

Colza et Blé tendre d'hiver cultivés avec des plantes de services



Intérêts ?

Faisabilité ?

Opportunités ?



Diaporama pédagogique - Projet Casdar ALLIANCE

Avant propos

Ce document est sous protection LICENCE CREATIVE COMMONS : **CC-BY-NC-SA**



Le document peut être librement utilisé, à la condition de l'attribuer à l'auteur en citant son nom « Projet ALLIANCE, AAP Recherche & Innovation Casdar n° 5376 »

L'utilisateur s'engage à respecter les règles suivantes :

- Pas d'utilisation commerciale
- Pas de modifications du document



Diaporama pédagogique du projet ALLIANCE



- Conception du diaporama :
 - Sébastien Minette – Chambre Régionale d'Agriculture Nouvelle-Aquitaine
(sebastien.minette@na.chambagri.fr)
 - Muriel Morison – INRA UMR Agronomie
(muriel.morison@inra.fr)
 - Valentin Verret – INRA UMR Agronomie
(valentin.verret@inra.fr)
- Avec la collaboration de tous les partenaires du projet ALLIANCE :



- A disposition des enseignants, conseillers, étudiants et toute personne intéressée par les associations à base de plantes de services

Plan du diaporama

- [Présentation du projet Casdar Alliance](#) (diapo 5)
- [C'est quoi une plante de services ?](#) (diapo 14)
- [Fonctionnement des associations](#) (diapo 31)
 - [Associations à base de colza d'hiver](#) (diapo 32)
 - [Associations à base de blé d'hiver](#) (diapo 103)
- [Pour aller plus loin...](#) (diapo 138)
 - [Synergie entre légumineuse de service et vers de terre...](#) (diapo 139)
 - [Associer des espèces aux traits complémentaires...](#) (diapo 153)

Projet CADSAR ALLIANCE

**AMÉLIORATION DES PERFORMANCES ÉCOLOGIQUES ET ÉCONOMIQUES
PAR ASSOCIATION DE PLANTES DE SERVICES LÉGUMINEUSES
DANS DES SYSTÈMES DE CULTURES À BASE DE BLÉ ET DE COLZA**



Contexte général



❑ Un contexte favorable aux associations de cultures

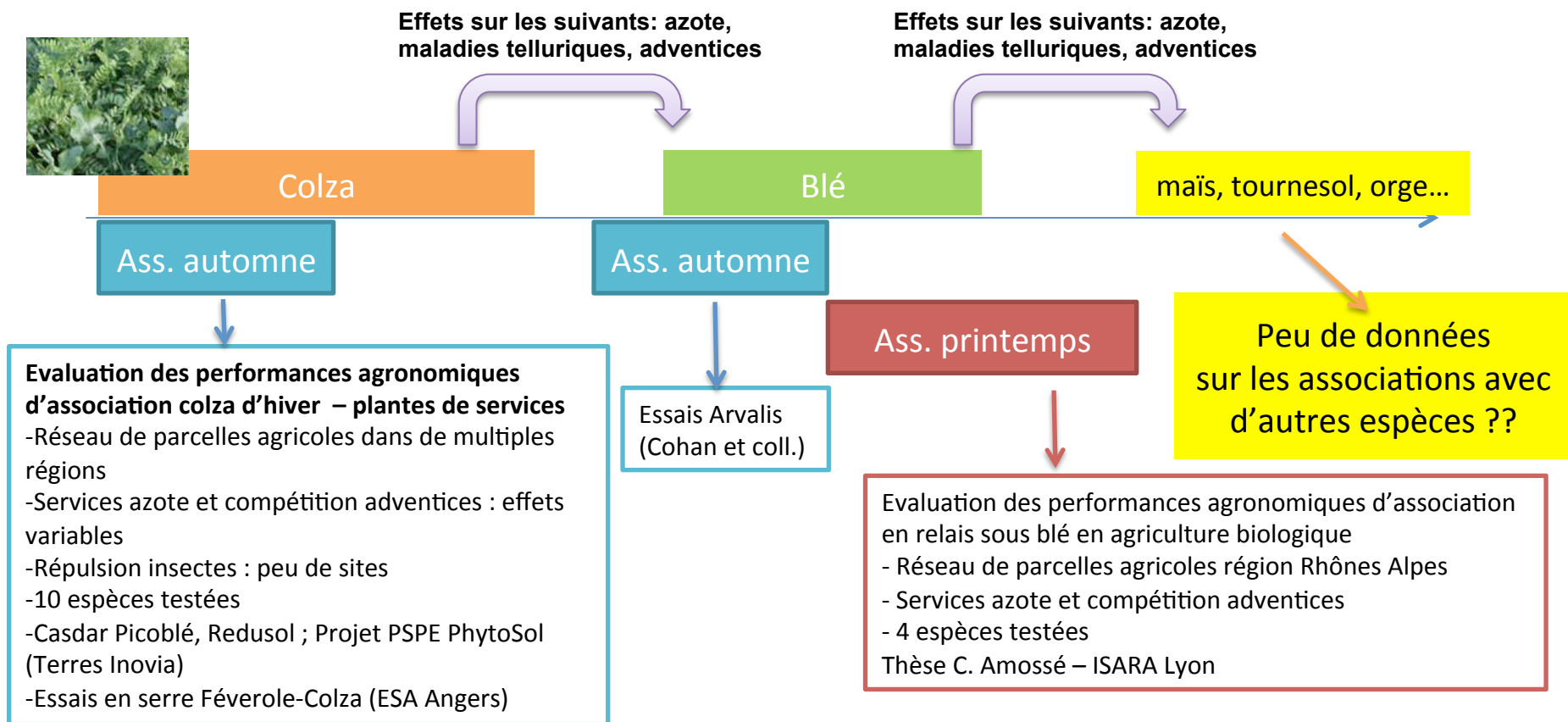
- ✓ Evolution politique (*agroécologie, développement de l'Agriculture Biologique, Ecophyto...*)
- ✓ Evolution réglementaire (*couverts*)
- ✓ Evolution économique (*intrants toujours plus chers, valorisation économique des produits de qualité*)

❑ Une réponse à plusieurs enjeux

- ✓ Limiter l'usage d'intrants coûteux et rares (*fertilisants azotés, énergies fossiles*)
- ✓ Apporter une réponse agroécologique aux deux enjeux majeurs (*adventices et azote*)
- ✓ Améliorer productivité et qualité

Bilan des expériences passées

- De nombreuses expériences par le passé de dispositifs expérimentaux sur les associations du Colza d'hiver ou du Blé tendre d'hiver avec des plantes de services.



Bilan et objectifs

✧ **Lacunes**

- Peu d'expérience sur association à l'automne de blé avec des légumineuses
- Peu d'expérience sur association au printemps de blé avec des légumineuses (hors Rhône-Alpes et en parcelles conventionnelles)
- Rien sur les effets sur la culture suivante quelle que soit l'association
- Beaucoup de variabilité de réponses des associations colza avec des légumineuses et analyse des services peu détaillée

✧ **Objectifs**

- Tester la faisabilité et la pertinence agronomique d'associations de plantes de services encore peu courantes : blé et légumineuses à l'automne.
- Évaluer les services écosystémiques sur la culture en place et les suivantes pour les associations colza d'hiver ou blé tendre avec des légumineuses à l'automne en agriculture conventionnelle et blé-légumineuses sous couvert au printemps en agriculture biologique.

Objectifs du projet « CASDAR ALLIANCE »

Evaluer les performances de plantes de services, principalement légumineuses, associées en automne ou au printemps à du **colza d'hiver** ou du **blé tendre d'hiver**.

Ambition de produire, de mutualiser et de transmettre :

- 1.-** Des connaissances scientifiques **sur les services écosystémiques rendus** par des légumineuses associées (*Quels services ? Quelles performances ? Quelles espèces ?*)
- 2.-** Des connaissances scientifiques sur le **fonctionnement des associations**
- 3.-** Des **références techniques** pour concevoir des itinéraires techniques économes en intrants et productifs
- 4.-** Des **outils** d'aide au choix de ces plantes de services et de gestion de la fertilisation azotée de la culture principale

Objectifs du projet « **CASDAR ALLIANCE** »

Deux thématiques principales étudiées

- 1.- Impacts des couverts sur la **gestion de l'enherbement**
☞ *Comment ? Quels impacts ?*
- 2.- Impacts des couverts sur la **disponibilité en azote** pour les cultures
☞ *Comment ? Combien ?*

Deux cultures principales étudiées

- 1.- Blé tendre d'hiver
- 2.- Colza d'hiver

Les plantes de services

- 1.- Surtout des espèces légumineuses (fournir de l'azote)
- 2.- Surtout des mélange d'espèces

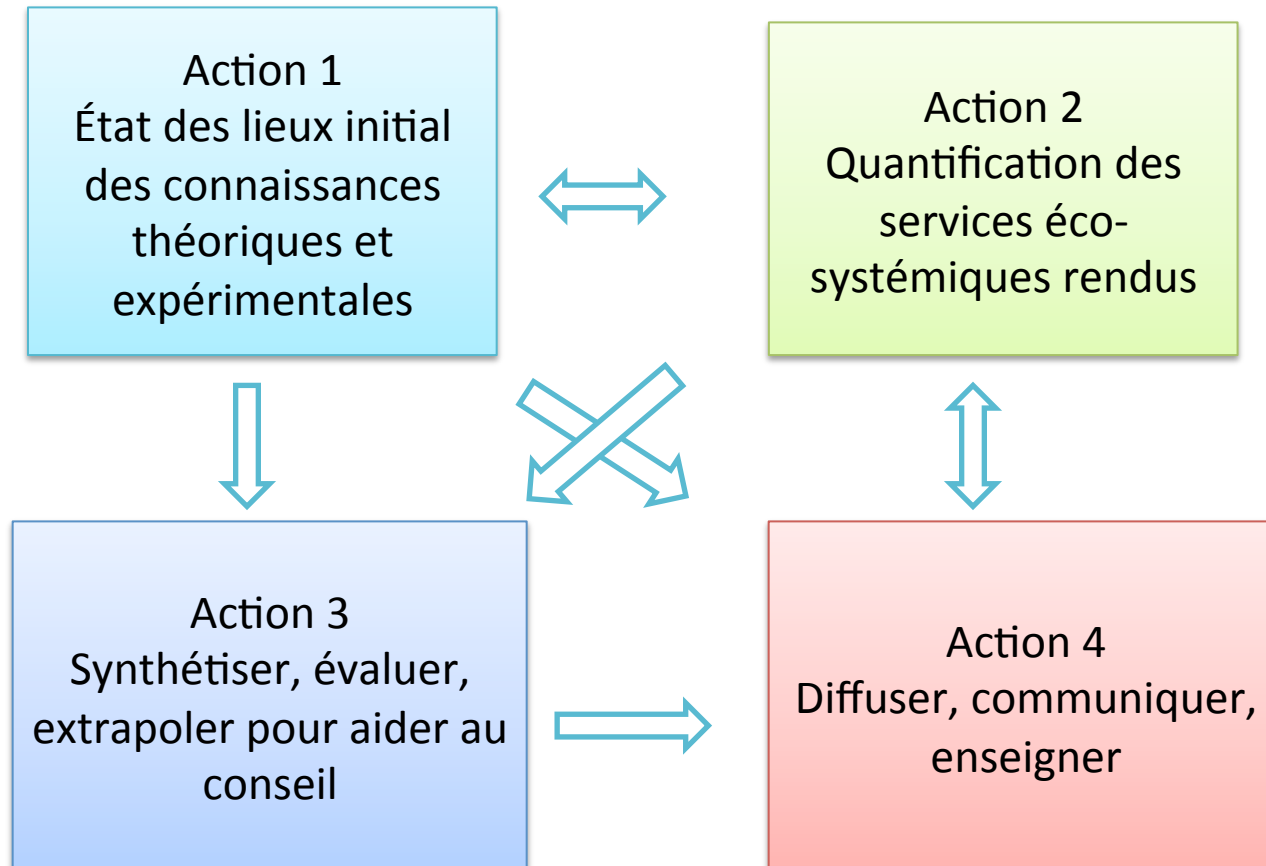
Projet « CASDAR ALLIANCE »

La démarche générale vise à coupler :



1. des *diagnostics en parcelles agricoles* et des *expérimentations analytiques* pour comprendre et formaliser les effets des plantes de services sur les services attendus et leurs interactions avec les conditions pédoclimatiques
2. la mutualisation de connaissances scientifiques, de terrain, des expertises sur les échecs et réussites des associations
3. l'utilisation de plusieurs types de modèles et outils (*quantitatifs ou qualitatifs*) pour une évaluation multicritère des itinéraires techniques et successions, comportant les associations étudiées

Les 4 actions d'Alliance



Partenaires ALLIANCE



Financement :



MINISTÈRE
DE L'ALIMENTATION,
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA PÊCHE

avec la contribution financière du
compte d'affectation spéciale
« Développement agricole et rural »

Comité Pilotage



C'EST QUOI UNE PLANTE DE SERVICES ?

QUE PEUT-ON EN ATTENDRE ?





C'est quoi une « plante de services » ?

- ☞ Espèces accompagnant une culture principale (culture de rente) et remplissant des fonctions d'amélioration des processus de développement de la culture ou de régulation des bio-agresseurs
- ☞ Quelques expériences connues en couverts végétaux d'interculture

☞ Associer des plantes de service avec une culture ?



maximiser les services rendus en usage de couverts végétaux d'interculture !!

Les plantes de services en association sont aussi appelées « plantes compagnes »

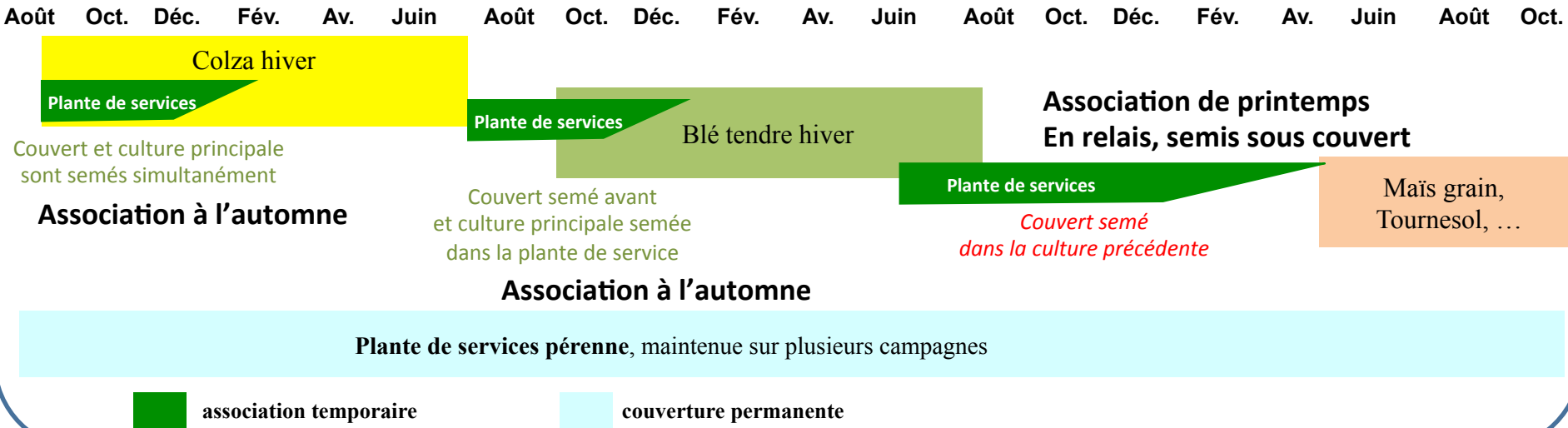


C'est quoi une « plante de services » ?

Campagne n

Campagne n+1

Campagne n+2



☞ Cette association est réalisée à **différentes périodes** selon la culture principale et les objectifs des agriculteurs

☞ Ces associations sont

- « **temporaires** » (*plante de services détruite après les services rendus*) ou
- « **permanentes** » (*système sous couvert végétal*)



Blé tendre avec du trèfle semé au printemps



Colza avec de la vesce semée à l'automne



Quelles sont les espèces candidates ?

- ... potentiellement toutes les espèces !
➔ Le choix dépend de l'usage : mode d'implantation, culture principale et services recherchés



Lucerne



Vesce



T. Alexandrie



Féverole



Sarrasin



Trèfle blanc



Minette



Trèfle violet



Fenugrec

Colza d'hiver associé à l'automne



Essai Alliance CdA49, Limons sableux
Semis : début septembre
mélange Féverole de printemps (60 kg/ha) + Vesce pourpre (14 kg/ha) + trèfle d'Alexandrie (4 kg/ha)



Essai Alliance CdA79, Argile à silex
Semis : début septembre
mélange Féverole de printemps (60 kg/ha) + Vesce pourpre (14 kg/ha) + trèfle d'Alexandrie (4 kg/ha)

Blé associé à l'automne



Mars 2016

Essai Alliance CA77, Limons argileux
Semis avec le blé en octobre 2015
Trèfle incarnat Cegalo (10 kg/ha)



Mars 2016

Essai ISARA-Lyon, Limons argilo-calcaires profonds,
Semis avec le blé en octobre 2015
Trèfle blanc nain (5 kg/ha)

Blé associé au printemps

Essai Agriculture biologique ISARA-Lyon en Rhône-Alpes
Trèfle blanc à 800 gr/m² = 5 kg/ha
semé à la volée en mars 2014 (début montaison)

Floraison du blé

Récolte

Post-Récolte

(Essai analytique en bloc)

C'est quoi une « plante de services » ?

Services recherchés

👉 Réguler les bio-agresseurs des cultures :

- *adventices : augmenter la compétition pour la lumière, l'eau et les éléments nutritifs, plante de service avec effet « allélopathique »*
- *insectes : perturber des vols, diluer les ressources, attirer les auxiliaires, ...*
- *maladies : effet « désinfectant » (ex. glucosinolate contenus dans crucifères)*

👉 Fournir de l'azote à la culture principale et/ou la culture suivante en capitalisant de l'azote atmosphérique tout en limitant les pertes par lixiviation

- *Utilisation de plantes légumineuses*

👉 Maintenir ou améliorer les composantes de la fertilité du sol

- *physique : restructurer le sol, augmenter la zone prospectable par les racines*
- chimique : recycler et fournir des éléments nutritifs*
- *Biologique : favoriser/entretenir la vie du sol (biomasse microbienne, vers de terre)*

👉 Pleins d'autres services potentiels

C'est quoi une « plante de services » ?

Conséquences attendues

- 👉 **Limiter** l'usage d'intrants coûteux, non renouvelables ou susceptibles de contaminer l'environnement (*eau*) : *herbicide*, *insecticide*, *fongicide*, azote minéral, ...
- 👉 **Améliorer la robustesse** des exploitations en limitant les investissements
- 👉 **Améliorer la productivité** et qualité des céréales et du colza en conventionnel et en AB



ETAT DES CONNAISSANCES



SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIE EXISTANTE

👉 *145 articles consultés*

Quelques exemples étudiés par les scientifiques

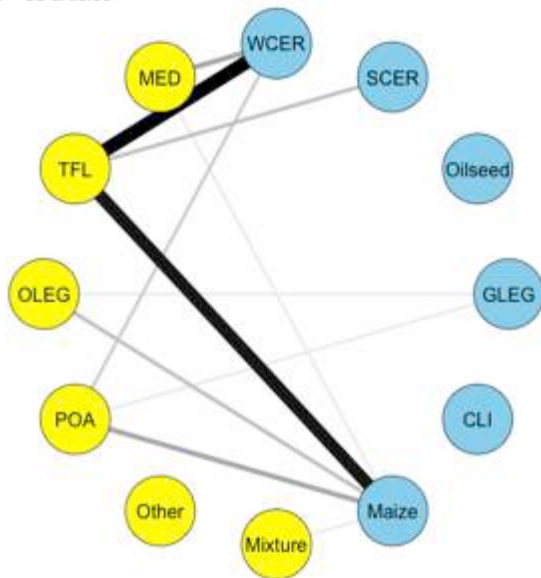
- **Concurrence vis-à-vis des adventices par compétition, pour la culture associée ou pendant l'interculture suivante**
 - Orge associé à des trèfles blancs (Kwiecińska-Poppe et al. 2009), Maïs associé à des légumineuses (Ghoseh et al., 2004), Pommes de terre, soja, maïs associés au seigle et à la vesce en bio (Uchino et al. 2009)
 - Maïs avec association printanière (Abdin et al. 1997 et 2000) ou semé dans un couvert de vesce velue, de trèfle (Ilnicki et al. 1992),
 - Blé semé dans un couvert de légumineuses (Hiltbrunner et al. 2007, 2008) et légumineuses semées dans le blé (Amossé et al. 2013, 2014).
- **Fourniture d'azote pour la culture associée et/ou la suivante grâce à une PS légumineuse**
 - Tournesol associé à des légumineuses (Kandel et al., 2000, 1997); Féverole, lupin, pois, avoine, mélange pois-avoine associé en relais à un mélange trèfle-graminées (Hauggaard-Nielsen et al., 2012)
 - Blé dans un couvert vivant permanent de trèfles (Thorsted et al., 2006), Chou et brocoli dans un couvert vivant permanent de légumineuses (Thiérault et al., 2009); Maïs dans un couvert vivant de trèfles (Ilnicki et al. 1992)
- **Lutte contre les insectes ravageurs par effet de dilution ou perturbation**
 - Aubergine associée au trèfle incarnat (Hooks et al., 2013)
 - Chou ou brocoli avec trèfle (Costello et al., 1994), Poireau avec trèfle (Theunissen et al., 1996, 1998)
 - Plantes de couverture sous bananier (Duyck et al., 2011)
- **Attractivité des insectes auxiliaires**
 - Colza + féverole (Jamont, et al., 2013) ; Parasitoïdes mouche du chou dans canola (Hummel et al., 2010)
- **Protection du sol, augmentation de la matière organique, maladies...**

Les couples « culture – plantes de services » étudiés par les scientifiques



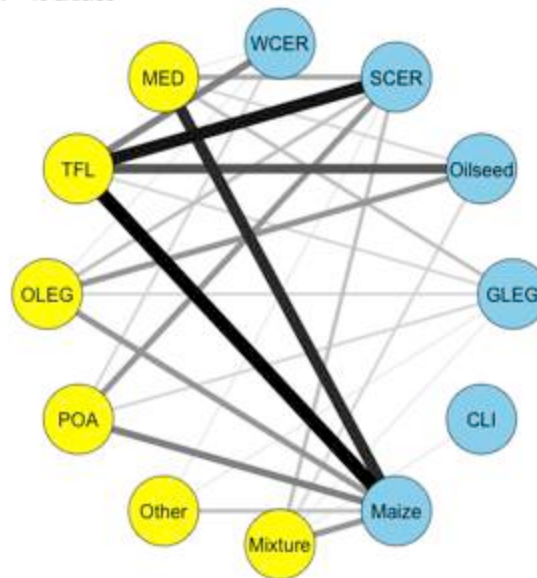
Semis de la culture dans le couvert

N = 55 articles



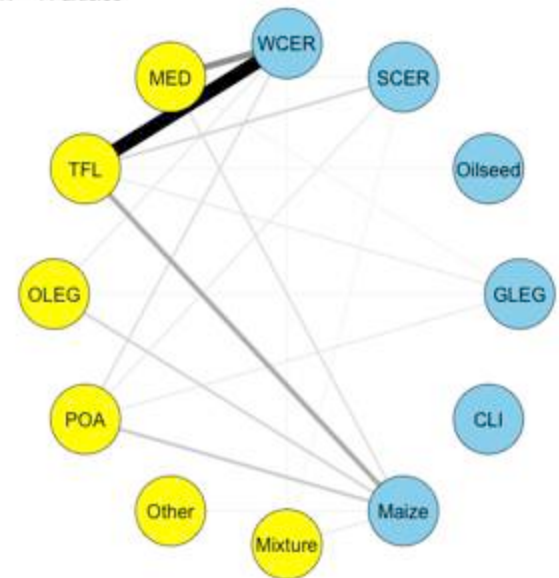
Semis simultané couvert + culture

N = 49 articles



Association en relais, semis du couvert sous la culture

N = 41 articles



☞ L'épaisseur du trait est proportionnelle au nombre d'articles scientifiques où l'association a été testée

- ➔ Beaucoup d'études sur blé et maïs par rapport au colza
- ➔ Peu d'études sur les mélanges

Culture de rente

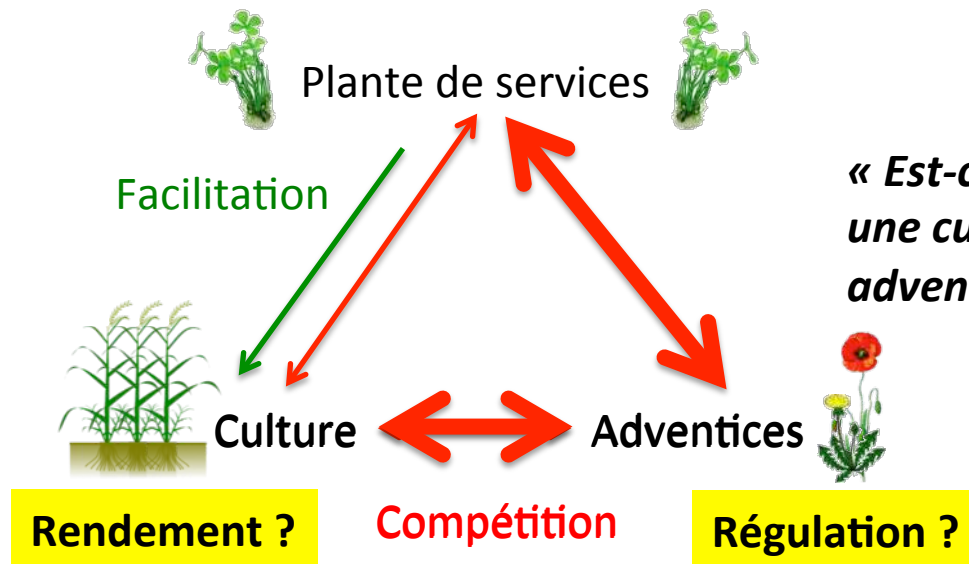
CLI = Céréale / légumineuse
GLEG = Légumineuse
SCER = Céréales de Printemps
WCER = Céréale d'hiver
Oilseed = Colza d'hiver
Maize = Maïs

Plante de services

MED = Luzerne
OLEG = Autre légumineuse
POA = Graminée
TFL = Trèfle
Mixture = Mélange d'espèces
Other = Autres



Synthèse bibliographique des effets des plantes de services sur les adventices et sur le rendement



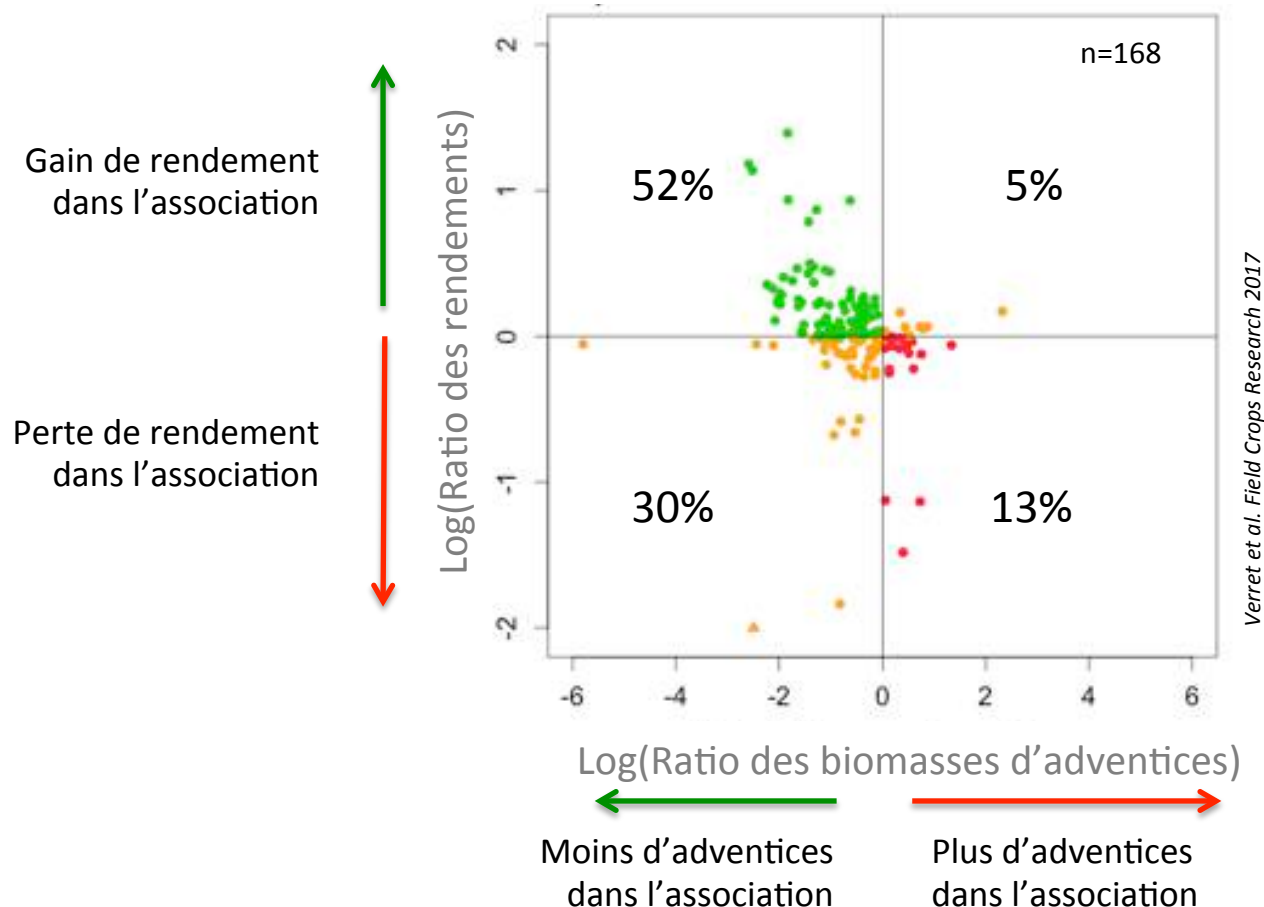
« Est-ce que les plantes de services associées à une culture permettent de contrôler les adventices sans impacter le rendement ? »

Synthèse de **34 articles** scientifiques qui étudient les associations d'une culture à des plantes de services et qui mesurent à la fois les adventices et le rendement

- 2 cultures principales : céréales à paille et maïs
- Différents modes d'association : semis dans le couvert, association simultanée ou association en relais



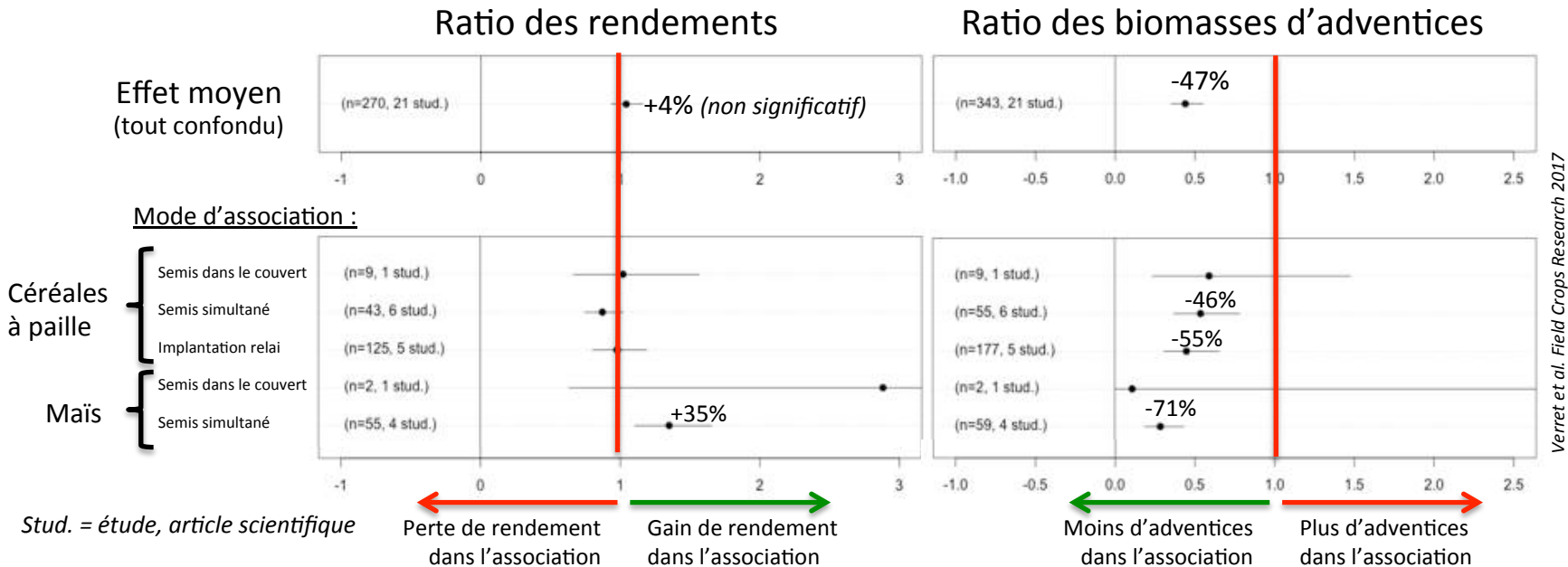
Comparaison « culture associée vs seule » Systèmes sans désherbage après association



- Réel potentiel des plantes de services pour contrôler les adventices
- Des cas nombreux où on maintient et augmente le rendement



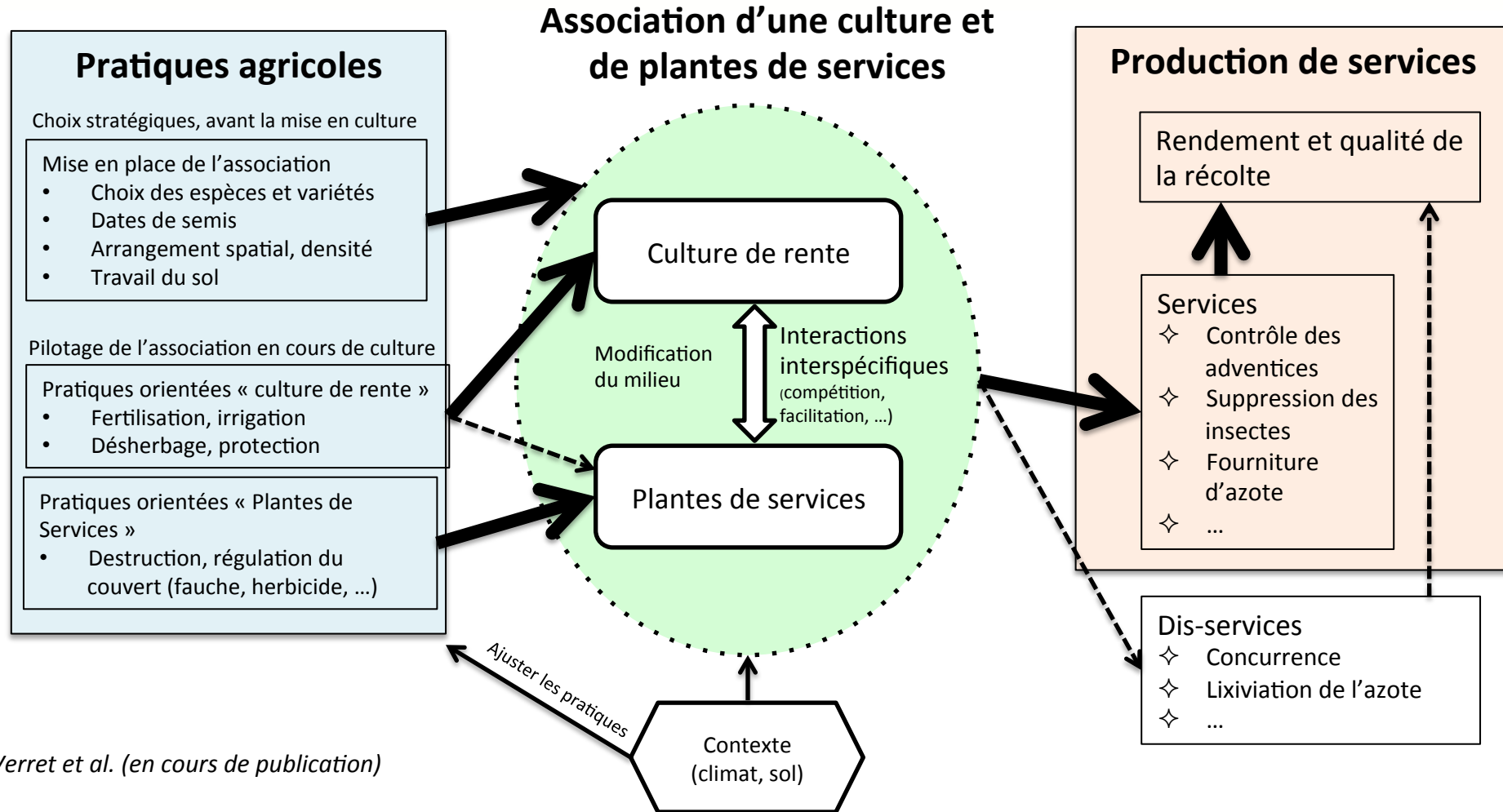
Comparaison « culture associée vs seule » Systèmes sans désherbage après association



- Efficacité montrée dans beaucoup de cas
 - Réduction d'adventices sans perte de rendement
 - Gain de rendement pour maïs associé
 - Des bénéfices moindres quand un programme de désherbage est mis en place
- ==> des associations intéressantes pour concevoir des itinéraires à bas niveaux d'intrants**



Gestion du couvert plurispécifique et production de services



Verret et al. (en cours de publication)

👉 Mettre en adéquation les pratiques avec le contexte et les objectifs visés

Ce que l'on sait, ce que l'on ne sait pas

- Les plantes de services amplifient les effets des couverts végétaux implantés pendant les périodes d'interculture
- Des services réellement constatés avec une efficacité accrue dans les systèmes visant des économies d'intrants
- Une conception d'association à réfléchir dans le contexte propre de la parcelle (*sol, climat, culture*) pour réussir l'implantation et produire des services
- Un pilotage des cultures plus complexes pour maximiser la production de services et minimiser les dis-services
- Des inconnues sur :
 - les processus biologiques (*cycle de l'azote, effets sur les insectes, racines*)
 - Les interactions espèces x milieu x pratiques

FONCTIONNEMENT DES ASSOCIATIONS

👉 **COLZA HIVER + PLANTES DE SERVICES**

👉 **BLÉ TENDRE HIVER + PLANTES DE SERVICES**



**RÉSULTATS DU PROJET
ALLIANCE**

COLZA D'HIVER

associé à des plantes de services



Présentation des résultats

- Constat sur la culture
- Mise en œuvre de l'association
- Services recherchés
- Quantification des services
- Fonctionnement de l'association
- Evaluation de conduites

La durabilité du colza en question

2^{ème} consommateur de pesticides en grandes cultures

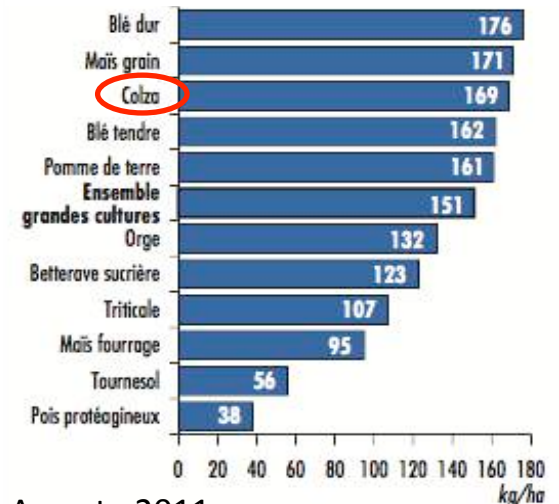
3^{ème} consommateur d'azote minéral

Protection chimique

	IFT Herbicide			IFT Fongicide			IFT Insecticide			IFT Autre			IFT Total avec traitement semences		
	2011	2014	Évol.	2011	2014	Évol.	2011	2014	Évol.	2011	2014	Évol.	2011	2014	Évol.
Blé tendre	1,3	1,6	↗	1,5	1,7	↗	0,3	0,1	↘	0,4	0,5	↗	4,5	4,9	↗
Blé dur	1,2	1,4	↗	1,1	1,5	↗	0,2	0,1	↘	0,2	0,2	ns	3,7	4,2	↗
Orge	1,4	1,8	↗	1,1	1,1	ns	0,1	0,1	ns	0,4	0,5	↗	4,0	4,2	↗
Triticale	1,1	1,2	↗	0,5	0,6	↗	0,1	0,0	↘	0,1	0,1	ns	2,7	2,7	ns
Colza	1,5	1,8	↗	1,2	1,2	ns	2,2	2,0	ns	0,4	0,6	↗	6,1	6,5	↗
Tournesol	1,3	1,4	↗	nd	0,1	↗	0,1	0,1	ns	0,2	0,3	↗	2,6	2,8	↗
Pois protéagineux	1,2	1,3	↗	0,9	1,1	↗	1,5	1,4	ns	nd	0,0	↗	4,6	4,6	↗
Mais fourrage	1,4	1,4	ns	nd	nd	↗	0,1	0,1	ns	nd	nd	↗	2,4	2,4	ns
Mais grain	1,5	1,5	ns	nd	nd	↗	0,3	0,3	ns	0,1	0,1	↗	2,7	2,8	ns
Betterave sucrière	2,8	2,7	ns	1,3	1,4	↗	0,2	0,1	↘	nd	nd	↗	5,2	5,3	ns
Pomme de terre	2,3	2,2	ns	11,7	14,4	↗	1,4	0,9	↘	nd	0,6	↗	18,5	18,9	↗
Canne à sucre	2,2	2,9	↗	nd	nd	↗	nd	nd	↗	1,5	0,8	↘	3,7	3,8	ns

SSP - Agreste - Enquête Pratiques culturales en grandes cultures 2011 et Enquête Pratiques phytosanitaires en grandes cultures 2014. Les Dossiers n°36.

