



Earth & Life Institute
-
Pôle agronomie

UCL

**Université
catholique
de Louvain**

Cultures intermédiaires piège à nitrate :

**Evaluation de la capacité de cultures intermédiaires à
piéger l'azote et à produire un fourrage**

Synthèse des résultats des expérimentations 2009-2012

De Toffoli Marc⁽¹⁾, Decamps Christian⁽¹⁾, Imbrecht O.⁽¹⁾, Lambert Richard⁽¹⁾, 2012.

(1) Université catholique de Louvain – Earth and Life Institute agronomy
Place Croix du Sud, 2 boîte L7.05.26
1348 Louvain-la-Neuve

Table des matières

0	Introduction	2
1	Matériel et méthode.....	2
2	Données météorologiques	4
3	Résultats et discussion.....	7
3.1	Production de biomasse.....	7
3.1.1	Précédent pois de conserverie	7
3.1.2	Précédent escourgeon	10
3.1.3	Autres couverts possibles	14
3.1.4	Synthèse Biomasse	14
3.2	Composition botanique à la récolte	17
3.3	Valeur fourragère	18
3.4	Effet piège à nitrate	20
4	Conclusion.....	23
5	Remerciements	24
6	Bibliographie	24

0 Introduction

L'Earth & Life Institute de l'Université catholique de Louvain en collaboration avec le Centre pilote Fourrages-Mieux, a mené une expérimentation pluriannuelle afin de déterminer l'intérêt de différentes espèces fourragères implantées pendant la période d'interculture. Le contexte réglementaire du programme de gestion durable de l'azote en agriculture (PGDA) impose une couverture du sol après épandage de matière organique et, en zone vulnérable, l'implantation d'une culture intermédiaire piège à nitrate (CIPAN) sur les surfaces récoltées avant le 1^{er} septembre et suivies d'une culture de printemps. L'objectif premier consiste donc à réduire significativement la quantité d'azote potentiellement lessivable (APL) en début de période de lixiviation.

Dans un contexte de production fourragère déficitaire, suite par exemple à une sécheresse printanière, la production d'un fourrage de qualité pendant l'interculture est une opportunité qui séduit bon nombre d'agriculteurs. C'est dans ce cadre que s'inscrit cette étude dont l'objectif est de déterminer s'il est possible, par comparaison de différents types de cultures intermédiaires, d'associer une réduction significative du stock d'azote minéral dans le sol en début de période de lixiviation et la production d'un fourrage de qualité en quantité suffisante tout en répondant à des critères agronomiques tels que la gestion des adventices, la résistance à la sécheresse, aux maladies etc.

1 Matériel et méthode

L'étude s'est déroulée sur quatre années de 2009 à 2012 présentant des conditions climatiques contrastées, sécheresse estivale en 2009, pluviométrie exceptionnellement élevée en août 2010, conditions normales et favorables en 2011 et à nouveau plus sèche en fin de saison 2012 (cf. chapitre 2). Les parcelles agricoles retenues pour la réalisation de l'expérimentation sont situées en région limoneuse, dans une exploitation agricole en polyculture et élevage. L'altitude est comprise entre 140 et 150 mètres. Le sol est un limon fin argileux à drainage favorable avec une teneur en matière organique comprise entre 2,1 et 2,8%. Le précédent est pour trois années (2009 à 2011) une culture de pois de conserverie avec récolte des fanes. En 2011 et 2012 le protocole expérimental a été appliqué après culture d'escourgeon. Les reliquats azotés mesurés sur une profondeur de 90 cm, après la récolte de la culture principale, sont compris entre 30 et 65 kg N-NO₃.ha⁻¹ et entre 23 et 24 kg N-NH₄.ha⁻¹. Le semis des cultures intermédiaires est réalisé après déchaumage par un outil à dent pour l'implantation après pois. Après culture d'escourgeon, un labour a été réalisé pour éliminer les risques de repousses de la céréale. L'implantation à l'aide d'un combiné herse rotative semoir à disques a eu lieu entre le 27 juin et le 22 juillet en fonction de la date de récolte du précédent. Excepté en première année, le semis a été immédiatement suivi d'un passage au rouleau afin de restaurer la capillarité et de faciliter la récolte.

Le dispositif expérimental comprend des parcelles de 6 x 20 mètres disposées en blocs aléatoires complets comprenant quatre répétitions. Les traitements (Tableau 1) sont constitués de plusieurs espèces de graminées et de légumineuses en culture pure ou en mélange et d'un témoin entretenu en sol nu par désherbage chimique. Le choix des espèces est basé sur la pertinence reconnue tant en production fourragère qu'en culture intermédiaire dans le contexte agricole wallon. Il n'y a pas eu de désherbage (excepté le traitement témoin) - la concurrence vis-à-vis des adventices étant un critère agronomique observé. Aucune fertilisation n'a été appliquée, le reliquat et la minéralisation après culture de pois étant supposée suffisante pour la nutrition azotée des cultures intermédiaires, l'apport d'azote par les légumineuses étant un paramètre recherché dans l'essai après céréale.

Tableau 1. Objets étudiés : espèces et densités de semis

Objet	Abréviation	Traitement	Dose de semis (kg.ha-1)
1	Sol nu	Sol nu	-
2	RGI	Ray-grass d'Italie (<i>Lolium multiflorum</i>)	30
4	Av Bl	Avoine blanche de printemps (<i>Avena sativa</i>)	100
5	RGI + TI	Ray-grass d'Italie + Trèfle incarnat (<i>Trifolium incarnatum</i>)	20+10
6	RGI + TA	Ray-grass d'Italie + Trèfle d'Alexandrie (<i>Trifolium alexandrinum</i>)	20+10
7	Av Br + TA	Avoine brésilienne ¹ (<i>Avena strigosa</i>) + Trèfle d'Alexandrie	20+10
8	Av Br + VC	Avoine brésilienne + Vesce commune	20+20
9	SM + VC	Seigle multicaule ² (<i>Secale cereale</i>) + Vesce commune	20+20
10	VC	Vesce commune (<i>Vicia faba</i>)	60
11	Av Bl + PF	Avoine de printemps + Pois fourrager (<i>Pisum sativum</i>)	80+25
12	M	Moutarde blanche (<i>Sinapis alba</i>)	10
13	Av Bl + VC	Avoine blanche + Vesce commune	80+20
14	Av Br	Avoine brésilienne	40
15	TA	Trèfle d'Alexandrie	30
16	RGI + TP	Ray-grass d'Italie + Trèfle de Perse	20+10
17	Av Bl + RGI	Avoine de printemps + Ray-grass d'Italie	100+15
18	Rep	chaumes avec repousses	-
19	Chaume Nu	chaumes désherbés	-

Les mesures de reliquat azoté en fin de période de croissance ont permis d'évaluer l'effet piège à nitrate de chaque culture intermédiaire. Des mesures de biomasses ont été effectuées sur la partie aérienne des plantes pour chaque traitement³. Hormis en 2009, les mesures ont été effectuées à deux dates pour évaluer la croissance après environ 60 jours et 90 jours. Un échantillon composite prélevé suivant la méthode des poignées (aussi appelée méthode du G%⁴), a permis de déterminer la proportion de chaque espèce semée dans les traitements comprenant des mélanges d'espèces, ainsi que des adventices éventuellement présentes. La mesure des paramètres de qualité fourragère a été réalisée par spectrométrie dans le proche infrarouge.

Un protocole complémentaire a été conçu pour évaluer la performance des couverts implantés après récolte hâtive de céréale, typiquement la culture d'escourgeon en Wallonie. Le dispositif expérimental est semblable à celui décrit plus haut, à la différence près que les résultats portent sur deux années (2011 et 2012) et qu'un labour a été effectué avant le semis des cultures intermédiaires.

¹ Aussi appelée avoine rude ou avoine diploïde.

² Aussi appelé seigle forestier.

³ Les mesures de production de fourrage ont été réalisées par récolte d'environ 10 m² sur chaque répétition avec une machine de type Haldrup spécialement conçue pour la récolte et la pesée d'échantillons en parcelles expérimentales.

⁴ Pour chaque traitement, les espèces semées et les adventices sont triées, pesées et séchées pour finalement obtenir les proportions pondérales dans la matière sèche récoltée.

2 Données météorologiques

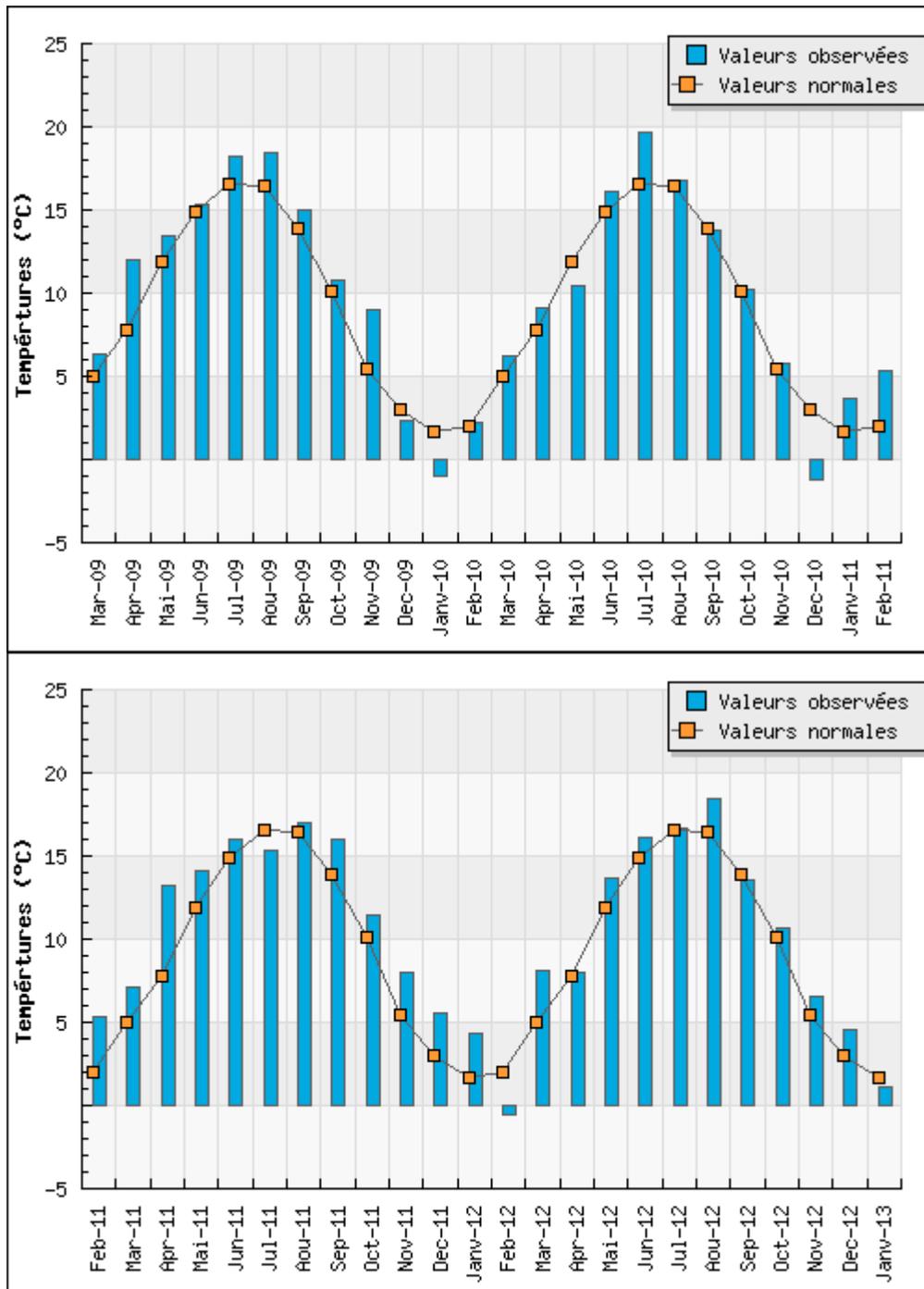


Figure 1. Températures observées et valeurs normales enregistrées à Ernage (source CRA-W⁵)

