



HAL
open science

Itinéraire du travail du sol comme révélateur du comportement du sol dans un dispositif expérimental de longue durée avec rotations

Willie Hutter, Denis Boisgontier, Christian Lacaze, Michel Chabbert, Serge Grillères

► **To cite this version:**

Willie Hutter, Denis Boisgontier, Christian Lacaze, Michel Chabbert, Serge Grillères. Itinéraire du travail du sol comme révélateur du comportement du sol dans un dispositif expérimental de longue durée avec rotations. *Agronomie*, 1981, 1 (1), pp.49-57. <hal-00884222>

HAL Id: hal-00884222

<https://hal.science/hal-00884222v1>

Submitted on 11 May 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.



HAL Authorization

Itinéraire du travail du sol comme révélateur du comportement du sol dans un dispositif expérimental de longue durée avec rotations

Willie HUTTER*, Denis BOISGONTIER**, Christian LACAZE**, Michel CHABBERT** et Serge GRILLÈRES***

* Station d'Agronomie, Centre de Recherches Agronomiques de Toulouse, I.N.R.A., B.P. 12, 31320 Castanet-Tolosan

** E.N.I.T.A. de Bordeaux, 33170 Gradignan

*** Lycée agricole d'Auzeville, 31320 Castanet-Tolosan

RÉSUMÉ

Dans le dispositif expérimental de longue durée avec rotations de l'I.N.R.A. de Toulouse, une différenciation des « Itinéraires Techniques » du travail du sol se manifeste sous l'influence des rotations. Cette différenciation « révèle » une évolution du comportement des sols. On se propose d'expliciter ces observations et, si possible, de les expliquer.

La première partie analyse, dans ce but, les enregistrements des travaux et les notations de qualité du travail du sol. Elle prend également en compte l'énergie consommée par les façons culturales. Cette analyse utilise la méthode du test 2 i.

La deuxième partie examine les résultats obtenus par un contrôle expérimental effectué dans quelques parcelles typiques. Ce contrôle consiste dans une mesure quantitative de l'état structural de la terre travaillée. Le traitement de ces données utilise l'analyse factorielle des correspondances. L'interprétation des résultats fait appel au concept d'itinéraire technique.

Une bonne concordance est constatée entre, respectivement, les faits observés sur le terrain concourant au jugement global des techniciens, l'analyse des notations de travail du sol et les mesures quantitatives d'état structural.

Les aspects agronomiques, techniques et méthodologiques de ces résultats sont discutés.

Itinéraire du travail du sol, Rotations, Essai de longue durée, Comportement du sol.

ABSTRACT

Route of soil treatment as an indicator of soil behaviour in a long term experimental device with crop rotations

Route of soil working, Rotations, Long-term experiments, Soil comportment.

In the long term experimental device with crop rotation used in the National Agricultural Research Centre of Toulouse a differentiation of the « Technical Routes » of soil treatment appears under the influence of crop rotations. This differentiation reveals an evolution of the soil behaviour. We aimed at clearing these observations and if possible at explaining them.

For this purpose the first part includes an analysis of the recording of the treatments and the notations of the quality of soil treatment. It takes also into account the energy used by the farming methods. This analysis relies on the method of the 2 i test.

The second part deals with the results obtained by an experimental test carried out on some typical plots. This checking consists in a quantitative measurement of the structural state of the treated soil. The processing of these data occurs through factorial analysis of correspondences. The interpretation of the results uses the concept of technical route.

A good agreement is observed between the facts observed on the spot contributing to the global estimation of the technicians and respectively the analysis of the notations of soil treatment and the quantitative measurement of the structural state.

The agronomical, technical and methodological aspects of these results are discussed.

INTRODUCTION

Le dispositif expérimental de la Station d'Agronomie de l'I.N.R.A. de Toulouse met en comparaison diverses rotations culturales, irriguées ou non, sur quatre variantes d'un sol d'alluvions modernes présentant des comportements nettement différents (ES-SIFAOUÏ, 1969, 1971). Dans le but de bien caractériser les modalités du travail du sol COCHARD et MARTY (1971) ont élaboré un système de notations comportant l'enregistrement des travaux réalisés ainsi

qu'une description sommaire des états du sol obtenus aux stades successifs de la préparation du sol pour les semences (annexe 2).

Au fil des années, une différenciation des modalités de la préparation du sol se manifeste de plus en plus nettement entre les parcelles du dispositif, différenciation qui affecte à la fois les travaux culturaux et les états de la terre travaillée. Il était évidemment intéressant de tenter de préciser ces observations afin d'explicitier le processus de cette évolution. Une difficulté particulière est apparue tenant au fait

que les dimensions des parcelles ne permettent pas la répétition systématique de profils culturaux ni celle de prélèvements d'échantillons. Aussi, bien qu'elles n'aient pas été conçues dans ce but, nous avons tenté d'utiliser les notations de travail du sol. L'analyse effectuée sur une partie des données recueillies a effectivement permis de caractériser de façon plus objective les différences de comportement observées entre les parcelles du dispositif. Un contrôle expérimental des résultats de cette analyse a alors été réalisé. Ce contrôle a consisté dans une mesure quantitative de l'état structural de la terre travaillée de quelques parcelles typiques.

Cette première approche de l'étude du comportement des sols du dispositif expérimental a fourni le sujet de quatre stages d'enseignement⁽¹⁾, au cours desquels les aspects méthodologiques, agronomiques et techniques devaient être envisagés simultanément. Les principaux faits qui ont pu être ainsi dégagés sont présentés ici.

