

JOURNÉE D'INFORMATION SCIENTIFIQUE – BOVINS LAITIERS ET PLANTES FOURRAGÈRES

Engrais à libération contrôlée: effets sur le rendement et la valeur nutritive des graminées fourragères

BERNARD GAGNON, NOURA ZIADI, GILLES BÉLANGER, GAËTAN TREMBLAY,
GAËTAN PARENT

Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2560 boul. Hochelaga, Québec, QC, G1V 2J3, bernard.gagnon@agr.gc.ca.

Mots clés: engrais azotés, urée, engrais à libération contrôlée, graminées, valeur nutritive du fourrage

Introduction

L'urée est actuellement la source d'engrais azoté la plus utilisée en production végétale en raison de sa teneur élevée en N (460 g kg^{-1}) qui en réduit grandement son coût d'utilisation comparativement à d'autres sources de fertilisants minéraux, tout en étant un produit facile à transporter, à entreposer et à épandre (Soares *et al.*, 2012). Cependant, l'urée présente l'inconvénient d'être sensible aux pertes par volatilisation sous forme d'ammoniac suite à son hydrolyse, particulièrement lorsque laissée en surface du sol sans incorporation. Lorsque l'urée est appliquée à des cultures fourragères, ces pertes peuvent varier de 5 à 40% selon les conditions environnementales (UNECE, 2015).

Une option disponible pour limiter l'hydrolyse de l'urée après son application est l'utilisation d'inhibiteurs d'uréase tels que le NBPT (Agrotain®; Trenkel, 2010). Ce produit permet d'appliquer l'urée en surface du sol et laisse une période jusqu'à 12 jours aux précipitations pour déplacer par dissolution l'urée plus en profondeur dans le sol limitant ainsi les pertes ammoniacales par volatilisation (Dawar *et al.*, 2011). L'utilisation de NBPT entraînerait une augmentation moyenne du rendement de 10% avec une réponse plus importante dans les cultures fourragères, probablement en raison d'applications plus importantes d'azote et de la récolte de toute la biomasse aérienne (Abalos *et al.*, 2014). Pour sa part, l'urée recouverte de polymère favorise la libération de l'azote en fonction de la température du sol une fois que les granules ont été humidifiées (Trenkel, 2010). La nouvelle génération de polymères micro-minces (ESN®; Agrium Inc., 2014) coûte moins cher que les autres types d'engrais à libération contrôlée tout en offrant l'opportunité aux agriculteurs de les utiliser avec un seul passage annuel au printemps. L'utilisation d'ESN en production fourragère donnerait par contre un rendement faible en matière sèche (MS) lors de la première coupe par rapport aux engrais traditionnels (nitrate d'ammonium; Connell *et al.* 2011). Cependant, en le mélangeant dans une proportion égale avec l'urée, le rendement et la valeur nutritive du fourrage seraient améliorés (Payne et Hancock, 2013).

Les engrais à base d'urée ont largement été évalués sur les cultures annuelles telles le maïs et la pomme de terre, mais l'ont été beaucoup moins sur les cultures fourragères pérennes, en particulier sous les conditions pédoclimatiques du Québec. Par conséquent, notre objectif était d'évaluer les effets de trois sources d'engrais azotés à libération contrôlée appliquées à plusieurs doses sur le rendement, la valeur nutritive de la fléole des prés, de même que sur les teneurs en nitrates du sol après la première coupe et à l'automne.

Méthodologie

Une expérience au champ a été réalisée à Lévis pendant trois ans (2014–2016) sur une prairie à dominance de fléole des prés cultivée sur une argile Kamouraska (pH 5,8 et matière organique 55 g kg^{-1}). Pour éviter tout effet résiduel des traitements azotés, un nouveau site expérimental a été établi annuellement à un endroit différent dans le même champ.

Les traitements consistaient en: (i) un témoin sans engrais azotés (0 kg N ha^{-1}), (ii) un traitement de référence (nitrate d'ammonium calcique, 27-0-0) à 50, 100, 150 et 200 kg N ha^{-1} appliqué 60% au début du printemps (début à mi-mai) et 40% après la première coupe (mi-juin), et (iii) trois différents traitements d'engrais azotés à libération contrôlée à 50, 100, 150 et 200 kg N ha^{-1} , tous appliqués au début du printemps. Les traitements d'engrais à libération contrôlée étaient: ESN (désigné FRN au Québec), mélange d'ESN et d'urée (50:50 sur une base sèche, ESN:urée), et urée plus Agrotain (urée:Agrotain). Des engrais P et K ont été ajoutés au printemps selon les analyses de sol. Les 68 parcelles ($1,5 \times 5 \text{ m}$) ont été disposées selon un plan en blocs complets aléatoire avec un total de 17 traitements [(témoin sans N + (4 sources de N \times 4 doses de N)] et quatre répétitions.

