

Que peut-on espérer de l'association colza-légumineuse pour l'économie d'azote lors de la fertilisation ?

Valantin-Morison Muriel¹, Lorin Mathieu², Verret Valentin¹, Jeuffroy Marie-Hélène¹, Butier Arnaud¹

1-UMR Agronomie INRA-AgroParisTech Thiverval-Grignon.

2-Ecoles Supérieure d'Agriculture Angers

Introduction

Au cours des dernières décennies, la simplification des systèmes de culture a conduit à une augmentation de la consommation d'intrants de synthèse, induisant d'importants dommages environnementaux (Tilman *et al.* 2001; Steffen *et al.* 2015). De nombreux rapports, expertises, nationales ou internationales, sont venus tirer la sonnette d'alarme en soulignant, en plus des effets sur l'environnement (Millenium Assessment, Aubertot *et al.*, 2005 et EcopHyto, 2010, Le Roux *et al.*, 2008), les effets sur la santé (Baldi *et al.*, 2013).

Par conséquent, les agricultures française et européenne sont à la croisée des chemins et doivent allier productivité et respect de l'environnement tout en prenant tout juste l'ampleur des conséquences du changement climatique.

De nombreux auteurs s'accordent à penser qu'une reconception des systèmes de cultures et que la diversification des rotations est une solution pour réduire la dépendance aux intrants (expertise Messéan, Meynard *et al.*, 2013) et peut permettre la résilience des systèmes face aux aléas climatiques (Altieri, 2015). On peut diversifier de différentes manières : dans le temps, dans l'espace. L'implantation de légumineuses « plantes de services » (PS) apparaît comme une solution pertinente pour réduire l'utilisation d'intrants chimiques dans le colza (Valantin-Morison *et al.*, 2014 ; Cadoux *et al.*, 2015 ; Verret *et al.*, 2017). Le colza est une culture certes piège à nitrates mais très demandeuse en azote en fertilisation au printemps, entraînant une dose moyenne utilisée de 180kg/ha ? Ce bilan énergétique pose question à la filière biocarburant et conduit certains auteurs à remettre en cause l'intérêt de cette culture pour les biocarburants. L'introduction de légumineuses gélives pendant l'hiver pourrait permettre de restituer l'azote fixée par la plante de service au colza pendant le printemps. L'objectif de cette communication est (i) de quantifier le bonus azoté possible pour la culture en place lorsqu'elle est associée à des légumineuses et (ii) de montrer comment cela se traduit sur la conduite du colza et les conséquences sur les performances de la culture.

Matériels et Méthodes

Au cours de ce travail, nous avons mobilisé deux types d'expérimentations :

1-Un dispositif analytique sur deux ans en station expérimental INRA du Nord du bassin parisien, où étaient testés les effets de l'espèce associée et de la quantité d'azote présente dans le milieu au semis au cours du cycle.

Les légumineuses testées étaient : pois, féverole, vesces commune, gesse, lentille, fénugrec associées en additif au colza seul à hauteur de 75% de leur dose de semis à plein et un témoin colza seul. L'azote disponible avant semis (0 ou 100kg/ha apporté en automne) constituait également un autre facteur distinctif de cette expérimentation analytique. Pendant le cycle cultural sur le traitement sans azote à l'automne, nous avons quantifié le bonus azoté pour la culture pendant le printemps. En utilisant une fertilisation marquée à l'azote 15 au printemps et en effectuant un bilan azoté à la fin de la floraison du colza (correspondant au pic d'absorption d'N par la culture), nous avons ainsi pu quantifier ce bonus azoté, défini comme la différence entre la quantité d'azote contenue dans les colzas associés et celle contenue dans le témoin colza seul. Par le marquage 15N, et la séparation des compartiments des plantes de colza (aérien racinaire et feuilles mortes), nous avons également pu identifier quelle part de ce bonus provenait (i) de la minéralisation de l'N

contenu dans les résidus de légumineuses et de la matière organique du sol, et (ii) de la fertilisation azotée apportée au printemps.

