

*PROBLÈMES D'UTILISATION
DES VARIÉTÉS FOURRAGÈRES*

PROBLÈMES POSÉS PAR L'INTRODUCTION DES PRAIRIES DANS LA ROTATION

LORSQUE DES PRAIRIES TEMPORAIRES SONT INCLUSES DANS LES ROTATIONS DE CULTURES ARABLES, LE POTENTIEL PRODUCTIF DU SOL S'EN TROUVE, EN GENERAL, AUGMENTÉ (44). L'importance des problèmes soulevés par cette pratique est telle qu'elle a amené la création, au sein du groupe de travail « Plantes fourragères » de l'I.N.R.A., d'une section spécialisée dans l'étude de ses aspects :

- théoriques : par le biais d'une analyse approfondie des effets résiduels ;
- pratiques et, en particulier, des modalités de retournement.

Le tableau I donne la liste des expérimentations de recherche en cours et leur localisation ; chaque thème de travail est codé pour faciliter les références dans le texte.

EFFETS RESIDUELS DES CULTURES FOURRAGERES

Les prairies déterminent des modifications, lesquelles se manifestent indirectement sur le rendement des cultures suivantes.

1) Causes des modifications de l'état du sol sous prairie.

Parmi les phénomènes entraînés par les cultures fourragères, certains sont très importants ; ce sont ceux qui sont liés :

par
P. Jacquard

- à la matière organique (répartition, état) ;
- à la structure,
- au niveau d'azote.

D'autres sont moins prédominants (tout au moins dans la majorité de nos conditions) et ont trait :

- au régime de l'eau, à sa répartition dans le profil ;
- à l'équilibre biologique.

a) *Matière organique :*

C'est probablement la caractéristique des sols la plus affectée.

Sous prairie, une grande quantité de résidus organiques se décompose ce qui entraîne notamment une évolution croissante de la teneur en carbone total ; mais cette évolution est insuffisante pour rendre compte d'une façon précise du mécanisme de l'enrichissement du sol. Il est, en effet, nécessaire de distinguer dans cette matière organique une fraction libre, à C/N élevé (26), de la partie liée à la matière minérale. C'est cette matière organique libre qui détermine le déséquilibre du rapport C/N global et crée des conditions favorables à une carence possible en azote lors du retournement. Cette carence peut expliquer des effets dépressifs sur le rendement des cultures suivantes (37).

Cette matière organique va se trouver accrochée à la surface des constituants du sol (16) et jouera, non seulement un rôle physique, mais également contribuera, à plus ou moins longue échéance, à l'enrichissement des teneurs en éléments minéraux : azote surtout, potasse et autres (M.3, cf. tableau I), comme dans tous les cas d'amendement organique.

b) *Structure :*

L'arrangement spatial des particules de sol peut être apprécié en place par examen du profil cultural (V.1), après creusement d'une tranchée. Ces observations sont complétées par une étude de sa stabilité au laboratoire après tamisage (V.2) (3, 29).

Sous prairie, la majorité des agrégats a souvent des dimensions supérieures à 1 mm de diamètre et ceci jusqu'à des profondeurs importantes (12). D'autre part, la stabilité de ces agrégats au délitement par l'eau est remar-

quablement augmentée, principalement sous l'action des racines de graminées (1, 22, 28). Cependant, certaines expériences montrent que l'incorporation (23) de Luzerne peut avoir le même effet, mais il s'agit alors d'engrais vert.

c) *Modification des propriétés chimiques ; niveau d'azote :*

Certains des travaux les plus connus concernant les effets des graminées, au point de vue de leurs propriétés chimiques, ont été réalisés à Rothamsted.

Le pâturage de prairies recevant des apports de superphosphates mobilise les éléments nutritifs du sol et les concentre au voisinage de la surface. Il en est de même pour le magnésium et l'azote (33, 34, 40, 41, 42).

En ce qui concerne le niveau de ce dernier élément dans le sol, les chercheurs de Rothamsted ont trouvé que, sous pâture, il augmentait pendant deux cents ans, mais que, dès la vingt-cinquième année, la moitié de la teneur-plafond était atteinte (31).

Mais cet enrichissement en azote est surtout le fait des légumineuses, en particulier de la Luzerne, pour laquelle il est en cours de mesure à l'aide du dispositif ci-après (L.3).

