

**IMPACT D'UN COUVERT VIVANT DE LEGUMINEUSE SUR LE RENDEMENT  
ET LA NUTRITION AZOTEE DU BLE TENDRE D'HIVER**

J LABREUCHE <sup>(\*)</sup>, M SABLE <sup>(1)</sup>, JP COHAN <sup>(2)</sup>, E BARANGER <sup>(3)</sup>, R LEGERE <sup>(2)</sup>,  
Y MESSMER <sup>(4)</sup>, S JEZEQUEL <sup>(5)</sup>

- <sup>(1)</sup> ARVALIS-Institut du végétal Station expérimentale 91720 BOIGNEVILLE – France  
<sup>(2)</sup> ARVALIS-Institut du végétal Station expérimentale de La Jaillière 44370 LA CHAPELLE  
SAINT SAUVEUR – France  
<sup>(3)</sup> ARVALIS-Institut du végétal Le Grand Chaumoy 18570 LE SUBDRAY – France  
<sup>(4)</sup> ARVALIS-Institut du végétal 5, rue de la Vologne 54524 LAXOU Cedex – France  
<sup>(5)</sup> ARVALIS-Institut du végétal Avenue Charles Richaud 04700 ORAISON – France

\* Orateur et correspondant : [j.labreuche@arvalisinstitutduvegetal.fr](mailto:j.labreuche@arvalisinstitutduvegetal.fr)

**RÉSUMÉ**

Une synthèse de dix essais permet d'évaluer l'impact de couverts pérennes de légumineuses sur le rendement du blé tendre d'hiver. Les couverts ont été détruits pendant le cycle du blé ou maintenus vivants. Il existe une forte variabilité d'impact du couvert sur la productivité du blé. L'effet des couverts sur les composantes de rendement est assez précoce et corrélé aux impacts sur la nutrition azotée du blé. La compétition pour l'eau semble peu impliquée. Selon les situations, le couvert de légumineuse a impacté à la hausse ou à la baisse l'indice de nutrition azotée du blé à la floraison. La régulation de la croissance du couvert est déterminante pour d'une part limiter la compétition que le couvert exerce sur la céréale et d'autre part favoriser la nutrition azotée de cette culture.

Mots-clés : couvert permanent, blé, luzerne, trèfle, compétition, facilitation

**INTRODUCTION**

Sur le terrain en France, on utilise souvent le terme de couvert permanent pour décrire une plante de service pérenne dont le cycle de développement chevauche celui d'une culture commerciale, l'interculture qui suit cette culture et le début du développement de la culture commerciale suivante. Le terme de « permanent » est impropre car le cycle du couvert n'est pas infini et dure le plus souvent entre 18 et 36 mois. Cette technique est souvent associée au semis direct car une forte perturbation du sol risquerait de remettre en cause la pérennité du couvert. Au contraire, ce dernier est vu comme un atout par les services qu'il rendra, pouvant compenser sur certains aspects l'absence de travail du sol. Carof (2006) utilise le terme de plantes de couverture dans un système en semis direct sous couvert. Capillon et Séguy (2002) relatent l'exemple de systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale permanente (SCV), en distinguant deux types de pratique selon l'état du couvert. Il peut s'agir de couverture végétale morte, la couverture du sol étant assurée par les résidus des cultures précédentes et/ou par la biomasse d'une plante de couverture implantée puis détruite avant le semis direct de la culture de vente. Il y a aussi les SCV sur couverture végétale vive, la culture commerciale est associée à une espèce végétale pérenne (vivace ou se ressemant annuellement) pendant son cycle de croissance et de développement.

La longue période de croissance de ce type de couvert permettrait d'en accroître les services écosystémiques par rapport à une culture intermédiaire maintenue seulement quelques mois : structuration du sol, lutte contre l'érosion, stimulation de l'activité biologique, séquestration de carbone, fixation symbiotique d'azote dans le cas de légumineuses, limitation de la croissance des adventices... Sur le plan de la production agricole, un couvert permanent se développe plus facilement pendant la période d'interculture qu'un couvert annuel, en particulier en cas d'intercultures courtes ou sèches. Le couvert permanent peut faciliter la croissance de la culture, par exemple au travers d'un impact sur la structure du sol ou de l'azote minéral disponible pour la culture. En revanche, il peut exercer une forte compétition sur la culture, pour la lumière, les nutriments ou l'eau du sol (figure 1). Selon les dynamiques de croissance

conjointes de la culture et du couvert ainsi que la conduite du système de culture, les mécanismes de facilitation ou compétition peuvent être complètement différents et aboutir à des rendements non impactés, parfois améliorés ou nettement réduits. La régulation du couvert est en particulier très importante : il s'agit d'une action visant à limiter la croissance du couvert pour qu'il n'exerce pas de compétition trop forte sur la culture, avec des moyens mécaniques (travail du sol, broyage), chimiques (herbicides) ou biologiques. Ce dernier point repose sur la concurrence que peut exercer la culture sur le couvert (dépendant de plusieurs facteurs en interaction : espèce, variété, date et densité de semis, écartement entre rangs et même nutrition azotée).



Photo de gauche : Trèfle blanc implanté en août 2013 avec un colza et photographié en octobre 2014 à Boigneville (91). Biomasse des parties aériennes : 6.9 t<sub>MS</sub>/ha.

Photo de droite : Luzerne présente dans un blé à Brives (36) en mai 2013 et implantée en août 2011 avec le colza ayant précédé le blé. Biomasse des parties aériennes : 0.25 t<sub>MS</sub>/ha.