Par ailleurs des analyses physicochimiques, en lien avec la minéralisation des résidus, ont été réalisées sur les mulch des espèces plantes de services après leurs destruction hivernale : le pourcentage de la biomasse aérienne du mulch initialement en contact avec le sol (premier prélèvement après hiver), le rapport N/C des résidus aériens, le pourcentage de fraction soluble, la capacité maximale de rétention en eau des résidus, et la biomasse aérienne du mulch. Nous avons ensuite classé les six espèces, d'un point de vue qualitatif, sur une échelle de 0 à 10 (la note de 10 correspond à l'espèce présentant la caractéristique la plus favorable à une minéralisation rapide de l'N) sous forme de radars

2- Nous avons également mobilisé un dispositif de réseaux de parcelles d'agriculteurs en CA, ou Lycées agricoles, pour évaluer de manière globale les performances agro-écologiques des itinéraires techniques (ITK) des cultures associées, pour lesquelles on avait adapté la fertilisation azotée.

Sur chaque site, trois itinéraires techniques (ITK) de colza associé sont comparés : un ayant une logique « bas niveau d'intrants » l'autre une logique « Productif »), ces deux conduites étant comparée à un ITK de colza non associé, représentatif d'une conduite classique locale telle que conseillée régionalement par les chambres d'agriculture et Terres Inovia (*tableau 1*).

L'ITK « bas niveau d'intrants » (BNI) cherche, grâce aux services rendus par le couvert associé, à réduire l'utilisation de pesticides et d'azote minéral. Une perte modeste de rendement est autorisée et est compensée par la réduction des charges d'intrants. Le couvert associé peut réguler les adventices par une meilleure couverture du sol (impasse sur un traitement anti-dicot), perturber les insectes par une dilution de la ressource (réduction des insecticides) et améliorer la nutrition azotée du colza ; la fertilisation azotée est calculée sur la base de la dose X, déterminée par la réglette azote appliquée sur la biomasse de colza en association, à laquelle on retire un forfait de 30kg/ha. Un couvert facilement gélif est choisi afin de limiter le recours à une destruction chimique en sortie d'hiver. Un risque modéré sur les adventices, les insectes et les maladies est accepté sur la conduite du colza.

L'ITK « Productif » teste l'hypothèse selon laquelle le couvert associé permet d'augmenter le rendement sans augmenter les intrants, et donc en améliorant leur efficacité. Des processus de facilitation peuvent améliorer, entre autres, la nutrition azotée du colza. la fertilisation azotée est calculée sur la base de la dose X, déterminée par la réglette azote appliquée sur la biomasse de colza en association, sans réduction d'azote. La conduite du colza associé est sécurisée et vise à réduire les risques de compétition du couvert associé sur le colza, notamment en détruisant systématiquement le couvert associé à l'entrée hiver par un passage d'herbicide.

Douze essais ont été implantés pour la saison 2015-2016, dans 12 départements différents. Deux mélanges d'espèces de légumineuses ont été testés de façon privilégiée :

- mélange féverole, vesce pourpre, trèfle d'Alexandrie
- trèfle d'Alexandrie 6 kg/ha

Ces deux mélanges avaient montré des performances intéressantes en termes de lutte contre les adventices à l'automne et de fourniture d'azote au printemps lors des expérimentations du dispositif 1, citées dans ce papier.

L'itinéraire technique de chaque modalité a été enregistré pour tous les essais, en recueillant les dates d'interventions, les machines, produits et doses utilisées. Les données de récolte ont été acquises avec le matériel de l'agriculteur, sur des surfaces variant de l'ordre de 100m² pour les essais en bande. Un ensemble de critères a été calculé pour évaluer les performances de ces conduites de manière multicritère : rendement, marges semi-nette, nombre de passage, temps de travail, IFT, dose de fertilisation azotée, consommation d'énergie totale et efficacité énergétique. Les calculs de marges ont été réalisés en mobilisant deux scénarios de prix de vente de la production (Prix de vente

colza entre 250€ et 450€) et deux scénarios de coûts des intrants (Azote entre 0,50€ et 1,50€ ; Gazole entre 0,50€ et 0,80€).