À chaque année, les parcelles ont été récoltées selon une régie de deux coupes à l'aide d'une fourragère de parcelle au stade début épiaison de la fléole des prés vers la mi-juin (coupe 1) et à la mi-août (coupe 2). Le rendement en matière sèche a été déterminé. La valeur nutritive des fourrages a été évaluée par leurs teneurs en fibres ADF, fibres NDF, N total, nitrates, N non protéique (A), protéines rapidement dégradables (B1), protéines moyennement dégradables (B2) et protéines lentement dégradables plus protéines non digestibles (B3+C). La digestibilité *in vitro* de la matière sèche et la digestibilité *in vitro* de la fibre NDF du fourrage ont aussi été mesurées. La teneur en nitrates du sol a été déterminée uniquement à la profondeur 0-15 cm après la coupe 1 et à la fin de septembre.

Résultats

Les trois différents traitements d'engrais azotés testés ont produit des rendements fourragers annuels semblables à l'engrais de référence (nitrate d'ammonium calcique) au cours des trois années (Fig. 1C). Cependant, la répartition du rendement entre les deux coupes a été significativement affectée par le type d'engrais. Le rendement le plus élevé à la première coupe de fourrage a été obtenu avec les traitements ESN:urée et urée:Agrotain (Fig. 1A), alors qu'en deuxième coupe, l'ESN appliqué seul a produit les meilleurs rendements (Fig. 1B). Les différences de rendement ont notamment été observées aux doses d'application inférieures à 150 kg N ha^{-1} . Ces résultats sont expliqués par la libération de l'azote de l'ESN lors de l'application au début du printemps qui était trop lente dans les conditions climatiques de l'étude (températures fraîches en mai, $10\text{-}12^\circ\text{C}$) pour être efficace à la première coupe. Par contre, le mélange de l'ESN avec de l'urée non protégée (ESN:urée) peut fournir suffisamment d'azote pour la croissance printanière précoce de la fléole des prés tout en maintenant les avantages de la libération lente surtout pour la deuxième coupe. Le fait de mélanger l'ESN avec de l'urée causerait aussi une diminution de ses coûts d'utilisation.

D'une façon générale, le rendement en matière sèche du fourrage à chacune des coupes a augmenté avec l'augmentation de la dose de N appliquée. Lors de la première coupe, cette augmentation était caractérisée par un modèle de type quadratique-plateau avec un maximum de rendement obtenu autour des doses d'application de 100-110 kg N ha^{-1} pour les traitements ESN:urée et urée:Agrotain, et 90 kg N ha^{-1} pour le nitrate d'ammonium calcique, alors qu'aucun optimum n'a été obtenu pour l'ESN (Fig. 1A). En seconde coupe, la réponse de la culture aux doses croissantes de N a été linéaire (Fig. 1B). Le rendement annuel moyen en matière sèche, pour l'ensemble des sources d'engrais et des années, est passé de $5,7 \text{ t MS ha}^{-1}$ avec le témoin non fertilisé à $9,5 \text{ t MS ha}^{-1}$ avec $200 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ (Fig. 1C). Cette réponse aux doses de N était semblable au cours des trois années et le rendement annuel maximum n'a pu être atteint dans cette étude avec la dose maximale appliquée.

L'urée:Agrotain appliquée à une dose de 150 kg N ha^{-1} a favorisé une plus grande accumulation de N total et de nitrates dans le fourrage à la coupe 1 que les autres sources d'engrais (Tableau 1). Les concentrations en nitrates du

