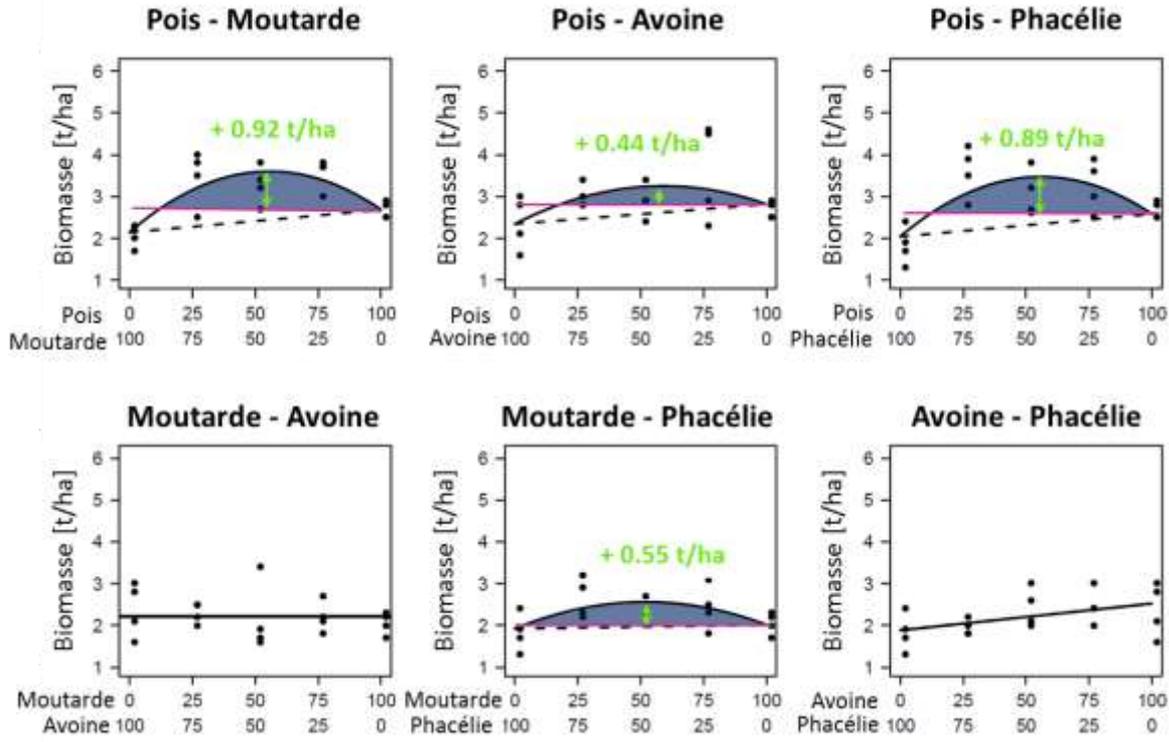


Absorption d'azote en fonction de la biomasse pour des cultures pures ou en association, en situation peu fertile ( $\Delta$ ) ou fertilisée ( $\circ$ )

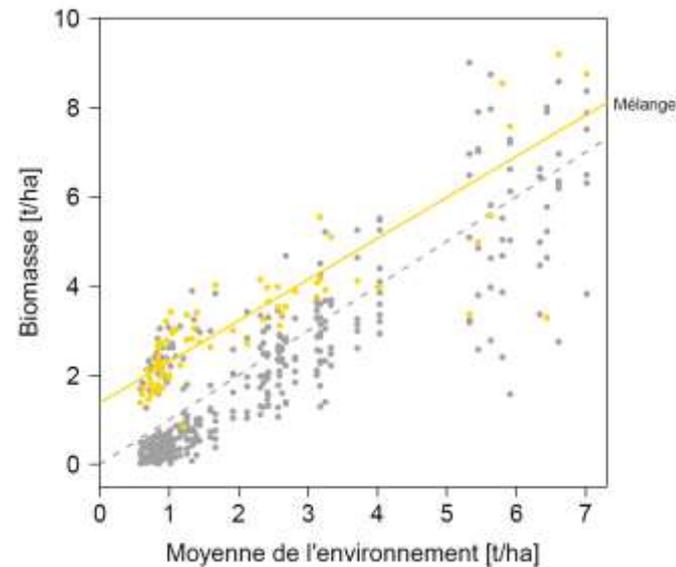
**Deux évidences à rappeler !**  
**Intérêt des mélanges**  
**Intérêt des légumineuses**

