

ANC 17

*Ann. agron.*, 1969, **20** (4), 371-433.

## ÉTUDE DES EFFETS RÉSIDUELS DES CULTURES FOURRAGÈRES SUR LES CULTURES ARABLES

### I. EFFETS RÉSIDUELS DE LA LUZERNE SUR LE BLÉ ET LE MAÏS.

P. JACQUARD, L. CROISIER et G. MONNIER \*

*Station d'Amélioration des Plantes fourragères, 86 - Lusignan*

*\* Laboratoire des Sols,*

*Centre national de Recherches agronomiques, 78 - Versailles*

*Institut national de la Recherche agronomique*

---

*Annales agronomiques*

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

149, rue de Grenelle, Paris-7<sup>e</sup>

## ÉTUDE DES EFFETS RÉSIDUELS DES CULTURES FOURRAGÈRES SUR LES CULTURES ARABLES

### I. — EFFETS RÉSIDUELS DE LA LUZERNE SUR LE BLÉ ET LE MAÏS

P. JACQUARD, L. CROISIER, et G. MONNIER \*

avec la collaboration technique de C. JEANDET

*Station d'Amélioration des Plantes fourragères, 86 - Lusignan*

*\* Laboratoire des sols,*

*Centre national de Recherches agronomiques, 78 - Versailles*

*Institut national de la Recherche agronomique*

---

### SOMMAIRE

En préliminaire à une série d'articles consacrés à l'étude des effets résiduels des cultures fourragères, les problèmes posés par ce thème sont passés en revue sous forme d'une bibliographie des travaux publiés, ceci afin de situer les études engagées à la Station d'Amélioration des Plantes fourragères de Lusignan. Des résultats relatifs à un essai sur les effets de la luzerne comme précédent à des cultures de blé et de maïs sont ensuite donnés et commentés. L'exportation d'azote, par trois cultures successives (ne recevant pas d'azote) derrière luzerne est de l'ordre de 190 kg/ha. En annexe, le milieu d'observation et la méthodologie (protocoles expérimentaux et techniques de réalisation) sont décrits.

---

### AVANT-PROPOS

Le mémoire de MM. JACQUARD, CROISIER et MONNIER, que la rédaction des *Annales agronomiques* présente dans cette livraison à ses lecteurs, est le premier d'une série consacrée à l'influence sur le milieu et sur les cultures suivantes, de l'introduction de cultures fourragères dans la rotation. Il s'agit de l'analyse de très importants dispositifs expérimentaux mis en place à partir de 1961 à la Station de Lusignan par des chercheurs du Département d'Amélioration des Plantes.

Cette analyse a été effectuée, pour une part, en relation avec des chercheurs du Département d'Agronomie. Une telle collaboration entre les spécialistes de la plante et ceux de l'écologie a permis d'aborder, d'une façon plus précise, le problème des interactions réciproques entre le végétal et son support, le sol. C'est là une question passionnante. En effet, la spécialisation, résultant du développement de nos connaissances, conduit trop souvent à n'envisager qu'un aspect de ces problèmes, alors qu'au

niveau de la pratique ils sont indissociables et se confondent d'ailleurs quand il faut évaluer le rôle du précédent ou le choix de la culture suivante dans une rotation, ou les complémentarités dans le cadre d'un système de culture. Toutefois, si les lecteurs peuvent trouver dans l'exposé de ces résultats des informations ou des précisions concernant ces questions, certaines resteront encore sans réponse. En effet, les auteurs ont bien prévu la mise en place d'un dispositif expérimental répondant aux exigences de la statistique, qui assure par voie de conséquence que la signification des résultats a pu être calculée, mais l'analyse des effets est restée nécessairement incomplète. Par exemple, l'étude des courbes de croissance montre que certains rendements mesurés peuvent être attribués à une action de l'azote, par contre, l'étude de la minéralisation de cet élément n'ayant pas été prévue suffisamment tôt, on ne dispose pas de confirmations directes de l'hypothèse induite par l'observation du comportement des plantes. Il n'en reste pas moins, malgré ces réserves, que la masse considérable d'informations recueillies et que leurs qualités apporteront des données solides aux techniciens qui ont la mission de guider les agriculteurs. C'est dans cet espoir que nous sommes heureux de diffuser dans le public, grâce à ces *Annales*, le résultat d'un travail qui porte sur plus de 500 parcelles expérimentales.

S. H.

Le présent mémoire, premier d'une série d'articles consacrés aux effets résiduels des cultures fourragères, consiste en :

1. Une revue des données déjà acquises et des problèmes en suspens, suivie d'une présentation succincte des protocoles expérimentaux ;
2. la description d'une expérience sur les effets de la luzerne ;
3. une définition du cadre écologique dans lequel les variables ont été mesurées ainsi que la méthodologie expérimentale (difficultés rencontrées et solutions techniques apportées).

## I. — INTRODUCTION : ÉNONCÉ DU PROBLÈME

Le but fondamental de toute agriculture étant d'obtenir la production la meilleure, l'un des moyens pour y arriver sera la détermination de l'ordre de succession des différentes plantes cultivées aboutissant à la valeur optimum de l'ensemble des récoltes. C'est là tout le problème des rotations (SÉBILLOTE, 1966).

Or, sous une végétation maintenue herbacée pendant plusieurs années, la terre « se repose », d'autant plus que la production fourragère est peu importante, ou bien, tout au contraire, que la prairie est bien fertilisée. Ce fut, d'ailleurs, initialement, un des rôles dévolus aux luzernières, puis aux prairies temporaires, que de rendre productif ce repos. Ainsi les cultures fourragères eurent-elles longtemps deux objets :

— restaurer la capacité de production ;

— et, par l'intermédiaire des animaux qu'elles nourrissaient, fournir du fumier pour les terres, assurant ainsi un véritable transfert de fertilité de la surface couverte d'herbe vers les surfaces annuellement labourées.

Le potentiel du sol peut donc se trouver augmenté lorsque des cultures fourragères sont incluses dans les rotations de cultures arables ; mais l'importance des

problèmes soulevés par cette pratique a justifié, au sein du groupe de travail « Plantes fourragères » de l'I. N. R. A., la création d'une section spécialisée dans l'étude de ses aspects (JACQUARD, 1964) :

1. théoriques, par le biais d'une analyse approfondie des effets résiduels ;
2. pratique, et, en particulier, des modalités de retournement.

L'essentiel des réflexions de cette section, au cours des dernières années, a porté sur les points suivants : modifications des sols sous prairies, variations de l'intensité des effets résiduels, retournement des prairies, manifestations et durée de leurs effets. Un point important et qu'il convient de souligner est la distinction nécessaire à faire entre les effets résiduels directs et la manifestation de ces effets au travers des plantes cultivées par la suite.

1. *Les effets résiduels des cultures fourragères* se manifestent indirectement sur le rendement des cultures suivantes, au travers de *modifications de l'état des sols sous prairies*, dont les plus importantes ont trait : à la matière organique (répartition, état), à la structure, au niveau d'azote ou au bilan chimique de certains autres éléments. Dans la majorité des conditions françaises, les effets au niveau du régime de l'eau et de l'équilibre biologique sont d'ordre plus mineur.

a) *La matière organique.*

La teneur en matières organiques totales est très probablement la caractéristique du sol affectée de la façon la plus sensible et la plus générale sous prairie.

Son accroissement tient d'abord à une diminution du taux annuel de minéralisation en l'absence de tout travail du sol mais surtout à l'apport considérable que constituent les racines, en particulier des graminées fourragères.

Aussi, pour rendre compte d'une façon précise du mécanisme de l'enrichissement du sol, est-il nécessaire de distinguer une fraction organique libre, essentiellement composée, dans le cas qui nous occupe, de racines vivantes ou mortes mais encore peu décomposées et une fraction plus évoluée liée à la partie minérale du sol (MONNIER, 1958). La première fraction à C/N élevé susceptible d'une évolution relativement rapide est souvent à l'origine des blocages d'azote pouvant entraîner des effets dépressifs sur les cultures suivantes. Son évolution peut aussi, lorsque les conditions de milieu sont défavorables, provoquer l'apparition de phénomènes de formation de gley.

La deuxième fraction, plus liée à la partie minérale, modifie de ce fait les propriétés physico-chimiques du milieu et par sa minéralisation contribue à la fourniture d'éléments minéraux (azote principalement).

b) *La structure.*

L'état structural peut être apprécié en place par l'examen du profil cultural (HÉNIN et coll., 1960). Son évolution sous prairie est caractérisée par la « granulation » c'est-à-dire l'apparition d'éléments structuraux polyédriques ou arrondis dont la dimension moyenne régulière semble liée à la densité racinaire (BUI HUUTRI, 1968). Cette granulation qui, dans certaines conditions liées à la texture du sol principalement, peut apparaître assez rapidement après l'implantation de la prairie (cinq mois, ANDREW, 1965) est accompagnée ou suivie d'un accroissement de la stabilité structurale traduisant la résistance des éléments structuraux au délitement sous l'action de l'eau (MONNIER, 1965). Il y a donc à la fois une action sur l'acquisition d'une structure et une action sur la stabilité de cette structure.



De telles actions semblent principalement le fait des graminées, au moins si l'on se place avant le retournement de la prairie. Cependant, certaines expériences montrent que l'incorporation de luzerne (MILLER et WEMPER, 1962) peut avoir un effet voisin sinon identique. Un aspect important est lié à la répartition de l'action dans le profil.

c) *Les modifications des propriétés chimiques concernent surtout le niveau d'azote ;* mais le bilan de certains éléments comme le phosphore et le potassium peut être notablement perturbé, particulièrement en prairies fauchées.

De nombreux travaux sur ces effets au point de vue chimique, ont été réalisés à Rothamsted. Le pâturage mobilise les éléments nutritifs du sol et les concentre au voisinage de la surface (RUSSEL, 1960 ; WILLIAMS et DONALD, 1957 ; WILLIAMS et LIPSETT, 1960 ; WILLIAMS et STEINBERGS, 1958). En ce qui concerne le niveau de l'azote, on a trouvé que, sous pâture, il augmente pendant 200 ans, mais que dès la 25<sup>e</sup> année, la moitié de la teneur plafond est atteinte.

Mais cet enrichissement en azote est surtout le fait des légumineuses et sa mesure a été réalisée dans le cadre des expériences, objets de la présente série de publications à l'aide d'un dispositif comportant, après quelques années de différenciation du sol par des cultures arables sans azote et un « repos » sous culture de luzerne, des cultures-tests à différents niveaux de fertilisation azotée. C'est cet enrichissement qui explique en grande partie les meilleurs rendements obtenus derrière légumineuses (pure ou associée à une graminée) (tabl. 1).

TABLEAU I

*Rendements en blé obtenus derrière différents précédents fourragers*  
(E. N. S. A. Grignon, 1961)

Précédent (durée : 3 ans)	Rendements en blé (q/ha) <sup>(1)</sup>
Dactyle + luzerne .....	54,8
Luzerne .....	52,5
Dactyle .....	45,7
P.p.d.s. ....	4,7

<sup>(1)</sup> Fertilisation azotée :

le 13-3 : 70 N (sauf sur dactyle : 100 N)  
le 14-4 : 40 N

Le niveau de fertilité est donc élevé par les légumineuses (C. S. I. R. O., 1963) et le taux d'accumulation de l'azote a pu être estimé ; mais si la plupart des travaux, dans ce domaine, soulignent l'enrichissement en azote organique, celui-ci n'est pas toujours et non nécessairement aisément minéralisable. Or, c'est la fraction la plus facilement minéralisable de cet élément qui jouera un rôle déterminant à court terme. A ce point de vue, pour des sols provenant de prairies, des incubations, à niveau d'humidité constant, pendant quatre à cinq semaines à environ 30° C, four-

nissent des résultats satisfaisants (DROUINEAU et LEFÈVRE, 1949 ; CLEMENT et WILLIAMS, 1962).

d) *L'étude du régime hydrique sous prairie montre qu'il existe une possibilité d'effet résiduel pour cette caractéristique :*

— épuisement ou assèchement dû à un précédent luzerne suivi d'un hiver sec sans possibilité de reconstitution des réserves ;

— accroissement de la capacité d'emmagasinement par diminution du ruissellement ou de la réserve utile par approfondissement du profil d'enracinement.

e) *Enfin, la faune et la microflore du sol, ainsi que le spectre botanique des adventices, peuvent être affectés.*

2. *Les variations d'intensité des effets* jouent aussi bien au point de vue chimique que physique. C'est ce qui ressort, en particulier, d'une étude de structure dans une gamme étendue de sols prairiaux (LOW, 1955). Les facteurs de variation sont :

a) *La nature de la prairie* : le type de plante fourragère est un élément déterminant. Ainsi les poids de résidus peuvent varier de 65,7 q/ha pour un trèfle blanc pâturé à 83, 5 pour une luzerne et même 93,8 pour un ray-grass (HEARD, 1956). C'est pourquoi un groupe d'expériences, en cours ou terminées, a été implanté sur ce sujet et, notamment, une comparaison : graminée (Dactyle) et légumineuse (trèfle blanc), pures et associées. On peut espérer pouvoir de cette manière séparer les effets « structure » et « azote » propres à chaque espèce et évaluer le bilan de l'azote 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 un rôle vis-à-vis de la teneur et du type d'enrichissement en matière organique du sol et de la stabilité structurale (MONNIER, 1957), aussi important que celui des méthodes d'exploitation, qui sera envisagé plus loin. Ainsi le Ray-grass anglais agit différemment du Dactyle (MONNIER, 1965). Les mélanges d'espèces seraient plus efficaces que la culture d'une espèce pure (WEHRLI, 1958) ; un gazon constitué par un mélange de graminées aurait un effet plus bénéfique sur la structure du sol qu'une culture pure d'une graminée (KOBLET et WEHRLI, 1959).

b) *Sa durée* : dans les régions tempérées, on a constaté que l'évolution des profils est lente. Ce n'est qu'au bout de trois ans que les horizons commencent à se différencier (CLEMENT et WILLIAMS, 1959 ; MONNIER, 1965) d'une façon sensible sur sol de limon. Si les effets résiduels sont dépendants de la durée de la prairie, il en est de même de leurs manifestations (LEWIS et coll., 1960), lesquelles lui sont proportionnelles (tabl. 2). De même, après trèfle, le gain de rendement en grain d'un blé, dû à l'accumulation d'azote, est de 140 kg/ha/année sous prairie (C. S. I. R. O., 1961 a). En pratique, l'effet résiduel maximum est obtenu après une durée de prairie égale à la durée de la séquence arable (HOOD, 1960), ce qui peut paraître simpliste et n'exclut pas la recherche de facteurs d'explication plus généraux. A l'irrigation, matière organique et azote du sol ne sont stabilisés que par de longues séquences fourragères (trois ans de luzerne, par exemple (DUBETZ, 1964)). Pour atteindre à nouveau l'état trouvé sous prairie naturelle, il faut dans certains sols, quatre années, mais, dans d'autres, 50 ! Enfin, si trois années de prairie maintiennent la structure d'un sol léger, cette régénération est ralentie en sol lourd.

TABLEAU 2

Gain de rendement d'un blé en fonction de la durée de culture d'herbe (LEWIS et coll., 1960)

Gain de rendement d'un blé (q/ha) par rapport à un témoin	
Après $\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ an} \\ 3 \text{ ans} \end{array} \right\}$ de culture d'herbe	+ 11,0 + 18,5

## c) Son système d'exploitation

La pâture, l'affouragement, la constitution de réserves ou la production de semences sont autant de destinations des cultures fourragères. Dans le cas du Ray-grass anglais, on possède des données (MONNIER, 1958) montrant que le rythme d'exploitation influe sur l'enracinement, le phénomène étant beaucoup moins marqué sur Dactyle. Les résidus sont concentrés dans les premiers centimètres du sol après un régime de coupes fréquentes contre 10 cm en coupes espacées. L'enracinement est encore plus profond sous culture porte-graines.

L'effet bénéfique des graminées peut-être contrebalancé, dans le cas du pâturage, par apparition d'une couche tassée proche de la surface.

C'est pourquoi les comparaisons suivantes sont intéressantes à réaliser et le sont ou l'ont été :

pâturage-affouragement ;  
affouragement-production de semences ;  
pâturage-fenaïson.

3. Les modalités de retournement constituent un facteur important. D'un point de vue chronologique, les premières répercussions à se manifester ont trait à la décomposition des résidus, notamment des fragments végétaux. En conditions favorables, après quatre mois, certains peuvent être encore verts. La minéralisation de l'azote, et même l'ensemble de l'humification serait d'ailleurs plus rapide en sols vierges qu'en sols cultivés (MORTENSEN, 1963). Une certaine phytotoxicité peut se manifester : certains résidus déterminant des retards à la levée (avec des répercussions sur le rendement de la culture suivante).

Enfin, une modification artificielle du rapport C/N est parfois souhaitable (dans la mesure où une valeur satisfaisante n'a pas été obtenue par application d'une certaine politique de fumure et d'exploitation de la prairie (TROUGHTON, 1958).

C'est pourquoi plusieurs types de traitements peuvent être comparés, tels que :

## a) Le labour.

Les conditions d'enfouissement d'une prairie influent certainement sur la décomposition. Labour dressé de début d'été et fermé de début d'automne seront susceptibles d'avoir des effets différents, vis-à-vis des accidents par asphyxie (MONNIER, 1958).

## b) La chaux.

Les microbes nitrificateurs et les Azotobacter ne sont vraiment actifs qu'à

pH élevé; le chaulage permet donc d'activer la vie microbienne et d'entraîner une minéralisation plus rapide, tout en assurant un certain effet tampon.

c) *L'apport d'azote.*

Cet élément peut contribuer à abaisser le rapport C/N et pallier une carence temporaire (on rapprochera ces études de celles entreprises à Hurley sur l'incorporation de paille pour augmenter le terme C du rapport (WILLIAMS, 1964). L'apport peut donc favoriser la nitrification.

4. *La principale manifestation des effets résiduels consiste dans leur action sur le rendement des cultures.* Sa mise en évidence est réalisée au moyen de plantes-tests dont les plus utilisées sont les céréales.

L'amélioration des propriétés physiques, structure et stabilité structurale, est susceptible de se manifester d'une façon bénéfique dans la plupart des périodes où les conditions climatiques sont défavorables (excès d'eau en hiver, pluies battantes au moment du semis, sécheresse d'été). Cette action est toutefois plus sensible au cours de l'établissement de la culture qui suit la prairie. L'évolution de la fraction azotée de la matière organique peut être bloquée à l'automne, et entraîner une malnutrition azotée des jeunes semis; cependant, son action prédomine surtout pendant la végétation plus spécialement au printemps. Les réserves hydriques agiront surtout sur les cultures estivales. Cette différence de réaction suivant l'époque de croissance nous a conduit à subdiviser chaque parcelle 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 liaison entre le rendement et le niveau d'azote minéralisable après prairie (WILLIAMS, 1959), alors que l'amélioration de la stabilité y marque peu. Ceci peut s'expliquer, soit par la bonne structure de leurs sols, ceux de Rothamsted, par exemple (BOYD et coll., 1961), soit par la présence de légumineuses, entraînant une fixation abondante d'azote, élément qui s'accumule au bénéfice de la culture (certains résultats montrent que le rendement d'un blé est proportionnel au pourcentage de légumineuses) et aussi parce que leurs résidus sont plus riches en eau et généralement plus faciles à dégrader, soit par la faiblesse des fertilisations azotées sur les cultures.

Pour l'ensemble de la France, l'optimum de la fertilisation azotée, pour les blés de légumineuses, se situe à environ 20 unités de moins que pour les blés venant derrière d'autres cultures: en 1966, 105 unités/ha contre 123 pour les autres précédents; en 1967, 120 contre 135 (N., 1968), la différence pouvant aller jusqu'à 50 unités, dans certains cas, après luzernière.

5. *La durée des effets résiduels est variable.* L'appréciation globale de leur persistance est réalisable par l'enregistrement de l'évolution, jusqu'à décroissance, des rendements de séquences de cultures arables. Au fur et à mesure de la succession des cultures, la teneur du sol en matière organique diminue pour se stabiliser à un niveau plancher. Cependant, des différences entre précédents, portant sur le rendement des cultures suivantes, peuvent persister longtemps en sol lourd, ceci étant dû au niveau d'azote du sol plutôt qu'à tout autre facteur (HANLEY *et al.*, 1964), aspect physique ou aération.