La préparation du sol consiste en une série de façons culturales destinées à amener le sol à un état considéré comme favorable à l'implantation et au développement de la culture. Le laboureur décide alors ses interventions en fonction de l'état initial du sol d'une part et des réactions escomptées du sol à l'action des pièces travaillantes d'autre part ; il ajuste ses interventions à l'état du sol réalisé par les interventions précédentes (HENIN *et al.*, 1969). La préparation du sol est donc caractérisée par une succession ordonnée d'états du sol et de façons culturales entre un état initial donné et un état final recherché (DALLEINE, RÉCAMIER et SEBILLOTTE, 1971 ; MANICHON et SEBILLOTTE, 1975 ; SEBILLOTTE, 1975). Les réactions du sol aux façons culturales, définissant le comportement du sol, peuvent alors être explicitées par les variations d'état du sol. Cet aspect dynamique de la préparation du sol conduit au concept d'itinéraire (SEBILLOTTE, 1978).

En pratique, le choix du laboureur est limité par la panoplie d'outils dont il dispose. De ce fait, l'état du sol réalisé peut s'écarter plus ou moins de l'état final recherché selon que les outils disponibles permettent ou non de s'adapter aux conditions rencontrées. Ainsi, l'effet d'un facteur donné peut être révélé aussi bien par l'état du sol réalisé que par les façons culturales effectuées. Toutefois, ce fait introduit un biais plus ou moins important et, par conséquent, une certaine indétermination dans les résultats expérimentaux, les façons culturales effectuées n'étant pas nécessairement les mieux adaptées au comportement de la terre. Pour tenter de mettre en évidence d'éventuels effets des facteurs contrôlés, il apparaît donc nécessaire de prendre en compte l'ensemble de l'itinéraire de la préparation du sol. Nous sommes alors amenés à comparer les parcelles du dispositif expérimental du triple point de vue :

1. — des façons culturales effectuées,
2. — des états du sol réalisés aux stades successifs de la préparation,
3. — des variations d'état du sol, dans la mesure où elles peuvent être explicitées.

Les différences observées entre les parcelles du dispositif expérimental dans la préparation du sol permettent donc d'émettre l'hypothèse d'un effet des facteurs contrôlés, précédent cultural et irrigation notamment. Il faut alors se demander si ces effets traduisent seulement les variations des conditions de préparation du sol (humidité liée à la date de récolte des précédents par exemple) ou s'ils révèlent une modification du comportement du sol impliquant l'évolution

de certaines propriétés des sols des diverses parcelles du dispositif expérimental. Si cette dernière hypothèse est vérifiée, il doit être possible de faire apparaître au-delà des fluctuations conjoncturelles certaines tendances plus générales des résultats expérimentaux en relation avec les traitements mis en jeu par le dispositif.

I. ANALYSE DES NOTATIONS DE TRAVAIL DU SOL

1.1. Protocole expérimental. Obtention des données

1.11. *Le dispositif expérimental* de l'I.N.R.A. de Toulouse-Auzeville (annexe 1) compare une rotation-étalon de 12 ans et 10 rotations de durée variable avec, pour chacune d'elles, une variante irriguée et une variante non irriguée. Ces rotations sont répétées sur 4 types de terrains issus d'un sol d'alluvions récentes.

Les travaux culturaux sont effectués avec un matériel agricole courant. Ces travaux sont décidés au mieux en fonction de l'état du sol ou des cultures. A l'origine, chaque groupe de huit parcelles (1 rotation, 2 irrigations, 4 terrains) portant une même culture devait être travaillé uniformément. Avec le temps, il est apparu nécessaire, dans quelques cas, d'adapter les techniques de travail du sol au comportement des terrains.

1.1.2. *Le système de notations* du travail du sol comporte :

1) *l'enregistrement journalier* des travaux, indiquant pour chaque parcelle la date des travaux réalisés et la nature des outils utilisés.

2) *les notations de qualité* du travail du sol (annexe 2) effectuées au labour, immédiatement après le passage de la charrue, à la reprise, avant la première des façons superficielles destinées à l'ameublissement du sol et à la préparation du lit de semences, au semis enfin, c'est-à-dire après la dernière façon de travail du sol. A chacun de ces trois stades, l'état de la terre de chaque parcelle est décrit par différents critères (par exemple, émiettement, indiquant les proportions relatives de mottes et de terre fine), auxquels l'observateur attribue une note selon un code préétabli (par exemple de 1, très motteux à 4, non motteux ou terre fine).

Les observations à la reprise ne sont faites, en général, que sur les parcelles devant être ensencées en culture de printemps ou d'été.

Le labour est effectué en automne le plus souvent, quelquefois en été.

1.1.3. Pour cette analyse, nous avons extrait de l'ensemble des données recueillies trois séries correspondant aux précédents culturaux blé, maïs et sorgho. Une analyse exhaustive des résultats expérimentaux devant être effectuée par ailleurs (CHARPENTEAU, HUTTER et RELIER, 1981), nous nous proposons ici de dégager les principaux faits pouvant permettre d'explicitier l'effet des facteurs contrôlés sur le comportement de la terre travaillée.

1.2. Traitements des données

1.2.1. Objectif

Il s'agit donc de mettre en évidence et de décrire l'action des *facteurs* représentés par les éléments du dispositif expérimental (rotation, précédent, irrigation, type de terrain), sur les *variables* constituées par les notations (annexe 2).

(1) E.N.I.T.A. Bordeaux et Lycée agricole Auzeville.

1.2.2. Technique

L'action des facteurs se manifeste, dans le cas présent, par des variations des distributions de fréquences des variables (nombre de parcelles où une variable ou une combinaison de variables a été observée).