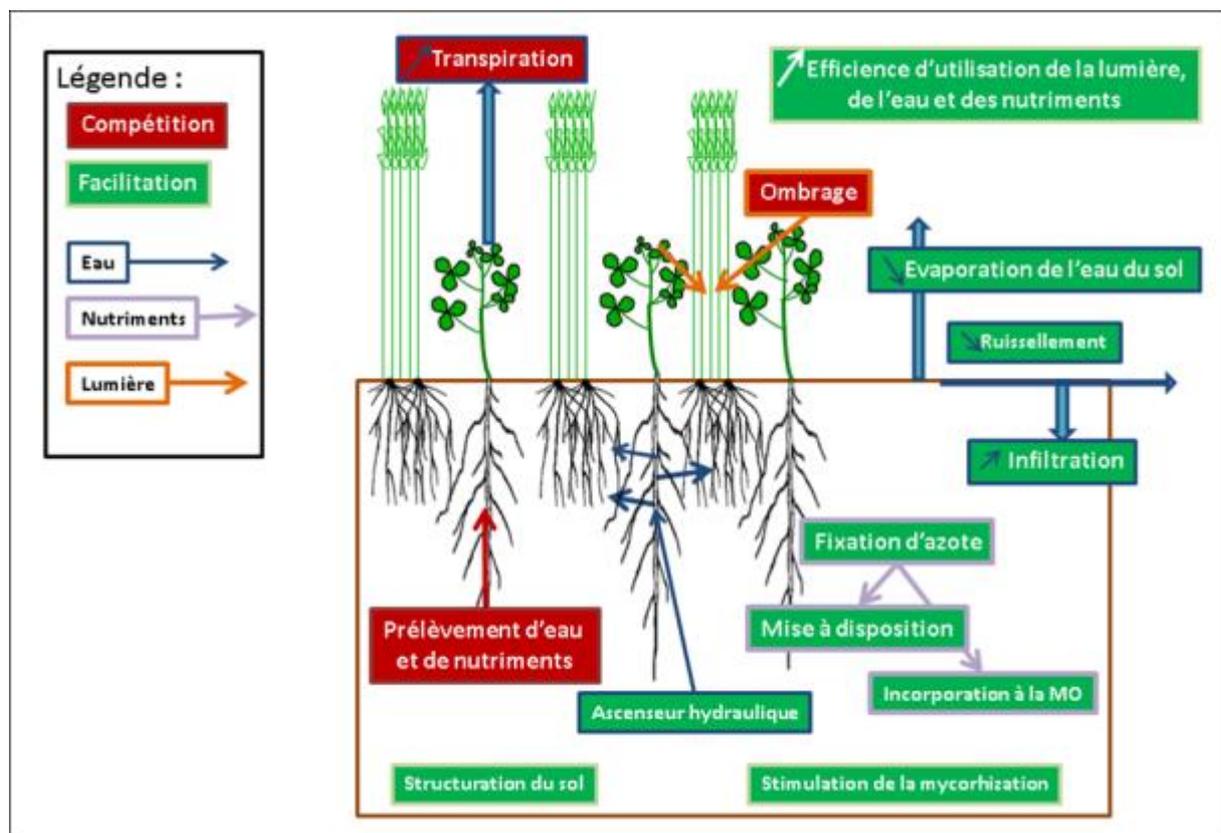


Figure 1 : Interactions pour les ressources entre le couvert et la culture : eau, nutriments, lumière (source : Labreuche et Carton, 2015).

## MATERIELS ET METHODES

Dix essais, suivis par ARVALIS – Institut du végétal, ont permis de comparer l'effet sur un blé tendre d'hiver de la présence d'un couvert végétal permanent (tableau 1). Ce dernier avait été implanté au plus tard quelques mois avant le semis du blé et parfois plus d'un an auparavant, par exemple en même temps que le précédent du blé.

Les espèces implantées sont des légumineuses, principalement du trèfle blanc et de la luzerne. Deux types de gestion du couvert ont été réalisés :

- le couvert a été détruit dans le blé, d'octobre à mai selon les cas, volontairement ou non.
- Le couvert a été maintenu vivant pendant tout le cycle du blé.

Dans les deux situations, la croissance du couvert a été régulée afin de limiter sa compétition vis-à-vis du blé. Des herbicides, sélectifs et homologués sur blé, ont été utilisés à cette fin. Pour les premiers essais réalisés, la connaissance de la sélectivité des herbicides sur les différentes légumineuses utilisées était limitée. Des erreurs dans la gestion du couvert ont pu survenir, soit une régulation insuffisante du couvert entraînant des chutes de rendement sur blé, soit une forte phytotoxicité entraînant la destruction involontaire du couvert.

L'objectif des essais était de mesurer les impacts de couverts permanents sur le rendement et ses composantes du blé tendre d'hiver. Parmi les facteurs explicatifs mesurés figurent l'alimentation en azote et en eau. La compréhension des mécanismes de compétition et facilitation entre le couvert et le blé a pour objectif de donner des pistes pour optimiser la conduite du couvert dans le blé.

Les protocoles de suivis des essais se sont perfectionnés au fil des années et ne sont pas parfaitement homogènes selon les essais. Les variables mesurées étaient en général :

- Le rendement du blé et ses composantes
- La teneur en protéines du blé
- La biomasse des parties aériennes du couvert et leur teneur en azote (jusqu'à 4 dates : au semis du blé, en sortie d'hiver, à la floraison du blé et à sa récolte)
- La biomasse des parties aériennes du blé et leur teneur en azote (jusqu'à 3 dates : en sortie d'hiver, à la floraison du blé et à sa récolte)
- Le stock d'azote minéral du sol (jusqu'à 3 dates : au semis du blé, en sortie d'hiver, à la récolte du blé)
- Des mesures complémentaires ont eu lieu dans certains essais : suivi de la teneur en eau du sol ; hauteur des couverts et du blé à différentes dates.

Des courbes de réponse à l'azote ont été réalisées dans deux essais (Brives 2013 et la Jaillière 2014), permettant ainsi d'évaluer le rendement maximal et la dose d'azote optimale avec et sans plante de couverture. Dans les autres essais, les doses d'azote apportées sur blé n'ont pas été différenciées et ont été calculées selon la méthode du bilan et sans prise en compte de la présence d'un couvert. Des témoins sans apport d'azote en complément étaient parfois aussi présents et ont servi de support à des suivis visant à réaliser des bilans de masse de l'azote du sol.

