



HAL
open science

Cartographier des activités de pâturage sur un territoire hétérogène avec le logiciel 'CARPAT'

Gerard Balent

► To cite this version:

Gerard Balent. Cartographier des activités de pâturage sur un territoire hétérogène avec le logiciel 'CARPAT'. *Pratiques d'élevage extensif : Identifier, modéliser, évaluer*, 27, INRA, 385 p., 1993, *Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement*, 2-7380-0525-X. hal-02848140

HAL Id: hal-02848140

<https://hal.inrae.fr/hal-02848140>

Submitted on 7 Jun 2020

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

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

Cartographier des activités de pâturage sur un territoire hétérogène avec le logiciel 'CARPAT'

G. Balent

Introduction

Dans les Pyrénées centrales où le travail présenté ici trouve son point de départ, comme dans beaucoup d'autres régions pastorales, les pratiques d'utilisation de l'espace pastoral se sont profondément modifiées pour répondre prioritairement aux contraintes internes des exploitations agricoles plutôt qu'aux impératifs d'une gestion collective rationnelle de cet espace (Balent, 1987). La gestion des interactions entre le territoire pastoral et l'ensemble des troupeaux qui l'utilisent, autrefois contrôlée par la communauté des éleveurs au sein de la société pastorale, et assurée par le gardiennage des bergers, relève maintenant de plusieurs centres de décision situés à un niveau de cohérence intermédiaire du système pastoral tel que nous l'avons défini par ailleurs (Balent, 1987; Balent & Stafford-Smith, 1993).

Quelles conséquences peut-on attendre de ce décalage quant à la reproductibilité des ressources pastorales? Pour répondre à cette question fondamentale pour la gestion et l'aménagement d'un territoire pastoral, il faut connaître les modalités d'utilisation de cet espace par les troupeaux. Cela veut dire connaître non seulement leurs déplacements pour déterminer le niveau de fréquentation des différentes parties du territoire pastoral, mais aussi la contribution de ces différentes zones à l'alimentation des troupeaux en prenant en compte les variations du comportement alimentaire des animaux. Nous savons en effet, qu'en raison de l'hétérogénéité des surfaces pastorales, les prélèvements des animaux sont susceptibles de varier dans d'importantes proportions d'une parcelle à l'autre (Leclerc & Lécivain, 1979 ; Balent et Gibon, 1986 ; Meuret, 1989).

Les différentes tentatives pour développer des modèles d'utilisation de l'espace par les ruminants se sont heurtées aux difficultés liées à la prise en compte des multiples variables qui interviennent en un lieu donné, à un moment donné. Certains facteurs sont des caractères permanents du site étudié, comme la topographie (Cook, 1966), la présence d'eau (Valentine, 1947 ; Squires, 1978); d'autres sont des événements saisonniers ou climatiques de courte durée (Malachek & Smith, 1976 ; Low *et al.*, 1981). Plusieurs variables ont été étudiées isolément comme le niveau d'utilisation des ressources caractérisé sommairement à l'aide de plantes indicatrices (Cook, 1966 ; Anderson & Currier, 1973), la densité des pistes d'animaux sur des territoires assez étendus (Lange, 1969 ; Fatchen & Lange, 1979) ou la densité des fèces déposés par les animaux (Mueggler, 1965 ; Lange & Willcocks, 1978 ; Lange, 1983 et 1985). Senft *et al.* (1983 et 1985), Stafford-Smith & Foran (1991) ont utilisé plusieurs variables, comme les distances aux points d'eau, aux clôtures, aux coins d'un paddock, l'altitude, la pente... dans des modèles basés sur une régression multiple pour expliquer les activités de pâturage. Ces modèles sont toutefois d'un intérêt limité dans nos systèmes pastoraux, car établis pour des systèmes de ranching, dans un espace clôturé, sans gardiennage, sur des végétations assez homogènes et sur un pas de temps annuel interdisant l'étude fine des pratiques de pâturage au fil des saisons.

Aussi, avons-nous décidé de créer un outil informatique qui, sans chercher à bâtir un modèle explicatif du comportement alimentaire et spatial des troupeaux, permette pour un territoire donné de représenter à différents pas de temps et à partir d'observations faciles à

réaliser, la partie de ce territoire explorée par les différents troupeaux et d'y quantifier l'intensité du pâturage.

1. Les données nécessaires à recueillir sur le terrain

1.1. Observation de la circulation des troupeaux

La donnée spatiale de base est une forme amiboïde¹ entourant à un instant donné l'ensemble des animaux du troupeau observé, reportée soit sur un fond de carte représentant l'ensemble du territoire pastoral étudié soit sur une reproduction de la photo aérienne de la zone étudiée. L'utilisation d'une photo aérienne permet un bon positionnement des troupeaux, grâce aux repères fournis par la végétation.

Cette observation n'a pas d'échelle. Il peut s'agir d'une parcelle ou d'un territoire beaucoup plus vaste, d'un petit groupe d'animaux voire d'un animal isolé, ou bien d'un grand troupeau. Le report de cette "amibe" sur la carte permettant de suivre le déplacement et l'étalement des animaux est répété avec une fréquence (nombre d'observations effectuées pendant la durée totale d'utilisation du territoire étudié) et un rythme (intervalle entre deux reports successifs de la position d'un troupeau circulant sur le territoire étudié) fixés par l'observateur en fonction des caractéristiques du système étudié.

A titre d'exemple, les observations sur les déplacements journaliers des troupeaux et leur comportement alimentaire ont été effectuées dans la vallée d'Oô (Pyrénées centrales) au rythme d'une par semaine, de septembre 1980 à juin 1981 et de septembre 1981 à juin 1982. Les déplacements des troupeaux ont été observés à la jumelle (10x50) depuis deux "observatoires", situés sur les versants à raison d'une observation toutes les trente minutes en moyenne. La distance d'observation a varié entre 0 et 1000 mètres.

1.2. Relevé des effectifs et de l'activité des animaux

Pour chaque troupeau pâturant dans la portion de territoire observé, il est nécessaire de connaître les effectifs. Le nombre d'animaux pouvant varier pour un troupeau donné au cours de la période d'utilisation du territoire étudié, il est nécessaire de procéder à un comptage à chaque observation.

Activités de pâturage Exprimées en pourcentage d'animaux du troupeau effectuant l'activité observée	Nombre total d'animaux d'un troupeau N (nombre total d'animaux dans le troupeau)
pâturage sans déplacement (P)	$(P/N) \times 100$
pâturage-déplacement (DP)	$(DP/N) \times 100$
déplacement strict (D)	$(D/N) \times 100$
repos debout ou couché (R)	$(R/N) \times 100$

Tableau 1: Activités de pâturage exprimées en fonction de l'effectif total d'un troupeau.

Relativement précis pour les troupeaux de petite taille ou pour les gros herbivores, ces comptages sont souvent approximatifs pour les troupeaux de taille importante (> 100). Aussi doivent-ils être renouvelés au cours de la journée quand la visibilité est favorable et, dans la mesure du possible, une vérification doit être faite auprès du propriétaire des animaux. L'appréciation des effectifs d'un troupeau est également fonction de la nature de la végétation (herbacée ou arborée) et de la facilité des conditions d'observation (observatoire élevé ou terrain plat). L'estimation des pourcentages d'animaux d'un troupeau

1. Voir dans cet ouvrage, la contribution de Lécivain *et al.*

se livrant à chacune de ces activités est réalisée par une estimation "instantanée" à la jumelle. Si deux observateurs effectuent ces observations en même temps et confrontent leurs résultats, ces derniers convergent rapidement et les écarts n'excèdent que rarement 5 à 10%.

1.3. La reconstitution du calendrier de pâturage

Pour obtenir une cartographie de l'utilisation du territoire par les animaux, étudiée entre deux dates, il est possible:

- de cumuler l'ensemble des observations réalisées pendant la période d'utilisation. La précision dépend alors du nombre d'observations réalisées. Le cas limite étant une observation continue durant toute la période d'utilisation du territoire.
- de cumuler les différentes observations en considérant qu'entre deux observations successives le mode d'utilisation du territoire (MUT) a été identique à la première. Par exemple le 3 avril nous avons observé le MUT1, le 7 avril le MUT2 et le 11 avril le MUT3. Pour connaître la distribution des activités de pâturage entre le 3 avril et le 13 avril il est possible de cumuler $4MUT1 + 4MUT2 + 3MUT3$.
- d'obtenir des renseignements auprès d'informateurs pour connaître les modes d'utilisation du territoire entre deux observations successives.

Dans le cas des Pyrénées, une discussion hebdomadaire avec un éleveur nous a permis d'obtenir des renseignements sur les modifications intervenues dans les pratiques de pâturage durant la semaine précédant l'observation (changement dans l'utilisation des circuits de pâturage, évolution du nombre d'animaux sortis au pâturage dans les différents troupeaux ou périodes de neige...). Ces données nous ont permis de dresser un calendrier de pâturage rendant compte de l'utilisation journalière des circuits de pâturage.

