

Fertilisation et qualité de l'eau en prairies naturelles humides (marais de l'Ouest)

A. Bonis¹, J.-B. Bouzillé¹, A. Dausse¹, A. Dia², O. Hénin², M. Bouhnik-Le Coz²

Introduction

Les prairies naturelles humides constituent des systèmes emblématiques de l'agri-environnement, étant à la fois support d'activités agricoles et d'intérêts environnementaux. Elles constituent des zones naturelles d'épandage des crues, et sont en conséquence inondées sur des périodes de durée variable d'une année à l'autre, entre l'automne et le printemps. Le patron d'inondation et de saturation en eau des sols dépend à la fois de la dynamique d'arrivée des eaux de l'amont et du contexte climatique et stationnel local.

Dans les marais de l'Ouest, les prairies permanentes humides bénéficient généralement d'une fertilisation minérale azotée, sauf cahier des charges agri-environnemental contraire. L'efficacité des apports azotés sur la capacité de production de fourrage des prairies inondables reste en revanche mal connue (voir cependant ANTJE *et al.*, 2005) alors que leur effet délétère sur la diversité floristique est mieux documenté (voir notamment GRÉVILLOT *et al.*, 1998 ; OLFF et BAKKER, 1991 ; BROYER et PRUDHOMME, 1995).

Le premier volet du travail présenté ici vise à **mieux connaître l'efficacité de la fertilisation sur la production fourragère en système prairial humide, et les conditions de son optimisation**. Cet objectif apparaît comme un préalable à une démarche agronomique raisonnée et à la minimisation des impacts environnementaux des pratiques agricoles. Les travaux disponibles sur ce sujet sont rares, et essentiellement focalisés sur la minimisation des pertes d'azote du système par lessivage ou dénitrification (voir par exemple BUTTLER *et al.*, 2008), sans mesurer expérimentalement l'efficacité de l'apport des fertilisants sur la production fourragère, à l'exception notable d'ANTJE *et al.* (2005).

L'efficacité de la fertilisation azotée sur la production de fourrage de prairies humides a été appréciée ici par une expérimentation conduite *in situ* dans le marais Breton-Vendéen pendant 5 années, de façon à prendre en compte la variabilité interannuelle des conditions climatiques et stationnelles. En effet,

l'efficacité de l'utilisation de la fertilisation par la prairie au printemps pourrait notamment être limitée par les conditions d'anoxie des sols, qui perdurent parfois sur tout ou partie du printemps.

Les prairies humides forment un réceptacle naturel pour les eaux de leur bassin versant, eaux qui peuvent être chargées en éléments dérivés des activités anthropiques de l'amont. Indépendamment de toute fertilisation, les zones de marais et les prairies en particulier peuvent donc être soumises à une charge en macro et micro-éléments sur laquelle peu de données sont disponibles. Le deuxième volet de ce travail vise à **caractériser la charge de l'eau** circulant dans le réseau primaire et secondaire, et celle arrivant dans le système de marais (fossés de ceinture), **en nutriments, molécules biocides et métaux lourds**. En outre, ces analyses ont été conduites pour des couples de prélèvement amont - aval de 5 prairies de marais, **de façon à apprécier si les systèmes de marais étudiés** présentaient un rôle fonctionnel en **réduisant la charge nutritive des eaux** comme montré par exemple par PIRIOU *et al.* 1999 pour des marais côtiers bretons.

Ce travail a donc un double objectif qui vise à examiner pour un même type de prairies humides, les marais plats du marais Breton-Vendéen et du marais Poitevin : i - les limites à la valorisation de la fertilisation azotée, et par suite, les conditions où il y a sous-utilisation des intrants et risque de pollution par lessivage et, ii - caractériser la charge nutritive ou toxique (biocides ; métaux) de l'eau arrivant sur les systèmes de marais et fournir une appréciation préliminaire de la capacité des zones de marais à réduire cette charge.

