

Effets de la fertilisation sur la production, la valeur nutritive et la diversité floristique d'une prairie de fauche en marais charentais

D. Durant, E. Kernéis

Face à des enjeux de biodiversité et de valorisation agricole des marais littoraux atlantiques, la définition des cahiers des charges agri-environnementaux nécessite, entre autres, de pouvoir prédire les effets de la fertilisation sur la flore de ces prairies naturelles. Or, peu de références locales sont disponibles.

RÉSUMÉ

Un essai a été conduit pendant 7 ans sur la végétation d'une prairie naturelle des marais charentais. Divers traitements de fertilisation sont comparés (fertilisation minérale vs organique, fertilisation azotée de 0 ou 60 ou 100 unités, complétée ou non par des apports P, K et S). Ne modifiant pas la valeur nutritive des fourrages, la fertilisation azotée s'est avérée bénéfique pour améliorer la quantité de fourrages récoltés, et ce dès la première année. Elle favorise les graminées au détriment des autres dicotylédones et du carex ; la perte d'espèces végétales (en moyenne 2 espèces pour 100 unités N/ha/an) et de diversité spécifique est modeste. Dès l'arrêt de la fertilisation, la production chute mais les changements sur la flore perdurent pendant 4 ans. Les résultats sont discutés au regard du débat actuel sur les mesures agri-environnementales en marais.

SUMMARY

Effects of fertilisation on forage yield, feed value, and plant diversity in a permanent grassland located in the marshes of Western France

Understanding how fertilisation affects the flora found in natural marsh grasslands along the Atlantic coast is an important part of establishing environmental standards for agricultural systems. We conducted a seven-year experiment in a permanent grassland in the Charente department of France. A variety of fertilization treatments were applied to our study plots (i.e., mineral vs. organic fertilisation; use of nitrogen fertilisers vs. nitrogen fertilisers containing P, K, or S; and different quantities of nitrogen fertilisers [0, 60, or 100 units of N/ha/year]). We found that although nitrogen fertilisation did not improve feed value (crude protein content and digestibility), it did improve forage yield as of the first year of the experiment. It also benefited grasses, to the detriment of legumes and sedges. Fertilisation resulted in a minimal loss of species richness and biodiversity exclusively on plots that received high levels of fertilisers (an average of 2 species on plots receiving 100 units of N/ha/year). As soon as the treatments ended, forage yields dropped to control levels. In contrast, floristic changes persisted for 4 years.

Les marais littoraux atlantiques s'étendent sur plus de 200 000 hectares (de l'embouchure de la Vilaine à celle de la Gironde). Les prairies naturelles qui les composent sont depuis longtemps au cœur des préoccupations des environmentalistes car considérées comme le support d'une biodiversité remarquable. Ce sont notamment des milieux riches en espèces végétales (TERRISSE, 1982) dont certaines sont rares ou considérées comme patrimoniales. Reconnue au plan national et européen, cette diversité floristique a cependant souffert de l'évolution des pratiques agricoles (notamment l'augmentation de la ferti-

sation) dans le but d'intensifier la production de fourrages et ainsi assurer une certaine valorisation économique de ces milieux par l'élevage. Ceci a conduit à un certain appauvrissement de la flore locale (TOUSSAINT, 1993). Nous savons aujourd'hui que la conservation de ce patrimoine floristique passe par le maintien de pratiques extensives (TERRISSE et DAUDON, 1993) ; c'est pourquoi les Marais de l'Ouest (charentais et poitevin) ont bénéficié, dès le début des années 1990, des premières mesures agri-environnementales françaises (MAE) qui préconisent, entre autres, des baisses des niveaux de fertilisation (STEYAERT, 2002).

AUTEURS

Domaine INRA SAD, 545, route du Bois Maché, F-17450 Saint-Laurent-de-la-Prée ; daphne.durant@stlaurent.lusignan.inra.fr

MOTS CLÉS : Charente, évolution, fertilisation azotée, fertilisation phosphatée, fertilisation potassique, fumier, marais, mesure agri-environnementale, prairie permanente, production fourragère, richesse spécifique, soufre, valeur nutritive, végétation.

KEY-WORDS : Change in time, Charente, farm environmental measures, forage production, manure, marsh, nitrogen fertilisation, number of species present, nutritive value, permanent pasture, phosphate fertilisation, potassic fertilisation, sulfur, vegetation.

RÉFÉRENCE DE L'ARTICLE : Durant D., Kernéis E. (2015) : "Effets de la fertilisation sur la production, la valeur nutritive et la diversité floristique d'une prairie de fauche en marais charentais", *Fourrages*, 222, 157-165.

De manière générale, la fertilisation, notamment azotée, est connue pour améliorer la productivité des prairies (PARENTE et SCIMONE, 1986) en favorisant le développement d'espèces eutrophes à croissance rapide au détriment d'autres espèces moins compétitrices. Elle modifie également l'abondance relative des graminées et légumineuses, et donc la valeur nutritive du mélange (par ex. sa digestibilité) dans le cas de prairies pâturées (DEMARQUILLY 1997 ; DELABY, 2000). L'essentiel des travaux menés dans ce domaine l'ont été dans des milieux prairiaux très divers et souvent gérés de manière intensive (jusqu'à 400 unités d'azote/ha/an). Les **rares études conduites en zones humides** l'ont essentiellement été aux Pays-Bas (AERTS *et al.*, 1999 ; 2003), avec cependant quelques références françaises, en plaines alluviales par exemple (MERIAUX *et al.*, 1963 ; BROYER et PRUDHOMME, 1995 ; GREVILLIOT *et al.*, 1998). Les généralités dégagées dans d'autres milieux permettent d'envisager les effets attendus de la fertilisation en zones humides. Ces résultats ne semblent cependant pas pouvoir être simplement extrapolés, du fait de modalités de fertilisation différentes (niveaux de fertilisation notamment), d'un cortège d'espèces végétales différent ou de facteurs du milieu susceptibles d'influencer la réponse de la végétation (durée de submersion, salinité du sol ; BOUZILLE *et al.*, 2001). Des études supplémentaires spécifiques aux zones humides sont donc nécessaires.

Face à ces enjeux de biodiversité et de valorisation agricole des marais littoraux atlantiques, la définition des cahiers des charges agri-environnementaux nécessite, entre autres, de pouvoir prédire les effets de la fertilisation sur la végétation, et ce d'un double point de vue (agricole et environnemental). En effet, dans un contexte d'incertitude sur l'avenir des MAE, il est utile d'évaluer ce qui se passerait dans le cas où celles-ci viendraient à disparaître et si la fertilisation augmentait jusqu'à des niveaux inadaptés, visant des objectifs de production trop optimistes compte tenu du potentiel des milieux (surfertilisation « d'assurance »). Pour remédier au manque de références locales, un essai a été mis en place en 1997 et conduit sur 7 ans, dans le but d'**analyser l'effet de différentes modalités de fertilisation sur la production et la valeur nutritive des fourrages, et conjointement sur l'évolution de la flore d'une prairie naturelle de marais** (prairie de fauche).