<u>Année</u>	<u>Traitements</u>	
1962	Maïs sans azote	Luzerne
1963	Maïs sans azote	Luzerne
1964	Maïs sans azote	Luzerne
	<u>Cultures-test</u>	
1965	avec différentes doses d'azote	sans azote

C'est ce qui explique les meilleurs rendements obtenus derrière légumineuses (39) ou derrière association graminée-légumineuse (10) :

<u>Précédent</u>	<u>Rendements en blé (qx/ha)</u>
Luzerne	52,5
Dactyle	45,7
Dactyle-Luzerne	54,8
Ppds	4,7

L'introduction d'une prairie à base de légumineuse élève donc le niveau de fertilité (6) et le taux d'accumulation de l'azote a pu être estimé à 450-550 kg/ha/an ; mais il peut atteindre 660 kg (32).

C'est d'ailleurs la fraction minéralisable de cet azote qui jouera un rôle actif après le retournement. Il semble que la technique des incubations, à niveau d'humidité constant, pendant quatre à cinq semaines à environ 30° C fournisse des résultats très satisfaisants à ce sujet (4,8), pour des sols provenant de prairies.

Dans l'essai cité précédemment (L.3), l'évolution des teneurs en azote est actuellement la suivante pour la couche arable sous Luzerne :

	28 février 1964	17 juillet 1964	30 septembre 1964
<i>Gain d'azote total (0/00) (1)</i>	+ 0,016	+ 0,324	+ 0,677
<i>N minéral (kg/ha) :</i>			
— après incubation	284	359	(2)
— avant incubation	65	200	56
<i>N minéralisable (kg/ha)</i>	219	159	(2)
<i>% de l'N total :</i>			
— sous forme minérale			
après incubation	7,13	7,32	
— avant incubation	1,63	4,08	0,94
— minéralisable	5,50	3,24	

(1) Luzerne semée le 22 mars 1962. (2) En cours de détermination.

d) *Régime hydrique :*

L'étude des profils hydriques sous prairie (G.3, M.1) montre qu'il existe une possibilité d'effet résiduel dans ce domaine : épuisement des réserves en profondeur (Luzerne) ou, à l'opposé, augmentation de la capacité d'emmagasinement.

2) Modifications biologiques.

Elles peuvent concerner la faune et la microflore du sol ainsi que le spectre botanique des adventices.

MANIFESTATION DES EFFETS RESIDUELS

La principale manifestation des effets résiduels est leur action sur le rendement des cultures suivantes. Sa mise en évidence est réalisée au moyen de cultures-tests dont les plus couramment utilisées sont le Blé d'hiver et le Maïs. L'amélioration de la stabilité structurale est particulièrement sensible pendant les premières semaines suivant l'établissement d'une culture d'hiver. L'évolution de la fraction azotée de la matière organique, plus spécialement après la fin de l'hiver, est ensuite le facteur prédominant pendant la végétation.

Les variations du profil hydrique en fonction des précédents fourragers agiront surtout sur les cultures estivales.

Cette différence de réaction des végétaux selon leur époque de croissance nous a conduit à subdiviser chaque parcelle ayant subi un traitement fourrager différentiel en deux parties, l'une portant comme culture-test une céréale d'hiver (Blé), l'autre un Maïs.

Les chercheurs anglais trouvent, dans la majorité de leurs expériences, une corrélation positive significative entre rendement des cultures non fourragères et niveau d'azote minéralisable après prairie (43) alors que l'amélioration de la stabilité marque peu dans leurs conditions ; ce qui peut s'expliquer soit par la bonne structure de leurs sols (2) (ceux de Rothamsted, par exemple), soit par la présence de légumineuses en quantités importantes dans leurs prairies, entraînant une fixation abondante d'azote, élément qui s'accumule au bénéfice de la culture suivante. D'ailleurs, les résultats obtenus à Hurley montrent que le rendement d'un Blé est proportionnel au pourcentage de légumineuse dans le gazon précédent (46).

VARIATION DE L'INTENSITE DES EFFETS RESIDUELS

Les variations de l'intensité des effets résiduels sont considérables, aussi bien au point de vue chimique que physique. C'est ce qui ressort en particulier d'une étude anglaise de la stabilité à l'eau de la structure dans une gamme étendue de sols prairiaux (21).

a) Nature de la prairie.

