
EFFICACITE DES ENGRAIS COMPLEXES SUR PRAIRIES

Contact : Jean CARRERE (CA Savoie Mont-Blanc)
jean.carrere@smb.chambagri.fr

INTRODUCTION

La fertilisation des prairies (organique ou minérale) est un facteur primordial de l'obtention d'un rendement qualitatif et quantitatif des fourrages. Dans un contexte de renchérissement des intrants et de recherche d'autonomie fourragère à moindre coût par les éleveurs, et face à une offre d'engrais toujours plus variée, la réflexion sur le bon choix et la bonne utilisation des engrais minéraux et des effluents d'élevage est plus que jamais d'actualité.

Le soufre et le magnésium sont des éléments indispensables à la croissance des végétaux. Leur rôle dans la synthèse des acides aminés et des protéines végétales est primordial. Leurs fonctions dans les cycles biochimiques des végétaux (photosynthèse, acides gras, vitamines) sont également bien documentées. Par ailleurs, plusieurs études ont déjà mis en évidence que certaines cultures, notamment de légumineuses et de crucifères, ont un besoin physiologique plus important en soufre par rapport aux autres cultures (CETIOM, COMIFER). De même, des essais réalisés en laboratoire et combinant fertilisation minérale azotée et soufrée sur des légumineuses ont montré une influence positive du soufre sur la formation des nodosités (Bordeleau, L et al. 1981). Le magnésium joue enfin un rôle important dans l'appétence des fourrages (Kerguelen, 1962). Cependant, les éventuels effets d'apports d'engrais minéraux azotés soufrés et/ou magnésiens sur le rendement, la nutrition des plantes et la qualité nutritive des fourrages n'ont pas été étudiés en conditions de plein champ, en particulier sur les prairies naturelles fauchées qui représentent l'assolement principal dans les Savoie. La très grande majorité des expérimentations réalisées en laboratoire ou en plein champ sur cette thématique concernent en effet surtout les céréales et le maïs (« Soufre et fertilisation des cultures » Olivier GOUJARD, COMIFER), et dans une moindre mesure, les prairies temporaires fauchées (Knoden et Al, 2007). De plus, dans les régions de polyculture élevage, le soufre et le magnésium sont déjà apportés par les épandages d'effluents. Dans ce cas, existe-t-il un intérêt réel à compléter ces épandages avec des engrais minéraux ? L'éleveur peut-il obtenir un gain de rendement ou une

amélioration de la qualité nutritive des fourrages à un coût économique raisonnable par rapport à une fertilisation classique ? Enfin, il peut-être risqué d'employer systématiquement ce type d'engrais car le soufre a tendance à acidifier le sol et le magnésium est un antagoniste de l'absorption du potassium, élément primaire essentiel dans l'élaboration du rendement d'une prairie de fauche.

Dans les Savoie, l'itinéraire technique « classique » de fertilisation sur prairie permanente à fauche dominante consiste en un épandage d'effluents d'élevage (fumier, lisier ou purin) à l'automne, pendant l'hiver ou au début du printemps et un épandage de lisier (ou purin) ou d'un apport d'engrais minéral azoté après la première coupe de foin. Cet engrais minéral azoté, apporté pour favoriser le regain après la première coupe, peut-être simple (type ammonitrate) ou plus ou moins « enrichi » en éléments fertilisants (soufre, magnésium, calcium etc...). Les principaux utilisés sont des engrais azoté-soufrés ou azoté-soufré-magnésiens.

OBJECTIF

L'expérimentation mise en place entre 2015 et 2017 a eu pour objectif de comparer en plein champ l'efficacité :

- de différents engrais minéraux azotés simples ou « complexes » (soufré, soufré-magnésien), sur la quantité et la qualité du regain (2ème coupe) des prairies permanentes fauchées.
- d'un apport d'engrais minéral azoté simple ou « complexe » par rapport à un épandage de lisier sur la quantité et la qualité du regain.