1.4. Les performances zootechniques des animaux

La quantité de matière sèche qu'un animal ingère au pâturage varie au cours de la saison selon sa situation dans le cycle reproducteur, et selon qu'il reçoit ou non une alimentation complémentaire. Quand on veut calculer la pression de pâturage sur un territoire il est important de tenir compte de ces variations. L'outil informatique présenté en tient compte dans la mesure où les données en question sont disponibles. Dans le cas des Pyrénées les suivis effectués par Gibon (1981) ont permis d'estimer, pour les différents troupeaux de la vallée et tout au long de l'hivernage, la part des besoins alimentaires que les animaux avaient trouvé au pâturage. Nous avons utilisé ces résultats pour moduler au cours de l'hivernage le "poids zootechnique" des animaux au pâturage et calculer des chargements tenant compte du calendrier de production des animaux.

2. Traitement informatique des données

L'essentiel des méthodes informatiques de traitement de l'information recueillie a été mise au point en 1983 pour ce qui concerne les algorithmes (Rawski, 1983) et a déjà fait l'objet de publications partielles (Charpentreau & Balent, 1983 ; Balent & Charpentreau, 1986). Les difficultés matérielles rencontrées à l'époque pour traiter les données graphiques ainsi que le faible nombre d'utilisateurs potentiels ont laissé cette chaîne de programmes au stade d'une maquette très peu conviviale. Le développement de la micro-informatique et l'émergence grâce au programme AGRESTE "Pratiques d'élevage extensif", d'une forte demande sur le thème de l'utilisation de territoires hétérogènes par des troupeaux

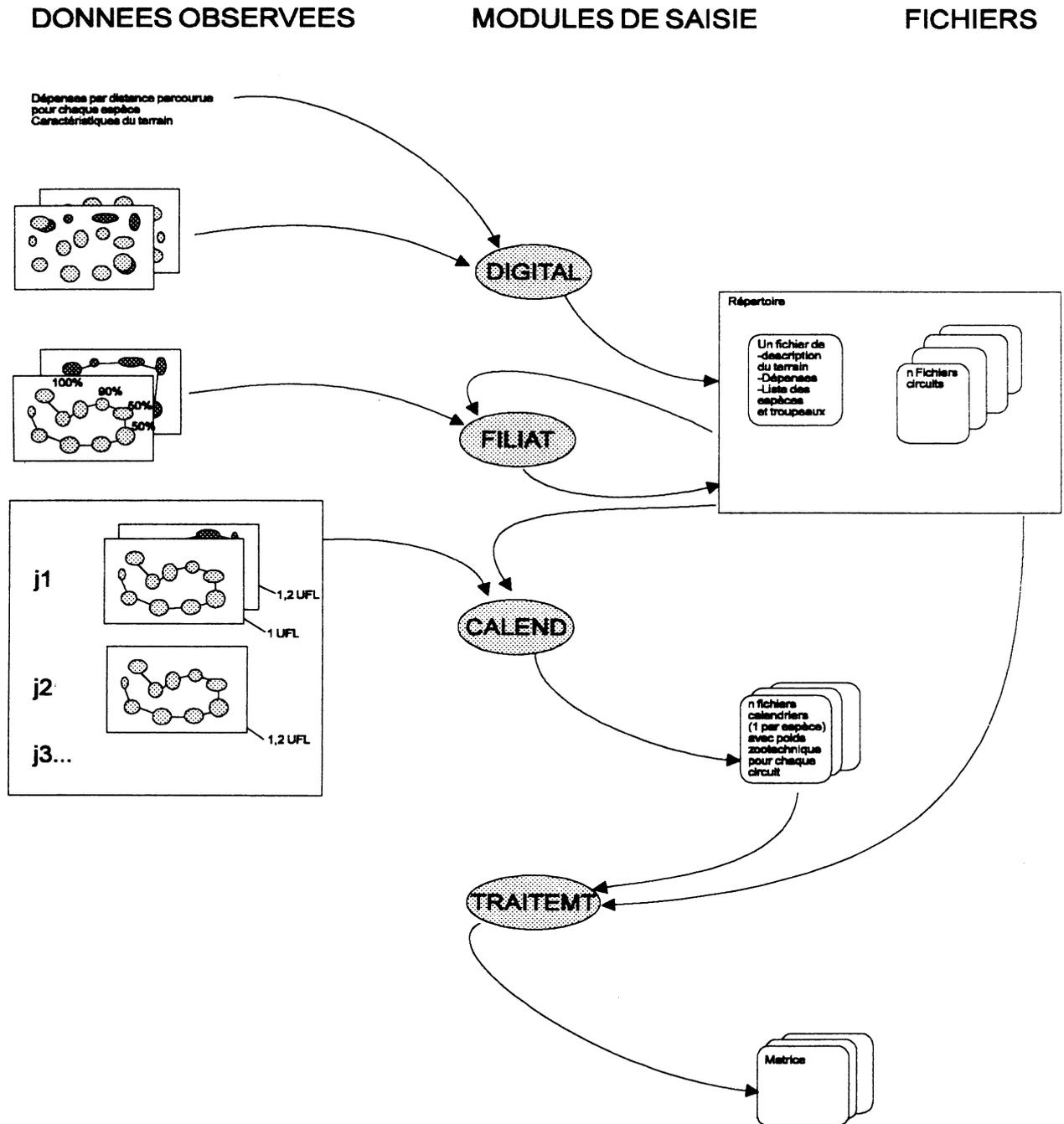


Figure 1: Organigramme général du logiciel 'CARPAT'

pâturants nous ont conduit à inclure l'ensemble de ces maquettes dans un logiciel facilement utilisable baptisé 'CARPAT' (CARtographie du PATurage). Dans ce cadre c'est une refonte totale du logiciel² que nous avons réalisée. Ce travail a fait l'objet d'un DESS d'Informatique Appliquée aux Sciences Expérimentales (Culos, 1993).

2.1. Structure générale du logiciel

La chaîne de traitement (Figure 1) comprend 4 modules dont une copie d'écran est présentée dans les planches couleurs 1 et 2.

- un module de digitalisation (DIGITAL) des observations de base (les "amibes" qui entourent l'ensemble des animaux d'un troupeau à un instant donné). Ce module permet aussi de saisir l'identité du troupeau (propriétaire, type d'animaux, date de l'observation);
- un module de saisie des caractéristiques de chaque "amibe" représentant une position de troupeau (FILIAT). Ces caractéristiques sont l'effectif total du troupeau et le pourcentage d'animaux qui se livrent à chacune des différentes activités de pâturage présentées plus haut. C'est dans ce module que se réalise la liaison entre les positions successives d'un troupeau au cours d'un circuit de pâturage. Les divisions et regroupements d'animaux sont gérés;
- un module permettant de préciser pour chaque jour de la période d'étude, le circuit emprunté par le ou les troupeaux qui fréquentent le territoire observé (CALEND). Ce module gère également l'évolution au cours de la saison de pâturage des besoins des animaux à couvrir par le pâturage;
- un module de calcul (TRAITEMT), de représentation des résultats, et d'interfaçage avec d'autres logiciels de cartographie.

2.1.1. Digitalisation des formes de troupeau

Ce module permet la saisie sur support informatique des données cartographiques relevées sur le terrain (forme et localisation des troupeaux). La tablette à digitaliser est l'outil le plus approprié à la saisie de ces données. Une fois fixées les limites du terrain et définie l'échelle, un certain nombre de données sont saisies en même temps que la digitalisation du contour des troupeaux. Certaines sont d'ordre général, comme les limites de la zone étudiée, la liste des espèces d'herbivores qui utilisent le territoire étudié. Pour chaque espèce, une estimation du coût énergétique du déplacement en UFL³ par mètre parcouru est saisie (pour l'instant nous négligeons le surcoût énergétique dû au dénivelé et aux conditions climatiques). D'autres sont liées à la journée et à l'heure d'observation comme la date de l'observation. L'heure d'observation de chaque contour des troupeaux, le nom de l'espèce d'herbivore et du troupeau sont saisis pour chaque polygone ("amibe" digitalisée).

2.1.2. Reconstitution des circuits de pâturage

Les données traduisant l'activité des animaux sont saisies dans un deuxième temps: effectif, pourcentage d'animaux pâturant, au repos, en déplacement, etc. Il faut ensuite saisir les filiations entre les positions successives d'un même troupeau au cours du temps, pour reconstituer le circuit de pâturage. Cette opération était l'opération la plus complexe dans la

2. Le logiciel, écrit en Turbo-Pascal 6.0, est destiné à fonctionner sur des compatibles PC 386 ou 486 équipés d'écran VGA (640 x 480 pixels, 16 couleurs ou 16 niveaux de gris), d'un co-processeur arithmétique et d'une souris. Pour l'instant il ne gère en entrée qu'une tablette à digitaliser de type *GraphicMaster* de la marque *Numonics*. Il est préférable de disposer de deux ports série RS 232 (un pour la souris, l'autre pour la table à digitaliser) ou de posséder un port dédié à l'usage de la souris si un seul port série existe. Il est cependant possible d'utiliser le logiciel avec un seul port RS 232.

