

Caractérisation, par des indices botaniques, des pratiques de gestion des prairies de deux terroirs des montagnes de Bigorre

G. Bertoni¹, A. Gibon², L. Raison², J. Willm², G. Balent²

Des outils bien établis permettent de caractériser les prairies au moyen d'un relevé botanique et d'estimer ainsi l'effet du sol, du climat et d'une gestion plus ou moins intensive (fauche, pâture, fertilisation) sur la production. Ces outils sont utilisés ici pour cerner l'évolution de terroirs contrastés sur une période de 10 ans.

RÉSUMÉ

Trois types d'outils botaniques ont été utilisés pour caractériser les prairies des terroirs de montagne des Pyrénées centrales. Les résultats ont été confrontés à des mesures (climat, sols, indices de nutrition du fourrage) et à des enquêtes auprès des agriculteurs. L'indice de fertilité d'Ellenberg n'explique pas les différences de production. L'analyse fonctionnelle des graminées (Cruz et Duru) et l'analyse botanique de Balent montrent que l'utilisation du terroir d'altitude a augmenté de 2002 à 2012 (+0,9 t MS/ha) bien qu'il soit encore le moins productif (5,4 t MS/ha.an). Ces indices, basés sur des relevés botaniques rapides à réaliser, permettent un diagnostic agroécologique pertinent des relations entre services écosystémiques et pratiques fourragères au niveau de la parcelle.

SUMMARY

Using macrophyte indices to characterise pasture management practices in two rural areas in the Bigorre mountains

Three analytical tools were used to examine changes in pastures located in different rural areas in the Central Pyrenees. The results obtained were analysed in tandem with data on environmental parameters (e.g., climate, soil properties, and forage composition) and information obtained from surveys conducted with farmers. We were thus able to determine how well these indices revealed differences attributable to area characteristics, pasture management practices, and their changes over time. The Ellenberg N index differed among areas (i.e., as a result of differences in altitude and soil acidity) but could not explain differences in production. The Balent indices and a functional analysis of grass species (as per Cruz and Duru) revealed that, although high altitude areas were increasingly exploited between 2002 and 2012, such land nonetheless remains the least productive. Rapid plant censusing techniques can be used to obtain the data necessary to calculate these macrophyte indices, which yield quality agroecological information on the relationship between ecosystem services and pasture management practices at the field level.

Le rôle des prairies permanentes de montagne est aujourd'hui largement reconnu que ce soit pour leur contribution à la production animale ou pour les diverses fonctions qu'elles assurent concernant l'environnement et les paysages (GIBON, 2005). De nombreux travaux scientifiques confirment et précisent **les services écosystémiques rendus par les prairies** (AMIAUD et CARRÈRE, 2012) au-delà de ceux concernant l'élevage (BAUMONT *et al.*,

2012), tels que leur rôle dans la conservation de la biodiversité (BALENT *et al.*, 1998 ; GIBON *et al.*, 2004 ; AMIAUD et PLANTUREUX, 2011), dans la régulation des flux physiques et chimiques des écosystèmes (GRANIER, 2007) et la réduction de la pollution (FARRUGGIA *et al.*, 2004). Leur rôle dans le maintien de paysages ouverts est également important pour des raisons écologiques, esthétiques et culturelles (GIBON, 2005).

AUTEURS

1 : UMR 1201 DYNAFOR, INP-Toulouse, ENSAT, Avenue de l'Agrobiopole, BP 32607, F-31326 Castanet-Tolosan cedex ; georges.bertoni@ensat.fr

2 : UMR 1201 DYNAFOR, INRA, CS 52627, F-31326 Castanet-Tolosan cedex

MOTS CLÉS : Diagnostic, évolution, fertilisation azotée, fertilisation organique, fertilisation phosphatée, fertilisation potassique, gestion du territoire, intensification, méthode d'estimation, nutrition de la plante, prairie de montagne, pratiques de gestion des prairies, Pyrénées, services rendus par les prairies, sol, système fourrager, système herbager, végétation.

KEY-WORDS : Change in time, diagnosis, estimation method, grass-based system, forage system, intensification, land management, nitrogen fertilisation, organic fertilisation, pasture management practices, phosphate fertilisation, plant nutrition, potassic fertilisation, Pyrénées, services provided by grasslands, soil, upland pasture, vegetation.

RÉFÉRENCE DE L'ARTICLE : Bertoni G., Gibon A., Raison L., Willm J., Balent G. (2015) : "Caractérisation des pratiques de gestion des prairies de deux terroirs des montagnes de Bigorre par des indices botaniques", *Fourrages*, 221, 25-32.

Les prairies naturelles des montagnes de Bigorre, dans l'Aire d'Adhésion du Parc National des Pyrénées, **connaissent une double dynamique**, comme souvent en montagne (MAC DONALD *et al.*, 2000). D'un côté, certaines parcelles sont **en voie d'extensification** (arrêt de la fauche, diminution de l'intensité de pâturage) en raison de contraintes liées à leurs caractéristiques et localisation (forte pente, difficulté d'accès, éloignement). Ce processus favorise le développement d'accrus forestiers (JULIEN *et al.*, 2006) qui conduisent à une perte de biodiversité, la fermeture des paysages et la diminution des ressources pastorales disponibles pour l'élevage. D'un autre côté, les systèmes de production se simplifient (les élevages mixtes ovins - bovins et les élevages ovins se raréfient au profit des bovins) et s'intensifient pour certains par augmentation du recours à des ressources complémentaires aux prairies naturelles (maïs et céréales produites ou non sur l'exploitation, prairies temporaires) ou, pour d'autres, par **intensification de la production des parcelles les plus accessibles et mécanisables** par des moyens classiques. Les conséquences de ce double mouvement d'extensification et d'intensification sur l'état et la dynamique des prairies de montagne posent la question du maintien des fonctions et des services écosystémiques assurés par ces prairies riches en espèces, en particulier à l'échelle du paysage, dans ces régions d'agriculture à Haute Valeur Naturelle (POUX, 2012).

