

ESTIMATION DE LA PORTANCE D'UNE PRAIRIE PÂTURÉE

(Note méthodologique)

I - INTRODUCTION

P ARMI LES PROBLÈMES LIÉS AU PÂTURAGE, L'ATTENTION EST REVENUE RÉCEMMENT SUR LE PIÉTINEMENT DONT LES EFFETS SONT DIFFÉRENTS SUIVANT LA PORTANCE du sol, qui est elle-même liée à l'humidité et à la compacité de ce dernier :

- En conditions « portantes », le piétinement tasse ou compacte le sol, provoquant une réduction de la porosité et de la perméabilité et entraînant des difficultés d'enracinement et une moindre infiltration des pluies ; par contre, les effets mécaniques directs du piétinement sur les plantes prairiales sont réduits.
- En conditions « non portantes », il y a poinçonnement et « défoncement » dont les conséquences sont :
 - pour les animaux, des problèmes de confort dus à la désorganisation du relief et une diminution de l'appétence due à la souillure de l'herbe, qui provoquent une baisse de production ou la nécessité de sortir les animaux de la parcelle ;

- pour la végétation, sa destruction ou son enterrement partiel qui compromettent la production du cycle suivant et favorisent le développement d'espèces moins appétentes, moins productives ou peu résistantes à la sécheresse : pâturin annuel, bourse à Pasteur, grand plantain... ;
- pour le sol, la réduction de sa perméabilité en raison de la destruction de sa structure, le rendant plus susceptible à un nouveau défoncement.

L'éleveur qui connaît ses parcelles sait empiriquement évaluer leur portance pour décider, par exemple, de la mise à l'herbe des animaux. Mais lorsqu'il s'agit de parcelles dont on ne connaît pas suffisamment le comportement, et a fortiori lorsqu'il s'agit de faire des comparaisons entre traitements ou parcelles, ou de suivre des évolutions, il est nécessaire de disposer d'une méthode indépendante de l'observateur et, autant que possible, quantitative.

La portance de la prairie correspondant à sa résistance à l'enfoncement des sabots de l'animal, il est habituel de mesurer cette résistance à l'aide d'un pénétromètre : on obtient ainsi une mesure qui, d'une part est très variable d'un point à un autre, d'autre part n'est pas directement interprétable.

En ce qui concerne la résistance du sol à la pénétration, on peut distinguer deux situations :

- au-dessous d'un seuil ou limite de défoncement, le piétinement défoncera le sol : conditions non portantes ;
- au-dessus de ce seuil, il n'y aura pas de défoncement : conditions portantes (MASSEY et al., 1974 ; LANDURE et WARROT, 1982).

Le problème reste alors de savoir sur quelle profondeur mesurer la résistance du sol, et d'évaluer si le défoncement y sera plus ou moins grave.

La méthode simple et rapide que nous exposons ici permet d'obtenir la répartition des profondeurs des empreintes que feraient les sabots si les animaux entraient sur la parcelle à ce moment.

Portance d'une

II - DESCRIPTION DU PÉNÉTRMÈTRE ET LECTURE DES GRAPHIQUES

Nous avons utilisé un *pénétrmètre à ressort* (1), légèrement modifié à l'E.N.I.T.A. de Quetigny en fonction de nos besoins.

En appuyant verticalement sur le manche (voir photo au dos de la couverture et figure 1), l'opérateur enfonce dans le sol une tige métallique terminée par une pointe conique. Un ressort, situé dans le bâti entre le manche et la tige, se comprime proportionnellement à la résistance du sol ; cette déformation verticale est transformée par un excentrique en un déplacement horizontal du curseur à l'extrémité duquel un crayon trace sur une fiche cartonnée un graphique ou profil de pénétrométrie (figure 2) qui a ainsi :

- pour ordonnée, la profondeur réelle d'enfoncement de la pointe ;
- pour abscisse, la résistance du sol à la pénétration.

