

INTÉRÊT AGRONOMIQUE DES LÉGUMINEUSES

I. — INTRODUCTION

ON NE PEUT MANQUER D'ÊTRE FRAPPÉ EN CONSTATANT, AU COURS DES DERNIÈRES ANNÉES, UN AMENUISEMENT DES SURFACES CONSACRÉES AUX CULTURES PURES DE légumineuses prairiales.

SURFACE DES LÉGUMINEUSES EN FRANCE

(en milliers d'hectares)

<i>Années</i>	<i>Luzerne</i>	<i>Trèfle violet</i>	<i>Sainfoin</i>	<i>Total</i>
1950	1.410	1.181	423	3.014
1960	1.652	1.170	321	3.143
1968	1.318	786	83	2.187
1970	1.130	585	69	1.784

Sans doute conviendrait-il d'ajouter à ce tableau l'estimation des surfaces de prairies temporaires (2.325.000 hectares en 1972) qui associent souvent une légumineuse à une graminée.

Mais il est un fait, c'est qu'en France comme en Angleterre, ainsi que le notait PICARD (1975), la régression des légumineuses pures se poursuit et peut sans doute s'expliquer par divers motifs : peut-être glissement vers le ray-grass, le maïs ou les prairies de graminées pures, peut-être aussi réduction des surfaces fourragères et concentration du bétail dans des exploitations moins nombreuses ?

Sans cesser de s'interroger sur les causes du phénomène, il faut en apprécier les conséquences, non seulement immédiates, mais aussi pour l'avenir. À plus ou moins long terme, un tel abandon ne risque-t-il pas d'agir sur la fertilité des sols ? Très variables en importance selon les régions, ces cultures de légumineuses prairiales demeurent un précédent cultural traditionnel pour le blé (or, dans cette notion de tradition, n'oublions pas la qualité de « céréale noble » attribuée au blé). Dans près de 800 essais sur blés, au cours de trois années consécutives, nous verrons bientôt que le S.P.I.E.A. avait choisi dans 11 % des cas une légumineuse (luzerne, trèfle ou sainfoin). Ce chiffre doit assez bien se rapprocher de la moyenne française. Mais il serait injuste d'oublier qu'en certains cas ces mêmes prairies artificielles servent de précédent à des maïs, à des fourrages annuels, à des pommes de terre, voire même à des colzas ou des betteraves. Que représentent donc ces légumineuses en qualité de « précédent cultural » ?

II. — APPRÉCIATION GLOBALE SUR LA VALEUR DU PRÉCÉDENT « LÉGUMINEUSES »

La plupart des auteurs latins ont vanté l'intérêt et les bienfaits des légumineuses tant fourragères qu'à graines (fève, pois, luzerne). Ce fut, nous rappelle PFITZENMEYER, le cas de Varon, Caton, Virgile, Columelle, etc. Plus près de nous, Olivier de Serres recommande l'introduction de ces plantes améliorantes dans la succession des cultures. S'il fallut attendre la fin du XVIII^e siècle pour assister, avec leur extension spectaculaire, à une véritable révolution agricole et à la disparition de la jachère, divers auteurs récents ont cherché à analyser les causes et la valeur réelle de cet effet « précédent ».

4 Dès 1962, des enquêtes effectuées par le S.A.S. (Service d'Analyses Sols) de Gargenville et par la Fédération des C.E.T.A. furent étudiées et publiées

*Intérêt agronomique
des légumineuses*

par HENIN et par SEBILLOTTE. Vers la même époque, les résultats expérimentaux de Grignon (PEQUIGNOT et RECAMIER) donnèrent lieu à l'établissement d'un tableau à double entrée résumant les valeurs des rapports respectifs précédent-culture.

RÉSULTATS D'ENQUÊTES

(HÉNIN)

<i>Précédents du blé</i>	<i>Notation moyenne C.E.T.A.</i>	<i>Classement moyen S.A.S.</i>
Pomme de terre	1,9	1 ^{er}
Betterave sucrière	2,2	2 ^e
Luzerne	2,7	4 ^e
Colza	3	3 ^e
Féverole	3,3	—
Pois	3,7	—
Blé	5,8	5 ^e
Orge	5,7	6 ^e

VALEUR DES PRÉCÉDENTS

(E.N.S.A., Grignon)

<i>Précédents :</i>	<i>Blé</i>	<i>Orge</i>	<i>Maïs</i>	<i>Betterave</i>	<i>Pomme de terre</i>	<i>Lin</i>	<i>Colza</i>	<i>Luzerne</i>
<i>Cultures :</i>								
Blé	A.B.	M.	T.B.	B.	T.B.	B.	B.	T.B.
Orge	B.	B.	T.B.	B.	T.B.	T.B.	B.	T.B.
Maïs	B.	B.	T.B.	B.	T.B.	T.B.	B.	T.B.
Betterave	T.B.	T.B.	T.B.	M.		B.	B.	T.B.
Pomme de terre ..	B.	B.			M.			T.B.
Lin	B.	B.				M.		T.B.
Colza	A.B.	A.B.		T.B.			M.	
Luzerne	B.	T.B.			M.	T.B.		M.

On notera que, dans ce premier tableau, la luzerne est la seule plante se comportant comme un « très bon antécédent » à toutes les autres cultures.

Dans les résultats d'enquêtes auprès d'agriculteurs (HENIN), elle est également très bien située en troisième ou quatrième place sur huit. Les légères divergences d'appréciation entre ces trois sources ne doivent pas nous surprendre : les différences de soins ou de techniques culturales apparaissent comme en étant les causes déterminantes. Nous en trouverions confirmation dans d'autres résultats d'enquêtes.

L'examen objectif de ces divers renseignements conduit à croire en fait que la luzerne se situe au niveau des meilleurs précédents culturels. Peut-être même serait-elle, ainsi que le laissent entendre divers essais de rotation dont nous allons faire état, le meilleur des précédents du blé dans beaucoup de conditions de milieu.