Le test 2 i (ARBONNIER, 1969) a été choisi pour mettre ces variations en évidence. D'une part le test 2 i est peu sensible aux très faibles fréquences ; d'autre part le test 2 i s'applique facilement à des sous-ensembles du tableau de fréquences initial. Il permet ainsi de repérer d'éventuelles interactions.

1.3. Résultats

Le tableau 1 présente les données utilisées. Il indique le nombre de parcelles (fréquence) où chaque couple variable-facteur a été observé. Les résultats expérimentaux présentent une forte variabilité, que l'on peut imputer soit à des fluctuations interannuelles liées aux conditions d'humidité du sol, soit à des proportions inégales de cultures d'hiver et d'été sur les trois précédents, soit encore à diverses contraintes résultant des protocoles expérimentaux ainsi que du parc de matériel disponible. Cette variabilité introduit évidemment une assez forte indétermination dans les comparaisons. Certaines tendances plus générales apparaissent quand même assez nettement, si l'on considère les observations ayant les fréquences les plus élevées. Ces tendances sont résumées dans le tableau 2.

1.3 1. *Au labour*, aucun effet significatif des facteurs ne peut être mis en évidence.

A la reprise, par contre, des différences significatives sont observées, concernant principalement le variable

émiettement (dimensions des mottes et proportions relatives des mottes de différents diamètres). L'état de la terre travaillée apparaît ainsi de plus en plus grossier dans l'ordre des *Précédents Culturels* blé, maïs, sorgho. Cet effet du *Précédent Culturel* semble prépondérant. Les effets de *Irrigation* et du *Type de Terrain* se manifestent plutôt dans les interactions de ces deux facteurs avec le précédent. Toutefois, en moyenne, la terre travaillée apparaît plus grossière sur le terrain argileux que sur le terrain limoneux, en parcelles irriguées qu'en parcelles non irriguées (MONNIER et STENGEL, 1976).

Au semis enfin, des états similaires peuvent être constatés, encore que les différences soient bien atténuées. L'effet de *Irrigation* reste pourtant encore significatif sur le terrain le plus argileux.

La nature même des observations ne permet pas de comparer les états du sol réalisés aux stades successifs de la préparation. Il n'est donc pas possible d'explicitier, et encore moins de quantifier, les variations d'état de la terre travaillée.

1.3 2. Le nombre et la nature (caractérisée par les outils utilisés) des façons culturales varient eux aussi, avec les facteurs mis en jeu par le dispositif. Pour tenter de préciser cette observation, nous avons calculé les consommations d'énergie (*) correspondant à ces façons culturales. Ainsi, l'énergie consommée pour la préparation du lit de semence tend à augmenter dans l'ordre des précédents culturels,

(*) Énergie consommée (amortissement et entretien du matériel, carburant, main-d'œuvre, etc...) telle que nous l'avons définie par ailleurs (HUTTER, 1976).

TABLEAU 1

Analyse des notations de qualité du travail du sol
 1) *Présentation des données. Années 1972 à 1976*
 Nombre de parcelles où chaque couple variable-facteur a été observé
 Notations of the quality of the soil working
 1) *Data 1972-1976. Number of plots where the variable and the factor have been observed both*

Facteurs	Variables	Reprise		Emiettement		Nombre de façons				Semis		Finesse		
		Terrain Irrigation	très motteux	motteux	peu motteux	non motteux	1	2	3	4 et +	très fin	fin	moyen	grossier
Blé	Limon		2	8	14	4	4	30	3	11	4	28	10	14
	Argile		2	5	17	4	4	32	1	11	10	18	15	13
	Sec		2	6	14	6	4	31	1	12	9	26	11	10
	Irrigué		2	7	17	2	4	31	3	10	5	20	14	17
Maïs	Limon		3	7	9	1	0	22	22	0	3	10	12	11
	Argile		1	10	9	0	0	22	21	1	1	11	16	8
	Sec		0	8	11	1	0	26	18	0	4	15	11	6
	Irrigué		4	9	7	0	0	18	25	1	0	6	17	13
Sorgho	Limon		8	11	4	1	1	14	18	11	0	11	18	15
	Argile		4	15	3	2	0	17	15	10	0	11	17	16
	Sec		2	18	3	1	1	18	17	8	0	18	15	11
	Irrigué		10	8	4	2	0	13	18	13	0	4	20	20

Précédent : significatif (1)

Type de terrain : significatif

Irrigation : significatif

significatif

non significatif

Blé et Sorgho : non significatif

Maïs : significatif

significatif

significatif

significatif

(1) Significatif, non significatif : les distributions de fréquences sont/ne sont pas significativement différentes.

TABLEAU 2

Analyse des notations de travail du sol (Cf. annexe 2). 2) Schéma d'interprétation des résultats
 Notations of the soil working (see annex 2). 2) Scheme of the interpretation of the results

Précédent	Sol	Irrigation	Etat au Labour		Etat à la Reprise Nivellement	Façons culturales			Etat au Semis Finesse	
			Type	Emiettement		Nombre	Outils (2)	Energie (3) 1 000 kcal . ha		Total
Blé	Limoneux	non irr.	Dressé	Grossier à moyen	non motteux	2	Hv-H	150	300	Fin
	Argileux	irr. (1)			peu motteux					
Maïs	Limoneux	non irr.	Couché	Grossier à moyen	peu motteux	2	H-D	130	260	Fin à Moyen
	Argileux	irr.			motteux					
	Argileux	non irr.			motteux	2	H-D	130	260	Fin à Moyen
	Argileux	irr.			très motteux					
Sorgho	Limoneux	non irr.	Couché	Grossier à moyen	motteux	3	H-Hv	145	435	Moyen à Grossier
	Argileux	irr.			motteux à très motteux					
	Argileux	non irr.			motteux	3	H-Hv	145	435	Grossier
	Argileux	irr.			très motteux					

(1) Blé non irrigué inclus dans des rotations comportant une ou plusieurs cultures irriguées.