Le pénétrmètre dont nous disposons n'étant pas gradué, nous l'avons étalonné de façon statique en suspendant différents poids au manche. Pour que cet étalonnage reste valable en utilisation réelle, il faut :

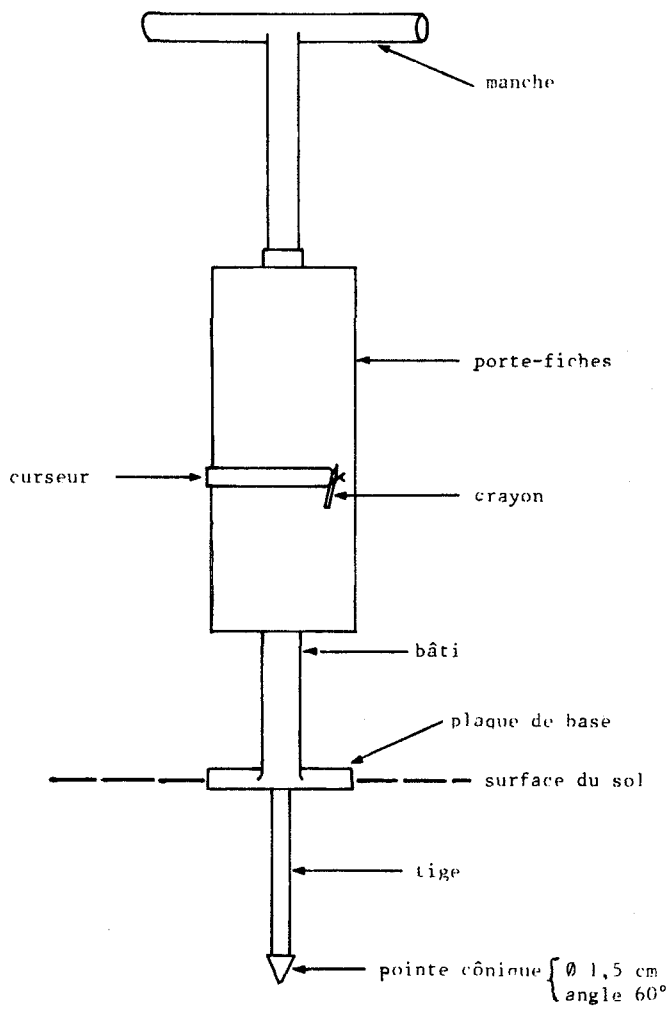
- que les frottements soient négligeables ;
- que la vitesse d'enfoncement soit faible et aussi constante que possible.

Une parcelle ou une zone dans une parcelle, étant toujours hétérogène, ne pourra pas être représentée par un seul profil. Le pénétrmètre permet de tracer en quelques minutes, sur la même fiche, un ensemble de dix à vingt profils représentatifs de la zone étudiée (sauf exception, il n'est pas nécessaire d'identifier individuellement chacun des profils). On obtient en recoupant cet ensemble de profils :

- par une horizontale, la répartition des résistances du sol à une profondeur donnée ;

(1) Modèle P30 des Ets LIOT, 48, rue de la République, 76420 BIHOREL ; il existe d'autres modèles utilisables de la même façon.

FIGURE 1
 SCHÉMA DU PÉNÉTROMÈTRE UTILISÉ



Portance d'une

- par une verticale, la répartition des profondeurs à atteindre pour que le sol ait une résistance donnée.

III - DÉTERMINATION D'UN SEUIL DE PORTANCE

Nous définissons « le seuil de portance » comme la valeur minimale de la résistance du sol au-dessus de laquelle le sabot ne s'enfonce pratiquement plus (sauf moulage de la surface à la forme du sabot) ; ce seuil doit intuitivement être égal à la pression dynamique exercée par le sabot (1).

Nous avons utilisé, dans le cas de suivis de pâturage de vaches laitières, trois approches convergentes pour savoir s'il était possible de déterminer un seuil applicable aux mesures par pénétrométrie. Il n'y avait a priori aucune raison - sauf choix judicieux du diamètre et de l'angle de la pointe (2) - pour que sa valeur numérique soit égale à la pression des sabots qui ont une forme et une dimension très différentes.

a) Une étude bibliographique (MORLON, 1983, voir annexe), nous a suggéré que si la pression statique calculée (rapport poids de l'animal/surface sabots) d'un sabot supposé parfaitement plat et horizontal variait entre 1,5 et 4 kg/cm², la forme du sabot et l'énergie cinétique expliquaient des valeurs nettement plus élevées, de 5 à 7 kg/cm², tant pour la pression maximale exercée que pour les effets observés sur le sol (comparaison avec

(1) Pour des raisons diverses, il ne s'agit bien sûr pas d'une valeur précise mais d'une fourchette ou zone de transition s'étendant sur environ 2 kg/cm².