L'objectif de ce travail est d'**évaluer**, dans le contexte des Pyrénées centrales, **les conséquences des pratiques de gestion des prairies permanentes et de leur évolution récente** (2002 à 2012) sur la composition botanique (richesse spécifique, traits fonctionnels), le niveau de production, le niveau de nutrition des plantes et la fertilité du sol des parcelles **dans trois grands types de terroirs** caractéristiques de l'organisation spatiale des paysages et de l'utilisation de l'espace dans les **systèmes agropastoraux pyrénéens** : les plaines alluviales (les « vallées »), les versants autour des villages et les terroirs de granges foraines. Ce travail a été effectué dans le cadre du projet ANR Mouve¹ relatif aux conditions d'une intensification écologique de l'élevage dans différents types de milieu. En 2012, nous avons étudié 29 prairies représentatives de la diversité rencontrée au sein d'un site de recherche à long terme dans les montagnes de Bigorre. L'analyse botanique de la végétation, l'analyse chimique du sol et des fourrages et les données de fertilisation et de production (foin et pâture) communiquées par les agriculteurs, ont été recueillies et analysées en utilisant différents modèles et indicateurs disponibles dans la littérature, présentés dans la partie méthodologique. L'évolution de la flore a pu être étudiée sur 25 des 29 parcelles pour lesquelles un relevé botanique avait été réalisé en 2002. Les diagnostics des caractéristiques des prairies effectués au moyen de ces modèles et indicateurs ont été confrontés aux résultats d'une enquête auprès des agriculteurs sur leurs pratiques de gestion des prairies.

1 : Projet Mouve (ANR-10-STRA-0005), Programme ANR Ecosystèmes, territoires, ressources vivantes et agricultures (SYSTERRA): "Les interactions Elevage et Territoire dans la mise en mouvement de l'intensification écologique", B. Dedieu coord. (2010) : <https://www1.clermont.inra.fr/mouve/>

1. Matériel et méthodes

■ Le site de l'étude

L'ensemble des parcelles, situées sur la **commune de Villelongue** (Hautes-Pyrénées, 42°57,000'N, 0°2,779'W), est **représentatif de la diversité des terroirs** utilisés par l'élevage dans les Pyrénées centrales (GIBON *et al.*, 2010) : un terroir proche du village et des sièges d'exploitation, noté « **Village** » (entre 590 et 881 m), un terroir éloigné des sièges et émaillé de granges - étables (dénommées localement « granges foraines »), noté « **Granges** » (entre 1 050 et 1 160 m d'altitude), un terroir de la plaine alluviale du gave de Pau, noté « **Plaine** » (480 m d'altitude environ) dont les parcelles servent de référence pour les niveaux de production maximale observables dans la zone d'étude.

Le **climat** local devient plus froid et humide avec l'altitude, comme le montrent les températures et précipitations cumulées du 1^{er} janvier au 30 juin 2012 relevées à 480 m d'altitude (Villelongue : 2020°C, 420 mm), à 735 m (Ortiac : 1570°C, 543 mm) et à 1 150 m (Hérou : 1 100°C, 642 mm). Tous les **sols** sont des brunisols peu évolués, sur alluvions fluviales (Plaine), lacustres ou fluvio-lacustres (Granges) ou sur schistes anciens (Village).

L'**utilisation des ressources agropastorales** est rythmée par les saisons (GIBON *et al.*, 2004). Les troupeaux mixtes (vaches et brebis allaitantes) passent l'hiver dans des étables près du siège des exploitations, où ils sont nourris avec des fourrages et compléments produits sur place ou achetés (fourrages secs, ensilage de maïs et/ou d'herbe, maïs grain, céréales...). A partir de la mise à l'herbe (de début avril à début mai), les animaux pâturent les prairies de l'exploitation en montant progressivement en altitude. Ils les quittent fin mai - début juin pour les parcours collectifs d'estive, où ils passent 4 à 5 mois. De fin septembre à début octobre, ils descendent vers les prairies les plus basses puis sont enfermés en étable pour l'hivernage.

Les fauches des premiers cycles s'étendent de début mai au mois d'août, en raison de divers facteurs (parcelles, altitude, climat...). Les fourrages sont en général récoltés en sec, après séchage au sol. L'ensilage d'herbe est très peu répandu. Une partie des éleveurs pratique, le plus souvent « en sauvetage », l'ensilage en balles rondes sur les parcelles fauchées en mai - début juin, quand les conditions climatiques sont défavorables à une récolte en sec.

■ Echantillonnage

Les **25 parcelles** réétudiées en 2012 ont été choisies à partir d'un échantillonnage stratifié de 100 parcelles étudiées en 2002 qui représentaient l'ensemble de la diversité des terroirs de village et de granges (JULIEN *et al.*, 2006). Les **modes de gestion** ont été caractérisés en 2012 par enquête auprès des agriculteurs (pratiques de récolte en fauche ou pâture, pratiques de fertilisation). Pour chaque parcelle, la **production de matière sèche utilisée** a été estimée à partir des résultats des enquêtes en cumulant sur l'année la quantité de fourrage récoltée sur la parcelle lors des différentes

exploitations en fauche et en pâturage. Pour les fauches, les quantités ont été estimées à partir du nombre et du poids des balles récoltées, en appliquant les normes courantes de teneur en matière sèche (MS) des fourrages récoltés (85 % pour un foin séché au sol). Pour les exploitations en pâturage, l'estimation est fondée sur leur durée, le nombre et les catégories zootechniques des animaux concernés (calcul en UGBxjours), ramenée à une quantité de MS prélevée par ha en utilisant une valeur moyenne de prélèvement journalier classique pour des troupeaux allaitants de montagne (13 kg MS/UGB). Les **fertilisations** organiques sont évaluées à partir des tonnages indiqués par les agriculteurs et de valeurs de référence (BODET *et al.*, 2001). Les fertilisations minérales sont celles indiquées par les agriculteurs.

Soulignons que les mesures indirectes utilisées ici concernent la fraction de biomasse produite effectivement utilisée. En cela elles se rapprochent de l'estimation de la biomasse utilisée fournie par des indicateurs floristiques dans le modèle Production/Utilisation (BALENT, 1991). Les connaissances sur les pertes au champ lors de récoltes en fauche et la consommation de l'herbe par les animaux au pâturage, amènent à considérer que la production utilisée est inférieure d'au moins 20 % à la production totale d'une prairie à mode d'exploitation donné (BALENT *et al.*, 1997).