Il faut être conscient des limites de la synthèse des essais qui va suivre pour plusieurs raisons :

- Tous les couverts n'ont pas été testés dans toutes les conditions et pour chaque date de destruction. La biomasse du couvert était parfois très différente d'un essai à l'autre, selon les conditions et la conduite de l'essai. Il faut donc prendre garde aux conclusions, car les paramètres mesurés n'étaient pas tous indépendants entre eux.
- Toutes les variables n'ont pas été mesurées dans chaque essai, ce qui peut créer un artéfact dans les synthèses.
- Certains essais n'ont pas été conduits comme un « vrai » essai analytique, à savoir en comparant l'absence ou la présence d'un couvert, toutes choses égales par ailleurs. Dans certains cas, la conduite phytosanitaire a pu être différente entre modalités, par exemple pour réguler ou détruire un couvert. Le travail du sol a été différencié sur l'essai de la Jaillière en 2014, avec un blé semé en semis direct avec couvert et sur travail superficiel au cover crop sans couvert. Le travail du sol était plus fortement différencié sur l'essai de Brives en 2013 avec un couvert de luzerne sur un sol conduit en semis direct depuis 2000-2001 et l'absence de couvert sur un sol travaillé profond (labour puis chisel) depuis 2000-2001. La date de semis du blé était différente entre les deux systèmes.

Lieu	Culture (précédent)	Année récolte	Espèces de couvert	Date de semis / Destruction du couvert
Boigneville (91)	Blé tendre d'hiver (blé)	2009	Trèfle incarnat	Juillet 2008 / 29 juillet 2009
Boigneville (91)	Blé tendre d'hiver (colza)	2013	Trèfle blanc Trèfle blanc	Août 2011 / Octobre 2012 Août 2011 / Mars 2013
Brives (36)	Blé tendre d'hiver (colza)	2013	Luzerne	Août 2011 / 0 destruction
Boigneville (91)	Blé tendre d'hiver (jachère)	2014	Luzerne, Sainfoin, Minette, Mélilot Trèfle blanc, Lotier	Juillet 2013 / Mars 2014 Juillet 2013 / 0 destruction
Boigneville (91)	Blé tendre d'hiver (maïs g.)	2014	Trèfle blanc	Août 2012 / 0 destruction
La Jaillière (44)	Blé tendre d'hiver (maïs f.)	2014	Mélange de trèfles incarnat, Alexandrie et souterrain	Mai 2013 / Hiver 2013/2014
Boigneville (91)	Blé tendre d'hiver (jachère)	2015	Trèfles blanc, violet et souterrain, Minette Luzerne, Sainfoin, Mélilot, Lotier, Mélange de 6 légumineuses	Mars 2014 / Mai 2015 Mars 2014 / 0 destruction
La Jaillière (44)	Blé tendre d'hiver (blé)	2015	Trèfle blanc	Juillet 2014 / 0 destruction
Lavincourt (55)	Blé tendre d'hiver (pois p.)	2015	Luzerne	Avril 14 / 0 destruction
Demange aux eaux-55	Blé tendre d'hiver (colza)	2015	Luzerne	Août 13 / 0 destruction

Tableau 1 : Description des expérimentations évaluant l'impact de couverts permanents sur blé tendre d'hiver.

## RESULTATS ET DISCUSSION

### 1. IMPACT SUR LES COMPOSANTES DE RENDEMENT DU BLE

L'impact des couverts permanents, tués dans le blé ou maintenus vivants, sur le rendement du blé, ses composantes et sa teneur en protéines est présenté figure 2 et tableau 2. De prime abord, on peut constater la variabilité des impacts sur le rendement ( $\pm 25\%$  si on exclut un cas à  $-55\%$  de rendement). Comme nous le verrons ultérieurement, il est possible d'expliquer partiellement cette variabilité par la cinétique de croissance du couvert pendant le cycle cultural du blé. Toutes situations confondues, l'impact moyen des couverts est nul sur le rendement du blé (100% des témoins) mais avec une tendance à l'amélioration pour les couverts tués dans le blé (104%) et à la réduction avec les couverts vivants (96%). Dans les deux cas, il subsiste une forte variabilité des impacts (tableau 2). Au niveau des composantes de rendement, on observe une tendance à réduire la levée et le nombre d'épis en présence d'une plante de couverture et à obtenir une compensation sur la fertilité des épis et le poids de mille grains (PMG). Dans ce jeu de données, le rendement est fortement corrélé au nombre de grains au mètre carré ( $r^2$  de 0.93). Cette observation est cohérente avec d'autres données montrant une pénalité sur les premières composantes du rendement du blé, par exemple le nombre d'épis/m<sup>2</sup> (Shili-Touzi, 2009) ou la fertilité des épis (Carof *et al.*, 2007a). Cela donne des indices sur les facteurs incriminés : implantation du blé, compétition ou facilitation pour l'azote ou compétition pour le rayonnement. Une compétition pour l'eau semble moins probable, nos essais ayant été conduits dans un contexte climatique sans stress hydrique précoce. Nous reviendrons ultérieurement sur l'azote. Concernant le rayonnement, plusieurs auteurs ont mesuré une diminution du rayonnement intercepté par le blé en présence de couverts pas suffisamment régulés (Shili-Touzi, 2009 ; Carof *et al.*, 2007b ; Hiltbrunner *et al.*, 2007). La structure du sol peut dans certaines situations expliquer des écarts de potentiel de rendement. C'est le cas dans l'essai de la Jaillière récolté en 2014. Des courbes de réponse à l'azote ont été faites avec et sans couvert de trèfle. Sa présence n'a pas modifié la réponse du blé à l'azote mais a en revanche permis de dé plafonner le rendement de 10%, suite à une meilleure installation du blé pendant l'hiver. Une meilleure infiltration hivernale de l'eau sous le trèfle expliquerait cela, dans un contexte de limon hydromorphe sur schiste, un hiver très humide. Carof (2006) avait aussi

mesuré une réduction de la porosité du sol en semis direct sans couvert par rapport au labour qui était compensée par la présence d'un couvert permanent de luzerne.

L'impact des couverts sur la teneur en protéines du blé est neutre en moyenne (101% des témoins, avec une variabilité d'environ  $\pm 15\%$ ).

La variabilité des données (tableau 2) s'explique en partie par la diversité des situations étudiées et de la cinétique de croissance du couvert dans le blé. La précision de certains essais peut en expliquer une autre partie. Cela semble lié d'une part à une relative hétérogénéité spatiale du couvert de légumineuse qui peut à son tour avoir un impact sur celle du blé. D'autre part, la présence de campagnols, favorisés par le non travail du sol et les couverts de légumineuses pérennes, a pu créer une hétérogénéité supplémentaire dans les parcelles expérimentales.