L'hydrologie et la disponibilité en minéraux sont considérées comme étant deux principaux facteurs déterminant la structure et les propriétés des prairies de marais. En tenant compte des spécificités de ce type de prairie, nous avons abordé les aspects suivants :

- **Effets des niveaux de fertilisation azotée** : les prairies de marais étant généralement déficientes en azote (GARREAU *et al.*, 1978 ; JEANNIN *et al.*, 1973), on s'attend à ce qu'elles répondent dès la première année d'application aux apports azotés en termes de production fourragère, cette production étant d'autant plus grande que le niveau de fertilisation est élevé. Les niveaux retenus ici sont ceux habituellement appliqués en marais (0, 60 et 100 unités d'azote (UN) soit 0, 180 et 300 kg/ha d'ammonitrate 33 %). Nous analysons également l'effet du niveau de fertilisation

sur la valeur nutritive du fourrage récolté. Enfin, nous testons l'hypothèse d'un effet dépressif de la fertilisation sur la biodiversité de la flore, et nous examinons le niveau de fertilisation dont l'effet est significatif, et sur quelles espèces.

- **Comparaison entre deux formes de fertilisation** (minérale *vs.* organique) : la pratique de l'épandage de fumier est rare en prairies de marais. Nous testons l'hypothèse que ce serait, en partie, dû à sa moindre efficacité sur le plan agronomique, comparée aux apports azotés sous forme minérale.

- **Efficacité d'une fertilisation minérale complémentaire** : une pratique assez courante des agriculteurs dans ces milieux consiste en l'application d'une fertilisation minérale complémentaire en phosphore, potassium (sous forme de scories potassiques) et en soufre. Nous faisons l'hypothèse qu'une telle fertilisation est efficace pour le maintien ou l'augmentation du potentiel de fertilité des sols, étant donné là encore que ces éléments ne sont pas toujours portés, par les apports, à un niveau non limitant (PONS *et al.*, 1989).

Enfin, les changements de pratiques engendrés par la mise en place des MAE dans les marais charentais ont concerné, entre autres, la réduction des doses d'azote apportées, qui ont pu passer dans certains cas de 60 UN/ha/an (voire plus) à zéro (STEYAERT, 2002). Nous avons donc également cherché à évaluer la résilience de la flore 4 ans après l'arrêt de la fertilisation.

1. Dispositif et méthodes

■ Dispositif expérimental

Le dispositif a été mis en place en 1997 sur une parcelle de l'Unité Expérimentale INRA-SAD de Saint-Laurent-de-la-Prée. Il s'agit d'une **prairie naturelle** (jamais semée) **humide, méso-hygrophile en marais plat et de type argileux desséché** (dont la protection contre les eaux se fait grâce à des digues) - la parcelle est cependant soumise à l'excès d'eau en hiver (inondation de 1 à 3 mois/an avec 2-3 cm d'eau). Elle appartient au cortège des prairies sub-halophiles thermo-atlantiques (code Natura 2000 : habitat 14.10). Cette parcelle était jusqu'alors fauchée (début juin), fertilisée en début de printemps avec de l'ammonitrate à hauteur de 67 UN/ha/an puis, selon les années, soumise à un faible pâturage d'automne (0,6 UGB/ha sur deux semaines en octobre et novembre). Une rigole de 20 cm de large sur 30 cm de profondeur au centre du dispositif facilite l'évacuation de l'eau vers le fossé périphérique.

Les expérimentations ont été conduites en deux phases :

- **Pendant une première phase (1998-2000)**, l'objectif était de comparer les effets du niveau de fertilisation azotée (0 *vs.* 60 *vs.* 100 UN/ha/an), ainsi que la forme de fertilisation (minérale *vs.* organique - fumier -) ou la modalité de fertilisation (engrais azoté seul *vs.* engrais azoté

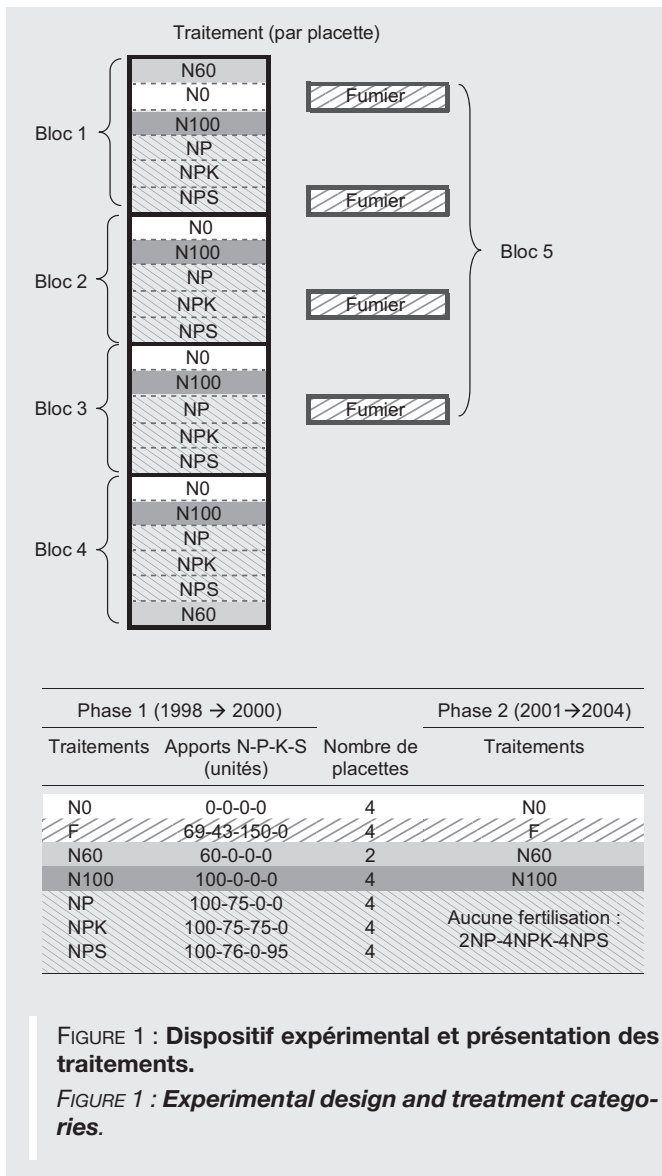


FIGURE 1 : Dispositif expérimental et présentation des traitements.

FIGURE 1 : Experimental design and treatment categories.

avec P, PK ou PS) sur la production, la valeur nutritive et la diversité floristique de la parcelle. Sur un secteur homogène de cette parcelle, nous avons ainsi délimité 5 blocs de 4 à 6 placettes de 4x30 m chacune (figure 1). Les 26 placettes ont reçu chacune l'un des **7 traitements de fertilisation** suivants (unités N-P-K-S/ha/an), chaque traitement étant répété 4 fois (seulement 2 fois pour N60) : 1) N0 (faisant office de témoin) : aucune fertilisation ; 2) Fumier¹ (F) : 69N-43P-150K-0S ; 3) N60 : 60-0-0-0 ; 4) N100 : 100-0-0-0 ; 5) NP : 100-75-0-0 ; 6) NPK : 100-75-75-0 ; 7) NPS : 100-76-0-95. Notons que 4 de ces blocs ont reçu les divers traitements mais que seul le bloc 5 a reçu le traitement F. Le traitement de fonds (i.e. ajout de P, K et S) a été appliqué chaque année à l'automne, alors que les apports azotés l'ont été au printemps.

1 : La quantité de fumier épandue est de 30 t/ha, une année sur deux (en 1998, 2000, 2002 et 2004). Selon une source de l'Institut de l'Élevage (laboratoire LARCA 72), le fumier de bovins utilisé dans cet essai (type "fumier compact" assez paillieux) a un contenu en azote de 4 kg/t. L'équivalent engrais a été calculé en multipliant ce chiffre par un coefficient qui dépend du type de fumier, de la fréquence des épandages, ainsi que la culture bénéficiaire (0,5) soit 30 t x 4 kg N x 0,5 = 60 UN/ha/an.

