



## Des associations végétales pour reconcevoir les systèmes de culture agroécologiques : *couverts intermédiaires multi-services et cultures associées*

- Eric Justes, Laurent Bedoussac, Etienne-P. Journet, Lionel Alletto, Hélène Tribouillois, Antoine Couëdel, Loïc Viguier



UMR AGIR INRA/INPT Toulouse-Auzeville  
Equipe VASCO



# Les associations végétales : définition et exemples

- Une association est la culture simultanée de deux espèces ou plus sur la même surface pendant une période significative de leur croissance (Willey, 1979)
- Une définition qui recouvre une diversité de systèmes :



Cultures annuelles



Systèmes prairiaux



Agroforesterie



Sylvopastoralisme



Arbres - Arbustes

- Principes de l'écologie (ex: interactions, diversité, services écosystémiques)
- Pratique traditionnelle plus ou moins répandue (PVD vs. Europe ; Alim. A. vs. H.)



**Cela ressemble à quoi une culture associée ?**



**Association  
tournesol - soja**



**Association  
triticale - fèverole**



**Association  
blé dur - pois**



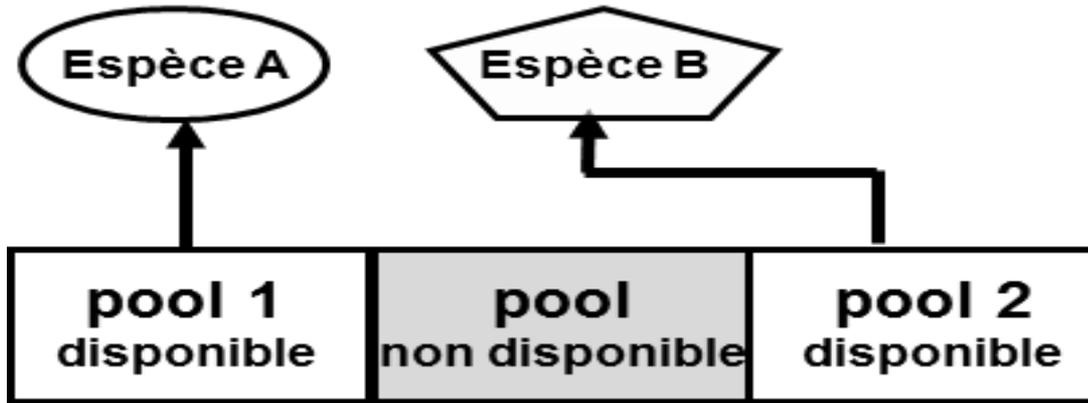
# Complémentarité de niche dans les associations

D'après : Garnier et Navas (2011) ; Chesson (2000) ; Fridley (2001)

- La complémentarité de niche correspond à :
  - L'utilisation d'une même ressource de façon différée dans le temps ou dans l'espace
  - L'exploitation de formes biogéochimiques différentes



