

Impact des pratiques de fertilisation sur la productivité et la qualité des prairies et des mélanges céréales - protéagineux

P.-V. Protin¹, G. Hellou², R. Trochard¹

1 : Arvalis-Institut du Végétal, La Jaillière, F-44370 La Chapelle-Saint-Sauveur ;
pv.protin@arvalisinstitutduvegetal.fr ; r.trochard@arvalisinstitutduvegetal.fr

2 : Ecole Supérieure d'Agriculture (ESA), Laboratoire d'Ecophysiologie Végétale et Agroécologie, BP 30748,
55 rue Rabelais, F-49007 Angers cedex 01 ; g.hellou@groupe-esa.com

Résumé

Dans la recherche de systèmes à hautes performances économiques et environnementales, l'optimisation des moyens de production constitue un levier stratégique. Parmi ces moyens, le raisonnement de la fertilisation azotée des prairies ou l'utilisation de fourrages innovants intégrant des légumineuses annuelles en association avec des céréales sont des axes de recherche prioritaires. Au niveau de la fertilisation azotée des prairies, il s'agit de valoriser au maximum les produits résiduels organiques (PRO) issus des élevages en précisant leur efficacité en termes de contribution à l'alimentation azotée des plantes. Des essais de longue durée conduits par Arvalis-Institut du végétal en collaboration avec l'OIER des Bordes montrent que les coefficients apparents d'utilisation (CAU) des PRO apportés sur prairies sont très dépendants de la proportion d'azote minéral contenu dans le PRO : assez faibles pour les fumiers et composts à moyens pour les lisiers. Enfin, ces essais confirment le faible effet des apports organiques au-delà du cycle ayant reçu l'apport. La fertilisation minérale a pour objet de compléter l'offre d'azote du sol, des légumineuses et des PRO pour atteindre des objectifs quantitatifs et qualitatifs assignés aux prairies. Des essais réalisés en 2008 sur graminées fauchées ont confirmé d'abord l'intérêt de réaliser le premier apport d'azote assez tôt en sortie d'hiver (200°C cumulés après le 1^{er} janvier de l'année, base 0°C). Ils ont permis, en outre, de préciser l'importance de la fertilisation azotée selon le mode de récolte envisagé (ensilage ou foin) et d'évaluer l'intérêt d'apports d'azote tardifs ou du fractionnement sur le niveau de production et sur sa qualité. Enfin, la performance de fourrages innovants associant céréales et légumineuses est illustrée par une série d'essais où de nombreux mélanges sont testés. La part de chaque espèce dans ces mélanges est un facteur important de réussite, mais est très largement conditionnée par la disponibilité de l'azote.

La production de fourrages de qualité, qui répondent au besoin des élevages à hautes performances économiques et environnementales, nécessite une bonne maîtrise des techniques culturales. Les enjeux sont importants, les prairies, à titre d'exemple, représentent de l'ordre de 60% de la SAU des exploitations françaises en polyculture - élevage (SCEES, 2006). Cet article fait le point sur quelques aspects agronomiques concernant la fertilisation azotée des prairies de graminées destinées à la fauche afin d'optimiser leur production et leur qualité. Par ailleurs, l'intérêt de certaines pratiques innovantes sera présenté. Ces pratiques intègrent des légumineuses annuelles en association avec des céréales pour diversifier et sécuriser les systèmes fourragers tout en conciliant production, qualité et réduction des intrants. Pour ces deux types de couvert, le rôle clé de la gestion de la fertilisation azotée sera présenté.

1. Fertilisation azotée minérale et organique des prairies : quelles pratiques pour assurer la production et la qualité des fourrages ?

1.1. Les pratiques de fertilisation minérale : quelles marges de progrès ?

L'azote est un élément majeur pour la croissance des feuilles et des tiges des espèces prairiales. La fertilisation azotée permet ainsi de gérer la production d'herbe et d'adapter l'offre aux besoins des animaux. Elle permet en effet de moduler la quantité de biomasse récoltable à une date donnée ou de modifier la date de récolte d'une quantité d'herbe donnée.

La qualité de l'herbe est aussi influencée par la fertilisation azotée. La teneur en azote des plantes tend à diminuer au cours de chaque cycle de croissance, notamment après l'épiaison. Mais elle est fortement liée à leur état de nutrition azotée, qui dépend principalement de la disponibilité de l'azote dans le sol, et par conséquent du niveau de fertilisation azotée. La digestibilité de la matière organique (DMO) diminue également au cours du cycle de croissance, mais elle est peu influencée par la fertilisation azotée.

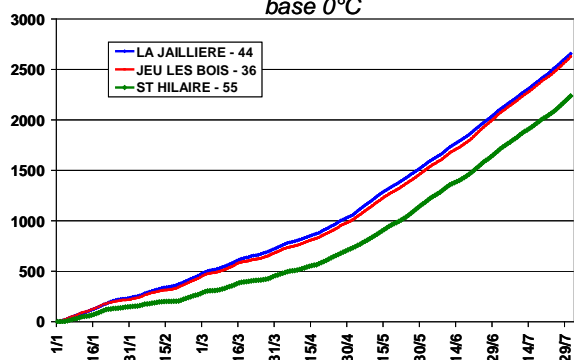
Outre la dose d'azote apportée, les modalités de l'apport peuvent-elles également influencer la quantité et la qualité de l'herbe ensilée ou fanée ?

Le coût élevé des engrais azotés en 2008 a conduit Arvalis - Institut du Végétal à réaliser des essais sur la fertilisation azotée des prairies fauchées dans 3 sites (Tableau 1), afin d'analyser l'effet de doses croissantes d'azote et de leur mode d'apport sur la production et la qualité de l'herbe du premier cycle (ensilée ou fanée). Cette étude ne remet évidemment pas en cause la contribution des légumineuses dans l'alimentation azotée des prairies qui a été mise en évidence par de très nombreux travaux intégrés par les éleveurs depuis de nombreuses années.

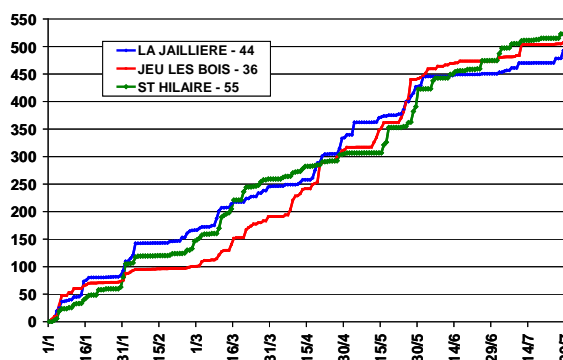
TABLEAU 1 – Caractéristiques des 3 sites supports de l'expérimentation sur la fertilisation azotée des prairies de fauche réalisées en 2008.

site	La Jaillière	Jeu les Bois	Saint Hilaire en Woèvre
département	Loire Atlantique - 44	Indre - 36	Meuse - 55
altitude	70 m	185 m	209 m
texture	limon	sable limono-argileux	argileux
climat	océanique doux	semi-continentale	continentale
espèce	dactyle	fétuque élevée	prairie permanente
stade d'exploitation	ensilage foin repousses ensilage	ensilage foin repousses ensilage repousses foin	ensilage foin repousses ensilage repousses foin