- Dans la deuxième phase (2001-2004), deux objectifs ont été suivis :

- comparer les effets des fertilisations organique et azotée à moyen terme (sur 7 ans au lieu de 3). Pour les traitements N0, F, N60 et N100, nous avons donc poursuivi le dispositif précédemment décrit sur 3 années supplémentaires.

- constater les effets de l'arrêt de la fertilisation minérale sur les traitements NP, NPK ou NPS (à partir de 2001) sur la production et la flore et, éventuellement, évaluer la résilience de la végétation par le temps nécessaire au retour à une végétation similaire à celle des placettes n'ayant reçu aucune fertilisation (N0).

Pour chaque année d'étude, chaque placette a fait l'objet de la collecte de 3 types de données : production de biomasse, valeur nutritive (Matières Azotées Totales et digestibilité enzymatique) et composition floristique.

■ Données de production

La biomasse récoltable de chaque placette a été mesurée par une fauche fin mai – début juin, correspondant à la date de récolte du reste de la parcelle. La fauche a été réalisée au centre de la placette à l'aide d'une moto-faucheuse sur une bande de 5 m x 0,90 m ou d'une faucheuse sur une bande de 5 m x 3 m (selon la disponibilité des machines d'une année à l'autre). La placette a ensuite été exclue du pâturage de la parcelle à l'automne. L'ensemble du prélèvement a été pesé en vert puis exprimé en tonnes de matière sèche (MS) par hectare, grâce à un sous-échantillon qui a été passé à l'étuve (à 70°C pendant 72 heures).

■ Données de valeurs nutritives

Le sous-échantillon a ensuite été broyé (broyeur à couteaux RetschMühle, grille de 1 mm). La teneur en Matières Azotées Totales (% de MS, méthode Kjeldahl) et la digestibilité enzymatique (%), méthode Aufrère) ont été mesurées aux laboratoires INRA de Lusignan ou de Bordeaux (La Grande Ferrade). Seuls les échantillons de 2001, 2002 et 2004 ont fait l'objet d'analyses dans chacune des placettes.

■ Données sur la flore

La composition botanique de chaque placette a été déterminée avant la fauche par une analyse inspirée de la « méthode de Vries » (DE VRIES et DE BOER, 1959). Une quantité de végétation (appelée « poignée ») comprise dans un cercle d'environ 20 cm de diamètre a été échantillonnée tous les mètres le long d'une ligne permanente de 25 m établie au centre de chaque placette. Pour chacune des 25 « poignées », nous avons établi la liste des espèces présentes et attribué un coefficient d'abondance relative (de 0,5 à 10 ; sur un total de 10 points par poignée) à chaque espèce. L'abondance relative (%) des plantes herbacées à l'échelle de la placette a ensuite été estimée en fonction du volume relatif des diverses espèces. Les analyses ont porté

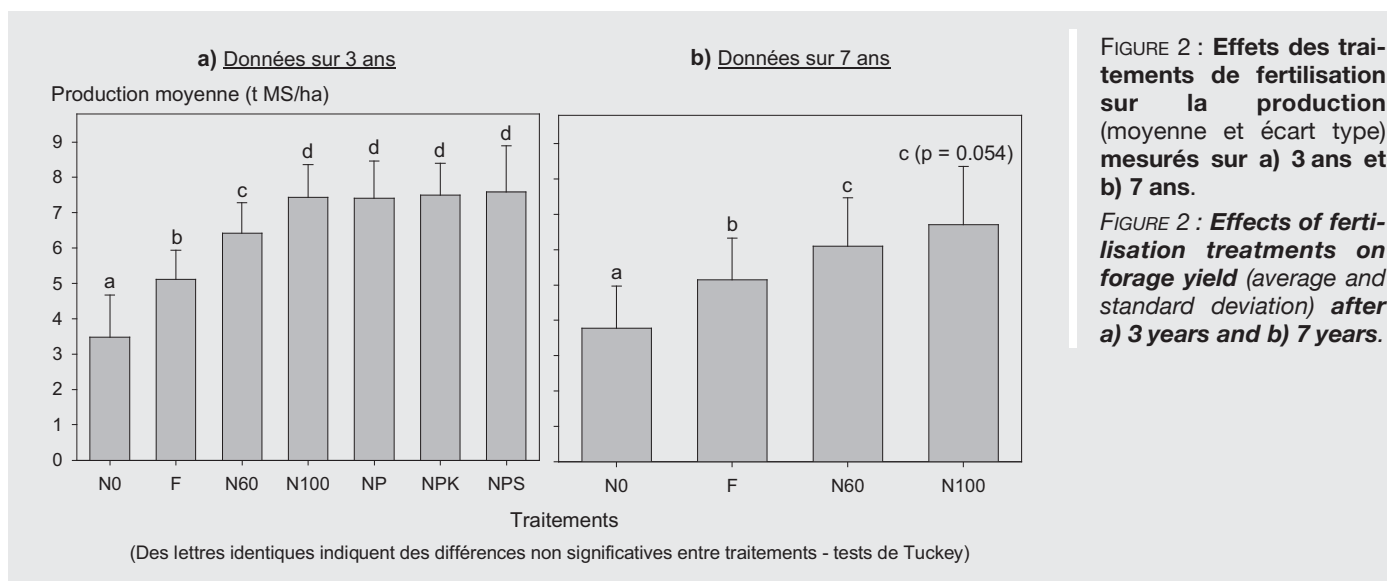


FIGURE 2 : Effets des traitements de fertilisation sur la production (moyenne et écart type) mesurés sur a) 3 ans et b) 7 ans.

FIGURE 2 : Effects of fertilisation treatments on forage yield (average and standard deviation) after a) 3 years and b) 7 years.

sur cette variable. Le sol nu est estimé en pourcentage de recouvrement de la surface de la poignée. Pour n'avoir pas fait l'objet d'une étude floristique sur toutes les placettes, l'année 2003 a été écartée des analyses. Nous avons défini, sur chaque placette, plusieurs paramètres structuraux de la communauté végétale en question : a) la richesse spécifique (S, nombre total d'espèces), b) la diversité spécifique à travers l'indice de Shannon-Weaver : $H' = -\sum (P_i \times \ln P_i)$, avec P_i , l'abondance relative de l'espèce i (soit l'abondance de l'espèce dans l'échantillonnage, divisée par la somme des abondances relatives spécifiques), et enfin c) l'équité : $e = H' / H'_{\max}$ (avec $H'_{\max} = \ln S$).

■ Traitement des données

Nous avons effectué des ANOVAs à mesures répétées qui permettent de tenir compte de la non-indépendance des données (issues des mêmes placettes) d'une année à l'autre. La sphéricité des données (symétrie de la matrice de variance-covariance) a été vérifiée, et une transformation $\log x$ ou $\arcsin \sqrt{x}$ leur a été appliquée quand cela était nécessaire pour homogénéiser les variances. Lorsque l'analyse était significative, les moyennes ont été comparées grâce à des tests HSD de Tuckey au seuil $p=0,05$. Notons que, du fait que le traitement F soit appliqué aux placettes d'un seul bloc (figure 1), l'« effet bloc » n'a pu être testé. Ayant cependant effectué l'analyse sur les 4 blocs restants, sur 3 années, et en excluant le traitement N60 absent des 2 blocs centraux, nous n'avons trouvé aucun « effet bloc » significatif (par exemple pour la production : $F=0,966$; nombre de degrés de liberté, $dl=12$, $p=0,59$). L'ensemble des relevés floristiques (toutes années confondues) a été traité en analyses multivariées (Analyse en Composante Principale, ACP) afin de mettre en évidence un possible gradient floristique dû aux différents traitements de fertilisation.