6. *Description des dispositifs: résumés des protocoles expérimentaux.* Arrivé à ce point de l'exposé, il ne semble pas inutile de préciser la place prise par les études sur les effets résiduels dans l'organisation du Laboratoire des Techniques culturales et Assolements fourragers de la Station de Lusignan, afin d'indiquer l'esprit dans lequel elles ont été entreprises. Les expériences dont il sera question sont ou ont été implantées sur le Domaine expérimental des Verrines, dévolu entièrement aux activités du Laboratoire, lequel est chargé des recherches sur l'ensemble des problèmes complexes posés par la production fourragère :

- évaluation des variétés en cours d'obtention ou déjà commercialisées ;
- mise au point de *techniques culturales* au niveau variétal puis à celui des associations graminée-légumineuse ;
- intégration de ces *techniques* dans les *rotations* ;
- transposition de l'échelle expérimentale à celle de la grande culture, en présence d'animaux, afin d'obtenir des informations sur les problèmes posés au chercheur et au vulgarisateur par le passage en vraie grandeur.

Il s'agit d'un service de recherches pouvant constituer un point de rencontre entre les *disciplines intéressées à la production végétale* et celles concernées par la *production animale*, c'est-à-dire entre les disciplines agronomiques (génétique, physiologie, agronomie, pédologie, bioclimatologie) et zootechniques (nutrition, élevage).

Les études sur les rotations y sont un élément important des synthèses au niveau du système biologique constitué par chacun des ensembles : sol, plante, animal.

Le tableau 3 donne la liste des expérimentations de recherches en cours ou terminées, suivies à la Station d'Amélioration des Plantes fourragères de Lusignan ; chaque thème de travail y est numéroté pour faciliter la citation des références dans le texte. Leur choix visait à obtenir des réponses précises aux questions évoquées dans l'introduction :

- nature des effets résiduels des cultures fourragères ;
- variation de leur intensité et de leur persistance ;
- modalités de retournement des prairies ;
- manifestation des effets.

TABLEAU 3

*Liste des expériences en cours ou terminées  
implantées à la Station d'Amélioration des Plantes fourragères  
de Lusignan*

---



---

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

---



---

C'est pour poser clairement ces questions, aussi bien que pour trouver les dispositifs propres à y répondre et pour élaborer les techniques permettant de décrire avec le maximum de précision et le minimum de biais les phénomènes observés, qu'une méthodologie expérimentale adéquate a été appliquée.

Les essais sur les effets résiduels étant implantés pour un grand nombre d'années, la conception des dispositifs et l'élaboration des protocoles représentent des points délicats pour lesquels toute erreur peut entraîner l'annulation d'un travail de longue durée. C'est pourquoi il a paru utile de donner ici une description détaillée des six dispositifs à l'aide desquels les études sont ou ont été réalisées à Lusignan, description accompagnée d'une présentation sommaire des protocoles, lesquels seront exposés *in extenso* en tête de chaque chapitre particulier.

La mise en place d'expériences sur les rotations comporte un certain nombre de problèmes spécifiques non rencontrés dans les expérimentations annuelles (YATES, 1949). Ainsi, elle permet de mesurer différents types d'effets :

— *des effets directs* d'un traitement (réponse à ce traitement l'année de son application) ;

— *des effets résiduels* de première, deuxième année, etc. ;

— *des effets cumulatifs*, définis comme la différence de rendement une année donnée due à l'application répétée d'un traitement ou d'un cycle de traitements. Ces effets peuvent tendre vers une valeur stable si le traitement est prolongé suffisamment longtemps : on peut alors les définir comme des *effets limites*.

D'autre part, on peut ordonner les *expériences agronomiques par ordre croissant de complexité* de la façon suivante :

— *expériences annuelles* (elles comportent une seule culture et un seul ensemble de traitements) ;

— *expériences annuelles avec étude des effets résiduels* (ce ne sont qu'une extension des expériences annuelles) ;

— *expériences sur les cultures pérennes (ou sur la même culture annuelle cultivée année après année)*, les traitements supportés par des parcelles identiques pouvant varier d'une année à l'autre ;

— *expériences sur une rotation* (comme précédemment les traitements peuvent varier d'une année à l'autre) ;

— *expériences de comparaison des effets de différentes rotations* (ici, différentes cultures elles-mêmes agissent en tant que traitements).

Un certain nombre de problèmes statistiques sont propres à la conception et à l'analyse des expériences cycliques à long terme destinées à comparer différentes rotations culturales (PATTERSON, 1964). De ce point de vue, les types de dispositifs que l'on peut distinguer, relativement à leurs propriétés, sont :

— les dispositifs de base comportant toutes les phases des rotations dans chaque bloc (c'est le cas de tous les essais dont il sera question ici) ;

— les dispositifs réduits comportant des groupes de phases mutuellement exclusifs répartis dans des blocs séparés ;

— les dispositifs à phases confondues dans lesquels certaines comparaisons entre cultures tests sont partiellement confondues dans les différences entre blocs.

L'analyse des rendements des cultures-tests se fait par estimation des effets



moyens des rotations indépendamment des années et par des régressions sur les variables saisonnières ou de temps. Cette analyse est compliquée par l'existence de corrélations entre les valeurs de rendement recueillies sur des parcelles identiques et l'absence d'homogénéité des variations résiduelles d'une année à l'autre dans les effets rotations. L'estimation des erreurs est donc un point important ainsi que les pertes d'informations dues à l'utilisation de moyennes non pondérées et de régressions ignorant les corrélations, mais des méthodes existent pour récupérer cette information.

Nous examinerons ici, successivement, des essais portant sur les effets résiduels puis des essais ayant trait à des effets cumulatifs, comportant les uns et les autres la comparaison d'une ou plusieurs rotations <sup>(1)</sup>.

a) *Essais sur les effets résiduels.*

*Influence des modalités de retournement d'une prairie sur les performances d'un blé et d'un maïs* <sup>(2)</sup>.

Dans ce dispositif, le comportement de deux cultures arables différentes est observé et mesuré, parallèlement à une étude de l'évolution de la matière organique et de la nitrification. La phase préparatoire a consisté en une culture de dactyle + trèfle blanc, exploitée par pâturage ou fauche de 1963 à 1965 inclus, les plantes-tests étant par la suite du blé et du maïs, destinées à révéler l'action de traitements, au retournement de la prairie, s'établissant ainsi :

Dates de retournement	Azote (kg/ha)	
	au retournement	au semis de la culture-test
Juin (après les deux premières coupes)	0	0
		50
	50	0
		50
Fin août-début septembre (après les trois ou quatre premières coupes)	0	0
		50
	50	0
		50

Le retournement était réalisé par un passage rapide de rotovator, avec carter abaissé suivi d'un deuxième passage, à 10 cm, lent, carter relevé, un labour étant effectué à l'automne.

<sup>(1)</sup> S. HÉNIN, actuellement chef du Département d'Agronomie de l'I. N. R. A., a participé au premier tri préliminaire des grands thèmes généraux d'expérience.

<sup>(2)</sup> G. LEFÈVRE, Directeur de la Station d'Agronomie d'Amiens, a collaboré au déroulement de la phase d'évaluation de cet essai.

Il y avait donc 8 traitements, répétés 6 fois, selon une disposition factorielle.

La prairie avait été conduite selon des modalités d'exploitation précises qui seront décrites lors de la présentation des résultats.

Cet essai, à proprement parler, porte en fait sur la modification de l'effet résiduel d'une prairie sous l'action des techniques culturales.

*Effets résiduels de la luzerne sur le blé et le maïs.*

Il s'agissait, ici, de mesurer l'effet de « fourniture » d'azote pendant trois ans sur des cultures-tests, après trois ans d'une phase préparatoire, comportant quatre traitements différentiels :

Années	Traitements			
	1	2	3	4
1962 .....	M <sub>0</sub>	M <sub>0</sub>	M <sub>0</sub>	L
1963 .....	M <sub>0</sub>	M <sub>0</sub>	M <sub>0</sub>	L
1964 .....	M <sub>0</sub>	M <sub>0</sub>	M <sub>0</sub>	L
1965 .....	M <sub>50</sub> B <sub>50</sub>	M <sub>100</sub> B <sub>100</sub>	M <sub>150</sub> B <sub>150</sub>	M <sub>0</sub> B <sub>0</sub>
1966 .....	B <sub>50</sub> M <sub>50</sub>	B <sub>100</sub> M <sub>100</sub>	B <sub>150</sub> M <sub>150</sub>	B <sub>0</sub> M <sub>0</sub>
1967 .....	A <sub>0</sub>	A <sub>0</sub>	A <sub>0</sub>	A <sub>0</sub>

M = Maïs, L = Luzerne, B = Blé, A = Avoine (l'indice indique la dose d'azote).

*Effets résiduels de différents précédents sur des séquences de cultures arables.*

Dans cet essai, il s'agissait de comparer l'action sur le rendement des plantes-tests, de cultures fourragères de même durée mais de nature différente. Six traitements ont été comparés :

Années	Traitements					
	1	2	3	4	5	6
1962 .....	D	D + Tb	Tb	Dg	M	M
1963 .....	D	D + Tb	Tb	Dg	B	B
1964 .....	D	D + Tb	Tb	Dg	O	O
1965 .....	MB	MB	MB	MB	MB	MB
1966 .....	BM	BM	BM	BM	BM	BM
1967 .....	A	A	A	A	A	A

D = Dactyle pur, fauché au rythme pâture ; D + Tb = Dactyle + Trèfle blanc, au rythme pâture ; Tb = Trèfle blanc pur, au rythme pâture ; Dg = Dactyle en production de graines en 1963 et 1964 ; O = Orge ; M = Maïs ; B = Blé ; A = Avoine.

En phase préparatoire, une différenciation des niveaux de fertilisation azotée fut superposée à celle obtenue à l'aide des types de « cultures » telle que les apports annuels ont correspondu aux niveaux (kg/ha/an) :

200 pour le traitement 1  
150 pour le traitement 4  
100 pour les traitements 2 et 6  
0 pour les traitements 3 et 5

D'autre part, chaque variable fut implantée en double afin de pouvoir conduire les cultures-tests à deux niveaux de fertilisation azotée : 0 et 100 kg/ha.

Le dispositif étant de type factoriel, on pouvait espérer ainsi réaliser une analyse approfondie des effets et interactions.

#### b) *Essais sur les effets cumulatifs.*

Les dispositifs correspondant à ces expériences sont caractérisés par l'implantation, en début d'essai puis chaque année, de toutes les phases de chaque rotation comparée.

##### *Étude globale des effets résiduels et de leur durée.*

Le but, ici, est d'obtenir des informations concernant les effets cumulatifs comparés de prairies de nature et de durée (deux ou quatre ans) variables ainsi que d'évaluer la persistance des effets d'une prairie de quatre ans.

L'essai comprend cinq rotations totalisant 24 phases et correspondant aux traitements ci-dessous :

Rotations :	1	2	3	4	5
	M	M	P <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>
	B	B	P <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>
			M	P <sub>3</sub>	P <sub>3</sub>
			B	P <sub>4</sub>	P <sub>4</sub>
				M	M
				B	B
					M
					B
					M
					B

Dans la rotation 1, le maïs reçoit du fumier et tous les résidus aériens sont enfouis ; par contre, dans la rotation 2, il n'y a pas d'apport de fumier, et tous les résidus aériens sont exportés.

La prairie de deux ans est un Ray-grass d'Italie + Trèfle violet et celle de quatre ans un Dactyle + Luzerne, recevant toutes deux 100 kg d'azote/ha/an.

##### *Introduction de la prairie dans une rotation triennale.*

Il s'agit là d'étudier les effets cumulatifs de l'introduction dans une succession de trois cultures arables d'une prairie de 3 ans, exploitée en fauche ou en pâture.

L'essai comprend trois rotations (15 phases) correspondant aux successions ci-dessous :

Rotations :	1	2	3
	PT	P <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>
	B	P <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>
	O	P <sub>3</sub>	F <sub>3</sub>
		PT	PT
		B	B
		O	O

PT = Pommes de Terre

P<sub>1-3</sub> = Prairie pâturée

F<sub>1-3</sub> = Prairie fauchée

Les pommes de terre ne reçoivent du fumier que dans la rotation 1. La prairie est une association Ray-grass hybride + Trèfle blanc *Ladino*, effectivement pâturée par des vaches laitières dans la rotation 2, coupée au stade convenable pour la conservation dans la rotation 3.

#### Micro-unité d'exploitation.

Le domaine expérimental des Verrines comporte une *unité d'exploitation* de 60 ha dont la moitié est consacrée à des cultures fourragères. Chaque parcelle élémentaire de 3 ha y comprend, lorsqu'il s'agit de ces dernières cultures, deux *variantes-semis* (S) et deux *variantes-exploitation* (E), correspondant le plus souvent à une confrontation pâture — affouragement en vert, suivant le schéma ci-dessous :

S <sub>1</sub> E <sub>1</sub> 0,75 ha	S <sub>2</sub> E <sub>1</sub> 0,75 ha
0,75 ha S <sub>1</sub> E <sub>2</sub>	0,75 ha S <sub>2</sub> E <sub>2</sub>

Des données peuvent donc y être recueillies à l'échelle agricole mais avec un contrôle limité de la variabilité.

La micro-unité d'exploitation est une représentation à échelle réduite de l'assolement de grande culture. Chaque parcelle de 3 ha y correspond à une parcelle principale de 200 m<sup>2</sup> et se retrouve, distribuée au hasard, dans 4 blocs. Chaque *variante* S<sub>i</sub> E<sub>j</sub> constitue une sous-parcelle de 50 m<sup>2</sup> répartie au hasard. On a donc affaire à un dispositif en parcelles subdivisées (*split-plot* des Anglo-Saxons).

On peut ainsi comparer les informations obtenues dans l'un et l'autre système, aussi bien au point de vue des productions fourragères qu'à celui des cultures arables.

La rotation culturale appliquée de 1961 à 1967 est donnée dans le tableau ci-après.

S'agissant d'un essai portant sur les effets résiduels cumulatifs des plantes fourragères et afin d'éviter les effets *année*, chaque phase de la série de culture est semée chaque année. Il y a donc 20 parcelles principales de 200 m<sup>2</sup> par bloc.

Année	Culture
1 } 2 } 3 } 4 }	Prairie de 4 ans (Luzerne + une Graminée)
5	Maïs
6	Blé
7	Orge
8	Fourrage annuel d'hiver (Seigle par ex.) suivi d'un fourrage annuel d'été (Sorgho par ex.)
9	Maïs
10	Blé
11 } 12 } 13 }	Prairie de 3 ans (une Graminée avec ou sans Trèfle blanc)
14	Maïs
15	Blé
16	Orge
17 } 18 }	Prairie de 2 ans (Ray-grass d'Italie ou hybride avec ou sans Légumineuse)
19	Maïs
20	Blé

7. *Conclusions.* Les effets résiduels des cultures fourragères se manifestent par l'intermédiaire de modifications de l'état des sols sous prairies, portant sur la matière organique, la structure, les propriétés chimiques (surtout le niveau d'azote), éventuellement le régime hydrique. Leur principale conséquence agronomique réside dans les variations du rendement des cultures arables qui en découlent. L'intensité de ces effets dépend beaucoup du système de production dans lequel on se trouve, mais aussi de caractéristiques propres aux soles fourragères (nature botanique des prairies, durée, système d'exploitation, modalités de retournement). Enfin, la persistance des effets conditionne l'importance respective à donner éventuellement aux séquences arables et non arables.

C'est pour étudier l'ensemble de ces aspects que des études ont été entreprises au Laboratoire des Techniques culturales et Assolements fourragers de Lusignan, l'objectif final étant l'intégration, dans les rotations, des meilleures techniques culturales applicables aux variétés commercialisées. Il s'agit donc d'une contribution à l'étude de l'écosystème sol-plante-animal.

Bien entendu, toute tentative de généralisation des résultats obtenus devra tenir compte des conditions de réalisation des expériences, et notamment des caractéristiques du milieu physico-chimique. On verra d'ailleurs, par la suite, que l'explication biologique de nombreuses observations ne pourra être fournie que par référence au climat ayant prévalu lors du déroulement des phases expérimentales. La notion de bilan hydrique est, de ce point de vue, particulièrement utile. En effet, si au seul regard de la pluviométrie annuelle, les essais décrits se situent dans un ensemble d'années pluvieuses, le bilan de l'eau a varié, d'une année à l'autre, entre des extrêmes de - 206 mm à + 85 mm, car les deux tiers des précipitations annuelles se produisent, à Lusignan, en période de faible évapotranspiration. Ainsi, au cours de la « phase préparatoire », deux années furent déficitaires au point de vue hydrique.

Du point de vue sol, on se trouve sur les meilleures terres de la région, dites « argiles rouges à châtaigniers », particulièrement aptes à une agriculture intensifiée de zone arable, bien que la structure des sols en place paraisse assez médiocre, mais grâce sans doute à des possibilités importantes de minéralisation de l'azote et à l'existence de réserves notables en potasse.

C'est donc dans un contexte bien défini qu'ont été implantés et suivis deux grands types d'expériences :

— les unes portant sur les effets résiduels, proprement dits, c'est-à-dire comportant une première phase préparatoire puis une phase d'évaluation. Se rattachent à cette catégorie les études portant sur l'influence des modalités de retournement d'une prairie et sur la valeur « précédent » de la luzerne, et de cultures fourragères variables dans leur composition et leur exploitation, évaluées par le moyen des performances des séquences de cultures arables suivantes : maïs, blé, avoine et blé, maïs, avoine ;

— les autres ayant trait aux effets cumulatifs, et constituant des essais de rotations au sens strict. On vise ici à additionner, dans le temps, les effets éventuels grâce à une succession de rotations. C'est-à-dire qu'il s'agit d'expériences de longue durée et dont une seule fera l'objet, dès maintenant, d'une mise au point surtout d'ordre méthodologique quant à la comparaison qualitative et quantitative de l'information recueillie en grandes parcelles, sans répétition, et de celle obtenue dans un dispositif en petites parcelles, les autres étant présentées sous forme de bilan provisoire.

L'implantation d'essais sur les rotations engageant l'avenir d'une recherche pour de nombreuses années, il n'a pas semblé inutile de réfléchir aux problèmes de technique expérimentale soulevés par de telles études. Le premier handicap à surmonter est à la fois, celui du très grand nombre de parcelles élémentaires et celui des dimensions minimales à leur donner. Nous pensons avoir suffisamment démontré l'intérêt qui s'attache aux possibilités d'utilisation, dans ces expériences, d'un matériel agricole normal dans ses caractéristiques mécaniques et, d'autre part, celui qui découle des possibilités de subdivision des parcelles de départ, en cours d'expérience. Ces conditions étant posées, une mécanisation quasi totale des opérations est réalisable aussi bien pour les travaux de préparation que pour ceux de mise en place et de récolte.

## II. — EFFETS RÉSIDUELS DE LA LUZERNE SUR LE BLÉ ET LE MAÏS

### I. — INTRODUCTION

La luzerne étant une légumineuse qui occupe en France près de deux millions d'hectares en vue de la production de fourrage ou de la déshydratation, l'objectif premier de cet essai, très simple dans son dispositif, fut l'obtention de quelques informations sur la valeur comme précédent de cette culture dans ses rapports avec la fourniture d'azote.

En effet, considérée sous l'angle agronomique, la luzerne a toujours été classée dans les précédents favorables en tête de rotation, cette qualité étant reliée à l'enri-



chissement en azote du sol au cours de la végétation, grâce aux bactéries (*Rhizobium meliloti*) vivant en symbiose avec elle.

L'importance éventuelle de ce stockage, disponible pour les cultures suivantes, est mal connue. Les chiffres fournis par les auteurs d'études, conduites dans des milieux très différents, varient dans des proportions importantes.

La question principale posée dans l'expérience de recherche dont il est question ici est celle-ci : autour de quelle valeur, exprimée en kilogrammes d'azote, se situe l'effet *précédent* de la luzerne.

