

COMPACTION OF A CLAY SOIL : IMPACT ON INFILTRATION AND RELATED PHYSICAL PARAMETERS

J. Ryan, G. Monroe, M. Kacemi, and M. Abdel Monem (1)

ABSTRACT

With increasing machinery use in agriculture, more attention has been focused on the potentially adverse effects that machinery traffic may cause on soil physical properties, especially with clay soils. A relatively large area of Morocco's semi-arid zone has heavy clay soils (Vertisols, Vertic Calcixerolls, etc.) that are potentially susceptible to damage during machinery operations. Accordingly, unreplicated plots at Sidi El Aydi research station were subjected to compaction in February 1989, at 0, 97, 117, and 241 kPa using tractors with varying weights. Subsequently, infiltration measurements were made at 3-4 month intervals during 1989 and twice yearly thereafter until Oct. 1991. At that time, penetrometer readings were made along with bulk density measurements to 40 cm. Compaction appeared to increase bulk density and penetrometer readings, and consistently reduced infiltration. The effects persisted into the third year despite seasonal shrinking-swelling.

(1) Aridoculture Center, Settati, Morocco. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) and MidAmerica International Agricultural Consortium (MIAC). USAID Project N°. 608-136.

INTRODUCTION

The process of agricultural development involves identifying existing constraints to agricultural production and subsequently providing a technical or management solution to these problems. The issue of soil compaction and its effects on crop growth has come into the focus of research attention in the past decade. While all agricultural processes involve some degree of soil compaction, the problem arises where excessive compaction occurs which results in increases in bulk density, a decrease in porosity and aeration, and to a degree, in soil drainage (Batey, 1990). Additional consequences include chemical changes, such as denitrification. In most cases, compaction reduces root growth and consequently crop yields. Other indirect effects involve disease susceptibility. Gray and Pope (1986) showed that the incidence of *Phytophthora* root rot and consequent reduction in seed yield of soybeans (*Glycine max. L.*) was greater with soil compaction. Weather conditions may accentuate the effects of compaction.

While the introduction of modern, and increasingly heavier and more powerful farm machinery has contributed to improved crop yields, it has, nevertheless, been a major factor in promoting soil degradation where adequate care is not taken. Although compacted layers may occur in soils naturally as a result of evolutionary processes, generally they are man-induced and therefore are the target of our concern. Vehicular factors such as axle load, wheel width, and frequency of operation are related to compaction (Hakansson, 1990); the effect is greater when the soil has the optimum moisture content for compaction. Indeed, there are situations where some compaction may benefit crop growth depending on growing season precipitation. In a relatively wet season, compaction reduced grain yield compared with that on a non-trafficked soil, whereas in a drier year the reverse was true (Voorhees et al., 1985).

The effect of compaction is not always consistent. For example, a positive and a negative effect on wheat growth was observed by Feldman and Domier (1970) depending on when the

compacting forces were applied relative to planting time. Such a range of effects were also noted depending on the depth of the compacted soil layer (Agrawal et al., 1975). Indeed, compaction characteristics of soils are modified by the previous cropping history of a particular soil (Voorhees et al., 1985). These authors found that while the cropping history did not affect bulk density of compacted soils, interaggregate porosity was affected; the compression index was directly related to this parameter. The type of tillage system is another factor involved with compaction (Nesmith et al.); a compaction layer was noticed for a wheat-soybean system with discing and no-till but not with moldboard plowing.

Awareness of the deleterious effects of vehicle traffic on soil compaction has led to the concept of controlled or reduced traffic. While controlled traffic or lanes had no adverse effect on crop growth where conventional tillage was used, it did compact the top 15 cm in a no-till system (Gerik et al., 1987). Though these authors concluded that while controlled-traffic can improve soil physical properties, it may not work for all soils, especially those with 2:1 clay minerals and with more than 40% clay. In an irrigated, easily compactible soil, Meek et al. (1988) found that where 100% of the soil surface was compacted, yields were reduced by 17% compared with no traffic. Traffic that a grower would use reduced yields by 10%. While all traffic increased bulk density from 1.6-1.7 Mg m⁽⁻ⁿ⁾ to 1.8-1.9 Mg m⁽⁻ⁿ⁾, initial passes affected the 0.05-0.15 m depth while up to 10 passes were required to affect depths at 0.25-0.50 m.

Experiences with traffic-induced soil compaction have been largely confined to the more developed agricultural countries. However, with inevitable increases in machinery use, similar problems can be anticipated in more traditional agricultural systems. Morocco has elements of both developed and traditional agriculture. The dramatic increase in irrigated areas along with increased machinery use has caused compaction problems; sugarcane (*Saccharum officinarum L.*) yields were

reduced by 40% with sub-surface compaction of a clay soil (Jouve and Oussible, 1979), while in a clay loam soil wheat yields were reduced by 12 to 23% (Oussible, 1985). Subsequently, Oussible and Crookston (1987) showed how effective sub-soiling was in ameliorating the adverse effects of compaction on crop yields.

In Morocco's semi-arid rainfed zone (250-450 mm/yr) nothing has been done to assess possible problems of compaction. While this area is characterized by traditional low input, non-mechanized farming (Shroyer et al., 1990), the increasing use of machinery - though still at a low level - is of concern for compaction. In addition, there are considerable areas of clay soils (Vertisols and Vertic suborders). Mediterranean environments are characterized by a long wet season followed by a dry one. In Vertic-type soils this promotes swelling and shrinking. Even in the wet" season with intermittent rains, soil cracking to various depths tends to occur. Little information is available on compaction of clay soils in such environments and the extent to which effects may persist. Though rainfall is low, heavy rains do occur in late fall when tillage operations occur.

Thus, the objectives of this 3-year study were to evaluate the impact of compaction at different levels on bulk density which is the most frequently used index of compaction. As water movement also reflects soil parameters such as porosity, measurements were made of infiltration and permeability. Measurements were also taken of penetrometer resistance in the compacted and non-compacted plots as properties related to compaction can be readily and reliably measured in the field using a penetrometer (Thompson et al., 1987; Lowery 1987; Fritton, 1990)

MATERIALS AND METHODS

The site for this study was at the Sidi El Aydi Agricultural Experimental Station of the Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). The station, founded in 1972, occupies about 40 ha of relatively uniform prime agricultural land. While

three soil depths are recognized, the texture of the surface soil is generally high in clay in common with much of the soils in the Berrechid area. Plot layout details have been described by Ryan et al. (1990), along with fertility levels for each plot.

Because of space limitations and the necessity to continue the trials, an area of 15 x 15 m was chosen for a 3-year study. Details of the soil, classified as a fine, montmorillonitic, thermic, Vertic Argixeroll, are presented in Tables 1 (physical) and 2 (chemical). All layers were high in clay, with clay texture being fairly uniform throughout the profile. Bulk density increased with depth. Field capacity was in the order of 25-30%, and available soil moisture capacity was about 10%.

Soil chemical properties displayed trends typical of dryland-zone soils. With relatively large amounts of CaCO_3 throughout the profile (2.5-3.6%), pH values were all above 8.1. Similarly, as a consequence of soil carbonates the exchange complex was base-saturated. As with most rainfed areas, electrical conductivity (E.C.) values were low. Both organic carbon and total N decreased with profile depth. Mineralogy of the clay fraction was dominated by montmorillonite and calcite (medium), with small amounts of kaolinite and mica and very small amounts of chlorite.

The plots were marked out on fallowed ground in February 1989. The treatments involved a control plot and three treated plots 1.7 m wide with 2-m buffer zones between each plot. Treatment involved uniform a once-over compaction with tractors with different weights to give 97, 117, and 241 kg pascals. The ground was relatively dry at the surface at the time of compaction and moist beneath.

Over the next 2 1/2 years, the plots were periodically subjected to infiltration-rate tests. Infiltration was normally assessed by taking four measurements in each plot. This was achieved by driving aluminum tubes (10 cm dia. x 30 cm long) to a depth of 3 cm into uniform-surfaced soil. Care was taken to locate the tubes away from cracks during the dry period. Subsequently, the columns were

filled with water and the decrease in head recorded with time. The final measurement (Oct. 1991) was with a regular double-ring infiltrometer with a similar number of observations. A hand-held penetrometer with a cone base area of 1.3 cm² (ASAE Standard S313.1, 1991) was used to measure cone index (CI) soil penetration resistance in the plots. Values of CI to a depth of 30 cm at 5-cm intervals were obtained at 10 locations in each plot. At the end of the period, pits were dug in each plot and bulk density (BD) measured to 40 cm using the excavation sand-funnel method (Blake, 1965).

RESULTS

The impact of compaction was readily shown by the infiltration data. Though varying with the observation date after the initial compaction, the first year's data (Table 3) showed trends with infiltration time and with compaction level. In general, infiltration was significantly reduced by the first compaction level and tended to decrease as the compaction increased. With increasing observation interval, the rate of infiltration decreased irrespective of compaction level. Though infiltration rates observed at two occasions in the following year (Table 4) were higher than in the first year, they exhibited the same trends with compaction level and infiltration time.

The compaction effect was more clearly seen by comparing mean infiltration values over the time involved in each observation period (Table 5). As the observation date in the first year increased, i.e., as the soil dried out from end of the growing season to the beginning of the next season, infiltration rates tended to decrease. During January of the second year, when the soil was moist, values were highest and declined again in June. Not only did compaction reduce infiltration, but the effect persisted well into the second year. This is also shown by the order of infiltration, i.e., for all the water in the tubes to enter the soil.

A final measurement of infiltration with a double-ring infiltrometer in October 1991 indicated differences between plots (Fig. 1) but was not

consistent with the previous measurements. While the two lower compaction levels were similar and markedly different from the control, the highest compaction treatment was similar to, and indeed slightly higher initially, than the control.

Other anomalies were exhibited by the bulk density (B.D.) measurements (Fig. 2). Despite the erratic values it appeared that all compacted treatments had higher B.D. values with depth, i.e., 10 to 25 cm. The highest recorded value at 0-10 cm was from the highest compaction treatment.

While penetrometer readings increased with depth, the pattern was similar for all plots except the medium compaction level, which was consistently higher at depths below 10 cm than the control and the other two compaction levels.

DISCUSSION

Despite its exploratory nature, this observation trial did show that the simulated agricultural machine traffic used had an impact on the soil that can only be attributed to compacting. It was clear from the infiltration data that the machinery treatment consistently reduced water intake and that the effect persisted well into the second year. The final infiltration measurement was anomalous with respect to the highest compaction level. One possible explanation is that this compaction level induced more surface cracking which promoted infiltration. The large diameter of the inside infiltrometer ring may have made it difficult or impossible to avoid cracks, as compared to using the 10-cm diameter tubes for the earlier infiltration-rate measurements.

While theoretically such measurements should have been accompanied by detectable changes in both density and penetrometer measurements, no consistent relationship was evident. Though not amenable to statistical scrutiny, the B.D. data gave an indication of higher sub-soil (10-25 cm) values for the compacted treatments and indicated the highest values at the surface. Perhaps sampling from the top down in 1-2 cm increments

would detect compacted micro-layers which would have influenced infiltration. According to this method of B.D. measurement, it was difficult to conclude that the soil was indeed compacted.

Similarly, the penetrometer data were inconsistent. However, they did show one compaction treatment, i.e., level 2, to have greater impedance. Though some of the 10 location measurements varied widely at any depth, the data does suggest a real treatment effect.

The significance of this study is that it showed that, despite the annual shrinking and swelling of the soil in this study, compacted effects

from machinery do persist for some time. It is premature to assess the possible effect on crops. It is likely that after heavy fall rains, compacted soil would lose nitrogen due to denitrification. Accurate and reliable bulk density and penetrometer readings may be difficult to obtain on shrinking-swelling soils. What is clearly needed to answer is the possible significance of compaction in dryland Moroccan soils in a large-scale replicated trial compacted at varying times relative to cropping. While compaction may prove to be of significance for large-scale machinery farmers, it will remain of academic interest for the bulk of the traditional farmers in the foreseeable future.

REFERENCE

- Agrawal, R.R., R.K. Kihanna, Jagen Nath, and M.L. Betra. 1975. Root penetration studies with 32P in cereals as affected by compact layers at varying depths. *Ann. Arid Zone*. 14(4) : 339-346.
- Angers, D.A., B.D. Kay, and P.H. Groenevelt. 1987. Compaction characteristics of a soil cropped to corn and brome grass. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51 : 779-783.
- Batey, T. 1990. Control of compaction on the farm : a personal view. *Soil Technology*. 3 : 225-229.
- Blake, G.R. 1965. Bulk density. p. 374-390. In C.A. Black (ed). *Methods of soil analysis*, Part I, Amer. Soc. Agron., Madison, WI.
- Feldman, M., and K.W. Domier. 1970. Wheel traffic effects on soil compaction and growth of wheat. *Can. Agric. Eng.* 12(1) : 8-11.
- Fritton, D.D. 1990. A standard for interpreting soil penetrometer measurements. *Soil Sci.* 150 : 542-551.
- Gray, L.E., and R.A. Pope. 1986. Influence of soil compaction on soybean stand, yield, and *Phytophthora* root rot incidence. *Agron. J.* 78 : 189-191.
- Hakansson, I. 1990. Soil compaction - objectives, possibilities and prospects. *Soil Technology*. 3 : 231-239.
- Gerik, T.J., J.E. Morrison Jr., and F.W. Chichester. 1987. Effects of controlled-traffic on soil physical properties and crop rooting. *Agron. J.* 79 : 434-438.
- Jouve, P., and M. Oussible. 1979. Conséquence du tassement du sol sur l'environnement et la production de plantation de canne à sucre dans le Gharb : Hommes, Terres et Eaux. *Bull. de l'Association Nationale pour l'Aménagement Foncier, l'Irrigation et le Drainage*. Rabat, Morocco. 9(32) : 69-83.
- Lowery, B. 1986. A portable constant-rate cone penetrometer. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50 : 412-414.
- Meek, B.D., E.A. Rechel, L.M. Carter, and W.R. De Tar. 1988. Soil compaction and the effect on alfalfa in zone production systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52 : 232-236.
- Nesmith, D.S., D.E. Radcliffe, W.L. Hargrove, R.L. Clark, and E.W. Taller. 1987. Soil compaction in a double-cropped wheat and soybeans on an Ultisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51 : 183-186.
- Oussible, M. 1985. The effect of subsurface compaction on the nitrogen uptake, growth, and yield of wheat. *Doctorat ès Sciences diss., Institut Agronomique et Vétérinaire-Hassan II, Rabat, Morocco.*
- Oussible, M., and R. Kent Crookston. 1987. Effect of subsoiling a compacted clay loam soil on growth, yield, and yield components of wheat. *Agron. J.* 79 : 882-886.
- Ryan, J., M. Abdel Monem, and M. El Gharous. 1990. Soil fertility assessment at agricultural experimental stations in Chaouia, Abda, and Doukkala. *Al Awamia*. 72 : 1-47.
- Shroyer, J.P., J. Ryan, M. Abdel Monem, and M. El Mourid. 1990. Production of fall-planted cereals in Morocco and technology for its improvement. *J. Agron. Educ.* 19 : 32-40.
- Thompson, P.J., I.J. Jansen, and C.L. Hooks. 1987. Penetrometer resistance and bulk density as parameters for predicting root system performance in mine soils. *Soil Sci. Soc. Am.* 51 : 1288-1293.
- Voorhees, W.B., S.D. Evans, and D.D. Warnes. 1985. Effect of pre-plant wheel traffic on soil compaction, water use, and growth of spring wheat. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49 : 215-220.

Depth mm	Horizon	Clay %	Silt %	Sand %	Bulk Density ----- g/cc -----	Field Capacity %	COLE* cm/cm
0-10	AP	50	33	17	1.34	27.5	0.084
10-30	A	48	34	18	1.32	29.1	0.079
30-50	BT1	52	32	16	1.34	26.1	0.083
50-80	BT2	55	31	14	1.35	29.2	0.072
80-110	BTK1	55	32	13	1.44	25.4	0.076
110-140	BTK1	55	32	13	1.43	28.7	0.088

Table 1.
Soil physical
properties.

* Coefficient of Linear Expansion

Table 2.
Soil chemical
properties.

Depth mm	Organic C %	Total N %	Caco3 %	Base Saturation %	E.C. number/cm	pH -
0-10	1.27	0.125	26	100	0.51	8.2
10-30	1.08	0.105	25	100	0.65	8.1
30-50	0.99	0.097	26	100	0.85	8.1
50-80	0.78	-	29	100	0.80	8.3
80-110	0.47	-	36	100	0.66	8.5
110-140	0.34	-	36	100	0.70	8.6

Date	Time Interval (min).	Compaction level			
		0 mm/min.	1 mm/min.	2 mm/mn.	3 mm/mn.
May '89	00-015	4.7	2.7	1.9	1.9
	15-030	2.7	1.0	0.7	0.5
	30-205	1.1	0.8	0.6	0.5
July '89	00-015	3.6	1.7	1.3	1.3
	15-030	2.3	0.7	0.7	0.7
	30-045	2.3	0.7	0.7	0.5
	45-105	2.1	0.6	0.7	0.6
Oct. '89	00-015	3.6	1.9	2.3	1.4
	15-030	1.1	0.7	0.8	0.6
	30-060	1.3	0.5	0.7	0.4

Table 3.
Infiltration rates
in first year
after compaction.

Date	Time Interval (min).	Compaction level			
		0 mm/min.	1 mm/min.	2 mm/mn.	3 mm/mn.
Jan. '90	00-10	10.6	7.4	6.4	6.7
	10-20	6.4	4.8	4.1	4.8
	02-30	6.0	4.6	3.7	3.3
	30-60	-	3.3	2.9	3.3
June '90	00-05	11.8	10.5	6.5	5.6
	05-10	7.6	5.0	3.8	2.4
	10-20	4.8	2.8	2.3	1.5
	20-40	3.5	2.6	2.1	1.4

Table 4.
Infiltration during
second year
after compaction.

Table 5.
Infiltration rates
for each treatment
after given times.

Date	Time Interval (min).	Compaction level			
		0 mm/min.	1 mm/min.	2 mm/mn.	3 mm/mn.
May '89	30	3.7	1.8	1.3	1.2
July '89	105	2.3	0.9	0.8	0.7
Oct. '89	60	1.8	0.9	1.2	0.7
Jan. '90	30	7.1	5.6	4.7	4.7
June '90	40	5.4	3.9	2.9	2.1
		4.1	2.6	2.2	1.9

Date	Compaction level			
	0 mm/min.	1 mm/min.	2 mm/mn.	3 mm/mn.
May '89	1	2	3	4
July '89	1	2	3	4
Oct. '89	1	2	3	4
Jan. '90	1	2	3	4
June '90	1	2	3	4

Table 6.
Order of
infiltration.

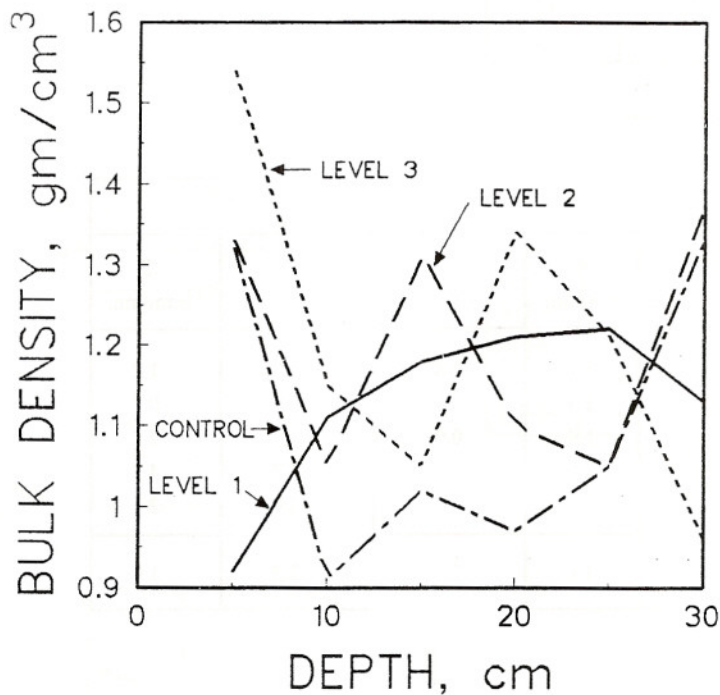


Fig. 2. Bulk density as a function of compaction treatments.

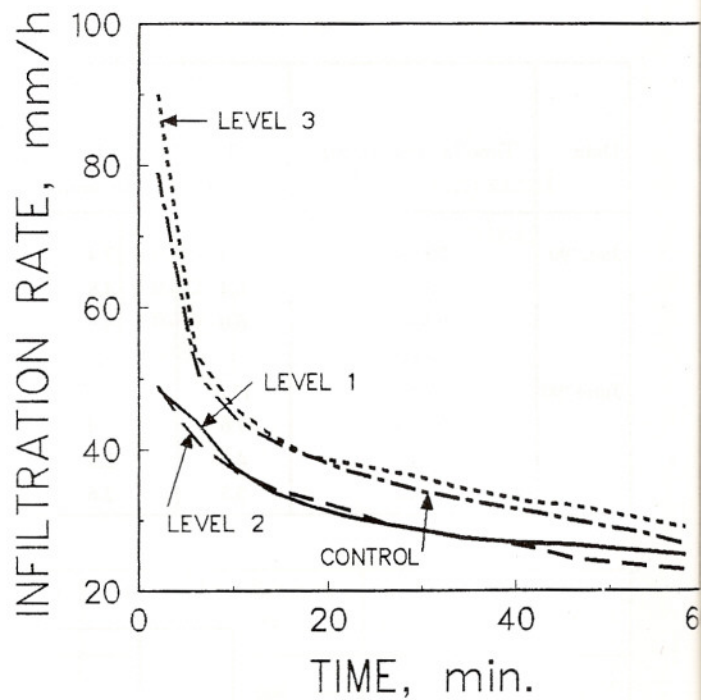


Fig. 1. Double-ring infiltration rates in October 1991.

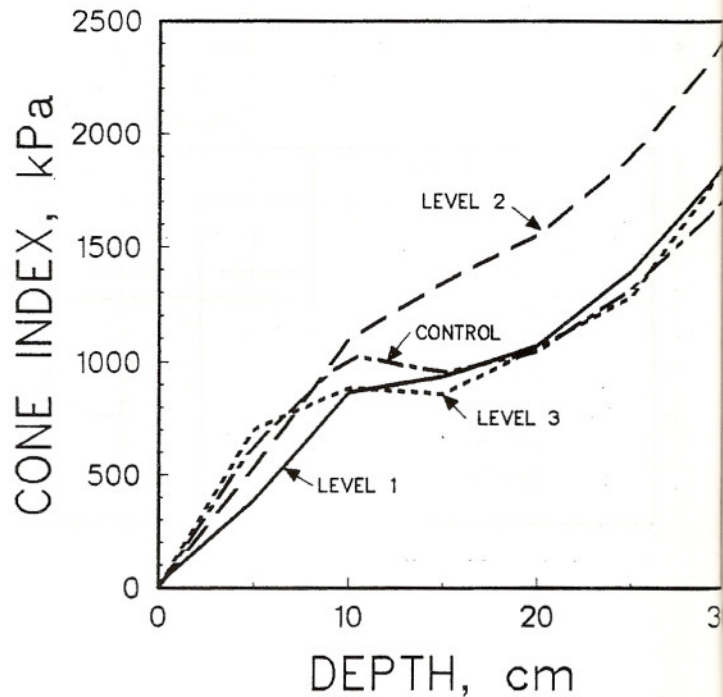


Fig. 3. Penetrometer readings as a function of compaction treatments.

THE EFFECTS OF WEATHER ON SOIL STRENGTH

LES EFFETS DES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES SUR LA RÉSISTANCE DU SOL

A.R. DEXTER ⁽¹⁾ and C.W. WATTS ⁽¹⁾

ABSTRACT

This paper reports the results of four experiments. Three were done in the humid, temperate climate of the UK, and one was done in the semi-arid Mediterranean climatic zone of South Australia. The experiments enabled the strength of soil to be measured on a range of dates which could then be related to either the soil water content or to the recent climatological data for the area. Strength of any given soil typically varied by a factor of two between sampling dates mainly as a result of the effects of the weather.

The results show that soil strength, which influences the energy requirement for tillage, is influenced by a wide range of factors including a measure of the wetness of the conditions at the time of the previous harvest, soil water content, and traffic intensity. A weak link is established between soil tensile strength and the electrolyte concentration of the soil pore water which is itself influenced by the recent history of rainfall and evaporation events.

RESUME

Les résultats de quatre essais sont présentés ici. Trois ont été réalisés dans le climat humide et tempéré du Royaume Uni, et le quatrième dans la zone du climat méditerranéen semi-aride de l'Australie méridionale. Ces essais ont permis de mesurer la résistance du sol à différentes dates et de mettre ces mesures en relation soit avec la teneur en eau du sol, soit avec les données climatiques récentes de la zone. Il est apparu que la résistance de chaque type de sol étudié variait selon les dates d'échantillonnage, en général dans la proportion d'un facteur de 2, en fonction surtout des conditions météorologiques.

Les résultats montrent que de nombreux facteurs, dont notamment la pluviométrie lors de la récolte précédente, la teneur en eau du sol et l'intensité du trafic, influent sur la résistance du sol, qui elle-même conditionne l'énergie requise pour le travail du sol. Une faible corrélation a été mise en évidence entre la résistance du sol à la traction et la concentration en électrolyte de l'eau interstitielle, qui est elle-même influencée par la pluviosité et l'évaporation récentes.

(1) Silsoe Research Institute, Wrest Park, Silsoe, Bedford MK45 4HS, UK

INTRODUCTION

It is often observed that there is a significant variation of soil properties in the field both within years and between years. This variation can be as great or greater than the difference imposed by the experimental treatments which it is desired to study.

Seasonal variation has been reported for wet aggregate stability (Alderfer, 1950; Stefanson, 1968 and Coote et al., 1988) for dry aggregate stability (Bisal and Ferguson, 1968) and for shear strength (Douglas, 1986; Coote et al., 1988) and for soil bulk density (Stone and Wires, 1990). These seasonal fluctuations are often sufficiently large that they can obscure changes due to soil management and can confound the interpretation of experimental results.

An understanding of the causes of these changes would be highly desirable so that their consequences can be quantified and taken into account. Modelling of the seasonal and weather effects on soil properties could be used to reduce to variance in field experimentation. Also, the large magnitude of the effects raises the possibility that they can be managed in some way to optimise the soil structural condition through the action of natural processes (Dexter, 1991).

This paper investigates the variation of soil strength in the field as observed in four separate experiments :

i) Experiment 1 :

Uses published data for the energy for ploughing as measured over a period of 6 years at 3 different sites,

ii) Experiment 2 :

Uses results for the energy for ploughing with three levels of traffic (including zero) over a period of 3 years,

iii) Experiment 3 :

Investigates the strength of soil aggregates collected from 3 sites on a monthly basis, and examines some of the factors likely to contribute to the variations, and

iv) Experiment 4 :

Which investigates year-to-year variations in the strength of soil aggregates.

Experiments 1, 2 and 3 were done in the cool, temperate climate of the UK, whereas experiment 4 was done in the Mediterranean climate of South Australia.

Experimental methods

Experiment 1

This was a complex experiment done at three sites (Silsoe b, Boxworth and Rothamsted) over a period of 6 years from 1971-1976. Details of the experimental soils are given in Table 1.

Table 1 : Details of the experimental soils

Site	National Grid Map reference	Size distribution			Organic matter (%)	Atterberg limits	
		Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)		PL (%)	LL (%)
United kingdom							
Silsoe (a) By-pass field	TL 084349	37	24	34	6.0	27	41
(b) Obelisk field	TL 083352	27	21	52	3.9	ND	ND
(c) Boot field	TL 077345	12	18	70	6.0	45	70
Boxworth	TL 344632	25	25	50	5.5	ND	ND
Rothamsted - Redbourne	TL 107128	20	51	29	1.8	ND	ND
Newport Pagnell	SP 907425	29	27	44	ND	24	40
Australia	Lat Long						
Waite Institute	34°58'5 138°38'E						
Continuous wheat	-	54	34	12	2.3	19	26
Rotation	-	54	32	14	3.6	19	26

ND - Not determined

The experiment involved many factors and a major part of it was an analysis of the cost of different tillage systems in terms of energy, labour and machinery depreciation. For the purposes of this paper, we have taken only the data for the dates of harvest and ploughing, the energy for ploughing and the gravimetric soil water content at ploughing.

The experiment is described fully in Patterson, et al. (1972-77, 1980).

Ploughing was done with a 2-furrow plough to a nominal depth of 20 cm. The width of work was $w = 0.7$ m and ploughing speed was in the range 4.5 to 7.5 km hr⁻¹ which corresponds to $v = 1.25$ to 2.1 ms⁻¹. Plough draught force $F_p(N)$, was measured with strain gauges. The energy for ploughing per hectare was calculated from:

$$E = \frac{F_p}{W} \times 10^{-2}, \text{ MJha}^{-1} \quad (1)$$

To investigate whether soil water conditions at harvest have an effect on the energy requirement for ploughing, a measure of the "wetness" of the soil at harvest was required. Soil water content was not measured at harvest and so some other measure was sought.

This was done using the MORECS rainfall and evaporation data (Met. Office). This provided weekly mean values of rainfall and evaporation (real land use) for the experimental period. The data are only means for 40 x 40 km squares covering the whole of the UK and so are not accurate for individual fields. However, they provide a good indication of the extent to which the weather was wet or dry.

A function S was calculated as follows :

$$S = \frac{\Delta(x)}{2} + \frac{\Delta(x-1)}{4} + \frac{\Delta(x-2)}{8} + \frac{\Delta(x-3)}{16} + \frac{\Delta(x-4)}{32} \quad (2)$$

Where (x) is the difference between rainfall, R (mm) and evaporation, E (mm) in week x . Equation (2) gives more weighting to more recent events but to some extent takes account of events in the previous four weeks.

Values of S_h were calculated taking x as the week immediately before harvest, and of S_p taking x as the week immediately before ploughing at the different sites.

Experiment 2

This experiment was done at the Silsoe (a), By-pass field site. The soil is characterised in Table 1. The site comprises 3 parallel plots, 12 m wide and 200 m long each separated by a permanent wheelway. All tillage, crop management and harvesting operations are carried out with a wide-span vehicle (gantry) with a 12 m width operating in the wheelways.

The gantry system is described fully in Chamen, et al. (1992).

Immediately before ploughing, a range of compaction treatments was imposed. For the normal ground pressure treatment, the whole plot was wheeled with a 60 kN tractor with a wheel track spacing of 0.51 m. Tyre inflation pressures were 112 kPa and the traffic intensity, I , was calculated to be 124 t km ha⁻¹.

For the low ground pressure treatment, the same tractor was used with a track spacing of 0.76 m. Tyre inflation pressures were 80 kPa, and the traffic intensity was calculated to be 88 t km ha⁻¹.

The zero ground pressure treatment received no wheel traffic.

All ploughing was done to a depth of 15 cm. The force components on the plough together with other machinery variables were recorded using a mobile instrumentation system (Watts and Longstaff, 1989). Soil water content, W_p , at the time of compaction and ploughing was measured.

Experiment 3

The object of this experiment was to determine the seasonal variation of the strength of soil aggregates and to investigate the causes of it. The experiment was done at 3 sites Silsoe (a), Silsoe (c), and Newport Pagnell. The characteristics of the soils at these sites are given in Table 1.

At approximately one-monthly intervals, soil aggregates of 2-3 g weight were collected from the top 2 cm. The aggregates were handled with minimum disturbance. Aggregates of 13-19 mm were selected for measurement.

Tensile strength, Y , of the dried aggregates was measured by a simple crushing test as described by Dexter and Kroesbergen (1985) and by Dexter (1988). The aggregates were first air-dried for 24 hours and then oven-dried at 105°C for 24 hours. The apparatus used is shown in Fig 1, which shows a test aggregate (Agg) being loaded between two flat, parallel plates. A load ring (LR) records the force, F , when the aggregate fractures in tension. Tensile strength is calculated from :

$$Y = 0.576 (F/D^2) \quad (3)$$

Where D is the aggregate diameter. Thirty aggregates were measured from each site each month. Standard errors of the tensile strength values were typically about 10% of the mean values.

