

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

P.-V. Protin¹, G. Corre-Hellou², C. Naudin², R. Trochard¹

L'optimisation de la production fourragère dans les systèmes d'élevage implique une bonne maîtrise de la fertilisation azotée des prairies en valorisant au mieux les engrais azotés et les apports organiques. L'utilisation de fourrages innovants (céréales - légumineuses) peut également concourir à l'économie d'intrants.

RÉSUMÉ

Des expérimentations réalisées en 2008 sur graminées fauchées ont confirmé l'intérêt de réaliser le premier apport d'azote assez tôt à la sortie de l'hiver, précisé le niveau d'azote nécessaire selon le mode de récolte (ensilage ou foin) et évalué l'effet d'apports tardifs ou fractionnés sur la production d'herbe et sur sa qualité. Le coefficient apparent d'utilisation de l'azote organique dépend de la proportion d'azote minéral (faible pour les fumiers et composts, jusqu'à 40% pour les lisiers) ; la contribution des apports organiques à l'alimentation azotée des plantes est très faible au-delà du cycle de croissance suivant l'apport. Par ailleurs, la productivité (biomasse et MAT) de plusieurs mélanges céréales - légumineuses est illustrée par une série d'essais ; la part de chaque espèce est déterminante mais très largement conditionnée par la disponibilité de l'azote.

MOTS CLÉS

Association végétale, compost, digestibilité, efficacité de l'azote, fertilisation azotée, fertilisation organique, fumier, graminée, lisier, mélange fourrager, prairie, production fourragère, valeur azotée.

KEY-WORDS

Compost, digestibility, farmyard manure, forage mixture, forage production, grass, grassland, nitrogen efficiency, nitrogen fertilization, nitrogen value, organic fertilization, plant association, slurry.

AUTEURS

1 : Arvalis-Institut du Végétal, La Jaillièrre, 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

La production de fourrages dont la qualité répond aux besoins des élevages à hautes performances nécessite une bonne maîtrise des techniques culturales. L'enjeu est important puisque les prairies représentent environ 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, des données afférentes à certaines **cultures associant légumineuses annuelles et céréales** sont présentées. Ces cultures ont pour objectif de diversifier les systèmes fourragers, de sécuriser la production, de garantir la qualité des fourrages et de réduire les intrants. Pour ces deux types de couverts, le rôle clé de la gestion de la fertilisation azotée sera présenté.

Fertilisation azotée minérale et organique des prairies

1. Les pratiques de fertilisation minérale : quelles marges de progrès pour assurer la production et la qualité des fourrages ?

La fertilisation azotée, élément majeur de la croissance des espèces prairiales, permet de gérer la production d'herbe pour adapter l'offre aux besoins des animaux, notamment en modulant la quantité de biomasse récoltable à une date donnée ou en modifiant la date de récolte d'une quantité d'herbe donnée. La fertilisation azotée influence aussi la qualité de l'herbe : la teneur en azote des plantes, qui tend à diminuer au cours de chaque cycle de croissance, est fortement liée à leur état de nutrition azotée, lequel dépend principalement de la disponibilité de l'azote dans le sol, et donc 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 ?

TABLEAU 1 : Présentation des modalités d'apport d'azote et de récolte sur les sites expérimentaux de La Jaillière, Jeu-les-Bois et Saint-Hilaire-en-Woëvre en 2008.

TABLE 1 : Modes of nitrogen application and of harvesting on the experimental sites of La Jaillière, Jeu-les-Bois and Saint-Hilaire-en-Woëvre in 2008.

	Dose (kg N/ha)	La Jaillière		Jeu-les-Bois		Saint-Hilaire-en-Woëvre	
		Dates	Σ temp (°C)	Dates	Σ temp (°C)	Dates	Σ temp (°C)
1^{er} apport d'azote							
N référence	de 0 à 180	6 février	281	28 janvier	216	12 février	196
N ensilage - date 1	90	-	-	5 février	254	28 février	268
- date 2	90	-	-	11 février	298	3 mars	305
- date 3	90	-	-	21 février	355	28 mars	426
N tardif ensilage	de 0 à 180	5 mars	513	7 mars	493	7 avril	505
N tardif foin	de 0 à 180	29 avril	1 024	25 avril	921	29 avril	700
Stade d'exploitation							
Ensilage		14 mai	-	13 mai	-	16 mai	-
Foin		9 juin	-	2 juin	-	19 juin	-
Repousses après ensilage		18 juin	-	17 juin	-	27 juin	-
Repousses après foin		-	-	7 juillet	-	5 août	-

