



HAL
open science

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

Anne Bonis, Jan-Bernard Bouzille, Armel Dausse, Aline Dia, Odile Hénin, Martine
Bouhnik-Le Coz

► To cite this version:

Anne Bonis, Jan-Bernard Bouzille, Armel Dausse, Aline Dia, Odile Hénin, et al.. Fertilisation et qualité de l'eau en prairies naturelles humides (marais de l'Ouest). Fourrages, 2008, 196, pp.485-489. <insu-00379629>

HAL Id: insu-00379629

<https://insu.hal.science/insu-00379629v1>

Submitted on 5 Feb 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-SA 4.0 - Attribution - ShareAlike - International License

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

Bonis A.¹, Bouzillé J.-B.¹, Dausse A.¹, Dia A.², Hénin O.², Bouhnik-Le Coz M.²

Mise en situation

Dans le cadre de préoccupations à la fois agricole et environnementale relative aux prairies de marais, ce travail examine 1- l'efficacité de la fertilisation azotée pour leur production fourragère et les conditions susceptibles de générer un risque de pollution de l'eau par lessivage de nitrates, et 2- la qualité de l'eau sur le plan des éléments nutritifs, des biocides et des métaux de l'eau circulant en zone de marais et la capacité des zones de marais à réduire cette charge.

RESUME

La fertilisation azotée appliquée sur une prairies de marais a été efficace pour augmenter sensiblement la production végétale pour trois des cinq années d'expérimentation. Les années caractérisé par un fort déficit hydrique comme par une saturation prolongée des sols au printemps ne permettent pas à la végétation de valoriser efficacement l'apport de fertilisant. Les risques de pollution et de sous-utilisation des intrants sont discutés en tenant compte de la variabilité inter-annuelle des conditions climatiques et stationnelles. Le potentiel de prélèvement et dénitrification des nitrates présent dans l'eau par les fossés et prairies de marais apparaît comme des éléments déterminants pour la qualité de l'eau, qui apparaît dégradée sur le plan de la charge nutritive mais staisfaisante au plan des biocides et métaux lourds.

MOTS CLES

fertilisation, production fourragère, prairies de marais, gestion agricole, qualité de l'eau, nitrates, marais de l'ouest, pollution de l'eau, dénitrification, rôle écologique, sol saturé, agri-environnement

AUTEURS

1 : UMR 6552 EcoBio, CAREN, Campus Beaulieu, F-35042 Rennes ; anne.bonis@univ-rennes1.fr

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 I, Campus de Beaulieu, F-35042 Rennes Cedex ; anne.bonis@univ-rennes1.fr

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 cependant mal

49 connue (voir cependant ANTJE et al. 2005) alors que leur effet délétère sur la diversité floristique est
50 mieux documenté (voir notamment GREVILLOT et al. 1998, OLFF et BAKKER 1991, BROYER et
51 PRUDHOMME, 1995).

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

59 L'efficacité de la fertilisation azotée sur la production de fourrage de prairies humides a été
60 appréciée ici par une expérimentation conduite *in situ* dans le Marais Breton-Vendéen pendant 5
61 années, de façon à prendre en compte la variabilité inter-annuelle des conditions climatiques et
62 stationnelles. En effet, l'efficacité de l'utilisation de la fertilisation par la prairie au printemps pourrait
63 notamment être limitée par les conditions d'anoxie des sols, qui perdurent parfois sur tout ou partie du
64 printemps.

65
66 Les prairies humides forment un réceptacle naturel pour les eaux de leur bassin versant, eaux qui
67 peuvent être chargées en éléments dérivés des activités anthropiques de l'amont. Indépendamment de
68 toute fertilisation, les zones de marais et les prairies en particulier peuvent donc être soumises à une
69 charge en macro- et micro-éléments sur laquelle peu de données sont disponibles.