(2) Rappelons que si sur un pénétromètre, on change :

— la force du ressort, on ne modifie en principe que l'échelle et la sensibilité de la mesure,

— le diamètre de la pointe, on modifie non seulement l'échelle mais aussi la dimension des éléments structuraux du sol dont on mesure la résistance,

— l'angle de la pointe, on modifie la répartition des pressions.

*Portance d'une
prairie pâturée*

FIGURE 2
LECTURE D'UN GRAPHIQUE DE PÉNÉTROMÉTRIE

- Dans ce cas :
- pour atteindre une résistance de 3 kg/cm², il faut descendre à 1,7 cm ;
 - à 7 cm de profondeur, la résistance du sol est de 4,8 kg/cm².

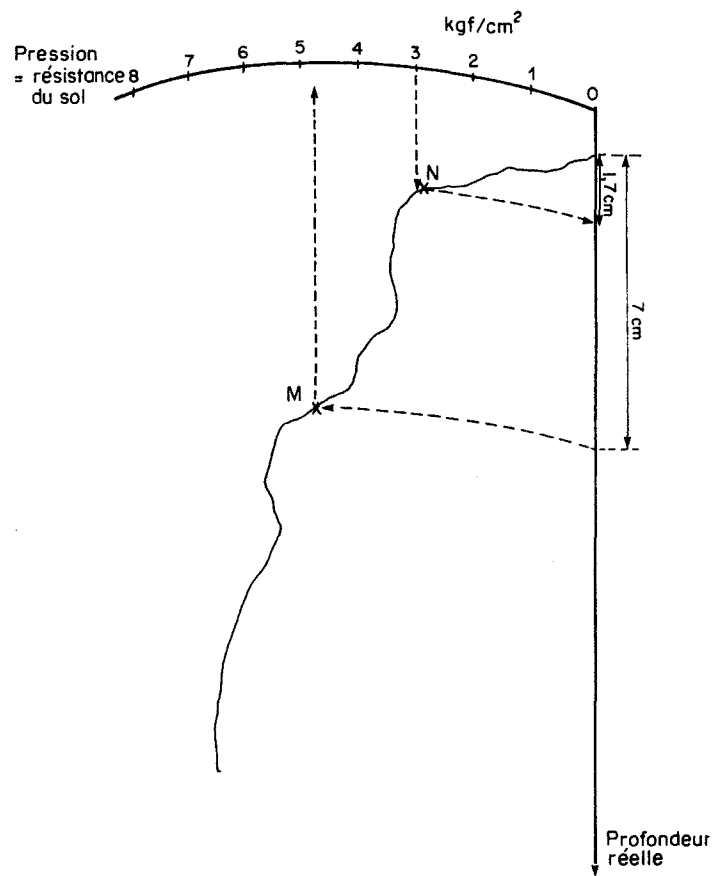
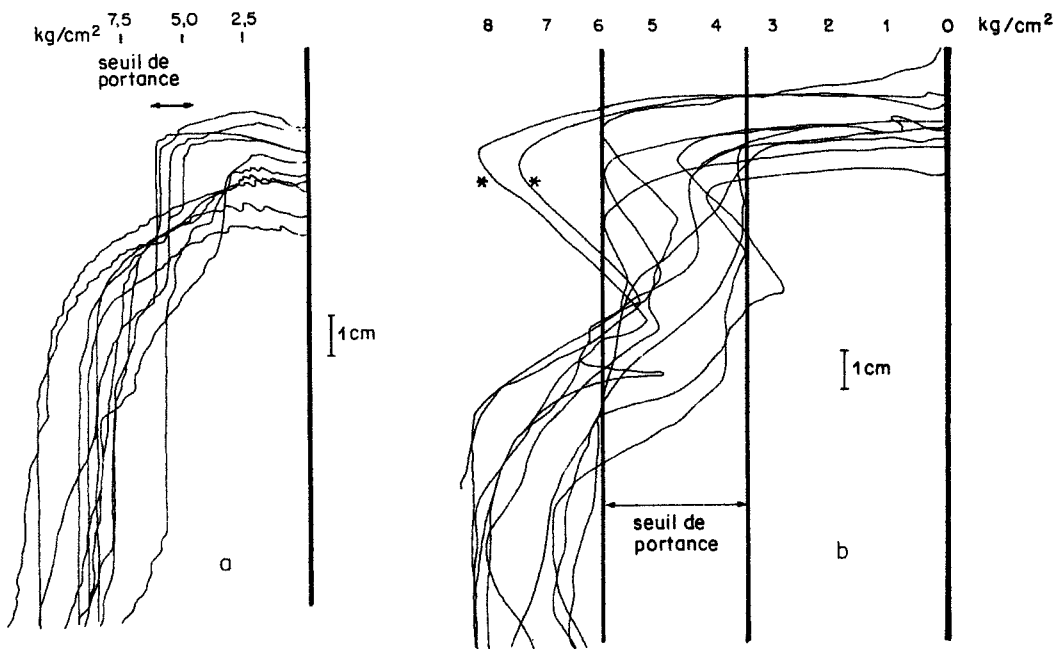


