

Conduite des prairies et conséquences sur les cycles biogéochimiques et la biodiversité

F. Vertès¹, P. Loiseau², J.F. Soussana²

Cet article présente de façon synthétique et critique les apports de la session 4 du Congrès Européen des Herbages 2002 (La Rochelle, 27-30 mai).

RESUME

Les 3 communications en séance plénière ont traité i/ de l'ampleur et de la diversité des effets, sur les prairies, de l'augmentation en cours du CO₂ atmosphérique, ii/ des éléments clés du cycle de l'azote en exploitation d'élevage (évaluation des risques de pollution, codes de bonnes pratiques...) et iii/ des principaux mécanismes expliquant les dynamiques de végétation induites par les pratiques agricoles (stratégies clonales, intérêt du concept de groupe fonctionnel). L'ensemble des communications traduit un intérêt croissant concernant les effets de la gestion sur la biodiversité végétale (préservation de biotopes). Les bilans de nutriments à l'échelle de l'exploitation et le recours accru aux légumineuses explorent les rôles des prairies dans des systèmes d'élevage durables. Enfin, les études de bilan environnemental se sont élargies à la thématique du changement climatique. A l'issue de ce congrès, 3 axes de recherche se dégagent, rapprochant les concepts et démarches développés en agronomie et en écologie : la modélisation des cycles biogéochimiques en prairies, une approche intégratrice des écosystèmes prairiaux, et le développement des démarches de changement d'échelle, dans l'espace et le temps.

MOTS CLES

Azote, biodiversité, changement climatique, dioxyde de carbone, dynamique de la végétation, gestion des prairies, lessivage, pâturage, prairie, prévision, recherche scientifique.

KEY-WORDS

Biodiversity, carbon dioxide, climatic change, forecast, grassland, grazing, leaching, nitrogen, pasture management, scientific research, sward dynamics.

AUTEURS

1 : INRA, UMR Sol-Agronomie-Spatialisation, 4, rue de Stang Vihan, F-29000 Quimper ; vertes@lerheu.rennes.inra.fr

2 : INRA, Equipe Fonctionnement et Gestion de l'Ecosystème Prairial, Unité d'Agronomie, 234, Av. du Brezet, F-63100 Clermont-Ferrand, France,

Les trois déclinaisons de ce thème, qui privilégie l'étude des mécanismes à l'échelle parcellaire, ont fait l'objet de synthèses consacrées aux conséquences :

- sur les prairies, de l'enrichissement de l'atmosphère en gaz carbonique,
- sur l'environnement, de l'utilisation d'intrants azotés et des modes de gestion des prairies,
- enfin, sur la biodiversité, des modes d'utilisation des prairies, en spécifiant les processus mis en jeu à plusieurs échelles.

La première partie de l'article résume les idées clés des trois présentations invitées. Dans la deuxième, les auteurs ont choisi des problématiques, résultats et idées représentatifs de l'état de l'art au travers des présentations orales et des posters, avant de conclure sur les perspectives de recherche ouvertes par les différentes informations.

1. Les communications en séance plénière

* Devenir des prairies dans un monde enrichi en CO₂

Présentée par C. Körner, professeur à l'Université de Bâle, cette synthèse a permis d'illustrer l'ampleur et la diversité des effets sur la prairie de l'augmentation en cours du CO₂ atmosphérique : effets sur la production, sur sa distribution saisonnière, sur la qualité des fourrages, sur la composition botanique, sur la teneur en eau du sol et sur le cycle de l'azote. A partir d'expériences d'enrichissement en CO₂ atmosphérique de communautés prairiales, un premier bilan a été tiré :