70 **Le deuxième volet de ce travail** vise à caractériser la charge de l'eau circulant dans le réseau
71 primaire, secondaire et celle arrivant dans le système de marais (fossés de ceinture) en nutriments,
72 molécules biocides et métaux lourds. En outre, ces analyses ont été conduites pour des couples de
73 prélèvement amont-aval de 5 prairies de marais, de façon à apprécier si les systèmes de marais étudiés
74 présentaient un rôle fonctionnel en réduisant la charge nutritive des eaux comme montré par exemple
75 Piriou *et al.* 1999 pour des marais côtiers bretons.

76
77 Ce travail a donc un double objectif qui vise à examiner pour un même type de prairies humides, les
78 marais plats du marais Breton-Vendéen et du marais Poitevin , 1- les limites à la valorisation de la
79 fertilisation azotée, et par suite, les conditions où il y a sous-utilisation des intrants et risque de
80 pollution par lessivage et, 2- caractériser la charge nutritive ou toxique (biocides ; métaux) de l'eau
81 arrivant sur les systèmes de marais et fournir une appréciation préliminaire de la capacité des zones de
82 marais à réduire cette charge.

83
84 **Sites d'études et méthodes**

85
86 **1- Analyse de la réponse de la végétation aux fertilisants (marais Breton-Vendéen)**

87
88 Dispositif expérimental

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

97
98 Mesures

99 La biomasse aérienne récoltable (au-dessus de 2 cm) a été récoltée chaque année, dans les différentes
100 conditions expérimentales, avec quatre répliqués par placette. Le poids sec est déterminé après 48H à
101 65°C et exprimé en g/m². Des analyses de la teneur en azote des tissus végétaux effectuées lors de deux

102 années contrastées sur le plan climatique ont permis d'examiner dans quelle mesure la valorisation de
103 ces apports d'éléments nutritifs était stable ou au contraire dépendante des conditions de croissance.
104 Les dosages de teneurs en azote dans la biomasse végétale ont été réalisés en 2000 et 2002, par le
105 laboratoire d'analyse agricoles départementale de Combours (35).

106
107

108 **2- Analyse de la qualité des eaux dans le réseau (marais Poitevin)**

109

110 Localisation des prélèvements

111 Des échantillons d'eau ont été prélevés en avril 2006 en 25 points du marais, dans le réseau
112 hydrologique primaire (canal des hollandais, canal de Vix, le Curé, le Lay, le vieux Lay), au sein du
113 marais (3 échantillons) et 17 prélèvements ont été réalisés dans les canaux de ceinture de neuf marais
114 communaux, avec une stratégie d'échantillonnage simultanée en amont et en aval des marais pour 5
115 d'entre eux (cf Tableau 1). L'occupation du sol dans les bassins versants des marais varie entre sites,
116 certains étant le siège d'une agriculture plus intensive que d'autres.

117 Les marais communaux sont des prairies semi-naturelles pâturées décrites par LOUCOUGARAY et al.
118 (2004).

119

120

121 Eléments analysés et méthodes

122 L'analyse des macro-éléments constitués d'anions majeurs (NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) et cations
123 majeurs (Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+}) a été complétée par le suivi des éléments en traces, tels Cu, Zn... et
124 métaux lourds (Pb, U, Th...). Les mesures des concentrations en anions majeurs (NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-})
125 sont effectuées par chromatographie ionique (Dionex DX120). Les cations majeurs et les éléments en
126 traces sont analysés par ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer- Agilent
127 Technologies 4500). Les conditions opératoires, les précisions, les limites de quantifications (LQ) de
128 chacune de ces méthodes analytiques sont consultables sur le site : [http://www.geosciences.univ-](http://www.geosciences.univ-rennes1.fr/IMG/pdf/Cahier_n1.pdf)
129 [rennes1.fr/IMG/pdf/Cahier_n1.pdf](http://www.geosciences.univ-rennes1.fr/IMG/pdf/Cahier_n1.pdf).