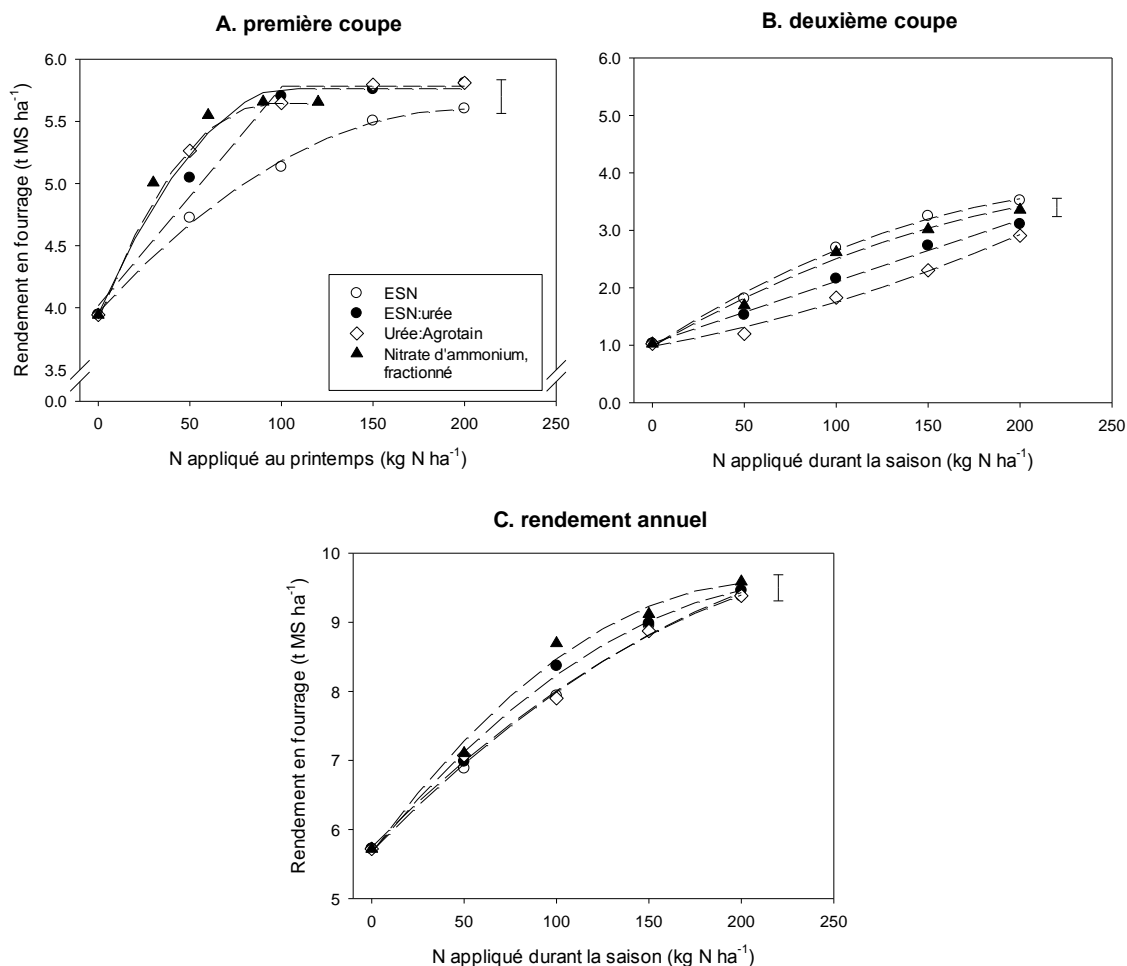


Figure 1. Effet de la source d'azote et de la dose d'application sur le rendement en matière sèche (MS) du fourrage de fléole des prés (moyenne de trois années). La barre verticale dans chacune des figures représente la valeur critique qui permet de séparer significativement les différents traitements (sources et doses de N).

fourrage ont même été près de 1000 mg kg^{-1} MS, ce qui représente un risque pour la santé du bétail en régie sous foin sec, en particulier chez les animaux gestants (Rusche *et al.*, 2012). L'urée:Agrotain a aussi causé une augmentation des teneurs en N non-protéique et une diminution des teneurs en protéines lentement à moyennement dégradables dans le rumen. À l'exception de l'effet associé aux doses d'application de N, les différents traitements d'engrais azotés ont eu peu d'effets sur les teneurs en fibres ADF et NDF ainsi que sur la digestibilité *in vitro* de la matière sèche et des fibres NDF (données non présentées).