cumuls de températures
depuis le 01/01/2008
base 0°C



cumuls de pluie
depuis le 01/01/2008



- Dose d'azote nécessaire

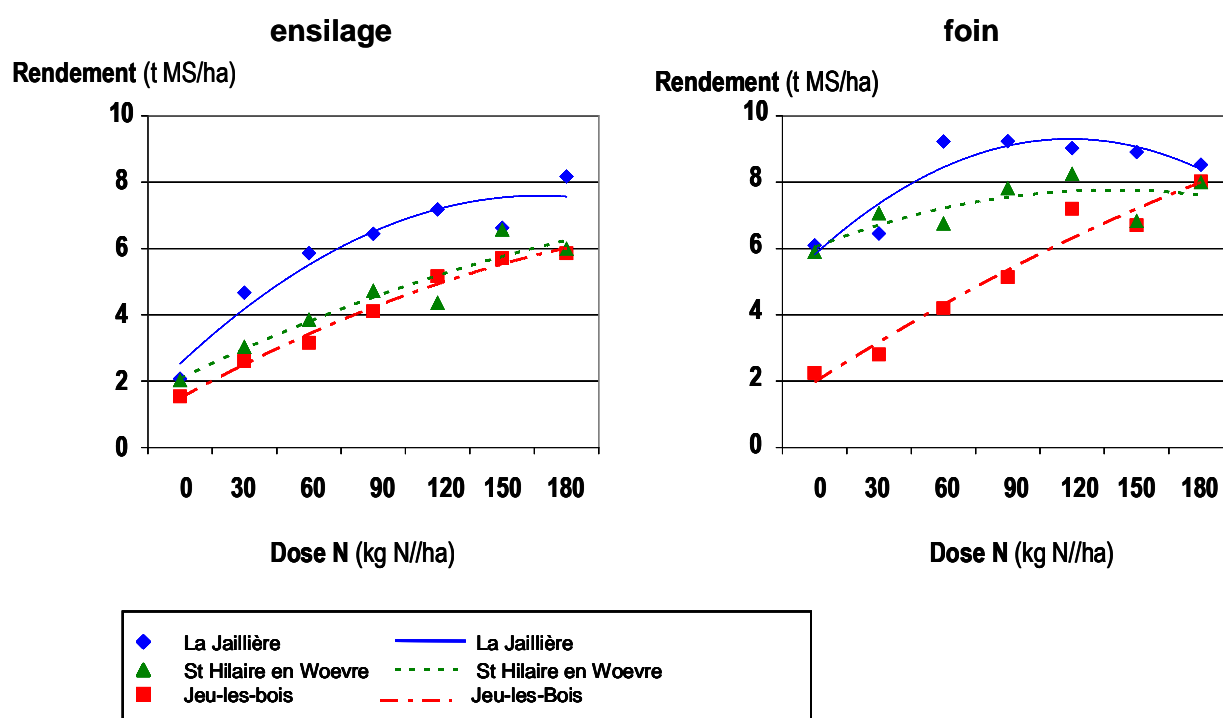
La dose d'azote nécessaire pour une prairie dont les fonctions ont été définies peut être appréhendé par un bilan d'azote, dont des éléments de paramétrage ont été proposés pour plusieurs régions en France. L'explication détaillée de cette méthode n'est pas l'objet de cet article, mais rappelons-en toutefois les grands principes. Pour définir la dose d'azote optimale, il s'agit d'équilibrer les besoins en azote des plantes, fonction de la quantité d'herbe souhaitée et du mode de récolte envisagé, par l'ensemble des fournitures d'azote (FARRUGGIA *et al.*, 2000). Celles-ci intègrent la minéralisation de l'azote organique du sol, l'azote fourni par les produits résiduaux organiques, les restitutions d'azote pendant le pâturage, la contribution de la fixation symbiotique lorsque des légumineuses sont présentes et l'azote des engrais qui constitue le complément nécessaire pour équilibrer le bilan.

Les résultats d'enquêtes sur les pratiques culturales montrent que les prairies, en France, reçoivent en moyenne une dose d'azote de 90 kg N/ha par an pour un rendement moyen de 7,5 t MS/ha par an, toutes prairies et tous modes d'exploitation confondus (SCEES, 2006). La forme minérale représente environ 55 kg N/ha par an et la fumure organique 35 kg N/ha par an. Ces pratiques répondent-elles aux objectifs de production et de qualité fixés ?

L'expérimentation réalisée en 2008 avait pour objectif de valider la dose d'azote optimale à apporter sur prairie de fauche et de la comparer aux pratiques de fertilisation des éleveurs. Sur les 3 sites d'essai, une courbe de réponse à l'azote pour un 1^{er} cycle fauché en ensilage a été réalisée et l'intérêt du fractionnement sur la production et la qualité de cette récolte a été étudié. Le positionnement du 1^{er} apport a également fait l'objet d'une étude, par une application d'ammonitrate à des dates intermédiaires (Tableau 1) pour une récolte au stade ensilage, et à une date plus tardive (fin avril) pour les foins.

Dans ces expérimentations, la dose d'azote nécessaire pour atteindre la production maximale d'herbe ensilée dépassait 120 kg N/ha (Figure 1). A l'inverse, la dose d'azote nécessaire pour atteindre la production maximale d'herbe récoltée à la date habituelle de fenaison ne dépassait pas 120 kg N/ha. Mais pour ce dernier type d'exploitation, doit-on rechercher la production maximale ? En 2008, elle atteignait 7 à 9 t MS/ha selon les lieux. La fenaison, dont la date est plus souvent imposée par les conditions climatiques que par la recherche d'une qualité donnée du fourrage, est difficilement concevable pour de telles masses d'herbe à sécher.

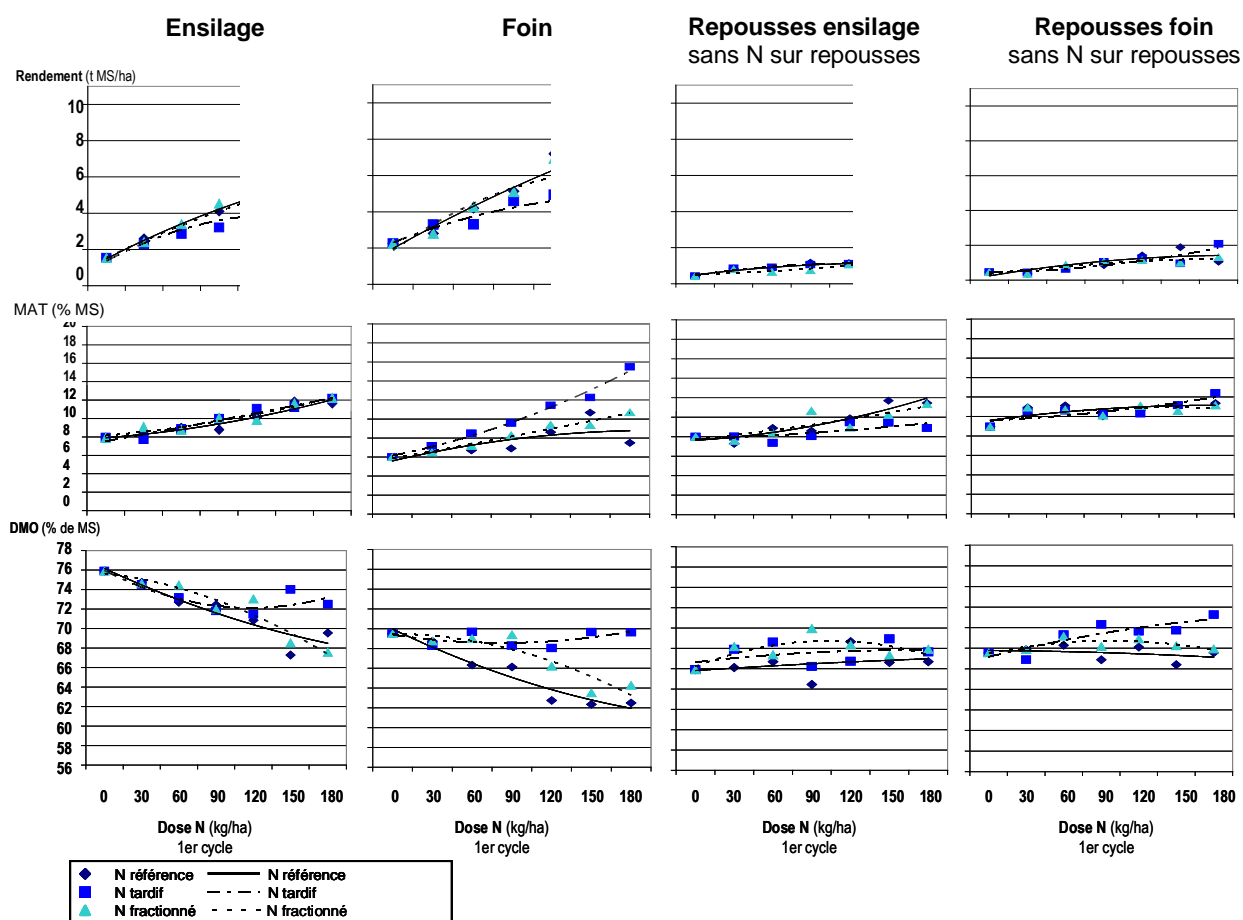
FIGURE 1 – Effet d'une dose croissante d'azote de 0 à 180 kg N/ha sur la production d'herbe récoltée au stade ensilage ou foin sur les 3 sites (La Jaillière, Jeu-les-Bois et Saint-Hilaire-en-Woëvre).