(2) Outils H = herse, Hv = herse alternative, D = cover-crop.

(3) Energie consommée pour les travaux culturaux (matériel, carburant, main-d'œuvre) telle que nous l'avons définie par ailleurs (1 façon = énergie utilisée en moyenne pour réaliser une façon, compte tenu de la fréquence d'utilisation des divers outils).

blé, maïs, sorgho. Avec le précédent maïs, cette dépense d'énergie est plus grande sur les parcelles irriguées que sur les parcelles non irriguées.

1.4. Discussion et conclusion à la première partie

L'absence d'effets significatifs au labour est assez difficile à expliquer ; elle ne concorde pas avec la réalité du terrain. Les codes seraient-ils trop imprécis ou trop subjectifs ?

Les résultats à la reprise et au semis forment au contraire un ensemble cohérent qui rend mieux compte des faits observés sur le terrain ; faits qui concourent au jugement global des techniciens, selon lequel les diverses parcelles du dispositif expérimental se montrent plus ou moins difficiles à préparer. L'analyse des notations permet alors d'explicitier ces observations et ce jugement : les matériaux constituant la couche de terre travaillée sont d'autant moins fins au semis qu'ils étaient plus grossiers à la reprise en dépit de la mise en œuvre de techniques plus énergiques. Les effets des facteurs (précédent, irrigation, type de terrain) se manifestent donc par les modalités techniques du travail du sol autant que par les états de la terre travaillée aux stades successifs de la préparation du sol pour les semences.

Cette analyse des notations permet donc d'objectiver et, dans une certaine mesure, de quantifier le jugement des techniciens responsables du dispositif. Elle établit déjà la validité du système de notations utilisé pour apprécier la qualité du travail du sol. Toutefois, à ce stade de l'étude, toute tentative d'explication ne pourrait être que purement hypothétique. Il apparaît donc nécessaire de contrôler ces premiers résultats par une mesure quantitative, plus objective, de l'état de la terre travaillée.

II. ANALYSE DE LA DISTRIBUTION DES MOTTES EN FONCTION DE LEURS DIAMÈTRES

2.1. Protocole expérimental. Obtention des données

2.1.1. Dans ce but, une étude plus précise des caractères structuraux de quelques parcelles typiques a été effectuée. Ces parcelles (tabl. 3) ont été choisies de façon à tenter de

séparer les effets rotation et précédent cultural d'une part, et d'autre part, à éviter le biais éventuellement introduit par la nature des cultures à implanter.

2.1.2. Dans chacune des parcelles, des échantillons de sol ont été prélevés (sur l'épaisseur de la couche de terre travaillée), au labour et au semis en 1977, à la reprise et au semis en 1978. Ces échantillons sont prélevés de façon à préserver l'état naturel du sol. Après séchage à l'air, les mottes existant dans l'échantillon sont séparées en 7 classes de diamètre par tamisage standardisé. La proportion des mottes de chaque classe est mesurée par le pourcentage pondéral de terre sèche rapporté au poids total de l'échantillon. L'ensemble des 7 résultats définit pour chacune des parcelles la distribution des mottes en fonction de leur diamètre au stade considéré de la préparation du sol ou, en simplifiant, la distribution de diamètre des mottes (BUI-HUU-TRI et MONNIER, 1971).

2.2. Traitement des données

Malgré le nombre relativement faible des classes de diamètre, l'analyse des données ainsi obtenues s'est avérée quelque peu malaisée, particulièrement dans les comparaisons entre parcelles. C'est pourquoi, après quelques tentatives infructueuses d'analyse graphique et malgré le petit nombre de données, l'analyse factorielle des correspondances (BERTIER et BOURROCHE, 1975) a été utilisée.

Dans les séries de données labour 1977, semis 1977 et semis 1978, le plan de représentation des parcelles est caractérisé par l'ensemble de la distribution de diamètre des mottes (telle qu'elle est définie ci-dessus en 2.1), les classes extrêmes (grosses mottes de diamètre supérieur à 50 mm et terre fine de diamètre inférieur à 2 mm) montrent les plus fortes corrélations avec les axes factoriels. Cette tendance est encore plus marquée dans la série reprise 1978, dans laquelle le pourcentage de grosses mottes constitue la composante principale. La proportion de terre fine apporte, dans ce cas, une composante complémentaire, ce qui signifie une corrélation entre ces deux composantes.

En définitive, on peut admettre que, dans les quatre séries de résultats, les parcelles se différencient d'abord par les proportions de grosses mottes et se départagent ensuite par les proportions de terre fine.

TABLEAU 3

*Analyse des distributions de diamètres de mottes
Caractéristiques des parcelles étudiées
Distribution of the crumbs diameter. Characteristics of the plots*

Rotations	Précédent immédiat	Culture à implanter	Date du labour	Non irrigué		Irrigué	
				Argile	Limon	Argile	Limon
1977							
E. — Etalon 12 ans avec cultures fourragères	Blé	Maïs	22.09	+	+	+	+
1. — Monoculture	Maïs	Maïs	22.11	+	+	-	-
3. — Maïs-Blé tendre	Blé	Maïs	14.09	+	+	-	+
1978							
E. — Etalon	Blé	Maïs	31.08	+	+	+	+
1. — Monoculture	Maïs	Maïs	29.11	+	+	+	+
2. — Monoculture	Sorgho	Sorgho	29.11	+	+	+	+
5. — Maïs-Blé-Orge + Soja	Soja	Maïs	10.11	0	0	+	+

+ Les mesures ont été effectuées.