Colza seul (Référence)		Bas niveau d'intrants	Productif
Objectif de l'ITK	ITK témoin	<ul style="list-style-type: none"> Réduction des intrants (herbicide, insecticide et azote) Maintien de la marge si perte de rendement modeste 	<ul style="list-style-type: none"> Augmenter le rendement (+3 à 5qx/ha, +10%) sans augmenter les intrants
Espèces associées	-	2 modalités communes : <ul style="list-style-type: none"> Féverole pts (15gr/m²) + Vesce P (14 kg/ha) + T. Alexandrie (4 kg/ha) T. Alexandrie seul (6 kg/ha) + modalités au choix des expérimentateurs	
Date de semis	Selon recommandations	Semis du colza avancé d'une semaine Semis des espèces associées le même jour, technique de semis selon le matériel disponible	
Désherbage anticots	Stratégie post-semis/pré-levée : colzor trio	Aucun	Stratégie post-levée précoce : Demi-dose de Novall ou Alabama
Désherbage antigaminées	Si repousse de céréales ou graminées résistantes (Kerb)	Si repousse de céréales ou graminées résistantes (Kerb)	Si repousse de céréales ou graminées résistantes (Kerb)
Destruction du couvert	-	Gel ou LONTREL en mars	Callisto, Ielo/Yago en décembre (hâter la minéralisation)
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 unités	Réglette azote sur colza associé

tableau 1 : description des conduites de colza associés et non associé, testés en parcelles agricoles

3- Enfin, nous avons utilisé 98 essais multiloaux où le facteur principale variant d'une modalité à l'autre était l'espèce de plante de services. Les essais reportés ont été menés depuis 2009 par différents réseaux. Les expérimentateurs des différents réseaux ont été sollicités pour partager leurs données d'essais depuis le début de leurs expérimentations sur le thème. Les données ont été renvoyées, le plus souvent sous la forme de fiches d'essai, et ont été rentrées dans la banque de manière standardisée. Au total, la banque inclut plus d'un millier de conditions culturales particulières (site * année * espèce de plante de service * itinéraire technique). Les essais sont répartis sur une zone relativement bien représentative de la zone de culture du colza en France. Les mesures à la placette effectuées au champ que nous avons mobilisées ici pour cet article sont la fertilisation azotée apportée et le rendement du colza. Les autres mesures réalisées sur ce gros dispositif ont été utilisés dans d'autres publications (Verret et al., 2017)

Résultats

Quel bonus azoté et sous quelles conditions

Le bilan azoté, réalisé à la fin de la floraison (pic d'absorption pour la culture), a permis de montrer que, pour la plupart des modalités étudiées, les colzas associés ont absorbé en moyenne entre 20 et 40 kgN.ha⁻¹ de plus que le témoin colza seul à la fin de la floraison (Figure 1).

En utilisant une fertilisation marquée à l'azote 15 au printemps, et en effectuant le bilan du 15N recouvert dans les plantes de colza à la fin de la floraison, nous avons pu montrer que la majeure partie du bonus azoté provient de la minéralisation des résidus de légumineuses et de la MO du sol, en particulier en 2013-2014 (en moyenne 55 kgN.ha⁻¹ en 2013-2014 contre 12 kgN.ha⁻¹ en 2012-2013). Néanmoins, ces résultats montrent une très grande variabilité de la valeur du bonus azoté (figure 1). Les résultats montrent aussi que cet effet bénéfique des légumineuses sur le bonus azoté au printemps peut avoir plusieurs origines : un effet direct lié à la minéralisation de la MO et du mulch des légumineuses, un effet indirect lié à des phénomènes dits de facilitation : une meilleure

absorption durant la période de croissance avec la légumineuse ou bien un effet mulch protecteur et stimulateur de la minéralisation après la destruction des légumineuses. En effet, nous avons pu montrer que le bonus azoté pouvait provenir de l'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'azote issu de la fertilisation apportée au printemps, plus marquée en 2013-2014 qu'en 2012-2013 (Figure 2). Ces différences annuelles sont assez difficiles à expliquer, excepté par la date de destruction des couverts de plantes de services : en 2013-2014, la destruction a été plus tardive ce qui suggère que des phénomènes de facilitation ont pu s'exprimer davantage.