La place de la luzerne dans la rotation peut, en effet, dépendre de la réponse. Si cet effet est significatif, dans le cas des fermes possédant du bétail, cette légumineuse, résistant bien à la sécheresse, et fournissant en outre un fourrage riche en protéines, jouera plus qu'un rôle d'économiseur notable sur le poste budgétaire : achat d'aliments concentrés. De même, dans le cas de certaines exploitations où la mécanisation poussée a conduit d'abord à considérer le bétail comme un mal nécessaire puis à l'abandonner définitivement, laissant prévoir un appauvrissement possible en humus, la solution *luzerne* peut aussi être envisagée comme tête d'assolement exploitée intensivement — pour la transformation en farine ou la production de graine.

Dans ces deux éventualités, on peut espérer que cette culture diminuera les frais d'exploitation relatifs à la fumure azotée, aussi bien pendant sa période de production en tant que prairie que pendant les séquences arables ultérieures.

Dans le présent essai, deux plantes-tests aussi différentes que le blé et le maïs ont été utilisées. Enfin, on a délibérément éliminé l'étude de l'interaction « précédent  $\times$  azote » afin de mieux déterminer l'effet simple *azote* propre à la luzerne (en équivalent - engrais), ceci, bien que, dans la pratique, un apport d'engrais azoté soit justifié derrière un tel précédent.

## II. — MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 1. Description du dispositif et du protocole

Il s'agissait d'un essai en blocs (6 répétitions) comportant 4 traitements. Les parcelles élémentaires initiales avaient une surface de 50 m<sup>2</sup> (10 m de long  $\times$  5 m de large). L'ensemble de l'essai, allées comprises, couvrait une surface de 1 560 m<sup>2</sup>.

#### a) Phase préparatoire.

Deux traitements furent appliqués pendant cette phase, correspondant respectivement aux traitements 1 à 3 et 4 de la phase d'évaluation :

Traitements	Années		
	1962	1963	1964
1	maïs grain	maïs grain	maïs grain
2			
3			
4	luzerne	luzerne	luzerne

Aucun apport d'azote ne fut pratiqué pendant la phase préparatoire, les trois maïs successifs des traitements 1, 2 et 3 ayant pour but d'abaisser le niveau d'azote du sol à une valeur minimum. Le maïs utilisé appartenait au cultivar *I. N. R. A. 258* et était semé à raison de 75 000 plantes/ha en lignes écartées de 0,70 m. La luzerne, cultivar *Flamande*, fut semée en lignes distantes de 0,19 m à raison de 20 kg/ha, afin d'obtenir un peuplement à la levée de 750 plantes au m<sup>2</sup>.

Les cultures furent donc implantées, et elles furent conduites par la suite, dans les conditions de la pratique agricole. C'est ainsi que la luzerne fut exploitée, chaque année, au stade *10 inflorescences au mètre linéaire* (soit 50 fleurs/m<sup>2</sup>).

Les rendements parcellaires ont été estimés sur des prélèvements de 6 m<sup>2</sup> pour la luzerne (à chaque coupe) et de 21 m<sup>2</sup> (3 lignes de 10 m à 0,70 m d'intervalles) pour le maïs, en matière verte. Quelle que soit la culture, ils sont exprimés en tonnes de matière sèche par hectare (t/ha) ; les exportations d'azote sont données en kilogrammes par hectare (kg/ha).

b) Phase d'évaluation.

Elle a comporté deux rotations par parcelle initiale :

Maïs — Blé — Avoine  
Blé — Maïs — Avoine

Leur comparaison, phase par phase, n'a pu être réalisée, des doses d'azote différentes ayant été apportées aux cultures, à la suite d'une erreur d'épandage, sur les traitements 1 à 3. Par contre, le traitement 4 (précédent luzerne) est comparable d'une série à l'autre. Nous différencierons les deux rotations en les nommant essai A et essai B, respectivement (tabl. 4).

TABLEAU 4  
*Succession des cultures et doses d'azote apportées*

Traitements	Année					
	1965		1966		1967	
	Culture	kg N/ha	Culture	kg N/ha	Culture	kg N/ha
<i>Essai A</i>						
1	Maïs	50	Blé	50	Avoine	0
2	—	100	—	100	—	0
3	—	150	—	150	—	0
4	—	0	—	0	—	0
<i>Essai B</i>						
1	Blé	200	Maïs	0	Avoine	0
2	—	250	—	0	—	0
3	—	300	—	0	—	0
4	—	0	—	0	—	0

L'ensemble des travaux culturaux et des mesures réalisées a été identique dans les deux cas.

Le maïs utilisé appartenait à la variété *I. N. R. A. 260* et le fut dans les mêmes conditions que durant la phase préparatoire. Le blé, *Cappelle*, fut semé de façon à obtenir 250 plantes/m<sup>2</sup> à la levée ; l'avoine de printemps, *Condor*, 300 plantes.

Les rendements sont exprimés en q/ha pour le grain (à 85 p. 100 de MS) et en t/ha (à 100 p. 100 de MS) pour l'ensemble de la masse végétale produite, à partir de prélèvements de 14 m<sup>2</sup> pour le maïs (et non comme dans la phase préparatoire), 18 pour le blé, 12 pour l'avoine. Les exportations d'azote sont données en kg/ha.

En outre, d'autres informations concernant le déroulement du cycle biologique des différentes plantes cultivées ont été recueillies :

— *aspect de la végétation* : notée de 0 (aspect le plus médiocre) à 5 (meilleur aspect), cette carac-

téristique, bien que paraissant subjective, englobe un grand nombre de traits de la végétation (densité, hauteur, couleur...) et rend sensible, d'une façon assez nette, les réactions des plantes vis-à-vis, notamment, de facteurs nutritionnels limitants. Les notations étant effectuées par parcelles, à intervalles de deux semaines, ceci a permis une expression dynamique du comportement en fonction du temps et des stades du développement ;

— *mesure de hauteur* : complémentaire de la notation précédente, cette mensuration ne fut appliquée qu'au blé et seulement à partir de l'épiaison, le sommet de l'épi servant de point de repère ;

— *composantes du rendement* :

— *pour le blé*, à la levée, un emplacement correspondant à un mètre linéaire, fut tiré au hasard dans chaque parcelle. Il y fut pratiqué un comptage du nombre de plantes. L'ensemble des plantes correspondantes fut récolté à maturité et dépouillé, individu par individu, les éléments suivants étant évalués :

nombre total de talles,  
nombre de talles épiées,  
nombre de grains/épis,  
poids de mille grains,  
échaudage (note) ;

— *pour le maïs*, un comptage du nombre de plantes par parcelles fut réalisé un mois après la levée, puis une mensuration de 30 plantes par traitement. A la récolte, furent mesurés :

— le nombre d'épis total/parcelle,

— avant le battage, la longueur de 10 épis pris au hasard dans la récolte de chaque parcelle,

— le poids de mille grains ;

— *pour l'avoine*, mis à part le comptage à la levée, aucun dépouillement ne fut effectué à la récolte, celle-ci ayant eu lieu au stade grain pâteux.

## 2. Conduite de l'expérimentation

Précisons tout d'abord qu'il n'y eut aucun retour de la matière organique des parties récoltées pendant les 6 ans d'expérience ; autrement dit, il y a eu exportation totale de la partie aérienne des récoltes. L'ensemble des traitements fut mis en place au printemps 1962 et la phase préparatoire se termina en fin d'été 1964. Cette période ne présenta aucune caractéristique exceptionnelle, sinon un déficit hydrique estival 2 années sur 3 (1962 et 1964) pouvant avoir eu une action directe sur les possibilités de rendement du maïs et indirecte sur la minéralisation de l'azote organique du sol, ce qui a d'ailleurs conduit à ne pas utiliser uniquement un maïs comme plante-test, comme initialement prévu, mais à subdiviser chaque parcelle pour y cultiver la même année un blé d'hiver et un maïs grain.

Le déroulement des opérations selon le calendrier cultural est présenté dans le tableau synoptique de l'annexe 3. N'y figurent que les principaux travaux ayant pu avoir une action sur les données recueillies. Les autres interventions (entretien et nettoyage) furent conduites selon les normes préconisées en grande culture.

## III. — RÉSULTATS

Nous distinguerons les données obtenues pendant la phase préparatoire de celles relatives à la phase d'évaluation.

### 1. — Phase préparatoire

a) *Les résultats culturaux globaux* sont résumés dans le tableau 5.

Aucun apport d'azote n'ayant été effectué durant cette phase, le bilan en cet élément derrière maïs est nettement négatif ; quant à celui derrière luzerne, c'est précisément le but de l'expérience d'en tenter l'estimation.

En 1962, la lente implantation de la luzerne, par suite de la sécheresse estivale, ne permit qu'une coupe de nettoyage non pesée, en juillet, suivie d'une autre, pesée

le 14-9. Le rendement en grain du maïs fut faible : 31,9 q/ha de M.S (correspondant à 37,5 q/ha) de grains à 15 % d'humidité.

TABLEAU 5

*Production de matière sèche et exportations d'azote pendant la phase préparatoire*

Traitements	Espèce	Production de M. S. (t/ha)				Exportations d'azote (kg/ha)			
		1962	1963	1964	Total	1962	1963	1964	Total
1-2-3	Maïs	6,707	8,348	5,670	20,725	59,33	70,76	53,88	183,97
4	Luzerne	0,384	12,190	9,870	22,444	11,52	297,69	219,08	528,29

L'année 1963, très nettement au-dessus de la moyenne pluviométrique, permit 4 coupes de luzerne et un rendement en grain du maïs de 31,2 q/ha de MS (36,7 à 15 p. 100 d'humidité).

L'été très sec de 1964 et la nécessité de retourner assez tôt la luzerne, afin d'assurer une bonne implantation du blé, n'autorisèrent que trois coupes de fourrage. Le troisième maïs sans azote, souffrant d'un déficit hydrique important, ne justifiait pas une récolte séparée du grain et de la paille. Sa masse végétale fut donc évaluée globalement.

L'analyse statistique des résultats obtenus sur maïs, chaque année et sur l'ensemble des années, confirma l'absence de différences significatives entre les parcelles destinées aux futurs traitements 1 à 3.

b) Pour apprécier l'évolution du sol sous les deux groupes de traitements, les mesures ont porté, à l'issue des trois années de phase préparatoire, sur la stabilité structurale et sur les taux de carbone et d'azote organiques.

En ce qui concerne la stabilité structurale, le tableau 6 rassemble les résultats obtenus, à savoir les principales composantes de l'indice S et ce dernier.

TABLEAU 6

*Stabilité structurale sous les différents traitements à l'issue de la phase préparatoire*

Traitements	A <sub>ga</sub> vrais	A <sub>gb</sub> vrais	A <sub>ge</sub> vrais	(A + L) max	S
Maïs (3 ans)	14,79	1,15	1,16	30,5	3,92
Maïs —	13,02	0,64	0,65	32,3	4,69
Maïs —	13,91	1,48	3,28	30,9	4,20
Luzerne —	14,35	1,41	5,15	29,0	3,75
	NS	NS	NS	Non calculé	NS

Bien que le coefficient de variation soit inférieur à ce que l'on rencontre d'ordinaire dans ce type d'essai, aucun des éléments de l'indice n'a été modifié de façon

significative au cours de la phase préparatoire. Ce fait ne doit pas surprendre. A de nombreuses reprises, il a été montré que le repos du sol sous luzerne n'avait pas d'influence sensible sur la stabilité structurale de la couche arable considérée dans son ensemble. Les raisons invoquées (MONNIER, 1965) tiennent d'une part à une distribution des racines de luzerne moins régulière que celle des graminées fourragères, d'autre part à la longévité de ces racines qui ne se décomposent qu'après le retournement de la culture fourragère.

Quoi qu'il en soit, on peut considérer que la phase préparatoire n'a entraîné aucune différenciation de comportement entre les différents précédents, ce qui devrait simplifier l'interprétation des comparaisons de rendements au cours de la phase d'évaluation.

Pour ce qui est des constituants caractéristiques de la matière organique, les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 7.

TABLEAU 7

*Carbone et azote organique sous les différents traitements  
à l'issue de la phase préparatoire*

Traitement	C Total p. 1 000	N p. 1 000	C/N
3 maïs sans fumure azotée {	1 ..... 16,54	1,53	10,8
	2 ..... 16,03	1,43	11,1
	3 ..... 16,15	1,48	10,9
3 ans luzerne 4.....	18,29	1,62	11,2
P.p.d.s. ....	1,42	0,14	non calculé

On constate que les taux de carbone total ont été accrus sous luzerne de façon significative. Les quantités supplémentaires calculées en comparant le traitement (4) à la moyenne des traitements (1) (2) et (3) font apparaître un enrichissement de la couche arable correspondant approximativement à 12 t de matière organique sèche à l'ha et à environ 400 kg d'azote.

Un fractionnement densimétrique des matières organiques montre que cet enrichissement se répartit approximativement pour moitié sur la matière organique liée et pour moitié sur la matière organique libre.

Les 6 tonnes de matières organiques liées supplémentaires peuvent être attribuées à une minéralisation plus lente du stock d'humus présent dans la couche arable au cours des années sans travail du sol. Quant aux 6 tonnes de matières organiques libres, elle représentent approximativement l'apport que constituent les racines de luzerne présentes dans la couche labourée.

Dans l'ensemble, le rapport C/N calculé de l'apport est de l'ordre de 15, c'est-à-dire qu'il est sensiblement plus faible que sous prairie de graminées pures où il est couramment de l'ordre de 20 à 30.

## 2. — Phase d'évaluation

a) *Essai A* (rotation maïs — blé — avoine) :

1965 : première année de mesure à l'aide du maïs.

Dès la première année, les différences de rendements et d'exportations d'azote (tabl. 8) sont suffisamment nettes et significatives pour estimer les effets résiduels du traitement 4 équivalents à l'apport de 100 unités d'azote (les différences n'étant jamais statistiquement significatives entre les traitements 4 et 2). On peut donc admettre que, dans les conditions de l'expérience, une minéralisation correspondant à une centaine de kilogrammes d'azote s'est produite derrière luzerne, dès la première année de culture, au profit du maïs. En outre, il est intéressant de noter que l'azote de l'engrais n'a pas agi de la même manière dans les intervalles 50-100 kg/ha et 100-150 kg/ha :

kg de matière sèche obtenus par kg d'azote supplémentaire

Nature de la masse végétale	grain	paille + rafles	total (g+p+r)
Intervalle { 50-100 .....	17,26	13,08	30,34
{ 100-150 .....	12,46	16,22	28,68

L'effet global de l'azote (à la limite des rendements moins que proportionnels pour la dose 150) est identique pour les deux intervalles mais la répartition de cet

TABLEAU 8

*Essai A* (rotation maïs-blé-avoine) = 1966, première année de mesure (maïs)  
Rendements

Précédents	Apport d'azote (kg/ha)	Nombre d'épis/plante	Rendements					Rapport	
			Grains à 15 % eau (q/ha)	t/ha de MS				Grain	Rafles
				Grain	Paille	Rafles	Total	Paille	Grain
Maïs { 1 .....	50	0,943	56,98	4,845	3,100	0,834	8,779	1,562	0,269
	100	0,973	67,12	5,708	3,570	1,018	10,296	1,598	0,285
	150	0,977	74,45	6,331	4,360	1,039	11,730	1,452	0,238
Luzerne 4 .....	0	0,958	63,28	5,381	3,410	0,995	9,786	1,578	0,291
P.p.d.s. ....		NS	5,18	0,441	0,290	NS	0,462		

## Exportations d'azote par la matière sèche

Précédents	Apport d'azote (kg/ha)	Exportations (kg/ha)				Teneur (%)		
		Grain	Paille	Rafles	Total	Grain	Paille	Rafles
Maïs { 1 .....	50	62,53	23,60	4,72	90,85	1,29	0,76	0,56
	100	79,94	31,85	5,77	117,56	1,40	0,89	0,56
	150	93,74	45,77	5,89	145,40	1,48	1,05	0,57
Luzerne 4 .....	0	74,83	27,30	5,64	107,77	1,39	0,80	0,56
P.p.d.s. ....		6,24			6,15	0,06		



effet entre les organes végétaux est différente. Ce phénomène, que nous rencontrons plusieurs fois dans le cours de cette série d'articles, démontre la nécessité d'estimer les effets résiduels non seulement sur le rendement en grain, mais aussi sur le rendement global, et mieux sur les parties de ce rendement, si l'on veut réaliser correctement les interprétations agronomiques et essayer d'expliquer les mécanismes d'action d'un précédent.

Les notations d'aspect de la végétation (fig. 1) bien que moins précises sur une plante allogame comme le maïs que sur une autogame comme le blé, ne révèlent une progression continue des notes, jusqu'à un palier, que pour le traitement 3. Les autres traitements voient leurs notes diminuer, et notamment le traitement 4, entre le 21-7 et le 17-8. L'explication pourrait en être une demande d'azote intense au moment de la floraison (survenue précisément pendant cet intervalle) ; précédemment, les notes de ce traitement étaient, par contre, meilleures que celles des traitements 1 et 2 (ce dernier, non statistiquement différent sur la base du rendement à la récolte). Les traitements 1 à 3 sont différents les uns des autres pendant toute la durée de la végétation ce qui indique un effet dose d'azote marqué, depuis le départ, même en période végétative à faibles besoins.

Deux mensurations effectuées les 21-7 et 18-8 n'ont pas apporté de résultats plus précis que les notations. A titre indicatif, ces mesures sont données au tableau 9.

TABLEAU 9  
*Hauteur moyenne de 30 plantes/traitement (cm)*

Précédents		21-7	18-8
Maïs	1 + 50 N .....	81,2	102,7
	2 + 100 N .....	88,5	107,4
	3 + 150 N .....	84,8	108,7
Luzerne	4 + 0 N .....	89,7	106,2
		NS	non calculé

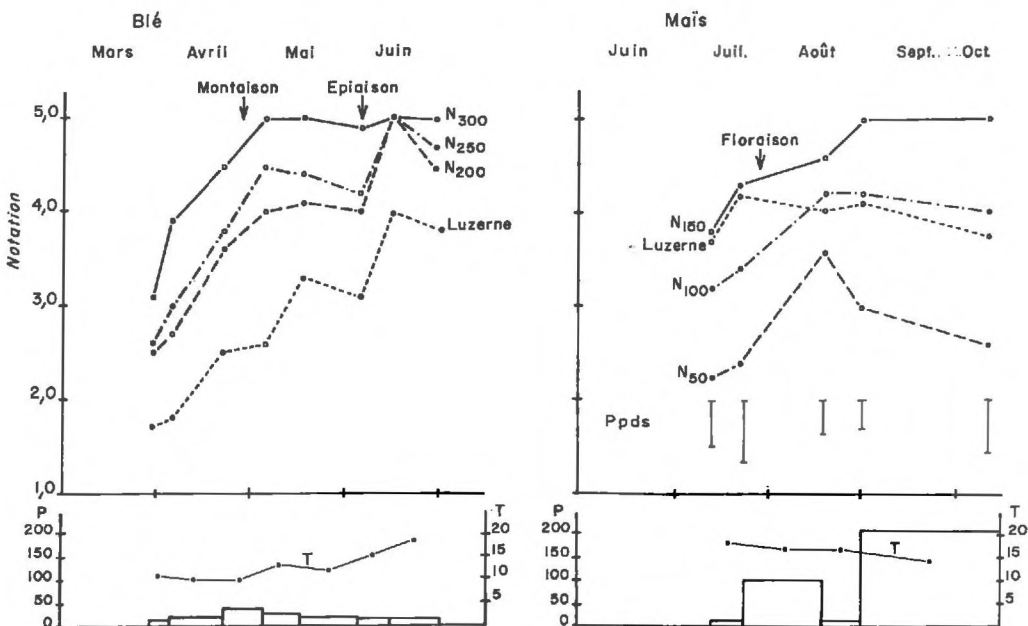
La hauteur finale, identique pour tous les traitements, a été estimée par sondages à 1,50-1,60 m. Les différences de rendement en paille ne peuvent donc être attribuées qu'à une variation de la grosseur ou de la densité physique des tiges.

La mesure, après récolte, de 60 épis pris au hasard a surtout révélé l'importance de la variabilité intra-variétale. La longueur moyenne d'un épi (en cm) correspondait, pour les traitements 1 à 4, à 16,5, 17,3, 17,9 et 16,5 respectivement.