■ Observations et mesures

• Observations floristiques et indices utilisés

La **composition floristique des parcelles** a été caractérisée par la méthode des points quadrats de DAGET et POISSONET (1971) adaptée aux prairies pyrénéennes soit 50 relevés exhaustifs des angiospermes, ponctuels, en présence – absence, espacés de 40 cm le long d'un transect de 20 m. Le transect est positionné dans la parcelle de manière à représenter le faciès de végétation dominant à l'exclusion des bordures, reposoirs, chemins, *etc.* Ces relevés floristiques permettent de calculer différents indices botaniques.

- **Le modèle de Balent** (1991) permet de calculer pour chaque parcelle un indice de production, un indice d'utilisation et un indice de perturbation (*cf.* BALENT (1991) pour le cadre théorique et méthodologique, JULIEN *et al.* (2006) ou BALENT *et al.* (2015, ce numéro) pour des applications récentes). Les **indices de production et d'utilisation**, sans unité dans le modèle, ont été traduits en t MS/ha (produite ou utilisée, respectivement) à l'aide des coefficients de régression linéaire entre les indices du modèle et les données d'exploitation des fourrages des parcelles recueillies chez les agriculteurs. La production au sens de potentiel de production est reliée à l'indice de production du modèle par l'équation (1) :

$$P \text{ (t MS/ha)} = 6,08 \times \text{Indice de production}$$

$$n = 14, r = 0,74^{**}$$

L'utilisation, au sens de fraction de la production utilisée par la fauche et la pâture, est reliée à l'indice par l'équation (2) :

$$P \text{ (t MS/ha)} = 6,05 \times \text{Indice d'utilisation} - 3,0$$

$$n = 29, r = 0,70^{***}$$

L'indice de perturbation est mesuré par la dispersion des espèces que l'on trouve dans une parcelle (variance des abscisses des espèces rencontrées dans la parcelle le long de chaque axe du modèle, CHESSEL *et al.*, 1982). Un indice de perturbation élevé correspond à une variance élevée et reflète la coexistence dans la même parcelle d'espèces aux préférences écologiques éloignées. Ce cas de figure se produit en général à la suite d'une perturbation comme, par exemple, un changement de pratique de gestion (BALENT *et al.*, 1997).

- Les **indices botaniques d'ELLENBERG** (1992) d'une parcelle ont été calculés à partir de l'abondance des espèces de la parcelle pondérée par leur note concernant la température, l'humidité, l'acidité et la fertilité azotée. Lorsque l'espèce ne dispose pas d'une valeur d'indice dans ELLENBERG (1992), les notes complémentaires proposées par HILL *et al.* (1999) ont été utilisées. La note de la parcelle est la moyenne des notes des espèces pondérées par l'abondance des espèces. Les indices ont pu être recueillis pour 85 espèces sur les 98 présentes dans l'échantillon.

- Les **indices botaniques de productivité, de digestibilité et de précocité des prairies** ont été calculés selon la méthode de DURU *et al.* (2010) à partir de la typologie fonctionnelle des graminées et de l'abondance des types A, B, b, C, D définis par CRUZ *et al.* (2010).

• Autres observations

Les **concentrations en N, P, K des fourrages** ont été déterminées sur un échantillon de 1 m², obtenu par prélèvement aléatoire de 4 cadres de 0,25 m² en période végétative, courant montaison (fin avril ou début mai selon l'altitude), à proximité du transect de l'étude botanique. Après séchage (72 h à 60°C) et broyage des échantillons, les concentrations en éléments minéraux ont été mesurées au laboratoire INRA-USRAVE (Bordeaux) : N a été mesuré par la micro-méthode de Dumas, P et K ont été dosés après minéralisation, par spectrométrie d'émission plasma à couplage inductif.

Les **indices de nutrition azotée (IN), phosphatée (IP) et potassique (IK)** ont été calculés selon les méthodes de LEMAIRE *et al.* (1989) pour IN, et de DURU et THELIER-HUCHÉ (1997) pour IP et IK. Les indices de nutrition faisant référence aux teneurs en azote de prairies monospécifiques de graminées, les valeurs ont été corrigées en fonction du pourcentage de légumineuses observé dans les prairies selon JOUANY *et al.* (2005) pour IP et IK, et selon CRUZ *et al.* (2006) pour IN. Les valeurs d'indices N, P et K comprises entre 80 et 100 % indiquent des nutriments non limitants pour la croissance (pour IN : DURU *et al.*, 1997 ; FARRUGGIA *et al.*, 2004 ; pour IP et IK : DURU et THELIER-HUCHÉ, 1997).

Pour caractériser **le sol des prairies**, 5 échantillons ont été prélevés à la tarière pédologique, le long du transect floristique, entre 2 et 15 cm de profondeur (horizon A), en dessous du mat racinaire. Après mélange des 5 échantillons, séchage à l'air et tamisage à 2 mm, la fraction de terre fine a été soumise à analyse physico-chimique à l'INRA d'Arras selon les méthodes normalisées.

■ Analyses statistiques

L'ensemble des analyses statistiques a été réalisé sous R® (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2005). Pour la projection dans le modèle Production - Utilisation nous avons utilisé les fonctions *suprow* et *sco.distri* de la librairie *ade4* sous R (DRAY et DUFOUR, 2007). La comparaison des moyennes observées dans les trois terroirs a été réalisée par l'analyse de variance et à l'aide du test bilatéral de Tukey. Les comparaisons des moyennes observées aux deux dates d'étude ont été réalisées à l'aide du test unilatéral *t* de Student.

2. Résultats et discussion

■ Pratiques d'exploitation des prairies

Les 29 prairies étudiées appartiennent à deux exploitations d'élevage mixte à dominante de vaches allaitantes. L'intensité des pratiques d'exploitation décroît de la Plaine vers les Granges. La fertilisation est fondée sur des apports de fumier sur les parcelles accessibles et des apports d'engrais minéraux sur les parcelles plus difficiles d'accès (tableau 1). En 2012, la production utilisée varie de moins de 1 t MS/ha et par an (PP Village, pâturées avant et après estivage du troupeau, et PP Granges) à 9 t MS/ha.an (FFFP Plaine). Les niveaux de fertilisation sont très bas dans les terroirs Village et Grange, l'absence ou la faiblesse de fertilisation n'ayant pas forcément la même conséquence selon l'histoire culturale (BALENT et DURU, 1984) : la fertilité actuelle des anciens champs proches du siège d'exploitation, dans un terroir à forte fertilité ancienne (Village), peut être plus élevée que celle des parcelles jamais cultivées, éloignées et plus pauvres (terroir Granges).