Par ailleurs, il est surprenant de constater qu'il n'y a aucune corrélation entre la biomasse des plantes de services ou l'azote contenu dans la biomasse en automne avec le bonus azoté mesuré au printemps (Figure 3). Pourtant, de larges différences entre espèces sur le bonus azoté potentiel sont mesurés (figure 1). C'est pourquoi, nous avons émis l'hypothèse que les caractéristiques physico-chimiques des mulchs de légumineuses expliquent probablement une part importante de cette variabilité. Les espèces les plus intéressantes sur le plan physico-chimique (% de biomasse en contact, ratio N/C, fraction soluble), comme la gesse, la lentille et la vesce, ne sont pas celles qui présentent les biomasses les plus importantes avant leur destruction (figure 4).

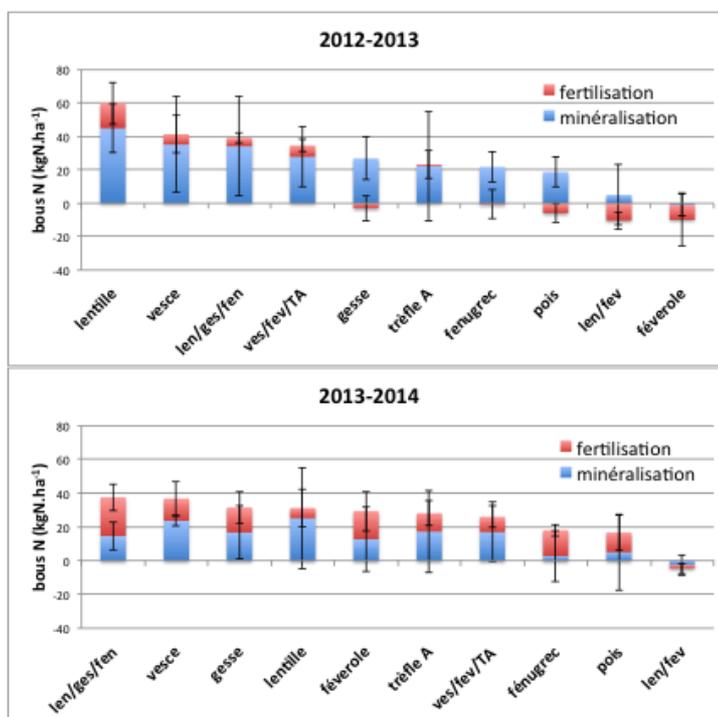
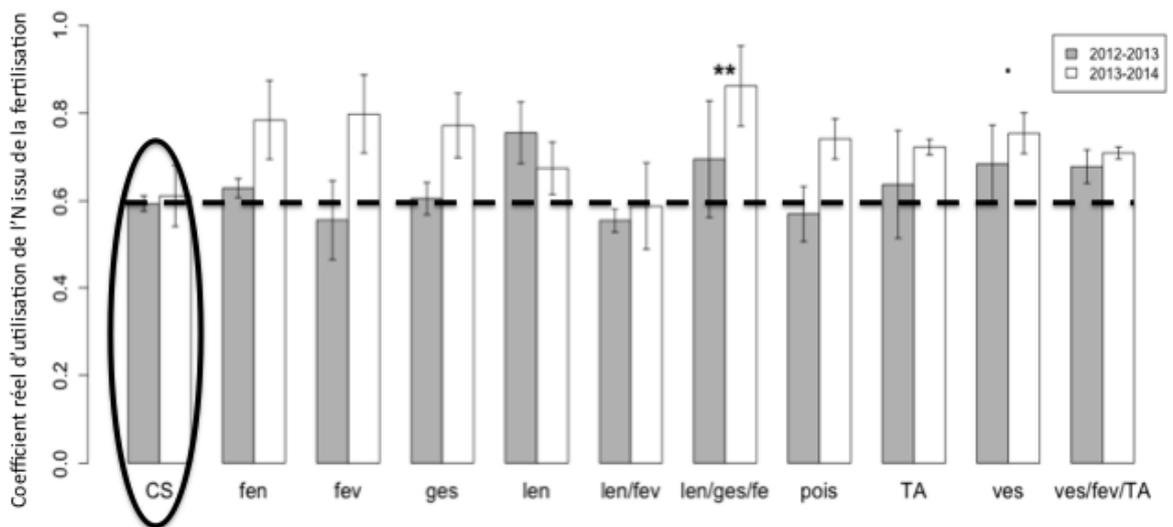