Dose moyenne d'azote (surface ne recevant que de l'azote minéral)

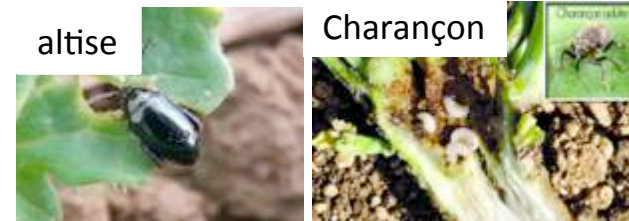


Agreste 2011

Obligation -50% de GES pour le biodiesel parfois difficile à atteindre

De nombreux ravageurs :

- « Avec le colza, on est tout le temps sur le pulvé... »
- Des molécules moins nombreuses et moins efficaces
- Des parasites en expansion (Orobanche)



👉 Quelles solutions alternatives à ces intrants ?

Constat sur le colza dans les exploitations

- Une culture avec des atouts agronomiques et économiques :
 - Bon précédent pour le blé
 - Valorise bien les petites terres
 - Prix de vente tiré par la filière biodiesel
- MAIS :
 - **Investissement important** en herbicides à l'automne sans garantie totale d'un bon développement *(60-100 euros/ha à automne)*
 - Si retournement du colza à automne/hiver *(climat, altises, ...)* : **choix limité** de culture de remplacement si herbicides appliqués
 - Constat d'une « **efficacité aléatoire** » des insecticides d'automne ?

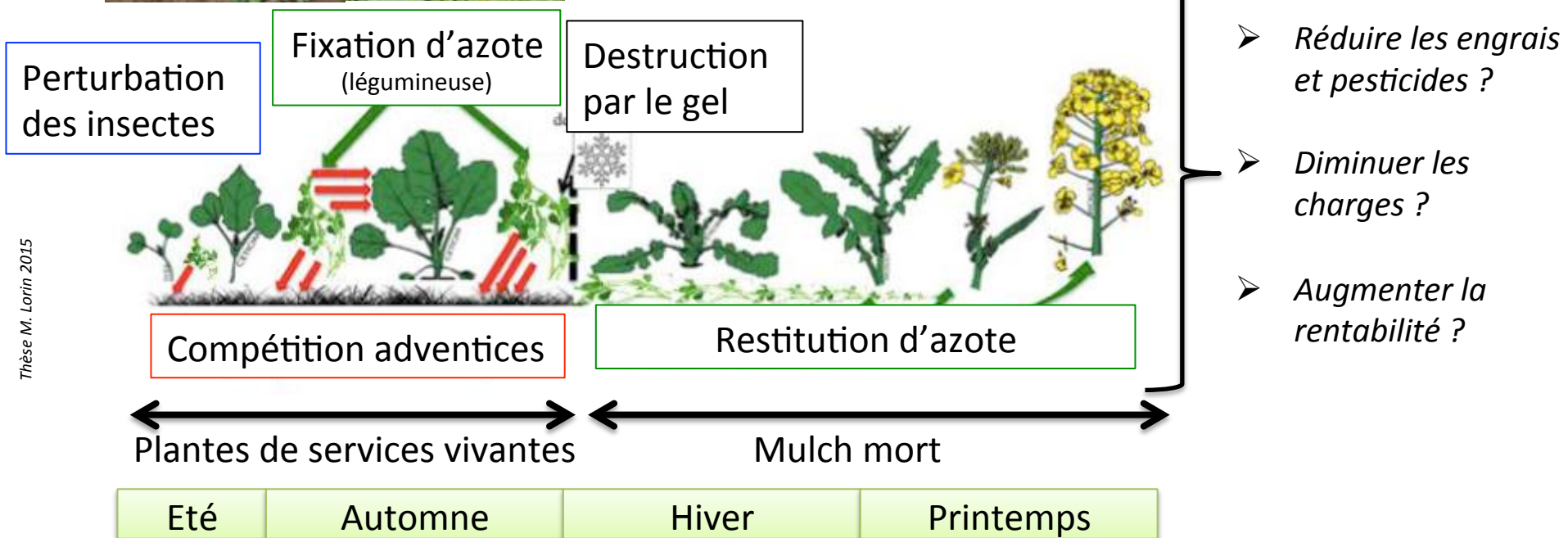


➔ Une culture en perte de vitesse sur certains territoires

👉 *Quelles solutions alternatives ??*

Opportunités et solutions

COLZA D'HIVER ASSOCIÉ à des plantes de services : une innovation des agriculteurs à partir de 2007, étudiée par la recherche et le développement



Mise en œuvre de l'association

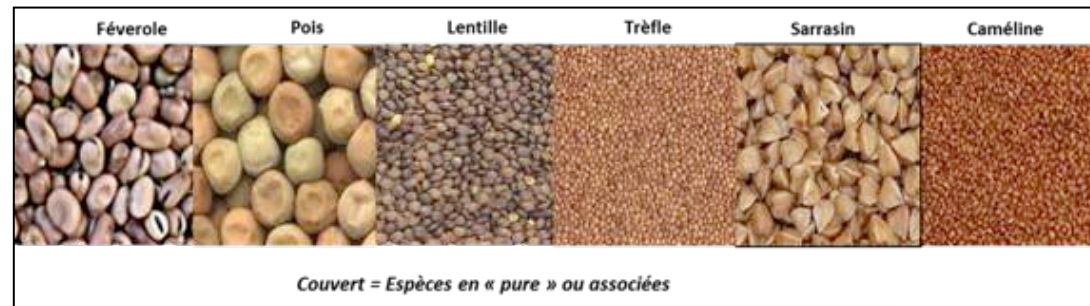
Principe :

Associer **dès le semis** (août) : **Colza d'hiver** + **1 ou plusieurs** plantes de services

- développement principalement à l'automne
- disparition pendant hiver ou printemps

Différentes techniques de semis possible

- Mélange des semences avec le colza dans le semoir
- Semis en ligne lors d'un deuxième passage, en perpendiculaire ou en décalé (entre les rangs)
- À la volée puis semis du colza au combiné



Caractéristiques principales des plantes de services

Légumineuses

Plantes associées	Intérêts du couvert	Points faibles	Gélivité	Dose semis (kg/ha)	Coûts (€/hectare)
Lentille	- Capitalisation « azote » atmosphérique - Croissance rapide ; hauteur limitée - Bon enracinement superficiel - Bon pouvoir concurrentiel « adventices » - Taille des graines proche du colza	- Sensible à Aphanomycès - Recouvrir les graines au semis	- 5°C	25 kg/ha	55 €
Féveroles printemps/hiver	- Capitalisation « azote » atmosphérique - Enracinement très performant - Structuration efficace en surface - Impact positif sur développement du colza - possibilité semis à la volée avant semis colza	- Recouvrir les graines au semis - Aspect gélif plus aléatoire - Grosse graine (fort PMG), mélange délicat - densité semis élevée - Coût de la semence si semences certifiées - Sensible à antrachnose	-5 à -10 °C <i>(forte variabilité variétale)</i>	60-70 kg/ha <i>(10-12 pieds/m²)</i>	55 €
Fenugrec	- Capitalisation « azote » atmosphérique - Bon développement en conditions sèches - Non sensible à Aphanomycès - Odeur forte (curry)		-5 °C	25 kg/ha	45 €
Gesse (lathyrus)	- Capitalisation « azote » atmosphérique - Bon développement en conditions sèches	- Sensible à Aphanomycès - Recouvrir les graines au semis - Grosse graine (fort PMG), mélange délicat - Développement hétérogène	-8 °C	35 kg/ha	70 €
Trèfle Alexandrie	- Capitalisation « azote » atmosphérique - Bon développement en conditions sèches	- Croissance faible à l'automne - pouvoir concurrentiel limité vis-à-vis des mauvaises herbes	-5°C	15 kg/ha	50 €
Trèfle incarnat	- Croissance active - Bonne limitation des adventices	- Peu gélif	-10°C	10 kg/ha	30 €
Pois fourrager printemps	- Gélif - Croissance active - Bon pouvoir concurrentiel « adventices » - Peu sensible à Aphanomycès (<i>choix variétal</i>)	- Sensible maladies automne (<i>mildiou, botrytis</i>) - Très concurrentiel à automne avec colza - Dégradation résidus du pois préjudiciable au colza	-2°C	60 kg/ha	100 €
Vesces <i>- Commune printemps/hiver</i> <i>- Pourpre</i> <i>- Velue</i>	- Capitalisation « azote » atmosphérique - Croissance rapide ; hauteur limitée - Bon enracinement superficiel - Bon pouvoir concurrentiel « adventices »	- Gélivité selon variétés	0 à -10 °C <i>(forte variabilité variétale)</i>	20 kg/ha	40 €

Caractéristiques principales des plantes de services

Autres espèces non-légumineuses

Plantes associées	Intérêts du couvert	Points faibles	Gélivité	Dose semis (kg/ha)	Coûts (€/hectare)
Cameline	- Croissance rapide - Bon développement en conditions sèches - Limitation forte des adventices (<i>allélopathie</i>) => en mélange avec autres espèces, avec densité de 1-2 kg/ha maximum	- Peu gélif - Crucifères (<i>même famille que colza</i>) - Concurrentiel aussi pour colza	-10 °C	1 kg/ha	8 €
Sarrasin	- Limitation moyenne des adventices - Récolte possible à l'automne	- Très gélif - Couverture du sol limitée	0°C	25 kg/ha	60 €
...					

Expérimentations colza associé

Projet Picoblé 2009-2012

- Premières références sur beaucoup d'espèces (en pur, non-légumineuses, quelques mélanges) et sur les services (17 essais) → Construction d'une base de données d'essais

Projet Alliance : focus sur l'intérêt de mélanges d'espèces, et sur les conduites

- Des essais pour comprendre et quantifier**

- 4 essais analytiques : Azote x Désherbage (Thèse Mathieu Lorin 2013-2015, INRA, Agronomie)
- 2 essais « traits fonctionnels » d'espèces (2015-2016, 2 chambres d'agriculture)



- Des essais pour quantifier les services**

- 13 essais « développement » 2014-2015
- Comparaison de différents mélanges



- Des essais pour tester des conduites**

- 10 essais « développement » 2015-2016
- 8 essais « développement » 2016-2017
- « comparaison de conduites techniques »



	Thèse M. Lorin (4 essais)
	2014-2015 (13 essais)
	2015-2016 (12 essais)
	2016-2017 (8 essais)

→ 37 essais en parcelles d'agriculteurs, lycées agricoles et stations expérimentales de semenciers

3 catégories d'essais sur le colza



- Des essais pour comprendre le fonctionnement de l'association et les processus



- Des essais pour quantifier les services de l'association



- Des essais pour évaluer des conduites de colza associé

Essais analytiques de comparaisons d'espèces et de mélanges (2013-2015)

1. Y a t'il un intérêt agronomique à associer le colza à des plantes de services ?
2. Certaines espèces sont-elles plus aptes que d'autres à fournir des services à la culture de colza ?
3. Pour quelles conditions de milieu et de pratiques ces aptitudes s'expriment-elles ?

Bénéfices

- Azote
- Adventices
- Insectes

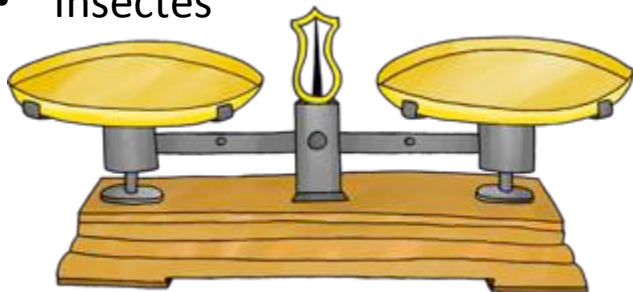
Compétition

- Croissance
- Rendement

Climat
Sol
Localisation
Espèces
ITK
...



Constitution d'une base de données d'essais de colza associé pour synthèse pluri-annuelle



Essais analytiques de comparaison d'espèces et de mélanges (2013-2015)

Essais « développement » de comparaison d'espèces de plantes compagnes

- Itinéraire technique « Bas Niveau d'Intrants » (BNI) :
 - Pas d'antidicotylédone à l'automne
 - Réduction de la dose totale d'azote apportée sur le colza d'hiver

Services attendus :

- Concurrencer les adventices à l'automne
- Perturber les insectes à l'automne
- Fixer de l'azote à l'automne et le restituer au printemps

Objectifs : → Pas d'impact sur le rendement avec -40 UN

→ Gain de rendement avec fertilisation équivalente au colza seul

Protocole des essais analytiques

• Essais « Recherche » (*Thèse M. Lorin*) à Grignon (78)

Fenugrec

Féverole

Gesse

Lentille

Pois fourrager

Trèfle d'Alexandrie

Vesce commune



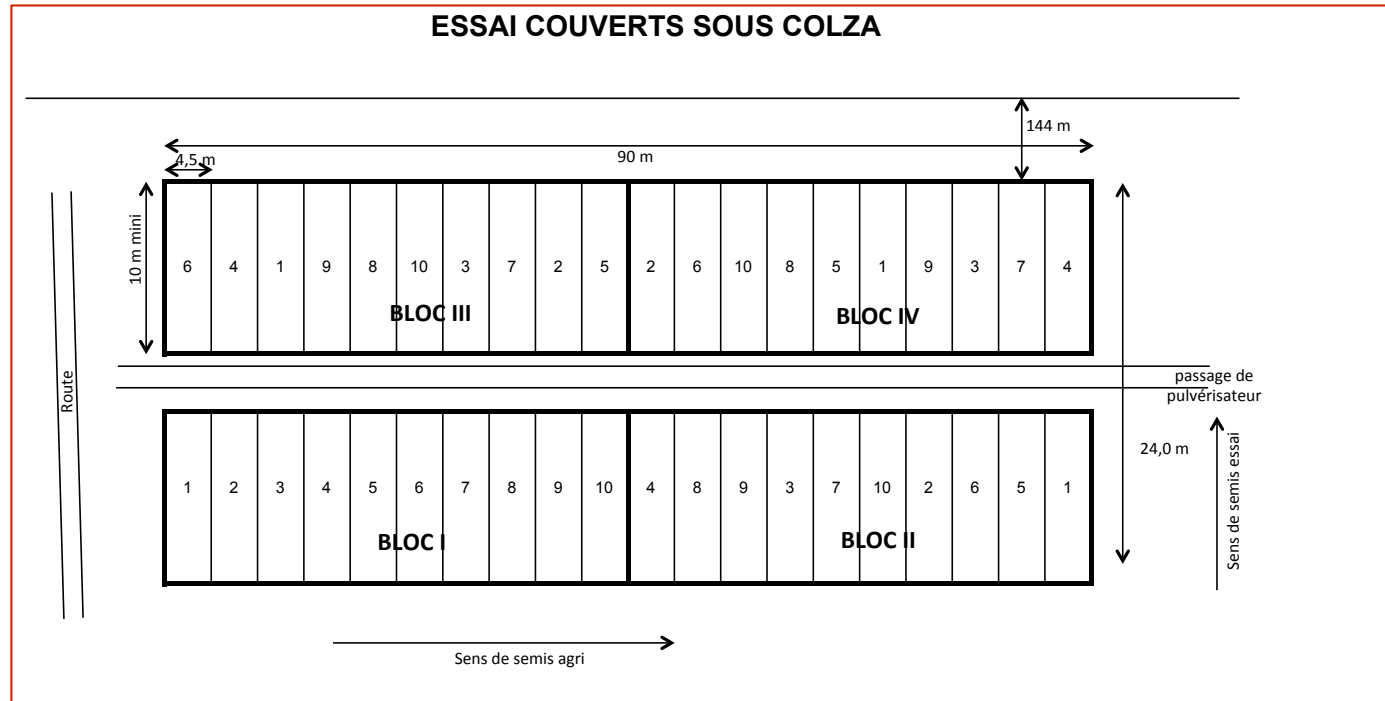
- + 3 mélanges d'espèces : **Gesse + fénugrec + lentille, Lentille + féverole et Vesce + féverole + trèfle A**
- Implantation à 2 niveaux de disponibilité d'azote au semis
- Semis de graines d'adventices pour évaluer leur régulation par les plantes de services
- Fertilisation avec de l'azote marqué au 15N pour évaluer les différences d'absorption par le colza
→ Bilan des biomasses en entrée hiver, azote absorbé à floraison

• Essais « Développement »

- **Tronc commun de 4 mélanges : Lentille + féverole , Féverole + vesce, Gesse + fenugrec + lentille, 2 vesces + TA**
- Choix des parcelles : Pression adventices « maîtrisée »
- Dispositif en blocs répétés ou en bande d'agriculteur
- Précédent céréales
- Conduite technique : Pas d'anti-dicot, Réduction d'azote -40UN
→ Mesures au champ : bilan de biomasses en entrée hiver et rendement à la récolte

Exemple de dispositif

Essai de la CdA49 en 4 blocs répétés



Source : Florence Léon, CA49

	Azote
1 Lentille fourragère (13 Kg/Ha) + Féverole de Printemps (50 Kg/Ha)	X
2 Vesce pourpre VB19 (16 Kg/Ha) + Féverole de Printemps (50 Kg/Ha)	X
3 Colza Fix Trio (Sempartner) Gesse + Fenugrec + Lentille (22 Kg/Ha)	X
4 Colza JD : Vesce Commune + Vesce Pourpre + Trèfle d'Alexandrie (25 Kg/Ha)	X
5 Colza pur	X
6 Lentille fourragère (13 Kg/Ha) + Féverole de Printemps (50 Kg/Ha)	X - 40 U
7 Vesce pourpre VB19 (16 Kg/Ha) + Féverole de Printemps (50 Kg/Ha)	X - 40 U
8 Colza Fix Trio (Sempartner) Gesse + Fenugrec + Lentille (22 Kg/Ha)	X - 40 U
9 Colza JD : Vesce Commune + Vesce Pourpre + Trèfle d'Alexandrie (25 Kg/Ha)	X - 40 U
10 Colza pur	X - 40 U

Quantifier les services

1^{ère} étape: collecte de données

Essais Alliance



+

Essais hors projet Alliance

Casdar Picoblé 2009-2012
Terres Innovia 2010-2014
Chambres d'agriculture

BANQUE DE DONNEES D'ESSAIS

Mesures au champ en entrée hiver, floraison ou à récolte

Biomasse et quantité d'azote COLZA

Biomasse et quantité d'azote Plantes de services

Biomasse, abondance et quantité d'azote ADVENTICES

Quantité d'azote dans le sol

Rendement machine

ITK

Travail du sol

Densité de semis de colza, de légumineuses

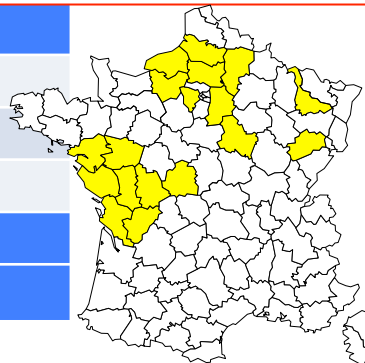
Traitements phyto, Fertilisation

Info Localisation, type et profondeur de Sol

Données météo journalières agrégées sur l'automne

Livrable

79 essais exploités

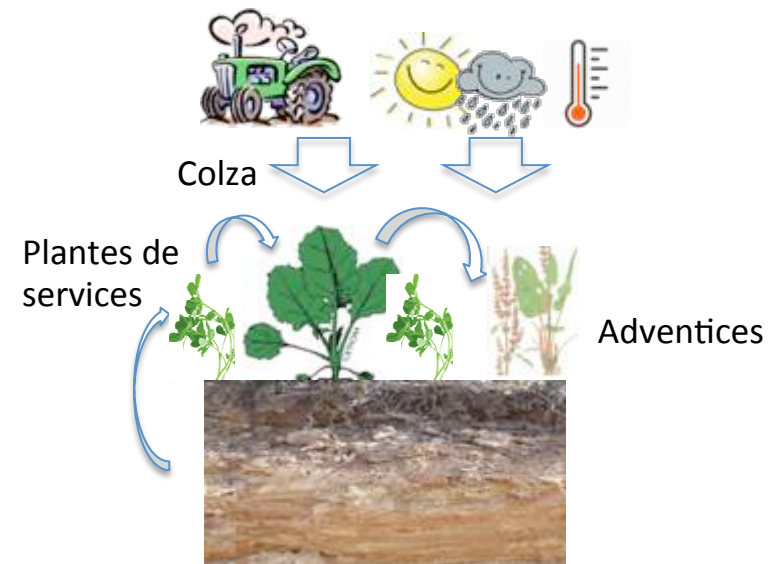


2^{ème} étape : analyse multilocale

- Quantifier les effets de l'association et les services rendus et expliquer à partir des variables explicatives disponibles :



- ✧ Pratiques culturales
- ✧ Météo
- ✧ Caractéristiques du sol



Evaluation des effets de l'association à différents stades sur l'ensemble de la banque de données d'essais « ALLIANCE »



1. Effets de l'association à l'automne, en entrée hiver

- ☞ Croissance des couverts (*pesée, azote*)
- ☞ Compétition avec le colza (*pesée, azote*)
- ☞ Régulation des adventices (*comptage, pesée*)
- ☞ Perturbation des insectes (*comptage dégâts*)



3. Impact à la **récolte**

- ☞ Mesure du rendement



2. Effets à **floraison**

- ☞ Restitution d'azote par le couvert
- ☞ Absorption par le colza (*pesée, azote*)



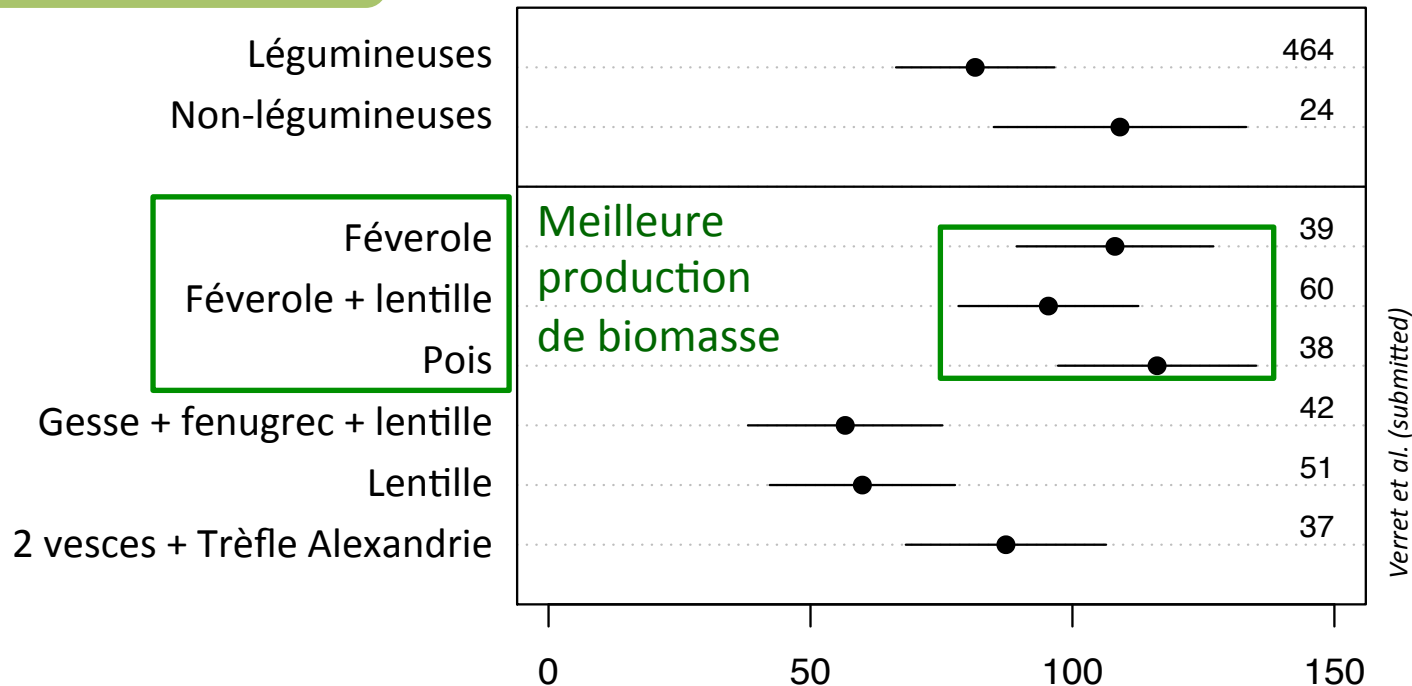


Effets de l'association en entrée hiver

Biomasse des plantes de service



Masse sèche de plantes de services (g m⁻²)



Plantes de services

- 5-10 tonnes de matières fraîches / ha produites en entrée hiver
- Entre 10 et 90 kg d'azote / ha absorbés

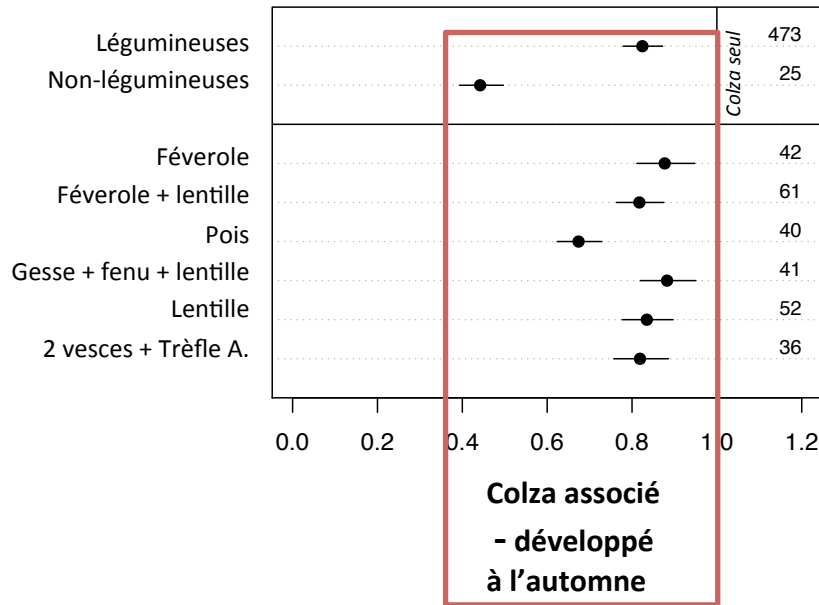


Effets de l'association en entrée hiver

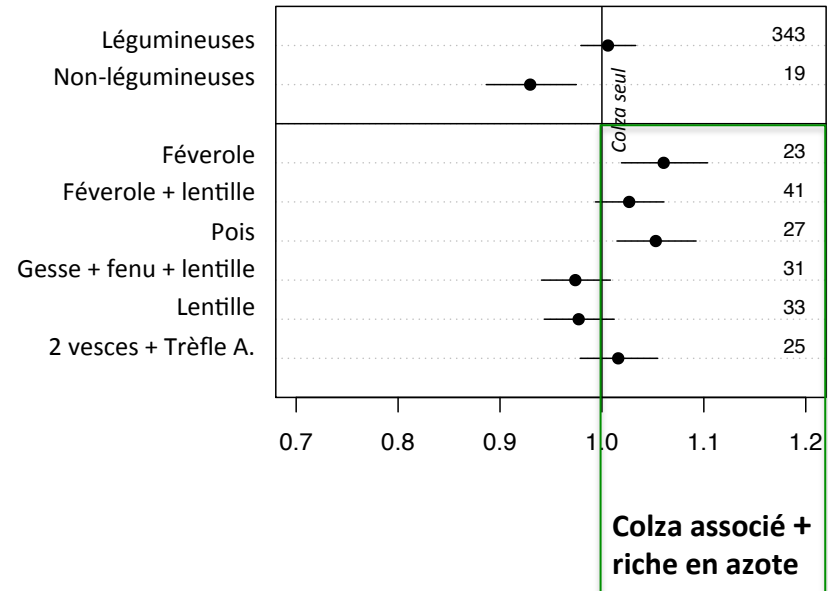
Impact sur nutrition azotée
et biomasse du colza d'hiver



Ratio de biomasse du colza en entrée hiver
(colza associé/seul)



Nutrition azotée du colza en entrée hiver
(ratio d'INN colza associé/seul)



Verret et al. (submitted)

➤ Compétition sensible avec le colza : -18%
en association par rapport au colza seul

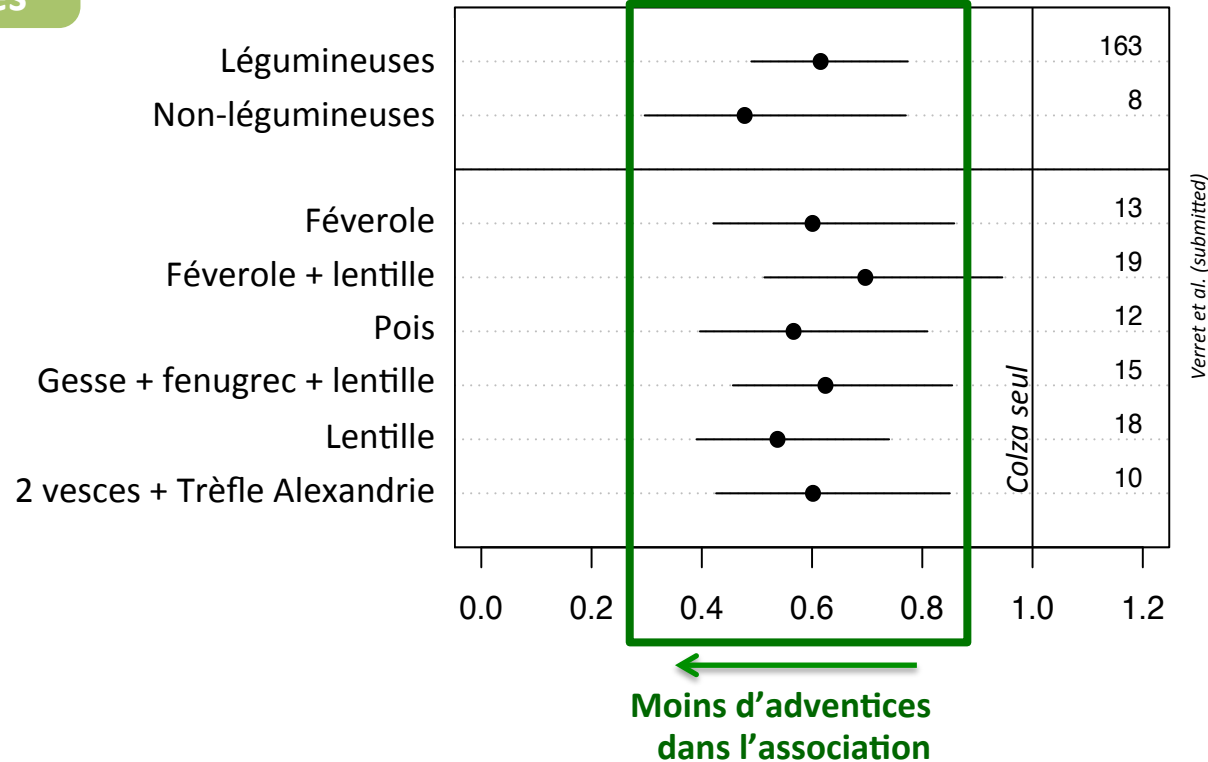
Colza « souvent plus vert »
Meilleure absorption d'azote



Effets de l'association en entrée hiver

Régulation des adventices

Ratio d'adventices (*colza associé/colza seul*)