The amount of dispersible clay in the soil aggregates was measured by turbidimetry as follows. Sixteen soil aggregates from each site were prewetted under vacuum by capillarity to a water tension of 3 hPa for one hour. They were then transferred to 16 plastic bottles (one per bottle) of 150 ml capacity which contained about 100 ml of distilled water. The water level was then increased to a standard 125 ml which left a 25 ml air bubble in each bottle. The bottles were then put on an end-over-end shaker at 30 rev min⁻¹ for 30 min giving a standard 900 inversions.

The bottles were then placed in a constant temperature room at 25°C for 24 hours which left only clay particles in suspension.

A 10 ml samples of suspension was then extracted with a syringe and diluted in a small glass beaker usually to either 10:1 or 5:1 with distilled water in order to bring the suspension on to the scale of the turbidimeter. The turbidity was then measured by light-scattering with a Hach model 18900 ratio turbidimeter. The turbidity reading from the meter was then scaled back to that in the bottle

by multiplying by the dilution ratio and was normalised by dividing by the mass of the aggregate.

The electrical conductivity of the suspension remaining in the plastic bottles was also measured.

Experiment 4

This experiment was done in South Australia unlike experiments 1-3 which were done in the UK. The site is in a Mediterranean climatic zone with a cool wet winter and a hot dry summer. However, during the year there are rather distinct wetting and drying events, the number of which vary from year to year.

Samples of soil aggregates were collected from the top 2 cm from two cropping sequences (continuous wheat and a six year rotation comprising 4 years pasture and 2 years of wheat). The rotations had been in operation for at least 30 years.

Soil aggregates were collected annually in the period 1978-1981 and also in 1988. Sampling dates were 05/11/1978, 17/10/1979, 14/04/1980, 23/11/1981 and 09/12/1988.

Tensile strengths of batches of 20 aggregates (1978-81) and 40 aggregates (1988) were measured as described for experiment 3, above.

Climatic data were obtained from a meteorological station close to the experimental plots. A "wet period" was defined arbitrarily as period in which the daily values of rainfall minus evaporation were zero or positive and when the cumulative value over the period was equal to or greater than 40 mm. The wet period always fell in the winter (June-September) period. Wetting and drying events were defined arbitrarily as those in which the daily rainfall was equal to or greater than 4 mm. If such days were followed by days in which rainfall minus evaporation were greater than zero, then the data were considered to represent a single event. The number of wetting and drying events, N , was calculated backwards from the sampling date to the previous wet period. Further details of the methods are given in Kay and Dexter (1992).

Results

Experiment 1

The results for the 3 sites in the 6 years are shown in Table 2.

Table 2 Data obtained in Experiment 1

Site	Year	Previous harvest		Ploughing			
		Date	Sh (mm)	Date	Energy E (MJha ⁻¹) Wp(%)	Water content	Sp (mm)
Silsoe (b)	1	-	-	18.10.71	328	28.5	7.29
	2	22.08.72	-5.86	20.10.72	227	30.1	-0.96
	3	03.08.73	-5.88	23.10.73	173	34.2	5.70
	4	20.08.74	0.32	06.12.74	201	41.1	16.68
	5	04.08.75	-2.84	13.11.75	240	25.6	-0.59
	6	21.07.76	5.13	06.01.77	386	35.1	19.54
Boxoworth	1	-	-	20.09.71	364	22.4	-3.49
	2	24.08.72	-4.47	06.09.72	312	15.6	-2.57
	3	20.08.73	-7.49	06.09.73	148	19.8	-4.31
	4	23.08.74	-0.61	02.10.74	222	30.7	9.02
	5	15.08.75	-3.43	25.09.75	235	23.6	2.35
	6	28.07.76	-3.10	16.09.76	188	29.9	7.88
Rothamsted	1	-	-	14.09.71	178	21.1	-3.29
	2	25.08.72	-5.86	14.09.72	173	19.8	-4.40
	3	23.08.73	-8.29	06.09.73	128	20.4	-5.51
	4	10.09.74	6.66	14.10.74	116	24.7	33.01
	5	11.08.75	-2.85	08.10.75	103	23.5	6.17
	6	28.07.76	-3.62	29.09.76	125	23.7	21.89

The energy, E, for ploughing is related to the water content at ploughing, Wp, at the 3 sites as follows :

$$\text{Silsoe (b) : } E = 340 - 2.5 W_p \quad (4)$$

(± 238) (± 7.2)

$$\text{Boxworth : } E = 361 - 4.9 W_p \quad (5)$$

(± 155) (± 6.4)

$$\text{Rothamsted : } E = 387 - 11.3 W_p \quad (6)$$

(± 116) (± 5.2)

If account is taken of the wetness of the soil at the time of the previous harvest using the function Sh, and where the week x given by equation (2) is the week immediately before harvest, then the following regression equations are obtained :

$$\text{Silsoe (b) : } E = 499 - 6.65 W_p + 18.0 Sh \quad (7)$$

(± 153) (± 4.44) (± 5.5)

$$\text{Boxworth : } E = 639 - 12.5 W_p + 31.1 Sh \quad (8)$$

(± 68) (± 2.1) (± 5.5)

$$\text{Rothamsted : } E = 464 - 14.6 W_p + 2.6 Sh \quad (9)$$

(± 184) (± 7.9) (± 3.0)

Unfortunately, neither the amount or intensity of traffic at harvest nor the soil water content at harvest were measured. However, it is possible to study the relationship between the water content Wp and value of Sp at ploughing. Here, Sp is calculated using the week immediately before ploughing as the reference week, x. This yields :

$$\text{Silsoe (b) : } W_p = 28.5 + 0.50 Sp \quad (10)$$

(± 2.3) (± 0.20)

$$\text{Boxworth : } W_p = 22.4 + 0.89 Sp \quad (11)$$

(± 1.2) (± 0.22)

$$\text{Rothamsted : } W_p = 21.1 + 0.11 Sp \quad (12)$$

(± 0.6) (± 0.04)

These last three equations could then be used together with values of Sh (at harvest) to estimate the values of soil water content, Wh, at harvest, if required.

Experiment 2

The results from experiment 2 are shown in Table 3.

Table 3 Energy for ploughing in Experiment 2

Date of ploughing	Normal ground pressure		Low ground pressure		Zero ground pressure	
	E (MJha ⁻¹)	Wp (%)	E (MJha ⁻¹)	Wp (%)	E (MJha ⁻¹)	Wp (%)
16.10.1989	177	17.3	168	17.4	111	17.0
04.09.1990	123	25.5	113	24.8	68	24.7
09.10.1991	148	28.3	115	28.1	95	27.8

These results are well-fitted by the regression equation :

$$E = 177 + 0.48 I - 3.7 W_p \quad (13)$$

(± 31) (± 0.11) (± 1.3)

where I is the traffic intensity in t km ha⁻¹.

Experiment 3 :

The results from experiment 3 are shown in Table 4.

The relationships between tensile strength Y (kPa) and dispersible clay content, T (NTUg⁻¹), as measured by turbidity can be expressed as follows :

$$\text{Silsoe (a) : } Y = 98 + 0.28T \quad (14)$$

(± 36) (± 0.19)

$$\text{Silsoe (c) : } Y = 121 + 1.01T \quad (15)$$

(± 138) (± 0.75)

$$\text{Newport Pagnell : } Y = 268 + 0.04T \quad (16)$$

(± 110) (± 0.35)

The values for dispersible clay content as measured by turbidity, T, can themselves be related to the electrical conductivity, EC (S_{cm}⁻¹) and the aggregate gravimetric water content, W_c (%), at the time of sample collection :

$$\text{Silsoe (a) : } T = 286 - 6.5 EC \quad (17)$$

(± 44) (± 2.5)

$$\text{Silsoe (c) : } T = 247 - 2.0 EC \quad (18)$$

(± 55) (± 1.7)

$$\text{Newport Pagnell : } T = 361 - 2.0 EC \quad (19)$$

(± 36) (± 1.3)

Alternatively, the turbidity can be related to the water content of the soil aggregates at the time they were collected :

$$\text{Silsoe (a) : } T = 10 + 6.6 W_e \quad (20)$$

(± 58) (± 2.2)

$$\text{Silsoe (c) : } T = 111 + 1.6 W_e \quad (21)$$

(± 48) (± 1.1)

$$\text{Newport Pagnell : } T = 276 + 1.8 W_e \quad (22)$$

(± 63) (± 3.0)

However, the EC and W_e values in equations (17)-(22) above are not independent as shown in the following regressions :

$$\text{Silsoe (a) : } EC = 29.8 - 0.51 W_e \quad (23)$$

(± 7.0) (± 0.27)

$$\text{Silsoe (c) : } EC = 52.3 - 0.44 W_e \quad (24)$$

(± 8.1) (± 0.19)

$$\text{Newport Pagnell : } EC = 56.1 - 1.54 W_e \quad (25)$$

(± 10.6) (± 0.50)

These negative correlations between EC and W_c make attempts to obtain multivariate correlations between T and both EC and W_e rather unsuccessful.

Experiment 4

Results are plotted in Fig 2. It can be seen that the results for the two different crop rotations fall on different lines.

**Table 4 Variation of soil physical properties
through a season in Experiment 3**

Date of sampling	Tensile strength Y (kPa)	Turbidity T(NTU/g)	Electrical conductivity EC (Scm-l)	Water content Ws (%)
A. By-pass field (Silsoe a)				
22.04.1991	163	144	16	25.4
14.05.1991	174	246	13	22.1
11.06.1991	151	225	14	31.2
08.07.1991	131	193	16	25.8
05.08.1991	172	252	12	28.2
10.09.1991	103	59	33	09.9
09.10.1991	117	118	15	19.8
06.11.1991	234	150	15	26.4
09.12.1991	92	129	15	25.1
13.01.1992	151	227	13	29.9
10.02.1992	141	191	24	34.1
B. Boot field (Silsoe c)				
17.04.1991	265	233	32	44.0
14.05.1991	340	199	41	43.7
11.06.1991	406	140	35	46.9
08.07.1991	216	155	27	41.2
05.08.1991	480	247	29	46.0
10.09.1991	214	143	46	18.8
02.10.1991	307	194	29	48.0
06.11.1991	395	158	43	47.7
09.12.1991	225	143	37	28.1
13.01.1992	284	200	26	53.0
10.02.1992	202	163	26	49.5
C. Newport Pagnell				
17.04.1991	407	274	14	17.9
14.05.1991	329	407	21	22.3
11.06.1991	299	305	14	27.5
08.07.1991	248	395	17	22.7
05.08.1991	289	401	15	15.9
10.09.1991	281	265	53	11.2
16.09.1991	237	277	47	11.9
06.11.1991	268	276	28	22.4
09.12.1991	318	262	30	14.1
13.01.1992	243	299	14	29.4
10.02.1992	173	283	23	25.9

The results can be expressed as :

$$\begin{array}{l} \text{Continuous : } Y = 86.3 - 2.96 N \quad (26) \\ \text{wheat} \quad \quad \quad (+ 5.5) \quad \quad (+ 0.41) \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Rotation : } Y = 80.4 - 1.55 N \quad (27) \\ \quad \quad \quad (+ 5.0) \quad \quad (+ 0.37) \end{array}$$

where N is the number of wetting events since the previous long, wet period.

Discussion

Experiment 1

Equations (4)-(6) show a general trend of decreasing energy requirement for ploughing with increasing soil water content at ploughing. However, the standard errors of the coefficients of W_p are large. When the term S_h is included, as in equations (7)-(9), then there is a big improvement in the fit. This shows that there is a large correlation between the wetness of the conditions at harvest, and the energy for ploughing which usually occurred from 2 to 8 weeks later as shown in Table 2.

When conditions are wet at harvest, then considerable compaction with consequent increase in soil strength can result from the use of the heavy harvesting machinery, grain trailers and other vehicles. When conditions are drier, less compaction occurs.

These effects are shown by the large, positive coefficients for S_h in equations (7)-(9), at least for Silsoe (b) and Boxworth. Substitution of some values shows that, except for the Rothamsted site, the conditions at the previous harvest have a greater influence on the energy for ploughing than does the soil water content at ploughing.

The use of equations (10)-(12) enables estimates to be made of the soil water contents at harvest, W_h , for these sites in the various years.

Experiment 2

For this experiment, only 3 years of results were available. Each of these years was drier than the average for the area. Equation (13) provides a good fit for the results. It shows that the energy for

ploughing increases with the intensity of previous traffic and decreases with increasing soil water content at ploughing as was found in experiment 1.

Since the controlled, superimposed wheelings were done immediately before ploughing, there is no need to include a separate term for the soil water content or wetness at the time of wheeling.

In Table 3, it can be seen that all the plots required lowest energy for ploughing in the second year which had the intermediate soil water content. This suggests that soil strength may be dependent on the hydraulic history of the plots (i.e. the sequence of wetting and drying events over the previous few months), and not only on the water content at the time of ploughing. However, examination of the MORECS climatological data shows no obvious connection with the above results. Several additional years of data collection would be necessary before statistically significant conclusions about the seasonal variation of soil strength on this site could be drawn.

Experiment 3

As can be seen in Table 4, the mean tensile strength of oven-dry soil aggregates, collected in different months, varied by more than a factor of 2. This is true for aggregates from all 3 sites.

In order to test the hypothesis that dispersible clay, as measured by turbidimetry, controls the strength of dry soil aggregates by cementing them together, the regressions shown in equations (14)-16) were done. These have non-significant coefficients although the trends for all the soil were in the same direction. These results are in contrast to the highly significant results from Australian soils (Shanmuganathan and Oades, 1982, Chan, 1989). The low significance of the trends obtained here is probably at least partly due to the higher variability of natural as compared with artificial, remoulded soil aggregates.

One factor controlling clay dispersion is the electrolyte concentration of the soil solution in the soil pores. A good estimate of electrolyte concentration is given by the electrical conductivity,

EC. In this case it was measured on soil pore solution which had been diluted to 125 ml in the shaking process. This is a dilution factor of the order of 200:1.

Regressions of the values in Table 4 are given in equations (17)-(19). Although not highly significant, these equations show a consistent trend of increasing EC giving rise to reduced clay dispersion. A consequence of this is that clay dispersion could be reduced by increasing EC through additions of soluble salts such as lime (Ca(OH)_2) or gypsum (CaSO_4).

There is an apparent weak correlation between clay dispersion, as measured by turbidity, and the gravimetric water content, W_e , at which the soils were sampled. This is shown in equations (20)-(22). A possible explanation is that during a prolonged wet period, slow swelling occurs which weakens the bonds between the soil particles and increases the ease of clay dispersion.

On the other hand, it must be noted that the electrical conductivity, EC, and the water content at sampling, W_e , are negatively correlated as shown in equations (23)-(25). This can be explained in terms of the concept that the rainfall which gives rise to increased W_e also causes leaching of dissolved salts with displacement of the original pore water and gives rise to lower EC values associated with the new pore water.

A consequence of this is that soil which has recently been leached by relatively pure water will contain more readily-dispersible clay and will therefore tend to be weaker when wet and stronger when dry.

Experiment 4

This experiment, which was done in the semi-arid, Mediterranean climatic zone of South Australia, shows a year-to-year variation of a factor of about two in the tensile strength of soil aggregates collected from the surface layer of the soil.

The rather remarkable regressions shown in Fig 2 show a clear effect of aggregate tensile strength with increasing numbers of wetting and drying cycles. Obviously, this effect cannot continue for all time otherwise the strength of dried aggregates would be zero. The suggestion is that during long wet periods in the winter, slow swelling produces increased amounts of dispersed clay in the soil pore water. In this way, the wet winter months "reset" the soil to a condition where it is less stable when wet and stronger when dry. Subsequent wetting and drying cycles are thought to reduce the tensile strength of the dry soil by inducing micro-cracking with the aggregates, thereby giving rise to effects such as those shown in Fig 2 (Kay and Dexter, 1992).

However, the results obtained in experiment 3 suggest that the effect could be due, at least in part, to changes in electrolyte concentration in the soil pore water.

It is possible that, during the long wet period in the winter, leaching reduces the electrolyte concentration resulting in increased clay dispersion with consequent reduction in the stability of wet soil and increased strength of the dry soil. With each wetting and drying cycle following winter, there is not much leaching and every time that the soil dries, salts are transported towards the surface layer of the soil where they cause flocculation of clay which produces a more stable soil when wet and a weaker soil when dry.

The difference between the two lines in Fig 2 may be caused by the effect of organic matter in reducing the rate of wetting of soil (Rengasamy and Olsson, 1991) and therefore reducing the formation of micro-cracks.

Alternatively, this evidence may also give support to the explanation in terms of electrolyte. It can be suggested that when soil has more organic matter, then it can tolerate lower values of EC without clay dispersion occurring.

Conclusions

There are a number of conclusions resulting from the four experiments described above. These can be itemised as follows :

1. The energy for ploughing, which is a measure of soil strength, decreases with increasing soil water content.
2. The energy for ploughing increases with increasing wetness at the time of the previous harvest unless a zero-traffic harvesting system is used.
3. The energy for ploughing increases with increasing intensity of traffic prior to ploughing.
4. The tensile strength of dried soil aggregates is only weakly, positively correlated with the content of readily-dispersible clay in the soil.
5. The amount of readily-dispersible clay is weakly, negatively correlated with the electrolyte concentration (as measured by electrical conductivity) of the soil pore water.

6. The electrolyte concentration in the soil pore water is reduced by rainfall.

7. Long, wet periods increase the tensile strength of dried soil aggregates.

8. Wetting and drying events reduce the tensile strength of dry soil aggregates.

This work leads to ideas for much further experimentation. Many aspects require clarification and testing in a wider range of soils and climatic zones. Many questions remain, for examples how much rain is required to reduce the electrolyte concentration sufficiently to cause clay dispersion? What are the relative effects of micro-cracking and solute accumulation in reducing soil strength during wetting and drying cycles? To what extent is it possible to reduce the energy requirement for tillage through combined management of wheel traffic and soil electro-chemistry?, and so on.

It is certain that we still have much to learn about soil, soil/machine interactions, and the effects of the weather on them.

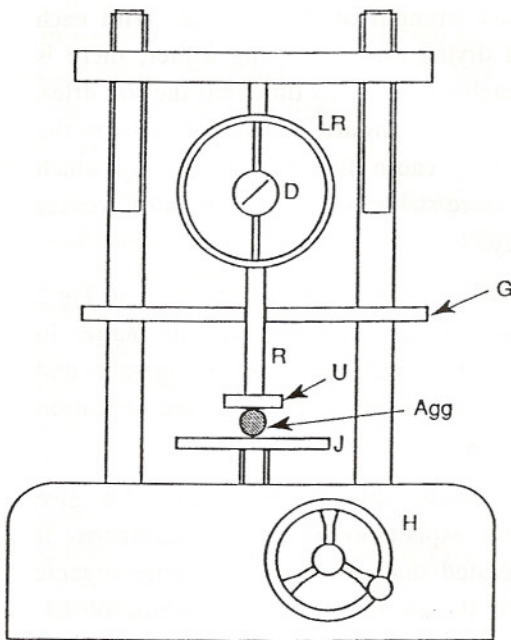


Fig. 1 Measurement of the tensile strength of a soil aggregate, Agg, in a standard soil mechanics loading frame

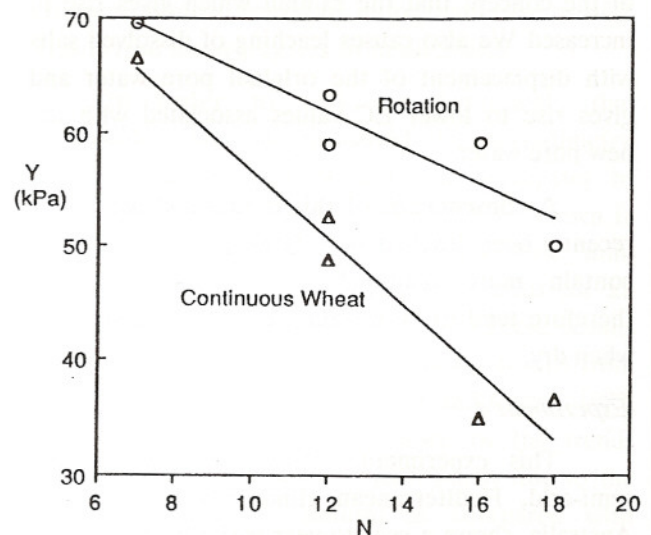


Fig. 2 Variation of mean tensile strength of soil aggregate Y, with the number, N, of wetting and drying cycles since the previous long wet period (after Kay and Dexter, 1992)

REFERENCES

- Alderfer, R.B. 1950. Influence of seasonal and cultural conditions on aggregation of Hagerstown soil. *Soil Science*, 69, 193-203
- Bisal, F. and Fergusson, W. S. 1968. Monthly and yearly changes in aggregate size of surface soils. *Can. J. Soil Science*, 48, 159-164
- Chamen, W.C.T, Watts, C.W., Leede, P.R. and Longstaff, D.J. 1992. Assessment of a wide span vehicle (gantry) and soil and cereal crop responses to its use in a zero traffic regime. *Soil and Tillage Research* (in press)
- Chan, K.Y. 1989. Effect of tillage on aggregate strength and aggregation of vertisols. *Soil and tillage Research*, 13, 163-175
- Coote, D., Malcolm-McGovern, C.A., Wall, G.J., Dickinson, W.T. and Rudra, R. P. 1988. Seasonal variation of erodibility indices based on shear strength and aggregate stability in Ontario soils. *Can. J. Soil Science*, 68, 405-416
- Dexter, A.R. 1988. Strength of soil aggregates and of aggregate beds. *Catena Supplement N° 11*, pp.35-52, Catena Verlag, Braunschweig
- Dexter, A.R. 1991. Amelioration of soil by natural processes. *Soil and Tillage Res.*, 20, 87-100
- Dexter, A.R. and Kroesbergen, B. 1985. Methodology for determination of the tensile strength of soil aggregates. *J. agric. Engng Res.*, 31, 139-147
- Douglas, J.T. 1986. Effects of season and management on the vane shear strength of a clay top soil. *J. Soil Science*, 37, 669-679
- KAY, B.D. and Dexter, A R 1992. The influence of dispersible clay and wetting/drying cycles on the tensile strength of a red-brown earth. *Aust. J. Soil Res.* (in press)
- Met Office Meteorological Office rainfall and evaporation calculation system. The Met. Office, Bracknell, UK
- Patterson, D.E., Chamen, W.C.T. and Richardson, C.D. 1972-1977. Experiments with tillage systems to improve the economy of cultivations for cereals.
- 1st Year - 1971/72 experiments. Dep. Note DN/CT/177/1260
- 2nd Year - 1972/73 experiments. Dep. Note DN/TC/320/1260
- 3rd Year - 1973/74 experiments. Dep. Note DN/Cu/501/1260
- 4th Year - 1974/75 experiments. Dep. Note DN/Cu/615/1260
- 5th Year - 1975/76 experiments. Dep. Note DN/Cu/735/1260
- 6th Year - 1976/77 experiments. Dep. Note DN/Cu/832/01009
- Published by National Institute of Agricultural Engineering, Silsoe, England
- Patterson, D.E., Chamen, W.C.T. and Richardson, C.D. 1980. Long-term experiments with tillage systems to improve the economy of cultivations with cereals. *J. agric. Engng Res.*, 25, 1-35
- Rengasamy, P. and Olsson, K.A. 1991. Sodicity and soil structure. *Aust. J. Soil Res.*, 29, 935-952
- Shanmaganathan, R.T. and Oades, J.M. 1982. Effect of dispersible clay on the physical properties of the B horizon of a red-brown earth. *Aust. J. Soil Research*, 20, 315-324
- Stefanson, R.C. 1968. Factors determining the seasonal changes in the stabilities of soil aggregates. *Trans. 9th Cong. Int. Soc. Soil Science, Adelaide*, 2, 395-402
- Stone, J.A. and Wires, K.C. 1990. Water content and soil core volume on Brookston clay loam. *Can. J. Soil Science*, 70, 255-258
- Watts, C.W. and Longstaff, D.J. 1989. Mobile instrumentation and data processing system for testing field machinery. *J. agric. Engng Res.*, 43, 67-76

UTILISATION DE LA RESISTANCE A LA PENETRATION COMME INDICATEUR DE L'EVOLUTION DES PROPRIETES MECANIQUES DES SOLS, DUES AU LABOUR

JAVIER DE JEVENOIS (1) & PILAR LINARES (1)

RESUME

Le terrain de labour est soumis à diverses opérations culturelles; certaines d'elles modifient ses propriétés mécaniques pour les adapter aux conditions nécessaires pour la naissance et le développement des cultures. Entre autres, la mesure de la Résistance à la Pénétration, est une méthode pour étudier cette évolution; actuellement c'est la méthode plus utilisée dû à la facilité et l'immédiateté de sa mesure, son bas coût, et l'indépendance de paramètre mesuré par rapport à la typologie du terrain. Dans cette communication on présente l'évolution de la Résistance à la Pénétration de deux sols sous différents méthodes de travailler le sol.

SUMMARY

The agricultural soils are submitted to different tillage practices; some of them modify its mechanical proprieties to adapt it to the necessary conditions for the plant emergence and crops growth. The Penetration Resistance is one of the methods to evaluate its evolution; today it is the most common system due to its facility and the immediacy of the data collected, its low cost, and the independence of measured parameter from the terrain typology. In this paper, we present the evolution of fine-grained soils, over different tillage practices.

(1) Docteurs Ingénieurs Agronomes
ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRONOMOS
MADRID. SPAIN

INTRODUCTION

L'un des objectifs du labourage du terrain est d'obtenir un profil cultural adapté, afin de permettre une bonne croissance des plantes. En effet, sur certaines cultures, la préparation du lit de semences s'avère particulièrement difficile.

Le suivi de l'état du terrain, au cours de la période pendant laquelle ont lieu les diverses opérations culturales pour la préparation du lit de semences, se fait par le biais de mesures périodiques d'une série de paramètres, parmi lesquels se trouve la Résistance à la Pénétration, moyennant un Pénétromètre à Cône.

En 1948, le Corps d'Ingénieurs de la U.S. Army développe, au Waterways Experiment Station, un pénétromètre statique à pointe conique, le précurseur des pénétromètres d'aujourd'hui.

La Résistance à la Pénétration, en unités de pression, est le quotient entre la force d'opposition du terrain lors de la pénétration, à une certaine profondeur, divisé par la surface de la base du cône employé dans le pénétromètre.

Les pénétromètres statiques sont des équipements très complets, s'avérant utiles dans divers domaines en ingénierie, et permettant une prise de données facile, rapide et à bas coût.

La première application du pénétromètre de cône était destinée des études de traficabilité avec des objectifs militaires (WES, 1948), champs d'application pour lequel il n'a cessé d'être développé à travers la conception de modèles de mobilité (Jurkat, M.P., et al, 1975), pour les armées de divers pays, notamment les U.S.A. (U.S. Army Tank-Automotive Command, 1973), et pour l'armée allemande (Meltzer, 1984), entre autres.

Depuis, son champ d'application s'est élargi considérablement, comme le relève Perumpral (1987), et comprend l'ingénierie civile, la prédiction de traction sur des véhicules extraviatiques, tels que les tracteurs agricoles, les équipements de mouvement des terres, ou les véhicules tous terrains, ainsi que l'analyse de compactation

provoquée par le passage répété de véhicules. En dehors de son domaine habituel, il a également été employé afin de mesurer la résistance d'autres matériaux, tels que les balles de coton ou les agglomérés de bois.

Il est apparu récemment des pénétromètres de cône modifiés, appelés "impédomètres", dont la faible vitesse de pénétration (<5mm/s), permet de simuler la résistance à la croissance des racines, (Trollner, E.W., 1989).

Le pénétromètre a aussi été employé en agronomie, lors d'études de labour (O'Sullivan et al, 1987). En ce domaine, on a appris à se familiariser avec les graphiques montrant la distribution des couches compactées de sol après un labour, en section transversales couvrant toute la largeur du travail de l'équipe.

En ce qui concerne les labours, il convient de découvrir des corrélations entre la résistance à la pénétration et d'autres paramètres du sol, tels que la densité ou l'humidité. C'est en ce sens que sont orientés les travaux de Ayers (1982, 1987).

Lors de la préparation du lit de semences, il y a une série de labours qui se suivent, chacun d'entre eux modifiant l'état précédent du sol. Il est utilisé divers facteurs pour évaluer l'effet du labour, tels que l'indice d'émiettement (Billot et al, 1972), l'indice de rugosité (Kuipers, 1965), l'indice d'ameublissement du sol (Lilis, 1981), etc., mais il convient d'analyser soigneusement l'état final du terrain à la fin de la séquence de labours, et notamment la dépense économique que cela entraîne.

En ce sens, il est intéressant d'employer un équipement aussi adaptable que le pénétromètre, et ce afin de cerner la variation séquentielle dudit état au cours de la préparation du terrain.

Dans le présent travail, il est présenté une manière de cerner l'effet du labour moyennant la mesure de la résistance à la pénétration sur diverses profondeurs, et ce afin de faciliter l'interprétation de la séquence de labours et d'en analyser les effets en vertu des objectifs poursuivis.

MATERIAUX ET METHODES

1- PRISE DE DONNEES

Les essais recueillis dans cette étude font partie d'un projet de recherche de l'association de la Recherche pour l'Amélioration de la Betterave Sucrière (AIMCRA), intitulé "Préparation du lit de semences dans la région du Duero". Dans cette région, la betterave est d'une grande importance agronomique et il est donc fort intéressant d'en analyser les coûts de culture, parmi lesquels on peut sans doute compter ceux de la préparation du terrain.

De plus, on a pu observer certains problèmes dans des sols limoneux, très fréquents sur une bonne partie de la région, pour lesquels le labourage primaire effectué en automne a entraîné l'apparition de semelles, suite aux pluies d'hiver, ce qui suppose un travail ajouté de cassure de ces semelles, et partant, un renchérissement des coûts de préparation.

C'est pour cette raison que l'on a envisagé la comparaison de divers systèmes de préparation du terrain, habituels dans la région nommée, ce qui, outre les essais de variétés, d'irrigations, de contrôle des fléaux et des essais d'adéquation de la machinerie de semence et de récolte, permettrait de soumettre des recommandations culturelles fondées sur des expériences effectuées conformément aux conditions particulières de la région.

Concrètement, les méthodes de préparation employées ont été les suivantes :

- A- Préparation traditionnelle par l'agriculteur : Témoin,
- B- Préparation précoce moyennant versoir
- C- Préparation précoce moyennant sous-solage
- D- Préparation traditionnelle tardive.

Chaque séquence de labourage cultural est appelée TRAITEMENT. La conception des essais portait sur des bandes sans répétitions, avec une superficie de 3-4 ha pour chaque parcelle. Sur la Parcelle 1, les bandes mesuraient 120 x 50 m, et sur la Parcelle 2, la superficie de chaque bande,

correspondant à chaque Traitement, était d'environ 250 x 50 m.

Les caractéristiques en matière de texture des sols des deux parcelles mises à l'essai, ainsi que leur Classement ISSS, figurent sur le tableau ci-après :

PARCELLE	1	2
Sable	78 %	36 %
Limon	11 %	41 %
Argile	11 %	23 %
I.S.S.S.	SABLONNEUX	FRANC

Dans le cadre de cette expérience, on a tenté d'utiliser la Résistance à la Pénétration pour cerner l'effet du labourage.

Pour ce faire, il s'agissait d'extraire trois échantillons de chaque Traitement; chaque échantillon était composé de 20 essais de pénétration, répartis sur une zone de 10 x 10 m.

Les 60 essais pris à chaque Traitement, enregistrés sur place au DSU, étaient reportés en laboratoire sur des archives uniques.

2- PENETROMETRE

La résistance à la Pénétration a été mesurée au moyen d'un Pénétrömètre de Cône Electronique marque BUSH Mark 1, modèle 1979, équipé d'une unité enregistrement des données, DSU 279.

Il a été utilisé pour le pénétromètre la pointe conique normalisée de 0,2 in² (1,30 cm²) de zone de la base, pour tous les essais.

Sur chaque essai a été enregistré l'effort, en kg, sur 15 profondeurs différentes, avec des intervalles de 3,5 cm, depuis la superficie jusqu'à 49 cm. de profondeur.

Le Pénétrömètre Bush est calibré pour une valeur maximale de 50 kg d'effort de compression sur la tige.

Le Datalogger DSU enregistre automatiquement jusqu'à 512 essais. Sur chaque essai sont

enregistrés 15 paires de données correspondantes, de forces et de profondeurs.

Les données enregistrées sur le DSU peuvent être transférées moyennant un programme adapté vers des archives informatisées, afin de pouvoir procéder par la suite à leur traitement et à leur analyse.