Le coût élevé des engrais azotés a conduit Arvalis - Institut du Végétal à entreprendre en 2008 de nouvelles études sur la fertilisation azotée des prairies fauchées dans 3 sites : La Jaillière (Loire-Atlantique), Jeu-les-Bois (Indre) et Saint-Hilaire-en-Woëvre (Meuse). L'objectif était 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 de croissance (ensilée ou fanée) pour les prairies à base de graminées uniquement.

■ Dose d'azote nécessaire

La dose d'azote nécessaire pour une prairie dont les fonctions ont été définies peut être estimée par un bilan d'azote, dont des éléments de paramétrage ont été proposés pour plusieurs régions de France (FARRUGGIA *et al.*, 1999). La fertilisation minérale a pour objet de compléter l'offre d'azote du sol, des légumineuses et des apports organiques pour atteindre les objectifs quantitatifs et qualitatifs visés.

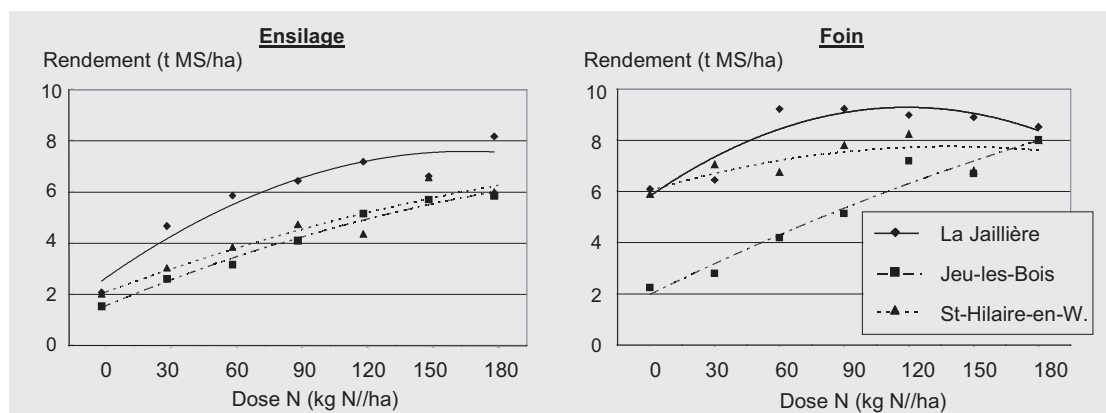
Les résultats d'enquêtes sur les pratiques culturales montrent que, en France, les prairies reçoivent en moyenne une dose d'azote de 90 kg N/ha par an dont 55 kg N/ha à partir d'engrais minéraux et 35 kg N/ha provenant d'apports organiques (SCEES, 2006). Le rendement moyen, toutes prairies et tous modes d'exploitation confondus, est de 7,5 t MS /ha par an. Ces pratiques répondent-elles aux objectifs de production et de qualité fixés ?

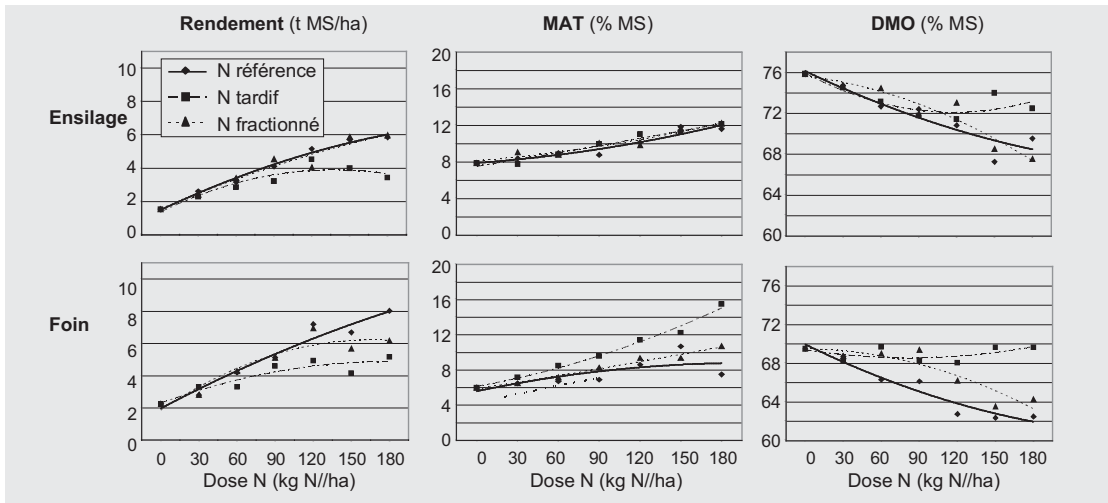
L'expérimentation réalisée en 2008 (tableau 1) avait pour objectif d'évaluer la dose d'azote optimale à apporter sur prairie de fauche pour la comparer aux pratiques de fertilisation des éleveurs. La réponse à l'azote de la production d'herbe au 1^{er} cycle, récolté en ensilage ou en foin, a été déterminée. En outre, l'effet de la date du 1^{er} apport et celui du fractionnement de cet apport ont été étudiés.