- La productivité des prairies fertiles tend à augmenter légèrement sous l'effet du CO₂ ; en revanche, dans de nombreuses situations limitées en nutriments, le CO₂ n'a pas d'effet positif.
- Dans les prairies sèches, le CO₂ augmente l'efficacité d'utilisation de l'eau et a donc des effets positifs sur la croissance, principalement du fait d'une meilleure économie de l'eau.
- Les effets sur la qualité sont contrastés : baisse de la teneur en protéines et augmentation de la teneur en sucres solubles des fourrages.
- Grâce à leur capacité à fixer symbiotiquement l'azote atmosphérique, de nombreuses légumineuses bénéficient de l'augmentation du CO₂ lorsque le sol est suffisamment riche en P et en K pour soutenir leur croissance. Parmi les graminées ou les dicotylédones non fixatrices, certaines espèces bénéficient de l'enrichissement en CO₂, alors que d'autres sont affectées négativement. Il en résulte des changements rapides de la composition botanique dont les mécanismes sont encore loin d'être élucidés.
- Enfin, la dynamique de l'azote dans le sol et la vitesse de décomposition des matières organiques récentes sont affectées. En particulier, une réduction de la disponibilité de l'azote du sol a souvent été observée en prairie sous fort CO₂. Dans certains cas, ces changements s'accompagnent d'un stockage accru de carbone dans la matière organique du sol, mais le plus souvent cet effet n'est pas détectable.

Même si des débats subsistent donc concernant les mécanismes exacts mis en jeu et l'ampleur des effets prévus selon les espèces prairiales ou fourragères et selon les conditions pédo-climatiques, il apparaît clairement que l'augmentation rapide de la concentration atmosphérique en CO₂ (+ 0,4% par an) affectera au cours de ce siècle la prairie, sa production et les services environnementaux qu'elle rend. Cependant, les changements prévus concernent également le climat (température, précipitations). L'étude des interactions entre l'augmentation du CO₂ atmosphérique et le changement climatique devra donc être renforcée dans un but de prédiction des changements à venir.

* Economie de l'azote dans les prairies et les cultures fourragères

Après avoir rappelé en préalable la faible efficacité d'utilisation de l'azote par les herbivores domestiques (environ 20%), chiffre légèrement amélioré au niveau de l'exploitation (25 à 35%), C. Grignani et A.S. Laidlaw ont exposé les éléments clés du cycle de l'azote en exploitation d'élevage, faisant le point des connaissances actuelles, des lacunes et des besoins de recherche.

Concernant la lixiviation de nitrate, une rapide revue des systèmes fourragers confirme, à niveau de fertilisation azotée égal, les moindres pertes observées sous herbe comparée au maïs ensilage. Les pertes sous prairies de fauche en fertilisation raisonnée sont faibles (zéro pâturage en Italie du nord, Pays-Bas...). Sous prairies pâturées, le meilleur indicateur du risque moyen de pertes est actuellement le niveau de chargement animal, avec des pertes faibles en dessous d'un seuil d'environ 550 UGB x jours de pâturage/ha, et augmentant rapidement au-delà de ce seuil, avec une forte variabilité des quantités d'azote lixiviées. Cette augmentation est liée aux modalités de fertilisation et de pâturage (périodes, quantités N, chargement animal, risques de dégradation du couvert végétal...) en interaction avec le type de sol, le climat (lame drainante, portance...) et avec le type de peuplement végétal (graminées ou graminées - légumineuses, la part du trèfle dans les associations étant un facteur déterminant du risque de pertes de nitrate). Alors que 80% des émissions d'ammoniac proviennent des élevages, la part du pâturage serait assez faible (4% en Italie et 9% au Royaume-Uni). L'essentiel de la volatilisation concerne les bâtiments d'élevage, le stockage puis l'épandage des effluents. Il faut remarquer que les durées de stockage nécessaires varient de 4 à 9 mois du sud méditerranéen au nord boréal et sont un élément essentiel de la bonne gestion des effluents d'élevage. Les composantes de la valorisation agronomique et surtout des arrière-effets des composts et fumiers sont mal connues, ce qui est un frein important à leur utilisation sur prairies et une inconnue pour réaliser des bilans et comparer des scénarios dans une démarche systémique.

En conclusion, les auteurs présentent à la fois les points positifs : forte progression des connaissances permettant la disponibilité de codes de bonnes pratiques dans tous les pays d'Europe, et mise en place de programmes d'action pour les faire adopter ; et les principaux manques à combler :

- associer le raisonnement des apports d'azote et de phosphore, tant au niveau de la parcelle que de l'exploitation, en particulier lors des apports d'effluents animaux dont le rapport N/P est très variable ;
- conduire des études sur la dynamique de la matière organique à court (flux bruts C et N), moyen (rotations) et long terme (séquestration / minéralisation du carbone et de l'azote, arrière-effets des déjections animales...);
- considérer la parcelle dans l'exploitation et celle-ci dans son contexte territorial, et développer une approche systémique.