Ce qui confirme dans ces divergences d'appréciation l'importance des techniques culturales c'est, à la fois, la tradition orale des agriculteurs (« la luzerne est un bon précédent, mais attention à l'enfouissement ») et surtout les résultats d'une étude entreprise à Lusignan par l'équipe de JACQUARD, CROISIER et LEFEVRE (1970) :

— il s'agissait d'étudier les diverses modalités d'enfouissement d'une prairie (dactyle + trèfle blanc) semée au printemps 1962, retournée pour moitié en juin 1966, pour moitié en août 1966 avec apport d'azote variable, tantôt nul, tantôt sur semis suivant, tantôt au retournement.

Deux cultures simultanées, blé ou maïs, permettaient d'apprécier les effets de ces traitements.

— Si le maïs de 1967 n'a pas montré de différence significative en raison d'un nivellement par la sécheresse — ce qui montre, et sera maintes fois redémontré, combien l'évolution d'un effet dépend des espèces choisies pour l'apprécier et des conditions climatiques ! — il n'en fut pas de même des divers traitements sur blé.

Selon ces auteurs, « l'accroissement de rendement sur un retournement précoce (2,8 quintaux/hectare de différence) est le résultat le plus intéressant et aussi le plus original du travail. Cependant, il est évident que c'est surtout l'azote apporté au semis qui a manqué, entraînant par exemple une augmen-

tation moyenne des exportations de 16,5 kg/ha pour les 50 semis sur les traitements recevant cet azote au semis (28 novembre 1966).

Tout ceci (et nous en verrons bientôt la confirmation dans la comparaison des systèmes culturaux de Toulouse) met donc la luzerne (et sans doute les autres légumineuses les plus productives) au premier rang des précédents culturaux.

Dans son article publié dans la revue *Fourrages* de juin 1975, PICARD attire l'attention sur les causes multiples — et leurs interactions — susceptibles d'expliquer cette haute valeur de précédent cultural : action sur la structure et la stabilité de structure du sol, apport de matière organique, action sur la microfaune, fourniture d'azote, etc.

Afin de mieux connaître la valeur réelle et l'intérêt agronomique des légumineuses, il nous paraît nécessaire d'approfondir ces divers points.

III. — EFFET DES LÉGUMINEUSES

SUR LES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET BIOLOGIQUES DU SOL

1) Structure et stabilité de structure :

Déjà, en 1962, deux auteurs américains, MILLER et KEMPER, avaient signalé l'accroissement des agrégats stables à l'eau après un retournement de luzerne.

Dans sa thèse de 1965, MONNIER découvrait l'effet « non mouillant » lié aux fermentations sur place, au contact du sol, et concluait que cet effet de protection des agrégats était d'autant plus brutal que les fermentations étaient rapides et le produit initial riche en azote, sans qu'il y eût d'effet spécifique de l'espèce végétale.

Cependant, ce même auteur notait qu'en raison, selon lui, de sa densité d'enracinement beaucoup plus faible que celle des graminées prairiales, la luzerne, après trois ans de culture dans les limons de Versailles, n'agissait que fort peu sur la stabilité structurale au moment du retournement et n'exerçait à ce point de vue-là, six mois plus tard, qu'un arrière-effet négligeable.

STABILITE AU BENZENE Agb %

(MONNIER, Versailles)

	<i>Au moment du retournement</i>	<i>Six mois après</i>
Témoin	2,9	2,8
Luzerne	3,1	3,3

MONNIER notait cependant une amélioration de la structure par l'influence des racines ou de la faune du sol dont elle favorise le développement et observait dans le sous-sol des luzernières des perforations verticales, anciens trajets des pivots, et portant nettement les traces de décomposition de ces racines.

Lorsqu'on parle de système « sol-racines », il est impossible de ne pas évoquer les travaux très originaux de BUI HUU TRI et de MONNIER (1968 et 1973) sur la granulation du sol sous prairie. Il s'agissait d'expliquer la présence d'une structure granulaire sous des prairies de graminées et les auteurs concluaient ainsi : « Lorsqu'une terre est fissurable, les alternances d'humectations et de dessiccations différentielles favorisées par le fonctionnement du système racinaire peuvent déclencher la granulation, qui varie alors en intensité suivant le rapport argile/limon et le taux de matières organiques, et en finesse en fonction du log (matières organiques) et de la longueur volumique des racines. »

Or les observations culturales sont unanimes à démontrer combien, en particulier sur terrains argileux, la structure se trouve améliorée par la présence d'une légumineuse, trèfle ou luzerne. Dans quelle mesure le schéma trouvé par BUI HUU TRI ne peut-il aussi s'appliquer aux racines de légumineuses ? Et que représente le système racinaire d'une luzerne par rapport à celui d'autres cultures et notamment des graminées fourragères ?

Voici à ce sujet quelques chiffres empruntés à MAERTENS et à BLANCHET (1974) pour quelques cultures non irriguées.

Profondeur (cm)	Longueurs et distances moyennes entre racines						Distance moyenne entre racines	
	Luzerne en sec		Soja en sec		Tournesol en sec		Fétuque élevée	
	Longueur (m)	Distance moyenne (cm)	Longueur (m)	Distance moyenne (cm)	Longueur (m)	Distance moyenne (cm)	Profondeur (cm)	Distance moyenne (cm)
0- 25	39,00	0,62	18,00	1,10	8,1	1,30	0- 25	0,18
25- 50	18,00	0,90	2,05	2,75	2,4	2,46	25- 50	0,55
50- 80	6,70	1,45	1,90	2,75	1,7	2,91	50- 75	0,93
80-110	2,30	2,50	0,50	5,30	1,0	3,71	75-120	3,40
110-140	2,50	2,30	1,00	3,85	0,6	5,25		
140-170	0,12	11,15						
170-200	0,24	7,75						

Contrairement à une opinion souvent admise, l'enracinement d'une luzerne (et à plus forte raison d'un trèfle) ne se limite point à quelques pivots. La densité de radicelles fines en surface, bien inférieure certes à celle d'une graminée prairiale, demeure comparable à celle que l'on trouve sur n'importe quelle culture annuelle. En outre, à partir d'une certaine profondeur (0,70 m à 0,80 m), la colonisation racinaire de la légumineuse efface toutes les autres.

