

# MODÉLISATION DE L'ÉVOLUTION DES SURFACES PASTORALES DANS LES PYRÉNÉES CENTRALES MISE AU POINT D'UN RÉFÉRENTIEL MICRO-RÉGIONAL DE DIAGNOSTIC AU NIVEAU DE LA PARCELLE

Gérard BALENT\*

Communication présentée au séminaire « Relations Agriculture Elevage ».  
DSA-CIRAD - Montpellier 10-13 septembre 1985

## RÉSUMÉ

La transformation du système agro-pastoral pyrénéen s'est accompagnée d'une profonde mutation dans les modes de mise en valeur du territoire valléen. Actuellement, l'histoire culturelle des parcelles est déterminante dans les niveaux de production des pâturages et les agriculteurs utilisent le capital de fertilité accumulé du fait des usages antérieurs de l'espace.

A partir de l'information contenue dans la composition floristique de la végétation des parcelles, et en utilisant les propriétés de l'Analyse Factorielle des Correspondances, nous avons établi un modèle rendant compte de l'évolution de la gestion des éléments fertilisants et des pratiques pastorales. Ce modèle constitue un référentiel micro-régional permettant de porter un diagnostic sur l'état de parcelles situées dans d'autres vallées des Pyrénées Centrales que celle où cette étude a été réalisée.

## SUMMARY

In the Pyrenees mountains, the alteration of the agro-pastoral ecosystem has induced a marked change in land-use management. Nowadays, dry matter yield is strongly related to management history of plots and the farmers profit from the high level of fertility of plots with a favorable management history.

Using the indicative value of the botanical composition of plots and with the help of Correspondance Analysis, we have modeled the evolution in nutrient management and grazing system in the Oô valley. Such a model works like a reference to appreciate the evolution of any other plot located in the adjacent valleys.

## RESUMEN

La transformación del sistema agro-pastoral pyrenaico siempre ha ido junto con una profunda mutación en las modalidades del aprovechamiento del territorio de los valles. Hoy en día, las historias agronómicas de las parcelas influyen fuertemente sobre los niveles de producción de los pastos y los ganaderos están aprovechando un capital de fertilidad que ha sido acumulado merced a los usos anteriores del espacio.

Utilizando las informaciones contenidas en la composición florística de la vegetación de las parcelas y también las propiedades del Análisis Factorial de las Correspondencias, hemos establecido un modelo describiendo la evolución del manejo de los nutrientes y de las prácticas pastorales. Este modelo constituye un referencial micro-regional permitiéndonos de llevar a cabo un diagnóstico sobre el estado de parcelas ubicadas en otros valles de los Pirineos Centrales.

Si, en théorie, le complexe plante-animal ou l'écosystème pastoral peut être considéré comme un système à ressources renouvelables, en pratique le pastoralisme a été et est toujours un système de lente exploitation minière des pâturages (WILLIAMS, 1981). Aussi, le pastoraliste a-t-il le souci du maintien de la productivité et de la reproductibilité des pâturages (BOUDET, 1984). Cela suppose de bien connaître les ressources pastorales et en particulier l'évolution, dans l'espace et dans le temps, de leur production, de leur qualité alimentaire et du niveau de leur utilisation.

Dans le cadre d'un travail pluridisciplinaire sur l'étude des systèmes d'élevage dans les Pyrénées Centrales, nous avons été confrontés aux difficultés méthodologiques inhérentes aux approches pastoralistes : Comment caractériser les types de végétation sur un territoire constitué de plusieurs centaines de petites parcelles (8 ares en

moyenne), cultivées, fauchées, pâturées ou enfrichées ? Comment caractériser les modalités d'utilisation et, en particulier la charge animale, sur un territoire non clôturé, utilisé collectivement de l'automne au printemps par plusieurs troupeaux non gardés et suivant des circuits de pâturage aux contours plutôt flous ? Comment mettre en relation des types de végétation répartis en mosaïque, avec des pressions de pâturage réparties de manière continue et juger de l'impact des pratiques de pâturage sur l'évolution de la végétation ?

Nous essayons ici d'apporter quelques éléments de réponse à ces questions en considérant que :

— La composition floristique d'une parcelle est un bon révélateur des pratiques agricoles (DELPECH, 1979, 1982 ; SNAYDON, 1981 ; DYER et al., 1982 ; BOUDET, 1984).

— Un peuplement végétal répond de manière graduelle à un facteur écologique. Plutôt que d'essayer de rattacher la flore des pâturages à des unités phyto-sociologiques bien délimitées et connues a priori, nous préférons étu-

\* INRA Centre de Recherche de Toulouse. Unité de Recherche sur les Systèmes Agraires et Développement BP 27 31326 Castanet-Tolosan.

dier les modifications progressives de la composition floristique des parcelles le long de gradients écologiques (WHITTAKER, 1973 ; AUSTIN, 1980).

— L'Analyse Factorielle des Correspondances « AFC », (BENZECCI et coll., 1973) nous paraît une méthode d'ordination particulièrement bien adaptée pour traiter ce type de problème.

## I — PRINCIPAUX TRAITS DU SYSTÈME PASTORAL DES PYRÉNÉES CENTRALES

La commune d'Oô (900 à 3 000 m d'altitude) dans les Pyrénées Haut-Garonnaises recouvre, à elle seule, une petite vallée et, à ce titre, est une unité particulièrement pertinente pour saisir la logique de mise en valeur de l'espace pastoral (BALENT, BARRUÉ-PASTOR, à paraître).

### 1. Utilisation des pâturages par les troupeaux

Le calendrier pastoral peut être divisé en deux grandes périodes :

**L'estivage** s'étend du début du mois de juin aux premières neiges d'octobre, les animaux fréquentent alors les pâturages d'altitude, ou « estives », situés entre 1 500 et 3 000 m d'altitude ;

**L'hivernage** s'étend du début du mois d'octobre à la fin du mois de mai, cette période est la plus difficile dans les systèmes d'élevages pyrénéens (GIBON, 1981) : les animaux utilisent les pâturages communaux ou privés de fond de vallée (900 à 1 500 m). Dans la plupart des communes, du premier novembre à la fin du mois d'avril, les parcelles en propriété privée sont pâturées de manière collective par l'ensemble des troupeaux de la commune (pratique de la « vaine pâture » ou de règlements équivalents). L'abandon du gardiennage collectif des troupeaux, pendant cette période, rend les modalités d'utilisation de l'espace pastoral souvent complexes : les troupeaux individuels sont souvent mélangés, les animaux livrés à eux-mêmes sont naturellement attirés par les zones les plus appétentes (ARNOLD et DUDZINSKI, 1978), et concentrent leurs activités de pâturage sur les parcelles de prés de fauche fertiles et bien entretenues (DESPRÉS et SOULAS, 1981) provoquant l'enrichissement des zones moins appétentes, en particulier des pâturages communaux.