Dans les 3 sites, le sol a fourni peu d'azote jusqu'à la récolte en ensilage, puisque l'herbe récoltée sur les parcelles non fertilisées ne contenait que 19 à 37 kg N/ha, ne permettant qu'une production faible comprise entre 1,5 et 2 t MS/ha (Figure 1). Ces faibles fournitures d'azote par le sol, associées à une faible utilisation de l'azote de l'engrais (CAU de 55 à 58% selon les lieux), expliquent le niveau élevé de fertilisation nécessaire pour récolter un maximum d'herbe en 2008, au stade ensilage. A l'inverse, à La Jaillière et à Saint-Hilaire-en-Woëvre, le sol a fourni une quantité d'azote importante entre la date d'ensilage et la date de foin puisque, pendant cette période, les parcelles non fertilisées ont produit 4 t MS/ha. Pour les 2 sites, les conditions climatiques entre le 15 mai et le 15 juin 2008 (température comprise entre 15 et 20°C et une pluviosité moyenne de 4 mm/jour) ont permis une forte minéralisation de l'azote organique du sol. En revanche, à Jeu-les-Bois, les excès d'eau (50 mm de plus que « les normales saisonnière » du 15/05 au 15/06) ont pu engendrer des pertes importantes par dénitrification. Sur ce site, pendant la même période, la production n'a pas dépassé 1 t MS/ha.

A l'inverse de la teneur en matières azotées totales (MAT) qui augmente avec la dose d'azote, la digestibilité de la matière organique (dMO) tend, elle, à diminuer (Figure 2).

FIGURE 2 – Effet des doses croissantes d'azote (0 à 180 kg N/ha) et des modes d'apport (référence, tardif et fractionné) sur la production de la fétuque élevée (t MS/ha), sa teneur en MAT et sa digestibilité (dMO) au premier cycle de croissance et sur les repousses à Jeu-les-Bois en 2008.



Pour les repousses et sans apport d'azote, la croissance de l'herbe après l'ensilage et le foin a bénéficié d'un arrière-effet de l'azote apporté au premier cycle qui s'est traduit, pour les doses d'azote les plus élevées, par un gain de production d'environ 1 t MS /ha par rapport au témoin non fertilisé.

Au final, ces résultats montrent que la dose d'azote optimale pour la récolte en ensilage est très proche quel que soit le site d'études, alors que les conditions climatiques (Figure 1) et les espèces impliquées étaient différentes (Tableau 1).

- Date du premier apport

A la sortie de l'hiver, la fertilisation azotée de la prairie de fauche, en graminée pure, doit permettre d'assurer une alimentation suffisante des plantes depuis le démarrage de la végétation jusqu'à la récolte du cycle de croissance concerné. Au moment où démarre la croissance, le besoin d'azote des jeunes plantes est faible, mais le besoin par kg de MS à produire est élevé (loi de dilution) et le sol est encore froid et fournit peu d'azote. Par ailleurs, le système racinaire en cours de formation ne permet d'explorer qu'un faible volume de sol. Par conséquent, pour éviter tout ralentissement de croissance dont les effets sur la quantité d'herbe récoltée sont rédhibitoires, l'apport d'azote pour le premier cycle de croissance ne doit pas être trop tardif. Il ne doit pas non plus être trop précoce au risque d'engendrer des pertes par lixiviation, volatilisation ou dénitrification.

Des travaux conduits dans les années 1980 ont montré que l'apport d'azote sur des prairies à base de graminées à une date correspondant à une somme de températures de 200°C (base 0°C) depuis le 1^{er} Janvier était le meilleur compromis (ZIEGLER, 1987). Les expérimentations conduites en 2008 ont confirmé la validité de cette préconisation (Figure 3). Les apports tardifs d'azote (Tableau 2) ont certes permis d'obtenir une teneur en MAT du fourrage plus élevée que celle de l'apport à 200°C, mais la carence précoce en azote s'est avérée assez fortement pénalisante pour la production (Figure 2). En moyenne, sur les 3 sites d'étude et toutes doses d'azote confondues, les apports tardifs ont amélioré la teneur en MAT de 1,1 point et pénalisé le rendement de 600 kg de MS/ha pour la récolte à la date de l'ensilage (Tableau 3). La digestibilité a aussi été améliorée, en cohérence avec ce qui a déjà été observé (DURU *et al.*, 2008), mais l'effet est non significatif dans cet essai. Pour la récolte en foin, la teneur en MAT a été améliorée de 2,1 points mais le rendement a été pénalisé de 1,9 t MS /ha (Tableau 3). Enfin, la digestibilité comme le rendement des repousses n'ont pas été influencés par les apports tardifs (Figures 3 et 4).

FIGURE 3 – Production relative d'herbe au premier cycle de croissance en fonction de la date d'apport d'azote définie par la somme de température (base 0°C) après le 1^{er} Janvier. Les points vides représentent les résultats obtenus dans les années 1980 (= historique). Les autres points correspondent aux données des essais réalisés en 2008, pour une récolte au stade ensilage à La Jaillière, Jeu-les-Bois et Saint-Hilaire-en-Woëvre.

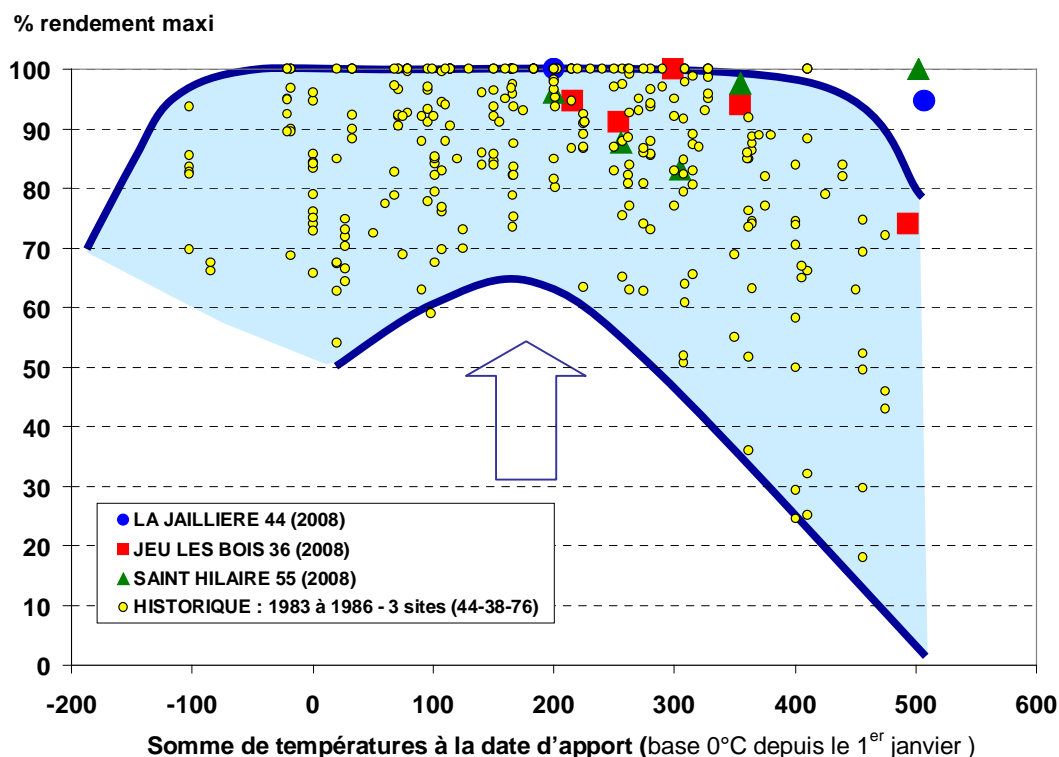


TABLEAU 2 – Dates et cumuls de température pour chaque mode d’apport (N référence, N tardif et N fractionné) pour les sites expérimentaux de La Jaillière, Jeu-les-Bois et Saint-Hilaire-en-Woëvre en 2008.