Les auteurs proposent d'encourager les coopérations entre chercheurs afin de disposer de bases de données permettant d'évaluer les différents modèles élaborés et insistent sur le besoin de données scientifiques solides et génériques, afin de répondre à de nouveaux scénarios dans un contexte politico-économique mondial difficile à prédire.

*** Effets de la gestion des prairies sur leur diversité spécifique**

Après un rappel des bases de l'écologie végétale, appliquée aux prairies et aux plantes prairiales, T. Herben et E. Huber-Sanwald caractérisent les principaux mécanismes expliquant la coexistence des espèces et/ou les dynamiques de végétation induites par les pratiques de fertilisation et d'utilisation des prairies. L'existence et la pérennité de la grande majorité des communautés végétales herbacées sont liées aux défoliations répétées, par fauche ou par pâturage, qui empêchent la colonisation par des espèces arborescentes et le retour vers la forêt. Le pâturage, qui constitue le mode d'exploitation le plus répandu, est source d'hétérogénéisation : le choix des espèces pâturées, les restitutions hétérogènes des déjections et le piétinement recomposent sans cesse une mosaïque, ce qui peut faciliter la coexistence d'espèces adaptées à des niches écologiques différentes.

La plupart des plantes prairiales étant clonales, ce sont principalement les stratégies de croissance et de reproduction végétative qui contrôlent les processus de compétition entre les populations de plantes en position d'intercepter et de valoriser les ressources du milieu. Deux stratégies clonales de plantes sont principalement développées : le type "guérilla", où les unités fonctionnelles (rhizomes, stolons ...) explorent le "milieu" et colonisent les espaces libres, et le type "phalange" où les méristèmes axillaires se développent en touffes denses. La compréhension des mécanismes impliqués dans la dynamique des couverts passe par l'étude des unités fonctionnelles de plantes (définies comme des ensembles interconnectés d'axes, lesquels correspondent aux talles chez les graminées). La réponse des plantes aux changements de leur environnement immédiat met en jeu les règles architecturales de construction de ces axes dans la plante, leur plasticité phénotypique et les interactions entre axes.

En définissant des espèces qui présentent les mêmes types de réponses aux facteurs de gestion (défoliation) et au niveau des ressources (disponibilité en minéraux, en eau et en lumière), le concept de groupe fonctionnel est efficace pour rendre compte de la dynamique de la composition botanique des prairies. Ainsi, une augmentation de la productivité, en exacerbant la compétition pour la lumière, favorise les espèces capables d'investir dans les structures verticales en fabriquant un petit nombre d'axes de grande taille. Tout changement rapide du régime de perturbations se traduit par une compétition entre les groupes fonctionnels susceptible d'entraîner une diminution de la diversité.

Si des connaissances existent en matière de comportement clonal des parties aériennes, elles font largement défaut concernant les aspects racinaires de la compétition : profil et structure du système racinaire, efficacité de l'absorption, abondance et rôle des exsudats racinaires et des mycorhizes. Des travaux permettant d'intégrer le fonctionnement des plantes clonales, leurs rapports de compétition pour les ressources du milieu et leur dynamique seront donc nécessaires pour comprendre les bases de la dynamique de la végétation en prairie.

2. Point de vue des auteurs

* Dynamique de végétation, restauration des prairies et biodiversité

Le Congrès traduit un intérêt croissant pour les effets de la gestion sur la biodiversité, perçue essentiellement sous l'angle végétal. Cette question a été déclinée à la fois au plan théorique et au plan appliqué.

La restauration de la diversité floristique constitue une question d'actualité non seulement pour des milieux soumis à une forte perturbation (comme les pistes de ski, Argenti *et al.*), mais aussi pour la constitution de prairies riches en dicotylédones (et donc en fleurs) dans des zones intensifiées où la banque de graines des espèces natives a été épuisée (Nevens et Reheul ; Besenyei *et al.* ; Sramek et Sevcikova).