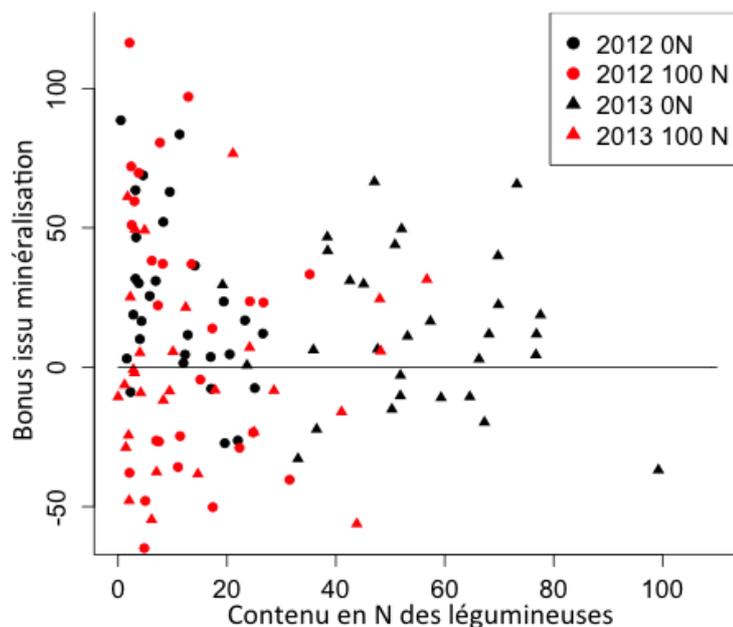
Figure 1 : Bonus azoté mesuré par l'écart avec le témoin colza seul de la quantité d'azote contenu dans les colza associés après fertilisation à la fin de la floraison. La distinction de l'azote provenant de la fertilisation et de la minéralisation a été permise par le marquage de l'azote 15 fertilisé et le ramassage systématique des feuilles mortes du colza. Travaux issus de la thèse de Lorin 2015

Ce résultat est cohérent avec les résultats suggérés par l'étude des bonus azotés. A l'inverse, d'autres espèces, malgré des biomasses importantes (féverole et pois notamment) possèdent des caractéristiques physico-chimiques peu favorables à une minéralisation rapide de l'N contenu dans les résidus, notamment avec des qualités chimiques et des pourcentages faibles de biomasse en contact avec le sol. D'un point de vue qualitatif, la comparaison de ces profils avec les bonus azotés issus de la minéralisation suggère donc que la prise en compte de ces caractéristiques physico-chimiques est déterminante pour comprendre les restitutions azotées potentielles et plus pertinente que la seule biomasse produite avant sa destruction.



Effet facilitation : Amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'N issu de la fertilisation

Figure 2 : coefficient d'utilisation de l'azote 15 apporté par fertilisation au printemps pour les colza associés. CS = Colza seul / Fen = Fenugrec / Ge = Gesse / Len = Lentille / fev=Féverole / TA = trèfle d'alexandrie / Ves = Vesce / Pois = Pois Fourrager.



Pas de relation entre le bonus et la quantité d'N contenu dans la biomasse de légumineuses

Figure 3 : Relation entre le bonus azoté calculé au printemps pour le colza et la quantité d'azote contenu dans les plantes de services avant destruction en hiver.