Pendant cette période, le fond de la vallée a été fréquenté par 120 bovins et 500 ovins. Si l'ensemble des ovins sort au pâturage tout au long de l'hiver, dès que les conditions météorologiques le permettent, le nombre des bovins au pâturage est très réduit au cœur de l'hiver, en janvier et février (DESPRÉS et SOULAS, op. cit.) ce qui confirme les connaissances scientifiques sur la mauvaise aptitude des bovins à tirer parti du pâturage en conditions extrêmes.

### 2. Gestion des éléments fertilisants

Dans la vallée d'Oô, la surface cultivée est passée de 100 ha au début du siècle à 10 ha en 1980, la surface fauchée de 100 à 75 ha (BALENT et BARRUÉ-PASTOR, 1986). De ce fait, tout cet ensemble de parcelles abandonnées (en général les plus pentues et les plus éloignées du village) constitue une zone de transition entre les surfaces actuellement fauchées et cultivées et les pâturages

communaux. Cette « nouvelle » ressource qui constitue une partie des Zones Intermédiaires « ZI », (DURU et al., 1979), joue un rôle particulièrement important dans l'alimentation hivernale des animaux (GIBON, 1981 ; GIBON et BALENT, 1982).

Cette évolution dans l'utilisation des surfaces pastorales (fig. 1) va de pair avec un changement de la gestion générale des éléments fertilisants. La fertilisation des surfaces de fond de vallée est liée à un mécanisme de transfert des éléments fertilisants des surfaces pâturées vers les surfaces cultivées.

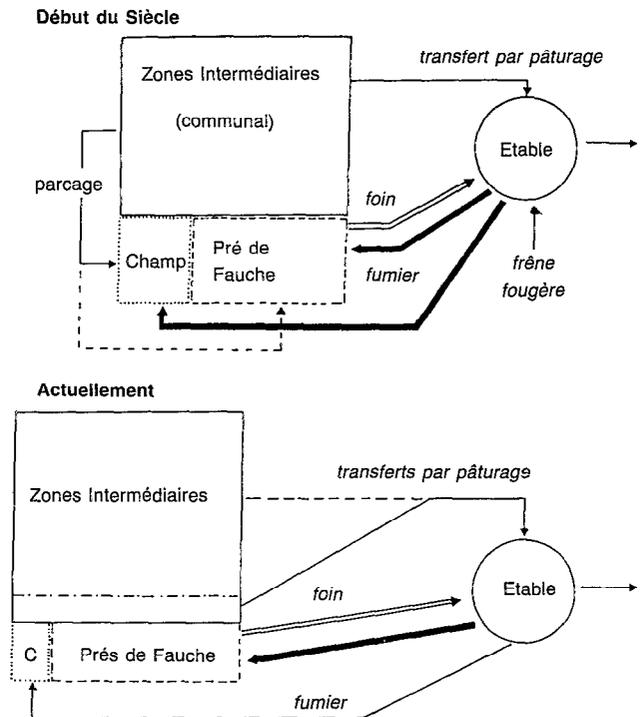
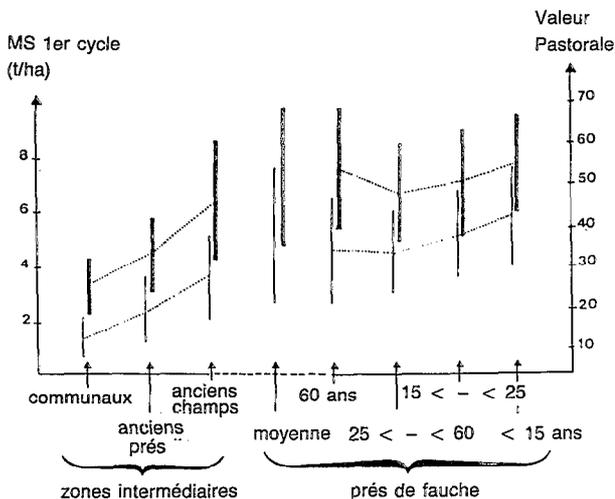


Fig. 1. — Evolution de la gestion des éléments fertilisants dans les Pyrénées centrales (d'après BALENT et DURU, 1984).

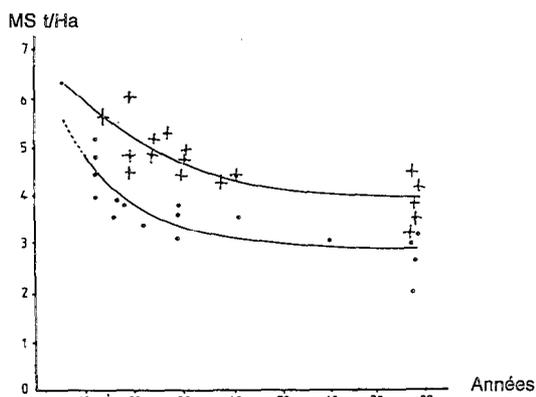
Au début du siècle, les exportations provenaient de vastes surfaces communales et leur niveau avait peu de conséquences sur l'évolution de leur fertilité. Le nombre important d'animaux hivernés permettait d'apporter des quantités considérables de fumier sur les prés de fauche (20 t/ha/an) et sur les champs (40 t/ha/an). De plus la pratique du parcage nocturne des troupeaux ovins était courante.