3. Unité Fourragère pour la production Laitière (INRA, 1978)

version antérieure du logiciel. Elle avait demandé la création d'un langage spécifique permettant une lecture informatique de l'enchaînement des formes de troupeaux au cours du temps. Dans la version actuelle du logiciel, cette opération se déroule totalement en environnement graphique. Il suffit de cliquer sur l'"amibe" du troupeau fils puis de se déplacer avec l'aide de la souris sur le troupeau père en cliquant avec le bouton droit de la souris, la filiation est alors automatiquement enregistrée.

2.1.3. Saisie du calendrier de pâturage couvrant la période totale d'observation

Les calculs des différentes activités des troupeaux (cf. *infra*) entre deux dates demandent de connaître les circuits de pâturages parcourus par les troupeaux pour chaque journée située entre ces deux dates. Or, il est souvent difficile de réaliser des observations quotidiennes durant toute la durée d'une saison de pâturage. De l'ensemble des observations réalisées il est en revanche souvent assez facile de faire ressortir des circuits-types qui sont empruntés par le troupeau d'un même éleveur, soit parce que les conditions atmosphériques l'y obligent, soit pour un ensemble d'autres raisons. Capable de combiner ces circuits-types entre deux dates, 'CARPAT' peut produire une estimation du degré de fréquentation du territoire concerné durant une période déterminée.

Ce module de calendrier de pâturage permet la saisie, pour chaque jour de la période étudiée et pour chaque troupeau fréquentant le territoire étudié, du circuit-type effectué. Chaque calendrier concerne une seule espèce animale. Plusieurs circuits-types correspondant à plusieurs troupeaux de cette espèce peuvent être affectés à une même journée.

Associée à chaque troupeau et à chaque journée, la valeur des besoins à couvrir par le pâturage pour l'animal moyen de chaque troupeau est également saisie. Les besoins supplémentaires liés au déplacement des animaux sont calculés automatiquement en fonction des distances parcourues (une valeur par circuit type) et du coût unitaire des déplacements (valeur saisie avec l'enregistrement d'une nouvelle espèce animale dans le module de digitalisation).

2.1.4. Les trois indices calculés

Trois types d'indices sont calculés. L'indice de fréquentation dépend du nombre total d'animaux présents dans un troupeau et de la vitesse d'exploration du territoire. L'indice d'activité de pâturage correspond à un indice de fréquentation dans lequel le poids du troupeau (nombre total d'animaux) varie en fonction de l'activité de pâturage des animaux. L'indice de prélèvement est un indice d'activité de pâturage pondéré par les besoins énergétiques des animaux que le pâturage est supposé couvrir, si ces besoins sont connus.

Ces trois indices sont calculés en tout point d'une grille, dont la maille est fixée par l'utilisateur et, qui couvre l'ensemble du territoire étudié. Ils sont cumulables entre deux dates.

Les indices sont respectivement exprimés en "animaux.heure/unité de surface", "animaux pâturant.heure/unité de surface", "UFL.unité de temps/unité de surface".

2.2. Méthodes de calcul des indices

2.2.1. Le problème général

La question générale posée est la suivante: Pendant un intervalle de temps donné, combien d'animaux se livrant à une activité donnée sont-ils passés en chaque point du territoire pâturé? Cet indice peut s'écrire :

D:\CARPAT\PROG\TEST.CAL BOVINS
 Période : du 10 10 1993 au 20 10 1993

Journée	Circuit	Poids
10 10 1993	10 10 1993 A	1.10
	10 10 1993 B	1.00
11 10 1993	20 10 1993 A	1.00
	20 10 1993 B	1.00
12 10 1993	30 10 1993 A	1.10
	30 10 1993 B	1.10
13 10 1993	10 10 1993 A	1.00
14 10 1993	Aucun	
15 10 1993	Aucun	
16 10 1993	Aucun	
17 10 1993	Aucun	
18 10 1993	Aucun	
19 10 1993	Aucun	
20 10 1993	Aucun	

10 10 1993 A

INRA-SAD TOULOUSE CARPAT Septembre 1993

a) Module de création des calendriers

Fichier Calcul Méthode Représentation Ecran

CALENDRIER : ...T\PROG\TEST.CAL ANIMAL : BOVINS
 Calcul : du 10 10 1993 au 10 10 1993

Calcul pas à pas
 Charge Instantanée
 Représentation en classes équidistantes

Animaux.Heure/m²

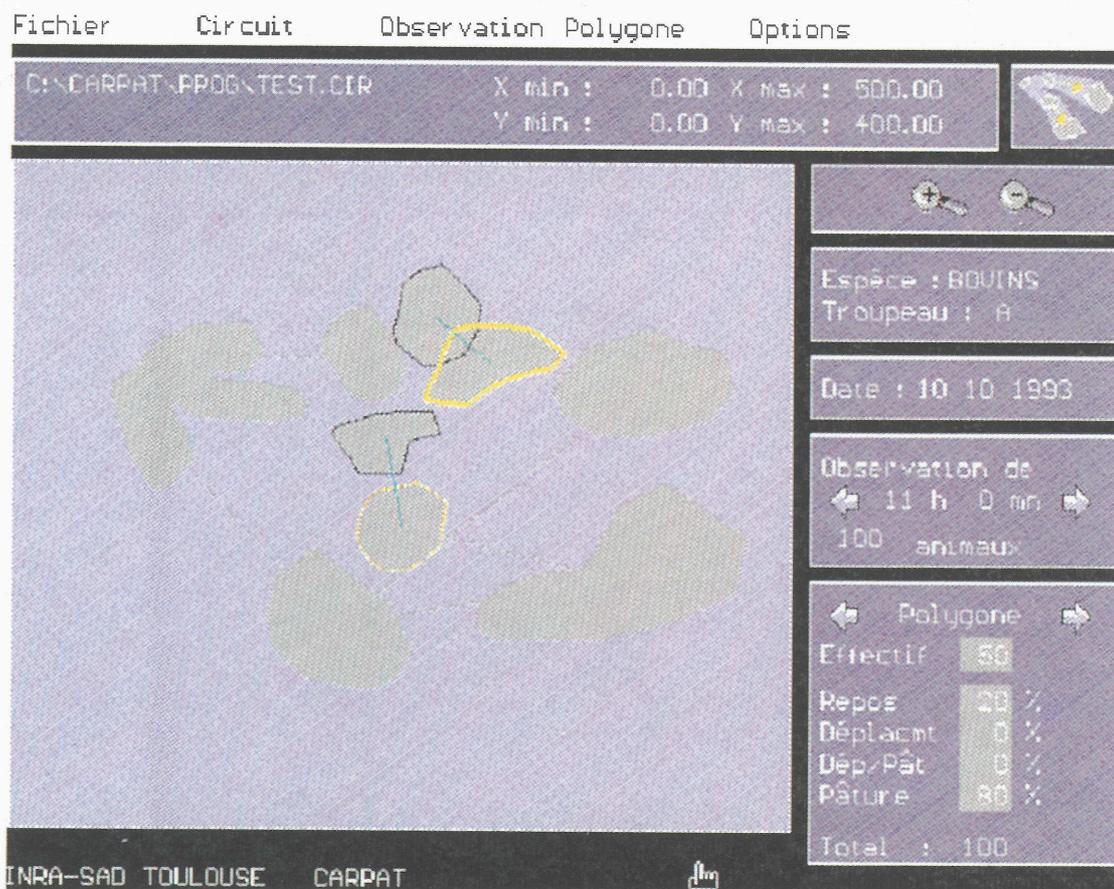
0.0255	à	0.0291
0.0219	à	0.0255
0.0183	à	0.0219
0.0146	à	0.0183
0.0110	à	0.0146
0.0074	à	0.0110
0.0037	à	0.0074
0.0000	à	0.0037
0		

89 28 0.0008

b) Module de traitement



a) Module de digitalisation



b) Module de saisie des paramètres et des filiations

$$I = \frac{\text{Nombre d'animaux se livrant à une activité} \times \text{Coefficient d'activité élémentaire} \times \text{Temps}}{\text{Surface}}$$

L'indice ainsi défini s'exprime en nombre d'animaux actifs x temps / surface. Il existe trois indices possibles :

- l'indice de fréquentation (I_f) où le coefficient d'activité élémentaire est égal à 1. Tous les animaux sont pris en compte. Cet indice est utile pour rendre compte de la densité d'animaux, du piétinement, de la répartition des fèces sur le territoire pâturé par exemple ;
- l'indice d'activité de pâturage (I_a) où le coefficient d'activité alimentaire est compris entre 0 (si aucun des animaux du troupeau ne pâture) à 1 si tous les animaux pâturent. L'activité "déplacement-pâturage" représente un pourcentage de l'activité "pâturage" qui peut varier selon les types d'animaux et les conditions de milieu. A titre d'exemple, dans les Pyrénées centrales ce pourcentage était de 80% pour les ovins et de 70% pour les bovins (Després & Soulas, 1981) ;
- l'indice de prélèvement (I_p) est le produit de l'indice d'activité de pâturage par le prélèvement élémentaire moyen effectué par chaque animal. Ce prélèvement élémentaire individuel⁴ s'exprime en quantité d'énergie prélevée / unité de temps. Le prélèvement réel n'est en fait pas connu. Il est supposé égal au résultat du calcul des besoins à couvrir par le pâturage. Cela suppose évidemment qu'un suivi de l'alimentation du troupeau soit réalisé par des zootechniciens.