Le lien entre la gestion et la diversité floristique constitue une autre préoccupation et les résultats présentés confirment les effets positifs pour la diversité spécifique du pâturage, comparé à l'abandon (Biala *et al.*). Pour des raisons de renouvellement du stock de graines, les gestionnaires de la biodiversité réservent généralement une première priorité à des coupes peu fréquentes et tardives. Par ailleurs, beaucoup de communications ont mis en évidence un rôle majeur, généralement négatif, du niveau de la disponibilité en nutriments sur la biodiversité (Bahmani *et al.* ; Sanderson *et al.*). En conséquence, après une longue phase d'intensification, les gestionnaires de la biodiversité peuvent être confrontés à la nécessité de réduire la fertilité de sols.

Les espèces rares ou emblématiques sont parfois (Bohner *et al.* ; Pykällä) favorisées par une gestion agricole extensive (Da Ronch *et al.*). Toutefois, le plus souvent, les objectifs de production et de préservation de l'environnement (par exemple de l'avifaune) ne sont pas compatibles (Nevens *et al.*). Ceci souligne la nécessité de mettre au point des indicateurs de la biodiversité et de la performance agronomique des prairies, directement utilisables par les gestionnaires, afin de concilier des objectifs de production et des objectifs de conservation des habitats favorables à telle ou telle espèce cible (Pervanchon *et al.*).

Comment diagnostiquer la dynamique de la végétation en prairie ? A cette question ancienne, plusieurs contributions ont tenté d'apporter des réponses nouvelles. L'approche fonctionnelle, qui consiste à regrouper les espèces en fonction de leurs traits de vie, de morphologie, de phénologie et de composition, permet de montrer que les espèces adaptées à la sous-exploitation présentent un certain nombre de traits convergents : par exemple, des feuilles peu digestibles, à faible teneur en eau et faible surface par unité de matière sèche (Louault *et al.* ; Cruz *et al.*). De plus, ces espèces sont intrinsèquement moins productives et elles forment des litières qui se décomposent lentement dans le sol (Soussana *et al.*). Si les conclusions de ces approches sont généralisables et correspondent à des stratégies contrastées d'espèces, elles permettront de fournir les bases de diagnostics fonctionnels de la végétation, reposant en partie sur la détermination de la physionomie de la végétation (Kernéis *et al.*).

Enfin, on peut regretter que l'effet du pâturage sur la dynamique de la végétation (via le comportement spatial et le comportement alimentaire des herbivores) ait été relativement peu abordé. Il faut noter cependant plusieurs études sur le rôle de l'hétérogénéité spatiale intra-parcellaire (Amiaud *et al.*) et sur la

diversité des faciès en fonction du pâturage mixte par des chevaux et par des bovins (Loucougaray *et al.*). A terme, les approches spatialisées du comportement et du fonctionnement de la végétation qui sont actuellement développées sur des prairies semées (Connell et Baker ; Garcia *et al.*), demanderaient probablement à être extrapolées au fonctionnement de la végétation plurispécifique pâturée.

* Bilan de nutriments et impacts environnementaux

Les bilans de nutriments à l'échelle de la ferme entière ont été discutés à travers plusieurs présentations (Del Prado *et al.* ; Lellmann *et al.*) qui montrent qu'il est également possible d'estimer l'efficacité d'utilisation de ces nutriments dans des systèmes d'élevage contrastés. En ce qui concerne la lixiviation de nitrate, le pâturage est mis en cause, puisqu'il aboutirait dans des fermes intensives à des pollutions azotées plus fortes que celles liées à l'utilisation de l'ensilage de maïs (Rotz *et al.*). En réponse à ces questions, l'optimisation des systèmes d'élevage afin de gérer plus finement l'azote au pâturage semble une piste intéressante (Duru *et al.*), tandis qu'apparaît nécessaire la comparaison de systèmes intégrant l'ensemble des risques polluants pour proposer des modes de production plus durables.

Autre sujet d'actualité, la désintensification par un recours accru aux légumineuses, qui suscite encore des questions concernant le bilan d'azote et les effets sur la réserve minéralisable dans le sol (Masson ; Assmann *et al.*). Un certain nombre de résultats soulignent que la lixiviation d'azote par le trèfle peut être plus faible que sous graminée pure, grâce à la régulation de la fixation symbiotique et de la compétition entre les espèces (Eriksen et Vinther ; Soussana et Loiseau ; anciens travaux Simon *et al.*, 1997). Toutefois, lorsque le taux de trèfle dans les associations est fort, cet avantage environnemental n'est plus observé (Laurent *et al.*).