DIPOSITIF EXPERIMENTAL

Le dispositif mis en place depuis 2015 a permis de tester, sur 3 ans, six modalités au sein d'une parcelle (« Robesson Raymond Plat ») sous la forme d'un carré expérimental avec répétitions. Ce dispositif a été complété par un suivi annuel sur deux parcelles : « Noettan la sauge » en 2015 et « Poisy en 2016 ».

1) Présentation des parcelles

a) « Robesson Raymond Plat »

Parcelle localisée sur la commune de Meyrieux-Trouet (GAEC des Chenaies), prairie naturelle destinée à la fauche avec un apport annuel de lisier (environ 30m3/ha). Le potentiel de cette parcelle est d'environ 7 à 8 tonnes de MS/ha. Cette parcelle n'avait jamais fait l'objet d'une fertilisation minérale avec un engrais soufré ou magnésien.

b) « Noettan la sauge »,

Parcelle localisée sur la commune de Saint Ours (agriculteur Alain MATHIEUX) en prairie naturelle sur laquelle l'éleveur réalise 2 à 3 coupes par saison et une pâture d'automne. La fertilisation a reposé sur un apport de matière organique annuel d'environ 25 tonnes de fumier/ha au mois de décembre et un complément minéral après la première coupe.

c) « Poisy »,

Parcelle implantée en prairie temporaire et exploitée par la ferme du lycée agricole pour faire 2 à 3 coupes par an afin de produire du fourrage destiné aux vaches laitières. Un apport annuel de compost de fumier de vaches laitières a été réalisé à l'automne à raison de 10 tonnes par hectare.

2) Les protocoles

a) « Robesson Raymond Plat »

Sur cette parcelle, l'essai a été conduit sous forme d'un carré expérimental avec répétitions. 6 modalités ont été testées : Ammonitrate à 30 uN, Ammonitrate à 60uN, Sol Synergie à 30uN, Azofertil à 30 uN, Apex à 30 uN et une modalité témoin sans apport.

Le carré expérimental d'une superficie de 576 m² comprenait les 6 modalités de fertilisation avec 4 répétitions soit 24 placettes (cf. schéma ci-dessous).