3- TRAITEMENT DES DONNEES

Le traitement des données se fait moyennant un programme MISSPEN, lequel par le biais d'un algorithme EM évalue et remplace les valeurs perdues en profondeur de par la présence de pierres et autres obstacles, en calculant les valeurs moyennes de Résistance à la Pénétration sur chacune des 15 profondeurs, de 0 à 49 cm.

Le choix de ce système de traitement des données naît de l'étude effectuée par les auteurs portant sur divers modes d'évaluation des valeurs perdues lors d'essais de pénétration (Jevenois, Linares 1991).

Les valeurs de forces lues sur le pénétromètre supérieures à 50 kg sont considérées valeurs perdues par l'algorithme EM.

Lorsqu'elles sont nulles, plus de 80% des valeurs correspondants à une profondeur donnée, l'algorithme n'agit pas, attribuant en guise de valeur de la Résistance à la Pénétration la moyenne géométrique des valeurs restantes, non nulles, lues à cette même profondeur.

Il était prélevé, sur chaque Traitement, divers échantillons de sols afin d'en déterminer l'humidité.

ANALYSE DES RESULTATS

Sur les Tableaux 1 et 2 figurent les valeurs de Résistance à la Pénétration et les Indices de Cône, sur chacune des deux Parcelles, au cours de la Caractérisation Initiale.

Les valeurs de la Résistance à la Pénétration sur chaque Traitement, pour les deux parcelles de terrain apparaissent sur la Fig.1.

On peut observer l'homogénéité de la Parcelle 2 et la plus grande variabilité du sol sur la parcelle 1, avec abondance de pierres sur la couche arable. En guise d'exemple, la moyenne des valeurs de l'Indice de Cône à 21 cm est de 1052 kPa pour le sol sablonneux et de 687 kPa pour le sol franc.

PROFOND cm	TRAITEMENTS					
	RESIST. PENETRATION			CONE INDEX		
	A	B	E	A	B	E
0.00	28.03	28.43	14.73	28.03	28.43	14.73
3.50	559.57	317.73	286.20	293.80	173.08	150.47
7.00	826.67	582.17	537.47	471.42	309.44	279.47
10.50	1059.00	901.43	984.77	618.32	457.44	455.79
14.00	1174.60	1550.10	1589.40	729.57	675.97	682.51
17.50	1315.80	1841.80	2211.60	827.28	870.28	937.36
21.00	1495.30	2244.80	2570.10	922.71	1066.64	1170.61
24.50	1778.90	2458.70	2662.80	1029.73	1240.65	1357.13
28.00	1975.10	2436.80	2640.60	1134.77	1373.55	1499.74
31.50	2215.90	2375.70	2523.90	1242.89	1473.77	1602.16
35.00	2704.90	2555.30	2458.50	1375.80	1572.09	1680.01
38.50	3931.10	2523.90	2541.20	1588.74	1651.41	1751.77
42.00	3109.00	2626.30	2547.10	1705.68	1726.40	1812.95
45.50	2326.90	2942.70	2160.90	1750.06	1813.28	1837.81
49.00	2441.30	2853.40	2373.40	1796.14	1882.62	1873.51

Tableau 1 : Parcelle 1 : Caractérisation Initiale.

Tableau 2 : Parcelle 2 : Caractérisation Initiale.

PROFOND cm	TRAITEMENTS					
	RESIST. PENETRATION			CONE INDEX		
	A	B	C	A	B	C
0.00	37.90	40.43	40.53	37.90	40.43	40.53
3.50	579.43	561.77	528.27	308.67	301.10	284.40
7.00	779.90	723.87	712.13	465.74	442.02	426.98
10.50	874.20	818.57	808.07	567.86	536.16	522.25
14.00	877.20	857.20	882.57	629.73	600.37	594.31
17.50	888.83	821.33	911.37	672.91	637.20	647.16
21.00	948.60	857.53	892.03	712.29	668.67	682.14
24.50	1034.80	945.67	910.23	752.61	703.61	710.65
28.00	1136.70	1013.90	981.40	795.28	737.81	740.73
31.50	1340.30	1167.10	1057.80	849.79	780.74	772.44
35.00	1683.40	1450.60	1321.60	925.57	841.63	822.36
38.50	1922.20	1782.30	1632.50	1008.62	920.02	889.88
42.00	2056.00	1941.90	1957.10	1089.19	998.63	971.97
45.50						
49.00						

Sur la Fig.2 apparaît la Résistance à la Pénétration mesurée à la fin de chaque labourage, sur les Traitements B et E de la Parcelle 1, avec une humidité avoisinant 11%, et sur la Fig. 3 apparaissent les valeurs pour les Traitements B et C de la Parcelle 2, avec une humidité de 20%.

On peut observer sur les deux sols une diminution de la Résistance à la Pénétration Initiale lors du labourage primaire, laquelle est plus forte dans le cas du versoir que dans le cas du travail de sous-solage. Suite aux labourages secondaires, la Résistance à la Pénétration croît, surtout en profondeur, jusqu'à ce que, au moment des semailles, en superficie, elle revient presque à la valeur initiale.

Afin de comparer à une certaine profondeur les effets des divers Traitements, sur les Fig 4 et 5 apparaissent les valeurs mesurées de Résistance à la Pénétration, sur les deux parcelles, à 21 cm de profondeur.

Sur la Fig.4 apparaissent les valeurs obtenues sur la Parcelle 1, lors de la séquence de labourages suivante :

- 0 -----> Caractérisation initiale
- 1 -----> Versoir
- 2 -----> Cultivateur
- 3 -----> Herse
- 4 -----> Semailles
- 5 -----> Début de l'irrigation

A partir des conditions initiales de sol affirmé, avec des variations de la Résistance à la Pénétration entre 1700 et 2500 kPa, et une humidité proche de 11%, le premier labourage (versoir) provoque une réduction importante, avec des valeurs finales de ce premier labourage de l'ordre de 300 à 500 kPa.

Les labourages suivants, de type superficiel, n'affectent pas le sol à cette profondeur; celui-ci s'affirme de manière naturelle, et au moment des semailles, présentant une humidité proche de 11%, la résistance à la Pénétration varie entre 1100 et 1700 kPa, valeurs qui pour chacune des Traitements sont inférieures à celles mesurées initialement.

Au moment où l'on procède à l'irrigation des terres, la Résistance à la Pénétration a retrouvé exactement les valeurs de l'automne.

Sur la Fig. 5 apparaissent les valeurs de la Résistance à la Pénétration correspondant à la Parcelle 2, suivant la séquence de labourages suivante :

- 0 -----> Caractérisation initiale
- 1 -----> Versoir ou travail de sous-solage
- 2 -----> Premier hersage
- 3 -----> Second hersage
- 4 -----> Semailles
- 5 -----> Début de l'irrigation

De par son résultat nettement différencié, le travail de sous-solage s'impose. A cette profondeur, il n'a pratiquement aucun effet sur la Résistance à la Pénétration. En revanche, le labourage de versoir désagrège et émiette le sol en réduisant ainsi à plus de 50% sa valeur initiale.

Lors des divers labourages ultérieurs de type superficiel, des hersages, le terrain s'affirme progressivement, étant le terrain ayant été travaillé avec sous-souleuse, toujours plus ferme. Au moment des semailles, on a retrouvé, voire dépassé les valeurs de Résistance à la Pénétration, de la caractérisation initiale, en automne.

L'importance de la profondeur lors de la caractérisation de l'effet du labourage apparait plus clairement à travers les graphiques des Fig. 6, 7, 8 et 9, qui exposent, pour chaque Traitement, la variation de la résistance à la Pénétration au cours de la séquence de labourages, sur diverses profondeurs : 7, 14, 21 et 28 cm.

Sur la Parcelle 1, à partir d'une situation initiale de Résistance à la Pénétration croissante plus on descend en profondeur, qui est celle d'un terrain affirmé, le labourage de versoir précoce, avant l'hiver, Fig.6, entraîne une forte désagrégation du sol, avec un CI de 28 cm de 250 kPa, et ce même labourage effectué au sortir de l'hiver, sur un terrain naturellement plus affaîssi, provoque une moindre désagrégation, avec un CI, à cette même profondeur, de 313 kPa, Fig. 7, labourage 1.

Sur la Parcelle 2, terrain de "vega", abondant en terre organique, on observe une situation initiale de forte homogénéité sur toute la couche arable. La Résistance à la Pénétration varie uniquement de 700 kPa à 7 cm, à 1000 kPa à 28cm. de profondeur (Fig. 8 et 9).

Sur la séquence de labourages avec le versoir précoce, suite au labourage, Fig. 8, le sol demeure homogène en profondeur, tout en étant plus meuble et moins compact. La résistance à la Pénétration varie entre 121 kPa à 7 cm et 338 kPa à 28 cm, avec un CI de 188 kPa jusqu'à cette profondeur.

Toutefois, le travail de sous-solage, Fig. 9, labour 1, ne provoque qu'une légère diminution de la Résistance à la Pénétration, plus importante en superficie, et presque nulle à 28 cm., avec une valeur de CI de 615 kPa. Le labourage suivant, un hersage, relativement superficiel, se fait deux mois plus tard, au début du printemps, et la Résistance à la Pénétration a diminué à chacune des profondeurs, à 57 % à 7 cm., et jusqu'à 75-80% à 28 cm., par rapport aux valeurs obtenues suite au travail de sous-solage. Cette tendance décroissante de la Résistance à la Pénétration, qui se maintient au cours de l'hiver, est le résultat des effets du labourage. Les fissures permettent l'action de l'eau et les gelées, en profondeur, participant à une auto-inversion et à une plus grande désagrégation. Au moment des semailles, hormis la couche la plus superficielle, le sol est plus compact qu'au moment des conditions initiales de l'automne précédent.

Tableau 3 : Valeurs de K, sur la Parcelle 1

LABOURS	VERSOIR PRECOCE				VERSOIR TARDIF			
	P R O F O N D E U R							
	7	14	21	28	7	14	21	28
INIT. kPa	582	1550	2244	2436	537	1589	2570	2640
VERSOIR	0,30	0,14	0,13	0,13	0,48	0,18	0,14	0,19
CULTIVAT	0,50	0,27	0,23	0,31	0,54	0,30	0,27	0,37
HERSE	0,49	0,32	0,33	0,45	0,50	0,61	0,50	0,51
SEMAILLES	1,23	0,70	0,60	0,60	1,04	0,77	0,58	0,63

Par contre, revenant à la fig. 7, suite au travail de versoir précoce, du début de l'hiver, le terrain se compacte progressivement jusqu'à ce qu'il soit, au moment des semailles, désagrégé jusqu'à 15 cm, présentant des valeurs de Résistance à la Pénétration plus faibles que sous les conditions initiales de l'automne, et quelque peu plus compact en profondeur.

Si l'on calcule le Coefficient de Labourage K, en tant que quotient entre la valeur actuelle de la Résistance à la Pénétration et celui des conditions initiales, toute valeur $k > 1$ indiquerait que le terrain actuel a durci par rapport au début de la séquence de labourage.

Sur le Tableau 3 apparaissent les valeurs dudit coefficient sur la Parcelle 1, sol à grande teneur en sable et présentant une humidité proche de 11%. On peut observer une plus faible désagrégation provoquée par l'action du versoir tardif, par rapport à l'action du versoir précoce, à une profondeur de 7 cm. (0,48 contre 0,30), bien qu'au moment des semailles les deux traitements, à 7 cm., ont pour effet un sol plus compact, alors qu'en profondeur celui-ci est moins compact qu'au

début des labourages et presque identique sur les deux traitements.

Sur le Tableau 4 apparaissent les valeurs correspondant à la Parcelle 2. Sur cette parcelle apparaissent clairement les différences entre le versoir et le travail de sous-solage, aussi bien en superficie qu'en profondeur. Dans ce sol, qui a maintenu tout au long de la préparation du lit de semailles une teneur en humidité de l'ordre de 20% et contenant une proportion importante d'éléments fins (64%), on peut observer un fort compactage en profondeur.

CONCLUSIONS

- La Résistance à la Pénétration est un paramètre valable pour mettre en évidence l'effet des labours sur le terrain.
- La Représentation graphique de la variation de la Résistance à la Pénétration, à la profondeur de la couche arable, tout au long des divers labourages, suppose une aide considérable lorsqu'il s'agit d'interpréter l'effet des labours.

Tableau 4 : Valeurs de K, sur la Parcelle 2

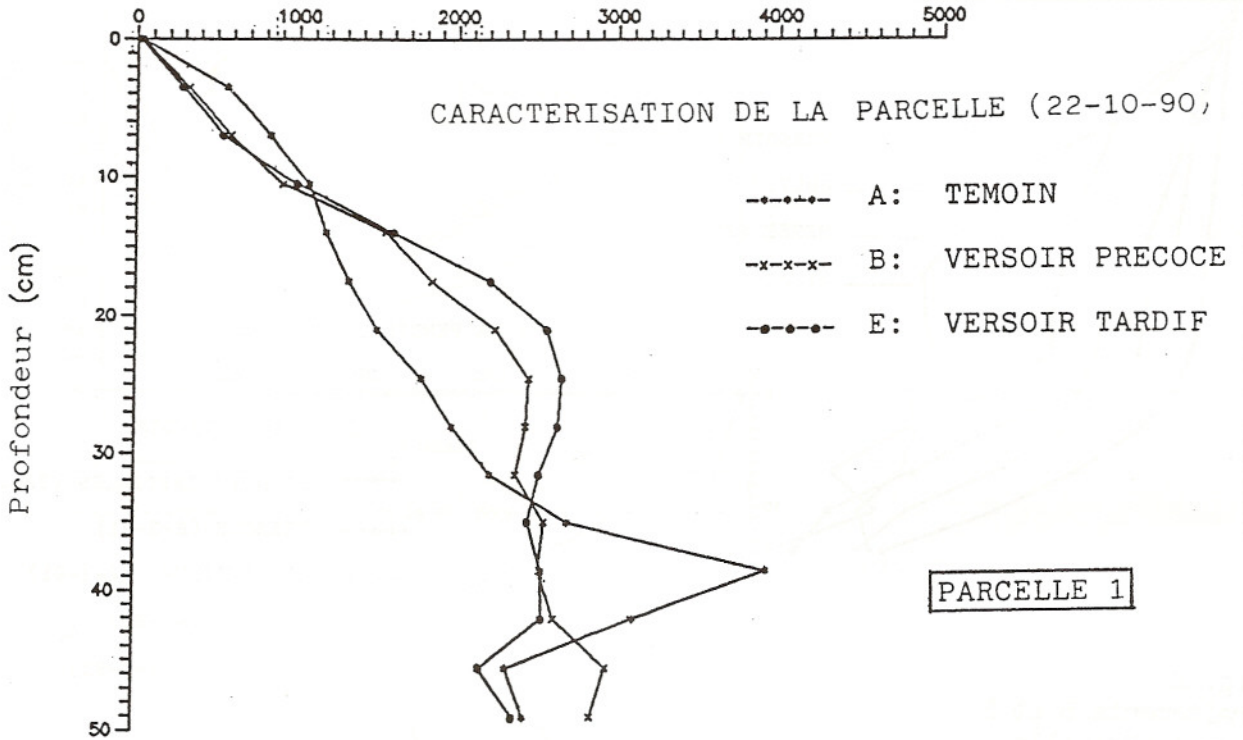
LABOURS	VERSOIR PRECOCE				SOUS-SOLAGE			
	P R O F O N D E U R							
	7	14	21	28	7	14	21	28
INIT. kPa	723	857	857	1014	712	882	892	981
VERS/SOLA	0,17	0,23	0,27	0,33	0,61	0,80	0,92	0,99
HERSAGE 1	0,42	0,38	0,48	0,54	0,35	0,59	0,71	0,81
HERSAGE 2	0,32	0,58	0,56	0,63	0,45	0,82	0,84	0,87
SEMAILLES	0,68	0,91	1,10	1,26	0,90	1,14	1,27	1,47

- Dans le cas d'une préparation séquentielle, il est possible également d'utiliser un coefficient mettant en rapport la Résistance à la Pénétration, après chaque labourage, avec la résistance qu'il y avait au début de la séquence, et ce sur diverses profondeurs, suivant les objectifs poursuivis.
- Lors des essais réalisés sur deux types de sols de grand intérêt pour la culture de la betterave sucrière en Espagne, à partir des deux méthodes de représentation, on a pu observer qu'au moment des semailles, à 7 cm., la Résistance à la Pénétration était pratiquement identique ou supérieure à celle qu'il y avait avant d'entamer la préparation du terrain. A une plus grande profondeur, le sol sablonneux était moins compact qu'au début, contrairement au sol ayant une importante teneur en éléments fins.
- Tout ce qui précède nous amène à penser qu'il convient de poursuivre les essais afin d'évaluer l'effet des labours, puisque suite à une coûteuse séquence de labours, on arrive en ce qui concerne le lit de semailles à une situation semblable à la situation initiale dans des cultures irrigables n'ayant pas besoin d'accumuler de l'eau avant la plantation, tout en courant le risque d'émettre excessivement la couche supérieure et de provoquer l'apparition de semelles, hautement dangereuses pour les semences à croissance difficile, telles que la betterave. A travers ces essais, la caractérisation du terrain, par le biais de la Résistance à la Pénétration, devient un allié fort utile.

BIBLIOGRAPHIE

- AYERS, P.D.; BOWEN, H.D. (1987). predicting soil density using cone penetration resistance and moisture profiles. Transactions of the ASAE. Vol 30(5).
- AYERS, P.D.; PERUMPRAL, J.V. (1982). Moisture and density effect on Cone Index. Transactions of the ASAE. Vol 25(5).
- BILLOT, J.F.; BINESSE, M. (1972). Quelques resultats de mesures effectuées sur des outils de travail du sol commandés par la prise de force. CNEEMA. BI n° 174-175.
- JEVENOIS, J.; LINARES, P. (1991). Problematica de la caracterizacion de la capacidad portante de los suelos, a través del Indice de Cono. 23 Conf. Int. Nec. Agr. Zaragoza. Spain.
- JURKAT, M.P.; NUTTALL, C.J.; HALEY, P.W. (1975). The U.S. Army Mobility Model (AMM-75). 5th Int. Conf. of the ISTVS. Detroit.
- KUIPERS, H.; VAN OUVERKERK, G.; POESSE, G.H. (1965). The characterization of soil structure changes produced by tillage operations. Proc. Int. Conf. of Characterization problems in soil tillage. Norge.
- LILIS, C. (1981). Influencia de la velocidad y del estado fisico del suelo sobre la resistencia especifica a la traccion con arados de vertedera y discos. Tesis Doctoral. U.P. Madrid.
- MELTZER, K.J. (1984). Possibilities of evaluating the traction of tyres for off-road transportation vehicles. Journal of Terramechanics. Vol 21. N° 4. pp. 309-333.
- O'SULLIVAN, M.F.; DICKSON, J.W.; CAMPBELL, D.J. (1987). Interpretation and presentation of cone resistance data in tillage and traffic studies. J. Soil Science, 38, pp. 137-148.
- PERUMPRAL, J.V. (1987). Cone penetrometer applications. A review. Transactions of the ASAE. Vol 30(4).
- TROLLNER, E.W.; SIMONTON, W. (1989). A cone penetrometer system for measuring Cone Index and stress relaxation. Trans. ASAE. Vol 32(1).

RESISTANCE A LA PENETRATION (KPa)



RESISTANCE A LA PENETRATION (KPa)

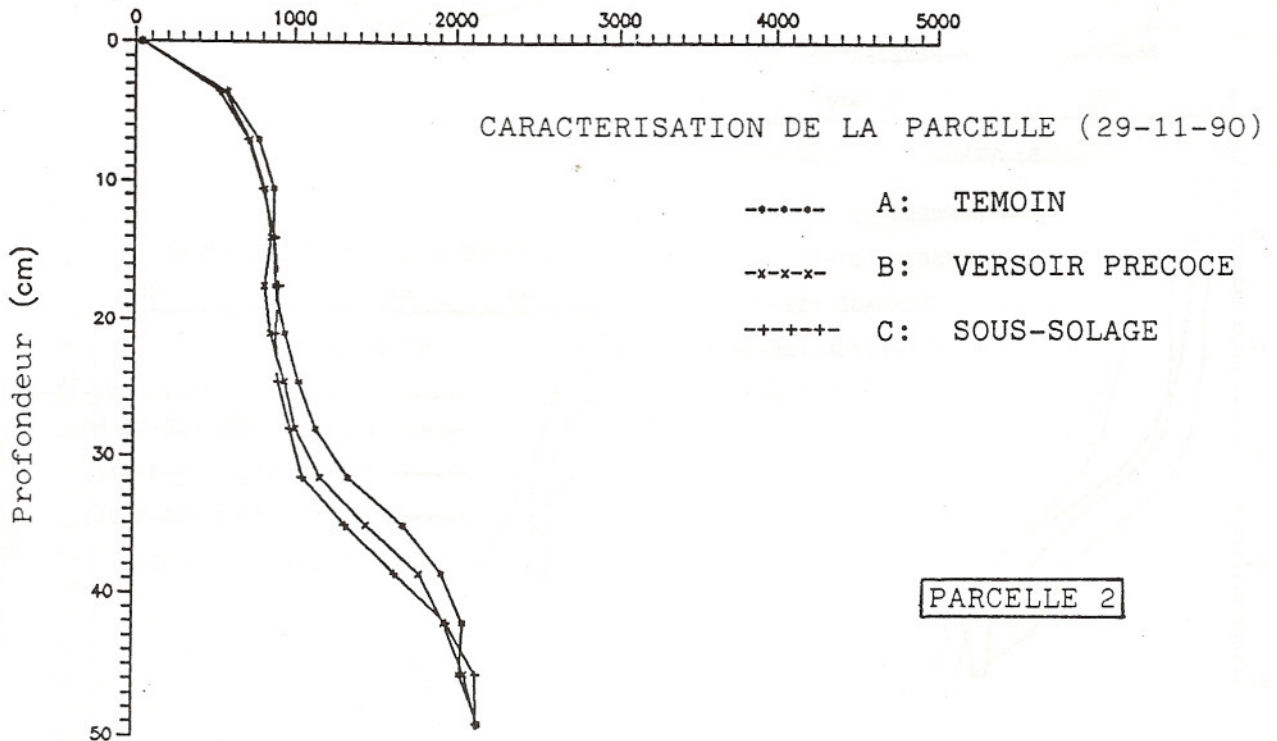


Fig.1 - Caractérisation initiale des deux Parcelles.

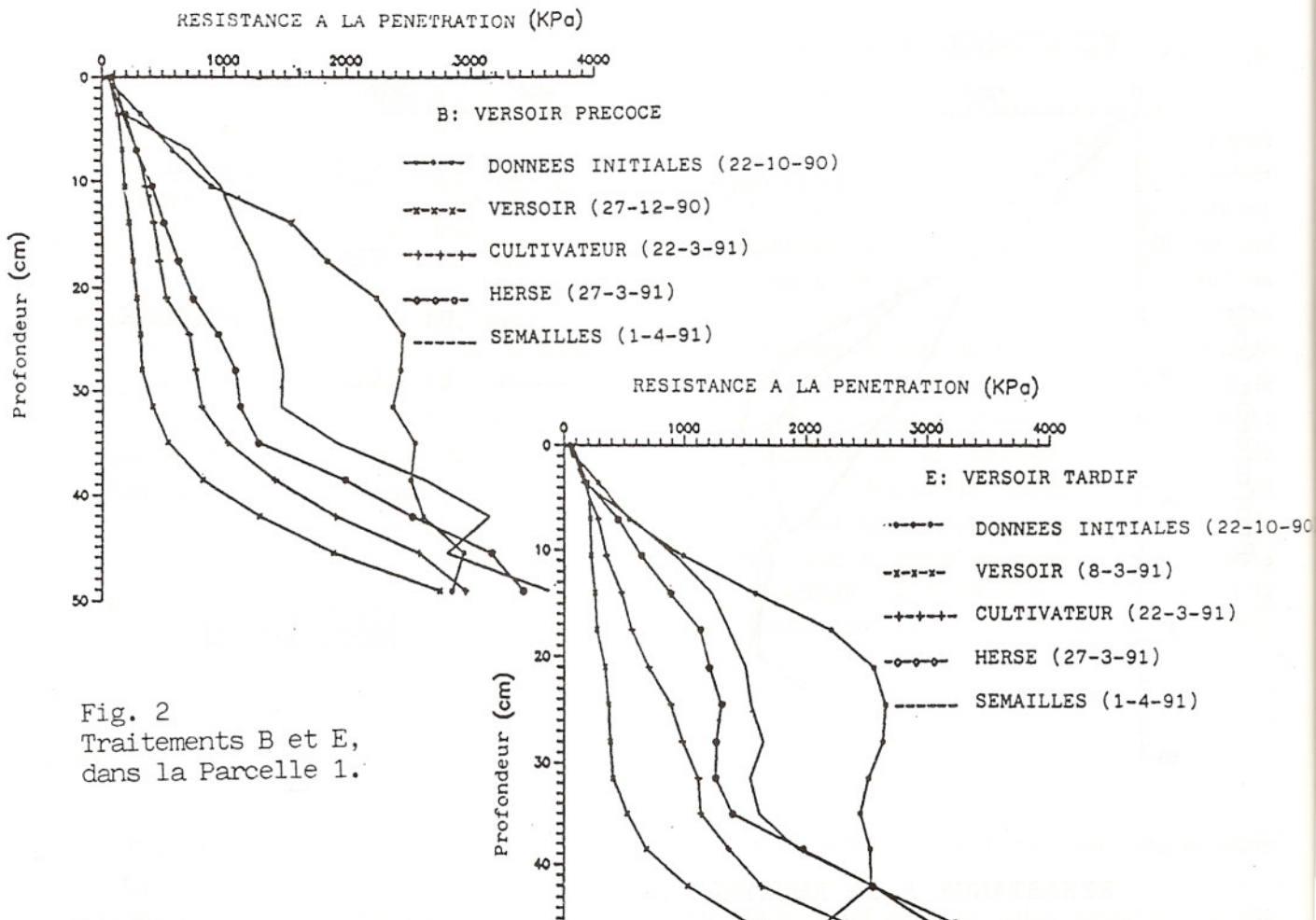


Fig. 2
Traitements B et E,
dans la Parcelle 1.

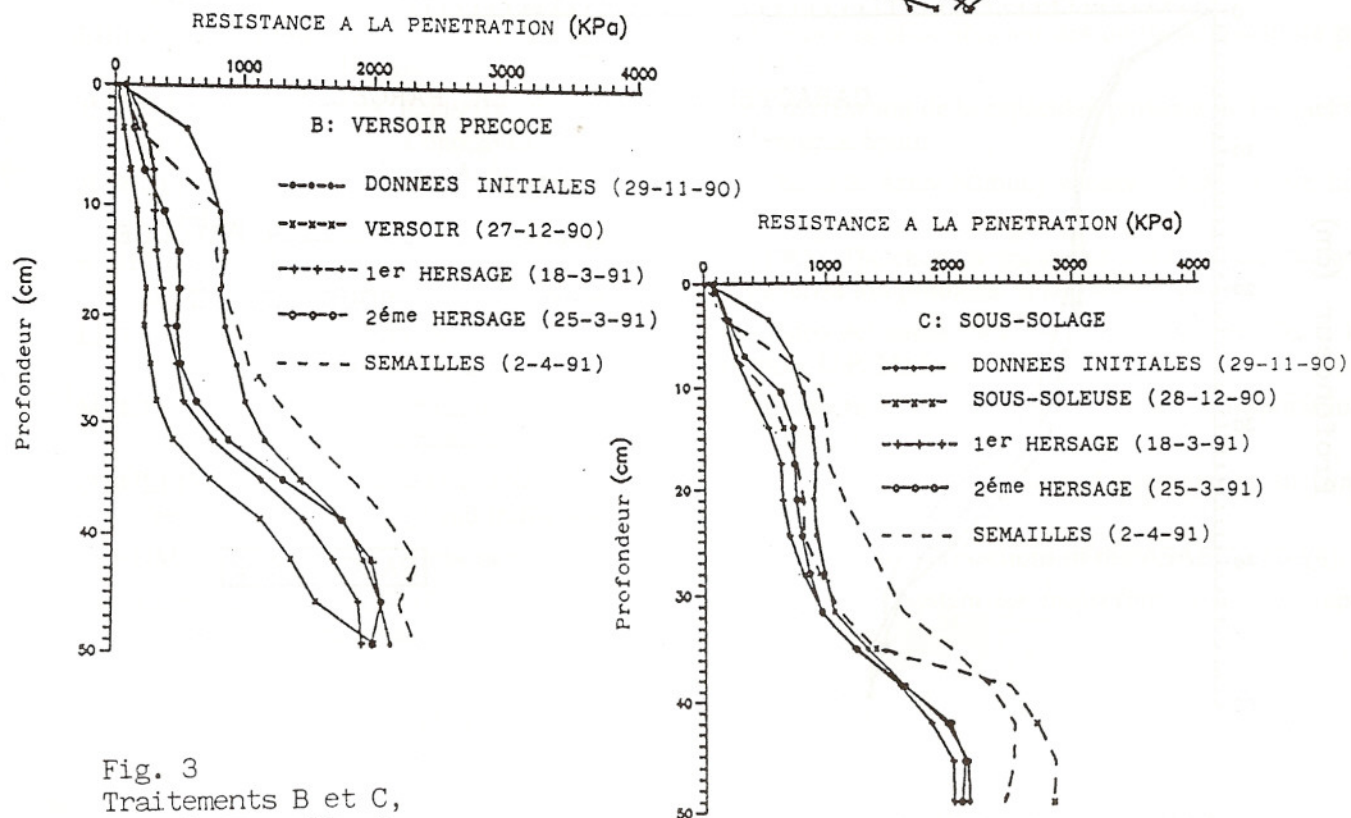


Fig. 3
Traitements B et C,
dans la Parcelle 2.

PARCELLE 1

PROFONDEUR: 21 cm

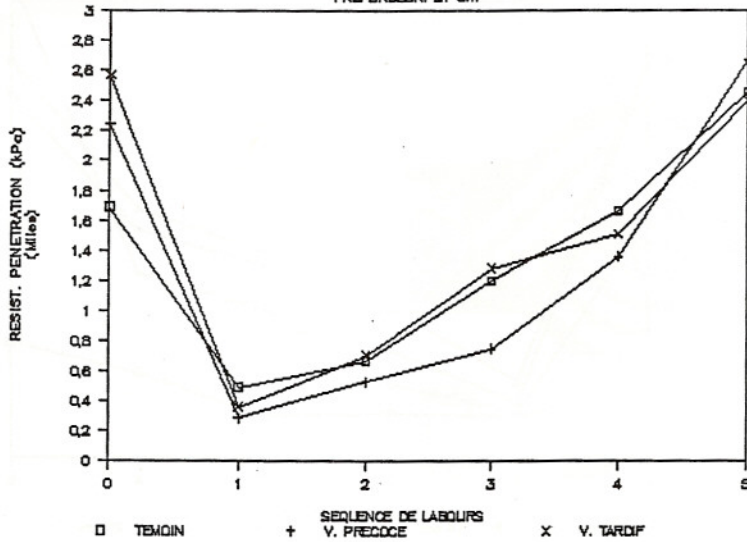


Fig. 4 - Parcelle 1: valeurs de la RP, pour tous les Traitements.

PARCELLE 2

PROFONDEUR: 21 cm

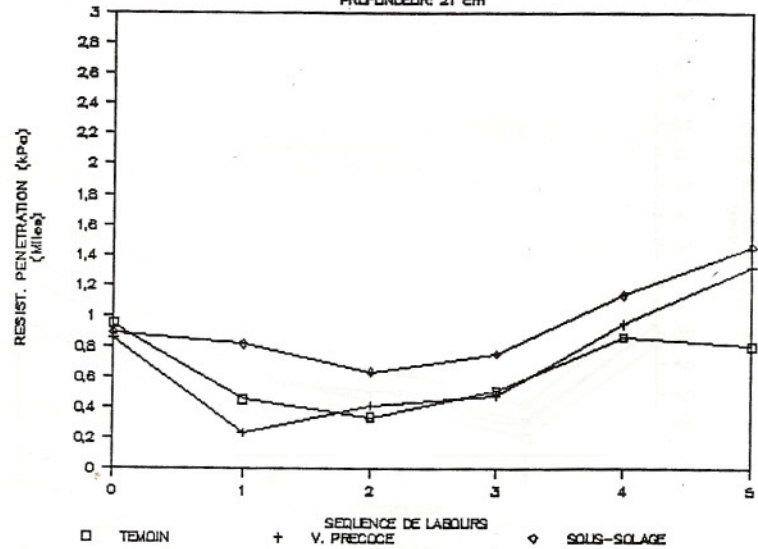


Fig. 5 - Parcelle 2: valeurs de la RP, pour tous les Traitements.