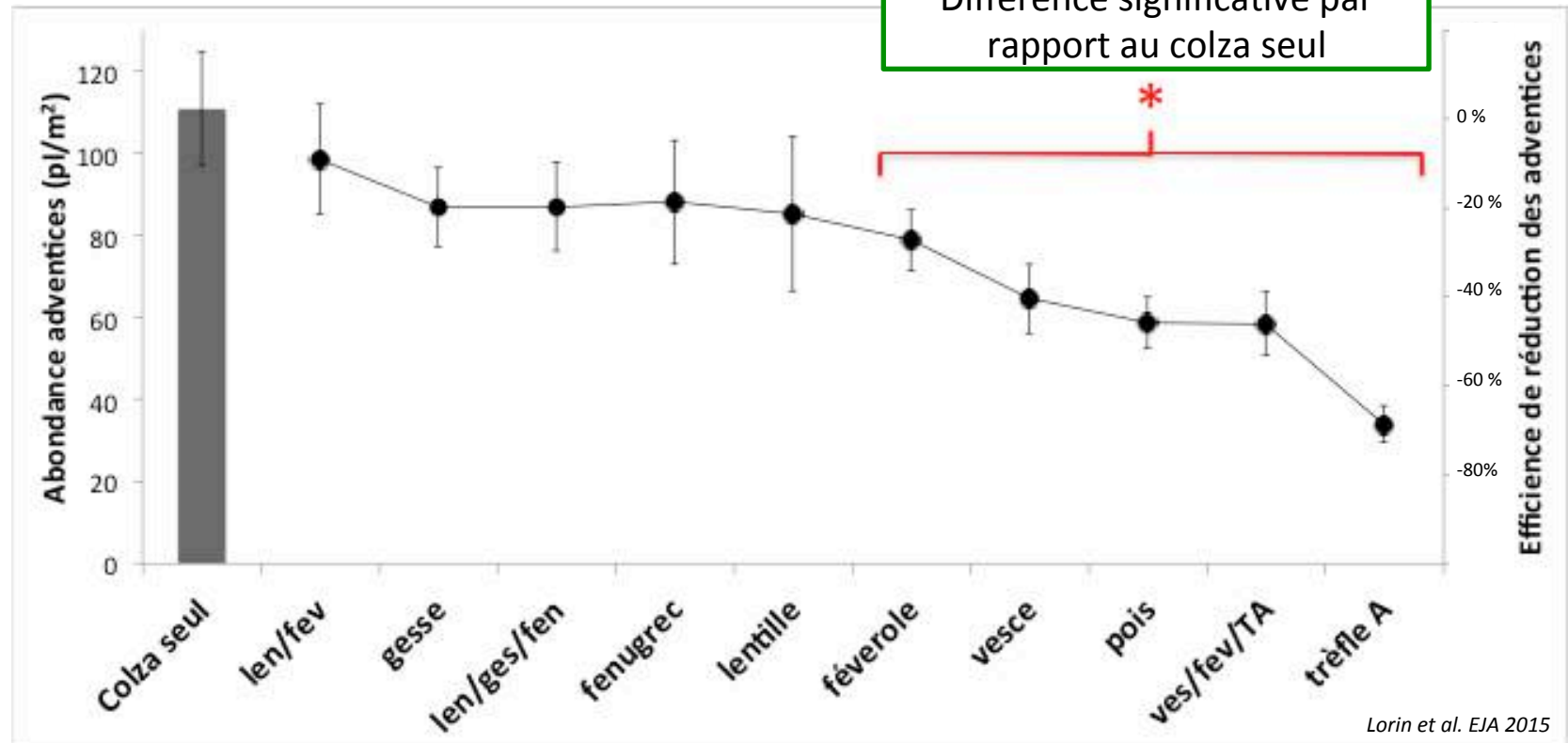
- -38% de biomasse d'adventices
- Pas de différence statistique entre les différentes espèces testées



Effets de l'association en entrée hiver

Régulation des adventices

Essais de Grignon (78) en 2012 et 2013,
avec des adventices semées sur la parcelle



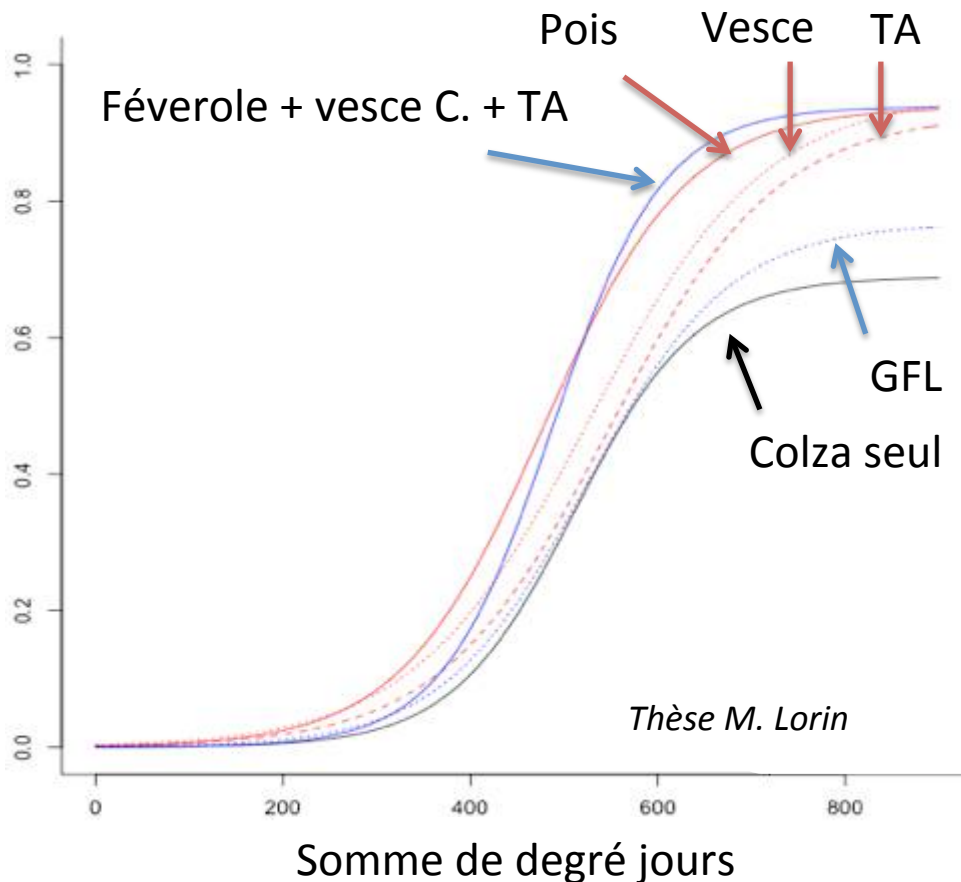
➔ Potentiel important de réduction de l'abondance des adventices en entrée hiver



Effets de l'association en entrée hiver

Couverture du sol

Efficiéce d'interception du PAR
(rayonnement photosynthétiquement actif)



Essais de Grignon (78) en 2012 et 2013

GFL : gesse, fenugrec, lentille
TA : trèfle d'Alexandrie

➔ **Meilleure efficacité d'interception de la lumière en association**

- ✧ Les couverts avec espèces associées au colza interceptent plus de lumière
- ✧ Celles qui semblent induire une réduction des adventices semblent aussi celles qui ont une dynamique d'interception lumineuse rapide :
➔ **Plantes hautes et ramifiées**

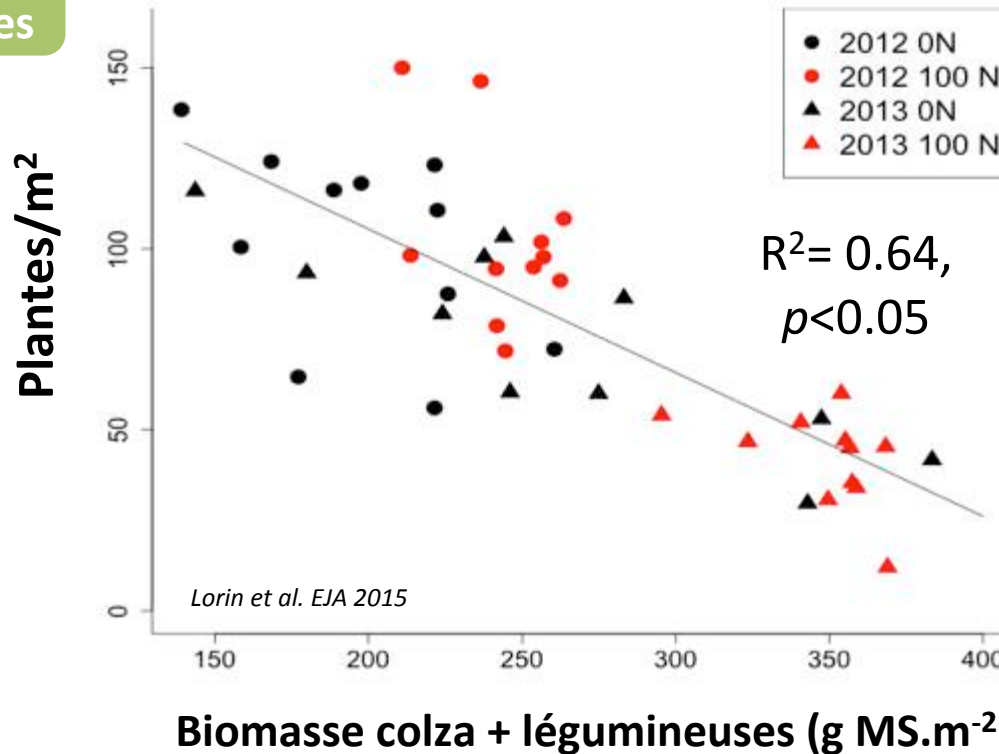




Effets de l'association en entrée hiver

Abondance des adventices en entrée d'hiver

Régulation
des adventices



Essais de Grignon (78) en 2012 et 2013, avec des adventices semées sur la parcelle

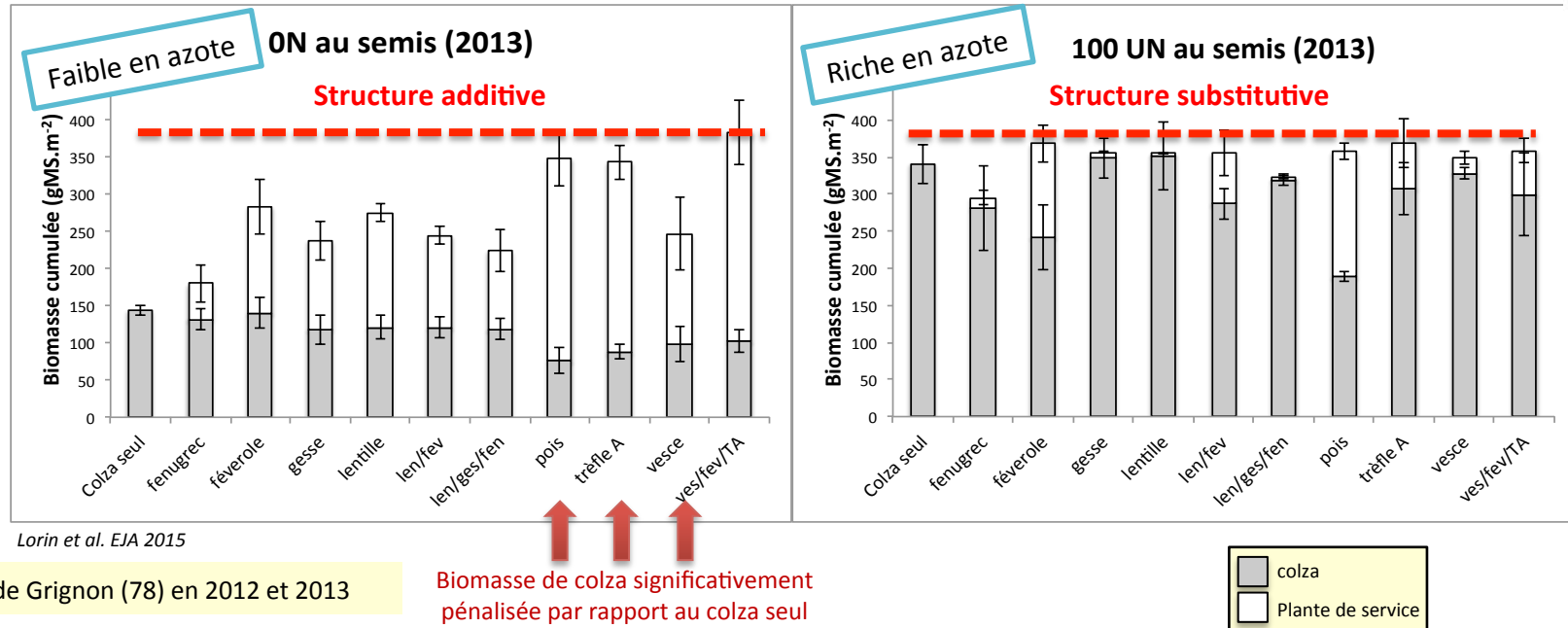
- ➔ La biomasse totale du couvert (*colza + plantes de services*) détermine la capacité à réguler les adventices
- ➔ Atteindre une biomasse > 350/400 g MS/m² semble intéressant pour réguler les adventices



Effets de l'association en entrée hiver

Biomasse des plantes de service

Influence de la disponibilité d'azote au semis sur la croissance des plantes de services à l'automne



Lorin et al. EJA 2015

Essais de Grignon (78) en 2012 et 2013

- ➔ En condition de faible disponibilité en azote, certaines espèces s'en sortent mieux : Fev/Ves/TA, Pois et TA produisent des biomasses susceptibles de réguler les adventices
- ➔ En cas de forte disponibilité en azote au semis du colza (*précédent légumineuse, compost, effluents d'élevage,...*) le colza à lui seul suffirait à réprimer les adventices mais aussi les plantes associées les moins compétitives ➔ **perte du service lié au couvert ?**

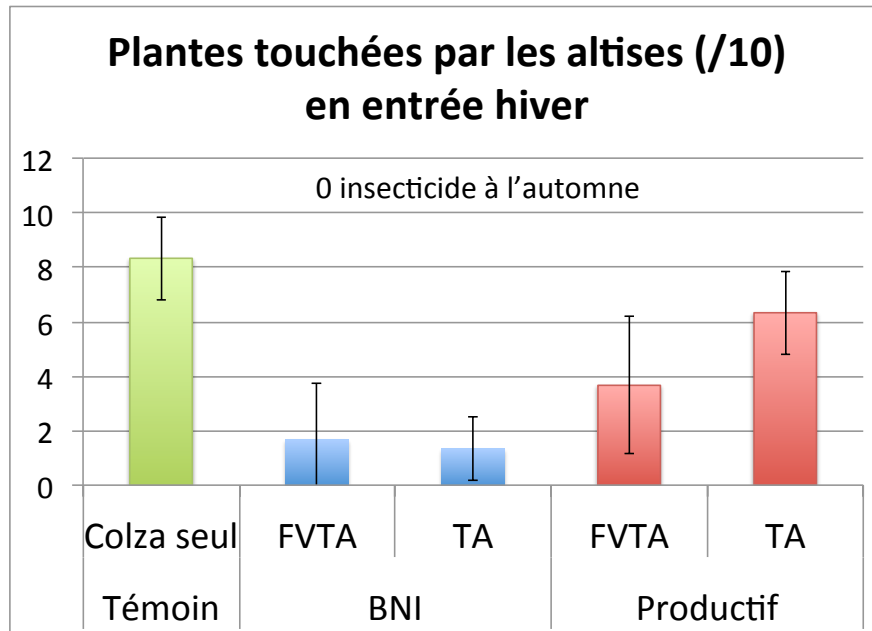


Effets de l'association en entrée hiver

Maitrise des ravageurs

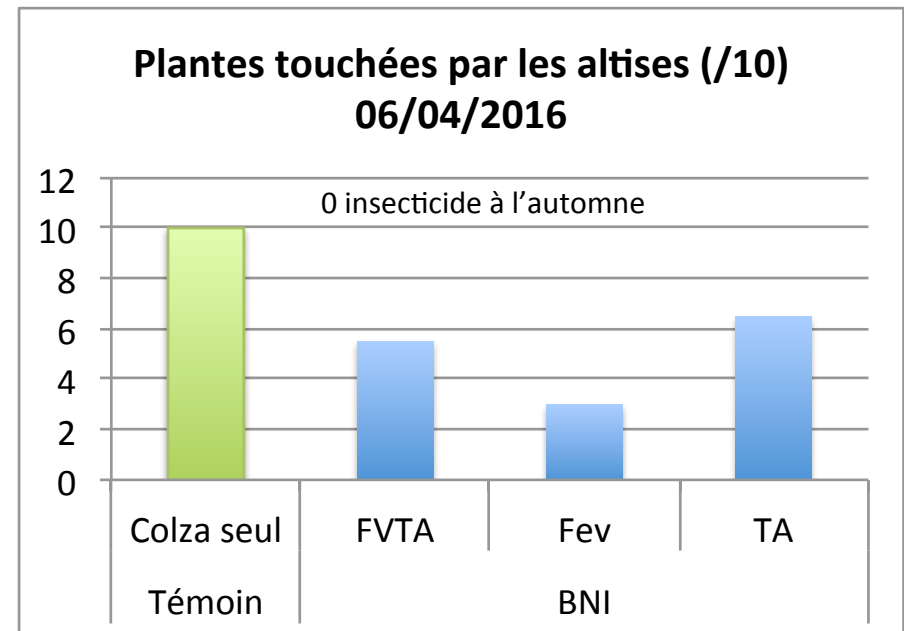


Essai 2015-2016 – CA60



FVTA : féverole, vesce, trèfle Alexandrie
TA : trèfle d'Alexandrie

Essai 2015-2016 – CA77



**Deux fois moins de dégâts d'altises dans les colzas associés
→ À approfondir et valider !**

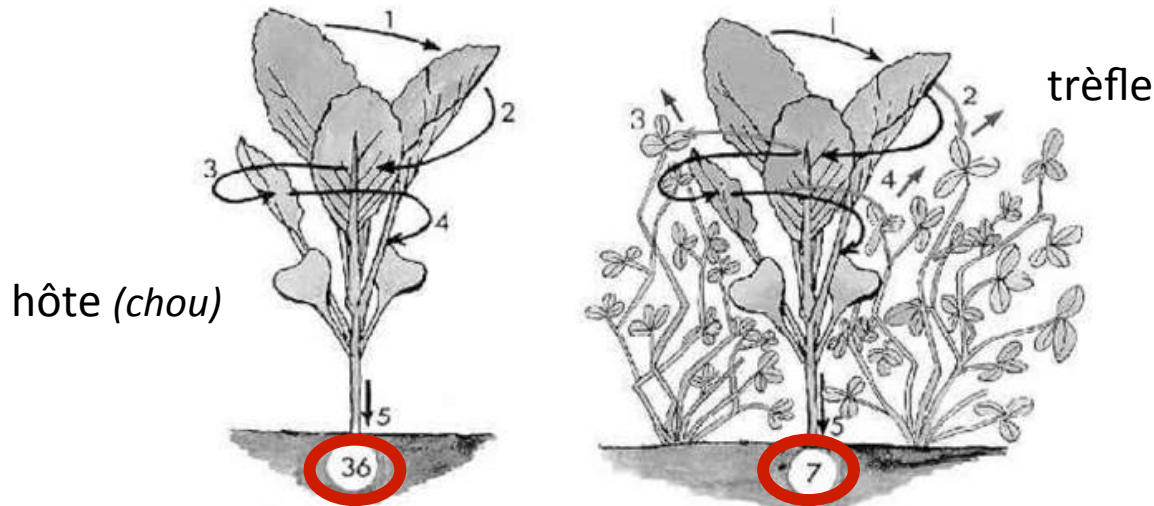


Effets de l'association en entrée hiver

Maitrise des ravageurs



Perturbation du vol de reconnaissance de la plante hôte
- Exemple sur la mouche du chou -



Effet de l'environnement proche (trèfle) sur l'acceptation de la plante hôte (chou)
par la mouche du chou (Finch & Collier 2000)

- Les numéros fléchés représentent quatre vols de feuille à feuille réalisés par l'insecte pour vérifier s'il est bien sur la plante hôte dans laquelle il va pondre ses œufs.
- Le nombre en bas de la plante **7** représente le pourcentage d'insectes ravageurs qui parviennent jusqu'à leur lieu de ponte au collet de la plante.



Effets de l'association à floraison

Impact sur la nutrition azotée du colza d'hiver à floraison



Essai de Grignon (78) 2012 et 2013

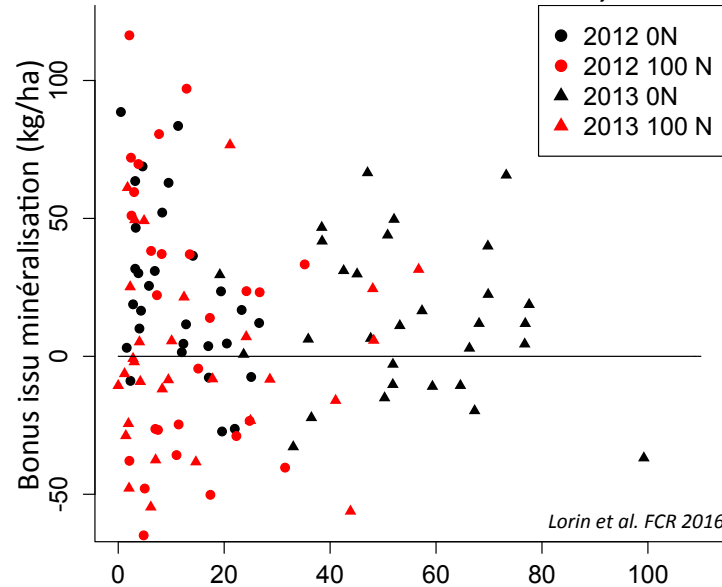
L'azote apporté pour fertilisation au printemps est marqué à la radioactivité (^{15}N) pour être suivi.

Le colza associé a absorbé **plus** d'azote que le colza seul

Le colza associé a absorbé **moins** d'azote que le colza seul



Différentiel d'absorption d'azote entre un colza associé et un colza seul, à floraison



Azote contenu dans les parties aériennes des légumineuses (kg/ha)

➔ **Pas de relation entre le bonus et la quantité d'N contenu dans les parties aériennes des plantes de services**

L'azote stocké dans les parties aériennes des plantes de services à l'automne, avant leur destruction, ne présage pas du bonus d'absorption du colza au printemps...

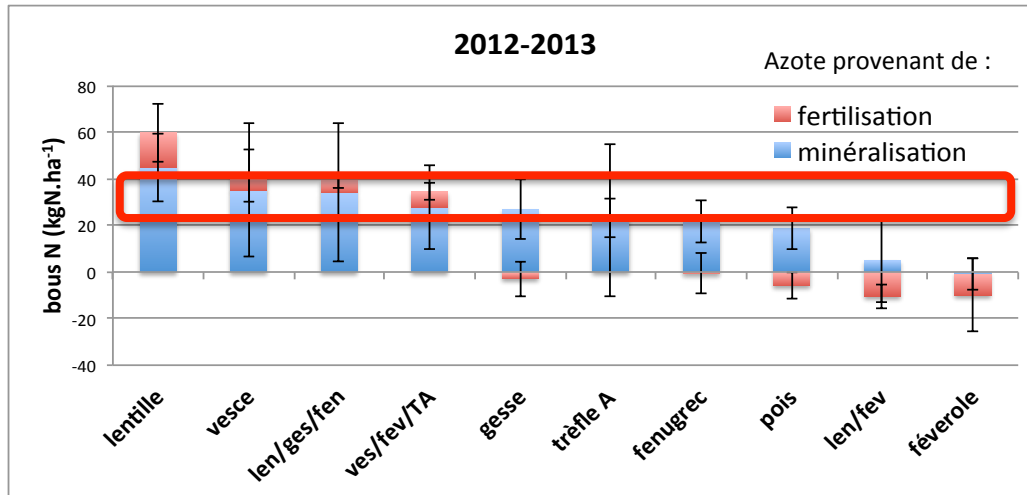


Effets de l'association à floraison

Impact sur la nutrition azotée du colza d'hiver à floraison

Essai de Grignon (78) 2012 et 2013

L'azote apporté pour fertilisation au printemps est marqué à la radioactivité (^{15}N) pour être suivi.



Lorin et al. FCR 2016

- Bonus d'absorption d'azote de 20 à 40 $\text{kgN} \cdot \text{ha}^{-1}$ par rapport au colza seul !!**
- Malus faible pour la féverole et féverole + lentille = ré-organisation de l'azote dans le sol**

En rouge : l'azote absorbé en surplus par le colza associé par rapport au colza seul provient d'une meilleure valorisation de la fertilisation minérale.

En bleu : l'azote absorbé en surplus par le colza associé par rapport au colza seul provient d'une minéralisation accrue des matières organiques du sol et/ou des résidus des plantes de services qui se dégradent.



Nodulation sur racines de vesce pourpre avant sa destruction à l'hiver



Trèfle d'Alexandrie

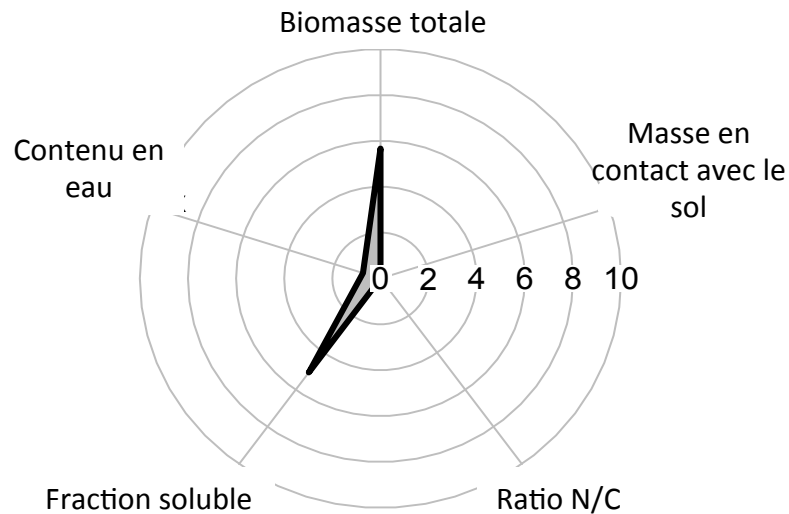
Déterminants de la minéralisation des résidus de légumineuses

Essai de Grignon (78) 2012 et 2013

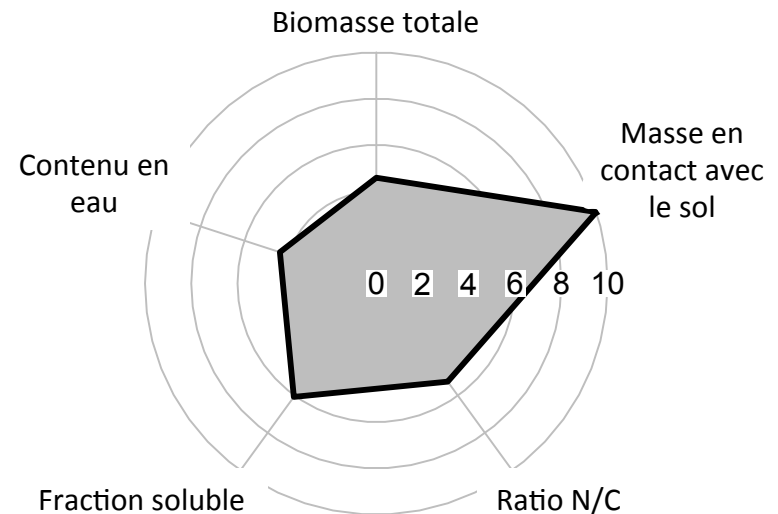


Des traits (*caractéristiques*) différents selon les espèces implantées

Féverole



Vesce commune



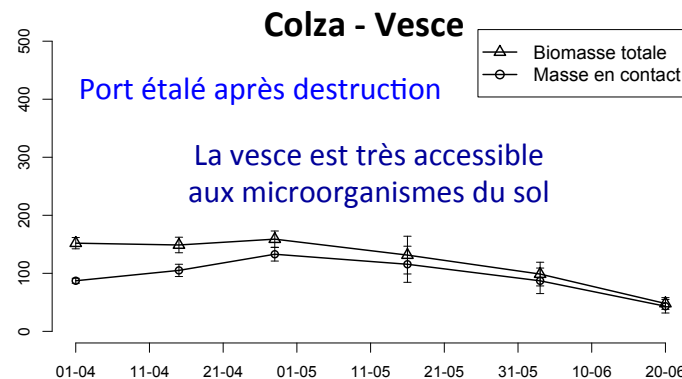
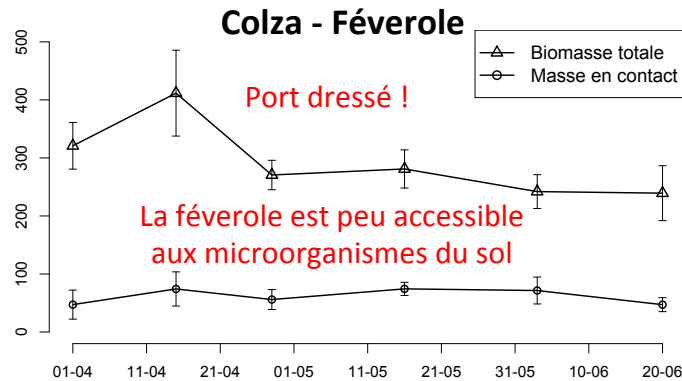
Thèse M. Lorin

➔ Des vitesses de dégradation variables des résidus des plantes de services selon leurs caractéristiques : « port » (*dressé, couché*), contenu en eau, fraction soluble, ...

Déterminants de la minéralisation des résidus de légumineuses

➔ Des vitesses de dégradation variables des résidus des plantes de services selon leur « port » (*dressé, couché*)

Essai de Grignon (78)
2012 et 2013



Thèse M. Lorin

Hypothèse :

- Dégradation plus rapide des résidus de vesce (*par rapport à la féverole*)
- Meilleure disponibilité en azote pour le colza après vesce



Effets de l'association à floraison

Impact sur la nutrition azotée
du colza d'hiver à floraison

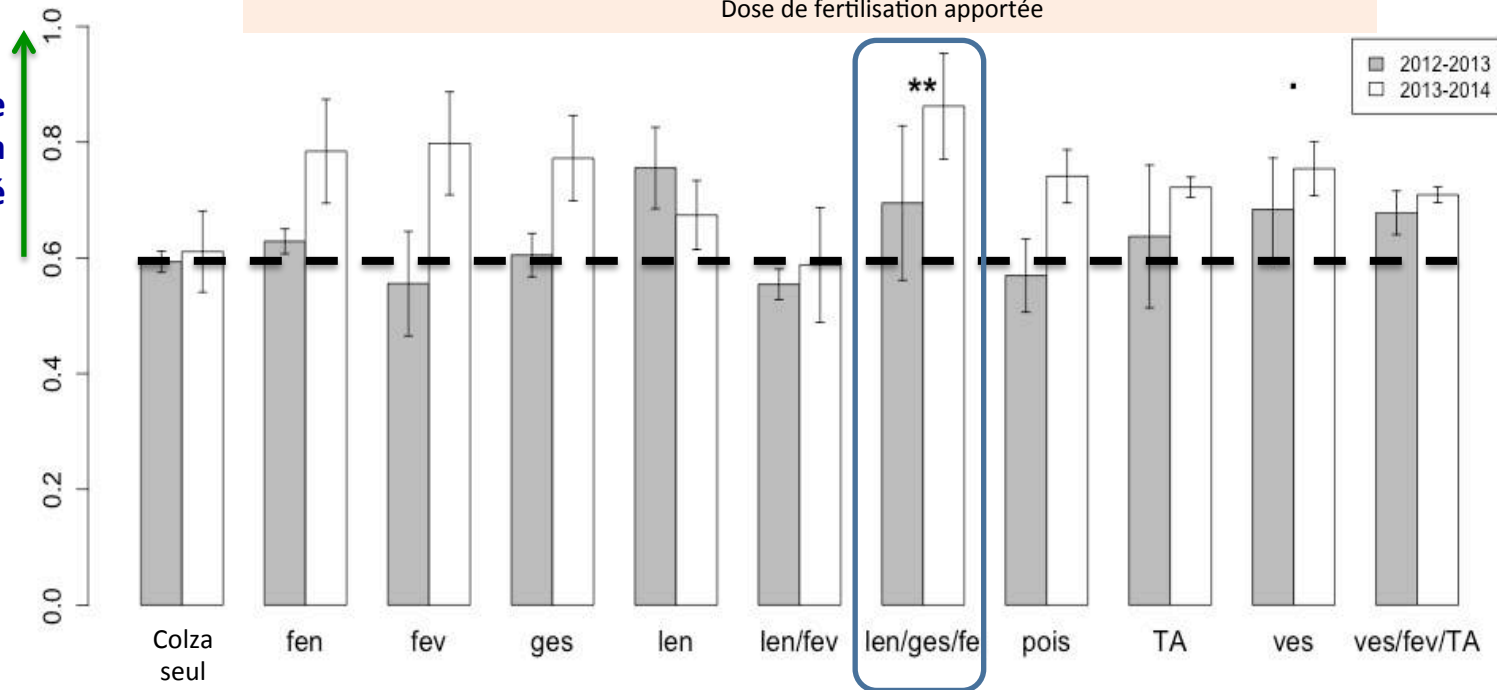
Essai de Grignon (78) 2012 et 2013

Coefficient utilisation de l'azote (CUA) issu de la fertilisation

$$\text{CUA} = \frac{(\text{Azote absorbé provenant de la fertilisation (feuilles + tiges + racines + feuilles mortes)})}{\text{Dose de fertilisation apportée}}$$



Efficience accrue
dans le colza
associé



Lorin et al. FCR 2016

➔ Le colza associé absorbe mieux l'azote apporté (*effet facilitation*)

Hypothèses :

- modification du système racinaire du colza, plus profond et plus efficace
- meilleure structure du sol en surface

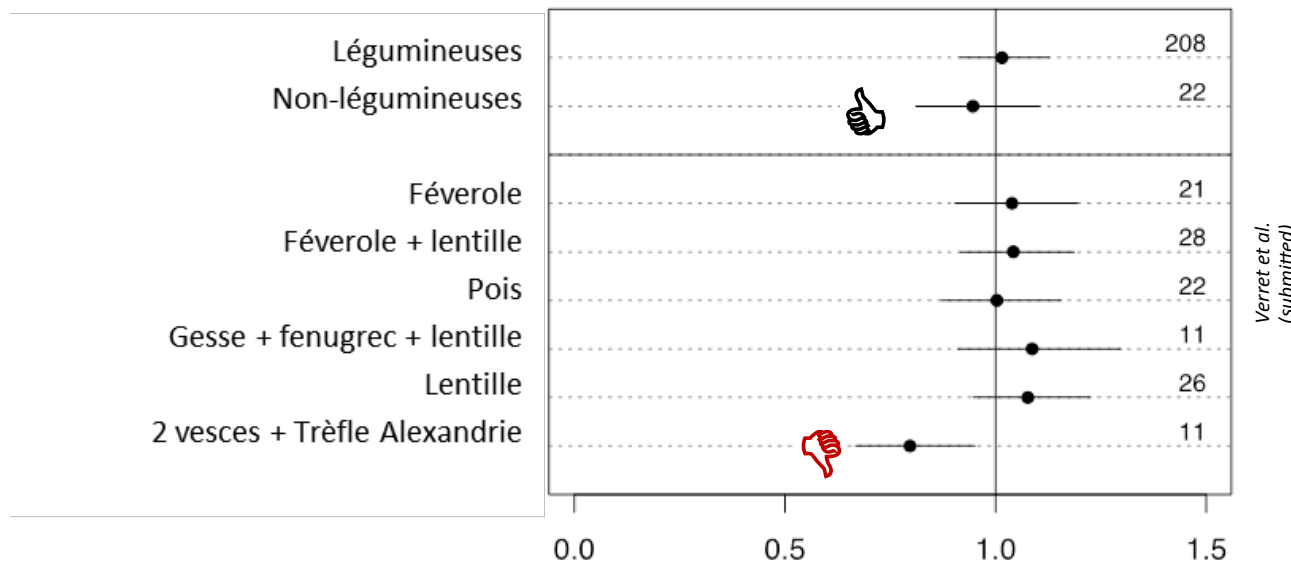


Effets de l'association à floraison

Impact des plantes de services
Sur la croissance du colza
au printemps



Ratio de biomasse du colza à floraison
(colza associé/seul)



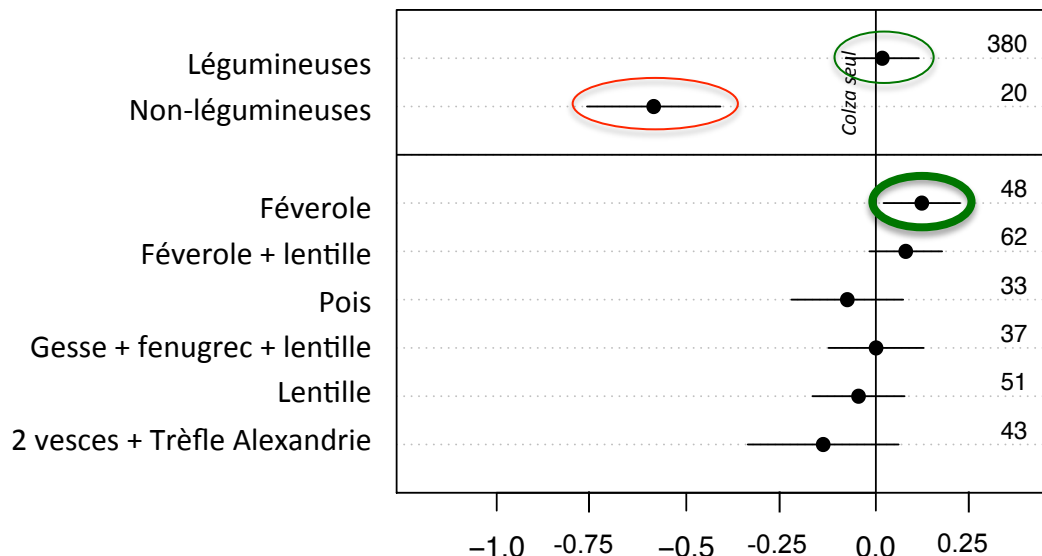
- ➔ Le colza associé a compensé le retard de croissance observé en entrée hiver par rapport à au colza seul
- ➔ « 👍 » en moyenne, les espèces non légumineuses ne pénalisent pas forcément la biomasse du colza à floraison : ex. cameline, sarrasin : espèces détruites tôt à automne (senescence, gel)
- ➔ « 👎 » : sur certains essais, les vesces n'ont pas gelé et ont pénalisé le colza