Terroir	Plaine	Village	Granges
Nombre de parcelles	4	14	11
Production utilisée (t MS/ha)	7,7 ^a	4,7 ^{ab}	3,4 ^b
Apport de fumier (t MF*/ha)	23,9 ^a	11,5 ^{ab}	2,73 ^b
Valeur équivalente (kg/ha)			
N	122 ^a	59 ^{ab}	16 ^b
P	24 ^a	12 ^{ab}	2,7 ^b
K	123 ^a	59 ^b	22 ^b
Engrais minéraux (kg/ha)			
N	0 ^b	0,6 ^b	4,0 ^a
P	0 ^b	0,4 ^b	3,0 ^a
K	0 ^b	0,6 ^b	5,4 ^a
Récolte du fourrage (n*)			
4 cycles	4 FFFP*	3 PFFP	
3 cycles		7 FFP, 1 PFP	2 PFP
2 cycles		3 PP	6 FP, 3 PP

Dans une ligne, les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes ($P < 0,05$)
* : MF : matière fraîche ; n : nombre de parcelles ; F : Fauche et P : Pâturage

TABLEAU 1 : Par terroir, fourrage utilisé par les agriculteurs et modes de gestion (fertilisation et récolte du fourrage) en 2012.

TABLE 1 : Forage types and management practices (e.g., addition of fertilizer, harvesting of fodder) used in 2012 by farmers in the different rural areas.

Terroir	Plaine	Village	Granges	Signification
Nombre de parcelles	4	14	11	
pH eau	6,83 ^a	6,05 ^b	5,67 ^c	**
Cations échangeables (à la cobalthexamine, cmol+/kg)				
CEC	19,2 ^a	13,3 ^b	10,9 ^b	*
Ca	17,8 ^a	11,9 ^b	8,9 ^b	*
Mg	1,66 ^a	1,27 ^{ab}	0,86 ^b	*
K	0,33 ^a	0,27 ^a	0,25 ^a	ns
Al	0,041 ^c	0,121 ^b	0,815 ^a	*
Mn	0,012 ^c	0,027 ^b	0,040 ^a	*
K / CEC (%)	1,81 ^a	2,00 ^a	2,35 ^a	ns
Matière organique (g/kg)	108 ^a	107 ^a	125 ^a	ns
N Total (g/kg)	4,8 ^b	4,9 ^b	6,7 ^a	*
P Olsen (mg P/kg)	11,7	9,4	10,9	ns

Sur une ligne, les lettres indiquent les différences significatives ($P < 0,05$).
ns : non significatif ; * : $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$

TABLEAU 2 : Par terroir, moyennes des paramètres de fertilité chimique des sols en 2012.

TABLE 2 : Mean values of soil fertility parameters in 2012 in the different rural areas.

■ Différenciation des sols des terroirs

L'analyse de sol montre des textures du type limono-argilo-sableux, voisines mais bien différenciées selon les trois terroirs (données disponibles auprès des auteurs).

Ces sols sont protégés de la battance par leur grande richesse en matière organique (voisine de 100 g/kg, tableau 2) et **se différencient bien par leur acidité** mesurée par le pH à l'eau : le terroir Plaine est proche de la neutralité, l'acidité des sols augmentant ensuite avec l'altitude (terroir Village < terroir Granges, tableau 2). La disponibilité du potassium mesurée par les concentrations en K échangeable ou par le rapport K/CEC est voisine quel que soit le terroir et reste très raisonnable (K/CEC ≈ 2 %). L'intensification croissante des pratiques de fertilisation des Granges vers la Plaine est à peine visible et non significative sur les concentrations en P et K du sol. La concentration en azote total un peu plus élevée des sols du terroir Granges indique un stock d'azote plus fort, qui traduit à notre avis une minéralisation plus faible de la matière organique en sol acide. Ces **faibles différences de concentration en N, P, K des sols entre terroirs** suggèrent qu'il y a, en moyenne, un équilibre entre les intrants et les exportations.

■ Niveaux de nutrition de la végétation des prairies

Les indices de nutrition montrent que **les fourrages de Plaine sont bien alimentés en P et en K** contrairement aux fourrages du Village et des Granges dont la nutrition est plus faible et plus variable (figure 1). Les indices de nutrition en N, toujours inférieurs à 64 %, montrent **une nutrition azotée insuffisante en début de saison pour toutes les prairies** échantillonnées.

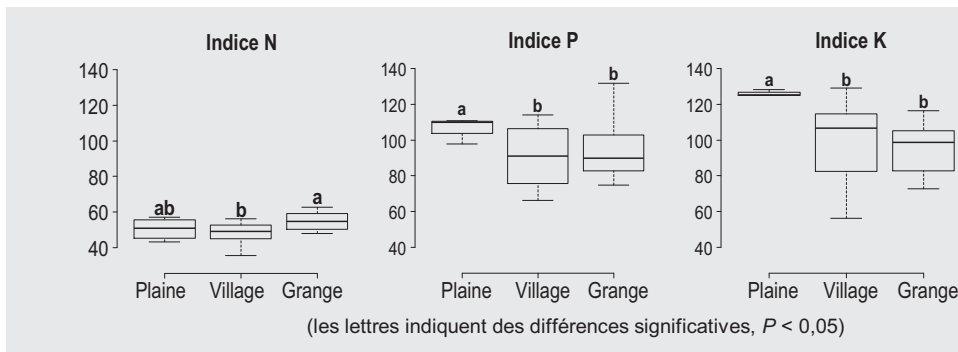


FIGURE 1 : Variabilité des indices de nutrition dans les 3 terroirs.

FIGURE 1 : Variability in forage nutritional value across the 3 different rural areas.

■ Différenciation des prairies à partir des indices dérivés de la composition botanique

Les indices botaniques utilisés sont validés dans l'échantillon par leurs corrélations entre eux et avec quelques variables d'intérêt agronomique. L'indice de pH calculé d'après les coefficients d'ELLENBERG est corrélé au pH du sol ($r = 0,70^{***}$), l'indice de fertilité d'ELLENBERG est corrélé aux indices de production et d'utilisation de BALENT (1991) ($r = 0,72^{***}$, $r = 0,79^{***}$, respectivement). L'indice de production de BALENT (1991) est corrélé ($r = 0,88^{***}$) au pourcentage de graminées à stratégie de capture (% ABb) de CRUZ *et al.* (2010) et à l'indice de productivité ($r = 0,79^{***}$) de DURU *et al.* (2010). L'indice d'utilisation de BALENT (1991) est, parmi les différents indices calculés, celui qui est le mieux corrélé à la quantité de fourrage utilisé à l'hectare, calculée à partir des données d'enquête ($r = 0,70^{***}$, équation 2).