		LA JAILLIERE (44)		JEU LES BOIS (36)		ST HILAIRE EN WOEVRE (55)	
		dates	cumul temp °C	dates	cumul temp °C	dates	cumul temp °C
apports d'azote	N référence	06-févr	281	28-janv	216	12-févr	196
	N intermédiaire ensilage	-	-	05-févr	254	28-févr	268
	N intermédiaire ensilage	-	-	11-févr	298	03-mars	305
	N intermédiaire ensilage	-	-	21-févr	355	28-mars	426
	N tardif ensilage	05-mars	513	07-mars	493	07-avr	505
	N tardif foin	29-avr	1024	25-avr	921	29-avr	700
stade d'exploitation	ensilage	14-mai	-	13-mai	-	16-mai	-
	foin	09-juin	-	02-juin	-	19-juin	-
	repousses après ensilage	18-juin	-	17-juin	-	27-juin	-
	repousses après foin	-	-	07-juil	-	05-août	-

– Fractionnement de la dose d’azote pour le premier cycle fauché

Lorsque l’herbe est récoltée en ensilage ou en foin, le fractionnement en 2 apports de la dose totale d’azote dédiée à ce cycle pourrait-il améliorer son efficacité, notamment en évitant des pertes d’azote précoces par lixiviation et/ou dénitrification ? Étudiée en 2008 dans l’expérimentation, ce mode d’apport s’est avéré sans intérêt par rapport à l’apport unique d’azote à la sortie de l’hiver. Il a toutefois permis d’accroître légèrement la teneur en MAT de l’herbe, en moyenne de 0,7 point pour l’ensilage (effet significatif à Saint-Hilaire-en-Woëvre, Tableau 3) et de 0,5 point pour le foin. Cependant, si l’on considère le temps et le coût du passage supplémentaire, cette technique semble présenter peu d’intérêt. Elle nécessite néanmoins d’être testée dans des conditions climatiques différentes, notamment lorsque la pluviosité en fin d’hiver est plus importante. Le fractionnement de la dose d’azote au premier cycle n’a pas modifié l’arrière-effet de cet azote sur la production des repousses (Figure 3 et 4) ni sur leur digestibilité, sauf à Jeu-les-Bois.

TABLEAU 3 – Comparaisons statistiques des modalités étudiées (N tardif et N fractionné) par rapport à la pratique de référence (N référence) sur chaque site expérimental (La Jaillière, Jeu-les-Bois et Saint-Hilaire-en-Woëvre). Résultats des analyses de variance. Seuils significatifs : xx < 1% ; x < 5% ; . < 10%.

	stades d'exploitation	N référence versus N tardif			N référence versus N fractionné		
		rendement	MAT	DMO	rendement	MAT	DMO
La Jaillière 44	ensilage						
	foin	x x	.	x x			
	repousses d'ensilage						
	repousses de foin						
Jeu les Bois 36	ensilage	x					
	foin	x	x	x			x
	repousses d'ensilage		.				
	repousses de foin			x			x
Saint Hilaire en Woëvre 55	ensilage		x			x x	
	foin	.	.	x x			
	repousses d'ensilage		x				
	repousses de foin						

– Choix de la forme d’azote minéral : urée ou ammonitrate ?

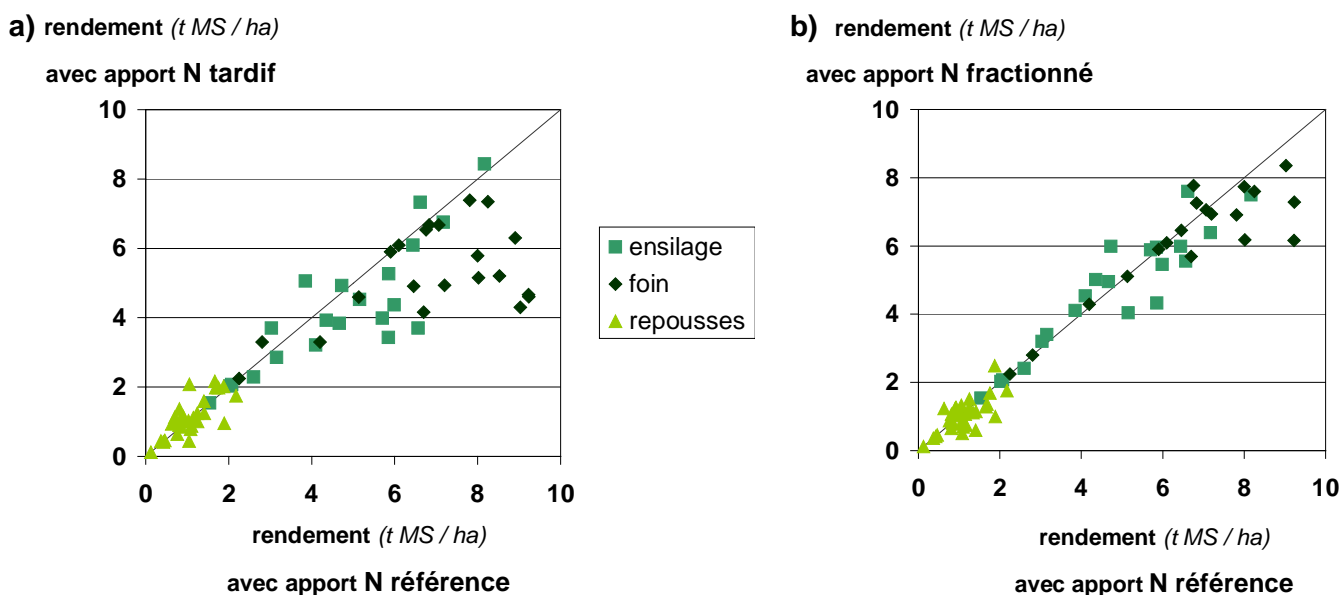
Le nitrate d’ammonium est la forme d’azote engendrant généralement le moins de pertes d’azote dont la volatilisation d’ammoniac et la dénitrification sont les principales causes pour les prairies. La volatilisation d’ammoniac est principalement à craindre pour les engrais à base d’urée apportés après une fauche. Dans ce cas, il est recommandé de majorer d’environ 20% la dose d’azote par rapport à celle nécessaire avec de l’ammonitrate.

– Conclusion

Les résultats expérimentaux obtenus en 2008 sur les 3 sites d’études sont très cohérents avec les connaissances déjà établies sur la fertilisation azotée des prairies. Par ailleurs, cette série d’essais

nous apprend que les différences importantes entre sites (espèces, type de sol, conditions climatiques...) ne modifie pas la dose optimale d'azote pour une récolte des graminées au stade ensilage. Un ajustement des courbes de réponse pourra être réalisé afin de déterminer l'optimum technique de manière plus précise pour chacune des espèces (dactyle, fétuque élevée et prairie permanente). Le fractionnement des doses d'azote modifie peu le rendement et la qualité des prairies de fauches, dans les conditions climatiques de 2008. Des essais complémentaires seraient nécessaires pour valider cet enseignement. En revanche, la qualité de l'herbe récoltée est fortement améliorée lorsque l'apport est retardé.

FIGURE 4 : Effet comparé des dates (a) et du fractionnement (b) des apports d'azote au premier cycle de croissance sur la production d'herbe pour des récoltes en ensilage, en foin, ou sur leurs repousses.



1.2. Fourniture d'azote par les produits résiduaux organiques

– Possibilités d'apports de produits résiduaux organiques sur prairie

Les surfaces en prairie sont de plus en plus intégrées dans le plan d'épandage des Produits Résiduaux Organiques (PRO : fumiers, lisiers...). Cependant, on observe toutefois que 34% des prairies ne reçoivent pas de fumure organique (SCEES, 2006). Les éleveurs évoquent souvent des problèmes d'appétence, de risques sanitaires ou encore de dégradation du couvert végétal. Mais qu'en est-il vraiment ?

D'une manière générale, les lisiers, les fumiers mûrs et les composts ne posent aucun problème. Les fumiers frais sont en revanche plus difficiles à épandre de façon homogène et peuvent localement engendrer la dégradation du couvert).

L'appétence de l'herbe au pâturage après épandage de PRO a fait l'objet de nombreux travaux conduits dans les années 1990 (Trévarez (29), Blanche-Maison (50)). Aucune différence d'appétence entre des prairies ayant reçu ou non du fumier ou du lisier n'a été observée. Seuls les épandages avant une période sèche de lisier de bovins dont le taux de matière sèche est élevé (plus de 11%) peuvent poser des problèmes. Sur le plan sanitaire, les germes pathogènes les plus représentés dans les fumiers et lisiers sont les salmonelles ou encore les listéries. Des essais menés par la Chambre d'agriculture de la Mayenne (BROCARD, 1998) ont montré qu'un délai de 3 semaines entre l'épandage et le pâturage est suffisant dans le cas de contaminations initiales faibles (10^2 à 10^3 salmonelles pour 100 g). En cas de forte contamination par les salmonelles, l'apport de cyanamide calcique dans le lisier 3 semaines avant l'épandage permet d'éviter tout risque. Par ailleurs, les techniques d'application actuelles comme les rampes munies d'injecteurs permettent de moins souiller les feuilles et diminuent ainsi les risques de contamination. Mais il est souhaitable d'éviter les épandages de produits issus d'élevages de volailles (fumier, fientes...).