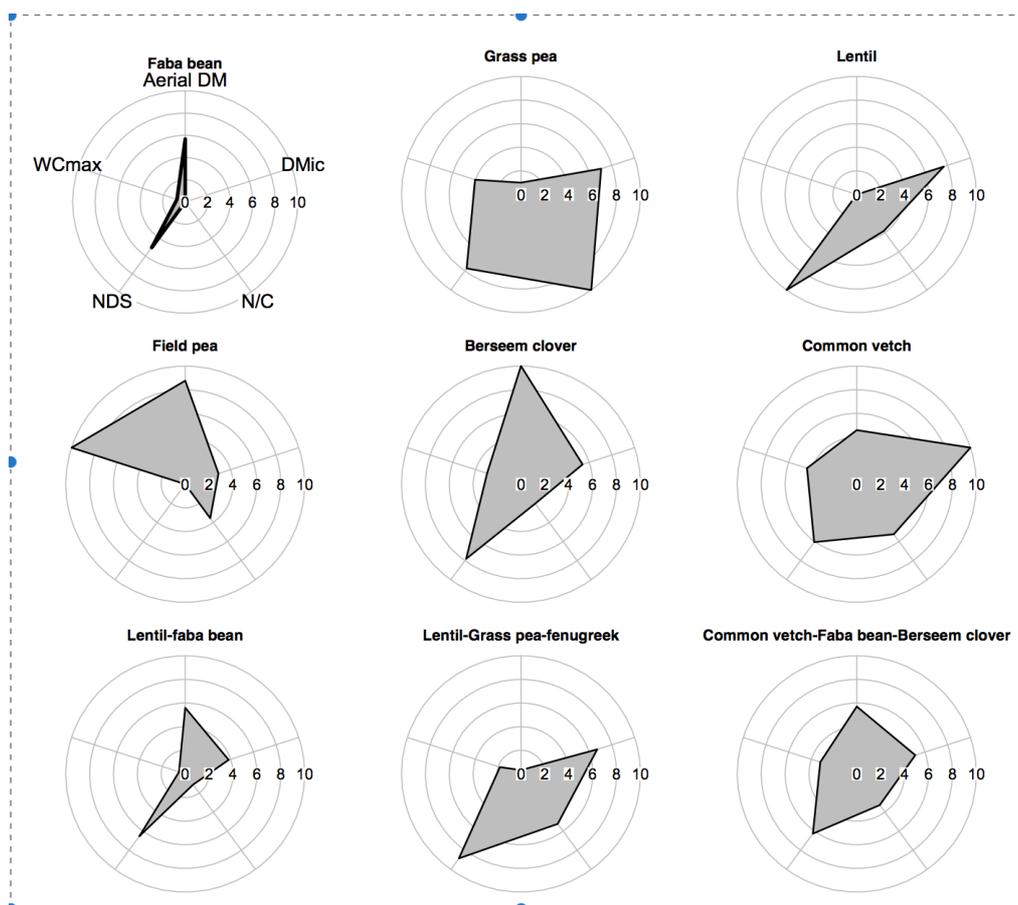


Figure 4 : Profil des caractéristiques physico-chimiques des mulchs de plantes de services après destruction. Aerial DM: Biomasse aérienne avant destruction, Aerial DMic: Biomasse aérienne en contact avec le sol, N/C: ratio azote/carbone, % RDS: fraction soluble, WCmax: Contenu en eau maximum des mulch. Lentil : lentille / Grass pea : gesse / Faba bean : féverole / Field pea : pois fourrager / Berseem Clover : trèfle d'alexandrie / Common Vetch : Vesce commune /

Conséquences sur la conduite globale

Suite à ces travaux sur le fonctionnement des associations colza associés, nous avons réalisé des essais en parcelles agricoles pour tester différentes conduites du colza associé. Les essais itinéraires techniques confirment que même avec une fertilisation réduite (de 22 unités en moyenne – figure 5)), le rendement est maintenu et que les marges brutes et semi-nettes sont améliorées. En effet, bien les résultats économiques varient de manière importante d'un site à l'autre, en moyenne, l'ITK « BNI » augmente la marge semi-nette de la culture de colza par rapport au colza seul alors que l'ITK « Productif » a tendance à la dégrader (malgré le gain de rendement observé pour la modalité FVTA), quelque soit le scénario de prix de vente du colza et des intrants.

En outre, la plupart des critères environnementaux sont améliorés par l'ITK « BNI » et dégradés par l'ITK « Productif » (Tableau 1).

En revanche la conduite productive même si le rendement a été augmenté de 3 quintaux en moyenne, seulement sur la modalité avec de la féverole (FVTA), les coûts ont été tels que la marge a été diminuée d'environ 10% (Figure 6). En effet, l'itk productif se traduit par une augmentation de la fertilisation azotée de 11 unités et un recours aux herbicides les herbicides de post-semis/pré-levée. Ces derniers ralentissent la croissance des légumineuses associées au colza, résultant en une production de biomasse de légumineuses moins importante pour l'ITK « Productif » que pour l'ITK « BNI ».