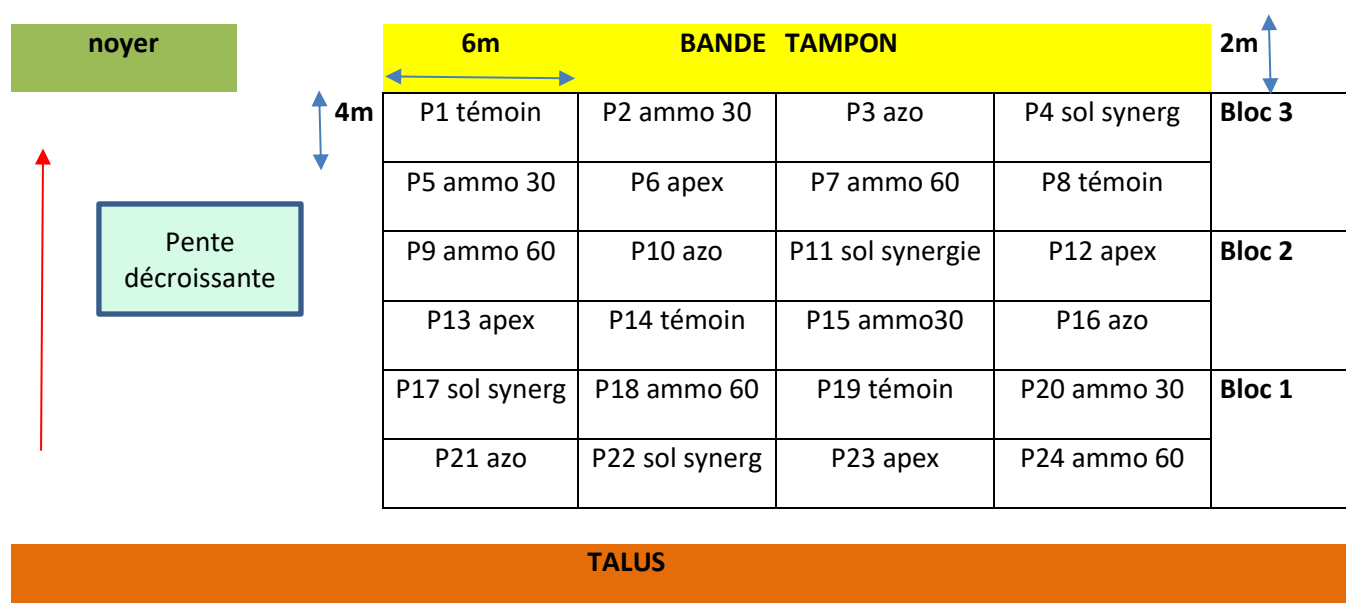


Schéma n°1 : dispositif expérimental sur la parcelle Robesson Raymond Plat

Chaque année, le protocole de réalisation était le suivant :

- Avant la première coupe, d'une mesure de rendement par placette et d'une analyse de matière sèche.
- Avant la deuxième coupe, d'une mesure de rendement par placette et une analyse de valeur alimentaire.

En 2017 les mesures de rendement et de valeur alimentaire ont pu être réalisées également pour la troisième coupe

En première année, une analyse de terre, un indice de nutrition et une analyse floristique ont été effectués.

Tableau n°1 : Analyse de sol de la parcelle Robesson Raymond Plat (Meyrieux Trouet), 2015

PH EAU	PK KCL	CALCAIRE TOTAL (g/kg)	MO (%)	C/N	P DYER (g/kg)	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	CEC (meq/kg)
6,91	6,42	4	4,88	10	0,106	0,296	6,86	0,228	208

Tableau n°2 : Diagnostic de nutrition prairie, parcelle Robesson Raymond Plat, 2015

	IN	IP	IK
Bande azote	111	72	90
Parcelle	66	95	100

De ces analyses il ressort, associées aux observations, que le sol est peu épais, non acide avec une réserve hydrique assez faible (sol sablo-limoneux). L'analyse de terre met en avant une teneur en phosphore faible et une teneur en potasse correcte. Au regard du diagnostic de nutrition, nous pouvons affirmer que les teneurs en phosphore et en magnésie du sol sont satisfaisantes avec un iP de 95 et un iK de 100. Par contre, les indices mesurés sur la bande azote (fertilisation azotée non limitante) montrent que le rendement augmente et que l'indice potassium reste satisfaisant (iK=90) alors que l'indice phosphore se dégrade (iP=72). Dans cette situation de fertilisation azotée importante, la teneur en phosphore devient limitante. Le taux de matière organique (4,8%) est correct pour un sol de prairie naturelle voire même synonyme d'un bon fonctionnement biologique du sol. L'observation de la végétation souligne une dominance des graminées et révèle un potentiel global moyen pouvant être augmenté en ajustant la fertilisation et les pratiques de fauche.

Les mesures de rendement ont été réalisées en prélevant la biomasse sur 2m² à l'aide d'un taille-haie et d'un cadre de 0.5m². Pour les analyses de matière sèche et de valeur alimentaire, nous avons constitué un échantillon moyen composé de prélèvements élémentaires sur chaque placette de même modalité.

Tableau n°3 : Parcelle Robesson Raymond Plat : doses d'apports d'engrais après première coupe,

	Apports		Composition						
	Dose kg/Ha	Dose kg/Placette	N Nitrique	N Ammoniacal	N Urétique	N Total	S	Mg	Ca
Ammonitrate 30 Un	90	0,216	15	15		30			
Ammonitrate 60 Un	180	0,432	30	30		60			
Azofertil 31	97	0,233		8	22	30	22		
Sol Synergie	200	0,48		30		30	84	6	8
Apex 30	100	0,24		7	26	33	20	6	

b) « Noettan la sauge »

L'essai a été mené en bande et sans répétitions avec 3 engrais minéraux différents (Ammonitrate, Sol synergie et Azofertil). Ces engrais ont été épandus par l'agriculteur après la première coupe à une dose de 30 unités d'azote. Les analyses d'herbe ont été réalisées grâce à des prélèvements élémentaires de 2m² (4*0.5m²). Une analyse de terre a été réalisée au démarrage de l'expérimentation.