- Les mesures n'ont pas pu être effectuées en raison des conditions météorologiques.

0 Cette rotation ne comporte pas de parcelles non irriguées.

Il est donc possible de définir des états du sol plus ou moins grossiers ou plus ou moins fins. Il est, par ailleurs, permis de comparer entre eux les états du sol observés aux stades successifs de la préparation des semis au cours d'une même année.

2.3. Résultats

Les résultats sont présentés dans les figures 1 et 2. Sur la figure 1, la position des parcelles par rapport aux axes et par rapport aux classes de diamètre définit leur distribution de diamètre des mottes : schématiquement, les proportions de mottes de grands diamètres augmentent lorsqu'on se déplace le long de l'axe 1, du bas vers le haut ; les proportions de mottes des plus petits diamètres (terre fine) augmentent lorsqu'on se déplace le long de l'axe 2 de la gauche vers la droite.

L'examen des figures 1 et 2 suggère les quelques remarques suivantes :

2.3.1. Etats de la terre travaillée aux stades successifs de la préparation (fig. 1 et 2)

Dans les deux séries de données caractérisant l'état de la terre au labour 1977 et à la reprise 1978 (BUI-HUU-TRI, 1968), l'étalon (précédent blé après prairie temporaire) montre ainsi les sols les plus fins, alors que les monocultures (1 = maïs ; 2 = sorgho) ont les sols les plus grossiers. Les rotations 3 (précédent blé) et 5 irrigué (précédent soja) sont intermédiaires. Ces différences semblent plus marquées sur les parcelles irriguées que sur les parcelles non irriguées. L'influence de la composition granulométrique de la terre apparaît moins nettement, probablement parce qu'elle est très liée aux interactions avec les deux autres facteurs.

Dans les deux ensembles semis 1977 et semis 1978, les écarts entre parcelles sont notablement réduits. Malgré quelques différences sensibles, il n'apparaît plus d'effets nets des facteurs contrôlés (rotation, précédent, irrigation, type de terrain) sur l'état de la terre observé au semis.

2.3.2. Itinéraire de la préparation du sol

Entre le labour (1977) ou la reprise (1978) d'une part et le semis (1977-1978) d'autre part, la proportion de mottes (diamètres supérieurs à 20 mm) diminue fortement. Simultanément, la proportion de terre fine (diamètres inférieurs à 2 mm) augmente de façon plus ou moins importante. Le tableau 4 montre alors que la quantité de mottes détruites tend à être d'autant plus importante que la proportion de mottes existant à la reprise était elle-même plus importante. Il en est de même pour la terre fine fabriquée.

Le tableau 4 montre par ailleurs que l'on a utilisé deux combinaisons d'outils différentes, apparemment en fonction de l'état de la terre à la reprise, avec des efficacités variables.

Pour tenter de préciser le sens de ce résultat, nous avons calculé les quantités d'énergie consommée dans chacune des deux combinaisons d'outils, en fonction des temps moyens de travail et des consommations moyennes de carburant. Malgré le caractère très approximatif de cette évaluation, il est quand même intéressant d'observer que la quantité d'énergie consommée est la plus forte sur les parcelles présentant les états initiaux les plus grossiers.

La quantité d'énergie consommée tend aussi à augmenter avec les quantités de mottes détruites et de terre fine

fabriquée. Ces quantités sont porportionnelles entre les précédents blé et maïs, mais pas entre ces précédents et les précédents soja et sorgho.

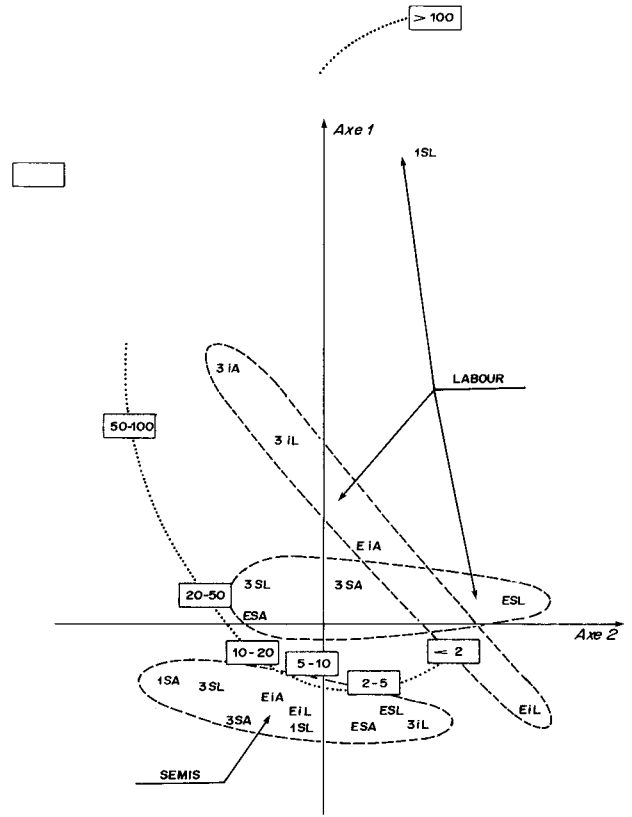


Figure 1
Distribution du diamètre des mottes (résultats 1977). Analyse factorielle des correspondances, Diagramme de dispersion (dispositif expérimental I.N.R.A. de Toulouse).
□ : classe de diamètre en mm.
S = non irrigué ; i = irrigué ; A = sol argileux ; L = sol limoneux.
Rotations : E = Étalon ; 1 = Monoculture de maïs ; 3 = Maïs-Blé.
Distribution of crumbs diameter (for 1977). Factoriel analysis, dispersion diagramm. (Experimental field of I.N.R.A. Toulouse).
□ : diameter class in mm.
S = non irrigated plot ; i = irrigated plot ; A = clay soil ; L = loamy soil.
Rotations : E = Standart ; 1 = Maïze monoculture ; 3 = Maïze-wheat.