Toutefois, tous les indices n'ont pas la même capacité à différencier les terroirs étudiés. Si les indices de température et de pH d'ELLENBERG différencient le terroir du Village du terroir des Granges, qui présente une végétation caractéristique d'un milieu plus froid et plus acide (tableau 3), l'indice de fertilité d'ELLENBERG en revanche ne permet de différencier ni la fertilité des terroirs Village et Granges, ni son évolution entre 2002 et 2012 (tableau 3).

Les indices de DURU *et al.* (2010) mettent en évidence une productivité moins forte dans le terroir Granges par rapport au terroir Village ainsi qu'une digestibilité moindre

de la végétation des parcelles au stade de végétation considéré, ce qui est en accord avec l'état de l'art. Entre 2002 et 2012, l'indice de productivité et l'indice de digestibilité de DURU ont augmenté dans le terroir Granges. Les indices de production et d'utilisation des prairies de BALENT (1991) différencient production et utilisation des prairies entre terroirs et entre dates. Ces indices sont plus élevés dans le terroir Village que dans les Granges ; entre 2002 à 2012, ils évoluent peu dans le terroir Village, alors qu'ils augmentent dans le terroir Granges en moyenne de 0,6 et 0,9 t MS/ha, respectivement (tableau 3).

■ Pratiques de gestion et perturbation de la végétation

Les parcelles à fort indice de perturbation lié à l'axe « Utilisation » du modèle (figure 2) sont aussi bien des prairies peu productives en voie d'enfrichement où apparaissent des espèces ligneuses (une parcelle du terroir Granges, indice d'utilisation < 1 t MS/ha) que des prairies productives très utilisées (entre 4 et 8 t MS/ha) où les pratiques d'utilisation (plusieurs fauches + pâturage d'automne) laissent une végétation hivernale avec des taches de sol nu qui sont colonisées au printemps par des espèces annuelles peu productives C'est le cas des 4 parcelles de Plaine où le vélar à fleurs dorées (*Sisymbrium austriacum* Rouy et Foucaud) ou la cardamine des prés (*Cardamine pratensis* L.) sont particulièrement abondantes dans les relevés floristiques.

Terroir	Village (n = 14)			Granges (n = 11)			Différence Village - Granges	
	2002	2012	Evolution 2002-2012	2002	2012	Evolution 2002-2012	2002	2012
Indices d'ELLENBERG (1992) et HILL <i>et al.</i> (1999)								
Température	5,5	5,5	ns	5,1	5,1	ns	**	***
Humidité	4,7	4,6	ns	4,6	4,8	°	ns	°
pH	5,4	5,8	**	5,0	5,2	*	**	***
Fertilité	4,5	4,5	ns	4,3	4,4	ns	ns	ns
Indices de DURU <i>et al.</i> (2010)								
Productivité	0,74	0,73	ns	0,61	0,67	*	**	*
Précocité (degrés.jour)	1 270	1 242	ns	1 372	1 314	*	*	*
Digestibilité (g MOD/kg)	748	759	**	734	749	**	*	°
Indices de BALENT (1991)								
Production (t MS/ha)	6,1	6,5	ns	4,8	5,4	*	*	*
Utilisation (t MS/ha)	5,0	5,0	ns	3,1	4,0	*	**	°

ns : non significatif ; ° : $P < 0,10$; * : $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; *** : $P < 0,001$

TABLEAU 3 : Evolution des indices botaniques moyens des terroirs Village et Granges entre 2002 et 2012.

TABLE 3 : Changes in the mean values of the macrophyte indices for the Village and Granges rural areas from 2002 to 2012.

3. Synthèse et perspectives

■ Quel diagnostic agroécologique pour les prairies des montagnes de Bigorre ?

Les terroirs Village et Granges ont été bien différenciés par l'indice de pH d'ELLENBERG, probablement en raison de la linéarité de la relation entre pH du sol et l'indice de pH (SCHAFFERS et SYKORA, 2000) dans le domaine étudié (pH_{eau} 5,3 - 6,5). L'amélioration de l'indice de pH dans le terroir Village de 2002 (indice de pH 5,4) à 2012 (Indice de pH 5,8) peut s'expliquer non seulement par la **différence des sols et l'effet terroir** (tableau 2) mais aussi par celle des **pratiques de fertilisation** dans un passé récent (MOTTET *et al.*, 2006) : en l'absence d'apports d'amendements calciques, l'augmentation de l'indice de pH constatée dans le terroir Village (tableau 3) est en accord avec les observations de BODET *et al.*, (2001) sur l'effet neutralisant ou, en tout cas, non acidifiant des engrais de ferme.

En termes de potentiel de production lié à la fertilité, la très faible valeur des indices de nutrition en azote suggère que la **nutrition de ces prairies est limitée par l'azote dans tous les terroirs** (IN < 64 %). Ce résultat est en accord avec les pratiques observées, les éleveurs n'apportant pas ou peu de fertilisation azotée minérale et les prairies dépendant de ce fait quasi exclusivement de la minéralisation de l'azote organique. Cependant, il se peut que le déficit en azote soit exagéré comme indiqué par AGNUSDEI *et al.* (2010) : en présence d'un quelconque facteur limitant la croissance, l'IN surestime le manque d'azote. La nature de ce facteur limitant n'est pas claire ici, mais le froid, les fortes précipitations printanières et l'acidité de certains sols pourraient être des éléments d'explication.