Tableau n°4 : Résultats de l'analyse de terre - parcelle Noettan la sauge

pH eau	pH KCl	Calcaire total (g/kg)	MO (%)	C orga (g/kg)	N total (g/kg)	C/N	CEC (meq/kg)	P Dyer (mg/kg)	K2O (mg/kg)	CaO (mg/kg)
5,93	5,3	0	4,4	25,7	2,1	12	83	0,141	0,064	2,16

c) « Poisy »,

Quatre modalités ont été testées (Azomag, Apex, Novius et ammonitrate) dans le cadre d'un dispositif avec 3 répétitions. Ici, les apports d'engrais ont été calculés pour amener 50 unités d'azote. Les placettes mesuraient 20m² (5*4m) avec des bandes d'un mètre entre chaque modalité. Les mesures ont été réalisées avec des prélèvements élémentaires de 3m² pour les estimations de rendement. Les valeurs alimentaires ont été réalisées sur un échantillon moyen des 3 répétitions de chaque modalité.

Tableau n°5 : Analyse de sol - parcelle de Poisy

pH eau	pH KCl	Calcaire total (g/kg)	MO (%)	C orga (g/kg)	N total (g/kg)	C/N	CEC (meq/kg)	P olsen (mg/kg)	K2O (mg/kg)	CaO (mg/kg)
8,2	7,7	240,7	4,9	28,41	2,22	12,8	124,9	39	150	8803

RESULTATS

Les résultats présentés ci-dessous vont principalement concerner la parcelle « Robesson Raymond Plat » qui a pu être suivie pendant trois années consécutives. Les résultats obtenus sur les autres parcelles viendront compléter les observations.

1) Les rendements

Tableau n°6 : Rendements sur deuxième et troisième coupes - parcelle « Robesson Raymond Plat »

Tous les engrais ont été apportés à 30 unités d'azote/Ha, sauf la modalité ammo 60

	2eme coupe				3eme coupe
	2015	2016	2017	Moyenne	2017
Témoin	0,8	1,6	1,1	1,2	1
Ammo30	1,4	1,9	1,8	1,7	1,2
Apex	1,1	2,3	1,6	1,7	1,3
Azofertil	1,2	2,7	1,2	1,7	1,5
Sol synergie	1,3	2,2	1,1	1,5	1,4
Ammo60	1,6	2,1	1,7	1,8	1,4

Une analyse statistique (Test de Newman-Keuls avec un seuil de 5 %) nous a permis de créer deux groupes significativement différents : le groupe A composé de toutes les modalités avec apport d'azote et le groupe B composé de la modalité témoin.

Tableau n°7 : Test de Newman-Keuls (seuil = 5%) sur les rendements des 2eme et 3eme coupe des récoltes 2015/2016/2017, en tonnes de matière sèche par hectare (tMS/Ha).

	Rendement moyen C2+C3	GROUPES HOMOGENES	
Ammo 60	2,27	A	
Azofertil	2,192	A	
Apex	2,116	A	
Ammo 30	2,096	A	
Sol synergie	1,986	A	
Témoin	1,543		B

Cette analyse met en évidence que l'apport d'azote, quelle que soit sa forme, permet d'augmenter significativement le rendement par rapport au témoin sur les deuxième et troisième coupes. Par contre, l'analyse ne met pas en avant de différence significative après trois années de mesures entre les différentes modalités azotées que ce soit avec une fertilisation à 30 unités d'azote ou à 60 unités d'azote. On observe tout de même un gain de rendement sur la deuxième coupe avec un apport de 60 unités d'azote (1,8 tMS/Ha en moyenne) par rapport à une fertilisation à 30 unités (1,65tMS/Ha en moyenne) mais cette différence est non significative. Les 4 modalités d'engrais testées à 30 unités d'azote ne montrent pas de différences significatives entre elles. En effet, la différence de rendement

moyen entre la modalité la plus élevée et la modalité la plus faible, sur les deuxièmes et troisièmes coupes, est seulement de 206 kgMS/Ha.