PARCELLE 1

VERSOIR PRECOCE

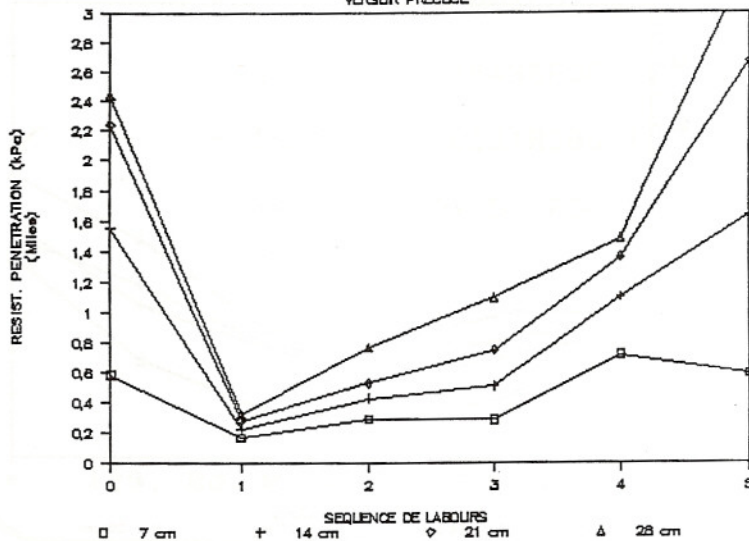


Fig. 6 - Versoir Precoce: valeurs de la RP à différentes profondeurs.

PARCELLE 1

VERSOIR TARDIF

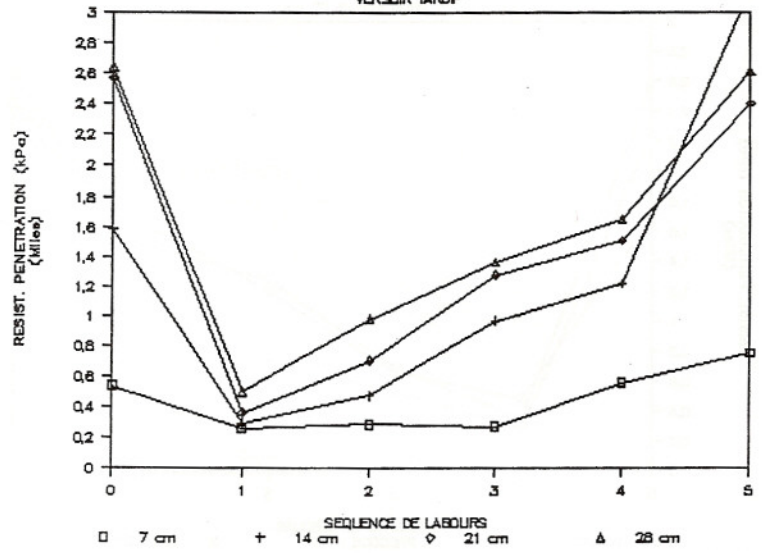


Fig. 7 - Versoir Tardif: valeurs de la RP à différentes profondeurs.

PARCELLE 2

VERSOIR PRECOCE

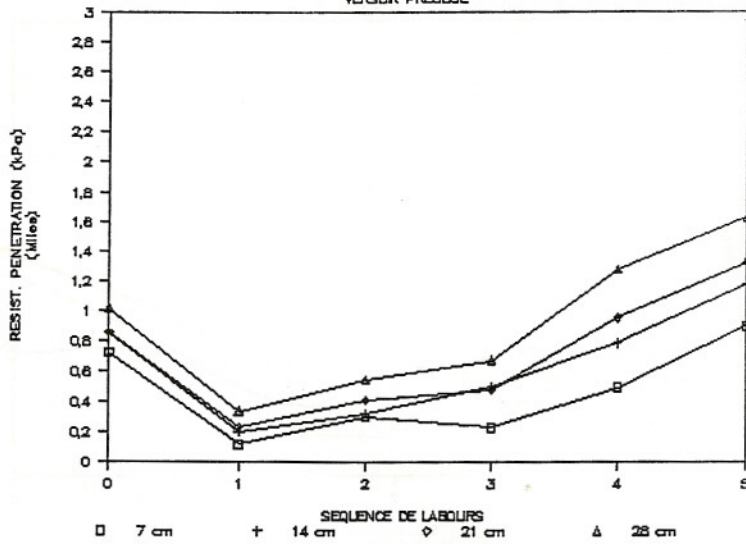


Fig. 8 - Versoir Precoce: valeurs de la RP, à différentes profondeurs.

PARCELLE 2

SOUS-SOLAGE

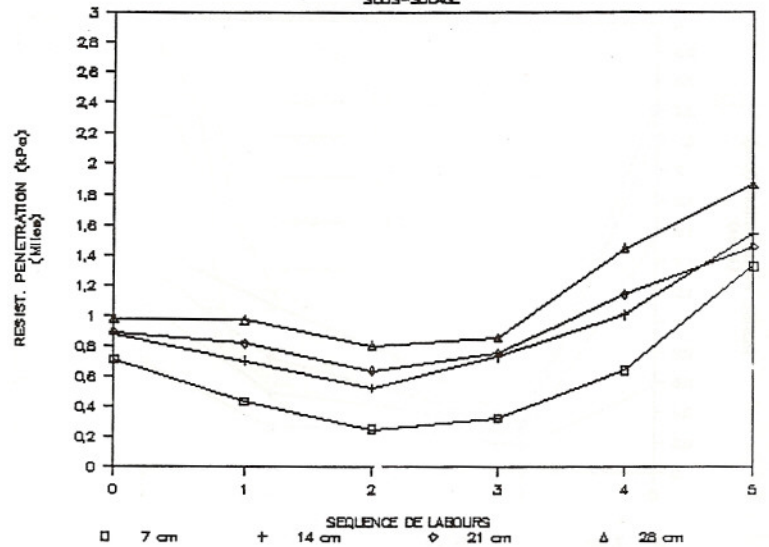


Fig. 9 - Sous-solage: valeurs de la RP, à différentes profondeurs.

SOIL TILLAGE OPTIONS FOR WATER MANAGEMENT UNDER ERRATIC-RAINFALL CONDITIONS (1)

W.B. Hoogmoed (2), J.A.A. Berkhout (3) and L. Stroosnijder (4),

ABSTRACT

In the semi-arid tropics, characterized by a long dry period (6-8 months) and one short rainy season, rainfall at the onset of the wet season is crucial in establishing a crop. However, rainfall in this early part of the season, is highly erratic and quite aggressive. Rainfall impact on the soil surface is high and strongly affects runoff and erosion. Soil tillage may be used for seedbed preparation, weeding or to enhance the infiltration of water in the soil. This latter, however, will not always result in higher crop yields or smaller soil, water or nutrient losses. Our conclusions are drawn mainly from the West African Sahel and Sudan zone, characterized by a low input (particular N and P) rainfed farming system, growing cereal crops like millet. Two types of soil tillage are distinguished : tillage aimed at water conservation (by increasing infiltration and/or surface-roughness) and tillage aimed at weed control. Various scenarios are evaluated by combining simulation models for plant production and soil water movement, developed and adapted for application in these regions. It was found that water conserving tillage as such has a very small yield-conserving effect because of the limitations set by the nutrient status. Elimination by tillage of the competition by weeds had a larger effect on the grain yield of 2 millet crop.

RESUME

Dans les zones tropiques semi-arides, la pluviométrie au début de la saison des pluies est décisif pour la germination et la croissance des plantes. Typiquement, la pluviométrie est d'une nature aléatoire et agressive, et peut occasionner de la ruissellement et de l'érosion. Le travail du sol peut être appliqué pour la préparation d'un lit de semence, la désherbage ou spécifiquement pour améliorer l'infiltration d'eau dans le sol. Ça ne veut pas dire que un tel travail du sol impliquera toujours une augmentation du rendement ou une réduction des pertes en eau ou nutriments.

Notre étude est basée sur les systèmes de production du mil en zone soudano-sahélienne en Afrique de l'Ouest. Deux types de travail du sol sont distingués : travail du sol pour la conservation d'eau et travail du sol pour arracher les mauvaises herbes. Nous avons évalués plusieurs scénarios utilisant un modèle de simulation de la production des plantes, couplé avec un modèle de simulation de transfert d'eau dans le sol. Les résultats les plus importants étaient que le travail du sol pour conserver d'eau montrait un effet très limité sur les rendements d'une culture de mil à cause des manques en éléments nutritifs. L'effet d'une lutte contre les mauvaises herbes par travail du sol (éliminer la compétition) était beaucoup plus grand.

(1) Contribution to the international symposium on "Tillage in arid and semi-arid regions, an International Seminar", Rabat, Morocco, 22-24 April 1992.

(2) Soil Tillage Laboratory, Agricultural University, Diedenweg 20, 6703 GW Wageningen, The Netherlands. Fax +318370 82444.

(3) Landscape and Environmental Research Group, University of Amsterdam.

(4) Department of Irrigation and Soil and Water Conservation, Wageningen Agricultural University.

1- INTRODUCTION

In the Semi Arid Tropics, with highly erratic and aggressive rainfall, crop production is influenced by water availability as well as by nutrient availability.

Water availability can be increased by tillage aimed at an increase of the fraction of the rainfall that infiltrates into the soil and the subsequent reduction of the loss of water due to runoff (Hoogmoed and Klaij, 1990). The same type of tillage reduces soil evaporation and transpiration losses by weeds.

Nutrient availability can be increased by applying fertilizers, farmyard manure or by the use of crop residues, and by removing competitors like weeds.

Given the severe food crisis in the semi-arid tropics, the development of improved farm practices aimed at an increase of crop production is a major aim of agricultural research. However, socio-economic constraints of the existing farming systems in the semi-arid tropics leave little room for a major increase of inputs of labour or capital in the form of nutrients. Therefore, it is of crucial importance to understand the interrelations between water and nutrient availability in order to optimize the effectiveness of such an increase of inputs.

If e.g. under certain farming conditions (i.e. climate, soil and crop), water is the most limiting production factor it seems logical to aim at water conservation tillage. It has to be kept in mind, however, that improved water availability may lead to increased vegetative growth early in the season (higher susceptibility to drought), to increased erosion risk due to more tillage operations. Also, nutrients may easily become the limiting factor for plant growth when water availability is improved. If indeed under the same farming conditions nutrient availability is considered as the most limiting production factor, one will start looking into possibilities to increase the level of nutrient input. Similar side-effects as referred to above may occur if

the interrelations between water and nutrient availability are not well understood or not taken into account properly.

An improved understanding of the subject may lead to the conclusion that water conservation will only be effective with a simultaneous moderate increase of nutrient input. This insight may improve quantitative land evaluation (van Keulen et al. 1987; van Keulen and Breman, 1990; van Diepen et al, 1991) and lead to the design of an achievable package of improved farming practices (Stroosnijder and van Rheenen, 1991).

Simulation offers a tool to provide the required insight into the above stated interrelations not only for development options in arable agriculture (van Diepen et al. 1989) but also in silvo-pastoral zones (Stroosnijder and Hoogmoed, 1991).

In this paper, we will present the use of simulation models to quantify effects of adaptive soil management practices on water conservation and on crop production. This paper is a second publication in a series dealing with simulation modelling as a means to understand the processes and interactions influencing the crop growth system in the SAT. The first publication (Stroosnijder et al, 1991) deals mainly with water conservation measures. In this paper, we will concentrate on the combined effect of tillage, i.e. on water conservation (by influencing infiltration and evaporation) and on weed control. For completeness, however, the basic assumptions and boundary conditions as given in Stroosnijder et al. (1991), will be repeated here. We will briefly describe DUET.91, an integrated public domain research model. A case study for millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) production in the Sahel zone of West Africa will be used to illustrate the possibilities and limitations of this tool.

An improved understanding of the complex phenomenon of crop production with help of a simulation model can direct on-station as well as on-farm research. Results from the model should always be verified with field trials.

2- THE RESEARCH TOOL DUET.91

The name DUET was chosen for the simulation model which was used as the research 'tool' because elements were combined of existing models (in DUET called modules) developed and documented elsewhere.

Three modules are distinguished in DUET (Huygen, 1988). For crop growth and nutrient requirements, use was made of the WOFOST model (Diepen et al., 1988 & 1989, Berkhout and van Keulen, 1986). The water balance module was based on the SWATRE model (Belmans et al., 1983) and for nutrient availability QUEFTS (Janssen et al., 1990) was used. The model is written in FORTRAN and can be run on a PC.

MODULE 1 :

Crop growth is simulated from emergence to maturity on the basis of physiological processes as determined by the crop's response to environmental conditions. Major processes are CO₂ assimilation, respiration (maintenance), partitioning of assimilates to various plant organs, transpiration and nutrient uptake. Rootable depth grows into the soil at a rate of 4 cm/day. Actual rooting depth is a function of possibilities for water uptake as determined in Module 2, however there is a maximum, plant dependent, - rooting depth.

Nutrient requirement is calculated at crop maturity by multiplying the amounts of dry matter allocated to the various plant organs (i.e. roots, stems, leaves, cobs and grains) with their respective minimum contents of the major nutrients Nitrogen (N), Phosphorus (P) and Potassium (K). These values are known for most crops (van Heemst, 1988).

MODULE 2 :

Available water is simulated at various soil depths (representing soil layers) on the basis of physical processes like infiltration, redistribution, evaporation and water uptake by the crop's root system. An implicit finite difference scheme is used with 39 soil layers of 7 cm. Water uptake per layer

depends on root presence (see Module 1) and available water.

MODULE 3 :

Nutrient availability is calculated using data of the native soil fertility. The latter is represented by the average (0-20 cm top soil) soil's pH (H₂O), organic carbon content, total and readily available phosphorous content and exchangeable potassium. The relationships used to derive the available amounts of nutrients from the above soil chemical data are partly of an empirical nature (crop and soil specific) and partly based on theoretical considerations.

DUET.91 integrates the above modules as follows. In dynamic simulation, using daily time steps, crop production is computed using modules 1 & 2. This results in the so-called water-limited production since neither nutrient uptake nor nutrient availability is taken into account. At maturation the nutrient requirements of this production are calculated using module 1 and compared with the nutrient availability as calculated in module 3. If any of the requirements for N, P or K is larger than their availability, the actual achievable production will be lower than the calculated water-limited production. If this is the case the actual production is called a nutrient-limited production and is calculated by dividing the most limiting available nutrient (N, P or K) by the minimum content in the plant organs as defined in module 1.

A number of features of DUET.91 makes this model suitable for an analysis of the effects of tillage on crop production (in the short-term as well as on the long-term) as a result of its impact on water conservation and weed control.

- (1) Crop production and the soil's water balance are interrelated. Management practices influencing this water balance have a direct effect on crop production.
- (2) Crop production is dynamically simulated. This implies that an improvement in water availability has an immediate effect on

production. This makes it possible to investigate whether an increase in vegetative growth early in the season increases the risk of crop failure later in the season.

- (3) Weed competition can be simulated by calculating the influence on radiation interception (LAI) and uptake of water and nutrients, based on plant physiological characteristics.
- (4) The soil's infiltration capacity is a function of water conservation tillage and set at a high (empirical) value after tillage. Its value gradually reduces as a function of the cumulative amount of rainfall after tillage. A new tillage operation resets this course of the infiltration capacity.
- (5) In Module 1 the crop's potential rooting depth develops gradually as a function of crop development. In Module 2 it is determined at which depth there is water available for uptake by roots. This availability determines the actual rooting depth. If more than 0.5 mm of water is extracted from a layer during the total growing season, this layer is considered rooted.
- (6) Water conservation tillage increases the depth of wetting. Nutrient availability in DUET.91 is made a function of this depth of wetting so that water conservation leads to a more effective mining of nutrients.
- (7) DUET can handle various options for the moment that water conservation tillage is simulated. For instance a fixed number of days, e.g. 15, between the tillage operations or a moment related to the cumulative amount of rain, e.g. 100 mm, after the last tillage. The latter may be called response tillage.

3- THE CASE STUDY

3-1 Weather

Average values of maximum and minimum air temperature, relative air humidity, wind speed and irradiation were used since these values show a conservative behaviour over the years as is shown by Hoogmoed & Stroosnijder (1984) and in Figure 1.

Daily rainfall data of 35 years (1950-1984) were used. Since the duration of these storms is not recorded, their intensity is unknown. This implies that these data cannot be matched with detailed information of the soil's decreasing infiltration capacity as determined by Hoogmoed and Stroosnijder (1984).

Instead, a separate analysis (Stroosnijder, 1991) was performed to relate size of the daily rainfall to intensity. From a 30-years rainfall record, four normal years with a 50% rainfall probability and four dry years with a 10% rainfall probability were selected. For all years daily rainfall was classified into three classes (< 10 mm, 10-20 mm and > 20 mm). Within each class, the average rainfall shower was calculated. These averages do not differ significantly between normal and dry years. Within each class, four rainfall intensities, $i(1) - i(4)$, were distinguished, see Table 1. Each intensity is representative for 25% of the amount of rainfall in that class (Hoogmoed and Stroosnijder, 1984).

For each of the 12 standard showers defined in Table 1, the duration, t , of the average shower can be calculated.

Table 1 : Average rainfall per class and intensities representative for 25 % of rainfall in that class.

Class	ave. rainfall in class (mm)	$i(1)$ mm/h	$i(2)$ mm/h	$i(3)$ mm/h	$i(4)$ mm/h
< 10 mm	4.4	3	8	18	32
10-20 mm	14.6	5	18	37	61
> 20 mm	32.9	7	34	62	116

3-2 Soil

Some characteristic data for a loamy sand soil at Niono (5° 45' W and 14° 30' N), Mali, are given in Table 2. Additional physical data of this soil (the relationship between moisture content (θ) and suction, and between θ and unsaturated conductivity (K_{θ}) were taken from Stroosnijder (1982). They are presented in Figure 2.

Soil chemical data for the top soil as used in QUEFTS were taken as follows :

pH (H20)	= 6.0 -
C	= 2.5 g/kg
Total P	= 100 mg/kg
P-Olsen (= P-Bray, Novozamski, pers.comm)	= 4 mg/kg
exchangeable K	= 2 mmol/kg

Based on the distribution of root density (cm/cm^3) with depth it may be concluded that in the

layer 0-60 cm about 80% of the root density occurs. For each depth X larger than 60 cm, it can be calculated how much root density there is in the layer X-60. By dividing this latter amount by the root density at 60 cm, a relative gain in root density is obtained with respect to the 'standard' density at 60 cm, see Table 3.

A similar procedure was followed for a characteristic distribution with depth of carbon, phosphor and potassium as is shown in Figure 3 (Stroosnijder, 1982; Pieri, 1989 and Stoorvogel & Smaling, 1990. The contents of these elements decrease, increase and remain constant respectively. Multiplying the root factor with nutrient distribution factors yield correction factors for nutrient uptake as shown in Table 3. If roots are at 60 cm depth, nutrient availability is as calculated with QUEFTS in module 3. If rooting is shallower, availability is less and if roots penetrate the soil into deeper layers the availability increases gradually.

Table 2 : Some characteristics of a loamy sand soil from Niono, Mali.

Particle size analysis (70, w/w)		Chemical characteristics	
Clay (< 2 μm)	5	pH water	6.0
Fine loam (2-16 μm)	5	pH KCl	4-5
Coarse loam (16-50 μm)	10	C (% w/w)	0.25
Very fine sand (50-105 μm)	35	N (% w/w)	0-025
Fine sand (105-210 μm)	25	CIN	10
Medium coarse sand (> 210 μm)	20	EC(1:5) (mmho/cm at 25°C)	0.03
Classification		Total P (yg/g)	100
Textural	: Loamy fine sand	P-Bray II (ug/g)	4
USA Soil Taxonomy	: Ultic Haptustalf	K(ug/g)	80
FAO/UNESCO World Map	: Eukic Nitosol	Fe1O1 (% w/w)	0.87
French system	: Sob ferralitiques	CEC (pH 7) (me/100 g)	2.0
Local name	: Séno	Na (% CEC)	-
		K (% CEC)	10
		Ca (% CEC)	60
		Mg (% CEC)	30
		Base saturation (%)	100
		CEC (me/100 g clay)	40
Soil structure			
Bulk density (kg m ⁻³)	at 5 cm depth 1650		
	at 15 cm depth 1550		
	at 25 cm depth 1450		

Table 3. Root distribution factor and correction factors for nutrient availability in case roots are deeper or less cleeper than the reference depth of 60 cm.

deptk (cm)	root factor	carbon factor	phosphor factor	potassium factor
000-020	0.57	0.27	0.14	0.19
020-040	0.86	0.65	0.52	0.58
040-060	1.00	1.00	1.00	1.00
060-080	1.09	1.02	1.04	1.03
080-100	1.14	1.06	1.11	1.09
100-120	1.19	1.11	1.23	1.19
120-140	1.21	1.15	1.34	1.28
140-160	1.23	1.20	1.47	1.38
160-180	1.24	1.24	1.60	1.48
180-200	1.26	1.28	1.76	1.61

3-3 Tillage - water

Cumulative infiltration (CUMI), for each of the 12 standard showers as defined in Table 1 is computed with the equation : $CUMI = S \sqrt{t}$. In this equation, S is an expression for the soil's sorptivity capacity for water. This calculation is performed for three S-values leading to $3 \times 12 = 36$ cumulative infiltration values. For each of the above 36 cases, runoff can then be calculated with the equation $r = P - CUMI - SS$. P is the shower size and SS the surface storage, i.e. the amount of precipitation that can be held in the surface irregularities without running off. Three SS values are assumed leading to $36 \times 3 = 108$ runoff values.

For crusted, tilled and intermediate soil values for S and SS were taken from Stroosnijder and Hoogmoed (1984). This leads to runoff values as shown in Table 4.

The duration of the effect of tillage is made a function of the cumulative amount of rainfall (CUMRAIN) after last tillage. If this value reaches 100 mm and 200 mm, the intermediate and crusted stages as defined in Table 4 have been reached respectively. DUET.91 interpolates linearly between these points with CUMRAIN as the independent variable.

It is assumed that seedbed preparation tillage and sowing starts after the first rains. Since there is a good chance for viable germination and plant establishment after a decade with more than 20 mm of infiltration, this criterion was used to start the simulation of (crop and weed) growth. This value compensates the seasonable average value for soil evaporation of 2 mm/day (Stroosnijder & Koné, 1982 and Stroosnijder, 1987). In the simulation runs for the water limited production, the water conservation tillage were supposed to start 30 days before the start of the crop.

Table 4. Runoff percentage for 3 classes of showers and 3 stages of soil surface conditions for loamy sandy soil in the West African Sahel.

class	ave. rainfall	Percentage Runoff (%)		
		in class (mm)	crusted	intermediate
< 10mm	4.4	12	0	0
10-20mm	14.6	50	14	0
> 20mm	32.9	74	44	24
Crusted soil : Sorptivity = 1 mm/ min and surface storage = 0 mm				
Intermed. soil : Sorptivity = 2 mm/ min and surface storage = 2 mm				
Tilled soil : Sorptivity = 3 mm/ min and surface storage = 5 mm				

3-4 Crop

Crop data for Millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) were taken from van Heemst (1988).

3.5. Weeds

Weeds are supposed to have the same physiological characteristics as the crop, which means grassy weeds (Gramineae). In principle, development of the weeds was supposed to start slightly ahead of the crop at the (calculated) beginning of crop growth by a 5 % higher LAI.

The transpiration and evaporation is modified as a result of the changed radiation interception and shadowing effect due to weed growth. During crop and weed growth total water and nutrient availability is divided over crop and weeds. Availability of the "immobile" nutrient P is not affected, N availability for the crop is affected with the ratio WFN, calculated as $WFN = WWRAT + (1 - WWRAT) * 0.5$ with WWRAT : water uptake crop / water uptake weeds. Availability of K is supposed to be somewhere between N and P, so here WFN is taken as : $WFN = WWRAT + (1 - WWRAT) * 0.7$

3-6 Weeding

The tillage operations as used in this model study were supposed to have either a pure weeding effect, so no effect on crusting or infiltration, but purely the elimination of the (competitive) growth of a second "crop", or a combined effect on weed growth and soil hydrological characteristics.

3-7 Modelling schedule

In Table 5, it is shown what parameters were used and changed to calculate the effects of tillage and weeding.

Table 5 : Tillage and weeding intervals used in the simulation.

The value 0 in cases 6-9 indicates a weedfree situation.

case	tillage interval (days)	weeding interval (days)
1	15	15
2	30	30
3	45	45
4	45	15
5	200	15
6	15	0
7	30	0
8	45	0
9	200	0

Cases 1-5 indicate situations where weeds are present; in 1-3, the weeding activity is supposed to be such, that there is also a crust-breaking effect. In case 4 and 5, the weeding interval is set at 15 days, with a crust-breaking tillage interval set at 45 and 200 days respectively. Cases 6-9 represent situations where no account is taken for weed growth or competition.

4- RESULTS AND DISCUSSION

The main results of the simulations are summarised in Table 6. These results are averages over the 35-year period 1950-1984, with their standard deviation (in italics).

Figure 4 presents total annual rainfall (Average, AVG = 571 mm with a standard deviation, SD = 23%), the rainfall in the period covering the millet growing season of 76 days plus the "tillage governing season" of 30 days (AVG = 422 mm, SD = 22%). These data show a coefficient of variation of the rainfall of 23 % and 22 % respectively which is a normal value for SAT climates. Data suggest a trend over 35 years to lesser annual rainfall. Rainfall in the growing season (76 days) of a short duration millet variety is only 62% and shows a similar decreasing trend.

Figure 5 shows runoff in detail. In this graph, cases 1,2 and 5 (equalling 6,7 and 9 for this parameter) are represented. Without conservation the runoff during the growing season is as high as 31% (SD = 4%) and decreases with water conservation tillage till 22% while the standard deviation increases till 5%. This reduction of the runoff equals an amount of 37 mm.

Figure 6 shows the rooting depth of the millet crop as calculated in the water extraction module of the DUET.91 model. Without water conservation tillage and no weeds the average depth is 132 cm (SD = 31 %) and with tillage every 15 days this increases only slightly till 140 cm (SD = 30%). In a situation with weed competition, average rooting depth with frequent weeding and water conservation tillage (every 15 days) is 125 cm (SD

Table 6. Main results of simulation.

TI = tillage interval, WI = weeding interval, rd. = rooting depth, gryld wl = water limited grain yield, gryld nl = nutrient limited grain yield, actyld = actual yield (minimum of water or nutrient limited yield).

case	TI days	Wi days	rd. cm	runoff %	gryld wl kg/ha	gryld nl kg/ha	actyl d kg/ha
1	15	15	125	22	829	358	357
			39	24	51	34	35
2	30	30	119	26	716	340	336
			39	20	53	35	36
3	45	45	114	28	541	317	297
			35	16	56	27	35
4	45	15	120	28	733	347	343
			40	16	53	38	38
5	200	15	120	31	721	346	341
			40	14	54	38	38
6	15	0	140	22	861	394	383
			30	24	49	27	30
7	30	0	136	26	810	386	375
			30	20	50	26	30
8	45	0	133	28	762	381	367
			31	16	52	26	31
9	200	0	132	31	750	380	365
			31	14	53	26	31

39%). A decreasing weeding and tillage frequency to 45 days gives an average depth of 114 cm with an SD of 35%. Since millet can easily root as deep as 200 cm these data show that there is no loss of water due to deep percolation below the root zone.

Figure 7 gives, for the water limited production, the water use efficiency defined as the crop transpiration divided by the rainfall in the growing season. Without water conservation tillage, this efficiency is 10.6% (SD = 43%) and increases only slightly to 11.3% (SD = 49%) if water conservation tillage (15 day interval) is applied.

These figures imply that only 45 mm and 48 mm water is used for transpiration respectively. Note that this amount is in the same order or magnitude as the gain in water due to a reduction in runoff from 31 to 22%.

Since the total (above ground) biomass is 3067 and 3255 kg dry matter / hectare respectively it can be calculated that the Transpiration Coefficient is 147 kg water / kg dry matter.

Figure 8 shows (weedfree) water limited grain production without water conservation tillage (AVG = 750 kg DM/ha, SD = 53%) and Figure 9

the same data for regular (15 day interval) tillage (AVG = 861 kg DM/ha, SD = 49%). There is an increase of 111 kg DM/ha but also an increase in seasonable variation in kg DM/ha.

Predicted average levels for nutrient limited grain production are 380 kg DM/ha (SD = 26%) without tillage (Figure 8) and 394 kg DM/ha (SD = 27%) with tillage (Figure 9).

Actual production is the minimum of both calculated levels and is shown in Figure 10. In 65 % of the years this is the nutrient limited production in case no water conservation tillage is applied (Figure 8). If such tillage is performed every 15 days, this percentage increases till 75 % (Figure 9).

In Figures 11, 12 and 13 the results with respect to a situation with weed competition is shown. Figure 11 gives a water limited grain yield of 721 kg DM/ha (SD = 54%) and a nutrient limited yield of 346 kg DM/ha with SD = 38%. This applies for a situation without water conservation tillage, but weeding every 15 days. Figure 12 shows the results with both weeding and water conserving tillage every 15 days, Figure 13 the interval for the same activities is 45 days. Average yields are 829 (SD 51%) and 541 (SD 56%) kg DM/ha, respectively. The difference in nutrient limited yields is less : from 358 (SD 34%) to 317 (SD 27%). The actual production for the weedy situation is given in Figure 14. Average yields are now 341 (SD 38%), 357 (SD 35%) and 297 (SD 35%), respectively.

The conclusion of this study is that conservation tillage alone (without an additional increase in external nutrient inputs) has a marginal effect. Actual grain production, Figure 10, increases from 365 kg DM/ha (SD = 31 %) to 383 kg DM/ha (SD = 30%), i.e. 18 kg only, with no improvement in the production risk. Compared to this, when competition by weeds is considered, there is a clearer effect; weeding plus conservation tillage gave an increase from 297 (SD 35%) to 357 kg DM/ha (SD 35%), when the interval was shortened from 45 to 15 days.

So, according to this study, water conservation should not be our first priority but an increase of external inputs. The results obtained with this study show that external inputs in the form of fertilizer have the highest impact, followed by the weeding, as can be seen clearly in Table 6 when comparing water limited yields with actual yields.

Even with inputs and water conservation tillage, the yield gap between achievable and the zone's potential grain production of 1500 kg grain/ha, remains large. This is partly caused by the fact that the tillage reduces the runoff only from 37% till 26%. When more rigorous water conservation can be achieved and runoff completely be reduced, the water limited production could be increased till 861 kg grain/ha. For the remainder of the yield gap the application of secure water harvesting or irrigation is needed. Another justification for water harvesting or irrigation is the large annual variation of the rainfed production.

5- LIMITATIONS AND RECOMMENDATIONS

- (1) DUET.91 provides for a dynamic simulation of crop growth as a function of available water. Nutrient requirements and availability are not treated in a dynamic way. According to DUET.91 improved water availability early in the season leads to an increase in vegetative growth. One may wonder whether this is realistic under low nutrient availability conditions. However, it is commonly accepted that the majority of nutrients is liberated by mineralization of the soil's organic matter early in the season in the form of a flush. Therefore the implicit assumption of a high nutrient supply early in the season seems to be allowed.
- (2) Weather data include daily amounts of rainfall. However, often no information about the duration or intensity of rainstorms is available. This makes it not possible to match rainfall with the (limited) infiltration capacity of the soil in

- direct way. In DUET.91 an empirical relation between the size of the shower and its intensity was used to estimate the fraction of runoff of that shower for a given infiltration rate of the soil.
- (3) Data of the soil's infiltration capacity as a function of cumulative amount of precipitation are scarce and need to be determined in the Sahel using portable rainfall simulators.
- (4) After tillage, creating a dry soil mulch, the actual soil evaporation is reduced and its value is gradually restored as a function of the cumulative rainfall after tillage. This is not yet included in DUET.91. A similar but inverse functional dependence as used for the effect of tillage on infiltration, with regards to soil evaporation should be included.
- (5) Tillage increases the soil's susceptibility for erosion. Each tillage operation may remove part of the nutrients that come available from the mineralization of organic matter (module 3) as well as from externally applied fertilizers. Although this amount may seem small on the short-term, an increase in the number of tillage operations over a period of tens of years may show a dramatic effect on the stock of soil nutrients. This effect will be taken into account by Berkhout et al., 1992.