Parc à *Faidherbia albida*

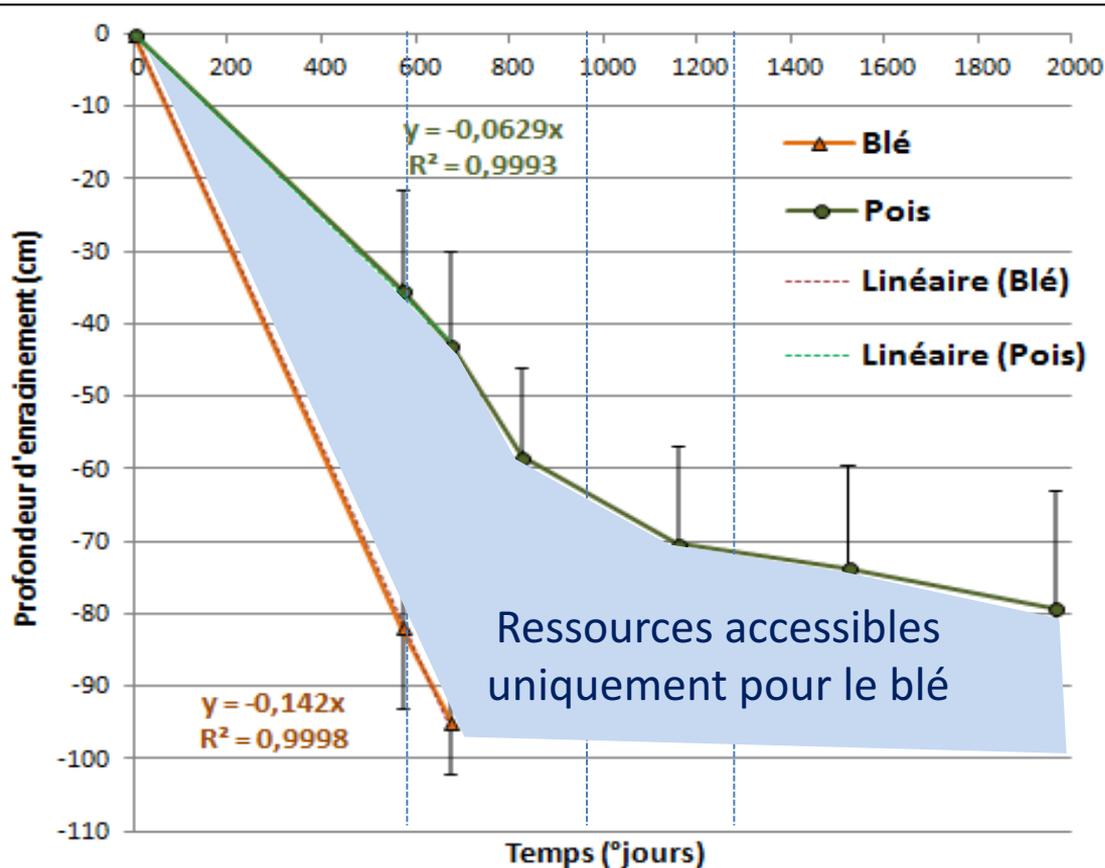


Association blé dur-féverole





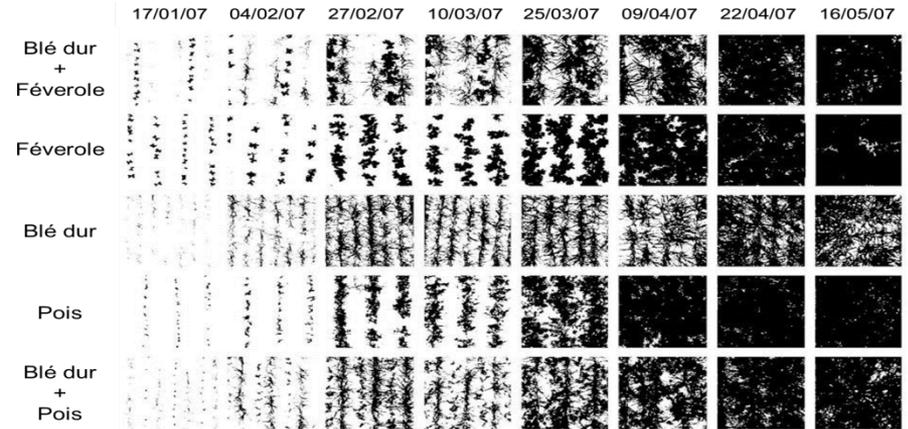
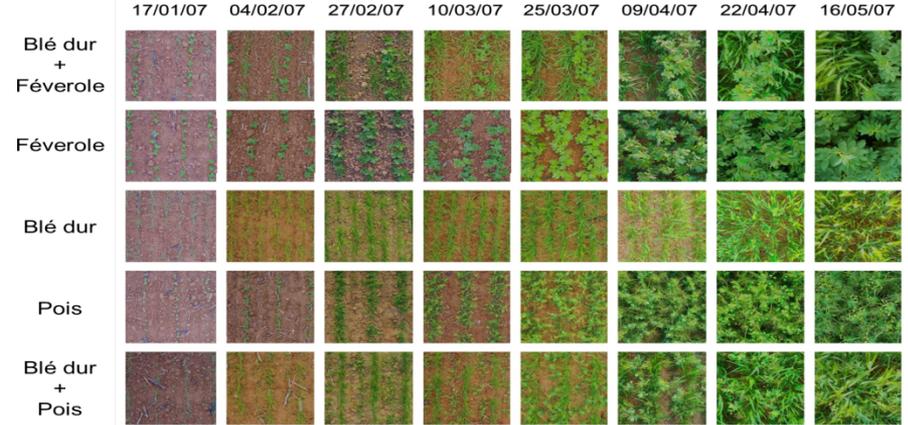
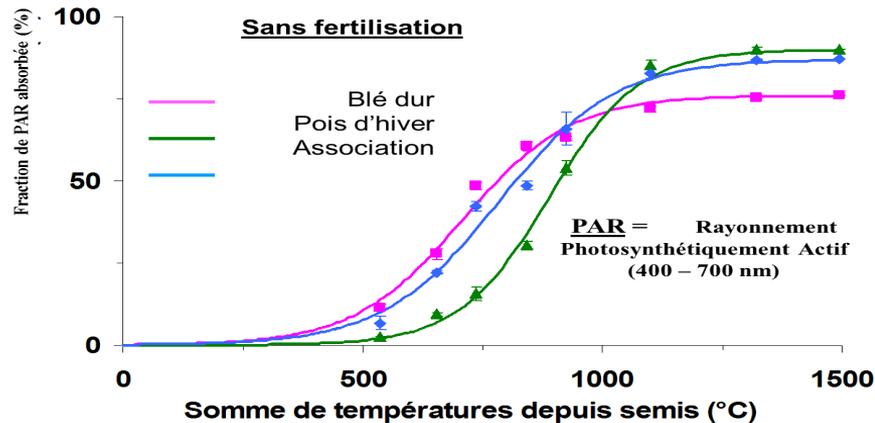
# Complémentarité pour l'accès aux ressources du sol



- Développement racinaire rapide
- Complémentarité de niche pour l'exploration souterraine
- Dynamique de développement racinaire mal connu
- Existe-t-il des différences variétales ?
- Privilégier un développement en profondeur ou une densité racinaire ?



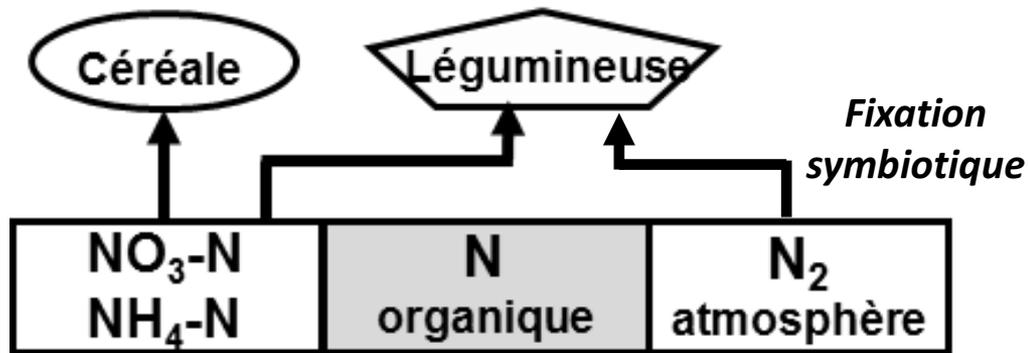
# Complémentarité pour l'utilisation de la lumière



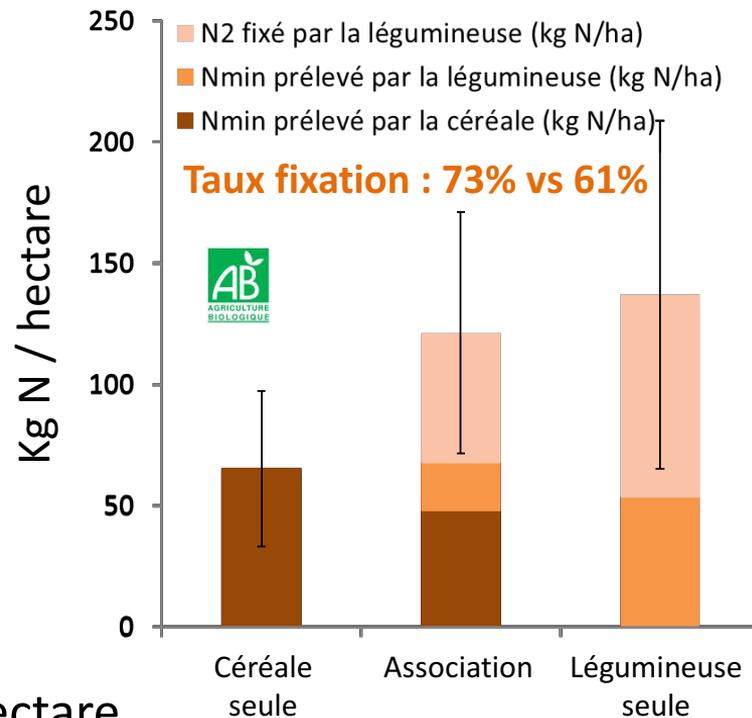


# Le plus souvent : compétition et complémentarité

Adapté de Bedoussac et al., *Agronomy for Sustainable Development* (2015)



- Compétition entre céréale et légumineuse pour l'acquisition de l'N minéral du sol
- Complémentarité de niche entre céréale et légumineuse (Nmin vs  $\text{N}_2$ )
- Plus de  $\text{N}_2$  fixé/plante mais moins de  $\text{N}_2$  fixé/hectare



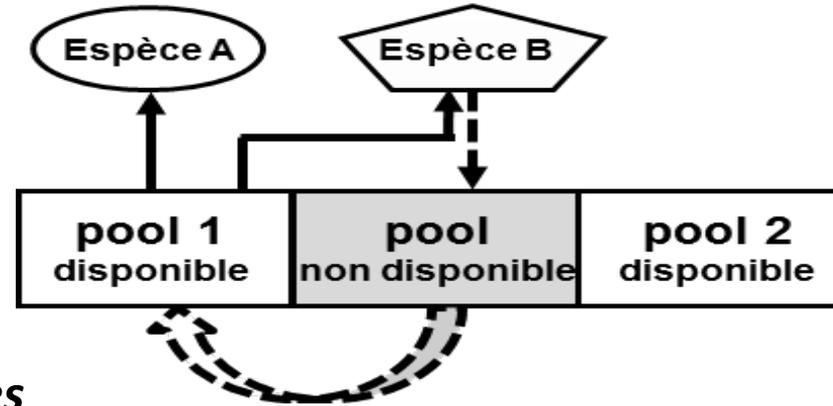


# Facilitation : accéder à des ressources inaccessibles

- La facilitation correspond au cas où une espèce augmente la croissance ou la survie de l'espèce qui lui est associée (Callaway, 1995) à travers l'amélioration des conditions environnementales (température, ombre, disponibilité des ressources, ...)