Les conditions climatiques ont entraîné une forte variabilité de rendements entre les années. Ainsi nous avons cherché à réduire ces écarts en reprenant les données pour les ramener à une base 100 correspondant à la valeur du témoin de chaque année. Le test de Newman-Keuls a donné des résultats similaires. Les modalités azotées permettent de faire un rendement significativement plus important que le témoin. Par contre, il n'existe pas de différences significatives entre les différentes formes azotées. Les modalités avec 60 unités d'azote ont permis de faire 156 % du rendement des témoins tandis que les modalités avec 30 unités d'azote ont permis de faire 141% du rendement des témoins.

Tableau n°8 : Test de Newman-Keuls (seuil = 5%) sur les rendements base 100 des 2eme et 3eme coupes des récoltes 2015/2016/2017

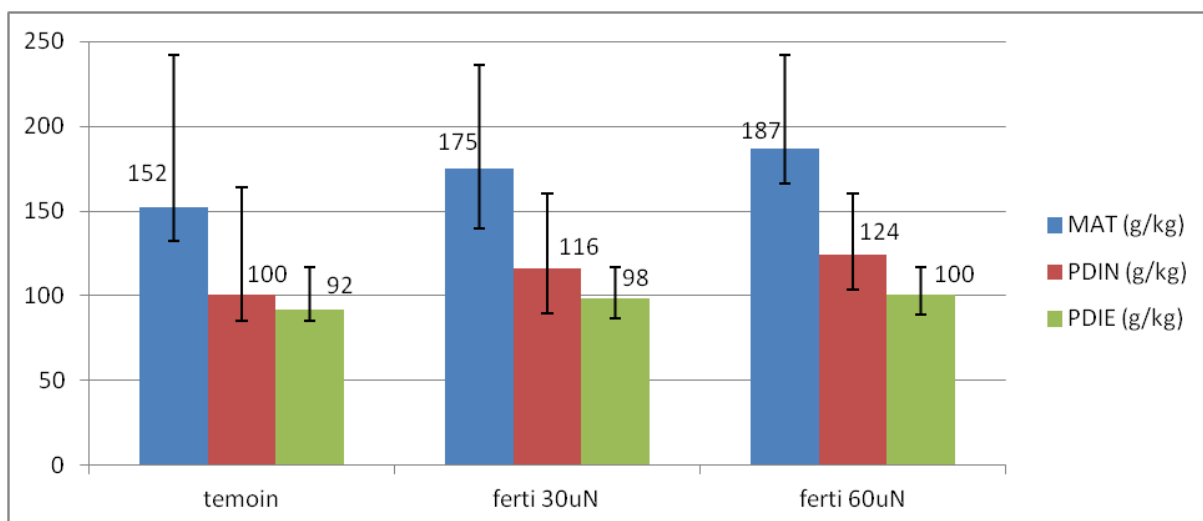
Modalités	Moyenne B100	GROUPES HOMOGENES	
Ammo 60	156,5%	A	
Azofertil	145,8%	A	
Ammo 30	142,1%	A	
Apex	138,5%	A	
Sol synergie	136,6%	A	
Témoin	100%		B

2) La qualité des fourrages

Les analyses de fourrages n'ont pas mis en évidence de différences marquées sur la qualité de l'herbe en fonction des formes azotées, ceci d'autant plus que les variations interannuelles sont importantes. Cependant l'apport de 30 unités d'azote permet d'améliorer la valeur nutritionnelle des fourrages en augmentant les teneurs en MAT de 23 g/kgMS (152gMAT/kgMS pour le témoin et 175gMAT/kgMS avec apport de 30uN) et en diminuant la teneur en cellulose brute. On constate également une augmentation des valeurs PDIE et PDIN. Cette observation est également valable pour les apports de 60 unités d'azote.