AUTEURS

1 : UMR 6552 EcoBio, CAREN, Campus Beaulieu, F-35042 Rennes

2 : UMR 6118 Géosciences, CAREN, Campus Beaulieu, F-35042 Rennes

CORRESPONDANCE

A. Bonis, Equipe Forçages Anthropiques et Biodiversité (FORBIO), UMR 6553 ECOBIO CNRS- Université de Rennes 1, Campus de Beaulieu, F-35042 Rennes cedex ;
anne.bonis@univ-rennes1.fr

Sites d'études et méthodes

■ Analyse de la réponse de la végétation aux fertilisants (marais Breton-Vendéen)

- Dispositif expérimental

Un **dispositif expérimental** a été mis en place de 1999 à 2003, sur une parcelle de prairie du marais Breton-Vendéen (01°59'30''O, 46°49'15''N, Vendée). La végétation se rattache à l'association végétale *Carici divisae - Lolietum perennis* (DE FOUCAULT, 1984) et est similaire à celle des marais communaux du marais Poitevin. Quatre modalités de fertilisation azotée (0, 30, 60 et 90 unités d'azote par hectare apportées sous forme d'ammonitrate) ont été appliquées pendant 5 ans sur des placettes de 2 m², avec 4 réplicats par situation, en une application au début du printemps. Les modalités de fertilisation choisies incluent celles autorisées en 1999 dans les cahiers des charges agri-environnementales en vigueur dans cette région, et qui correspondent à celles généralement apportées par les exploitants.

- Mesures

La biomasse aérienne récoltable (au-dessus de 2 cm) a été récoltée chaque année à la mi-juin, dans les différentes conditions expérimentales, avec quatre réplicats par placette. Le poids sec est déterminé après 48 h à 65°C et exprimé en g/m². Des analyses de la teneur en azote des tissus végétaux effectuées lors de deux années contrastées sur le plan climatique ont permis d'examiner dans quelle mesure la valorisation de ces apports d'éléments nutritifs était stable ou au contraire dépendante des conditions de croissance. Les dosages de teneurs en azote dans la biomasse végétale ont été réalisés en 2000 et 2002, par le laboratoire départemental d'analyses agricoles de Combourg (35).

■ Analyse de la qualité des eaux dans le réseau (marais Poitevin)

- Localisation des prélèvements

Des échantillons d'eau ont été prélevés en avril 2006 en 25 points du marais Poitevin (22 en Vendée et 3 en Charente-maritime), dans le réseau hydrologique primaire (canal des hollandais, canal de Vix, le Curé, le Lay, le vieux Lay), au sein du marais (3 échantillons) et 17 prélèvements ont été réalisés

dans les canaux de ceinture de neuf marais communaux, avec une stratégie d'échantillonnage simultanée en amont et en aval des marais pour 5 d'entre eux (cf. tableau 1). L'occupation du sol dans les bassins versants des marais varie entre sites, certains étant le siège d'une agriculture plus intensive que d'autres. Les marais communaux sont des prairies semi-naturelles pâturées décrites par LOUCOUGARAY et al. (2004).

- Éléments analysés et méthodes

L'analyse des macro-éléments constitués d'anions majeurs (NO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻) et de cations majeurs (Ca²⁺, Na⁺, K⁺, Mg²⁺) a été complétée par le suivi des éléments en traces tels Cu, Zn... et métaux lourds (Pb, U, Th...). Les mesures des concentrations en anions majeurs (NO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻) sont effectuées par chromatographie ionique (Dionex DX120). Les cations majeurs et les éléments en traces sont analysés par ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer - Agilent Technologies 4500). Les conditions opératoires, les précisions, les limites de quantifications (LQ) de chacune de ces méthodes analytiques sont consultables sur le site : http://www.geosciences.univ-rennes1.fr/IMG/pdf/Cahier_n1.pdf.

La teneur en biocides dans l'eau a été mesurée pour 7 points de prélèvements et 15 molécules biocides recherchées (2,4-MCPA, Deethyl Atrazine, Atrazine, Bentazone, Dicamba, Metolachlore, Mecoprop, 2-Hydroxy Atrazine, Chlortoluron, Diuron, Nicosulfuron, Dimethenamide, Isoproturon, Alachlore, Imazamethabenz-Methyl). Les dosages ont été réalisés par le laboratoire d'Etudes et de Recherche en Environnement et Santé, Ecole de la Santé Publique à Rennes (accréditation COFRAC n°1-1101, Norme NF EN ISO/CEI 17025).