Impact sur le rendement

Rendement du colza

Ecart de rendement, à fertilisation égale ($T\ ha^{-1}$)



➔ **Non-légumineuses = perte de 6 qx/ha**

➔ **Maintien du rendement avec les plantes de services légumineuses**

➔ **Gain pour la féverole**

➔ **Autres modalités non significativement différentes du colza seul**

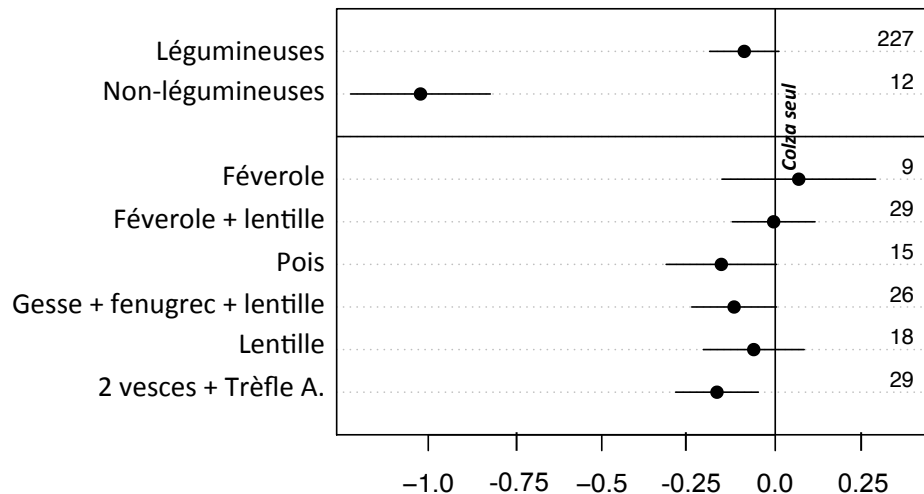


Impact sur le rendement avec **fertilisation réduite**



Rendement du colza

Ecart de rendement ($T\ ha^{-1}$) avec **-30/-40 U d'azote par hectare**

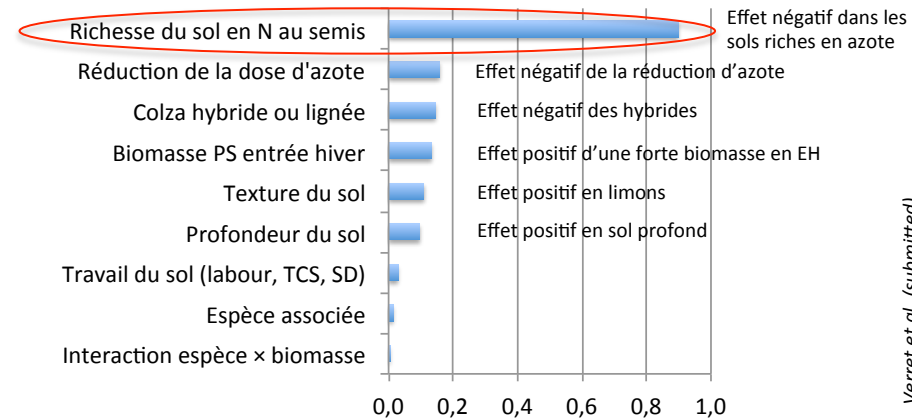


➔ Avec **-30/-40 U d'azote / ha**, rendement :
- **maintenu** avec couverts à base de féverole

- **Légèrement diminué** avec

- Gesse + fenugrec + lentille : -1.2 qx/ha
- Pois : -1.5 qx/ha
- 2 vesces + TA : -1.7 qx/ha

Importance relative de différentes variables
pour expliquer les écarts de rendement
« Bayesian model averaging »



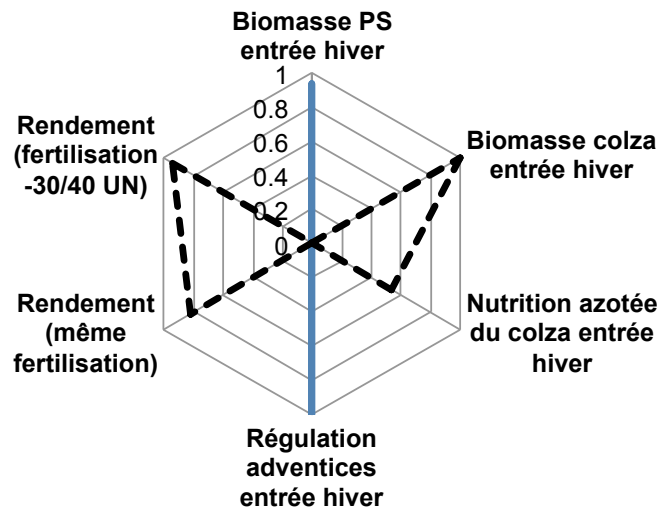
➔ Difficulté à mettre en évidence des facteurs pédoclimatiques qui impactent les performances des couverts
= « clés de la réussite »

Performances agronomiques des familles de plantes de services



1 = le meilleur
0 = le moins bon
----- : Colza seul

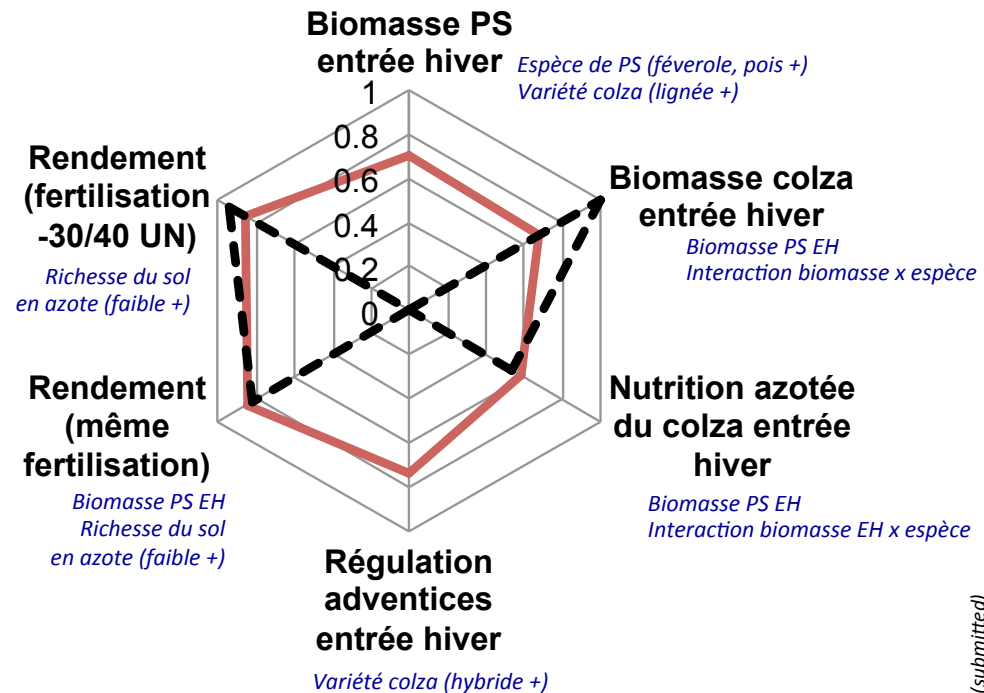
Plantes de service non-légumineuses



- Forte production de biomasse à automne de la plante de services
- Régulation forte des adventices à automne

Mais, pénalisant pour les autres critères !!!

Plantes de service légumineuses



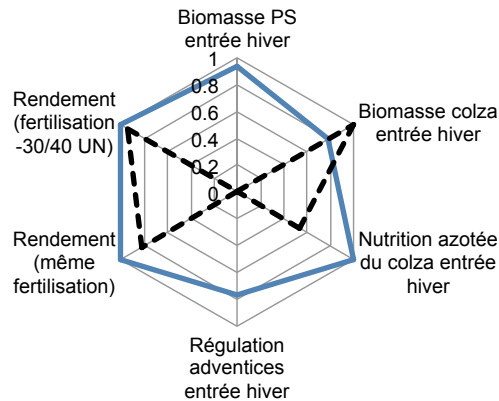
- Amélioration des critères déterminants pour la production du colza

Performances agronomiques des espèces légumineuses et mélanges

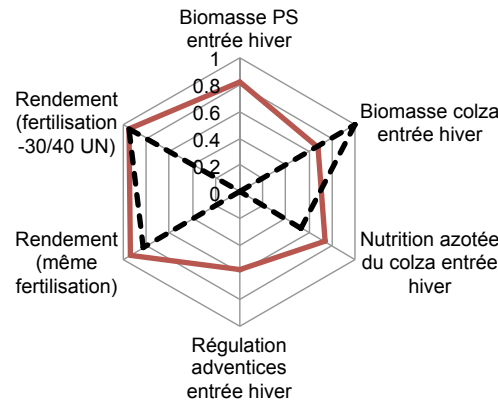
1 = le meilleur
0 = le moins bon
- - - Colza seul



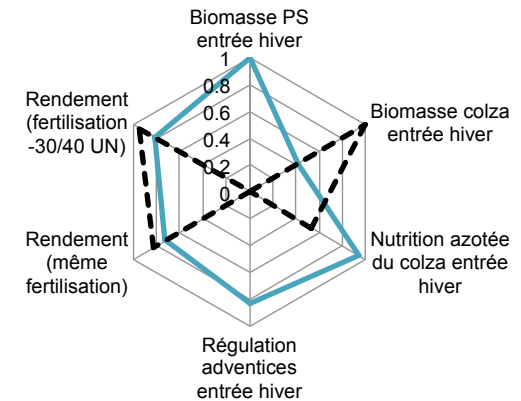
Féverole



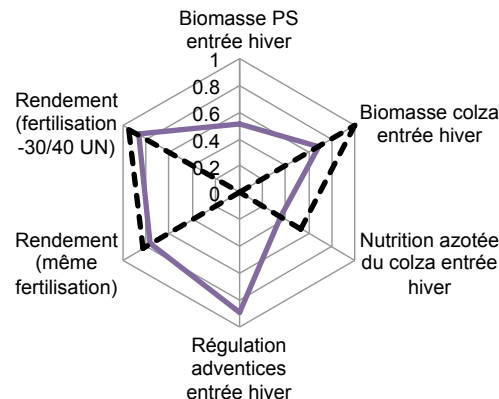
Féverole + lentille



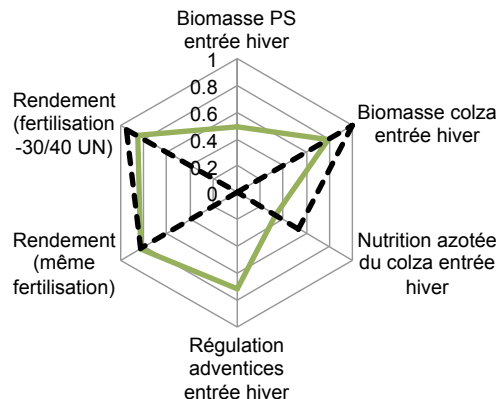
Pois



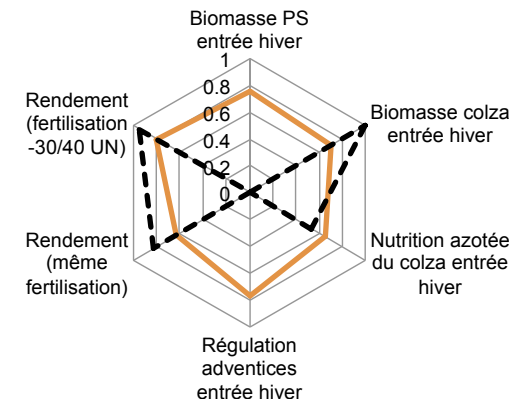
Lentille



Gesse + fenugrec + lentille



Vesce C + vesce P + trèfle d'alexandrie



Encore des sujets à étudier....

- Régulation des insectes :
 - ☞ *mécanismes ?*
 - ☞ *Effets sur les espèces (grosses altises, noctuelles, charançons du bourgeon terminal, ...) ?*

- Bénéfice « azote »
 - ☞ *difficultés à comprendre les mécanismes en jeu, le rôle de la féverole ?*
 - ☞ *impact sur la culture suivante ?*
 - ☞ *impact sur la lixiviation de l'azote, les émissions de N_2O ?*

- Adventices : des données, mais encore à préciser...
 - ☞ *choix variétal ? Techniques et densité de semis des plantes de services ?*
 - ☞ *Effet sur les communautés ?*

Conclusions sur le fonctionnement de l'association colza – plantes de services

- Une compétition limitée en automne et compensée à la récolte
- Des services pouvant mener à des gains de rendement :
 - Une régulation des adventices **effective** mais **partielle** (- 38 %) à l'automne
 - Une nutrition azotée accrue (des colzas « plus verts », moins carencés)
 - Un effet certain sur les insectes ravageurs d'automne
 - ✧ La féverole de printemps présente un bon profil de performances
 - ✧ Identification d'un mélange qui présente des performances intéressantes : Féverole ptps + vesce pourpre + trèfle d'Alexandrie (Thèse M. Lorin, 2015)

Questions

- ➔ À partir de ces résultats, comment conduire le colza associé pour bénéficier au mieux des services rendus ?
- ➔ Est-il possible de réduire les intrants en maintenant les performances agronomiques et économiques ?

Et maintenant ? Adapter les conduites...

Concevoir des itinéraires techniques (ITK) pour bénéficier au mieux des services rendus par l'association ?

☞ *comparaison de conduites sur la campagne 2015-2016*



☞ **Choix de conserver 2 associations dans le « tronc commun »**

- trèfle d'Alexandrie
- mélange : féverole printemps + Vesce pourpre + Trèfle d'Alexandrie

☞ **Trois modalités de conduite testées**

- Colza seul « Conduite Classique »
- Colza associé « Bas Niveau d'Intrants » (BNI : réduction des intrants)
- Colza associé « Productif »

Choix des espèces



Trèfle d'Alexandrie

- Bonne couverture du sol (le plus efficace pour contrôler les adventices dans les essais de Grignon)
- Rapidité de pousse et production de biomasse intéressante
- Bonne gélimité
- Bon profil de traits de minéralisation

Mélange : féverole de printemps + Vesce pourpre + Trèfle d'Alexandrie

- Féverole : fixe beaucoup d'azote, forte biomasse, port érigé
- Vesce pourpre : démarrage rapide et bonne couverture du sol, port grimpant
- Trèfle d'Alexandrie pour la strate inférieure





Trèfle d'Alexandrie



Féverole de printemps



Vesce pourpre



Mélange : féverole + vesce pourpre + trèfle d'Alexandrie

A close-up photograph of a lush green field. The plants are a mix of different species, including vetch (fève) with its characteristic pinnate leaves, purple vetch (vesce pourpre) with its smaller, more rounded leaves, and Egyptian clover (trèfle d'Alexandrie) with its large, deeply lobed leaves. The plants are growing densely together, creating a vibrant green texture.

Mélange : féverole + vesce pourpre + trèfle d'Alexandrie

Conduites comparées dans Alliance



Les recommandations sont régionales, issues des conseils Chambre d'Agriculture et Terres Inovia.

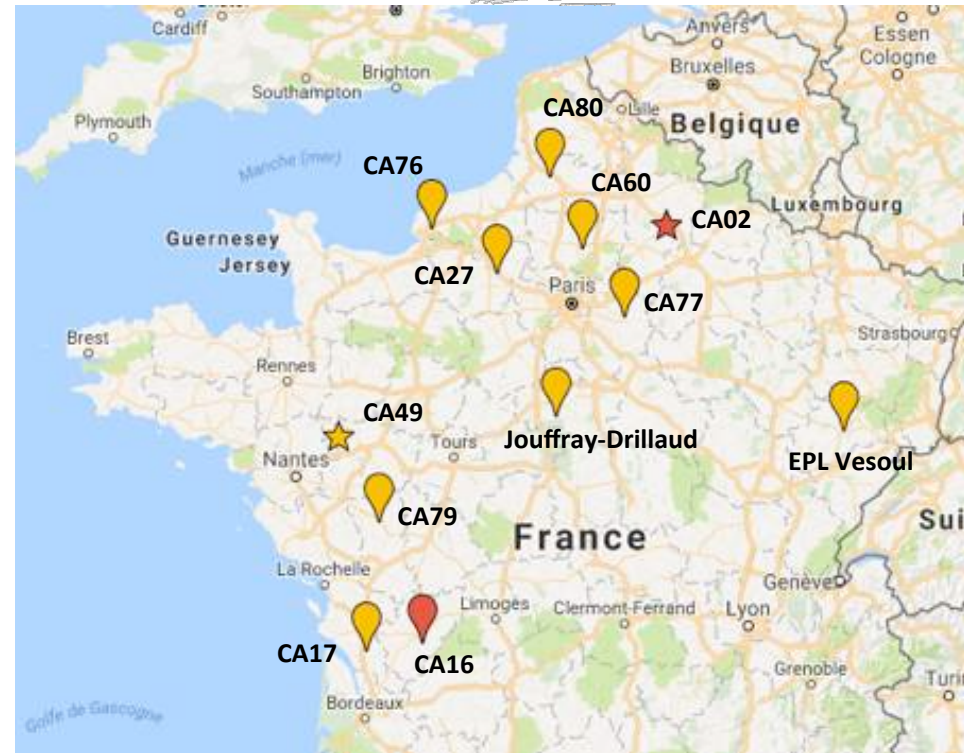
	Colza seul - Référence	Bas Niveau d'Intrants (BNI)	Productif
Objectifs	Conduite classique	Miser sur les services pour limiter les intrants Conserver la marge	Produire « plus » Sans augmenter les intrants
Espèces associées		2 modalités communes : - FVTA : Féverole de printemps Espresso (15 grains/m²) + Vesce Pourpre Bingo (14 kg/ha) + Tèfle d'Alexandrie TABOR (4kg/ha) - TA : Trèfle d'Alexandrie TABOR (6 kg/ha) + modalités au choix des expérimentateurs	
Désherbage antidiots	Stratégie post-semis/pré-levée Colzor trio	Aucun	Stratégie post-levée précoce Demi-dose de Novall ou Alabama
Désherbage antigraminées	Si repousse de céréales ou graminées résistantes (<i>Kerb flo</i>)	Si repousse de céréales ou graminées résistantes (<i>Kerb flo</i>)	Si repousse de céréales ou graminées résistantes (<i>Kerb flo</i>)
Destruction du couvert	-	Gel ou LONTREL en mars	Callisto, Ielo/Yago en décembre (destruction précoce pour favoriser la minéralisation des résidus des plantes de services)
Insecticides automne	Selon recommandations	Max 1 seul à l'automne Selon recommandation au printemps	Selon recommandations
Fongicides	Selon recommandations	1 seul au printemps	Selon recommandations
Azote	Réglette Azote	Réglette azote sur colza associé - 30 à 40 unités d'azote / ha	Réglette azote sur colza associé

Evaluer ces conduites dans un réseau de parcelles



Campagne 2015 - 2016

- Mise en place de 12 essais par les partenaires Alliance
- Mesure sur le peuplement en entrée hiver (bilan biomasses)
- Mesure du rendement à la récolte
- Enregistrement des pratiques culturales pour analyse multicritère



12 essais :
- Etoile = BNI seulement.
- En rouge, essai non récolté

- ➔ Evaluation économique, technique
- ➔ Références utilisées pour calculs des indicateurs : *Prix des intrants, prix de vente (Chambres d'agricultures), CRITER 5.4 (INRA), e-phy (produits phyto), Barème d'Entraide du machinisme (BCMA)*



Résultats des comparaisons d'ITK obtenus sur la campagne 2015-2016



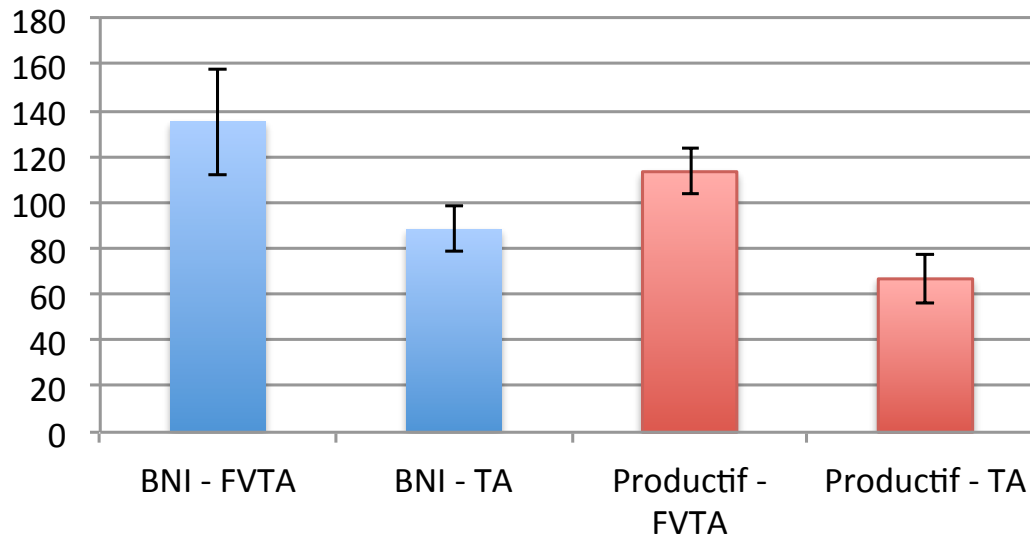


Effets de l'association en entrée hiver

Biomasse à l'automne
des plantes de service



**Biomasse des légumineuses (g.m^{-2})
en Entrée hiver (10 essais)**



Productif : conduite avec anti-dicots,
insecticide et azote maintenu
BNI : Bas Niveaux d'Intrants
FVTA : mélange de féverole, vesce
pourpre, trèfle d'Alexandrie
TA : Trèfle d'Alexandrie

- Le mélange produit plus de biomasse que le TA seul
- **-22%** de biomasse de légumineuse si application d'un herbicide en pré-levée précoce (*demi-dose Novall ou Alabama dans l'ITK « productif »*)

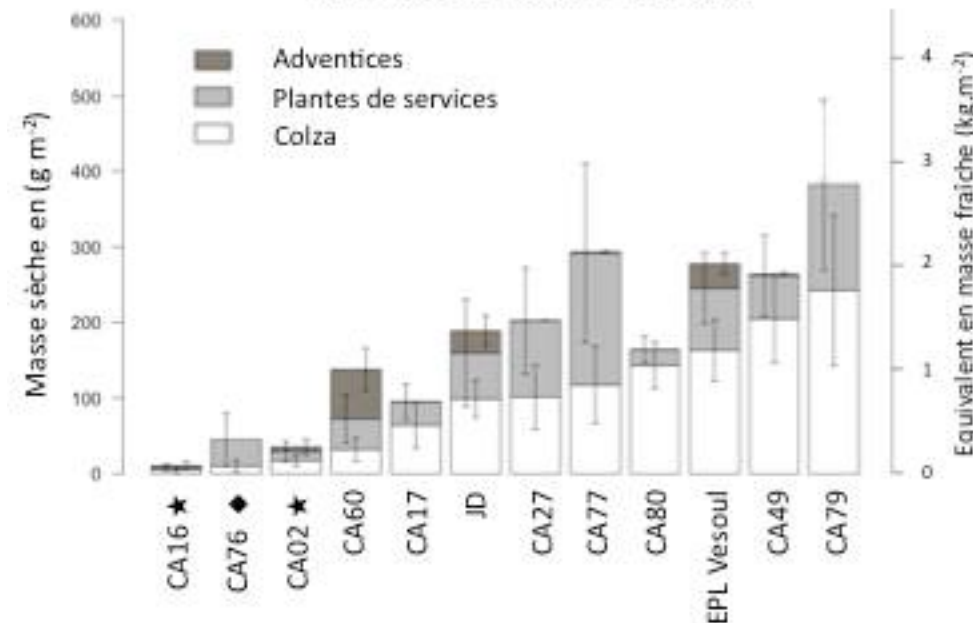


Effets de l'association en entrée hiver



Biomasse à l'automne des plantes de service et du colza

Biomasses en entrée hiver

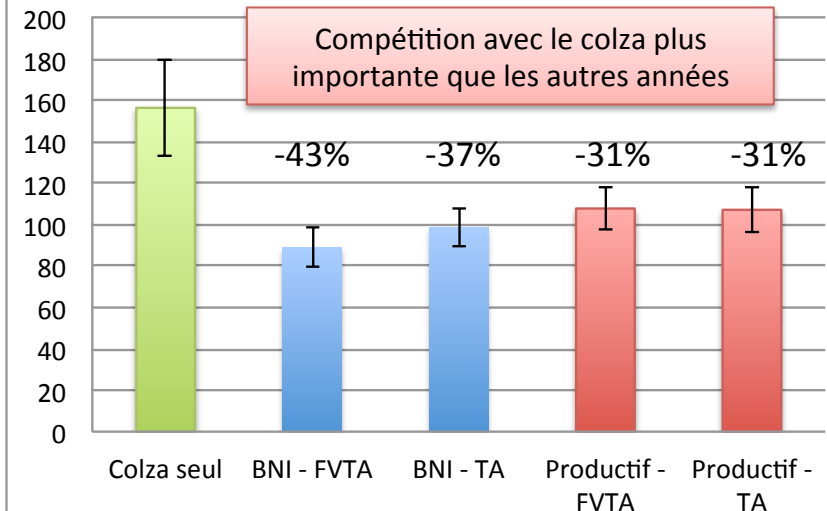


★ 2 essais arrêtés à l'hiver

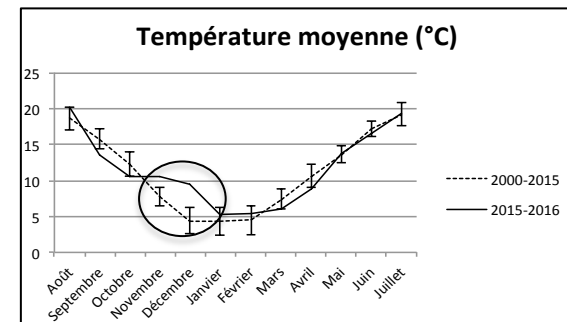
◆ 1 essai avec sur-semis fin septembre (dégâts petite altise)

- Peu d'adventices à l'automne 2015 dans ces essais

Biomasse du colza (g.m^{-2}) en Entrée hiver



→ Conditions climatiques favorables à la pousse des légumineuses ?
(automne plus doux que la moyenne)



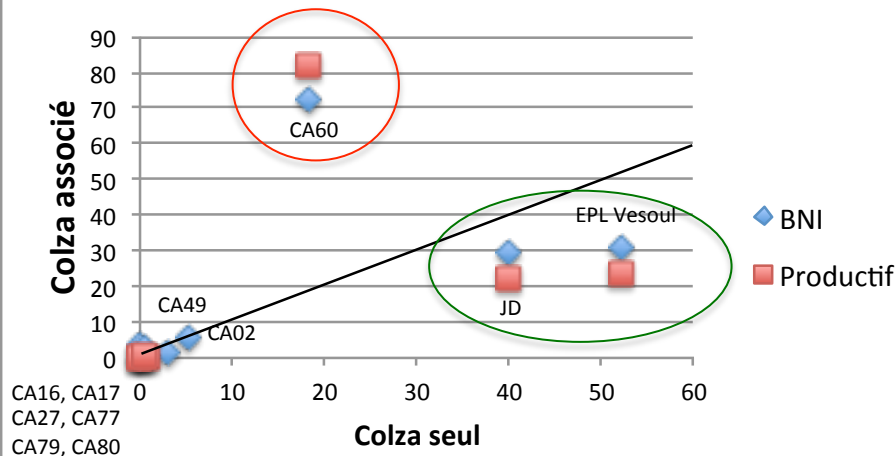
Exemple : station INRA-Grignon (78)



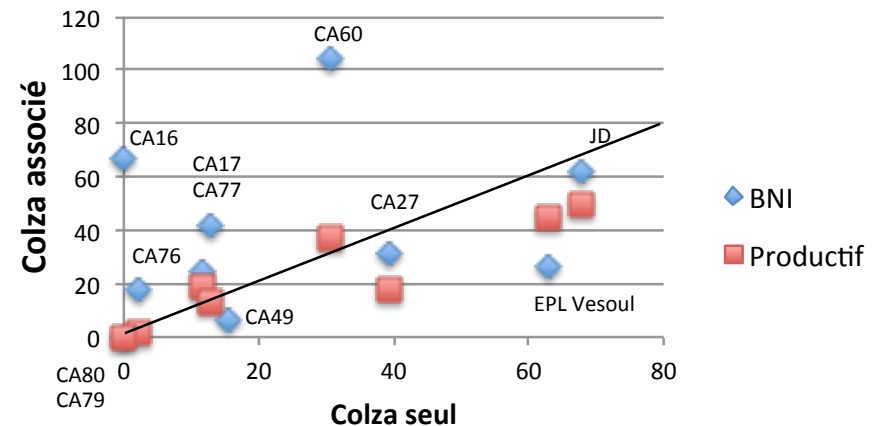
Effets de l'association en entrée hiver

Régulation des adventices

Biomasse sèche d'adventices (g.m^{-2})



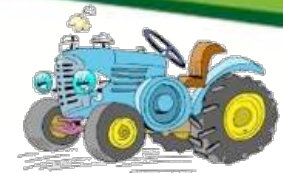
Abondance d'adventices (plantes.m^{-2})



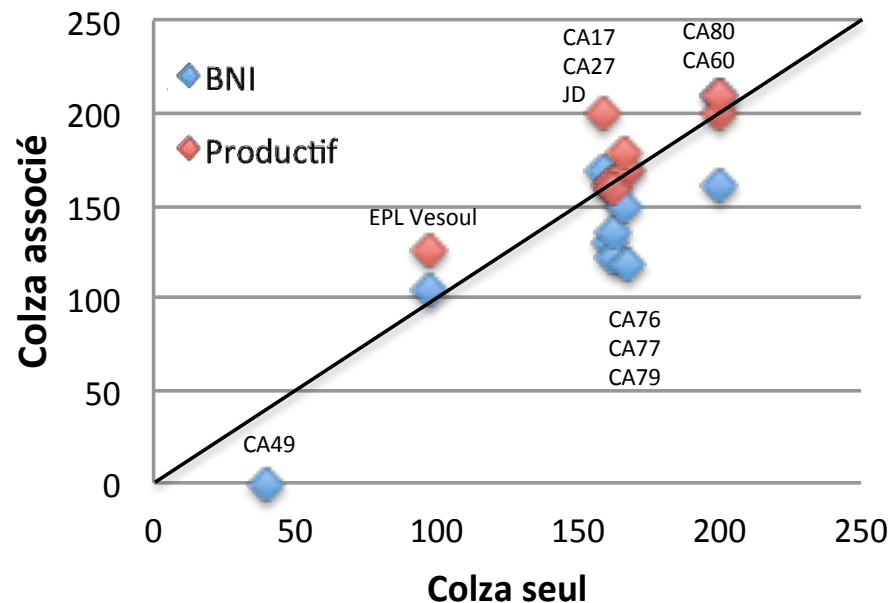
- **Pression plutôt faible d'adventices** dans la plupart des essais
- Biomasse :
 - 1 essai où les ITK associés sont moins bons
 - 2 essais où les ITK associés sont meilleurs
- Régulation des adventices : BNI pas très différent de Productif

Gestion de la fertilisation

Apport d'azote au printemps



Azote minéral apporté (kgN/ha)



Conduite « Bas Niveaux d'Intrants »

- Calcul de la dose bilan sur la biomasse de colza associé
- Retirer -30 UN
- ➔ En moyenne : **-22 UN**

Conduite « productive »

- Calcul de la dose bilan sur la biomasse de colza associé
- Appliquer la dose recommandée
- ➔ En moyenne : **+11 UN**

Surfertilisation azotée en conduite « productive », car l'association a causé une réduction importante de production de biomasse du colza en automne

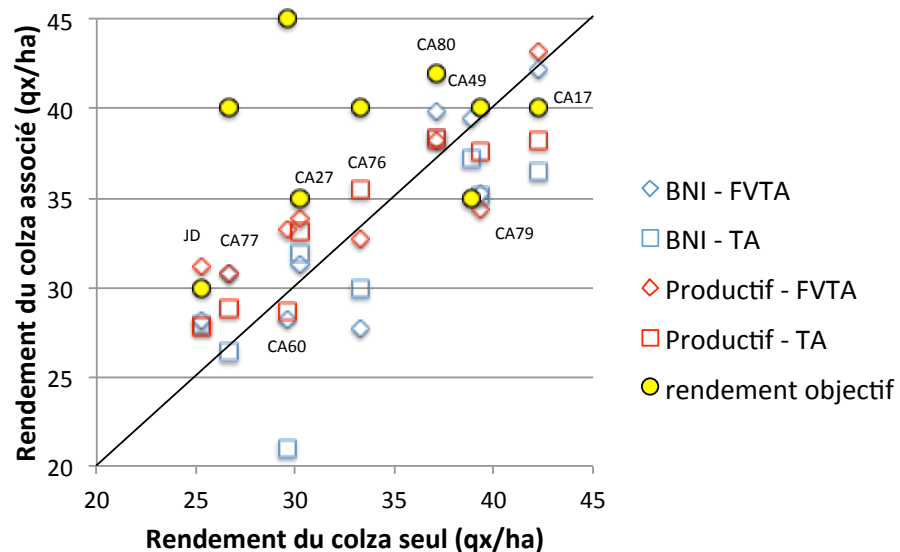


Impact sur le rendement

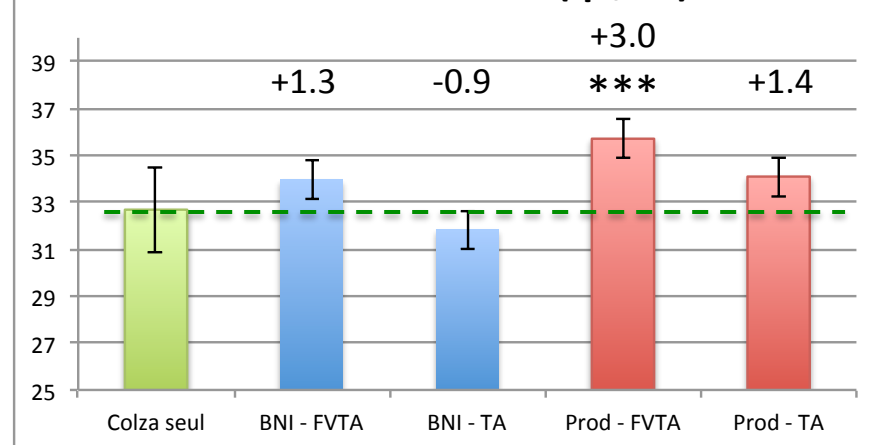


Rendement du colza

Comparaison des rendements



Rendements Colza (qx/ha)



- ➔ Conduite « **BNI** » = **maintien** du rendement
- ➔ Conduite « Productif » déplaçonne le rendement, significativement avec le mélange FVTA

☞ **cohérent avec les résultats de l'analyse multilocale Alliance**

Critères technico-économiques



IFT – produits phyto

Conduite « Bas Niveaux d’Intrants »

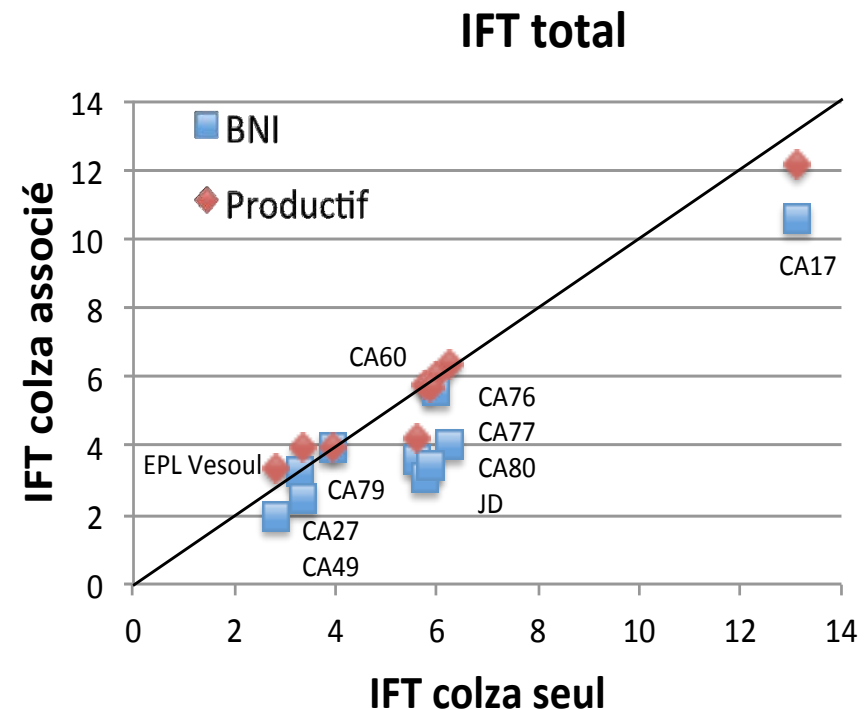
- 0 herbicide anti-dicot à l’automne -1
- 1 insecticide maximum à l’automne -1
- Destruction en sortie d’hiver +1/0
Callisto/Lontrel (*seulement 2 essais /10*)