#### *1966 : deuxième année de mesure à l'aide du blé.*

Comme les rendements du maïs en 1965, ceux du blé réagissent en fonction de la dose d'azote appliquée aux traitements 1 à 3 (tabl. 10). Seule la dose « 150 kg/ha » permet une production de grain correcte. Pour les deux autres, la médiocrité des performances est probablement due à une mauvaise nutrition azotée, comme l'indiquent, d'ailleurs, les notes d'aspects (fig. 1). On constate, à nouveau, que cet aspect reflète bien la fertilisation azotée apportée même à un moment où les besoins des plantes sont vraisemblablement encore peu importants (notations du 21-3). Ensuite,

1965



1966

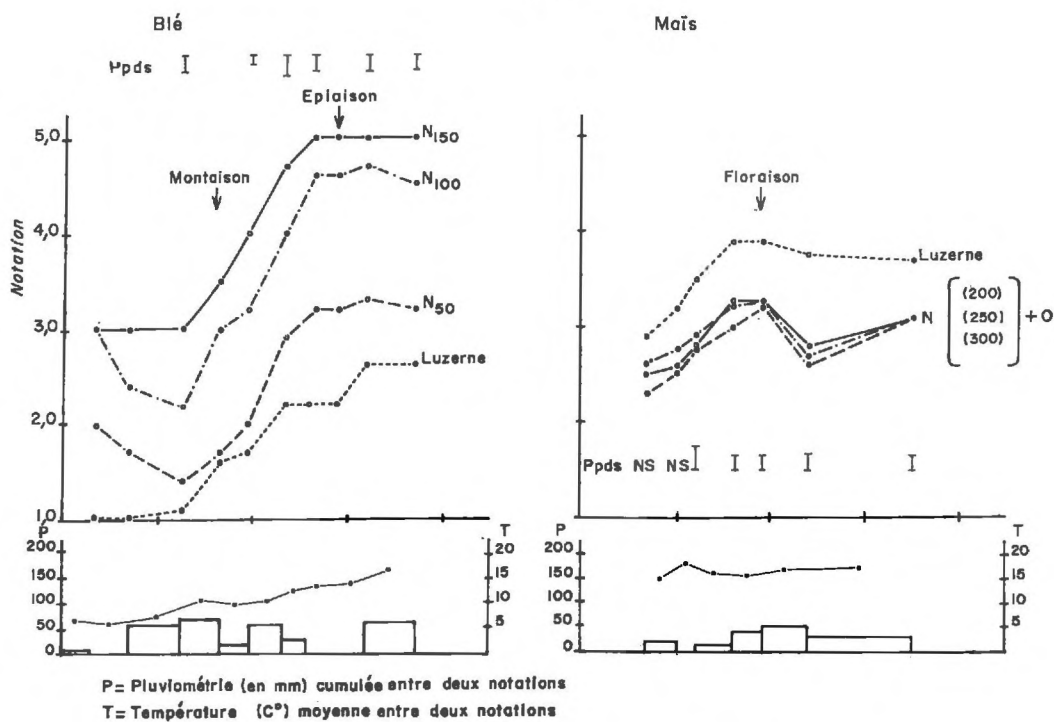


FIG. 1. — Relation aspect de la végétation-temps (Traitements 1, 2, 3, 4)

les notes progressent parallèlement. Pour les quatre traitements, une augmentation nette se remarque à la date du 20-4, laquelle coïncide avec le début de la montaison, ainsi qu'avec une élévation sensible de la température. On peut donc situer entre le 7 et le 20-4 le départ de la minéralisation qui doit se poursuivre, ensuite, avec une intensité variable, suivant les traitements, en relation avec l'azote disponible (fig. 1 et tabl. 11 : hauteur moyenne des plantes).

Le précédent « luzerne » est constamment inférieur au précédent « maïs-N<sub>50</sub> », aussi bien pour les productions de matière sèche à l'hectare, grain et total (tabl. 10 :

TABLEAU 10

*Essai A (rotation maïs-blé-avoine) = 1966, deuxième année de mesure (blé)*  
*Rendements*

Précédents	Apports d'azote (kg/ha)		Rendements				Rapport Grain Paille
	Maïs 1965	Blé 1966	Grain à 15 % eau (q/ha)	t/ha de MS			
				Grain	Paille	Total	
Maïs { 1 .....	50	50	27,26	2,318	2,736	5,054	0,847
2 .....	100	100	44,51	3,785	4,470	8,255	0,846
3 .....	150	150	55,47	4,717	5,555	10,272	0,849
Luzerne 4 .....	0	0	21,06	1,791	1,884	3,675	0,950
P.p.d.s. ....			3,71	0,316	0,400	0,705	

*Exportations d'azote par la matière sèche*

Précédents	Apports d'azote (kg/ha)		Exportations (kg/ha)			Teneur (%)	
	Maïs 1965	Blé 1966	Grain	Paille	Total	Grain	Paille
Maïs { 1 .....	50	50	34,54	7,93	42,47	1,49	0,29
2 .....	100	100	59,42	12,07	71,49	1,57	0,27
3 .....	150	150	77,83	16,67	94,50	1,65	0,30
Luzerne 4 .....	0	0	30,45	6,03	36,48	1,70	0,32
P.p.d.s. ....			5,37	1,24	6,50	Toutes différentes	Non calculé

rendements) que pour les exportations d'azote (tabl. 10 : exportations) et les notes d'aspect. Ceci laisse supposer qu'une faible quantité d'azote a été mise à sa disposition. L'analyse des composantes du rendement (tabl. 11), bien qu'il n'ait pas été possible de différencier les plantes à la récolte à la suite d'une attaque de piétin, *Ophiobolus graminis* SACC. (tabl. 12) confirme cette hypothèse. Les facteurs de la fertilité réagissent nettement à la quantité d'azote facilement disponible pour la plante et concourent à démontrer l'impossibilité, pour une culture d'hiver, succé-

dant à une culture d'été, de trouver suffisamment d'azote dans le sol en deuxième culture « derrière luzerne », même à des périodes où le rendement n'est encore qu'en « préparation ». On notera, en outre, que la nocivité des attaques de piétin est nettement dépendante de la nutrition azotée (GARRETT, 1950).

TABLEAU II

*Essai A (rotation maïs-blé-avoine) = 1966, deuxième année de mesure (blé)*  
Composantes du rendement

Précédents	Apports d'azote (kg/ha)		Par mètre linéaire			Nombre de grains par épis	Poids de 1000 grains (à 15 % eau (g))	Échaudage 0 = maxim 5 = nul	Rapport talles-épis — talles-tot.
	Maïs 1965	Blé 1966	Nombre de plantes levées	Nombre de talles	Nombre d'épis				
Maïs { 1 ....	50	50	68	94,46	52,8	23,80	52,430	3,68	0,56
2 ....	100	100	68	109,95	65,5	27,10	53,213	3,35	0,59
3 ....	150	150	67	118,45	71,3	30,83	53,690	2,37	0,60
Luzerne 4 ....	0	0	63	77,96	48,6	19,16	50,306	3,23	0,62
P.p.d.s. ....			NS	14,30	10,9	3,10	2,060	0,90	

*Hauteur moyenne des plantes (cm)*

Précédents	Apports d'azote (kg/ha)		27-5	6-6 (1)	Croissance absolue dans l'interv. (2)	Croissance relative d. l'int. (3)
	Maïs 1965	Blé 1966				
Maïs { 1 .....	50	50	62,5	98,3	+ 35,8	0,57
2 .....	100	100	75,8	105,8	+ 30	0,40
3 .....	0	0	84,0	112,5	+ 28,5	0,34
Luzerne 4 .....	0	0	46,2	83,7	+ 37,5	0,92
P.p.d.s. ....			Toutes différentes	6,0		

(1) Hauteur définitive.

(2) Hauteur au 6-6 — Hauteur au 27-5.

(3) Hauteur au 6-6 — Hauteur au 27-5

Hauteur au 27.5.

Comme pour le maïs, l'engrais apporté n'a pas agi de la même façon tout au long de l'intervalle 50-150 unités :

*kg de matière sèche obtenus par kg d'azote supplémentaire*

Nature de la masse végétale :		grain	paille	totale
Intervalle {	50-100 .....	29,34	34,68	64,02
	100-150 .....	18,54	21,70	40,24

TABLEAU 12

*Notations de piétin* <sup>(1)</sup> (*Ophiobolus graminis* SACC.)  
(p. 100 moyen de plantes malades avant la récolte)

Traitements	Échaudage	Verse
1	25,3	49,1
2	15,7	62,1
3	23,7	59,8
4	43,3	67,1

<sup>(1)</sup> Effectuées par M. LEMAIRE (Station de Pathologie, E.N.S.A., Rennes).

La différence de réaction est plus accentuée que pour le maïs. Chez le blé, en constant déséquilibre vis-à-vis de la fourniture d'azote par le sol, un apport échelonné de 50 unités, dans l'intervalle 50-100, fait augmenter le rendement dans des proportions importantes, alors qu'avec le maïs ayant précédé, les effets sont beaucoup plus tamponnés, la croissance coïncidant avec la période de minéralisation.

Sans restitution des pailles depuis 1961, et, par conséquent, en régime d'épuisement de la matière organique, les traitements 1 à 3 conduisent à des réactions parallèles des deux cultures, exprimées en bilan : apports d'engrais — exportations d'azote (fig. 2) :

Traitements	Apports d'azote (kg/ha)		Export. d'azote (kg/ha)		Bilan dans le sol (kg/ha)	
	Maïs 1965	Blé 1966	Maïs 1965	Blé 1966	Maïs 1965	Blé 1966
1	50	50	90	42	— 40	+ 8
2	100	100	117	71	— 17	+ 29
3	150	150	145	94	+ 5	+ 56

Dans la mesure où la majorité de l'azote de l'engrais se retrouve dans les cultures, plus la dose augmente, plus le sol tend à apparaître comme un support inerte pour la plante, vis-à-vis de cet élément. Pour la succession maïs-blé, le bilan aurait été balancé pour un apport annuel de 85 kg d'azote par hectare.

*1967 : troisième année de mesures à l'aide de l'avoine.*

Les résultats de la troisième année de culture-test contribuent à clarifier les conclusions à tirer de cet essai, en venant confirmer que l'engrais chimique seul, sans le concours de la matière organique, ne peut maintenir, dans les conditions de l'expérience, la fertilité du sol à un niveau élevé. En effet, dans le tableau 13, on voit que les traitements 1 à 3 correspondent aux mêmes rendements et que seul le traitement 4, avec 1,45 t de plus (en MS) que la moyenne des trois autres, révèle un

effet résiduel très nettement positif, à long terme, de la luzerne. Cet effet peut s'expliquer en partie, par le déphasage entre la fourniture d'azote par le sol en 1966 et les besoins de la plante cultivée cette année-là, autrement dit le blé d'hiver, qui n'a pu utiliser qu'une faible quantité du stock présent, le reste devant être jusqu'au printemps sous une forme inaccessible à la culture, d'où son mauvais rendement. L'avoine

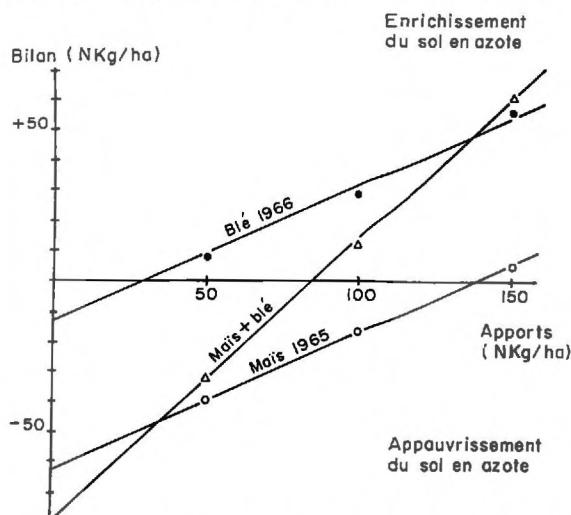


FIG. 2. — Variation du bilan de l'azote avec la dose d'engrais azoté apportée

TABLÉAU 13

Essai A (rotation maïs-blé-avoine) = 1967, troisième année de mesure (avoine)  
Rendements et exportations d'azote par la matière sèche

Précédents	Apports d'azote (kg/ha)			Rendement total (t/ha de MS) <sup>(1)</sup>	Exportations d'azote (kg/ha)	Teneur azote (%)
	Maïs (1965)	Blé (1966)	Avoine (1967)			
Maïs { 1 .....	50	50	0	5,483	37,65	0,688
	100	100	0	5,412	36,48	0,673
	150	150	0	5,702	36,62	0,645
Luzerne 4 .....	0	0	0	6,988	44,54	0,636
P.p.d.s .....				0,633	6,85	NS

<sup>(1)</sup> Récolte au stade grain pâteux.

a donc bénéficié, de par sa position dans la rotation, d'azote non absorbé précédemment, mais aussi, bien entendu, d'une minéralisation cadrant mieux avec ses besoins propres. On peut dire, en tous cas, qu'elle a toujours présenté un aspect plus luxuriant derrière luzerne (tabl. 14). On verra plus loin (tabl. 23) que le rendement de



l'avoine, après la succession « Blé + Maïs », est significativement inférieur à celui trouvé ici. Dans ce dernier cas, la plante venant derrière maïs n'a pas bénéficié de reliquats mais s'est trouvée, au contraire, sur un sol appauvri, sans réserves.

TABLEAU 14

*Essai A (rotation maïs-blé-avoine) = 1967, troisième année de mesure (avoine)*  
*Notations d'aspect de la végétation et hauteur finale*

Précédents	Apports d'azote (kg/ha)			Aspect						Hau- teur (cm) 11-7
	Maïs (1965)	Blé (1966)	Avoine (1967)	2-5	11-5	23-5	6-6	23-6	17-7	
Maïs { 1 .....	50	50	0	2,1	1,7	2,7	3,0	3,0	3,6	85,8
2 .....	100	100	0	1,6	1,7	2,7	2,8	3,0	3,6	85,8
3 .....	150	150	0	2,0	1,7	2,6	2,9	3,2	3,9	81,9
Luzerne 4 .....	0	0	0	2,5	3,0	3,9	3,8	3,8	4,4	98,3
P.p.d.s				Non calculée	0,4	Non calculée				
Facteurs climatiques entre 2 notations	Température moyenne (C°) .....				12,3	13,6	14,8	16,3		
	Pluviométrie cumulée en mm .....				54,8	84,4	10,5	22,2		

*Bilan des trois années de la phase de mesure.*

La production totale de matière sèche et les exportations cumulées d'azote correspondantes sont rassemblées au tableau 15. Sur la base de la seule matière sèche, on peut rapprocher les rendements du traitement 4 de celui du traitement 1, dont il

TABLEAU 15

*Essai A = Bilan des trois années de la phase de mesure*  
*Rendements en matière sèche et exportations d'azote pour la période*  
*1965-1967*

Traitements (précédents + azote)	Rendement en MS (t/ha)				Exportations d'azote (kg/ha)				Bilan de l'azote (kg/ha) Ap.-export
	1965 maïs	1966 blé	1967 avoine	Total	1965 maïs	1966 blé	1967 avoine	Total	
1. 50 + 50 + 0 ...	8,779	5,054	5,483	19,316	90,85	42,47	37,65	170,97	— 71
2. 100 + 100 + 0 ...	10,296	8,255	5,412	23,963	117,56	71,49	36,48	225,53	— 26
3. 150 + 150 + 0 ...	11,730	10,272	5,702	27,704	145,40	94,50	36,62	276,52	+ 24
4. 0 + 0 + 0 ...	9,786	3,675	6,988	20,449	107,77	36,48	44,54	188,79	
P.p.d.s. ....	0,462	0,705	0,633	1,541	6,15	6,50	6,85		

n'est pas significativement différent. Une luzerne de trois ans laisse donc une terre capable de fournir une quantité d'N équivalente à ce qu'a fourni un sol recevant 100 unités d'azote en trois ans. Sur la base des exportations d'azote les fournitures par le sol s'établissent à 189 kg et 171 kg, respectivement derrière luzerne et derrière trois maïs sans azote. L'utilisation comparée des exportations pour l'explication des résultats obtenus est cependant délicate, à cause des bilans d'azote très différents. Dans le cas des traitements recevant une fertilisation azotée, la fourniture du sol ou son enrichissement sont plus ou moins proportionnels à la dose apportée. Quant aux cultures derrière luzerne, la fourniture d'azote par le sol, indépendante de l'effet « légumineuse », est difficile à évaluer. D'autre part, la minéralisation des résidus organiques du précédent est fortement influencée par l'action conjuguée des facteurs climatiques et des façons culturales.

b) *Essai B* (rotation blé-maïs-avoine).

*1965: première année de mesure à l'aide du blé.*

Les doses élevées d'apports d'azote sur les traitements 1, 2 et 3 ont nivelé les rendements en grain à 50 q/ha et seul le traitement 3 extériorise un gain de 1 t/ha

TABLEAU I6

*Essai B (rotation blé-maïs-avoine) = 1965, première année de mesure (blé)*  
*Rendements*

Précédents	Apport azote (kg/ha) blé (1965)	Rendements				Rapport <u>grain</u> <u>paille</u>
		grain à 15 % eau (q/ha)	t/ha de MS			
			Grain	Paille	Total	
Maïs { 1 .....	200	50,26	4,274	4,388	8,662	0,974
	250	50,13	4,263	4,317	8,580	0,987
	300	50,00	4,251	5,264	9,515	0,804
Luzerne 4 .....	0	42,66	3,628	2,652	6,280	1,368
P.p.d.s. ....		3,38	0,288	0,558	0,735	

*Exportations d'azote par la matière sèche*

Précédents	Apport azote (kg/ha) blé (1965)	Exportations (kg/ha)			Teneur (%)	
		Grain	Paille	Total	Grain	Paille
Maïs { 1 .....	200	81,87	17,92	99,79	1,92	0,41
	250	83,29	16,34	99,63	1,96	0,38
	300	89,37	20,45	109,82	2,11	0,39
Luzerne 4 .....	0	65,43	9,24	74,67	1,81	0,35
P.p.d.s. ....		5,44	2,24	6,80		

en paille. Les teneurs en azote du grain augmentent en fonction de la quantité d'engrais apportée (tabl. 16).

L'infériorité de comportement derrière luzerne est explicable par l'examen des composantes du rendement (tabl. 17). A nombres de plantes statistiquement iden-

TABLEAU 17

*Essai B (rotation blé-mais-avoine) = 1965, première année de mesure (blé)  
Composantes du rendement*

Précédents	Apports (kg/ha) blé (1965)	Par mètre linéaire			Nombre de grains par épi	Poids de 1000 grains (à 15 % eau) (g)	Échaudage 0 = maxim. 5 = nul	Rapport talles-épis talles tot.
		Nombre de plantes levées	Nombre de talles	Nombre d'épis				
Maïs { 1 .....	200	45,1	234,97	70,80	29,75	54,900	4,00	0,301
	250	48,3	230,39	85,00	27,65	55,030	4,25	0,369
	300	45,0	226,80	84,15	26,10	51,743	2,25	0,371
Luzerne 4 .....	0	42,3	141,70	51,60	29,39	58,883	5,00	0,366
F.p.d.s. ....		NS			NS	3,320		

N. B. Il n'y a pas eu de verse.

tiques (38 environ par mètre linéaire à la récolte), deux composantes ont joué un rôle prépondérant sur le rendement : le nombre d'épis et le poids de 1 000 grains. Il apparaît que l'infériorité du précédent « luzerne » (traitement 4) est explicable par le nombre d'épis insuffisant au m<sup>2</sup>, sans que le poids de 1 000 grains (et éventuellement le nombre de grains par épi) ait pu compenser ce handicap de départ. La comparaison des composantes du rendement du blé, pour ce traitement, lors des deux années de mesure : en 1965, directement après le retournement de la luzerne ; en 1966, après maïs (tabl. 11), fait ressortir dans le deuxième cas, une « faim » d'azote encore plus sérieuse, matérialisée par le tableau 18 (compte tenu du fait qu'en 1966 un effet « année » a pu se superposer à l'effet « précédent »).

TABLEAU 18

*Comparaison des composantes du rendement du blé après luzerne  
et après luzerne suivie de maïs*

Année	Précédent	Rendement en grain (q/ha)	Nombre		Poids de 1 000 grains
			d'épis/m.l.	grains/épi	
1965 .....	Luzerne	36,28	51,6	29,39	58,883
1966 .....	Maïs	17,91	48,6	19,16	50,306

Les conditions sont accentuées par l'année de culture supplémentaire, après luzerne.