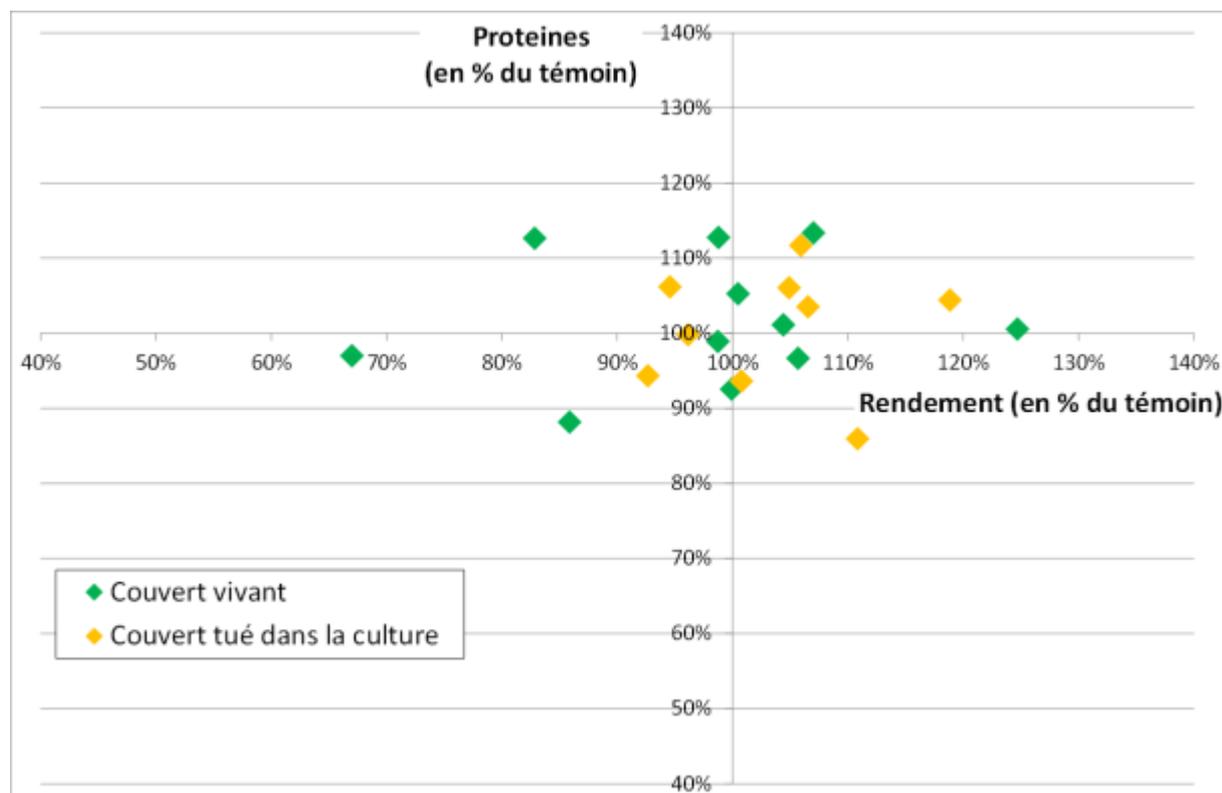


Figure 2 : Teneur en protéines et rendement obtenus sur 8 essais récoltés de 2009 à 2015 en présence d'un couvert permanent, en pourcentage des témoins (blé sans couvert permanent).

COMPOSANTE	EN % DU TEMOIN			
	MINIMUM	MOYENNE	MAXIMUM	TEST DES DONNEES APPARIEES
PLANTES/M <sup>2</sup>	75	<b>93</b>	118	SIGNIFICATIF A 5% (P-VALUE 0.03)
EPIS/M <sup>2</sup>	75	<b>96</b>	112	NON SIGNIFICATIF (P-VALUE 0.14)
GRAINS/EPI	85	<b>103</b>	122	NON SIGNIFICATIF (P-VALUE 0.22)
GRAINS/M <sup>2</sup>	50	<b>98</b>	129	SIGNIFICATIF A 5% (P-VALUE 0.05)
POIDS DE MILLE GRAINS	91	<b>102</b>	112	SIGNIFICATIF A 5% (P-VALUE 0.01)
<b>RENDEMENT</b>				
TOUS COUVERTS	45	<b>100</b>	125	NON SIGNIFICATIF (P-VALUE 0.80)
COUVERTS MORTS	92	<b>104</b>	119	SIGNIFICATIF A <u>10%</u> (P-VALUE 0.08)
COUVERTS VIVANTS	45	<b>96</b>	125	NON SIGNIFICATIF (P-VALUE 0.35)
<b>TENEUR EN PROTEINES</b>	86	<b>101</b>	113	NON SIGNIFICATIF (P-VALUE 0.34)

Tableau 2 : Composantes de rendement obtenues en présence d'un couvert permanent en pourcentage des témoins sans couvert. Analyse statistique par comparaison de moyenne par échantillons appariés.

## 2. IMPACT SUR L'EAU ET L'AZOTE

L'impact des couverts sur le rendement du blé semble assez bien corrélé à leur impact sur l'indice de nutrition azotée (INN) au stade floraison du blé (figure 3). On peut noter que les couverts peuvent provoquer une variation d'INN floraison de  $\pm 0.25$ . Dans le jeu de données, les INN des témoins étaient souvent nettement inférieur à 1, ce qui peut expliquer qu'un écart d'INN soit assez bien lié à un effet sur le rendement. La corrélation entre les écarts d'INN floraison par rapport au témoin ( $\pm 0.25$ ) et les écarts d'azote absorbé par le blé à la récolte ( $\pm 50$  kg N/ha) est très bonne ( $r^2$  de 0.95), ce qui est logique dans la mesure où le blé n'était pas « saturé » en azote ( $INN < 1$ ).