Aujourd'hui, la fertilité décroît régulièrement sur l'ensemble des surfaces pastorales (DURU et BALENT, 1985). Les zones uniquement pâturées (communaux et ZI) ne reçoivent aucune fertilisation et les restitutions organiques dues aux animaux ne représentent que 30 à 35 % des exportations (si on adapte les résultats obtenus par KAJAK (1974) pour des situations comparables dans les montagnes de Pologne). Pour les prés de fauche, on constate que les fumures apportées ne permettent pas de compenser les exportations aux niveaux de production actuels. Les plantes utilisent des éléments minéraux antérieurement accumulés dans le sol, en liaison avec les hauts niveaux de fertilisation passés (surtout quand la parcelle était un champ) (DURU et BALENT, op. cit.). Cette utili-

sation de la rente de situation liée à l'histoire culturelle de la parcelle est générale (figure 2). Dans les zones pâturées, la production des anciens champs est supérieure à celle des anciens prés de fauche, celle-ci étant elle-même supérieure à celle des communaux. Sur les anciens champs actuellement utilisés en prés, nous avons observé une diminution marquée du niveau de production en fonction du temps écoulé depuis l'abandon de la culture (figure 3).



**Fig. 2** — Importance de l'histoire culturelle sur les valeurs pastorales ( ) et les niveaux de production ( | ) des surfaces pastorales dans les Pyrénées centrales (d'après BALENT et DURU, 1984).



**Fig. 3** — Evolution de la production des prés de fauche en fonction du temps écoulé depuis la date d'abandon de la culture pour deux niveaux de fumure : 20 t de fumier/ha (-an (+) -/tous les 2 à 6 ans (•) ; (d'après de MONTARD et al., 1981).

## II — MODÉLISATION DE L'ÉVOLUTION SURFACES PASTORALES

Au-delà du constat de l'importance de l'histoire culturelle dans la productivité actuelle des parcelles, de la baisse générale de la fertilité des surfaces pastorales et de la concentration des activités de pâturage sur les prés de fauche, il était important de se doter d'une représentation de l'évolution des surfaces pastorales qui puisse rendre compte à la fois :

- de l'importance relative des différents facteurs écologiques dans l'évolution actuelle (nous considérons la fauche, le pâturage et la fertilisation comme des facteurs écologiques au même titre que la pente, l'humidité, etc...).

- de l'évolution probable des surfaces pastorales si les conditions d'utilisation demeurent inchangées.

- des voies d'évolution possibles de ces surfaces si les facteurs écologiques sont modifiés.

Il serait ainsi possible de connaître les capacités de reproduction des ressources pastorales, de prédire leur évolution dans différents cas d'utilisation, et aussi de proposer des schémas de remise en valeur de ces pâturages grâce à la connaissance du ou des facteurs sur le(s)quel(s) agir prioritairement pour modifier leur évolution dans un sens souhaité.

Nous avons tenté de construire un tel modèle en utilisant la valeur indicatrice des communautés végétales et les propriétés de l'Analyse Factorielle de Correspondance.

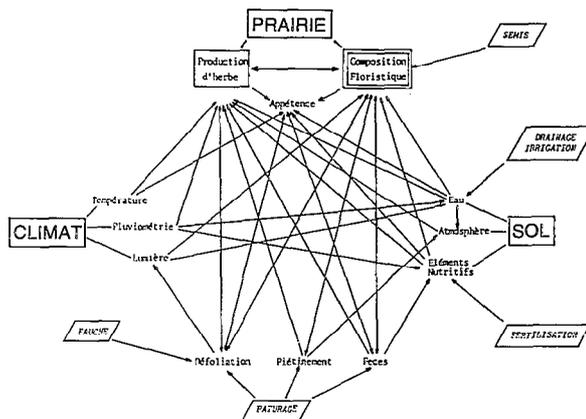
### 1. Quelques éléments méthodologiques

La valeur indicatrice de la végétation d'une prairie, en regard des pratiques agricoles, repose sur deux principes :

- La présence d'une espèce, en un lieu donné, a une valeur informative et prédictive.

- La composition floristique de la végétation spontanée est le résultat d'une combinaison précise de facteurs écologiques (DELPECH, 1982).

La figure 4 représente, pour une prairie pâturée, les principales interactions qui existent entre la flore, le sol, le climat et les pratiques agricoles. La complexité de ces interactions donne une idée de la somme d'informations contenue dans la simple liste des plantes d'une prairie.



**Fig. 4** — Interactions entre composition floristique, conditions pédo-climatiques et pratiques agricoles (d'après SNAYDON, 1981).

Pour hiérarchiser l'importance des facteurs écologiques, nous avons comparé les compositions floristiques de 70 parcelles représentant un échantillonnage exhaustif des différents types de surfaces pastorales de fond de vallée (prés de fauche, pâturages, friches...) croisés avec leur histoire culturelle, l'intensité de leur fréquentation par les troupeaux, leur situation topographique. La végétation a été relevée par la méthode des points quadrats adaptée par DAGET et POISSONET (1971). 223 espèces différentes ont été identifiées.

Le tableau de 70 relevés comprenant 223 espèces a été soumis à une Analyse Factorielle des Correspondances. Rappelons simplement que :

- l'AFC détermine, dans l'espace ambiant au nuage de points (relevés + espèces) le système d'axes qui rend le mieux compte de la forme du nuage (BENZECRI, 1985),
- tous les axes passent par le centre de gravité du nuage,
- le premier axe principal d'inertie (F1) est celui sur lequel le nuage se projette avec la dispersion maximum,
- le deuxième est celui parmi les droites passant par le centre de gravité et orthogonales à F1 qui disperse le nuage au maximum, et ainsi de suite.

Rappelons également que dans l'AFC la réciprocity de l'ordination permet d'interpréter les proximités qui existent sur un plan factoriel entre les espèces et les relevés, et enfin que l'ordination fournie sur le premier axe factoriel est la meilleure possible (ESTEVE, 1978 ; LEBRETON, 1980 ; CHESSEL et al., 1982). PRODON et LEBRETON (1981) ont remarquablement illustré les possibilités d'utilisation de l'AFC dans le cadre de l'étude de la structure et de l'évolution d'une communauté d'oiseaux ; ils ont suggéré son intérêt pour l'étude des communautés végétales.

### B — L'interprétation des deux premiers axes factoriels (Fig. 5)

L'interprétation des 2 premiers facteurs ayant déjà été publiée (BALENT, 1984, BALENT et DURU, 1984), nous ne ferons qu'en rappeler les grandes lignes. La figure 5 représente la projection des espèces et des relevés sur le plan factoriel (F1, F2). Seules les espèces les plus informatives pour la compréhension des facteurs ont été figurées.