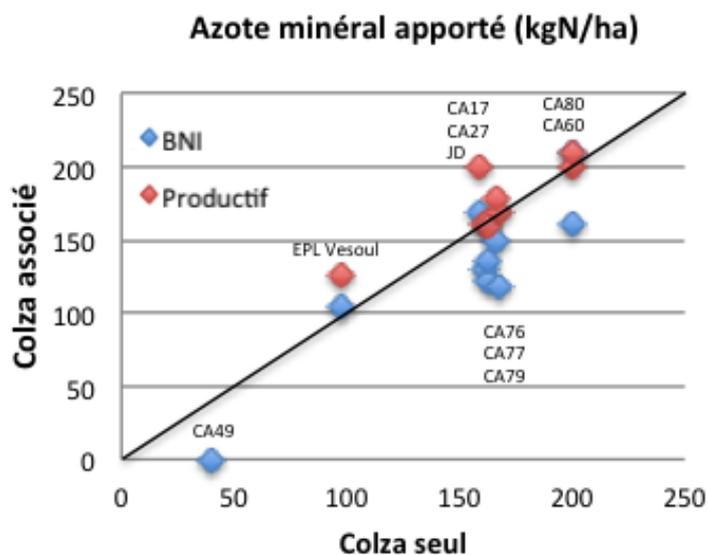


Figure 5 : quantité d'azote apporté sur les itinéraires techniques en colza associé BNI et productif.

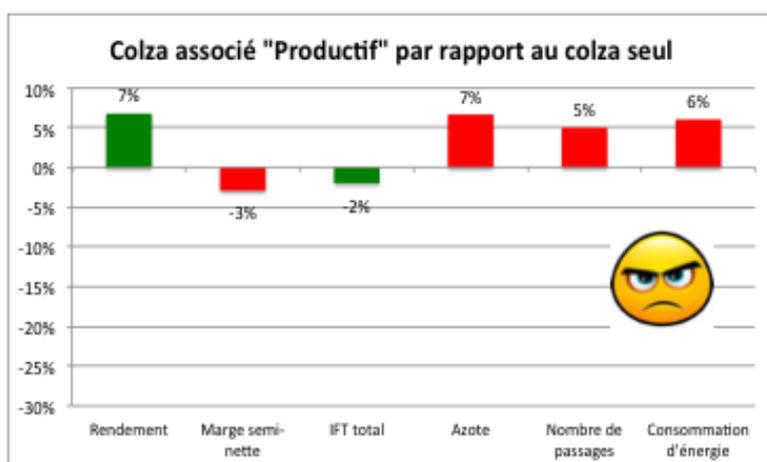
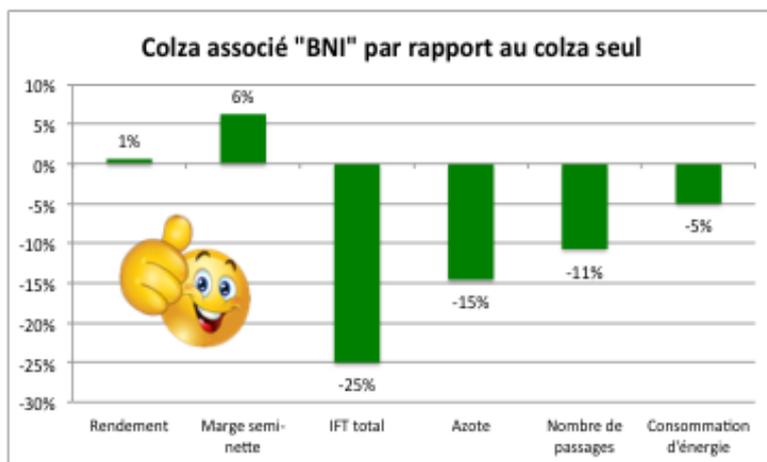


Figure 6 : écart en pourcentage des performances des itinéraires techniques colza associé par rapport au colza seul (Références utilisées pour le calcul : outil INRA CRITER, références CA ; MSN = produit x prix de vente – charges opérationnelles – charges de mécanisation)

Conclusions et perspectives

Les plantes de services associées au colza peuvent restituer entre 20kg/ha et 40Kg/ha au colza durant le printemps, mais de manière inégale. Les espèces de légumineuses qui assurent le mieux cette restitution ne sont toujours celles qui produisent le plus de biomasse mais qui ont un profil de plante capable de se décomposer rapidement. Nous avons aussi montré que le bonus azoté peut se répercuter sur la conduite globale en cohérence avec les autres postes de l'itinéraire technique sans endommager la production agricole et assurer ainsi des performances technico économiques améliorées par rapport à un colza seul et par rapport à un colza associé conduit de manière plus productive.