⁵ <http://www.cra.wallonie.be/index.php?page=53>

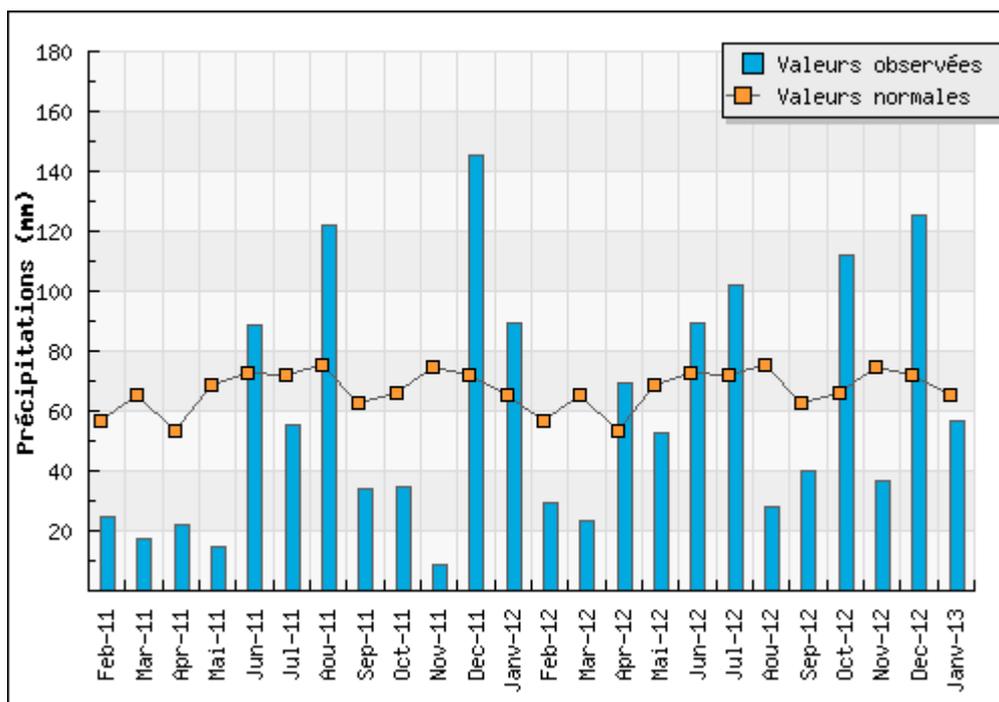
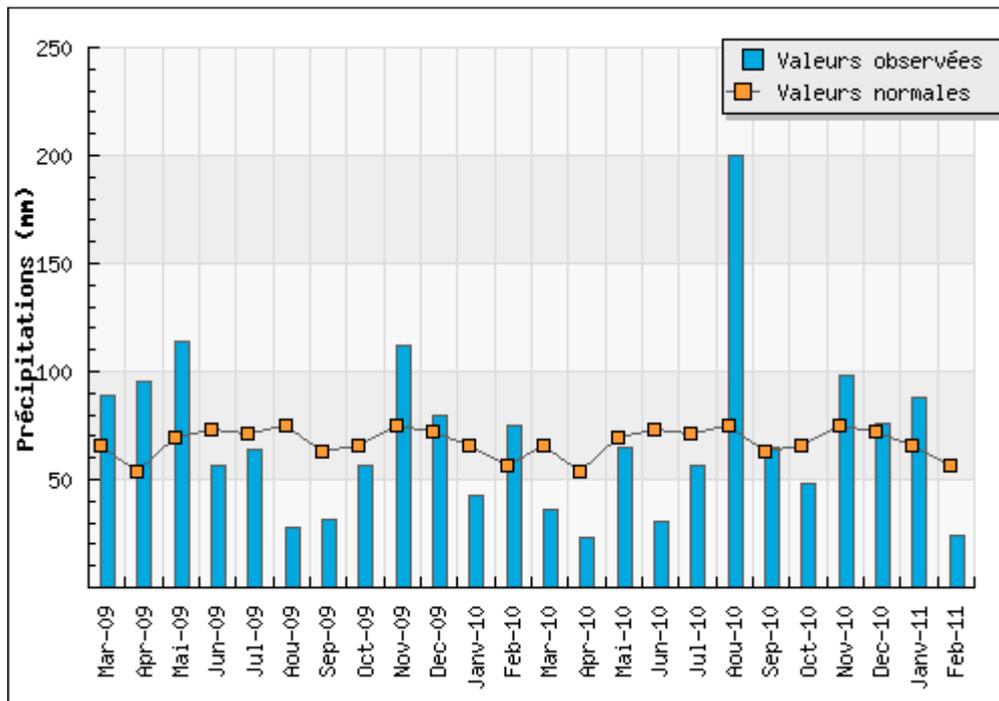


Figure 2. Précipitations observées et valeurs normales enregistrées à Ernage (source CRA-W⁶).

⁶ <http://www.cra.wallonie.be/index.php?page=53>

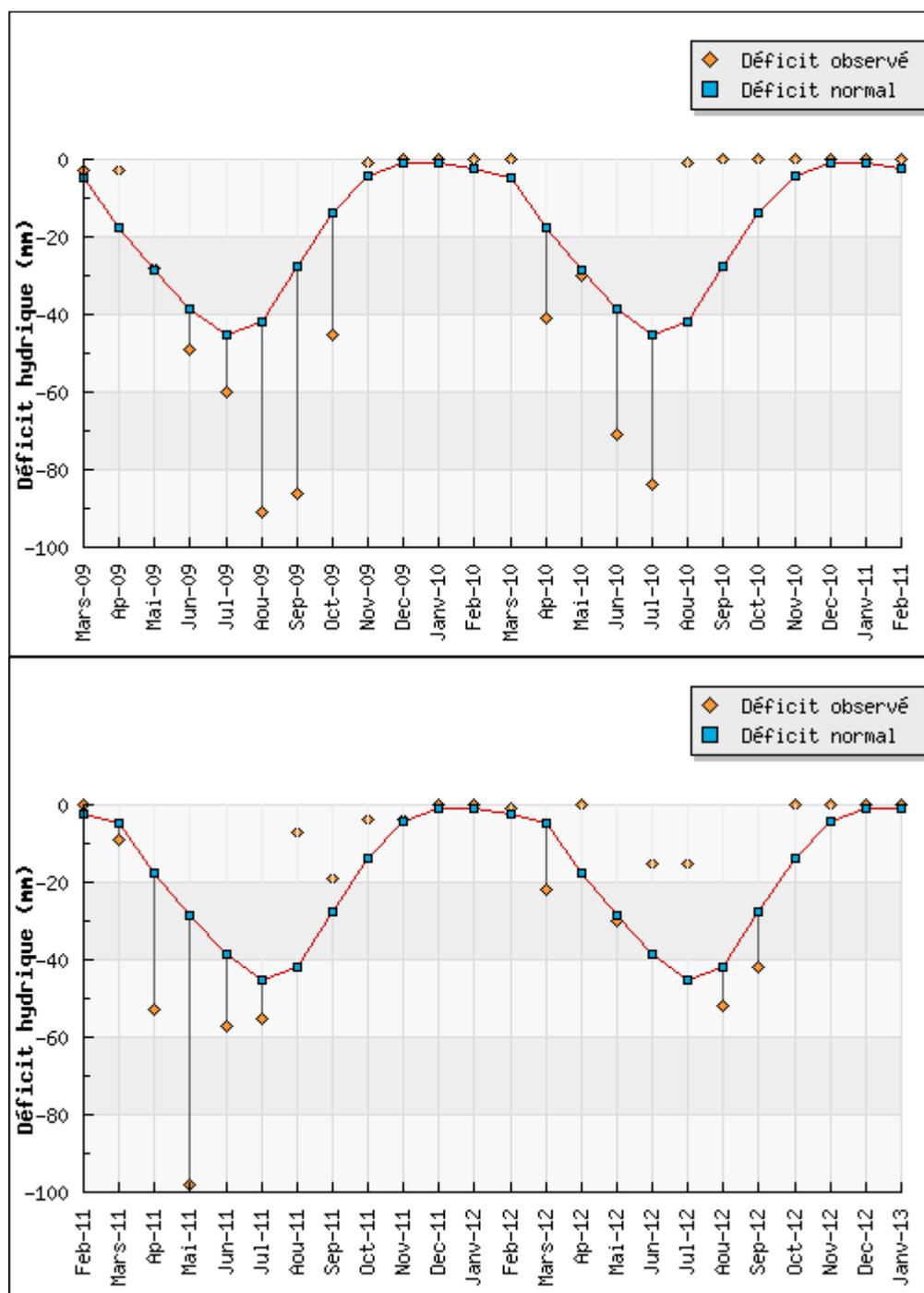


Figure 3. Déficit hydrique observé et valeurs normales enregistrées à Ernage (source CRA-W)

Au regard des données provenant d'une station proche des sites d'expérimentation, on constate que le facteur limitant pour le développement des couverts d'un point de vue météorologique est la pluviométrie. Sur les quatre années d'étude, les déficits hydriques engendrés par les faibles précipitations des mois d'août, septembre et octobre en 2009 et dans une moindre mesure en août et septembre 2012, ont influencé le développement des couverts. A l'inverse en 2010, la forte pluviométrie surtout au mois d'août a entraîné un déficit hydrique nul toute l'arrière saison. En 2011, le déficit a été inférieur à la normale durant l'interculture grâce à une forte pluviométrie en août et ce malgré des pluies inférieures à la normale en septembre et octobre.

Les températures se sont quant à elles situées au niveau de la normale, voire supérieures certaines saisons (p.ex. à l'automne 2011).

3 Résultats et discussion

3.1 Production de biomasse

La productivité de chaque traitement mesurée après environ 90 jours de croissance donne des résultats allant de 1 à 5 tonnes de matière sèche (MS) par hectare (Tableau 2 et Tableau 3). Un rendement minimum de 2,5 t MS.ha⁻¹ est souhaité pour être considéré comme rentable⁷ (Besnard *et al.*, 2000). Vu la différence d'azote disponible pour la croissance des couverts, les résultats après pois et après escourgeon seront discutés séparément.