Si le nombre d'épis fut pratiquement le même dans les deux cas, les deux cultures se différencient par la suite. Aussitôt après retournement, les résidus de luzerne ont libéré assez d'azote pour entraîner la formation d'un plus grand nombre de grains, également mieux nourris ; alors qu'après un an de culture, la compensation de cer-

TABLEAU 19

Essai B (rotation blé-maïs-avoine) = 1965, première année de mesure (blé)  
Hauteur moyenne des plantes (cm)

Précédents	Apport d'azote (kg/ha) blé (1965)	5-6	15-6 ( <sup>1</sup> )	Croissance absolue ( <sup>2</sup> )	Croissance relative ( <sup>3</sup> )
Maïs { 1 .....	200	92,3	107,3	+ 15,0	0,14
	250	93,3	107,5	+ 14,2	0,14
	300	97,5	108,8	+ 11,3	0,10
Luzerne 4 .....	0	81,7	100,6	+ 18,9	0,23
P.p.d.s. ....		4,7	3,6		

(<sup>1</sup>) Hauteur définitive.

(<sup>2</sup>) Hauteur au 15-6 — Hauteur au 5-6

(<sup>3</sup>)  $\frac{\text{Hauteur au 15-6} - \text{Hauteur au 5-6}}{\text{Hauteur au 5-6}}$ .

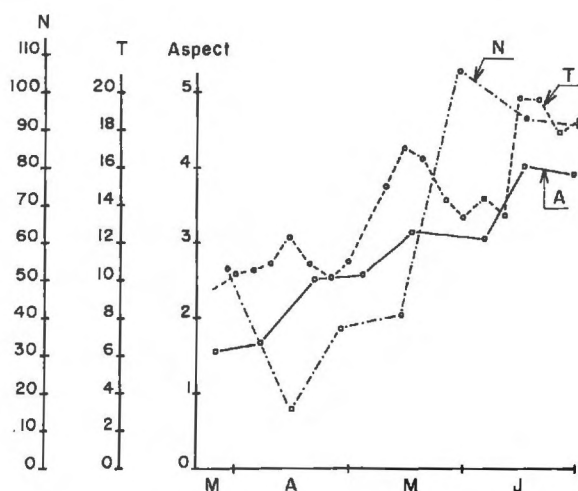


FIG. 3. — Relation entre l'évolution de l'aspect d'un blé derrière luzerne, l'élévation de la température du sol et la minéralisation de l'azote.

T = température moyenne (5 jours) à 5 cm dans le sol.

N = N kg/ha sur 60 cm, sous sol nu, n'ayant pas reçu d'azote.

taines composantes (nombre de grains/épi et surtout poids de 1 000 grains) qui s'était manifestée en 1965, n'a pu jouer en 1966. C'est probablement là une conséquence de la faim d'azote, certainement rendue plus aiguë par l'attaque, plus grave sur ce traitement, de piétin-échaudage (tabl. 10), effet plutôt que cause de la mauvaise nutrition des plantes.

En comparant les notations d'aspect pour les quatre traitements (fig. 1 et tabl. 19), on s'aperçoit que les plantes derrière luzerne dépendent plus des facteurs

TABLEAU 20

*Relation entre l'évolution de l'aspect d'un blé derrière luzerne (A), l'élévation de la température du sol (T) et la minéralisation de l'azote (N)*

$A = 0,202 T + 0,43$					
<i>Analyse de la variance</i>					
		Degrés de liberté	Carré moyen	F calculé	F 0,05
Total .....	3,59	6	—	—	—
Régression .....	2,23	1	2,23	8,26	6,61
Résidu .....	1,36	5	0,27	—	—
$A = 0,016 N + 1,83$					
<i>Analyse de la variance</i>					
		Degrés de liberté	Carré moyen	F calculé	F 0,05
Total .....	3,59	6	—	—	—
Régression .....	2,87	1	2,87	20,50	6,61
Résidu .....	0,72	5	0,14	—	—
$N = 12,65 T - 87,41$					
<i>Analyse de la variance</i>					
		Degrés de liberté	Carré moyen	F calculé	F 0,05
Total .....	11 430,0	6	—	—	—
Régression .....	8 752,5	1	8 752,5	16,34	6,61
Résidu .....	2 677,5	5	535,5	—	—
<i>Coefficients de corrélation</i>					
	T	N			
A	0,789*	0,894**	* significatif pour P = 0,05		
T	—	0,875**	** = 0,01		
$r_{A \cdot TN}$	0,887**				

climatiques que celles des trois autres traitements dont les notes progressent très régulièrement. Tout se passe comme si la fertilisation azotée mettait à l'abri le végétal des aléas d'une minéralisation très influencée par les conditions écologiques. Il y a



une relation nette entre la réalisation de l'aspect final pour le blé derrière luzerne et, d'une part, l'élévation de la température du sol, d'autre part, la minéralisation de l'azote (fig. 3 et tabl. 20), même si le rythme de ce dernier phénomène n'est pas absolument identique en sol nu et sous culture.

1966 : deuxième année de mesure à l'aide du maïs.

A la suite des doses importantes d'azote appliquées à la culture du blé en 1965, il a paru logique de tenter d'estimer les effets résiduels de cette fertilisation anormale au travers de la culture du maïs. L'intérêt des résultats obtenus (tabl. 21) réside dans le fait que ces effets résiduels de fortes doses d'azote ne sont pas suffisants pour maintenir une fertilité élevée puisque les rendements des trois premiers traitements sont inférieurs à celui du traitement 4. Néanmoins, une certaine action est possible,

TABLEAU 21

Essai B (rotation blé-maïs-avoine = 1966, deuxième année de mesure (maïs)  
Rendements

Précédents	Apports d'azote (kg/ha)		Nombre d'épis/plante	Rendements					Rapport	
	Blé (1965)	Maïs (1966)		Grain à 15 % eau (q/ha)	t/ha de MS				Grain paille	Rafles grain
					Grain	Paille	Rafles	Total		
Maïs { 1 ..... 2 ..... 3 ..... Luzerne 4 .....	200	0	0,943	42,31	3,598	3,328	0,981	7,907	1,081	0,272
	250	0	0,949	43,04	3,660	3,417	0,993	8,070	1,071	0,271
	300	0	0,944	43,72	3,718	3,315	1,067	8,100	1,121	0,286
	0	0	0,941	53,68	4,565	3,828	1,218	9,611	1,192	0,266
P.p.d.s. ....			NS	4,78	0,407	NS	NC	0,906		

Exportations d'azote par la matière sèche

Précédents	Apports d'azote (kg/ha)		Exportations (kg/ha)				Teneur (%)		
	Blé (1965)	Maïs (1966)	Grain	Paille	Rafles	Total	Grain	Paille	Rafles
Maïs { 1 .....	200	0	42,78	15,29	3,23	61,30	1,19	0,47	0,35
	250	0	43,15	15,70	3,28	62,13	1,18	0,46	0,31
	300	0	44,58	15,23	3,52	63,33	1,20	0,46	0,31
	0	0	55,64	17,59	4,02	77,25	1,22	0,46	0,34
Luzerne 4 .....									
P.p.d.s. ....			4,85	NC	NC	6,61			



dont le classement des traitements 1, 2 et 3, identique à celui des doses d'azote appliquées l'année précédente, pourrait être une image, bien que les différences ne soient pas statistiquement significatives.

Entre les trois traitements « azote », les notes d'aspects n'ont guère varié (fig. 1), les écarts n'étant que des fluctuations indépendantes du facteur « contrôlé ». Par contre, le traitement 4 se trouve toujours en tête, ce qui révèle des possibilités d'absorption supérieures. En deuxième année après luzerne, le maïs fournit encore un rendement satisfaisant comparable, au point de vue exportations de matière sèche, à ce qu'il était l'année précédente, immédiatement derrière luzerne : 9,61 t/ha en 1966 contre 9,79 en 1965. Cependant, cette matière sèche se répartit différemment dans les organes aériens : 55 p. 100 dans le grain en 1965 (le reste dans la paille et les rafles) contre 47,5 p. 100 en 1966, ce qui pourrait être le signe d'une meilleure fourniture d'azote en première année derrière luzerne (ce qui est confirmé par les chiffres d'exportation). Ceci peut aussi être à l'origine de la baisse des notes d'aspect après la floraison (fig. 1), c'est-à-dire à un moment d'exigences élevées en fourniture d'azote. Il faut cependant rappeler, également, que la pluviométrie de l'été 1966, mieux répartie, a également contribué à favoriser la production de paille.

Sur les cultures d'été, l'effet « année » intègre donc bien la dynamique particulière de l'azote du sol, pendant la période de végétation.

Les poids de 1 000 grains (tabl. 22a) et la longueur moyenne sont donnés à titre indicatif.

TABLEAU 22 a

*Essai B (rotation blé-maïs-avoine) = 1966, deuxième année de mesure (maïs)  
Hauteur moyenne et poids de 1000 grains*

Traitements	Longueur moyenne de 60 épis (cm)	Poids de 1 000 grains à 85 % de MS (g)
1 .....	12,83	293,41
2 .....	13,11	292 23
3 .....	13,66	291,64
4 .....	14,83	301,05
Ppds .....	1,21	NC

*1967 : troisième année de mesure à l'aide de l'avoine.*

Les résultats concordent avec ceux présentés pour l'essai A (tabl. 22b) tant pour les rendements qu'au point de vue évolution de l'aspect. On remarque encore, sur cette troisième culture, un très léger effet résiduel de la dose d'azote 300. Les exportations derrière luzerne restent les plus élevées, mais elles sont d'un niveau moindre que dans l'essai A.

TABLEAU 22 b

Essai B (rotation blé-maïs-avoine) = 1967, troisième année de mesure (avoine)  
Rendements et exportations d'azote par la matière sèche

Précédents	Apports d'azote (kg/ha)			Rendement total (t/ha de MS) ( <sup>1</sup> )	Exportations d'azote (kg/ha)	Teneur en azote (%)
	Blé (1965)	Maïs (1966)	Avoine (1967)			
Maïs { 1 .....	200	0	0	4,880	31,44	0,645
2 .....	250	0	0	4,880	32,36	0,663
3 .....	300	0	0	4,905	31,85	0,651
Lucerne 4 .....	0	0	0	5,775	38,54	0,665
P.p.d.s. ....				0,583	5,00	

(<sup>1</sup>) Récolte au stade grain pâteux.

Notation d'aspect de la végétation et hauteur finale

Précédents	Apports d'azote (kg/ha)			2-5	11-5	23-5	6-6	23-6	17-7	Hau- teur (cm) 11/7
	Blé (1965)	Maïs (1966)	Avoine (1967)							
Maïs { 1 .....	200	0	0	1,50	1,16	2,20	2,41	2,41	2,90	76,6
2 .....	250	0	0	1,16	1,16	2,20	2,41	2,50	2,90	79,1
3 .....	300	0	0	1,33	1,16	2,20	2,50	2,50	3,07	78,3
Lucerne 4 .....	0	0	0	1,83	1,66	2,80	3,00	3,25	3,73	84,9
P.p.d.s. ....				NC	NC	0,44	NC	NC	NC	NC
Facteurs climatiques entre deux notations	Température moyenne (C).			12,3	13,6	14,8	16,3			
	Pluviométrie cumulée en mm .....			54,8	84,4	10,5	22,2			

#### Bilan des trois années de la phase de mesure.

Les exportations totales (tabl. 23), quel que soit le traitement, ne sont pas significativement différentes, contrairement à ce qui s'est passé dans l'autre rotation (tabl. 15), ce qui soulève, entre autres, le problème de l'efficacité d'apports élevés d'azote (perte ou blocage). Graphiquement, la relation entre le bilan de l'azote et l'apport en cet élément sur les deux rotations de 3 ans est représentée sur la figure 4. Cette fois encore, il semble y avoir une relation linéaire entre le bilan dans le sol et les apports. L'une des conclusions à donner à cet état de fait pourrait être qu'en présence d'un sol appauvri en matière organique, de fortes doses d'azote apportées en une seule fois ne maintiennent pas une fertilité élevée. En effet, dans l'essai A avec des doses identiques et mieux réparties, on obtient de meilleurs résultats (tabl. 24).

Il paraît bon de rappeler que les traitements 1 à 3 ont été conduits de la même manière en phase préparatoire ; on pouvait donc considérer qu'au départ de la phase de mesure, les sols étaient identiques, notamment au point de vue taux de matière organique et c'est bien ce qui ressort de l'analyse (tabl. 7). On peut penser qu'un effet résiduel ne se fait sentir qu'à la suite d'une différenciation dans le taux d'accumulation de la matière organique à la suite de la réalisation de rendements agronomiques différents, laissant obligatoirement, dans le sol, des quantités de résidus proportionnelles.

TABLEAU 23

*Essai B : Bilan des trois années de la phase de mesure*  
*Rendements en matière sèche et exportations d'azote pour la période*  
*1965-1967*

Traitements (précédents + azote)	Rendement en MS (t/ha)				Exportations d'azote (kg/ha)				Bilan de l'azote (kg/ha) Apport Export.
	1965 blé	1966 maïs	1967 avoine	Total	1965 blé	1966 maïs	1967 avoine	Total	
1. 200 + 0 + 0 .....	8,662	7,907	4,880	21,449	99,79	61,30	31,44	192,53	+ 7
2. 250 + 0 + 0 .....	8,580	8,070	4,880	21,530	99,63	62,13	32,36	194,12	+ 56
3. 300 + 0 + 0 .....	9,515	8,100	4,905	22,520	109,82	63,33	31,85	205,00	+ 95
4. 0 + 0 + 0 .....	6,280	9,611	5,775	21,666	74,67	77,25	38,54	190,46	+ 95
P.p.d.s. ....	0,735	0,906	0,887	NS	6,80	6,61	5,00		

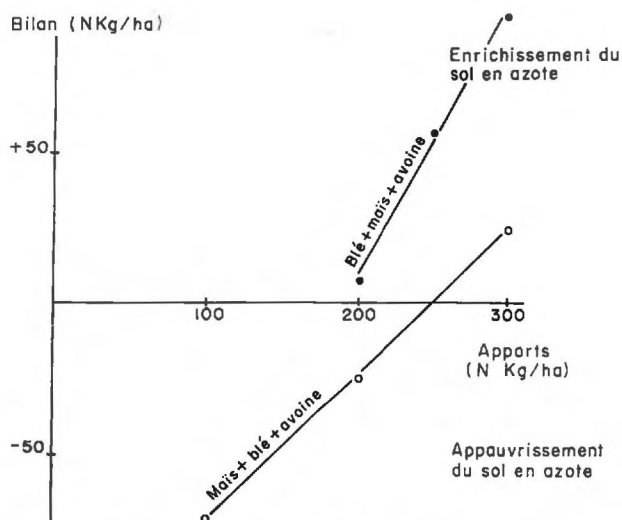


FIG. 4. — Variation du bilan de l'azote avec la dose d'engrais azoté apporté (sur 3 ans).

On constate souvent, d'ailleurs, d'une façon très nette que l'efficacité de la fertilisation minérale azotée est associée à la teneur en matière organique du sol. L'autre moyen de la rentabiliser est le fractionnement des apports en fonction des besoins de la plante, afin d'éviter des pertes préjudiciables à l'atteinte du rendement optimum.

TABLEAU 24

*Comparaison des rendements globaux en blé et maïs,  
dans les deux essais, à même niveau d'azote*

Essai	Doses d'azote (kg/ha)	Rendement en blé en MS (t/ha)	Exportations d'azote (kg/ha)
A	100 + 100	23,963	189,05
	150 + 150	27,704	239,90
B	200 + 0	21,449	161,09
	300 + 0	22,520	173,15

## IV. — CONCLUSIONS

Cet essai avait été entrepris en vue d'estimer les effets résiduels de la luzerne, après trois ans d'exploitation et retournement, notamment au point de vue nutrition azotée des cultures suivantes. Si l'on compare les bilans obtenus sur le traitement 4 pour les deux rotations : maïs + blé + avoine et blé + maïs + avoine (tabl. 25),

TABLEAU 25

*Comparaison des exportations mesurées sur deux rotations après luzerne  
(par hectare)*

Rotations	MS (t)				N (kg)			
	1965	1966	1967	Total	1965	1966	1967	Total
Maïs + Blé + Avoine .....	9,786	3,675	6,988	20,449	107,77	36,48	44,54	188,79
Blé + Maïs + Avoine .....	6,280	9,611	5,775	21,666	74,67	77,25	38,54	190,46
P.p.d.s. (P = 0,05) .....				NS			NS	NC

bien que les rendements en matière sèche se répartissent, d'une année à l'autre, différemment, on arrive en définitive à des résultats d'exportations identiques. Ceci montre, en particulier, que les mesures d'effets résiduels ne sauraient se restreindre à une seule année, car un précédent peut influencer le comportement des cultures suivantes pendant une longue période. La matière sèche, seule, n'est pas

suffisante pour décrire avec précision les effets parce qu'elle peut correspondre à des teneurs en azote, variables, en particulier, d'une année à l'autre. Ce même facteur année influence notablement la répartition des constituants dans le grain et dans la paille.

En résumé, dans les conditions de l'expérience (conditions représentatives, cependant, d'une situation normale, c'est-à-dire correspondant au cas le plus fréquent) l'exportation d'azote derrière une luzernière de trois ans, par un groupe de cultures annuelles se succédant pendant trois ans, est d'environ 190 kg/ha. Bien entendu, une fraction de cet azote provient de la fourniture normale du sol, mais il est impossible de la chiffrer dans le modèle expérimental considéré. Tout au plus, les exportations dans les deux rotations étant identiques, peut-on avancer que cette fourniture a probablement été la même dans les deux cas. On ne peut pas aborder également le problème de l'efficacité comparée des différentes sources d'azote (sol, luzerne, engrais) ; il est d'ailleurs possible que les différences s'atténuent avec le temps. On peut seulement établir la relation entre les exportations (MS et N) et les doses globales d'azote des engrais sur les deux rotations. Elle révèle la différence d'efficacité de la luzerne exprimée en termes d'équivalents azote des engrais (fig. 5) :

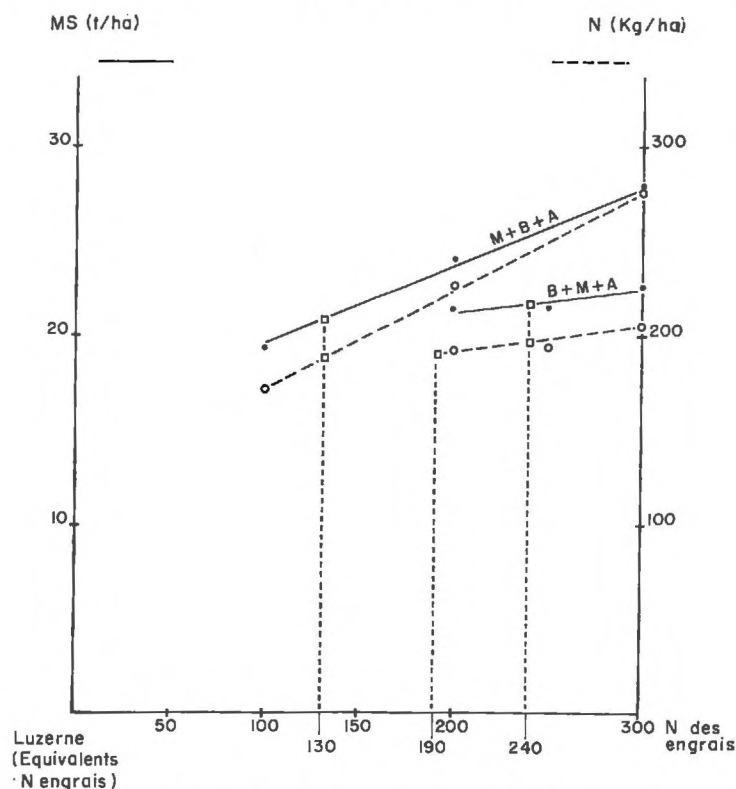


FIG. 5. — Relation entre les exportations de matière sèche et d'azote et les doses d'azote des engrais.