Résultats et discussion

■ Limites de l'utilisation de la fertilisation par la végétation de prairies humides

Les résultats relatifs à la biomasse produite dans les différents traitements, présentés dans la figure 1, montrent : 1) une variation interannuelle de la biomasse récoltable du témoin sans fertilisation atteignant 50% entre 1999 et 2003, 2) un effet positif de l'apport d'ammonitrate en 1999, 2000 et 2003 pour un apport supérieur à 30 unités, et 3) une absence de réponse à la fertilisation azotée en 2001 et 2002.

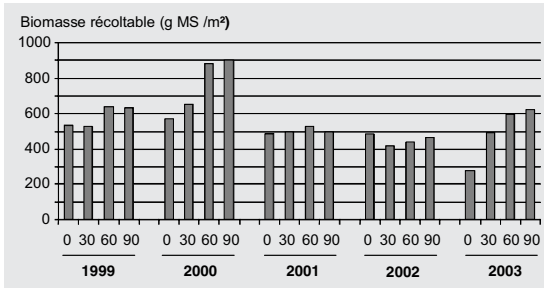


FIGURE 1 : Quantité de biomasse récoltable mi-juin selon la quantité d'ammonitrate apportée (0, 30, 60 ou 90 unités/ha) de 1999 à 2003 (marais Breton-Vendéen).

Les deux années sans réponse à la fertilisation, 2001 et 2002, correspondent l'une à une année de fort déficit hydrique, l'autre à une année avec un fort excédent hydrique au printemps. En situation de sol saturé en eau de façon prolongée (année 2002), l'absence de réponse à la fertilisation pourrait être liée à la fois à des conditions défavorables à la production primaire et à d'importantes pertes d'azote minéral par dénitrification (VAN OORSCHOT *et al.*, 2000).

La végétation a cependant eu accès à une partie de l'azote minéral apporté ces années là, sans stimuler la production primaire : des dosages ont montré une plus forte teneur en matières azotées dans la végétation soumise aux traitements avec fertilisation (MAT = 11,58 en moyenne) que dans la végétation témoin, non fertilisée (MAT= 8,64). Il est probable que, pour ces deux années, les conditions stationnelles diamétralement opposées sur le plan de la ressource hydrique ont fortement limité la croissance des plantes et leur valorisation de la fertilisation (RÜCKAUF *et al.*, 2004). L'apport systématique de fertilisation apparaît donc inopérant dans des conditions hydriques limitant la production primaire soit par excès (ERNST, 1990), soit par défaut (ANTJE *et al.*, 2005) et peut constituer une source de pollution par lessivage (BUTLER *et al.*, 2008).

TABLEAU 1 : Teneur en macro-éléments (exprimée en mg/l) dans le réseau primaire et secondaire de circulation de l'eau, et dans les fossés en situation aval et amont des marais (marais Poitevin).

Localisation	Nitrate		Chlorure		Sulfate	
Réseau de canaux primaires ou secondaire						
- Le Virson (secteur d'Anais)	161,8		31,4		30,2	
- Canal des Hollandais	111,4		52,8		47,7	
- Le Lay	51,3		41,0		19,9	
- Le vieux Lay	14,5		44,9		27,9	
- Le Curé (secteur d'Angliers)	51,1		35,3		44,0	
- Canal de Vix (secteur Montreuil)	75,8		72,3		30,2	
Fossés en amont ou aval du marais						
	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval
- Vouillé	87,8	67,0	54,6	45,1	50,9	42,1
- Le Poiré	85,9	28,8	32,2	54,4	15,7	37,5
- Saint-Benoist	66,0	25,3	57,4	62,9	26,8	26,8
- Montreuil	81,2	41,7	87,1	117,0	47,9	85,4
- Lairoux	47,6	23,1	59,9	125,8	19,5	32,5
- Magnils-Régniers	62,6		53,9		25,6	
- Chasnais	40,3- 49,0		56,0 - 59,9		24,3- 26,2	
- Nalliers	58,0		45,1		53,0	
- Nuillé	71,8		48,2		30,8	