*Wendling et al., 2017*





## Mélange complexe 11 espèces



*Wendling et al., 2017*



Carrefours de l'innovation  
agronomique

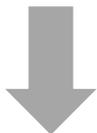


4 octobre 2017  
INP-ENSAT Auzeville | Toulouse

**Espèces pures**



**Mélanges bispécifiques**



**Mélanges multi-  
espèces**

Fonctions très spécifiques, par exemple fixation symbiotique, allélopathie ou encore accumulation élevée de nutriments

Généralement plus productifs que les espèces pures

Règles d'association permettant une bonne performance :

- Milieu peu fertile : complémentarité, facilitation
- Milieu fertile : capacités de compétition similaires, densité

Mélanges multi espèces ne sont pas les plus productifs

→ Mais nécessaires pour assurer une bonne performance dans des conditions de croissance fluctuantes, en particulier en bio

*Wendling et al., 2017*



# ELABORATION DE SYSTÈMES PERFORMANTS



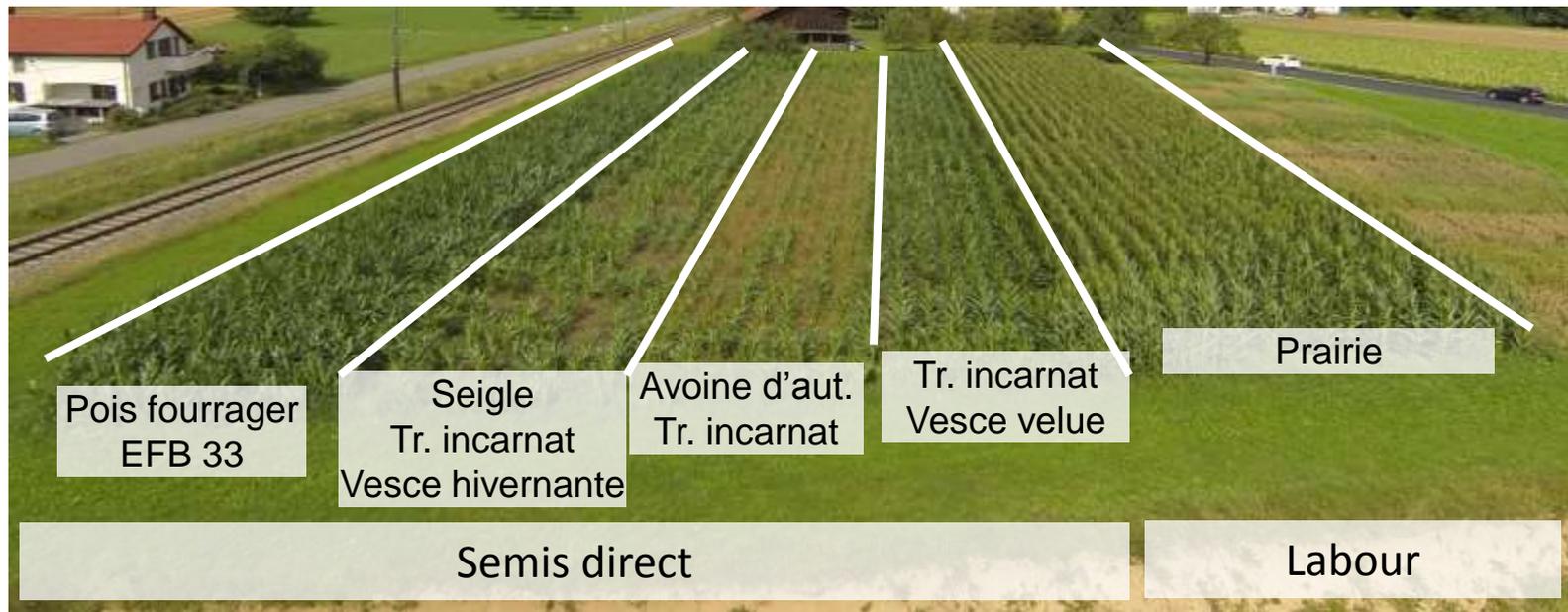
Carrefours de l'innovation  
agronomique