Le type de plante fourragère est un élément déterminant ; aussi une série d'expériences (L.1, L.2, G.2, R.1) est-elle en cours à ce sujet, et notamment (L.4) une comparaison :

- Graminée pure (Dactyle) ;
- Légumineuse pure (Trèfle blanc) ;
- Association des deux espèces.

On espère pouvoir séparer ainsi les effets « structure » et « azote » propres à chaque espèce, confondus dans le cas de l'association, ceci dans un premier temps ; par la suite, le même dispositif, avec des variations systématiques de la composition de l'association devrait permettre de mieux cerner le problème.

L'espèce de graminée joue également un rôle (Re.1, S.1) vis-à-vis de la teneur en matière organique du sol et de la stabilité à l'eau des agrégats terreux (35), rôle souvent plus important que celui des méthodes d'exploitation, qui sera envisagé plus loin. Les mélanges d'espèces de graminées seraient plus efficaces que la culture d'une espèce pure (37).

b) Durée de la prairie (L1, L2, G1).

Dans les régions tempérées, on a constaté que l'évolution des profils est lente. Cependant, au bout de trois ans de prairie, les horizons commencent à se différencier (4), d'une façon sensible sur sol de limon (24). En général, il y a proportionnalité entre l'effet résiduel et la durée de la prairie (20) :

*Gain de rendement d'un Blé (qx/ha)
par rapport à un témoin suivant
deux orges*

Après :	} de culture d'herbe	1 an	+ 11,0
		2 ans	+ 17,0
		3 ans	+ 18,5

De même, après Trèfle souterrain, pour des durées de un à cinq ans, le gain de rendement d'un Blé, dû à l'accumulation d'azote est de 70 kg/ha/année sous prairie (7). Mais il y aurait des exceptions (18).

En pratique, l'effet résiduel maximum est obtenu après une durée de prairie égale à la durée de la séquence arable (17).

A l'irrigation, matière organique et azote du sol ne sont maintenus à leur niveau originel que par des séquences fourragères de longue durée (trois ans de Luzerne, par exemple) (9).

Il existe une interaction entre effet de la durée et nature du sol. Pour atteindre à nouveau l'état trouvé sous prairie naturelle, il faut dans certains sols cinquante ans et dans d'autres quatre années (19). De même, on a observé que si trois années de prairie maintiennent la structure d'un sol léger, sa régénération est plus lente en sol lourd (47).

c) **Systeme d'exploitation.**

Une culture fourragère peut être exploitée pour la pâture, l'affouragement, la constitution de réserves ou la production de semences.

On possède un certain nombre de données, en particulier dans le cas du Ray-grass anglais, montrant que le rythme d'exploitation influe sur l'enracinement (25). Les résidus d'origine végétale sont concentrés dans les cinq premiers centimètres du sol après un régime de coupe fréquente contre 10 cm en coupes peu fréquentes. Dans le cas des cultures porte-graines, l'enracinement sera encore plus profond.

Enfin, le piétinement du bétail peut interférer avec l'effet bénéfique des graminées en entraînant l'apparition d'une croûte en surface.

C'est pourquoi les comparaisons suivantes sont en cours de réalisation :

- pâture-affouragement (L.1) ;
- affouragement en vert-production de semences (L.4) ;
- pâture-fenaison (L.6, S.1).

MODALITES DE RETOURNEMENT DES PRAIRIES

D'un point de vue chronologique, les premières répercussions qui se manifestent lors de l'introduction des cultures fourragères dans la rotation concernent la décomposition des résidus, notamment des fragments végétaux,

dans le sol. Cette décomposition peut être très lente. Même en conditions favorables, après quatre mois, certains résidus peuvent être encore verts (14). L'évolution de la matière organique et la minéralisation de l'azote, en un mot l'humification, serait d'ailleurs plus rapide en sols vierges qu'en sols cultivés (30).

D'autre part, une certaine phytotoxicité peut se manifester : les résidus de Mélilot dépriment plus la germination que ceux de Luzerne et déterminent des retards à la levée (avec des répercussions sur le rendement) de la culture suivante (9).

Enfin, une modification du rapport C/N est souhaitable.

L'étude de ces problèmes de retournement est poursuivie par comparaison de trois traitements (L.5) :

1) Conditions de labour.