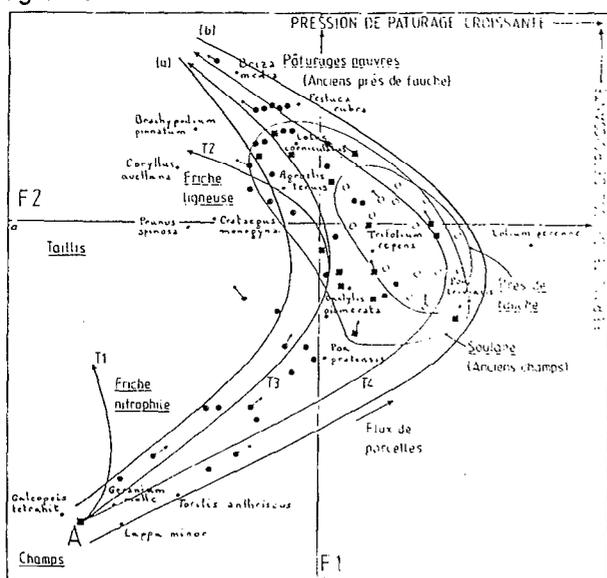


Fig. 5 — Evolution des surfaces pastorales dans la vallée d'Oô d'après la position des espèces végétales et des parcelles sur le plan factoriel (F1, F2) de l'AFC (d'après BALENT, 1984, BALENT et BARRUÉ-PASTOR, 1986).

Aux valeurs négatives de l'axe F1, nous trouvons des espèces nitrophiles (*Lappa minor*, *Torilis anthriscus*, *Geranium molle*, ...) et des friches postculturales récentes ; Aux valeurs positives, des espèces de pâturages très pauvres

comme *Briza media*, *Festuca rubra*, *Brachypodium pinnatum*, ainsi que des parcelles ayant une histoire culturelle très défavorable. L'axe F1 représente un facteur de **fertilité des parcelles**. Des analyses chimiques de sol et de végétation confirment cette interprétation.

Le facteur F2 oppose des plantes supportant bien le piétinement comme *Lolium perenne*, *Poa trivialis* à des plantes de friches ligneuses ou nitrophiles (*Coryllus avellana*, *Prunus spinosa*, *Crataegus monogyna*, *Galeopsis tetrahit*). Parallèlement, toutes les stations les plus pâturées (prés de fauche, anciens champs en soulane qui sont très fréquentés en hiver du fait de leur enneigement précoce) s'opposent aux stations de friches et de pacages peu fréquentées. Nous avons considéré que l'axe F2 était un facteur lié à l'importance de la **pression de pâturage**.

La composition floristique de la végétation reflète clairement l'emprise de l'homme sur le milieu puisque les deux facteurs écologiques les plus importants qui la structurent sont directement liés à son action.

### 3. Dynamique spatio-temporelle de la végétation : Les trajectoires d'évolution des parcelles

Sachant qu'il n'existe pas de parcelles très fertiles et très pâturées, ni de parcelles très pauvres et très pâturées, nous avons imaginé que la représentation des espèces et des relevés sur le plan factoriel (F1, F2) contenait beaucoup plus d'informations que la simple mise en évidence de l'importance de la fertilité et de la pression de pâturage et qu'elle était susceptible de rendre compte de l'utilisation réelle du territoire pastoral de la vallée.

Considérant que les 70 parcelles étudiées représentent l'ensemble des surfaces de fond de vallée et qu'il existe une relation directe entre le niveau de fertilité d'une parcelle et le temps écoulé depuis la date d'abandon de la culture (ou de la fauche), l'espace et le temps ont été introduit dans la représentation des résultats fournie par l'AFC.

L'ensemble des parcelles se trouve situé entre deux courbes « enveloppes » (a) et (b). Les quelques parcelles situées à gauche de la courbe (a) correspondent à des formations végétales de transition entre les formations herbacées et les friches ligneuses. Quand un champ est abandonné sa fertilité très élevée à ce moment ne peut que décroître (voir plus haut). Si on considère que tous les champs ont à peu près le même niveau de fertilité au moment de leur abandon (de MONTARD et al., 1981), le point de départ de leur évolution peut être représenté par la parcelle A très fertile et non pâturée. En fonction de l'utilisation qui succède à cet abandon, la parcelle va suivre des **trajectoires d'évolution** différentes.

Dans un premier temps, si elle n'est pas pâturée, elle va rapidement devenir une friche rudérale (trajectoire T1). Ce cas est très peu fréquent sur la commune étudiée et n'a pas été inclus dans notre échantillon. Si la parcelle est pâturée, les animaux par leur piétinement vont contribuer à la disparition progressive des espèces de friche comme *Urtica sp.*, *Lappa minor*, et favoriser l'implantation de bonnes espèces de pâturage comme *Dactylis glomerata*, *Triolium repens*, *Poa pratensis*. L'appétence de la parcelle va augmenter et, corrélativement comme nous l'avons vu plus haut, la fréquentation des animaux aussi. L'amélioration de la flore va se poursuivre et la valeur pastorale de la parcelle va atteindre son maximum en même temps que la fréquentation des animaux (BALENT et

DURU, 1984). C'est ce qu'on observe sur les terroirs de prés de fauche et de soulane. Cette superposition de la meilleure flore et de la pression de pâturage maximum est intéressante pour le pastoralisme, car l'ancienneté de ce type d'utilisation suppose l'acquisition par des plantes de mécanismes d'adaptation particulièrement élaborés et importants à connaître pour analyser les phénomènes de résistance au surpâturage (Mc NAUGHTON, 1979 ; DYER et al., 1982).

Dans un second temps, la fréquentation importante de la parcelle va entraîner une augmentation de l'exportation des éléments fertilisants ; sa fertilité va décroître au point que les espèces végétales les plus exigeantes sur le plan nutritif vont disparaître. Partant, la valeur pastorale va diminuer ainsi que l'appétence de la végétation. Les animaux vont donc la délaisser pour fréquenter des parcelles abandonnées depuis moins longtemps, atteignant à leur tour leur optimum de valeur pastorale. Ce scénario, qui est le plus répandu, correspond aux trajectoires d'évolution de type T3 ou T4 selon l'intensité de pression de pâturage qui suit l'abandon de la culture. Les parcelles finissent soit par se stabiliser et présenter une végétation de type pelouse, soit par évoluer vers une végétation de type taillis (T2) si elles sont situées à proximité d'une haie ou d'un bois.