6- REFERENCES

- Belmans, C., J.G. Wesseling and R.A. Feddes, 1983. Simulation of the water balance of a cropped soil : SWATRE. *Journal of Hydrology*, vol. 63, p. 271-286.
- Berkhout, J.A.A. and H. van Keulen, 1986. Potential evapotranspiration. In : H. van Keulen and J Wolf (Eds.), *Modelling of agricultural production : weather, soils and crops. Simulation Monograph*, PUDOC, Wageningen, The Netherlands.
- Berkhout, J.A.A., W.B. Hoogmoed, W.B. and L. Stroosnijder, 1992. Evaluating effects of soil erosion on agricultural production potentials using simulation models. (To be submitted to CATENA).
- Diepen, C.A. van, C. Rappoldt, J. Wolf and H. van Keulen, 1988. CWFS Crop Growth Simulation Model WOFOST. Documentation Version 4.1. Centre For World Food Studies, Amsterdam-Wageningen, 299 p.
- Diepen, C.A. van, J. Wolf, H. van Keulen and C. Rappoldt, 1989. WOFOST : a simulation model of crop production. *Soil Use and Management*, 5 : 16-24.
- Diepen, C.A. van, H. van Keulen, J. Wolf and J.A.A. Berkhout, 1991. Land evaluation : from intuition to quantification. *Advances in Soil Science Vol. 15* : 139-204.
- Heemst, H. van, 1988. Plant data values required for simple and universal simulation models : review and bibliography. Simulation report CABO-TT nr. 17, Wageningen.
- Hoogmoed, W.B. and L. Stroosnijder, 1984. Crust formation on sandy soils in the Sahel. I. Rainfall and infiltration. *Soil & Tillage Research*, 4 : 5-23.
- Hoogmoed, W.B. and M.C. Klaij, 1990. Soil management for crop production in the West African Sahel. I : Soil and climate parameters. *Soil & Tillage Research*, 16 : 85-103.
- Huygen, J., 1988. DUET User Manual, Version 2.0. MARS project, ICW, Wageningen, The Netherlands.
- Janssen, B.H., F.C.T. Guiking, D. van der Eijk, E.M.A. Smaling, J. Wolf and H. van Reuler, 1990. A system for quantitative evaluation of the fertility of tropical soils (QUEFTS). *Geoderma*, 46 : 299-318.
- Keulen, H. van, J.A.A. Berkhout, C.A. van Diepen, H.D.J. van Heemst, B.H. Janssen, C. Rappoldt and J. Wolf, 1987. Quantitative land evaluation for agro-ecological characterization. In : A.H. Bunting (Ed.), *Agricultural Environments*, CAB International, Wallingford, UK.
- Keulen, H. van and H. Breman, 1990. Agricultural development in the West African Sahelian region : a cure against land hunger? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 32 : 177-197.

- Pieri, C., 1989. Fertilité des terres de savanas; bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Ministère de la Cooperation et CIRAD-IRAT, France, 444 pp.
- Stoorvogel, J.J. and E.M.A. Smaling, 1990. Assessment of soil nutrient depletion in Sub-Saharan Africa : 1983-2000. Volume I of Report 28 of The Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research, Wageningen, The Netherlands, 137 pp.
- Stroosnijder, L., 1982. La pedologie du Sahel et du terrain d'étude. Dans : F.W.T. Penning de Vries & M.A. Djiteye (Editors), La productivité des paturages Sahéliens. Agric. Res. Rep. 918, p. 52-71. PUDOC, Wageningen.
- Stroosnijder, L., 1987. Soil evaporation : test of a practical approach under semi-arid conditions. Netherlands Journal of Agricultural Science, 35 : 417-426.
- Stroosnijder, L., 1991. Modelling the effect of grazing on the soil water balance and the primary production in the Sahel. Workshop on Soil Water Balance in the Sudano-Sahelian Zone, Niamey, Niger.
- Stroosnijder, L. & H.D.J. van Heemst, 1982. La meteorologie du Sahel et du terrain d'étude. Dans : F.W.T. Penning de Vries & M.A. Djiteye (Editors), La productivité des paturages Sahéliens. Agric. Res. Rep. 918, p.37-52. PUDOC, Wageningen.
- Stroosnijder, L. & D. Koné, 1982. Le bilan d'eau du sol. Dans : F.W.T. Penning de Vries & M.A. Djiteye (Editors), La productivité des paturages Sahéliens. Agric. Res. Rep. 918, p.133-165. PUDOC, Wageningen.
- Stroosnijder, L. & W.B. Hoogmoed, 1984. Crust formation on sandy soils in the Sahel; II : Tillage and its effects on the water balance. Soil & Tillage Research, 4, p.321-337.
- Stroosnijder, L. and W.B. Hoogmoed (Eds.), 1991. Amenagement et gestion des terroirs sylvo-pastoraux au Sahel. Programme de la recherche 'SAHEL' 1991-1996. Université Agronomique Wageningen, Pays Bas.
- Stroosnijder, L. and T. van Rheenen, 1991. Making Farming Systems Analysis a more objective and quantitative research tool. Proc. Intern. Symp. on Modelling in Agricultural Research in Developing Countries, Bangkok, Thailand.
- Stroosnijder, L., W.B. Hoogmoed and J.A.A. Berkhout, 1991. Modelling effects of water conservation tillage in the semi-arid tropics. Paper presented at the symposium on "Gestion agroclimatique des précipitations, une voie de reduction du gap technologique de l'agriculture tropical africaine", December 1991, Bamako, Mali, 18 pp.

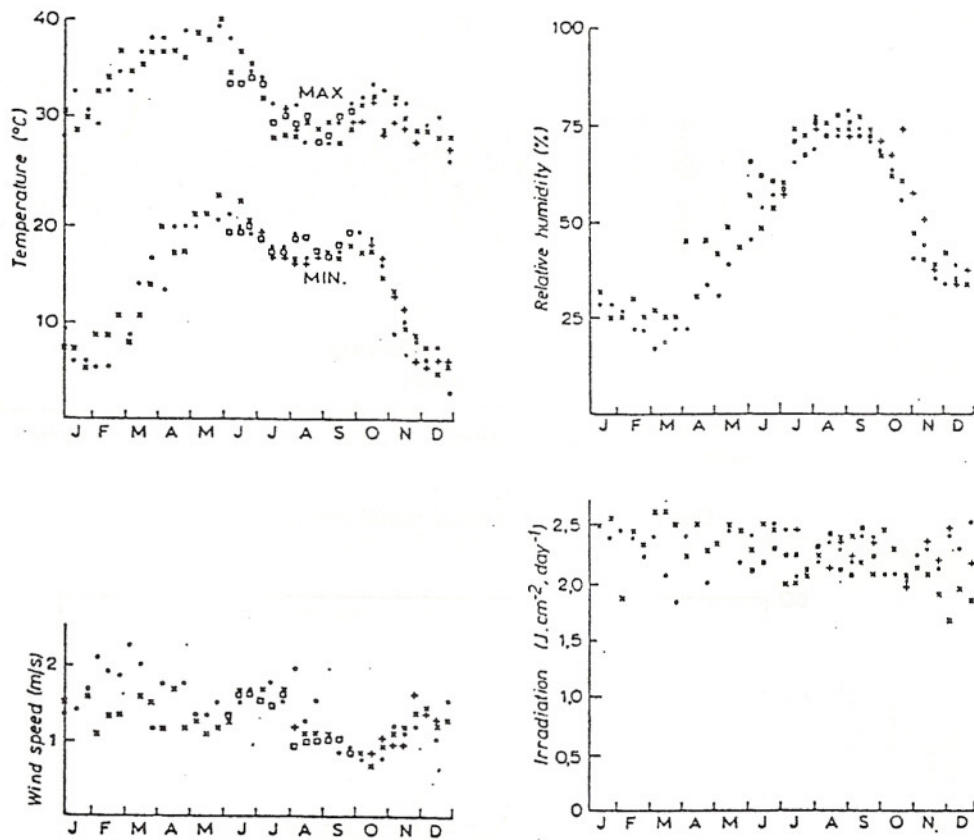


Figure 1. Daily max. and min. air temp, rel. hum., wind speed and irradiation. Values measured at Niono (Mali) over 4 years.

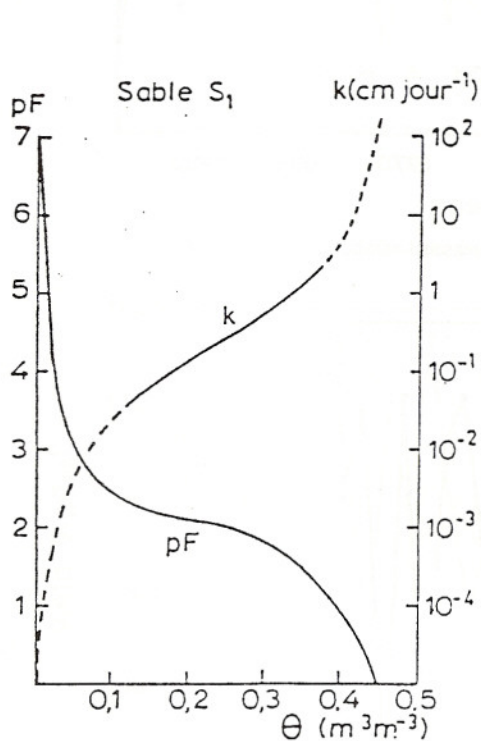


Figure 2. Water retention and conductivity of unsaturated soil:

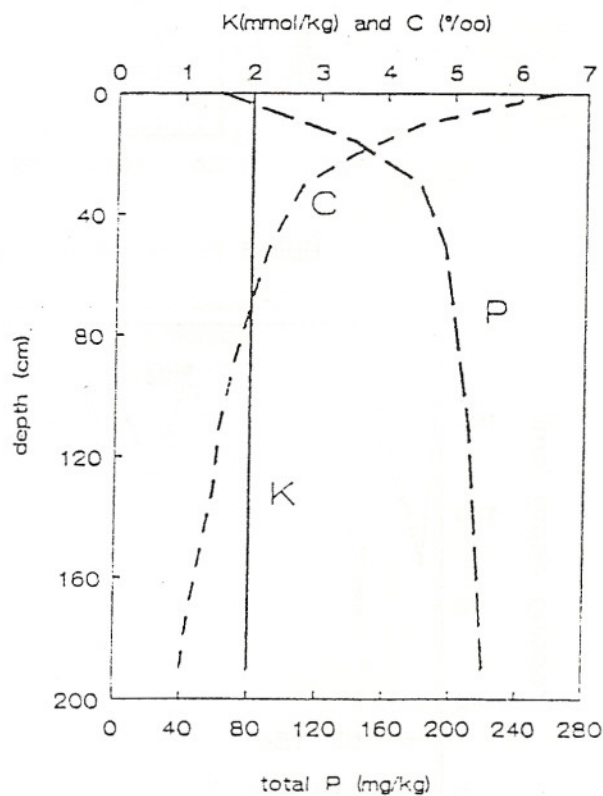


Figure 3. Distribution of C, K and P with depth.

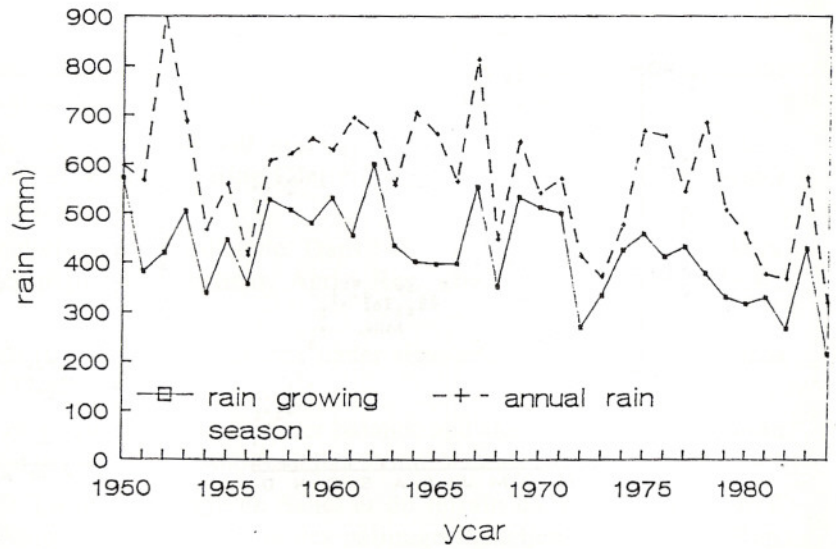


Figure 4. Seasonal and annual rainfall over 1950 - 1984.

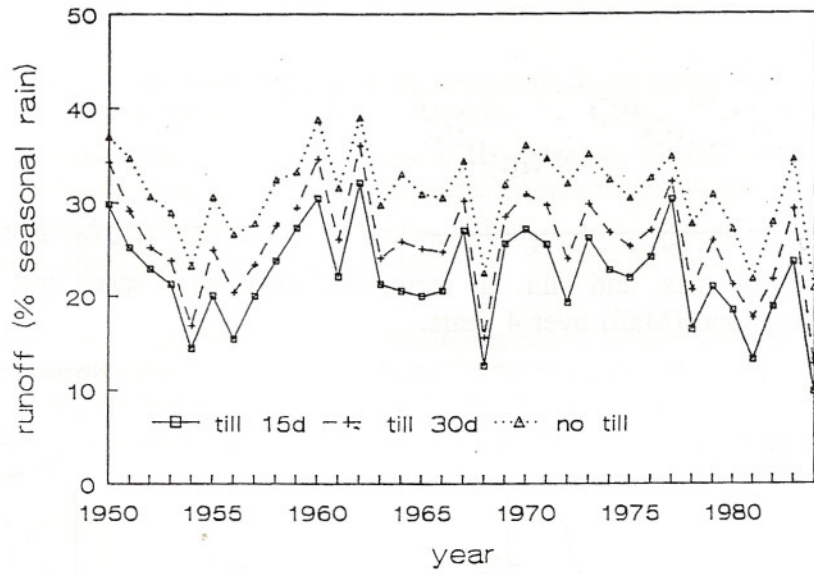


Figure 5. Runoff during growing season (% of seasonal rainfall).

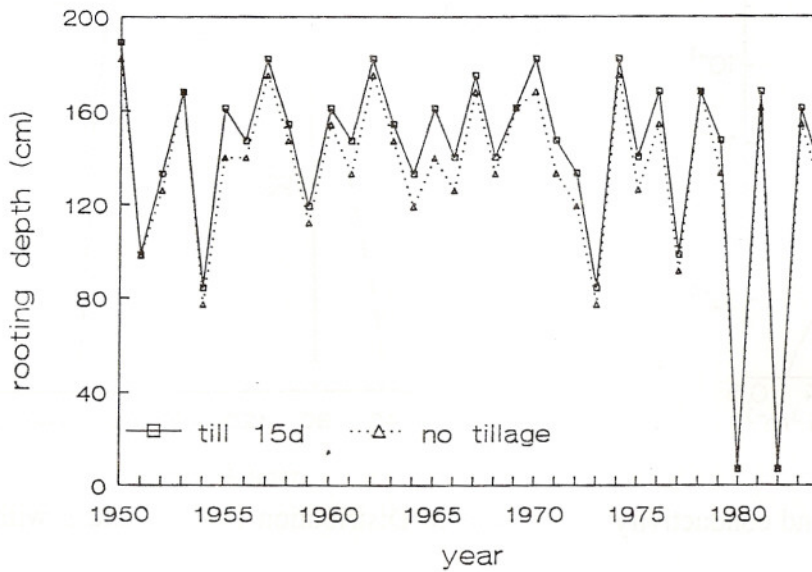


Figure 6. Rooting depth (based on wetting of profile).

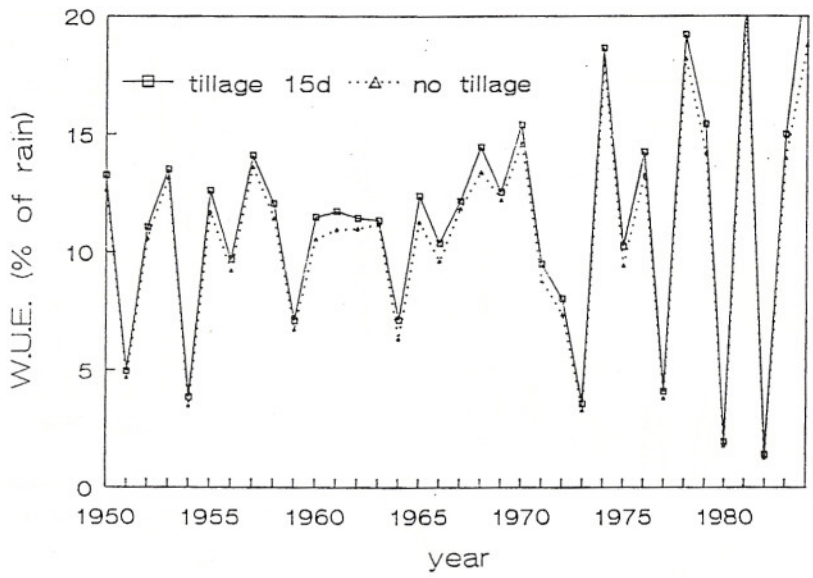


Figure 7. Water-use efficiency (transp. as % of seasonal rain).

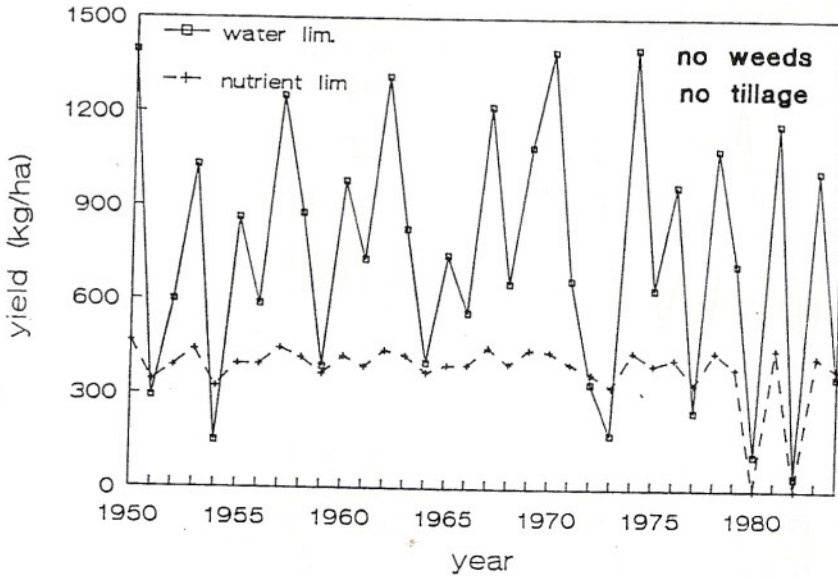


Figure 8. Grain production: no-tillage situation (weedfree).

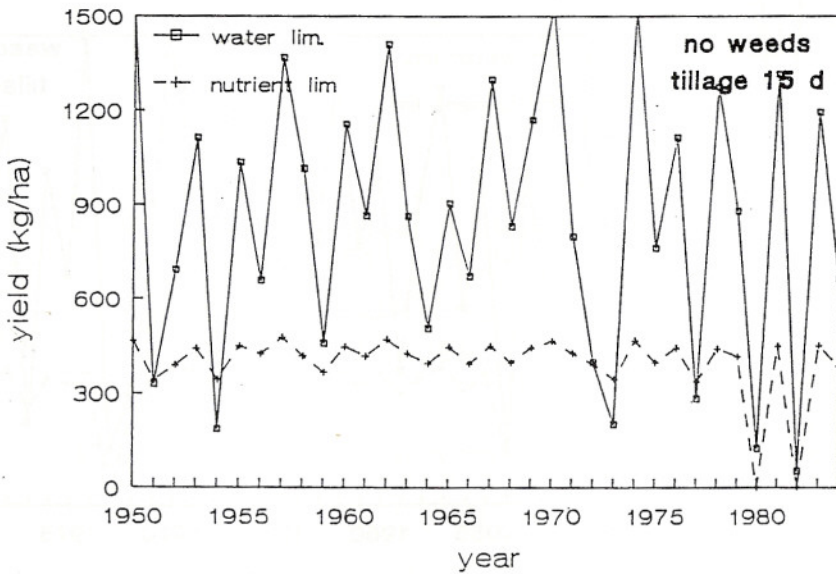


Figure 9. Grain production: tillage every 15 days (weedfree).

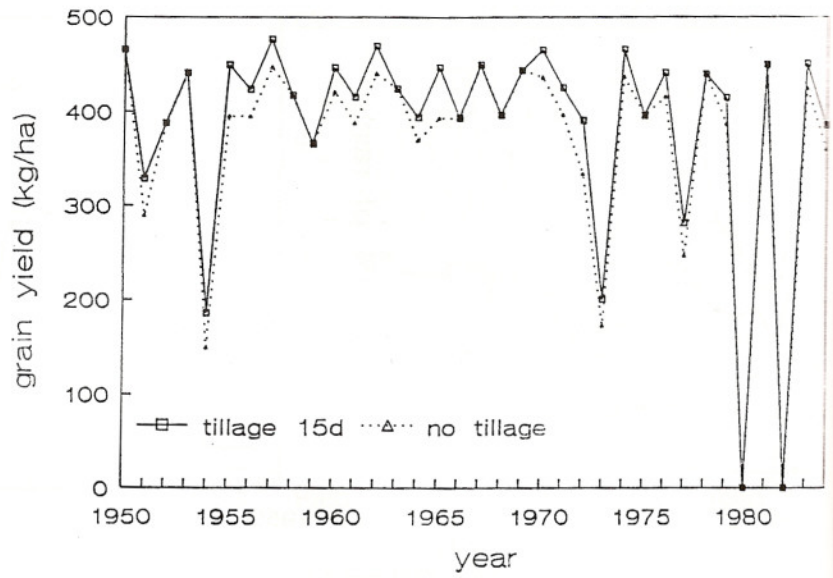


Figure 10. Actual (weedfree) grain production (minimum of water or nutrient limited).

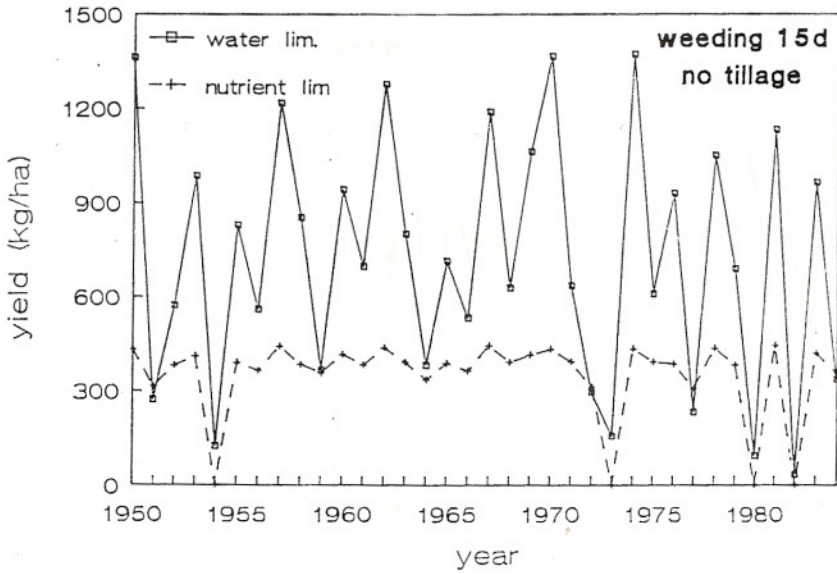


Figure 11. Grain production: no tillage, weeding every 15 days.

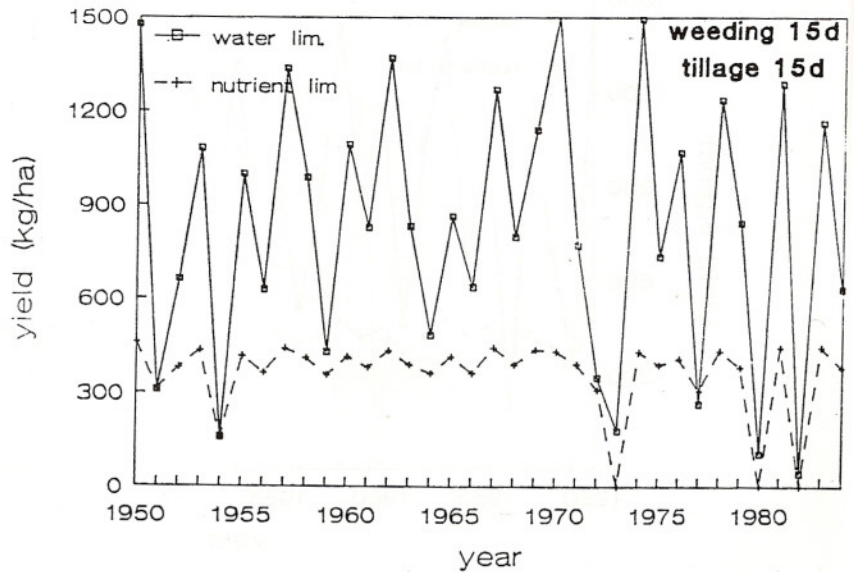


Figure 12. Grain production: both tillage and weeding every 15 days.

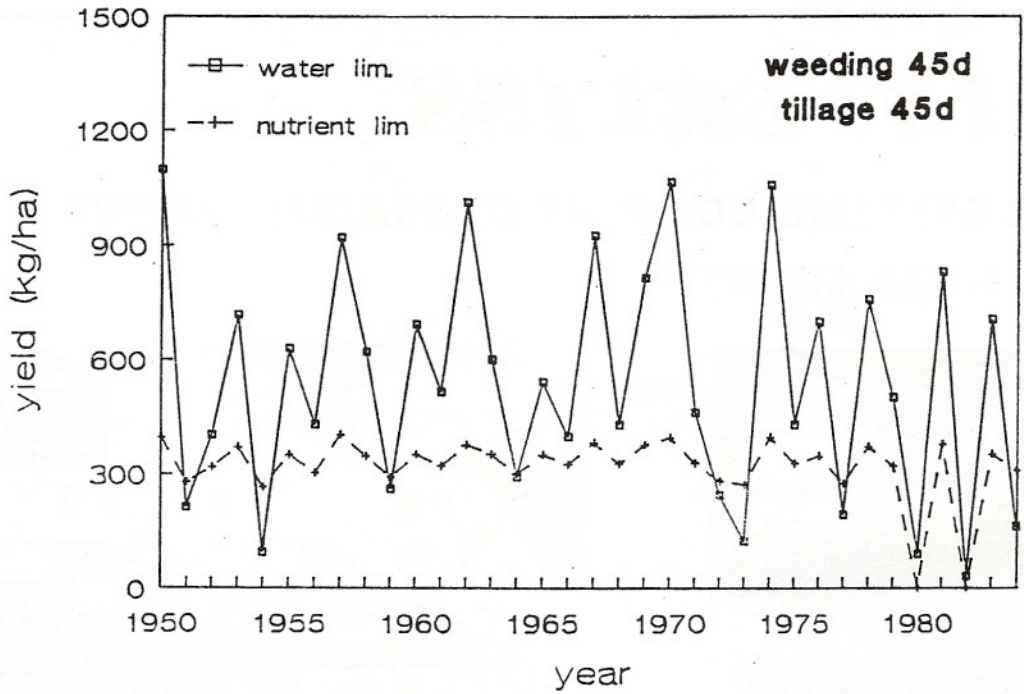


Figure 13. Grain production: both tillage and weeding every 45 days.

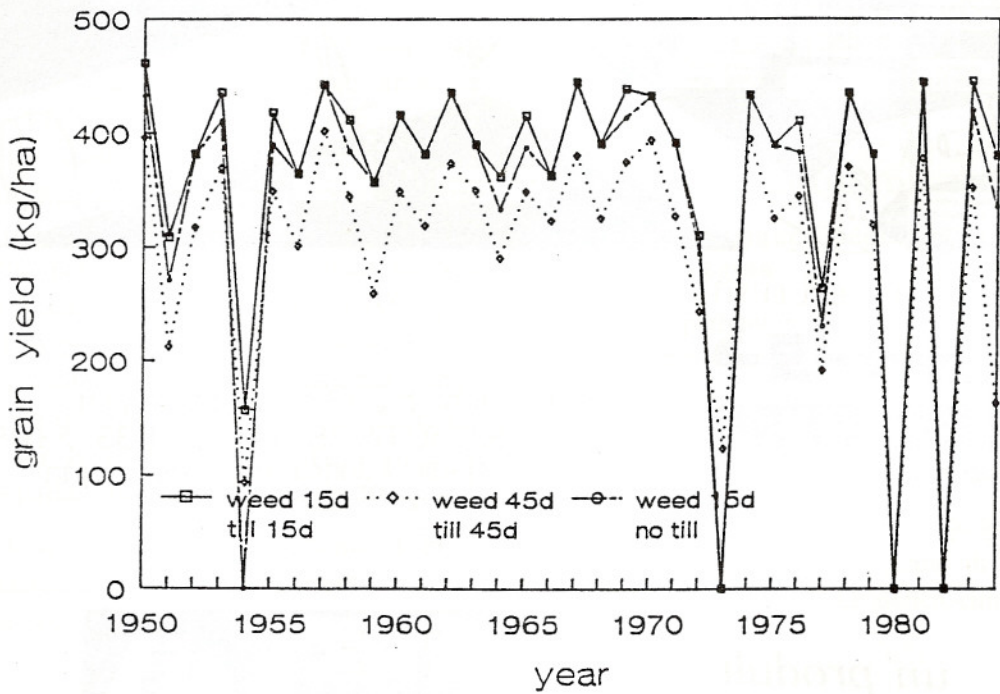


Figure 14. Actual (weedy) grain production (minimum of water or nutrient limited).

REUSSITE DU SEMIS, CONSERVATION DE L'EAU ET EFFICIENCE DE SON UTILISATION PAR LE BLE TENDRE : CAS D'UN TERRAIN EN PENTE DE LA REGION DE MEKNES.

Nebras, M. (1) ; A. Bouaziz (2) et H. Chekli (3)

I- INTRODUCTION

Dans les zones arides et semi-arides du bassin méditerranéen, l'eau est l'un des facteurs principaux qui limitent la production. Dans le cas du Maroc, les rendements céréaliers sont faibles même en zone sub-humide où la pluviométrie est supérieure à 500 mm/an. Sur les terrains en pente de la zone Nord-Ouest, le ruissellement des eaux de pluie, l'inadaptation du matériel végétal, la non-maîtrise des techniques de désherbage et de lutte contre les maladies cryptogamiques en plus de la fertilisation notamment azotée, constitueraient les principales causes de cette faiblesse. L'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau revêt donc un intérêt certain, que ce soit en zone aride et semi-aride (El Mourid 1988) ou en zone sub-humide. Concernant les travaux du sol, les études réalisées au Maroc, à ce sujet se sont surtout intéressés: (i) à la façon dont il faudrait travailler le sol pour éliminer les obstacles physiques de type semelle de labour en périmètre irrigué (Oussible, 1986), (ii) à la préparation des lits de semences en vue de la réussite des semis en conditions sèches (Bouaziz, 1987), et aux effets des itinéraires techniques sur la conservation de l'eau en zone aride et semi-aride (Bouzza 1990; Chekli, 1991).

Si en terrain plat, on commence à avoir certaines références sur les manières dont il faudrait travailler le sol, le Problème reste entier sur les

terrains en pente, vu les pertes en eau et en sol qui peuvent être occasionnées par les pluies assez brutales en climat méditerranéen.

Les objectifs attribués à ce travail consistent à tester des techniques qui permettent : (i) de réussir l'installation de la culture du blé tendre par le biais de l'affinement des lits de semences, en vue d'avoir des peuplements pieds satisfaisants qui peuvent conduire à des nombres d'épis/m² adéquats, (ii) d'améliorer le stockage et l'utilisation des eaux de pluies, en réduisant le ruissellement, en facilitant l'infiltration, et en favorisant la croissance des racines. Le désherbage a également été testé pour réduire les pertes par évapotranspiration dues aux adventices, en les détruisant chimiquement.