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 fenaision 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 fenaision, dont la date

FIGURE 1 : **Effet d'une dose croissante d'azote sur la production d'herbe récoltée aux stades ensilage ou foin sur les 3 sites expérimentaux.**

FIGURE 1 : *Effect of increasing amounts of nitrogen fertiliser on the production of grass harvested at the silage or the hay stage on the 3 experimental sites.*





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.

Dans les 3 sites, le sol a fourni peu d'azote jusqu'à la récolte en ensilage. L'herbe récoltée sur les parcelles non fertilisées ne contenait que 19 à 37 kg N/ha, pour une production 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. En revanche, le sol a fourni une quantité d'azote importante entre la date d'ensilage et la date de foin à La Jaillière et à Saint-Hilaire-en-Woëvre : les parcelles non fertilisées y 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, l'excès d'eau (50 mm de plus que "la normale saisonnière" du 15 mai au 15 juin) a pu engendrer des pertes importantes par dénitrification. La production n'a pas dépassé 1 t MS/ha pendant cette période pour ce site.

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

La dose d'azote optimale pour la récolte en ensilage (figure 1) s'est avérée peu différente pour les 3 sites d'étude, alors que les conditions climatiques et les espèces impliquées étaient différentes : dactyle à La Jaillière, fétuque élevée à Jeu-les-Bois et prairie permanente à Saint-Hilaire-en-Woëvre.

■ Date du premier apport d'azote minéral

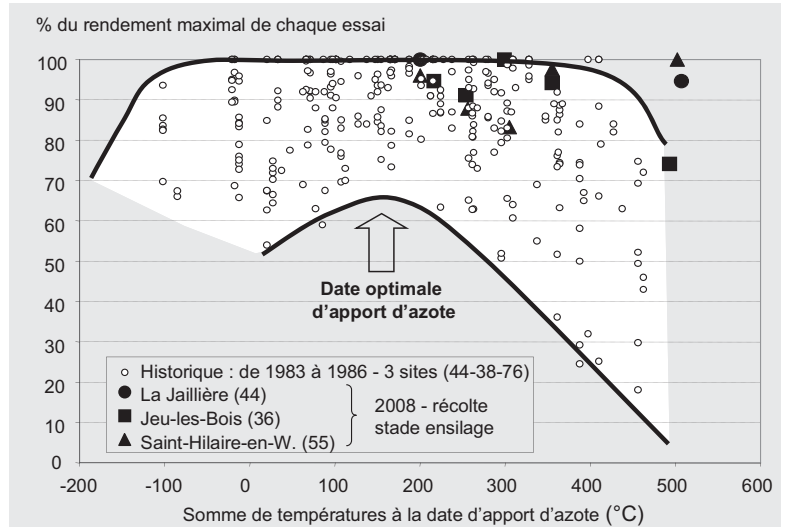
A la sortie de l'hiver, la fertilisation azotée de la prairie de graminée pure destinée à la fauche, doit permettre d'assurer une alimentation suffisante des plantes depuis le démarrage de la

FIGURE 2 : Effet de la dose d'azote et du mode d'apport (référence, tardif et fractionné) sur la production de la fétuque élevée, sa teneur en MAT et sa digestibilité (dMO) au premier cycle de croissance à Jeu-les-Bois en 2008.