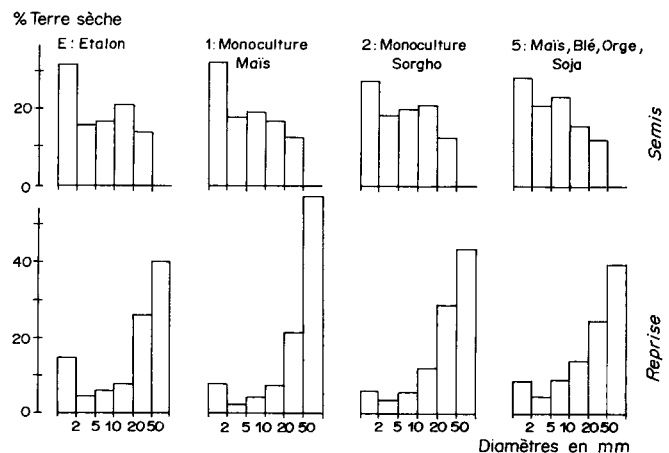


Figure 2
Distribution du diamètre des mottes (résultats 1978).
Distribution of crumbs diameter (for 1978).

TABLEAU 4

Itinéraire de la préparation du sol. Résultats 1978
Itinerary of the soil preparation. Results for 1978

	Rotations	Blé de prairie	Maïs	Sorgho	Soja	Irrigation		Sol	
						irrigué	non irrigué	argileux	limoneux
Etat initial	Mottes p. 100	66,4	78,2	72,6	64,3	71,2	70,6	68,2	73,7
Reprise	Terre fine p. 100	14,8	7,8	6,2	8,8	9,7	9,6	9,3	9,9
Etat final	Mottes p. 100	13,9	12,6	12,6	12,3	12,0	22,3	17,5	16,8
Semis	Terre fine p. 100	31,9	32,5	27,4	28,4	30,8	26,1	27,3	29,5
Itinéraire	Mottes détruites	52,5	65,6	60,0	52,0	59,2	48,3	50,6	56,9
	Terre fine fabriquée	17,1	24,7	21,2	19,6	21,2	16,4	18,0	19,6
	Façons culturales (1)	F-Hv	Hv-Hv	Hv-Hv	F-Hv	—	—	—	—
	Energie (2)	4,5	5,8	5,8	4,5	5,1	5,8	5,5	5,5
	Efficacité (3)	15,4	15,5	14,0	15,9	15,7	11,1	12,4	13,9

(1) F = Forescar Hv = Herse alternative.

(2) Energie consommée par les façons culturales, 10⁵ Kcal par ha.

(3) Mottes détruites + Terre fine fabriquée.
 Energie consommée

2.4. Discussion et Conclusion à la deuxième partie

L'analyse des distributions de diamètre des mottes (cf. paragraphe 21) révèle donc, entre les parcelles du dispositif, une nette différenciation des états de la terre travaillée observés au labour et à la reprise (cf. paragraphe 112). Cette différenciation met en évidence les effets des facteurs contrôlés (rotation, précédent, irrigation, type de terrain). Par la suite, l'action des façons culturales tend à réduire les différences entre parcelles, à homogénéiser l'état de la terre observé au semis. Ce résultat n'est pas surprenant. Il est la conséquence de la décision du laboureur qui veut obtenir un lit de semences présentant certaines caractéristiques, relativement bien définies, qualitativement au moins. Partant d'états différents la préparation du sol doit donc suivre des itinéraires différant d'une part par la variation d'état de la terre et, d'autre part, par les moyens mis en œuvre et leur efficacité (celle-ci pouvant être caractérisée par le rapport des quantités de mottes détruites et de terre fine fabriquée à la quantité d'énergie consommée pour atteindre l'état final recherché).

Il est assez évident que, en raison des matériels et du temps disponible, le laboureur n'a pas pu utiliser chaque fois la combinaison d'outils la mieux adaptée au cas rencontré, mais qu'il a dû se résoudre à certains compromis. Par ailleurs, le mode d'évaluation de l'énergie consommée ne constitue qu'une première tentative assez grossière, à laquelle aucune signification physique précise ne peut être attachée. Il n'en reste pas moins que les résultats montrent clairement que l'itinéraire technique de la préparation du sol est, dans le cas présent, un reflet simultané de l'état initial de la terre et de la résistance qu'opposent ses constituants à l'action des facteurs mécaniques.

III. CONCLUSIONS

Ainsi l'analyse des distributions de diamètre des mottes confirme et précise les résultats de l'analyse des notations. Elle permet donc d'explicitier plus complètement les faits observés sur le terrain en même temps qu'elle en fournit une

explication. Cette bonne concordance entre les notations et les mesures quantitatives conforte la validité du système de notations utilisé.

Les résultats expérimentaux montrent donc, entre les parcelles du dispositif expérimental, une différenciation de l'état physique de la terre travaillée sous l'influence des facteurs contrôlés, en premier lieu celle des rotations et de l'irrigation. Elle conduit à différencier aussi la conduite des itinéraires techniques de la préparation du sol. Il apparaît en effet nécessaire d'appliquer aux diverses parcelles du dispositif expérimental des façons culturales différentes pour préparer les semences d'une culture.