Tableau n°9 : Valeurs alimentaires moyennes des fourrages en deuxième coupe (toutes les modalités avec apport de 30uN ont été regroupées)

	témoin	moyenne ferti 30uN	moyenne ferti 60uN
Moyenne de C2_%MS	29%	26%	26%
Moyenne de C2_MAT (g/kg)	152	175	187
Moyenne de C2_Cell. Brut. (g/kg)	239	229	228
Moyenne de C2_UFL (/kg)	0,85	0,87	0,87
Moyenne de C2_PDIN (g/kg)	100	116	124
Moyenne de C2_PDIE (g/kg)	92	98	100



Graphique n°1 : Valeurs alimentaires (MAT, PDIN et PDIE) moyennes des fourrages en deuxième coupe (toutes les modalités avec apport de 30uN ont été regroupées).

Sur les deux autres parcelles, les résultats vont dans le même sens. Nous constatons un gain de rendement quel que soit l'engrais utilisé par rapport au témoin. Cependant aucune différence marquée n'apparaît entre les différentes formes d'azote.

Tableau n°10 : Rendements mesurés 2015 - parcelle Noettan la Sauge

Engrais	Rendement 2eme Coupe
Ammo	3,0
Azofertil	2,6
Sol Synergie	2,7
Témoin	1,7

Tableau n°11 : Rendement mesurés 2016 - parcelle de Poisy

	Rendement en tMS/ha			
	Répétition 1	Répétition 2	Répétition 3	Moyenne
Témoin	2,01	1,72	1,02	1,58
Ammo 33,5	2,79	2,30	1,89	2,33
Azo 28	3,21	2,15	1,63	2,33
Apex 26	3,08	2,42	1,65	2,38
Novius S 38	3,41	2,76	1,80	2,66

DISCUSSION

Un choix d'engrais à raisonner d'un point de vue économique

Cette expérimentation met en avant que, sur des prairies naturelles recevant annuellement des effluents d'élevage, l'apport de 30 unités d'azote après la première coupe permet un gain de rendement. Cependant nous n'avons pas pu constater de différences entre les formes azotées. C'est donc l'aspect économique qui doit principalement guider le choix des agriculteurs.

Tableau n°12 : Engrais, coûts et rendements supplémentaires

	Coût engrais (€/T)	Coût engrais (€/uN)	Coût ferti €/Ha	Différence Rdt/ témoin (moy C2+C3)	Coût €/kgMS supplémentaire	Coût €/TMS sup
Ammo	317	0,9	28,5	0,553	0,0516	51,6
Azofertil	330	1,1	32,0	0,649	0,0493	49,3
Apex 26	504	1,9	60,5	0,573	0,1055	105,5
Solsynergi	363	2,42	72,6	0,443	0,1639	163,9

Le tableau ci-dessus met en évidence l'impact économique que peut avoir le choix de l'engrais utilisé. En effet, le coût de la fertilisation impacte directement le résultat. Le coût de la tonne de matière sèche supplémentaire (liée à l'apport d'azote minéral) varie entre 49 € et 164 €. Ici n'est pris en compte que le coût de l'engrais sans compter les charges qui y sont associées : main d'œuvre, gasoil, usure du matériel...

L'ammonitrate est, dans cet essai, l'engrais qui est le moins cher, ramené à l'unité fertilisante.

