



**HAL**  
open science

## Action d'une culture d'engrais vert sur les propriétés physiques d'un sol de verger

Gwendal Monnier, R. Gras

► **To cite this version:**

Gwendal Monnier, R. Gras. Action d'une culture d'engrais vert sur les propriétés physiques d'un sol de verger. *Annales Agronomiques*, 1965, 16 (5), pp.553-577. hal-02731659

**HAL Id: hal-02731659**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02731659>**

Submitted on 2 Jun 2020

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

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

## ACTION D'UNE CULTURE D'ENGRAIS VERT SUR LES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES D'UN SOL DE VERGER

G. MONNIER et R. GRAS

avec la collaboration technique de C. JEANDET et J. OUDARD

*Laboratoire des Sols,  
Centre national de Recherches agronomiques, Versailles (Seine-et-Oise)*

---

### SOMMAIRE

A la suite d'un enfouissement de ray-grass d'Italie cultivé comme engrais vert d'hiver, on constate une amélioration significative mais fugace des propriétés physiques d'un sol de limon : stabilité structurale, perméabilité. La matière organique enfouie se minéralise rapidement, les parties aériennes précédant les racines.

---

### INTRODUCTION

Les engrais verts sont des cultures installées dans le but de fournir de la matière végétale qui sera enfouie dans le sol par un labour ou par une façon culturale plus superficielle.

Les mécanismes invoqués pour expliquer les variations de rendement qui peuvent résulter de l'utilisation de cette technique culturale sont très divers :

— les engrais verts peuvent, pendant leur végétation, protéger le sol contre l'impact des gouttes de pluie limitant ainsi la battance ;

— à cette action de protection au-dessus du niveau du sol, peut s'ajouter l'action mécanique des racines assurant un rôle de maintien, voire d'affinement de la structure ;

— de nombreux auteurs ont souligné l'influence possible d'une culture d'engrais vert et de son enfouissement sur la dynamique des éléments fertilisants : limitation

du lessivage de l'azote, fourniture d'azote minéral au cours de la décomposition, assimilabilité accrue de l'acide phosphorique en sol calcaire ;

— enfin, il est assez fréquemment admis que l'enfouissement de l'engrais vert provoque un enrichissement en humus des couches superficielles du sol, cet humus étant susceptible, par des processus fort divers, d'améliorer le sol et, en particulier, ses propriétés physiques.

Dans le cas des engrais verts cultivés en association avec des arbres fruitiers, un certain nombre de différences apparaissent qui distinguent cette technique de la culture d'engrais vert « en dérobée » entre deux cultures de la rotation :

— dans le cas le plus général, les engrais verts installés dans les vergers ont une durée de végétation plus longue que les engrais verts de grande culture. Implantés au début de l'automne, ils ne sont enfouis qu'au début du printemps ;

— les espèces choisies sont souvent différentes : les graminées telles que le ray-grass d'Italie ou le seigle sont préférées aux légumineuses et aux crucifères. Or, pour les graminées, la part des racines dans la masse végétale produite est supérieure à ce qu'elle est pour les crucifères ou les légumineuses et plusieurs auteurs ont souligné l'importance de la fraction souterraine sur l'effet global observé (R. BENOIT, N. WILLITS *et al.*, 1962) ;

— le mode d'enfouissement est également fort différent dans les vergers, la matière végétale n'y est plus enfouie par un labour de 20 cm ou plus, mais par des façons beaucoup plus superficielles n'intéressant qu'une dizaine de centimètres environ.

D'autre part, si les processus invoqués restent les mêmes pour expliquer l'action des engrais verts en cultures associées de verger, leur intérêt semble accru en raison des faibles restitutions organiques des cultures fruitières.

Dans le cas d'un verger conduit en sol nu, ces restitutions ne sont assurées que par les feuilles, les bois de taille et la végétation adventice qui peut commencer à se développer entre deux passages de l'outil qui assure l'entretien du sol. Il apparaît, dans ces conditions, qu'un apport supplémentaire de matière organique est nécessaire si l'on veut maintenir ou élever le taux d'humus du sol et l'on attend de l'engrais vert qu'il l'assure.

Par ailleurs, le sol nu d'un verger est fortement exposé aux actions de dégradation provoquées par la pluie et le passage des engins de traitement ou de récolte. C'est une raison supplémentaire pour que l'on cherche à le protéger au maximum. Dans cet ordre d'idée, la circulation est grandement facilitée par la présence de l'engrais vert en végétation, qui peut, de plus, dans les régions accidentées constituer un moyen de lutte contre l'érosion.

Enfin, si l'on conçoit que la diversité des actions que peut provoquer un engrais vert en général rende difficile l'interprétation d'expériences culturales où cette technique voit son efficacité établie uniquement à l'aide de comparaison de rendement, on doit admettre que le problème est encore compliqué sous verger où il y a, au cours de l'année, coexistence, donc risque de concurrence entre deux cultures installées sur le même terrain. Il devient encore plus indispensable, préalablement à tout jugement porté sur une telle technique, de procéder à un travail d'analyse destiné à mettre en évidence les modifications effectives des facteurs de fertilité consécutives à un enfouissement d'engrais vert.

Notre but a été ici de contribuer à cette analyse en nous attachant à dégager les conséquences d'une telle pratique sur l'évolution de la matière organique et sur les propriétés physiques du sol, en particulier sur la stabilité de sa structure.

## DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL, ET MÉTHODE D'ÉTUDE

Pour atteindre le but que nous venons de définir, nous avons utilisé un dispositif d'étude d'entretien du sol installé dans un verger et décrit par ailleurs (R. GRAS, 1965). L'influence des racines des arbres étant négligeable dans la couche superficielle et les apports dus aux feuilles faibles, on se trouve dans des conditions meilleures qu'en polyculture, où l'importance des résidus de récolte et l'installation d'une culture après l'engrais vert compliquent ou même rendent impossibles certaines opérations de cette étude.

### 1° Localisation et sol

Cet essai est installé en Brie, entre Provins et Nangis. Le sol contient 1,7 p. 100 de matière organique totale dont 25 p. 100 est sous forme libre. La texture est limoneuse :

argile . . . . .	17,3 p. 100
limon 2-20 $\mu$ . . . . .	33 —
limon 20-50 $\mu$ . . . . .	43,1 —
sable fin 50-200 $\mu$ . . . . .	3,3 —
sable grossier 200- 2000 $\mu$ . . . . .	1,6 —

La stabilité structurale est médiocre.

### 2° Définition des traitements

*Témoin* : sol nu travaillé avec enherbement spontané d'hiver. Le sol est maintenu propre pendant l'été à l'aide d'un pulvérisateur à disques et d'un cultivateur. L'arrêt du travail à l'automne permet à des mauvaises herbes telles que le mouron (*Stellaria media*) de s'installer. Cette végétation adventice, enfouie au printemps, constitue un apport de carbone de l'ordre de 1 à 1,5 p. 1000 de terre sèche. Il ne s'agit donc pas d'un témoin véritable en ce sens qu'il y a un certain apport de matière organique.

*Engrais vert* : sol nu travaillé avec enfouissement au printemps d'un ray-grass d'Italie (*Lolium italicum*) semé à l'automne précédent. Le sol est maintenu propre pendant l'été avec les mêmes passages d'outil que sur le témoin. L'engrais vert étudié ici est le premier que reçoivent les parcelles. Les parcelles « témoin » et « engrais-vert » parties intégrantes de l'essai « mode d'entretien » sont répétées 4 fois.

En outre, on a mis en place, dans la zone des bordures, les parcelles suivantes de 1 m<sup>2</sup> de surface :

— *parcelles « fauchées »* : avant le retournement de l'engrais vert, on a enlevé les parties aériennes. On trouve donc dans le sol après le travail les racines et les bases de tige ;

— *parcelles « herbe »* : on y a apporté avant le retournement, les parties aériennes enlevées des parcelles précédentes.

Les parcelles « fauchées » et « herbe » n'ont pu être installées que dans les zones où la quantité d'azote apportée est 2 fois moins forte que dans les parcelles principales. Comme la pousse du ray-grass d'Italie y était un peu moins importante, elles ne sont pas rigoureusement comparables aux parcelles « témoin » et « engrais-vert ». Elles ne sont répétées que 2 fois.

### 3° Déroulement de l'essai et conditions climatiques

*Témoin* : 1963 : 28 octobre : passage du pulvérisateur à disques. 1964 : 10 avril : un passage de pulvérisateur. 12 mai : pulvérisateur. 30 mai : pulvérisateur. 4 juillet : canadien. 29 juillet : canadien. 21 septembre : canadien. Même apport d'azote que sur l'engrais-vert.

*Engrais vert* : 1963 : 2 septembre : semis. 15 novembre : 15 unités d'azote. 11 décembre : 30 unités d'azote.

1964 : 10 avril : retournement de l'engrais vert par 3 passages de pulvérisateur à disques. Par la suite, travail du sol comme dans le témoin.

Pour définir l'année, au point de vue climatique, nous donnons les précipitations mesurées sur le verger et les températures moyennes de la station la plus proche, Romilly-sur-Seine.