FIGURE 3
DÉTERMINATION DU SEUIL DE PORTANCE
DANS LES EMPREINTES DE SABOTS IMMÉDIATEMENT APRÈS
LE PASSAGE D'UNE VACHE

(le niveau de départ des courbes indique la profondeur des empreintes par rapport à la plaque de base du pénétromètre)



JUSTICE 10 - 27/04/1983 à 17 h
 immédiatement dans les empreintes des vaches
 sol humide

MIRECOURT JOLY 7 - 14/04/1982 après-midi
 immédiatement dans les empreintes des vaches
 tassement très net entre 1 et 3 cm sur sol bien ressuyé

tests de laboratoire) et que pour les seuils de portance trouvés par différents auteurs (par mesure pénétrométrique).

b) Nous avons admis que les sabots des animaux enfoncent dans le sol jusqu'à ce que la résistance de celui-ci devienne égale à la pression dynamique exercée :

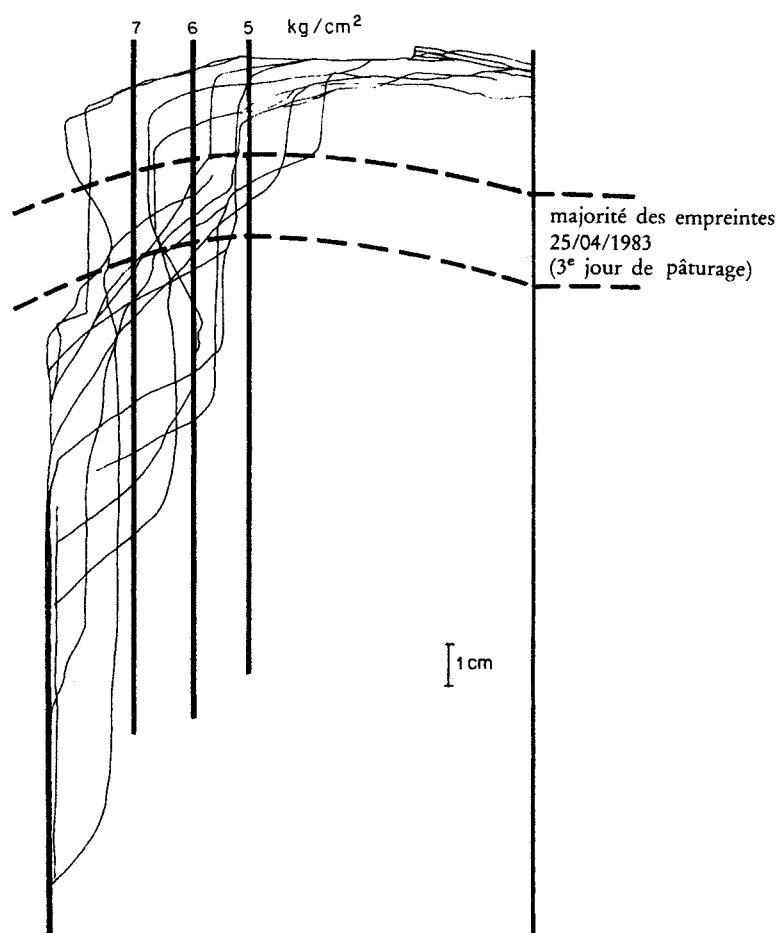
- soit en arrivant à une couche plus résistante ;
- soit en augmentant la résistance par la compaction, ce qui n'est possible, pour chaque sol et chaque pourcentage initial de porosité, qu'au-dessous d'un certain seuil d'humidité - sinon on arrive à saturation avant d'atteindre la portance (WIND et SCHOTHORST, 1964).