3.1.1 Précédent pois de conserverie

La Figure 4 montre la production moyenne obtenue environ trois mois après le semis sur trois années de mesures, excepté pour le traitement 11 (Av BI + PF) intégré au dispositif en 2010 et 2011.

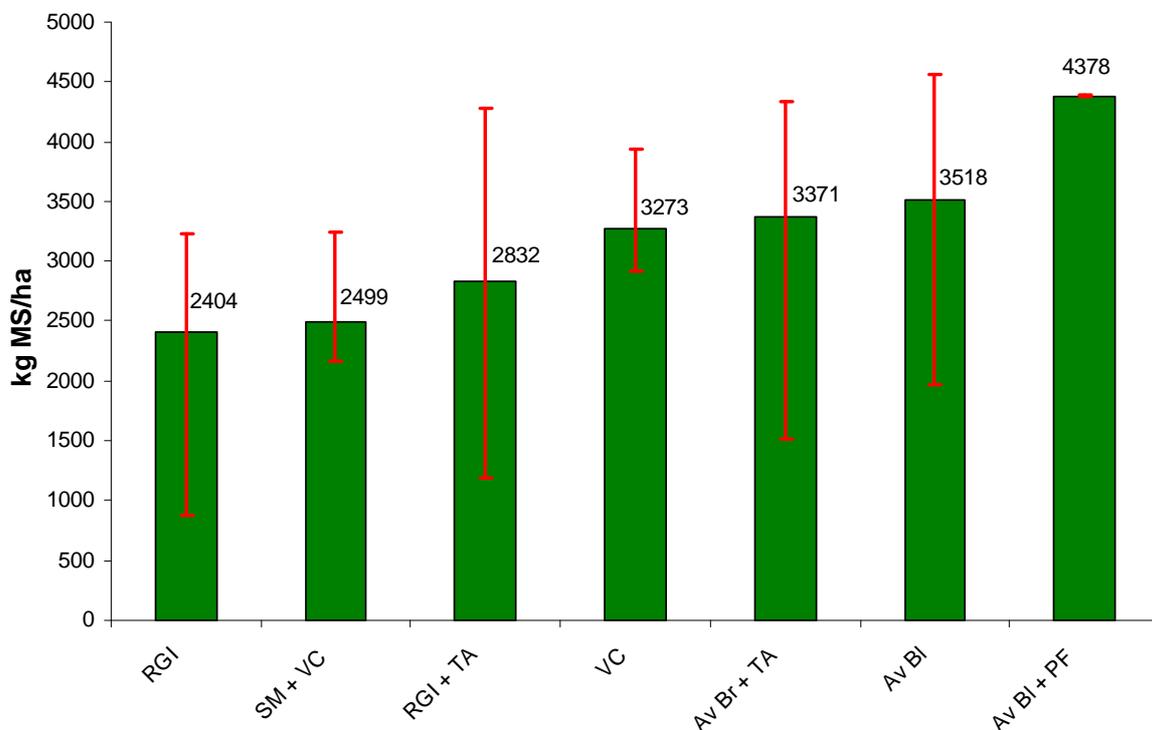


Figure 4. Rendement moyen après 90 jours des couverts implantés après pois : valeur moyenne de 2009 à 2011 et valeur de la meilleure et de la moins bonne année (barres d'erreur) ; remarque : AvBI + PF a été testé uniquement en 2010 et 2011.

- Le ray-grass d'Italie donne le rendement moyen le plus faible et une variabilité inhérente à sa sensibilité aux conditions hydriques. C'est le seul traitement à présenter une moyenne juste inférieure au seuil théorique de 2,5 t MS.ha⁻¹.
- Le mélange vesce commune + seigle multicaule a également donné un faible rendement, suite à des problèmes de levée du seigle certaines années et donc d'une mauvaise couverture du sol et ce malgré un tallage tardif potentiellement important⁸. Cette faiblesse a été partiellement compensée par le développement de la vesce.

⁷ L'intérêt économique de la culture dérobée est très variable, essentiellement fonction du besoin en fourrage complémentaire suite à un déficit de production des cultures fourragères.

⁸ En 2011, l'utilisation de semences certifiées provenant de France a permis de résoudre le problème de faible pouvoir de germination du seigle forestier.

- Le trèfle d'Alexandrie associé au ray-grass d'Italie permet d'améliorer la productivité (par rapport au RGI en pur), cela sera confirmé également en terme de qualité (cf. paragraphe 3.3), mais la sensibilité en année sèche reste relativement pénalisante.
- la vesce commune, seule légumineuse testée en pur, montre une bonne production très régulière quelles que soient les conditions.
- le mélange avoine brésilienne associé au trèfle d'Alexandrie obtient un rendement moyen à 3,5 t MS.ha⁻¹. Le potentiel élevé de production de biomasse est pénalisé par la sensibilité à la sécheresse de 2009. Signalons que l'avoine brésilienne a également été testée en mélange avec la vesce commune uniquement en 2009. Le rendement obtenu était intéressant (2,2 t MS.ha⁻¹) grâce à un meilleur développement de la vesce pendant la sécheresse en été.
- les deux couverts comprenant l'avoine de printemps obtiennent les plus hauts rendements moyens à plus de 3,5 t MS.ha⁻¹. L'avoine de printemps montre une bonne production de matière sèche et qui limite les pertes en année de sécheresse. Signalons à ce propos que le mélange Avoine de printemps + pois fourrager qui obtient le rendement moyen le plus élevé n'a pas été testé en année de grande sécheresse (2009) et doit donc être pris avec prudence comme un potentiel de rendement élevé et constant en année normale.

Pour une valorisation fourragère de la biomasse produite, il est parfois intéressant de récolter avant le maximum de rendement lorsque la plante est à son optimum de la valeur alimentaire. Si, à cette fin, on compare les rendements obtenus en première coupe à deux mois ou à trois mois (Figure 5), ceux-ci sont logiquement plus élevés à 90 jours, mais plusieurs observations ont pu être vérifiées :

- Les traitements comprenant de la vesce commune ont augmenté de près d'une tonne en moyenne durant le dernier mois, cela confirme la nécessité qu'elle soit semée suffisamment tôt pour jouir d'une somme de températures et d'une durée de croissance suffisantes.
- Les traitements comprenant de l'avoine de printemps peuvent atteindre des niveaux supérieurs à 3 t MS.ha⁻¹ dès 60 jours de pousse.
- Les mélanges avec avoine brésilienne sont plus tardifs dans leur développement, mais en conditions suffisamment arrosées atteignent un niveau de production équivalent à l'avoine de printemps (Photo 1).

Signalons qu'il n'y a pas eu de verse dans les parcelles semées de céréales en pur ou en mélange avec légumineuse, même fort développée.

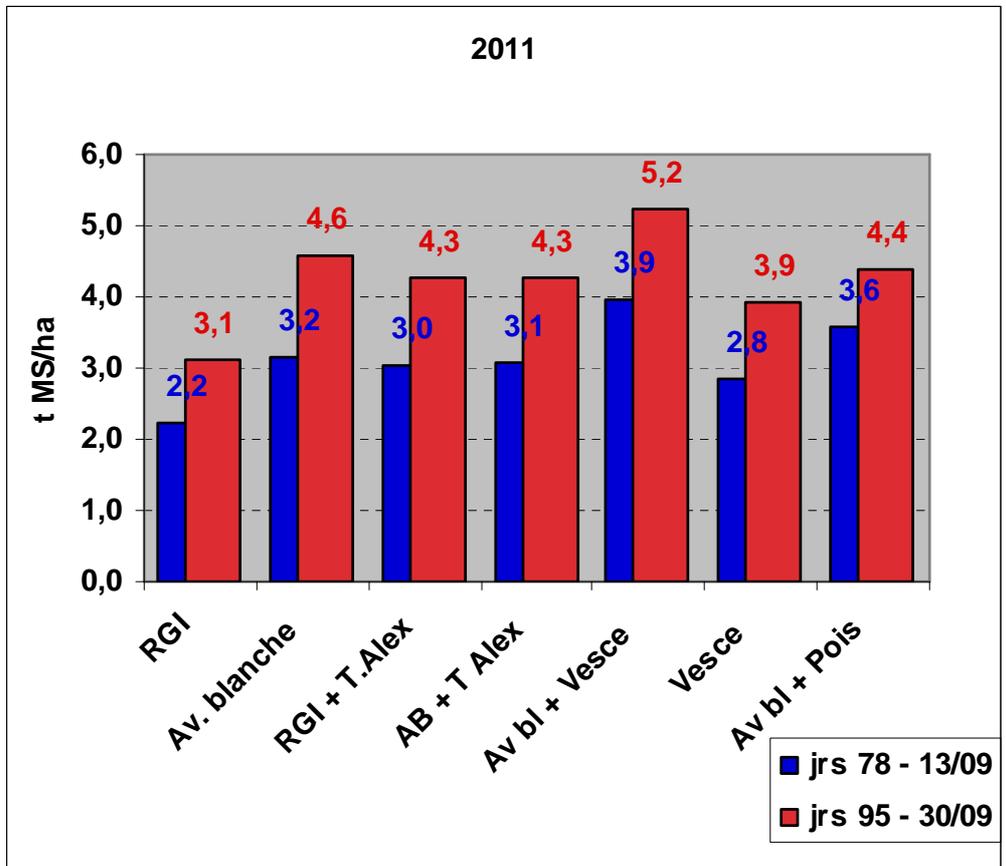
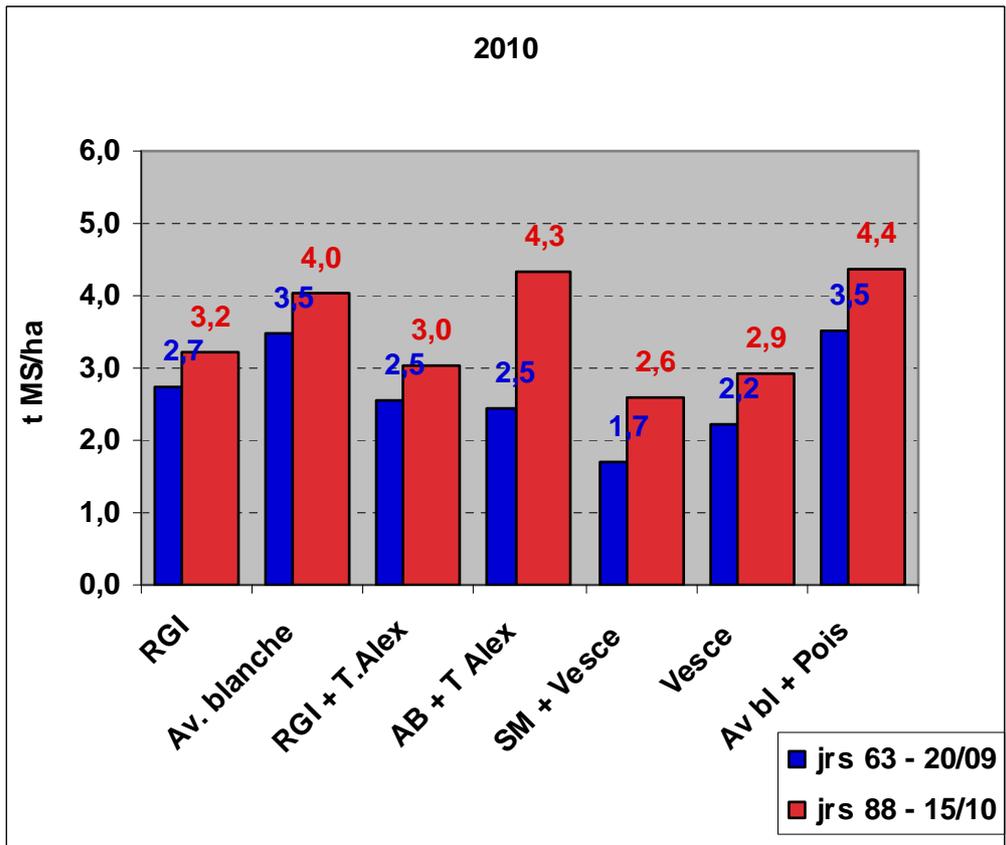


Figure 5. Évolution du rendement entre les deux dates de première coupe des couverts après pois en 2010 et 2011.