L'examen objectif d'un système racinaire de luzerne permet — c'est là l'opinion d'un spécialiste tel que MAERTENS — d'assurer que d'une manière générale les légumineuses de prairie exercent sur le sol des effets améliorants absolument comparables — peut-être même supérieurs — à ceux des graminées. Ces effets sont liés à des mécanismes déjà connus mais qui n'agissent pas dans les mêmes proportions que pour les graminées ni dans les mêmes horizons.

a) Nous retrouvons le phénomène de granulation décrit par BUI HUU TRI. Il est possible que dans le détail cet affinement de la structure varie selon les types de sols. Il s'agit souvent (CUADRADO, BLANCO et BUI HUU TRI, 1974) d'une fissuration et d'un affinement progressif à partir d'une structure continue au départ. Cette dernière étude, en sol sableux donc peu propice à la granulation, indiquait cependant pour la luzerne une efficacité certaine, même dans les horizons de surface.

VARIATION DE POROSITÉ TOTALE (en %)
 EN FONCTION DU TEMPS ET DES ESPÈCES FOURRAGÈRES

Période de prélèvement	Témoin nu		<i>Phalaris tuberosa</i>		<i>Lolium perenne</i>		<i>Dactylis glomerata</i>		<i>Medicago sativa</i>	
	0 à 6 cm	6 à 12 cm	0 à 6 cm	6 à 12 cm	0 à 6 cm	6 à 12 cm	0 à 6 cm	6 à 12 cm	0 à 6 cm	6 à 12 cm
8 mois	40,68	39,92	44,87	40,68	44,49	40,68	41,06	42,97	44,11	40,68
14 mois	40,30	40,30	46,77	46,01	44,87	41,06	44,11	44,86	45,63	43,73
26 mois	42,21	42,21	48,29	46,39	50,57	48,67	48,29	47,15	46,77	46,39

Les auteurs ont d'ailleurs noté que si la luzerne apparaissait, en gros, inférieure aux graminées, son effet en profondeur était très notable, ce qui suggérerait une orientation plus marquée sur la structure des horizons profonds.

b) A cet effet de dessiccation localisée autour du cheminement des racines, par suite des bilans hydriques, doit s'ajouter, dans le cas des légumineuses prairiales, l'action d'une fermentation sur place. Ainsi que le montrera une étude de JACQUARD, CROISIER et MONNIER, les racines de légumineuses — généralement moins durables que celles de graminées pérennes comme le dactyle, par exemple — s'avèrent très fermentescibles et commencent à se décomposer peu après l'installation de la prairie, ceci tenant, notamment, à leur composition chimique. Ces fermentations doivent induire localement un échauffement et la formation de polyuronides microbiens agissant sur la stabilité.

c) Au phénomène de dessiccation localisée s'ajoute un dessèchement général de la masse de terre exploitée, faisant apparaître des réseaux de fissures et accroissant la vie microbienne du sol. Ceci est vrai chaque fois qu'une masse végétale importante est capable de transpirer et notamment en période automnale. Mais plusieurs détails accentuent ce mécanisme dans le cas des luzernes :

— prélèvement par des racines profondes capables de procurer, entre 0,60 m et 1,20 m, le tiers ou la moitié de l'eau nécessaire à la culture (MAERTENS et CABELGUENNE, 1971) ;

- microréseau de drains, constitué par les pivots et grosses racines de la luzerne, qui facilite la circulation de l'eau aussi bien dans le sens latéral que vertical ;
- importance considérable de la faune du sol, vers de terre en particulier. Cette présence n'est certes pas spécifique aux légumineuses, mais il semble bien, si l'on en croit la simple observation, que la masse et la composition des déchets racinaires des luzernes soient propices à leur multiplication.

En tout cas, il est apparent, connu, reconnu qu'après une luzerne le sol, desséché et déjà fissuré, se « défait » facilement sous l'action des outils culturaux. Nous pourrions sans doute citer à l'appui de cette remarque les frais de traction observés pour établir un blé derrière divers précédents. Ces chiffres, établis à Toulouse par MARTY et HILAIRE, sont exprimés en équivalents quintaux/hectare de maïs.

FRAIS DE TRAVAUX DU SOL

(MARTY et HILAIRE)

<i>Culture</i>	<i>Précédents</i>	1970	1971
Blé tendre	Luzerne	2,11	1,94
	Fétuque	2,50	2,30
	Sorgho	2,50	2,30
	Tournesol	2,32	2,13

d) MONNIER notait en 1968 l'influence des conditions de séchage des terres sur leur stabilité structurale. En 1968, également, SEBILLOTTE observait, au champ, l'importance du « passé hydrique » des parcelles vis-à-vis de leur stabilité structurale au benzène et l'heureux effet de prairies restant en place suffisamment longtemps pour dessécher le sol en été. Le mécanisme semble imputable à un changement de structure des matériaux organiques entraînant une non-mouillabilité accrue. Tout semble particulièrement réuni dans le cas des luzernes pour agir aussi en vertu de cet artifice.

Pour preuve de ce dessèchement profond et de cette amélioration lointaine de la structure, MAERTENS observe à Toulouse, dans l'essai de rotation, les enracinements de blé les plus profonds derrière le précédent luzerne.

e) Au total, il apparaît dans le cas des légumineuses, difficile de séparer l'action « structure » de l'effet « stabilité structurale », ne serait-ce, aussi, qu'en raison de la fermentescibilité plus grande des résidus.

L'un des essais pluriannuels effectué à Lusignan par JACQUARD, MONNIER et CROISIER (1970) nous paraît particulièrement instructif à ce point de vue.