- Soit de façon directe :  
interactions plante-plante
- Soit de façon indirecte :  
interactions via les communautés microbiennes et mycorhizes du sol

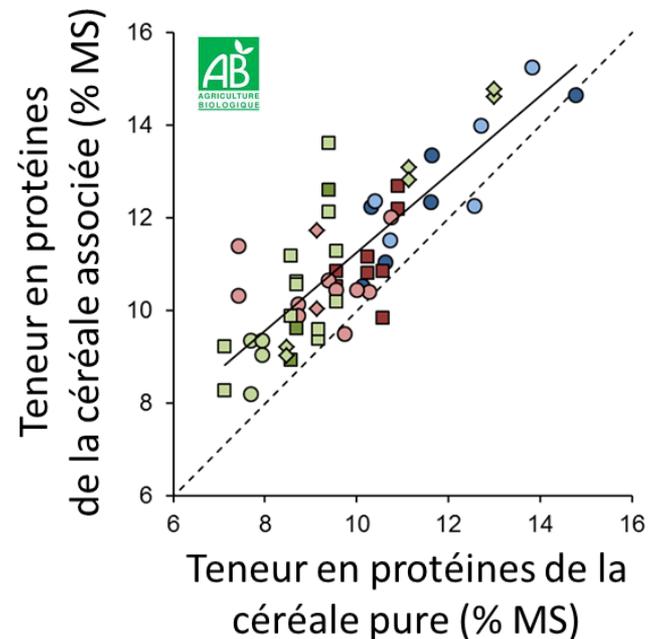
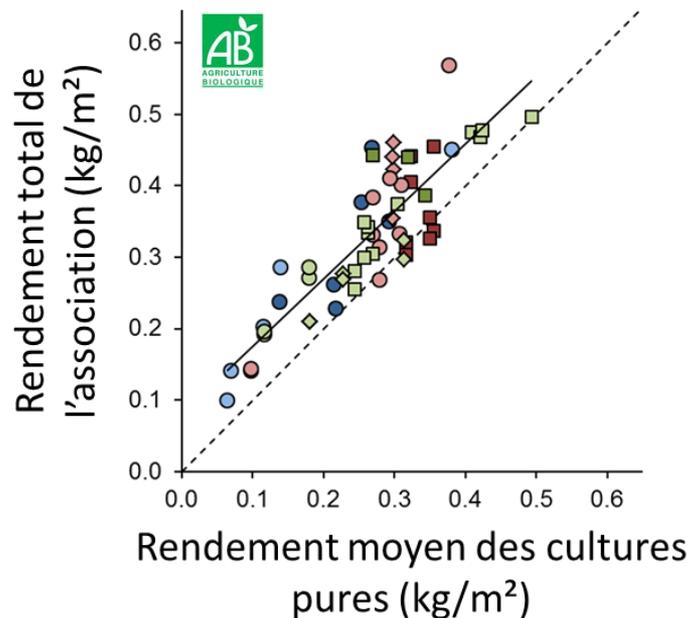
***se produit surtout en couverts pérennes***





# Complémentarité, compétition et facilitation pour accroître les rendements et la qualité des grains

D'après : *Bedoussac et al., Agronomy for Sustainable Development (2015)*



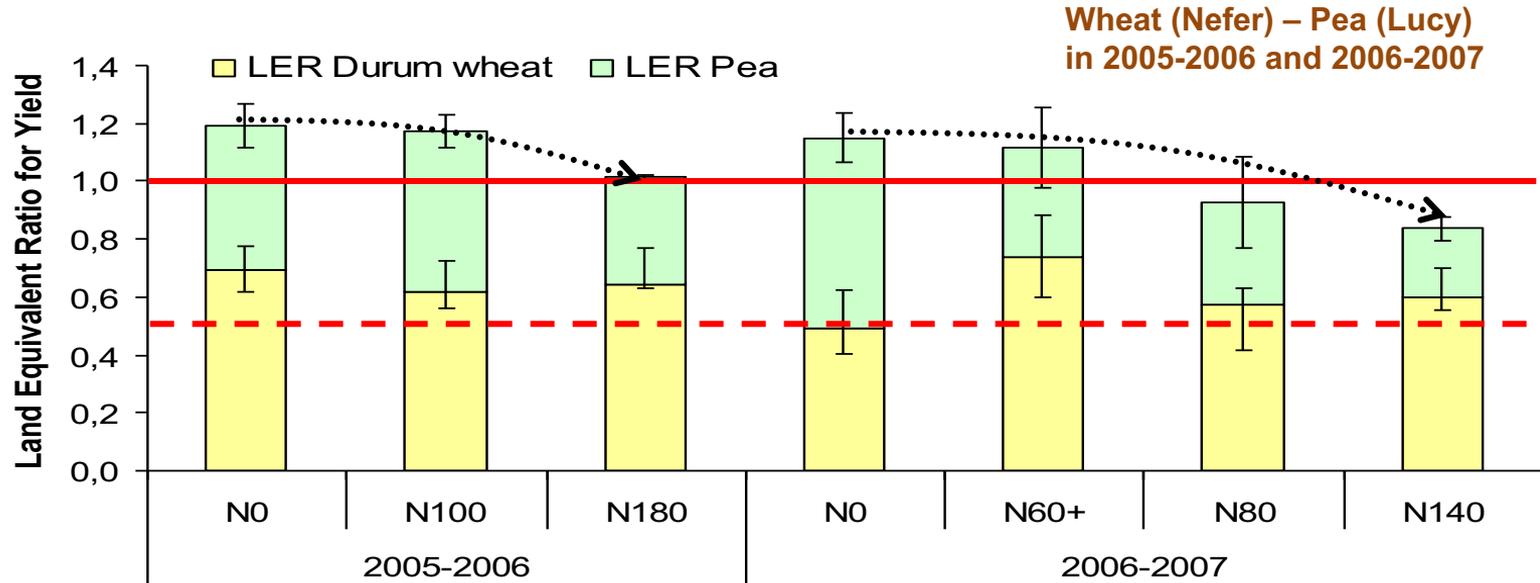
**INRA**  
SCIENCE & IMPACT





# Mais la complémentarité entre espèces dépend de la disponibilité en azote...

*D'après : Bedoussac et Justes (2010)*





# Association soja - tournesol



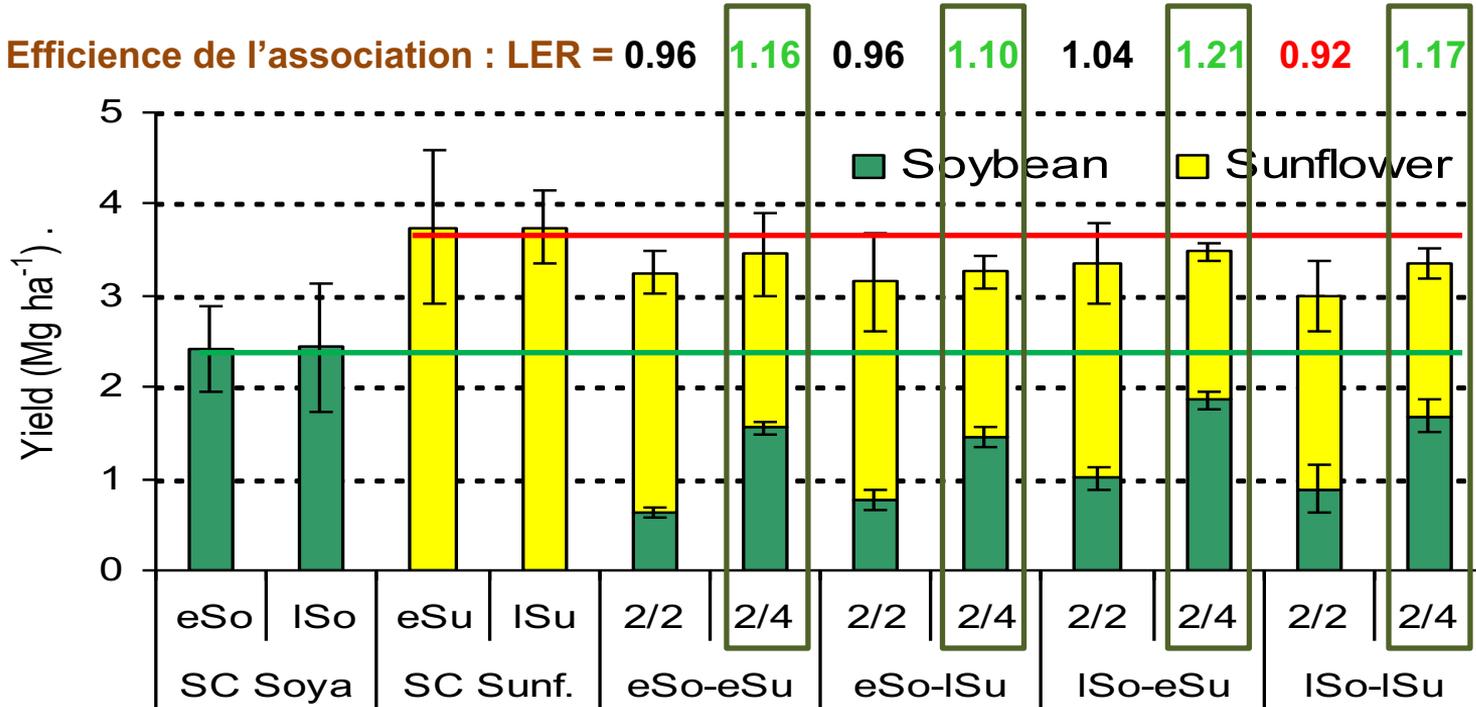
# Rendement en graines

Isidor (eSo = Soja précoce) ; E cudor (ISo = Soja tardif)