- Efficacité de l'azote des PRO sur les prairies

Même si l'utilisation des PRO se généralise, la prise en compte de leur contribution à l'alimentation azotée des plantes reste encore très approximative. Des expérimentations *in situ* sont en cours sous l'égide d'Arvalis - Institut du Végétal en collaboration avec l'OIER des Bordes (Chambres d'Agriculture 36-18-23-87). Ce travail initié depuis 1996 à la station expérimentale de La Jaillière et depuis 1999 à la ferme expérimentale des Bordes à Jeu-les-Bois a pour objectif de mesurer la contribution des PRO à l'alimentation azotée des plantes prairiales à court terme et long terme. Les résultats présentés dans cet article ne concernent que l'efficacité à court terme de PRO, mesurée par leur Coefficient Apparent d'Utilisation (CAU). D'autres études en cours s'intéressent à préciser l'effet à long terme ainsi que la dynamique de minéralisation de l'azote.

A La Jaillière, les PRO dont les résultats sont présentés ici sont le fumier de bovin brut et composté, le fumier de porc brut et composté. A Jeu-les-Bois, il s'agit du fumier de bovin, du fumier de bovin composté et du lisier de porc. Ils sont épandus à l'automne, tous les ans, sur les 2 sites expérimentaux. A Jeu-les-Bois, l'effet de la date d'apport, sur le lisier seulement, et de la dose d'apport sont aussi étudiés. Le lisier de porc est également épandu au printemps, le fumier de bovin et le compost de fumier de bovin sont épandus à 2 doses (Tableaux 4 et 5). Dans tous les cas, les rendements et l'azote absorbé sont mesurés sur 3 coupes : la première au stade ensilage et les suivantes sur les repousses.

TABLEAU 4 – Caractéristiques des expérimentations de Produits Résiduels Organiques sur prairies réalisées par Arvalis-Institut du végétal depuis 1996.

sites	La Jaillière	Jeu les Bois
département	Loire Atlantique - 44	Indre - 36
altitude	70 m	185 m
texture	limon	sable limono-argileux
climat	océanique doux	semi-continentale
année d'essai	1996 à 2005	1999 à 2006
espèce	RGA	RGA (1999 à 2001) puis féтуque élevée (2003 à 2006)
stade d'exploitation	ensilage (C1) repousse 1 (C2) repousse 2 (C3)	ensilage (C1) repousse 1 (C2) repousse 2 (C3)
Produits Résiduels Organiques épandus	fumier de bovins compost de fumier de bovins fumier de porcs compost de fumier de porcs	fumier de bovins compost de fumier de bovins lisier de porcs
périodes d'apports	automne	automne ou printemps
rythme d'apport	tous les ans	tous les ans

Le Coefficient Apparent d'Utilisation (CAU) de l'azote total contenu dans un produit quelconque est un des critères d'évaluation de l'efficacité de cet azote. Il correspond à la proportion d'azote total du PRO apparemment absorbé par la prairie :

$$CAU = (N_f - N_0) / X_a$$

N_f : azote absorbé par la prairie ayant reçu le PRO,

N_0 : azote absorbé par la prairie non fertilisée,

X_a : azote total apporté par le PRO (kg/ha).

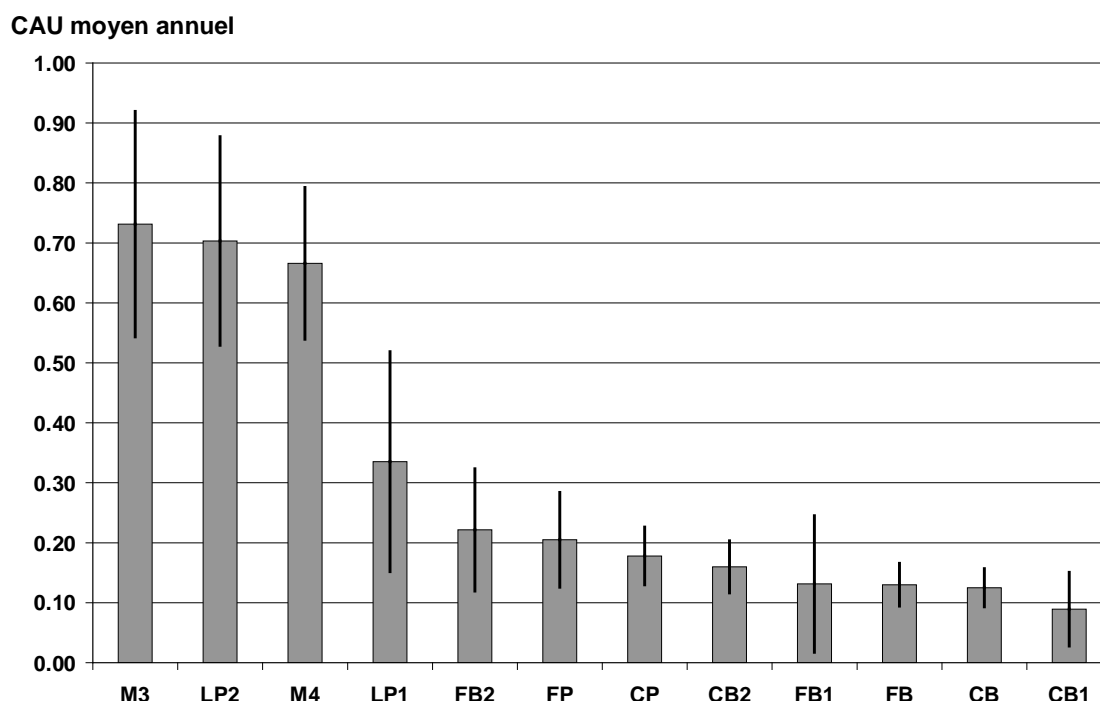
Le CAU des PRO peut varier selon leur nature, leur période d'apport et leur dose d'apport.

TABLEAU 5 – Modalités des apports de PRO à La Jaillière et à Jeu-les-Bois.

sites	sigles	produits	période d'épandage	apport moyen tonne/ha/an	apport moyen kg N/ha/an
La Jaillière	M4	fertilisation minérale (<i>ammonitrate</i>)			157
La Jaillière	FB	fumier de bovins	automne	23	206
La Jaillière	CB	compost de fumier de bovins	automne	21	218
La Jaillière	FP	fumier de porcs	automne	19	198
La Jaillière	CP	compost de fumier de porcs	automne	18	216
Jeu les Bois	M3	fertilisation minérale (<i>ammonitrate</i>)			98
Jeu les Bois	FB1	fumier de bovins	automne	13	89
Jeu les Bois	FB2	fumier de bovins	automne	26	164
Jeu les Bois	CB1	compost de fumier de bovins	automne	16	112
Jeu les Bois	CB2	compost de fumier de bovins	automne	30	211
Jeu les Bois	LP1	lisier de porcs	automne	26	103
Jeu les Bois	LP2	lisier de porcs	printemps	22	108

Au cours de la période d'étude, le CAU annuel de l'ammonitrate a été en moyenne de 0,67 à La Jaillière et de 0,73 à Jeu-les-Bois, ce qui confirme les valeurs couramment mesurées (FARRUGIA *et al.* 2000). Les CAU moyens annuels des **PRO épandus en automne** ont été beaucoup plus faibles (0,09 à 0,34) que ceux de l'ammonitrate (Figure 5). **Le CAU du lisier de porc épandu au printemps** (LP2) à Jeu-les-Bois a été identique à celui de l'ammonitrate (0,67). Les apports de printemps ont été beaucoup mieux valorisés que les apports d'automne, probablement en raison de pertes plus faibles par lixiviation, dénitrification ou organisation (absorption d'automne dans les chaumes et les racines...). L'effet de la date d'apport n'a pas été étudié pour les autres produits.