Une phase préparatoire de trois ans portait les cultures suivantes : dactyle pur, dactyle + trèfle blanc, trèfle blanc pur, dactyle porte-graines, rotation triennale (maïs, blé, orge) avec ou sans azote. La phase d'évaluation commençait à l'automne 1964, après l'orge ou le retournement des prairies, et se poursuivait sur trois ans avec deux rotations possibles :

- soit : maïs, blé, avoine ;
- soit : blé, maïs, avoine.

Ce qui apparaît déterminant dans les résultats observés par ces auteurs, c'est la quantité d'azote libérée et à laquelle les diverses cultures ont réagi différemment : le blé a des besoins plus précoces que le maïs et la suite des séquences de fourniture d'azote, en raison du tallage, y apparaît plus déterminante. Aussi, en première année, le blé réagit-il mieux que le maïs au reliquat d'azote laissé par le trèfle blanc. Sur les deux premières années d'évaluation, les exportations totales (total de matière sèche/hectare) font apparaître nettement la supériorité du précédent trèfle blanc pur ou trèfle blanc associé, la succession maïs/blé apparaissant supérieure à blé/maïs dans cette série de deux ans.

EXPORTATIONS TOTALES

(matière sèche/hectare)

(JACQUARD, CROISIER, MONNIER)

Précédents	Rendements de la phase préparatoire	Succession (blé-maïs)			Succession (maïs-blé)		
		Blé	Maïs	Total	Maïs	Blé	Total
Dactyle pur	22,38	5,385	9,812	15,197	9,985	3,854	13,839
Dactyle à graines	19,46	5,268	9,946	15,214	9,973	3,154	13,127
Dactyle + trèfle blanc ..	18,76	5,526	10,449	15,975	10,861	3,583	14,444
Maïs, blé, orge avec N..	15,36	3,251	9,722	12,973	9,777	2,461	12,238
Trèfle blanc	11,93	7,802	10,302	18,104	10,772	3,350	14,122
Maïs, blé, orge sans N..	6,65	2,052	9,248	11,300	8,639	1,817	10,456
Moyenne				14,793			13,036

L'effet favorable des précédents avec légumineuse semble persister, bien que très faible en troisième année, mais les notations effectuées pendant la phase préparatoire (1962-1964) nous paraissent tout aussi intéressantes que les résultats des effets et arrière-effets et susceptibles de les mieux faire comprendre.

La stabilité structurale pendant cette phase préparatoire a augmenté très nettement sous trèfle blanc, alors qu'elle n'a pas bougé sous les autres précédents, ce qui indique un apport important de matériaux très fermentescibles. Les prairies de graminées ou de graminées associées, dont les racines sont plus difficiles à décomposer, ne donneront le maximum de stabilité structurale que deux ans après le retournement. Ceci est en accord avec l'augmentation du taux de carbone lié, beaucoup plus forte sous trèfle blanc que sous les autres prairies.

ÉVOLUTION DU CARBONE LIBRE ET DU CARBONE LIÉ EN PHASE PRÉPARATOIRE

	<i>Dactyle + trèfle blanc</i>	<i>Dactyle à graines</i>	<i>Dactyle pur</i>	<i>Trèfle blanc</i>	<i>Maïs, blé, orge</i>
C ‰ total	17,87	17,28	18,12	18,02	16,20
C ‰ libre/témoin	+ 0,97	+ 0,59	+ 1,12	+ 0,54	—
C ‰ lié	16,18	15,97	16,28	16,76	15,48
C ‰ lié/témoin	+ 0,70	+ 0,49	+ 0,80	+ 1,28	—

2) Résidus organiques et bilan humique.

L'élévation de taux du carbone total dans la parcelle trèfle blanc place celui-ci à un rang moyen (à rapprocher d'ailleurs de la quantité de matière sèche produite pendant cette phase préparatoire). Si l'on considérait des prairies de trèfle violet ou de luzerne, et pour des durées identiques, on obtiendrait très certainement des poids de résidus culturaux absolument comparables à ceux des meilleures prairies temporaires à base de graminées. Les résultats expérimentaux de Lusignan indiquent, pour luzerne et trèfle violet, des rendements en matière sèche/hectare de 15 à 18 tonnes, absolument comparables au potentiel des graminées les plus productives (fétuques, ray-grass, dactyles). Il n'y a donc aucune raison de penser que les racines laissées par ces bonnes légumineuses soient moins abondantes que celles des graminées, au moins si leur période d'utilisation est aussi longue.

Les évaluations en ce domaine sont assez anciennes mais les essais de rotations dont il sera question confirment le gros apport de matière organique des légumineuses : HEBERT (1959) estime qu'une luzerne de trois ans apporte 3.200 kg/ha d'humus stable.

Pour une luzerne de deux ans, GOUERE cite :

- 5 tonnes/hectare de matière sèche pour les racines ;
- 3 tonnes/hectare de matière sèche pour les résidus ;
- et 3 tonnes/hectare de matière sèche pour la dernière coupe.

FOUSSARD parle de 8 tonnes/hectare de racines et résidus pour une luzerne de deux ans et de 6 tonnes/hectare pour un trèfle violet. HENIN évalue ces restitutions à 4,5 tonnes/hectare pour une luzerne de deux ans mais les auteurs russes sont plus généreux : KONONOVA estime que, selon les régions de culture, la luzerne laisserait de 6,6 à 17 tonnes/hectare de résidus et BELYAKOVA cite 17 tonnes/hectare derrière une association luzerne + graminées.

En définitive, il n'est pas douteux qu'à l'action spectaculaire mais superficielle des graminées prairiales sur le sol correspond une action des légumineuses au moins égale, mais peut-être diluée sur une plus grande profondeur.