Enfin, les effets d'une sous-utilisation de la prairie sur le bilan d'azote ont été abordés dans quelques études qui montrent une relative conservation, voire une tendance à l'augmentation, du niveau de la nutrition (Soussana *et al.* ; Briemle et Elsaesser ; Jeangros et Bertola) ou du pouvoir de fourniture en azote du sol (Gillier *et al.*).

L'un des apports significatifs de cette session concerne des méthodes simplifiées de diagnostic :

- diagnostic foliaire de la teneur en azote des feuilles bien éclairées, qui semble cohérent avec les résultats concernant le niveau de nutrition azotée (Jouany *et al.*) ;
- diagnostic basé sur le rôle intégrateur de l'animal (teneur en urée dans le lait : Dieguez *et al.*, ou azote fécal) ;
- diagnostics de la disponibilité en phosphore dans le sol, qui sont imparfaits du fait des variations du pouvoir de fixation du phosphore selon les types de sols (Jouany *et al.*) ;
- diagnostics du pouvoir de fourniture en azote du sol, basé sur la taille des compartiments organiques (Assmann *et al.*).

On peut regretter le manque d'études intégratives sur le fonctionnement du système plante-sol en prairie. Relativement peu de tentatives d'intégrer le fonctionnement du sol et de la végétation ont été présentées. Certaines mesures de sorties environnementales apparaissent comme largement déconnectées d'études de processus et d'analyses fonctionnelles. Peu de travaux de fond se sont attachés aux mécanismes qui sous-tendent les effets propres de la nature des plantes sur les processus édaphiques, ainsi qu'aux relations entre les stratégies de plantes et les stratégies de microbes dans le sol (Chabrierie *et al.*). Un très large champ de recherche reste ouvert sur les stratégies microbiennes pour leur rôle essentiel dans les cycles biogéochimiques, le pouvoir de fourniture en azote des sols et le stockage du carbone dans les sols prairiaux. Face à ces questions, le facteur trophique reste le plus souvent abordé dans des situations "modèles", où la disponibilité en minéraux est uniquement contrôlée par le niveau de fertilisation. Ainsi, malgré l'existence de certains travaux, la communauté scientifique semble encore dépourvue de moyens de diagnostic de la fertilité dans des situations où elle reste essentiellement contrôlée par la composition botanique à travers ses apports organiques de litière racinaire. Il est clair que les besoins de connaissances en la matière ne pourront être satisfaits qu'en mobilisant les compétences de recherche dans des collaborations étroites entre des spécialistes de plantes et d'écologie microbienne. Ces travaux devraient à la fois rester à l'échelle de l'écosystème pour une application à la parcelle et bénéficier des progrès méthodologiques de pointe en biologie moléculaire.

Enfin, les études de bilan environnemental se sont élargies à la thématique du changement climatique et de l'effet de serre, qui comprend deux aspects complémentaires :

– Le bilan de gaz à effet de serre des prairies, qui dépend à la fois de la capacité des sols prairiaux à stocker du carbone dans la matière organique des sols (Mestdagh *et al.*), des émissions de N₂O des sols (Merino *et al.*) et des émissions de méthane des ruminants au pâturage (Waller *et al.*).

– Les impacts du changement climatique sur les cycles du carbone et de l'azote. En dehors de l'exposé de Körner, on peut signaler à ce sujet les résultats convergents obtenus en Suisse (Lüscher *et al.*), en France (Picon-Cochard *et al.*) et en Nouvelle-Zélande (Allard et Newton) sur l'impact de l'augmentation du CO₂ atmosphérique sur le cycle de l'azote en conditions fauchées ou pâturées, qui indiquent une diminution de la disponibilité en azote et une modification des quantités d'azote recyclées dans l'urine et dans les fèces.

3. Perspectives pour les travaux en France

Les travaux français ont été bien représentés, avec de nombreux travaux sur l'étude des processus ou l'élaboration de diagnostics et d'indicateurs. Les idées force qui se dégagent à l'issue du Congrès concernent 3 types de préoccupations :

– La nécessité de progresser sur la modélisation des cycles biogéochimiques en prairies. La multiplicité et la variabilité des sources/puits de C et N, et la permanence du couvert (au moins quelques années) rendent difficile l'élaboration de modèles simples et robustes (prédisant les productions et les sorties d'intérêt environnemental) indispensables lors des changements d'échelle et des couplages parcelles-territoires.