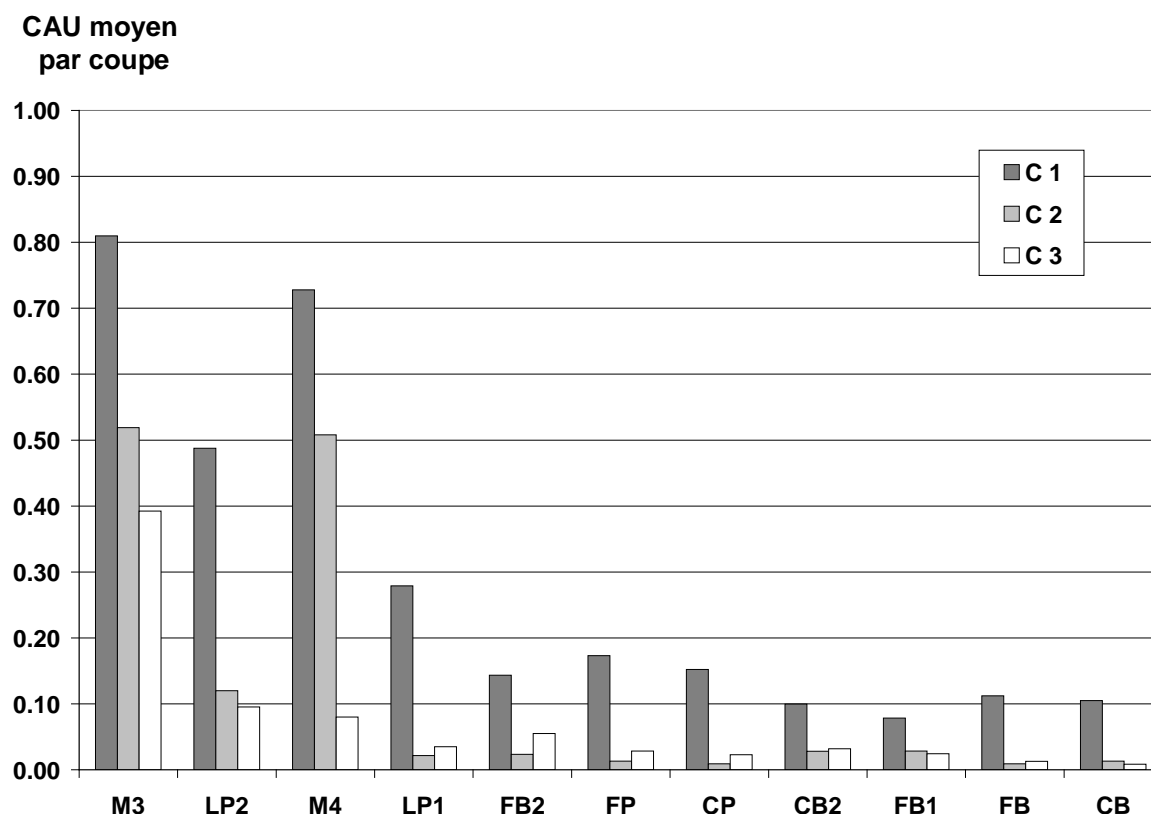
FIGURE 5 – Comparaison des CAU moyens annuels de l'azote total apporté sur ray-grass anglais à La Jaillière de 1996 à 2005 et sur fétuque élevée à Jeu-les-Bois de 1999 à 2006. L'écart-type des CAU est indiqué par les «barres verticales» (légende des traitements : voir Tableau 5).



Les conditions pédoclimatiques et l'espèce de graminées impliquées n'ont pas d'effet sur la valeur des CAU des PRO étudiés dans les 2 sites : les fumiers de bovins (FB et FB1) et les fumiers de bovins compostés (CB et CB1 ou CB2) ont des valeurs de CAU très comparables. En revanche, à Jeu-les-Bois, la variabilité des CAU est plus élevée.

L'évolution des CAU par coupe (Figure 6) montre que "l'effet azote" est acquis dès la coupe suivant l'apport, quel que soit le PRO. Certaines années, on observe un léger effet résiduel sur la deuxième, voire la troisième coupe.

FIGURE 6 – Comparaison des CAU de l'azote total des PRO apportés pour les 3 cycles de production du ray-grass anglais à La Jaillière de 1996 à 2005 et sur fétuque élevée à Jeu-les-Bois de 1999 à 2006.
(légende des traitements : voir Tableau 5).



Les essais de longue durée conduits à La Jaillière et à Jeu-les-Bois sur les "effets azote" d'apports annuels de fumiers bruts ou compostés de bovins, de porcs ou de lisier de porcs consolident les références déjà obtenues sur ce type de Produits Résiduaire Organiques.

Ces expérimentations confirment des valeurs de CAU assez faibles pour les PRO étudiés apportés en automne. On retiendra que, sur prairie, les produits liquides à forte teneur en azote ammoniacal comme les lisiers de porcs sont très bien valorisés surtout lorsqu'ils sont apportés au printemps. Enfin, "l'effet azote" à court terme est acquis dès la première coupe ; il devient très faible sur les coupes suivantes.

Ces travaux riches en enseignements techniques permettront une meilleure prise en compte de la contribution à l'alimentation azotée des plantes par les PRO, dans le raisonnement de la fertilisation azotée des prairies. Ces éléments seront donc déterminants pour choisir de compléter ou non la fumure organique par un apport d'azote minéral sur prairie. Ces résultats sont aussi le support d'études en cours pour définir les effets à long terme d'apports répétés de PRO sur la minéralisation du sol. Enfin, une description plus précise de la dynamique de minéralisation des PRO à court terme pourrait compléter la connaissance des CAU qui vient d'être illustrée ici, notamment par l'intégration des données climatiques mais aussi en faisant la distinction entre l'azote organique et l'azote minéral. C'est justement l'objectif d'un réseau d'essais conduits au laboratoire et au champ, sur sol nu. Les premiers résultats, issus de ces essais, permettent déjà d'élaborer des classes de cinétiques de nombreux PRO. Caractérisés par leur potentiel de minéralisation de l'azote organique, ces PRO sont distribués dans 6 classes. Cette approche pourrait être utilisée demain dans le raisonnement de la fertilisation azotée sur prairie.

2. Des associations céréale - légumineuse pour diversifier les systèmes fourragers : des fourrages à forte production, de qualité et économe en intrants. Rôle clé de la fertilisation azotée

2.1. Associer une céréale et une légumineuse : de nombreux intérêts à exploiter

Les associations d'espèces annuelles, cultures simultanées de plusieurs espèces sur la même parcelle durant une période significative de leur croissance (WILLEY, 1979), et en particulier les associations combinant une légumineuse et une céréale, sont une pratique permettant très souvent dans des systèmes à faibles niveaux d'intrants, en particulier azotés, d'accroître les rendements et leur stabilité par rapport aux cultures pures correspondantes, d'améliorer l'utilisation des ressources, de réduire les pressions d'adventices et maladies, d'améliorer la qualité et de réduire les risques de lessivage. Les gains de rendement observés dans des associations céréale - légumineuse sont principalement associés à leur complémentarité dans l'utilisation des sources d'azote (JENSEN, 1996 ; CORRE-HELLOU *et al.*, 2006). En effet, bien que les deux cultures utilisent l'azote minéral du sol, la légumineuse peut aussi fixer l'azote atmosphérique. La plus grande stabilité interannuelle de leur rendement par rapport aux cultures pures est attribuée aux possibilités de compensation entre espèces puisqu'elles peuvent avoir des réponses différentes aux accidents climatiques, aux pressions des bioagresseurs et à la disponibilité en ressources du milieu. Les associations céréale - légumineuse sont cultivées en France principalement en agriculture biologique, mais elles peuvent présenter des applications intéressantes en agriculture conventionnelle pour le développement de cultures multiservices à faible niveau d'intrants. Les associations céréale - légumineuse connaissent ainsi un regain d'intérêt en Europe pour différents débouchés en vue de réduire le niveau de fertilisation azotée tout en maintenant des niveaux élevés de rendement et de qualité.