Les besoins à couvrir par le pâturage, estimés par les zootechniciens, correspondent uniquement à la part du prélèvement qui entre dans la production. Pour estimer le prélèvement total au pâturage, il faut ajouter à ces besoins la quantité d'énergie que les animaux mobilisent au cours de l'activité de pâturage.

2.2.2. Méthode de calcul des indices.

Calcul de l'indice de fréquentation et d'activité de pâturage par la méthode des tangentes

La fréquentation des pâturages par les animaux ou encore la pression qu'ils exercent sur le terrain est mesurée en tout point d'une grille. Les valeurs obtenues sont fonction du nombre d'animaux passant sur chaque cellule de la grille et de leur vitesse de déplacement. Elles sont exprimées en *Animaux x unité de temps / unité de surface*. L'activité de pâturage est similaire, et exprimée en *Animaux pâturant x unité de temps / unité de surface*.

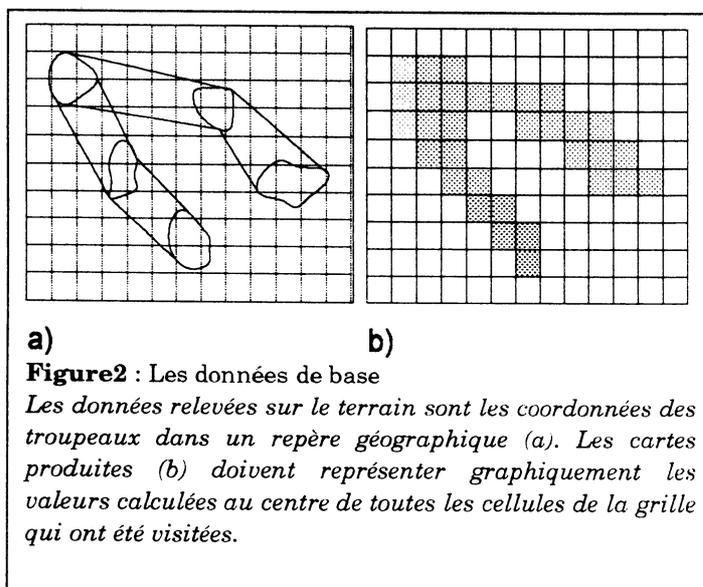
4. Connaissant les besoins que les animaux ont à couvrir au pâturage, il s'agit de calculer le prélèvement et de le répartir sur toute la surface parcourue en fonction des activités de pâturage. Cela permet d'avoir une idée de la contribution de chaque unité de terrain à l'alimentation des animaux. A titre d'exemple, dans les Pyrénées centrales, l'estimation des besoins individuels journaliers des ovins et des bovins a été obtenue par des suivis d'élevages par A. Gibon dans la vallée d'Oô. Les dépenses des animaux liées aux activités de pâturage ont été estimées par Ph. Després et C. Soulas (1981) d'après la bibliographie. Ne pouvant pas mesurer les variations corporelles des bovins, pour cette espèce nous avons considéré le poids comme constant. Les besoins individuels journaliers sont calculés pour une vache moyenne de la même façon que pour les ovins, avec ajout des dépenses dues au déplacement.

Pour calculer la part de chaque unité de terrain dans l'alimentation du bétail, le prélèvement individuel journalier doit être ramené à un prélèvement par unité de temps. Ce calcul implique les hypothèses suivantes. A un instant donné, l'activité des animaux est uniforme (tous broutent au même rythme). Le taux d'ingestion est constant pour un animal sur tout le circuit, quelles que soient la météo et la végétation. Les variations liées à la végétation se retrouvent intégrées dans les variations du nombre d'animaux pâturant. Nous y reviendrons plus loin.

Les données dont on dispose sont des observations spatiales instantanées, ainsi que les relations de filiation entre les polygones ("amibes"). L'objectif est d'obtenir une valeur pour chaque point d'une grille (Figure 2), y compris pour les surfaces explorées par les animaux entre deux observations successives.

Pour cela, nous avons été obligé de poser plusieurs hypothèses qui concernent les modalités de déplacement des troupeaux entre deux positions successives et la façon dont varient leurs activités au pâturage.

- L'indice est constant pour tout point à l'intérieur d'un polygone observé, ce qui suppose une distribution uniforme des animaux sur la surface occupée, ainsi qu'une activité homogène (en tout point du polygone, la densité et l'activité sont les mêmes).
- Le déplacement des animaux entre deux observations est rectiligne. La surface explorée est ainsi délimitée par les tangentes aux deux polygones successifs (Figure 3). A un instant t intermédiaire entre t_1 et t_2 , le troupeau est supposé occuper une zone limitée par les tangentes dans un rapport d'homothétie entre la surface au temps t_1 et au temps t_2 .



- La densité varie linéairement dans le temps entre deux observations.

La densité en animaux à l'instant t (D_t) est de la forme :

$$D_t = \alpha D_{t_1} + (1 - \alpha) \cdot D_{t_2}$$

Le problème est de calculer l'indice en tout point de la surface délimitée par les deux polygones et les tangentes en estimant au point (A), la surface occupée à l'instant t , la charge en animaux et la vitesse du troupeau. La densité est estimée en fonction des distances aux barycentres des deux polygones (d_1 , d_2). D_a , la densité au point A est :

$$D_a = \frac{n_1}{S_1} \times \frac{d_2}{d_1 + d_2} + \frac{n_2}{S_2} \times \frac{d_1}{d_1 + d_2}$$

Quand le point A tend vers le polygone 2 (d_2 tend vers zéro), D_a tend vers n_2/S_2 (densité à l'instant t_2).

- La vitesse d'exploration entre deux observations est constante. La vitesse d'exploration est définie par le rapport entre la surface parcourue et la durée de passage (intervalle de temps séparant les deux observations). La surface parcourue est définie par la somme de la surface occupée par le troupeau à l'instant t_1 et la surface intermédiaire parcourue entre t_1 et t_2 : $S_1 + \Sigma$ (Figure 3). On en déduit le temps de séjour des animaux au point A :

$$\Delta t = \frac{S_i}{\text{Vitesse d'exploration}} = \frac{t_2 - t_1}{S_1 + \Sigma} \times S_i$$

expression dans laquelle S_i est une estimation de la surface occupée par le troupeau lorsqu'il était sur le point A.

$$S_i = S_1 \times \frac{d_2}{d_1+d_2} + S_2 \times \frac{d_1}{d_1+d_2}$$

Le calcul de l'indice d'activité au point A s'écrit alors :

$$I_a = \left[\frac{n_1 \times d_2}{S_1 \times (d_1+d_2)} + \frac{n_2 \times d_1}{S_2 \times (d_1+d_2)} \right] \times \left[\frac{t_2 - t_1}{S_1 + \Sigma} \right] \times \left[S_1 \times \frac{d_2}{d_1+d_2} + S_2 \times \frac{d_1}{d_1+d_2} \right]$$

$$I_a = D_A \times \frac{1}{V_e} \times S_i$$

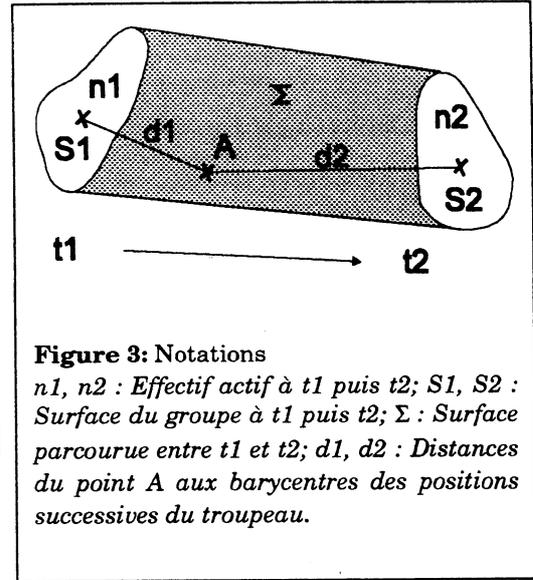


Figure 3: Notations
n1, n2 : Effectif actif à t1 puis t2; S1, S2 : Surface du groupe à t1 puis t2; Σ : Surface parcourue entre t1 et t2; d1, d2 : Distances du point A aux barycentres des positions successives du troupeau.

où D_A est la densité instantanée au point A, V_e la vitesse d'exploration, et S_i la surface estimée du troupeau au point A.