– La nécessité d'approches intégratrices sur les écosystèmes prairiaux : couplages entre dynamique de végétation et cycles biogéochimiques notamment, et renforcement des études d'interface (herbe-animal, plantes-sols-microbes). Un brassage culturel accru est nécessaire pour choisir et poser les questions prioritaires, autant que pour y répondre : complémentarité entre science du sol et agronomie pour les cycles biogéochimiques, entre agronomie et SAD pour se resituer dans des systèmes de production et tester des scénarios, ainsi que pour intégrer l'unité de décision "exploitation" dans l'unité de fonctionnement "territoire" (bassin versant, région...). La collaboration entre ces différentes disciplines et la recherche animale est indispensable tant pour l'étude et la modélisation des cycles biogéochimiques que pour l'élaboration et le test de scénarios de production animale durable.

– Concernant les prairies permanentes et la biodiversité, on peut remarquer que "germaniques" (Allemagne, Suisse...) et pays du sud (Italie, Espagne) situent leurs objets d'étude dans la typologie phytosociologique aussi naturellement que anglosaxons et français le font dans un contexte pédoclimatique. Ces derniers investissent massivement dans les études fonctionnelles et la mise au point d'indicateurs, et s'interrogent sur l'extrapolation des résultats concernant les "traits d'espèces" par exemple. Il semblerait très judicieux et porteur de faire la liaison entre les différentes approches pour progresser plus vite, surtout lorsque l'on étudie simultanément les deux sorties "production / valeur agronomique" et "biodiversité / gestion d'espaces naturels". Les rapprochements méthodologiques entre écologie et agronomie sont d'ailleurs très encouragés depuis quelques temps.

– Le développement des démarches de changement d'échelle dans l'espace : mètre carré, parcelle, ferme pour expliquer des phénomènes émergents (liés à l'hétérogénéité spatiale pour le passage à la parcelle, aux interactions entre parcelles via les systèmes...), et dans le temps. Les démarches intégratrices (du type analyses du cycle de vie) et systémiques qui se développent actuellement seront alimentées par les résultats des travaux précédents.

Les recherches fondamentales doivent aboutir *pro parte* à des applications (diagnostics, bases de données, modèles et systèmes d'aide à la décision, etc.), sans se cantonner à de simples descriptions. De nouveaux supports pour des recherches pluridisciplinaires et pour les interfaces avec le développement seront nécessaires. La dynamique actuelle, initiée dans le cadre de l'Observatoire de Recherches en Environnement (ORE), "Prairies, cycles biogéochimiques et biodiversité" devrait constituer un cadre de travail favorable, qui mériterait d'être étendue au plan européen via des projets du 6^e PCRD. Par ailleurs, plusieurs actions de collaborations entre instituts et organisations professionnelles (ACTA, Agrotransferts...) devraient permettre de favoriser les échanges entre les acteurs de la recherche et du développement sur la multifonctionnalité des prairies.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A l'exception de Simon *et al.* (1997), toutes les références ci-dessous proviennent de l'ouvrage : Multi-function grasslands. Quality forages, animal products and landscapes, Proc. 19th General Meeting of the European Grassland Federation (La Rochelle, France, 27-30 May 2002), J.L. Durand, J.C. Emile, C. Huyghe, G. Lemaire ed., Grassland Science in Europe, vol. 7, British Grassland Society.

Allard V., Newton P.C.D. (2002) : "Interactions between grazing by ruminants and elevated CO₂ on nutrient cycling in pastures", 650-651.

Amiaud B., Bouzillé J.B., Bonis A., Loucougaray G. (2002) : "Effects of macro-herbivores and micro-herbivores on plant community dynamics in brackish grasslands in western France", 756-757.

Argenti G., Bianchetto E., Sabatini S., Stagliano N. (2002) : "Vegetal evolution on revegetated ski slopes in an Alpine environment", 758-759.

Assmann T.S., Loiseau P., Delpy R., Ollier J.L. (2002) : "White clover content modifies soil N mineralization in grasslands in relation with N accumulation in the SOM fractions", 652-653.