À la deuxième coupe, les concentrations en N total du fourrage étaient plus élevées avec l'ESN et le nitrate d'ammonium calcique qu'avec les traitements ESN:urée et urée:Agrotain (Tableau 1). Les concentrations en N total du fourrage ont largement diminué avec les traitements ESN:urée et urée:Agrotain en deuxième coupe par rapport à la première coupe, suggérant une disponibilité réduite de l'azote pour ces deux sources d'engrais. Les concentrations en nitrates du fourrage étaient beaucoup plus faibles dans le fourrage de deuxième coupe et elles n'ont pas été affectées par la source de N. Comme pour la teneur en N total, l'ESN appliqué seul a procuré des teneurs plus élevées en N non-protéique et plus faibles en protéines lentement dégradables comparativement au mélange avec l'urée (ESN:urée). L'ESN a aussi favorisé une légère augmentation de la teneur en fibres ADF de même qu'une légère diminution de la digestibilité *in vitro* des de la matière sèche.

Tableau 1. Effet de la source d'engrais azoté appliquée à 150 kg N ha^{-1z} sur la valeur nutritive du fourrage de fléole des prés.

Paramètres	Témoin 0 N	ESN	ESN:urée	Urée:Agrotain	Nitrate ammonium
Coupe 1					
N total (g kg ⁻¹ MS)	18.0 d	24.0 c	25.7 b	27.8 a	24.6 bc
Nitrates (g N-NO ₃ kg ⁻¹ MS)	5 d	241 c	420 b	1001 a	186 c
Fractions protéiques (g kg ⁻¹ N total)					
N non protéique	140 c	188 ab	204 ab	231 a	168 bc
Protéines rapidement dégradables	166 a	167 a	174 a	176 a	176 a
Protéines moyennement dégradables	451 a	433 ab	414 bc	394 c	442 ab
Protéines lentement dégradables	239 a	209 b	205 bc	197 c	211 b
Coupe 2					
N total (g kg ⁻¹ MS)	19.9 c	24.4 a	21.7 b	21.9 b	23.8 a
Nitrates (g N-NO ₃ kg ⁻¹ MS)	8 b	52 a	36 a	31 ab	34 a
Fractions protéiques (g kg ⁻¹ N total)					
N non protéique	189 abc	219 a	163 c	164 bc	202 ab
Protéines rapidement dégradables	153 b	197 a	198 a	194 a	190 a
Protéines moyennement dégradables	358 b	360 ab	388 a	387 a	376 ab
Protéines lentement dégradables	299 a	224 c	252 b	256 b	231 c
Fibres ADF (g kg ⁻¹ MS)	316 c	359 a	354 b	350 b	348 b
Digestibilité <i>in vitro</i> de la matière sèche (g kg ⁻¹ MS)	901 a	866 c	873 bc	874 bc	878 b

Des lettres différentes pour un même paramètre indiquent une différence significative entre les traitements.

^z 90 kg N ha⁻¹ pour le nitrate d'ammonium calcique à la coupe 1.

La teneur en nitrates du sol dans la couche de 0 à 15 cm après la coupe 1 était la plus élevée avec le traitement urée:Agrotain suivie par l'ESN:urée pour des doses d'application égales ou plus grandes que 150 kg N ha⁻¹ (Fig. 2A). À 200 kg N ha⁻¹, la teneur en nitrates du sol (45 kg N ha⁻¹) avec ces deux sources de N (urée:Agrotain et ESN:urée) était près de deux fois plus élevée que celle avec le traitement de nitrate d'ammonium calcique (25 kg N ha⁻¹). À l'automne, les teneurs en nitrates du sol étaient faibles, et ce, même aux doses les plus élevées de N (Fig. 2B); elles étaient en moyenne 5 kg N ha⁻¹ plus élevées avec les traitements de fertilisation azotée qu'avec le témoin non fertilisé et elles étaient peu affectées par la source d'engrais.