L'analyse diachronique de l'état des prairies entre 2002 et 2012 à partir des métriques floristiques utilisées montre **une augmentation de la production et de l'utilisation des prairies dans ce terroir de Granges**. Ce

changement illustre un cas de figure important à considérer pour l'avenir. C'est en effet sur les prairies de ce type de terroirs que l'on observe aujourd'hui les **dynamiques les plus défavorables pour la préservation de la biodiversité locale**. Il faut souligner que les dynamiques inverses à l'abandon observées sur le territoire étudié ici sont liées à la réintroduction de la fauche qui maintient un niveau d'utilisation au-dessus d'un seuil qui interdit le boisement spontané des parcelles (JULIEN *et al.*, 2006). L'ouverture d'une piste carrossable, qui a permis d'accéder avec un matériel de fauche classique aux parcelles relativement plates du terroir Granges, a autorisé une ré-intensification de leur usage après un premier abandon (MOTTET *et al.*, 2006). Des mesures agri-environnementales de soutien à la « fauche pédestre » encourageant en outre la fauche à la faux ou la motofaucheuse des parcelles plus pentues depuis une quinzaine d'années.

■ Une intensification de la gestion des prairies est-elle possible et/ou souhaitable dans le contexte étudié ?

Des fertilisations organiques plus fortes et surtout des indices IP, IK plus élevés différencient le terroir Plaine, plus facile à mécaniser, des deux autres terroirs où les apports sont plus faibles, en moyenne. Cette tendance à l'enrichissement en K et P est caractéristique de l'usage des engrais organiques. Cependant, aucun sol des trois terroirs (tableau 2) n'atteint la limite de risque environnemental en P (par exemple, 20 mgP Olsen/kg de sol, McDOWELL *et al.*, 2001), ce qui peut être considéré comme un indice de durabilité des pratiques de gestion de ces prairies. L'accessibilité et la proximité des bâtiments d'élevage des parcelles du terroir Village expliquent de façon similaire une production et une utilisation du fourrage plus fortes en moyenne que dans le terroir Granges. L'indice d'utilisation de BALENT (1991) suggère une **hausse moyenne de la production utilisée** d'environ 0,9 t MS/ha.an en 10 ans **dans le terroir Granges** sur des parcelles où la fauche avait été abandonnée entre les années 1940-1970. Il semble ainsi que le processus de reprise n'ait pas encore atteint son terme. Dans ces parcelles, **la végétation continue à s'améliorer sous l'effet de l'utilisation accrue des prairies**, malgré la faiblesse des fertilisants apportés sous forme de fumier ou d'engrais minéraux. Les éleveurs locaux conduisent en douceur cette ré-intensification, sans engager de coûts importants en intrants, en compensant par un travail d'entretien important (entretien des bordures, lutte contre les taupes...).

Le niveau très faible de l'alimentation azotée des prairies étudiées suggère qu'**une augmentation raisonnable et un fractionnement adapté de la fertilisation azotée** seraient susceptibles d'en augmenter la production. Toutefois, cette limitation de la croissance printanière de la végétation par la nutrition azotée constitue à notre sens un atout plutôt qu'une contrainte dans le système agraire considéré, du moins pour la gestion des prairies de fauche. Dans cette région, le climat pluvieux de fin de printemps occasionnerait des coûts importants pour une récolte efficiente des premiers cycles à un stade précoce de végétation

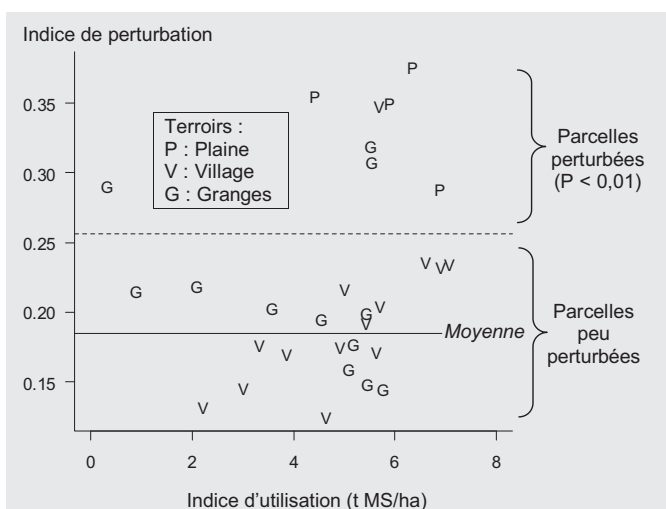


FIGURE 2 : Relations entre l'indice de perturbation de la végétation et l'indice d'utilisation de la prairie.

FIGURE 2 : Relationship between the vegetation disturbance index and the pasture utilisation index.

(ensilage ou séchage en grange). De ce fait, les agriculteurs préfèrent pratiquer un déprimage des prés de fauche, pour obtenir un foin de qualité à une date de récolte plus tardive. **Un objectif d'amélioration de la nutrition azotée en début de printemps serait ainsi peu pertinent** dans ces systèmes de production extensifs (élevage agropastoral de vaches et brebis allaitantes). Dans ces territoires où les agriculteurs utilisent tout le fumier qu'ils produisent et où les difficultés d'épandage d'engrais sont importantes sur une partie des parcelles, **de réels gains de productivité économique pourraient-ils être obtenus par intensification des prairies au moyen de fertilisants azotés achetés ?**

La faisabilité et l'intérêt concret de l'augmentation de la production fourragère d'une prairie ne peuvent pas être évalués sans référence à l'organisation spatio-temporelle d'ensemble de la gestion des parcelles de l'exploitation et sans évaluer la flexibilité interannuelle de cette organisation pour faire face aux aléas climatiques (GIBON *et al.*, 1989 ; ANDRIEU *et al.*, 2007 ; MARTIN *et al.*, 2009). Les défis que soulève le changement climatique conduisent aujourd'hui à **rechercher des méthodes et outils performants de modélisation de scénarios de changements** de cette organisation. Les modèles récents font une large place aux savoirs et savoir-faire des agriculteurs afin de concevoir des changements de gestion des prairies qui puissent être constructifs dans la pratique (MARTIN *et al.*, 2009). Enfin, les modifications de gestion des prairies sont à raisonner, tout particulièrement en région d'agriculture à Haute Valeur Naturelle, en référence non seulement à ses fonctions et services fourragers, comme nous l'avons fait ici, mais aussi aux autres fonctions et services qui en sont attendus pour l'entretien des paysages et la préservation de la biodiversité (GIBON, 2005 ; JOUVEN et BAUMONT, 2008). Des **recherches** en partenariat avec les agriculteurs et autres acteurs du développement agricole et rural **menées dans une double perspective d'intensification écologique de l'élevage et de développement durable des territoires seraient de ce fait nécessaires** pour définir avec une certitude relative les possibilités d'amélioration de la conduite des prairies de la région d'étude.