FIGURE 2 : Effect of the amount of nitrogen applied and of the mode of application (reference, late N, split N) on the production of Tall Fescue, its Crude Protein (MAT) content, and its organic Dry Matter digestibility (dMO) at the first growth cycle (Jeu-les-Bois, 2008).

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 températures après le 1^{er} janvier (base 0°C).

FIGURE 3 : *Relative production of grass at the first growth cycle according to the date of first nitrogen application, as determined by the cumulated sum of temperatures from January 1st (base 0°C).*



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 *et al.*, 1987). Les expérimentations conduites en 2008 ont confirmé la validité de cette préconisation (figure 3).

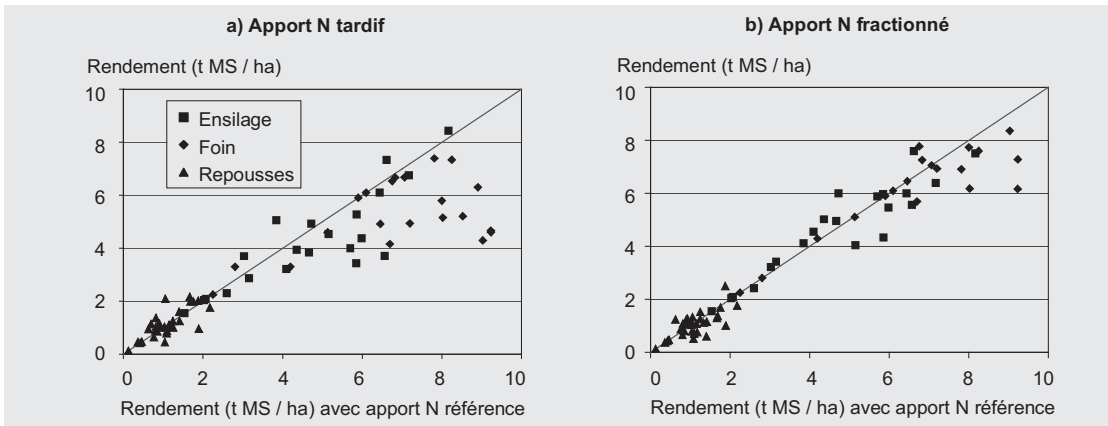
Les **apports tardifs** d'azote (tableau 1) ont certes permis d'obtenir une teneur en MAT du fourrage plus élevée que celle de l'apport à 200°C, mais la carence précoce en azote s'est avérée assez fortement pénalisante pour la production (figure 2). En moyenne, sur

TABLEAU 2 : Comparaisons statistiques des modalités d'apport d'azote étudiées (N tardif et N fractionné) par rapport à la pratique de référence sur chaque site expérimental.

TABLE 2 : *Statistical comparisons of the modes of nitrogen application studied (late N and split N) relatively to the reference practice on each experimental site.*

Stade d'exploitation	N tardif versus N référence			N fractionné versus N référence		
	Rendement	MAT	DMO	Rendement	MAT	DMO
<u>La Jaillière</u>						
- Ensilage						
- Foin	***	*	***			
<u>Jeu-les-Bois</u>						
- Ensilage	**					
- Foin	**	**	**			**
<u>Saint-Hilaire en Woëvre</u>						
- Ensilage		**			***	
- Foin	*	*	***			

Seuils significatifs des analyses de variance : *** < 1% ; ** < 5% ; * < 10%



les 3 sites d'étude et toutes doses d'azote confondues, les apports tardifs ont augmenté 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 (figure 4a). La digestibilité a aussi été améliorée, conformément à ce qu'ont observé DURU *et al.* (2008), mais l'effet n'est significatif dans cet essai qu'au seuil de 20% en moyenne sur les 3 sites (tableau 2). Pour la récolte en foin, la teneur en MAT a été accrue de 2,1 points mais le rendement a été pénalisé de 1,9 t MS/ha (figure 4a). Enfin, la digestibilité comme le rendement des repousses n'ont pas été influencés par les apports d'azote tardifs.

■ Fractionnement de la dose d'azote pour le premier cycle fauché

Lorsque l'herbe est récoltée en ensilage ou en foin, le fractionnement de la dose totale d'azote dédiée à ce cycle en 2 apports égaux 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 2) 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 qu'elle ne le fut en 2008. Par ailleurs, 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 4b), sauf à Jeu-les-Bois.