Les conditions d'enfouissement d'une prairie influent certainement sur l'allure de sa décomposition. Afin d'avoir des informations à ce sujet, labour dressé de début d'été et fermé de début d'automne seront confrontés. La première pratique devrait diminuer les risques d'accidents par asphyxie (27).

2) Apport de chaux.

Les microbes nitrificateurs et les *Azotobacter* ne sont vraiment actifs qu'avec un pH supérieur à 6 (13) ; le chaulage doit donc permettre d'activer la vie microbienne et d'entraîner une minéralisation plus rapide de l'azote aux dépens de l'humus.

3) Apport d'azote.

L'augmentation de la proportion de cet élément dans le milieu peut contribuer à abaisser le rapport C/N et pallier une carence temporaire, telle que celles constatées après enfouissement de paille. (On rapprochera ces études de celles entreprises à Hurley sur l'incorporation de paille avant semis de prairies de légumineuses de courte durée, où l'on cherche, au contraire, à augmenter le terme C du rapport (45). L'apport d'azote doit donc permettre un contrôle de la nitrification.

DUREE DES EFFETS RESIDUELS

La persistance des augmentations de production peut être mise en évidence par l'enregistrement de l'évolution, jusqu'à décroissance, des rendements de séquences arables après prairie (L.2).

Au fur et à mesure de la succession de telles séquences, la teneur du sol en matière organique diminue (11). Dans une expérience sur le rendement des cultures suivantes de Blé en sol lourd, des différences entre précédents « fourrager » ou « non » (mélange Luzerne + graminée) ont pu persister jusqu'à six ans. Il est apparu que celles-ci étaient plutôt dues au niveau d'azote du sol qu'à tout autre facteur (15).

METHODOLOGIE EXPERIMENTALE

L'expérimentation sur les effets résiduels des cultures fourragères exige la réalisation d'essais en vue de mesurer non seulement ces effets directs, notamment à l'aide de cultures homogènes, mais aussi certains effets cumulatifs et limites de réactions à l'application répétée de traitements fourragers dans des cycles culturaux successifs (49).

Comme il est nécessaire de recueillir des données, aussi bien sur les plantes cultivées (rendements en matière verte et matière sèche, etc...) que sur le sol (évolution : de certains indices S de stabilité des agrégats, K de perméabilité ; des teneurs en matières organiques : C et N total (48) et paramètres biophysiques), d'importants moyens sont nécessaires en personnel, en surface et en matériel (5). Les surfaces expérimentales requises sont, en particulier, un aspect qui motive la faible extension des recherches dans ce domaine. En effet, les parcelles élémentaires peuvent difficilement avoir moins de 50 m², notamment pour permettre un travail du sol dans de bonnes conditions, réaliser de nombreux échantillonnages de terre, sans endommager le gazon et pouvoir subdiviser ces parcelles au cours du déroulement de l'expérimentation. D'autre part, chaque séquence des rotations en examen doit fréquemment être considérée comme un traitement propre. Aussi les dispositifs doivent-ils être très vastes.

C'est ainsi qu'à la Station d'Amélioration des Plantes fourragères de Lusignan, où l'étude de ces problèmes est poursuivie sur un ensemble d'essais spécialement conçu dans ce but et dont les objectifs couvrent la plupart des aspects évoqués précédemment, certains dispositifs ont une superficie de l'ordre du demi-hectare (pour comparer cinq rotations).

Enfin, entre le moment du prélèvement des échantillons de sols avant expérimentation (pour déterminer la référence des mesures d'amélioration) et la mesure des effets résiduels, il s'écoule obligatoirement une phase préparatoire d'environ trois ou quatre ans dont les conséquences détermineront la valeur des résultats recueillis.

CONCLUSIONS

La situation des plantes fourragères dans l'Agronomie est particulièrement paradoxale puisque les conséquences de leur utilisation sur le potentiel de production des sols sont telles qu'on peut très bien imaginer leur introduction dans une rotation culturale uniquement pour cet effet résiduel et ne considérer leur fourrage ou leurs graines que comme un sous-produit.

Cependant, le mécanisme d'action de ces plantes sur le niveau général de fertilité des terres est loin d'être totalement élucidé et il est nécessaire d'en avoir une meilleure connaissance avant de pouvoir valoriser au maximum cette aptitude agronomique.