Photo 1. À gauche : Avoine brésilienne + Trèfle d'Alexandrie ; à droite : Avoine de printemps (29/10/2010)

Les traitements comprenant du ray-grass d'Italie et le traitement avoine brésilienne + trèfle d'Alexandrie ont été récoltés en deuxième coupe pour mesurer le regain d'une vingtaine de jours après la fauche de septembre en 2010 et 2011. Les rendements obtenus pour les traitements en repousse avec ray-grass, même s'ils sont supérieurs au gain mesuré entre les deux dates de première coupe, sont assez faibles et se situent autour de $1 \text{ t MS} \cdot \text{ha}^{-1}$, ce qui est économiquement peu rentable. En 2011, les traitements avec trèfle d'Alexandrie, dont la variété a été choisie en tant que « multicoupe », ont produit entre $1,5$ et $2 \text{ t MS} \cdot \text{ha}^{-1}$ supplémentaires suite à une forte repousse essentiellement du trèfle après la première coupe.

3.1.2 Précédent escourgeon

En 2011 et 2012, un plus grand nombre de couverts différents ont été implantés après escourgeon afin de mettre en évidence des mélanges éventuellement capables de produire une biomasse suffisante en condition d'azote plus limitant qu'après pois de conserverie. Il en ressort que les traitements les plus intéressants sont, comme dans les traitements testés après pois, les mélanges associant des graminées au trèfle d'Alexandrie, au pois fourrager et à la vesce commune.

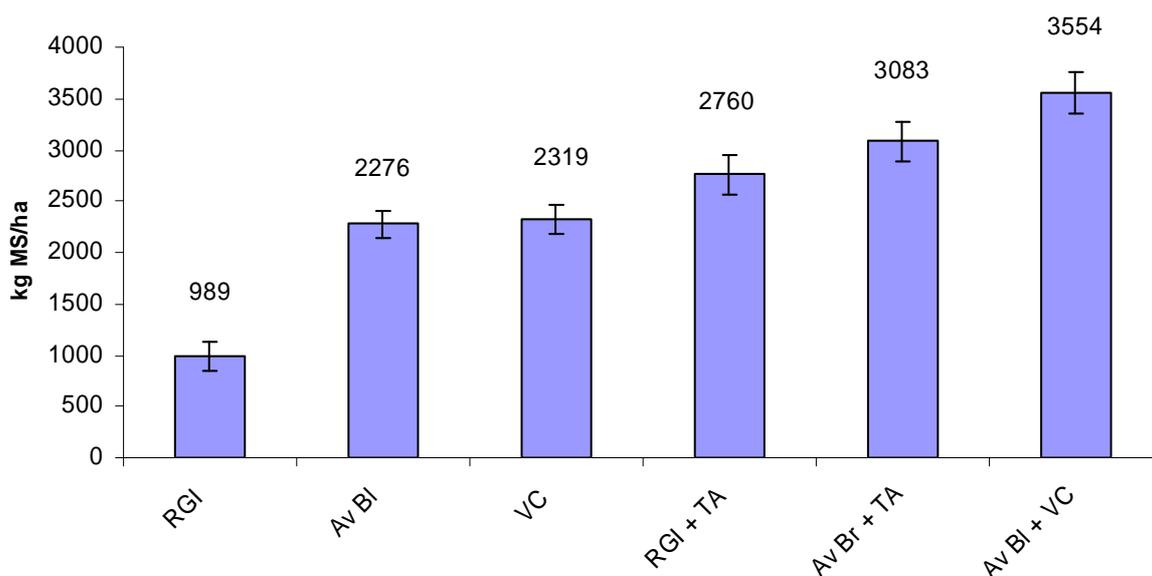


Figure 6. Rendement (moyenne et erreur-type) des couverts implantés après escourgeon et récoltés environ 100 jours après le semis, années 2011 - 2012.

La Figure 6 montre les moyennes des traitements répétés sur les deux années. Sur les six objets, deux approchent le seuil de 2,5 t MS.ha⁻¹ et trois le dépassent. Cette figure ainsi que le Tableau 3 permettent d'observer que :

- Les espèces en pur obtiennent en moyenne un résultat plus faible que les mélanges.
- Le RGI montre logiquement un déficit de production en condition d'azote limitant (moyenne d'APL en novembre de 50 kg N/ha sur sol nu)
- L'avoine de printemps a un rendement plus intéressant, mais montre visuellement une fin d'azote comparée à son association avec légumineuse (Photo 2).
- L'association du trèfle d'Alexandrie au RGI entraîne un gain de rendement de plus du double par rapport à celui-ci en pur.
- L'avoine brésilienne est la plus performante des graminées en pur après escourgeon (Tableau 3)⁹. Associée au trèfle d'Alexandrie ou à la vesce, elle produit un fourrage abondant après minimum trois mois de croissance (cf. Figure 7).
- L'avoine de printemps associée à une légumineuse donne les rendements les plus intéressants en termes de niveau de production et de régularité. Le mélange avec la vesce est le plus élevé en biomasse finale. Mesuré en 2011 après pois (une seule année) en répétition, il avait déjà donné le rendement le plus élevé à plus de 5 t MS.ha⁻¹ (Figure 5). En association avec le pois fourrager, le mélange atteint également un très bon rendement mais plus rapidement (Figure 7), ce qui est un avantage en cas d'interculture plus courte.



Photo 2. Couvert d'avoine de printemps après récolte d'escourgeon en pur à gauche et en association avec vesce à droite.

⁹ L'association avec la vesce a donné des rendements très élevés en 2011, mais n'a pas été poursuivi en 2012, car l'approvisionnement à cette espèce fut malheureusement difficile pour des raisons légales. Les semences que nous avons réussi à obtenir ont été testées en pur et avec trèfle d'Alexandrie (continuité de l'essai après pois). La mauvaise qualité des semences a entraîné une levée très tardive engendrant des problèmes d'adventices dans les parcelles de culture pure qui ont été abandonnées. Le mélange avec le trèfle s'est mieux développé et a donné de bons résultats bien qu'en dessous du potentiel montré en 2011.

Si on regarde les résultats plus en détail en comparant les récoltes après 2 mois et après plus de trois mois (Figure 7), plusieurs observations peuvent être réalisées :

- La vesce commune en pur a peu augmenté en 2011 et a même baissé en 2012 suite à un tassement au sol sous l'effet des pluies entraînant une récolte plus délicate.
- Le RGI et l'avoine de printemps en pur atteignent un plafond dès 60 jours de pousse.
- Ce plafond « saute » dès que l'on associe une légumineuse.
- En association, la différence entre l'avoine brésilienne et l'avoine de printemps se marque surtout pour la coupe à deux mois. Comme constaté les années antérieures en précédent pois, l'avoine de printemps atteint rapidement des rendements très importants en 2012. A l'inverse l'avoine brésilienne double son rendement entre les deux dates de première coupe en 2011.
- Le mélange avoine brésilienne + vesce a donné en 2011 des rendements élevés en moyenne à 95 jours, mais avec une variabilité importante vraisemblablement due à la difficulté de récolter la vesce fort développée¹⁰.

¹⁰ Malgré une attention particulière à ce point lors de la récolte, il n'est pas à exclure que des plants de vesce ait été arraché en dehors de la surface récoltée pour l'échantillonnage, la vesce s'accrochant efficacement aux tiges voisines au moyen de vrilles.