→ En moyenne : **-1.4 (-25%)**

Conduite « productive »

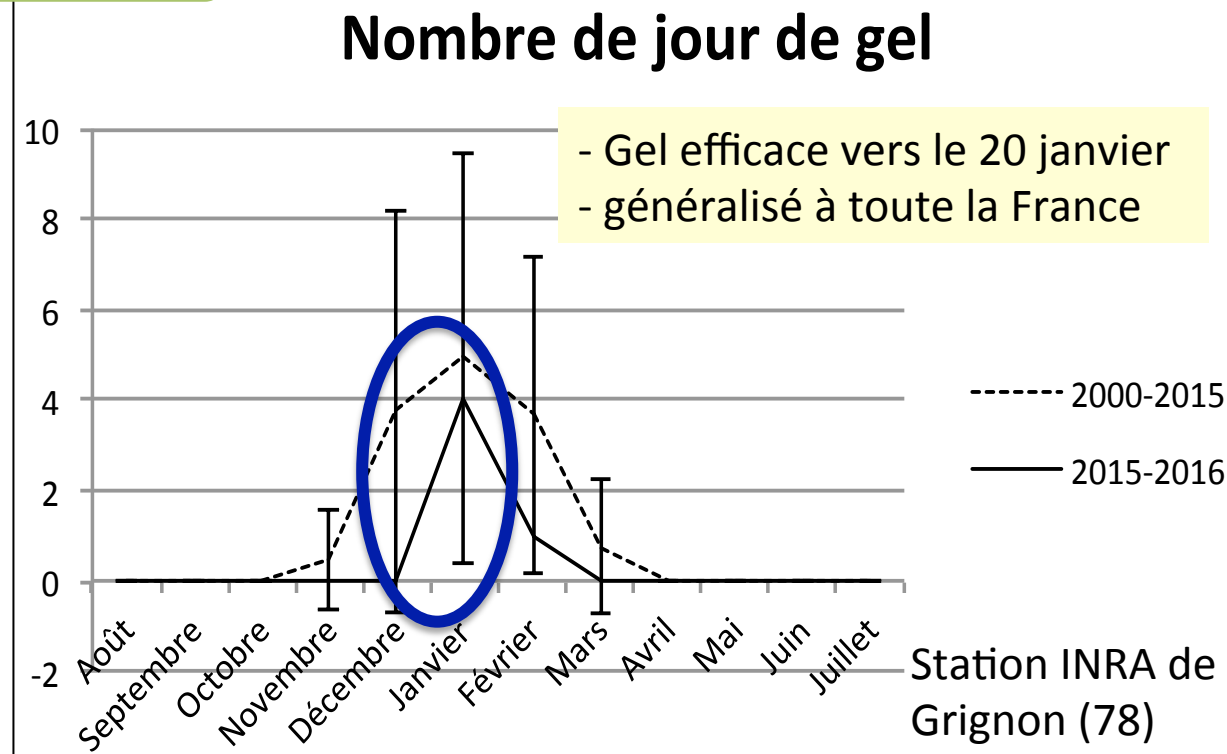
- 1 demi-dose d’anti-dicot en précoce -0.5
- Destruction systématique des légumineuses en entrée hiver +1
(yago, ielo)

→ En moyenne : **pas de diminution d’IFT par rapport au colza seul**



Critères technico-économiques

IFT – produits phyto
Destruction du couvert



- ➡ En conduite « Bas Niveaux d’Intrants », miser sur le gel
- ➡ Attendre fin janvier avant d’envisager une destruction chimique des plantes de services

Critères technico-économiques

Marge semi-nette (€/ha)

Par site (prix de 2016)

(MSN = produit x prix de vente – charges opérationnelles – charges de mécanisation)



Marge semi-nette	Référence	BNI (écart à la référence)		Productif (écart à la référence)	
Site	Colza seul	FVTA	TA	FVTA	TA
CA17	531	+17	-128	+11	-112
CA27	473	+72	+153	+71	+119
CA49	916	+9	-41	-	-
CA60	388	-83	-297	+76	-43
CA76	408	+57	+204	-219	-87
CA77	113	+167	+55	+56	+54
CA79	1006	-207	-157	-271	-102
CA80	653	+189	+190	-48	+9
Jouffray-Drillaud	113	+164	+209	+136	+112
Moyenne	511	+43	+21	-24	-6
p-value	-	0.380	0.666	0.647	0.903

(différence de l'écart à 0)



Avantage au BNI

(pas significatif car différences importantes entre sites)

Critères technico-économiques

Marge semi-nette (€/ha)
Moyenne des sites et des modalités



Variabilité des résultats selon des scénarii de prix contrastés

(MSN = Marge Semi-Nette = produit x prix de vente – charges opérationnelles – charges de mécanisation)



	Prix des intrants	Bas niveau d'intrants (BNI)			Productif		
		Faible Azote = 0.50€/U Gazole = 0.50€/L	Médian (~2016) Azote = 1.00€/U Gazole = 0.65€/L	Fort Azote = 1.50€/U Gazole = 0.80€/L	Faible Azote = 0.50€/U Gazole = 0.50€/L	Médian (~2016) Azote = 1.00€/U Gazole = 0.65€/L	Fort Azote = 1.50€/U Gazole = 0.80€/L
SCENARII	Faible Colza = 250 €/T	+23€	+36€	+49€	-16€	-20€	-25€
	Médian (~2016) Colza = 350 €/T	+19€	+32€	+44€	-11€	-15€	-19€
	Fort Colza = 450 €/T	+15€	+28€	+40€	-5€	-9€	-14€

- 👉 **BNI systématiquement positif en moyenne, Productif toujours négatif**
- 👉 Les gains ou pertes de MSN ne sont pas très sensibles aux scénarios de prix

Critères technico-économiques

Evaluation multicritères

(moyenne des sites et modalités)



Indicateurs	ITK « BNI » (écart au colza seul)	ITK « Productif » (écart au colza seul)
Rendement	+0.2 qx/ha (+1%)	+2.2 qx/ha (+6%) (FVTA ***)
Marge semi-nette <i>= produit x prix de vente – charges opérationnelles – charges de mécanisation (prix de 2016)</i>	+32€/ha	-15€/ha
Nombre de passages de matériel agricole	-1.3	+ 0.6
Temps de travail sur le tracteur	0 h/ha	+0.3 h/ha
IFT total	-1.4 (-25%)	-0.1 (-2%)
Fertilisation azotée	-22 UN/ha	+10 UN/ha
Consommation de fuel	+0%	+6%
Consommation d'énergie totale <i>(semences, produits phyto, engrais et machinisme)</i>	-5%	+6%
Efficience énergétique <i>(Tonne de produit par unité d'énergie investie)</i>	+4%	-2%

Critères technico-économiques

Evaluation multicritères

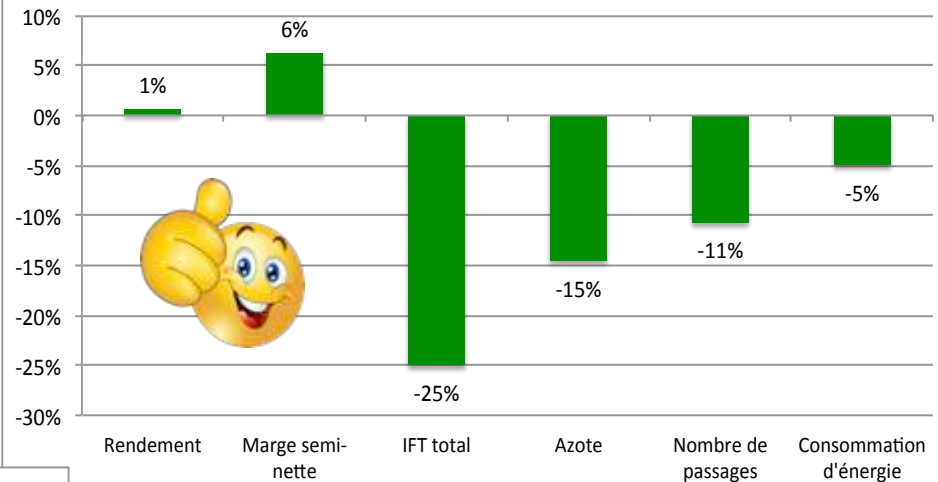


Conduite « BNI » = marge augmentée

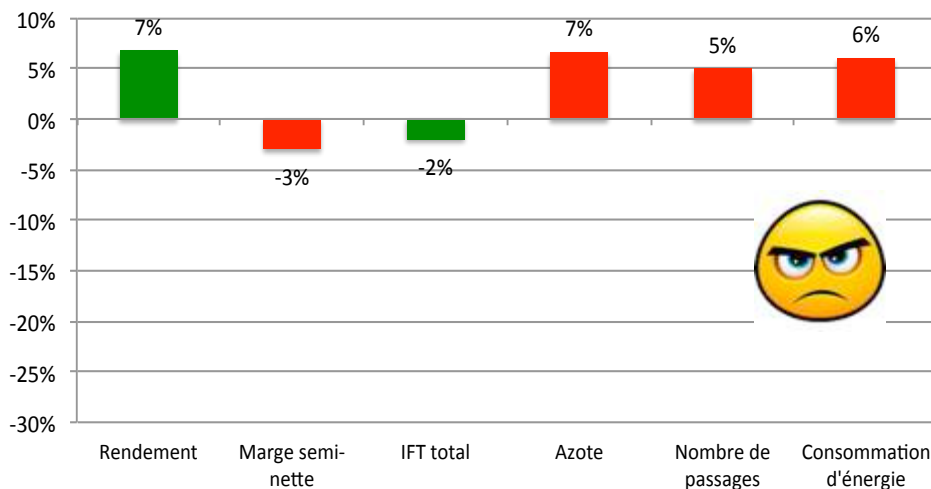
car :

- rendement n'est pas impacté
- intrants réduits
- amélioration des indicateurs de durabilité !

Colza associé "BNI" par rapport au colza seul



Colza associé "Productif" par rapport au colza seul



Conduite « productive »

- Rendement augmenté

Mais :

- surcoûts liés aux plantes de services
- intrants pas réduits
- marges finales réduites

Conclusion générale sur colza associé

- Sans diminution d'intrants => **pas intéressant, ni pour l'agriculteur, ni pour l'environnement**
- **Opportunités intéressantes** si colza associé + diminution d'intrants
 - Sous les conditions suivantes
 - Parcelle à flore adventice suffisamment bien gérée pour permettre une impasse « Herbicide » (ou réduction forte)
 - Faire confiance au couvert (si bien développé) pour perturber les insectes d'automne (grosses altises, charançons)
 - Miser sur le gel, au moins jusqu'à fin janvier, avant d'envisager une destruction chimique
 - Réduire l'azote de 30 UN par rapport à la dose recommandée
- Des **performances plus intéressantes avec le mélange « féverole, trèfle, vesce »** malgré un coût du couvert plus important que « trèfle d'Alexandrie seul »
- Des **différences entre sites**, qui restent difficiles à expliquer !
 - ➔ *Effet du climat, du type d'implantation et travail du sol, type de sol, ... ??*

COLZA D'HIVER

Outils d'Aide à la Décision

Pour nous aider à :

- Choisir les espèces appropriées à *(aux)* objectif recherché
- Gérer la fertilisation du colza associé



Comment gérer la culture ?



Outil de choix d'espèces *(INRA Agronomie)*

- Au semis : quelle espèce en fonction des objectifs recherchés et du contexte ?
- Se base sur la chaîne « traits – fonctions – services » *(Damour 2014)*
- Base de données par espèces compilant des données scientifiques et les connaissances expertes/locales des partenaires du projet
- Objectif opérationnel et pédagogique

Outil de raisonnement de la fertilisation azotée *(Terres Inovia)*

- En janvier, pesée des couverts
- Estimation des apports de printemps en fonction de l'objectif de rendement *(réglette azote de Terres Inovia)*
- Suggestion de réduction de dose en fonction du développement des couverts, de leur destruction, ... **entre 0 et -50 kg d'azote/ha**

COLZA D'HIVER

Outil de choix d'espèces

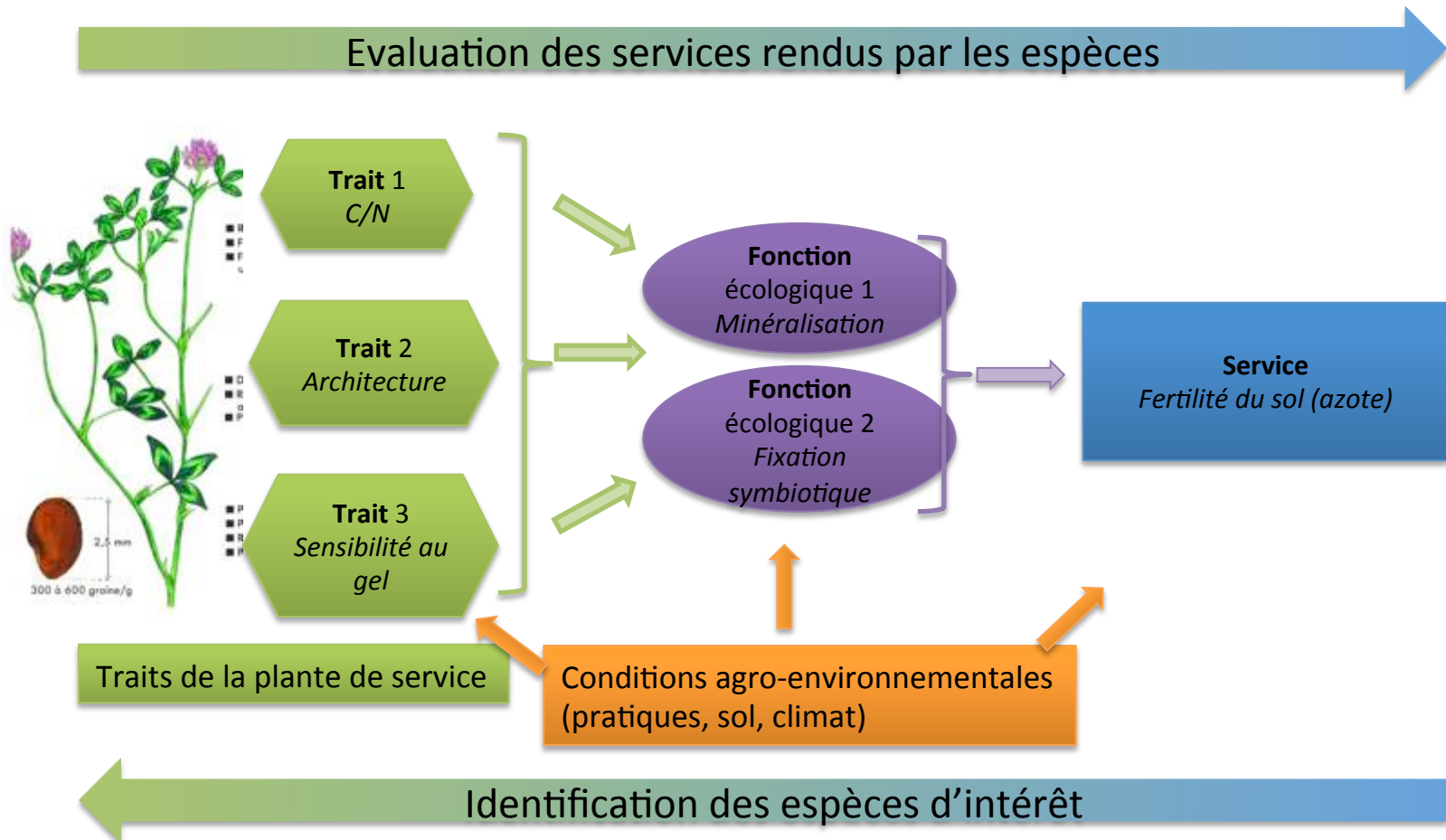


Objectifs de l'outil

- Hiérarchiser les espèces pour une situation donnée
 - Eclairer le choix des espèces de plantes de services
 - Expliquer d'où viennent les différences entre les espèces
 - Un outil pour : les agriculteurs et leurs conseillers, les enseignants en formation agricole et leurs étudiants
 - Pas un modèle de culture ! (Pas de quantification mécaniste des services)
- ➔ Un prototype doit être livré à la fin du projet CASDAR
- ➔ En voie d'informatisation

Comment relier explicitement les espèces et les services ?

Approche fonctionnelle (e.g. Damour et al., 2014)



Structure de l'outil



Variables d'entrée, renseignées par l'utilisateur pour caractériser les conditions pédoclimatiques, la pression d'adventices de la parcelle et des informations sur le système de culture

Module 1 : vérifier la faisabilité de l'association colza-PS sur la parcelle décrite

- Pression adventices
- Date de semis du colza



Si OK

Base de données de traits :
~ 20 espèces, 24 traits



Module 2 (arbre DEXI) : classer les espèces selon leur capacité à produire les services en utilisant l'approche fonctionnelle

- ➔ Classement des espèces selon les objectifs de l'utilisateur
- ➔ Evaluation de mélanges

- risques et erreurs agronomiques à éviter/ précautions à prendre
- Informations technico-économiques sur les espèces

Espèce(s)
conseillée(s)

Les services retenus

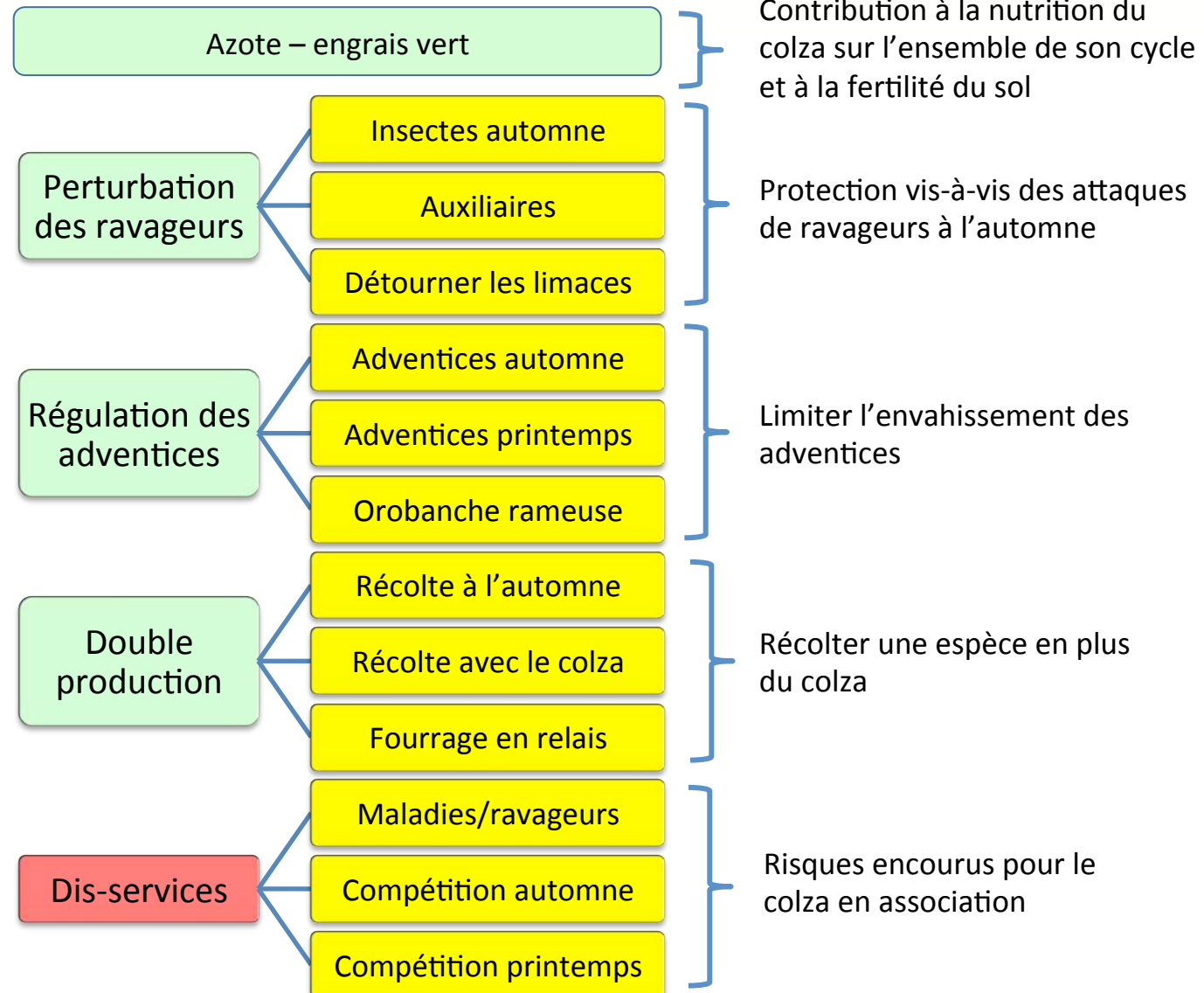


Tableau Traits-Fonctions-Services (TFS)

Exemple pour le service de régulation des adventices

Travail collectif réalisé en atelier avec des conseillers, des chercheurs, des semenciers, des ingénieurs d'institut technique, complété par des recherches bibliographiques et enquêtes

Service	Sous-services	Fonctions (ou processus biologique)	Traits - Caractéristiques des plantes	Facteurs de l'environnement influençant la réalisation de la fonction	Facteurs agronomiques influençant la réalisation de la fonction
Réduction de la pression adventices (et des herbicides)	Réguler les adventices annuelles à l'automne	Limitation de la germination et du développement des adventices par compétition (lumière, azote)	Pouvoir allélopathique Rapidité de développement (taille de graine) Port couvrant/étalé (envergure) Surface foliaire étendue	Niveau d'infestation de la parcelle Caractéristiques de la communauté adventices (date et précocité de levée des espèces, nature des espèces (dicots, graminées))	Densité de semis de la plante de service Semis sur le rang ou sur l'interrang, en ligne ou en plein Réduction du stock semencier (faux semis) Pratiques qui limitent le flux de terre (Semis direct)
	Réguler les adventices annuelles au printemps	Limitation de la germination et du développement des adventices : effet mulch mort Limitation de la germination et du développement des adventices : compétition d'un mulch vivant (lumière, azote)	Pouvoir allélopathique du mulch mort Quantité de mulch Port du mulch (masse en contact du sol) Résistance au gel	Caractéristiques de la communauté adventices (date de levée des espèces, nature des espèces (dicots, graminées))	Programme de désherbage
	Réguler l'orobanche rameuse	Limiter la germination de l'orobanche rameuse	Espèce hôte qui déclenche la germination de l'orobanche	Disponibilité en eau (active la germination)	-

Arbre Dexi « Adventices »

- Travail de simplification du tableau TFS par service
- Pondération des relations

=> Construction de l'arbre DEXI (<http://kt.ijs.si/MarkoBohanec/dexi.html>)

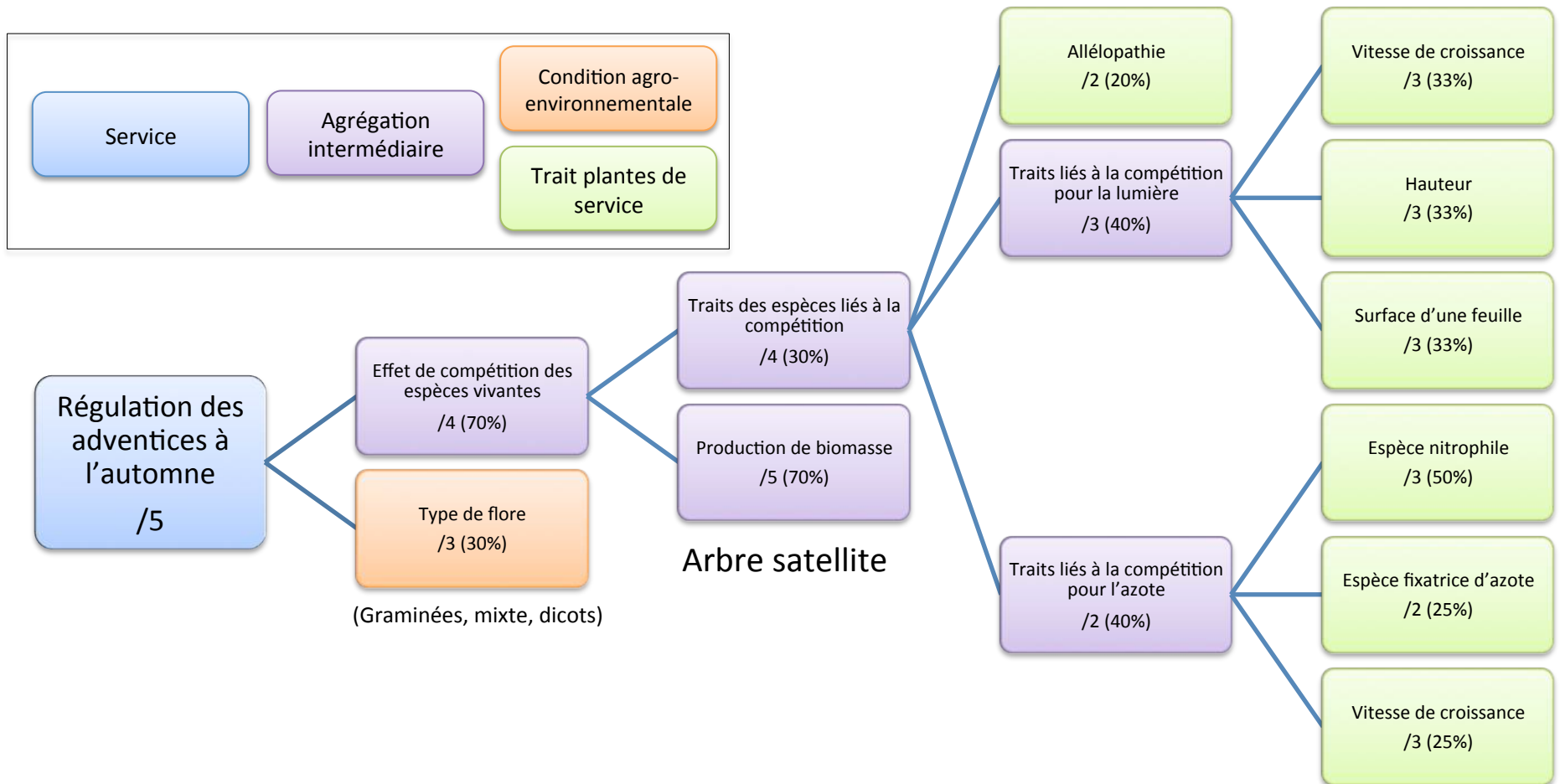


Tableau de bord

CAPS - Colza Associé à des Plantes de Services.

Cliquer pour classer les espèces	Classement des espèces selon vos objectifs et vos conditions de parcelle	Etat du couvert en hiver	Critères de choix complémentaires				Mélanges
			Biomasse du couvert à l'entrée de l'hiver	Risque d'implantation de maladies pour d'autres cultures dans la rotation	Sensibilité aux herbicides de désherbage précoce du colza	Dose de semis en association avec le colza (kg/ha)	
Vesce pourpre Type BINGO			Aphano. Sclerot.		35	85 €	0
Féverole (50kg) + vesce P. (12kg) + T. Alex. (4kg)			Aphano. Sclerot.		66	53 €	Non-applicable
Mon mélange			Aphano. Sclerot.		13	38 €	Non-applicable
Pois fourrager de printemps			Aphano. Sclerot.		71	100 €	2
Phacelie					7	30 €	6
Gesse					36	65 €	5
Vesce commune de printemps			Aphano. Sclerot.		30	55 €	0
Trefle Alexandrie Type TABOR					20	35 €	0
Féverole de printemps type Espresso			Sclerot.		105	35 €	0
Féverole (53kg) + Lentille (18kg)			Sclerot.		71	45 €	Non-applicable
Vesce P. (6kg) + Vesce C. (10kg) + T. Alex. (4kg)			Aphano. Sclerot.		20	40 €	Non-applicable
Gesse (15kg) + Fenugrec (10kg) + Lentille (10kg)			Sclerot.		35	61 €	Non-applicable
Sarrasin					30	80 €	0
Fenugrec					27	50 €	0
Trefle blanc nain					4	45 €	0
Lentille fourragère			Sclerot.		36	55 €	0

Aide à l'évaluation de mélanges d'espèces à associer au colza

Aide à la constitution de mélange	
Densité de semis de l'ensemble des espèces en mélange : (se rapprocher de 100%)	
Taux de remplissage du mélange :	102%
Choisir des espèces aux traits complémentaires pour obtenir une forte complémentarité des espèces associées	
Complémentarité des espèces en mélange :	Moyenne
Mélanges proposés par défaut :	Complémentarité
Gesse (15kg) + Fenugrec (10kg) + Lentille (10kg)	Moyenne
Féverole (50kg) + vesce P. (12kg) + T. Alex. (4kg)	Moyenne
Vesce P. (6kg) + Vesce C. (10kg) + T. Alex. (4kg)	Faible
Féverole (53kg) + Lentille (18kg)	Forte

La couleur de l'espèce indique sa compétitivité vis-à-vis du colza, dans vos conditions de parcelle.
Espèce très compétitrice, pouvant concurrencer fortement le colza à l'automne
Espèce moyennement compétitrice, présentant un risque faible de compétition avec le colza à l'automne
Espèce faiblement compétitrice, ne présentant à priori pas de risque de concurrence avec le colza

Chaque tronçon du graphe ci-dessus représente un service.
Azote - engrais vert
Insectes d'automne
Adventices à l'automne

Evaluation de la biomasse de la plante de service
Faible biomasse produite en entrée hiver
...
Forte biomasse produite
Destruction de la plante
Espèce non détruite en sortie d'hiver
Espèce détruite en sortie d'hiver
Sensibilité des plantes de services aux herbicides de pré/post-levée précoce *
Espèce très sensible, détruite avec les herbicides de pré/post-levée précoce
...
Espèce peu sensible, résistantes aux herbicides de pré/post-levée précoce

Info technico-éco

Etat du couvert en hiver :
Biomasse estimée
destruction

Mode d'emploi :
1/ Cliquez sur le bouton bleu en haut à gauche du tableau pour afficher vos résultats.
2/ Dans un deuxième temps, vous pouvez concevoir vous-même un mélange d'espèces et simuler ses performances. Dans la colonne "Mélanges", indiquez les doses de semis des espèces que vous souhaitez mettre en mélange, puis cliquez à nouveau sur le bouton bleu. Des indications à droite du tableau de résultats vous guident dans la conception de votre mélange.
3/ A tout moment, vous pouvez revenir à l'onglet "services à renseigner" pour changer vos objectifs. A chaque changement, rafraîchissez la page en cliquant sur le bouton bleu.

Compétitivité des espèces vis-à-vis du colza

Cumul des notes des services recherchés

Sélectivité vis-à-vis des herbicides sur colza

Risque de transmission de maladies à d'autres cultures

Téléchargement de l'outil

<http://www6.versailles-grignon.inra.fr/agronomie/Recherche/Regulations-biologiques/Projet-CASDAR-Alliance>

Travail protégé par une licence Creative Commons
<https://creativecommons.org>



Vous êtes autorisé à :

- Partager — copier, distribuer et communiquer le matériel par tous moyens et sous tous formats
L'Offrant ne peut retirer les autorisations concédées par la licence tant que vous appliquez les termes de cette licence.

Selon les conditions suivantes :

- Attribution — Vous devez créditer l'Œuvre, intégrer un lien vers la licence et indiquer si des modifications ont été effectuées à l'Œuvre. Vous devez indiquer ces informations par tous les moyens raisonnables, sans toutefois suggérer que l'Offrant vous soutient ou soutient la façon dont vous avez utilisé son Œuvre.
- Pas d'Utilisation Commerciale — Vous n'êtes pas autorisé à faire un usage commercial de cette Œuvre, tout ou partie du matériel la composant.
- Pas de modifications — Dans le cas où vous effectuez un remix, que vous transformez, ou créez à partir du matériel composant l'Œuvre originale, vous n'êtes pas autorisé à distribuer ou mettre à disposition l'Œuvre modifiée.

Pour tout retour concernant cet outil, merci de contacter :
Safia.mediene@inra.fr

COLZA D'HIVER

Outil de raisonnement de la fertilisation



Raisonnement de la fertilisation du colza associé

- Mise à jour de la réglette Azote par Terres Inovia

➔ <http://regletteazotecolza.fr>

Réglette azote colza

Terres Inovia
l'agronomie en mouvement

Votre saisie

1 2 3 4

Précédent et couvert associé

Le colza est-il implanté après un pois protéagineux ?

☐ Oui

☒ Non

Le colza est-il associé avec un couvert de légumineuses ?

Si le couvert n'a pas levé, cocher «non»

☒ Oui

☐ Non

précédent

Calculer la dose

© Terres Inovia • Qui sommes-nous ? • Mentions légales • Contact • Application mobile

COLZA D'HIVER

Perspectives des associations avec le colza



Perspectives des associations

« colza – plantes de services »

- Tester et évaluer des espèces encore peu testées en association (*trèfle blanc, sarrasin, chanvre, ...*)
- Tester et évaluer les possibilités de régulation de l'orobanche du colza (*plante de services « faux hôte » ?*)
- Evaluer l'intérêt et opportunités de doubles récoltes (*colza-féverole, colza-vesce, colza-sarrasin, colza-seigle, ...*)
- Evaluer des dates de semis encore plus précoces (*fin juillet, début août*)



- **Rester vigilant :**
 - Aux risques d'amplification des maladies du colza (*sclerotinia, phoma*) ou des espèces associées (*aphanomyces*)
 - Au risque d'élongation du colza en cas de semis précoce
 - Au devenir de l'azote fixé par la plante de service (*risque de lessivage après colza ?*)

Pour aller plus loin

- Guide technique « **Colza associé à un couvert de légumineuses gélives** » (*Terres Inovia, 2016*)



➔ http://www.terresinovia.fr/fileadmin/cetiom/kiosque/Terres-Inovia_guide_colza_associe2016.pdf

BLÉ TENDRE D'HIVER

associé à des plantes de services



Présentation des résultats

- Constat sur la culture
- Mise en œuvre de l'association
- Services recherchés
- Quantification des services
- Fonctionnement de l'association
- Choix d'espèces (*Agri Conventionnelle*)
- Tests de conduites (*Agri Biologique*)

Constats et opportunités des plantes de services associées aux blés tendres en hiver



Constat actuel



En conventionnel

- Développement important d'adventices à l'automne et diminution du recours chimique (*retrait de l'isoproturon en 2017 par exemple*)
- Besoin d'une fertilisation optimisée pour la teneur en protéine
- Efficacité aléatoire des insecticides d'automne (*pucerons*)

En agriculture biologique

- Nombreux passages mécaniques pour gérer les adventices (*temps, fuel*)
- Compétition avec les adventices et nutrition en azote sont les facteurs limitants le rendement
- Pas de moyens pour gérer une invasion d'insectes

- ☞ *Quel impact des plantes de services sur les populations adventices ?*
- ☞ *Quelle économie d'azote possible si association avec des légumineuses ?*
- ☞ *Quel impact sur les insectes ?*

Blé associé à l'automne

Mise en œuvre :

- Semis simultané
- Espèces non-gélives
- Destruction par herbicide de sortie hiver

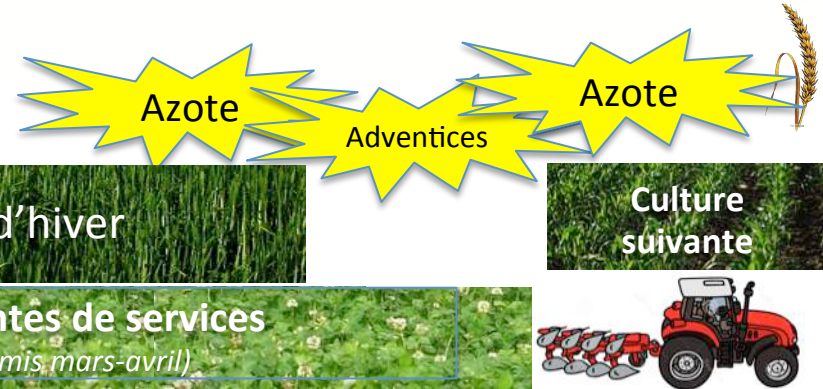


- Services recherchés :
 - Contrôle des adventices et insectes à l'automne
 - Fixation d'azote à l'automne, puis restitution après destruction pendant le remplissage du grain pour gagner en protéine, et pour la culture suivante
- Faisabilité technique :
 - implantation ? croissance suffisante des couverts avant leur destruction ?
 - En bio, couvert non détruit à l'hiver : quel impact sur le blé ?