Problèmes engendrés par la méthode des tangentes

La méthode des tangentes pose plusieurs problèmes. Par exemple (Figure 4), au point A, l'indice va être intermédiaire entre l'indice en t1 et l'indice en t2 puisque le point est situé à mi-distance de G1 et G2. Au point B, il sera par contre très proche de celui de l'intérieur du polygone 2. La transition entre la valeur de l'indice en B et l'intérieur du polygone 2 sera moins brutale qu'en A.

D'autre part, comme nous l'avons exposé par ailleurs (Charpentreau et Balent, 1988), l'algorithme de détermination des tangentes pose quelques problèmes dans certaines configurations particulières des polygones des troupeaux.

Cas de la scission d'un troupeau

Au cours d'un circuit de pâturage, surtout quand les animaux ne sont pas gardés, le troupeau reste rarement en un seul morceau. 'CARPAT' peut gérer une division du troupeau en deux ou trois sous-unités. Sur la figure 5, 50 animaux pâturent au temps t1, 10 pâturent dans chacun des troupeaux fils au temps t2. Mais le logiciel tient compte de la distribution réelle des animaux dans les deux troupeaux fils : 40 animaux d'un côté, 10 animaux de l'autre. Les regroupements sont gérés de la même façon.

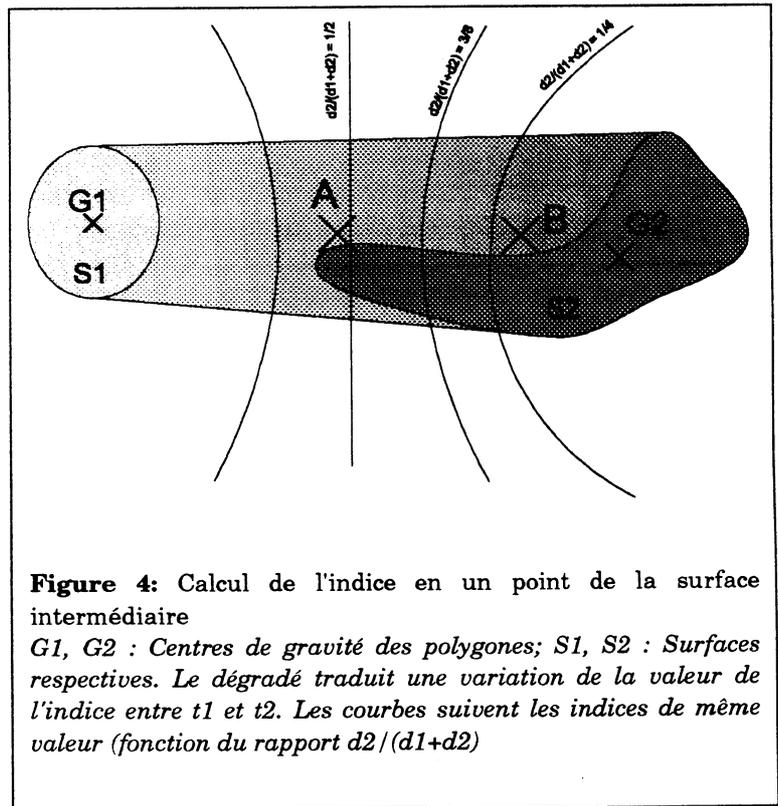
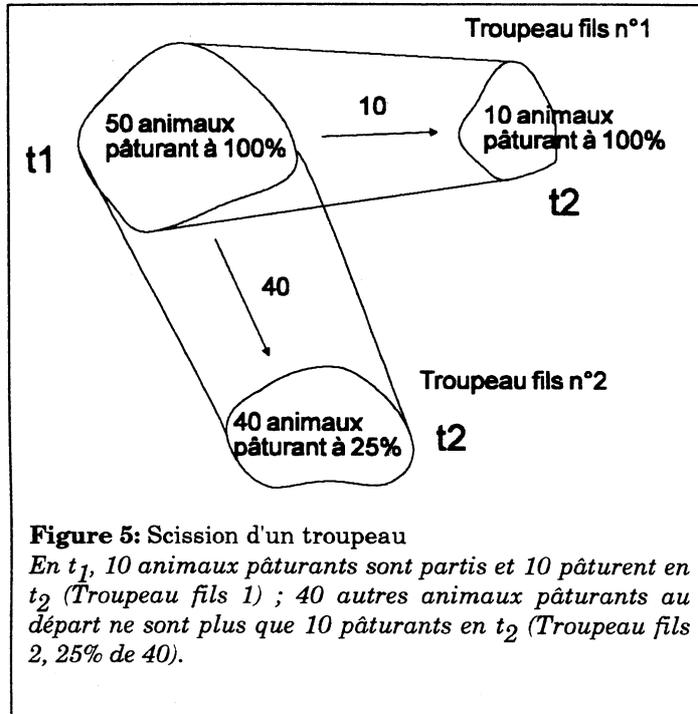


Figure 4: Calcul de l'indice en un point de la surface intermédiaire
G1, G2 : Centres de gravité des polygones; S1, S2 : Surfaces respectives. Le dégradé traduit une variation de la valeur de l'indice entre t1 et t2. Les courbes suivent les indices de même valeur (fonction du rapport d2/(d1+d2))

Calcul de l'indice par la méthode de la déformation des polygones

Il est basé sur une approche plus réaliste du déplacement du troupeau. Cette méthode dite "pas à pas" est basée sur la prise en compte de la déformation progressive du troupeau qui passe d'une forme initiale à l'instant t_1 à une forme finale à l'instant t_2 . La superposition de

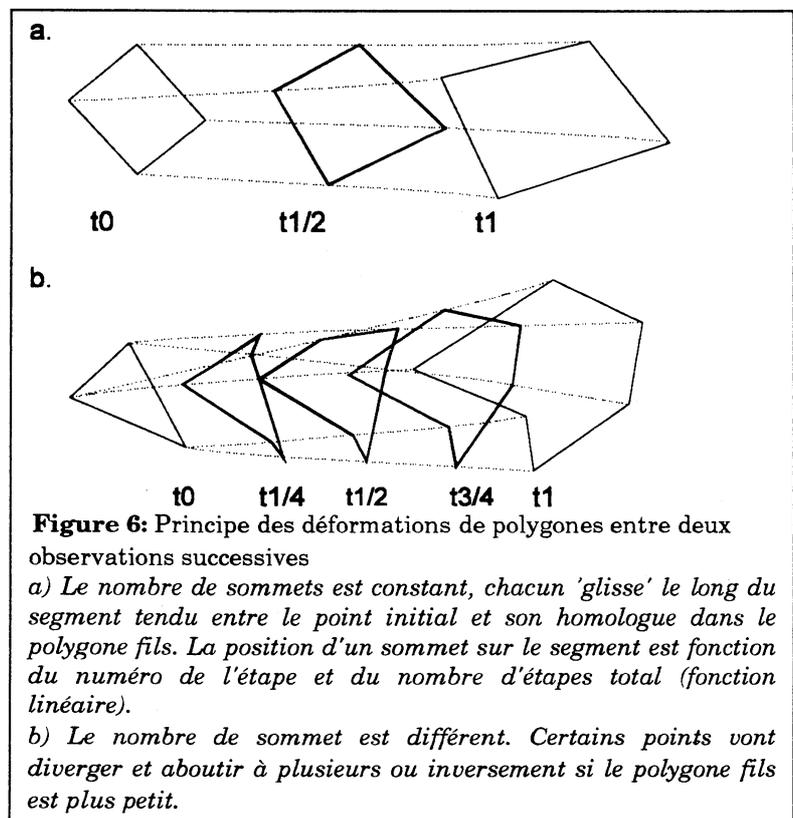


tous ces états intermédiaires permet de reconstituer le cheminement des animaux. Le principe est très simple et moins "mathématique" que pour la méthode des tangentes.

Entre deux observations successives, le calcul n'est plus fonction de la surface explorée, mais résulte de l'addition d'une série de plans successifs dont le nombre est fonction de la maille élémentaire de la carte. La forme du troupeau évolue d'étape en étape pour tendre vers celle du contour fils (figure 6). A chaque étape, la distribution des animaux est supposée homogène dans la surface intermédiaire comme dans la méthode des tangentes. L'indice calculé en tout point de la surface occupée à l'instant t est constant. Cette méthode présente l'avantage d'éliminer les discontinuités entre les polygones réellement observés et les surfaces intermédiaires, de révéler un

gradient perpendiculaire à la trajectoire (figure 7), ce qui est plus conforme à la réalité (il passe plus d'animaux au milieu du troupeau qu'en périphérie). Cette méthode évite également de calculer les tangentes. La distance entre deux observations successives n'a plus de conséquences sur la qualité des résultats.