Nous avons donc supposé qu'en sol humide mais non saturé, la résistance du sol au fond d'une empreinte immédiatement après le déplacement de l'animal (avant que les humidités ne soient redistribuées) correspondait au seuil de portance. Avec le pénétromètre décrit précédemment (pointe de \varnothing 1,5 cm et angle de 60°), nous avons trouvé des seuils de l'ordre de 5 à 7 kg/cm² (figure 3a) et de 4 à 6 kg/cm² (figure 3b).

c) En recoupant par des droites verticales (correspondant chacune à une valeur possible du seuil de portance) l'ensemble des profils de pénétrométrie obtenus sur une parcelle juste avant l'arrivée des animaux (figure 4), nous avons constaté que pour certaines valeurs la répartition des intersections fournissait une bonne prévision de celles des profondeurs d'enfoncement des sabots ; la valeur numérique utilisée, gardée constante par la suite, a été choisie de cette façon.

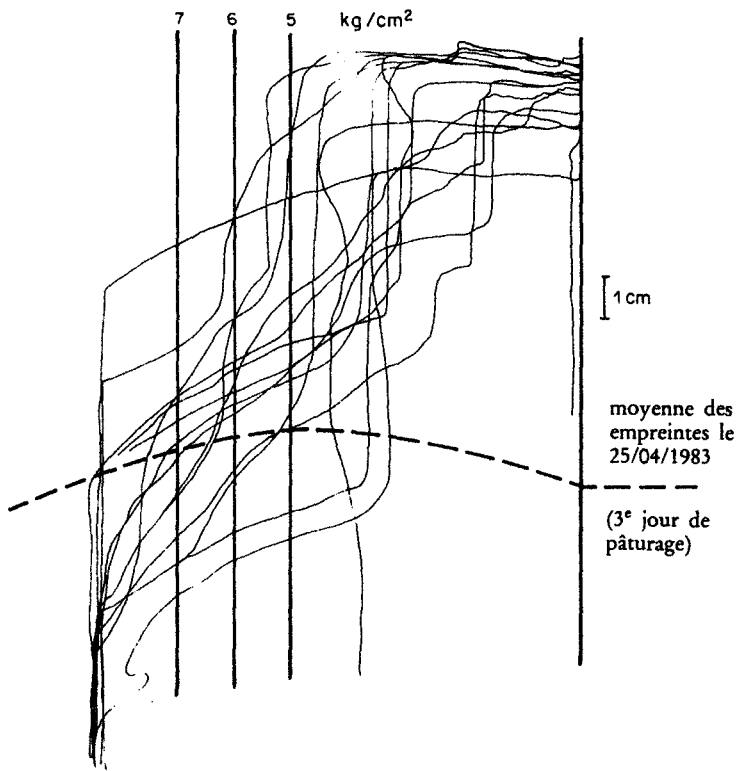
Les meilleures valeurs trouvées (figure 4) sont voisines de 6 ou 7 kg/cm² ; leur concordance avec celles obtenues par les approches a) et b) nous a autorisé à choisir la valeur de 6 kg/cm² comme seuil de portance pour des vaches laitières et avec le pénétromètre utilisé. Chaque utilisateur de la méthode pourra préalablement vérifier quel seuil donne les meilleurs résultats selon le type d'animaux et le pénétromètre avec lesquels il travaille.

FIGURE 4
 RECHERCHE DU « SEUIL DE PORTANCE » FOURNISSANT
 LA MEILLEURE PRÉVISION DES PROFONDEURS
 D'EMPREINTES



4a : COMBARVAUX 22/04/1983 à 18 h
 haut de la parcelle, milieu des inter-drains

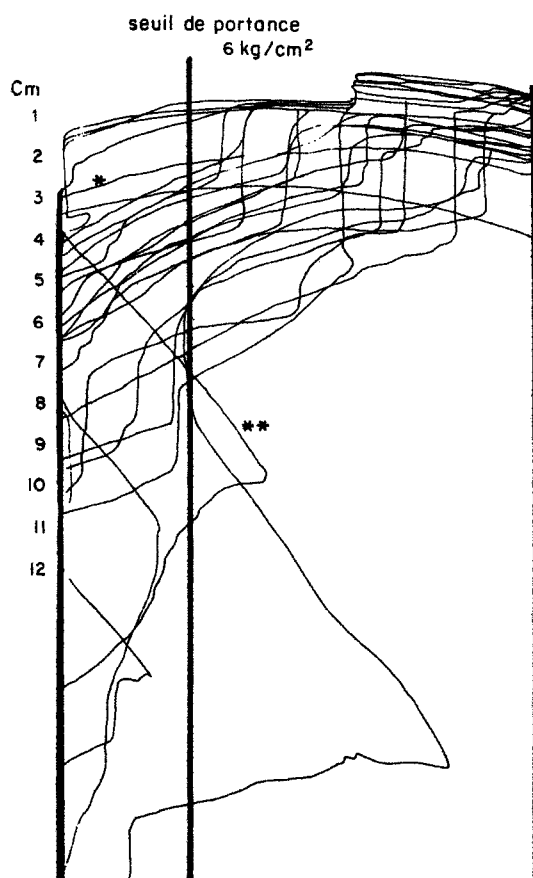
FIGURE 4b
 RECHERCHE DU « SEUIL DE PORTANCE » FOURNISSANT
 LA MEILLEURE PRÉVISION DES PROFONDEURS
 D'EMPREINTES