Qu'il s'agisse de bilan humique ou d'action sur la porosité et la structure, ou d'effet sur la stabilité structurale, les trèfles et luzernes s'avèrent largement comparables aux dactyles ou ray-grass, même si les modalités de leur action ne sont pas parfaitement superposables. Une étude objective de cette comparaison conduirait sans doute à préciser les types de milieux culturaux dans lesquels l'une ou l'autre de ces deux familles révèle le plus manifestement son apport.

IV. — EFFET ET ARRIÈRE-EFFET AZOTÉ DES LÉGUMINEUSES

La fixation gratuite d'azote par les Rhizobies conduit à s'interroger sur les bénéfices que peut en tirer l'agriculteur. Ces économies d'azote peuvent s'exercer, soit pendant la durée de la légumineuse s'il y a des graminées associées, soit après son retournement pour les cultures qui suivront et ce pendant plusieurs années.

1) Effet sur les graminées associées.

Au Pin-au-Haras (Orne), TEILHARD de CHARDIN et LAISSUS avaient déjà montré, dans le cas d'associations dactyle-trèfle blanc, que la légumineuse procurait des suppléments de production, en l'absence d'azote, de l'ordre de 2 tonnes/hectare de matière sèche. Plus récemment (1975),

PLANCQUAERT a étudié systématiquement les fertilisations azotées sur diverses associations :

- Sur treize résultats, le rendement d'une graminée recevant 200 unités d'azote est généralement équivalent à celui d'une association graminée + trèfle blanc n'en recevant que 100 (ceci sans parler de l'amélioration de qualité du fourrage). Notons par ailleurs qu'il y a peu de trèfle blanc lors des exploitations précoces, ce qui doit inciter à apporter l'engrais azoté surtout en début de printemps.

	<i>Fétuque élevée</i>	<i>Dactyle</i>
Graminée pure	13,9 t/ha de M.S.	11,8 t/ha de M.S.
Association	13,6 t/ha de M.S.	12,5 t/ha de M.S.

Dans les mêmes conditions de réduction de 100 unités d'azote, l'association ray-grass-trèfle violet permet à PLANCQUAERT, sur douze résultats, d'obtenir un rendement identique au ray-grass seul.

<i>Culture</i>	<i>Ray-grass d'Italie</i> 200 N (t de M.S.)	<i>Ray-grass d'Italie + trèfle violet</i> 100 N (t de M.S.)	<i>Trèfle violet</i> 0 N (t de M.S.)
<i>Dose d'azote</i>			
1 ^{re} année	15,4	14,7	12,2
2 ^e année	11,5	11,5	8,4
3 ^e année	7,9	8,2	0,0
Moyenne	12,3	12,1	8,3

La même constatation est faite sur les associations (graminée + luzerne), puisque sur neuf résultats, la productivité s'y avère supérieure ou équivalente (et avec une teneur supérieure en protéines) à celle des graminées pures recevant 200 unités au lieu de 100.

<i>Luzerne</i> 0 N	<i>Fétuque élevée</i> 200 N	<i>Fétuque élevée</i> + <i>luzerne</i> 100 N	<i>Dactyle</i> 200 N	<i>Dactyle</i> + <i>luzerne</i> 100 N
13,9	14,4	15,4	11,6	15,3

En résumé, dans la plupart des conditions françaises, l'adjonction d'une légumineuse semble apporter à l'association l'équivalent d'une centaine d'unités d'azote (un peu plus même dans le cas de la luzerne).

2) Arrière-effet azoté.

La nécessité de réduire les apports d'azote sur les cultures qui suivent les légumineuses est connue depuis longtemps. Voici les estimations de LYON et BIZZEL, citées par PFITZENMEYER et datant de 1933.

<i>Légumineuse</i> <i>précédant</i> <i>la céréale</i>	<i>Azote récolté</i> <i>(en kg)</i>		<i>Bilan de l'azote</i> <i>dans la rotation</i> <i>(en kg/ha)</i>	<i>Rendements</i> <i>de grains</i> <i>de la céréale</i> <i>suivante</i> <i>(en q/ha)</i>
	<i>dans la</i> <i>légu-</i> <i>mineuse</i>	<i>dans la</i> <i>céréale</i> <i>suivante</i>		
Luzerne	335	75	+ 137	29,1
Trèfle	140	57	+ 129	24,4
Mélicot	190	57	+ 94	23,7
Soja	197	32	— 9	14,8
Féverole	115	28	— 22	13,3

Plus récemment (1961) WILLIAMS, CLEMENT et HEARD, étudiant l'influence du mode d'exploitation des prairies sur le rendement du blé qui suit et observant le meilleur comportement derrière luzerne, concluaient que l'accroissement était essentiellement dû à l'apport d'azote au sol par les légumineuses. A Rothamsted, BOYD (1961) confirme que le rendement du blé est proportionnel au pourcentage de légumineuses dans la prairie précédente.

Enfin, toujours à la même époque (1961), les essais de Grignon montrent que la luzerne améliore les rendements du blé suivant, malgré une fertilisation azotée plus faible que derrière graminées.

<i>Précédent cultural pendant les trois années antérieures</i>	<i>Rendement du blé</i>	<i>Apport d'azote sur blé</i>
Dactyle-luzerne	54,8	70 N le 13-3 - 40 N le 14-4
Luzerne	52,5	70 N le 13-3 - 40 N le 14-4
Dactyle	45,7	100 N le 13-3 - 40 N le 14-4

Plus petite différence significative : 4,7.