Un des problèmes que pose cette méthode est le choix de règles de décision pour les modalités de transformation de la forme de deux polygones successifs dans le cas où ils ne possèdent pas le même nombre de sommets (Figure 6). La première paire est formée par les deux points des polygones les plus à gauche, les autres sont formées par les sommets suivants, en suivant les contours dans le même sens de rotation (aiguilles d'une montre). Dans le cas où les polygones ne possèdent pas le même nombre de sommets, un algorithme que nous ne détaillerons pas ici, rétablit ce déséquilibre, en dupliquant des



sommets du polygone ayant le plus petit nombre de sommets.

Calcul de l'indice de prélèvement

Le calcul des prélèvements à l'échelle de la journée ou du circuit de pâturage correspond à la répartition de la part des besoins (s'ils sont connus) que les animaux ont à couvrir par le pâturage sur le territoire exploré. La somme des valeurs du prélèvement réalisée en chaque point de la carte obtenue doit correspondre aux besoins du troupeau dans sa totalité. L'indice de prélèvement est le produit de l'indice d'activité de pâturage par le prélèvement individuel élémentaire de l'animal moyen du troupeau. Cette quantité d'énergie augmentée des besoins dus au déplacement des animaux⁵ constitue les besoins que le pâturage doit couvrir. Le prélèvement élémentaire correspond au prélèvement individuel journalier divisé par le

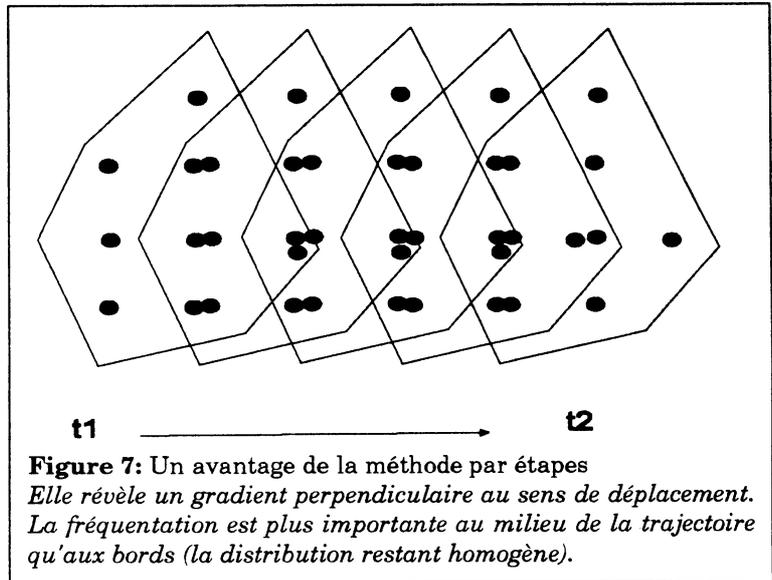


Figure 7: Un avantage de la méthode par étapes
Elle révèle un gradient perpendiculaire au sens de déplacement.
La fréquentation est plus importante au milieu de la trajectoire qu'aux bords (la distribution restant homogène).

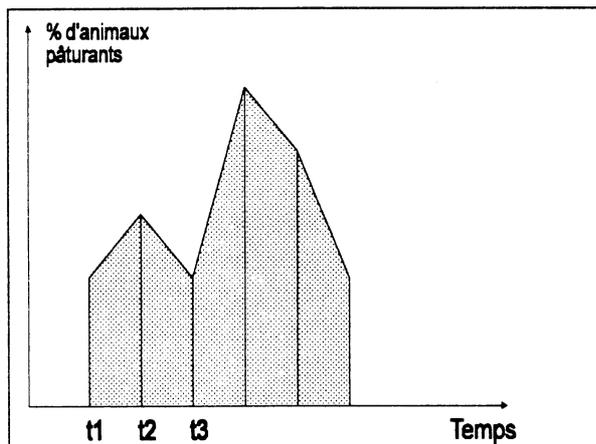


Figure 8: Temps total de pâturage
Il est égal au produit du temps total de présence par le pourcentage d'animaux pâturants. C'est l'intégrale de la courbe des pourcentages d'animaux pâturants en fonction du temps, les variations d'activités étant supposées linéaires.

temps total de pâturage. Celui-ci est égal au produit du temps total de présence au pâturage par le pourcentage d'animaux pâturants. C'est l'intégrale de la courbe d'animaux pâturants en fonction du temps (Figure 8).

$$\sum_{i=0}^{i=\text{dernière obs}} (t_{i+1} - t_i) \times \frac{N_{i+1} + N_i}{2 \times \text{Effectif total}}$$

L'expression de l'indice de prélèvement est le simple produit de l'indice d'activité de prélèvement par le prélèvement individuel élémentaire:

$$I_p = I_a \times \frac{\text{Prélèvement individuel journalier}}{\text{Temps total de pâturage}}$$

Tous les éléments permettant d'écrire la formule complète de l'indice de prélèvement

5. Pour les ovins, nous avons retenu les valeurs suivantes (Claperton, 1961 ; Blaxter, 1962 ; Baile & Forbes, 1980) qui conduisent à une augmentation des besoins d'entretien de 22 à 35%.

- . 0,62 calorie soit $35,8 \cdot 10^{-8}$ UFL/kg de poids vif/mètre horizontal parcouru
- . 5,70 calories soit $330 \cdot 10^{-8}$ UFL/kg de poids vif/mètre vertical parcouru
- . 4 kilocalories soit $23 \cdot 10^{-2}$ UFL/kg de poids vif/jour pour les dépenses dues à la station debout et à l'activité de pâturage.

Pour les bovins, nous avons retenu les valeurs suivantes (Claperton, 1961 ; Blaxter, 1962 ; Osuji, 1974) qui conduisent à une augmentation des besoins d'entretien de 31 à 45 %

- . 0,54 calorie soit $31,21 \cdot 10^{-8}$ UFL/kg de poids vif/mètre horizontal parcouru
- 6,7 calories soit $387 \cdot 10^{-8}$ UFL/kg de poids vif/mètre vertical parcouru
- . 4 kilocalories soit $23 \cdot 10^{-2}$ UFL/Kg de poids vif/jour pour la station debout et l'activité de pâturage.

étant connus, elle se présente sous la forme :

$$I_p = \left[\frac{n_1}{S_1} \times \frac{d_2}{d_1 + d_2} + \frac{n_2}{S_2} \times \frac{d_1}{d_1 + d_2} \right] \times \left[\frac{t_2 - t_1}{S_1 + \Sigma} \right] \times \left[S_1 \times \frac{d_2}{d_1 + d_2} + S_2 \times \frac{d_1}{d_1 + d_2} \right] \times \frac{\text{Prélèvement individuel journalier}}{\sum_{i=\text{première obs.}}^{i=\text{dernière obs.}} (t_{i+1} - t_i) \times \frac{N_{i+1} + N_i}{2 \times \text{Effectif total}}}$$

3. Les apports actuels du logiciel

3.1. Les différents types de sorties

Dans l'état actuel du logiciel, les cartes d'indice de fréquentation, d'activité de pâturage ou de prélèvement obtenues sont visualisables à l'écran. Elles peuvent également être exportées sous différents formats de fichiers pour analyse ou édition. SURFER (Golden Software) logiciel de topographie, permet d'importer des cartes sorties de 'CARPAT' et de les éditer en trois dimensions ou en courbes de niveau sur divers périphériques (table traçante, imprimantes laser...). CARTECO (INRA-SAD Toulouse) permet également de cartographier des matrices de données en mode raster. Il permet surtout de lisser les résultats pour obtenir des représentations plus explicites et d'effectuer des analyses statistiques sur la distribution spatiale des résultats. Enfin, un format de fichier standard est utilisé pour permettre à tout tableur d'importer ces matrices.

3.2. Quelques exemples des résultats obtenus dans les Pyrénées

3.2.1. Relations entre prélèvement et valeur pastorale

Pour essayer de valider les résultats du logiciel, nous avons mis en relation (Balent, 1987) pour 32 parcelles situées dans une vallée des Pyrénées centrales, les valeurs pastorales (VP) de la végétation (Daget & Poissonet, 1971) et les indices de prélèvement (prélèvement total annuel calculé par le logiciel). L'équation de régression est la suivante :

$$\text{PRELEVEMENT} = 38 \times \text{VP} - 307 \quad (r^2=0,63 \quad P<0,001)$$

Il est intéressant de noter que le coefficient de la régression étant égal à 38, l'augmentation de la VP de 1 point entraîne une augmentation du prélèvement (et non de la production) de 38 UFL. Ce chiffre est en accord avec ceux de la littérature : 36 à 40 UFL par point de VP pour des prairies de montagne. Ces résultats encourageants laissent à penser que le logiciel rend compte assez fidèlement de l'activité des animaux.