4b : COMBARVAUX 22/04/1983 à 18 h
 zone de joncs, milieu des inter-drains

Portance d'une

FIGURE 4c



4c : BONNEVILLE 3 3/05/1983
première entrée des vaches, patageant sur 5 % de la surface des creux des ados à l'extrémité Sud.

* sur trace d'ancien chemin vicinal

** mat sur zone patageante

Prévision de profondeur d'empreintes : de 1 à 10 cm avec une majorité de 2 à 5 cm.

Empreintes mesurées : 75 % de 2 à 5 cm

25 % de 5 à 10 cm.

IV - LIMITES DE LA MÉTHODE

a) L'estimation de la portance se suffit à elle-même tant qu'il s'agit seulement de constater. Pour expliquer (pour tout essai de modélisation), d'autres mesures ou observations sont nécessaires : profils d'humidité, densités apparentes...

Il est d'autre part souvent utile de noter sur le moment l'interprétation d'une courbe particulière. Par exemple, des profils similaires à ceux marqués d'une * sur la figure 3b, très fréquents, peuvent être dus à une touffe d'herbe, à une couche plus compacte ou plus sèche, ou à une petite pierre qui résiste avant de s'écarter.

b) Domaine de validité : la méthode n'est valable que jusqu'à 12-15 cm de profondeur. Au-delà, il est rare que les animaux continuent à s'enfoncer sans chercher à en sortir et, d'autre part, des frottements ou adhérences entachent la validité de la mesure elle-même : nous avons vérifié que la concordance avec un pénétromètre à percussion n'est bonne que jusqu'à cette profondeur.

Nous n'avons par ailleurs utilisé la méthode que sur des sols argileux à limono - argileux ; sa validité doit être testée sur des sols sableux.

Il faut encore rappeler qu'un seul diamètre et qu'un seul angle de pointe ont été utilisés.

c) Afin que les points de départ des courbes soient les plus proches possible, il est conseillé d'appuyer avec le pied sur la plaque qui se trouve à la base du pénétromètre ; sinon le travail est beaucoup plus long ensuite : il faut alors individualiser chaque courbe !

d) La précision de l'évaluation est bien entendu limitée, de l'ordre de 1 cm ; mais cela suffit pour les utilisations possibles.

V - DOMAINES D'UTILISATION DES MESURES

La méthode a l'avantage de se prêter aussi bien à des calculs statistiques (en tenant compte de la dernière remarque) pour des comparaisons de

Portance d'une

traitements, qu'à des évaluations rapides sur le terrain (élément de décision pour la mise à l'herbe des animaux). Nous l'avons utilisée ou nous projetons de le faire pour :

- suivre dans le temps le ressuyage ou, au contraire, l'effet d'une pluie, pour déterminer les dates possibles de mise à l'herbe ou les « jours disponibles pour le pâturage » et vérifier l'existence de seuils d'humidité pour lesquels la portance varie brusquement ;
- comparer différentes prairies : type de sol, végétation, effets de différents modes de pâturage et, en particulier, des piétinements antérieurs ; et ainsi définir des types de comportement de parcelles ;
- reconstituer a posteriori les conditions de mise à l'herbe pour des parcelles appartenant à différents agriculteurs : par exemple, la comparaison des prévisions faites de cette façon le vendredi avant la mise à l'herbe et des empreintes constatées le lundi (après un week-end séchant) a permis de reconstituer l'ordre des mises à l'herbe, c'est-à-dire de savoir qui avait attendu un ressuyage plus poussé ;
- évaluer ce qu'apporte - ou n'apporte pas - un assainissement hydraulique en fonction des techniques de réalisation de l'assainissement et d'utilisation de la parcelle ensuite ;
- évaluer l'effet d'amendements et de techniques de décompaction du sol.