Plus proches de nous et plus détaillés, divers essais permettent de mieux connaître cet arrière-effet azoté :

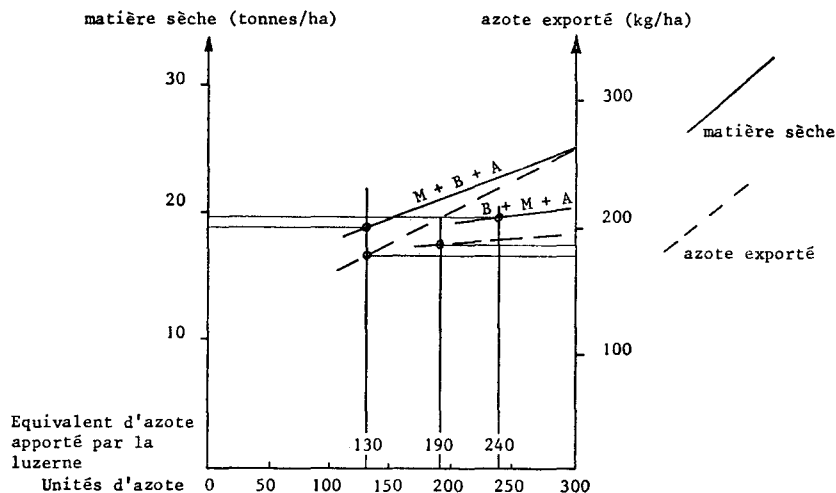
a) *Essais S.P.I.E.A.*

Il s'agissait d'essais annuels sur blé, intéressants par leur grand nombre et leur diversité. Pour les trois années successives (1966, 1967 et 1968) et sur 717 essais au total, le précédent luzerne, trèfle ou sainfoin était présent dans 82 cas, soit 11 % environ. Les meilleurs résultats étaient enregistrés sur betterave et pomme de terre, puis sur maïs, les légumineuses étant placées en quatrième position avant colza, céréales secondaires et blé. Compte tenu de la moindre productivité de l'azote lors d'un précédent « légumineuse » (environ 10 kg de blé/kg de N, contre 15 kg environ dans la plupart des autres cas), le S.P.I.E.A. conseillait de réduire la fertilisation azotée d'environ 20 unités par rapport au premier groupe.

b) *Essai pluriannuel de JACQUARD, CROISIER et MONNIER (1969).*

Installé également à Lusignan, cet essai comportait une phase préparatoire de trois ans avec soit luzerne, soit maïs-grain sans azote. La phase d'évaluation maintenue en 1965, 1966, 1967 différenciait deux rotations : maïs-blé-avoine et blé-maïs-avoine et ce avec diverses doses d'azote en culture. Les parcelles à précédent luzerne ne recevaient pas d'engrais azoté.

Les résultats sont partiellement représentés dans le graphique ci-après. Ils montrent que l'évaluation des arrières-effets de la luzerne dépend du choix des cultures et des techniques culturales appliquées.



Dans le cas de la rotation maïs-blé-avoine (qui a, au total de production de matière sèche, donné les meilleurs résultats) cet arrière-effet est apparu sur les trois années et a correspondu en définitive à l'apport de 130 unités/hectare d'azote. Compte tenu des résultats observés, on pourrait les répartir approximativement comme suit :

- Première année : sur maïs environ 80 kg
- Deuxième année : sur blé environ 35 kg
- Troisième année : sur avoine environ 15 kg

Il est plus difficile, compte tenu des modalités de fertilisation de la deuxième rotation, d'ébaucher ce genre de répartition. Dans le cas de la rotation blé-maïs-avoine, l'équivalence en engrais azoté de la luzerne apparaît théoriquement plus élevée : 190 unités si l'on se fixe sur l'azote exporté par la végétation, 240 unités si l'on se rapporte à la matière sèche produite. Mais en fait, ce genre d'assimilation n'est pas d'une parfaite rigueur scientifique.

c) *Essai permanent de Crouelle (GACHON).*

C'est un essai établi près de Clermont-Ferrand, en sol de Limagne, profond et riche en matière organique, et destiné à comparer divers systèmes culturaux.

Deux rotations sur six ans ne diffèrent que par l'absence (remplacée par betterave + blé) ou la présence d'une luzerne de deux ans. Elles reçoivent divers traitements : apports systématiques ou pas d'engrais verts, restitutions ou pas de pailles, de pailles + azote, ou encore d'azote minéral seul.

Enfin, le dispositif permet, par subdivision, de faire varier à l'intérieur d'un traitement un paramètre tel que l'azote, par exemple.

Ce n'est qu'à partir de 1963-1964 que les deux rotations A et B ont été effectivement distinguées. Dès 1966-1967, l'effet rotation apparaît significatif.

Selon GACHON, ces premiers résultats montrent une réaction beaucoup plus nette des céréales au précédent luzerne, sans doute en fonction de l'azote minéral fourni aux cultures : tout se passe comme si « l'inclusion de la luzerne procurait un supplément de N minéralisé pendant ou à la sortie de chaque hiver et capable de mieux satisfaire les besoins précoces et intenses des céréales. L'effet favorable de ce supplément serait marqué sur le maïs par l'importante minéralisation de l'azote humique qui intervient au printemps et en été dans ces sols profonds et riches en matière organique ». On note donc ici un comportement des cultures très différent de ce qui avait été observé à Lusignan en sol limoneux beaucoup moins riche en matière organique.

Par ailleurs :

- l'effet rotation s'accompagne d'interactions négatives vis-à-vis des engrais verts et aussi vis-à-vis de l'azote minéral, ce qui confirme le rôle joué par la fourniture d'azote lors d'un précédent luzerne ;
- les arrière-effets de la luzerne se font sentir de façon variable d'une culture à l'autre mais sont perceptibles sur toute la durée de la rotation.

Ainsi, en 1968 (orge de printemps derrière blé d'hiver), « l'efficacité azote » de l'antéprécédent luzerne ressortait approximativement à 25 unités d'azote. Par contre, en 1971 (blé), le précédent luzerne semblait procurer plus de 120 unités d'azote.

Enfin, en 1972-1973 (blé derrière maïs), l'effet rotation (c'est-à-dire la présence ou l'absence d'une luzerne dans la rotation) procurait au blé 7,75 q/ha de plus, soit l'équivalent d'environ 50 unités d'azote.