Enfin, l'ordre dans lequel les cultures se succèdent, après un même précédent, n'a un effet significatif que pour la matière sèche et pour une séquence de deux élé-

ments. Par contre, l'azote exporté semble beaucoup plus indépendant de l'ordre (tabl. 25).

Il est certain qu'une parcelle maintenue sans culture dans l'essai, pendant la phase préparatoire, aurait contribué à fournir des informations sur la quantité d'azote du sol minéralisée et libérée au profit du rendement des cultures annuelles.

Il est d'ailleurs possible, maintenant, à partir des résultats de ce modèle expérimental simple, de concevoir un modèle plus complexe permettant de mieux décrire les phénomènes (fig. 6). Correspondant à un schéma fixé, il peut être implanté soit sous forme factorielle, soit en hiérarchisant les répétitions dans les précédents. Il permet de mesurer les effets « précédent » et « azote » et de tester l'additivité de ces effets.

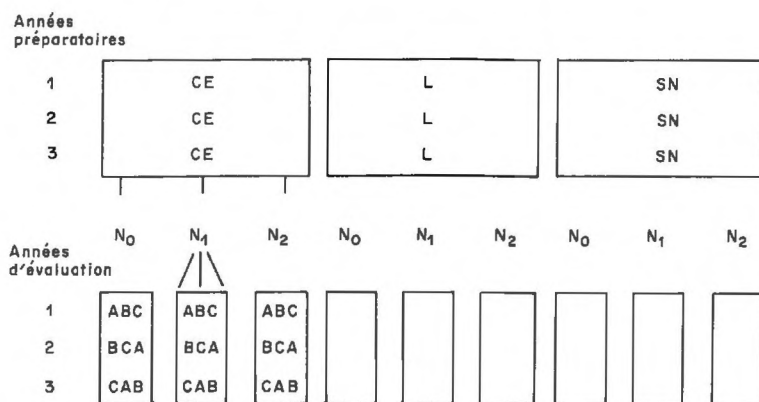


FIG. 6. — Modèle d'étude de l'effet résiduel d'un précédent.

A : Culture d'hiver (ex. : blé)      N : niveau d'azote  
 B : Culture de printemps (ex. : orge)      CE : culture épuisante sans azote (3 ans)  
 C : Culture d'été (ex. : maïs)      L : 3 ans du précédent (ex : luzerne)  
 SN : sol nu

N. B. — La parcelle *sol nu* de la phase préparatoire peut avoir une surface telle que l'on puisse en conserver une partie en phase d'évaluation, dans le même état. On testera ainsi les interactions *azote de l'engrais* × *minéralisation* par comparaison avec les cultures sur précédent *sol nu*.

Sur le plan strictement agronomique, il serait inexact de dire qu'une culture venant immédiatement sur défriche de luzerne ne nécessite aucun apport d'engrais azoté. Le fait d'avoir fait succéder, dans cette expérience à ce même précédent, deux plantes différentes comme le blé et le maïs, montre que le seul azote fourni par la minéralisation ne coïncide pas forcément avec les besoins maxima des plantes. L'ordre de succession des cultures (rotations) conduira à des rendements particuliers différents, à court terme, différences atténuées par la suite. A ce propos, le choix de la culture immédiatement suivante sera relié à la date à laquelle la luzernière sera retournée : tôt dans la saison (le départ possible de la minéralisation, alors, fournira au blé d'hiver une offre suffisante d'azote qui ne risquera pas d'hypothéquer le potentiel de rendement), tard dans la saison (l'absence d'azote disponible deviendra préjudiciable au blé ; dans ce cas, la physiologie d'une plante d'été semble mieux adaptée à la fourniture du sol).

Dans le contexte actuel, les apports d'engrais azotés, sur une exploitation conduite intensivement, couvrent les exportations des plantes, ce qui minimise, dans une grande mesure, l'effet précédent dans ce qui a trait à sa contribution directe à la



nutrition azotée. Il est cependant logique de considérer sa participation comme un complément bénéfique de la fertilisation minérale, laquelle ne peut être réalisée que sur des cultures relativement jeunes, pour des raisons d'ordre pratique. Les plantes, dont les besoins en azote croissent pendant longtemps, profiteront alors de la minéralisation à un moment où toute intervention mécanique est rendue impossible. Ceci explique, en partie, le bon comportement des blés d'hiver derrière luzerne, en présence d'une fertilisation appropriée, sans négliger, bien sûr, la part pouvant revenir à une interaction azote  $\times$  résidus.

*Reçu pour publication en juillet 1969.*

## SUMMARY

### A STUDY OF THE RESIDUAL EFFECTS OF FODDER CROPS ON SUBSEQUENT ARABLE CROPS

#### I. — RESIDUAL EFFECTS OF LUCERNE ON WHEAT AND MAIZE

For the purpose of studying the residual effects of fodder crops on subsequent arable crops experiments were carried out at the *Station d'Amélioration des Plantes Fourragères de Lusignan* (Lusignan Station for the Improvement of Fodder Crops).

The question arose as the result of an examination of the literature already published (modification of conditions under pasture, varying intensity of the effects, and their duration).

The equipment is described, the experimental procedure summarized and certain theoretical aspects of the experiments regarding cycles of rotation taken into consideration.

Some preliminary conclusions on the best way of framing the questions in this type of research are emphasized. A first concrete example of this is provided by the results of an experiment on the residual effects of lucerne growing.

These results are evaluated from two concomitant rotations (maize, wheat, oat) and (wheat, maize, oat). Under the conditions of the experiment the uptake of nitrogen after lucerne for the three successive crops receiving no additional nitrogen amounts to 150 kg/hectare. The order in which the crops succeed one another makes no difference except to the yield of dry matter from the first two crops.

There is no doubt about the need to include an uncultivated plot in the test area in order to ascertain the amount of mineralized nitrogen in the soil. It is, in any case, possible to postulate from the results obtained a more complex pattern for describing the phenomena.

On the strictly agricultural level, a crop following directly after lucerne would not in the present circumstances, be able to do without a nitrogen fertilizer, but the addition of this fertilizer will minimise the beneficial effect of the previously grown lucerne.

The experimental environment, from the point of view of climate and soil, is described in appendices. So also is the experimental methodology, which covers mainly improvements in practical application (size of plots, mechanisation, data collected).

## ZUSAMMENFASSUNG

### UNTERSUCHUNG DER NACHWIRKUNGEN

#### VON FUTTERKULTUREN AUF ANBAUFÄHIGE KULTUREN

#### I. — NACHWIRKUNGEN DER LUZERNENKULTUR AUF WEIZEN UND AUF MAIS

Die Untersuchung der Nachwirkungen von Futterkulturen auf anbaufähige Kulturen beruht auf experimentellen Vorrichtungen, die im Pflanzenzucht-Institut in Lusignan angewendet wurden.

Die gestellten Probleme werden im Anschluss an eine Uebersicht der bereits veröffentlichten Arbeiten (Änderungen der Bodenbeschaffenheit unter den Wiesen, Intensitätsvariation der Wirkungen, Einflüsse des Umpflügens, Auftreten und Dauer der Wirkungen) besprochen.

Die Vorrichtungen werden beschrieben und die experimentalen Berichte unter Berücksichtigung gewisser theoretischer Erwägungen, die sich auf die experimentelle Untersuchung der Fruchtfolgezyklen beziehen, zusammenfassend erläutert.

Einige erste Schlussfolgerungen über die Art der Fragestellung für diesen Untersuchungstyp werden unterstrichen. Ein erstes konkretes Beispiel wird mittels der in einer Untersuchung der Nachwirkungen der Luzernenkultur erzielten Ergebnisse angeführt.

Diese Wirkungen werden bei zwei gleichzeitigen Aufeinanderfolgen (Mais, Weizen, Hafer) und (Weizen, Mais, Hafer) untersucht. Bei den Versuchsbedingungen beträgt die Stickstoffausfuhr nach Luzernenkultur für drei nacheinanderfolgende und nicht mit Stickstoff gedüngte Kulturen 150 kg/ha. Die Reihenfolge der nacheinanderfolgenden Kulturen wirkt sich dabei nur auf den Ertrag an Trockensubstanz der zwei ersten Anbauelemente nachhaltig aus.

Es ist sicher, dass die Einräumung einer nicht angebauten Parzelle in der Versuchsvorrichtung notwendig gewesen wäre, um die mineralisierte Bodensstickstoffmenge zu ermitteln. Es ist übrigens möglich, ausgehend von den erhaltenen Ergebnissen, ein vollständigeres Beschreibungsmuster der Phänomene zu schaffen.

Unter rein agronomischen Gesichtspunkten könnte bei den gegenwärtigen Bedingungen eine nach Urbarmachung der Luzernenkultur angebaute Kultur eine stickstoffhaltige Düngung nicht entbehren. Diese Düngerzufuhr jedoch verkleinert die vorteilhafte Wirkung durch die « vorher angebaute » Luzerne.

In den Beilagen wird das Versuchsmilieu gemäss der Klima- und Bodenbedingungen beschrieben; ferner die experimentale Methodologie, die besonders die Lösung der technischen Durchführungsverfahren anbetrifft (Abmessungen der Parzellen, Mechanisierung, zusammengestellte Ergebnisse).

## РЕЗЮМЕ

*Изучение остаточного действия кормовых культур на пропашные. Остаточное действие люцерны на пшеницу и кукурузу.*

П. ЖАККАР, А. КРУАЗЬЕ, Г. МОННЬЕ.

Изучение остаточного действия кормовых культур на пропашные является объектом эксперимента проводимого в Опытной Станции Селекции Кормовых Растений в Люзиньяне.

Во вступительной части данной работы приводится сводка опубликованных уже по этому вопросу трудов (изменения состояния почвы под лугами, изменения силы эффекта, способы перепапки, проявления действия, и т. д.) и излагаются задачи проводящегося опыта.

Следуют описание и краткие данные эксперимента, принимая во внимание некоторые теоретические стороны вопроса в отношении различных циклов севооборота.

Затем подчеркиваются некоторые предварительные заключения по поводу манеры постановки вопроса в этом типе исследований, и дается первый конкретный пример такого рода постановки, при помощи результатов полученных в опыте над остаточным действием люцерны.

Это после-действие оценивается на двух одновременных последовательностях: кукуруза, пшеница, овес и пшеница, кукуруза, овес. В условиях опыта вынос азота представляет 150 кг/га для трех последующих за люцерной культур не получавших азотных подкормок. Порядок последовательности оказывает показательный эффект только на продукцию сухого вещества первых двух следующих за люцерной культур.

Конечно, включение в схему опыта неокультуренной деланки было бы необходимым для выяснения количества минерализованного почвой азота. И авторы признают, что в свете полученных результатов возможно создать более сложную модель описания этих явлений.

Что же касается чисто агрономической точки зрения, культура возделываемая после распахки люцерны не может в настоящее время обойтись без подкормок азотом; но эти подкормки сводят до минимума полезное действие предшественника «люцерна».

В приложениях описываются с точки зрения климата и почвы опытная среда и методика эксперимента, с уделением особенного внимания разъяснению применявшихся технических приемов (размеры делянок, механизация, полученные данные).

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDREW W. D., 1965. The effects of some pasture species on soil structure. *Austral. J. exper. Agric. anim. Husband.*, **5**, 17, 133-6.
- BLANCHET R. et coll., 1965. Influence prédominante des argiles illitiques sur l'alimentation potassique des plantes dans divers types de sol. *Ann. agron.*, **16** (2), 177-202.
- BOYD D. A. et coll., 1961. The Rothamsted ley-arable rotation experiment. *Rep. Rothamst. exper. Stn.*, 173-180.
- BUI HUU TRI, 1968. Dynamique de la granulation des sols sous prairie. *Ann. agron.*, **19** (4), 415-439.
- CLEMENT C. R. et WILLIAMS C. E., 1959. Crum stability within the profile of arable soil under leys. *Meded. Landbouwhogeschool. Gent*, **24**, 1, 166-175.
- CLEMENT C. R. et WILLIAMS T. E., 1962. An incubation technique for assessing the nitrogen status of soil newly ploughed from leys. *J. Soil Sci.*, **13**, 1, 82-91.
- C.S.I.R.O., 1961. Soil fertility investigations. *Ann. Rep.*, Div. Plant Industry, 133.
- C.S.I.R.O., 1963. Soil fertility. *Ann. Rep.*, Div. Plant Industry, 58.
- DROUINEAU G., LEFEVRE G., 1949. Première contribution à l'étude de l'azote minéralisable dans les sols. *Ann. agron.*, **19**, 4, 518-37.
- DUBETZ S., HILL K. W., 1964. Effect of irrigated crop rotations on yield and soil fertility. *Canad. J. Plant Sci.*, **44**, 2, 139-44.
- E.N.S.A. de GRIGNON, 1961. *Rapport du Centre de Recherches et d'expérimentation*.
- GARRETT S. D., 1950. The control of take-all under intensive cereal cultivation. *Agriculture*, Londres, **56**, 514-6.
- GOBILOTT Th., 1961. *Étude des sols des domaines de l'INRA à Lusignan. Notice de la carte des sols*.
- HEARD A. J., 1965. The effect of the nitrogen content of residues from leys on amounts of available soil nitrogen and on yields of wheat. *J. Agric. Sci.*, **64**, 3, 329-34.
- HENIN S., 1960. Production fourragère et sol. *Fourrages*, **1**, 31-9.
- HENIN S. et coll., 1960. *Le profil cultural. Principes de physique du sol*. Société d'Édition des Ingénieurs agricoles. Paris.
- HENIN S., MONNIER G., 1956. Évaluation de la stabilité structurale des sols. *C. R. VI congrès Internat. Sci., Sol.*, Paris, vol. B. 49-52.
- HANLEY F., RIDGWAY W. J., JARVIS R. H., 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.
- HOOD A. E. M., 1960. An experiment on the effect of leys on soil fertility. *Proc. 8th international. Grassl. Cong.*, 242-244.
- JACQUARD P., 1964. Problèmes posés par l'introduction des prairies dans la rotation. *Fourrages*, **20**, 124-140.
- KOBLET R., WEHRLI A., 1959. Über die Struktur von Acherböden beim Anbau von Kleeegrass. *Z. Acker Pflanzb.*, **109**, 4, 337-54.
- LEWIS A. H., et al., 1960. A comparison of ley and arable farming systems. *J. Agric. Sci.*, **54**, 3, 310-15.
- LOW A. J., 1955. Improvements in the structural state of soils under leys. *J. Soil Sci.*, **6**, 179-199.
- MERIAUX S., 1958. Stabilité structurale et composition des sols. *C. R. Acad. Agric.*, 19 novembre.
- MILLER D. E., KEMPER W. D., 1962. Water stability of aggregates of two soils as influenced by incorporation of alfalfa. *Agron. J.*, **54**, 6, 494-496.
- MONNIER G., 1957. Influence des prairies temporaires sur la structure d'un sol de limon. *C.R. Acad. Agric.*, 20 février.
- MONNIER G., 1958. Mécanisme de l'enrichissement en matières organiques d'un sol de prairie. *C. R. Acad. Sci.*, **247**, 1769-1777.
- MONNIER G., 1958. Étude 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.

- MONNIER G., 1965. *Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols*. Thèse de Docteur-Ingénieur, INRA, pp. 140.
- 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.
- N., 1968. La culture des céréales en France. *Eull. Engrais*, 503, 15.
- PATTERSON H. D., 1964. Theory of cyclic Rotation Experiments. *J. r. Stn. Soc.*, **26**, 1, 1-45.
- RUSSELL J. S., 1960. Soil fertility changes in the long-term experimental plots of Kybybolite, South Australia. I. Changes in pH, total nitrogen, organic, carbon, and bulk density. II. Changes in phosphorus. *Austral. J. agric. Res.*, **11**, 902-925.
- SEBILLOTE M., 1966. Rotations et assolements. *Rev. agric. Fr.*, **52**, pp 18.
- TROUGHTON A., 1958. The roots of grasses. II. In relation to the soil. *Worc. Agri. Chron.*, **27**, 1, 7-15.
- TURC L., 1961. Évaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle; formule climatique simplifiée et mise à jour. (ETP, f. 60). *Ann. agron.*, **12**, 1, 13-49.
- WEHRLI A., 1958. Untersuchungen über die Wirkung von Gräsern und Leguminosen auf die Bodenstruktur. *Landw. Jahrb. Schweiz.*, **72**, 747-90.
- WILLIAMS C. H., DONALD C. M., 1957. Changes in organic matter and pH in a podzolic soil as influenced by subterranean clover and superphosphate. *Austral. J. agric. Res.*, **8**, 179-189.
- WILLIAMS C. H., STEINBERG A., 1958. Sulphur and phosphorus in some eastern Australian soils. *Austral. J. Agric. Res.*, **9**, 483.
- WILLIAMS C. H., LIPSETT, J., 1960. The build-up of available potassium under pasture. *Austral. J. agric. Res.*, **11**, 473, 484.
- WILLIAMS T. E., 1959. The ley in relation to crop productivity, in *Measurement Grassl. Productivity*, 15-24.
- WILLIAMS T. E., 1964. Ley Agronomy, in *Exper. in Progress*, **16**, 1962-1963, 41.
- YATES F., 1949 The design of rotation experiments. *Comm. Bur. Soil Sci. Tech. Comm.*, **46**, 16 p.
-

## ANNEXES

## I. — DESCRIPTION DU MILIEU

Le milieu dans lequel se sont déroulées les expériences est décrit ci-dessous dans ses aspects climatiques et édaphiques, à la fois d'un point de vue général (et c'est cet aspect, par exemple, qui a justifié l'introduction dans les protocoles de deux plantes-tests différentes chaque année) et d'un point de vue particulier propre à la période d'expérimentation.

1. — *Climat*

Après avoir défini le climat moyen de la micro-région en cause, nous caractériserons la climatologie propre à la période de déroulement de l'expérimentation.

a) *Climatologie locale.*

A l'échelle du département, et à partir des mesures réalisées à Poitiers, la moyenne annuelle de pluviométrie est de 655 mm et celle d'insolation de 1 900 heures.

A la suite d'une étude entreprise en 1963 en vue de comparer les micro-climats de Poitiers (Camp d'aviation de Biard, 20 km au N.-E. de Lusignan), de Saint-Sauvant (Maison forestière, 6 km au S.-S.-W. de Lusignan) et de la ferme des Verrines, on a obtenu les corrélations indiquées au tableau 26 pour les données de pluviométrie mensuelle relevées respectivement dans les trois postes (la probabilité de non-signifi-

TABLEAU 26

*Comparaisons des pluviométries de Poitiers, Saint-Sauvant et des Verrines*

A) *Pluviométries annuelles*

	Pluviométrie annuelle en mm			
	1961	1962	1963	Moyenne
Poitiers .....	872	852	865	863
Saint-Sauvant....	1 018	946	1 005	989
Les Verrines ....	982	973	993	983

B) *Pluviométries mensuelles*

	Coefficients de corrélation	
	Poitiers	Saint-Sauvant
Les Verrines	+ 0,929	+ 0,975

cation des deux coefficients étant inférieure à 1 p. 100). Ceci autorisait à utiliser les données relevées à Saint-Sauvant depuis 1952 pour compléter les propres relevés effectués sur le domaine des Verrines depuis 1961, afin de caractériser le micro-climat moyen de l'environnement expérimental, notamment au point de vue déficits hydriques.

Pour ce faire, les évapotranspirations potentielles (ETP) ont été calculées avec la formule de TURC (cf. annexes, §II, 3, c) et les bilans ont été obtenus, en tenant compte d'une réserve utile en eau du sol, de 120 mm, pour une profondeur exploitable par les racines de 65 cm environ (ceci sur la base de 3 000 t de terre par tranches de 20 cm et d'après des analyses de teneur en eau entre les pF 2,5 et 4,2, réalisées par la Station agronomique de Laon), soit :

$$B = P + 120 - ETP - D$$

avec

B = Bilan

P = Pluviométrie

ETP = Évapotranspiration Potentielle

D = Drainage après reconstitution des réserves du sol.