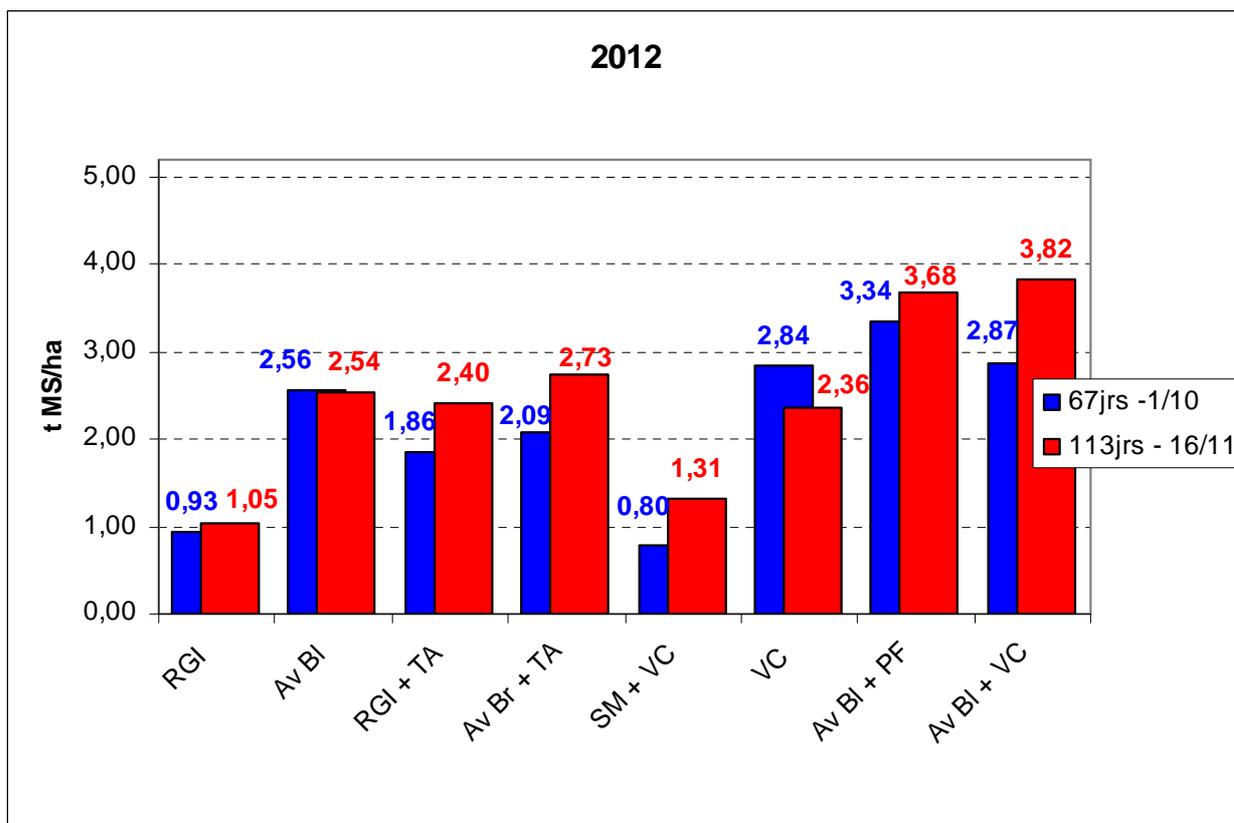
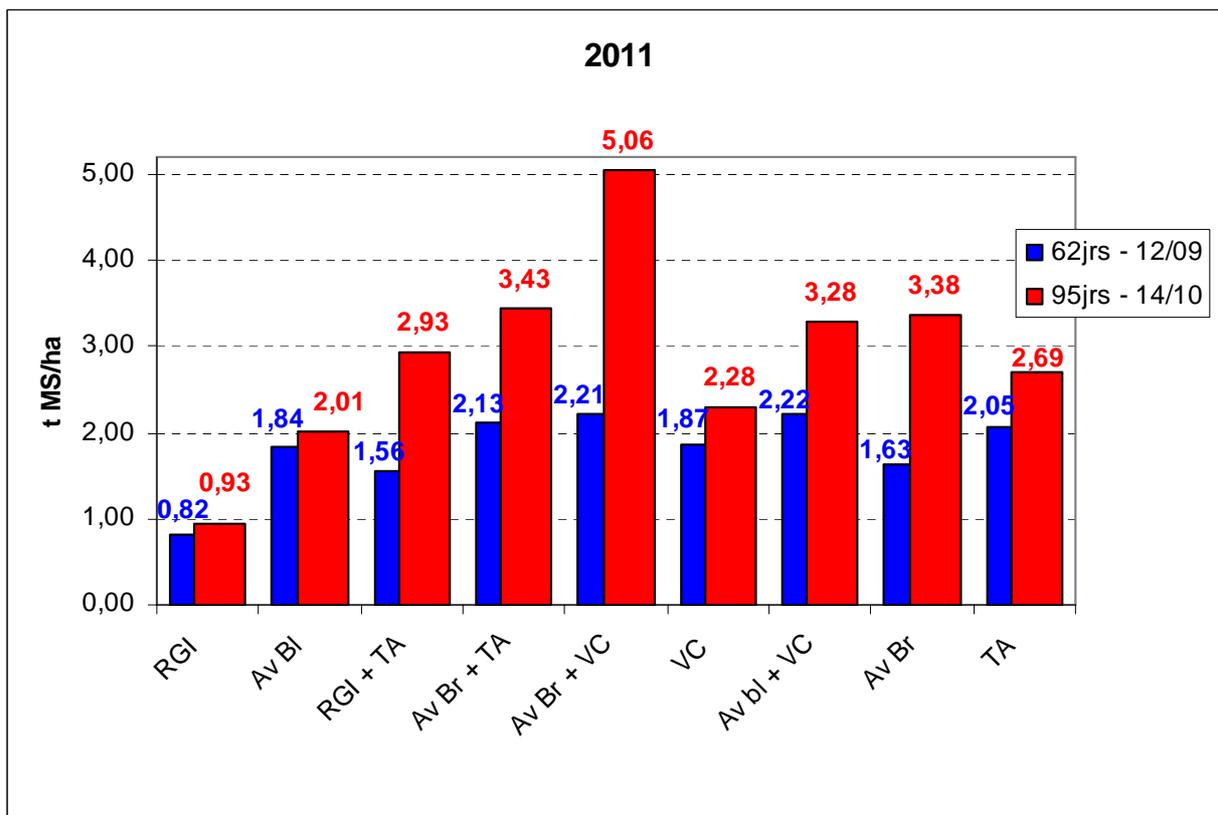


Figure 7. Évolution du rendement entre les deux dates de première coupe des couverts après escourgeon en 2011 et 2012

3.1.3 Autres couverts possibles

Beaucoup d'autres mélanges que ceux présentés dans ces résultats peuvent être utilisés tant comme piège à nitrate que comme culture fourragère. Certains ont été mis en place pendant une année et/ou sans répétition afin d'observer d'éventuelles potentialités ou avantages par rapport aux couverts étudiés en répétition. Quelques enseignements sont ainsi intéressants à relever :

- Le ray-grass de Westerwold a montré son potentiel de rendement plus élevé que le RGI. Cependant, il souffre de la même sensibilité au stress hydrique et au manque d'azote. De plus il est à un stade plus avancé dès la 1^{ère} date de coupe (quelques épiaisons visibles) et est bien épié. Il est fortement atteint par la rouille à la 2^{ème} date de récolte ce qui résulte plus d'une sensibilité variétale. Il est bon de rappeler que le RGW est une espèce alternative qui épie dès l'année du semis.
- Bien présent avec le RGI, le trèfle incarnat s'est montré moins productif que le trèfle d'Alexandrie. Toutefois, son bon développement prouve sa capacité à bien résister à l'agressivité du ray-grass ce qui en fait le compagnon idéal en cas de récolte après l'hiver.
- Le mélange RGI + trèfle de Perse est bien proportionné et très couvrant à la 1^{ère} date de coupe mais il n'évolue plus ensuite (récolter avant la floraison du trèfle) et reste en-deçà des autres trèfles testés.

3.1.4 Synthèse Biomasse

Les traitements à base d'avoine de printemps et d'avoine brésilienne permettent d'obtenir les rendements les plus élevés. L'avoine de printemps a cependant deux avantages : production plus régulière car moins sensible au déficit hydrique et précocité permettant une récolte plus hâtive. L'avoine brésilienne, au développement important entre 60 et 90 jours est par contre plus résistante aux maladies foliaires (rouilles). Cela signifie qu'il faut semer tôt cette espèce pour atteindre au moins 90 jours de pousse à la récolte. Le ray-grass d'Italie peut avoir une bonne production si la nutrition azotée est suffisante (fertilisation ou précédent à fort reliquat) et s'il ne subit pas de stress hydrique, fréquent en période estivale et automnale. Au regard de la faible production moyenne, cette espèce est à privilégier en cas de récolte supplémentaire au printemps suivant et/ou s'il y a application d'un fertilisant après culture de céréale. Le mélange à base de seigle présente le rendement moyen le plus bas essentiellement à cause de plusieurs mauvaises levées. Ce mélange est donc à éviter tant que le problème de fiabilité dans le taux de germination n'est pas résolu (possibilité d'obtenir des mélanges certifiés comme en France). Les couverts associant des légumineuses ont toujours un rendement égal ou supérieur à la graminée pure. Cette augmentation de rendement par l'apport des légumineuses est d'autant plus marquée en condition d'azote limitant comme c'est le cas après culture de céréale. Le trèfle d'Alexandrie apporte un gain de production régulier, mais son avantage réside dans la facilité de récolte (port dressé). A l'inverse, le pois fourrager et la vesce ont besoin d'une céréale comme tuteur, ce qui permet un bon développement sans verse. Le pois est constant et améliore le rendement. La vesce donne potentiellement le rendement le plus élevé des légumineuses, mais complique la récolte du mélange.

Tableau 2. Production de biomasse, proportions des espèces et APL des différents couverts implantés après une culture de pois.

Objet	Traitement	Biomasse produite (t MS.ha-1) et erreur type														APL ¹¹					
		Rendement à ± 60 jours						Proportions ¹²		Biomasse finale (± 90jours)						Proportions		(kg N-NO3.ha ⁻¹)			
		Moyenne et erreur type						(%)		Moyenne et erreur type						(%)					
		2010	2011	Moyenne				2009	2010	2011 ^(**)		Moyenne				2009	2010	2011	Moyenne		
1	Sol nu							87									-	87	165 ^d	87 ^d	113
2	RGI	2,7	0,17	2,3	0,10	2,5	0,13	87	0,9 ^a	0,16	3,2 ^b	0,13	3,1	0,22	2,4	0,34	86	20 ^{ab}	6 ^a	11 ^a	12
4	Av BI	3,5	0,20	3,1	0,16	3,3	0,13	82	2 ^{bc}	0,20	4 ^c	0,11	4,6	0,26	3,5	0,35	89	24 ^{ab}	23 ^b	28 ^{ab}	25
6	RGI + TA	2,6	0,13	3	0,25	2,8	0,16	59/41	1,2 ^{ab}	0,20	3 ^b	0,16	4,3	0,23	2,8	0,40	52/45	19 ^{ab}	8 ^a	27 ^{ab}	18
7	Av Br +TA	2,5	0,09	3,1	0,18	2,8	0,15	51/42	1,5 ^{ab}	0,23	4,3 ^b	0,19	4,3	0,37	3,4	0,42	54/41	19 ^{ab}	25 ^b	38 ^{bc}	27
9	SM + VC	1,7	0,16	2,2*	-	1,95	0,16	38/49	1,9 ^{bc}	0,44	2,6 ^a	0,12	3,0*	-	2,5	0,24	39/49	6 ^a	61 ^c	-	34
10	VC	2,2	0,09	2,8	0,03	2,5	0,12	97	3 ^d	0,46	2,9 ^b	0,17	3,9	0,47	3,3	0,25	99	21 ^{ab}	95 ^c	77 ^d	64
11	Av BI + PF	3,5	0,08	3,6	0,16	3,5	0,08	59/39	-		4,4 ^c	0,14	4,4	0,26	4,4	0,14	55/42	-	18 ^b	47 ^{bc}	33
12	M	-	-						-		3,6 ^b	0,4	1,5	0,12	2,2	0,33	100	-	25 ^b	51 ^c	38

(*) Valeur mesurée dans une seule parcelle, sans répétition

(**) Rendements non significatifs en 2011

¹¹ Statistique : (facteur fixe : espèce, facteur aléatoire : bloc) ; comparaison de moyenne (p<0.05), les valeurs n'ayant pas de lettre commune sont significativement différentes ; En 2009, le témoin sol nu n'a pas été repris dans le traitement statistique (sinon il n'y a que 2 groupes homogènes, le témoin d'un côté et les couverts de l'autre)

¹² Proportion moyenne de la biomasse (2010-2011) estimée par la méthode du G% ; en cas de mélange le premier chiffre donne la proportion de la première espèce, le second chiffre, la 2^{ème} espèce ; le solde pour atteindre 100% correspond à la proportion d'adventices dans l'échantillon.

Tableau 3. Production de biomasse, proportions et APL des espèces des différents couverts implantés après une culture d'escourgeon.