4 octobre 2017

INP-ENSAT Auzeville | Toulouse

# De l'AC à l'ABC



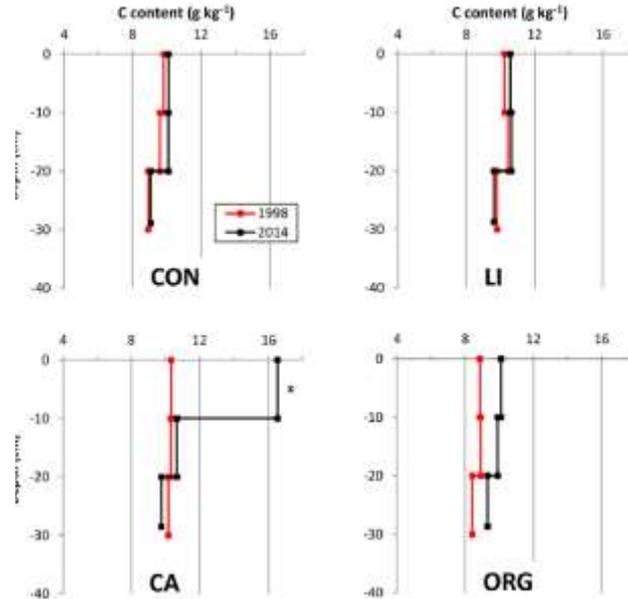
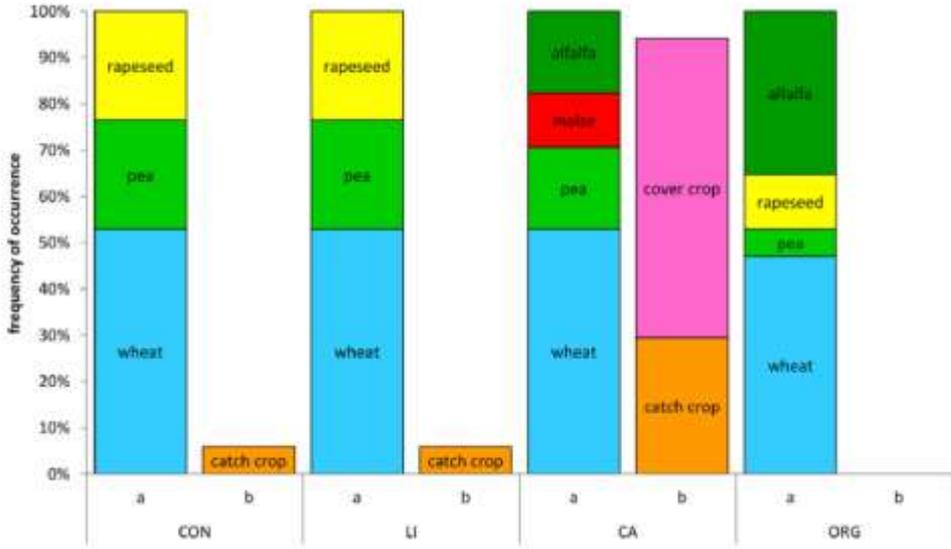
*Böhler et al., 2014. Essais de Mellikon*

# Peu de référentiel à long terme des couverts dans les systèmes de culture

Comparaison de 4 Systèmes de culture essai de La cage, INRA, Grignon; 1998-2014

Evolution des teneurs en C sur 0-40 cm

Fréquence des cultures dans la rotation (%)



# Place des CIMS dans la rotation

Essai DOC

Année	1 <sup>ère</sup> PRC 1978-1984	2 <sup>ème</sup> PRC 1985-1991	3 <sup>ème</sup> PRC 1992-1998	4 <sup>ème</sup> PRC 1999-2005	5 <sup>ème</sup> PRC 2006-2012	6 <sup>ème</sup> PRC 2013-2019
1	Pdt Engrais vert	Pdt Engrais vert	Pdt	Pdt	Maïs d'ensilage	Maïs d'ensilage
2	Blé d'automne 1 Dérobée	Blé d'automne 1 Dérobée	Blé d'automne 1 Dérobée	Blé d'automne 1 Engrais vert	Blé d'automne 1 Engrais vert	Soja Engrais vert
3	Chou blanc	Betterave rouge	Betterave rouge	Soja Engrais vert	Soja Engrais vert	Blé d'automne 1 Engrais vert
4	Blé d'automne 2	Blé d'automne 2	Blé d'automne 2	Maïs d'ensilage	Pdt	Pdt
5	Orge d'automne	Orge d'automne	Prairie temporaire I	Blé d'automne 2	Blé d'automne 2	Blé d'automne 2
6	Prairie temporaire I	Prairie temporaire I	Prairie temporaire II	Prairie temporaire I	Prairie temporaire I	Prairie temporaire I
7	Prairie temporaire II	Prairie temporaire II	Prairie temporaire III	Prairie temporaire II	Prairie temporaire II	Prairie temporaire II