En résumé, la dynamique globale d'évolution des surfaces pastorales de fond de vallée est assimilable à un flux permanent de parcelles qui évoluent d'un état initial « champ » (ou « prés de fauche », le raisonnement étant identique) à un état final « pelouse ». Un tel système n'est susceptible de se reproduire à long terme que s'il est sans cesse alimenté par l'abandon de nouvelles parcelles de champs. Ceci n'est plus le cas dans les conditions actuelles de la montagne pyrénéenne, où les champs cultivés ne constituent maintenant qu'une partie négligeable des surfaces agricoles (BALENT et DURU, 1984 ; BALENT et BARRUÉ-PASTOR, à paraître, 1986).

Le modèle d'évolution des surfaces pastorales, établi à partir de relevés floristiques, a permis de caractériser les modalités et la vitesse d'évolution des différents types de surfaces pastorales. Il permet ainsi de porter un diagnostic sur la reproductibilité des ressources dans leurs conditions actuelles d'utilisation. Nous avons donc constitué un **référentiel micro-régional adapté au système local de pratiques de mise en valeur des surfaces pastorales.**

### III — DIAGNOSTIC AU NIVEAU D'UNE PARCELLE

Le référentiel établi permet, par la connaissance de la position d'une parcelle sur le plan factoriel (F1, F2), de la situer dans une dynamique générale d'évolution des surfaces pastorales de la vallée. Pour aller plus loin, nous avons tenté d'étalonner les deux premiers axes factoriels (fertilité et pâturage) à partir de données recueillies sur les parcelles du référentiel. Dans un deuxième temps, nous proposons d'utiliser ce référentiel pour porter un jugement sur la qualité d'une parcelle extérieure à la vallée uniquement à partir de sa flore.

#### 1. Etalonnage des deux premiers axes factoriels (fertilité et pression de pâturage)

##### a) Le facteur F1 de fertilité de sol

L'analyse de la composition chimique de la végétation

a été réalisée sur 18 parcelles représentant un échantillon stratifié des 70 parcelles du modèle. Ces analyses sont réalisées tous les mois sur un cycle annuel et portent sur l'herbe offerte aux animaux (BALENT, GIBON, THEAU, en cours).

Pour caractériser le niveau de fertilité des parcelles, nous avons utilisé la valeur moyenne des teneurs en Phosphore total, [P], en Potassium total, [K], et du rapport Azote total sur Phosphore total [N]/[P] pour les mois d'avril, mai, juin et juillet c'est-à-dire tout au long du premier cycle végétatif. Le rapport N/P a été utilisé dès les années 1930 par des hydrobiologistes pour caractériser le degré d'eutrophisation des lacs. Par la suite, son intérêt pour caractériser le niveau de fertilité d'une parcelle a été clairement démontré par TILMAN (1982) lors d'une étude des modifications de la structure d'une communauté végétale le long d'un gradient de fertilité. Le rapport N/P représente un index du taux de fourniture aux plantes des deux éléments.

Les relations obtenues entre ces résultats d'analyses chimiques et l'abscisse des stations sur les deux premiers axes factoriels sont les suivantes :

$$[P] = - 0.000095 \times (F_1) + 0,314 \quad (1)$$

$$r = - 0.699 \quad (P < 0.001) \quad n = 18$$

$$[K] = - 0.001127 \times (F_1) + 2.0314 \quad (2)$$

$$r = - 0.744 \quad (P < 0.001) \quad n = 18$$

$$[N] / [P] = 0.00276 \times (F_1) + 9.59 \quad (3)$$

$$r = + 0.893 \quad (P < 0.001) \quad n = 18$$

Dans les trois cas nous obtenons des équations de régression hautement significatives et la valeur élevée du coefficient de corrélation pour l'équation (3) laisse supposer que la relation est linéaire et confirme la bonne valeur de prédicteur du rapport N/P pour la fertilité d'une parcelle. Nous cherchons actuellement à mettre en relation la distribution d'abondance des plantes et l'évolution de N/P le long du gradient F1 (BALENT, en cours).

##### b) Le facteur F2 de pression de pâturage.

Des observations hebdomadaires sont réalisées entre octobre et juin, sur les circuits journaliers de pâturage des différents troupeaux de la commune en notant à intervalle régulier (30 mn) la position, la surface occupée par chaque troupeau ainsi que de l'activité alimentaire des animaux, pâturage, déplacement, repos (DESPRÉS et SOULAS, 1981). A partir de ces données, nous avons établi une carte des prélèvements effectués par les animaux (RAWSKI, 1983) avec une maille élémentaire de 1/16<sup>e</sup> d'hectare ce qui constitue une précision suffisante pour associer une valeur du prélèvement à chaque parcelle du référentiel. Les dépouillements actuellement réalisés ne concernent qu'une moitié de la commune (32 parcelles sur les 70) et qu'une des trois campagnes d'observation réalisées.

La relation obtenue, entre les abscisses des stations sur F2 et les prélèvements calculés, n'est significative qu'à  $P < 0.1$ . Ceci est, en partie, lié au fait que les données dépouillées ne concernent qu'une campagne. En général, on considère que la composition floristique de la végétation rend bien compte de son utilisation pendant les trois années précédant le relevé. Toutefois, sur les parcelles uni-

quement utilisées en pâturage, on obtient la relation suivante :

$$[\text{PRELEV}] = 0.781 \times (F_2) + 937 \quad (4)$$

$$r = 0.71 \quad (P < 0.001) \quad n = 23$$

Nous pensons que la faible corrélation entre les près de fauche et le prélèvement est due en partie à leur double utilisation en fauche et en pâturage. Pour améliorer la relation entre prélèvement et composition floristique sur l'ensemble des stations il faudra sans doute utiliser les résultats de prélèvements des trois années et introduire un correctif pour les près de fauche en fonction des quantités de fourrages récoltés.

## 2. Position d'une parcelle extérieure au référentiel.

### a) Principe de calcul

La possibilité de connaître la position, dans le gradient d'une nouvelle parcelle, uniquement à partir de sa composition floristique, est liée aux propriétés de l'AFC et en particulier à la possibilité de projeter des individus supplémentaires dans l'analyse (pour plus de détails voir BENZECRI, 1973 et BENZECRI, 1985).