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

136

137 **Résultats et Discussion**

138 **1. Limites de l'utilisation de la fertilisation par la végétation de prairies humides**

139 Une fertilisation azotée sous forme d'ammonitrates (0, 30, 60 et 90 unités) a été apportée
140 expérimentalement sur une parcelle de prairie naturelle humide, pendant 5 ans. La biomasse produite
141 et récoltable a été mesurée mi-juin. Les résultats présentés dans la figure 1 montrent 1- une variation
142 inter-annuelle de la biomasse récoltable atteignant 50 % entre 1999 et 2003 (sans fertilisation), 2- un
143 effet positif de l'apport d'ammonitrates en 1999, 2000 et 2003 pour un apport supérieur à 30 unités, et
144 3- une absence de réponse à la fertilisation azotée en 2001 et 2002.

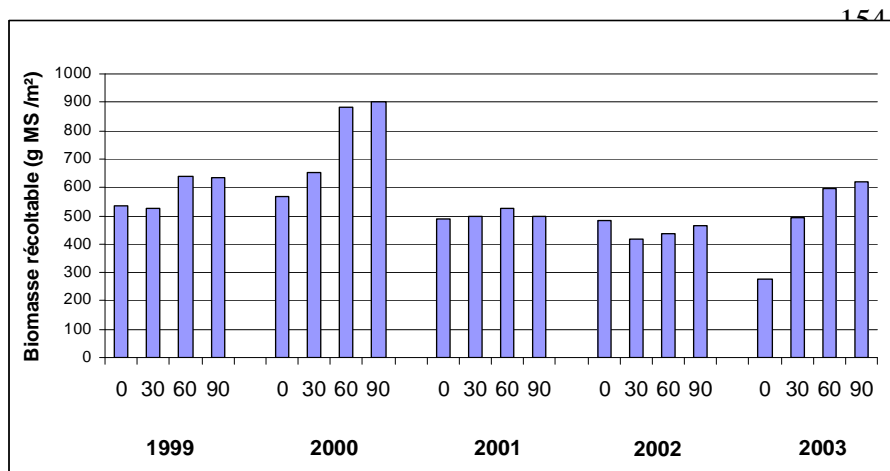
145

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

151

152

153



168

169 **FIGURE 1** : Quantité de biomasse récoltable mi-juin (gramme de matière sèche par m²) selon la
 170 quantité d'ammonitrates apportée (0, 30, 60 ou 90 unités par ha), de 1999 à 2003.

171
 172 La végétation a cependant eu accès eau à une partie de l'azote minéral apporté ces années là, sans
 173 stimuler la production primaire : des dosages ont montrés une plus forte teneur en matières azotés dans
 174 la végétation soumise aux traitements avec fertilisation (MAT= 11.58 en moyenne) que dans la
 175 végétation témoin, non fertilisée (MAT= 8.64). Il est probable que pour ces deux années, les
 176 conditions stationnelles diamétralement opposées sur le plan de la ressource hydrique ont fortement
 177 limitées la croissance des plantes et leur valorisation de la fertilisation (RÜCKAUF *et al.* 2004).
 178 L'apport systématique de fertilisation apparaît donc inopérant dans des conditions hydriques limitant
 179 la production primaire, soit par excès (ERNST 1990) soit par défaut (ANTJE *et al.* 2005) et peut
 180 constituer une source de pollution par lessivage (BUTLER *et al.* 2008).

181
 182 **2. Qualité des eaux circulant autour des marais communaux du Marais poitevin : une nette**
 183 **diminution des teneurs en nitrates entre l'amont et l'aval des marais**

184 Pour les 7 échantillons d'eau analysés, les 15 **molécules biocides** recherchées sont présentes
 185 avec une teneur inférieure à 0.1 µg/l, teneur limite par molécule fixée par la réglementation pour les
 186 eaux potables, avec seulement deux exceptions. Un dosage relatif au Deethyl Atrazine atteint la valeur
 187 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
 188 échantillon. Sur la base de cet échantillonnage réduit, les teneurs en biocides apparaissent donc faibles
 189 et en tout état de cause respectent la réglementation relatives aux eaux brutes (1 à 2 µg/l selon les
 190 molécules).