Les différences observées dans le comportement de la terre au cours de la préparation du sol concernent de façon évidente l'état structural de la terre travaillée. On retiendra notamment la tendance des cultures irriguées à donner les états les plus grossiers et le fait que la teneur en argile paraît jouer, dans la gamme des textures considérées, un rôle nettement défavorable. Une première hypothèse pourrait être celle d'une reprise en masse de la couche labourée au cours de la culture constituant le précédent cultural. Cette prise en masse serait plus marquée sous certaines cultures en fonction des racines et des résidus de récolte et, sans doute aussi, du régime d'humidité du sol. Mais certains résultats expérimentaux (CHARPENTEAU et RELIER, 1978) montrent l'évolution de la stabilité structurale et de la matière organique des sols des parcelles du dispositif expérimental. Ce seraient alors des mécanismes mettant en jeu la stabilité structurale qui seraient en cause.

Les résultats présentés ne sont encore que très partiels et le mécanisme de l'évolution du comportement des sols du dispositif reste sans doute, pour l'essentiel, hypothétique. Cependant, tels qu'ils sont, ces résultats nous paraissent autoriser quelques réflexions sur un plan agronomique d'abord, d'un point de vue méthodologique ensuite.

Les difficultés rencontrées dans la préparation du sol apparaissent comme une conséquence de l'évolution du sol provoquée par la rotation et par l'irrigation. De ce point de vue, les rotations céréalières, poussées à l'extrême dans les monocultures, semblent bien les moins favorables et l'on est en droit de se demander si la seule solution à ces difficultés

ne se trouve pas dans la rupture de ces rotations par l'introduction de cultures fourragères ou de légumineuses à graines, par exemple.

Les faits évoqués suggèrent en effet une modification de certaines des propriétés des sols déterminant l'état structural de la terre travaillée et ses réactions aux actions de diverses natures. Les effets apparents de ces modifications dépendent des conditions instantanées de la préparation du sol induisant des états particuliers de la terre travaillée. Peut-être y aurait-il là une distinction possible entre une action durable de la rotation et un effet immédiat du précédent cultural. Quoiqu'il en soit, le point important reste de déceler les modifications durables du comportement de la terre susceptibles, à terme, d'en affecter la fertilité.

Un dispositif expérimental de longue durée constitue, par définition, une gamme de situation aussi bien contrôlée que possible et offre ainsi une échelle de valeurs relatives particulièrement sûre. En contrepartie, un tel dispositif représente un investissement important et une lourde gestion. Toutes raisons qui doivent inciter à exploiter au maximum un tel outil. La difficulté majeure qui apparaît alors tient au fait qu'un dispositif expérimental est généralement conçu pour un objet déterminé donc limité ; par là même, il se prête mal à la nécessaire diversité des thèmes d'étude. Une solution peut être trouvée dans l'adaptation des techniques d'enquête au dispositif. Le traitement des données pourra alors sortir des modèles classiques d'expérimentation agricole souvent trop contraignants. Cette solution s'est avérée fructueuse dans plusieurs études conduites sur le dispositif I.N.R.A. de Toulouse. Le travail présenté ici en donne un exemple.

Il est clair que c'est l'observation des modalités du travail du sol, la constatation d'une différenciation de ces modalités entre les parcelles du dispositif, qui a servi de révélateur de l'évolution du comportement du sol sous l'action des facteurs contrôlés. Le nombre et la nature des façons culturales, de même que l'état apparent de la terre que ces façons contribuent à créer, sont en effet des éléments immédiatement perceptibles. Dans le cadre du dispositif expérimental une modification de l'un ou de l'autre de ces

éléments implique quasi nécessairement une variation d'état ou de comportement du sol. Le concept d'itinéraire (SEBILLOTTE, 1978) permet alors d'explicitier ce comportement. Il rend compte en effet, non seulement des états successifs de la terre, mais aussi des actions et réactions qui déterminent le passage de l'état initial à l'état final de la préparation du sol.

Ces considérations incitaient par ailleurs, à utiliser les notations de travail du sol pour tenter de donner une explication aux faits observés. Les résultats présentés montrent le parti que l'on a pu en tirer. L'intérêt et les avantages d'un système de notations, tel que celui utilisé, sont évidents.

Les principales critiques que l'on peut formuler sont de deux ordres. Le système de notation utilisé, avait été établi à priori pour apprécier la « qualité » des travaux effectués. Les critères retenus ne sont donc pas forcément les plus pertinents pour juger de l'évolution du comportement du sol. Dans un ordre d'idée plus général, les notations reviennent à ranger les observations dans un nombre de classes nécessairement petit. Il en résulte évidemment une imprécision et une perte d'information inévitables.

Sans mettre en cause la validité ni la signification des résultats, ces critiques rendent indispensables un contrôle expérimental direct des hypothèses fournies par l'analyse des notations. Ce contrôle n'affectera généralement qu'un échantillon réduit de parcelles « typiques ». Il pourra donc être effectué avec une notable économie de temps et de moyens sans perturber de façon significative les milieux constitués par chacune des parcelles du dispositif.

De fait, le travail présenté ici n'aurait certainement pas été possible si des observations nombreuses sur le travail du sol n'avaient pas été patiemment collectées. Ce travail montre ainsi, avec quelques autres, que l'enregistrement systématique des observations, aussi contraignant et fastidieux qu'il paraisse, constitue à terme l'un des principaux moyens permettant d'exploiter aussi complètement que possible un dispositif expérimental de longue durée.

Reçu le 15 janvier 1980.
 Accepté le 27 octobre 1980.

ANNEXE 1

Le dispositif expérimental de l'I.N.R.A. de Toulouse.

Protocole appliqué jusqu'en 1977.