3.2.2. Relations entre prélèvement et intensité d'utilisation

Grâce à un modèle de dynamique de la végétation établi en fonction des pratiques de gestion, fertilisation et intensité d'utilisation, nous avons pu mettre en relation (Balent, 1987) l'ordination des 32 mêmes parcelles sur le gradient d'intensité d'utilisation (INUT) et l'indice de prélèvement annuel sur ces mêmes parcelles. Nous obtenons une relation hautement significative, même si la part de variance expliquée n'est pas très élevée.

$$\text{PRELEV} = 0,781 \times \text{INUT} + 937 \quad (r^2=0,51 \quad P<0,001)$$

Là encore ces résultats sont encourageants quant à la pertinence des calculs effectués par le logiciel. Une fois l'ensemble des observations accumulées dépouillées grâce à la nouvelle version de 'CARPAT', cette relation entre végétation et prélèvement devrait s'améliorer de façon importante. Nous aurions là un indicateur commode du chargement, car il suffirait

d'un relevé botanique pour avoir une idée des quantités prélevées par les animaux au pâturage en un lieu donné.

3.2.3. Deux exemples d'application dans les Pyrénées centrales (Balent, 1987)

Evolution de la répartition des prélèvements au cours de l'hiver dans une vallée des Pyrénées centrales.

- Après la descente d'estive (Figure 9-a) les animaux ne rentrent pas la nuit au village et se cantonnent dans le fond de la vallée (partie droite de la carte). La règle de la vaine pâture (interdiction de fréquenter les prés de fauche) est peu respectée en automne alors qu'elle l'est au printemps (voir même figure, cartes b et e). Les prélèvements s'étalent sur l'ensemble du fond de la vallée. Ils traduisent la faible maîtrise de la collectivité sur les pratiques individuelles des éleveurs.
- Quand la vaine pâture est officiellement commencée (Figure 9-b) les animaux (ovins et bovins mélangés) se répartissent sur l'ensemble du territoire qu'ils utilisent de manière assez homogène.
- En fin d'hiver et en début de printemps (Figure 9-d) les animaux sont conduits sur les prés de fauche pour profiter de la précocité de l'herbe et de sa bonne valeur alimentaire, jusqu'à la date de la prohibition. Les éleveurs considèrent que quand les animaux ont "passé le pont" (passage obligatoire pour accéder au pâturage sur les prés de fauche), ils sont sauvés.
- Ils sont ensuite maintenus strictement sur les zones intermédiaires, dont la carte e (Figure 9-e) révèle assez fidèlement la limite.

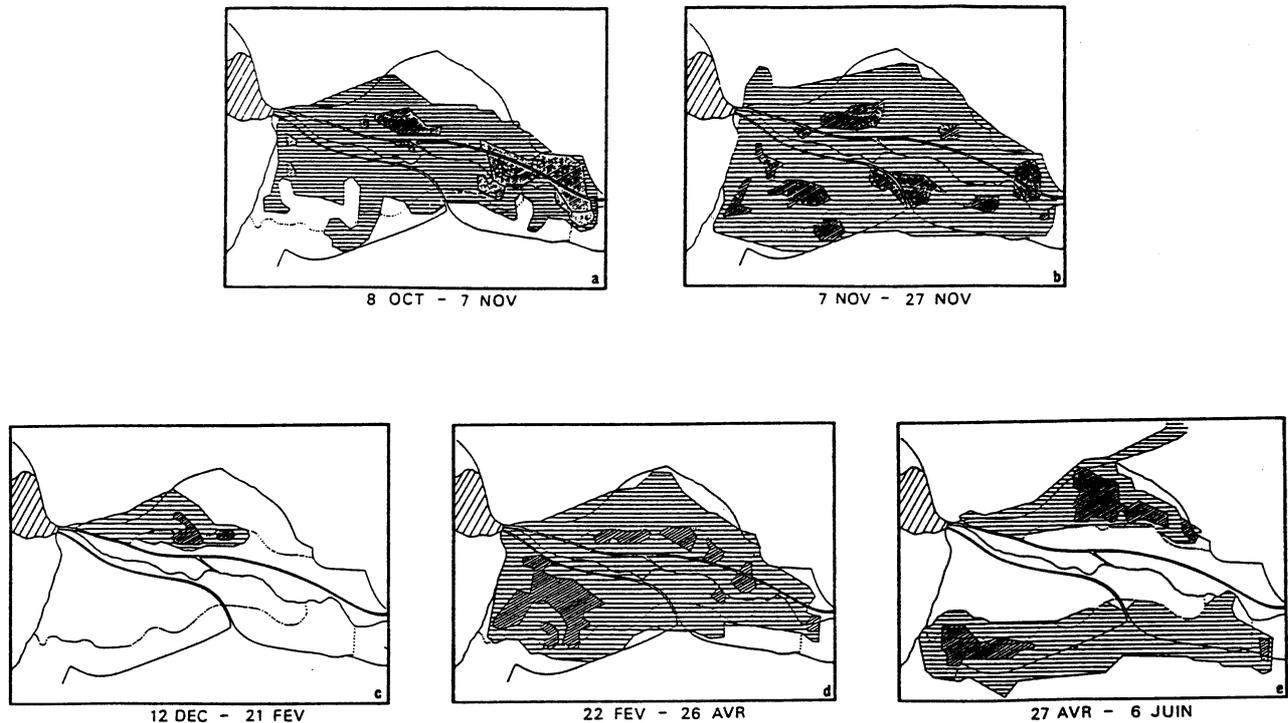


Figure 9 : Evolution de l'utilisation du territoire pastoral de la vallée d'Oô (haute-Garonne) au cours de la période d'hivernage (début Octobre-début Juin) par l'ensemble des troupeaux ovins et bovins de la commune. (Plus la trame est foncée, plus l'intensité de pâturage est élevée - Voir les commentaires dans le texte).

CARPAT permet de cartographier la pression de pâturage à différentes périodes du calendrier de pâturage.

Part des prélèvements dus aux ovins et aux bovins

- Sur la figure 10 sont respectivement présentés les prélèvements dus aux ovins et aux bovins dans la même vallée, de la mi-février à la fin avril. Les ovins sont concentrés essentiellement sur les prés de fauche (situés en bas à gauche sur les cartes) qu'ils fréquentent pendant la période de vaine pâture.
- Les bovins sont plutôt concentrés vers le fond de la vallée (à droite sur la carte). Ces prélèvements correspondent à un pâturage d'automne par des troupeaux de descente d'estive ou de printemps par des animaux enfermés la nuit dans des granges foraines.

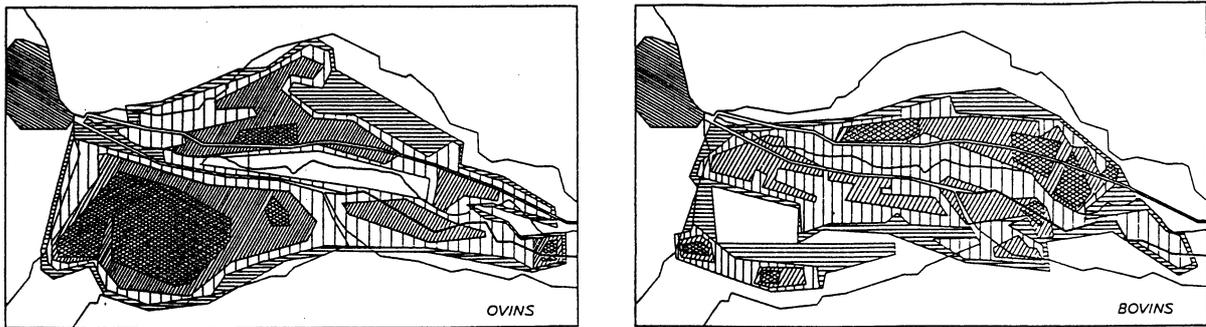


Figure 10 : Séparation des prélèvements dus aux troupeaux ovins et aux troupeaux bovins en début de printemps (mi-février à mi-avril) sur un même territoire pastoral. (Plus la trame est foncée plus l'intensité de pâturage est élevée).

Conclusion

Le logiciel 'CARPAT' apporte une solution satisfaisante à deux problèmes difficiles à résoudre pour un pastoraliste mais essentiels pour comprendre les pratiques d'utilisation du paysage pastoral. Il permet de quantifier la pression de pâturage qui s'exerce sur un territoire à végétation hétérogène, parcouru par des troupeaux de différentes espèces et appartenant à différents propriétaires et ce, à différents pas de temps. Il permet également de séparer, sur une même portion de territoire pâturée simultanément par deux espèces d'herbivores (ou plus), la part due à chacune des espèces dans la fréquentation totale de cette portion de territoire.