■ 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 (principalement par volatilisation d'ammoniac et dénitrification) lors d'apports sur prairies. La

FIGURE 4 : Effet sur la production d'herbe (récolte en ensilage, en foin, ou repousses) d'un apport d'azote tardif (a) ou fractionné (b) au premier cycle.

FIGURE 4 : Effect on the grass production (silage, hay or aftermaths) of a late (a) or split (b) application of nitrogen at the first growth cycle.

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.

En conclusion, l'ensemble des résultats des expérimentations réalisées en 2008 sur les 3 prairies à base de graminées ont confirmé le bien-fondé du conseil d'apport d'azote pour le premier cycle de croissance à 200°C après le 1^{er} janvier. Ils ont montré la nécessité de doses d'azote assez élevées (supérieures à 120 kg N /ha) pour maximiser la production d'herbe ensilée. Le fractionnement de la dose d'azote dédiée au premier cycle n'a pas eu d'incidence sur la production ni sur la qualité de l'herbe récoltée, dans les conditions climatiques de 2008. En revanche, l'apport tardif d'azote a notablement influencé la qualité (digestibilité et teneur en MAT) de l'herbe récoltée.

2. Efficacité de l'azote des apports organiques sur les prairies

Même si l'utilisation des produits résiduels organiques (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 (TROCHARD *et al.*, 2007) et depuis 1999 à la ferme expérimentale des Bordes à Jeu-les-Bois (SALOU *et al.*, 2007), 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 ici ne concernent que l'**efficacité à court terme** des PRO, mesurée par leur **Coefficient Apparent d'Utilisation** (CAU).

Les PRO étudiés à La Jaillière sont le fumier de bovin brut (FB) et composté (CfB), le fumier de porc brut (FP) et composté (CfP) et, à Jeu-les-Bois, le fumier de bovin, son compost et du lisier de porc (LP). Ces PRO sont épandus à l'automne, tous les ans. A Jeu-les-Bois des modalités complémentaires permettent d'étudier l'effet de la date d'apport (pour le lisier seulement) et de la dose d'apport. La production d'herbe et l'azote absorbé sont mesurés pour chacun des 3 cycles de croissance de printemps, récoltés au stade ensilage, puis selon le rythme de croissance des repousses.

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 absorbée par la prairie :

$$\text{CAU} = (\text{Nf} - \text{N0}) / \text{Xa}$$

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

N0 : azote absorbé par la prairie non fertilisée,

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

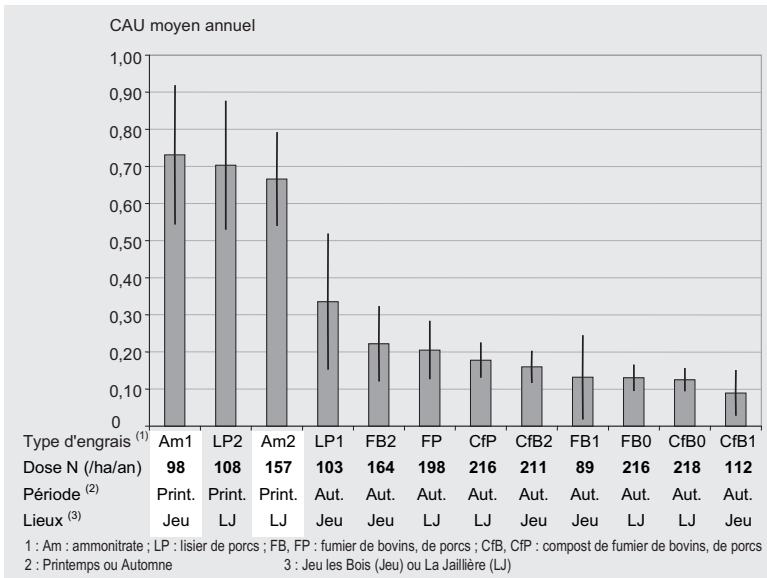


FIGURE 5 : Comparaison des CAU moyens annuels (et écarts types) de l'azote total apporté dans 2 expérimentations.

FIGURE 5 : Comparison of the mean yearly CAUs (Apparent Coefficient of Utilization) of the total nitrogen applied in 2 trials, with the standard deviations.

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. Ces valeurs sont conformes à celles couramment mesurées (FARRUGGIA *et al.*, 2000).