Blé associé au printemps

Mise en œuvre :

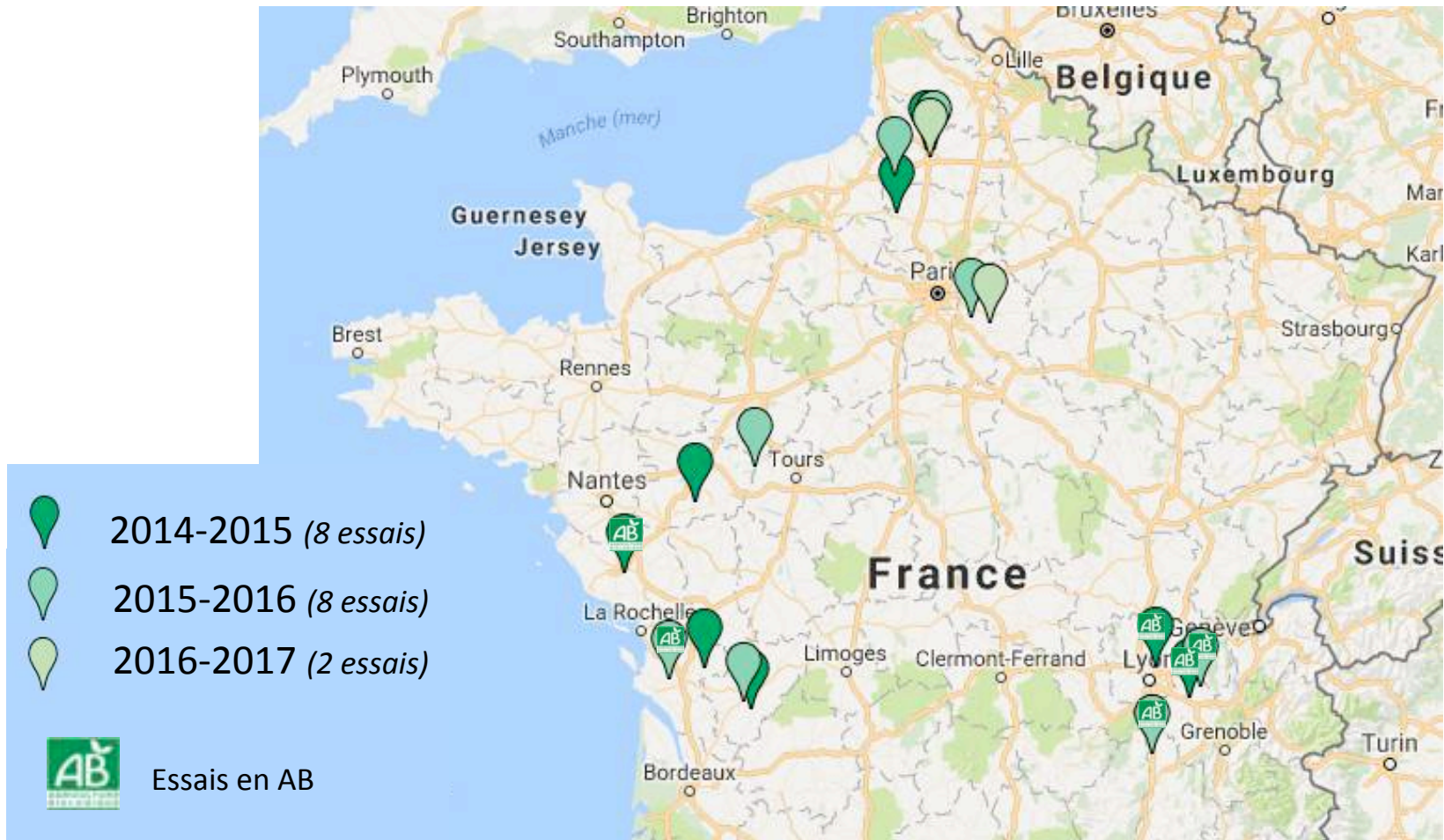
- Semis en mars-avril
(*montaison du blé*)
- Couvert maintenu pendant l'interculture suivante
- Destruction à l'hiver ou au printemps suivant



- Services recherchés :
 - Fixation d'azote au printemps, transfert vers le blé pour gagner en protéines
 - Couverture du sol pendant l'interculture : lutte contre les adventices
 - Fixation/piégeage d'azote pendant l'interculture et restitution à la culture suivante
- Faisabilité en conventionnel et dans le nord de la France (*déjà expérimenté en bio en Rhône-Alpes*) ?

Expérimentations blé associé

Essais Alliance « blé tendre d'hiver associés à des plantes de services »



BLÉ TENDRE D'HIVER **associé à des plantes de services**



En conventionnel à l'automne



Blé tendre associé à l'automne

✧ 2014-2015 : « Semis simultané » du blé et des plantes de services (octobre)

Plantes de services

- ✧ Trèfle blanc nain (Aberace, JD) + trèfle blanc géant (Giga, JD)
- ✧ Vesce commune (Spido, JD)
- ✧ Féverole hiver + pois Hiver Hr + Trèfle Blanc nain (Aberace, JD)



Constat général :

Le semis de légumineuses à l'automne, en simultané au blé, ne permet pas de produire assez de biomasse de légumineuse avant l'hiver pour avoir un effet sur l'azote ou sur les adventices avant la destruction du couvert associé
(+ problème de levée, + limaces, sitones, mulots)

***Semis trop tardif
pas de biomasse***



photos, CA49, 18/12/14

=> Protocole à adapter pour 2015-2016

Blé tendre associé à l'automne

✧ 2^{ème} campagne : 2015-2016



« Semis décalé versus semis simultané » :

➔ Augmenter les sommes de température pour produire de la biomasse

✧ plantes de services : comparaison de semis « août » et « octobre »

✧ blé tendre en Semis Direct : octobre

➔ Choix d'espèces et variétés particulièrement poussantes et couvrantes

Plantes de services

✧ Trèfle incarnat CEGALO (*Jouffray Drillaud*)

✧ Vesce velue SAVANE (*JD*)

✧ Trèfle blanc nain ABERACE (*JD*)



3 modalités de fertilisation du blé tendre pour évaluer l'effet restitution « Azote »

✧ X = dose recommandée, méthode du bilan

✧ X – 40 UN

✧ 0 N, pour calculer le bonus d'absorption d'azote potentiel

Essai CA77

Photos Mars 2016

Semis décalé
« fin août »

Vesce velue Savane

Trèfle incarnat Cegalo

Trèfle blanc Aberace



**V. Velue et T. Incarnat
= meilleure couverture du sol**

14/03

Semis « simultané » octobre
(date de semis identique au blé tendre)



**Faible développement
du trèfle blanc quelle
que soit la date**

Moins de biomasse que le semis d'août

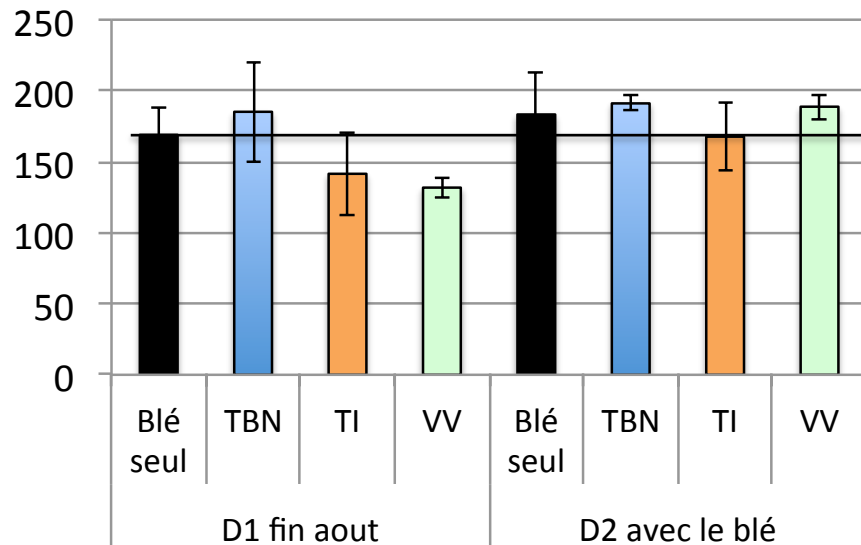


2ème campagne : 2015-2016 : « semis simultané » et « semis décalé »

Effets sur le développement du blé

Essai CA77 : Pesée sortie hiver, 14/03/2016

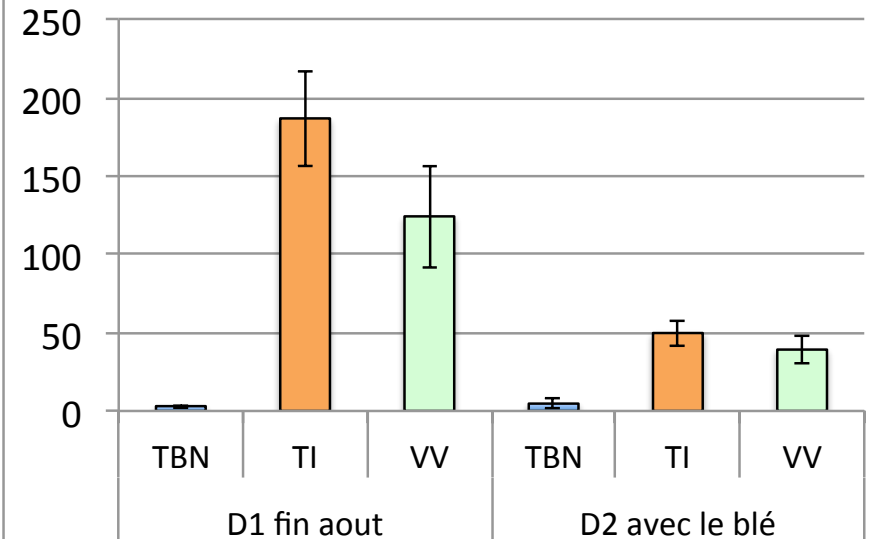
Masse sèche blé (g/m²)



**Les couverts qui se
développent bien
concurrent le blé !**

Zéro adventices sur l'essai

Masse sèche légumineuses (g/m²)



**V. Velue et T. Incarnat =
meilleur développement que Trèfle blanc**

**Plus forte biomasse avec
le semis d'août**

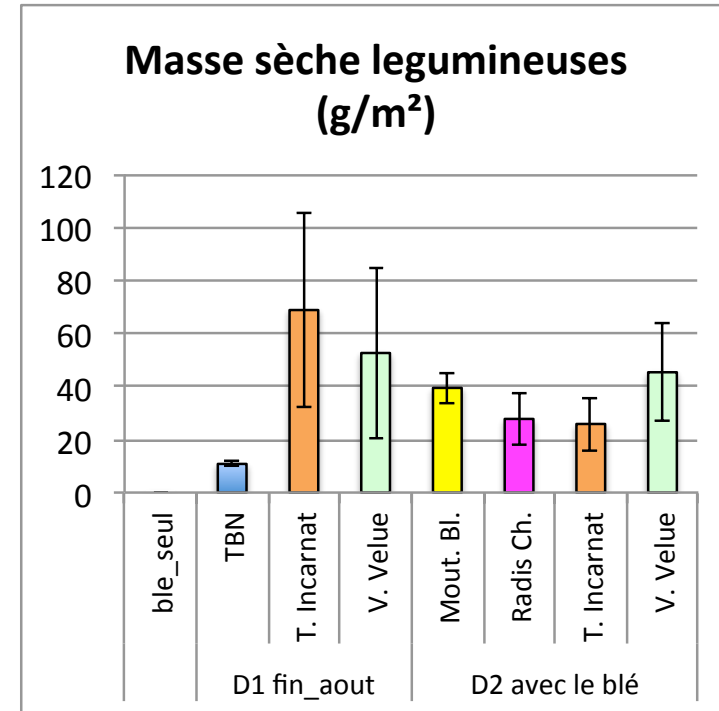
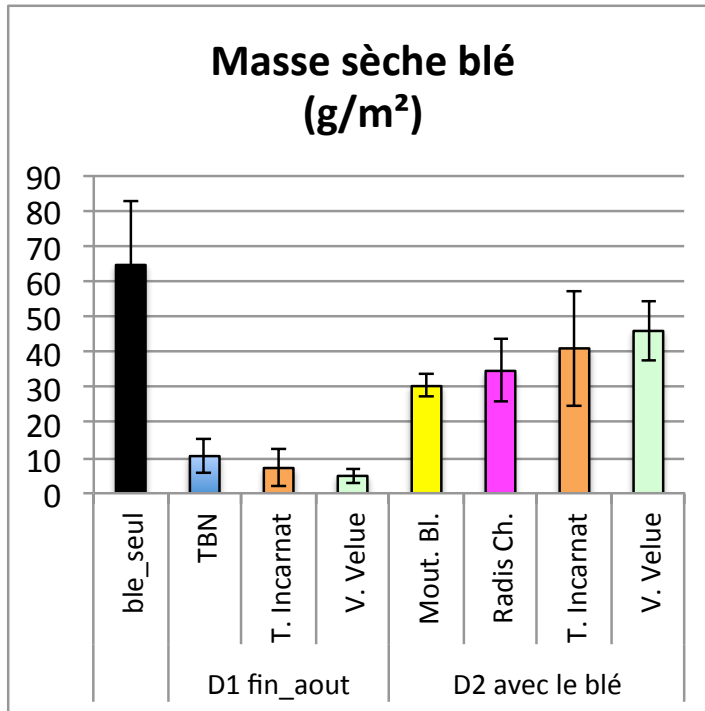
**Faible développement
du trèfle blanc quelque
soit la date**

2ème campagne : 2015-2016 : « semis simultané » et « semis décalé »

Effets sur le développement du blé



Essai CA49 : Pesée hiver, le 10/02/2016



Développement du blé tendre fortement pénalisé par le développement de la plante de service et/ou des adventices (diapo suivante)

Développement du couvert
V. Velue et T. Incarnat >> Trèfle blanc

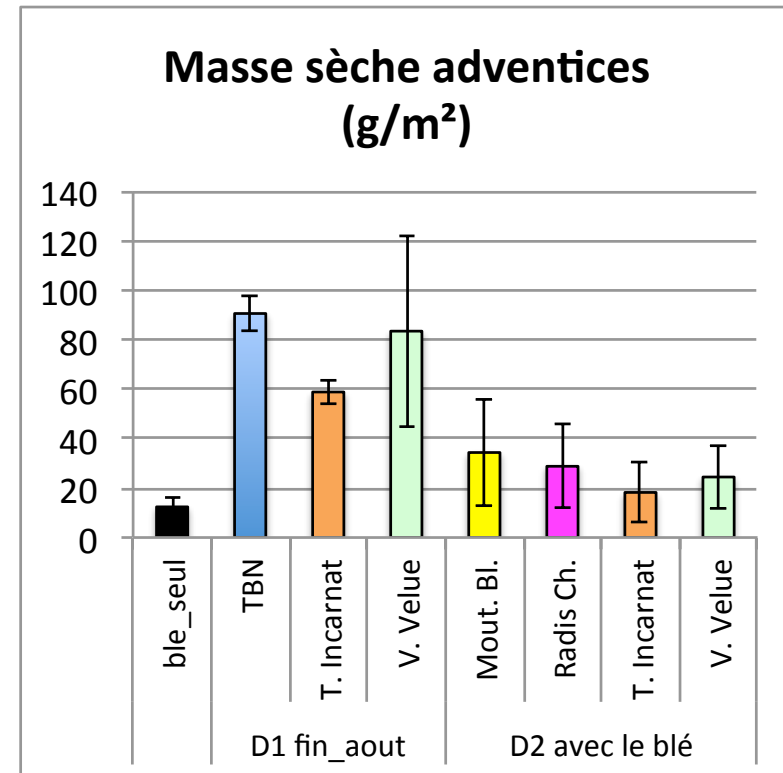
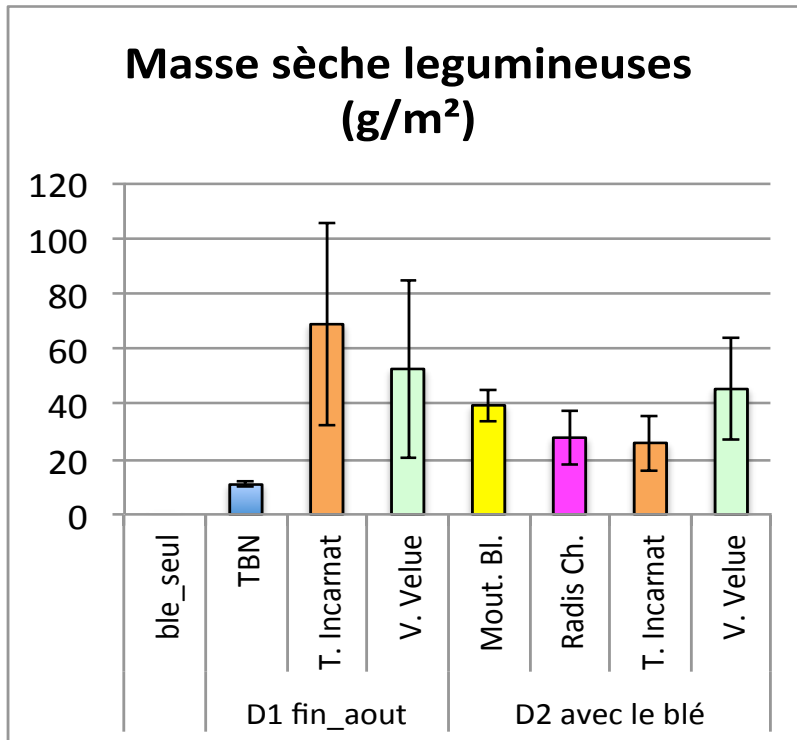
Semis d'août => biomasse légèrement supérieure

2ème campagne : 2015-2016 : « semis simultané » et « semis décalé »



Effets sur les adventices

Essai CA49 : Pesée hiver, le 10/02/2016



- Le semis précoce (décalé) favorise un peu le développement des couverts mais beaucoup la croissance des adventices...
- Le semis simultané stimule les levées (que l'on n'observe pas dans le blé seul) ?

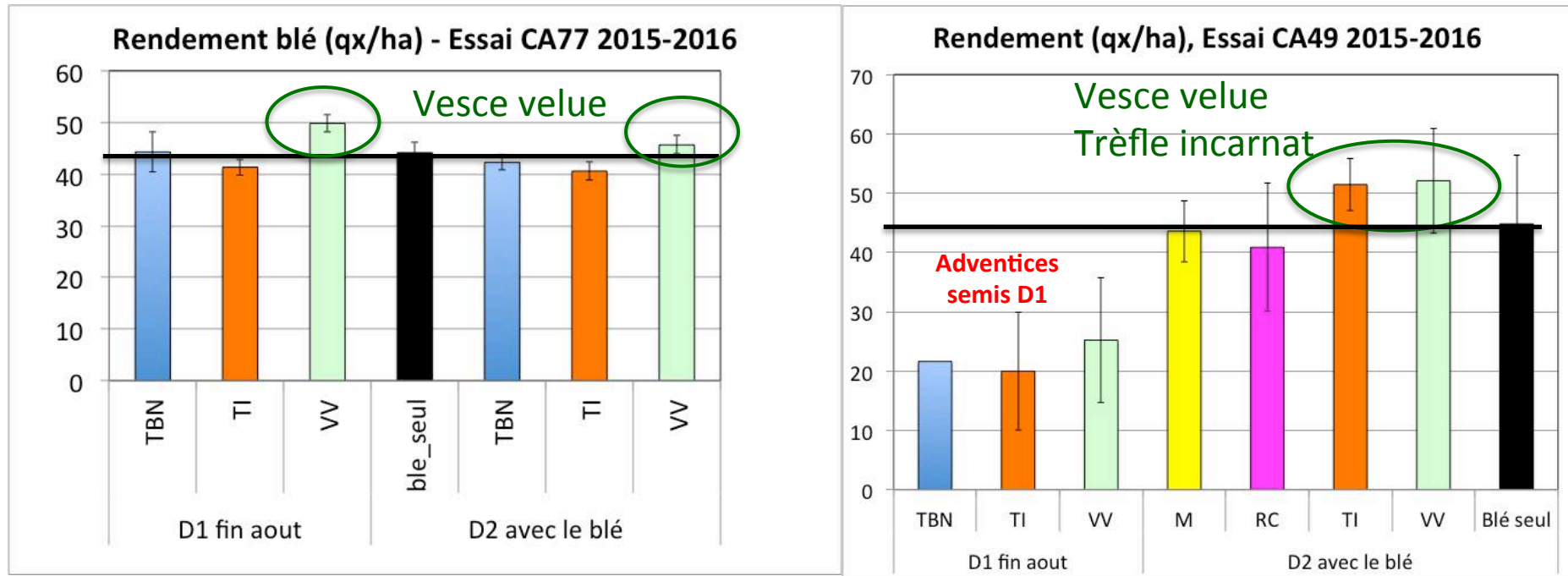
2ème campagne : 2015-2016 : « semis simultané » et « semis décalé »

Le couvert a été détruit chimiquement en sortie hiver



Effets sur le rendement

✧ 2015-2016 : Un effet de la vesce à continuer d'explorer ?



Effet dû aux fortes précipitations du printemps 2016 ?
Protection de la vesce vis-à-vis de la septo ?
Validité pour des rendements plus proches de l'objectif ?

TBN = trèfle blanc nain
 TI = trèfle incarnat
 VV = vesce velue
 M = moutarde blanche
 RC = radis chinois

(modalités supplémentaires de la CA49)

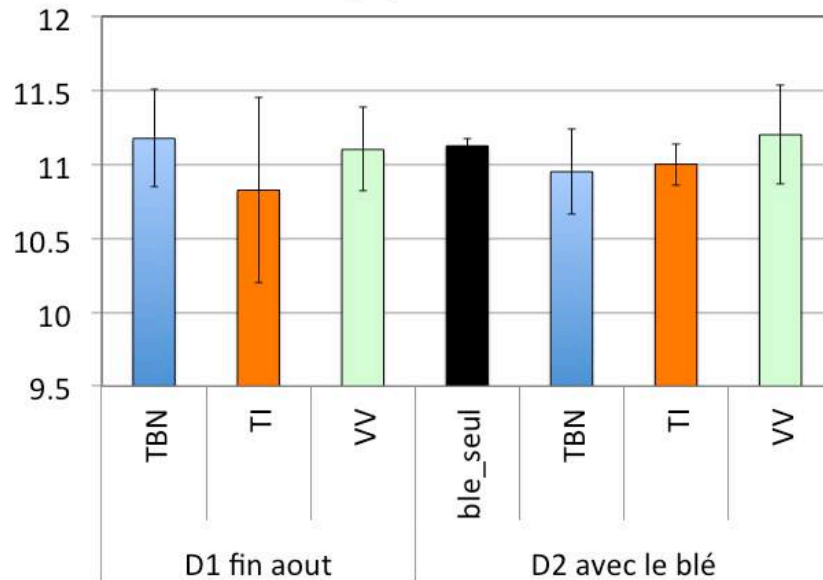
2ème campagne : 2015-2016 : « semis simultané » et « semis décalé »

Effets sur les protéines

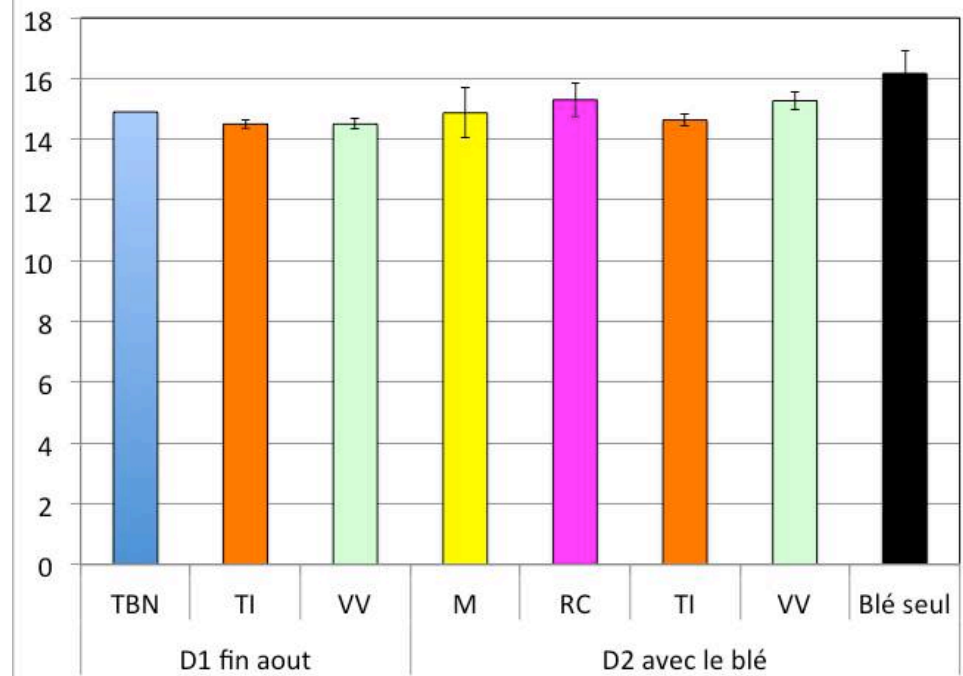
Le couvert a été détruit chimiquement en sortie hiver



Protéines (%) - Essai CA77 2015-2016



Protéines (%), Essai CA49 2015-2016



Pas d'effet sur le taux de protéines

TBN = trèfle blanc nain

TI = trèfle incarnat

VV = vesce velue

M = moutarde blanche

RC = radis chinois

(modalités supplémentaires de la CA49)

BLÉ TENDRE D'HIVER **associé à des plantes de services**



En conventionnel au printemps



Blé associé au printemps en conventionnel

Bilan décevant



- En conventionnel, quelques essais CA17 et CA79
→ **les trèfles (violet, blanc) ne prennent pas** : Levée puis blanchiment, aucun trèfle à la récolte

Explications :

- Rémanence des herbicides sulfo
- Croissance bloquée par les apports d'ammonitrate, blé trop compétitif, étouffant et couvrant

- **Cela fonctionne en AB** (voir les diapositives suivantes) car :
 - Pas de produits phyto, pas de rémanence
 - Nutrition en azote limitante, blé moins compétitif
 - Densité de peuplement plus faible, couvert moins dense, laisse passer plus de lumière

Conclusions

Blé associé en conventionnel



- Semis décalés **produisent plus de biomasse**
 - Sans assurer toujours un effet étouffant des adventices
 - Mais en induisant des **compétitions vis à vis du blé**
- Semis simultanés même en avançant la date de semis du blé et pour des automnes longs et chauds n'ont **pas permis une croissance suffisante** des couverts pour obtenir des services attendus
- Des **espèces et variétés de légumineuses prometteuses** :
Vesce velue Savane et trèfle incarnat Cegalo
- Echecs liés à une conduite conventionnelle inchangée
 - 👉 **repenser tout l'itinéraire technique est indispensable !**

Conclusions

Blé associé en conventionnel



- ➔ Nécessité de repenser l'ensemble de l'itinéraire technique, de la succession
 - Automne :
 - Désherbage de la culture précédente (*rémanence sulfo*)
 - Désherbage trop précoce au printemps ne laissant pas assez de temps aux espèces pour pousser
 - Aller vers des couverts semi-permanents régulés au semis du blé (*ex: trèfle blanc associé au colza et non détruits jusqu'au blé suivant*)
 - Attentes N à court terme alors que l'effet suivant est important
 - Printemps :
 - Désherbage avant semis de la légumineuse (*rémanence sulfo*)
 - Densité du blé à réduire pour favoriser l'implantation du couvert
 - Apport d'azote à retarder pour favoriser la fixation des légumineuses
- ➔ Et associer du blé avec des couverts semi-permanents ou implantés beaucoup plus tôt ?

BLÉ TENDRE D'HIVER **associé à des plantes de services**



En agriculture biologique



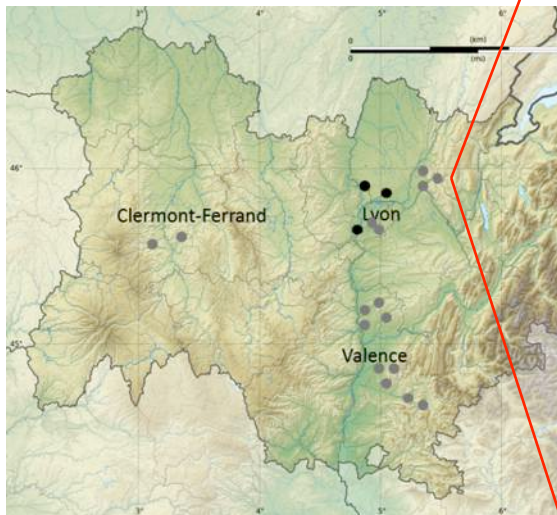
Expérimentations menées à l'ISARA-Lyon

Objectifs :

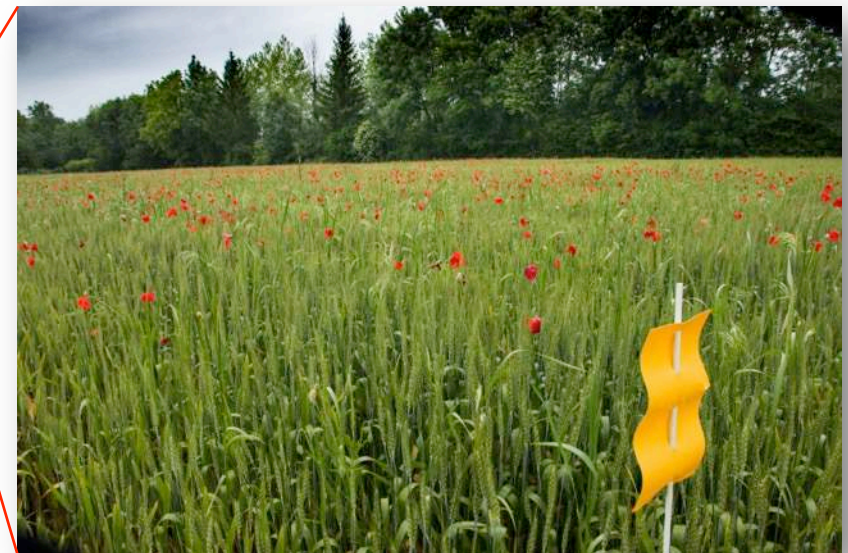
- Insérer des légumineuses plantes de services, pour réduire le besoin en intrants :
 - Réduction des besoins en fertilisants azotés
 - Réduction du besoin en travail du sol pour la gestion des adventices
- Sans mettre en péril les performances du blé associé...



3 sites (entre 2015 et 2016)
3 blocs randomisés/site



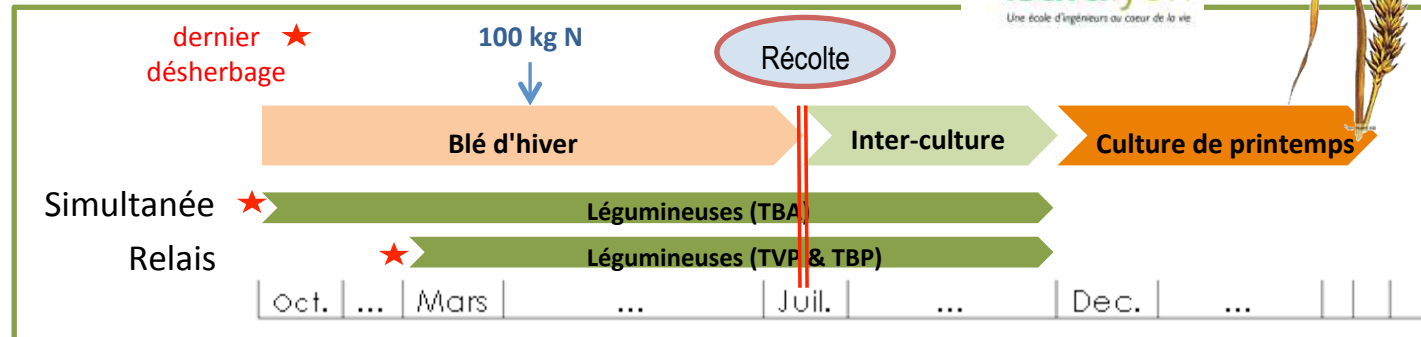
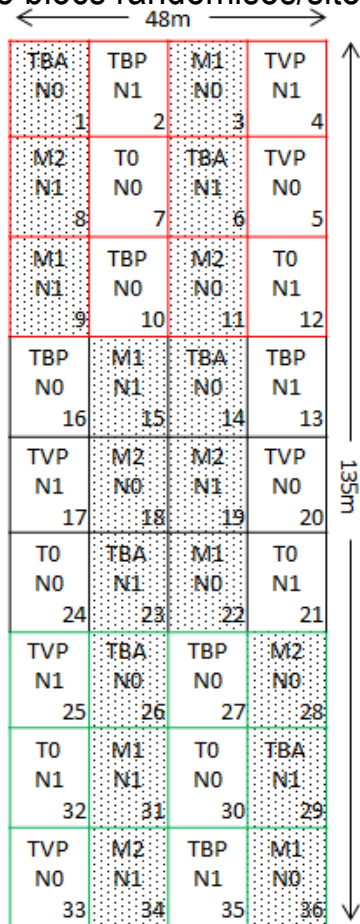
48m				135m
TBA N0	TBP N1	M1 N0	TVP N1	
1	2	3	4	
M2 N1	T0 N0	TBA N1	TVP N0	
8	7	6	5	
M1 N1	TBP N0	M2 N0	T0 N1	
9	10	11	12	
TBP N0	M1 N1	TBA N0	TBP N1	
16	15	14	13	
TVP N1	M2 N0	M2 N1	TVP N0	
17	18	19	20	135m
T0 N0	TBA N1	M1 N0	T0 N1	
24	23	22	21	
TVP N1	TBA N0	TBP N0	M2 N0	
25	26	27	28	
T0 N1	M1 N1	T0 N0	TBA N1	
32	31	30	29	
TVP N0	M2 N1	TBP N1	M1 N0	
33	34	35	36	



Expérimentations menées à l'ISARA-Lyon



3 sites (entre 2015 et 2016)
3 blocs randomisés/site

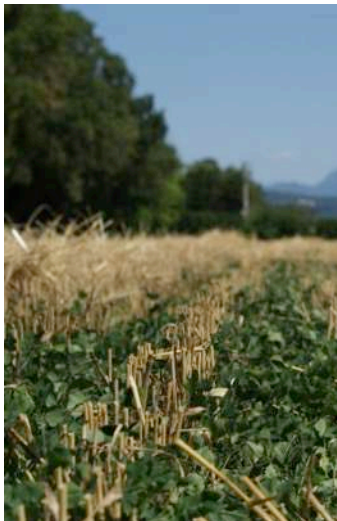


Facteurs	Modalités		
Couverts (Semis à la volée à 800 gr/m ²)	Contrôle	T0	
	Association-relais	TBP	Trèfle blanc (Aberdai)
		TVP	Trèfle violet (Formica)
	Association simultanée	TBA	Trèfle blanc (Aberdai)
Fertilisation	Contrôle	N0	
	Fertilisé	N1	100 kg N/ha au printemps (10-1-1)
Données mesurées : biomasses (MS) à la récolte du blé et à la destruction du couvert + rendement du blé et de la culture suivante			

Blés associés en agriculture biologique



Les services attendus

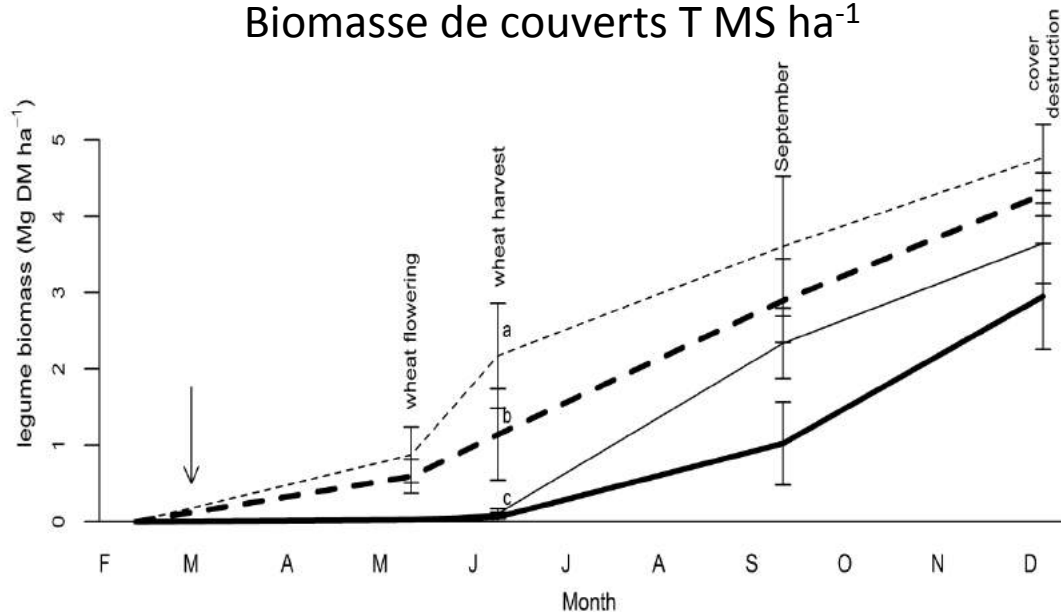


Blés associés en agriculture biologique

Dynamique de croissance des couverts



Biomasse de couverts T MS ha⁻¹



- Asso simult. (0N)
- - - - - Asso simult. (100N)
- Asso relais (0N)
- Asso relais (100N)

➔ L'association simultanée permet d'accroître la productivité des couverts par rapport au semis de printemps.