Dans les systèmes d'élevage de l'ouest de la France, ces pratiques pourraient s'avérer intéressantes pour produire un ensilage de production élevée et stable face aux aléas climatiques, riche en fibres et en matières azotées totales, et économe en intrants (eau, azote, produits phytosanitaires). Elles pourraient contribuer à diversifier et sécuriser les systèmes fourragers des élevages de ruminants. En fonction des types d'élevage et des zones de production, les motivations des agriculteurs peuvent varier. Certains éleveurs mettent principalement en avant la sécurisation du système fourrager face à l'augmentation de la fréquence des sécheresses estivales et cherchent ainsi à diversifier leur système par ces associations céréale - légumineuse implantées avant l'hiver. D'autres éleveurs, confrontés à des restrictions environnementales très fortes dans certains bassins versants, mettent en avant l'intérêt de ces associations pour réduire de façon importante les intrants et les impacts négatifs sur l'environnement. Ces pratiques pourraient être aussi envisagées pour à la fois valoriser les effluents dans des régions d'élevage à excédent et produire localement des protéines. En effet, dans les régions très consommatrices de protéines pour l'alimentation animale, il y a paradoxalement peu de production de protéagineux, notamment en raison de l'interdiction d'épandre des effluents sur ces cultures. Mais sur des associations céréales - légumineuse, il ne serait pas aberrant d'épandre des effluents puisque la céréale est très compétitive pour prélever l'azote et la légumineuse peut jouer un rôle tampon : absorption importante d'azote du sol ou fixation symbiotique en fonction de la disponibilité en N du milieu.

Enfin, certains éleveurs mentionnent un autre atout de ces associations : la culture d'associations fourragères est récoltée tôt et permet l'implantation d'une seconde culture qui, dans les régions où la disponibilité en eau n'est pas trop limitante, peut augmenter la production de fourrage de la parcelle.

Quelle que soit la motivation des éleveurs, l'ensilage des associations céréales - légumineuses répond à deux grands types d'utilisation :

- pour **les vaches laitières en production**, son intérêt est d'apporter un fourrage de complément, riche en fibres et d'un bon niveau azoté dans des rations riches en amidon exclusivement à base d'ensilage de maïs. La substitution d'une partie de cet ensilage de maïs (25 à 30%) évite les risques d'acidose et améliore l'état sanitaire des animaux, en faisant baisser la teneur globale de la ration en amidon (objectif de moins de 28%). Les travaux réalisés par Arvalis à La Jaillière ont mis en évidence une très bonne valorisation de ce type de ration (CABON et SOULARD, 2006) ;

- pour les **autres catégories de ruminants** (génisses, vaches allaitantes, vaches taries, ovins...), moins exigeantes en termes de niveau énergétique de la ration de base, ce type d'ensilage

d'associations immatures peut représenter la totalité de la ration pour peu qu'il soit suffisamment équilibré en énergie et azote.

2.2. Performances de production

Les associations les plus cultivées aujourd'hui pour la production d'ensilage sont des associations à base de triticale et de pois fourrager, la paille haute du triticale jouant le rôle de tuteur pour le pois. Ce mélange est très haut et très couvrant, laissant peu de lumière aux adventices. La céréale est souvent semée à la même densité qu'en culture pure et le pois fourrager à 20 grains/m². Une densité supérieure de pois fourrager entraînerait la verse du mélange.

Un réseau de 5 essais implantés en 2006 et 2007 dans plusieurs régions (Calvados, Deux-Sèvres, Vienne, Vosges) a permis d'évaluer la production de plusieurs associations conduites sans fertilisation azotée ni phytosanitaires (UNIP, 2008). L'association triticale - pois fourrager a produit en moyenne **9 tonnes de matière sèche par ha** (Tableau 6). Peu d'écarts ont été observés entre cette modalité et d'autres mélanges : triticale - vesce, avoine - vesce, avoine - pois, triticale - avoine - pois - vesce. Le mélange triticale - pois a toutefois montré une plus faible variabilité entre sites et entre années que les autres modalités. Ces mélanges, tous très couvrants, ne se sont pas différenciés sur leur capacité à étouffer les adventices. Certains agriculteurs disent pourtant utiliser de l'avoine pour sa plus forte concurrence vis-à-vis des adventices mais celle-ci s'avère plus sensible aux maladies et moins efficace pour jouer le rôle de tuteur. La teneur en MAT de l'association triticale - pois s'est élevée en moyenne à **10,9%**.

Un réseau d'observation d'associations céréale - légumineuse a aussi été suivi en 2007 et 2008 en Bretagne (NEZET et THARREAU, 2008) afin d'évaluer leur potentiel de rendement dans plusieurs zones se différenciant par le niveau du potentiel de rendement du maïs (de 8 t à 14 t de MS/ha). Un mélange témoin (triticale - avoine - pois - vesce) a été mis en place chez chaque agriculteur. Le rendement s'est élevé à **8,2 t MS/ha en 2007 et 8,3 t MS en 2008** en l'absence de fertilisation azotée (Tableau 6). Le rendement de l'association est inférieur en moyenne de 2 t de MS/ha par rapport à celui du maïs mais avec peu ou pas d'engrais azoté ni de produits phytosanitaires sur les associations. Les rendements sont similaires, voire supérieurs à du maïs, sur des terres à faible potentiel. Les rendements de l'association ont présenté une forte stabilité entre sites dans ce réseau. La teneur en MAT s'est élevée en moyenne à **11,9%**.

TABLEAU 6 – Performances d'associations céréales - légumineuses.

		Rendement (t de MS/ha)	%MAT	% de légumineuse dans le mélange final	Sources
Réseau national 2006 (5 sites)	triticale-pois	8.9	10.1	35	Projet Casdar (2005-2008) piloté par l'UNIP
	triticale-vesce	8.4	8.7	19	
	avoine-pois	8.4	9.5	30	
	avoine-vesce	7.9	8.6	12	
	triticale-avoine-pois-vesce	8.3	10.5	33	
Réseau national 2007 (5 sites)	triticale-pois	9.1	11.7	46	Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne (Nezet et Tharreau, 2008)
	triticale-vesce	8.4	12.5	38	
	avoine-pois	7.6	12.1	49	
	avoine-vesce	7.6	11.3	36	
	triticale-avoine-pois-vesce	7.3	13.0	63	
Réseau de parcelles en Bretagne 2007 (13 parcelles)	triticale-avoine-pois-vesce	8.2	11.0	-	
Réseau de parcelles en Bretagne 2008 (13 parcelles)	triticale-avoine-pois-vesce	8.3	12.8	51	
Essais en station expérimentale en Pays de la Loire (2007 et 2008)	blé-pois	11.5	10.0	50	ESA, Arvalis la Jaillière

D'autres associations ont été testées à base de blé et de pois protéagineux. Ces associations sont plutôt envisagées pour la production de grain mais les niveaux de biomasse produits montrent qu'elles pourraient aussi être ensilées. Des résultats d'essais menés en 2007 et 2008 en Pays-de-la-

Loire montrent qu'un mélange de blé et de pois, avec chaque espèce semée à 50% de sa densité en culture pure et sans fertilisation azotée, peut produire en moyenne **11 t MS/ha** avec une teneur en MAT de **10%** (Tableau 6). Ces mélanges ne présentent pas de risque de verse contrairement aux associations à base de triticale et de pois fourrager mais semblent toutefois moins concurrentiels vis-à-vis des adventices et plus sensibles aux maladies.

2.3. Maîtriser la part de chaque espèce dans le mélange

La part de chaque espèce varie en fonction de la composition initiale du mélange (choix des espèces et densités de semis de chacune d'elles) (Tableau 6). Mais, pour une même composition initiale, la part de chaque espèce dans le mélange est aussi très variable d'un site à l'autre, d'une année à l'autre. La maîtrise de la composition finale du mélange est difficile et constitue un frein au développement de cette pratique. Par exemple, dans les réseaux nationaux de 2006 et 2007, la part de légumineuse dans le mélange triticale - pois a varié de 15 à 70% à la récolte.

La part de chaque espèce est déterminante puisqu'elle influence la teneur en protéines du mélange. Dans les réseaux ci-dessus, la variabilité de la teneur en MAT du mélange est largement déterminée par les écarts de pourcentage de la légumineuse dans le mélange. Pour obtenir une teneur en MAT supérieure à 12%, il faut que le mélange comprenne plus de 45% de légumineuse. Des valeurs de 16% de MAT sont obtenues dans certaines situations comprenant 70% de légumineuse. La sensibilité à la verse ainsi que la teneur en matière sèche et donc la date optimale de récolte dépendent aussi de la part de légumineuse. Plus il y a de légumineuse, plus la teneur en matières azotées totales est élevée, plus le taux de MS est élevé mais plus le mélange risque de verser.

2.4. Rôle clé de la fertilisation azotée

Dans le réseau de parcelles en Bretagne, le mélange témoin était conduit avec deux modalités de fertilisation : sans azote ou avec un apport de 50 unités. L'apport d'azote a permis un gain de 3 t MS/ha (Tableau 7). Avec cet apport modéré, les niveaux de production deviennent très proches de ceux du maïs. L'apport d'azote a augmenté de façon importante la part de céréale. Par conséquent, la teneur en MAT a baissé.