Le CAU des PRO peut varier selon leur nature, leur période d'apport et leur dose d'apport. Dans ces expérimentations, les CAU moyens annuels des **PRO épandus en automne** étaient compris entre 0,09 et 0,34 (figure 5). **Seul le lisier de porc de Jeu-les-Bois a été épandu au printemps** ; son CAU a été identique à celui de l'ammonitrate (0,67). L'azote de cet apport de printemps a été beaucoup mieux valorisé que celui des apports d'automne, probablement en raison de pertes plus faibles par lixiviation, dénitrification ou organisation (absorption d'automne dans les chaumes et les racines...).

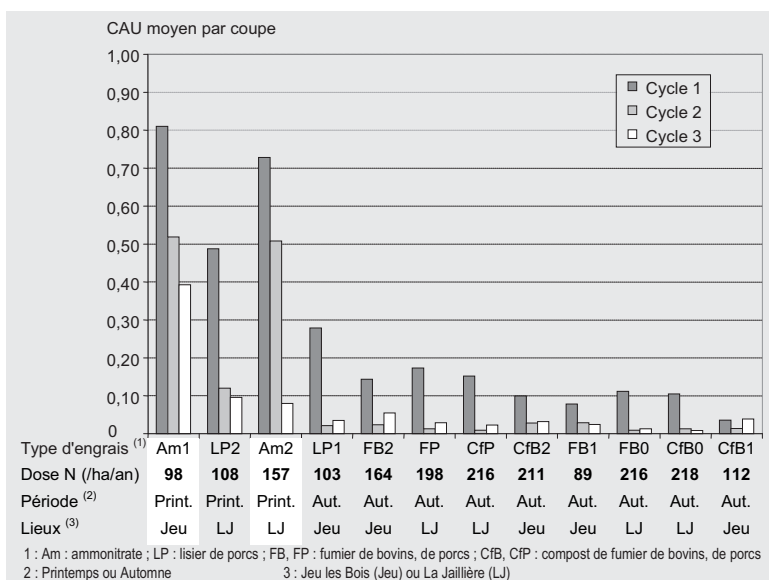
Les conditions pédoclimatiques et l'espèce de graminée impliquées **n'ont pas d'effet sur la valeur des CAU** des PRO étudiés dans les 2 sites : les fumiers de bovins et les fumiers de bovins compostés ont des valeurs de CAU très comparables. En revanche, à Jeu-les-Bois, la variabilité des CAU est plus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

L'évolution des CAU par coupe (figure 6) montre que la contribution des PRO à l'alimentation azotée des plantes prairiales ne concerne guère que le cycle de croissance suivant l'apport, quel que soit le PRO considéré. Certaines années, on observe néanmoins un léger effet résiduel sur le deuxième, voire le troisième cycle.

En conclusion, ces expérimentations valident les valeurs utilisées pour le conseil agricole concernant le CAU des PRO apportés en automne. Sur prairie, l'azote des produits liquides à forte teneur en azote ammoniacal comme les lisiers de porcs est bien valorisé, surtout lorsque ces PRO sont apportés au printemps. L'azote fourni par ces produits contribue à l'alimentation des plantes prairiales essentiellement pour le cycle suivant l'apport et très peu, voire pas du tout, pour les cycles ultérieurs.

FIGURE 6 : Comparaison, pour les 3 cycles de production, des CAU de l'azote total des apports organiques dans 2 expérimentations.

FIGURE 6 : Comparison, for the 3 production cycles, of the CAUs of the total nitrogen from organic sources applied in 2 trials.



Ces travaux riches en enseignements techniques permettront une meilleure prise en compte de la contribution des PRO à l'alimentation azotée des plantes, 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.

Les associations céréale - légumineuse : des fourrages à forte production, de qualité et économes en intrants

■ De nombreux intérêts à exploiter...

Par rapport aux cultures pures correspondantes, les associations d'espèces annuelles, et en particulier les associations combinant une légumineuse et une céréale, présentent très souvent de nombreux intérêts dans des systèmes à faible niveau d'intrants (en particulier azotés et phytosanitaires) ; citons notamment :

- les gains de rendement observés qui sont principalement associés à la complémentarité de la céréale et de la légumineuse dans l'utilisation des sources d'azote (JENSEN, 1996 ; CORRE-HELLOU *et al.*, 2006) : les deux cultures utilisent l'azote minéral du sol, mais la légumineuse peut aussi fixer l'azote atmosphérique ;

- la plus grande stabilité interannuelle de rendement qui 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.