# Systemes complexes: associer blé et des légumineuses de services à long terme



Carrefours de l'innovation  
agronomique



4 octobre 2017

INP-ENSAT Auzerville | Toulouse

Semis de la céréale

Récolte

Céréale

+  
Légumineuse

*Semis sous couvert vivant*

*Association simultanée*

*Association-relais*

Régulation  
Protection

Fonction dominante

Complémentarité

Date d'implantation de la légumineuse

*Maximise les interactions avec l'agro-écosystème*

*Minimise la compétition avec la céréale  
Maximise les services «ultérieur»*



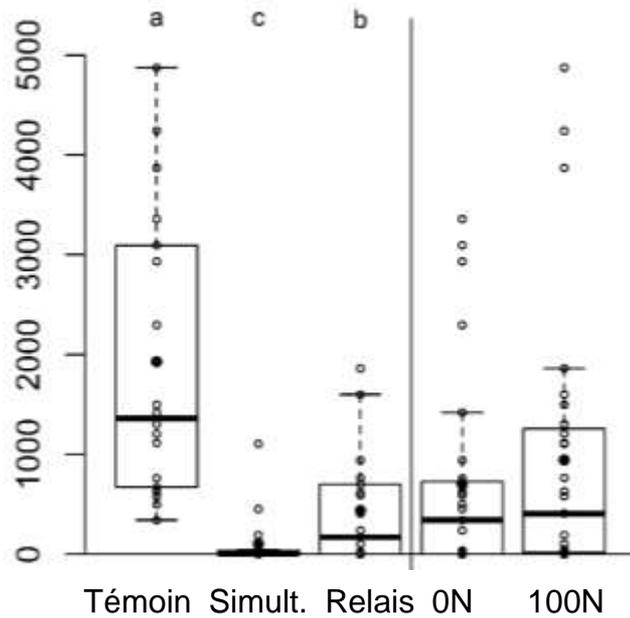
Carrefours de l'innovation  
agronomique



4 octobre 2017

INP-ENSAT Auzeville | Toulouse

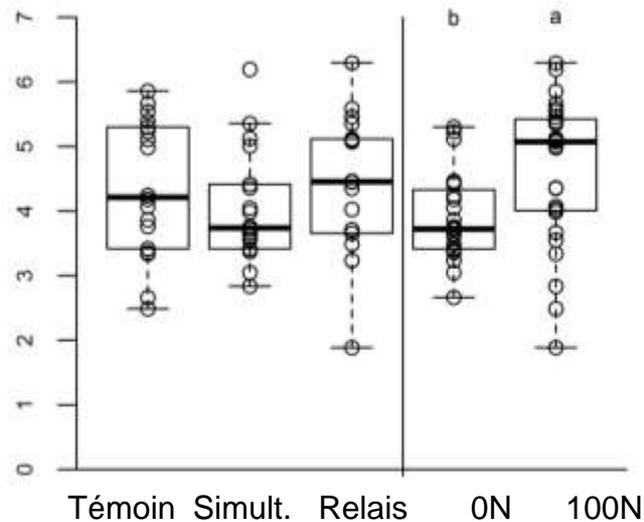
Biomasse des **adventices** (kg ha<sup>-1</sup>) en fonction du couvert et de la fertilisation