Des travaux approfondis ont été menés sur la réponse du fonctionnement du peuplement et ses conséquences sur les performances finales en réponse à la fertilisation (dose et date) dans des associations à base de blé et de pois protéagineux. Quelques résultats sont présentés Figure 7. Un apport d'azote de 45 kg N/ha a augmenté la biomasse totale de 1,5 t MS/ha et un apport de 90 kg N/ha, de 2 t /ha. L'apport d'azote a clairement favorisé le blé et défavorisé le pois. Les écarts entre espèces sont plus marqués lors d'un apport précoce.

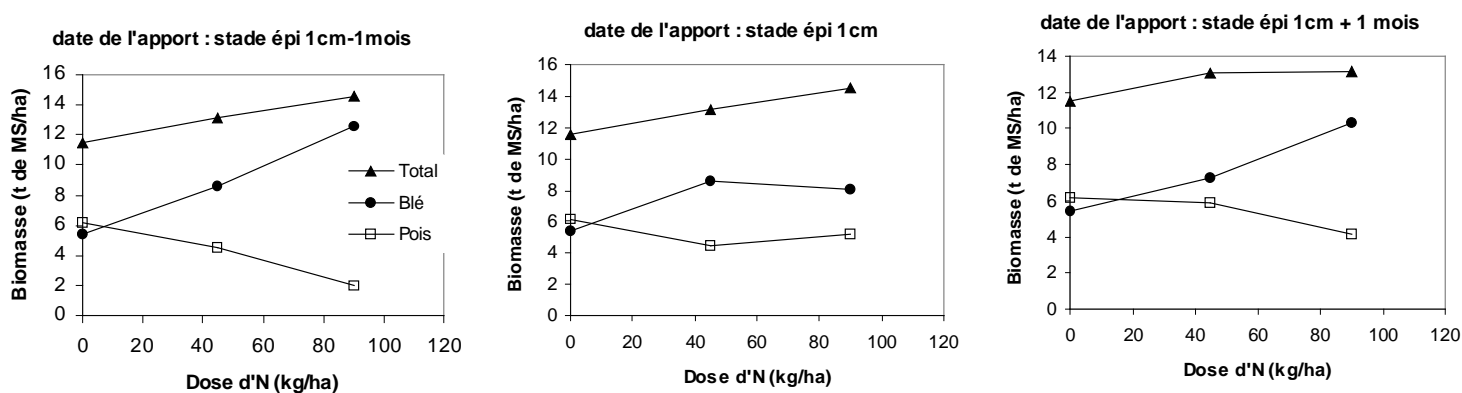
TABLEAU 7 – Effet de la fertilisation sur les performances de mélanges céréales légumineuses.

		Rendement (t de MS/ha)	%MAT	% de légumineuse dans le mélange final	
Réseau de parcelles en Bretagne 2008 (13 parcelles)	triticale- avoine-pois- vesce	0N	8,3	12,8	51,0
		50N	12,0	10,0	28,5

La part de chaque espèce dans le mélange est donc très dépendante de la disponibilité de l'azote minéral dans le sol. Connaissant le niveau de la disponibilité en N minéral à la sortie de l'hiver, il devrait être possible de formuler des stratégies de fertilisation (dose, date) pour atteindre un objectif de production souhaité (rendement total et part de chaque espèce). Un apport d'azote favorise la croissance de la céréale. Au contraire, la croissance de la légumineuse est affectée par un apport d'azote surtout quand celui-ci est précoce. La fertilisation (choix de la dose et de la date) est donc un

levier intéressant pour répondre à différents objectifs de production et semble plus efficace que le choix de la proportion de chaque espèce au semis pour influencer la composition finale du mélange.

FIGURE 7 – Effet sur la biomasse totale et la biomasse de chaque espèce de la dose et de la date de l'apport d'azote sur une association blé - pois. (essai ESA - Arvalis, La Jaillière 2008).



2.5. Conclusion

Les associations céréale - légumineuse présentent de réels atouts pour diversifier les systèmes fourragers tout en conciliant une forte production de biomasse, la qualité et une réduction des intrants, en particulier l'azote mais aussi l'eau et les phytosanitaires.

La maîtrise de la part de chaque espèce dans le mélange est un élément important à prendre en compte dans l'optimisation des itinéraires techniques d'associations céréale - légumineuse. Les résultats présentés ci-dessus montrent que la disponibilité de l'azote (dose et date) est un facteur clé. Des travaux se poursuivent dans différentes régions pour tester de nouvelles stratégies (fertilisation, choix de densités de semis, choix variétal, date de récolte) et étudier comment peuvent s'insérer ces fourrages à l'échelle de l'exploitation (place dans l'assolement, dans la rotation, place dans les rations animales..).

Conclusion générale

La performance économique et environnementale des exploitations d'élevage nécessite de porter une attention particulière aux pratiques culturales tout en recherchant des fourrages innovants moins consommateur d'intrants (azote, produits phytosanitaires...). Les travaux sur prairie et sur les mélanges céréales - protéagineux présentés dans cet article mettent en évidence différentes voies de progrès. D'abord, la fertilisation azotée qui joue un rôle clé pour ces deux types de production pourrait être plus efficace en intégrant de manière précise la contribution azotée des produits résiduels organiques (PRO). Les résultats d'essais pluriannuels consolident nos connaissances des CAU des PRO étudiés et d'autres études en cours permettront une meilleure prise en compte de l'azote minéralisé au cours du cycle de production. Par ailleurs, pour les prairies comme pour les mélanges céréales - protéagineux, l'azote minéral complémentaire doit être apporté au bon stade pour atteindre les objectifs de production et de qualité fixés. Le fractionnement des apports d'azote, testé sur graminées pures en 2008, présente un faible intérêt dans le contexte climatique de l'année. Enfin, la performance des associations céréales - légumineuses a largement été démontrée dans les différents réseaux d'expérimentation pour concilier rendement, qualité et réduction des intrants azotés.

Remerciements

Nous adressons tous nos remerciements aux relecteurs qui ont fait preuve d'efficacité pour la relecture de cet article : Pierre Castillon, Pascale Pelletier, Alain Besnard, Sabine Battégay, Didier Deleau, Bernard Gaillard, Guillaume Vitte.

Références bibliographiques

- BODET J.M. et al., 2001, fertiliser avec les engrais de ferme, p 74-84.
- CABON G., SOULARD J., 2006, Rencontres Recherches Ruminants (3R), triticales immatures associées au maïs dans la ration de vaches laitières : effets sur les performances et le bilan énergétique, page 129.
- FARRUGGIA A., CASTILLON P., LE GALL A., MM CABARET, 2000, proposition d'une méthode de calcul permettant de raisonner la fertilisation azotée des prairies, Fourrages, 164, p. 355-372.
- CORRE-HELLOU, G. et al., 2006, Interspecific competition for soil N and its interaction with N₂ fixation, leaf expansion and crop growth in pea-barley intercrops, Plant Soil, 282, p. 195-208.
- JENSEN, E-S, 1996, Grain yield, symbiotic N₂ fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops, Plant Soil, 182, p. 25-38.
- NEZET, B, THARREAU, E. 2008. Associations céréales-légumineuses : les résultats du réseau en 2008. Cap Agro (octobre 2008), 36-37.
- PAUMARD T. et al., 2008, Mémoire de Fin d'Etude, Etude des cinétiques de minéralisation nette de l'azote organique des PRO à court-terme, in situ, et en conditions contrôlées 103 pages.
- SALOU T. et al., 2007, étude de la valeur azote de fumiers de bovins, de composts de fumier de bovins, de fumier de volailles et de lisiers de porcs dans une rotation colza d'hiver – blé tendre d'hiver et sur fétuque, 65 p.
- SCEES, 2006, les pratiques culturales prairies 2006, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche.
- TROCHARD R. et al., 2007, Evaluation de la valeur fertilisante azote de fumier brut et composté de bovin, de porc et de volaille sur RGA, non publié, 44 pages.
- UNIP, 2008. Cultiver des associations céréales-protéagineux : des intérêts agronomiques, économiques et environnementaux à découvrir. Rapport technique final. Appel à Projets Casdar 2005, n°431. 112 pages
- WILLEY, R.W., 1979, Intercropping - Its importance and Research Needs. Part 1. Competition and Yield advantages. Field Crops Abstr. 32, p. 1-10.
- ZIEGLER D. et al., 1987, Perspectives Agricoles 115, p 148-154.