Ces associations sont ainsi une alternative agronomique intéressante qui répond aux attentes de performances économiques et environnementales.

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 céréale - légumineuse, il ne serait pas aberrant d'épandre des effluents puisque la céréale est très compétitive pour prélever l'azote, la légumineuse jouant alors un rôle tampon : absorption importante d'azote du sol ou fixation symbiotique en fonction de la disponibilité en azote du milieu. Enfin, certains éleveurs mentionnent un autre atout de ces associations : elles peuvent être récoltées tôt et permettent ainsi 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 ou mélanges 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.

■ Les performances de production observées

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 3). Peu d'écart 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%**.

TABLEAU 3 : Performances agronomiques de plusieurs associations ou mélanges céréales - légumineuses.

TABLE 3 : Agricultural performances of various associations or mixtures of cereals and legumes.

	Rendement (t MS/ha)		MAT (%)		% légumineuses dans le mélange final	
<u>Réseau national</u> (5 sites ; Projet Casdar n°431 piloté par l'UNIP)						
	2006	2007	2006	2007	2006	2007
- Triticale - pois	8,9	9,1	10,1	11,7	35	46
- Triticale - vesce	8,4	8,4	8,7	12,5	19	38
- Avoine - pois	8,4	7,6	9,5	12,1	30	49
- Avoine - vesce	7,9	7,6	8,6	11,3	12	36
- Triticale - avoine - pois - vesce	8,3	7,3	10,5	13,0	33	63
<u>Réseau en Bretagne</u> (13 parcelles ; Chambre Régionale de Bretagne ; NEZET et THARREAU, 2008)						
	2007	2008	2007	2008	2007	2008
- Triticale - avoine - pois - vesce	8,2	8,3	11,0	12,8	-	51
<u>Essais en station expérimentale en Pays-de-la-Loire</u> (2007 et 2008 ; ESA - Arvalis La Jaillière)						
- Blé - pois	11,5		10,0		50	

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 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 3). 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 ceux 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%**.

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 3). 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.

■ 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). 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 matière sèche est élevé mais plus le mélange risque de verser.

Composition du mélange	Rendement (t MS/ha)		MAT (%)		% légumineuses dans le mélange final	
	0 N	50 N	0 N	50 N	0 N	50 N
Triticale - avoine - pois - vesce	8,3	12,0	12,8	10,0	51,0	28,5

TABLEAU 4 : Effet de la fertilisation azotée sur les performances agronomiques d'un mélange céréales - légumineuses (Réseau de 13 parcelles en Bretagne, 2008 ; NEZET et THARREAU, 2008).

TABLE 4 : *Effect of the nitrogen fertilisation on the agricultural performances of a cereal-legume mixture (network of 13 pasture plots in Brittany 2008 ; NEZET et THARREAU, 2008).*

FIGURE 7 : Effets de la date de l'apport d'azote et de la dose sur la biomasse totale et la biomasse des 2 espèces d'une association blé - pois (essai ESA - Arvalis, La Jaillière, 2008).

FIGURE 7 : *Effect of the date of nitrogen application and of the amount applied on the total biomass and on the biomass of the 2 species in an association of wheat and peas (trial ESA - Arvalis, La Jaillière, 2008).*

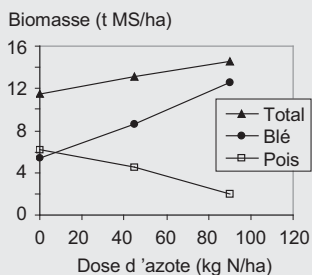
■ Le rôle clé de la fertilisation azotée

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 4). 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, entraînant une baisse de teneur en MAT.

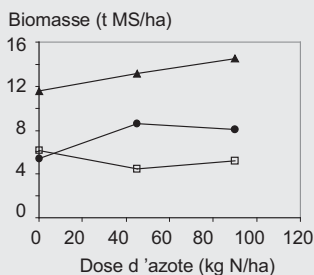
Des travaux approfondis ont été menés sur le fonctionnement du peuplement et ses conséquences sur les performances finales en réponse à la fertilisation (dose et date) dans des associations à base de blé et de pois protéagineux. Quelques résultats sont présentés figure 7. Un apport d'azote de 45 kg N/ha 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.