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

193 Sur le plan des **macro-éléments**, un premier résultat marquant est la teneur élevée en nitrates
 194 dans la majorité des échantillons d'eau prélevés dans le réseau primaire, secondaire et en amont des
 195 prairies de marais (tableau 1), avec une teneur fréquemment supérieure ou égale à la limite admissible
 196 (soit 50 mg/l) pour des eaux brutes destinées à la consommation humaine. Les valeurs maximales sont
 197 trouvées dans le réseau primaire et secondaire de circulation des eaux dans le marais (le Virson -
 198 secteur d'Anais- et le canal des Hollandais) mais l'eau arrivant en amont des marais est également
 199 fortement enrichie en nitrates (Tableau 1). Les teneurs en nitrates tendent à être plus élevées en amont
 200 de marais entourés par un bassin versant fortement intensifié sur le plan agricole (Vouillié, Le Poiré)
 201 que lorsque le bassin versant inclut encore des surfaces importantes en prairie naturelle (Lairoux, Les
 202 Magnils-Régniers, Chanais) (Tableau 1).

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

206
 207

208
209
210

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

Position du prélèvement	localisation	Chlorures	Nitrates	Sulfate
Réseau primaire ou secondaire	Le Virson (secteur d'Anais)	31,40	161,80	30,20
	Canal des Hollandais	52,80	111,40	47,70
	Le Lay	41,00	51,30	19,90
	Le vieux Lay	44,90	14,50	27,90
	Le Curé (secteur d'Angliers)	35,30	51,10	44,00
	Canal de Vix (secteur Montreuil)	72,30	75,80	30,20
Amont du marais	Vouillé	54,60	87,80	50,90
	Le Poiré	32,20	85,90	15,70
	St Benoist	57,40	66,00	26,80
	Montreuil	87,10	81,20	47,90
	Lairoux	59,90	47,60	19,50
	Magnils-Régniers	53,90	62,60	25,60
	Chasnais	56- 59,90	40,3- 49,0	24,3- 26,20
Aval du marais	Vouillé	45,10	67,00	42,10
	Le Poiré	54,40	28,80	37,50
	St Benoist	62,90	25,30	26,80
	Montreuil	117,00	41,70	85,40
	Lairoux	125,80	23,10	32,50
	Nalliers	45,10	58,00	53,00
	Nuaillé	48,20	71,80	30,80

211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229

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 nitrates 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 nitrates 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 nitrates 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 nitrates. 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 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 prairie, support potentielle de dénitrification et de prélèvement des nitrates par la végétation (CAUBEL-FORGET et al. 2001, HEFTING et al., 2005).

230 Conclusion

231 Les travaux présentés s'intéressent aux liens entre la gestion des prairies, leurs performances
232 agronomiques et la qualité de l'eau dans les marais. La gestion des prairies humides inclut
233 généralement une pratique de fertilisation minérale ou non. Nos travaux montrent que dans des
234 conditions stationnelles 'moyennes', rencontrés 3 années sur 5, le type de prairie naturelle inondable
235 étudiée valorise efficacement un apport d'azote minéral, dès 60 unités par hectare, sans bénéfice
236 ajouté pour un apport de 90 unités dans les conditions rencontrées. Le suivi pluri-annuel a d'autre part

237 montré que pour deux des cinq années d'expérimentation, la prairie n'a présenté aucune valorisation
238 significative de la fertilisation sur le plan de la quantité de fourrage, tandis que les tissus végétaux
239 étaient enrichis en azote pour les traitements avec fertilisation. Des conditions d'excès d'eau et de sol
240 engorgé, comme un fort déficit en ressources hydrique, apparaissent comme des conditions impropres
241 à la valorisation de la fertilisation par le couvert. Ces conditions stationnelles ne sont pas
242 exceptionnelles dans les marais communaux du Marais Poitevin et les marais plats du Marais Breton-
243 Vendéen. On peut cependant souligner que si l'irrégularité des conditions stationnelles constitue une
244 contrainte forte pour la gestion et l'exploitation des prairies, il s'agit également d'un facteur clé de
245 leur intérêt sur le plan floristique et écologique (voir par exemple Lenssen & de Kroon (2005).