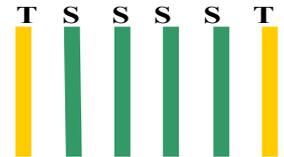
Fabiola (eSu = Tournesol précoce) ; Melody (ISu = Tournesol tardif)



Efficienc e de l'association : LER = 0.96



50/50



67/33

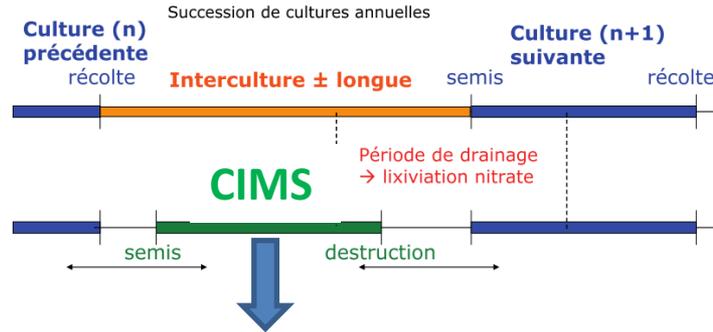


# Cultures intermédiaires en mélanges bispécifiques crucifères - légumineuses pour produire des services conjointes de gestion de l'azote, du soufre et de bio-contrôle

**Antoine Couëdel**  
**(Doctorant El-Purpan / UMR AGIR Auzeville)**

Encadrants : Éric Justes (INRA, UMR AGIR) et Lionel Alletto (CA, Occitanie)

# ~~CIPAN~~ → CIMS (Cultures Intermédiaires Multi-Services)



## Multi-effets (services et dys-services)

### Propriétés physiques des sols

- érosion
- battance
- structure des sols

### Effets sur les organismes vivants (par compétitions pour les ressources où effets biocides)

- Adventices
- bio-agresseurs
- Auxiliaires

### Bilans gaz à effet de serre

- Stockage de carbone

### Bilan hydrique

- préemption

### Cycle des éléments minéraux (N, P, K, S, ...)

- pertes par lixiviation et érosion
- Minéralisation vs Organisation nette des résidus
- Préemption pour Eau et Minéraux



Compromis entre services à évaluer

# Une diversité de mélanges d'espèces 1 à 1 (substitutifs : 50%-50%)

## Moutardes

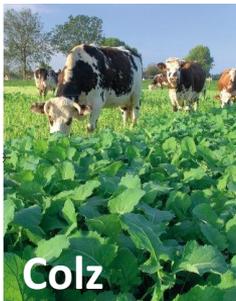


blanche

brune



éthiopienne



Colza



Roquette



Radis



Navette



Navet

## Trèfles



alexandrie



incarnat



## Vesces (commune, velue, pourpre)



Lupin



Féverole



Pois



Soja

	Crucifères	Légumineuses	Crucifères + légumineuses
Effet engrais vert 	<b>Faible</b> Potentielle organisation nette des résidus (Justes et al. 1999)	<b>Fort</b> Minéralisation nette de résidus (Thorup-Kristensen et al. 2003)	<b>Peu de références</b>

C/N = [15;25]



**N**

$$N_{\min} = N_{\text{acquis}} \times \%N_{\text{acquis}}^{\text{minéralisé}}$$

$$N_{\text{acquis}} = \text{biomasse} \times N\%$$

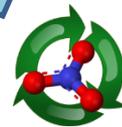
$$\% N_{\text{acquis}}^{\text{minéralisé}} = 0,72 - 2,657 \times C/N$$

(Justes et al. 2009)

C/N = [10;15]



**N**  
**min**



**N**

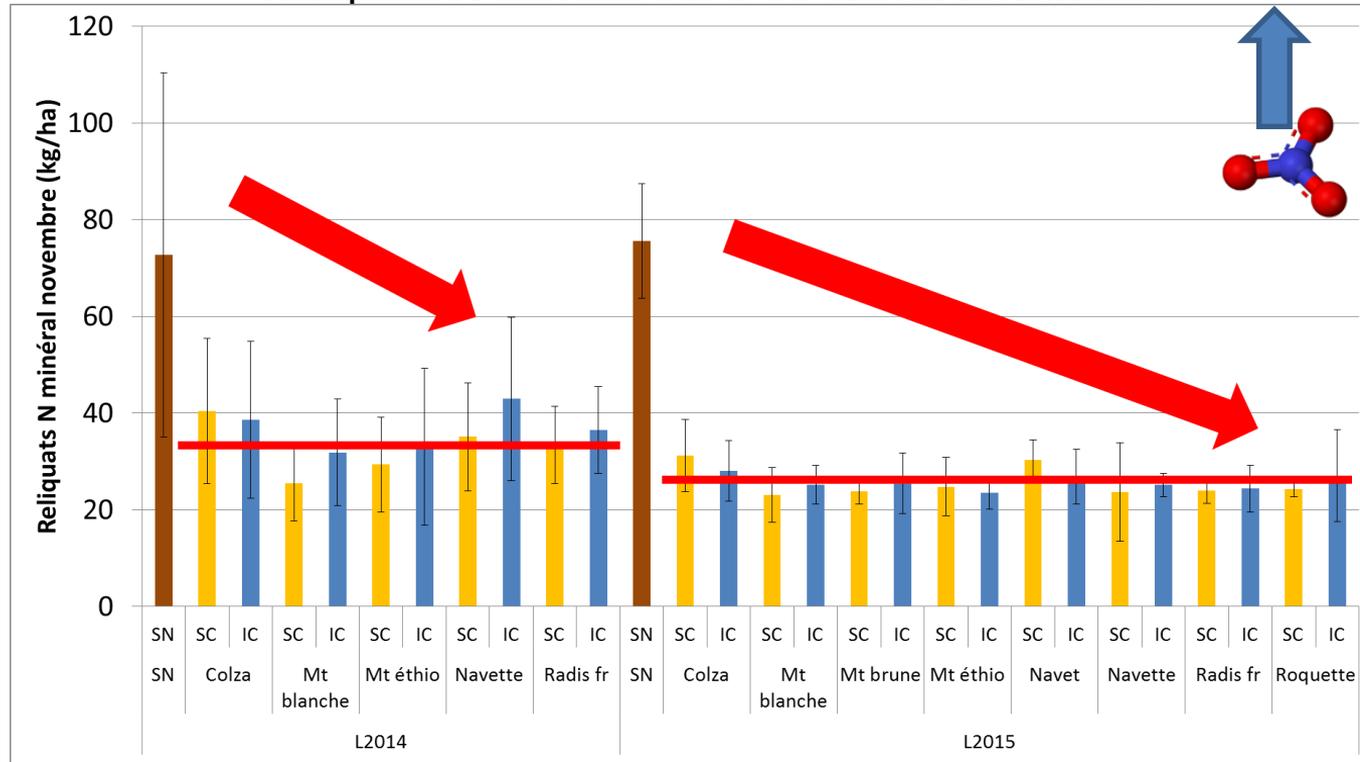
**min**

N acquis par les légumineuses  
suffisant pour améliorer l'effet  
engrais vert par rapport aux  
crucifères pures