Comme détaillé précédemment, les effets de l'arrêt de la fertilisation ont été étudiés sur 4 ans (2001-2004) après 3 ans de fertilisation NP, NPK et NPS (1998-2000). Dans la mesure où nous n'avons pas trouvé de différence ni dans la production, ni dans les paramètres floristiques

entre NP, NPK et NPS (voir résultats), les valeurs des 10 placettes ont été moyennées pour n'en donner qu'une seule (seules 2 placettes étaient disponibles pour NP). Ce regroupement de traitements (appelé 2NP-4NPK-4NPS) a été comparé (pour chaque année) d'une part à N0 et, d'autre part, à N100 à travers des tests de Kruskal-Wallis suivis de tests post-hoc (comparaisons deux à deux). Toutes les analyses ont été réalisées avec le logiciel Statistica 6.0.

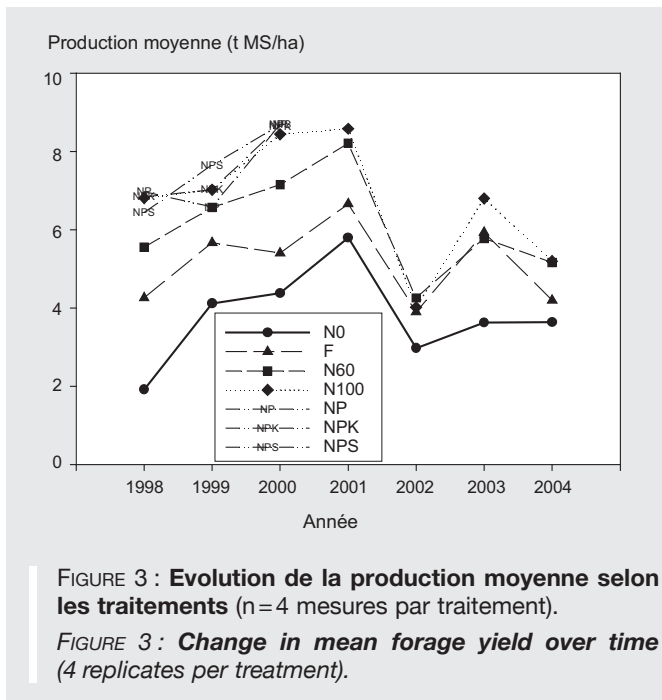
2. Résultats

■ Effets de différentes modalités de fertilisation : formes et niveaux de fertilisation

• Conséquences sur la production

Sur la base des données collectées les 3 premières années (1998-2000), les traitements de fertilisation ont un effet significatif sur la production ($F=114,76$, $dl=6$, $p \leq 0,001$; figure 2a). Cette forme de représentation masque **une variabilité interannuelle** (figure 3), **très probablement associée aux variations climatiques** qui influencent la vitesse de pousse de l'herbe, comme le suggère l'effet significatif de l'année ($F=62,69$, $dl=2$, $p \leq 0,001$) – à moins que cela ne traduise aussi un effet cumulatif des traitements au cours du temps. Notons que l'influence des facteurs climatiques sur la production (mais également sur les autres variables de l'essai) fait l'objet d'analyses indépendantes à cet article. L'interaction traitement \times année est également significative ($F=7,40$, $dl=12$, $p \leq 0,001$), montrant que la hiérarchie entre les traitements n'est pas tout à fait la même d'une année à l'autre. Les analyses faites sur 7 ans (1998-2004) donnent des résultats très similaires (figure 2b).

Effet du niveau de fertilisation azotée : **La production augmente avec le niveau de fertilisation azotée, et ce dès la première année d'application.** La produc-



tion obtenue pour les traitements N60 et N100 est en moyenne (sur les 3 années), respectivement, de 6,4 et 7,4 t MS/ha, soit 84 % et 114 % plus élevée que celle de N0 (3,5 t MS/ha).

Effet de l'apport de fumier : La production moyenne obtenue avec épandage de fumier (5,1 t MS/ha sur 7 ans) est significativement différente et comprise entre celle obtenue pour N0 et N60. Sur les 7 années, **l'ajout de fumier n'est donc pas aussi satisfaisant que N60** (production 20 % moins élevée), mais la production est supérieure de 46 % par rapport à N0.

Effets des fertilisations minérales complémentaires (PKS) : Les productions obtenues pour les traitements N100, NP, NPK et NPS ne diffèrent pas significativement les unes des autres (figure 2a). Nous en concluons que, dans cet essai, **l'apport de P, PK ou PS** (en plus de 100 UN) pendant 3 années successives **n'augmente pas la production fourragère par rapport à une fertilisation de 100 UN/ha/an**, et que **ces 3 éléments ne semblent pas limitants** dans nos conditions expérimentales.

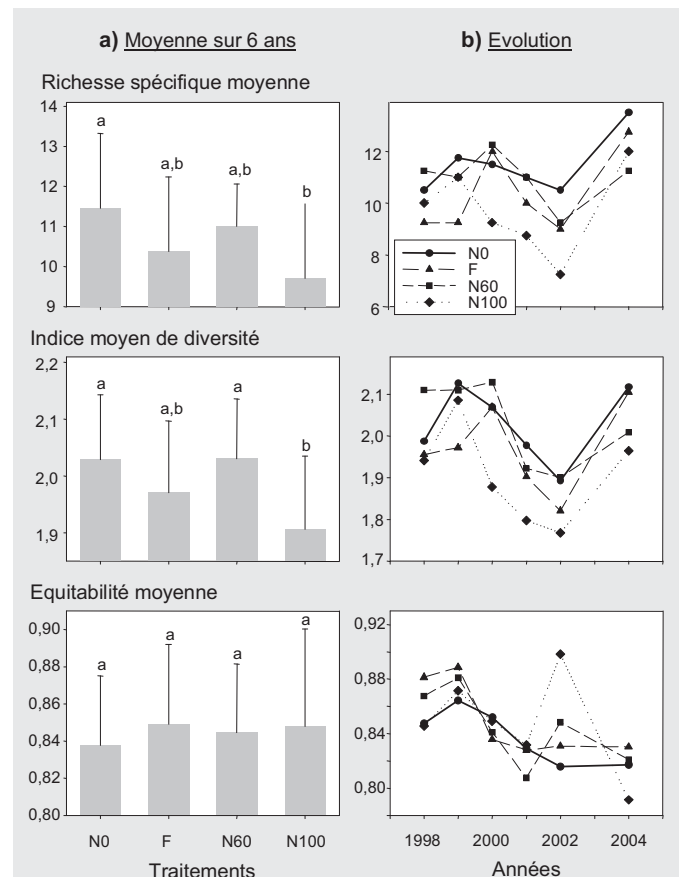
• Conséquences sur la valeur nutritive du fourrage