Sur les 4 modalités fertilisées à 30 unités d'azote, nous constatons que le gain moyen est de 555 kg de matière supplémentaire à l'hectare sur la deuxième et troisième coupe, soit en moyenne 18,5 kg de MS par unité d'azote apportée. Si le gain de rendement répondait de manière linéaire à la quantité d'azote épandue, il faudrait apporter 54 unités d'azote pour obtenir 1 tMS supplémentaire. Or avec une fertilisation de 60 unités d'azote le gain a été de 727 kg de MS (soit environ un gain de 12kg MS par unité d'azote épandu). Cette comparaison met évidence que la réponse à l'azote n'est pas linéaire et que, d'un point de vue économique, il est plus intéressant de limiter la fertilisation à 30 unités d'azote pour valoriser au mieux l'apport d'engrais. Cette conclusion est bien entendu à nuancer dans les exploitations en déficit de fourrages où l'apport d'azote supplémentaire permettrait quand même d'augmenter le rendement.

Tableau n°13 : Variation du coût de fertilisation calculé par tonne de matière sèche supplémentaire sur la base d'un rendement moyen commun aux différents engrais (en l'absence de différence significative). Une ligne urée a été ajoutée bien que cet engrais n'ait pas été testé.

	Coût engrais (€/T)	Coût engrais (€/uN)	Coût ferti €/Ha	Différence Rdt/ témoin (moy C2+C3)	Coût €/kgMS supplémentaire	Coût €/TMS sup
Ammo 33,5	317	0,9	28,5	0,555	0,051	51,4
Azofertil 31	330	1,1	32,0	0,555	0,058	57,7
Apex 26	504	1,9	60,5	0,555	0,109	109,0
Solsynergi 15	363	2,42	72,6	0,555	0,131	130,8
Urée	317	0,7	20,6	0,555	0,037	37,1

Une publication de la Chambre d'Agriculture du cantal (Chabalière, 2017), suite à un essai de différentes formes azotées, mentionne que l'urée est le produit le plus intéressant économiquement. Cela permettrait un passage à 65 kg/ha (= 30uN) pour un coût de fertilisation de 20,6 €/ha (avec un prix de l'urée à 317€/T), soit environ 37€ la tonne de matière sèche supplémentaire. Cependant la formulation de l'urée rend l'engrais particulièrement sensible à la volatilisation en fonction des conditions météorologiques. De plus, arriver à épandre 65kg d'engrais par hectare peut être compliqué : réglage du semoir, recroisements fréquents quand les parcelles sont de petite taille....

Quel intérêt d'apporter d'autres éléments que l'azote via la fertilisation ?

Le tableau ci-dessous récapitule les unités d'azotes, de soufre, de magnésie et de calcium apportés lors d'un épandage de 30 unités d'azote.

Tableau n°14 : Eléments minéraux apportés par les engrais lors d'un épandage à 30uN

	Dose kg/Ha pour avoir 30 uN	N Total	S	Mg	Ca
Ammonitrate	90	30	0	0	0
Azofertil	97	30	22	0	0
Sol Synergie	200	30	84	6	8
Apex 30	100	33	20	6	0

Les écarts de rendements observés, quelles que soient les types d'engrais, ne nous permettent pas de dire qu'un apport complémentaire de soufre se traduit par une augmentation du rendement des prairies.

Ainsi, un apport annuel de matière organique régulier semble suffisant pour couvrir les besoins en soufre d'une prairie naturelle. Des analyses d'effluents d'élevage dans le cadre d'un projet de territoire

mené par la Chambre d'Agriculture mettent en avant des teneurs moyennes d'environ 1 unité de soufre (SO₃)/m³ de lisier et 1,4 unité de soufre(SO₃)/tonne de fumier.

Il en est de même pour les apports de magnésie qui n'ont pas eu d'impact sur le rendement. Pour mémoire, les analyses de terre ne montraient pas de carence en magnésie et le suivi réalisé sur les effluents d'élevage mettent en avant des teneurs moyennes de 0.85 unité de magnésie/m³ de lisier et de 1,4 unité de magnésie/tonne de fumier. Un épandage annuel permet donc de couvrir les besoins de la prairie dans cette situation.