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Pluie (mm)	34,7	48,8	64,8	72,6	32,6	44,1	28,3	13,3	55,0	37,3	63,0	41,0
Température moyenne (°C)	0,0	5,7	5,5	9,6	14,0	16,1	19,1	17,9	16,3	8,8	6,8	1,9

#### 4° Prélèvement et échantillonnage pour les déterminations de laboratoire

Tous les 10 jours ont été prélevés des échantillons correspondant à l'épaisseur de sol travaillée par le pulvériseur, soit 10-12 cm. Le premier prélèvement a été effectué le 10 avril.

Les prélèvements ont été effectués au centre de l'interligne où la pousse de l'engrais vert était la plus régulière et le mélange de la matière végétale au sol le plus homogène, ce qui n'est pas le cas sous le passage des roues (difficulté de terrage des disques) ou au voisinage des arbres (dont les outils restent éloignés).

Pour chacune des parcelles « témoin » ou « engrais-vert » on a constitué un échantillon moyen à partir de 4 prélèvements. On disposait finalement de 4 répétitions pour chaque traitement.

Pour les parcelles « fauchée » et « herbe », compte tenu de leur exiguïté, on a constitué un échantillon moyen de faible volume à partir de 2 prélèvements. On avait finalement 2 répétitions pour chacun de ces traitements hors essai.

#### 5° Appréciation de la stabilité structurale

Pour apprécier la stabilité de la structure, c'est-à-dire sa résistance aux dégradations, nous avons utilisé la méthode proposée par HÉNIN et ses collaborateurs (HÉNIN, MONNIER et COMBEAU, 1958).

Rappelons brièvement qu'il s'agit d'une série de tamisages à 200  $\mu$  effectués sous l'eau et dans des conditions standard sur des échantillons du sol étudié, composés d'agrégats séchés à l'air, d'une taille inférieure à 2 mm.

Préalablement au tamisage, certains échantillons sont humectés par des liquides organiques dans le but d'apporter des nuances à l'action directe de l'eau sur la terre sèche. C'est ainsi qu'un échantillon est « prétraité » à l'alcool éthylique, un deuxième au benzène, le troisième ne recevant aucun prétraitement.

Nous avons précisé et justifié récemment (G. MONNIER, 1965) l'interprétation particulière que chacun de ces prétraitements autorise.

Le prétraitement à l'alcool, en atténuant l'action de l'eau sur les agglomérats, traduit de façon très sensible les variations de stabilité dues principalement aux modifications de la cohésion de la terre humide, facteur de résistance des agrégats.

Le prétraitement au benzène, qui accroît la sensibilité des terres aisément mouillables, mais accentue le comportement hydrophobe des parois des pores dès que celui-ci se manifeste, fournit un test particulièrement sensible aux variations de la stabilité du sol consécutives à des modifications, même faibles, de sa mouillabilité. Comme la plupart des substances organiques introduites dans le sol accroissent sa stabilité en diminuant sa mouillabilité (G. MONNIER, 1965), le test au benzène est particulièrement intéressant pour des études telles que celle dont il est question ici.

On obtient ainsi trois taux d'agrégats stables : à l'alcool ( $Ag_a$  p. 100), au benzène ( $Ag_b$  p. 100) et, sans prétraitement ( $Ag_e$  p. 100) obtenu par action directe de l'eau sur la terre sèche. Ce dernier taux d'agrégats n'autorise pas d'interprétation particulière.

Lorsque ces taux d'agrégats sont diminués de la quantité de sables grossiers (> 200  $\mu$ ) qu'ils renferment, ils sont dits « agrégats vrais ». A partir de ces éléments et en tenant compte de la quantité d'éléments inférieurs à 20  $\mu$  qui apparaissent au cours des opérations de tamisage, il est possible d'établir un indice unique S ou  $I_s$ . Cet indice permet seul de classer les sols d'origine différente les uns par rapport aux autres. Toutefois, lorsqu'il s'agit d'étudier une évolution de faible amplitude d'un sol, il est préférable de s'en tenir à l'examen des résultats partiels des tests à l'alcool et au benzène.

## 6° Dosage des matières organiques (effectué tous les 20 jours)

On a coutume de doser globalement les matières organiques contenues dans le sol en appréciant le pouvoir réducteur de ce dernier et en l'exprimant en carbone organique par l'intermédiaire d'un coefficient d'équivalence établi une fois pour toutes (P. ANNE, 1945). Toutefois, les matières organiques totales sont très diverses. Aussi, avons-nous utilisé une méthode de fractionnement densimétrique (G. MONNIER *et al.*, 1962) qui permet de séparer et de doser à part les matières organiques « libres », juxtaposées au reste du sol et les substances véritablement liées à la partie minérale. La fraction libre, de rapport C/N élevé et variable, est généralement constituée par des matières fraîches, d'apport récent, peu ou pas évoluées. Elle est susceptible, lorsque les conditions sont favorables, de se lier rapidement aux particules minérales. La fraction liée dont le rapport C/N est relativement constant et se situe au voisinage de 10, est surtout composée, excepté dans certaines situations, de substances biologiquement stables. Elle correspond donc à ce que l'on appelle généralement l'humus. Elle peut toutefois comprendre des produits transitoires de l'humification.

L'intérêt de ce fractionnement apparaît clairement dans l'étude de l'évolution à court terme d'un amendement organique dans le sol.

Les substances libres ne sont évidemment pas à même, sous cette forme, de modifier un comportement physico-chimique du sol tel que sa stabilité structurale. C'est par la liaison des produits de leur décomposition que la potentialité qu'ils représentent se réalise. Par ailleurs, c'est seulement lorsque cette transformation est complète et aboutit à des matières liées se maintenant à un niveau relativement stable dans le temps qu'il devient possible d'établir leur rendement en humus.

Nous examinerons donc séparément l'évolution de ces deux formes de matières organiques chaque fois que l'évolution de la matière organique totale sera incapable de nous fournir une explication suffisante du comportement du sol.

Pratiquement, la technique utilisée a été la suivante :

## a) Préparation des échantillons :

Sur la totalité de l'échantillon sec, étalé sur un plateau, et dont les mottes ont été divisées à la main, on procède au tri des débris organiques les plus grossiers. Cette opération permet d'obtenir par la suite un échantillon plus homogène lors de la prise d'essai pour le dosage des matières organiques. Ces débris sont pesés et rapportés au poids de terre dont ils ont été retirés.

Environ 300 g de l'échantillon ainsi préparé sont ensuite tamisés à 2 mm et une prise de 50 g en est retirée qui est broyée au mortier jusqu'à passage complet au travers d'un tamis de 0,2 mm d'ouverture de maille.

C'est sur cette poudre qu'on prélève les prises en vue du dosage des matières organiques.

## b) Dosage du carbone total :

Une prise de poudre contenant de 20 à 30 mg de carbone organique est traitée par la méthode de P. ANNE (1945), l'attaque sulfochromique étant faite à l'aide d'une solution de bichromate à 8 p. 100.

## c) Fractionnement densimétrique :

10 grammes de poudre sont centrifugés dans un mélange alcool-bromoforme de densité 2. La fraction surnageante est essentiellement constituée par les matières organiques libres telles que nous les avons définies, tandis que le culot comprend la partie minérale du sol et les matières organiques plus ou moins évoluées qui lui sont liées.

Le carbone organique est alors dosé, toujours par la méthode de ANNE, mais séparément sur chaque fraction et rapporté à la terre totale.

Si nous désignons par  $MO_m$  le taux p. 100 des débris organiques retirés à la main lors de la préparation de l'échantillon et si nous considérons que ces débris ont une teneur en carbone sensiblement constante et voisine de 30 p. 100, la teneur en carbone organique total de l'échantillon peut être obtenue, soit par la somme :

C total p. 100 par la méthode de ANNE + 0,3  $MO_m$ .

soit, dans le cas où on a procédé à un fractionnement densimétrique, par la somme :

$$\underbrace{0,3 \times M.O.m \text{ ‰} + C_{\text{libre}} \text{ ‰}}_{\text{Matières organiques libres}} + \underbrace{C_{\text{lié}} \text{ ‰}}_{\text{Matières organiques liées}}$$

7° *Degré de perméabilité (Muntz)*

Un cylindre de 1 dm<sup>2</sup> de section est enfoncé de 6 cm dans le sol ; on y suit dans le temps l'infiltration de l'eau sous une charge constante de 3 cm.

Nous avons pris comme indice de perméabilité l'épaisseur de la lame d'eau infiltrée pendant 1 heure.

8° *Densité apparente*

Enfoncement dans le sol de cylindres métalliques de 10 cm de diamètre et de 4 cm de hauteur. Pesée de la terre contenue dans le volume du cylindre après correction due à l'humidité.

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

I — *Évolution comparée du taux de matière organique dans les parcelles témoins et dans les parcelles ayant porté un engrais vert*

La première constatation que l'on peut faire lorsqu'on examine le graphique I figurant l'évolution en fonction du temps du taux de carbone organique des différentes parcelles est que la teneur en carbone du témoin n'est pas stable, elle décroît rapidement à partir du premier travail du sol (effectué au temps zéro) pour se stabiliser aux environs de 10 p. 1 000, 120 jours plus tard. Nous pouvons considérer que cette évolution correspond à la décomposition rapide, après sa mort et son mélange au sol, de la végétation adventice qui s'est développée au cours de l'hiver dans les parcelles-témoins. Le palier qui est finalement atteint représente alors approximativement la teneur en carbone d'un témoin qui aurait été maintenu exempt de toute végétation ; c'est par rapport à lui que nous devons étudier l'évolution de la matière organique dans les parcelles « engrais-vert ». Nous allons donc indiquer, tout d'abord, comment il est possible d'évaluer cette valeur plancher du témoin.