Néanmoins, il reste encore délicat de choisir dans un milieu donné, les espèces ou mélanges d'espèces à associer pour assurer plusieurs services et tout particulièrement la réduction de la fourniture d'azote. C'est pourquoi ces acquis de connaissances ainsi que de la connaissance empirique experte a été mobilisée pour démarrer la construction d'un outil d'aide au choix des espèces à associer, basé sur la chaîne causale traits fonction service. Cet outil sera mis à l'épreuve sur d'autres situations pédo-climatiques françaises et européennes et il sera élargi à d'autres formes d'associations dans un projet européen à venir.

Remerciements

Ce projet a été permis par le financement du Casdar entre 2013 et 2017 et GENESYS Pivert. L'équipe projet remercie donc le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Forêt pour le financement ; Ce travail n'aurait pas pu être réalisé sans l'appui de l'équipe technique de l'UMR d'Agronomie, nous les remercions et tout particulièrement Mathieu Bazot, disparu brutalement. Enfin, nous remercions tous les partenaires du Casdar Alliance qui ont apporté leur expertise et assuré un suivi des agriculteurs lors des essais ITK.

Bibliographie

Aubertot JN, Barbier JM, Carpentier A, Gril JJ, Guichard L, Lucas P, Savary S, Savini I, Voltz M. 2005. Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Rapport d'expertise scientifique collective, INRA et CEMAGREF. <http://www6.paris.inra.fr/depe/Projets/Pesticides-agriculture-et-environnement>.

Baldi I, Bouvier G, Cordier S, Coumoul X, Elbaz A, Gamet-Payrastra L, Lebaillly P, Multigner L, Rahmani R, Spinosi J, Van Maele-Fabry G. 2013. Pesticides. Effets sur la santé. Synthèse et recommandations. Expertise collective. INSERM. Paris. France. 146 p

Cadoux, S., Sauzet, G., Valantin-Morison, M., Pontet, C., Champolivier, L., Robert, C., Lieven, J., Flénet, F., Mangenot, O., Fauvin, P., Landé, N., 2015. Intercropping frost-sensitive legume crops with winter oilseed rape reduces weed competition, insect damage, and improves nitrogen use efficiency. OCL 22

Le Roux, R. Barbault, J. Baudry, F. Burel, I. Doussan, E. Garnier, F. Herzog, S. Lavorel, R. Lifran, J. Roger- Estrade, J.P.Sarthou, M.Trommetter (éditeurs), 2008. Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA (France). Ecophyto R&D 2010 Expertise INRA.

Meynard J.M., Messéan A., Charlier A., Charrier F., Fares M., Le Bail M., Magrini M.B., Savini I., 2013. Freins et leviers à la diversification des cultures. Etude au niveau des exploitations agricoles et des filières. Synthèse du rapport d'étude, INRA, 52 p.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: General Synthesis. Washington: Island Press [online: <http://www.millenniumassessment.org/en/index.aspx>].

Tilman, D., K. G. Cassman, P. A. Matson, R. Naylor, et S. Polasky. 2002. « Agricultural sustainability and intensive production practices. » *Nature* 418 (6898): 671- 77.

doi:10.1038/nature01014.

Valantin-Morison Muriel, Juste E., David C., Cadoux S. Basset A. 2014. Intérêts des cultures compagnes associées aux cultures de rente. *Agronomie*. Novembre 2014

Verret V., Gardarin A., Makowski D., Lorin M., Cadoux S., Butier A., Valantin-Morison M., 2017. Assessment of the benefits of frost-sensitive companion plants in winter rapeseed. *European journal of agronomy*. *European Journal of Agronomy*, 91, 93-103