Il apparaît impossible, à travers ces essais permanents, de donner un chiffre précis à l'« équivalence azote » de la luzerne. Non seulement le type de sol, la culture et l'année climatique jouent un grand rôle, mais il faudrait aussi pouvoir tenir compte des arrière-effets des cultures qui remplacent la luzerne ainsi que des différences de minéralisation et de stockage de l'azote qui peuvent intervenir dans les deux types de rotation.

COMPARAISON DES DEUX ROTATIONS, TOUS AUTRES PARAMÈTRES CONFONDUS

(GACHON, 1973-1975)

Cultures	Rotation sans luzerne	Rotation avec luzerne	Différence
	Rendements (en q/ha)	Rendements (en q/ha)	
1960-1961 Maïs	56,4	61,6	+ 5,1
1961-1962 Blé d'hiver	61,4	61,8	+ 0,4
1962-1963 Orge de printemps.	46,7	48,3	+ 1,6
1965-1966 Maïs	84,4	82,3	- 2,1
1966-1967 Blé d'hiver	53,4	63,1	+ 9,7**
1967-1968 Orge de printemps.	53,1	60,1	+ 7,0*
1970-1971 Blé d'hiver	39,8	56,6	+ 16,8***
1971-1972 Maïs	76,4	72,8	- 3,6*
1972-1973 Blé d'hiver	62,2	70,0	+ 7,2***

*S (significatif) **HS (hautement significatif) ***THS (très hautement significatif)

Enfin, grâce à des dosages de l'azote minéral en fin d'hiver et après récolte, destinés à évaluer le besoins de la culture, GACHON a pu obtenir des renseignements précieux sur l'activité biologique du sol. La présence de luzerne dans la rotation semble provoquer une surminéralisation printanière de l'ordre de 15 à 30 kg/ha, alors qu'au 12 mars les quantités d'azote minéral dans le sol sont identiques.

d) *Essai permanent de Toulouse.*

Cet essai compare divers systèmes culturaux en sec ou en irrigué. Les premiers résultats publiés par MARTY et HILAIRE indiquent que le blé après luzerne vient en tête, suivi par le blé derrière maïs ou derrière fétuque, puis par le blé derrière sorgho.

RENDEMENT DU BLÉ SELON LE PRÉCÉDENT
(MARTY, HILAIRE, 1969-1972)

<i>Précédents</i>	<i>En sec</i>	<i>Irrigué</i>
Tout confondu	31,8	31,5
Maïs	30,4	32,0
Sorgho	28,6	31,3
Fétuque	31,3	29,8
Luzerne	35,3	33,3

Toutes les légumineuses ne sont pas toutefois aussi intéressantes que la luzerne comme fournisseur d'azote. Les premiers résultats semblent montrer que les cultures derrière soja ne bénéficient pratiquement pas de reliquat azoté.

V. — **LÉGUMINEUSES ET ÉTAT SANITAIRE DES CULTURES**

La spécificité relativement étroite des champignons parasites des graminées (septoriose, piétin verse, piétin échaudage, ergot, oïdium, rouilles, etc.) fait que les légumineuses se révèlent incapables de les transmettre ou de favoriser leur propagation.

Divers auteurs ont cité l'intérêt d'interrompre les rotations céréalières en introduisant pendant plusieurs années des légumineuses.

JACQUARD et autres chercheurs, déjà cités, ont noté la recrudescence de piétin échaudage dans les céréales succédant à la rotation maïs-blé-orge de la phase préparatoire. Une année d'interruption ne suffit pas toujours et des intervalles de deux à trois ans au moins ont été conseillés par divers auteurs.

Le poids de la lutte anticryptogamique redonne donc un intérêt certain aux cultures de légumineuses pures pour « couper » une rotation céréalière. De plus en plus, le sol n'est travaillé que superficiellement avant les semis de céréales. Cet intérêt ne peut donc qu'être accentué.

VI. — CONCLUSIONS

L'intérêt croissant manifesté pour les cultures de céréales, aussi bien blé que maïs, vaut bien que l'on s'interroge sur la meilleure manière d'en tirer profit. Il est amplement démontré qu'une culture ne peut être séparée du système cultural dans lequel elle est incluse. Les divers essais dont il vient d'être fait état confirment la haute valeur universelle des légumineuses comme précédent cultural. Peut-être leur effet bénéfique a-t-il été oublié ou négligé à tort. S'il est démontré — et la très récente étude de JACQUARD dans la revue *Fourrages* de septembre 1975 le rappelle fort justement — que les conditions climatiques de l'année ainsi que l'espèce végétale choisie modifient beaucoup l'effet que l'on peut attendre d'un précédent cultural, tout le monde est unanime, et dans des régions diverses, à reconnaître le grand intérêt des légumineuses dans un assolement :

- l'amélioration de la structure, particulièrement en profondeur, avec pour corollaire une préparation du sol plus facile et un enracinement meilleur pour la culture suivante ;
- l'apport d'une masse importante de résidus particulièrement fermentescibles et qui semblent activer la vie microbienne du sol ;
- l'interruption du cycle des parasites propres aux graminées ;
- la fixation gratuite d'azote dont profite en particulier l'ensemble de la rotation.

Deux de ces points méritent un instant de réflexion à notre époque dévoreuse d'énergie. Il s'agit du travail du sol plus facile et de l'économie d'énergie azotée.

Il est certain que l'état structural derrière luzerne permet l'implantation facile de n'importe quelle culture. Rappelons à ce propos quelques chiffres cités récemment par HENIN :

Litres de fuel par hectare nécessaires pour une culture de blé :

— Labour, hersage, semis	47	litres/ha
— Travail minimal	33	litres/ha
— Semis direct, y compris l'énergie incluse dans les herbicides	18,5	litres/ha

Mais le « poste » engrais et engrais azoté apparaît encore beaucoup plus lourd que le travail du sol comme l'indiquent diverses études américaines ou françaises. Toujours citées par HENIN, voici quelques comparaisons qui donnent à réfléchir.