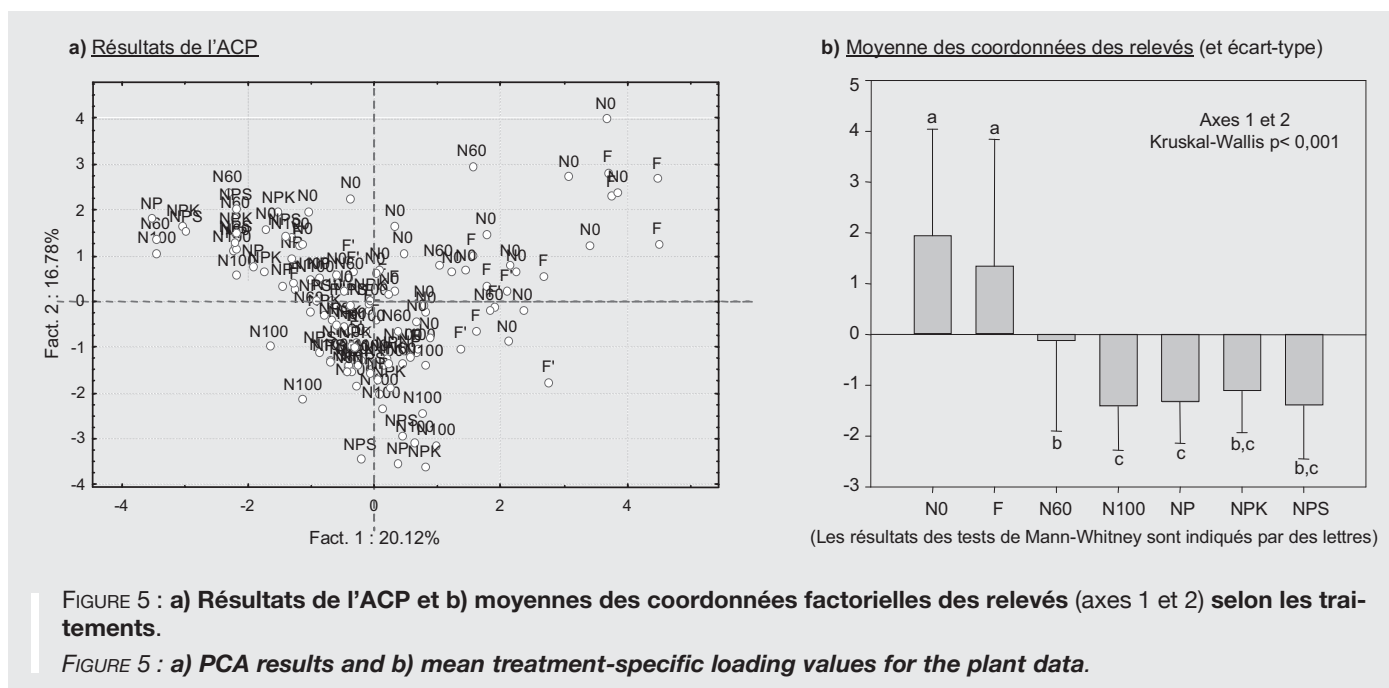
Les résultats issus des analyses faites sur 3 années (2001, 2002 et 2004) montrent que **le niveau de fertilisation azotée** (0, 60 et 100 UN/ha/an) **tout comme la forme de fertilisation** (azote minéral vs fumier) **n'ont aucun effet sur la valeur nutritive du fourrage**, et ce aussi bien pour la teneur en Matières Azotées Totales ($F=0,73$, $dl=3$, $p=0,56$; MAT moyenne = $7,3 \pm 1,2\%$, toutes années et traitements confondus) que pour la digestibilité ($F=0,70$, $dl=3$, $p=0,57$; digestibilité moyenne = $49,0 \pm 2,6\%$). Il y a en revanche un effet année sur la teneur en Matières Azotées Totales ($F=14,23$, $dl=2$, $p \leq 0,001$), mais pas sur la digestibilité ($F=2,44$, $dl=2$, $p=0,11$).

• Conséquences sur la diversité spécifique

Dans l'ensemble des 171 relevés, 31 espèces ont été répertoriées. La végétation des placettes N0 est typique de celle d'une **prairie naturelle permanente à dominante de graminées** (contribution relative d'un peu plus de 60 %) et pauvre en légumineuses (6 %). Les Cypéracées sont assez bien représentées (19 %) et les dicotylédones rares (1 %).

Effet du niveau de fertilisation azotée : Les analyses à court terme, c'est-à-dire sur les 3 premières années (1998-2000), ne révèlent aucun effet significatif de la fertilisation sur la richesse spécifique ($F=1,71$, $dl=6$, $p=0,17$) et seulement une tendance sur la diversité ($F=2,36$, $dl=6$, $p=0,07$; figure 4), ceci étant imputable à des écarts types assez élevés. Malgré une variabilité inter-annuelle importante (voir l'effet année significatif sur la richesse : $F=18,04$, $dl=5$, $p \leq 0,001$ et la diversité : $F=31,14$, $dl=5$, $p \leq 0,001$, ainsi que l'effet de l'interaction traitement \times année sur la richesse : $F=2,87$, $dl=15$, $p \leq 0,01$ et sur la diversité : $F=3,21$, $dl=15$, $p \leq 0,001$), les analyses effectuées sur 6 années montrent que **le nombre d'espèces et la diversité diminuent pour le niveau de fertilisation le plus élevé comparé à N0** (richesse :





F=3,82, dl=3, p=0,039; diversité: F=5,29, dl=3, p=0,015). Cet effet, seulement significatif entre N0 et N100, reste cependant modeste puisqu'on constate **en moyenne une perte de 2 espèces végétales** (soit une diminution de richesse spécifique d'environ 17%). Le niveau de fertilisation n'affecte pas significativement l'équitabilité quel que soit le nombre d'années considéré.

Comparaison du traitement avec fumier à N60 : Les analyses effectuées à court (3 ans) ou moyen terme (6 ans) ne révèlent aucun effet significatif d'apport de fumier sur la richesse spécifique (même si ce dernier montre une tendance à la diminution du nombre d'espèces), la diversité, ou l'équitabilité comparé à N60.

Efficacité d'une fertilisation minérale complémentaire : L'ajout d'un engrais de fonds n'a d'effet significatif sur aucun paramètre floristique.

Les résultats de l'ACP montrent que le plan principal composé des 2 premiers axes représente 36,8 % de l'inertie totale (respectivement 20,1 et 16,7%). La projection dans ce plan du traitement (en variable illustrative) auquel chaque relevé appartient montre un effet net de la fertilisation (figure 5a; chaque point représente une placette). A l'issue de cette ACP, les coordonnées des relevés sur les 2 premiers axes ont ainsi été combinées et soumises à un test de Kruskal-Wallis qui a révélé **un effet significatif du traitement, et notamment du niveau de fertilisation azotée (0, 60 et 100 UN/ha/an), sur la composition floristique** (figure 5b).

Les abondances relatives moyennes des principales espèces présentes dans les relevés sont reportées dans le tableau 1. **La fertilisation azotée a tendance à favoriser les graminées fourragères** (clonales), particulièrement *Agrostis tenuis*, *Alopecurus bulbosus*, ainsi que *Lolium*