1° *Évaluation de la valeur plancher du témoin.*

En posant  $y$  = taux p. 1 000 de carbone du témoin.

$a$  = taux p. 1 000 de carbone correspondant à la valeur plancher.

$b$  = taux p. 1 000 de carbone provenant de l'enherbement spontané.

$c$  = une constante.

$t$  = temps exprimé en jours.

$e$  = base des logarithmes népériens.

la fonction  $y = a + be^{-ct}$  est susceptible de représenter le phénomène dont les grandes lignes apparaissent sur le graphique.

En effet, pour  $t = 0$ ,  $y = a + b$

lorsque  $t \rightarrow +\infty$ ,  $y \rightarrow a$

La détermination de la fonction précédente implique le calcul de 3 paramètres. Comme la méthode des moindres carrés ne permet d'en calculer facilement que 2, nous nous sommes bornés à montrer que l'adoption comme valeur du palier, du taux moyen des 3 derniers points expérimentaux (120<sup>e</sup>, 140<sup>e</sup> et 160<sup>e</sup> jour), est com-

patible avec la représentation par la fonction précédente du phénomène traduit par la position sur le graphique des points expérimentaux. Ce taux moyen étant de 10,02 p. 1 000, nous avons fixé à 10 la valeur de  $a$  compte tenu de la précision de nos mesures, et calculé  $b$  et  $c$  après avoir transformé ainsi la fonction :

$$\log_{10} (y - 10,00) = \log_{10} b - \frac{ct}{2,302}$$

On obtient finalement :

$$y = 10,00 + 1,49 e^{-0,0248t}$$

Cette fonction, à la différence de fonctions linéaires ou paraboliques essayées au préalable, permet de calculer une régression significative au seuil 5 p. 100. Son existence justifie donc l'adoption de la valeur 10 p. 1 000 comme valeur-plancher du témoin (fig. 1).

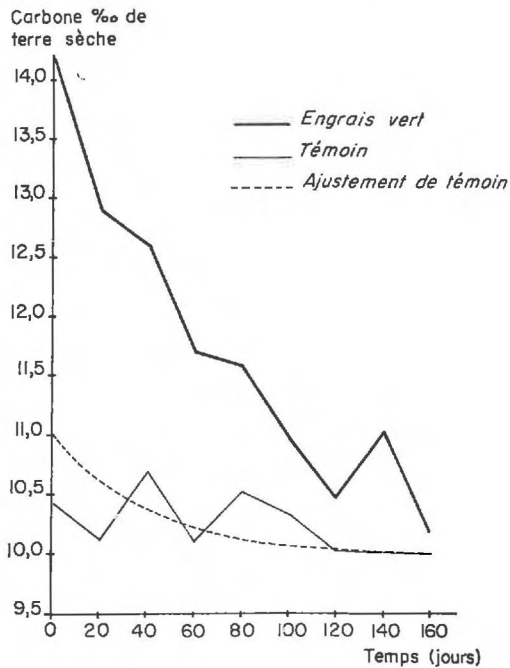


FIG. 1. — Évolution du taux de carbone organique des parcelles témoin et engrais-vert.

Notons, par ailleurs, que l'existence de cette régression, malgré la grande variabilité des teneurs en carbone, liée au caractère spontané de l'enherbement, confirme que la quantité de matière fraîche due à l'enherbement spontané n'est pas négligeable puisqu'elle est de l'ordre de 1 p. 1 000 de carbone dans une masse de sol représentant environ 1 000 t à l'hectare, soit environ 2 tonnes de matière sèche à l'hectare.

## 2<sup>o</sup> Évolution de la matière organique due à la végétation de l'engrais vert.

Compte tenu de ce qui précède, nous avons considéré que la matière organique dont la présence dans le sol était spécifique du traitement « engrais vert » pouvait



être évaluée à chaque instant comme la différence entre la teneur en matière organique totale des parcelles engrais-vert et la valeur plancher du témoin (10,0 p. 1 000). Il n'y a eu, en effet, aucun développement de mauvaises herbes dans l'engrais vert.

Le premier problème qui se pose est de savoir quelle est l'origine et la nature de cette matière organique supplémentaire.

La comparaison des taux de matières organiques libres et liées dans les deux séries de parcelles, immédiatement après le premier travail du sol, montre que la différence porte uniquement sur la fraction libre et correspond donc à la seule masse végétale fraîche de l'engrais vert. Ceci rendra plus simple l'interprétation de l'évolution constatée.

#### a) *Évolution de la matière organique totale*

Pour préciser l'allure du processus de décomposition, nous avons essayé d'ajuster une courbe aux points expérimentaux de telle manière que la fonction représentée corresponde à un type simple d'évolution.

Dans ce but, nous avons essayé les fonctions suivantes qui sont constamment décroissantes et dont certaines s'annulent pour les valeurs infinies positives du temps.

$y$  étant la teneur en carbone précédemment définie (C p. 1 000 des parcelles engrais-vert — 10 p. 1 000) et  $t$  le temps (en jours) :

$$y = at + b \quad a < 0 \quad (1)$$

$$y = ae^{-bt} \quad (2)$$

$$y = \frac{a}{t^m} \quad m > 1 \quad (3)$$

La régression linéaire (1) calculée pour l'ensemble des points expérimentaux, bien que significative au seuil 5 p. 100, est peu précise. En particulier, elle ne rend pas compte de la diminution de la vitesse de décomposition sensible sur le graphique 1 vers le 120<sup>e</sup> jour.

Les deux autres fonctions (2) et (3) se transforment en droite par anamorphose logarithmique.

$$y = ae^{-bt} \quad \log y = \log a - \frac{bt}{2,302}$$

$$y = \frac{a}{t^m} \quad \log y = \log a - m \log t$$

En fait, portés sur du papier semi-logarithmique (fonction 2) ou logarithmique (fonction 3), les points expérimentaux ne sont pas alignés mais disposés autour de 2 segments de droite se coupant dans la zone des 60<sup>e</sup> au 80<sup>e</sup> jour (fig. 2). Il n'est pas possible de représenter l'ensemble des points expérimentaux par une fonction unique linéaire, exponentielle ou en  $1/t^m$ , mais il est raisonnable de rechercher à l'aide de ces fonctions un ajustement séparé pour les 2 groupes de points correspondant respectivement aux 60 premiers jours, puis à la période suivante.

L'interprétation du fait précédent est aisée : la masse végétale d'un ray-grass d'Italie n'est pas homogène ; elle comprend, en effet, deux types de matériaux : les parties aériennes et les racines et l'on conçoit que la décomposition des premières soit plus rapide que celle des deuxièmes et qu'elle la précède. L'observation directe sur le terrain des débris organiques encore présents aux différentes dates de prélè-

vement, sont en faveur d'une telle interprétation et nous verrons plus loin que d'autres faits viennent la confirmer.

Nous avons utilisé les appellations « parties aériennes » et « racines » pour la commodité de l'expression. Elles correspondent *strictement parlant* au fractionnement que l'on opère au cours d'une fauche et très approximativement aux termes

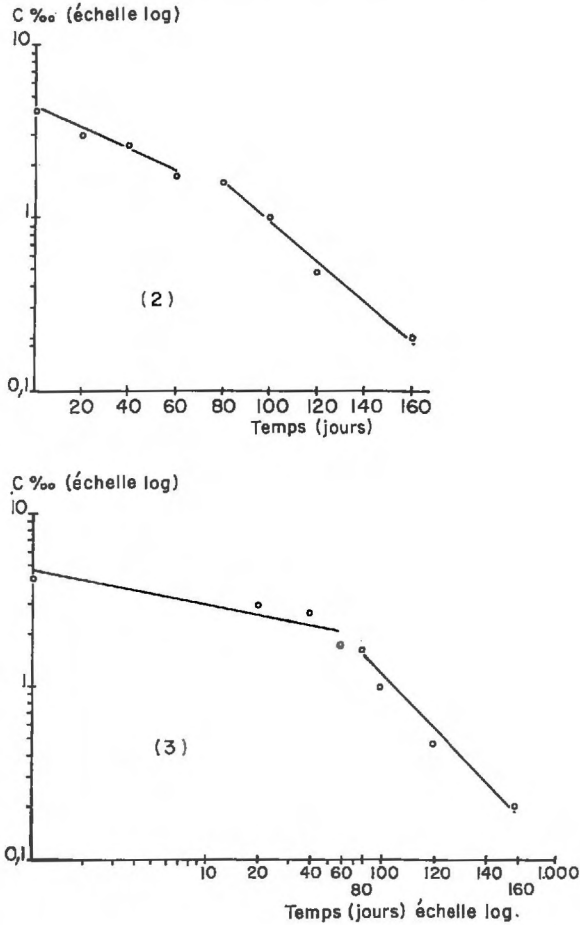


FIG. 2. — Essais des ajustements  $ae^{-bt}$  (2) et  $\frac{a}{t^m}$  (3).

botaniques. En fait, ces termes recouvrent deux groupes de substances à vitesse d'évolution différente et il est probable que le groupe « parties aériennes » contient de jeunes racines facilement décomposables et le groupe « racines » des parties aériennes relativement résistantes.