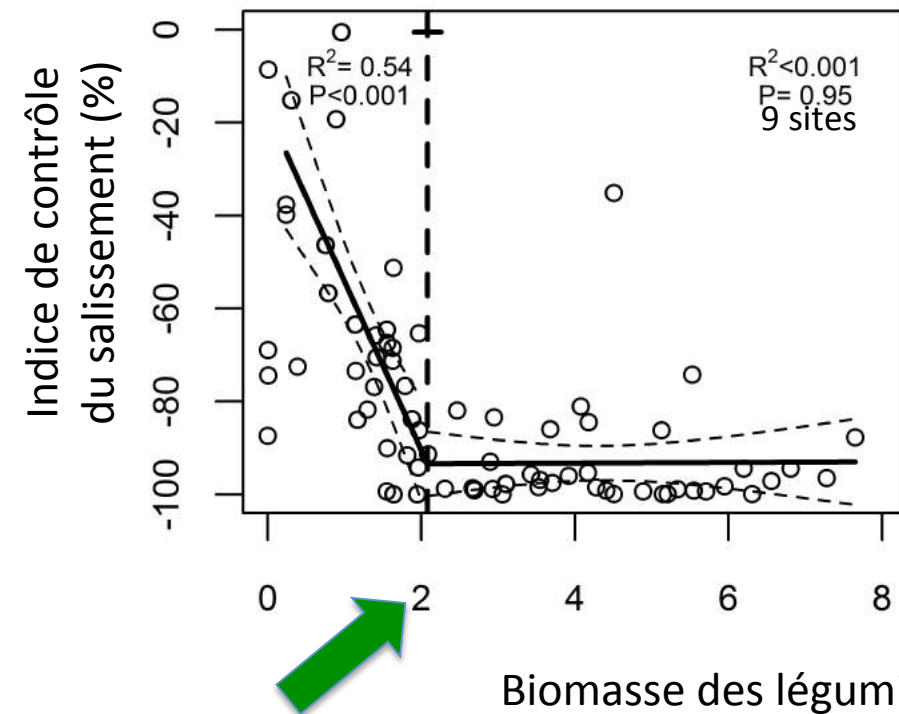
➔ La fertilisation réduit la productivité des couverts (blé plus compétitif)



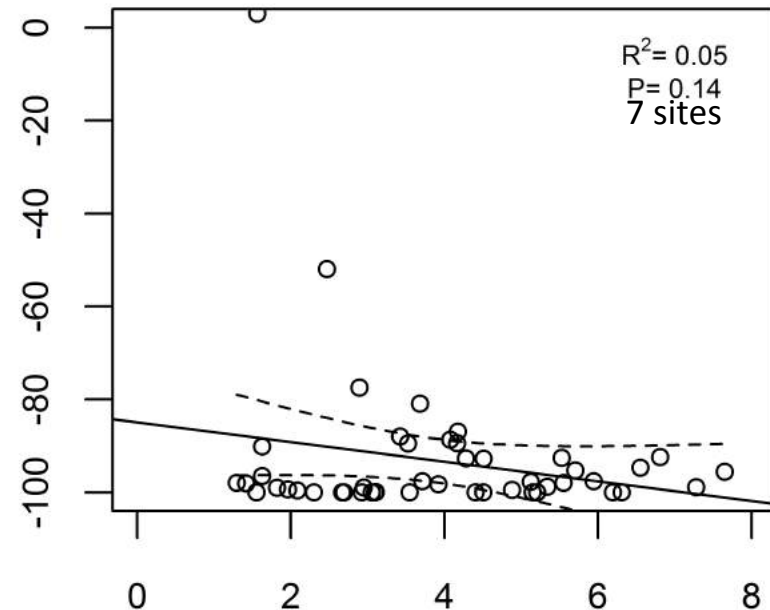
Blés associés en agriculture biologique

Effets sur les adventices

Mesures Fin de l'été (Septembre)



Mesures à destruction du couvert (Février)



➔ Une **biomasse de 2 $t\ ha^{-1}$** en septembre est nécessaire pour garantir une **diminution de la biomasse des adventices de 90%**, jusqu'à la destruction du couvert

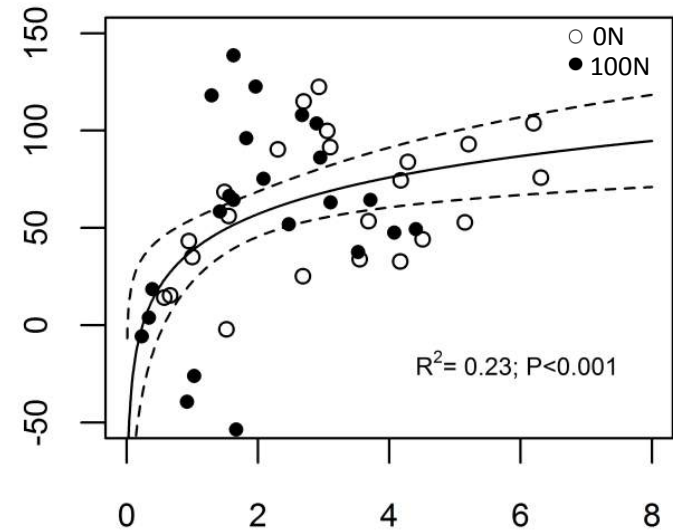
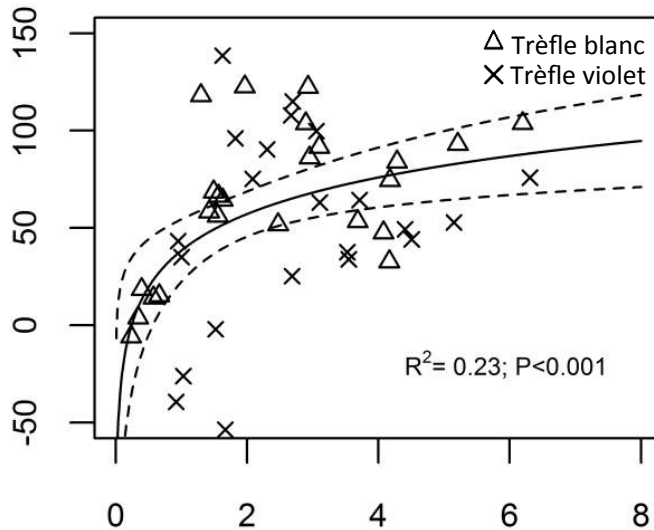
Blés associés en agriculture biologique

Service engrais vert



Restitution d'azote au maïs suivant

Gain d'azote dans le maïs par rapport
au témoin sans couvert (kg N ha⁻¹)



Biomasse des légumineuses en Septembre (t ha⁻¹)

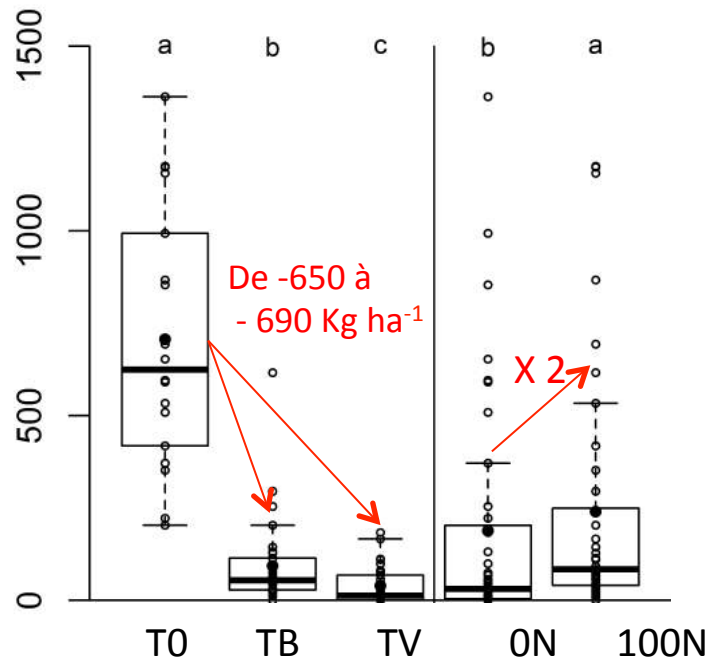
➔ La quantité d'azote valorisée par la culture suivante est comparable selon les différentes stratégies testées

Effet des espèces et de la fertilisation

(Mesure à la fin de l'été, après la récolte du blé)

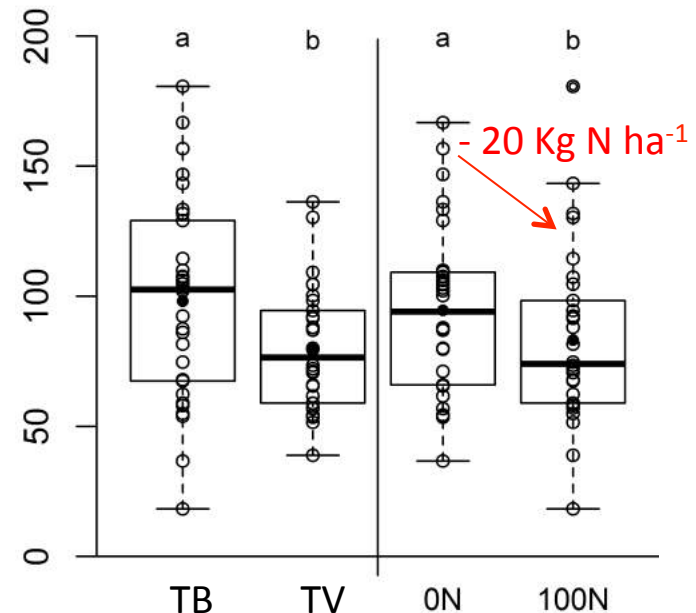
Régulation des adventices

Biomasse des adventices (kg ha^{-1}) en fonction du couvert et de la fertilisation



Service engrais vert

Azote contenu dans la légumineuse (kg N ha^{-1}) en fonction du couvert et de la fertilisation



➔ Les deux espèces montrent des capacités différentes à accumuler de l'azote et contrôler les adventices.

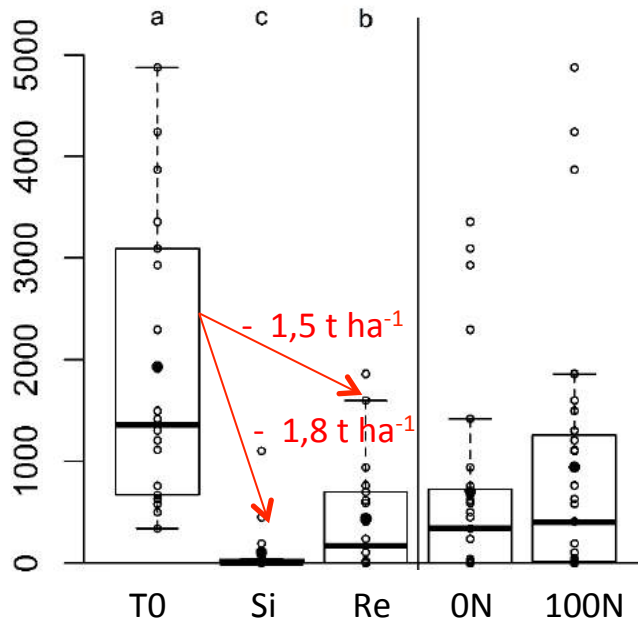
➔ Les services sont plus faibles en situation fertilisée

Effet du mode d'association (*automne/printemps*)

(Mesure à la fin de l'été, après la récolte du blé)

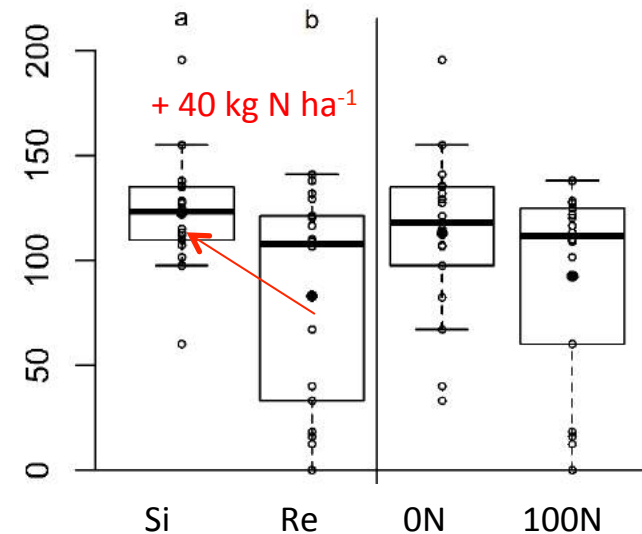
Régulation des adventices

Biomasse des adventices (kg ha^{-1}) en fonction du couvert et de la fertilisation



Service engrais vert

Azote contenu dans la légumineuse (kg N ha^{-1}) en fonction du couvert et de la fertilisation



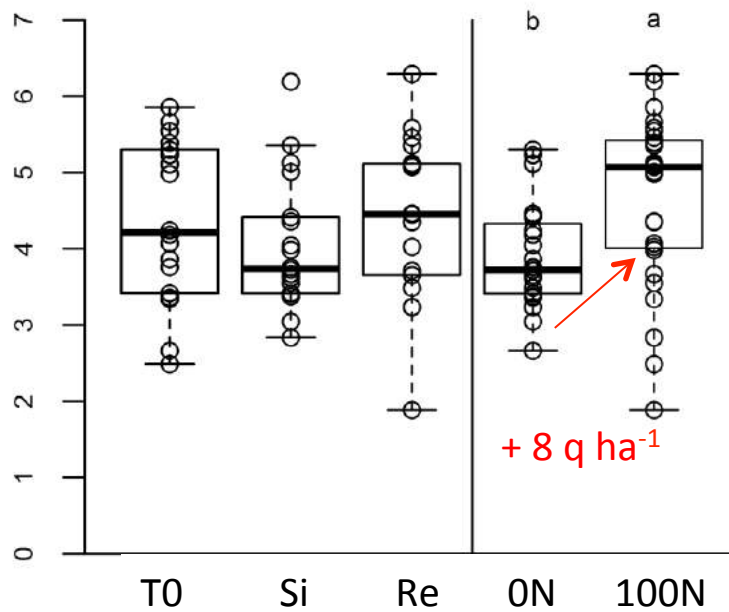
➔ Le trèfle blanc semé en simultané permet d'accumuler plus d'azote et de mieux contrôler les adventices que pour le semis en relai

Effet du mode d'association (*automne/printemps*)



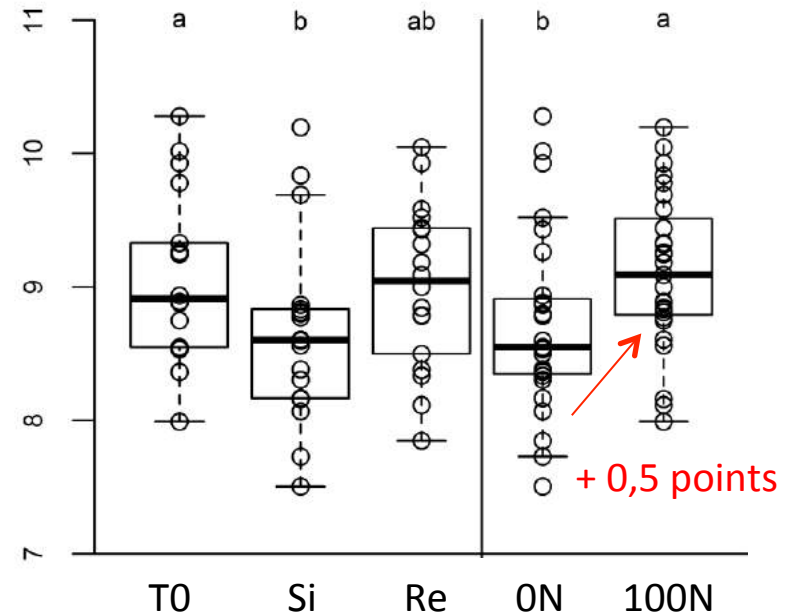
Rendement du blé

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



Teneur en protéines

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



➔ L'association simultanée permet l'expression des services écologiques dès la récolte **au risque d'entrer en compétition avec le blé**

Si : semis simultané à l'automne
Re : semis en relai au printemps

Expérimentations menées par la CA17



1 site

2014 et 2015 : Essai grande parcelle « test de faisabilité » + comparaison avec semis post-récolte

2016 : Essai en bandes agriculteur « Screening espèces légumineuses »

2014

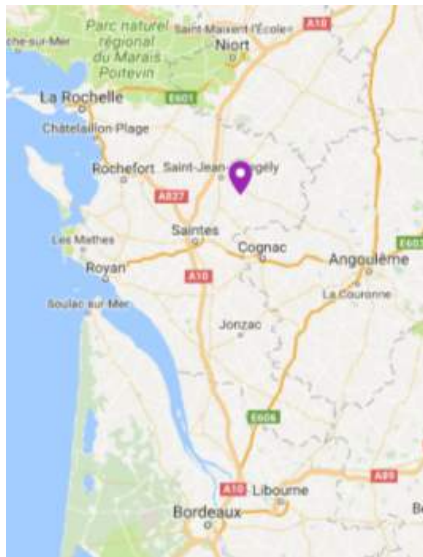
Sous semis Trèfle Blanc (4-5kg/ha)
dans Blé Tendre
27/2/14
Test Semoir Delimbe à la volée sur
Herse Etrille

2015

Sous semis
Trèfle Violet
Quinequelli
dans Epeautre
8/3/15
Test Semoir à
disque

Semis Couvert
post-Récolte
TA+Moha+
Phacélie+
Moutarde
25/8/15

2016



	Maremma	Tabor	Prunelle	Hunter River	Aberace	Alice	Huia	Quinequelli
Témoin	Trèfle d'Alexandrie		Luzerne			Trèfle Blanc		Trèfle Violet

Essai CA17 - 2015 – Parcelle Agriculteur

Mesures biomasses des couverts fin novembre 2015

Sous semis
Trèfle Violet
Quinequelli
dans Epeautre
8/3/15
Test Semoir à
disque



Trèfle Violet relais

Biomasse du couvert

Matière sèche totale (t/ha) **3,9**

Azote piégé total (kg / ha) **112**

Restitution du couvert (kg/ha)



N : **45**

P₂O₅ : **20**

K₂O : **160**

Semis Couvert
post-Récolte
TA+Moha+
Phacélie+
Moutarde
25/8/15



Couvert du 25/8

Biomasse du couvert

Matière sèche totale (t/ha) **1,2**

Azote piégé total (kg / ha) **41**

Restitution du couvert (kg/ha)



N : **20**

P₂O₅ : **5**

K₂O : **60**



13/7/15

17/8/15



05/09/15



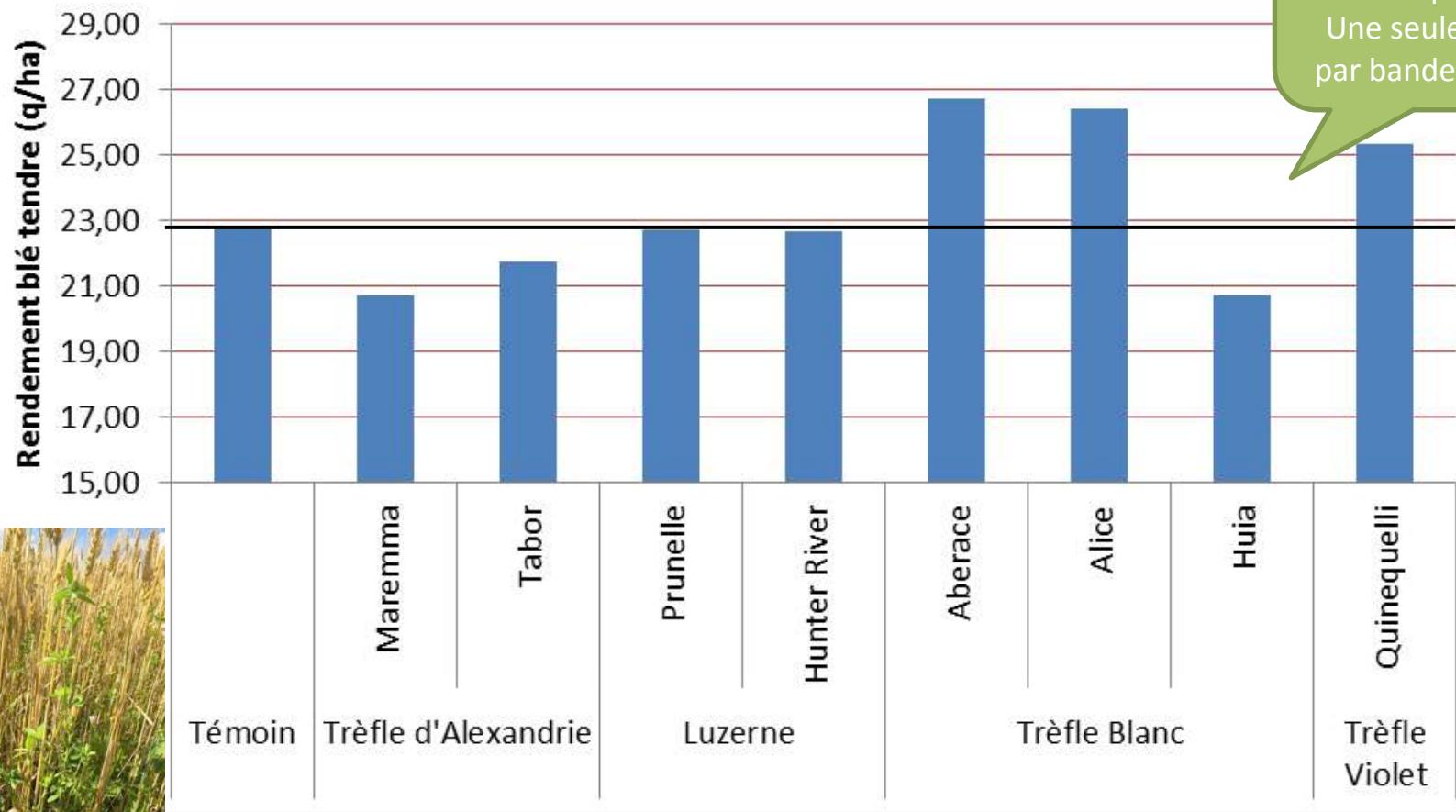
22/11/15



Choix de couverts : Résultats Essai 2016 CA17



Impact du sous semis de légumineuses sur le rendement du blé tendre d'hiver





Conclusions : Blés associés en agriculture biologique

- En AB, **associer le blé à un couvert de légumineuse est efficace pour :**
 - ➔ **Contrôler le développement des adventices pendant l'interculture suivante**, selon la biomasse produite par le couvert en fin d'été.
 - ➔ Contrôler le développement des adventices à l'automne dès la période d'association si l'installation du couvert est rapide et bonne
 - ➔ **Enrichir le système en azote :**
 - Pas d'effet sur la nutrition du blé associé, voire de la compétition
 - Azote fourni à la culture suivante souvent supérieur à 50kg/ha et très lié à la biomasse produite (*mais aussi aux conditions climatiques de l'automne, etc.*)
 - Enrichissement lié à la fixation symbiotique pour l'essentiel (*en moyenne >80% de l'azote accumulé dans les légumineuses provient de la fixation de l'azote atmosphérique*)

Conclusions : Blés associés en agriculture biologique



Semer le couvert au printemps sous le blé

- ✓ Ne cause presque **pas de compétition** significative entre blé et couvert.
- ✓ Permet de **contrôler efficacement les adventices** uniquement après la récolte du blé (si bonne implantation du couvert)
- ✓ Apporte une **quantité intéressante d'azote**, valorisable par la culture d'après (>50kg/ha en moyenne)
- ✓ **Rend aléatoire l'implantation du couvert** en cas de conditions trop sèches au printemps

Semer le couvert en simultané avec le blé

- ✓ **Améliore les chances d'avoir un couvert** bien implanté au printemps (variabilité de la biomasse produite plus faible)
- ✓ **Contrôle les adventices** dès la phase d'association avec le blé (en cas d'implantation satisfaisante du couvert)
- ✓ **Garantit une quantité importante d'azote disponible** pour le reste du système, potentiellement plus élevée qu'avec un couvert implanté au printemps

➔ Dans tous les cas d'implantation testés, le **contrôle de la pression limace** est important pour améliorer l'implantation des couverts de trèfle.

Perspectives des associations

« blé – plantes de services »

- Evaluer la faisabilité des associations au printemps en conventionnel « bas intrants »
- Aller vers des semis direct du blé tendre dans un couvert établi plusieurs mois à l'avance :
 - *trèfle blanc semé avec le colza en n-1*
 - *plantes de services à la récolte du n-1 (succession « blé-blé »)*
- Poursuivre l'évaluation des effets de la vesce et du trèfle incarnat lors de semis d'automne, dans des parcelles propres

POUR ALLER PLUS LOIN

Le projet Casdar a permis de co-financer des études complémentaires :

- Synergie entre légumineuse de service et vers de terre sur la productivité du blé (J Fustec, N Cassagne et al.)
- Associer des espèces aux traits complémentaires pour accroître la compétitivité du couvert vis-à-vis des adventices (Dayoub, Naudin et al.)



Synergie entre légumineuse de service et vers de terre sur la productivité du blé

Thèse de Baptiste DRUT
N. Cassagne, M. Cannavacciuolo, J. Fustec

UP LEVA

Légumineuses, Écophysiologie Végétale; Agroécologie

Unité sous contrat



Co-financement
PAO SAFARI

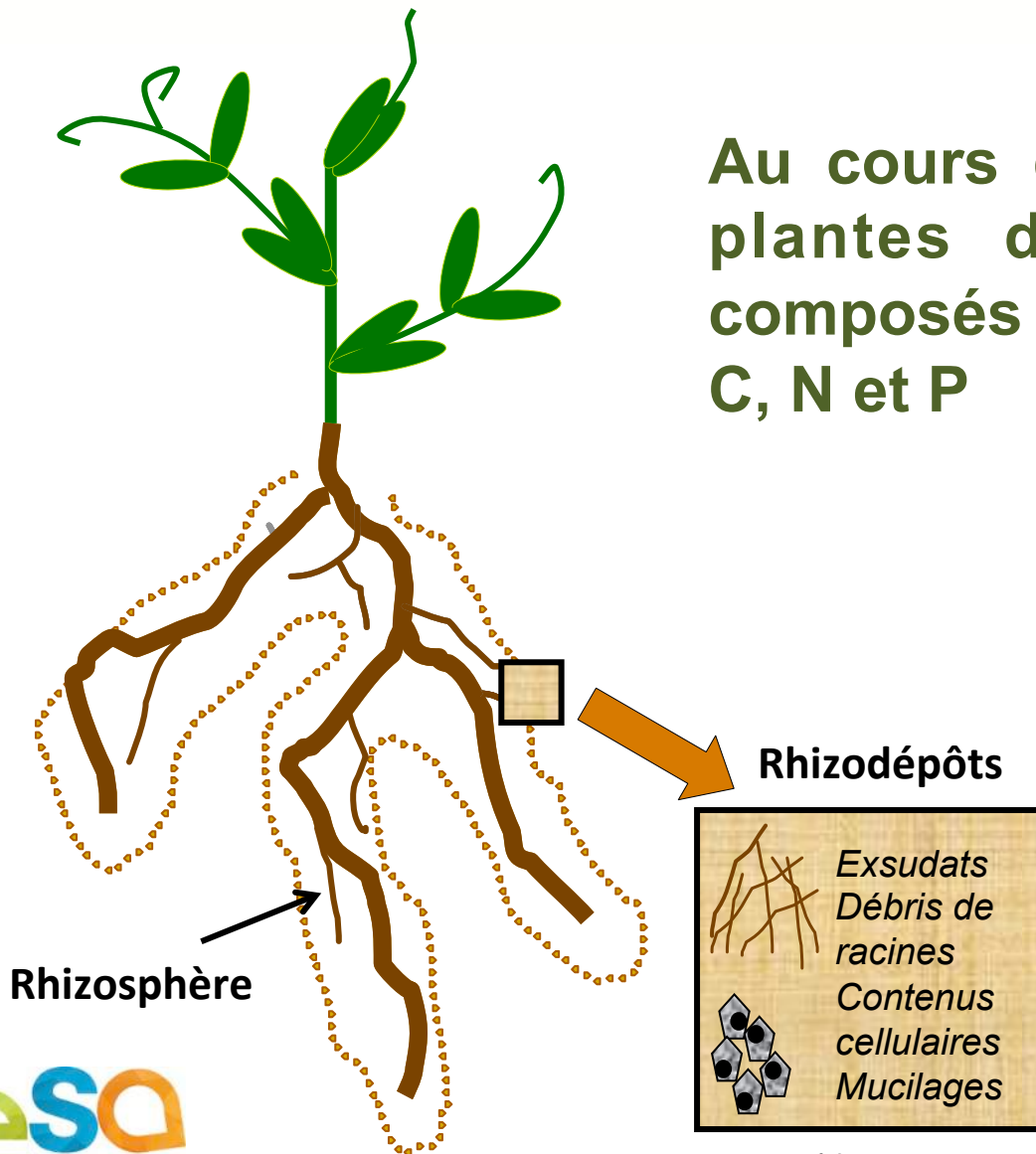


Contact :
j.fustec@groupe-esa.com

La rhizodéposition

Au cours de leur croissance, les plantes déposent au sol des composés organiques chargés de C, N et P

c'est la **rhizodéposition**



→ Toutes les espèces végétales rhizodéposent



Jusqu'à 20% de leur C

Jusqu'à 15% de leur N

(en plus du N et C apportés par les résidus)

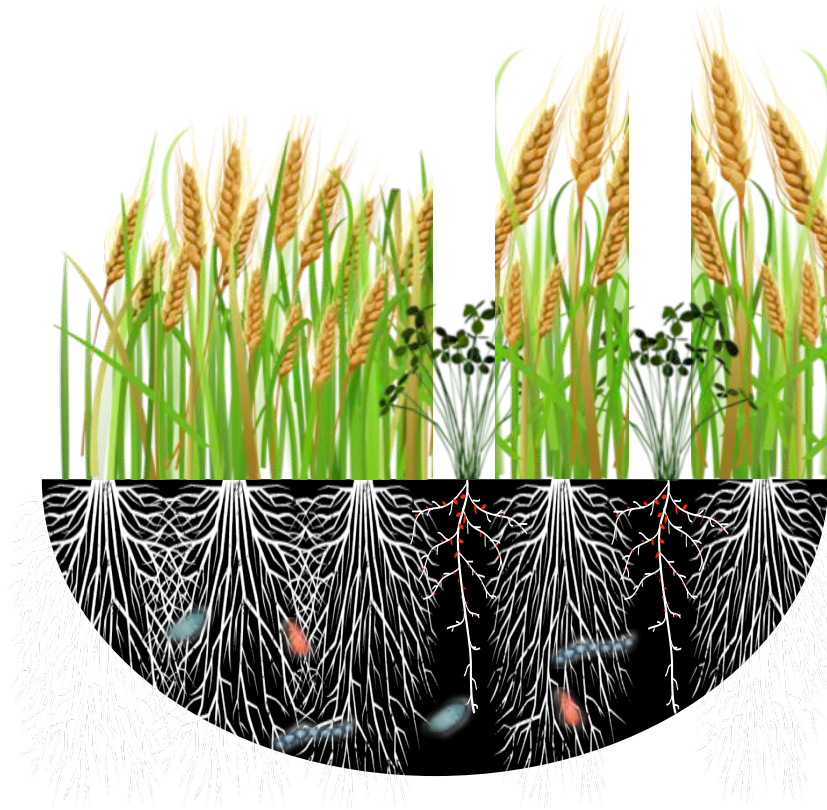
→ Mais la composition des rhizodépôts varie en fonction des espèces



Le **rapport C/N** de mes
rhizodépôts **est plus**
faible que celui du
blé ou du colza

Ces rhizodépôts sont des ressources nutritives (C et N) pour les microorganismes du sol, ce qui permet la croissance de leurs populations.

Chaque espèce végétale et chaque variété favorise des microorganismes différents.

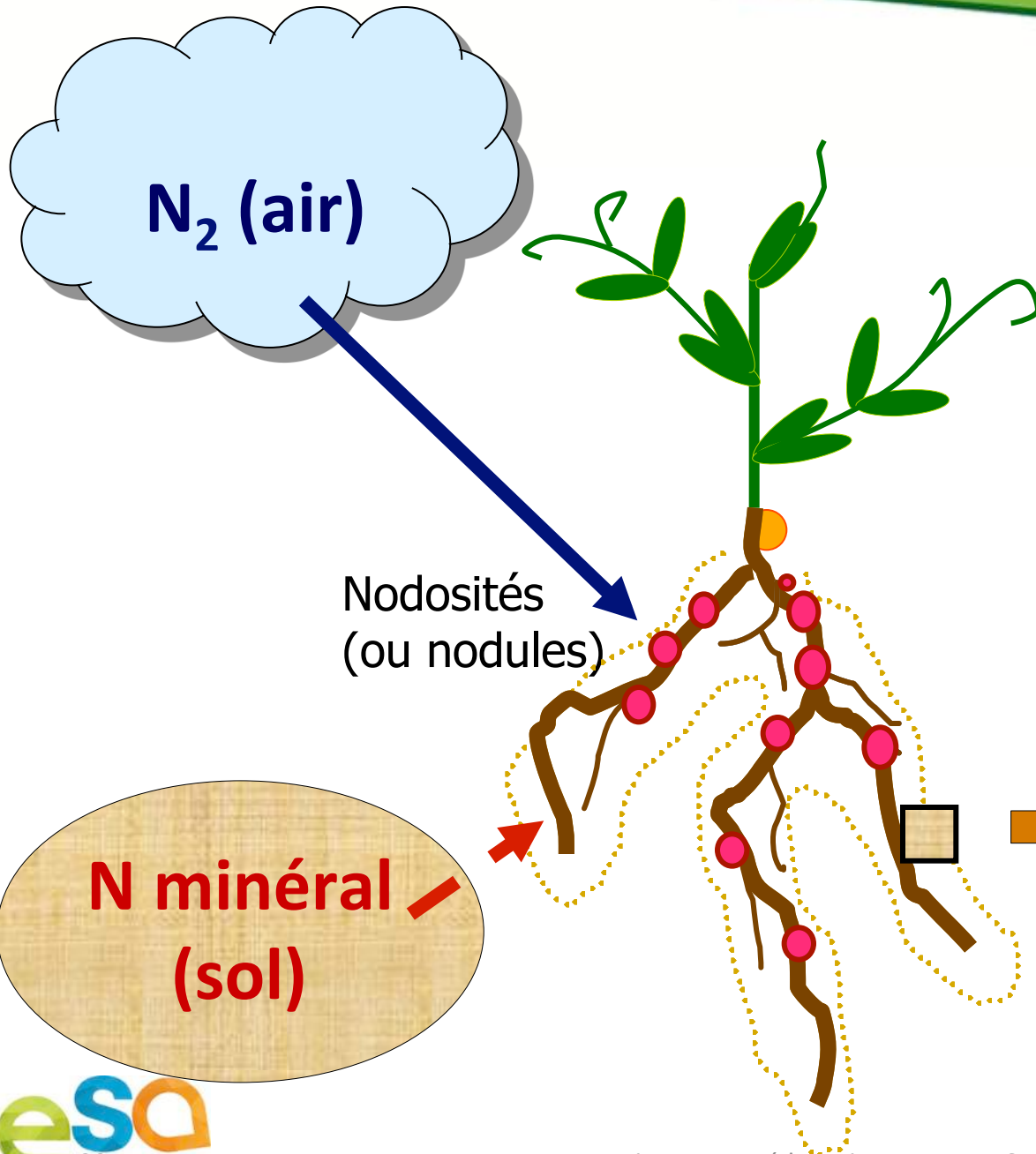


➔ En diversifiant les cultures, on peut donc s'attendre à une augmentation de la diversité des microorganismes du sol

Les vers de terre sont des « ingénieurs de l'écosystème », c'est-à-dire qu'ils modifient l'environnement des racines et des microorganismes de par leur activité. Ils aèrent le sol, transforment les rhizodépôts et activent les microorganismes.



➔ L'activité des microorganismes et leur composition dépendent beaucoup des interactions entre les racines et les vers de terre, lorsqu'ils sont présents.



Lorsque la concentration en nitrate du sol est faible, les légumineuses fixent de l'azote de l'air, qui se retrouve donc dans les composés rhizodéposés. Toutefois, cet azote n'est disponible pour les autres cultures qu'après plusieurs mois.

Rhizodéposition



Jusqu'à **15%** de l'azote total de la légumineuse à maturité .