■ Qualité des eaux circulant autour des marais communaux du marais Poitevin : une nette diminution des teneurs en nitrate entre l'amont et l'aval des marais

Pour les 7 échantillons d'eau analysés, les 15 molécules biocides recherchées sont présentes avec une teneur inférieure à 0,1 µg/l, teneur limite par molécule fixée par la réglementation pour les eaux potables, avec seulement deux exceptions. Un dosage relatif au Deethyl Atrazine atteint la valeur limite de 0,12 µg/l tandis que le 2,4 MCPA a été dosé à une teneur de 0,54 µg/l dans un autre échantillon. Sur la base de cet échantillonnage réduit, les teneurs en biocides apparaissent donc faibles et, en tout état de cause, respectent la réglementation relative aux eaux brutes (1 à 2 µg/l selon les molécules ; données non présentées).

Les teneurs en métaux lourds varient fortement entre les 25 points de prélèvements, mais restent toujours inférieures aux normes de potabilité (données non présentées).

Sur le plan des macro-éléments, un premier résultat marquant est la teneur élevée en nitrate dans la majorité des échantillons d'eau prélevés dans le réseau primaire, secondaire et en amont des prairies de marais (tableau 1), avec une teneur fréquemment supérieure ou égale à la limite admissible (soit 50 mg/l) pour des eaux brutes destinées à la consommation humaine. Les valeurs maximales sont trouvées dans le réseau primaire et secondaire de circulation des eaux dans le marais (le Virson -secteur d'Anais- et le canal des Hollandais) mais l'eau arrivant en amont

des marais est également fortement enrichie en nitrate (tableau 1). Les teneurs en nitrate tendent à être plus élevées en amont de marais entourés par un bassin versant fortement intensifié sur le plan agricole (Vouillié, Le Poiré) que lorsque le bassin versant inclut encore des surfaces importantes en prairie naturelle (Lairoux, Les Magnils-Régnières, Chanais ; tableau 1).

Par contraste, **les dosages réalisés dans l'eau circulant au sein de la prairie de marais** (fossé intérieur, dépressions inondables) **montrent une très bonne qualité de l'eau**, la teneur en nitrate étant toujours inférieure à 5 mg/l.

Pour les 5 marais où des analyses d'eau ont été pratiquées à la fois en amont et en aval du marais, on note de façon remarquable **une nette diminution de la teneur en nitrate entre l'amont et l'aval**, après circulation de l'eau dans le fossé de ceinture (valeurs en gras, tableau 1).

Cet abattement de la teneur en nitrate entre l'amont et l'aval rejoint les résultats obtenus pour d'autres systèmes de marais (voir par exemple PIRIOU *et al.*, 1999 ; HEFTING *et al.*, 2005) sans permettre toutefois d'identifier les processus opérants. La diminution du taux de nitrate dans l'eau du fossé de ceinture en aval du marais peut à la fois résulter d'un processus de dénitrification au niveau des fossés, du prélèvement de nitrate par les organismes autotrophes qui s'y trouvent, comme d'un effet de dilution des eaux provenant de l'amont par des sources d'eau peu chargées en nitrate. Au moment où les prélèvements d'eau ont été conduits, l'eau était cantonnée dans les fossés. Il est très probable que, pour des niveaux d'eau plus élevés, typiques de la fin de l'hiver et du début de printemps, l'efficacité de réduction de la charge nutritive soit décuplée par l'épandage des eaux de crues sur de larges surfaces de prairies, supports potentiels de dénitrification et de prélèvement des nitrates par la végétation (CAUBEL-FORGET *et al.*, 2001 ; HEFTING *et al.*, 2005).