VI - ANNEXE : ÉVALUATION DE LA PRESSION EXERCÉE PAR LES SABOTS (BIBLIOGRAPHIE)

A - Mesure directe

Pour des bovins, les poids maximaux supportés par un seul sabot sont les suivants (en % du poids de l'animal, d'après KUBO et ISOBE, 1975) :

airie *pâturée*

	Sabot avant	Sabot arrière
Animal en marche	60 %	40 %
Animal debout	55 %	45 %

Les mêmes auteurs estiment à près de 5 kg/cm² la pression maximale exercée sur une surface horizontale par un sabot avant d'une vache de 500 kg de poids vif.

B - Calcul du rapport : poids de l'animal/surface des sabots

— *SPEDDING* (1971) pour des animaux debout sur 4 pieds :

Vaches (South Devon, 500 à 560 kg) : 1,43 à 1,60 kg/cm²
Moutons (Kerry Hill, 59 à 87 kg) : 0,74 à 0,95 kg/cm²

— *KELLETT* (1978), qui souligne que la composante horizontale de l'impact peut être particulièrement néfaste, indique les valeurs suivantes (kg/cm²) tirées de différentes études :

	Debout	Marchant
Bovins 500 kg	1,5	3,0
1000 kg	2,5	4,0
Moutons	0,8	1,7
Effet d'impact additionnel		0,5

— *LANDURE et WARROT* (1982) calculent la pression des sabots des vaches utilisées dans leur expérience à partir des surfaces mesurées sur moulages d'empreintes (80 ± 5 cm²) :

Portance d'une

Vache reposant sur :	Pression statique		
	Mini.	Moy.	Maxi.
2 pieds	2,8	3,3	4,3
3 pieds	1,8	2,2	2,8
4 pieds	1,4	1,6	2,1

En tenant compte de l'énergie cinétique on peut aller jusqu'à 6 kg/cm².

D'autres auteurs aboutissent à des données similaires :

— *WIND et SCHOTHORST* (1964)

- 2 kg/cm² : vache debout ;
- 4 kg/cm² : vache marchant sur deux pattes ;
- 3 kg/cm² : jeunes et animaux de petit format.

— *FRAME* (1975)

- Bovin adulte debout : 1,56 kg/cm² ;
- Mouton : 0,94 kg/cm².

C - Évaluation d'une « pression équivalente » par les effets sur le sol

a) Compactage

LANDURE et WARROT (1982), par comparaison de l'indice des vides structuraux après piétinement en conditions non portantes avec les courbes œdométriques établies sur échantillons de sol en laboratoire, concluent que la « pression équivalente du troupeau » (expression suggérant l'effet de répétition des impacts de sabots) semble nettement supérieure à 6 kg/cm², qui était la pression évaluée par calcul en tenant compte de l'énergie cinétique.

A partir de la surface totale des sabots (320 cm² pour un bovin adulte, et 80 cm² pour un mouton) et du parcours quotidien des animaux (variant autour de 3 km pour des bovins adultes sur un « bon pâturage »), FRAME

(1975) et CHARLES (1979) calculent le nombre moyen de fois où chaque point supporte le pied de l'animal (est piétiné) :

— *Bovins adultes* :

- . usage intensif 5 têtes/ha durant 200 jours : 10 fois
- . usage moyen 3 têtes/ha durant 160 jours : 6 fois

— *Moutons* :

- . intensif durant 200 jours : 24 fois
- . extensif 12 têtes/ha durant 160 jours : 19 fois.

b) *Seuils de défoncement*

Il y a défoncement sévère si la portance (mesurée au pénétromètre) est inférieure à 5 kg/cm^2 ; entre 5 et 7 il y a moins de dégâts, et la portance est suffisante seulement au-delà de 7 kg/cm^2 , ce qui est nettement supérieur au quotient poids animal/surface 2 sabots selon WIND et SCHOTHORST (1964) qui attribuent la différence à l'énergie cinétique et au fait que le sabot n'est pas parfaitement plat et horizontal.

BOXEM et LEUSINK (1978) ont abouti de la même manière à un seuil de défoncement pour une résistance du sol à la pénétration d'environ 6 kg/cm^2 .