II- METHODOLOGIE DU TRAVAIL

1- Caractéristiques pédoclimatique de la région

L'expérimentation a été conduite sur une parcelle d'environ 3 ha du domaine de la ferme expérimentale de l'E.N.A. de Meknès. Sur l'emplacement de l'essai la pente moyenne de la parcelle est inférieure à 5% (Salmi, 1989).

Le climat de la région est de type semi-aride, avec une pluviométrie moyenne de 577,2 mm/an (Ben Lhamdani, 1991). Le déficit climatique moyen

(1) Ex-étudiant de 3e cycle Agronomie de l'IAV Hassan II, Actuellement, Ingénieur Agronome et Directeur du C.T. de Médiouna Casablanca.

(2) Professeur au Département d'Agronomie et d'Amélioration des Plantest IAV Hassan II, Rabat.

(3) Professeur au Département de Machinisme Agricole, ENA de Meknès.

est de 732,3 mm/an (Tableau 1). La période qui s'étend entre les mois de Novembre et Mars, est en moyenne sans déficit climatique (Ben Lhamdani, 1991). Concernant les températures, la moyenne des maxima du mois le plus chaud est de 32,1°C et celle des minima du mois le plus froid est de 5,7°C. Le quotient pluviothermique d'Emberger et Sauvage Q est 74.

Tableau 1 : Les paramètres climatiques de la région de Meknès (Moyenne de 31 ans : 1956 à 1986). (Benlhamdani, 1991).

	Pluie (mm)	ETP (mm)	ETP-P (mm)
Moyenne	577,2	1309,6	732,3
Coeff. Var. (%)	28,6	4,5	27,5
Hinimum	282,3	1173,3	152,8
Maximum	1087,6	1420,5	1116,5

Le sol de la parcelle est assez profond développé sur calcaire tuffeux sur une profondeur d'environ 40 à 60 cm. La partie supérieure du profil est de texture argilo-limoneuse. Les caractéristiques hydriques du sol, sont de l'ordre de 36 et 16 % respectivement pour les humidités à la capacité au champ (Hcc) et au point de flétrissement (HpF 4,2).

2- Choix des traitements

Pour répondre aux objectifs envisagés, l'étude a porté sur la comparaison d'une série de méthodes de travail du sol en interaction avec la lutte chimique. Les méthodes testées diffèrent par les outils primaires utilisés pour la préparation du sol (la charrue à socs, la charrue à disques, le chisel et le pulvériser), et ceux de reprise (le pulvériser et le vibroculteur), en plus du rouleau.

A coté des méthodes de travail du sol, une situation de zéro labour (semis direct), a été testée. Les traitements retenus sont les suivants :

- Charrue à socs + 2 Cover crop croisés + Semoir + rouleau : CHSCCR
- Charrue a socs + Vibroculteur + Semoir : CHSV
- Charrue à disques + Cover.crop croisés + semoir : CHDCCR

- Charrue à disques + Vibroculteur + semoir : CHDV
- Chisel croisé + 2 Cover crop croisés + Semoir : CHZCC
- Chisel croisé + Vibroculteur + Semoir : CHZV
- Cover-crop + 2 Cover crop croisés + Semoir + rouleau : CC2CCR
- Cover-crop + 2 Cover-crop croisés + Semoir + Rouleau + Cuvettes : CC2CCRCU
- Zéro labour ou Semis Direct : S.D

En vue d'étudier l'effet des mauvaises herbes sur les disponibilités en eau du sol, chaque parcelle correspondant aux traitements définis auparavant, a été divisée en 2 parties, l'une traitée contre les mauvaises herbes et l'autre non-traitée.

3- Conduite de l'essai

3-1 Précédent cultural

L'essai a été installé sur un précédent blé tendre.

3-2 Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé, est la variété de blé tendre Marchouch, ayant une faculté germinative de 98 à 99%, et un poids de 1000 grains de 46,6 grammes.

3-3 Le travail du sol

Les travaux primaires (charrue à socs, charrue à disques et chiselage) ont eu lieu durant la deuxième décade du mois de Juillet 1990. Le travail primaire superficiel (cover-crop croisé) a eu lieu durant la deuxième décade du mois d'Octobre. Alors que les façons de reprise destinées à la préparation du lit de semence, et à l'enfouissement des engrais de fond, ont eu lieu la première décade du mois de Novembre 1990. Elles ont été réalisés avec le pulvériser et le vibroculteur.

Le passage du rouleau a été pratiqué juste après le semis (le 07/11/90) pour les traitements où le pulvériser (cover-crop) a été employé comme outil de préparation du lit de semences. Pour étudier leurs effets sur le stockage de l'eau du sol dans les terrains en pente des petites cuvettes ont été confectionnées manuellement avec des binettes entre les lignes de semis dans chaque moitié des parcelles travaillées uniquement au cover-crop au stade levée.

3-4 La fertilisation

Un engrais de fond de type 0-23-23 avec une quantité de 300 kg/ha a été épandu le 01/11/1990. Pour l'engrais de couverture, deux apports d'urée 46% ont été effectués pour un total de cent unités d'azote/ha. 60 Unités/ha au stade début montaison et 40 à la fin montaison.

3-5 Contrôle des mauvaises herbes

Pour lutter contre les mauvaises herbes, deux traitements ont été effectués : (i) le premier au stade tallage, et le produit appliqué est le Printyl à la dose de 1,5 l/ha; (ii) le deuxième traitement mixte, composé de 3 litres de Grasp et 1,5 l/ha de Bucril au stade début épiaison.

4- Observations et mesures

4-1 Le milieu

a- Humidité du sol et évapotranspiration réelle

L'humidité du sol a été mesurée en utilisant la méthode gravimétrique. Pour l'humidité du lit de semences, les prélèvements ont été réalisés sur des épaisseurs assez faibles par pas de 2 cm jusqu'à 10 cm, ensuite tous les 5 cm de 10 à 20 cm. Pour le reste du profil, en vue de calculer l'ETR des prélèvements ont été effectués tout les 10 cm jusqu'à un mètre. Les échantillons séjournent à l'étuve 24 heures à la température de 105 degré après quoi on détermine leur poids sec.

Les humidités pondérales obtenues sont transformées en humidité volumique (H.V) en utilisant l'équation suivante :

$$H.V \% = HP \times da$$

da = densité apparente

HP = Humidité pondérale (en %)

L'évapotranspiration réelle (ETR) est déterminée à partir de l'équation :

$$ETR (mm) = P + S - R - D$$

P = précipitation (mm)

D = Drainage (mm) (négligeable, D = 0)

R = Ruissellement (mm)

Le coefficient de ruissellement a été déterminé de la manière suivante :

$$a = \frac{\text{Pluie infiltrée}}{\text{Pluie totale}}$$

b- Les états structuraux de surface

Après le semis, des mesures de la taille des éléments structuraux à la surface du sol ont été réalisées sur chaque parcelle selon la méthode des transects : nous avons mesuré le diamètre des éléments structuraux tous les 30 cm sur un transect de 9 m, le long d'une ligne perpendiculaire au dernier travail du sol. La mesure a été répétée 4 fois pour chaque traitement et pour chaque bloc.

4-2 Le végétal

a- La germination au champ

A la fin de la levée, nous avons effectué des comptages de graines germées et levées, germées non levées et des graines non germées. Les comptages ont été réalisés après destruction de placettes de 2 m² consacrées au suivi de l'évolution des levées.

b- La profondeur de semis

A la fin de la levée, 25 plantules par placette de 2 m², ont été prélevées, et la longueur de leurs parties blanches (comprises entre le niveau du sol et la graine) a été mesurée.

c- Cinétiques des levées

Dès l'émergence des premières plantules, des comptages systématiques, ont été effectués sur des placettes de 2 m² tous les 4 ou 5 jours sur tous les traitements jusqu'à l'arrêt de l'émergence.

d- Peuplement pied en fin de levée

Les peuplements pieds, ont été obtenus à partir des comptages effectués sur 4 placettes de 2 m² par traitement et par bloc.

4-3 Les mauvaises herbes

Deux paramètres ont été mesurés sur des placettes de 0,12 m² (0,4 x 0,3 m) : (i) la densité au stade montaison épiaison et (ii) la biomasse le long du cycle de la culture.

4-4 Dynamique de la croissance de la culture

a- Tallage herbacé et matière sèche

Les mesures du tallage et de matière sèche totale ont été faites pour les différents stades phénologiques à partir du stade début tallage. L'échantillon de base a été prélevé sur 3 placettes de 0,4 et chacune pour chaque unité expérimentale et pour chaque bloc. Le même échantillon est utilisé à la fois pour le tallage et la matière sèche. Cette dernière est obtenue après séchage de tout l'échantillon dans une détuve à 105 degré pendant 24 heures.

b- L'enracinement

La densité racinaire a été déterminée à partir des tranchées de 100 cm par la méthode du cylindre. Un prélèvement a été effectué sur la ligne de semis et un autre sur l'interligne. Les échantillons de sol contenant les racines ont été déposés dans des boîtes en plastique contenant de l'eau salée, qui favorise la dispersion des argiles durant 24 h, après quoi les racines ont été ensuite lavées sous jet d'eau en utilisant des tamis de 1 et 2 mm jusqu'à ce que le sol soit passé en dessous. Les racines récupérées ont servi pour la matière sèche des racines après séchage à l'étuve.

4-5 Rendement et ses composantes

Les différentes composantes du rendement ont été notées sur des placettes de 15 m² chacune par unité expérimentale, récoltées pour la détermination du rendement biologique et du rendement grain. Le nombre de grains/épi et le poids de 1000 grains ont été déterminés à partir des échantillons de 40 épis.

III- RESULTATS ET DISCUSSION

1- Caractérisation climatique de la campagne 1990-91

a- Le régime pluviométrique

La pluviométrie totale de la campagne 1990-91 a été de 523,3 mm. Le tableau 2 en donne la distribution.

La distribution des précipitations montre que la pluviométrie semble régulière. Le début de la campagne a été pluvieux puisqu'on a reçu 101,8 mm durant les mois de Septembre, Octobre et Novembre. La campagne a été caractérisé par deux périodes très pluvieuses. La première durant le mois de Décembre, avec une quantité de 108,7 mm et la seconde allant de début Février jusqu'au la fin du mois de Mars avec une quantité de 237,2 mm dont

Tableau 2 : Distribution saisonnière de la pluviométrie pour la campagne 1990-91.

DECADE	MOIS										TOTAL
	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	
D1	0.0	0.2	12.0	88.7	0.0	47.0	46.5	5.5	0	0	199.9
D2	7.3	8.4	0.0	14.2	3.5	57.0	39	1.6	0	0	131.0
D3	7.0	14.0	52.9	5.8	11.8	26.8	55.4	14.1	3	1.6	192.4
T.M.	14.3	22.6	64.9	108.7	15.3	130.8	140.9	21.2	3	1.6	523.3

T.M. : Total Mensuel

Keuls a révélé des différences entre traitement. Les méthodes de travail du sol profond ont donné des peuplements pieds (Plantules levées) plus élevés que les méthodes de travail superficiel (Tableau 4). Le semis direct a donné le plus faible peuplement pied à cause des attaques parasitaires.

3- Les facteurs influençant le déroulement de la phase semi-levée

3-1 La profondeur de semis

La localisation des graines dans le profil a été assez hétérogène. L'irrégularité d'emplacement des graines a eu comme conséquence des germinations et des levées échelonnées dans le temps (figure 1), à cause des conditions hydriques (Owen, 1952). Ce fait s'est traduit par une avance de croissance des plantules qui lèvent avant les autres et auront tendance à accumuler d'avantage de matière sèche d'où l'intérêt d'un semis homogène.

3-2 La structure du sol

Le tableau 4 réservé à la levée montre que pour les séquences techniques où le Vibroculteur a été utilisé comme outil de reprise, il a laissé une surface plus grossière, les levées ont été affectées par la taille des mottes. Ainsi, des grains germés n'ont pas pu émerger vue l'abondance des grosses

mottes qui ont constitué des obstacles à l'apparition des jeunes plantules à la surface du sol. Tandis que les mottes de diamètre appartenant à la classe 1-3 cm, n'ont pas gêné la sortie des plantules. Les mottes expliquent en partie la faiblesse des levées dans les structures grossières et dans une moindre mesure dans les structures moyennes.

3-3 La croûte de battance

La croûte de battance créée par un orage survenu juste après semis, a constitué un obstacle à l'émergence des jeunes plantules. Les structures grossières et dans une moindre mesure la structure moyenne, paraissent légèrement moins touchées par le phénomène de "battance", suite à l'amortissement du choc des gouttes de pluie par les mottes en surface ; rôle joué aussi par les chaumes dans le cas du semis direct, contrairement aux structures fines, où le phénomène de battance a été très accentué ce qui a retardé les levées sur ces dernières.

Dans le cas des structures grossières, étant donné le phénomène de prise en masse, sur 3 à 4 cm entre et sous les mottes, il y a eu une réduction des possibilités d'émergence d'où une perte importante de plantules (tableau 4).

Tableau 4 : Peuplements obtenus et manqués à la germination et à la levée

Traitement	Graines						
	Plantules levées	Germées	Germées non levées			Non germées	
			ravagées	croûte	mottes	vidées	perdus
CHSV	209	313	17	17	15	6	8
CHSCCR	254	319	58	6	1	5	3
CHDV	204	312	73	16	19	5	10
CHDCCR	245	318	66	5	2	4	5
CHZV	200	312	84	15	13	5	10
CHZCC	218	315	82	9	6	8	4
CCCCR	111	309	194	4	0	12	6
SD	63	286	222	3	0	15	27

La croûte de battance avait un double effet sur la levée. Elle a réduit le nombre de plantules levées dans le cas des structures grossières, moyennes et dans une moindre mesure sur les structures fines. D'autre part elle a retardé les levées particulièrement dans le cas des structures fines.

4-1 Le parasitisme

Les dégâts économiques les plus importants sont celles constatées dans le cas du semis direct, suivi du travail du sol superficiel. Les attaques sont dues à une larve d'un coléoptère : *Zabrus tenebroidae*. Au cours de leur émergence, les plantules sont sectionnées au niveau de la sortie de la première feuille du coléoptile. Les attaques les plus catastrophiques ont été observées dans le cas du travail du sol superficiel et surtout le semis direct. C'est-à-dire dans des situations où les chaumes n'ont pas été enfouies. Cette constatation, confirme les observations effectuées par Laraïchi en 1976. Selon cet auteur, le *Zabrus* se développe dans

des emplacements riches en chaumes tels que les anciens emplacements des meules.

4- Dynamique de la croissance

4-1 Le tallage herbacé

L'analyse de la variance a montré que la différence entre les différentes combinaisons d'outils est hautement significative. Les séquences avec travaux profonds (CHSCCR et CHDCGR) correspondent à des nombres de talles plus forts. Le travail du sol superficiel (CCCCR et CCCRCU) a engendré un tallage faible mais qui dépasse celui obtenu dans le cas du semis direct. Le tallage herbacé pour les structures grossières (CHSV, CHDV et CHZV) se trouve dans une position intermédiaire. Signalons que le tallage pour les situations avec cuvettes est plus élevé comparé à celui des situations sans cuvettes. En général, ce classement suit le même ordre que celui du peuplement pied. D'autre part, le tallage connaît un effet positif très hautement significatif du contrôle des adventices (tableau 5).

Tableau 5 : Effet du travail du sol et des mauvaises herbes sur le tallage herbacé (Nombre de talles herbacées/m²)

Traitements	Mauvaises herbes		
	Traitées	non traitées	moyenne
CHSCCR	1078 a	910 a	994 a
CHSV	773 d	650 d	712 d
CHDCCR	972 b	860 b	916 b
CHDV	734 de	625 de	680 d
CHZCC	868 c	740 c	804 c
CHZV	664 e	517 e	590 e
CCCCRCU	500 f	400 f	450 f
CCCCR	360 g	267 g	313 g
SD	190 h	130 h	160 h
Moyenne	682 a	566 b	624
E.T	43.74	37.45	37.7
C.V	7 %	6 %	6.2 %
PPAS	45	30	42

PPAS = plus petite amplitude significative

C.V = Coefficient de variation

E.T = Ecart type

4-2 Analyse de la biomasse totale produite

Les méthodes de travail du sol profond (CHSCCR et CHDCCR) aboutissent aux biomasses totales les plus élevées (tableau 6). Par contre le semis direct et le travail du sol superficiel ont engendré des biomasses très faible et faible respectivement. Tandis que les travaux du sol profonds suivis d'un lit de semence grossier (CHSV, CHDV, CHZV) ont procuré des biomasses totales intermédiaires. La différence s'expliquerait par le fait que les séquences techniques ayant données un fort peuplement pied ont produit plus de masse foliaire et ont maintenu un peuplement épis élevé. Quant à l'effet des mauvaises herbes, la production totale de biomasse des parcelles traitées est plus élevée que celles des situations non désherbées.

4-3 Analyse du système racinaire

L'analyse de la variance de la densité racinaire à 40 cm a montré un effet hautement significatif du travail du sol sur la croissance racinaire. Le classement statistique a mis en évidence la supériorité de la densité racinaire des

traitements à travail du sol profond à structure fine et grossière avec un léger avantage en faveur de cette dernière contrairement au travail superficiel et au semis direct (figure 2). Le travail du sol moyennement profond (chisel) a occupé une place intermédiaire. La différence s'explique par le fait que la charrue à socs, à disques et dans une moindre mesure le chisel, a engendré une plus grande porosité. Celle-ci aurait favorisé la colonisation du sol par les racines, contrairement au semis direct et au travail du sol superficiel, où les racines n'ont colonisées le sol que sur des profondeurs plus faibles. Chekli., (1991) a signalé un effet similaire du travail du sol sur la répartition des racines dans le profil. Par ailleurs, l'avantage constaté dans le cas du travail profond au profit de la structure grossière par rapport à la structure fine est due à la supériorité de l'humidité du sol engendré par la structure grossière en réduisant les pertes due au ruissellement. Cette humidité aurait favorisé le développement racinaire. La même raison justifiant aussi la supériorité du travail du sol superficiel avec cuvettes (CCCCRCU) par rapport à celui sans cuvettes. Ce résultat est le même que celui trouvé

Tableau 6 : Effet du travail du sol et des mauvaises herbes sur la biomasse totale (kg/ha).

Traitements	Mauvaises herbes		
	Traitées	non traitées	moyenne
CHSCCR	10663 a	8167 a	9415 a
CHSV	7890 d	6158 d	7022 d
CHDCCR	9930 b	7634 b	8782 b
CHDV	7565 d	6031 d	6798 d
CHZCC	9131 c	7194 c	8163 c
CHZV	7062 e	6471 e	6767 e
CCCCRCU	5576 f	4436 f	5006 f
CCCCR	5042 g	3966 g	4519 g
SD	1894 h	1633 h	1764 h
Moyenne	7194,8 a	5746,2 b	6470
E.T	217,5	128,5	168
C.V	3 %	2,2 %	2,7 %
PPAS	500	450	550

Fig.1: Cinétiques des levées

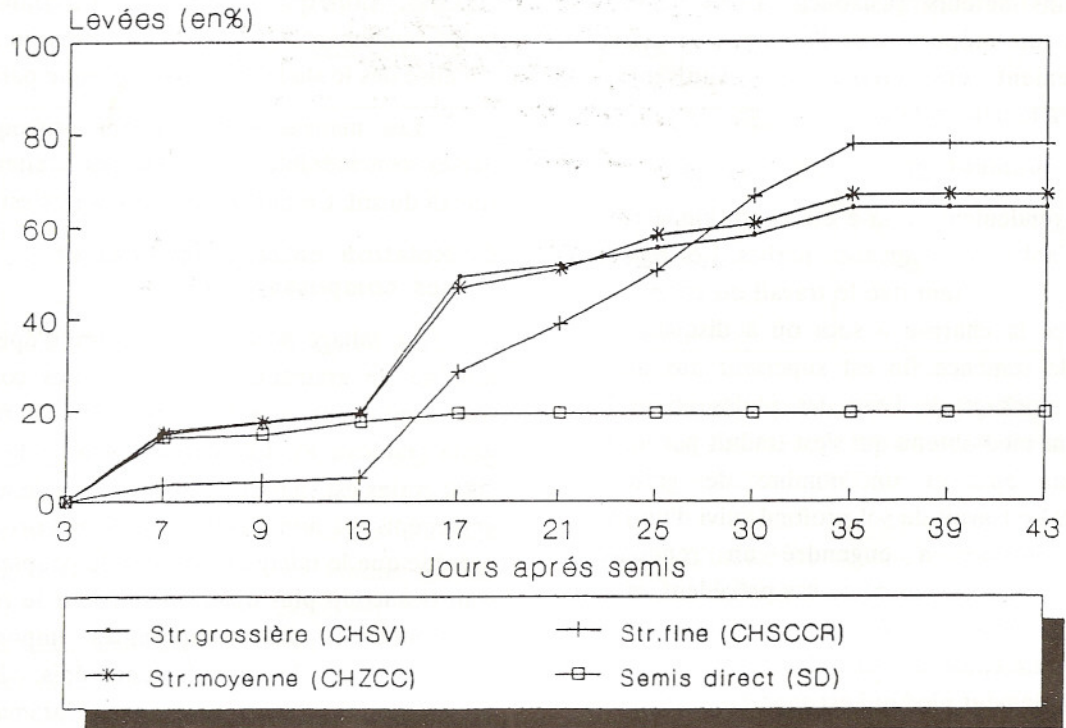
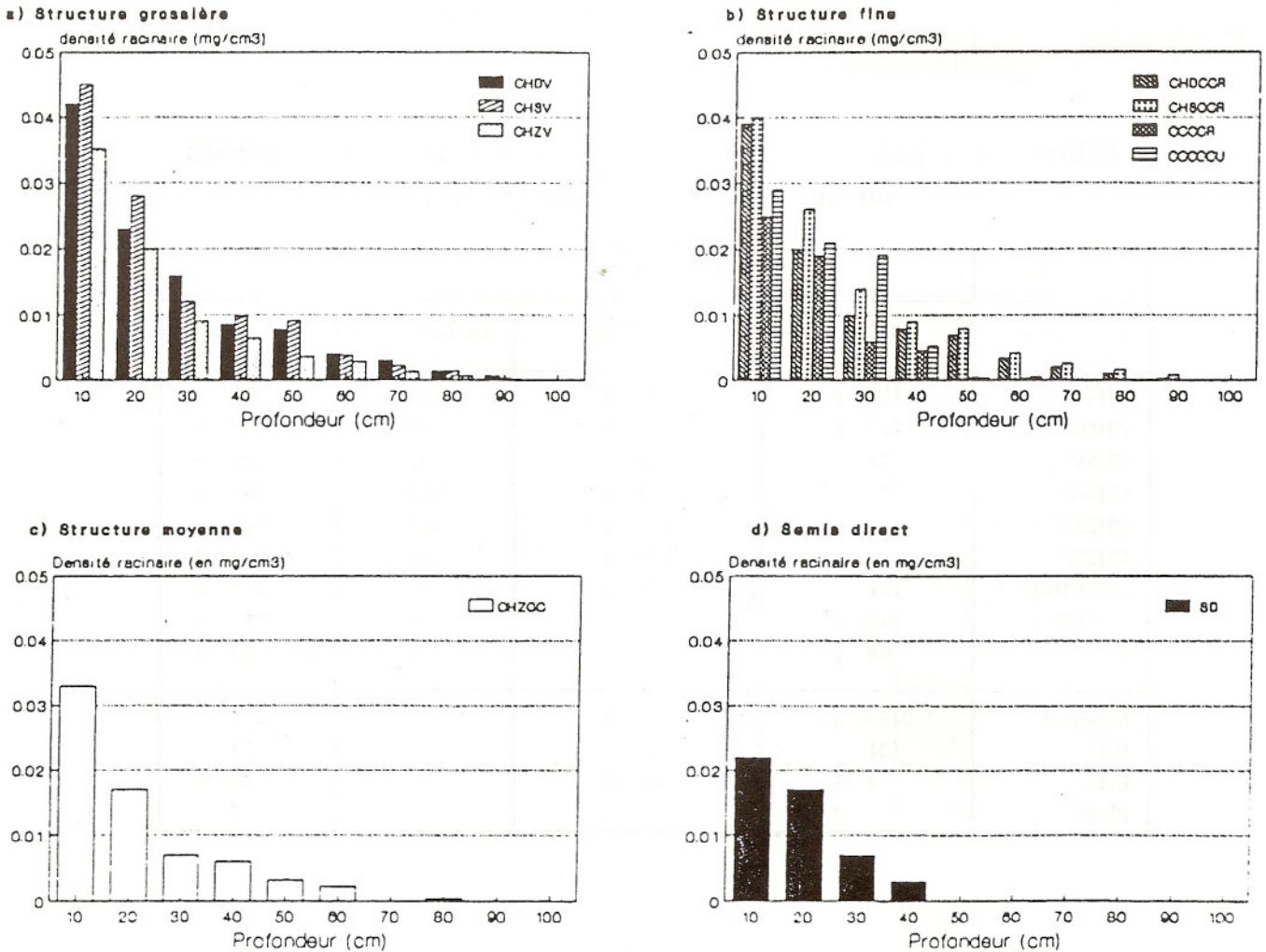


Fig. 2: Evolution de la densité racinaire



par certains auteurs (Chaouch, 1990 et Bouaziz, 1987) qui ont rapporté que l'humidité favorise le développement des racines en réduisant la résistance à la pénétration.

5- Le rendement grain

Le rendement grain a été conditionné par le travail du sol et les mauvaises herbes. Les résultats du tableau 7 montrent que le travail du sol profond réalisé avec la charrue à socs ou à disques, suivi d'un lit de semence fin est supérieur aux autres, grâce au stockage de l'eau des pluies et au fort peuplement pied obtenu qui s'est traduit par un fort peuplement épis et un nombre de grains/m² important. Le travail du sol profond suivi d'un lit de semence grossier a engendré un rendement inférieur, comparativement au cas précédent, et ceci malgré un stockage de l'eau beaucoup plus important. La cause de cette différence n'est autre que le peuplement pied qui est supérieur dans le cas précédent. Le travail superficiel avec cuvettes a réalisé un rendement grain supérieur à celui sans

cuvettes. Alors que le semis direct a réalisé le plus faible rendement. Cette dernière situation a été très pénalisée dès le stade levée par l'attaque parasitaire.

Les mauvaises herbes ont provoquées des pertes considérables sur tous les traitements de travail du sol. Ce taux moyen des pertes est de 26%.

6- Relation entre rendement et ses composantes

Le tallage herbacé, le nombre d'épis/m² et le nombre de grains/m² présentent des corrélations très hautement significatives avec le rendement grain (tableau 8). La corrélation avec le poids de 1000 grains est significative. Celle avec le nombre de grains/épis est non significative. Il ressort de ce qui précède que le tallage herbacé et le peuplement épis sont beaucoup plus déterminant pour le rendement et demeurent des composantes importantes à réussir. Pour le peuplement épis, la même corrélation a été trouvée par Karama (1984), Bouchoutrouch (1986), Bamouh et Bouaziz (1986) et Boutfirass (1990).

Tableau 7 : Effet du travail du sol et des mauvaises herbes sur le rendement grain (qx/ha).

Traitements	Mauvaises herbes			
	Traitées	non traitées	Différence en %	moyenne
CHSCCR	42,8 a	30,4 a	41	36,7 a
CHDCCR	39,8 b	28,0 b	42	33,9 b
CHSV	32,9 c	23,4 c	41	23,1 c
CHDV	31,2 c	22,7 c	37,7	26,9 c
CHZCC	33,3 c	24,0 c	38,7	28,7 c
CHZV	26,2 d	22,0 d	19	24,1 d
CCCCRCU	19,1 e	13,9 d	37	16,5 e
CCCCR	16,2 f	11,6 e	39	13,9 f
S.D	6,0 g	4,7 f	28	5,3 g
Moyenne	24,49 a	20,11 b		23,8
E.T.	1,11	1,23		1,1
C.V.	4 %	6,1 %		3,8 %
PPAS	3	3		3

Tableau 8 : Relation entre rendement grain et ses composantes

$$(\text{Rendement} = a \cdot \text{composant } i + b)$$

Composantes du rendement	a	b	R
Nombre de talles herbacées	3,762	29,99	0,97 **
Nombre d'épis/m ²	12,900	-396,00	0,98 **
Nombre de grains/m ²	0,320	-227,72	0,98 **
Nombre de grains/épi	116,870	-3962,52	0,56
Poids de 1000 grains	1,990	- 55,67	0,61 *

7- Indice de récolte

L'analyse des résultats relatifs à l'indice de récolte (Tableau 9) montre une différence hautement significative entre les travaux du sol. Dans le cas des situations desherbés, l'indice moyen obtenu est de l'ordre de 37,2%. Cette moyenne est proche de celle avancée (36,6 %) par Chaouch (1990) pour la variété "Nesma 149" et dépasse les normes rapportées pour les régions semi-arides (32%) par Ouattar et Ameziane (1989) ; et la moyenne trouvée par Lamsellek (1991) pour la même variété "Nesma 149". Les indices moyens par mode de travail du sol varient de 30 à 39,6% et

montrent une amélioration de l'indice de récolte dans le cas des travaux du sol profonds (CHSCCR, CHSV, CHDCCR, CHDV). Cette distinction est due à la différence de stockage de l'eau déjà évoquée. L'indice de récolte est moins important dans le cas du travail du sol superficiel et le semis direct. L'indice de récolte est supérieur dans le cas du travail du sol superficiel avec cuvettes (CCCCRCU) comparativement à celui sans cuvettes (CCCCR). L'analyse révèle une différence très hautement significative entre les cas desherbés et non desherbés, la concurrence vis à vis de l'eau et des éléments nutritifs entre les adventices et le blé est à l'origine de cette différence.

Tableau 9 : Effet du travail du sol et des mauvaises herbes sur l'indice de récolte (en %)

Traitements	Mauvaises herbes		
	Traitées	non traitées	moyenne
CHSCCR	40,1 b	37,2 a	38,7 b
CHSV	40,3 a	38,0 a	39,6 a
CHDCCR	40,1 b	36,7 a	38,4 b
CHDV	41,3 a	37,6 a	39,4 a
CHZCC	36,5 d	33,4 b	34,9 a
CHZV	37,1 c	34,0 b	35,6 c
CCCCRCU	34,3 e	31,4 c	32,8 d
CCCCR	32,1 f	29,3 d	30,7 e
SD	31,6 f	28,6 d	30,1 e
Moyenne	37,19 a	34,01 b	35,57
E.T	0,35	0,58	0,46
C.V	0,90 %	1,70 %	1,20 %
PPAS	0,50	1,50	1,00

Tableau 8 : Relation entre rendement grain et ses composantes
(Rendement = a * composant i + b)

Composantes du rendement	a	b	R
Nombre de talles herbacées	3,762	29,99	0,97 **
Nombre d'épis/m ²	12,900	-396,00	0,98 **
Nombre de grains/m ²	0,320	-227,72	0,98 **
Nombre de grains/épi	116,870	-3962,52	0,56
Poids de 1000 grains	1,990	- 55,67	0,61 *

7- Indice de récolte

L'analyse des résultats relatifs à l'indice de récolte (Tableau 9) montre une différence hautement significative entre les travaux du sol. Dans le cas des situations desherbés, l'indice moyen obtenu est de l'ordre de 37,2%. Cette moyenne est proche de celle avancée (36,6 %) par Chaouch (1990) pour la variété "Nesma 149" et dépasse les normes rapportées pour les régions semi-arides (32%) par Ouattar et Ameziane (1989) ; et la moyenne trouvée par Lamsellek (1991) pour la même variété "Nesma 149". Les indices moyens par mode de travail du sol varient de 30 à 39,6% et

montrent une amélioration de l'indice de récolte dans le cas des travaux du sol profonds (CHSCCR, CHSV, CHDCCR, CHDV). Cette distinction est due à la différence de stockage de l'eau déjà évoquée. L'indice de récolte est moins important dans le cas du travail du sol superficiel et le semis direct. L'indice de récolte est supérieur dans le cas du travail du sol superficiel avec cuvettes (CCCCRCU) comparativement a celui sans cuvettes (CCCCR). L'analyse révèle une différence très hautement significative entre les cas desherbés et non desherbés, la concurrence vis a vis de l'eau et des éléments nutritifs entre les adventices et le blé est à l'origine de cette différence.