Objet	Traitement	Rendement à ± 60 j (t MS.ha-1)						Proportions (%)	Biomasse finale à ± 100 j (t MS.ha-1)						APL ¹³ (kg N-NO3.ha-1)			
		Moyenne et erreur type							Moyenne et erreur type						2011	2012	Moyenne	
		2011	2012	Moyenne		2011	2012		Moyenne									
1	Sol nu													33 ^b	66 ^b	50		
2	RGI	0,8	0,10	0,9	0,11	0,9	0,07	98	0,9^a	0,14	1^a	0,28	1	0,15	98	3 ^a	3 ^a	3
4	Av Bl	1,8	0,06	2,6	0,22	2,2	0,17	100	2,0^b	0,13	2,5^b	0,13	2,3	0,13	100	5	5 ^a	5
5	RGI + TI	0,9	0,08	-		0,9	0,08	74/23	1,4^{ab}	0,11	-		1,4	0,11	74/26	-	-	-
6	RGI + TA	1,6	0,04	1,9	0,19	1,7	0,10	45/53	3,1^{cd}	0,20	2,4^b	0,22	2,8	0,19	25/76	4 ^a	3 ^a	3
7	Av Br + TA	2,1	0,10	2,1	0,35	2,1	0,17	39/60	3,4^d	0,12	2,7^b	0,29	3,1	0,20	63/37	6 ^a	7 ^a	7
8	Av Br + VC	2,2	0,24	-		2,2	0,24	58/41	5,0^e	0,58	-		5	0,58	43/57	7 ^a	-	7
9	SM + VC	0,6*		0,8	0,27	0,8	0,27	46/54	-		1,3^a	0,27	1,3	0,27	16/84	-	7 ^a	7
10	VC	1,9	0,09	2,8	0,17	2,4	0,20	99	2,3^{bc}	0,21	2,4^b	0,20	2,3	0,14	100	36 ^b	15 ^a	25
11	Av Bl + PF	2,5*		3,3	0,22	3,1	0,22	48/52	-		3,7^c	0,34	3,7	0,34	43/57	-	8 ^a	8
12	M	-		-		-		-	-		2,7^b	0,22	2,7	0,22	-	11	5 ^a	8
13	Av Bl + VC	2,2	0,10	2,9	0,20	2,5	0,16	62/38	3,3^d	0,31	3,8^c	0,21	3,6	0,20	46/54	-	7 ^a	7
14	Av Br	1,6	0,06	-		1,6	0,06	96	3,4^d	0,27	-		3,4	0,27	100	3 ^a	-	3
15	TA	2,1	0,11	3	0,21	2,5	0,21	94	2,7^{cd}	0,12	-		2,7	0,12	100	57	-	57
16	RGI + TP	0,8	0,09	-		0,8	0,09	82/15	1,3^{ab}	0,19	-		1,3	0,19	54/45	-	-	-
17	Av Bl + RGI	1,5*		1,9	0,08	1,7	0,08	90/10	-		-		-		85/15	5	-	5
18	Rep	-		-		-		-	-		-		-		-	6	7 ^a	6
19	Chaume Nu	-		-		-		-	-		-		-		-	40	45 ^b	43

(*) Valeur mesurée dans une seule parcelle, sans répétition.

¹³ Statistique : (facteur fixe : espèce, facteur aléatoire : bloc) ; comparaison de moyenne (p<0.05), les valeurs n'ayant pas de lettre commune sont significativement différentes.

3.2 Composition botanique à la récolte

Les proportions des espèces semées et mesurées dans le couvert récolté après pois indiquent la capacité de ces espèces à concurrencer les adventices et leur comportement par rapport à l'espèce associée dans le cas des mélanges. On constate ainsi que la vesce, l'avoine de printemps et, dans une moindre mesure, le ray-grass d'Italie présentent une bonne concurrence vis-à-vis des adventices, . Signalons que les proportions de 2009 ne sont pas utilisées dans le Tableau 2 car la sécheresse a fortement favorisé les adventices, principalement au détriment des couverts comprenant du ray-grass et de l'avoine brésilienne. Les associations avec légumineuses sont assez bien équilibrées. On notera juste une tendance de la vesce commune à dominer le couvert après 3 mois de croissance.

A la lecture du Tableau 2 et des observations réalisées en cours de saison, plusieurs commentaires peuvent encore être exposés :

- Après une levée et une installation rapides des deux espèces, le mélange ray-grass d'Italie + trèfle d'Alexandrie couvre rapidement le sol laissant peu d'espace pour le développement des adventices. Seuls quelques adventices arrivent à percer le couvert bien dense. Visuellement, le couvert semble bien proportionné en début de croissance car le trèfle d'Alexandrie offre l'avantage de prendre rapidement de la hauteur, ce qui lui permet de ne pas être étouffé par le ray-grass. L'évolution des proportions respectives ont été différentes d'une année sur l'autre en fonction de conditions climatiques favorables à l'une ou l'autre espèce.
- On observe le même comportement du trèfle avec l'avoine brésilienne, mais le couvert est toutefois mieux proportionné qu'avec le RGI en 1^{ère} date. Le développement plus lent de la céréale avec un port plus dressé exerce moins de pression sur le trèfle mais également sur les plantes adventices qui sont relativement présentes. En 2^{ème} date, le couvert se referme avec le développement de l'avoine et devient de plus en plus compétitif vis-à-vis des adventices. Quant au trèfle, il est toujours bien présent en sous-étage.
- Le couvert du mélange avoine-pois est très régulier et le pois est bien réparti. Le couvert est assez dense mais aéré en sous-étage. En seconde partie de saison, la biomasse du pois est plus conséquente (augmentation de 10% à 20% en fonction des années).
- La levée du seigle multicaule est lente et, certaines années, aléatoire. Le mélange est peu couvrant avec la vesce en début de culture ce qui le rend sensible à l'envahissement par les adventices. La fermeture progressive du couvert par la vesce et le tallage important du seigle peut, certaines années, compenser cette faiblesse.

3.3 Valeur fourragère

La qualité fourragère des couverts est dans l'ensemble intéressante au regard des paramètres mesurés par spectrométrie (Tableau 4).

Tableau 4. Valeurs moyennes sur 3 années de paramètres de qualité fourragère des couverts 90 jours après le semis mesurés par spectrométrie dans le proche infrarouge (précédent pois de conserved).

	MAT g.kg ⁻¹ MS	VEM.kg ⁻¹ MS	Digestibilité %	DVE g.kg ⁻¹ MS	OEB g.kg ⁻¹ MS
Avoine brésilienne + Trèfle d'Alexandrie	162	836	66	64	40
Avoine de printemps + Pois fourrager	154	799	63	59	37
Avoine de printemps	121	755	58	51	10
Ray-grass d'Italie	167	945	81	76	36
Ray-grass d'Italie + Trèfle d'Alexandrie	185	950	79	78	52
Seigle multicaule + Vesce commune	223	974	79	81	90
Vesce commune	212	921	73	75	84

- Le ray-grass d'Italie purement feuillu (espèce non alternative) fournit un fourrage d'excellente qualité, bien équilibré en protéines et en énergie.
- Récolté au stade épiaison, l'avoine de printemps procure un fourrage de qualité assez faible en protéines, moyenne en énergie et moins digeste que les ray-grass vu son stade plus avancé. L'apport du pois fourrager améliore la qualité du fourrage par rapport à la céréale pure.
- Ce constat est également valable pour le mélange d'avoine brésilienne avec du trèfle d'Alexandrie, la légumineuse permettant d'obtenir une teneur plus élevée en protéines et en énergie. Comme pour l'avoine de printemps, la digestibilité est moins bonne que le ray-grass.
- La vesce est intéressante à associer avec une céréale car elle est très riche en protéines, mais elle ne doit pas être trop importante dans la biomasse ni récoltée trop jeune au risque d'avoir un excès d'azote dans le fourrage (OEB élevé). C'est notamment le cas avec le seigle multicaule où la vesce constitue la majorité de la biomasse (plus de 60%).

L'association de légumineuses avec les graminées cumule les avantages de l'amélioration qualitative et du rendement élevé. Les Figure 8 et Figure 9 présentent les quantités d'énergie et de matière azotée produites par hectare de culture intermédiaire. Les associations y occupent les premières places.

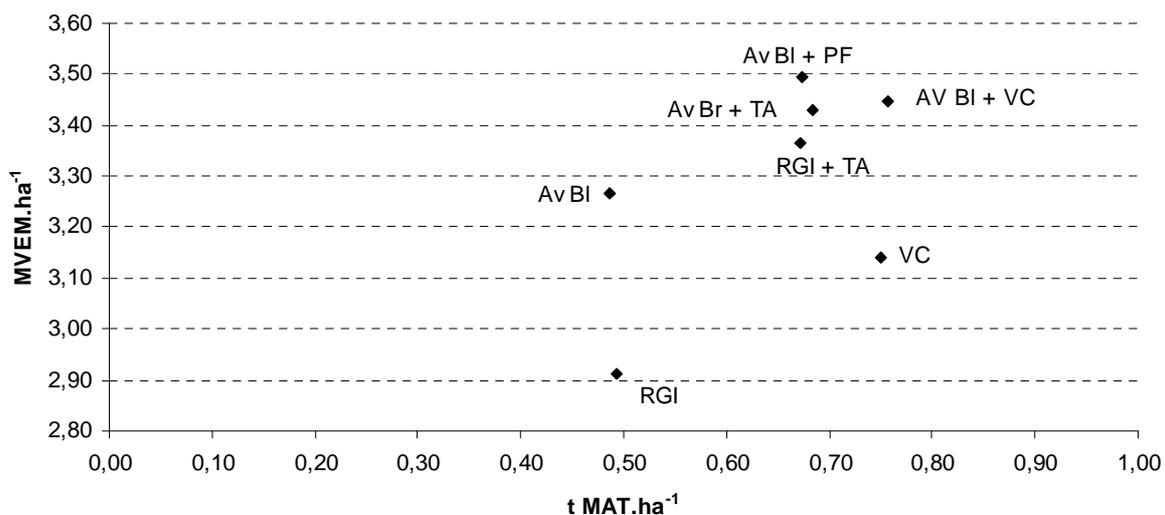


Figure 8. Production moyenne par hectare pour 2010 et 2011 d'énergie (VEM) et de protéines (MAT) des cultures intermédiaires implantées après pois.