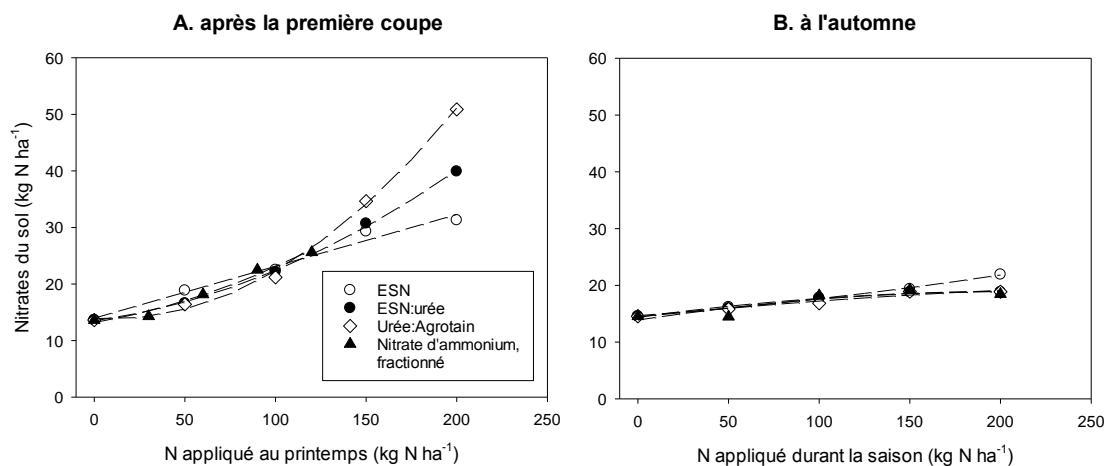


Figure 2. Effet de la source d'azote et de la dose d'application sur les teneurs en nitrates du sol dans la couche 0-15 cm au cours de la saison de croissance (moyenne des trois années).

Conclusions

La source d'engrais azoté n'a pas affecté le rendement annuel de la fléole des prés, mais elle a affecté la répartition des rendements entre les deux coupes. La nouvelle génération de polymères micro-minces qui inhibe la dégradation de l'urée, soit l'ESN, appliquée sans urée non protégée a causé une diminution du rendement à la première coupe du fourrage en comparaison aux autres sources d'engrais azotés étudiées. À l'inverse, à la coupe 2, l'ESN appliqué seul a produit les rendements les plus élevés et a favorisé la production d'un fourrage ayant une teneur élevée en N total et une proportion faible de protéines lentement dégradables.

Les applications de ESN:urée et urée:Agrotain ont quant à eux produit les rendements les plus élevés en première coupe, similaires au traitement d'application printanière de nitrate d'ammonium calcique (60% du fractionnement), et ont favorisé la production d'un fourrage ayant des teneurs en N total et en nitrates plus élevées; la teneur en nitrates était la plus élevée et la proportion de protéines moyennement et lentement dégradables était la plus faible dans le fourrage issu du traitement urée:Agrotain.

Les engrais azotés à base d'urée, quelle que soit leur forme, semblent être une alternative intéressante au nitrate d'ammonium calcique sous les conditions de l'est du Canada, mais des recherches supplémentaires sont nécessaires pour peaufiner les proportions à appliquer à chaque coupe et pour considérer d'autres sources ou combinaisons ainsi que d'autres types de graminées ayant un meilleur gain estival que la fléole des prés.

Références

- Abalos, D., Jeffery, S., Sanz-Cobena, A., Guardia, G., et Vallejo, A. 2014. Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 189, 136-144.
- Agrium Inc. 2014. ESN Smart Nitrogen. www.smartnitrogen.com/.
- Connell, J.A., Hancock, D.W., Durham, R.G., Cabrera, M.L., et Harris, G.H. 2011. Comparison of enhanced-efficiency nitrogen fertilizers for reducing ammonia loss and improving bermudagrass forage production. *Crop Science* 51, 2237-2248.
- Dawar, K., Zaman, M., Rowarth, J.S., Blennerhassett, J., et Turnbull, M.H. 2011. Urea hydrolysis and lateral and vertical movement in the soil: effect of urease inhibitor and irrigation. *Biology and Fertility of Soils* 47, 139-146.
- Payne, K.M. et Hancock D.W. 2013. Effect of ESN nitrogen fertilizer on bermudagrass forage production. *Proceedings of the ASA, CSSA, and SSSA International Annual Meetings, Tampa, Floride, 3-6 Nov. 2013.*
- Rusche, W., Cassel, E.K., Vough, L.R., et Barao, S.M. 2012. Nitrate poisoning of livestock: causes and prevention. *South Dakota State University Extension. Publication 02-2041-2012.*
- Soares, J.R., Cantarella, H., et de Campos Menegale, M.L. 2012. Ammonia volatilization losses from surface-applied urea with urease and nitrification inhibitors. *Soil Biology and Biochemistry* 52, 82-89.
- Trenkel, M.E. 2010. *Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture.* 2nd ed. International Fertilizer Industry Association, Paris.
- UNECE. 2015. Framework code for good agricultural practice for reducing ammonia emissions. www.unece.org/index.php?id=41358.