246 Ces résultats suggèrent que la fertilisation en prairies de marais peut être optimisée sur le plan à la fois
247 agricole et environnemental, de façon à maximiser l'utilisation des intrants minéraux et limiter
248 simultanément les pertes par lessivage (cf DECAU et al. 2003, Hack-ten Broeke et van der Putten
249 1997). Une fertilisation non systématique apparaît comme une solution pragmatique, d'ores et déjà
250 mise en œuvre par certains agriculteurs. Les analyses conduites par PEYRAUD et ASTIGARRAGA (1998)
251 montrent par ailleurs que la réduction de la fertilisation en prairie ne réduit pas les performances
252 laitières de vache au pâturage. Ce type d'analyse ouvre des perspectives intéressantes pour renouveler
253 la réflexion quant aux pratiques de gestion de la prairie, en se basant sur une analyse globale des
254 processus en jeu.

255
256 Si les prairies humides peuvent bénéficier, sous certaines conditions, de la fertilisation azotée, elles
257 sont également susceptibles de valoriser la charge nutritive présente dans l'eau provenant de leur
258 bassin versant. La campagne préliminaire de prélèvements présentée ici montre que l'eau arrivant
259 dans les marais est globalement de qualité satisfaisante sur le plan des métaux lourds et des biocides,
260 mais présente en revanche une teneur en azote élevée. Les marais réunissent plusieurs caractéristiques
261 pour jouer un rôle notable dans l'abattement de la charge azotée de l'eau :

- 262 1- l'azote est un élément limitant de la croissance végétale dans ces prairies de marais (BONIS et
263 al., unpubl.). La végétation est en conséquence susceptible de bien valoriser cette ressource et
264 prélever efficacement les nitrates présents dans l'eau.
- 265 2- La saturation des sols en eau qui perdure sur des périodes prolongées (plusieurs semaines à
266 plusieurs mois par an) constitue un contexte propice au processus de dénitrification.
- 267 3- lorsque l'eau chargée en nitrates n'est pas à un niveau suffisamment haut pour submerger les
268 prairies, les analyses conduites ici montrent que les fossés peuvent être le siège d'une
269 réduction significative de la teneur en nitrate dans l'eau s'opère entre l'amont et l'aval du
270 marais.

271
272 Ce travail montre que la prise en compte simultanée de pratiques et objectifs d'ordre agronomiques et
273 écologiques affectées aux zones de marais peut permettre de trouver des synergies positives entre ces
274 deux dimensions. Par exemple, une submersion longue des marais est à la fois propice à la flore
275 caractéristiques de ces prairies, à la gestion des excédents d'eau issues de l'amont mais également à
276 leur fonction dénitrifiante.