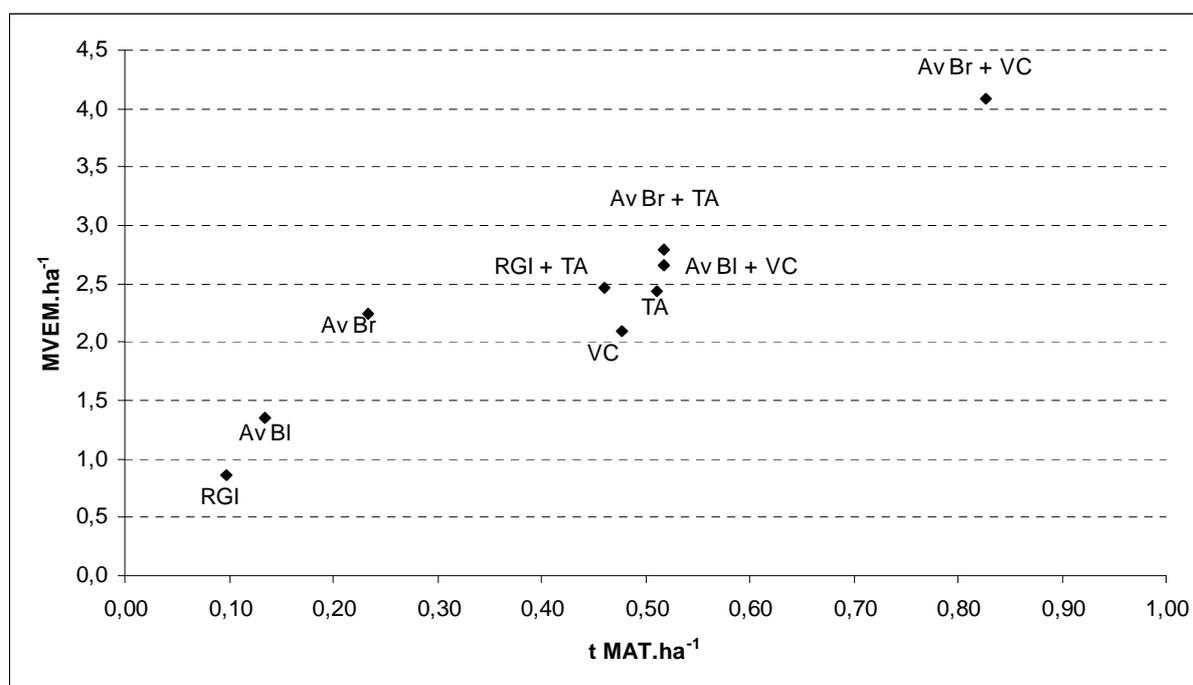


Figure 9. Production d'énergie (VEM) et de protéines (MAT) par hectare des cultures intermédiaires implantées après escourgeon en 2011.

3.4 Effet piège à nitrate

Le prélèvement d'azote est déterminé par comparaison de profil d'azote potentiellement lessivable (APL) des traitements par rapport au témoin (sol nu). On mesure ainsi l'effet piège à nitrate en observant la quantité d'azote nitrique disparue du profil par méthode indirecte (Destain et al, 2010). La minéralisation nette moyenne mesurée sur le traitement sol nu après pois est de $55 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, passant de $58 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (post-culture) à $113 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (APL).

En 2010, suite à la forte minéralisation estivale et automnale due aux conditions anormalement pluvieuses, 77% de l'azote nitrique du profil APL sous sol nu se situaient sous les 30 premiers centimètres (Figure 10), ce qui montre que le processus de lixiviation était déjà entamé avant l'hiver.

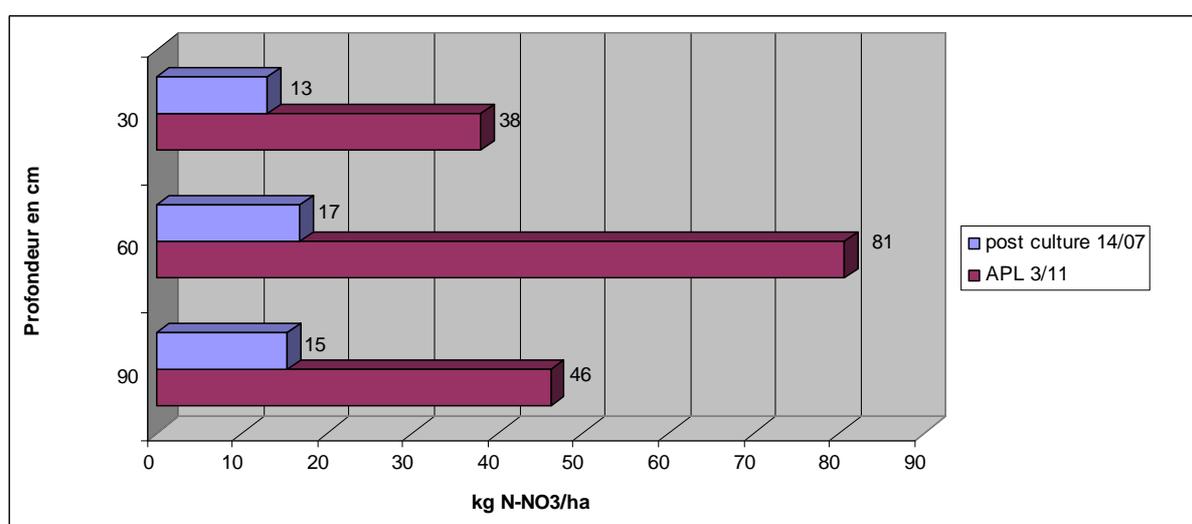


Figure 10. Reliquat azoté en post culture et APL du témoin sol nu après pois en 2010.

Les valeurs d'APL mesurées chaque année après pois sont classées comme conformes sauf en 2010, valeur la plus élevée mesurée sur le témoin sol nu, $165 \text{ kg N-NO}_3 \cdot \text{ha}^{-1}$ est classée non conforme, avec pourtant un seuil de conformité élevé pour cette classe ($120 \text{ kg N-NO}_3 \cdot \text{ha}^{-1}$ à cette date). En 2009, le témoin se situe au niveau de la médiane et en 2011 au niveau du centile 75.

La quantité d'azote minéral disponible importante après culture de pois de conserverie permet de mettre en évidence d'éventuelles différences de potentiel piège à nitrate des cultures intermédiaires testées (Figure 11). L'APL mesuré permet de mettre en évidence des différences significatives entre le témoin sol nu et plusieurs groupes homogènes de couverts (Tableau 2).

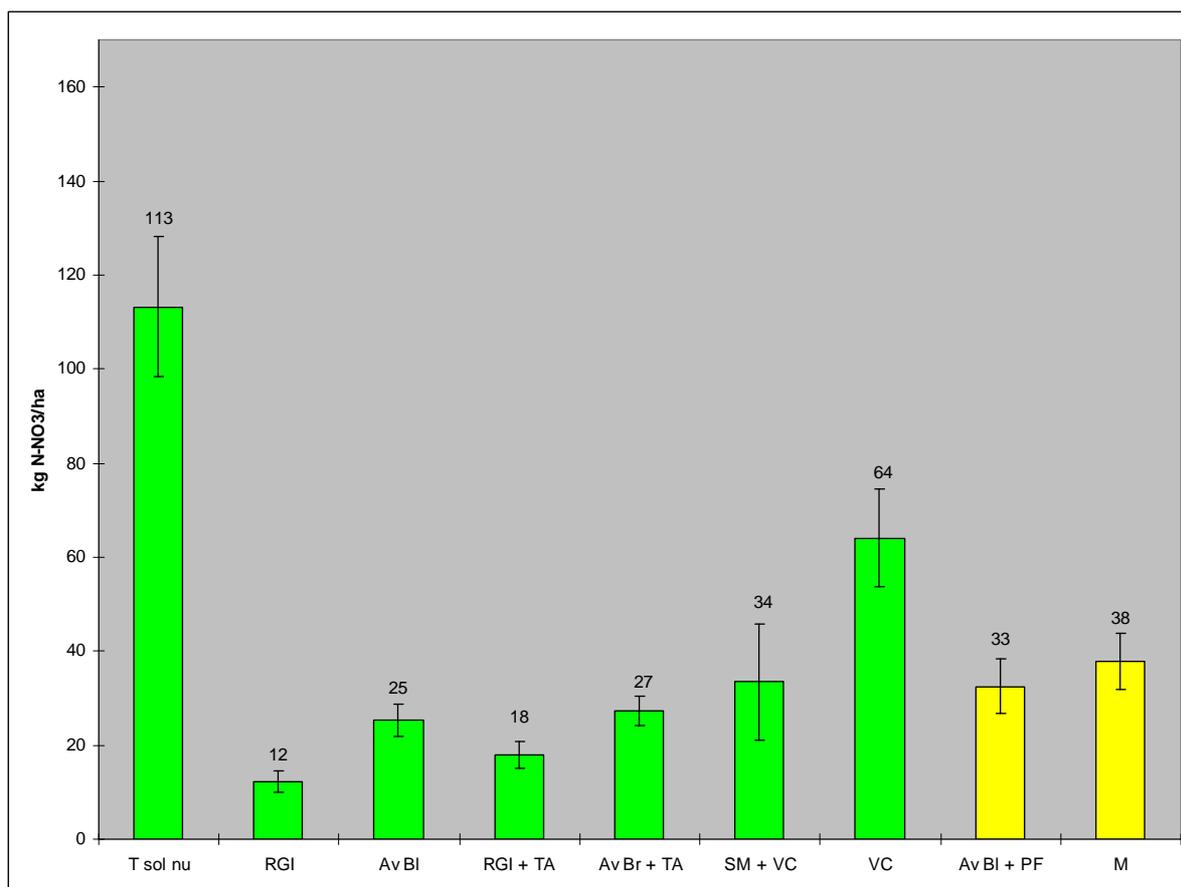


Figure 11. APL moyen (avec erreur type) des traitements implantés après pois de 2009 à 2011 (excepté pour Av BI+ PF et M : moyenne des années 2010 et 2011).

- Le ray-grass d'Italie par son implantation rapide et son potentiel d'absorption d'azote important concourt à un APL constamment très faible.
- L'avoine de printemps se développe rapidement et couvre le sol de manière homogène. L'APL est toujours parmi les plus faibles mesurés.
- L'avoine brésilienne, bien qu'associée à une légumineuse et plus tardive dans le développement de la biomasse, a également montré une bonne capacité de piège à nitrate.
- La vesce commune a un APL significativement supérieur aux autres traitements en 2010 et 2011. En 2011, il n'y a pas de différence significative entre la vesce et le témoin ! Cela montre la limite de prélèvement de l'azote du sol par la légumineuse en présence d'une quantité importante d'azote minéral disponible : de l'ordre de 50 kg N-NO₃/ha, ce qui confirme la moindre performance en tant que piège à nitrate (Destain et al, 2010).
- le mélange seigle multicaule + vesce commune donne un APL moyen correct, avec toutefois une erreur standard assez élevée. L'explication est la compensation par la vesce lorsque le seigle a souffert d'un faible taux de levée. Dans ce cas, l'APL se rapproche de celui de la vesce pure.
- Le mélange avoine de printemps + pois a donné de bons APL, même lorsque la minéralisation a été forte (pas de différence significative avec l'avoine pure en 2010). Même constat pour le mélange RGI + TA.
- La moutarde, implantée en témoin non fourrager à la fin août en 2010 et 2011 montre que l'effet piège à nitrate est présent lorsque le semis est réalisé suffisamment tôt pour que la croissance du couvert épuise le profil en azote minéral.

Après culture d'escourgeon, le reliquat azoté est logiquement plus faible et la minéralisation moindre que dans le cas d'un précédent légumineuse. On obtient ainsi des APL de l'ordre de 50 kg N-NO₃.ha⁻¹ en sol nu (Tableau 3). Ces valeurs sont conformes avec celles attendues pour une parcelle classée céréale sans CIPAN. En 2011, le témoin est sous le niveau de la médiane (bon) et en 2012, il est classé satisfaisant.