Les légumineuses associées à des graminées peuvent fixer de grandes quantités d'azote, les graminées étant plus efficaces pour prélever l'azote minéral du sol forçant les légumineuses à privilégier la fixation symbiotique d'azote. Les légumineuses associées peuvent avoir un impact sur la nutrition azotée des graminées de différentes manières :

- La rhizodéposition correspond à la libération d'azote dans le sol par les racines due principalement à la décomposition des racines et des nodules qui se renouvellent (Fustec et al., 2009). Cet azote alors en solution, peut être capté par les racines de la culture associée à la légumineuse. Ce transfert entre le couvert et la culture est bien supérieur entre espèces pérennes qu'entre annuelles : Høgh-Jensen et Schjoerring (2000) estiment que 45 à 75 kg N/ha/an sont échangés entre du trèfle blanc et du ray grass. Fustec et al. (2012) montrent au contraire que les transferts d'azote entre annuelles (pois et blé) sont d'une part négligeables et d'autre part non significativement différents entre ceux du pois au blé de ceux du blé au pois.
- La régulation de la croissance du couvert est primordiale. Elle provoque une libération d'azote dans le sol suite à la défoliation partielle du couvert ainsi qu'à mort d'une partie de ses racines (Trannin et al., 2000 ; Louarn *et al.*, 2015). Il faut donc essayer de positionner cette régulation un peu avant la période où les besoins de la culture sont les plus élevés.
- Une graminée étant plus performante pour capter l'azote du sol que les couverts de légumineuses, la compétition pour l'azote ne se manifeste que rarement d'après Carof *et al.* (2007b) et Hiltbrunner *et al.* (2007). Les légumineuses sont toutefois enclines à prélever l'azote dans le sol lorsqu'il est disponible (Hartwig et Ammon, 2002). Une compétition peut donc s'établir.

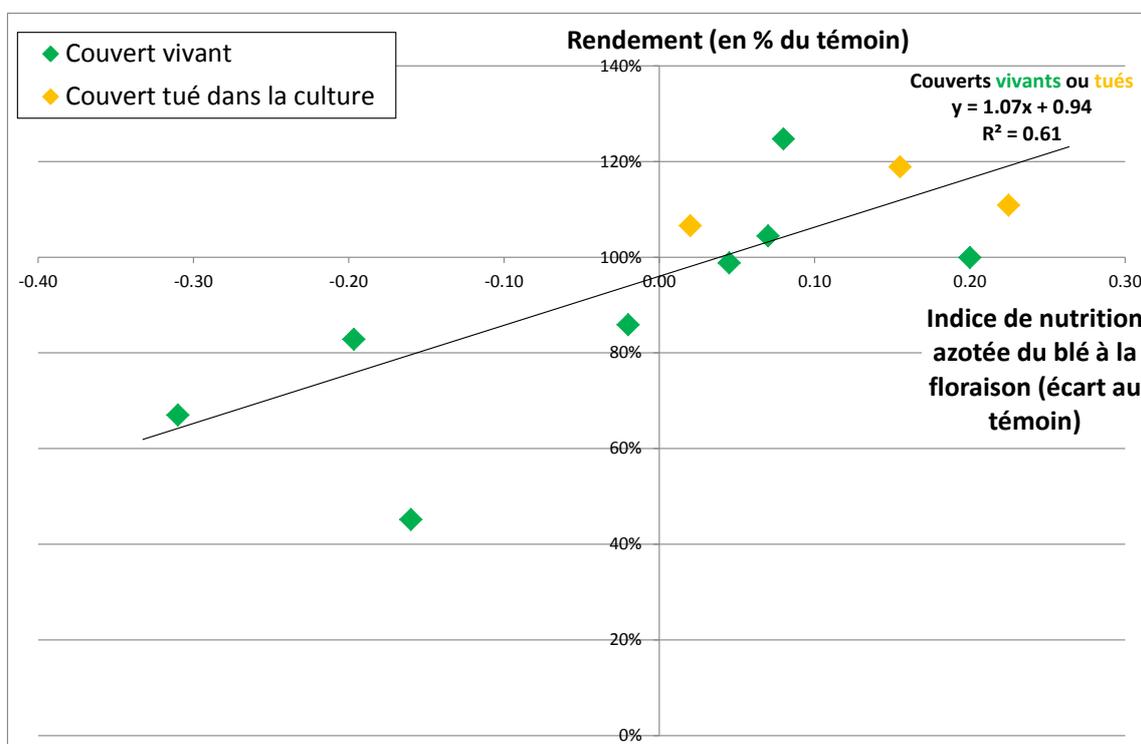


Figure 3 : Indice de nutrition azotée du blé à la floraison et rendement obtenus dans 6 essais récoltés de 2009 à 2015 en présence d'un couvert permanent, par rapport aux témoins (blé sans couvert permanent). L'INN des témoins sans couverts était de 0.26 à 0.40 lorsque la mesure a été faite dans des témoins sans azote et de 0.66 à 0.95 en situation fertilisée.

On craint souvent en présence d'un couvert permanent une compétition pour l'eau. L'analyse des composantes de rendement tempère cette appréciation avec une hausse des PMG en présence de couverts permanents. Les essais récoltés en 2013 et 2014 ont bénéficié de conditions de fin de cycle du blé favorables en termes de pluviométrie et de jours échaudants. Cela a été différent en 2015. Par exemple, sur l'essai récolté à Boigneville cette même année, les couverts n'ont pénalisé ni le rendement, ni le PMG du blé. L'humidité du sol y a été suivie à l'aide de tensiomètres sur deux profondeurs (30 et 60 cm). A l'aide d'une formule validée dans le même type de sol, le déficit hydrique du sol a été calculé et ne montre aucune différence significative quelle que soit la date (figure 4). Il est important de garder à l'esprit les biomasses comparées du couvert et du blé au stade floraison de ce dernier, celle du couvert ne représentant qu'environ 5% de celle du blé. Il reste à suivre l'impact de couverts permanents sur blé dans des situations encore plus stressantes, avec un déficit hydrique précoce en début de printemps, ce qui n'a pas été le cas dans les 10 essais suivis.