Rotation-Etalon 12 ans :

- Prairie temporaire 4 ans (luzerne-féruque).
- Blé tendre.
- Maïs.
- Blé dur.
- Orge d'automne.
- Ray-Grass.
- Sorgho.
- Tournesol.
- Orge de Printemps.

Rotations :

- Monoculture :
 (1) Maïs, (2) Sorgho.

The rotation experiment of I.N.R.A. Toulouse.

Plane applied till 1977.

— Céréalières :

- (3) Maïs-Blé, (4) Sorgho-Blé.
- (5) Maïs-Blé-Orge et Soja.

— Fourragères :

- (6) Ray-Grass-Maïs ou Sorgho fourrager-Blé.
- (8) Luzerne 3 ans - Sorgho fourrager-Blé-Orge

« Souples » avec oléo-protéagineux (7-9-10).

Sol d'alluvions récentes de l'Hers, à partir duquel on a considéré 4 types de terrains, d'argilo-limoneux profond à limono-argileux caillouteux, moins profond. Irrigation : 2 variantes : irriguée, non irriguée.

Au total 176 parcelles occupant 12 hectares.

4 « Facteurs Contrôlés » : rotation, précédent cultural, irrigation, type de terrain.

ANNEXE 2

Système de notations de la qualité du travail du sol.

Notations of the quality of the soil working.

Principaux critères utilisés.

Principal criterion in using.

I. *Au labour**Humidité**Type de Labour**Emiettement*

(selon netteté de la bande de labour et dimensions des mottes)

1. — très sec
2. — sec
3. — légèrement humide
4. — humide (plastique)
5. — très humide (mou)

1. — dressé
2. — couché
3. — renversé

1. — nul ou grossier
2. — moyen
3. — important ou fin

II. *A la reprise**Humidité**Emiettement**Etat des mottes*

(selon dimensions des mottes)

(selon netteté des contours)

1. — très sec
2. — sec
3. — humide
4. — très humide

1. — très motteux, blocs > 30 cm nombreux
2. — motteux, blocs < 30 cm nombreux
3. — peu motteux, quelques blocs
4. — non motteux ou fin

1. — non fissurées
2. — fissurées
3. — très fissurées
4. — désagrégées
5. — très désagrégées

III. *Au semis**Humidité**Finesse**Tassement*

1. — très sec
2. — sec
3. — humide
4. — très humide

1. — très fin (terre fine)
2. — fin
3. — moyen, quelques mottes
4. — grossier
5. — très grossier, mottes très nombreuses

1. — très tassé
2. — tassé
3. — meuble
4. — très meuble (selon enfoncement du pied dans le sol)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Arbonnier P., 1969. L'analyse des tableaux de fréquence et des tables de contingence par le test 2 i. *Séminaire de Biométrie*.

Bertier P., Bourroche J. M., 1975. *Analyse des données multidimensionnelles*. Presses Universitaires de France.

Boisgontier D. (1976), Lacaze C. (1977), Chabbert M. (1978). *Etude de la qualité du travail du sol*. Mémoires de fin d'étude. E.N.I.T.A. de Bordeaux.

Bui-Huu-Tri, 1968. Dynamique de la granulation du sous-sol sous prairies, *Ann. Agron.* 19 (4), 415-439.

Bui-Huu-Tri, Monnier G., 1971. Une méthode d'estimation de la taille des éléments structuraux du sol. *Bull. Assoc. Fr. Ét. Sol.* 2, 17-27.

Charpentreau J. L., Hutter W., Rellier J. P., 1981. Etude du système de notations au labour sur un dispositif avec rotations. *Agronomie*, I, 2 (sous presse).

Charpentreau J. L., Rellier J. P., 1978. Essai d'une méthode d'étude sur l'évolution de quelques caractéristiques de la couche arable sur un dispositif expérimental avec rotations. *Ann. Agron.*, 29 (4), 381-403.

Cochard B., Marty J. R., Viard R., Langlet A., 1971. Influence de différentes conditions culturales sur la structure des lits de semence. Conséquences sur la profondeur des semis. *Bull. Assoc. Fr. Ét. Sol.* 5, 39-48.

Dalleinne E., Récamier A., Sebillotte M., 1971. Travail du sol et culture du maïs. *Bull. techn. inform.*, 264-265, 890-920.

Es-Sifaoul A., 1969. *Contribution à l'étude de la structure et de son évolution*. Mémoire DEA, E.N.S.A. Toulouse.

Es-Sifaoui A., 1971. *Etude expérimentale de l'évolution de la structure des sols au cours de leur dessiccation*. Thèse 3^e cycle Université Paul-Sabatier, Toulouse.

Hélin S. et al., 1969. *Le profil cultural*, 2^e édition, Masson Paris.

Hutter W., 1976. Energie consommée pour la production de quelques cultures. *C. R. Acad. Agric.*, 4, 297-308.

Manichon H., Sebillotte M., 1975. Analyse et prévision des conséquences des passages successifs d'outils sur le profil cultural. *Bull. Techn. Inform.*, 302-303, 569-577.

Monnier G., Stengel P., 1976. Rôle des propriétés d'origine texturale dans le processus d'organisation structurale des sols. *Sci. Sol.* 2, 131-138.

Sebillotte M., 1975. Comment aborder et suivre l'introduction dans un système de culture de nouveaux procédés de travail du sol. Essai méthodologique. *Bull. Techn. Inform.*, 302-303, 555-567.

Sebillotte M., 1978. Itinéraires techniques et évolution de la pensée agronomique. *C. R. Acad. Agric.* 11, 906-914.

Archives et documents de la Station d'Agronomie I.N.R.A. de Toulouse.