En cela il peut constituer un outil très utile pour porter un diagnostic sur les pratiques de pâturage d'un ou plusieurs éleveurs. Parce qu'il a été conçu pour répondre à cette question dans une situation particulièrement complexe (plusieurs troupeaux d'ovins et de bovins pâturant simultanément et librement sur un même territoire en se divisant en sous-groupes susceptibles de se regrouper) il est à même de répondre à des situations plus simples et plus fréquents comme le suivi du pâturage d'un seul troupeau.

Les données de base sont aisées à recueillir dans la mesure où la visibilité de l'ensemble des animaux d'un troupeau est satisfaisante. D'après notre expérience nous pensons qu'il n'est pas déraisonnable d'espérer pouvoir utiliser 'CARPAT' même dans des situations de sylvo-pastoralisme. Le manque de visibilité devrait être alors compensé par une fréquence plus élevée dans la notation des positions successives du troupeau et dans la périodicité des journées d'observation. Dans ces conditions nous pensons que l'effet de lissage dû à la masse des données recueillies peut compenser le manque de précision dans la saisie du contour du troupeau et dans l'appréciation des activités de pâturage des animaux. Les résultats fournis par 'CARPAT' sont, pour l'instant, trop peu nombreux et souffrent d'un manque de validation. C'est en multipliant son utilisation dans des situations très variées que nous pourrions vraiment apprécier ses possibilités.

Sur un plan méthodologique, il constitue en l'état, à notre connaissance, la seule tentative pour essayer de traiter des données de comportement alimentaire et spatial en se basant sur des observations et non sur des relations statistiques en référence aux logiciels anglo-saxons⁶. De plus, il propose une solution au problème du traitement informatique de données qui varient à la fois dans l'espace et dans le temps, ce qui constitue la difficulté majeure à résoudre quand on veut répondre à une question d'aménagement. Parce qu'il ne contient aucun modèle biologique a priori, il nous semble à même de pouvoir fournir au chercheur comme à l'aménageur une base de données la plus objective possible pour pouvoir porter un diagnostic sur la qualité de l'utilisation d'un territoire pastoral par des éleveurs. Il peut enfin constituer un prolongement à des travaux de recherches originaux menés sur la caractérisation et l'interprétation des formes de troupeau présentés dans le même ouvrage.

oOo

Remerciements

Je remercie Christine Rawski et Jean-Louis Charpentreau co-auteurs de la première ébauche de 'CARPAT' en 1983, et Xavier Culos, étudiant du DESS-IASE de l'Université Paul Sabatier de Toulouse, qui a réalisé la maquette du nouveau logiciel.

Références bibliographiques

- Anderson E.W. et Currier W.F., 1973. Evaluating zones of utilization. *Journal of Range Management*, 26: 87-91.
- Baile C.A., Forbes J.M. 1974. Control of feed intake and regulation of energy balance in ruminants. *Physiological Reviews*, 54 (1), 160-214.
- Balent G. 1987., *Structure, fonctionnement et évolution d'un système pastoral. Le pâturage vu comme un facteur écologique piloté dans les Pyrénées centrales*. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Rennes 1, 146 pages + annexes.
- Balent G. et Barrué-Pastor M., 1986. Pratiques pastorales et stratégies foncières dans le processus de déprise de l'élevage montagnard en vallée d'Oô (Pyrénées centrales). *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 57 (3): 403-447.
- Balent G. et Charpentreau J.L., 1986. The importance for grazing research of a model for calculating the spatial distribution of grazing pressure based on the observation of animal behaviour. In : *'Rangeland: a resource under siege'*, Eds P.J. Joss *et al.*, Proc. 2nd Int. Rangld Cong., Adelaide: 125-126.
- Balent G., Gibon A. 1986 b. Mesure de l'ingestion des ovins et des bovins au pâturage hors domaine expérimental dans les Pyrénées centrales. *Cahiers de la Recherche-Développement*, 9/10, 84-91.
- Balent G. et Stafford Smith M., 1993. A conceptual model for evaluating the consequences of management practices on the use of pastoral resources. *Proc. 4th International Rangeland Congress*, Montpellier: 1158-1164.
- Blaxter K.L., 1962. The energy metabolism of ruminants. Hutchinson, London, 110-112.
- Charpentreau J.L. et Balent G., 1988. Modélisation et informatisation: Deux outils pour changer de niveau d'échelle. L'exemple du traitement des circuits de pâturage dans les Pyrénées. In : Hubert B. and Girault N. (eds) *'De la touffe d'herbe au paysage'*. Séminaire Viens 13-14/01/83 INRA/SAD, Paris: 181-198.
- Clapperton J.L., 1961. The energy expenditure of sheep in walking on the level and on gradients. *Proceedings of the Nutrition Society*, 20: XXXI.

⁶ Voir également dans cet ouvrage, la contribution de I. Savini *et al.*, ainsi que celle de M. Meuret et P. Thimon.

- Cook C.W., 1966. Factors affecting utilization of mountain slopes by cattle. *Journal of Range Management*, 19: 200-204.
- Culos X., 1993. 'CARPAT': *Un outil pour cartographier les activités de pâturage sur un territoire hétérogène*. DESS-IASE, UPS-Toulouse, INRA-SAD Toulouse: 55 pages.
- Daget, Ph. et Poissonet J., 1971. Une méthode d'analyse phytologique des prairies. Critères d'application. *Annales agronomiques*, 22: 5-41.
- Després P. et Soulas C., 1981 *Contribution à l'étude de l'élevage pyrénéen: le pâturage hivernal*. Mémoire Fin Etudes ENSA Montpellier, INRA-SAD Toulouse, 104 pages.
- Fatchen T.J. et Lange R.T., 1979. Piosphere pattern and dynamics in a chenopod pasture grazed by cattle. In "*Studies of the Australian Arid Zone IV. Chenopod Shrublands*", Eds. R. Graetz & K. Howes, CSIRO, Australia, 160-169.
- Gibon A., 1981. *Pratiques d'éleveurs et résultats d'élevages dans les Pyrénées centrales*. Thèse Docteur-Ingénieur, INA Paris-Grignon, 106 pages.
- INRA, 1978. *Alimentation des Ruminants*. INRA Publications, Versailles, 597 pages.
- Lange R.T., 1969. The piosphere: sheep track and dung patterns. *Journal of Range Management*, 22 (6): 396-400.
- Lange R.T., 1983. Estimation of sheep stocking intensity at any location in arid zone paddocks. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, 107 (2): 137.
- Lange R.T., 1985. Spatial distributions of stocking intensity produced by sheepflocks grazing Australian chenopod shrublands. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, 109 (4): 167-174.
- Lange R.T. et Willcocks M.C., 1978. The relation between sheep-time spent and egesta accumulated within an arid zone paddock. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 18: 764-767.
- Leclerc B. et Lécrivain E., 1979. *Etude du comportement d'ovins domestiques en élevage extensif sur le Causse du Larzac*. Thèse 3^e cycle, Université de Rennes, 165 pages.
- Low W.A., Dudzinski M.L. et Muller W.J., 1981. The influence of forage and climatic conditions on range community preference of shorthorn cattle in central Australia. *Journal of Applied Ecology*, 18, 11-26.
- Malechek J.C. et Smith B.M., 1976. Behaviour of range cows in response to winter weather. *Journal of Range Management*, 29, 9-12.
- Meuret M., 1989. *Feuillages, fromages et flux ingérés*. Th. Doct. Sci. Agron., Faculté de Gembloux, INRA-SAD Avignon : 229 pages.
- Mueggler W.F., 1965. Cattle distribution on steep slopes. *Journal of Range Management*, 18: 255-257.
- Osuji P.O., 1974. The physiology of eating and the energy expenditure of the ruminant at pasture. *Journal of Range Management*, 27 (6): 437-443.
- Rawski Ch., 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 Etudes ENSAM, INRA-SAD Toulouse, 56 pages + annexes.
- Senft R.L., Rittenhouse L.R. et Woodmansee R.G., 1983. The use of regression models to predict spatial patterns of cattle behavior. *Journal of Range Management*, 36 (5), 553-557.
- Senft, R.L. Rittenhouse L.R. et Woodmansee R.G., 1985. Factors influencing patterns of cattle grazing behaviour on shortgrass steppe. *Journal of Range Management*, 38 (1), 82-87.
- Squires V.R., 1974. Grazing distribution and activity patterns of Merino sheep on a saltbush community in South-East Australia. *Applied Animal Ethology*, 1: 17-30.
- Stafford Smith D.M. et Foran B.D., 1990. RANGEPACK: the philosophy underlying the development of a microcomputer-based decision support system for pastoral land management. *Journal of Biogeography*, 17: 128-138.
- Valentine R.A., 1947. Distance from water as a factor in grazing capacity of rangeland. *Journal of Forestry*, 45: 749-754.