La bibliographie montre qu'un couvert peut augmenter la transpiration d'eau par la canopée (Shili-Touzy *et al.*, 2009). Mais l'eau ne représente pas forcément le facteur limitant la production du blé tendre d'hiver malgré la présence de couverts développés dans le blé (Shili-Touzy, 2009 ; Carof *et al.*, 2007b). D'autres phénomènes peuvent compenser une augmentation de la transpiration d'eau : réduction de l'évaporation de l'eau du sol grâce au mulch créé par le couvert permanent (Shili-Touzy *et al.*, 2009), réduction du ruissellement grâce à une amélioration de la structure du sol en surface (Hall *et al.*, 1984). La bibliographie mentionne même un phénomène d'« ascenseur hydraulique » qui augmenterait la quantité d'eau utilisable par la culture de rente (Prieto *et al.*, 2012 ; Corak *et al.*, 1987 ; Caldwell *et al.*, 1998). Ce phénomène correspond à une remontée nocturne d'eau par les racines du couvert, les racines déchargeant de l'eau prélevée en profondeur par un mouvement passif vers des couches du sol de potentiel hydrique plus faible, jusqu'à des quantités correspondant à 30 % de l'évapotranspiration journalière.

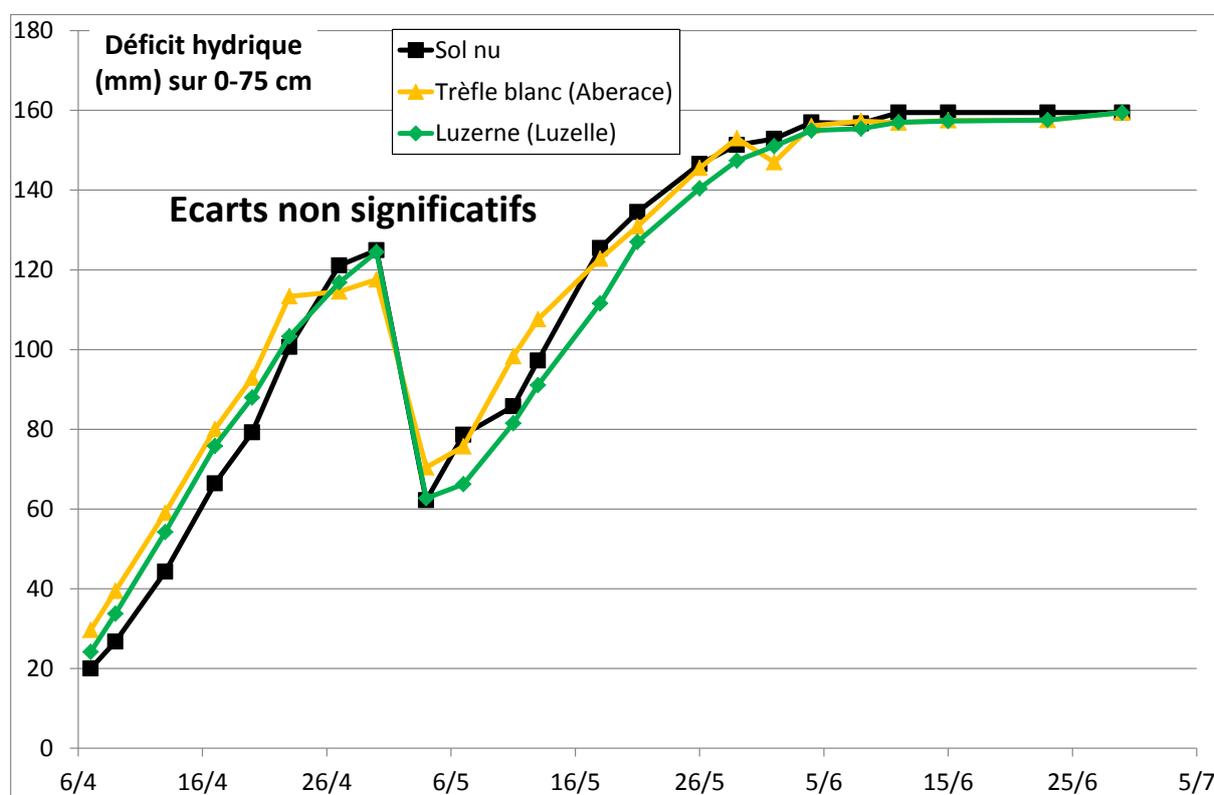


Figure 4 : Déficit hydrique mesuré à Boigneville en 2014/2015, sous un blé seul, sous un trèfle blanc détruit progressivement à partir du 4 mai et une luzerne vivante. Les biomasses du couvert et du blé au stade floraison du blé étaient respectivement de 0.0 et 13.2 ; 0.7 et 13.2 ; 0.6 et 13.4 t<sub>MS</sub>/ha.

### 3. RELATION ENTRE LA DYNAMIQUE DE CROISSANCE DU COUVERT ET SON IMPACT SUR LE RENDEMENT DU BLE

Les couverts vivants sur l'intégralité du cycle du blé et fortement développés au printemps dans le blé ont montré un impact négatif sur le rendement du blé. C'est ce qui ressort de notre jeu de données, certes encore modeste, avec une inflexion des rendements à partir d'une biomasse d'environ 1 t<sub>MS</sub>/ha à la floraison du blé. Un couvert dépassant cette valeur exercerait une compétition sur le blé à une période où ce dernier a de gros besoins en eau, azote et rayonnement (montaison, fécondation et remplissage du grain). La compétition pour l'azote serait le principal levier de compétition puisque les fortes chutes de rendement sont liées aux fortes chutes d'INN floraison (figure 3). Lorsque le couvert est correctement régulé au printemps (moins de 1 t<sub>MS</sub>/ha sur la figure 5), il permet un gain moyen de rendement de 6%, sans pouvoir discriminer les couverts détruits dans le blé de ceux maintenus vivants jusqu'au bout. Dans l'essai de Boigneville 2015, il existe une bonne corrélation entre le rendement et la différence de biomasse du couvert entre la sortie d'hiver et la floraison. Les couverts développés en hiver (jusqu'à 4-5 t<sub>MS</sub>/ha) et bien régulés au printemps voire tués ont été les plus profitables au blé, probablement en lien avec la décomposition des parties aériennes ou racinaires détruites. Cette information est à valider mais semble montrer qu'il est possible d'implanter un blé sur un couvert développé et non dormant en hiver comme certains trèfles sans pénaliser le blé et en ayant un potentiel d'azote disponible pour la culture si le couvert est bien régulé ultérieurement. Il faut cependant noter que dans une autre situation (Demange aux eaux, 2015), un fort gain de rendement et une amélioration d'INN floraison ont été obtenus avec un couvert de luzerne fortement régulé qui n'a pas montré de différence de biomasse du couvert entre sortie d'hiver et floraison. D'autres données sont donc à acquérir pour mieux cerner la ou les cinétiques idéales de croissance du couvert sous un blé. En attendant, il ressort pour l'instant d'une part la nécessité de bien réguler le couvert au printemps et d'autre part la possibilité de ne pas réguler trop fortement le couvert en automne et hiver.