Soit une parcelle P dans laquelle un relevé de la composition floristique a été effectué (k espèces déterminées, l'espèce i est représentée par l'effectif  $n_i$ ). La contribu-

tion de l'espèce i est égale à  $f_i = n_i / \sum n_i$ . Soit  $F_{ij}$  l'abscisse de l'espèce i sur l'axe factoriel  $F_j$ . L'abscisse de la station P sur l'axe  $F_j$  est donnée par la formule suivante :

$$F_{pj} = 1 / \sqrt{\mu_j} \cdot \sum f_i \cdot F_{ij} \quad (5)$$

où  $\mu_j$  est la valeur propre associée à l'axe  $F_j$  c'est-à-dire la part de l'inertie totale du nuage expliquée par l'axe  $F_j$  (BENZECRI, 1985 ; PRODON, 1984).

L'abscisse de la station est donc fonction du barycentre des espèces qui la composent et de la corrélation qui existe entre l'ordination des espèces et celle des relevés sur le facteur considéré.

Une première application de cette technique de calcul à l'étude des communautés écologiques a été réalisée par PRODON (1984) dans l'étude, au moyen de l'avifaune, de l'évolution de milieux méditerranéens après incendie.

### b) Un exemple d'application

Supposons qu'un relevé ait été effectué sur une parcelle (P) ayant une végétation à dominante herbacée, dans une vallée des Pyrénées centrales où les conditions écologiques et les pratiques de pâturages sont voisines de celles de la vallée d'Oô. L'utilisation du relevé floristique nous permet de la situer dans le référentiel. Nous avons représenté les différentes étapes du calcul et les résultats obtenus sur la figure 6.

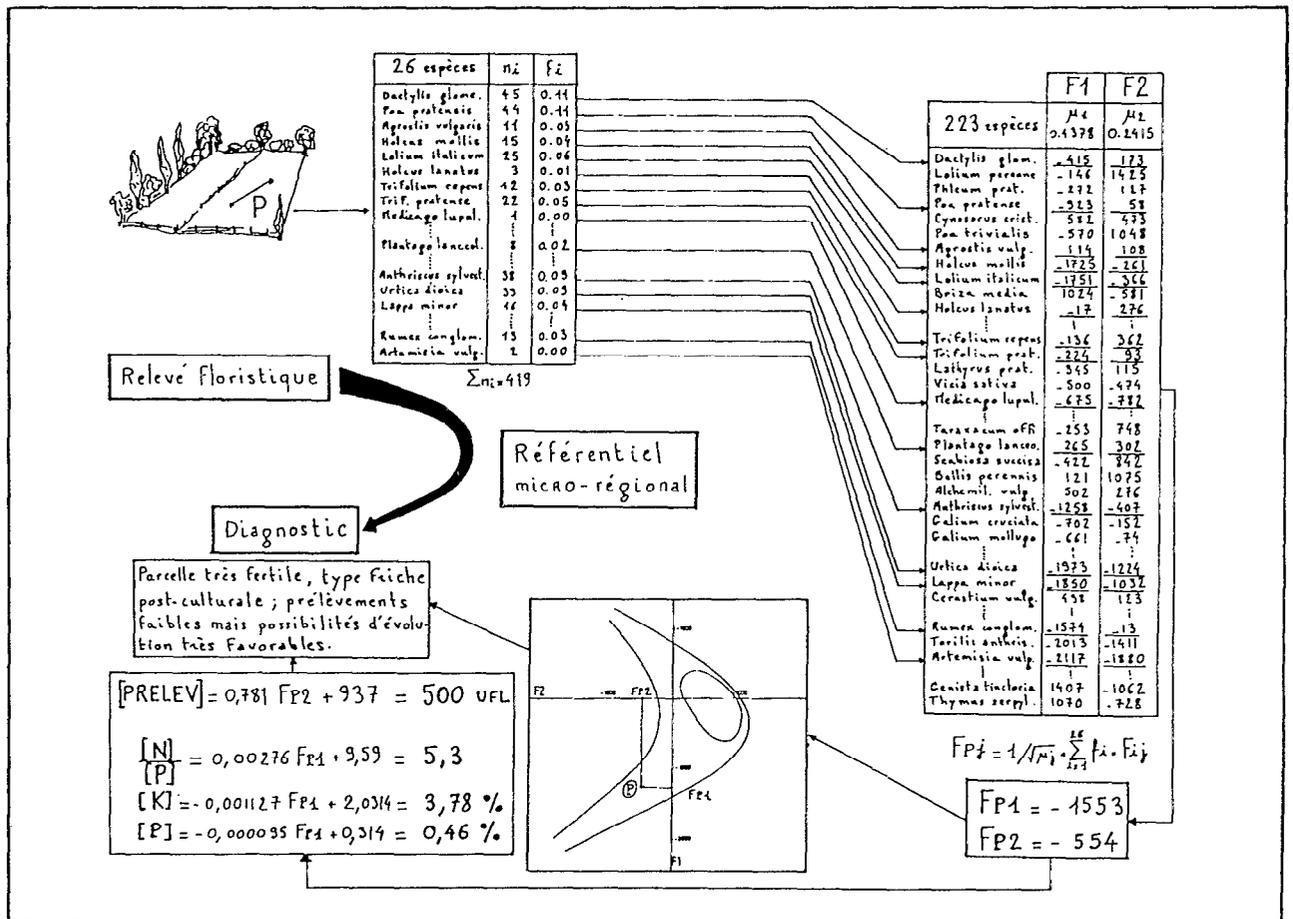


Fig. 6. — Exemple d'utilisation du référentiel micro-régional d'évolution des surfaces pastorales dans les Pyrénées Centrales pour diagnostiquer l'état d'une prairie

A partir de l'abondance de chaque espèce (26 au total) nous calculons le nombre total de contacts enregistrés (419), puis les fréquences d'occurrence ou contributions de chaque espèce dans le relevé. Ensuite, dans un tableau où sont indiquées les abscisses des 223 espèces du référentiel, nous relevons les abscisses des 26 espèces sur les deux premiers axes factoriels et nous calculons le bary-centre de leur distribution sur ces deux axes. Pour obtenir les abscisses de la parcelle P il ne reste plus qu'à appliquer l'équation (5). Nous trouvons - 1553 pour le premier axe et - 554 pour le second.