■ Un intérêt renouvelé pour les outils de diagnostic basés sur la connaissance de la flore

Cette comparaison des terroirs a permis d'illustrer la **complémentarité des indices** basés sur des types fonctionnels de graminées exclusivement et des indices basés sur l'ensemble de la composition floristique (monocotylédones et dicotylédones). **Les différents indices présentés et utilisés constituent autant de métriques agroécologiques**, c'est-à-dire des unités de mesures calibrées, indépendantes du contexte local, car établies soit de manière expérimentale (indices DURU), soit par des analyses comparatives de gradient (indices ELLENBERG et BALENT) sur des lots de données importants et dans une large gamme de prairies, de régions et de pratiques de gestion. Les deux familles d'indices permettent d'évaluer le niveau de productivité des parcelles avec des résultats comparables. Les premiers permettent en outre d'évaluer la qualité de la végétation

(digestibilité) ainsi que la souplesse d'utilisation. Les seconds permettent d'évaluer le degré d'utilisation de la production des prairies, variable difficile à mesurer *in situ* et délicate à obtenir par enquête. Ils permettent également d'évaluer le degré de perturbation de la flore des prairies dû aux pratiques de fertilisation et d'utilisation.

Sur un plan méthodologique, les résultats de notre étude montrent le grand intérêt des indices botaniques pour réaliser un diagnostic des prairies permanentes qui aille au-delà du simple constat analytique permis par des mesures de production et des analyses de fourrages. Dans les prairies permanentes, les indices botaniques permettent de rendre compte d'une évolution de la végétation qui intègre les effets du milieu et des pratiques sur la durée. De nombreux utilisateurs potentiels hésitent encore à les utiliser car ils sont basés sur des relevés floristiques et car beaucoup considèrent encore que la détermination des espèces prairiales est affaire de spécialistes et consommatrice de temps. Toutefois, les relevés utilisés dans ce travail n'ont demandé qu'une heure environ par parcelle. Des méthodes simplifiées (coefficients d'abondance - dominance, BRAUN-BLANQUET *et al.*, 1952) permettent d'obtenir un relevé exhaustif en 15-20 minutes. Les nouveaux enjeux sur les fonctions et services écologiques de ces prairies, de la parcelle au paysage, et l'intérêt accordé à leur gestion durable dans les politiques publiques appellent selon nous **une reconsidération des attitudes vis-à-vis de l'utilisation de relevés floristiques**.

Cet enjeu est d'importance car aujourd'hui, grâce aux différents indices existants, la composition floristique fournit une vision synthétique des conséquences à différents pas de temps des interactions entre état de la prairie et pratiques alors que, d'une part, la connaissance des pratiques passées et les analyses agronomiques s'y rapportant peuvent être perdues et que, d'autre part, la réalisation de mesures pour effectuer un diagnostic de l'état et la gestion d'une prairie (mesure de production fourragère, analyse de fourrage, analyse de sol) demande la mise en œuvre de méthodes qui restent coûteuses, lourdes à mettre en œuvre et dont les résultats sont influencés par les variations climatiques annuelles.

Accepté pour publication,
le 9 janvier 2015.

Remerciements : Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet de recherche MOUVE soutenu par l'Agence Nationale de la Recherche (projet ANR-2010-STRA-005-01). Nous remercions les agriculteurs exploitant les prairies étudiées, M. Lapeyre et Mme Quessette et leurs familles pour leur accueil et leur collaboration. Merci également à A. Noirault, élève ingénieur à l'EI Purpan pour sa participation aux travaux de terrain 2012 et à l'analyse préliminaire des résultats.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGNUSDEI M.G., ASSUERO S.G., LATTANZI F.A., MARINO M.A. (2010) : "Critical N concentration can vary with growth conditions in forage grasses: implications for plant N status assessment and N deficiency diagnosis", *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 88, 215-230.
- AMIAUD B., PLANTUREUX S. (2011) : "La biodiversité des prairies : nouveau contexte, nouvelles approches", *Fourrages*, 208, 241-243.