Pour déterminer les deux meilleurs ajustements, nous avons repris les types de fonction (1), (2), (3) déjà proposés plus haut. Comme la fonction  $y = \frac{a}{t^m}$  tend vers plus l'infini pour  $t = 0$ , la courbe qui la représente ne peut passer par le point initial,

d'ordonnée finie ; nous avons donc été amenés à ajouter à  $t$  un terme constant  $t_0$  ce qui transforme (3) en :

$$y = \frac{a}{(t + t_0)^m}$$

Nous verrons ultérieurement quelle justification théorique on peut donner à cette adjonction.

D'autre part, conformément à notre hypothèse, nous avons pris comme origine des temps pour les parties aériennes, la date de l'enfouissement et pour les racines le 80<sup>e</sup> jour.

L'ordonnée de l'asymptote pour les racines est évidemment, lorsqu'elle existe, la valeur plancher du témoin. Nous étudions en effet l'évolution de la seule matière organique qui provient de l'engrais vert. De la même manière, au cours de la décomposition des parties aériennes, le taux de matière organique tend vers la valeur ajustée du taux correspondant au début de la décomposition des racines (80<sup>e</sup> jour).

Enfin, pour l'étude de la fonction  $y = \frac{a}{(t + t_0)^m}$ , comme on ne peut déterminer aisément 3 paramètres, nous avons donné à  $t_0$  différentes valeurs et calculé  $a$  et  $m$  par la méthode des moindres carrés.

Le tableau ci-dessous permet de comparer les ajustements qui ont été établis en tenant compte de ces diverses conséquences de notre hypothèse de départ.

Matériau Fonction	« Parties aériennes » 0-60 j.	« Racines » 80-160 j. origine des $t$ au 80 <sup>e</sup> j.
$y = at + b$	$y = 0,038 t + 3,93$ (5 %)	non significatif
$y = ae^{-bt}$	non significatif	$y = 1,54 e^{-0,028 t}$ F = 174,42 (1 %)
$y = \frac{a}{(t + t_0)^m}$	non significatif	$y = \frac{4\,478 \times 103}{(t + 200)^{6,27}}$ F = 270,38 (1 %)

On constate que, pour les « parties aériennes », seul l'ajustement à une fonction linéaire est significatif. Pour « les racines », les seuils de signification sont identiques pour l'exponentielle ou la courbe en  $\frac{1}{t^m}$ . Nous retiendrons toutefois la courbe en  $1/t^m$  pour laquelle le test F est le plus élevé. C'est donc cette dernière qui figure sur le graphique 3.

En résumé, l'évolution de la matière fraîche apportée au sol par la culture du ray grass d'Italie s'est poursuivie dans les conditions de notre essai en 3 phases successives.

- 1° Du retournement de l'engrais vert jusqu'au 60<sup>e</sup> jour.
- 2° Du 60<sup>e</sup> au 80<sup>e</sup> jour l'évolution semble arrêtée.
- 3° Du 80<sup>e</sup> jour au 180<sup>e</sup> jour l'évolution reprend, mais la loi qui la régit est différente.

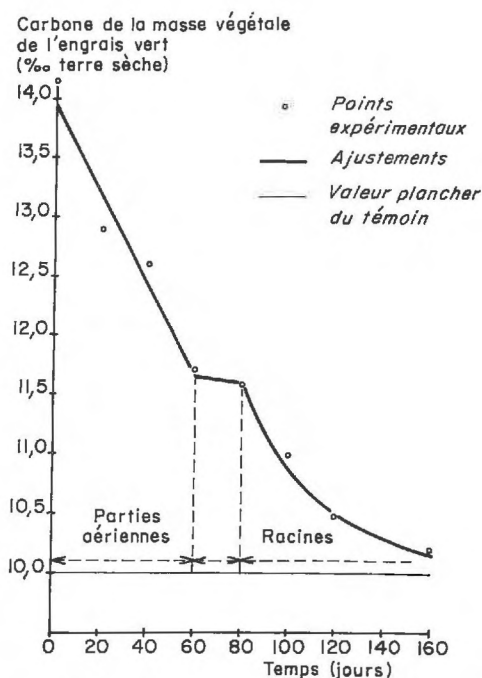


FIG. 3. — Ajustements représentant la décomposition de la matière organique de l'engrais-vert

S'il ne faut pas, compte tenu du petit nombre de points expérimentaux, attacher une importance exagérée à la forme même des ajustements, nous pouvons cependant constater que les différentes équations essayées proviennent toutes de l'équation différentielle générale :

$$dy = -ky^n dt.$$

Pour  $n = 0$

$$dy = -k dt$$

$$y = -kt + C$$

Pour  $t = 0$ ,  $y = y_0$  d'où  $C = y_0$

$$y = y_0 - kt.$$

Nous trouvons la fonction linéaire à laquelle nous avons pu ajuster l'évolution de la fraction « parties aériennes » de l'engrais vert.

Pour  $n = 1$

$$dy = ky dt$$

$$y = e^{-k(t+a)} = e^{-kt} \times e^{-ka}$$

$$y = e^{-kt} \times e^c.$$

Pour

$$\begin{aligned}t &= 0 \\y &= y_0 = e^C \\y &= y_0 e^{-kt}.\end{aligned}$$

Cette fonction exponentielle est l'une de celles qui sont susceptibles de représenter la décomposition de la fraction « racines » :

— pour  $n$  quelconque

$$\begin{aligned}dy &= -ky^n dt \\y &= (1 - n)(-kt + C)^{1/1-n}\end{aligned}$$

est une courbe décroissante si  $\frac{1}{1-n} < 0$  c'est-à-dire si  $n > 1$ .

Pour

$$\begin{aligned}t &= 0 \\y &= y_0 \\y_0 &= - (1 - n)C^{1/1-n} = (1 - n)C'^{1/1-n} \\C' &= \left(\frac{y_0}{1 - n}\right)^{1-n}\end{aligned}$$

$$y = \frac{1 - n}{\left[-kt + \left(\frac{y_0}{1 - n}\right)^{1-n}\right] \frac{-1}{1-n}}$$

qui, en posant  $\frac{1}{1-n} = m$  s'écrit avec d'autres constantes

$$y = \frac{a}{(t + t_0)^m}$$

fonction de la forme de celle qui a été retenue pour représenter l'évolution de la fraction « racines ».

Cette parenté donne une certaine unité aux équations susceptibles de représenter la décomposition de la matière organique.

Les rythmes de décomposition sont différents pour les parties aériennes et pour les racines.

Pour les parties aériennes, la quantité  $dy$  qui se décompose pendant le temps  $dt$  est indépendante de la quantité restante ( $dy = -kdt$ ). Dans le cas des racines, la quantité  $dy$  est proportionnelle à une puissance de la quantité restante ( $dy = -kydt$  ou  $dy = -ky^ndt$ ).

#### b) Mécanisme de l'évolution du carbone

Maintenant que nous avons examiné l'évolution d'ensemble de la matière organique totale, il nous reste à rechercher quel est le mécanisme de la minéralisation du carbone qu'elle traduit. Nous nous baserons pour cela sur les résultats du fractionnement densimétrique dans les parcelles « engrais-vert » et « témoin », ainsi que dans les parcelles où nous avons enfoui séparément des parties aériennes seules (parcelles « herbes ») et des parties souterraines (parcelles « fauchées »).

Le graphique 4 indique l'allure de l'évolution moyenne des 2 fractions libres et liées de ces différentes parcelles dans les blocs I et IV.

On constate qu'au cours des 60 premiers jours, la diminution du taux de matière organique totale des parcelles « engrais-vert » (3,5 p. 1 000 de carbone) correspond approximativement à la diminution de leur teneur en matière organique libre. Au cours de la même période, nous pouvons également constater que malgré l'imprécision des points expérimentaux qui traduisent, rappelons-le, le comportement de

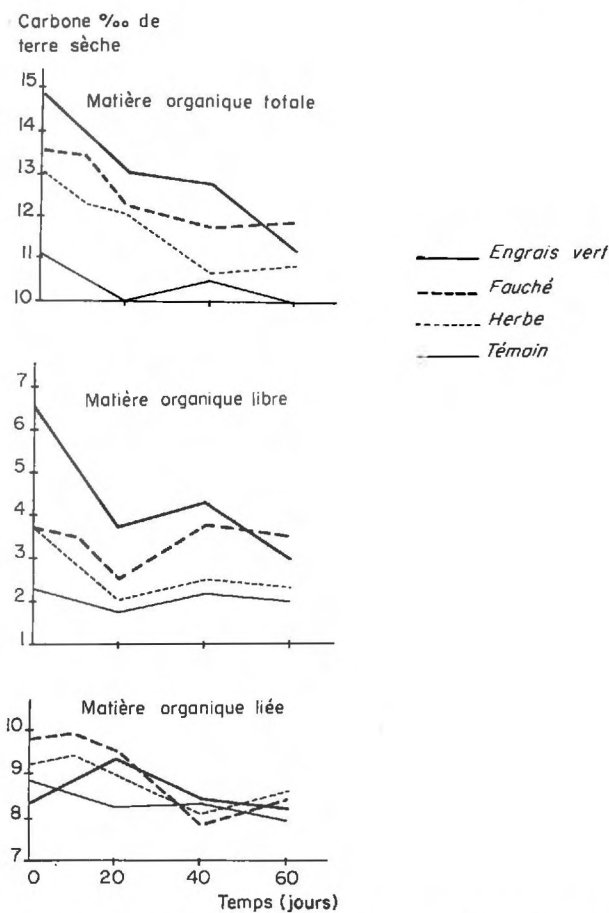


FIG. 4. — Évolution des fractions libres, liées et totales pour les parcelles des blocs 1 et 4

2 blocs seulement, il existe un parallélisme entre les parcelles « engrais-vert » et les parcelles « herbes », alors que les parcelles « fauchées » subissent une évolution plus comparable à celle du témoin.