Nous sommes donc en mesure de positionner la parcelle dans le modèle général d'évolution des surfaces pastorales : la parcelle P est un ancien champ qui se trouve sur une trajectoire d'évolution assez favorable. Une augmentation de sa fréquentation par les troupeaux améliorerait sa situation.

L'utilisation des équations (1), (2), (3) et (4) nous fournit des renseignements supplémentaires sur sa fertilité et son niveau d'utilisation qui nous aident à affiner notre diagnostic (figure 6).

L'exemple choisi est très caricatural dans la mesure où le simple examen de la composition floristique nous renseignait suffisamment sur le statut de la parcelle (grande quantité d'ortie, d'oseille mais aussi de dactyle et de ray-grass italien) mais on imagine l'intérêt de cet outil de diagnostic dans des situations beaucoup moins typées.

## CONCLUSION

Le référentiel d'analyse de l'évolution des surfaces pastorales est actuellement applicable dans quelques vallées des Pyrénées centrales, l'étendue de son domaine de validité demandant à être précisée. Sa mise en œuvre exige, pour l'instant, de solides connaissances en botanique, aussi travaillons-nous dans le sens de sa simplification :

— en comparant les résultats obtenus en tenant compte de l'abondance des espèces ou simplement de leur présence-absence. Les résultats obtenus avec les deux types de données sont fortement corrélés et la suppression des comptages va considérablement alléger le travail de terrain.

— en limitant le nombre d'espèces nécessaires pour obtenir un bon diagnostic de l'état d'une parcelle. Nous cherchons, actuellement, à déterminer la valeur indicatrice de chaque plante du référentiel afin de ne conserver que les plus performantes choisies, si possible, parmi les plus faciles à déterminer.

Par ailleurs, la mise au point d'un outil comparable, sur prairies permanentes dans d'autres petites régions, semble possible si l'on s'entoure de quelques précautions élémentaires : travail sur un système de pratiques pastora-

les bien défini et sur des types de peuplements végétaux relevant d'un mode de fonctionnement commun. Dans les Pyrénées centrales par exemple, il aurait été vain de vouloir rassembler, dans le même référentiel, les surfaces de fond de vallée et les pelouses subalpines, de même qu'ailleurs il serait malvenu de vouloir regrouper des prairies permanentes et des cultures fourragères. Nous travaillons actuellement à la mise au point d'un référentiel du même type sur les prairies permanentes d'un canton de la région des coteaux de Gascogne.

La qualité du diagnostic, permis par ce type d'outil, est fonction de la précision avec laquelle on peut établir des relations entre les facteurs écologiques et des variables agronomiques. Dans le cas des Pyrénées, un ensemble de recherches pluridisciplinaires concentrées dans l'espace et dans le temps nous a permis de réunir les données nécessaires :

— « suivi de parcelles représentatives dans leur composition floristique, leur production, l'exploitation subie (enquête sur l'histoire de ces parcelles)...

— suivi de troupeaux représentatifs... pour reconnaître les circuits saisonniers de pâture... estimer l'aire pastorale effectivement exploitée » (BOUDET, 1984) et surtout quantifier les prélèvements (RAWSKI, 1983).

— suivis zootecniques d'exploitations d'élevage (GIBON, 1981) qui permettent au pastoraliste d'estimer la pression de pâturage et ses variations au cours de la saison en relation avec les systèmes élevages pratiqués.

Sur le plan théorique, les concepts et les méthodes de l'écologie des communautés (TILMAN, 1982 ; STRONG et al., 1984) paraissent apporter un nouvel éclairage à une approche agronomique des couverts végétaux essentiellement orientée vers la recherche de seuils et l'établissement de typologies à base agronomique ou phytosociologique. Une communauté végétale est, en effet, une entité dynamique en perpétuelle évolution sous l'action de facteurs écologiques (anthropiques ou non). La flore des pâturages est le reflet de nombreuses interactions liées à des phénomènes de compétition (pour l'espace, la lumière, les ressources...) et de co-adaptations entre plantes (TURKINGTON, 1983) ou entre plantes et herbivores (DETLING et al., 1979 ; CRAWLEY, 1983).