	Graminées*					Légumineuses*			Autres*							
	LOL	AGT	HSE	BRO	ALO	HOL	VUL	POA	GAU	Total	TMA	TMI	Total	CDI	OEM	Total
N0	16,4	9,8	11,3	10,3	7,3	3,4	1,8	1,0	1,1	62,5 ± 9,0	3,6	1,8	5,5 ± 6,8	18,6	0,7	19,5 ± 2,9
F	15,8	11,9	10,0	8,6	10,2	3,4	1,1	1,7	0,2	63,0 ± 9,2	2,3	4,4	6,8 ± 10,0	18,3	0,4	19,0 ± 5,0
N60	19,3	12,2	12,3	12,2	6,6	4,8	3,5	2,4	3,7	77,1 ± 7,5	3,1	0,2	3,3 ± 6,7	12,3	0,6	14,3 ± 4,7
N100	22,0	16,5	12,8	12,0	11,5	2,7	2,2	1,6	0,2	81,5 ± 6,7	0,5	0,4	0,9 ± 1,6	11,4	0,6	12,0 ± 2,6
NP	24,0	12,6	13,1	8,6	12,5	3,2	3,7	2,7	0,6	81,0 ± 8,2	0,4	0,0	0,4 ± 0,7	12,4	0,6	13,0 ± 3,7
NPK	21,0	12,6	13,7	9,5	13,2	2,0	4,2	2,5	0,5	79,1 ± 6,8	0,4	0,0	0,6 ± 0,7	13,0	0,5	13,5 ± 3,0
NPS	21,8	13,3	12,5	8,2	13,2	2,2	5,1	2,7	1,2	80,2 ± 11,5	0,1	0,0	0,1 ± 0,2	11,1	0,8	11,9 ± 3,2
Tendance**	↗	↗	=	=↗	↗	=	=↗	↗	↘	↗	↘	↘	↘	↘	=	↘

* LOL : *Lolium perenne*, AGT : *Agrostis tenuis*, HSE : *Hordeum secalinum*, BRO : *Bromus commutatus*, ALO : *Alopecurus bulbosus*, HOL : *Holcus lanatus*, VUL : *Vulpia bromoides*, POA : *Poa trivialis*, GAU : *Gaudinia fragilis*, TMA : *Trifolium squamosum*, TMI : *Trifolium michelianum*, CDI : *Carex divisa*, OEM : *Oenanthe silaifolia*.

** Tendance : évolution des abondances relatives des espèces en fonction du niveau de fertilisation azotée : ↗ : Augmentation, = : Stabilité, =↗ : Stabilité à augmentation, ↘ = Diminution.

TABLEAU 1 : Abondances relatives moyennes (%) des principales espèces présentes dans les relevés après 3 ou 7 ans de suivi (selon les traitements).

TABLE 1 : Relative mean abundance (%) of the main species present across the different treatment categories 3 and 7 years after the experiment began.

perenne, alors que l'abondance relative des autres graminées reste stable ou en légère augmentation, sauf *Gaudinia fragilis* dont le taux de recouvrement diminue. Les légumineuses, particulièrement *Trifolium squamosum* et *Trifolium michelianum*, ainsi que les autres dicotylédones sont moins abondantes. Une Cypéracée typique des marais charentais, *Carex divisa*, est affectée, voyant **son abondance relative diminuer d'environ un tiers**. Enfin, les légumineuses étant en général favorisées par addition de phosphore et de potassium, l'ajout d'un engrais de fonds (ajouté aux 100 UN) n'a pas ici d'effet positif sur leurs abondances.

■ Effet de l'arrêt de la fertilisation : évolution sur 4 ans après arrêt

• Conséquences sur la production

On constate sur la figure 6 que, de 1998 à 2000, les productions obtenues pour les 4 traitements N100 sont analogues, et significativement supérieures à celles de N0. En revanche, **dès l'arrêt de la fertilisation** en 2001, les productions du traitement 2NP-4NPK-4NPS chutent et **ne sont plus significativement différentes de celles de N0**.

• Conséquences sur la flore

Que ce soit avant ou après l'arrêt de la fertilisation, les tests de Kruskal-Wallis effectués pour chaque année montrent qu'il y a peu de différence significative de richesse spécifique, de diversité et d'équitabilité entre les traitements N0, N100 et 2NP-4NPK-4NPS (même s'il y a une tendance à ce que les richesses et diversités spécifiques de N100 et 2NP-4NPK-4NPS soient inférieures à celles de N0). Ce résultat est à mettre en relation avec le fait que les changements floristiques d'un traitement à l'autre sont modestes (diminution moyenne de 2 espèces végétales entre N0 et N100 ; figure 4 en haut). Après arrêt

de la fertilisation, aucune évolution significative de la diversité spécifique ou de l'équitabilité n'est constatée dans 2NP-4NPK-4NPS, ces indices continuant à être très proches de ceux de N100.

3. Discussion - conclusion

■ L'azote est bien un facteur limitant la productivité des prairies de marais

La production obtenue dans les placettes non fertilisées (environ 3,5 t MS/ha) est comparable à celle évoquée dans certaines études menées en zones humides (de 2 à 4, voire 5 t MS/ha ; MERIAUX *et al.*, 1963 ; PONS *et al.*, 1990) sous des conditions climatiques proches de celles de notre essai. En accord avec les résultats de la littérature, la production augmente avec le niveau de fertilisation azotée (MERIAUX *et al.*, 1963 ; LEMAIRE *et al.*, 1982 ; PARENTE et SCIMONE, 1986), dès la première année d'application. De même, dès l'arrêt de la fertilisation, les productions fourragères chutent de manière significative pour égaler celles des placettes non fertilisées. On montre ici la **très grande rapidité de réponse de la prairie aux apports en azote** (en termes de production fourragère), **confirmant le caractère limitant de cet élément sur la productivité des prairies de marais** (PONS *et al.*, 1990 ; VAN DUREN et PEGTEL, 2000). Le maintien d'un certain niveau de production fourragère dans les prairies de marais nécessite donc une fertilisation azotée régulière (annuelle), venant compléter le processus naturel de minéralisation de la matière organique (*i.e.* transformation de l'azote de la matière organique en azote minéral ; voir par ex. ROSSIGNOL *et al.* (2006) sur la dynamique de minéralisation de l'azote en prairies humides et sa réponse aux pratiques). En revanche, et contrairement aux résultats d'études réalisées dans d'autres milieux (PARENTE et SCIMONE, 1986), **une fertilisation minérale complémentaire en P, K ou S** (en plus des 100 UN) pendant 3 années successives **n'a pas d'effet sur la production fourragère** (bien que pour confirmer ce résultat, il aurait fallu que le dispositif comporte un traitement N0 avec P, PK ou PS). Dans la limite de la gamme d'engrais azotés fournis (0-100 UN/ha/an), ces éléments ne sont donc pas limitants et, du point de vue des quantités de fourrages récoltables, cet essai ne milite pas en faveur de l'ajout de ces minéraux en prairies de marais.

Une caractéristique générale des prairies est la **forte variabilité interannuelle des productions ; les conditions climatiques semblent être la cause principale** (SALETTE et LEMAIRE, 1982). En l'absence d'apport azoté (N0), on observe que ces conditions (essentiellement température et précipitations) agissent sur l'intensité de la minéralisation au printemps, ce qui se manifeste par des différences annuelles dans les productions (pouvant aller quasiment du simple au triple) reposant quasi uniquement sur la minéralisation du sol au vu des faibles teneurs en légumineuses. Des conditions exceptionnelles (par ex. forte pluviométrie en 2002) peuvent quasiment

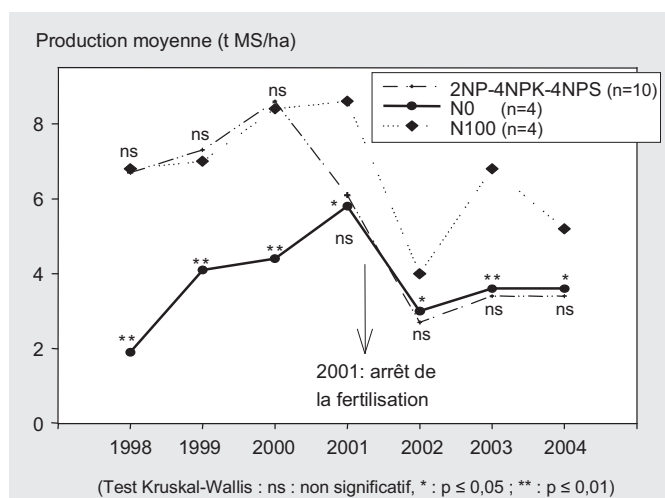


FIGURE 6 : Evolution de la production moyenne pour les traitements N0, N100 et 2NP-4NPK-4NPS.