Au 60<sup>e</sup> jour le résultat de ces différentes évolutions se traduit par la situation suivante.

— En ce qui concerne les matières organiques libres, les parcelles « fauchées » et « engrais-vert » présentent des taux comparables, compris entre 3 et 3,5 p. 1 000 de carbone, alors que les parcelles « témoins » et les parcelles « herbes » se rejoignent au taux de 2 p. 1 000 de carbone.

— Pour les matières organiques liées, les teneurs des 4 types de parcelles sont très groupées comprises entre 8 et 8,5 p. 1 000 de carbone.

— Enfin, il existe au 20<sup>e</sup> jour dans les deux seules parcelles comportant l'enfouissement de parties aériennes (« engrais-vert » et « herbes ») une remontée, momentanée d'ailleurs, du taux de matières organiques liées.

L'ensemble de ces faits peut alors être interprété de la façon suivante :

Au cours des 2 premiers mois qui ont suivi l'enfouissement, l'évolution a principalement porté sur les parties aériennes et n'est donc sensible que sur les parcelles « engrais-vert » et « herbes ». Les parties aériennes se sont décomposées très rapidement en fournissant des substances en quantité suffisante vers la fin du 1<sup>er</sup> mois pour qu'apparaisse une remontée du taux de matière liée dans les 2 séries de parcelles intéressées. Ces substances n'étaient pas biologiquement stables, car elles se sont, en majorité au moins, minéralisées au cours du mois suivant. Il s'agit donc là de ces produits transitoires de l'humification dont nous avons montré (G. MONNIER, 1965) qu'ils pouvaient apparaître en quantité relativement importante dans le sol à la suite de la *transformation rapide* de matières fraîches végétales très fermentescibles, ce qui est le cas, nous venons de le constater, pour les parties aériennes du ray-grass d'Italie.

— L'évolution peu marquée au cours des 60 premiers jours des 2 formes de matière organique dans les parcelles « fauchées » qui ne comportaient que des racines confirme cette hypothèse.

L'exiguïté des parcelles « herbes » et « fauchées » que nous avons aménagées dans l'essai n'ont malheureusement pas permis de poursuivre la comparaison au cours des mois suivants. Les prélèvements successifs avaient en effet rendu l'échantillonnage de plus en plus délicat au moins en ce qui concerne les fractions libres de matières organiques.

Il reste que nous avons pu trouver là une confirmation très nette de l'hypothèse qui nous avait été suggérée par la nécessité de traduire par 2 ajustements distincts les évolutions intervenues respectivement avant et après le 60<sup>e</sup> jour.

Des expériences ultérieures dans des conditions mieux contrôlées seront nécessaires avant de conclure avec certitude, mais nous pouvons déjà affirmer qu'il existe de nombreuses présomptions en faveur d'une évolution en 2 phases successives du ray-grass d'Italie ; les parties aériennes plus fermentescibles se décomposant avant les racines. Il est bien probable que, dans notre essai, les conditions climatiques ont favorisé une séparation nette entre les 2 stades. En particulier, une période plus fraîche entre le 60<sup>e</sup> et le 80<sup>e</sup> jour s'est traduite par un palier au cours duquel la décomposition des « parties aériennes » étant terminée, la décomposition des racines n'avait pas encore commencée. Dans d'autres conditions, un certain chevauchement est probable, les racines les plus fermentescibles pouvant évoluer en même temps que les « parties aériennes » les plus résistantes. Il n'en reste pas moins qu'en règle générale l'allure et la vitesse de décomposition des deux fractions sont différentes. Ceci sera confirmé par les conséquences de leur évolution sur la stabilité structurale.

Enfin, en ce qui concerne la teneur en matière organique totale des parcelles « engrais verts » à la fin de notre expérience (160<sup>e</sup> jour), elle n'est supérieure au témoin que de 0,2 p. 1 000 de carbone, différence non significative. Une étude plus précise après fractionnement densimétrique montre, de plus, que ce faible reliquat est uniquement constitué de matières organiques libres, vraisemblablement un reste

des racines les plus résistantes, non encore entièrement décomposées. On peut donc conclure que le rendement en humus de la culture d'engrais vert, qui ne pourra évidemment être établi avec certitude que lorsque la décomposition totale aura été constatée, sera extrêmement faible, en pratique nul. Il ne faut donc pas s'attendre à ce que cette technique d'entretien du sol ait une action cumulative d'une année sur l'autre, aussi bien en ce qui concerne le niveau humique que les propriétés qui en dépendent.

## II — *Évolution de la stabilité structurale*

Pour les raisons que nous avons données en présentant la méthode d'étude, nous examinerons principalement les variations des différents taux d'agrégats stables. De plus, comme parmi ces derniers le taux d'agrégats stables après prétraitement au benzène corrigé des sables grossiers (Ag<sub>b</sub> p. 100 vrais) est la caractéristique la plus sensible des variations de stabilité provoquées par les matières organiques diverses, nous nous appuierons plus particulièrement sur son étude.

### 1<sup>o</sup> *Comparaison au moment du retournement des stabilités structurales des différents traitements.*

L'étude des échantillons prélevés immédiatement après le premier travail au printemps (point zéro) montre clairement que les parcelles « engrais-vert » et témoin ont, au départ, la même stabilité pour tous les prétraitements. Il ne s'est donc pas produit, au cours de la végétation du ray-grass d'Italie, pendant l'automne et l'hiver, de phénomènes susceptibles de modifier le comportement de la structure vis-à-vis de l'eau. Ceci peut-être rapproché du fait, noté précédemment, que la seule différence entre les taux de matières organiques des deux séries de parcelles portait, au moment du retournement, sur les matières organiques libres. Les teneurs en matières organiques liées, seules susceptibles d'influer sur la stabilité structurale se sont avérées tout à fait comparables.

Sans exclure la possibilité d'une action protectrice de la végétation sur le sol au cours d'hivers très pluvieux, nous constatons donc une fois de plus (G. MONNIER, 1965) que la culture d'une graminée n'aboutit à une modification de stabilité que dans la mesure où elle provoque un accroissement de la quantité des matières organiques liées présentes dans le sol ; ce qui ne se produit généralement pas au cours de la première année de végétation.

### 2<sup>o</sup> *Évolution de la stabilité structurale dans les parcelles témoins.*

Le graphique 5 indique que dès la fin du mois de mai, la stabilité structurale augmente dans les parcelles témoins. Elle atteint ainsi un maximum au cours des mois de juillet et août, avant de redescendre plus ou moins régulièrement et de revenir à sa valeur initiale à la fin de l'expérience.

L'examen comparé des différents taux d'agrégats stables montre que ces derniers sont tous affectés, les agrégats stables après prétraitement à l'alcool éthylique subissant des variations d'une ampleur supérieure, alors que le taux d'Ag<sub>b</sub> varie dans l'ensemble plus modérément, mais d'une manière plus régulière. Ces caractéristiques nous conduisent à penser qu'il s'agit ici du phénomène de la variation saisonnière



de la stabilité structurale. Cet accroissement de la résistance de la structure au cours des mois d'été où le sol est plus chaud et plus sec a été mis en évidence par HÉNIN et TURC (1949) et depuis, de nombreux auteurs (A. COMBEAU et P. QUANTIN, 1963 ; G. MONNIER, 1965) ont souligné son importance. Son mécanisme est certainement complexe, mais nous avons montré (G. MONNIER, 1965) qu'il pouvait être

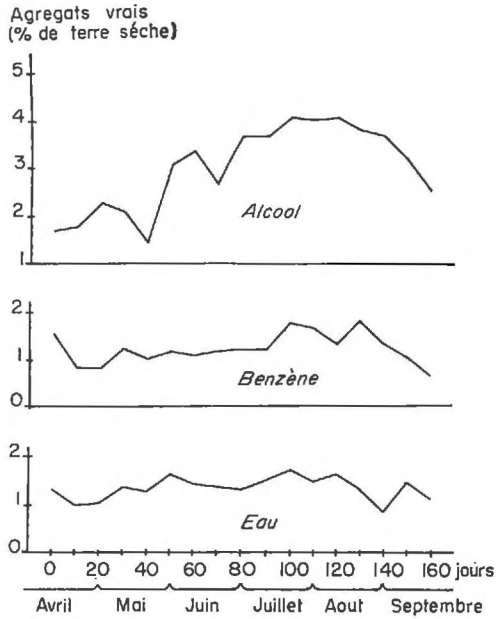


FIG. 5. — Stabilité structurale des parcelles témoins

d'autant plus net que le sol contenait plus de matières organiques en cours d'évolution. Cet aspect se traduit par la variation du taux d'Ag<sub>b</sub>. Ceci implique que si nous voulons suivre le comportement spécifique des parcelles « engrais-vert », nous devons choisir comme caractéristique la différence :

$$\text{Ag}_b \text{ p. } 100 \text{ de l'engrais vert} - \text{Ag}_b \text{ p. } 100 \text{ du témoin.}$$

Cette différence englobera alors l'effet simple de l'évolution de la matière organique des parcelles « engrais-vert » et éventuellement l'accroissement de la variation saisonnière liée à cette évolution.