Tribouillois 2016

# L'effet CIPAN est-il influencé par l'espèce de crucifère utilisée ?

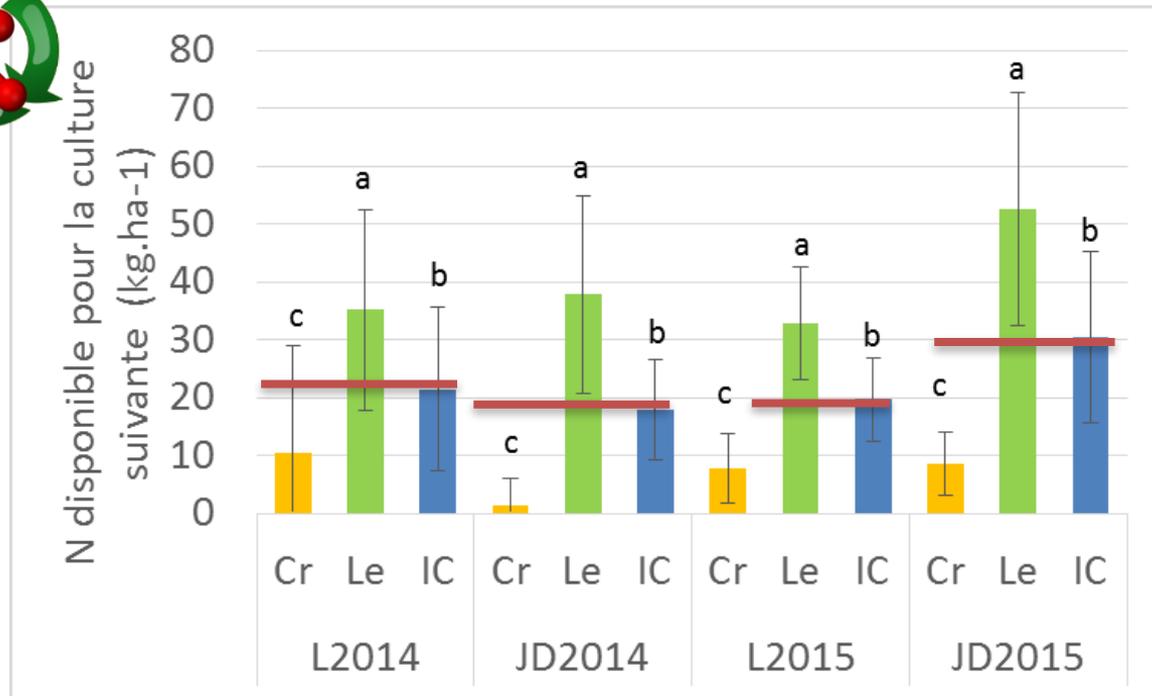
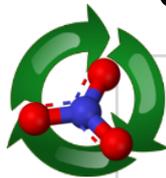
Reliquats N minéral sur 0-90 cm en novembre



IC = mélange espèces / SC = culture monospécifique

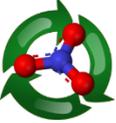
**Hypothèse invalidée : l'effet CIPAN n'est pas différent d'une espèce de crucifère à l'autre**

# Les mélanges ont-ils un effet engrais vert intermédiaire entre crucifères pures et légumineuses pures ?

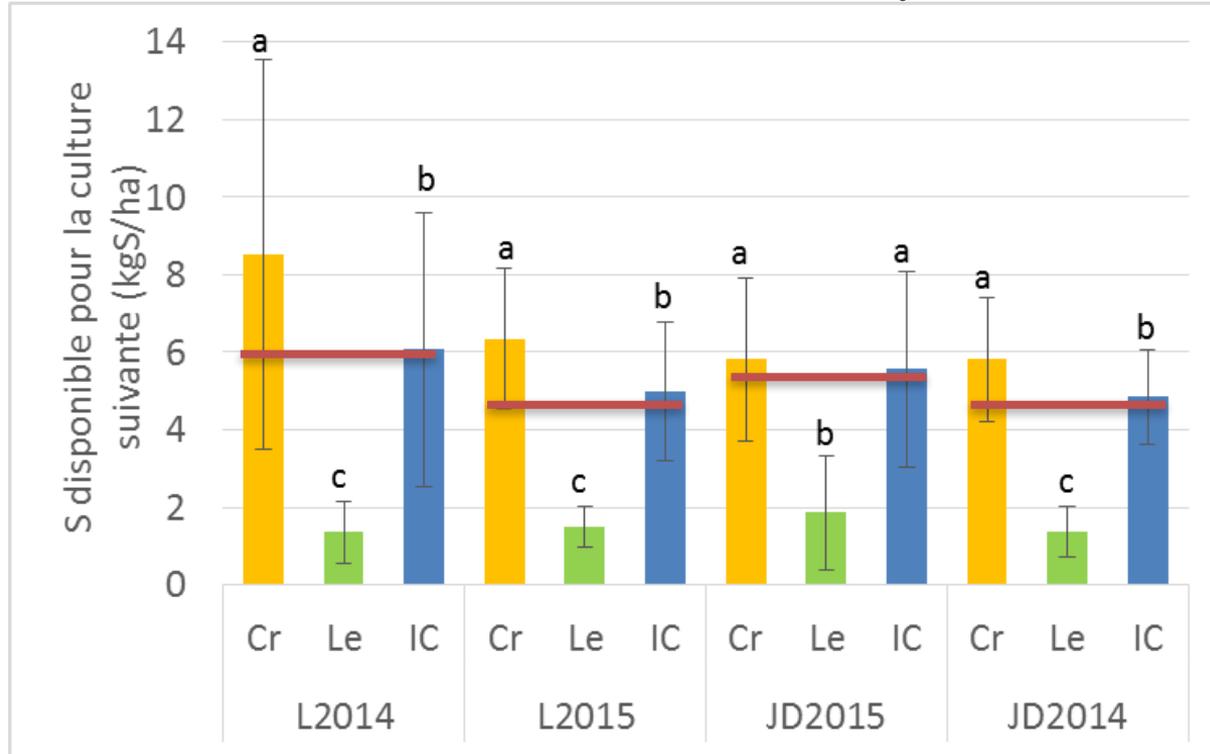
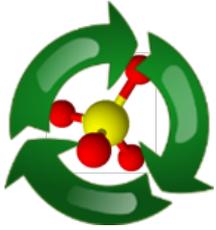


IC = mélange espèces / Le = Légumineuse / Cr = Crucifère

- Hypothèse validée : Les mélanges permettent un meilleur potentiel engrais vert que les crucifères pures et atteignent en moyenne 56% de celui des légumineuses pures

	Crucifères 	Légumineuses 	Crucifères + légumineuses 
<b>Effet CIPAN</b> <i>Littérature</i>  	<b>-50% à 75 %</b> de nitrate dans les aquifères <small>(Justes et al. 2012)</small>	<b>- 25 % à -40%</b> de nitrate dans les aquifères <small>(Justes et al. 2012, Tribouillois et al. 2016)</small>	
<i>Résultats</i>	<b>-51% à -70 %</b> d'azote minéral de 0 à 90cm	<b>-37% à -43%</b> d'azote minéral de 0 à 90cm	<b>-48% à -70%</b> d'azote minéral de 0 à 90cm
<b>Effet engrais vert azote</b> <i>Littérature</i> 	<b>Faible</b> Potentielle organisation nette du N des résidus <small>(Justes et al. 1999)</small>	<b>Fort</b> Minéralisation nette du N des résidus <small>(Thorup-Kristensen et al. 2003)</small>	
<i>Résultats</i>	<b>1 à 10 kg N/ha</b> restitués à la culture suivante	<b>35 à 54 kg N/ha</b> restitués à la culture suivante	<b>18 à 30 kgN/ha</b> restitués à la culture suivante

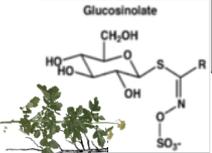
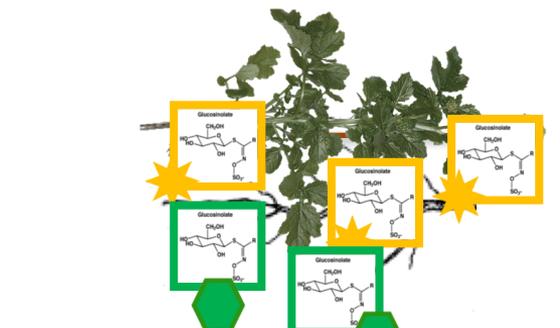
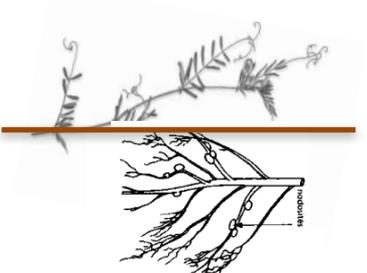
# Les mélanges ont-ils un effet engrais vert à soufre au moins égal à 50% de celui des crucifères pures?