FIGURE 6 : Change in mean forage yield across different treatment categories over time (N0, N100 and 2NP-4NPK-4NPS).

annuler l'effet de la fertilisation, probablement en favorisant la dénitrification due à un excès d'eau dans le sol (SOLTNER, 1992).

Les productions obtenues avec épandage de fumier se sont révélées intermédiaires entre celles de N0 et N60, ce qui conduit à se questionner sur la réelle valeur fertilisante du fumier dans cet essai. Compte tenu du fait que ce dernier n'a pas fait l'objet d'analyse chimique, sa valeur fertilisante a été estimée à 60 UN/ha/an mais il est probable qu'elle ait été surestimée. Dans ces conditions, il est difficile ici de conclure sur une quelconque efficacité des engrais de ferme par rapport à une fertilisation minérale. Quoi qu'il en soit, sans chute apparente des productions les années sans épandage, nos résultats confirment les **effets aussi bien immédiats que différés** (arrière-effet sur les années sans épandage) **des apports organiques** (ZIEGLER, 1994).

■ Indépendance de la valeur nutritive du fourrage vis-à-vis du niveau de fertilisation

Les deux variables relatives à la valeur nutritive des fourrages sont sensiblement les mêmes quel que soit le niveau de fertilisation azotée et la forme d'engrais appliquée (minérale *vs* organique). Comme le souligne DEMARQUILLY (1977), l'effet de la fertilisation azotée sur la teneur en azote est d'autant plus important que le stade d'exploitation est précoce ; il n'est donc pas étonnant que nous n'ayons pas trouvé de différence de teneur en Matières Azotées Totales pour du foin. L'absence d'effet sur la digestibilité enzymatique des foins est également cohérente avec les résultats de la littérature (BLASER, 1964).

■ Impact de la fertilisation sur la flore

Il est connu que la fertilisation azotée favorise beaucoup de graminées, aptes à la compétition pour la lumière, au détriment des légumineuses et d'autres dicotylédones dont les recouvrements diminuent (MERIAUX *et al.*, 1963). De façon générale, les niveaux de fertilisation azotée élevés diminuent en général la richesse spécifique (BONIS et BOUZILLE, 2003). Mais BROYER et PRUDHOMME (1995) ont rapporté, dans la vallée de la Saône, une chute de la richesse spécifique de 30 % sur des prairies humides de fauche (présentant à l'origine 28 espèces), dès 30 à 50 UN/ha/an. Ceci suggère que, en zones humides, l'effet dépressif de la fertilisation sur la richesse spécifique peut apparaître dès des niveaux relativement bas. Dans notre étude, on constate un effet modéré de la fertilisation sur la richesse spécifique, même après application de 100 UN/ha/an pendant 7 ans. Cette contradiction nécessite de préciser l'histoire de la parcelle expérimentale. En effet, si on tient compte de l'application régulière d'environ 60 UN/ha/an (ammonitrate) durant plusieurs années avant la mise en place de l'essai, il est possible que les espèces les plus sensibles aux apports azotés aient déjà été éliminées durant cette période. La comparaison des traitements N60 (niveau d'engrais

proche des 67 UN/ha/an initialement appliqués) et N100, qui correspond à une légère augmentation de la fertilisation, ne montre qu'un changement (non significatif) de la richesse floristique. Seule une perte significative de 2 espèces en moyenne est observée entre les traitements N0 et N100. Ceci pourrait être dû à une flore évoluant « en sens opposé » dans ces deux traitements (N0 étant susceptible d'avoir gagné des espèces végétales du fait de l'arrêt de la fertilisation et N100 en ayant perdu du fait de l'augmentation de la fertilisation). Il est d'autre part probable que, face à des modifications de pratiques, la dynamique de la flore produise des effets perceptibles après un laps de temps plus long que les 7 années de suivi. Enfin, l'ajout d'un engrais de fonds n'a pas eu d'effet significatif sur la composition floristique, mais il faut cependant interpréter ces résultats avec prudence avec seulement 3 années de suivi et en prenant en compte les conditions de l'essai.

■ Implications dans le cadre des mesures agri-environnementales

L'ensemble des conditions ci-dessus confirment le **caractère rémanent de la flore sur le moyen terme** (OLFF et BAKKER, 1991 ; MOUNTFORD *et al.*, 1996). Seule la poursuite de l'essai à long terme aurait permis d'observer une éventuelle amélioration de la diversité spécifique de la prairie, ou des évolutions du cortège floristique plus marquées. Quoi qu'il en soit, **l'absence souvent constatée d'effet des mesures agri-environnementales (MAE) sur la composition floristique des couverts herbacés peut être reliée**, entre autres, **à ce délai de réponse important**, et ceci même après plusieurs années de réduction ou d'interruption de la fertilisation (par ex. KLEIJN *et al.*, 2001).

Dans les marais charentais et poitevin, les premiers niveaux de contrats des MAE ont fixé le seuil de fertilisation des prairies de fauche à 60 UN/ha/an (voire à 30 UN/ha/an en conduite dite « extensive » ; références aux Contrats Territoriaux d'Exploitation). La question d'une gestion adéquate de la fertilisation en milieu de marais peut se poser en ces termes : **Quelle est la pertinence de ce seuil d'un double point de vue agricole et environnemental ?** Dans notre essai, et selon les conditions expérimentales choisies, la diversité floristique semble être peu affectée par l'ajout de 60 UN/ha/an, alors qu'au-delà de cette quantité (*i.e.* 100 UN/ha/an), la différence avec les placettes non fertilisées devient significative. Il en découle que la dose d'azote qu'il conviendrait de ne pas dépasser est de 60 UN/ha/an. Il faut cependant noter que notre étude n'a pas considéré les espèces patrimoniales, dont certaines pourraient être affectées dès 30 UN/ha/an. Ceci étant, cette dose d'engrais permet-elle à un éleveur de **dégager une marge brute optimale sur le long terme, tout en limitant les effets négatifs des intrants sur la diversité spécifique des prairies ?** L'étude conjointe de deux autres types de données (productions de biomasse et valeur nutritive des fourrages) dans l'essai a permis de fournir quelques références locales permettant d'alimenter

ce débat. On montre que l'ajout de 60 UN/ha/an occasionne une augmentation de production (par rapport à l'absence de fertilisation) proportionnellement plus élevée (+84 %) que 100 UN/ha/an (+114). Au-delà de 60 UN, l'efficacité de l'azote absorbé diminue donc, ainsi que la rentabilité de l'azote apporté, en lien avec le potentiel de production limité des prairies de marais. Cette valeur apparaît donc comme un bon compromis entre objectifs de production (la valeur nutritive du foin est similaire entre 60 et 100 UN) et préservation de la diversité floristique. Ces considérations appellent surtout à la poursuite des études (économiques notamment), adaptées au contexte local, mettant en lien la viabilité des systèmes à faibles niveaux d'intrants et la conservation de la diversité biologique des prairies de marais (cf. par ex. LECHANTRE, 2001 ; voir aussi ROLLAND *et al.*, 2003, hors contexte de marais).