### 3° Évolution de la stabilité structurale dans les parcelles engrais-vert.

Le graphique 6 représente la différence de stabilité entre les parcelles « engrais-vert » et les parcelles témoins. Il permet de faire un certain nombre de constatations :

— Il existe deux périodes au cours desquelles il apparaît, en faveur des parcelles « engrais vert », des différences notables. Certaines d'entre elles étant significatives au point 0,1 p. 100.

— Entre ces deux périodes, il en existe une de 15 jours à 3 semaines au cours de laquelle les accroissements de stabilité par rapport au témoin diminuent considérablement; perdant d'ailleurs toute signification statistique.

L'interprétation de ce phénomène est facilitée en le rapprochant d'abord de l'évolution des matières organiques et ensuite des variations de stabilités dans les petites parcelles fauchées et dans celles où seules, les parties aériennes de ray grass avaient été enfouies.

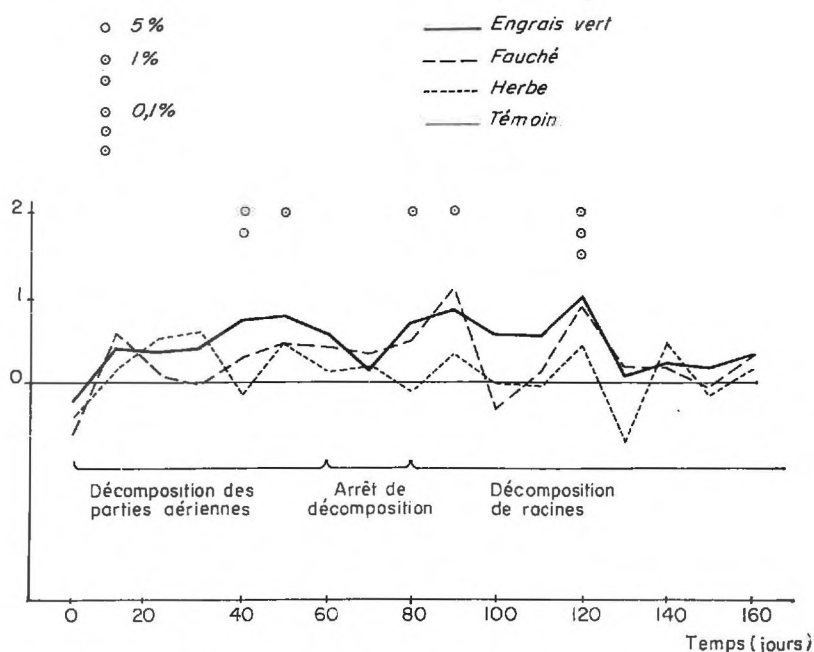


FIG. 6. — Agrégats vrais benzène. Différences entre les traitements et le témoin

Nous pouvons ainsi constater que les deux périodes au cours desquelles se manifeste un accroissement de stabilité structurale après engrais vert sont précisément celles au cours desquelles nous avons noté les deux types successifs d'évolution rapide de la matière organique de ces parcelles. De même, la période intermédiaire située aux alentours du 60<sup>e</sup> au 80<sup>e</sup> jour est caractérisée à la fois par un arrêt provisoire de la diminution du taux de carbone et par une disparition momentanée de l'action des engrais verts sur la stabilité structurale.

Nous retrouvons ici un phénomène déjà mis en évidence (G. MONNIER, 1965) : *c'est dans la mesure où un apport organique fermenté, c'est-à-dire provoque l'apparition de corps microbiens et (ou) de substances préhumiques, qu'il a pour conséquence un accroissement de stabilité structurale.* Ce dernier est d'autant plus intense pour une masse d'apport donnée que l'évolution est plus rapide.

Examinons maintenant les variations du taux d'Ag<sub>b</sub> dans les parcelles « fauchées » et dans les parcelles « herbe ».

Nous pouvons constater qu'au cours de la première période de stabilisation, précédemment définie, ce sont les parcelles « herbes » qui manifestent les plus forts accroissements, et ceci dès les premières semaines. Les parcelles fauchées ne commencent à se distinguer des parcelles témoin que vers la fin de cette première période : 50<sup>e</sup> au 60<sup>e</sup> jour.

Par contre, à partir du 60<sup>e</sup> jour, les stabilités des parcelles « herbes » retombent et se maintiennent au niveau de celles des parcelles « témoin » ; ce sont les parcelles « fauchées » qui prennent au 80<sup>e</sup> jour le relais, en quelque sorte, présentant alors des accroissements de stabilité qui, bien que moins réguliers, sont de l'ordre de grandeur de ceux qui se manifestent sous les parcelles où la totalité de l'engrais vert a été enfouie.

L'interprétation à laquelle ces faits nous conduisent rejoint celle que nous avons proposée lors de l'étude de l'évolution des matières organiques. Au cours des 2 premiers mois, la décomposition intéresse principalement les parties aériennes du ray-grass d'Italie, plus fermentescibles. Elle se produit dans les parcelles « engrais-vert » et elle intervient également dans les parcelles « herbe ». Les accroissements provisoires de stabilité qui en découlent sont surtout sensibles au cours du 1<sup>er</sup> mois et ne sont pas observables dans les parcelles « fauchées ».

Du 60<sup>e</sup> au 80<sup>e</sup> jour, le ralentissement de la dégradation qui suit la complète disparition des parties aériennes et qui précède la décomposition des racines entraîne une baisse de stabilité. Cette dernière semble donc être liée au jour le jour, pourrait-on dire, à la formation en quantités suffisantes de produits de dégradation de la matière organique.

Après le 80<sup>e</sup> jour, ce sont les racines qui évoluent. Ce sont alors les parcelles « fauchées » qui présentent un comportement analogue à celui des parcelles « engrais-vert total » tandis que les parcelles « herbe » gardent un comportement très voisin de celui des parcelles témoins.

A la fin de notre expérience, les fermentations et leurs conséquences cessent de se manifester faute de métabolite : les niveaux de matières organiques sont descendus dans toutes les parcelles au niveau du témoin, ainsi que nous l'avons constaté. Corrolairement, la stabilité redescend au même niveau dans toutes les parcelles.

En définitive, il ressort que l'action d'un engrais vert sur la stabilité structurale peut être rapprochée de ce qui se passe lorsqu'on introduit dans le sol un métabolite très fermentescible comme le glucose (S. HÉNIN, 1944 ; G. MONNIER, 1965). L'accroissement de stabilité qui est alors constaté est lié aux fermentations qui se développent dans le milieu. Ces dernières s'atténuent au fur et à mesure que la quantité de sucre non encore métabolisée diminue. La stabilité retombe à son point de départ lorsque la fermentation est terminée, car elle ne laisse pratiquement aucun résidu.

Comme celui du glucose, l'effet d'un engrais vert semble pour sa plus grande part fugace et non cumulatif d'une année sur l'autre. Ceci l'oppose à celui d'un fumier susceptible de laisser à l'issue de sa décomposition dans le sol un résidu humique relativement stable et donc capable de maintenir à long terme une partie de l'effet obtenu lors de l'enfouissement.

### III — Structure en place et propriétés qui s'y rattachent

#### 1<sup>o</sup> Avant le retournement de l'engrais vert.

Le témoin et l'engrais vert présentent une structure fragmentaire polyédrique peu nette, moins nette encore, semble-t-il, sous l'engrais vert.

La perméabilité du sol sous engrais vert est inférieure à celle du témoin quoique de façon non significative.

Les constatations précédentes convergentes nous permettent donc d'affirmer

qu'il n'y a pas eu d'amélioration de l'état physique par l'engrais vert au cours de sa végétation. L'explication de cette absence d'action peut être recherchée dans deux directions :

— A la différence du témoin, le traitement engrais-vert comporte à l'automne la préparation d'un lit de semence donc la formation de terre fine. Cette façon superficielle pourrait accroître le colmatage du sol par les pluies.

— L'installation d'une végétation herbacée diminuerait à son début la perméabilité, effet constaté au laboratoire par K. BARLEV, (1954).

2<sup>o</sup> Après le retournement de l'engrais vert.

A l'observation, il est difficile de constater des différences entre témoin et engrais vert si ce n'est, évidemment, la présence de débris végétaux dans le second.

Les mesures de densités apparentes effectuées 74 jours après le retournement n'ont pas permis de mettre en évidence des différences significatives entre le témoin (1,16) et l'engrais vert (1,14).

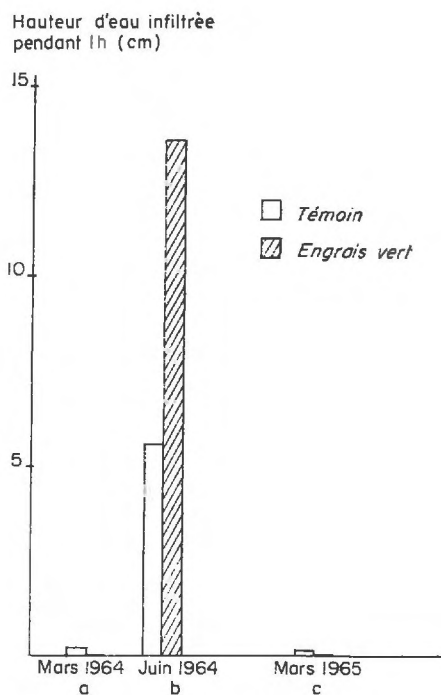


FIG. 7. — Degrés de perméabilité

A peu près à la même époque (76 jours après le retournement), le degré de perméabilité du sol des parcelles engrais-vert est significativement supérieur (seuil 5 p.100) à celui du témoin (fig. 7 b).