- AMIAUD B., CARRÈRE P. (2012) : "La multifonctionnalité de la prairie pour la fourniture de services écosystémiques", *Fourrages*, 211, 229-238.
- ANDRIEU N., POIX C., JOSIEN E., DURU M. (2007) : "Simulation of forage management strategies considering farm-level land diversity: example of dairy farms in the Auvergne", *Computers and Electronics in Agriculture*, 55,36-48.
- BALENT G. (1991) : "Construction of a reference frame for studying changes in species composition in pastures: the example of an oldfield succession", *Options Méditerranéennes*, 15, 73-81.
- BALENT G., DURU M. (1984) : "Influence des modes d'exploitation sur les caractéristiques et l'évolution des surfaces pastorales: cas des Pyrénées centrales", *Agronomie*, 4, 113-124.
- BALENT G., DURU M., GIBON A., MAGDA D., THEAU J.P. (1997) : *Les prairies permanentes de milieu océanique et de montagne humide : Outils de diagnostic agroécologique et guide pour leur utilisation*, A. Gibon éd., INRA Toulouse et Groupe Régional Fourrages Midi-Pyrénées, 51 p.
- BALENT G., ALARD D., BLANFORT V., GIBON A. (1998) : "Activités de pâturage, paysages et biodiversité", *Annales de Zootechnie*, 47, 419-429.
- BALENT G., LAVOREL S., LOUCOUGARAY G., BERTONI G., BOISDON I., CAPITAINE M., COLACE M.P., DOBREMÈZ L., GIBON A., GOS P., MESMIN X. (2015) : "Quelles perspectives d'intensification écologique des services fourragers rendus pour des prairies de moyenne montagne humide françaises ? Une analyse comparative", *Fourrages*, 221, 3-14.
- BAUMONT R., MICHAUD A., DELABY L. (2012) : "Services fourragers des prairies permanentes : production d'herbe et valeur alimentaire pour les ruminants", *Fourrages*, 211, 219-228.
- BODET J.M., HACALA S., AUBERT C., TEXIER C. (2001) : *Fertiliser avec les engrais de ferme*, Institut de l'élevage-ITAVI-ITCF-ITP, Paris, 104 p.
- BRAUN-BLANQUET J., ROUSSINE N., NÈGRE R. (1952) : *Les groupements végétaux de la France méditerranéenne*, Dir. Carte Group. Vég. Afr. Nord, CNRS, 292 p.
- CHESEL D., LEBRETON J.D., PRODON R. (1982) : "Mesures symétriques d'amplitude d'habitat et de diversité intra-échantillon dans un tableau espèces-relevés : cas d'un gradient simple", *C.R. Acad. Sciences de Paris*, 295, Série 3, 83-88.
- CRUZ P., JOUANY C., THEAU J.P., PETIBON P., LECLoux E., DURU M. (2006) : "L'utilisation de l'indice de nutrition azotée en prairies naturelles avec présence de légumineuses", *Fourrages*, 187, 369-376.
- CRUZ P., THEAU J.P., LECLoux E., JOUANY C., DURU M. (2010) : "Typologie fonctionnelle de graminées fourragères pérennes: une classification multitraits", *Fourrages*, 201, 11-17.
- DAGET P., POISSONET J. (1971) : "Une méthode d'analyse phytosociologique des prairies. Critères d'application", *Annales Agronomiques*, 22, 5-41.
- DRAY S., DUFOUR A.B. (2007) : "The Ade4 package: Implementing the duality diagram for ecologists", *J. Stat. Software*, 22, 1-20.
- DURU M., THELIER-HUCHÉ L. (1997) : "N and P-K status of herbage: use for diagnosis of grasslands", Lemaire G., Burns I.G. (eds.), *Diagnostic procedures for crop N management and decision making*, Les Colloques, INRA, 82, 125-138.
- DURU M., LEMAIRE G., CRUZ P. (1997) : "The nitrogen requirement of major agricultural crops. Grasslands", Lemaire G. éd., *Diagnosis of the nitrogen status in crops*, Heidelberg, Germany, Springer Verlag, 59-72.
- DURU M., CRUZ P., JOUANY C., THEAU J.P. (2010) : "Herb'type© : cxun nouvel outil pour évaluer les services de production fournis par les prairies permanentes", *INRA Prod. Anim.*, 23, 319-332.
- ELLENBERG H. (1992) : "Indicator values of the vascular plants", Ellenberg H., Weber, H.E., Düll R., Wirth V., Werner W., Paulissen D. ed., *Indicator values of plants in Central Europe*, *Scripta Geobotanica*, 18 (2. Auflage), Göttingen, Goltze Verlag, 9-160.
- FARRUGGIA A., GASTAL F., SCHOLEFIELD D. (2004) : "Assessment of the nitrogen status of grassland", *Grass and For. Sci.*, 59, 113-20.
- GIBON A. (2005) : "Managing grassland for production, the environment and the landscape. Challenges at the farm and the landscape level", *Livestock Prod. Sci.*, 96, 11-31.
- GIBON A., LARDON S., RELIER J.P. (1989) : "The heterogeneity of grassland fields as a limiting factor in the organization of forage systems. Development of a simulation tool of harvests management in the Pyrénées Centrales", *INRA-Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement*, 16, 105-117.
- GIBON A., BALENT G., ALARD D., LADET S., MOTTET A., JULIEN M.P. (2004) : "L'usage de l'espace par les exploitations d'élevage de montagne et la gestion de la biodiversité", *Fourrages*, 178, 245-263.
- GIBON A., SHEEREN D., MONTEIL C., LADET S., BALENT G. (2010) : "Modelling and simulating change in reforesting mountain landscapes using a social-ecological framework", *Landscape Ecology*, 25, 267-285.
- GRANIER A. (2007) : "Rôle des prairies dans le cycle de l'eau. Comparaison avec la forêt", *Fourrages*, 192, 399-408.
- HILL M.O., MOUNTFORD J.O., ROY D.B., BUNCE R.G.H. (1999) : *Ellenberg's indicator values for British Plants*, ECOFACT 2a Technical Annex, Centre for Ecology and Hydrology, Natural Environment Research Council (NERC), UK, 46 p.
- JOUANY C., CRUZ P., THEAU J.P., PETITBON P., FOUCRAS J., DURU M. (2005) : "Diagnostic du statut de nutrition phosphatée et potassique des prairies naturelles en présence de légumineuses", *Fourrages*, 184, 547-555.
- JOUVEN M., BAUMONT R. (2008) : "Simulating grassland utilization in beef suckler systems to investigate the trade-offs between production and floristic diversity", *Agric. systems*, 96, 260-272.
- JULIEN M.P., ALARD D., BALENT G. (2006) : "Patterns of ash (*Fraxinus excelsior* L.) colonization in mountain grasslands: the importance of management practices", *Plant Ecology*, 183, 177-189.
- LEMAIRE G., GASTAL F., SALETTE J. (1989) : "Analysis of the effect of N nutrition on dry matter yield of a sward by reference to potential yield and optimum N content", *Proc. XVIth Int. Grassl. Congr.*, Nice, 179-180.
- MACDONALD D., CRABTREE J. R., WIESINGER G., DAX T., STAMOU N., FLEURY P., GUTIERREZ LAZPITA J., GIBON A. (2000) : "Agricultural abandonment in mountain areas of Europe: Environmental consequences and policy response", *J. Environ. Manag.*, 59, 47-69.
- MARTIN G., HOSSARD L., THEAU J.P., THEROND O., JOSIEN E., CRUZ P., RELIER J.P., MARTIN-CLOUAIRE R., DURU M. (2009) : "Characterizing potential flexibility in grassland use: Application to the French Aubrac area", *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 381-389.
- MCDOWELL R.W., SHARPLEY A.N., BROOKES P.C., POULTON P.R. (2001) : "Relationship between soil test phosphorus and phosphorus release to solution", *Soil Science*, 166 (2), 137-149.
- MOTTET A., LADET S., COQUE N., GIBON A. (2006) : "Agricultural land-use change and its drivers in mountain landscapes: A case study in the Pyrenees", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 114, 296-310.
- POUX X. (2012) : "L'agriculture à Haute Valeur Naturelle pour la biodiversité dans les sites semi-naturels", *Espaces Naturels*, 38 ; http://www.espaces-naturels.info/sites/default/files/EN38_p48.pdf
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2005) : *R: A language and environment for statistical computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna (Austria) ; <http://www.R-project.org>.
- SCHAFFERS A.P., SYKORA K.V. (2000) : "Reliability of Ellenberg indicator values for moisture, nitrogen and soil reaction: a comparison with field measurements", *J. Veg. Sci.*, 11, 225-244.



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