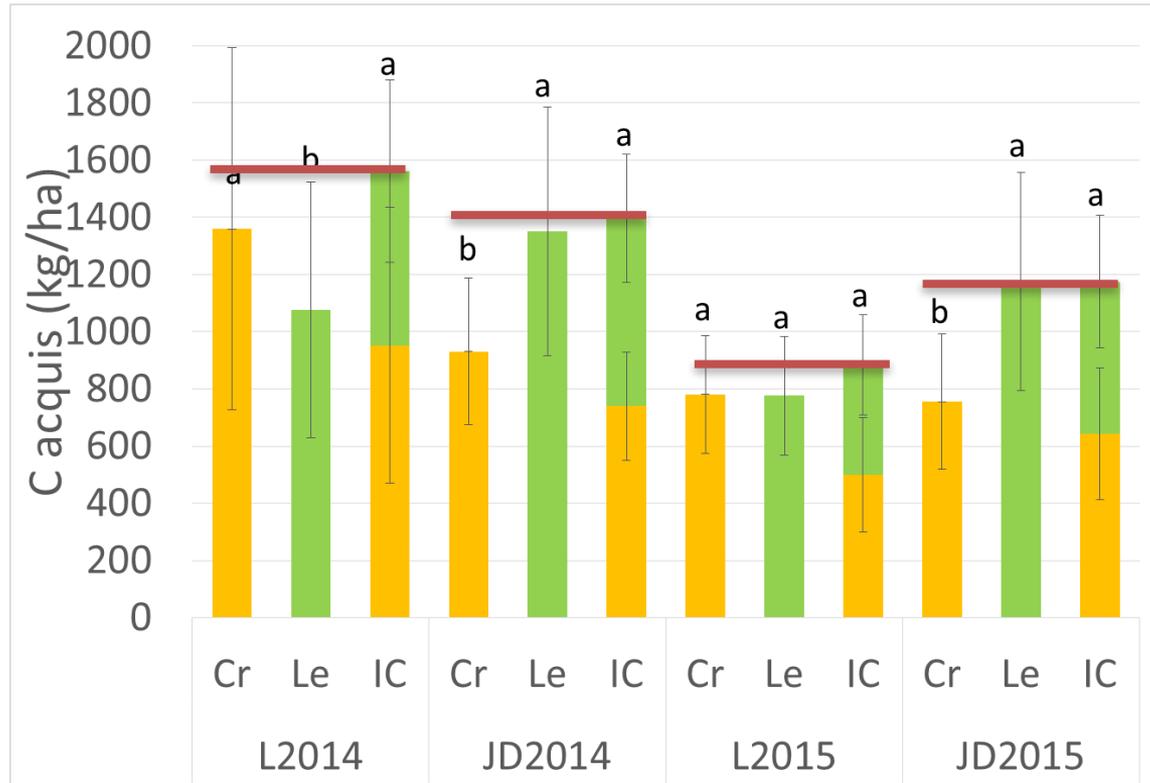
IC = mélange espèces / Le = Légumineuse / Cr = Crucifère

**- Hypothèse validée : Les mélanges produisent un effet engrais vert à soufre en moyenne égale à 82 % des crucifères pures**

	Crucifères	Légumineuses	Crucifères + légumineuses
Allélopathie racinaire	<b>Fort potentiel</b> (Brown and Morra, 1997)	<b>Très faible potentiel</b> (Brown and Morra, 1997)	??
	<p>adventices</p> <p>pathogènes</p> <p>auxiliaires</p> <p><math>SO_2^-</math></p> <p><b>Allélopathie sur tous types d'organismes vivants</b>            (Brown and Morra, 1997)</p>	<p><math>SO_2^-</math></p> <p><b>Pas de production de GSL</b>            (Brown and Morra, 1997)</p>	<p><math>SO_2^-</math></p> <p><b>Pas d'incompatibilités dû à l'allélopathie relevées dans la bibliographie</b></p>

	Crucifères	Légumineuses	Crucifères + légumineuses
Biofumigation	<b>Fort potentiel</b> (Brown and Morra, 1997)	<b>Faible potentiel</b> (Brown and Morra, 1997)	??
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;">  <p>Glucosinolate</p> </div> <div>  </div> </div>		<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;">  </div> <div>  </div> </div>	
	 <p><b>Organismes vivants</b></p>		 <p><b>Organismes vivants</b></p>
	<p>graines adventices   pathogènes   ? auxiliaires</p>		<p>graines adventices   pathogènes   ? auxiliaires</p>
	<p><b>Effet de biofumigation sur quelques jours supérieur à effet d'allélopathie.</b> (Brown and Morra, 1997)</p>		<p><b>Si production pas aussi élevée de GSL, quand même effet sur les organismes cibles ?</b></p>

# Stockage de carbone dans les sols



IC = mélange espèces / Le = Légumineuse / Cr = Crucifère

**Les mélanges permettent d'incorporer 20% de C dans le sol en + des crucifères pures**

# Analyse du fonctionnement des cultures associées lentille-blé conduites en agriculture biologique, pour la conception d'itinéraires techniques à hautes performances économiques et environnementales

Loïc Viguié (Doctorant, thèse CIFRE, Qualisol)

## Encadrants :

Etienne-Pascal Journet

Laurent Bedoussac

Eric Justes

INRA

Toulouse,

UMR AGIR

(VASCO)

Alain Larribeau, **Qualisol (coopérative)**



- **Augmentation constante de l'intérêt** des lentilles pour la consommation humaine en France et UE
- Demande > Offre de lentille bio en France
- Valeur économique et agronomique importante pour les agriculteurs (1500 €/t, pas d'intrants N)
- **Problème : productivité de la lentille en AB faible et instable → 3 verrous agronomiques**



**Mauvaises herbes**  
(concurrence)



**Bruches**  
(larves dans graines)



**Verse**  
(culture couchée non récoltable)



**Les cultures associées lentille-blé peuvent-elles lever les verrous agronomiques de la lentille en AB ?**



« La culture simultanée d'au moins deux espèces sur une même parcelle pendant une période significative de leur croissance mais sans nécessairement être semées et récoltées simultanément » (Willey, 1979).