Bahmani I., Pervanchon F., Plantureux S., Girardin P. (2002) : "Development of an agri-environmental indicator assessing the impact of nitrogen input on grassland biodiversity", 658-659.

Besenyi L., Trueman I.C., Atkinson M.D., Jones G.H., Millett P. (2002) : "Retaining diversity in hay meadows by traditional management", 762-763.

Biala K., Nadolna L., Zyszkowska M. (2002) : "Biodiversity of grassland swards in the Sudety Mountains", 764-765.

Bohner A., Sobotik M., Pötsch E.M. (2002) : "The species richness of the Austrian grassland and the importance of grassland management for biodiversity", 766-767.

Briemle G., Elsaesser M. (2002) : "Grassland extensification - the first 10 years of the "Aulendorf experiment", 770-771

Chabrierie O., Laval K., Puget P., Desaire S., Alard D. (2002) : "Can we establish a link between plant and soil microbial diversity ? A case study in a chalk grassland in north-western France", 774-775.

Connell J., Baker L. (2002) : "The effect of the frequently grazed patch height on the utilisation of the infrequently grazed patch within a sward", 240-241.

Cruz P., Sire P., Al Haj Khaled R., Theau J.P., Therond O., Duru M. (2002) : "Plant functional traits related to growth strategies and habitat preference of native grass populations", 776-777.

Da Ronch F., Ziliotto U., Scotton M. (2002) : "Floristic composition of Massiccio del Monte Grappa (NE Italy) pastures in relation with the utilisation intensity", 778-779.

del Prado A., del Hierro O., Artetxe A., Pinto M. (2002) : "Nitrogen economy and environmental sustainability in an intensively managed dairy farm in the Basque Country", 674-675.

Dieguez F., Cabaraux J.F., de Behr V., Hornick J.L., Istasse L., Dufrasne I. (2002) : "Soil nitrates in pastures rotationally grazed by cows : relation with urea in milk and blood plasma", 678-679.

Duru M., Coléno F., Cruz P., Jouany C., Theau J.P. (2002) : "Balancing grazing and nutrient use efficiencies : an integrated approach to grazing management at the farm enterprise level", 246-247.

Eriksen J., Vinther F.P. (2002) : "Nitrate leaching in grazed grasslands of different composition and age", 682-683.

Garcia F., Carrère P., Soussana J.F., Baumont R. (2002) : "Selective defoliation has a major influence on heterogeneity development in swards extensively-grazed by sheep", 248-249.

Gillier C., Loiseau P., Louault F. (2002) : "Long term effects of a reduced exploitation of a semi-natural grassland. III. Below-ground organic matter and nitrogen storage", 684-685.

Grignani C., Laidlaw A.S. (2002) : "Nitrogen economy in grasslands and annual forage crops : control of environmental impact", 625-634.

Herben T., Huber-Sanwald E. (2002) : "Effect of management on species richness of grasslands : sward-scale processes lead to large-scale patterns", 635-645.

Jeangros B., Bertola C. (2002) : "Long-term evolution of an intensively managed meadow after cessation of fertilisation and reduction of cutting frequency", 794-795.

Jouany C., Stroia M.C., Farruggia A., Duru M. (2002) : "Plant and soil indicators for P management in grasslands", 698-699.