La bibliographie confirme que les pertes de rendement recensées avec couvert permanent sont souvent dues à un développement trop important du couvert. La régulation du couvert semble être la solution pour pallier ce risque. Lorsqu'elle est mise en place, le rendement subit une plus faible diminution du rendement, voire une amélioration. Ainsi, Carof *et al.* (2007a) montrent que moins le couvert est développé à la floraison du blé (dans une fourchette 0.5-5.5 t<sub>MS</sub>/ha), moins la pénalité de rendement est élevée par rapport au témoin sans couvert.

Ces premières données sont cohérentes avec celles obtenues par Cohan *et al.* (2013) qui montrent pour des associations de blé et légumineuses semés en même temps :

- Dans le cas de légumineuses détruites dans le blé en sortie d'hiver jusqu'au stade épi 1 cm du blé : une absence d'impact des couverts sur le rendement du blé (+0.3 q/ha) avec des couverts très peu développés à leur destruction (< 0.5 t<sub>MS</sub>/ha).
- Pour les légumineuses détruites au stade 2 nœuds du blé, une légère baisse de rendement (-1.5 q/ha) avec des couverts assez peu développés à leur destruction (< 1.0 t<sub>MS</sub>/ha).
- Dans le cas de légumineuses détruites entre les stades gonflement et floraison du blé, un net effet dépressif sur le rendement du blé (-12 q/ha) avec des couverts parfois très développés à leur destruction (jusqu'à 4 t<sub>MS</sub>/ha). Plus le couvert était développé, plus les effets sur le rendement étaient importants.

Ces références obtenues par Cohan *et al.* (2013) confirment la nécessité de détruire ou fortement réguler la croissance du couvert dans le blé à partir de début montaison. Des impacts bénéfiques des couverts associés au blé ne peuvent être obtenus qu'en semant les légumineuses avant le blé, de manière à ce qu'ils se développent avant le semis du blé.

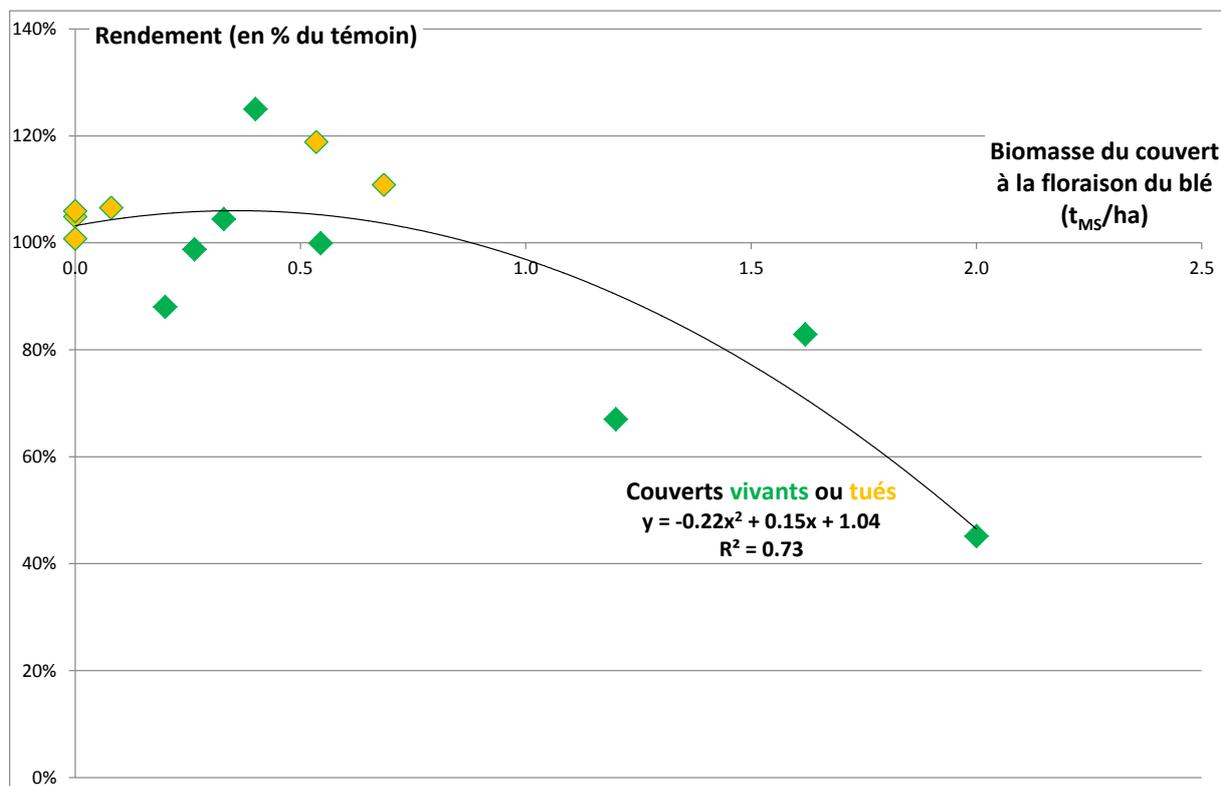


Figure 5 : Impact des couverts sur le rendement du blé selon la biomasse du couvert à la floraison du blé. Résultats sur 8 essais récoltés de 2009 à 2015. Témoin = blé sans couvert permanent.

## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Cette synthèse de 10 expérimentations montre à quel point la régulation de la croissance du couvert est déterminante pour limiter la compétition du couvert sur le blé et favoriser sa nutrition azotée. Des travaux restent nécessaires pour mieux cerner quelle serait la trajectoire idéale de croissance du couvert pendant le cycle cultural du blé. Les techniques de régulation sont également à travailler, que ce soit au travers des herbicides habituellement utilisés sur blé, de moyens mécaniques ou en utilisant le pouvoir compétitif des cultures. L'impact des couverts permanents sur les stratégies de fertilisation azotée est à préciser, que ce soit en termes d'économies potentielles sur les apports totaux, de fractionnement des apports et de pilotage en cours de campagne.