Précisons tout d'abord que ces perméabilités reflètent bien le comportement de la seule couche travaillée puisque les perméabilités des sous-sols n'étaient pas différentes dans les deux traitements.

La disparité entre les variations de densité apparente et de perméabilité peut s'expliquer par la relation entre celle-ci et la porosité (proportionnelle à la densité apparente) : d'après la formule théorique de KOZENY, la perméabilité varie comme la puissance 3 de la porosité. On conçoit alors que des variations de densité apparente non décelables dans notre dispositif expérimental puissent modifier significativement la perméabilité. D'autre part, pour une même valeur numérique de la porosité, des

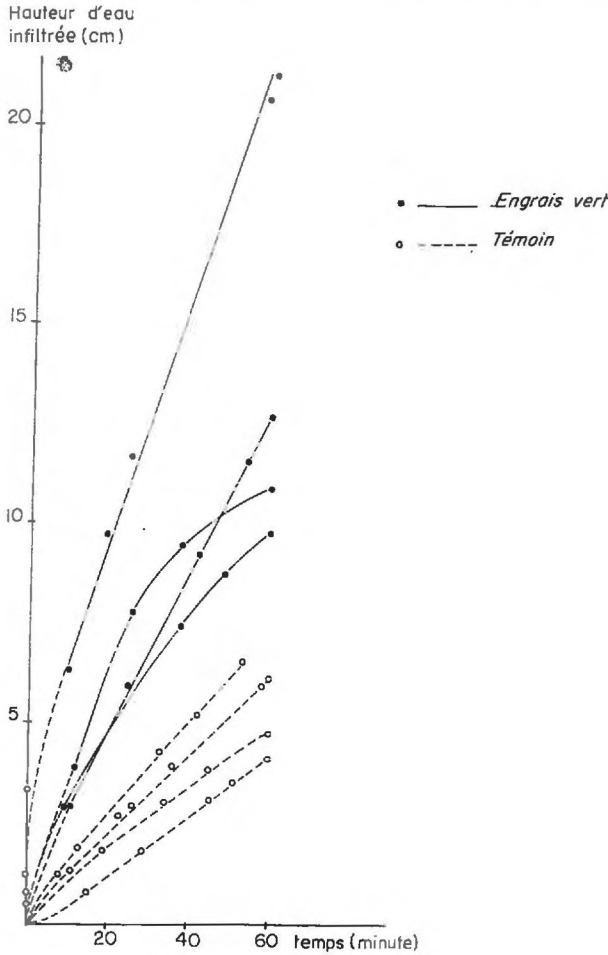


FIG. 8. — Courbes d'infiltration.

changements dans la forme ou l'orientation des pores peuvent donner des perméabilités différentes. Enfin, l'obstruction d'un pore sur une très faible longueur le rend impropre à la transmission de l'eau, sans que la porosité soit sensiblement modifiée.

En vue de leur interprétation, les mesures de perméabilité doivent être placées dans leur contexte. Après le travail du sol, celui-ci a, du fait de sa structure fragmentaire, une perméabilité très élevée et donc non mesurable par nos techniques. Lorsque des pluies tombent sur le sol, il perd son aspect motteux à cause de la battance et

il devient possible d'établir un plan d'eau sur le sol et d'effectuer la mesure. On conçoit alors que le degré de perméabilité ainsi mesuré soit en grande partie sous la dépendance de la quantité et de l'intensité des précipitations tombées entre le dernier travail du sol et la mesure.

L'examen des courbes représentant la quantité d'eau percolée en fonction du temps (fig. 8) peut fournir des renseignements sur ce qui se passe au moment de la mesure, la pente de la courbe représentant le degré de perméabilité instantané. Quoique la partie initiale de la courbe soit mal connue, on peut faire les remarques suivantes :

— Pour les témoins, les perméabilités, faibles, sont sensiblement constantes, les droites représentatives passant près de l'origine. Il n'y a donc pas de modification de structure au cours de la mesure.

— Pour les parcelles « engrais-vert », la perméabilité moyenne est plus élevée, mais on constate une diminution de la perméabilité instantanée, soit au début de la mesure, soit quelque temps après.

On peut avancer alors les explications suivantes : pour le témoin à stabilité structurale médiocre la quasi-totalité de la dégradation s'est produite avant la mesure, l'état structural atteignant une « valeur plancher ». La mesure montre effectivement une perméabilité faible et constante. Dans l'engrais vert, la meilleure stabilité (effectivement constatée) et l'existence de débris végétaux (les racines commencent seulement à se décomposer) réduisent l'action dégradante des précipitations, d'où une perméabilité initiale supérieure. Mais cette perméabilité diminue au moment de la mesure ; la stabilité suffisante pour conserver une partie de l'action du travail jusqu'à la mesure est trop faible pour permettre à la structure de résister à la dégradation intense d'un plan d'eau artificiel imposé brutalement.

3° *Avant le retournement de l'engrais vert suivant.*

On ne décèle plus aucun effet sur la perméabilité (fig. 7 c) ce qui confirme nos observations sur la nullité de l'effet améliorant de la végétation proprement dite de l'engrais vert et indique que celui qui avait été constaté pendant l'été a disparu.

## CONCLUSIONS

Après avoir présenté les résultats concernant chacun des points sur lesquels notre analyse a porté, et avoir énoncé les interprétations qu'ils suggèrent, il nous reste à dresser le bilan général du comportement du sol sous engrais verts aux divers stades de l'expérience.

Nous pouvons d'abord souligner le fait qu'au cours de sa végétation, le ray-grass d'Italie n'a apporté aucune amélioration des propriétés physiques qui soit sensible à nos observations et mesures.

Cette absence d'effet concerne d'abord la structure du sol en place telle qu'elle apparaît lors d'observations sur le terrain, ou à la faveur de la mesure de l'une de ces principales conséquences : la perméabilité mesurée immédiatement avant le retournement de l'engrais vert. Il n'est pas exclu que dans certaines conditions,

l'installation rapide d'un enracinement fasciculé puisse, soit contribuer au maintien d'une structure favorable lorsque celle-ci a pu être établie avant le semis, soit assurer une certaine fragmentation selon un mécanisme encore non connu. Quoiqu'il en soit, ce comportement n'est pas une règle générale.

Citons parmi les explications plausibles de cette absence d'effet :

— les conséquences de la préparation du lit de semence du ray-grass et la diminution de porosité consécutive à l'installation des racines ;

— le fait qu'au cours de la végétation de l'engrais vert, il ne se soit produit aucun accroissement de la stabilité structurale, doit être rapproché des résultats obtenus sous prairie temporaire (G. MONNIER, 1965). Nous avons, en effet, noté que l'amélioration de stabilité ne devenait sensible qu'entre la 2<sup>e</sup> et la 3<sup>e</sup> année de repos du sol sous graminées. Pour qu'une telle action se manifeste, il est en effet nécessaire qu'une fraction suffisante des racines se décomposent, fournissant ainsi aux agrégats situés à proximité, un « habillage » protecteur de substances transitoires. Ce mécanisme n'intervient généralement pas avant 2 ans, et *a fortiori* pas au cours des 6 premiers mois, d'une culture d'herbe non exploitée.

Finalement, nous ne pouvons créditer ce premier stade que d'une action possible de protection mécanique contre la battance et le ruissellement sans, toutefois, que cette action ait été effectivement observée.

Les modifications de comportement du sol n'interviennent, en fait, qu'après le retournement. A ce moment-là, le travail du sol (plusieurs passages de pulvérisateur à disques) tue le ray-grass d'Italie, en transforme la substance en métabolite et la mélange assez intimement à la masse de la couche superficielle du sol. Cette dernière opération, superflue pour les fractions souterraines, déjà bien réparties, prend toute son importance pour les parties aériennes. Les fermentations qui se déclenchent successivement pour les parties aériennes, puis pour les racines, assurent alors, par la production de substances transitoires diverses, la stabilisation de la structure fragmentaire résultant de l'action des outils d'entretien.

De même l'engrais vert n'intervient sur la perméabilité qu'après son retournement. Il s'agit en quelque sorte d'une action indirecte puisque l'engrais vert prolonge l'action dans le temps du travail du sol sur la structure, en atténuant l'action dégradante des précipitations. Les raisons de cette action sont à rechercher dans une meilleure stabilité structurale et dans la présence de débris végétaux qui, en créant des hétérogénéités, maintiennent ouvertes certaines fissures.

A la fin de l'expérience, enfin, le bilan humique de l'enfouissement de matière végétale s'avère, sinon peut-être rigoureusement nul, au mieux extrêmement faible. En corollaire, la stabilisation passagère disparaît (fait constaté également par J. MORTENSEN et J. YOUNG, 1960) et le comportement structural des différentes parcelles redevient analogue à ce qu'il était au départ.