Mahieu et al. (2007)

Fustec et al. (2010)

Lorsqu'on cultive une légumineuse avec une céréale, le bénéfice de l'association n'est donc pas forcément dû aux transferts d'azote, mais surtout au fait que la légumineuse laisse l'azote du sol à la céréale et fixe l'azote de l'air :

➔ il y a **complémentarité pour les ressources azotées disponibles**
et donc, moins de compétition pour l'azote du sol entre les plantes

Diversité du couvert végétal

Compétition
Complémentarité

Tilman *et al.*, 1996

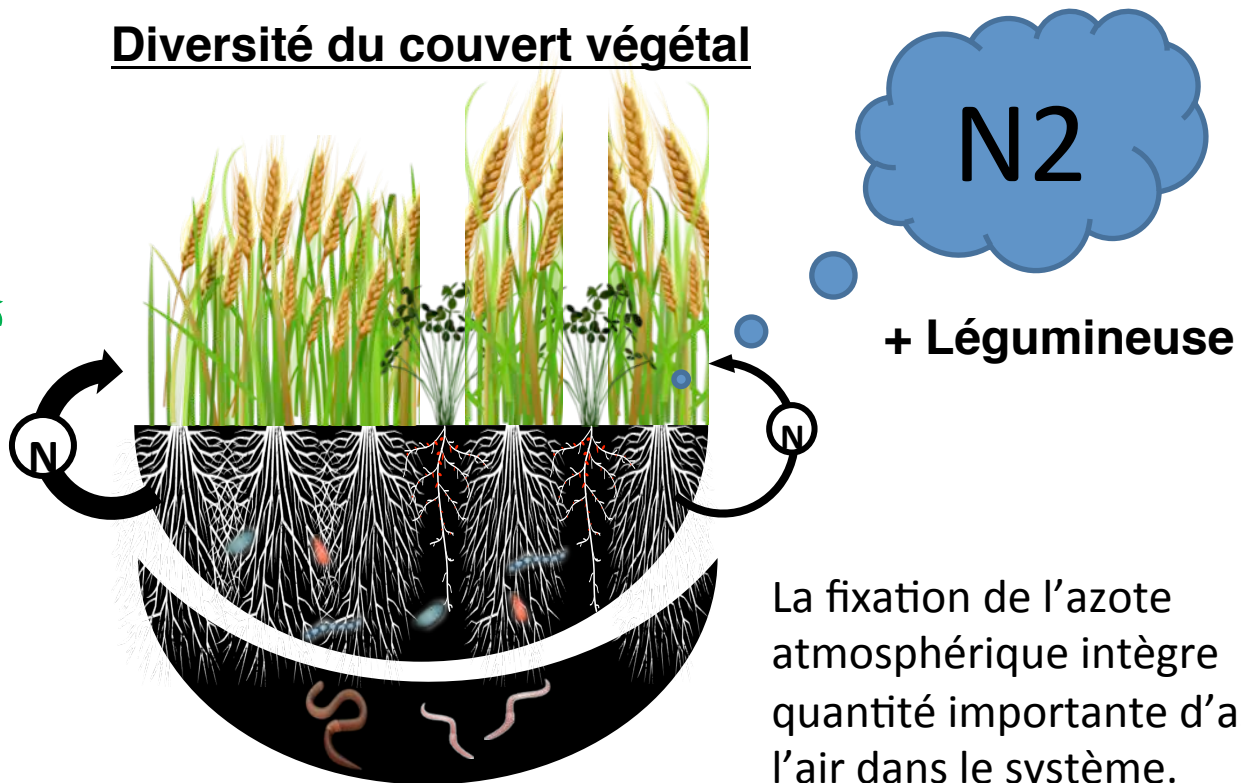
Loreau *et al.*, 2001

Diaz *et al.*, 2006

Jensen, 1996

Corre-Hellou *et al.*, 2006

Corre-Hellou *et al.*, 2007



La fixation de l'azote atmosphérique intègre une quantité importante d'azote de l'air dans le système.

Dans notre dispositif expérimental, nous avons étudié les interactions entre diversités génétique et spécifique du couvert végétal et diversité fonctionnelle des vers de terre sur les performances du blé

Blé tendre

Triticum aestivum L.

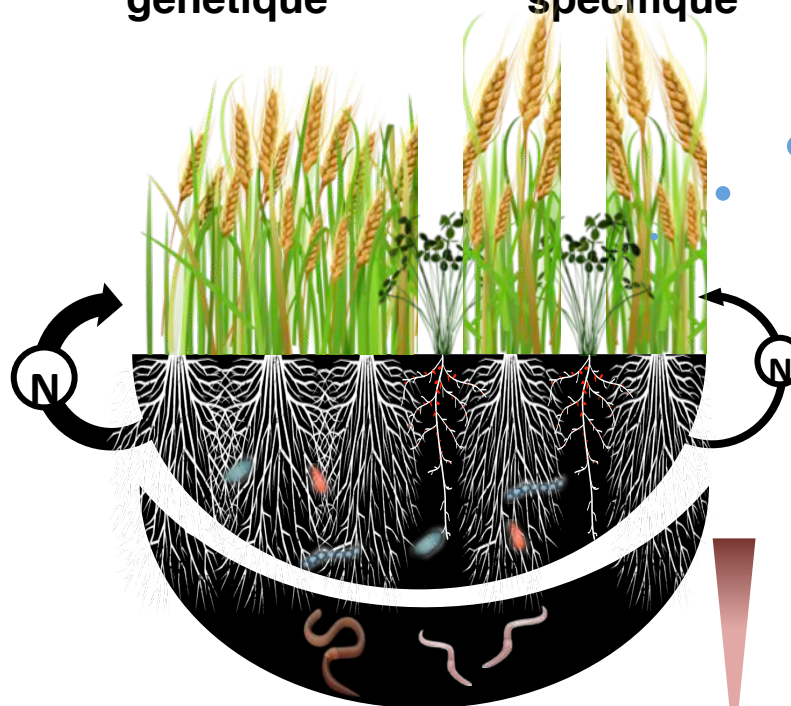
Renan

Chevalier

Pireneo

Diversité fonctionnelle du couvert végétal

Diversité
génétique Diversité
spécifique →



+ Légumineuse

Endogé + Anécique

Endogé

Diversité fonctionnelle des vers de terre

Hypothèses

① Augmentation de la diversité du couvert végétal

- amélioration de la productivité par utilisation plus complète des ressources par **complémentarité** entre les plantes (de variétés différentes et/ou d'espèces différentes)
- modification de la structure des communautés de **microorganismes de la rhizosphère**

② Augmentation de la diversité fonctionnelle des vers de terre

- amélioration de la productivité par **effet cumulé des activités des 2 groupes** sur l'environnement des plantes (modifications chimique, physique et microbiologique)
- augmentation des performances par **effet combiné** avec la diversité du couvert végétal

Dispositif expérimental en mésocosmes



Photo : B. Drut (20.05.2016) . Dispositif expérimental dans la serre de l'UR LEVA - ESA d'Angers.

Gradient de diversité du **couvert végétal**

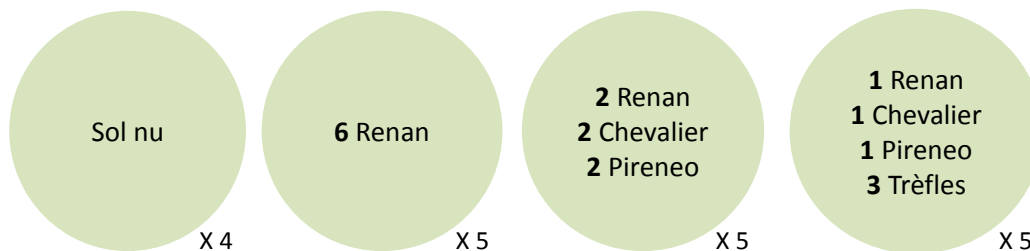
Trèfle hybride
variété Aurora

Gradient de
diversité
fonctionnelle
en **vers de**
terre

Sans vers de terre



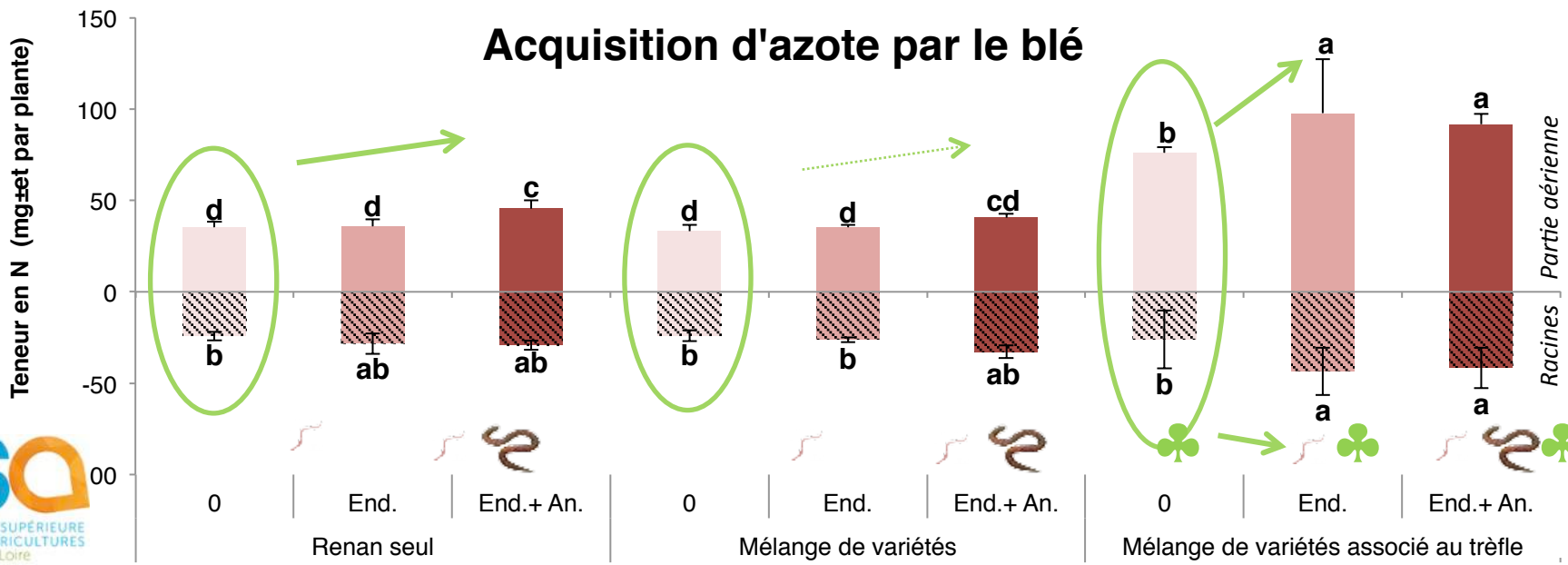
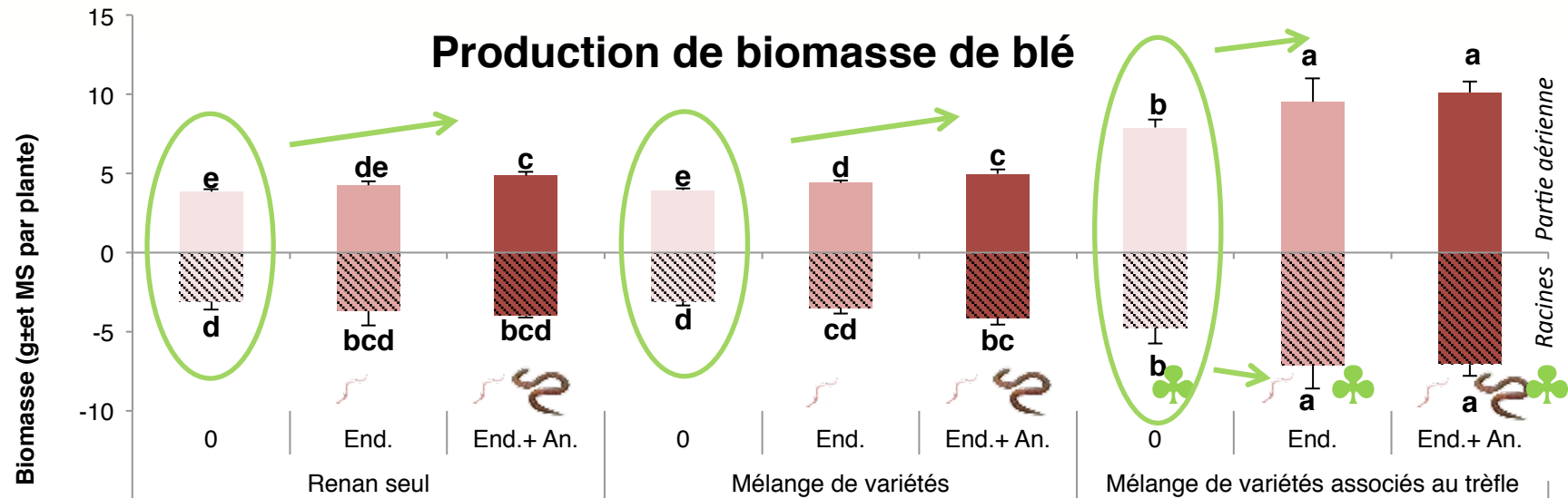
Avec 5 endogés
(*A. caliginosa*)



**Avec 5 endogés et 2
anéciques**
(*A. caliginosa* et *L. terrestris*)



Résultats

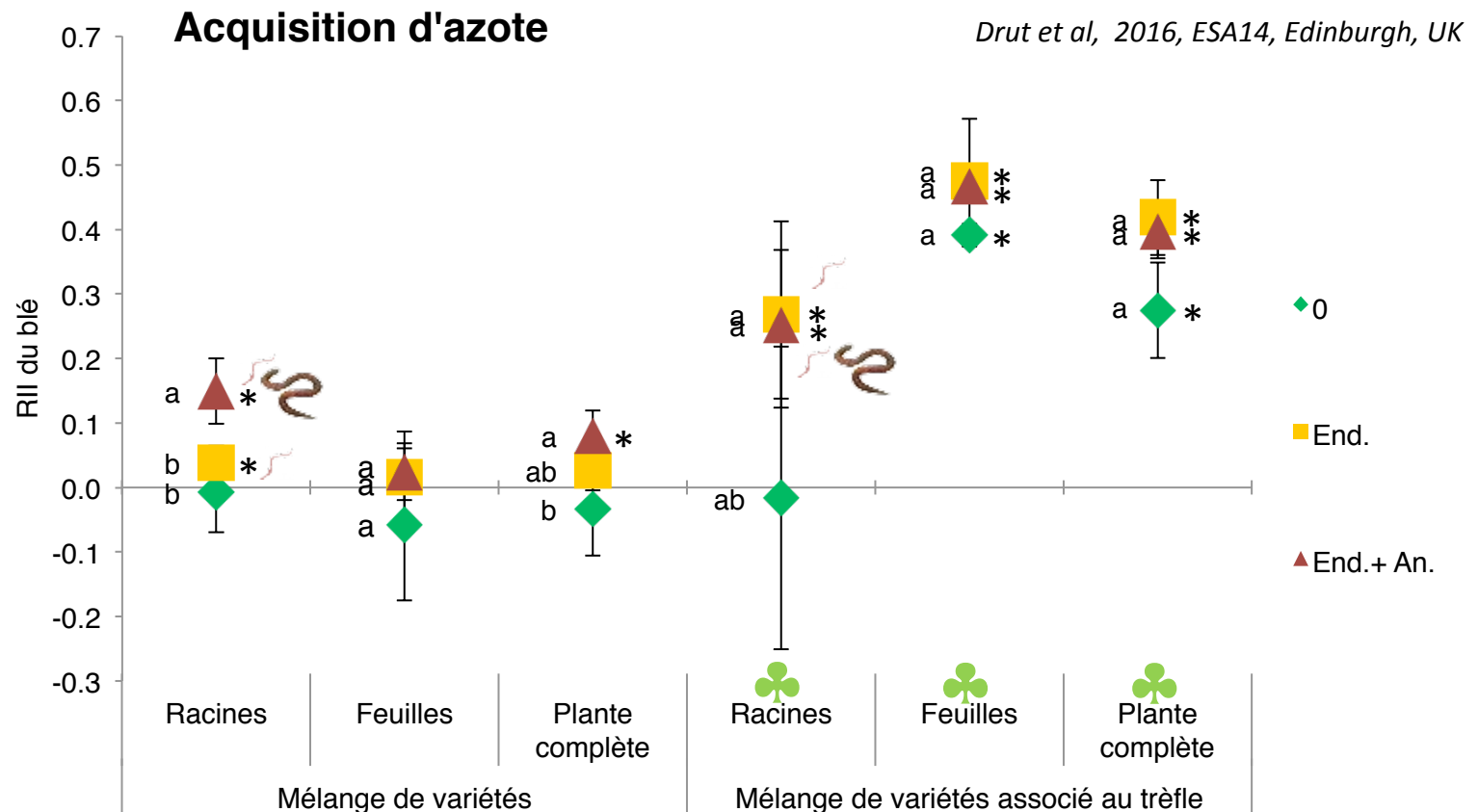


Résultats

0 < RII < 1 → Complémentarité entre les plantes
-1 < RII < 0 → Compétition entre les plantes

Indice d'interaction relatif (Armas *et al.* 2004) :

$$RII = \frac{N_{\text{Association}} - N_{\text{Culture pure}}}{N_{\text{Association}} + N_{\text{Culture pure}}}$$



Complémentarité

Compétition

Conclusions

① Augmentation de la diversité du couvert végétal

- Meilleures performances du couvert grâce à la diversité fonctionnelle des espèces (association céréale-légumineuse) : biomasses augmentées et acquisition d'azote améliorée
- Diversité fonctionnelle génétique : pas d'expression de complémentarité pour une meilleure acquisition des ressources azotées.

② Augmentation de la diversité fonctionnelle des vers de terre

- Augmentation des performances du couvert avec la diversité des groupes fonctionnels de vers de terre en culture de blé
- Effet supplémentaire des vers de terre (indépendamment de la diversité) sur les performances du blé en association

Conclusions

Diversité génétique
des blés

Biomasse

Biomasse

Contenu
azoté

Contenu
azoté

Introduction d'une
légumineuse

L'activité des vers de
terre réduit la
compétition entre les
blés

Avec le trèfle,
complémentarités
entre plantes pour
l'azote

**On observe une
SYNERGIE** entre la
présence de trèfle et
des vers de terre pour
les performances des
blés

Diversité des groupes
fonctionnels
de vers de terre

Analyse microbiologique en attente





Associer des espèces aux traits complémentaires pour accroître la compétitivité du couvert vis-à-vis des adventices



**Christophe Naudin, Elana Dayoub,
Guillaume Piva, Joëlle Fustec, Steve Shirtliffe,
Guénaëlle Hellou**

Contact :
c.naudin@groupe-esa.com

Unité de Recherche **Leva**

Légumineuses, Écophysiologie Végétale, Agroécologie

Unité sous contrat



Approche générale

- Intérêt d'associer des espèces aux traits complémentaires pour accroître la compétitivité vis-à-vis des adventices
- En culture pure, peu de diversité de traits, ce qui ne favorise pas la compétitivité vis-à-vis des adventices



Essai au champ durant 2 ans, Maine-et-Loire

Objectif : mieux comprendre ce qui influence la compétitivité d'un couvert colza-légumineuse (féverole de printemps ou vesce commune d'hiver) en comparaison du colza pur vis-à-vis des adventices durant l'hiver

- Comparaison associations et cultures pures
- Associations substitutives (chaque espèce semée à 50% de sa densité en pur)
- Essai sans désherbage pour montrer l'effet de l'association en situation contraignante de salissement
- Dispositif en bloc à 4 répétitions
- 2 années d'essai : 2013-2014 et 2015-2016

Espèces mises en culture

Modalité	Espèce	Variété	Densité de semis (grains / m ²)
Colza pur	Colza d'hiver	Bohème	60
Féverole pure	Féverole de printemps	Divine	46
Vesce pure	Vesce commune de printemps	Nacre	90
Colza - féverole	Colza d'hiver	Bohème	30
	Féverole de printemps	Divine	23
Colza – vesce	Colza d'hiver	Bohème	30
	Vesce commune de printemps	Nacre	45



Colza + Vesce



Colza + Féverole

Caractérisation en culture pure des espèces étudiées

	Avant hiver			Sortie hiver		
	Colza	Féverole	Vesce	Colza	Féverole	Vesce
Indice foliaire (surface de feuille /m ² au sol)	1.38 b	3.30 a	1.08 b	2.16	2.39	3.25
Biomasse (t ha⁻¹)	1.0 b	2.0 a	0.79 b	1.4 b	2.9 a	1.2 b
Quantité d'azote du sol absorbé par la plante (kg N ha⁻¹)	28 a	19 a	8 b	48 a	34 a	14 b
Hauteur (cm)	21 b	71 a	18 b	14 b	67 a	21 b

Colza hiver : malgré une faible biomasse, une forte capacité à capter l'N minéral du sol

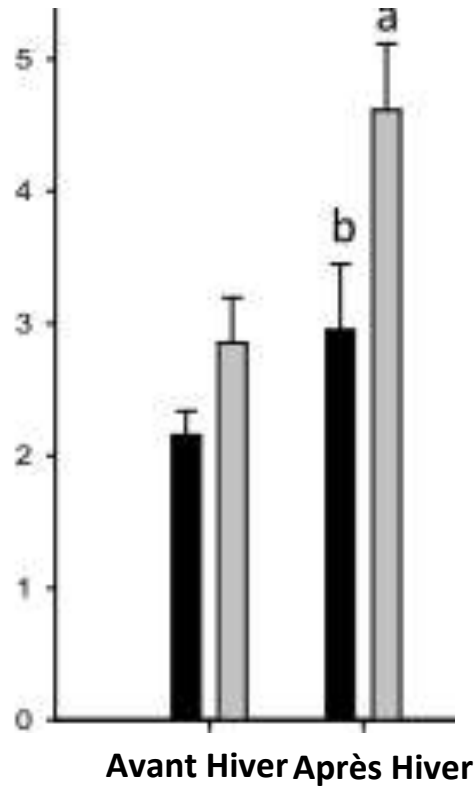
Féverole de printemps complémentaire au colza :

- indice foliaire, biomasse et hauteur sont + élevés
- indice foliaire de la féverole élevé avant hiver

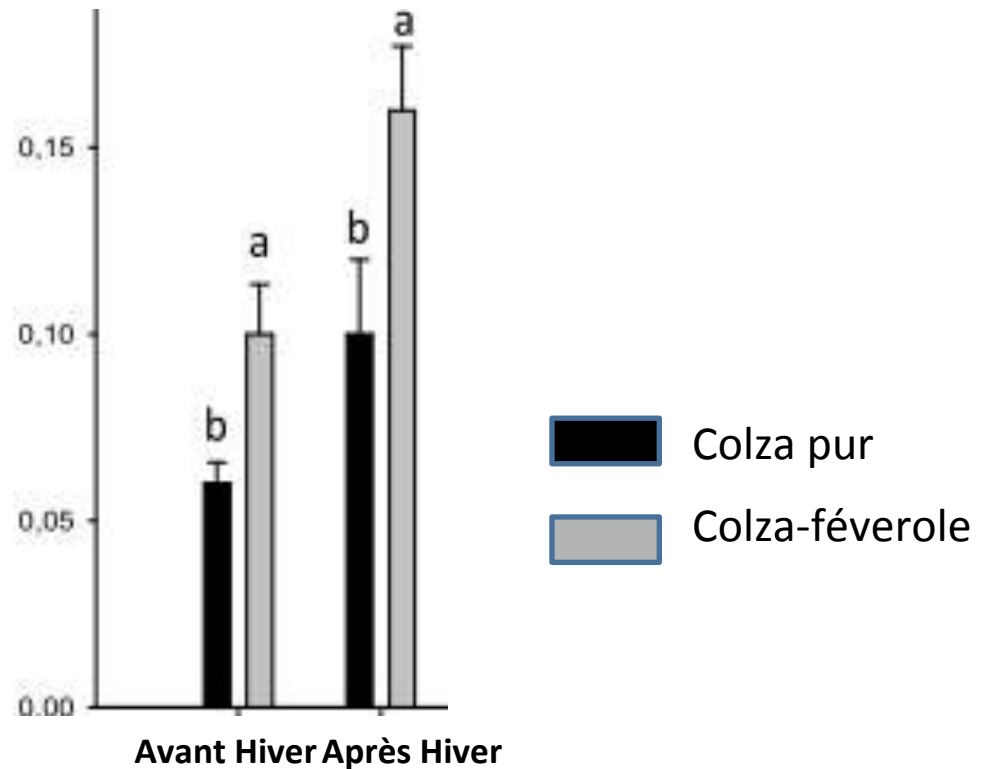
Vesce commune peu complémentaire au colza.

Effets additionnels de l'association

Biomasse du colza (g/plante)

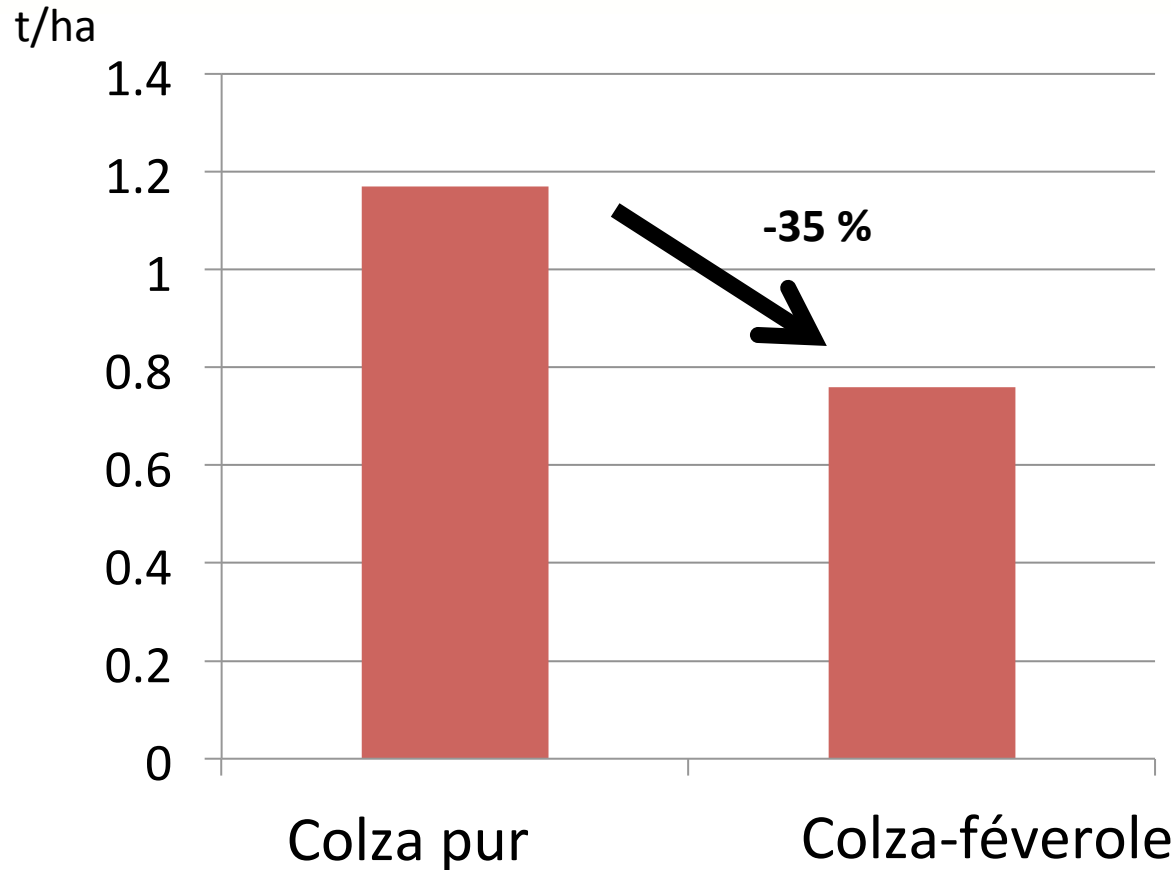


N accumulé par le colza (g/plante)



➔ L'association améliore la croissance
et l'accumulation d'azote du colza

Réduction de la biomasse d'adventices

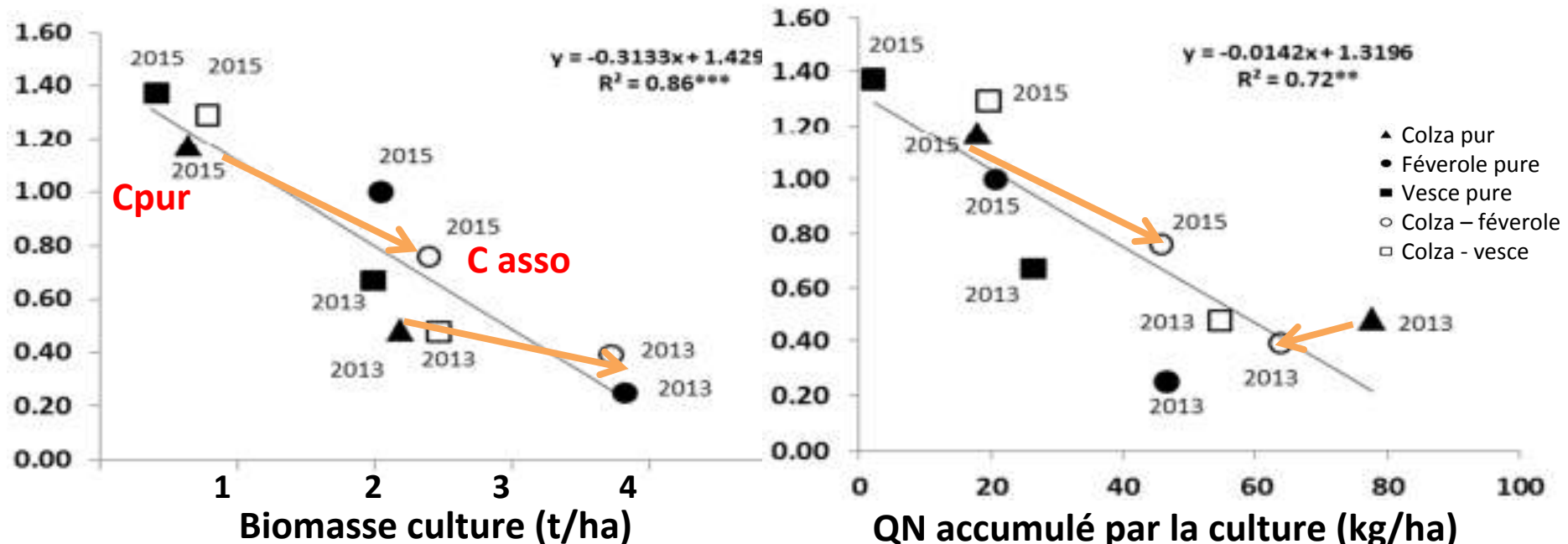


La plus forte réduction de biomasse d'adventices observée : -35 %

La plus forte réduction de la densité d'adventices : -44 %

Variabilité inter-annuelle

Biomasse adventices (t/ha)

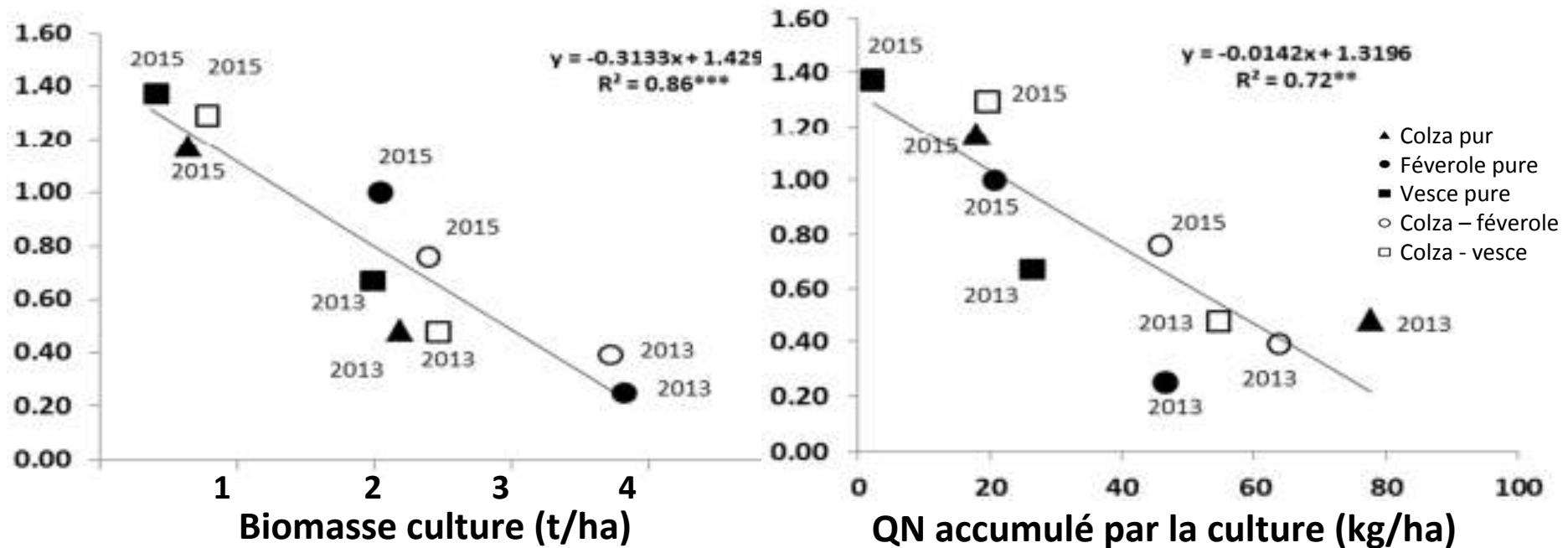


2 années contrastées :

- En 2015 :
 - Forte infestation en adventices
 - En colza pur : une faible croissance et faible capture d'N ;
 - l'association permet d'accroître considérablement la compétitivité
- En 2013 :
 - Moins d'adventices qu'en 2015
 - En colza pur : une plus forte croissance et accumulation d'N ;
 - l'association apporte peu de gain de compétitivité

Relations biomasse culture - biomasse adventices

Biomasse adventices (t/ha)



L'association du colza avec une légumineuse augmente la quantité de biomasse et d'azote accumulé par le couvert, et permet plus facilement d'atteindre les niveaux permettant d'être compétitif (+ de 2t/ha de biomasse, + de 60 kg de N/ha accumulé)

→ Une façon de sécuriser la compétitivité du colza dans les systèmes en réduction d'intrants

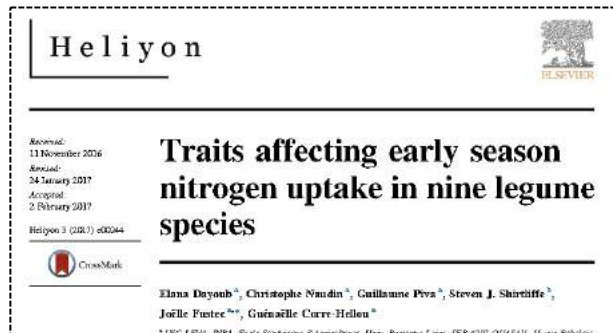
Résultats additionnels au champ

- La vesce associée au colza apporte moins de complémentarité dans les traits impliqués dans la compétitivité (mêmes niveau d'indice foliaire, hauteur, biomasse que le colza et moins grande capture d'N que la féverole)
- En association, la vesce n'est pas capable d'accroître la compétitivité du colza vis-à-vis des adventices
- Le rendement du colza en association n'est pas différent du colza pur alors qu'il est à ½ densité → intérêt d'un dispositif substitutif où peuvent bien s'exprimer les complémentarités et la plasticité du colza

	Treatment	Rendement en grain (t ha ⁻¹)	Rendement en grain (g plt ⁻¹)
2013/14	Colza pur	1.82 ± 0.19	4.89 ± 0.51
	Colza + féverole	1.17 ± 0.33	8.08 ± 2.82
	Colza + vesce	1.51 ± 0.18	7.6 ± 1.41
	P-value	NS	NS
2015-16	Colza pur	1.57 ± 0.45	3.24 ± 0.99 b
	Colza + féverole	1.97 ± 0.16	9.39 ± 0.54 a
	Colza + vesce	1.47 ± 0.23	6.28 ± 0.81 ab
	P-value	NS	4.92×10⁻²*

Expérimentations complémentaires en conditions contrôlées

Quelles différences de stratégies d'acquisition d'N de différentes légumineuses en tout début de cycle en lien avec des traits racinaires et caractéristiques des semences ?



Résultats en ligne:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2017.e00244>

Identification des traits déterminants dans la capacité de capture d'N et la compétitivité vis-à-vis des adventices des légumineuses en début de cycle :

- Niveau de dépendance à l'N de la semence pendant la phase de croissance précoce
- Vitesse de progression des racines en latéral
- Date de démarrage de la fixation de l'azote de l'air

A noter les particularités de la féverole en comparaison des autres légumineuses étudiées:

- une plus faible dépendance à N semence que les autres légumineuses à grosses graines
- une plus grande accumulation d'N externe
- une capacité à démarrer plus rapidement que d'autres à la fois fixation N_2 de l'air et l'absorption d'N minéral du sol

RETROUVEZ TOUS LES RESULTATS DU PROJET ALLIANCE



Site internet



<http://www6.versailles-grignon.inra.fr/agronomie/Recherche/Regulations-biologiques/Projet-CASDAR-Alliance>

Partenaires ALLIANCE



Financement :



MINISTÈRE
DE L'ALIMENTATION,
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA PÊCHE

avec la contribution financière du
compte d'affectation spéciale
« Développement agricole et rural »

Comité Pilotage