## AVANTAGES DES ASSOCIATIONS

- Meilleurs **rendements à bas niveau d'N**
- Meilleure **teneur en protéine** des graines de céréale **à bas niveau d'N**
- Meilleure **utilisation des ressources abiotiques** (lumière, azote disponible)
- Gestion des **adventices**
- Réduction de la **verse** par effet tuteur
- **Biodiversité** cultivée accrue



## LIMITES DES ASSOCIATIONS

- Gestion des **bioagresseurs**.
- **Marges brutes** à l'hectare
- Place dans les **rotations**
- Maîtrise **technique** (semis, désherbage, récolte)
- **Tri des gaines**



# Dispositif expérimental 2015 et 2016

## Cultures pures

### Blé

Variétés : Valbona et Togano

Densités : 100% (450 gr/m<sup>2</sup> ≈ 250kg/ha), 50%, 33% et **17%**



### Associations (mélange sur le rang)

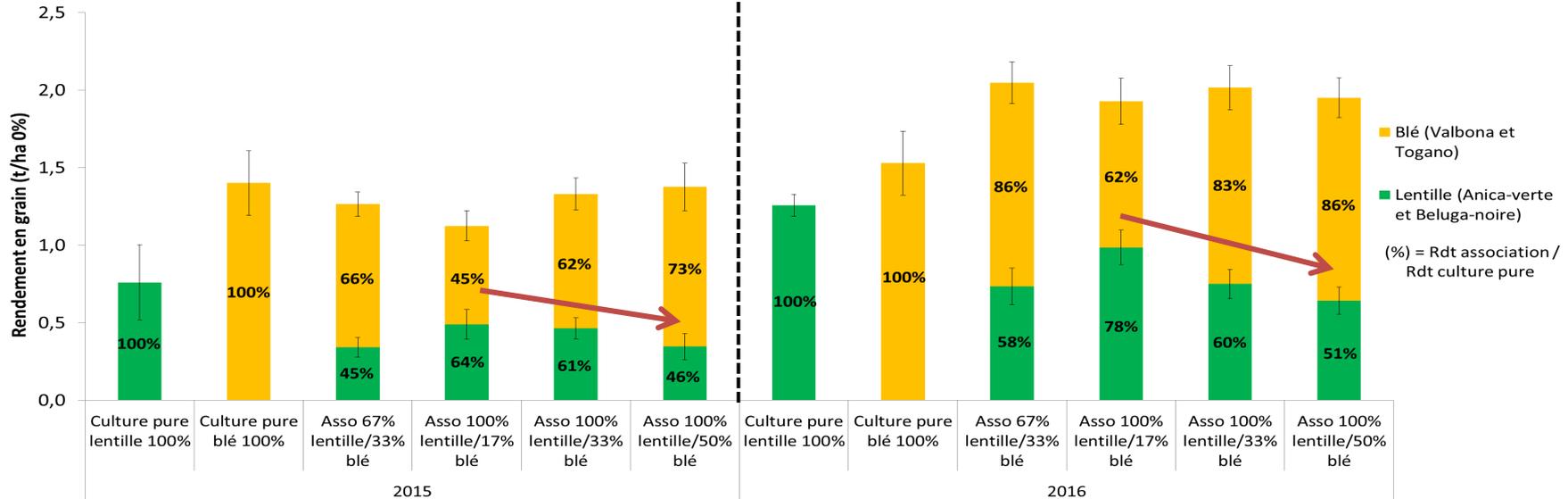
Densité de lentille dans le couvert (%)	Densité de blé dans le couvert (%)
50	50
67	33
100	17
100	33
100	50
<b>133</b>	<b>17</b>
<b>133</b>	<b>33</b>

### Lentille

Variétés : Anicia, Beluga, Rosana, Flora

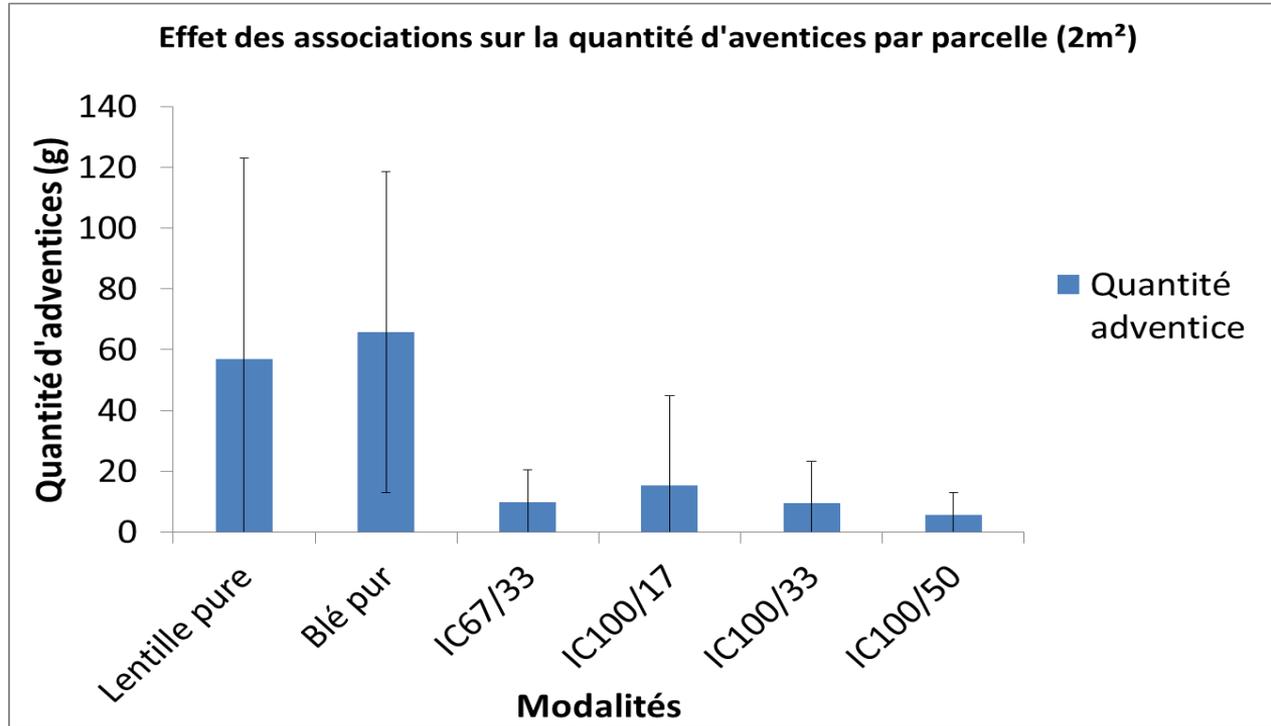
Densités : **167%**, **133%**, 100%, (300 gr/m<sup>2</sup> ≈ 90kg/ha) 67% et 50%





- Production asso > lentilles pures
- Production asso ≤ blé pur en 2015 et > en 2016
- Proportion de blé supérieure à la valeur théorique
- **Domination du blé sur lentille**
- **Production maximale** de lentille en association quand la densité du blé est minimale

# Les associations de culture lentille-blé limitent le développement des adventices en comparaison des cultures pures.



- Forte variabilité de la quantité d'adventice par parcelle.
- L'hypothèse de réduction des adventices est réelle mais si peu robuste statistiquement