Conclusion

Les travaux présentés s'intéressent aux liens entre la gestion des prairies, leurs performances agronomiques et la qualité de l'eau dans les marais. La gestion des prairies humides inclut généralement une pratique de fertilisation, minérale ou non. Nos travaux montrent que dans des conditions stationnelles "moyennes", rencontrées 3 années sur 5, le type de prairie naturelle inondable étudié valorise efficacement un apport d'azote minéral, dès 60 unités par hectare,

sans bénéfice ajouté pour un apport de 90 unités dans les conditions rencontrées. Le suivi pluriannuel a d'autre part montré que, pour deux des cinq années d'expérimentation, la prairie n'a présenté aucune valorisation significative de la fertilisation sur le plan de la quantité de fourrage, tandis que les tissus végétaux étaient enrichis en azote pour les traitements avec fertilisation. **Des conditions d'excès d'eau et de sol engorgé, comme un fort déficit en ressources hydrique, apparaissent comme des conditions impropres à la valorisation de la fertilisation par le couvert.** Ces conditions stationnelles ne sont pas exceptionnelles dans les marais communaux du marais Poitevin et les marais plats du marais Breton-Vendéen. On peut cependant souligner que, si l'irrégularité des conditions stationnelles constitue une contrainte forte pour la gestion et l'exploitation des prairies, il s'agit également d'un facteur clé de leur intérêt sur le plan floristique et écologique (voir par exemple LENSSEN et DE KROON, 2005).

Ces résultats suggèrent que **la fertilisation des prairies de marais peut être optimisée sur le plan à la fois agricole et environnemental**, de façon à maximiser l'utilisation des intrants minéraux et limiter simultanément les pertes par lessivage (cf. DECAU *et al.* 2003 ; HACK-TEN BROEKE et VAN DER PUTTEN, 1997). Une fertilisation non systématique apparaît comme une solution pragmatique, d'ores et déjà mise en œuvre par certains agriculteurs. Les analyses conduites par PEYRAUD et ASTIGARRAGA (1998) montrent par ailleurs que la réduction de la fertilisation en prairie ne réduit pas les performances laitières des vaches au pâturage. Ce type d'analyse ouvre des perspectives intéressantes pour renouveler la réflexion quant aux pratiques de gestion de la prairie, en se basant sur une analyse globale des processus en jeu.

Si **les prairies humides peuvent** bénéficier, sous certaines conditions, de la fertilisation azotée, elles sont également susceptibles de **valoriser la charge nutritive présente dans l'eau provenant de leur bassin versant**. La campagne préliminaire de prélèvements présentée ici montre que l'eau arrivant dans les marais est globalement de qualité satisfaisante sur le plan des métaux lourds et des biocides, mais présente en revanche une teneur en azote élevée. Les marais réunissent plusieurs caractéristiques pour jouer un rôle notable dans l'abattement de la charge azotée de l'eau :

- L'azote est un élément limitant de la croissance végétale dans ces prairies de marais (BONIS *et al.*, non publié). La végétation est en conséquence susceptible de bien valoriser cette ressource et de prélever efficacement le nitrate présent dans l'eau.

- La saturation des sols en eau qui perdure sur des périodes prolongées (plusieurs semaines à plusieurs mois par an) constitue un contexte propice au processus de dénitrification.

- Lorsque l'eau chargée en nitrate n'est pas à un niveau suffisamment haut pour submerger les prairies, les analyses conduites ici montrent que les fossés peuvent être le siège d'une réduction significative de la teneur en nitrate dans l'eau, laquelle s'opère entre l'amont et l'aval du marais.

Ce travail montre que la prise en compte simultanée de pratiques et objectifs d'ordres agronomiques et écologiques affectés aux zones de marais peut permettre de trouver des synergies positives entre ces deux dimensions. Par exemple, une submersion longue des marais est à la fois propice à la flore caractéristique de ces prairies, à la gestion des excédents d'eau issus de l'amont mais également à leur fonction dénitrifiante.

En termes de perspectives, les processus et compartiments biologiques (bactéries, plantes supérieures) impliqués dans la réduction de la charge nutritive des eaux arrivant dans le marais restent encore à préciser et à quantifier, comme les conditions qui limitent ou optimisent le rôle fonctionnel de ces zones humides.