La lutte contre les ravageurs, les campagnols en particulier, est un gros point faible associé à cette technique de semis direct avec plantes de couverture. Il est très important de travailler sur ce problème.

La réflexion sur les couverts permanents doit être conduite à l'échelle du système de culture et de la rotation culturale : travail sur l'implantation du couvert sous certaines cultures de la rotation, impact sur les cultures suivantes en élargissant au-delà du blé, approche pluri-critère des impacts des couverts sur le système de culture...

Enfin, il ne faut pas négliger la possibilité de détruire le couvert pendant le cycle cultural du blé ou d'une autre culture. En effet, maintenir le couvert vivant et gérer certains problèmes rencontrés sur la parcelle (campagnols, désherbage...) peut être tout à fait incompatible avec les connaissances actuelles. La destruction du couvert, suite à un travail du sol ou une application de certains herbicides, peut par ailleurs améliorer la restitution d'azote à la culture. Certains arbitrages seront à réaliser en privilégiant le court ou le moyen terme.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs de cet article tiennent à remercier Messieurs Charpentier, Lemey et Lhermey pour l'accueil d'expérimentations ou suivis sur leur exploitation ainsi que Aurélie Geille, Damien Gaudillat, Sylvain Bureau, Pascal Boillet, Nicolas Carton et Manon Obriot pour le suivi des essais ou parcelles.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Caldwell, M. M., T. E. Dawson, et J. H. Richards. (1998). Hydraulic lift: consequences of water efflux from the roots of plants. *Oecologia* 113, 151–161.
- Capillon, A. & Séguy, L. 2002. Ecosystèmes cultivés et stockage du carbone. Cas des systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale. *Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture Française*, 88, 63-70.
- Carof, M. (2006). Fonctionnement de peuplements en semis direct associant du blé tendre d'hiver (*Triticum aestivum* L.) à différentes plantes de couverture en climat tempéré. Thèse INAPG (AgroParisTech).
- Carof, M., S. De Tourdonnet, P. Saulas, D. Floch, et J. Roger-Estrade. (2007a). Undersowing wheat with different living mulches in a no-till system. I. Yield analysis. *Agronomy for Sustainable Development* 27, 347-356.
- Carof, M., S. De Tourdonnet, P. Saulas, D. Floch, et J. Roger-Estrade. (2007b). Undersowing wheat with different living mulches in a no-till system. II. Competition for light and nitrogen. *Agronomy for Sustainable Development* 27, 357-365.
- Cohan J.P., Corre-Hellou G., Naudin C., Hinsinger P., Jeuffroy M.H., Justes E., Bedoussac L., 2013. Association céréales-légumineuses récoltées en grains : de bonnes performances en fourniture d'azote limitante. *Perspectives Agricoles*. N°404, pp 53-56.
- Corak, S. J., D. G. Blevins, et S. G. Pallardy (1987). Water Transfer in an Alfalfa/Maize Association. *Plant Physiology* 84, 582-586.
- Fustec J., Lesuffleur F., Mahieu S., Cliquet J.B. (2009). Nitrogen rhizodeposition of legumes. A review. In : *Agronomy for Sustainable Development*. INRA, EDP Sciences, pp. 57-66.
- Fustec J., Malagoli P., Siméon P., Cannavacciuolo M., Bernard L., Brauman A., Hinsinger P. 2012. Does nitrogen transfer matter in cereal-legume intercrops? Poster: Rhizosphere 3 International conference Perth, Australia, Sept 2011, 26-30
- Hall, J. K., N. L. Hartwig, et L. D. Hoffman (1984). Cyanazine Losses in Runoff from No-Tillage Corn in « Living » and Dead Mulches vs. Unmulched, Conventional Tillage. *Journal of Environmental Quality* 13, 105-110.
- Hiltbrunner, J., P. Jeanneret, M. Liedgens, P. Stamp, et B. Streit. (2007). Response of Weed Communities to Legume Living Mulches in Winter Wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science* 193, 93-102.
- Hogh-Jensen H. and Schjoerring J.K. (2000). Below-ground nitrogen transfer between different grassland species: Direct quantification by <sup>15</sup>N leaf feeding compared with indirect dilution of soil <sup>15</sup>N. In : *Plant Soil* 227. Springer, pp. 171–183.
- Labreuche J. et Carton N. (2015). Couverts et cultures : des complémentarités à optimiser. *Perspectives Agricoles*. N°421, pp 44-47.
- Louarn G., Pereira-Lopès E., Fustec J., Mary B., Voisin A.S., de Faccio Carvalho P.C., Gastal F. (2015). The amounts and dynamics of nitrogen transfer to grasses differ in alfalfa and white clover-based grass-legume mixtures as a result of rooting strategies and rhizodeposit quality. *Plant soil*, 389, 289-305.
- Ochsner, T. E., K. A. Albrecht, T. W. Schumacher, J. M. Baker, et R. J. Berkevich (2010). Water Balance and Nitrate Leaching under Corn in Kura Clover Living Mulch. *Agronomy Journal* 102, 1169.
- Prieto I., Armas C., Pugnaire F.I. (2012). Water release through plant roots: new insights into its consequences at the plant and ecosystem level. In : *New Phytologist* 193, pp.830-841.
- Shili-Touzi, I. (2009). Analyse du fonctionnement d'une association de blé d'hiver (*Triticum aestivum* L.) et d'une plante de couverture sur une échelle annuelle par modélisation et expérimentation. Thèse AgroParisTech, 147 p.
- Shili-Touzi I., De Tourdonnet S., Launay M., Dore T. (2009). Does intercropping winter wheat (*Triticum aestivum*) with red fescue (*Festuca rubra*) as a cover crop improve agronomic and environmental performance? A modeling approach. In : *Field Crops Research* 116. Elsevier, Grignon, pp. 218-229.
- Trannin W.S., Urquiaga S., Guerra G., Ibjibijen J., Cadisch G. (2000). Interspecies competition and N transfer in a tropical grass-legume mixture. In : *Biology and Fertility of Soils* 32. Springer-Verlag, Paris, pp. 441–448.