Tableau 9 : Effet du travail du sol et des mauvaises herbes sur l'indice de récolte (en %)

Traitements	Mauvaises herbes		
	Traitées	non traitées	moyenne
CHSCCR	40,1 b	37,2 a	38,7 b
CHSV	40,3 a	38,0 a	39,6 a
CHDCCR	40,1 b	36,7 a	38,4 b
CHDV	41,3 a	37,6 a	39,4 a
CHZCC	36,5 d	33,4 b	34,9 a
CHZV	37,1 c	34,0 b	35,6 c
CCCCRCU	34,3 e	31,4 c	32,8 d
CCCCR	32,1 f	29,3 d	30,7 e
SD	31,6 f	28,6 d	30,1 e
Moyenne	37,19 a	34,01 b	35,57
E.T	0,35	0,58	0,46
C.V	0,90 %	1,70 %	1,20 %
PPAS	0,50	1,50	1,00

8- La valorisation de l'eau

8-1 Le Ruissellement

Pour déterminer la quantité d'eau perdue par ruissellement, nous avons calculé les coefficients de ruissellement à deux reprises : (i) après une pluie de 12 mm et (ii) après une pluie de 33 mm. Les mesures d'humidité étaient effectuées (i) avant le démarrage de pluies pour le calcul du stock initial et (ii) juste quelques heures après l'arrêt des pluies pour le calcul du stock final. Les résultats ainsi obtenus (Tableau 10) montrent que la quantité d'eau perdue par ruissellement est importante dans le cas des structures fines (CHSCCR, CHDCCR, CCCCRCR) et dans le cas du semis direct. Par opposition, le ruissellement est négligeable dans le cas des structures grossières (CHSV, CHDV, CHZV) et moyenne (CHZCC). L'infiltration de l'eau dans le sol est liée à la rugosité de sa surface et à son état structural (fig.3). Une structure grossière a l'avantage de limiter les pertes en eau

par ruissellement. De même, les cuvettes à la surface du sol réduisent le ruissellement par création d'une surface rugueuse.

8-2 La réserve hydrique

Les stocks d'eau sur une profondeur de 100 cm au stade pâteux, montrent un effet combiné de la profondeur de travail du sol et de l'état structural de surface sur la réserve hydrique du sol. Les séquences profondes ayant des états structuraux grossiers présentent la plus grande quantité d'eau stockée (CHSV, CHDV), suivi par les séquences moyennement profondes avec des états structuraux grossiers et moyens (CHZV, CHZCC) (Tableau 11). La quantité d'eau stockée est faible dans le cas du travail du sol superficiel et le semis direct. Le travail du sol superficiel avec cuvettes (CCGCRCC) a emmagasiné plus d'eau par rapport à celui sans cuvettes (CCCCRCC). Ce résultat rejoint celui rapporté par Schultz, (1972). Chekli (1991) a rapporté que la travail du sol profond entraîne un

Tableau 10 : Bilan hydrique pour le calcul du ruissellement.

Traitements	S.I.	S.F.	DIF	RUIS	%
Episode de Pluie = 12 mm					
CHSV	82	94	12	0	0
CHSCCR	82	92,5	10,5	1,5	12,5
CHDV	80	91,9	11,9	0,1	0,8
CHDCCR	80	90,4	10,4	1,6	13,3
CHZV	74	86	12	0	0
CHZCC	74	85,7	11,7	0,3	2,5
CCCCRCR	71	81,5	10,5	1,5	12,5
S.D.	70	81	11	1	8,3
Episode de Pluie = 33 mm					
CHSV	140,2	172,9	32,7	0,3	0,9
CHSCCR	133,6	162,3	28,7	4,3	13
CHDV	139,5	172	32,5	0,5	1,5
CHDCCR	136,4	165	28,7	4,3	13
CHZV	137,8	170,2	32,4	0,6	1,8
CHZCC	136,4	168,6	32,2	0,8	2,4
CCCCRCU	129,7	162	32,3	0,7	2,1
CCCCRCR	129,7	158,5	28,8	4,2	12,7
S.D.	130,1	160,4	30,3	2,7	8,2

S.I = Stock initial

S.F = Stock final

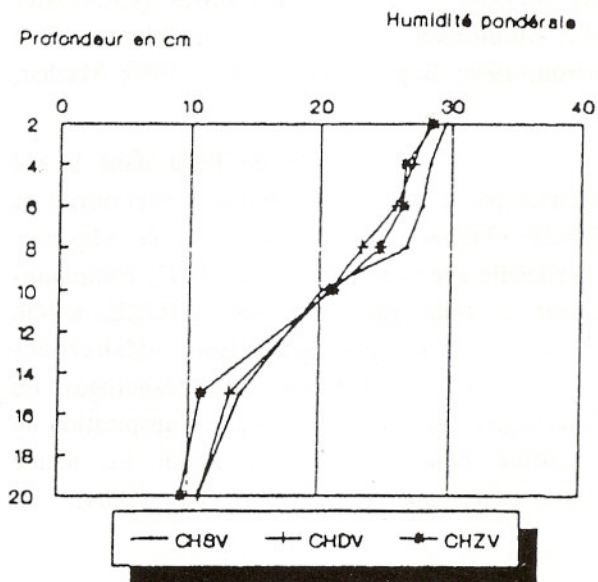
DIF = Différence entre Stock final et Stock initial

RUIS = Quantité d'eau ruisselée

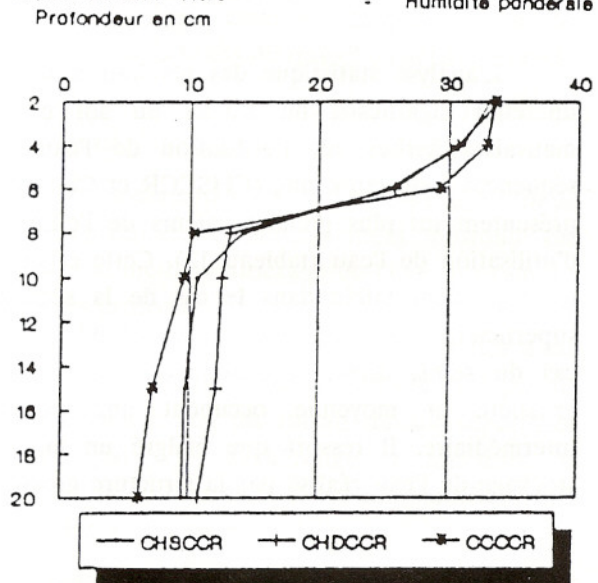
% = Coefficient de ruissellement

Fig.3: Humidités du 8/11/90 (1 jour après semis)

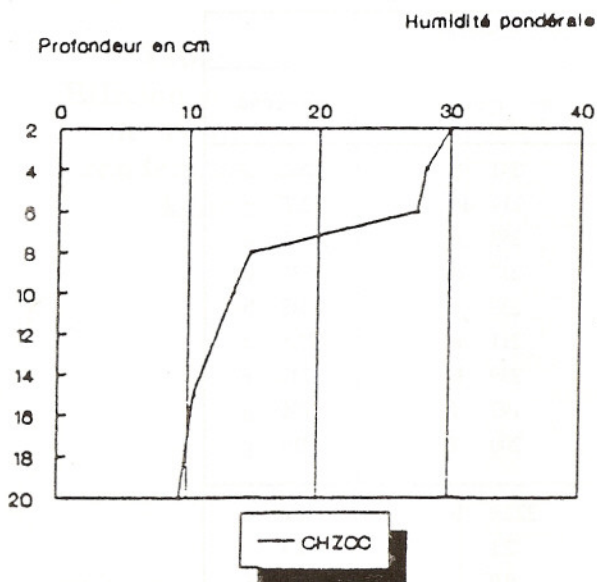
a) Structure grossière



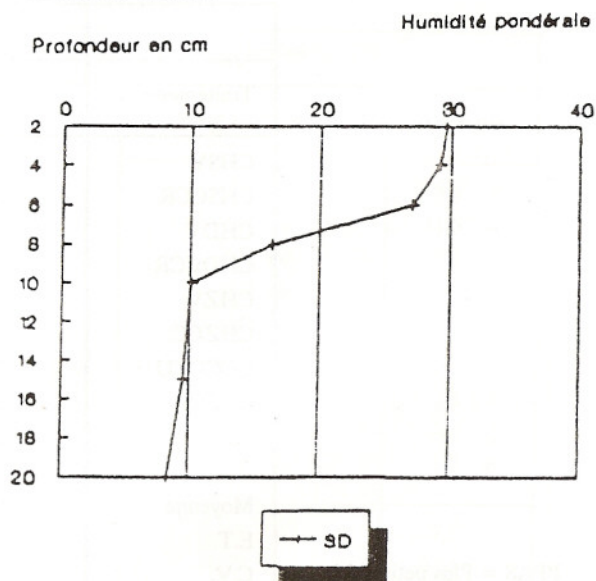
b) Structure fine



c) Structure moyenne



d) Semis direct



meilleur stockage de l'eau des pluies contrairement au travail du sol superficiel. Ce résultat n'est pas en accord avec ceux de Bouzza (1990) en zone aride et semi-aride. D'un autre côté le contrôle des mauvaises herbes a contribué fortement au stockage de l'eau contrairement aux situations non désherbées.

8-3 Efficience d'utilisation de l'eau : E.U.E

L'analyse statistique des résultats a montré un effet significatif du travail du sol et des mauvaises herbes sur l'utilisation de l'eau. Les séquences à structure fine (CHSCCR et CHDCCB) présentent les plus grandes valeurs de l'efficience d'utilisation de l'eau (tableau 12). Cette efficience est cependant faible dans le cas de la séquence superficielle et encore beaucoup plus faible dans le cas du semis direct. Les séquences à structure grossière et moyenne occupent une position intermédiaire. Il ressort que malgré un meilleur stockage de l'eau réalisé par la structure grossière,

l'E.U.E est moins importante par rapport à celle de la séquence profonde à structure fine. La différence réside au niveau des composantes du rendement qui sont plus importantes dans le cas des structures fines (CHSCCR et CHDCCB). La même constatation a été faite par Yadav et Singh, (1981). Selon ces derniers le rendement dépend de l'évapotranspiration en plus d'autres (LAAFAR? 1977; Moutonnet, 1982; French et Schultz, 1986; Karrou, 1986; Bamouh et Bouaziz, 1986; Mazhar, 1987).

Le meilleur stockage de l'eau dans le sol engendré par les cuvettes, explique la supériorité de l'E.U.E obtenue dans le cas de la séquence superficielle avec cuvettes (CCCCRCU) comparativement à celle sans cuvettes. L'E.U.E a été meilleure dans les situations désherbées contrairement aux situations non désherbées. Le désherbage a amélioré la part de la transpiration de la culture dans l'évapotranspiration. Le même résultat a été signalé par Sinclair et al., (1984).

Tableau 11 : Effet du travail du sol et des mauvaises herbes sur la réserve hydrique du sol en mm : Stade pâteux

Traitements	Mauvaises herbes		
	Traitées	non traitées	moyenne
CHSV	283 a	241 b	262 a
CHSCCR	236 f	214 de	225 e
CHDV	274 b	253 a	263.5 a
CHDCCR	245 e	217 d	231 d
CHZV	263 c	233 c	248 b
CHZCC	252 d	211 e	241.5 c
CCCCCU	247 de	239 b	243 c
CCCCR	215 g	197 f	206 g
SD	250 g	200 f	210 g
Moyenne	248.3 a	222.8 b	235.6
E.T.	3.1	2.1	2.4
C.V.	1.3 %	0.9	1.1 %
PPAS	5.4	3.6	3.9

PPAS = Plus petite amplitude significative.

9- Conclusion

Le peuplement pied représente la composante principale du rendement. L'obtention d'un peuplement pied satisfaisant nécessite :

- une bonne préparation du lit de semences. Un lit de semences fin est profitable dans un sol non battant, alors qu'un lit de semences grossier serait avantageux en sol très battant surtout s'il est en pente.
- un positionnement homogène des graines dans le profil. Ceci ne peut être réalisé que si le sol est bien nivelé avant le semis qui doit se faire au semoir.
- un semis dans un sol propre pour éviter les attaques parasitaires.
- un choix judicieux de la combinaison d'outils permettant de créer les conditions favorables à la réussite du semis. Selon les résultats obtenus, les combinaisons CHSCCR et CHDCCR sont à retenir, toutefois, le remplacement du cover-crop par le vibroculteur laissant un état motteux, se justifie dans le cas des sols battants.

2- Le nombre d'épis/m², le nombre de grains/m² sont les paramètres les plus déterminants du rendement grain. Les séquences à travaux du sol profond et à structure fine (CHSCCA et CHDCCR) ont donné le rendement grain les plus importants. Le rendement grain est faible dans le cas du travail du sol superficiel (CCCCR) et encore plus faible dans le cas du semis direct à cause des attaques parasitaires. Les cuvettes ont amélioré les rendements dans le cas du travail du sol superficiel.

L'effet des mauvaises herbes sur le rendement a été négatif.

3- Concernant le stockage de l'eau, le travail du sol profond et moyennement profond ont engendré le meilleur stockage de l'eau. Au sein des séquences profondes, celles à structure grossière ont conservé plus d'eau, par réduction des pertes d'eau par ruissellement. Le même rôle a été joué par les cuvettes dans le cas du travail du sol superficiel. D'autre part, le désherbage a amélioré la conservation de l'eau dans le sol comparativement à la situation non désherbée.

Quant au développement racinaire, le travail du sol profond a permis une bonne croissance racinaire contrairement aux autres travaux du sol, ce qui aurait favorisé une meilleure utilisation de l'eau.

Tableau 12 :
Efficiéce d'utilisation
de l'eau pour le
rendement grain en
kg/mm/ha.

Traitements	Mauvaises herbes		
	Traitées	non traitées	moyenne
CHSV	10,5 c	7,1 c	8,8 c
CHSCCR	14,3 a	9,3 a	11,8 a
CHDV	10 c	6,8 cd	8,4 d
CHDCCR	13,8 b	8,7 b	11,3 b
CHZV	8,2 d	6,3 e	7,2 c
CHZCC	9,9 c	6,7 cd	8,3 d
CCCCRCU	6 e	4,3 f	5,1 f
CCCCR	5,4 f	3,7 g	4,6 g
S.D	1,9 g	1,6 h	1,7 h
Moyenne	8,9 a	6,1 h	7,5
E.T	0,3	0,25	0,24
C.V	3,1 %	4 %	3,2 %
P.P.A.S	0,47	0,4	0,3

PPAS = Plus petite
amplitude significative.

LES EFFETS DE TROIS TECHNIQUES DE TRAVAIL DU SOL SUR SON ETAT STRUCTURAL ET HYDRIQUE

M.E. HAMZA ⁽¹⁾, S. CHEHAIBI ⁽²⁾,
M. MECHERGUI ⁽¹⁾ et H. BICHIOU ⁽²⁾

RESUME

Les effets de trois techniques de travail du sol, sur son état structural et hydrique ont été étudiés à l'aide de mesures sur champ. Les trois techniques expérimentées sont le retournement du sol à l'aide d'une charrue à socs et versoirs, le non retournement à l'aide d'un cultivateur à dents et le retournement superficiel à l'aide d'un pulvérisateur à disques.

L'état structural et hydrique ont été caractérisés par le poids spécifique apparent sec, la perméabilité et la teneur en eau du sol.

Les résultats montrent un état poreux après travail avec retournement, caractérisé par des discontinuités sub-horizontales qui freinent l'infiltration verticale de l'eau et entraînent la meilleure imbibition en eau, mais aussi le dessèchement le plus élevé. Le non retournement du sol permet la plus grande vitesse d'infiltration de l'eau et le travail superficiel assure le dessèchement du sol le plus faible.

SUMMARY

The effects of three soil preparation techniques on its structural and hydric condition were studied thanks to field measurements. The three techniques studied were soil turning-over with a mouldboard plough, no turning-over with a chisel and a superficial turning-over with a cover-crop.

The structural and hydric condition were characterised by the dry apparent specific weight, the permeability and the soil water content.

The results showed a porous condition with a turning-over, characterised by sub-horizontal discontinuities which slowed the vertical infiltration of water and ensured the best soaking effect, but also the highest drying effect. No turning-over allowed the greatest water infiltration and superficial turning-over ensured the lowest soil drying effect.

(1) Institut National Agronomique de Tunisie

(2) Ecole Supérieure des Ingénieurs de l'Équipement Rural de Medjez-El-Bab.

1- INTRODUCTION

L'économie de l'eau en agriculture pose des problèmes considérables dans les zones semi-arides tunisiennes. Dans certaines régions, le déficit plus ou moins chronique en eau de pluie est comblé par des irrigations. A cet effet, des efforts importants sont déployés pour utiliser au mieux les ressources en eau de surface et souterraines (barrages, lac colinéaires, forages, etc . . .) (Kallel R. 1981).

Mais parallèlement à l'irrigation, il est indispensable de chercher à réduire les pertes des eaux fournies, quelque soit leur origine.

L'équation de la variation du stock d'eau "dS" dans le sol, s'écrivant en fonction des apports "P", de l'évapotranspiration réelle "ETR", du ruissellement "R" et du drainage "D" :

$$dS = P - R - D - ETR$$

permet de mettre en évidence l'intérêt de minimiser les facteurs soustractifs ETR, R et D, compte tenu du facteur P limité, afin de maintenir un stock d'eau suffisant dans le sol. L'infiltration du maximum des apports d'eau en évitant les pertes par ruissellement et stagnation en surface, la limitation des fuites par drainage (sans atteindre l'engorgement) et la réduction de l'évaporation, permettent une meilleure gestion des ressources hydriques.

L'infiltration et le dessèchement sont les deux phénomènes essentiels qui caractérisent les écoulements de l'eau dans la direction verticale d'un sol nu, sans couverture végétale (Klute A. 1973)

La vitesse d'infiltration d'une pluie ou d'une irrigation représente la quantité d'eau qui s'infiltré par unité de temps dans un sol, elle dépend du profil d'humidité existant, de l'intensité des apports, de la granulométrie du sol et de son organisation spatiale (Henin S. 1977).

Le processus de dessèchement qui se caractérise par un déséquilibre thermodynamique, entre l'humidité relative de l'atmosphère du sol et l'eau du sol soumise à des pressions interstitielles, se traduit par une ascension capillaire qui est

fonction de la texture et de la structure du sol (Féodorof A. 1965).

Les écoulements verticaux de l'eau dans le sol sont donc liés à la structure de la phase solide. Celle ci est en grande partie sous la dépendance des techniques de travail du sol qui selon les conditions, peuvent avoir des effets positifs ou négatifs sur la gestion des ressources hydriques.

Papy F. (1986) a pu mettre en évidence une infiltration privilégiée de l'eau dans un labour en gros blocs compacts avec vides, se traduisant par une moindre imbibition de la terre.

Les travaux de Hillel D. (1971) ont montré que l'humidité d'un sol compacté est supérieure à l'humidité du même sol structuré, dans des conditions de non saturation, ce qui tendrait à prouver qu'un tassement peut améliorer la réserve utile d'un sol.

D'autre part, les études au laboratoire de Féodorof A. (1965) ont montré que le débit d'évaporation initial, correspondant à un sol ressuyé, dépend du climat évaporant et de la structure du sol.

L'objet de notre travail consiste à étudier pour un type de sol donné les effets de trois techniques de travail du sol sur son état structural et hydrique. Les trois techniques de travail du sol choisies représentent les trois grandes catégories de mode d'action des outils sur le sol, à savoir, le retournement, le non-retournement et le travail superficiel du sol.

2- MATERIEL ET METHODES

Les essais ont été menés au cours du printemps 1991, sur une parcelle située dans le périmètre irrigué du barrage "Lakhmes" (Siliana -Tunisie), sur un sol d'alluvions argilo-limoneux et un précédent cultural vesce-avoine coupé et ramassé 15 jours avant la période des essais.

Le dispositif expérimental comprend un facteur étudié, "la technique de travail du sol", à trois niveaux (T1, T2, T3) et trois variables

mesurées, le poids spécifique apparent sec, la perméabilité et l'humidité du sol.

Les trois niveaux du facteur étudié sont les suivants :

■ **Traitement 1 =**

T1 : Le travail du sol avec retournement à 30 cm de profondeur, à l'aide d'une charrue à socs et versoirs du type conventionnelle.

■ **Traitement 2 =**

T2 : Le travail du sol sans retournement à 30 cm de profondeur, à l'aide d'un cultivateur à dents rigides et socs de scarifiage du type "Chisel".

■ **Traitement 3 =**

T3 : Le travail du sol avec retournement à 15 cm de profondeur, à l'aide d'un pulvérisateur à disques du type "Cover-crop".

Le dispositif expérimental a été adopté pour les trois traitements en trois répétitions et en blocs aléatoires.

L'état structural est caractérisé par des mesures du poids spécifique apparent sec du sol à l'aide de prélèvements de cylindres de sol de volume connu dont on obtiendra ensuite le poids sec. Les mesures sont effectuées avant et après passage des outils sur plusieurs niveaux de profondeurs.

L'évolution de l'état hydrique en fonction du temps est caractérisée par un suivi de l'humidité pondérale du sol par la méthode gravimétrique. A cet effet, nous avons procédé, après passage des outils, à une irrigation par aspersion équivalente à 80 mm de pluie suivie de trois périodes de mesures au cours d'une phase de dessèchement.

Les mesures de l'infiltration ont été réalisées par la méthode de Muntz à charge variable, qui présente la meilleure corrélation entre les perméabilités mesurées et les caractéristiques des sols superficiels (Muntz A. 1905).

Le principe de mesure consiste à suivre le niveau d'une charge d'eau située dans un anneau enfoncé dans le sol et entouré par un anneau extérieur ayant la même charge d'eau permettant

d'éviter les écoulements latéraux de l'anneau intérieur.

A partir des différentes valeurs enregistrées, on établit la loi de la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol en fonction du temps. La valeur constante de la vitesse d'infiltration atteinte à la fin de l'essai et correspondant à un régime permanent, définit la perméabilité K du sol.

L'état initial de la parcelle avant travail du sol se caractérise par un état homogène avec un poids spécifique apparent sec moyen de 1,5g/cm³, une teneur en eau pondérale de 19% sur l'horizon 0-45cm et une perméabilité de 0,95 cm/mn.

3- RESULTATS ET DISCUSSIONS

L'examen des profils moyens des poids spécifiques apparent sec (cf fig 1), des trois traitements T1, T2 et T3 par rapport à l'état initial, permet de mettre en évidence les augmentations de porosité obtenues après passage des différents outils.

Les profils moyens des trois traitements présentent une allure croissante à partir de la surface du sol, jusqu'à la profondeur de travail concernée, puis une allure sensiblement verticale qui caractérise la zone non travaillée.

Le traitement statistique des valeurs du poids spécifique apparent sec, en comparant par niveau de profondeur, montre des différences significatives entre le traitement T1 et les traitements T2 et T3 pour les horizons 12 et 20 cm. Ceci confirme l'état poreux du sol observé dans la zone travaillée après labour par rapport au travail sans retournement et au travail superficiel.

Au delà des couches travaillées, les trois traitements présentent un horizon plus dense que l'état initial qui caractérise le phénomène de tassement du sol en profondeur provoqué par les ensembles tracteur-outil et qu'on appelle à tort la "semelle de labour".

L'histogramme des valeurs moyennes de la perméabilité (cf fig 2), issues des tangentes

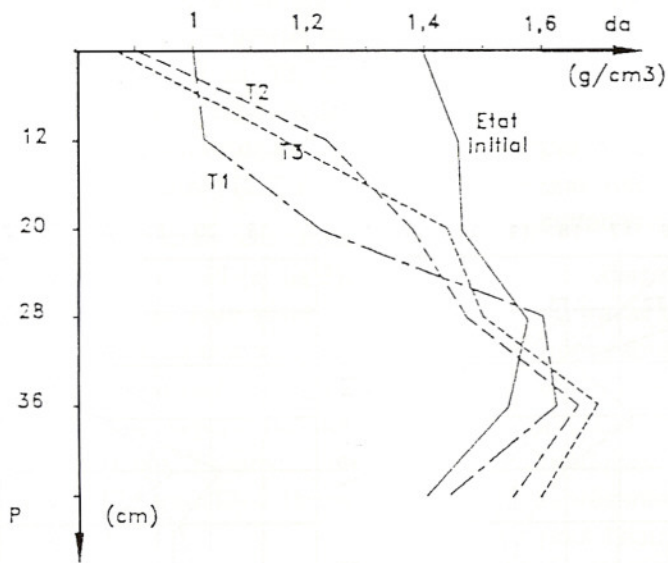


fig1: Influence de 3 techniques de travail du sol, T1:charrue, T2:chisel et T3:cover-crop, sur le poids spécifique apparent sec par rapport à l'Etat initial (Mai 1991).

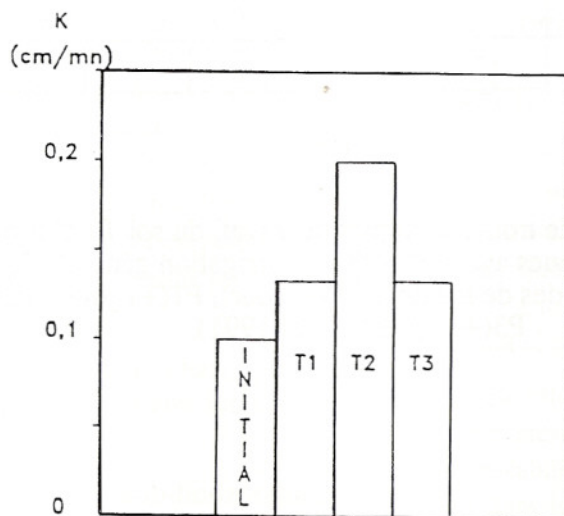


fig 2: Histogramme des perméabilités moyennes obtenues après trois techniques de travail du sol, T1:charrue, T2:chisel et T3:cover-crop, par rapport à un état initial (Mai 1991).

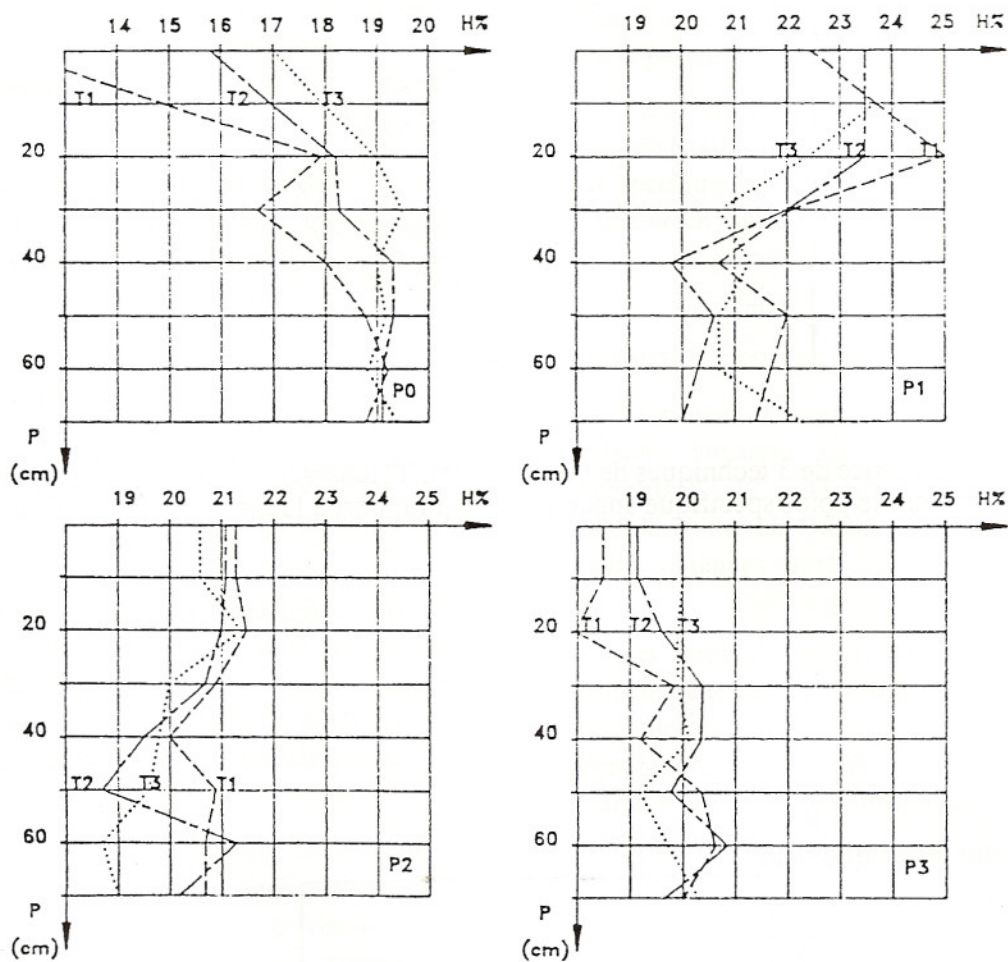


fig3 : Profils hydriques de trois techniques de travail du sol T1:charrue, T2:chisel et T3:cover-crop, obtenues avant et après une irrigation généralisée de 80 mm, suivant les quatres périodes de mesures P0(-1 jour), P1(+1 jour), P2(+4 jours) et P3(+11 jours) (Mai 1991)

horizontales aux courbes des vitesses d'infiltration des différentes mesures montre une supériorité du traitement T2 sur les traitements T1 et T3. Ce résultat est confirmé par l'analyse de la variance des valeurs de la perméabilité, qui met en évidence des écarts significatifs entre (T2,T1) et entre (T2,T3).

L'examen des profils hydriques des trois traitements relatifs aux mesures P0 et P1 (cf fig 3), correspondant respectivement à un jour avant et après l'irrigation, permet de mettre en évidence une humidification importante du sol en surface jusqu'à 40 cm de profondeur avec une supériorité des teneurs en eau dans le traitement T1 suivie des teneurs en eau des traitements T2 puis T3, à 15 cm de profondeur.

L'analyse de la variance confirme ce résultat par un écart significatif entre T1 et T3 pour l'horizon 10-20 cm.

Les profils hydriques de la mesure P2 (cf fig 3), quatre jours après l'irrigation, indiquent une réduction des humidités, plus accentuée en surface, notamment pour les traitements T1 et T2, correspondant à un assèchement prononcé en surface.

La troisième mesure P3 (cf fig 3), onze jours après l'irrigation, révèle une configuration contraire à celle de P1, caractérisée par la supériorité des teneurs en eau du traitement T3 suivie des traitements T2 et T1 pour l'horizon superficiel 0-30 cm, confirmant un assèchement poussé du traitement T1 qui perd ainsi 7% d'humidité pondérale à 20 cm de profondeur onze jours après l'irrigation alors que le traitement T2 en perd 4% et le traitement T3 n'en perd que 2% dans les mêmes conditions.

Il apparaît au terme de ces résultats, que les effets des trois traitements, peuvent être synthétisés comme suit :

- Les discontinuités sub-horizontales caractérisant le retournement du sol du traitement T1, entraînent un état structural poreux et une perméabilité réduite qui semble être liée au réseau

sinueux des vides qui ont pour conséquence directe une meilleure imbibition en eau de l'horizon superficiel. Cependant les pertes d'eau par évaporation sont élevées traduisant une macroporosité importante et des surfaces d'échanges élevées.

- Les discontinuités sub-verticales dues au travail du traitement T2, entraînent la perméabilité la plus élevée, mais des teneurs en eau inférieures au traitement T1. Ceci est lié aux fentes verticales produites par les dents de l'outil qui représentent des chemins préférentiels pour l'eau qui traverse ainsi rapidement et en grande quantité la couche superficielle du sol sans l'humecter en conséquence. Par ailleurs le traitement T2 permet un dessèchement modéré.
- Le mélange de la terre plus ou moins pulvérisée et de chaumes sur 15 cm de profondeur, qui caractérise le traitement T3, constitue un écran protecteur aux échanges thermiques avec le milieu extérieur. Ceci a pour conséquence le dessèchement le plus faible et un stock d'eau le plus élevé onze jours après l'irrigation malgré sa faible perméabilité.

CONCLUSION

Au terme de ce travail expérimental dont le but est d'étudier les effets de trois techniques de travail du sol sur son état structural et hydrique, il apparaît qu'il n'existe pas une relation causale évidente entre les techniques culturales et l'état structural et hydrique d'un sol.

En effet, nous avons constaté que les trois variables mesurées, le poids spécifique apparent sec, la perméabilité et la teneur en eau n'évoluent jamais dans le même sens pour les trois techniques testées.