# Effet des associations pour réduire la verse de la lentille ?

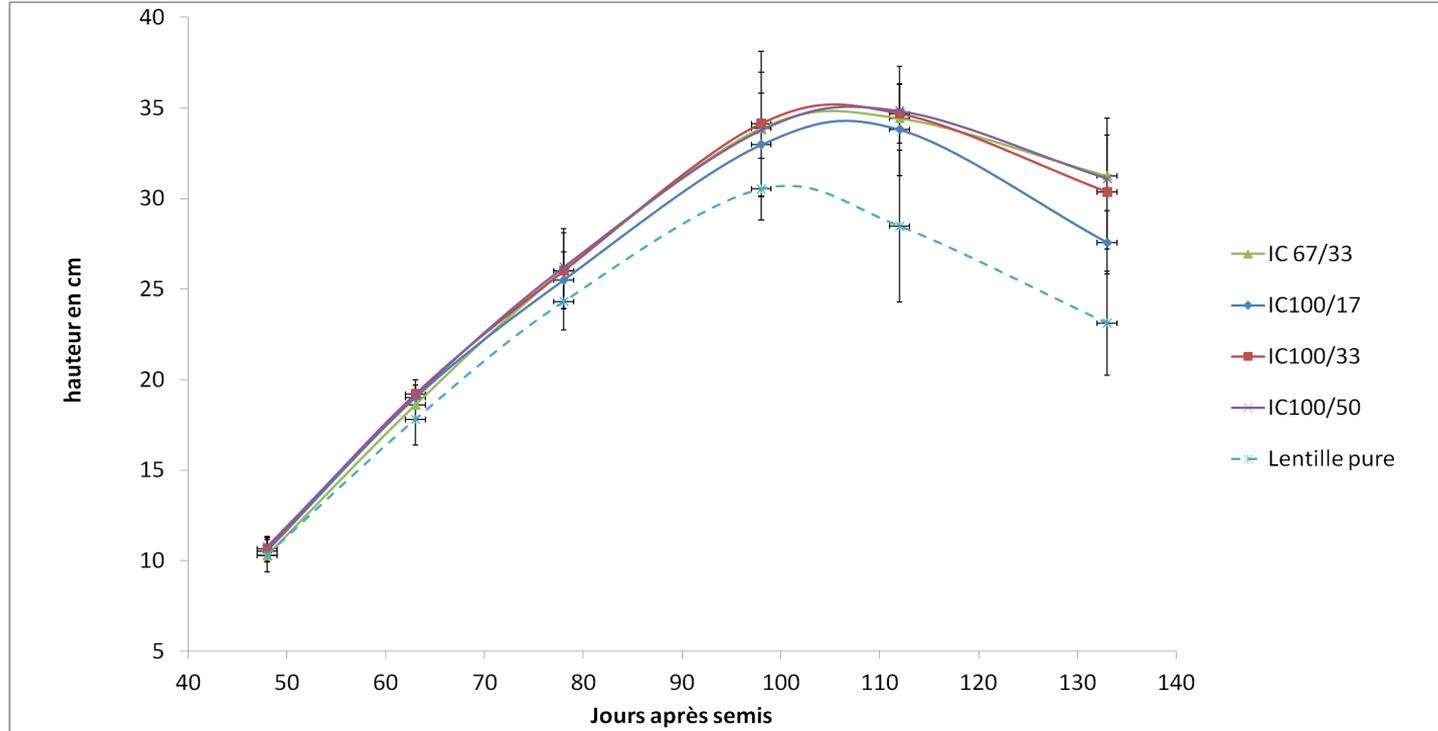


Mélange sur rang  
100/33



Lentille SC 100

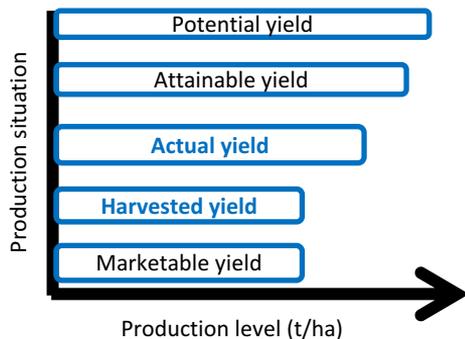
# Les associations augmentent la hauteur des lentilles à maturité



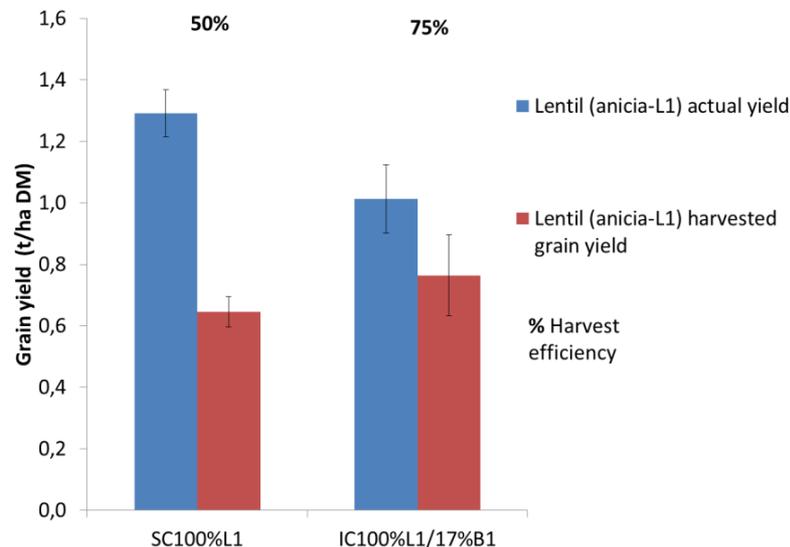
- Attention : pas de mesure directe de la verse.
- A partir de 33% de blé en IC : pas d'augmentation de la hauteur des lentilles.
- Différence de 8 à 10 cm => conséquent
- Effet des structures de semis ?

# L'association pour améliorer le taux de récolte

## Analyser les performances « au bon niveau » !



- Production Lentille Anicia > en culture pure
- **Efficacité de récolte > Association**
  - ✓ Pertes de Lentille “au champ” très importante
  - ✓ Blé avec faible densité (17%) est suffisante pour produire l’effet tuteur escompté
    - **Rendement récolte de Lentille > en Association au final**





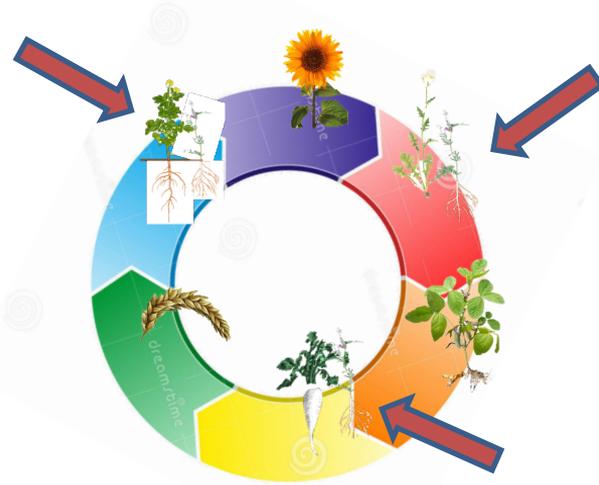
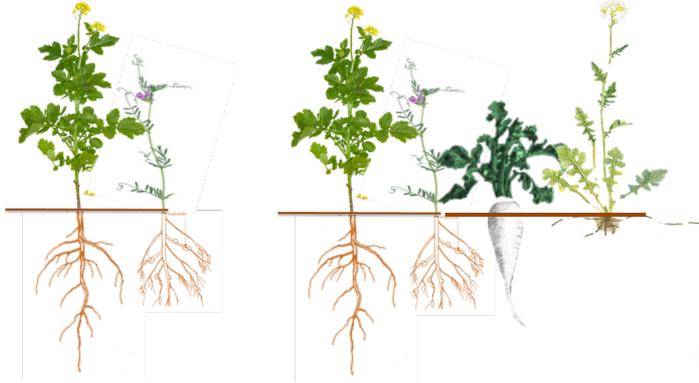
# Conclusion : Les clés du fonctionnement des mélanges

- Compétition inter-spécifique peut rimer avec amélioration de la productivité et de la qualité des produits récoltés.....mais sous certaines conditions :
  - Pas de forte compétition pour les mêmes ressources (dans le temps, l'espace ou la forme chimique des nutriments) (ex. complémentarité « partielle » pour la lumière)
  - Occurrence de facilitation (ex. P) et/ou de complémentarité de niche (ex. N, eau)
- **Intérêts des cultures associées surtout en conditions limitantes**
- Complémentarités interspécifiques **fonction des choix d'espèces, variétés, fertilisation, structure de peuplement...** et donc ça ne marche pas « tout seul »
- *Des transferts d'N très faibles en cultures annuelles mais significatives en cultures pérennes pour expliquer l'amélioration des performances*





# Conclusion : De l'ingénierie agro-écologique par la diversité des espèces et variétés/populations cultivées



## A l'échelle de la parcelle

- Mélanges crucifères - légumineuses
- Mélanges 2 ou 3 crucifères - légumineuses

## A l'échelle du système de culture

- Par ajout des CI
- Par changement de CI dans la rotation