Par contre MASSEY et al. (1974), avec un pénétromètre à disque de 6,25 cm de diamètre, obtiennent une limite de portance vers 3 kg/cm^2 ; il est très probable que plus le pénétromètre est petit et pointu, plus la limite de portance correspond à des résistances élevées à la pénétrométrie ; d'autre part, la définition même de la limite de portance - ou du défoncement - diffère d'un auteur à l'autre sans que les critères soient explicités.

Aussi bien en ce qui concerne la compaction que le défoncement, nous considérons qu'en plus de l'aspect « répétition d'impacts dynamiques de sabots imparfaitement plats et horizontaux » se pose le problème de la représentativité :

- des tests en laboratoire (œdométrie) par rapport au terrain ;
- de la pénétrométrie par rapport au pied de l'animal.

Portance d'une

c) Signalons par ailleurs que, pour simuler l'effet mécanique direct des sabots sur les organes végétaux ou le sol, KUBO et AKIYAMA (1977), AKIYAMA et KUBO (1978), ISOBE et KUBO (1978) ont exercé des pressions variant entre 2,5 et 5 kg/cm². Nous n'avons pas les données concernant les « machines à piétiner » anglaises ou nord-américaines.

P. MORLON *,
I.N.R.A. - *Systèmes Agraires et Développement*,
Dijon (Côte-d'Or).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AKIYAMA T. et KUBO S. (1978) : « Piétinement des prairies. Photosynthèse et production de matière sèche de graminées indigènes », *Bull. Nat. Grassld. Res. Inst. Jap.*, 12 : 23-31.
- BOXEM T. et LEUSINK A.W.F. (1978) : « Drainage des prairies marécageuses. Rapport de recherche comparative dans les conditions de l'exploitation à Zegveld de 1970 à 1975 », *Publikatie*, Proef. station, voor de Rundveehoudevig, n° 11, 75 p.
- CHARLES A.H. (1979) : « Treading as a factor in sward deterioration », In : CHARLES A.H. HAGGAR R.J. (editors), 137-140.
- FRAME J. (1975) : « A comparison of herbage production under cutting and grazing (including comments on deleterious factors such as treading) », *Proc. Occasional Symposium N° 8*, British Grassland Society, 39-49.
- ISOBE S. et KUBO S. (1978) : « Piétinement des prairies. Compaction du sol sous la pression des sabots », *Bull. Nat. Grassld. Res. Inst. Jap.*, 12 : 15-22.
- KELLETT A.J. (1978) : *Poaching of grassland and the role of drainage*, Technical report 78/1, FDEU, MAFF, U.K.

* Nous remercions M. BENOIT et B. TEILHARD (I.N.R.A.-S.A.D.), C. PERREY (I.N.R.A. - Science du Sol), J.M. THOMAS, B. LECUYER et R. MARTIN (E.N.I.T.A. Quetigny), G. TROUCHE (E.N.S.S.A.A. Dijon) pour leurs conseils et leur participation à l'élaboration de la méthode.

- KUBO S. et AKIYAMA T. (1977) : « Piétinement des prairies. Photosynthèse et production de matière sèche de plantes prairiales soumises à compression », *Bull. Nat. Grassld. Res. Inst. Jap.*, 10 : 15-22.
- KUBO S. et ISOBE S. (1975) : « Treading on grassland : hoof pressure by unstrained walk », *Bull. Nat. Grassld. Res. Inst. Jap.*, 7 : 33-38.
- LANDURE A. et WARROT G. (1982) : *Étude du piétinement par les bovins à la pâture en sols limoneux*, INRA-ITCF-ENSA Rennes, Mémoire ENSA, Rennes, 99 p.
- MASSEY W., RYCROFT D.W., THORBURN A. et THREADGOLD T. (1974) : *An investigation into poaching of grassland in Lancashire*, MAFF - FDEU, Tech. Bull. 74/6.
- MORLON P. (1983) : *Notes bibliographiques préliminaires sur le piétinement des prairies pâturées par les animaux domestiques*, INRA-SAD, ronéo, 97 p.
- SPEDDING C.R.W. (1971) : *Grassland ecology*, p. 115, Clarendon Press, Oxford, U.K.
- WIND G.P. et SCHOTHORST C.J. (1964) : « The influence of soil properties on suitability for grazing and of grazing on soil properties », *Trans. 8 th. Int. Congr. Soil. Sc.*, Bucarest 2, 571-579.

*Portance d'une
prairie pâturée*