ÉNERGIE CONSOMMÉE

(en mégajoules/hectare)

	<i>Blé d'hiver</i>	<i>Luzerne</i>	<i>Ray-grass anglais</i>
Engrais azotés	8.000 (98 N/ha) (1)	0	29.000 (350 N/ha) (1)
Engrais phosphatés	750	700	890
Engrais potassiques	400	1.100	425
Herbicides	150	95	0
Pesticides	0	95	0
Travaux mécaniques	1.250	825	850
Total	10.550	2.815	31.165

(1) Ces doses d'azote correspondent aux potentialités de la plante telles que SPEDDING les a estimées dans les conditions britanniques.

Selon la revue américaine *Span*, l'énergie nécessaire pour produire 1 kg d'élément fertilisant est:

- pour l'azote de 19.200 calories
- pour l'acide phosphorique 2.880 calories
- pour la potasse 1.920 calories

Une culture de luzerne ou de trèfle va laisser en définitive entre 120 et 150 kilos d'azote au moins, soit 10 à 12.000 mégajoules (dont bénéficieront les cultures suivantes), donc plus que ce que nécessite en moyenne le total d'une culture de blé sur un hectare !

Ainsi, à toutes leurs qualités d'excellent précédent cultural, les légumineuses ajoutent, par leur simple introduction dans un assolement, un merveilleux moyen de capter l'énergie gratuite qui nous entoure. Elles méritent donc, tant sur le plan de la valeur agronomique que pour préserver des réserves naturelles trop souvent gaspillées, de rencontrer un très vif intérêt. C'est cet intérêt que nous avons cherché à justifier.

J. DUTHIL,

Professeur à l'E.N.I.T.A. de Bordeaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- BUI HUU TRI (1968) : « Dynamique de la granulation des sols sous prairie », *Annales Agronomiques*, vol. 19-4.
- BUI HUU TRI et MONNIER (1973) : « Etude quantitative de la granulation des sols sous prairie de graminées », *Annales Agronomiques*, vol. 24-4.
- CUADRADO, BLANCO et BUI HUU TRI (1974) : « Etude de la granulation d'un sol sableux en relation avec les espèces fourragères », *Annales Agronomiques*, vol. 25-4.
- GACHON (1973) : « Influence du système cultural sur l'économie de l'azote en sol argilocalcaire de Limagne », *Science du sol*, n° 3.
- GACHON (1975) : *Participation des légumineuses au bilan de l'azote en sol argilocalcaire de Limagne.*
- HENIN, FEODOROFF, GRAS et MONNIER (1960) : *Le profil cultural.*
- HENIN et SEBILLOTTE (1962) : « Si nous parlions « assolement » ? », *Bulletin des C.E.T.A.*, étude n° 783.
- HENIN et BOSQUET (1964) : « Relation entre le comportement des sols et leur texture », *Comptes rendus des séances de l'Académie d'Agriculture de France*, 842, 846.
- JACQUARD, CROISIER et MONNIER (1969) : « Effets résiduels de la luzerne sur blé et maïs », *Annales Agronomiques*, vol. 20-4.
- JACQUARD, CROISIER et MONNIER (1970) : « Effets résiduels de différents précédents sur les séquences de cultures arables », *Annales Agronomiques*, vol. 21-1.
- JACQUARD, CROISIER et MONNIER (1970) : « Etudes des effets résiduels des cultures fourragères sur les cultures arables », *Annales Agronomiques*, vol. 21-3.
- JACQUARD, CROISIER et LEFEVRE (1970) : « Influence des modalités de retournement d'une prairie sur les performances d'un blé et d'un maïs », *Annales Agronomiques*, vol. 21-4.
- LYON et BIZZEL (1960) : *Journal of American Society of Agronomy*, 25-266.
- MAERTENS et CABELGUENNE (1971) : « Influence de l'irrigation sur les modalités d'utilisation de l'eau par diverses cultures », *Comptes rendus des séances de l'Académie d'Agriculture de France*, n° 11, 920-949.
- MAERTENS, BLANCHET et PUECH (1974) : « Régimes hydriques, systèmes racinaires et modalités d'alimentation en eau », *Annales Agronomiques*, 25-4.

- MARTY et COURAU (1969) : « Influence du système de culture sur l'écoulement de l'eau dans un sol mal structuré », *Annales Agronomiques*, vol. 20-4.
- MARTY et HILAIRE (1974) : *Références technico-économiques* (2 opuscules), I.N.R.A., Station d'Agronomie de Toulouse.
- MILLER et KEMPER (1962) : *Agronomy Journal*, pp. 494-496.
- MONNIER (1965) : « Action des matières grasses organiques sur la stabilité structurale des sols », thèse de doctorat, Paris.
- MONNIER et KONAN (1968) : « Influence des conditions de séchage des terres sur leur stabilité structurale », *Annales Agronomiques*, vol. 19-5.
- PEQUIGNOT (1968) : « Assolements et rotations », *Techniques agricoles*, p. 2420.
- PFITZENMEYER (1963) : *La luzerne*, Edition S.E.D.A., Paris.
- PICARD (1975) : « Les légumineuses comme sources de protéines pour le ruminant ; leur intérêt particulier au travers de la crise de l'énergie », *Fourrages*, n° 62.
- PLANCQUAERT (1975) : « La fertilisation azotée des prairies », *Fourrages*, n° 62.
- POUSSET (1975) : « Coût de la fertilisation et systèmes fourragers », *Fourrages*, n° 62.
- SEBILLOTTE (1966) : « Rotations et assolements », *Revue Agricole Française*, n° 52.
- SEBILLOTTE (1968) : « Stabilité structurale et bilan hydrique du sol. Influence du climat et de la culture », *Annales Agronomiques*, vol. 19-4.
- S.P.I.E.A. (1968) : *Essais de fumure azotée*, 2 tomes.
- WILLIAMS, CLEMENT et HEARD (1960) : « Soil nitrogen status of leys and subsequent wheat yields », *Proceeding 8th International Grassland Congress*.