Le grand nombre des facteurs en cause et la complexité des interactions qu'ils manifestent excluent toute évaluation globale des effets et imposent une analyse détaillée (*cf.* schéma). Un premier stade de ce travail est en cours actuellement. On peut penser que d'ici trois ans les premiers éléments de réponse seront disponibles : modalités de retournement des prairies associées, première évaluation de la quantité d'azote apportée au sol par la Luzerne, intensité des effets résiduels en fonction de la nature des prairies et du système d'exploitation qui leur est appliqué.

On pourra alors diffuser un certain nombre de résultats, étudier, pour d'autres, l'interaction avec le milieu, concevoir également de nouvelles expériences de recherches en vue d'étudier notamment :

- la rupture des cycles de cultures continus (G.4, M.2) ;
- les meilleures alternances de séquences culturales et prairiales dans une optique d'utilisation de l'irrigation totale (Mo.1) ou de complément ;
- les rotations uniquement fourragères, alternant graminées et légumineuses.

P. JACQUARD,

*Station d'Amélioration des Plantes Fourragères
de Lusignan.*

TABLEAU I

Liste des expériences en cours.

Station d'Amélioration des Plantes Fourragères (LUSIGNAN, Vienne).

- L.1 — Comparaison des résultats obtenus en parcelles expérimentales et en parcelles de grandeur normale.
- L.2 — Effets cumulatifs des prairies et mesure de la durée de l'effet résiduel.
- L.3 — Fourniture d'azote par la Luzerne.
- L.4 — Effets résiduels de différents précédents fourragers.
- L.5 — Modalités de retournement d'une prairie de Dactyle-Trèfle blanc, pâturée.
- L.6 — Introduction de la prairie dans une rotation triennale.

Laboratoire des Techniques Culturelles (C.N.R.A., VERSAILLES, S.-et-O.).

- V.1 — Etude des profils culturaux sous différentes cultures.
- V.2 — Analyse de la stabilité des agrégats terreux.

Chaire d'Agriculture (E.N.S.A., GRIGNON, Seine-et-Oise).

- G.1 — Effets résiduels de prairies de différentes durées.
- G.2 — Effets résiduels de cultures fourragères de différentes durées.
- G.3 — Economie de l'eau sous Dactyle et sous Luzerne.
- G.4 — Problème des ruptures de cultures continues.

Laboratoire des Plantes Fourragères (ROUEN, Seine-Maritime).

- R.1 — Evolution du sol sous différents types d'assolements fourragers.

Services d'Expérimentation (LA MINIERE, Seine-et-Oise).

- M.1 — Bilan hydrique des cultures fourragères.
- M.2 — Problème des ruptures de cultures continues.
- M.3 — Culture de Blé d'automne sur des terrains ayant reçu divers amendements.

Station d'Amélioration des Plantes (E.N.S.A., MONTPELLIER, Hérault).

- Mo.1 — Influence des prairies dans les rotations de cultures irriguées.

Station d'Amélioration des Plantes (E.N.S.A., RENNES, Ille-et-Vilaine).

- Re.1 — Stabilité structurale sous différentes espèces prairiales.

Service d'Expérimentation et d'Information (C.N.R.A., VERSAILLES, Seine-et-Oise).

- S.1 — Stabilité structurale sous différentes espèces exploitées différemment.

REPRESENTATION SCHEMATIQUE DES PROBLEMES
POSES PAR L'INTRODUCTION DES PRAIRIES DANS LA ROTATION

Types de prairies		Effets		Retournement		Rendement des cultures suivantes		Interaction		
		Stabilité des agrégats	Enrichis- sement en azote	C/N	Correction	en fonction de l'état initial				
						Structure défavorable	Faible niveau			
Graminée pure	Porte-graine	↑	↓	↑	↓	↑	↓	+		
	Fourrage								Conservation	+ N C/N ↓
									Affour- ragement	
Graminée + Légumineuse	Prédo- minance	Pâturage	+ paille C/N ↑							
		Graminée								
Légumineuse pure	Légumineuse							-		