Accepté pour publication,
le 25 février 2015

Remerciements : Les auteurs tiennent à rendre à Etienne Lafon le mérite d'avoir mis en place le protocole expérimental, ainsi qu'à remercier Pascal Faure, Nathalie Lemaire et Jean-Michel Hillaireau pour la collecte et la gestion des données. Ils sont également reconnaissants à Yves Pons et Marie-Odile Nozières pour l'amélioration du manuscrit.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AERTS R., VERHOEVEN J.T.A., WHIGHAM D.F. (1999) : "Plant-mediated controls on nutrient cycling in temperate fens and bogs", *Ecology*, 80, 2170-2181.
- AERTS R., DE CALUWE H., BELTMAN B. (2003) : "Is the relationship between nutrient supply and biodiversity co-determined by the type of nutrient limitation ?", *Oikos*, 101, 489-498.
- BLASER R.E. (1964) : "Symposium on forage utilization: effects of fertility levels and stage of maturity on forage value", *J. Animal Sci.*, 23, 246-253.
- BONIS A., BOUZILLE J.B. (2003) : *Fertilisation et diversité en prairies naturelles humides*, FR2116, Rapport de recherches, DDAF Vendée.
- BOUZILLE J.B., KERNEIS E., BONIS A., TOUZARD B. (2001) : "Vegetation and ecological gradients in abandoned salt pans in western France", *J. Veget. Sci.*, 12, 269-278.
- BROYER J., PRUDHOMME J. (1995) : "Incidence de la fertilisation sur la diversité floristique des prairies de fauche inondables dans le Val de Saône", *Ecologie*, 26, 45-58.
- DELABY L. (2000) : "Effet de la fertilisation minérale azotée des prairies sur la valeur alimentaire de l'herbe et les performances des vaches laitières au pâturage", *Fourrages*, 164, 421-436.
- DEMARQUILLY C. (1977) : "Fertilisation et qualité du fourrage", *Fourrages*, 69, 61-84.
- DE VRIES D.M., DE BOER T.A. (1959) : "Methods used in botanical grassland research in the Netherlands and their application", *Herbage Abstracts*, 29, 1-7.
- GARREAU J., LAFON E., LESAGE B., JEANNIN B. (1978) : "Productivité de la prairie permanente dans les Marais Côtiers du Centre-Ouest", *Nouvelles des fourrages à l'INRA*, Etude n°63.
- GREVILLIOT F., KREBS L., MULLER S. (1998) : "Comparative importance and interference of hydrological conditions and soil nutrient gradients in floristic biodiversity in flood meadows", *Biodiv. Conserv.*, 7, 1495-1520.
- JEANNIN B., DAMOUR L., GARREAU J., LAFON E. (1973) : "La prairie et la mise en valeur des Marais de l'Ouest", *BTI, Min. Agric.*, 281, 491-498.
- KLEIJN D., BERENDSE F., SMIT R., GILISSEN N. (2001) : "Agri-environment schemes do not effectively protect biodiversity in Dutch agricultural landscapes", *Nature*, 413, 723-725.
- LECHANTRE J.P. (2001) : *La conservation des prairies naturelles de marais: perspectives économiques*, Rapport INRA – Domaine de Saint-Laurent-de-la-Prée.
- LEMAIRE G., SALETTE J., LAISSUS R. (1982) : "Analyse de la croissance d'une prairie naturelle au printemps. 1-La production et sa variabilité", *Fourrages*, 91, 3-16.
- MERIAUX S., LEFÈVRE J.M., JOLIVET E., PERREZ M.C. (1963) : "Action de la fertilisation sur la productivité des prairies naturelles du Val de Saône", *Fourrages*, 13, 67-79.
- MOUNTFORD J.O., LAKHANI K.H., HOLLAND R.J. (1996) : "Reversion of grassland vegetation following the cessation of fertilizer application", *J. Veget. Sci.*, 7, 219-228.
- OLFF H., BAKKER J.P. (1991) : "Long-term dynamics of standing crop and species composition after the cessation of fertilizer application to mown grassland", *J. Appl. Ecol.*, 28, 1040-1052.
- PARENTE G., SCIMONE M. (1986) : "Effets de la fertilisation minérale sur la production et la composition de la flore d'une pelouse des Alpes carniques", *Fourrages*, 105, 77-96.
- PONS Y., LAFON E., LEMAIRES G., SALETTE J. (1989) : "Intensification des prairies des marais de l'Ouest. II – Fertilisation et méthodes de diagnostic de la nutrition minérale", *Fourrages*, 120, 367-381.
- PONS Y., CAPILLON A., DAMOUR L., LAFON E. (1990) : "Intensification des prairies des marais de l'Ouest. III – Propositions pour l'amélioration de leur conduite", *Fourrages*, 122, 119-138.
- ROLLAND B., BOUCHARD C., LOYCE C., MEYNARD J.M., GUYOMARD H., LONNET P., DOUSSINAULT G. (2003) : "Des itinéraires techniques à bas niveaux d'intrants pour des variétés rustiques de blé tendre : une alternative pour concilier économie et environnement", *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 49, 47-62.
- ROSSIGNOL N., BONIS A., BOUZILLE J.B. (2006) : "Consequence of grazing pattern and vegetation structure on the spatial variations of net N mineralisation in a wet grassland", *Applied Soil Ecology*, 31, 62-72.
- SALETTE J., LEMAIRES G. (1982) : "Approche des relations croissance, climat, azote : cas de la croissance des peuplements de graminées fourragères en fin d'hiver", *Séminaire de Vichy*, 16-18 mars 1982, Département d'Agronomie, éd. INRA, 90-99.
- SOLTNER D. (1992) : *Les bases de la production végétale, Tome I : le sol*, Collection Sciences et techniques agricoles, D. Soltner éd., 19^e édition.
- STEYAERT P. (2002) : "L'évaluation des politiques agri-environnementales à l'épreuve de leur mise en œuvre concrète : le cas des OLAE en Marais de l'Ouest", *Environnement et gestion des territoires : l'expérience agri-environnementale française*, J.P. Billaud éditeur, MATE, CNRS, La Documentation Française, Paris, 21-39.
- TERRISSE J. (1982) : *La flore des marais littoraux charentais. Détermination des zones écologiques sensibles par l'étude de la flore et de la faune dans les marais charentais*, LPO/EPR Poitou-Charentes, vol. 1, 75 p.
- TERRISSE J., DAUDON M. (1993) : *Suivi expérimental de l'OGAF Rochefort nord, végétation*, Rapport de la Ligue pour la Protection des Oiseaux, 13 p. + annexes.
- TOUSSAINT B. (1993) : *Etude de la flore et de la végétation dans le cadre de l'OGAF agriculture environnement du nord des îles (marais poitevin)*, Rapport du Parc Naturel Régional du Marais Poitevin, 41 p + annexes.
- VAN DUREN I.C., PEGTEL D.M. (2000) : "Nutrient limitations in wet, drained and rewetted fen meadows: evaluation of methods and results", *Plant and Soil*, 220, 35-47.
- ZIEGLER D. (1994) : "Valorisation agronomique des engrais de ferme sur prairie de fauche", *Fourrages*, 139, 265-278.



Association Française pour la Production Fourragère

La revue *Fourrages*

est éditée par l'Association Française pour la Production Fourragère

www.afpf-asso.org



AFPF – Centre Inra – Bât 9 – RD 10 – 78026 Versailles Cedex – France

Tél. : +33.01.30.21.99.59 – Fax : +33.01.30.83.34.49 – Mail : afpf.versailles@gmail.com

Association Française pour la Production Fourragère