Cette conclusion, en opposition avec l'opinion largement répandue, tant chez les praticiens que chez divers auteurs, qui veut qu'un engrais vert participe de façon non négligeable à la fourniture d'humus au sol, est celle à laquelle ont abouti avant nous divers autres auteurs (C. BAKER, 1937 et E. PROEBSTING, 1952) travaillant sur des sols de verger.

En définitive, et sans porter de jugement sur son incidence agronomique globale, l'enfouissement d'un ray-grass d'Italie dans un sol de limon battant de verger,

a eu des conséquences sensibles sur les propriétés physiques du sol. Mais ces effets ne se sont manifestés que d'une manière fugace et ne semblent pas pouvoir se cumuler, même partiellement, d'une année sur l'autre.

\* \*

Après ce bilan de la culture d'un ray-grass d'Italie en engrais vert d'hiver et de son enfouissement en sol de verger, il paraît utile de faire quelques commentaires supplémentaires suggérés par ces résultats et aussi par la manière dont ils ont été obtenus.

Certains auteurs comme R. BENOIT *et al.* (1962) avaient signalé qu'ils obtenaient à peu près les mêmes résultats avec les seules parties souterraines et un engrais vert enfoui dans sa totalité. Les parcelles où les parties aériennes seules avaient été enfouies se comportaient, elles, comme les témoins n'ayant subi aucun apport organique. Les résultats que nous avons obtenus sont quelque peu différents. Les parties aériennes assurent, au cours de leur rapide décomposition, un premier accroissement de stabilité structurale. La contradiction pourrait toutefois, semble-t-il, n'être qu'apparente. Tout d'abord, les mesures de BENOIT *et al.* avaient été effectuées à des intervalles de temps plus longs que 10 jours ; la décomposition rapide des parties aériennes et les améliorations structurales fugaces qu'elle entraîne ont pu se situer entre deux mesures. Ensuite, il semble que l'enfouissement de l'engrais vert ait été effectué par ces auteurs à l'aide d'un seul labour, les tiges et feuilles ont été probablement beaucoup moins bien mélangées que dans le cas que nous avons décrit ici ; or, nous avons montré qu'un mélange intime des débris était une condition indispensable à l'efficacité des substances transitoires formées à leur dépens.

Ceci nous amène, d'ailleurs, à examiner les possibilités de l'extrapolation de nos conclusions à la culture d'engrais vert « en dérobée », entre deux plantes d'une rotation de grande culture. Le nombre d'opérations possibles pour assurer le mélange, la masse de sol double ou triple, intéressée, permettent de penser que le système racinaire jouera un rôle prédominant et, en tout état de cause, que la réussite du mélange aura une importance au moins égale à la masse de matière verte enfouie. D'autre part, la maturité moins grande des végétaux enfouis, le fait qu'il s'agit le plus souvent d'espèces pour lesquelles le rapport poids des tiges/poids des racines est plus élevé que pour le ray-grass italien permettent de penser que les conséquences, tant sur le bilan humique que sur la stabilité structurale, seront encore moins marquées que dans le cas que nous avons étudié. Il est vraisemblable que les améliorations humique et structurale durables, qui peuvent être observées dans certains cas, sur des sols auxquels on fournit régulièrement des engrais verts, proviennent plutôt de l'accroissement des résidus des récoltes lié à des effets autres que ceux que nous avons étudiés ici.

\* \*

Les derniers enseignements que nous tirerons de ce travail sont d'ordre méthodologique. Lorsqu'il s'agit de rechercher, d'apprécier et d'expliquer des phénomènes caractérisés par leur faible intensité et de nombreuses variations, la mise en place d'un dispositif expérimental convenable et un échantillonnage approprié et soigneux ne sont pas suffisants.



Pour des phénomènes étroitement liés au temps et aux conditions climatiques, il ne faut pas considérer une mesure isolée dans le temps, mais des courbes établies en fonction du temps. Sinon, on s'expose à faire de grossières erreurs. Par exemple, les augmentations de stabilité étant nulles vers le 70<sup>e</sup> jour après l'enfouissement, la prise en considération de cette seule mesure aurait conduit à conclure à l'absence d'action de l'engrais vert sur la stabilité structurale.

Il est extrêmement utile de confronter constamment les résultats de mesures concernant des variables différentes (matière organique, stabilité structurale, perméabilité). D'une part, on peut ainsi avancer une explication de certains phénomènes, ou du moins resserrer le champ des explications possibles. D'autre part, la convergence de plusieurs phénomènes, dont le poids individuel serait insuffisant pour conclure, permet souvent d'établir sans ambiguïté la réalité.

L'interprétation des relations entre la matière organique de l'engrais vert et la stabilité structurale n'a pu se faire que grâce aux résultats d'une étude théorique faite en laboratoire (G. MONNIER 1965). Cette étude a recouru à des modèles, un modèle étant un schéma simplifié de la réalité, permettant l'étude des faits essentiels intervenant dans un phénomène. Un bon modèle doit concilier 2 aspects contradictoires, être simple pour permettre son étude et être représentatif de la réalité. Si les phénomènes observés dans le milieu naturel permettent d'établir la validité d'un modèle, réciproquement celui-ci éclaire le phénomène naturel, toujours plus complexe, et permet d'en dégager les grandes lignes.

*Reçu pour publication en novembre 1965.*

## SUMMARY

### EFFECT OF A CULTURE OF GREEN MANURE ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF AN ORCHARD SOIL

The effect of a crop of Italian ray grass on the physical properties of a loamy soil reveals itself only after ploughing up the crop. The tilling transforms the plant into a metabolite. The fermentations which take place first at the level of the aerial parts and at then at that of the roots ensure stabilization of the soil structure by means of the transitory products. The soil permeability is thus improved. But these effects do not last and cease when the amount of organic matter of the green manure has almost totally disappeared. This does not seem to have any long term effect on the humic balance.

## ZUSAMMENFASSUNG

### WIRKUNG EINER GRÜNDUNGÜNGSKULTUR AUF DIE PHYSIKALISCHEN EIGENSCHAFTEN DES BODENS EINER OBSTANLAGE

Die Wirkung einer Kultur welschen Weidelgrases auf die physikalischen Eigenschaften eines Lehmbodens machen sich erst nach dem Umbruch fühlbar. Die Bodenbearbeitung macht aus der Pflanze ein Metabolit. Die Fermentationen, die zuerst für die oberirdischen Teile ausgelöst werden, dann für die Wurzeln, sichern eine Stabilisierung der Struktur mittels der Übergangsprodukte. Die Boden durchlässigkeit wird dadurch verbessert. Die Wirkungen sind jedoch nur von kurzer Dauer und verschwinden, sobald die fast gesamte organische Masse der Gründüngung verschwunden ist. Es scheint keine Wirkung auf lange Sicht auf die Humusbilanz zu bestehen.

Действие зеленого удобрения на физические свойства почвы садов.

Г. МОННЬЕ и Р. ГРА.

### РЕЗЮМЕ

Действие культуры итальянского райграса на физические свойства суглинистой почвы проявляется только после заделки. Действие почвы превращает растение в метаболит. Брожение начинающееся сперва с надземных частей растения и захватывающее затем корневую систему, обеспечивает стабилизацию почвенной структуры, при помощи переходных продуктов. Проницаемость почв немедленно улучшается. Но этот временный эффект проходит, как только исчезает все органическое вещество зеленого удобрения. Долгосрочное влияние на гуммутовый баланс почвы — мало вероятно.

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANNE P., 1945. Dosage du carbone organique du sol. *Ann. agron.* A-p. 165.
- BAKER C., 1937. Changes in total soil nitrogen under each of several cover crops after 23 years. *Proc. Amer. Soc. hortic. Sci.*, 35.
- BARLEY K., 1954. Effect of root growth and decay on the permeability of a synthetic sandy loam. *Soil. Sci.*, 78, 205-210.
- BENOIT R., WILLITS N. et al., 1962. Effect of a rye winter cover crop on soil structure. *Agron. J.*, 54, 419-420.
- COMBEAU A., QUANTIN P., 1963. Observations sur les variations dans le temps de la stabilité structurale des sols en région tropicale. *Cahier O.R.S.T.O.M. Pédologie* n° 3, 17-26.
- GRAS R., 1965. Premiers résultats d'un essai d'entretien du sol en arboriculture fruitière. I. Action sur les propriétés physiques du sol. *A paraître Ann. agron.*, 6.
- HÉNIN S., TURC L., 1949. Nouvelles observations sur la variation saisonnière de la stabilité structurale du sol. *C. R. Acad. Agric.*, 35.
- HÉNIN S., 1944. Influence des corps microbiens sur la formation d'une structure stable.
- HÉNIN S., MONNIER G. et al., 1958. Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. *Ann. agron.*, 9, 73-92.
- MORTENSEN J., YOUNG J., 1960. Effect of summer seeded green manures on soil structure and availability of nitrogen. *Ohio Agric. exper. Sta. Res. Bull.*, n° 865.
- MONNIER G., TURC L. et al., 1962. Une méthode de fractionnement densimétrique par centrifugation des matières organiques du sol. *Ann. agron.*, 13, 55-63.
- MONNIER G., 1965. Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. Thèse.
- PROEBSTING E., 1952. Some effect of long continued cover cropping in a California orchard. *Proc. Amer. Soc. hortic. Sci.*, 60.