- Kernéis E., Havet A., Pons Y., Mathieu A. (2002) : "Herbage Physiognomic Units : an indicator for grassland management in French Atlantic marshlands", 796-797.
- Körner C. (2002) : "Grassland in a CO₂-enriched world", 611-624.
- Laurent F., Kerveillant P., Besnard A. (2002) : "Effects of N fertilization (rate and timing) on N leaching under grazed grasslands", 702-703
- Lellmann A., Schellberg J., Kühbauch W. (2002) : "Assessing nitrogen circulation on a grassland farm experiment", 704-705.
- Louault F., Soussana J.F., Perrodin M. (2002) : "Long-term effects of a reduced herbage use in a semi-natural grassland. I. Plant functional traits and plant response groups", 338-339.
- Loucougaray G., Bouzillé J.B., Bonis A. (2002) : "Effects of monospecific and mixed grazing on plant community heterogeneity and diversity in natural grasslands", 808-809.
- Lüscher A., Hartwig U.A., Blum H., Nösberger J. (2002) : "Long-term effects of free air CO₂ enrichment and management on grassland ecosystems", 708-709.
- Masson T. (2002) : "Effect of two types of clover fallow on a corn (*Zea mays* L.) crop", 710-711.
- Merino P., Pinto M., Estavillo J., Besga G. (2002) : "Nitrous oxide emissions from grassland in a dairy farm in the Basque Country of Spain", 712-713.
- Mestdagh I., Lootens P., Carlier L. (2002) : "Carbon sequestration potential in different Belgian grassland ecosystems", 714-715.
- Nevens F., Reheul D. (2002) : "Restoration of botanical diversity on heavy clay soil grassland in Flanders : management lessons from 9 years of trial", 820-821.
- Nevens F., Beke M., Martens L., Reheul D. (2002) : "Agronomical consequences of botanical or meadow bird management on Flemish sandy soil grasslands", 818-819
- Pervanchon F., Bahmani I., Plantureux S., Girardin P. (2002) : "A methodology to evaluate the impact of agricultural practices on grassland biodiversity", 830-831.
- Picon-Cochard C., Teyssonneyre F., Soussana J.F. (2002) : "Elevated CO₂ effects on the species dynamics in a semi-natural grassland", 722-723.
- Pykällä J. (2002) : "Decline of uncommon plant species after abandonment of mesic grasslands", 836-837.
- Rotz C.A., Wachendorf M., Herrmann A., Kornher A., Taube F. (2002) : "A modelling approach to management impacts on nitrogen fluxes in specialised dairy farms", 728-729.
- Sanderson M.A., Taube F., Tracy B., Wachendorf M. (2002) : "Plant species diversity relationships in grasslands of the northeastern USA and northern Germany", 842-843.
- Simon J.C., Vertès F., Decau M.L., Le Corre L. (1997) : "Les flux d'azote au pâturage. I- Bilans à l'exploitation et lessivage du nitrate sous prairies ; II- Etude des flux et de leurs effets sur le lessivage", Fourrages, 151, 249-262, 263-280.
- Soussana J.F., Loiseau P. (2002) : "A grassland ecosystem model with individual based interactions (GEMINI) simulates fluctuations in the clover content of sown mixtures", 358-359.
- Soussana J.F., Mas G., Clothier K.M., Louault F. (2002) : "Long-term effects of a reduced herbage use in a semi-natural grassland - II- Above-ground productivity and litter decomposition", 732-733.
- Sramek P., Sevcikova M. (2002) : "The evaluation of botanical composition and productivity of sward sown by species rich mixtures", 846-847.
- Waller J.C., Fribourg H.A., Fisher A.E., Pavao-Zuckerman M.A., Ingle T. (2002) : "Methane emissions by *Bos taurus* grazing tall fescue pastures", 748-749.

SUMMARY

Pasture management and its consequences on the bio-geo-chemical cycles and on biodiversity

This is a synthetical and critical presentation of the papers of the session n°4 of the European Grassland Congress (La Rochelle, 27-30 May 2002).

The three plenary papers dealt with : 1) the amplitude and diversity of effects on grasslands of the present increase in atmospheric carbon dioxide (on grassland production and its distribution, on forage quality, on soil water content and the nitrogen cycle...), 2) the key elements of the nitrogen cycle on

animal farms (evaluation of pollution risks ; codes of recommended practices...), and 3) the main mechanisms explaining the co-existence of species and/or of vegetation dynamics induced by the agricultural practices ('clonal' strategies, interest of the 'functional group' concept).

As a whole the papers showed an increased interest towards the effects of management on biodiversity, mainly considered from the botanical point of view ; nutrient balances on the farm scale and a larger use of legumes were discussed ; the studies of environmental balances were enlarged to include the climatic change and the greenhouse effect.

Three types of problems stand out at the end of this congress : the necessary progress in modelling the bio-geo-chemical cycles in grasslands ; the necessity of integrating approaches to the grassland eco-systems (coupling sward dynamics to the bio-geo-chemical cycles especially, and reinforcing interface studies ; linking together the various approaches) ; and thirdly the development of the changing of scales in time and space as an investigational tool.