Remerciements : Nous remercions Didier Naudon du Parc InterRégional du marais Poitevin et Hind Elhousni pour leur aide sur le terrain et leur contribution à la caractérisation des sites de prélèvements. Ce travail a bénéficié d'un financement par le Parc InterRégional du marais Poitevin.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANTJE H., KELM M., KORNER A., TAUBE F. (2005) : "Performance of grassland under different cutting regimes as affected by sward composition, nitrogen input, soil conditions and weather-a simulation study", *Europ. J. of Agronomy*, 22, 141-158.

BROYER J., PRUDHOMME J. (1995) : "Incidence de la fertilisation sur le diversité floristique des prairies de fauche inondables dans le Val de Saône", *Ecologie*, 26, 45-58.

BUTLER D.M., RANELLS N.N., FRANKLIN D.H., POORE M.H., GREEN J.T. (2008) : "Runoff water quality from manured riparian grasslands with contrasting drainage and simulated grazing pressure", *Agric., Ecosystems & Environment*, 126, 250-260.

CAUBEL-FORGET V., GRIMALDI C., ROUAULT F. (2001) : "Dynamiques contrastées du nitrate et du chlorure dans la nappe soumise à l'influence d'une haie", *CR Acad. des Sciences, Séries IIA*, 332, 107-113.

DECAU M.L., SIMON J.C., JACQUET A. (2003) : "Fate of urine nitrogen in three soils throughout a grazing season", *J. Environ. Qual.*, 32, 1405-1413.

ERNST W.H.O (1990) : "Ecophysiology of plants in water-logged and flooded environments", *Aquatic Botany*, 38, 73-90.

DE FOUCAULT B. (1984) : *Systémique, structuralisme et synsystématique des prairies hygrophiles des plaines atlantiques françaises*, thèse, Univ. Rouen.

GREVILLIOT F., KREBS L., MULLER S. (1998) : "Comparative importance and interference of hydrological conditions and soil nutrient gradients in floristic biodiversity in flood meadows", *Biodiversity and conservation*, 7, 1495-1520.

HACK-TEN BROEKE M.J.D., VAN DER PUTTEN A.H.J. (1997) : "Nitrate leaching affected by management options with respect to urine-affected areas and groundwater levels for grazed grassland", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 66, 197-210.

HEFTING M., CLÉMENT J.C., BIENKOWSKI P., DOWRICK D., GUÉNAT C., BUTTURINI A., TOPA S., PINAY G., VERHOEVEN J. (2005) : "The role of vegetation and litter in the nitrogen dynamics of riparian buffer zones in Europe", *Ecological Engineering*, 24, 465-482.

LENSEN J.P.M., DE KROON H. (2005) : "Abiotic constraints at the upper boundaries of two *Rumex* species on a freshwater flooding gradient", *J. Ecology*, 93, 138-147.

LOUCOUGARAY G., BONIS A., BOUZILLÉ J.-B. (2004) : "Effects of monospecific and mixed grazing on plant communities heterogeneity and diversity in old embanked grasslands", *Biol. Conserv.*, 116, 59-71.

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. Applied Ecology*, 28, 1040-1052.

PEYRAUD J.-L., ASTIGARRAGA L. (1998) : "Review of the effect of nitrogen fertilization on the chemical composition, intake, digestion and nutritive value of fresh herbage: consequences on animal nutrition and N balance", *Animal Feed Sci. and Technology*, 72, 235-259.

PIRIOU J.-Y., COÏC D., MERCERON M. (1999) : "Abattement de l'azote par le marais côtier de Kervigen et potentiel breton", *Actes du colloque Pollutions diffuses : du bassin versant au littoral*, Ploufragan, 23-24 septembre 1999, Publication IFREMER.

RÜCKAUF U., AUGUSTIN J., RUSSOW R., MERBACH W. (2004) : "Nitrate removal from drained and reflooded fen soils affected by soil N transformation processes and plant uptake", *Soil Biology & Biochemistry*, 36, 77-90.

VAN OORSCHOT M., VAN GAALLEN N., MALTBY E., MOCKLER N., SPINK A., VERHOEVEN J.T.A. (2000) : "Experimental manipulation of water levels in two French riverine grassland soils", *Acta Oecologica*, 21, 49-62.