N.B. — Le sens des flèches indique la croissance du phénomène.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) ASHLEY G.D. (1961). — Grassland and soil structure. — *J. brit. Grassl.*, 16, 2, 156-159.
- (2) BOYD D.A. et al. (1961). — The Rothamsted ley-arable rotation experiment. — *Rep. Rothamst. exp. Sta.*, 173-180
- (3) CLEMENT C.R. et T.E. WILLIAMS (1959). — Crumb stability within the profile of arable soil under leys. — *Meded. Landbouwhogesb. Gent.*, 24, 1, 166-175.
- (4) CLEMENT C.R. et T.E. WILLIAMS (1962). — An incubation technique for assessing the nitrogen status of soils newly ploughed from leys. — *J. Soil. Sci.*, 13, 1, 82-91.
- (5) CROISIER L. et P. JACQUARD (1964). — Methodology of experimentation on the after-effects of forage crops. — *9th. Int. Grassl. Cong.*, sous presse.
- (6) C.S.I.R.O. (1963). — Soil fertility. — *Ann. Rep., Div. Plant. Industry*, 58.
- (7) C.S.I.R.O. (1963). — Soil fertility investigations. — *Ann. Rep., Div. Plant. Industry*, 133.
- (8) DROUINEAU G. et G. LEFEVRE (1949). — Première contribution à l'étude de l'azote minéralisable dans les sols. — *Ann. Agr.*, XIX, 4, 518.
- (9) DUBETZ S. et K.W. HILL (1964). — Effect of irrigated crop rotations on yield and soil fertility. — *Canad. J. Plant. Sci.*, 44, 2, 139-144.
- (10) E.N.S.A. de GRIGNON (1961). — Rapport du Centre de Recherches et d'Expérimentation. III.
- (11) GENUIT F. (1959). — Über die Wirkung verschieden langer Zwischennutzungszeiten auf Boden und Neuansaat. — *Z. Acker u. Pfl. Bau.*, 107, 3, 301-316.
- (12) GREACEN E.L. (1958). — The soil structure profile under pastures. — *Aust. J. Agric. Res.*, 9, 129.

- (13) GROS A. (1963). — Engrais : guide pratique de la fertilisation, 3^e édit., La Maison Rustique, Paris, 65.
- (14) GROSSBARD E. (1964). — Microbiology, in *Exp. in Progress*, 16, 1962-1963, 54.
- (15) HANLEY F., W.J. RIDGMAN et R.H. JARVIS (1964). — The effects of leys and their management on the yield of succeeding wheat crops on heavy land. — *J. Agric. Sci.*, 62, 1, 47-54.
- (16) HENIN S. (1960). — Production fourragère et sol. — *Fourrages*, 1, 31-39.
- (17) HOOD A.E.M. (1960). — An experiment on the effect of leys on soil fertility. — *Proc. 8th. Int. Grassl. Cong.*, 242-244.
- (18) KLAPP E. (1959). — Mähcklee oder Weidecklee grass ? Ein-, zwei-, oder dreijähriger Futterbau in der Fruchtfolge ? — *Z. Acker- u Pflzbau*, 109, 1-32.
- (19) KUKSIN N.V. (1960). — Ley rotations on lowland grasslands of the Poles' in Ukrainian S.S.R. — *Proc. 8th. Int. Grassl. Cong.*, 247-249.
- (20) LEWIS A.H. et al. (1960). — A comparison of ley and arable farming systems. — *J. Agric. Sci.*, 54, 3, 310-315.
- (21) LOW A.J. (1955). — Improvements in the structural state of soils under leys. — *J. Soil Sci.*, 6, 179-199.
- (22) LOW A.J., F.J. PIPER et P. ROBERTS (1963). — Soil changes in ley-arable experiments. — *J. Agric. Sci.*, 60, 2, 229-238.
- (23) MILLER D.E. et W.D. KEMPER (1962). — Water stability of aggregates of two soils as influenced by incorporation of alfalfa. — *Agro. J.*, 54, 6, 494-496.
- (24) MONNIER G. (1957). — Influence de prairies temporaires sur la structure d'un sol de limon. — *C.R. Acad. Agric. France*, séance du 20 février 1957.
- (25) MONNIER G. (1958) — Influence du mode d'exploitation des prairies sur la profondeur de leur enracinement. Incidences sur l'amélioration de la structure et de la stabilité structurale du sol. — *C.R. Acad. Agric. France*, séance du 23 avril 1958.
- (26) MONNIER G. (1958) — Mécanisme de l'enrichissement en matières organiques d'un sol de prairie. — *C.R. Acad. Sci.*, 247, 1769-1777.
- (27) MONNIER G. (1958) — Etude de quelques problèmes posés par l'utilisation des prairies dans l'amélioration des propriétés physiques du sol. — *Bull. A.F.E.S.*, 7, 355-360.
- (28) MONNIER G. (1961). — La prairie et le sol. — *Fourrages*, 7, 59-73.
- 138 (29) MONNIER G. (1963). — Structure et stabilité structurale des sols.