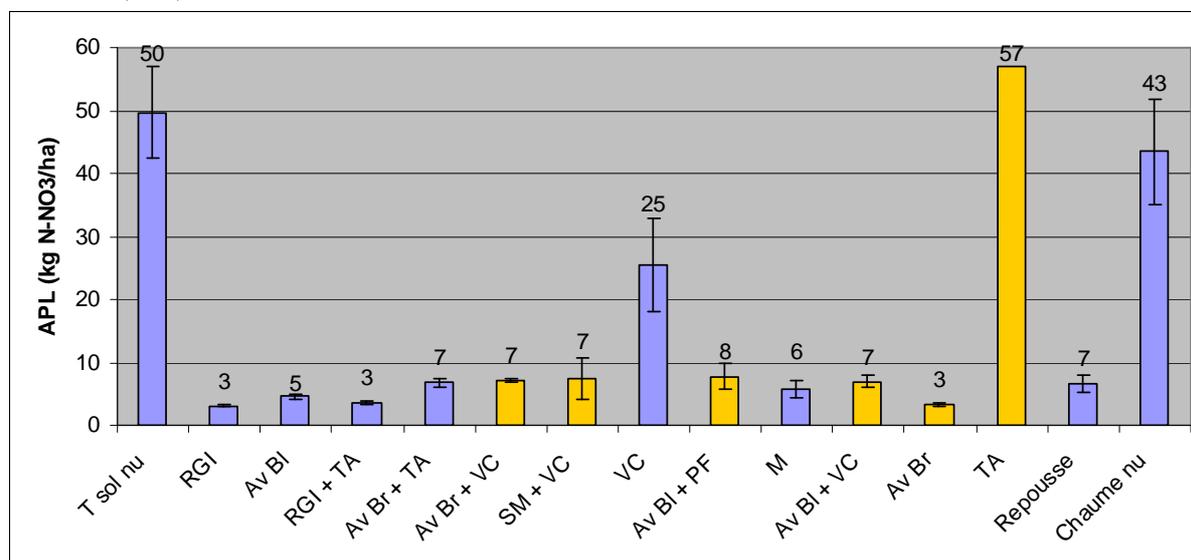


Figure 12. APL (moyenne et erreur type) des couverts implantés après escourgeon en 2011 et 2012; les bâtonnets jaunes indiquent les traitements ne comprenant qu'une seule année de mesure.

La comparaison des moyennes (Figure 12) et le traitement statistique des résultats permettent de tirer des enseignements de ces deux années d'expérimentation :

- Les valeurs les plus élevées correspondent aux couverts de culture pure de légumineuse. En 2011, il n'y a pas de différence significative entre la vesce et le témoin sol nu. Le trèfle d'Alexandrie est même largement supérieur à celui-ci¹⁴. Cela signifie que dans le cas d'une faible disponibilité en azote minéral dans le sol, les légumineuses pures peuvent contribuer à enrichir le profil en celui-ci.
- En 2012, les tendances et les niveaux d'APL sont du même ordre. On signalera que la vesce est d'un niveau plus faible qu'en 2011. Toutefois, si on élimine les sols nus (objets 1 et 19) du traitement statistique, il y a 2 groupes homogènes, la vesce pure d'un côté et les autres couverts de l'autre.
- Il n'y a pas de différence significative entre les traitements graminée pure et l'association correspondante avec une légumineuse.
- Les repousses d'escourgeon ont un effet piège à nitrate comparable aux couverts semés.
- Les témoins sol nu travaillé ou non travaillé ont un APL élevé, non significativement différent en 2012.

Au vu de ces résultats, on peut donc dire que la présence de légumineuses, pois fourrager, trèfle d'Alexandrie ou vesce commune, en mélange avec les graminées (ray-grass d'Italie, avoine brésilienne et avoine de printemps), n'influence pas l'APL de manière significative par rapport à la graminée pure, ce qui confirme les expériences antérieures (De Toffoli et al, 2010a).

¹⁴ Le trèfle d'Alexandrie ainsi que les objets 4, 18 et 19 ne sont pas repris dans le traitement statistique car, pour augmenter le nombre de mesures d'APL sans dépasser le budget qui ne comprenait pas initialement cette parcelle expérimentale, ces traitements ont été mesurés via un échantillon composite.

4 Conclusions et recommandations

La biomasse produite par les cultures intermédiaires permet d'obtenir dans la majorité des cas un rendement suffisant pour être récolté en tant que fourrage. Le semis réalisé au mois de juillet permet d'atteindre le stade optimum pour la récolte en fin d'été début d'automne quand les conditions sont encore favorables. Rappelons cependant, qu'une implantation tardive, que l'on peut définir comme postérieure à la première décennie du mois d'août, diminue la possibilité d'atteindre la somme de températures nécessaire à l'obtention d'une biomasse suffisante. En effet, l'étude de modèle de croissance (Laurent *et al.*, 1995) montre la relation entre la biomasse produite par les cultures intermédiaires et la somme de températures nécessaire pour différentes espèces. En Wallonie, les possibilités de développement des CIPAN dépendent donc de la date d'implantation par espèce et également par région agricole (De Toffoli *et al.*, 2011).

En cas de pluies régulières (résultats 2011), la plupart des couverts testés permettent d'atteindre un rendement supérieur à 3 t MS/ha. Cependant, la variabilité interannuelle est importante, surtout pour les espèces sensibles au déficit hydrique (ray-grass d'Italie).

L'association de légumineuses à une graminée plus résistante au stress hydrique estival (*Avena sp.*) permet de maintenir un niveau de production suffisant moins dépendant des conditions climatiques et des ressources azotées (précédent céréale).

Les proportions des mélanges avec légumineuses ont donné satisfaction sur les résultats qualitatifs (augmentation des matières azotées), agronomiques - bonne proportion dans la couverture de sol sans entraîner ni verse ni étouffement de la graminée - et environnementaux par l'absence d'augmentation significative de l'APL.

La qualité fourragère des couverts implantés après pois montre des valeurs intéressantes pour les paramètres énergétiques et protéiques. L'expression en productivité à l'hectare permet de mettre en évidence les meilleures performances des mélanges associant graminées et légumineuses. Logiquement ce constat est plus marqué encore après culture de céréales où le déficit de nutrition azotée rend les couverts à base de légumineuses plus performants à la fois en termes de rendement et de qualité fourragère.

Le prélèvement d'azote de chaque couvert établi par rapport à un témoin sol nu démontre une efficacité piège à nitrate importante des traitements comprenant des graminées seules ou en mélange et une efficacité moyenne pour la légumineuse pure due aux propriétés de fixation symbiotique des légumineuses. Ce constat corrobore les conclusions d'autres études intégrant des graminées et légumineuses en culture intermédiaire (De Toffoli *et al.*, 2010a ; Destain *et al.*, 2010).

Sur base de ces expérimentations réalisées durant quatre années, on peut donc envisager d'étendre l'autorisation des mélanges, comprenant maximum 50% de légumineuses, lorsqu'un engrais de ferme a été appliqué. Si l'engrais de ferme est à action rapide, une condition supplémentaire quant à la date de semis, avant le 20 août, est nécessaire pour permettre une durée de prélèvement suffisante de la culture intermédiaire.

Les mesures d'APL effectuées sur des parcelles après récolte du couvert montrent que le risque d'augmentation du reliquat est assez faible (De Toffoli *et al.*, 2010b). Cependant dans le cas d'un couvert d'avoine récolté pour la production de fourrage, il est recommandé que du ray-grass soit ajouté au mélange (~15kg/ha) afin de garantir une repousse du couvert après récolte. En effet, d'un point de vue réglementaire, la récolte d'une culture intermédiaire pour produire du fourrage ne peut pas conduire à une destruction du couvert. Certaines régions voisines ont fait le choix de séparer les cultures intermédiaires piège à nitrate des cultures dérobées pour la production de fourrage. Ce faisant elles permettent d'autres pratiques sur ces dernières. Ce n'est pas l'option retenue en Wallonie, même si cette vision dichotomique

présente certains avantages. En effet une déclaration préalable au semis de la culture dérobée permet à l'agriculteur de ne pas se soumettre à des contraintes d'ordre réglementaire et donne plus de latitude quant à la gestion et à l'exploitation du couvert. Malgré cela, il nous semble plus opportun de concilier les différents objectifs dans le respect du PGDA pour éviter les démarches administratives supplémentaires, garder comme prioritaire l'objectif d'un APL réduit et permettre via des modifications de la législation telles que proposées plus haut, une gestion adaptée à la production d'un fourrage d'appoint.

5 Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier tout particulièrement Messieurs M. Pierard (agriculteur chez lequel les expérimentations ont été menées), E. Vermeiren, P. Brohez et J.-M. Lauvaux dont la participation aura été déterminante dans la réussite de cette étude.

6 Bibliographie

Besnard A., Le Gall A., 2000. Les cultures fourragères intermédiaires : pièges à nitrates et fourrages d'appoint ? *Fourrages* **163**, 293 – 306.

Destain JP., Reuter V. Goffart J.-P., 2010. Les cultures intermédiaires pièges à nitrate (CIPAN) et engrais vert : protection de l'environnement et intérêt agronomique. In : Vandenberghe C., Marcoen, J.M. *Atelier Nitrate-Eau. Evaluation du programme de gestion durable de l'azote. Biotechnologie, Agronomie, Société, Environnement*, vol.14, 73-78.

De Toffoli M., Bontemps PY., Lambert R., 2010a. Synthèse de résultats d'essais de cultures intermédiaires pièges à nitrate à l'Université catholique de Louvain. Idem Atelier Nitrate-Eau. Evaluation du programme de gestion durable de l'azote. Biotechnologie, Agronomie, Société, Environnement, vol.14, 79-89.

De Toffoli M., Dumas J., Lambert R., 2011. Intérêts et limites des cultures intermédiaires pièges à nitrate en fonction du climat. In Vandenberghe C., De Toffoli M., Deneufbourg M., Imbrecht O., Marcoen J.M., Lambert R. *Programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne – Rapport d'activités annuel intermédiaire 2011 des membres scientifiques de la Structure d'encadrement Nitrawal*. Université de Liège Gembloux Agro-Bio Tech et Université catholique de Louvain, 54p + annexes

De Toffoli M., Imbrecht O. et Decamps C., 2010b. Cultures intermédiaires piège à nitrate : Intérêt fourrager des graminées et légumineuses et comparaison de techniques de semis de la moutarde blanche, résultats des expérimentations 2010. In Lambert R. , Marcoen J.M. , De Toffoli M., Vandenberghe C., Imbrecht O., Benoit J., Deneufbourg M., 2010. *Programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne – Rapport d'activités annuel intermédiaire 2010 des membres scientifiques de la Structure d'encadrement Nitrawal*. Université de Liège Gembloux Agro-Bio Tech et Université catholique de Louvain, 62p + annexes

Laurent F., Machet J.M., Pellot P., Trochard R., 1995. Cultures intermédiaires pièges à nitrates : comparaison des espèces. *Perspectives Agricoles*, **206**, Azote et interculture, XXXVIII - XLIX.