L'Analyse Factorielle des Correspondances est un outil mathématique qui permet de rendre compte d'un grand nombre de ces mécanismes et les récents travaux de CHESSEL, LEBRETON et PRODON (1982) élargissent le champ de ses applications. Elle permet de déterminer et de hiérarchiser les principaux facteurs écologiques, de rendre compte de manière continue des modifications de la structure des communautés en fonction de l'intensité de ces facteurs, de déterminer l'amplitude d'habitat des espèces le long d'un gradient écologique et par la même de déterminer leur pouvoir indicateur.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARNOLD G.W., DUDZINSKI M.L., 1978. — Ethology of free ranging domestic animals. Developments in animal and veterinary sciences ; 2. — Amsterdam : Elsevier, 198 pages.
- AUSTIN M.P., 1980. — Searching for a model for use in vegetation analysis ; In : *Vegetatio*, 42, 11-21.
- BALENT G., 1984. — The influence of grazing on the evolution of the botanical composition of previously cultivated fields. The example of the Pyrenees. — 2<sup>nd</sup> I.R.C., May 13-18 1984, Adelaïde, Australia, (sous presse).
- BALENT G., BARRUÉ-PASTOR M. à paraître. — Pratiques pastorales et stratégies foncières : deux éléments clefs de la dynamique de l'élevage montagnard. L'exemple de la vallée d'Oô (Pyrénées centrales). — A paraître dans la *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*.
- BALENT G., DURU M., 1984. — Influence des modes d'exploitation sur les caractéristiques et l'évolution des surfaces pastorales : Cas des Pyrénées centrales. In : *Agronomie*, 4 (2), 113-124.
- BENZECRI F., 1985. — Introduction à l'analyse des correspondances d'après l'analyse du commerce mondial des phosphates. — In : *Les Cahiers de l'Analyse des Données*, 10 (2), 145-190.
- BENZECRI J.P. et coll., 1973. — L'analyse des données. Tome II : L'analyse des correspondances. — Paris, Dunod : 619 pages.
- BOUDET G., 1984. — L'exploitation des parcours et la conduite des troupeaux dans les systèmes d'élevage. In : *Les Cahiers de la Recherche-Développement*, 3-4, 97-101.
- CHEssel 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. — in : *C.R. Acad. Sci. Paris*, Tome 295, Série 3, 83-88.
- CRAWLEY M.J., 1983. — *Herbivory. The dynamics of Animal-Plant interactions (Studies in Ecology ; 10)*. — Oxford : Blackwell Scientific Publications, 437 pages.
- DAGET Ph., POISSONET J., 1971. — Une méthode d'analyse phytologique des prairies. Critères d'application. — In : *Ann. Agron.*, 22 (1) 5-41.
- DETLING J.K., DYER M.I., WINN D.T., 1979. — Net photosynthesis, root-respiration and regrowth of *Bouteloua gracilis* following simulated grazing. In : *Oecologia (Berl.)*, 41, 127-134.
- DELPECH R., 1979. — Réflexions sur quelques problèmes biologiques soulevés par l'exploitation pastorale en montagne. In : *Utilisation par les ruminants des pâturages d'altitude et parcours méditerranéens*. Versailles : Ed. INRA Publications, 45-56.
- DELPECH R., 1982. — La végétation prairiale, reflet du milieu et des techniques. — In : *B.T.I.*, 370/372, 363-373.
- DESPRÉS Ph., SOULAS C., 1981. — Contribution à l'étude de l'élevage pyrénéen. Rôle du pâturage hivernal dans l'alimentation des troupeaux ovins du Luchonnais. — Mémoire fin d'études ENSA Montpellier, INRA-URSAD Toulouse, 104 pages + annexes.
- DURU M., BALENT G., 1985. — Fertilisation dans les exploitations d'élevage des Pyrénées centrales. Pratiques des éleveurs. Références expérimentales. — 2<sup>e</sup> Forum National de la Fertilisation raisonnée. Atelier III — Elevages et prairies permanentes, Toulouse, 6 pages.
- DURU M., GIBON A., LANGLET A., FLAMANT J., 1979. — Recherches sur les problèmes pastoraux pyrénéens. — In : « Utilisation par les ruminants des pâturages d'altitude et parcours méditerranéens ». Versailles : INRA, 231-256.
- DYER M.I., DETLING J.K., COLEMAN D.C., HILBERT D.W., 1982. — The role of herbivores in grasslands. — In : « Grasses and Grasslands. Systematics and Ecology », J.R. ESTES, R.J. TYRL, J.N. BRUNKEN, University of Oklahoma Press, Norman, 255-295.
- ESTEVE J., 1978. — Les méthodes d'ordination : éléments pour une discussion. — In *Biométrie et Ecologie* J.M. LEGAY, R. TOMASSONE. Paris : Soc. Franç. Biométrie, 223-250.
- GIBON A., 1981. — Pratiques d'éleveurs et résultats d'élevage dans les Pyrénées centrales. — Thèse Docteur Ingénieur, INA Paris-Grignon, 106 pages.
- GIBON A., BALENT G., 1982. — Contribution du pâturage à l'alimentation hivernale des troupeaux ovins dans les Pyrénées. — XXXIII<sup>e</sup> Réunion annuelle de la F.E.Z., 16-19 Août 1982, Leningrad, URSS, 6 pages.
- KAJAK A., 1974. — Analysis of sheep pasture ecosystem in the Pieniny Moutains (The Carpathians). — XVII : Analysis of the transfer of carbon. *Ekologia Polska*, 22 (3/4), 711-732.
- LEBRETON J.D., 1980. — Quelques éléments sur l'analyse des correspondances à l'intention des ornithologues. — *Bièvre*, 2 (1), 47-62.
- McNAUGHTON S.J., 1979. — Grazing as an optimization process : grassungulate relationships in the Serengeti. — In : *American naturalist*, 113 (5), 691-703.
- De MONTARD F.X., BALENT G., DURU M., JEANNIN B., LAFARGE M., LANGLET A., 1981. — Potentialités agroclimatiques et productivité agricole. — In : « L'INRA et la Montagne », Versailles : INRA Publications, 29-40.
- PRODON R., 1984. — Evolution de l'avifaune après incendie. — In : « Modalités de cicatrization des écosystèmes méditerranéens après incendie : Evolution de la macro et microfaune en fonction de la régénération de la végétation ». R. PRODON, Banyuls/mer : Laboratoire Arago, 155-190.
- PRODON R., LEBRETON J.D., 1981. — Breeding avifauna of a mediterranean succession : The holm oak and cork oak series in the eastern Pyrenees. 1 : Analysis and modelling of the structure gradient. — In : *Oikos*, 37, 21-38.
- RAWSKI C., 1983. — Contribution à l'étude de l'élevage pyrénéen : Etude de l'utilisation des surfaces pastorales par les troupeaux. Modélisation et informatisation des circuits de pâturage dans la vallée d'Oô. — Mémoire fin d'études ENSA Montpellier, INRA-URSAD Toulouse, 56 pages + annexes.
- SNAYDON R.W., 1981. — The ecology of grazed pastures. — In : « World Animal Science, B1 : Grazing animals ». F.H.W. MORLEY, Amsterdam : Elsevier, 13-32.
- STRONG JR. D.R., SIMBERLOFF D., ABELE L.G., THISTLE A.B., 1984. — Ecological communities. Conceptual issues and the evidence. — Princeton : Princeton University Press, 613 pages.
- TILMAN D., 1982. — Resource competition and community structure. Monographs in Population Biology. Princeton : Princeton University Press, 296 pages.
- TURKINGTON R., 1983. — Pasticity in growth and patterns of dry matter distribution of two genotypes of *Trifolium repens* grown in different environments of neighbours. — In : *Canadian Journal of Botany*, 61, 2186-2194.
- WHITTAKER R.H., 1973. — Direct gradient analysis : Techniques and Results. — In : *Ordination and classification of communities*. R.H. WHITTAKER, The Hague : Junk, 7-52.
- WILLIAMS O.B., 1981. — Evolution of grazing systems. — In : « World Animal Science, B1 : Grazing animals ». F.H.W. MORLEY, Amsterdam : Elsevier, 1-12.