Le tableau 27 rassemble ces éléments caractéristiques. On peut remarquer que,

TABLEAU 27

*Caractéristiques moyennes et variabilité annuelle  
du régime hydrique des Verrines*

Année	Pluviométrie annuelle (1)	ETP annuelle (1)	Bilan annuel (1)
1952	748	817	— 110
1953	751	818	— 270
1954	588	716	— 223
1955	936	861	— 108
1956	727	718	— 85
1957	617	743	— 125
1958	938	700	+ 87
1959	736	855	— 275
1960	924	786	— 60
1961	982 (2)	840	— 233
1962	973	765	— 130
1963	993	666	— 91
1964	747	748	— 206
1965	970	638	+ 85
1966	1 112	700	— 30
1967	987	692	— 116
Moyennes :			
1952-1967	858	756	— 107
1952-1959	749	783	— 139
1960-1967	967	729	— 75

(1) Comptabilisée d'octobre à septembre en mm.

(2) Données des Verrines à partir de 1961.



bien que la pluviosité moyenne sur 16 ans soit de 858 mm, il apparaît deux sous-ensembles bien distincts quant à l'importance des précipitations 1952-1959 et 1960-1967. Ceci est beaucoup moins net pour les ETP, mais particulièrement accentué pour les bilans.

D'autre part, par souci de simplification par rapport aux décomptes mensuels, et surtout pour améliorer la valeur biologique des observations, l'année a été divisée en trois périodes :

*automne-hiver* (A-H) : octobre-novembre-décembre-janvier,  
*printemps* ( P ) : février-mars-avril-mai,  
*été* ( É ) : juin-juillet-août-septembre.

La première correspond au ralentissement puis au repos de la végétation ; la seconde à son départ puis à son explosion printanière ; et enfin, la troisième phase est étroitement dépendante des conditions d'alimentation en eau.

Le tableau 28, ci-dessous, comporte des données regroupées selon ce système.

TABLEAU 28

*Quantités d'eau et ETP (moyennes mensuelles)  
 par période de l'année*

(les pourcentages afférant à chaque période sont indiqués entre parenthèses)

	Pluviométrie mensuelle (mm) par périodes			ETP mensuelle (mm) par périodes		
	AH	P	E	AH	P	E
1952	88,5	65,2	60,7	23	58	108
1967	(41,2)	(30,4)	(28,4)	(12)	(31)	(57)
1952	71,5	55,2	60,7	24	61	111
1959	(38,1)	(29,5)	(32,4)	(12)	(31)	(57)
1960	105,5	75,2	60,7	22	55	105
1967	(43,7)	(31,1)	(25,1)	(12)	(30)	(58)

AH = Automne-Hiver    P = Printemps    E = Été.

En résumé, on s'aperçoit que 70 p. 100 des précipitations annuelles se produisent en période d'évapotranspiration relativement faible. Par contre, près de 60 p. 100 de l'ETP se situe pendant la phase estivale. Agronomiquement, ceci entraîne une variabilité importante des récoltes sur cultures dites d'été. Pour la moyenne des 16 années, si le déficit est d'environ 160 mm, sa gamme de fluctuation va de 0 à 275 mm avec les fréquences particulières suivantes :

avec une fréquence biennale 125 à 150 mm,  
 avec une fréquence quinquennale 200 à 225 mm,  
 avec une fréquence décennale 250 à 275 mm.

Dès maintenant, on peut faire ressortir un point souvent repris dans le texte : le choix de la culture utilisée pour mesurer les effets résiduels apparaît comme très important. En effet, pour certaines d'entre elles, les différences possibles seront masquées par une sécheresse trop sévère.

b) *Climatologie de la période de déroulement de l'expérimentation.*

S'il est une expérimentation agronomique où les caractéristiques climatiques annuelles ont une incidence sur les données recueillies, c'est bien le cas de celle qui traite des effets résiduels des cultures et nous aurons l'occasion d'y revenir lors de la présentation des conclusions générales relatives à cette expérimentation.

L'allure du climat des différentes années d'observation (1962 à 1967) est décrite d'une part, dans le tableau 27, d'autre part, par les graphiques des figures 7 et 8.

Dans le tableau 29, on a reporté la pluviométrie et le bilan hydrique pour la période de mai à octobre.

Pour les graphiques, on a regroupé, d'une part, ceux correspondant à la « phase préparatoire » (fig. 7) s'écoulant du semis des cultures à tester à leur fin (retourne-ment), d'autre part, ceux correspondant à la « phase d'évaluation » (fig. 8), comportant trois années de cultures annuelles. Chaque graphique caractérise l'année de façon dynamique à l'aide des principaux facteurs climatiques ayant une incidence directe et prépondérante sur le comportement des plantes. Le trait continu matérialise la pluviométrie, le trait interrompu, l'ETP, calculée avec la formule de TURC ; les différentes hachures symbolisent soit l'utilisation ou la reconstitution des 120 mm de la réserve en eau utile, soit le drainage théorique. La surface blanche indique le déficit.

Au cours de la « phase préparatoire », on remarque que seule 1963 fut une année dépourvue de déficit et que l'hiver 1963-1964 fut assez pluvieux (avec un drainage théorique de 436 mm).

Au cours de la « phase d'évaluation », seule la dernière des trois années accuse un déficit sévère, mais sans grand effet sur les cultures précoces de printemps. Par contre, 1965 et 1966 furent en grande partie favorables aux cultures-tests de blé et de maïs. Le maximum de pluviosité hivernale a été atteint durant l'hiver 1965-1966, entraînant un drainage théorique de 640 mm.

Ajoutons, pour en finir avec le climat, qu'il n'y eut aucun dégât de froid durant les six années d'observations.

## 2. — Sol

D'après GOBILLOT (1961), le domaine des Verrines est situé sur les « terres rouges à châtaigniers », en région de plateaux d'une altitude moyenne de 150 m. Le sol de surface, d'une épaisseur de 20 à 40 cm, est de texture homogène, aussi les différents graphiques granulométriques des divers profils qui ont pu être réalisés ne s'écartent jamais d'un type moyen que l'on pourrait définir comme limoneux peu argileux. Un certain nombre de profils présentent des taches d'oxydo-réduction (hydromorphie).

Tout le centre du domaine, où se trouvent situés les essais d'effets résiduels, est constitué surtout de terres de couleur brun clair. Tous les sols sont neutres ou faiblement acides.

TABLEAU 29

*Pluviométrie et bilan hydrique par décades pour la période expérimentale  
(mai à octobre)*

Mois	Décades	1962		1963		1964		1965		1966		1967	
		Pluviom. (mm)	Bilan (mm)	P	B	P	B	P	B	P	B	P	B
Mai	1	38,0	+ 120	12,3	+ 105	29,0	+ 120	38,8	+ 116	52,5	+ 120	20,3	+ 120
	2	20,0	+ 116	4,7	+ 83	0,0	+ 120	3,9	+ 86	24,3	+ 118	13,0	+ 120
	3	6,0	+ 97	4,7	+ 58	141,2	+ 120	8,4	+ 72	15,2	+ 98	88,8	+ 120
Juin	1	0,0	+ 66	79,0	+ 101	28,9	— 109	14,3	+ 61	13,4	+ 74	9,6	+ 91
	2	18,0	+ 48	8,2	+ 74	12,6	+ 85	6,1	+ 26	46,4	+ 110	5,5	+ 64
	3	0,0	+ 13	42,4	+ 80	0,0	+ 44	23,5	+ 14	15,2	+ 93	11,3	+ 32
Juillet	1	3,0	— 19	7,5	+ 50	11,9	+ 9	5,8	— 18	6,0	+ 59	5,0	— 2
	2	47,0	— 8	9,1	+ 22	1,3	— 31	15,4	— 45	35,0	+ 65	10,4	— 37
	3	12,0	— 34	0,6	— 18	0,3	— 82	51,1	— 27	5,7	+ 38	0,0	— 76
Août	1	13,0	— 53	106,8	+ 55	4,0	— 114	32,7	— 25	49,7	+ 59	7,5	— 101
	2	3,8	— 85	14,7	+ 38	9,1	— 141	14,6	— 43	0,3	+ 22	49,6	— 83
	3	0,0	— 120	45,7	+ 52	3,4	— 180	17,1	— 51	20,6	+ 12	0,0	— 117
Septembre	1	38,0	— 105	23,7	+ 52	23,4	— 183	92,0	+ 24	4,5	— 14	15,5	— 127
	2	6,0	— 124	77,9	+ 105	26,7	— 183	20,5	+ 22	1,5	— 37	16,0	— 127
	3	28,0	— 118	10,6	+ 91	5,9	— 206	81,9	+ 85	33,3	— 30	36,8	— 114
Octobre	1	15,5	— 127	25,6	+ 102	101,5	— 35	8,5	+ 74	45,8	+ 1	18,1	— 114
	2	0,5	— 139	2,0	+ 89	58,1	+ 9	8,3	+ 67	44,1	+ 31	39,5	— 101
	3	20,1	— 130	13,0	+ 87	3,8	+ 3	5,0	+ 57	39,9	+ 60	36,3	— 72
Printemps		Assez froid		Froid		Favorable à la végétation		Sec		Pluvieux		Favorable à la végétation	
Été		Très sec		Très pluvieux		Sec		Pluvieux		Sec vers la fin		Sec	

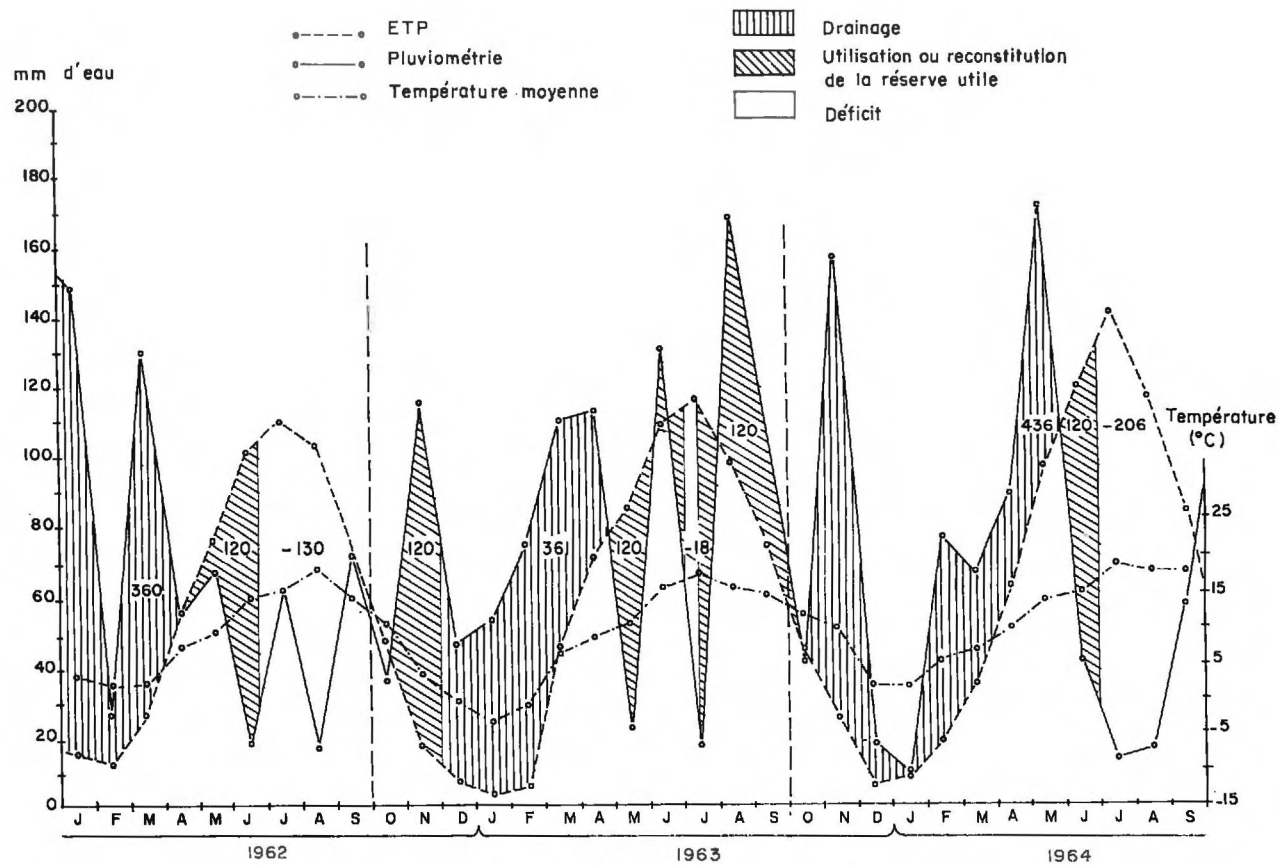


FIG. 7. — Graphique climatique des années de la phase préparatoire

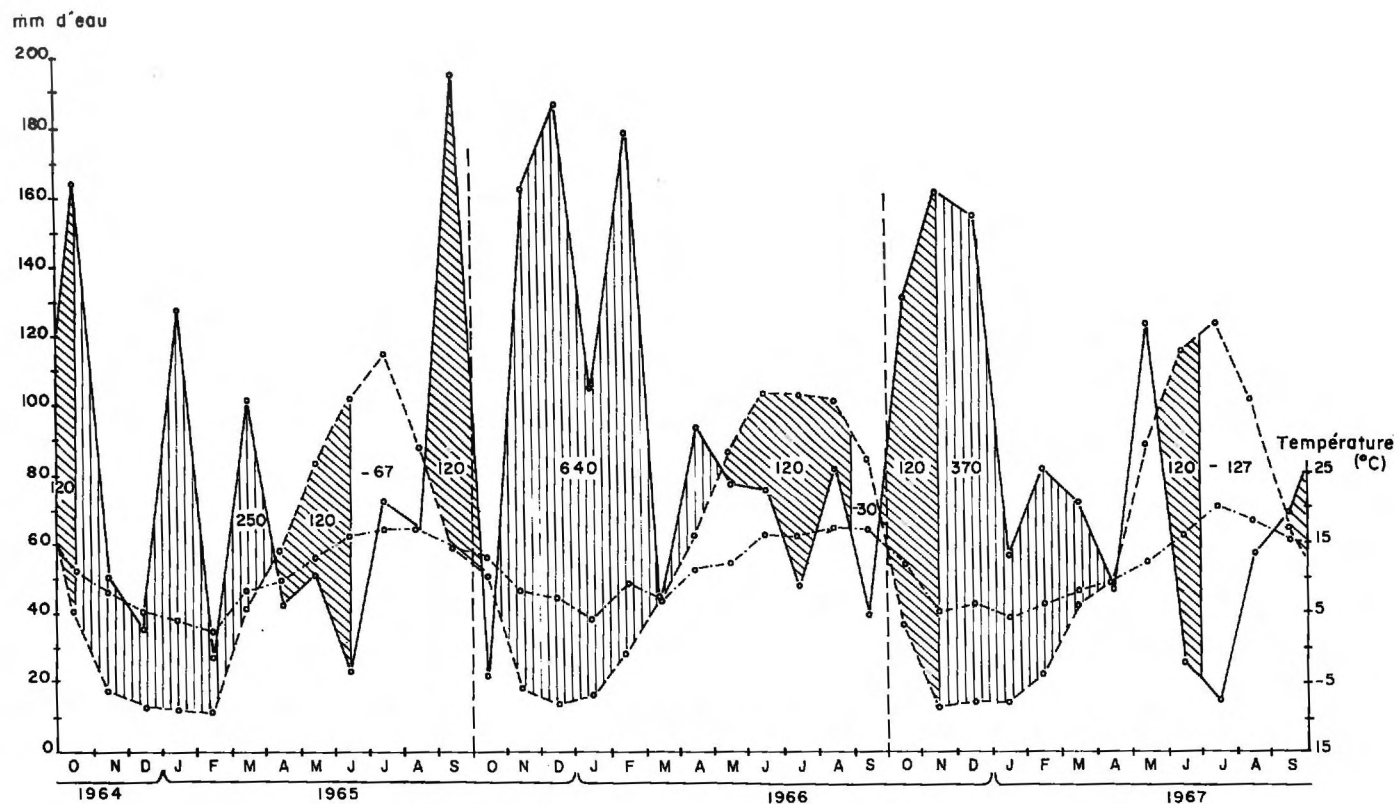


FIG. 8. — Graphique climatique des années de la phase d'évaluation

Le tableau 30 reproduit les résultats d'une analyse de sol réalisée sur un prélèvement effectué à proximité des dispositifs expérimentaux.

TABLEAU 30

*Analyse d'un profil de sol situé à proximité des dispositifs expérimentaux*  
(Station agronomique de l'Aisne)

Horizons → (p. 1000 de terre fine) ↓	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
<i>Analyse physique</i>					
Argile.....	163	245	288	305	291
Limon fin.....	286	326	304	305	258
Limon grossier.....	402	307	300	263	278
Sable fin.....	63	56	51	58	67
Sable gros.....	63	51	51	69	106
Matières organiques....	21,2	12,2	4,1	—	—
C/N.....	7,87	8,29	4,01	—	—
Calcaire.....	1,45	2,9	1,45	0	0
pH.....	7,15	7,30	7,40	7,30	7,20
Texture.....	L. M.	L. Lo	L. Lo/A. Li	A. Li/L. Lo	L. Lo. S/A. Li
<i>Analyse chimique</i>					
Azote.....	1,34	0,73	0,51	0,41	0,44
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ass. (citrique)....	0,16	0,04	0,005	—	—
K <sub>2</sub> O échangeable.....	0,32	0,24	0,16	—	—
pF 2.5.....	26,0	23,5	21,6	22,75	21,75
pF 4.2.....	8,5	8,5	10,5	11,0	12,0
Eau utile.....	17,5	15,05	11,1	11,75	9,75

L. M = limon moyen, L. Lo = limon lourd, A. Li = argile limoneuse, L. Lo. S = limon lourd sableux.

#### a) Caractéristiques structurales.

La structure des sols en place paraît assez médiocre. L'indice de stabilité est moyen. Le rapport  $\frac{l}{a}$  (où  $l$  est la fraction comprise entre 2 et 20  $\mu$  et  $a$ , celle comprise entre 0 et 2  $\mu$ ) est en moyenne de 2,35 en surface. Il s'abaisse à 1,13 pour l'horizon intermédiaire et à 0,45 en profondeur. Or la stabilité structurale varie fréquemment en raison inverse de ce rapport (MÉRIAUX, 1958).

Une étude préliminaire avait donné, en 1959, les résultats suivants pour un profil situé à proximité de la future zone d'expérimentation sur les rotations :

coefficient S de stabilité.....	1,44
agrégats au benzène $A_{gb}$ .....	6,1 p. 100
coefficient K de perméabilité.....	3,31 cm/h

ce qui situe ces sols dans une position médiane entre les très mauvais limons battants et les sols bruns calcaires sur la base de la relation entre coefficients de stabilité et de perméabilité.



b) *Caractéristiques chimiques.*

Outre les indications portées au tableau 30, des données plus précises ont été recueillies concernant l'azote et la potasse.

*Azote.*

De 1964 à 1966, des dosages d'azote minéral ont été effectués régulièrement par la Station agronomique de Laon dans le cadre de son étude sur la minéralisation de l'azote. Le processus est, dans l'ensemble, régulier avec des oscillations notables, sauf en 1965-1966. Le pouvoir de réorganisation semble important.

*Potasse (1).*

La teneur du sol en K échangeable est de 350 mg/kg de sol. Les possibilités de rétrogradation sont faibles, celles de libération de K non échangeable sont moyennes par rapport à d'autres sols. En pots, on observe une excellente alimentation potassique des plantes.

Au point de vue caractère de l'argile, sa capacité d'échange de cations est de 24,5 méq/100 g. Sa capacité de fixation du potassium est faible, mais celle de libération est élevée. Quant à la nature de ses constituants, on trouve :

- 35 p. 100 de kaolinite,
- 50 p. 100 d'illite,
- 10 p. 100 de montmorillonite,
- 5 p. 100 de chlorite.

R. BLANCHET et coll. (1965) ont montré l'influence prépondérante des argiles illitiques sur l'alimentation potassique des plantes dans divers types de sols. Dans le cas des sols de Lusignan, la richesse en de telles argiles indique l'existence de réserves importantes, liées à une rétention assez énergique du potassium.

— D'autre part, ce sol est riche en *acide phosphorique* et bien pourvu en *magnésie*.