- (30) MORTENSEN J.L. (1963). — Decomposition of organic matter and mineralization of nitrogen in Brookston silt loam and alfalfa green manure. — *Plant and Soil*, 19, 3, 374-384.
- (31) RICHARDSON H.L. (1938). — The nitrogen cycle in grassland soils : with special reference to the Rothamsted Park Grass Experiment. — *J. Agric. Sci.*, 28, 73-121.
- (32) ROE R. (1956). — Ley-farming. — *Proc. Austral. Soc. Animal Production*, 1.
- (33) RUSSELL J.S. (1960). — Soil fertility changes in the long-term experimental plots of Kybybolite, South Australia. 11. — Changes in pH, total nitrogen, organic carbon, and bulk density. — *Aust. J. Agric. Res.*, 11, 902.
- (34) RUSSELL J.S. (1960). — Soil fertility changes in the long-term experimental plots of Kybybolite, South Australia. 11. — Changes in phosphorus. — *Aust. J. Agric. Res.*, 11, 925.
- (35) TROUGHTON A. (1961). — The effect on the soil of the components and management of a ley. — *J. Brit. Grassl.*, 16, 1, 1-5.
- (36) WAID J.S. (1962). — Influence of oxygen upon growth and respiratory behaviour of fungi from decomposing rye-grass roots. — *Trans. Brit. mycol. Soc.*, 45, 4, 479-487.
- (37) WEHRLI A. (1958). — Untersuchungen über die Wirkung von Gräsern und Leguminosen auf die Bodenstruktur. — *Landw. Jahrb. Schweiz.*, 72, 747-790.
- (38) WHITE G.A. et A.R. SCHMID (1963). — Influence of certain forage grasses on the yield of the following crop. — *Agro. J.*, 55, 2, 191-192.
- (39) WIDDOWSON F.V., A. PENNY et R.J.B. WILLIAMS (1963). — Experiments comparing yield and residual effects on Winter wheat, of 1-year clover, rye-grass and clover-rye-grass leys. — *J. Agric. Sci.*, 61, 3, 397-408.
- (40) WILLIAMS C.H. et DONALD C.M. (1957). — Changes in organic matter and pH in a podzolic soil as influenced by subterranean clover and superphosphate. — *Aust. J. Agric. Res.*, 8, 179-189.
- (41) WILLIAMS C.H. et DONALD C.M. (1957) et LIPSETT J. (1960). — The build-up of available potassium under pasture. — *Aust. J. Agric. Res.*, 11, 473-484.
- (42) WILLIAMS C.H. et DONALD C.M. (1957) et STEINBERGS A. (1958). — Sulphur and Phosphorus in some eastern Australian soils. — *Aust. J. Agric. Res.*, 9, 483.
- (43) WILLIAMS T.E. (1959). — The ley in relation to crop productivity in *Measurement Grassl. Productivity*, 15-24.

- (44) WILLIAMS T.E. (1960). — Leys and subsequent arable productivity. — *J. Brit. Grassl.*, 15, 2, 189-194.
- (45) WILLIAMS T.E. (1964). — Ley Agronomy, in *Exp. in Progress*, 16, 1962-1963, 41.
- (46) WILLIAMS T.E., C.R. CLEMENT et A.J. HEARD (1960). — Soil nitrogen status of leys and subsequent wheat yields. — *Proc. 8th. Int. Grassl. Cong.*, 237-241.
- (47) WILLIAMSON W.T.H. et al. (1959). — Short and long ley rotations and soil structure in the north-east of Scotland. — *Meded Landbouwhogesb. Gent.*, 24, 1, 176-187.
- (48) X... (1961). — The measurement of the effect of leys on soils, in *Research Techniques in use at the Grassland Research Institute*, Hurley Bull. 45, Comm. Bur. Past. Field Crops, 103-109.
- (49) YATES F. (1949). — The design of rotation experiments. — *Comm. Bur. Soil. Sci. Tech. Comm.* 46.