Il est important de noter que les variations annuelles sont importantes. Une grosse partie s'explique par des conditions climatiques très différentes d'une année sur l'autre. Les années 2015 et 2016 ont été trop sèches pour permettre des repousses en fin de saison, ce qui explique notamment pourquoi les récoltes sur la troisième coupe n'ont pu être réalisées que sur l'année 2017.

CONCLUSION

Les trois années de suivi permettent d'affirmer qu'un apport de 30 unités d'azote minéral après la première coupe permet un gain de rendement significatif sur le regain. Ce gain de rendement est en moyenne de 40 % sur l'ensemble du suivi par rapport aux témoins non fertilisés et ne dépend pas du type d'engrais apporté.

L'intérêt économique diminue avec une fertilisation à hauteur de 60 unités d'azote. En effet, on passe d'un gain de 18,5 kg de MS/uN avec 30 unités à un gain de 12 kg de MS/uN avec 60 unités d'azote épandues. D'un point de vue économique il semble pertinent de limiter la fertilisation après la première coupe à 30 unités d'azote minéral pour un gain d'environ 0,5 tonne de matière sèche à l'hectare.

La fertilisation va également impacter de manière positive la qualité du fourrage (augmentation de la MAT et des PDIE&PDIN). Là encore, peu de différences apparaissent entre les différentes formes azotées. Dans ce contexte, l'apport supplémentaire de soufre n'a pas permis d'augmenter de manière significative le rendement. Il en est de même pour la magnésie.

Le choix de l'engrais à utiliser pour fertiliser une prairie naturelle recevant un apport annuel d'effluents d'élevage, doit donc se raisonner par rapport au coût de l'unité d'azote. Ainsi les formes d'azote simple semblent les mieux appropriées, car les effluents d'élevages apportent le soufre et la magnésie en quantités suffisantes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Chabalier, 2017. Engrais...que choisir ? Fiche technique Chambre d'Agriculture du Cantal.

Drillaud-Marteau C., 2013. « Performances des engrais azotés sur blés et maïs », présentation des expérimentations 2013 et synthèse d'essais, Arvalis Institut du végétal.

Farre E., Molin R., 2002. Engrais azotés soufrés sur prairie, Fiche technique de la Chambre d'agriculture du Rhône.

GOUJARD O., Soufre et fertilisation des cultures, Groupe Soufre du Comifer, communication personnelle.

El-Zanaty A.A. Abou El-Nour and Mahmoud M. Shaaban, 2012. "Response of wheat plants to magnesium sulfate fertilization", American Journal of Plant Nutrition and Fertilization Technology 2 (2): 56 – 63, Department of fertilization Technology, National Research Centre, Dokki, Cairo, Egypt.

KERGUELEN M., 1962. Valeur minérale de l'herbe (*en oligoéléments*). Influence du sol et de la fumure sur la composition minérale. *Fourrages*, 10, 63-71.

Knoden D., Lambert R., Nihoul P., Stilmant D., Pochet P., Crémer S., Luxen P., 2007. « Les livrets de l'agriculture n°15 – fertilisation raisonnée des pariries », Ministère de la région Wallonne, Direction Générale de l'agriculture.

Lapierre C., Simard R., 2000. « Le S augmente-t-il le rendement en fourrage ? », demi-journée d'information scientifique sur les fourrages, Comité des plantes fourragères du Conseil des productions végétales du Québec inc., compte-rendus des conférences.

Lapierre C., et Régis Simard R., bélanger G., 2001. « Le S influence-t-il la qualité des fourrages ? », demi-journée d'information scientifique sur les fourrages, Comité des plantes fourragères et Conseil Québécois des plantes fourragères, comptes-rendus des conférences.

Mathot M., Mertens J., Verlinden G., Lambert R., 2008. « Positive effects of sulfur fertilisation on grasslands yields and quality in Belgium », Europ. J. Agronomy 28, 655 – 658,