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

281
282
283
284
285
286
287
288
289
290

291 **Références bibliographiques**

- 292
293 ANTJE H., KELM M., KORNER A., TAUBE F. (2005): "Performance of grassland under different cutting regimes
294 as affected by sward composition, nitrogen input, soil conditions and weather-a simulation study", *European*
295 *Journal of Agronomy* 22: 141-158.
- 296 BROYER J., PRUDHOMME J. (1995) : "Incidence de la fertilisation sur le diversité floristique des prairies de
297 fauche inondables dans le Val de Saône", *Ecologie* 26 : 45-58
- 298 BUTLER D.M., RANELLS N.N., FRANKLIN D.H., POORE M.H. GREEN J.T. (2008): "Runoff water quality from
299 manured riparian grasslands with contrasting drainage and simulated grazing pressure", *Agriculture, Ecosystems*
300 *& Environment* 126: 250-260.
- 301 CAUBEL-FORGET V., GRIMALDI C., ROUAULT F. (2001): "Dynamiques contrastées du nitrate et du chlorure dans
302 la nappe soumise à l'influence d'une haie. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series IIA* 332 : 107-113
- 303 DE FOUCAULT B. (1984). Systémique, structuralisme et synsystème des prairies hygrophiles des plaines
304 atlantiques françaises. Thèse, Univ. Rouen.
- 305 DÉCAU M.L., SIMON J.C. AND JACQUET A. (2003): "Fate of Urine Nitrogen in Three Soils throughout a Grazing
306 Season", *J. Environ. Qual.* 32:1405-1413
- 307 ERNST W. H. O (1990): "Ecophysiology of plants in waterlogged and flooded environments",
308 *Aquatic Botany* 38: 73-90
- 309 GREVILLIOT F., KREBS L., MULLER S. (1998): "Comparative importance and interference of hydrological
310 conditions and soil nutrient gradients in floristic biodiversity in flood meadows", *Biodiversity and*
311 *conservation* 7: 1495-1520.
- 312 HACK-TEN BROEKE M. J. D., VAN DER PUTTEN A. H. J. (1997): "Nitrate leaching affected by management options
313 with respect to urine-affected areas and groundwater levels for grazed grassland", *Agriculture, Ecosystems &*
314 *Environment* 66: 197-210
- 315 HEFTING M., CLÉMENT J.C., BIENKOWSKI P., DOWRICK D., GUÉNAT C., BUTTURINI A., TOPA S., PINAY G.,
316 VERHOEVEN J. (2005): "The role of vegetation and litter in the nitrogen dynamics of riparian buffer zones in
317 Europe", *Ecological Engineering*, 24: 465-482.
- 318 LENSSEN J. P. M., DE KROON H. (2005): "Abiotic constraints at the upper boundaries of two *Rumex* species on a
319 freshwater flooding gradient", *J. Ecology* 93: 138-147
- 320 LOUCOUGARAY, G., BONIS, A., BOUZILLE, JB. (2004): "Effects of monospecific and mixed grazing on plant
321 communities heterogeneity and diversity in old embanked grasslands", *Biol. Conserv.* 116 : 59-71
- 322 OLFF H., BAKKER J. P. (1991): "Long-term dynamics of standing crop and species composition after the
323 cessation of fertilizer application to mown grassland", *Journal Applied Ecology* 28: 1040-1052.
- 324 PEYRAUD J.L., ASTIGARRAGA L. (1998): "Review of the effect of nitrogen fertilization on the chemical
325 composition, intake, digestion and nutritive value of fresh herbage: consequences on animal nutrition and N
326 balance", *Animal Feed Science and Technology* 72: 235-259.
- 327 PIRIOU J-Y., COÏC D., MERCERON M. (1999) : « Abatement de l'azote par le marais côtier de Kervigen et
328 potentiel breton », Actes du colloque 'Pollutions diffuses : du bassin versant au littoral'- Ploufragan, 23-24
329 septembre 1999, Publication IFREMER.
- 330 RÜCKAUF U., AUGUSTIN J., RUSSOW R., MERBACH W. (2004): "Nitrate removal from drained and reflooded fen
331 soils affected by soil N transformation processes and plant uptake", *Soil Biology & Biochemistry*, 36, 77-90
- 332 VAN OORSCHOT M, VAN GAALEN N., MALTBY E., MOCKLER N., SPINK A., VERHOEVEN J.T.A. (2000):
333 "Experimental manipulation of water levels in two French riverine grassland soils", *Acta Oecologica* 21: 49-
334 62

335
336 **Remerciements:** Nous remercions Didier Naudon du Parc InterRégional du marais Poitevin et Hind
337 Elhousni pour leur aide sur le terrain et leur contribution à la caractérisation des sites de prélèvements.
338 Ce travail a bénéficiée d'un financement par le Parc InterRégional du marais Poitevin.
339