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.

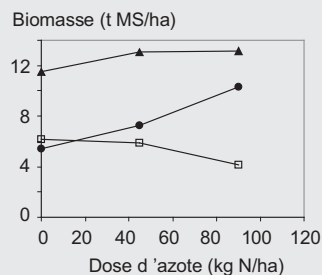
Apport : Stade épi 1 cm - 1 mois



Apport : Stade épi 1 cm



Apport : Stade épi 1 cm + 1 mois



■ Ces mélanges présentent des atouts... mais des questions demeurent...

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 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 ces fourrages peuvent s'insérer à l'échelle de l'exploitation (place dans l'assolement, dans la rotation, place dans les rations animales...).

Conclusion

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 consommateurs d'intrants (azote, produits phytosanitaires...). Les travaux sur prairies 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, 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, les performances des associations céréales - légumineuses ont été largement démontrées dans les différents réseaux d'expérimentation pour concilier rendement, qualité du fourrage et réduction des intrants, azotés notamment.

Intervention présentée aux Journées de l'A.F.P.F.,
"Des fourrages de qualité pour des élevages à hautes performances
économiques et environnementales",
les 25-26 mars 2009.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BODET J.M. *et al.* (2001) : *Fertiliser avec les engrais de ferme*, Arvalis- Institut de l'Elevage, 74-84.
- CABON G., SOULARD J. (2006) : "Triticale immature associé au maïs dans la ration de vaches laitières : effets sur les performances et le bilan énergétique", *Rencontres Recherches Ruminants*, p 129.
- 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, 195-208.
- DURU M., CRUZ P., THEAU J.P. (2008) : "Un modèle générique de digestibilité des graminées des prairies semées et permanentes pour raisonner les pratiques agricoles", *Fourrages*, 193, 79-102.
- FARRUGGIA A. *et al.* (1999) : "Le raisonnement de la fertilisation azotée des prairies", *Journée Technique, Fertilisation azotée des prairies*, Rennes, 25 février 1999, Arvalis et Chambres d'Agriculture de Bretagne, Normandie, Pays-de-la-Loire - INRA - Institut de l'Elevage.
- FARRUGGIA A., CASTILLON P., LE GALL A., CABARET M.M. (2000) : "Proposition d'une méthode de calcul permettant de raisonner la fertilisation azotée des prairies", *Fourrages*, 164, 355-372.
- JENSEN E.S. (1996) : "Grain yield, symbiotic N₂ fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops", *Plant Soil*, 182, 25-38.
- NEZET B., THARREAU E. (2008) : "Associations céréales-légumineuses : les résultats du réseau en 2008", *Cap Agro* (octobre 2008), 36-37.
- SALOU T. *et al.* (2007) : *Etude 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*, mémoire de fin d'études, Arvalis - Institut du Végétal, 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*, Arvalis, non publié, 44 p.
- 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 p.
- ZIEGLER D., PERONNE M.C. (1987) : "L'azote à la sortie de l'hiver sur graminées pérennes : étude de la date d'apport", *Perspectives Agricoles*, 111, février 1987, 17-33.

SUMMARY

Effects of fertilisation practices on the productivity of pastures and of mixtures of cereals and high-protein crops and on the quality of the forage

The optimization of the forage production on lowland livestock-rearing systems implies an adequate control of the nitrogen fertilisation of the pastures, ensuring the best utilization of the mineral and the organic nitrogen fertilisers. The use of innovating forages (cereals - legumes) can also bring about an economy of inputs.

Trials made in 2008 on mown grasses confirmed the advantage of an early first dressing of nitrogen at the end of winter, determined the necessary amount of nitrogen according to the harvesting method (silage or hay) and estimated the effects of late or split dressings on the yield and the quality of the herbage. The apparent coefficient of utilization of the organic nitrogen from different sources depends on the proportion of mineral nitrogen in these sources (low for farmyard manure and composts, up to 40% for slurries) ; the contribution of the applications of organic nitrogen to the mineral nutrition of the plants is very slight after the growth cycle following the dressing. Besides, the productivity (bio-mass and Crude Protein) of many mixtures of cereals with legumes is shown in a series of trials ; the share of each species is decisive, but very largely dependent on the availability of nitrogen.