## II. — MÉTHODOLOGIE EXPÉRIMENTALE (tabl. 31)

La mise en place et la conduite d'essais sur les effets résiduels peut dépendre de nombreux facteurs locaux. C'est ainsi qu'à la Station de Lusignan, au cours de la phase de conception et de mise en route des différents secteurs d'activités du Laboratoire des Techniques culturales et Assolements fourragers, une grande partie de l'attention a été portée sur la nécessité de conduire un nombre important d'essais, avec les moyens courants de la grande culture, sans utiliser beaucoup de main-d'œuvre, ni un matériel trop spécialisé.

A. — *Dimension des parcelles*

Une fois l'homogénéisation du terrain d'expérience réalisée, ce sont les caractéristiques du matériel agricole dont on disposait qui ont déterminé le découpage de la surface. Les parcelles élémentaires ont été choisies de 50 m<sup>2</sup>. Évidemment, les nombreux traitements constitués par les différentes phases des rotations, dans certains dispositifs, conduisent de ce fait, à des essais couvrant une grande étendue

(1) Les principaux caractères de l'argile et de la dynamique du potassium ont été étudiés par la Station d'Agronomie de Châteauroux.

et, par conséquent, des zones plus ou moins hétérogènes. D'autant plus que de nombreuses allées sont nécessaires pour une exécution rapide et correcte des interventions culturales tout au long de l'année.

Cependant, des parcelles de 50 m<sup>2</sup> représentent un minimum, d'une part pour réaliser des façons culturales normales sur les phases en cultures arables des rotations, d'autre part pour permettre une subdivision ultérieure à l'aide des traitements secondaires (parfois non prévisibles au départ de l'expérience).

TABLEAU 31

*Méthodologie expérimentale*

	Prairies	Blé-Orge	Maïs-Pommes de terre
Surface des parcelles	50 m <sup>2</sup> (10 m × 5 m)	50 m <sup>2</sup> ou 25 m <sup>2</sup> (10 m × 2,50)	50 m <sup>2</sup> (Pommes de t.) ou 25 m <sup>2</sup> (Maïs)
Nombre de lignes { totales .. récoltées.	variable (minim. = 26) variable (minim. = 6)	26 ou 13 Totalité moins les 2 lignes bordure	12 ou 6 10 ou 4
Longueur utile des lignes ...	10 m		
Mécanisation des opérations	Pas de séparations longitudinales entre les parcelles. Séparations transversales (allées) d'une largeur minimum de 6 m.		
Préparation du terrain .....	Tracteur courant avec outils portés.		
Entretien { parcelles .....	Matériel de grande culture.		
allées .....	Zone enherbée + ensileuse à fléaux ; zone nue = rotavator.		
Semis .....	Semoir <i>Isaria</i> sur porte-outil <i>Schmotzer</i> ou <i>Titania</i> tracté (tous deux de modèle normal) — Maïs : semoir pneumatique à 4 rangs (normal) Pommes de terre à la main.		
Traitements .....	Pulvérisateur porté sur tracteur.		
Fertilisation .....	Épandeur porté ( <i>Schmotzer</i> ) ou tracté (type grande culture) ou en pulvérisation.		
Récolte .....	Prélèvements de 6 m <sup>2</sup> à la motofaucheuse	Moissonneuse-batteuse à barre frontale de 1 m 80	Manuelle Maïs (mis en sacs et battu au cours de l'hiver).

Le plan d'ensemble du terrain d'expérience est donné par la figure 9. Ce terrain a une superficie de 6 ha sur lesquels sont regroupés 6 dispositifs d'étude des « effets résiduels des cultures fourragères », soit 670 parcelles élémentaires (fig. A hors-texte).

Toutes les allées sont engazonnées, ceci assure le minimum de soins d'entretien et permet le passage d'engins lourds sans détérioration du sol, ce qui est une nécessité lors des travaux hivernaux. Une bande de la largeur d'un passage de rotavator (1,20 m), laissée nue en bordure des parcelles donne aux instruments aratoires la possibilité d'être à la profondeur voulue au moment de leur entrée dans la parcelle

proprement dite. La bande de roulement engazonnée étant de 3,60 m, l'allée est de 6 mètres. Elle est entretenue par fauche de l'herbe (laquelle est ensuite distribuée aux animaux) (fig. 10).

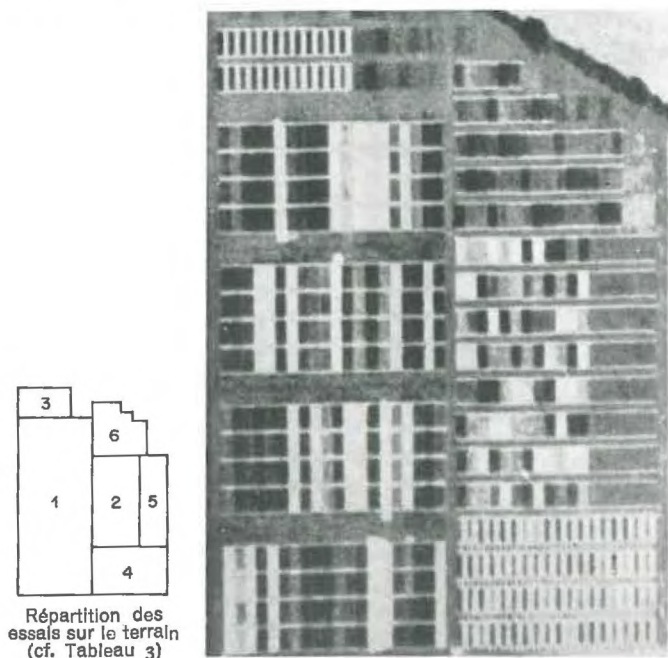


Fig. 9. — Photographie aérienne du terrain d'expérience (14 juin 1965) (échelle 1/2000)

Les dimensions des parcelles élémentaires sont de 10 mètres en longueur et 5 m en largeur. Cette dernière donnée, qui peut dépendre du front de travail d'un appareil, comme le semoir, doit tenir compte aussi du fait que, pour certaines cultures en lignes écartées (maïs, pommes de terre), elle doit permettre l'installation d'un nombre suffisant de lignes récoltables, tout en assurant l'élimination des bordures.

Les parcelles sont contiguës, sans intervalles entre elles.

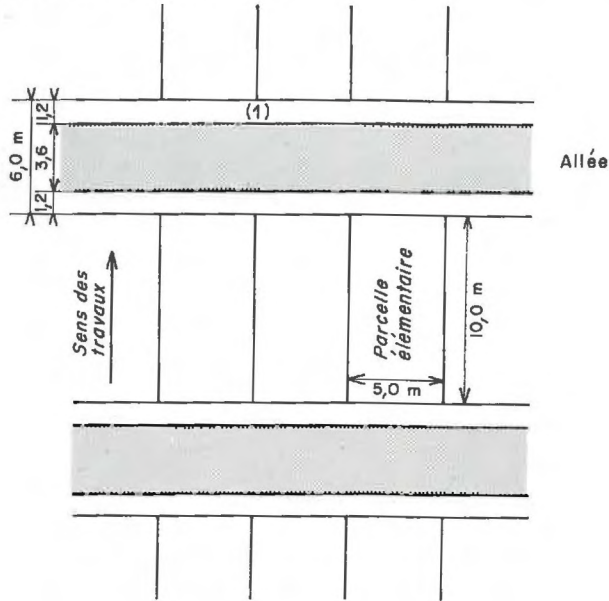
Les possibilités d'utilisation de telles parcelles sont schématisées sur la figure 11. On voit que l'étude des effets résiduels d'un précédent peut être réalisée à l'aide d'une culture d'hiver (Blé) et d'une culture d'été (Maïs) sur une même parcelle, la même année. La parcelle de blé comporte 18 m<sup>2</sup> récoltables et celle de maïs 15 m<sup>2</sup> (2 lignes récoltées sur 4). Après labour du précédent, les deux sous-parcelles sont traitées séparément, une largeur de 2,50 m étant assez courante dans le matériel agricole. L'année suivante, les cultures-tests sont inversées : le blé prend la suite du maïs et ce dernier celle du blé.

#### B. — Mécanisation des opérations

##### Travaux de préparation.

Pour tous les gros travaux (labour, façons culturales), du matériel de grande

culture est employé à l'exclusion de tout autre. Une charrue entièrement déportable (type charrue vigneronne (fig. B hors-texte)) est utilisée pour terminer le labour le long des parcelles adjacentes afin d'éviter tout passage sur ces dernières. On réalise ainsi un effet de tassement par les appareils agricoles, dans chaque traitement, identique à ce qu'il serait en vraie grandeur.



(1) Largeur de passage d'un rotavator, travaillée 3 ou 4 fois par an

FIG. 10. — Détail du dispositif expérimental

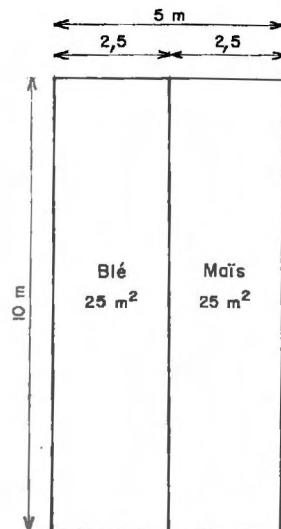


FIG. 11. — Possibilité d'utilisation des parcelles élémentaires.

*Travaux de mise en place et de récolte.*

Le laboratoire disposant d'un porte-outils *Schmotzer*, de 2,50 m de large, c'est cet appareil qui est utilisé, dans les essais, pour la mise en terre des semences ainsi que pour l'épandage des fumures minérales. Du fait de la largeur des parcelles, les opérations sont réalisées en deux passages (c'est d'ailleurs la voie de ce porte-outils qui a déterminé l'adoption d'un module d'ordre 2,5 m pour toutes les dimensions parcellaires des différents secteurs expérimentaux du domaine).

Pour la récolte des fourrages, on utilise une motofaucheuse de 1,20 m de barre de coupe, pour un ou plusieurs prélèvements de 5 m de long par parcelles (soit 6 m<sup>2</sup>).

La récolte du blé est effectuée à la moissonneuse-batteuse (Massey-Harris, à coupe frontale, 1,80 m), directement. Une modification de l'arrière de la machine permet d'obtenir immédiatement la pesée, par parcelle, de la paille récoltée (fig. C hors-texte).

Pour le maïs, culture dont la récolte est difficilement mécanisable sur de petites parcelles, les épis sont cueillis à la main et stockés dans des sacs à mailles larges, en séchoir, jusqu'au battage.

*Main-d'œuvre.*

Un ouvrier est employé à temps plein sur l'ensemble des dispositifs, soit 6 ha, dont l'entretien est largement facilité par l'emploi d'herbicides appliqués avec le matériel couramment utilisé dans une exploitation. Pour la réalisation des prélèvements et la récolte, une main-d'œuvre occasionnelle supplémentaire est fournie par l'équipe générale du domaine.

*C. — Données recueillies*

Les essais sur les effets résiduels des cultures fourragères comportent la mise en évidence de manifestations globales résultant de l'action combinée d'un grand nombre de facteurs dont l'analyse est nécessaire à une meilleure compréhension des résultats obtenus et à une éventuelle généralisation. Les données à recueillir sont donc très nombreuses et sont du domaine de disciplines variées (génétique et physiologie végétale, agronomie, pédologie, biophysique). Un certain nombre d'entre elles sont indispensables à mesurer ou noter).

*Données recueillies sur le végétal.*

Les mesures et notations effectuées sur les différentes cultures sont indiquées au tableau 32.

Parmi les *notations*, celle qui revêt la plus grande importance concerne la vigueur. Ainsi, sur blé, des mensurations de hauteur réalisées à partir de l'épiaison permettent de mettre en évidence des différences de rapidité de minéralisation de la matière organique du sol. Les autres sont de pratique courante en expérimentation.

L'analyse des *composantes du rendement* apporte une information nécessaire à l'explication du comportement du végétal-test. Elle est pratiquée sur un mètre de ligne, délimité dès la levée de la culture ; les plantes y sont comptées, notamment à la levée et à la récolte.

Au point de vue *rendement*, toutes les comparaisons se font sur la base de la matière sèche, déterminée sur des prélèvements de 500 g de matière humide, passés à l'étuve à 80°C. Ces échantillons sont ensuite broyés et *analysés* pour la détermination des exportations, en particulier en azote (Kjeldahl).

Données recueillies concernant le sol.

Ces données sont :

L'indice *S* de stabilité de structure des agrégats.

Depuis la mise en place des expériences, chaque année, un certain nombre

TABLEAU 32

Données recueillies à la Station d'Amélioration des Plantes fourragères de Lusignan sur les différentes phases culturales

Données recueillies	Cultures Fourragères	Cultures arables		
		Maïs	Blé, orge, avoine	Pommes de terre
<i>Comptages à la levée</i> (3 ou 4 semaines après semis).....	× <sup>(1)</sup>	×	×	×
<i>Notations</i>				
Stades physiologiques.....	×	×	×	×
Vigueur (note ou mensuration).....	×	×	×	×
Attaques de parasites.....	×	×	×	×
Accidents (verse, échaudage).....	×		×	
Dégâts de froid.....	×		×	
Repousse.....	×			
<i>Rendements</i>				
Matière verte.....	×			
Matière sèche.....	×	× <sup>(2)</sup>	× <sup>(3)</sup>	× <sup>(4)</sup>
<i>Facteurs du rendement</i>				
Nombre { de plantes.....		×	×	
{ d'épis.....		×	×	
{ de grains/épi.....		×	×	
Poids de 1 000 grains.....		×	×	
Analyses.....				
Azote.....	×	×	×	
Potasse et acide phosphorique <sup>(5)</sup> .....	×	×	× (Blé)	×

<sup>(1)</sup> Avec séparation des constituants dans le cas des associations.

<sup>(2)</sup> Sur grain, paille et rafle séparément.

<sup>(3)</sup> Sur grain et paille.

<sup>(4)</sup> Sur tubercules.

<sup>(5)</sup> Sur l'essai n° 2 seulement.

d'essais est suivi au point de vue de sa stabilité structurale. L'analyse de la stabilité des agrégats est réalisée selon la méthode mise au point au Laboratoire des Sols du C.N.R.A. (Versailles). L'indice *S* est établi d'après la formule, S. HENIN ET G. MONNIER, 1956) :

$$S = \frac{(A + I)_{\max.}}{\frac{A_{ga} + A_{gb} + A_{ge}}{3} - 0,9 \text{ S.G.}}$$

où  $(A + I)_{\max.}$  représente le taux le plus élevé d'éléments inférieurs à 20  $\mu$  obtenus sans dispersion ;  $A_{ga}$ ,  $A_{gb}$ ,  $A_{ge}$ , les taux d'agrégats stables respectivement à l'alcool



éthylque, au benzène et sans prétraitement ; S.G. le taux de sable grossier obtenu *sans destruction du calcaire*. Le protocole prévoit que le prélèvement des échantillons sur le terrain est pratiqué, chaque année, entre la récolte du maïs et le labour qui suit pour l'ensemencement du blé. Pour chaque parcelle de 50 m<sup>2</sup>, il est constitué un échantillon moyen de 1 à 2 kg de terre, à partir de 4 prélèvements faits à la bêche, sur la profondeur du labour, les 2 à 3 cm de sol de surface étant éliminés. Ceci est réalisé, dans un dispositif, pour chaque traitement, sur toutes les répétitions. Les échantillons sont séchés à l'air et envoyés ensuite, pour analyse, aux laboratoires compétents.

— les teneurs du fumier en matière sèche et en azote (Kjeldahl) ;

— le rythme de minéralisation de l'azote.

Il est probable que pour des dispositifs nouveaux, l'étude de cette dernière donnée serait étendue au détriment de celle de la stabilité structurale. Il semble, en effet, d'après les premiers résultats obtenus, que, dans les conditions de Lusignan, l'azote soit la variable explicative prépondérante du rendement.

#### *Données biophysiques.*

Fournies par le poste météorologique du Domaine, elles comprennent :

- la température de l'air aux niveaux + 2,00 m, + 0,40 + 0,10 + 0,05 ;
- la température du sol à 0,05 de profondeur ;
- la pluviométrie ;
- l'hygrométrie ;
- l'insolation ;
- la direction et la vitesse du vent.

A partir de ces éléments sont calculés : l'évapotranspiration potentielle (par les formules de TURC et de BOUCHET) et le bilan hydrique.

*Formule de TURC* : (TURC L., 1961)

$$\text{ETP (mm/mois)} = 0,40 \times \frac{t}{t + 15} (I_g + 50)$$

$t$  = température moyenne pendant la période considérée ;

$$(I_g = I_{ga} (0,18 + 0,62 \frac{h}{H})) \quad (1)$$

Pour février, 0,40 est remplacé par 0,37 si on travaille sur une base mensuelle ; sur une base décadaire, on prend 0,13 (0,12 pour février).

*Formule de BOUCHET* :

$$\text{ETP} = 0,37 \times E_a \times \lambda$$

$E_a$  = évaporation moyenne mesurée au Piche pendant la période considérée.

$$\lambda = \frac{\text{température moyenne} - \text{température au point de rosée}}{2} \quad (\text{il s'agit d'un}$$

facteur de correction).

Ces deux catégories de données sur le milieu ont une grande importance car elles expliqueront en partie les rendements obtenus sur les cultures-tests, et notam-

(1)  $I_{ga}$  = énergie de la radiation qui atteindrait le sol si l'atmosphère n'existait pas.

$h$  = durée de l'insolation.

$H$  = durée astronomique du jour.

ment, les données climatiques permettent de mieux préciser la part réellement due aux effets résiduels dans le comportement du végétal.

III. — EFFETS RÉSIDUELS DE LA LUZERNE :  
DÉROULEMENT DES OPÉRATIONS CULTURALES

10- 8-1964.	Récolte de la dernière coupe de luzerne	
10- 9-1964.	{ Récolte du maïs (plantes entières) Retournement de la totalité de l'essai à la houe rotative	
21- 9-1964.	Épandage de scories potassiques 14-14 sur l'ensemble du dispositif (100 kg/ha, respectivement, de $P_2O_5$ et $K_2O$ )	
	25. 9. 1964 Labour de l'essai	
	ESSAI A	ESSAI B
	<i>Année agricole 1965</i>	
	<i>Sous-parcelle maïs</i>	<i>Sous-parcelle blé</i>
		hersage et semis ( <i>Capelle</i> )
		épandage d'ammonitrate (kg/ha
		N) :
		Traitements 1 200
		2 250
		3 300
		4 0
31- 3-1965.	Reprise du labour au cultivateur	
21- 4-1965.	Épandage d'ammonitrate (kg/ha	
	N) :	
	Traitements 1 50	} enfouisse- ment au cultivateur
	2 100	
	3 150	
	4 0	
10- 5-1965.	semis ( <i>I. N. R. A. 260</i> )	
4- 8-1965.		Récolte
16- 8-1965.		Déchaumage
20-10-1965.	Récolte	
22-10-1965.	Épandage de scories potassiques 14-14 (100 kg/ha de chaque élément)	
25-10-1965.	Labour de l'ensemble de l'essai	
	<i>Année agricole 1966</i>	
	<i>Sous-parcelle blé</i>	<i>Sous-parcelle maïs</i>
28-10-1965.	Semis ( <i>Capelle</i> )	
	Épandage d'ammonitrate (kg/ha N)	
	Traitements 1 2 3	} levée tallage
23-11-1965.	10 20 30	
22- 2-1966.	20 40 60	
15- 3-1966.		} montai- son
20- 4-1966.	20 40 60	
	Total 50 100 150	Reprise du labour au cultivateur

26- 4-1966.		Passage de cultivateur puis semis (I.N.R.A. 260)
29- 7-1966.	Récolte	
22- 8-1966.	Déchaumage	
29- 9-1966.		Récolte
24-11-1966.	Épandage de scories potassiques	(100 kg/ha de chaque élément)
30-11-1966.	Labour de l'ensemble	de l'essai
<i>Année agricole 1967</i>		
13- 3-1967.	Reprise du labour au cultivateur	
14- 3-1967.	Semis d'avoine ( <i>Condor</i> )	
17- 7-1967.	Récolte au stade grain pâteux.	

---

PLANCHE I



FIG. A. — *Vues d'ensemble de la parcelle d'essais.*

PLANCHE II



FIG. B. — Charrue entièrement déportable type « vigneronne ».  
Profil



FIG. C. — Récolte des céréales à la moissonneuse-batteuse  
Vue arrière de la machine, modifiée en vue de la pesée