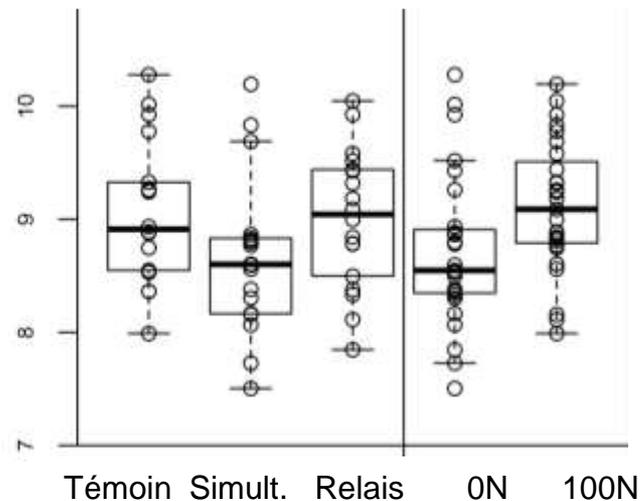
*Vrignon et al, 2016a*



## Rendement du blé ( $t\ ha^{-1}$ ) en fonction du couvert et de la fertilisation



## Teneur en protéines (%) en fonction du couvert et de la fertilisation

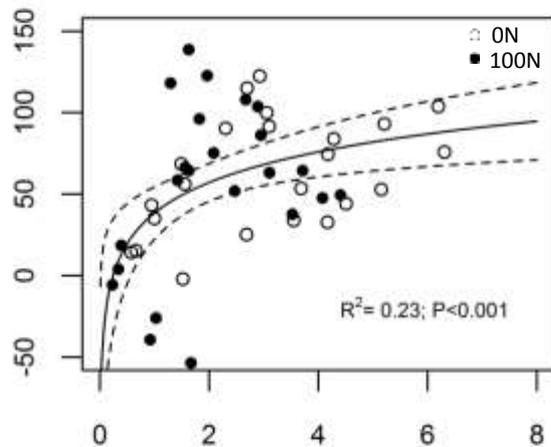
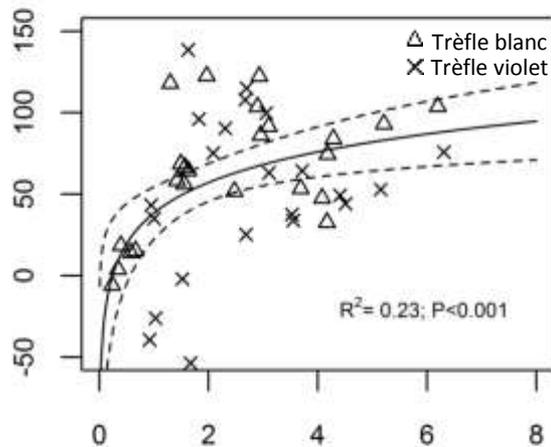


*Vrignon et al, 2016a*



## Restitution d'azote à la culture suivante de maïs

Gain d'azote dans le maïs par rapport au témoin sans couvert ( $\text{kg N ha}^{-1}$ )



Biomasse des légumineuses en Septembre ( $\text{t ha}^{-1}$ )

*Vrignon et al, 2016b*



Carrefours de l'innovation  
agronomique



4 octobre 2017

INP-ENSAT Auzerville | Toulouse

## Principaux éléments à retenir: choix des couverts végétaux les plus adaptés en interculture en AB

- Importance de préciser et prendre en compte les **variétés** pour une espèce donnée car les services peuvent varier.
- Les **mélanges d'espèces** stabilisent et augmentent les performances. Un mélange de 4/5 espèces semble optimal.
- Des besoins de **screening** ressortent (espèces + variétés).
- OAD : **pas de besoin d'outils spécifiques bio**, mais il faut être attentif à ce que les pratiques de la bio soient bien intégrées aux outils existants. A voir aussi la pertinence en cultures légumières des outils existants (orientés GC)

Groupe de travail national « Couverts végétaux en interculture en AB »  
Animation : ITAB avec l'appui du Réseau AB des Chambres d'Agriculture



## Principaux éléments à retenir: sur la base des travaux sur les légumineuses dans un blé et avant maïs

- La participation au contrôle de la flore adventice fonctionne dans le cas de parcelles faiblement enherbées. Pratique à éviter en situation de salissement.
- Le couvert participe à restituer de l'azote à la culture suivante (maïs en l'occurrence).
- Que ce soit pour le contrôle des adventices ou la restitution d'azote, la condition de réussite de ces services est d'obtenir un couvert bien développé (> 2t/ha de biomasse en fin d'été dans les essais suivis).
- Le pilotage du couvert (et donc de sa réussite) est complexe, car de nombreux leviers interviennent : types de couvert, densité et date d'implantation, conduite du système.

Groupe de travail national « Couverts végétaux en interculture en AB »  
Animation : ITAB avec l'appui du Réseau AB des Chambres d'Agriculture



## Principaux éléments à retenir: pistes de recherche

1. Choix du couvert (screening) : espèces, variétés, **mélanges**
2. Effets des couverts : sur les **adventices**, sur la **fertilité** du sol
3. Insertion dans les rotations (intensification de leur insertion, gestion de la « fatigue » des légumineuses)
4. Itinéraire technique : **implantation**, destruction...

Groupe de travail national « Couverts végétaux en interculture en AB »  
Animation : ITAB avec l'appui du Réseau AB des Chambres d'Agriculture



# Merci de votre attention !



**FiBL**

**ITAB**  
Institut Technique de  
l'Agriculture Biologique

 **INRA**  
SCIENCE & IMPACT

 **isaralyon**  
Une école d'ingénieurs au cœur de la vie

 Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'économie,  
de la formation et de la recherche DEFR  
**Agroscope**



Carrefours de l'innovation  
agricole

 **INRA**  
SCIENCE & IMPACT

4 octobre 2017

INP-ENSAT Auzeville | Toulouse