Le labour à l'aide d'une charrue à socs et versoirs réalise un état poreux, peu perméable, retenant l'eau mais se desséchant rapidement.

Le travail du sol à l'aide d'un cultivateur à dents entraîne un état du sol très perméable, peu poreux et un dessèchement modéré.

Le travail du sol à l'aide d'un pulvérisateur à disques permet le dessèchement le plus faible, avec une perméabilité réduite.

Ce résultat confirme le fait qu'il n'existe pas un outil idéal capable de réaliser l'ensemble des objectifs et la nécessité d'adapter un outil à chaque situation. Ceci est d'autant plus valable dans les zones semi-arides où les teneurs en eau des sols peuvent varier suivant des proportions importantes, lors des passages des périodes sèches aux périodes de pluies.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 Féodorof A. 1965 - Etude expérimentale de l'infiltration de l'eau non saturante. Thèse Paris, 90p Public. INRA.
- 2 Henin S. 1977 - Cours de physique du sol. L'eau et le sol. Volume II. ORSTOM - Paris. 222p.
- 3 Hillel D. 1971-Soil and water. Acad. Press. New York. 288p.
- 4 Kallel A. 1981 - Bilan global des ressources en eau de surface en Tunisie. Division des ressources en eau. Ministère Agriculture Tunisie. 22p.
- 5 Klute A. 1973 - Soil water flux theory and its application in field situations. Field soil water regime. Special Pub. 5. 9-35. Madison (USA).
- 6 Muntz A. 1905 - Annales de la direction des eaux et du génie rural. Fascicule 64. Paris.
- 7 Papy F. 1986 - Effet de l'état structural d'une couche labourée sur sa rétention en eau. Agronomie 6 (6), 555-565.



الشركة الشريفة للأسمدة والمواد الكيماوية
SOCIÉTÉ CHÉRIFIENNE D'ENGRAIS ET DE PRODUITS CHIMIQUES

Capital 17.200.000 DH
 Siège social : Km 6,500 - route des Zenata - CASABLANCA
 BP 281 - Tél ex 25 880 M

50 ans au service de l'agriculture et de l'industrie

CASABLANCA Km 6,500 route des Zenata Tél 24 6 83 24 39-52 24-71- 2	KENITRA Rue El Jahid Tél. 28 13	FES Quartier Industriel Rue Miara Tél 145-88	BERKANE Quartier Industriel Tél. 22-10	graines clause matériel agricole produits phytosanitaires 204. Bd. E Zola Casablanca Tél 24-40-43	SOUK EL ARBAA DU GHARB petite vitesse ONCF Tél. (090) 24-59	SIDI SLEIMANE petite vitesse CNCF Tél. (060) 23-77	KSAR EL KERIR petite vitesse (MNF)
---	---------------------------------------	--	---	---	--	--	---------------------------------------

POUR L'AGRICULTURE

POUR L'INDUSTRIE



SECURITE : des produits de qualité...
CONTINUITE : que nous suivons
EFFICACITE : qui vous donneront satisfaction



Et tous les produits moulés en polystyrène expansé

MEASURING DEVICES EQUIPMENT FOR THE IMPLEMENTATION OF FIELD TESTS, TAKING INTO CONSIDERATION THE PARTICULAR REQUIREMENTS OF DEVELOPING COUNTRIES

KNECHTGES H (1)

1- INTRODUCTION

The evaluation and differentiation of distinct soil tillage methods follow mainly according to the parameters, which come under the headings of agricultural engineering, soil physics, cultivation and economic. There is a variety of measuring devices commonly available to record these parameters, particularly in the area of soil physics and cultivation. Here are mentioned for example, devices to determine the pore volume or a penetrometer. There is no complete set of equipment commonly available for the technical measurements of the experiment for most of the agricultural engineering parameters, like for example drawbar pull, PTO torque, fuel consumption per unit area, implement depth, tractor load bearing capacity, tractive efficiency and driving speed and also the ability of the soil tillage tools to breakdown the soil, but only sensors developed for the recording of single physical parameters. In general, the conception and invention of an appropriate measuring device precedes the scientific work concerning the recording and evaluation of the agricultural engineering parameters. Without detailed knowledge of the measuring devices and sensors on the market, there are great difficulties above all in developing countries to get hold of equipment tuned to their special requirements.

Alongside the functional requirements of the measuring equipment, which are in general the same as in the industrialised countries, great importance, particularly in developing countries, must be attached to the security against operating error, protection against environmental influences like dust and temperature and the quick availability of spare-parts in case of an accident. Compromises must be made especially in the area of the accuracy of measurements and flexible serviceableness.

2- MEASURING THE TRACTIVE POWER

An important criterion for the evaluation of soil-tillaging is the tractive power and performance requirements of the machines. Already by the 1920s they measured the power of the plough with hydraulic measuring methods. These hydraulic power receivers are relatively resistant to disturbances and were therefore still used in the 1960s, even though there were sensors with applied strain gauges available which were more accurate.

For machines which are only pulled and are not supported on the tractor, the measuring of the required tractive power by means of load cell in the shaft is relatively easy to implement. But if however the machine is supported on the shaft, the measuring device must be integrated in the drawbar or trailer drawbar. The configuration of a tractive

power measuring device in the drawbar shows Fig. 1. The tractive power sensors commonly found on the market may only be loaded by lateral forces and torques to a limited degree, that is why the sensor itself must be placed at the very front of the drawbar.

The rear bearing of the drawbar should be done without friction. In this case a ball-bearing takes over the vertical support. Because the resultant of speed and drawbar pull is the tractive power, this arrangement only gives accurate results if the drawbar is in line with the course direction. For small angles however $1 - \cos \theta = 0$ is valid so that

the mistakes are negligible. Bigger sidepull should be avoided anyway through appropriate adjustment to the machines, otherwise the tractive efficiency of the tractor is made worse. Error of measurement can be compensated by recording the position of the angle with a displacement transducer and a subsequent calculation of the result.

Figure 2 shows the three principal methods of measuring the forces between the tractor and the attached tool. The force measuring devices with a separate frame, which can be located between the tractor and the tool are most widely spread. The important advantage of this method is that basically

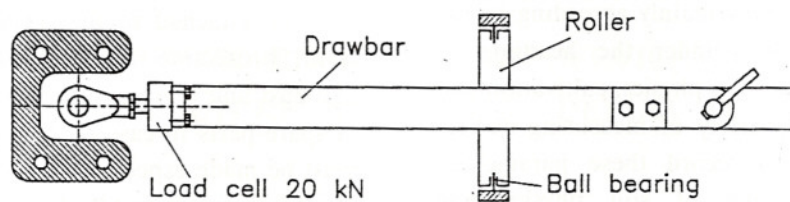


Fig. 1 : Measuring tractive power in the drawbar

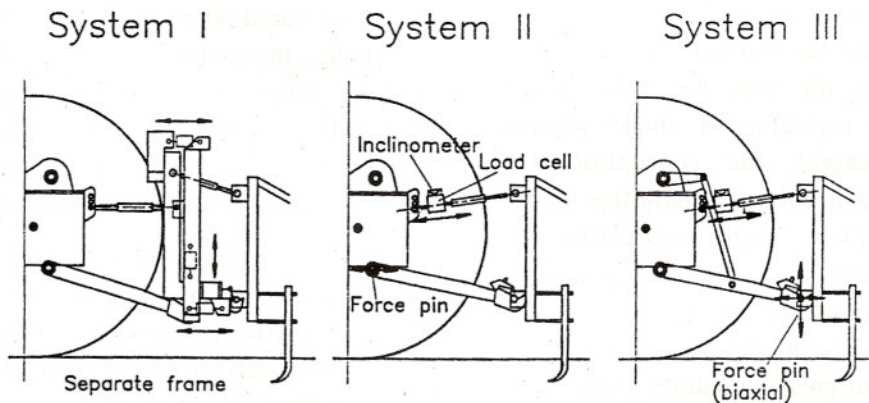


Fig. 2 : Methods of measuring the forces between the tractor and implement

all the forces and moments between the two can be measured for a wide spectrum of tools. It demands however a rearward implement displacement, the tractor is additionally burdened with the significant weight of the dynamometer and is therefore only suitable for the evaluation of dynamic processes to a limited extent. Whereas in the past, sensors that were especially and uniquely constructed for measuring devices were used /1/, /2/, /3/, it is being attempted to use sensors in newer constructions which are widely available /4/, /5/, /6/. Theoretically, a dynamometer with specially produced sensors demands less rearward displacement. Due to the complicatedly constructive design of the dynamometer shown in figure 3, the implement displacement amounts to only 280 mm, even if sensors that are commercially available are used, so that the tractor as well as the tools are compatible to categories II & III. Because of the free space only frames with special sensors, with exception of this dynamometer, allow the simultaneous measuring of the PTO torque.

Above all, the quick availability of a new sensor, the low purchase cost, the high operational security and its extreme accuracy are good arguments for the use of calibrated widely available and similarly constructed sensors. For this reason these commonly available sensors should be used if possible in developing countries. The interchangeability plays a particular roll. In general, not all the power signals from the single sensors are required with the same priority during field testing, so if one sensor is damaged it can be built in somewhere else relatively quickly where the power does not have to be measured so urgently. By doing this the testing sequence can be completed, whereas the production and calibration of a new special sensor takes so long that the completion of the current tests within the tillage season is no longer possible.

Integrated methods of testing, as are shown in fig. 1 under system II and III have the advantage that they do not generally cause rearward

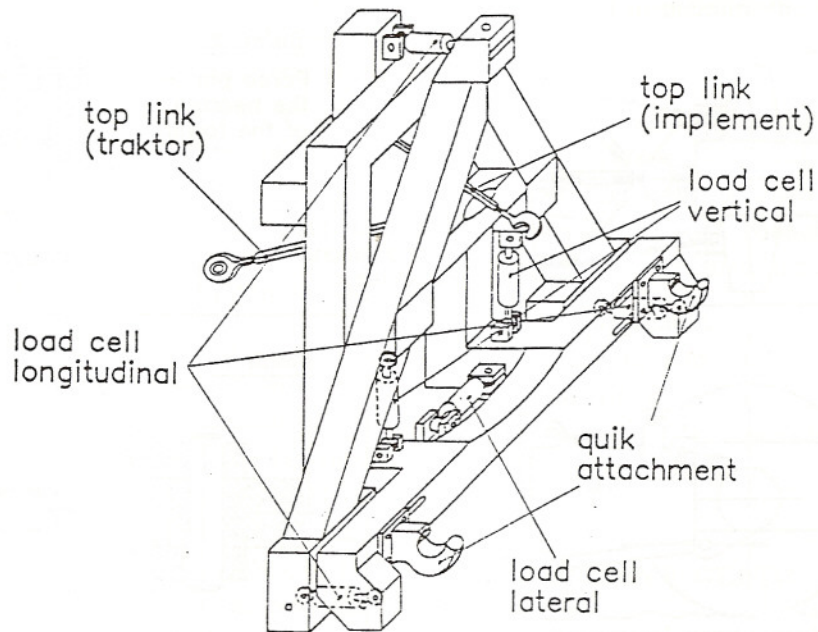


Fig. 3 : Dynamometer with widely available sensors and free space of the PTO

implement displacement. The measuring equipment is however compatible only to a certain extent with different tractors and tools. Should it be desirable to measure all the influential forces and moments on the tractor, a highly complex measuring device, like for example explained by COENEN in /7/, is required. By using only the integrated methods, you are limited on the whole to only partly obtaining the power-related data. If there is only one tractor available in an institution concerned with this sort of measuring, the integration of the measuring device would offer itself to the three point hitch. For this reason, contrary to the idea of using measuring devices attached to the tools there is the possibility to test any given tool, by the above mentioned methods.

The equipment shown in figure 4 is designed only for the recording of the tractive power from the free floating position driven tools. It is based on the method of measuring the power at the bearing of the lower link already introduced by THIEL in

1958 /8/ and developed further by REECE /9/ and SCHOLTZ /10/. This measuring equipment will be used in the EG project "Travail du Sol au Maroc" and in the GTZ project "Centre d'Expérimentation et d'Application de Materiel Agricole".

In the case of electronic controlled three-point-hitch it is easy to replace the original loadpin by a true to form builded sensor of high accuracy. These are only measuring the horizontal forces in the lower link, which are relevant to the drawbar power. The top link is additionally equipped with a load cell and an inclinometer. The horizontal component of the force in the top link can be calculated by these two signals. One requirement therefore, is that the signals are recorded simultaneously by a powerful data logger. The vertical load of the tool can be determined if the lower link is in a horizontal position. If the lower links are not in a horizontal line, their position can be recorded after an appropriate calibration through the signal of position and can be considered

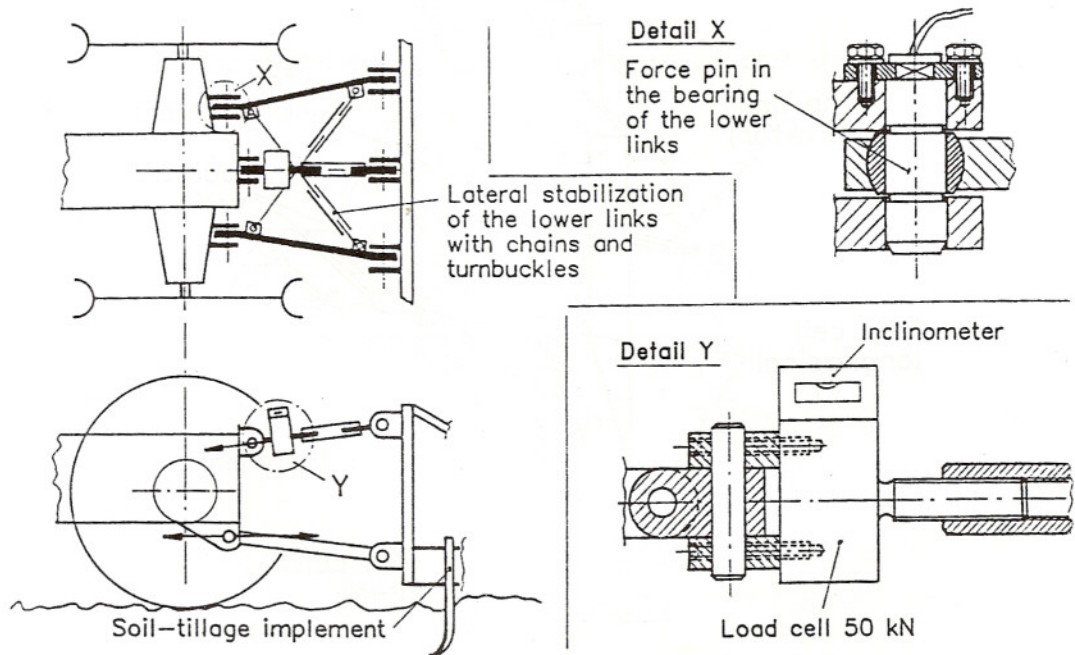


Fig. 4 : Reduced equipment to measure the forces between tractor and implement

mathematically afterwards. The good integration of the sensors into the tractor and the good mechanical protection of the cables and sensors, as well as their simple assembly and dismantling make this method of measuring particularly practical for developing countries.

If the force in the lower link is recorded on the side of the tool and not on the side of the tractor, the drawbar and support forces as described in /11/ can be measured without changing the geometry of connection in the controlling position of the power lift. Here, for every one of the tested tools there are different fitting pieces to be made and the flexibility of the test equipment is clearly limited.

3- SPEED AND SLIP

To calculate the drawbar power and the field performance the actual driving speed has to be measured. Radar sensors are commercially available, which reach an accuracy of measurement under certain conditions of $\pm 1\%$. However, should higher demands be placed on the accuracy or a results position in the field on the test plot be necessary, the actual speed by measuring the driving time on a marked-out test plot can be calculated. A photo electric barrier assembled on the tractor sets up an electric impulse by passing the marking stakes, which can also be used as a trigger for the automatic recording of the results.

The average speed is obtained with this simple and cheap method. If this information for the aim of the investigation is adequate, this method offers itself particularly to developing countries since only simple electronic parts of the construction are necessary and the personal cost for the additional worker, who peg out the new test plot after every test run, are relatively low.

In addition, the nominal speed will be needed to determine the slip of the drive wheels, which can be calipered as an electric signal in modern tractors. In other cases an additional impulse transmitter

must be built in the drive line, for which inductive sensors are particularly suited.

4- FUEL CONSUMPTION

The significant parameters for the energy requirements of a soil tillage tool is the fuel consumption per unit area. This will generally be determined by the flow of fuel within a certain testing distance. The flowmeters available on the market to some extent come from the area of test-bench science and are extremely precise and vary expensive, or they were developed for the unscientific recording of fuel consumption on road vehicles.

Providing that the fuel consumption from a 60 kW tractor is 13 l/h and its actual speed is 1.5 m/s, the measuring device with a resolution of 1.5 cm³ per impulse can achieve an accuracy of $\pm 1.48\%$ over a distance of 20 m.

The leakage pipe and flushing pipe must be short-circuited to measure the fuel consumption by diesel motors when using only one flowmeter. Field testing in developing countries frequently takes place where there are ambient temperatures. The danger of vapour lock exists where there is inadequate flow from the injection pump. A vapour bubble separator alone cannot guarantee that all the motors will work safely and correctly.

The increased demands of developing countries can be complied with by the additional installation of a countercurrent cooler and a circulation pump. The vapour bubble separator can then be discarded.

5- IMPLEMENT DEPTH

The drawbar requirement is influenced mostly by the workable depth of soil tillage implements. This should be continually recorded. The measuring can take place above the roller feeler which is attached to the implement, as shown

in figure 5. A tandem arrangement of the Farm-Flex tyres halves the amount of disturbances caused to the roughness of the soil or furrows by other types. The position of the roller feeler will be measured with a linear potentiometer. Electronically conducting plastics are also suited to the length of working time under extreme climatic conditions.

6- PROFILE OF SOIL SURFACE

The roughness of the field surface after tillage is among others a measure of performance. The seed needs for the undisturbed field emergence a finely crumbed and even field surface. The surface roughness will be measured with the profile meter schematically shown in Figure 6 and recorded on a hand-held data logger. The idea of using a contactless working distance meter would be abandoned since it appears to have inadequate security against malfunction when being used in a developing country. The profile meter distinguishes itself from previously described instruments through

the electronic data acquisition, which is integrated into the tool. Also through the controlled speed of the motor-driven carriage from the tester during measuring. The hand-held data logger has only a limited memory so for this reason after several measurements taken on the test field, the results will be transferred onto a lap-top PC.

7- SUMMARY

It is sensible to use modern techniques of measurement in field testing in developing countries. For particular measurements however, attention should be paid to the choice of components so that only commercially and easily available electronic components will be used. The increased climatic and partly also mechanical stress requires a solid construction. It will be easier to put up with the limitations in the area of flexibility of use and possible accuracy of measurements. These demands are taken into consideration by the measuring equipment used.

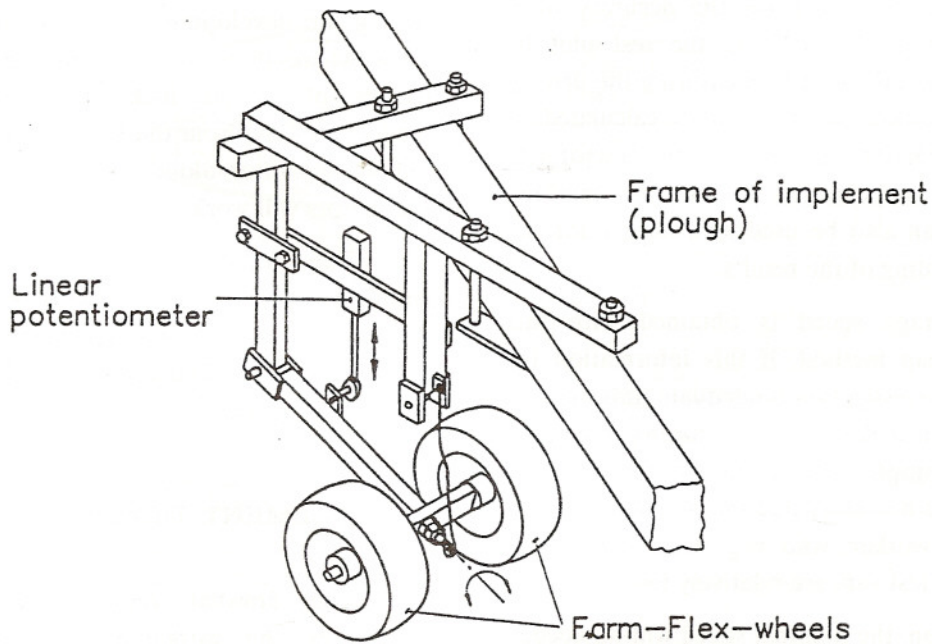


Fig. 5 : Roller feelers to measure the implement depth

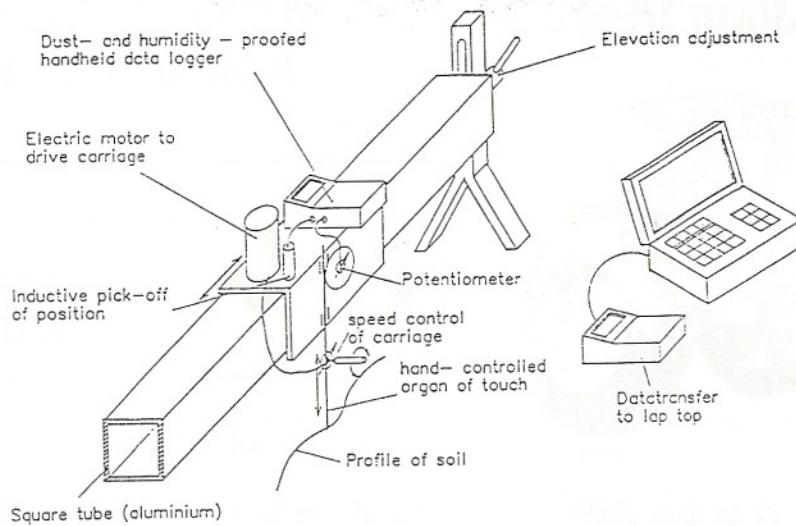


Fig. 6 : PROFILE METER

REFERENCES

- Scholtz, O. L.: A three-point-linkage dynamometer for restrained linkages. Journ. Agr. Eng. Res. Vol. 11 (1966) No. 1, p. 33-37.
- Steinkampf, H.: Messung räumlich wirkender Kräfte zwischen Schlepper und Gerät. Grundle. Landtechnik Vol. 21 (1971) No. 3, p. 71-76.
- Johnson, C. E. u. W. B. Vorhees: A force dynamometer for three-point hitches. Trans. ASAE Vol. 23 (1979) No. 2, p. 226-228 a. 232.
- Barker, G. L., L. A. Smith u. R. F. Colwick: Three-point hitch dynamometer for directional force measurement. ASAE Paper No. 81-1044.
- Knechtges, H. u. J. Griebel: Einfluß unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf landtechnische Leistungsparameter, Arbeitseffekte und Verfahrenskosten. Proceedings of the Symposium "Wechselwirkung von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden" at the JLU Gießen, Mai 1989, p.13-20
- Jenane, J.: Draft, energy and traction in relation to tillage for sugarbeet production in the Gharb area. Dissertation at Institut Agronomique et Veterinaire Hassan II, Rabat, 1991.
- Coenen, H.: Dynamische Belastungen im Dreipunktanbau bei unterschiedlichen Traktor-Geräte-Kombinationen. Proceedings of Internationale VDI-MEG Tagung Landtechnik, Okt. 1988 in Neu Ulm, p. 132-134.
- Thiel, R.: Zugkraftmessung am Dreipunktanbau des Ackerschleppers mittels elektrischer Meßmethoden. Landt. Forschung Vol. 8 (1958), No. 5, p. 132-134.
- Reece, A.R.: A three-point-linkage dynamometer. Journ. Agr. Eng. Res. Vol. 6 (1961) No. 1, p. 45-50.
- Scholtz, D.C.: A three-point-linkage dynamometer for mounted implements. Journ. Agr. Eng. Res. Vol. 11 (1966), No. 1, p. 33-37
- Knechtges, H.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Traktor und Gerät. Dissertation at the RWTH Aachen, 1991.

A POWERED FLAIL TOOL FOR RESIDUE MANIPULATION IN CONSERVATION TILLAGE

By

Chakib Jenane (1), Jonathan Chaplin (2) & Mike Lueders (3)

**For presentation at the International Seminar
of the 3rd Section of the CIGR on
Tillage in Arid and Semi-Arid Areas
Rabat - Morocco**

ABSTRACT

A powered flail tool was designed and constructed to be used for residue manipulation in conservation-tillage planting. The performance of the powered flail were evaluated in field tests where plant residue was distributed on the soil surface. The effectiveness of the powered flail was compared to a rolling coulter based upon residue manipulation, seed emergence and uniformity of seed depth. The powered flail was able to cut through heavy residue with no difficulty. Seed emergence and seed depth data indicated no significant difference among the treatments compared. Rotary power input to the designed tool was measured in the field. Depending on soil conditions and the density of residue in the plots, the input power ranged from 0.2 to 5.2 kW.

(1) Maitre de Conférence, Département de Machinisme Agricole, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.
BP 6202, Rabat-Instituts. Morocco.

(2) Associate Professor, Department of Agricultural Engineering, Univ. of Minnesota. 1390 Eckles Av. St. Paul MN 55108. USA.

(3) Assistant Scientist, Department of Agricultural Engineering, Univ. of Minnesota. 1390 Eckles Av. St. Paul MN 55108. USA.

INTRODUCTION

Conservation tillage or reduced tillage has been gaining in popularity over the last few years. The main claims for the evolution of this technique are the various reports on tillage induced soil structure deterioration and associated erosion. Other factors that favor its use include conservation of soil moisture and lower production costs.

Heavy plant residue and variable soil conditions are problems that conservation-tillage planting should be able to cope with if efficient seeding is to be obtained. Several manufacturers have developed planters that are able to remove crop residue from the path of the unit planter and to penetrate hard soils. The most common method uses rolling coulters in front of the furrow opener to cut the plant residue and loosen a narrow strip of soil for improved seed placement. This method works well under certain conditions, but when the soil is soft and the residue is moist, the coulters will hairpin the residue into the soil without cutting it. As a result, germination and emergence would be seriously affected due to poor seed-soil contact and the toxic effect of residue on the new plant.

Other planters use a "sweep" ahead of the furrow opener to move the residue to the side. The main disadvantage of this procedure lies in the amount of soil disturbance which can result from its use. The disturbance of soil surface often leads to increased volunteer grain germination.

The perceived inability of planters used in conservation tillage to achieve an adequate seedbed and consistent emergence is an obstacle to the acceptance of this practice. The purpose of this study is to investigate the feasibility of using a powered flail tool in combination with a conservation-tillage planter to clean the row path while achieving minimum soil disturbance.

OBJECTIVES

The objectives of this study are (1) to design, build and field test a powered flail tool for residue manipulation in conservation-tillage and (2) to evaluate the performance of the tool with respect to residue handling, plant emergence, uniformity of seed depth and power requirement.

LITERATURE REVIEW

The introduction of plant growth regulators during world war II triggered the era that allowed reduced tillage practices to come into focus today (Phillips, 1984). The general concept of this technique is characterized by minimizing preplant tillage operations. Seed placement is made in narrow slots or bands of sufficient width and depth for seed coverage and soil contact.

An extensive body of literature exists on yield and other performance criteria in conservation tillage. Erbach (1981) described the major requirements of planters for conservation tillage as (1) positive residue cutting, (2) uniform soil penetration, (3) uniformity of seed depth and (4) adequate seed-soil contact and seed coverage. Cannell et al. (1982) reported yield depressions of winter cereals, on average 25% after direct seeding in fields with large amounts of straw. Other studies, Dickey et al. (1983) and Hummel and Siemens (1985) investigated the emergence and yields of corn as affected by different tillage systems. They concluded that emergence and yields of corn grown in conservation tillage can equal that of conventional tillage systems.

Many modifications have been made to improve the performance of conservation-tillage planting. Harrold et al. (1970) discussed the use of

coulters in combination with furrow openers for proper seed placement. They emphasized that the coulters should be attached on the same mechanical linkage 80 that they would direct the planting unit in the furrow cut by the coulters. Wittmuss et al. (1971) used a strip till-planter consisting of a rolling coulters to cut crop residue followed by a sweep to remove residue and weed seed from the row. The till-plant system produced corn and grain sorghum yields equal to conventional tillage systems.

Observations were made on soil penetration and residue cutting ability of double and triple disk, and hoe openers as influenced by bulk density and straw density on a silt loam soil (Lindwall and Anderson, 1977). It was shown that double and triple disk were unable to cut through layers of stubble and straw exceeding 3700 kg/ha and to penetrate untilled soil with bulk density exceeding 1.2 g/cm³. The hoe opener achieved the best job of soil penetration. But, residue exceeding 25 cm in length would not flow through the hoe openers, eventually leading to blockage.

Erbach and Choi (1983) evaluated the cutting performance of plain, ripped, notched, and fluted coulters of 410 mm on corn stalks. They reported that the type of coulters had no effect on the quantity of corn stalks sheared. Rushwaha et al. (1986) conducted a study on the straw-cutting performance of plain disk coulters. They showed that plain disk coulters of 300 and 600 mm diameter were unable to cut all the crop residue. Coulters of 460 mm diameter were able to cut nearly 100% of the crop residue for most of the test conditions.

Other technologies in conservation tillage planters showed interest in powered tools for crop residue manipulation. Erbach (1978) described furrow openers utilizing powered coulters to cut plant residue and to aid in opening the seed furrow. Smith et al. (1979) reported a ground-driven powered tool adaptable to no-tillage planting operations. Their concept utilizes a passive coulters to provide the power to drive a disk tillage device.

Townsend and Bethge (1984) described a powered disk that was able to penetrate compacted

layers (cone index=2.36 MPa) and large amount of residue (3900 kg/ha). The maximum power input to the disk was 2.6 kW at 5.2 km/h forward speed in a clay soil compacted by combine wheels in a barley stubble field. Rushwaha et al. (1986) observed that increasing the rotational speed of coulters did not affect the quantity of the crop residue cut. Also, soil reactions and power consumption increased with the increase of rotational speed and straw density, but were considerably lower than those obtained with a free-rolling coulters.

Sharp et al. (1988) described a rotary tillage implement for incorporating straw and other materials into the soil. The tool consisted of "A" blade shares followed by tined rotors. Their tests indicated that the design of the tool fulfilled the requirements of complete dispersal of straw throughout the cultivated profile.

DESCRIPTION OF THE DEVICE

Figure 1 shows the general concept of the powered flail tool. Free swinging blades mounted on the powered flail were to cut a band of residue ahead of the planter unit, carry it inside a guide and throw it rearward by the rotary motion of the blades. By rotating the flail head, the residue cut can be deposited onto the row for mulching purposes, or by the side of the row to provide a clean seed furrow. The flail head would be positioned at ground level, reducing vertical force requirements by not forcing the blades into the soil. The action of the rotating blades would pulverize soil clods leading to a leveled surface before planting. In addition, inrow placement fertilizers and herbicides could be accomplished using the powered flail.

The designed tool consisted of the components indicated in Figure 2. To achieve good cleaning of the row path prior to seeding and to prevent residue from interfering with seed placement, a 14 cm wide flail was considered appropriate. The path cut by the flail would allow

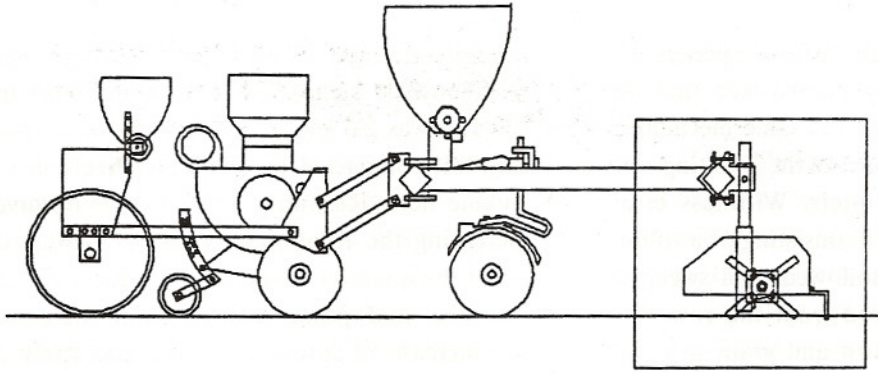


Figure 1. Design concept of the powered flail tool

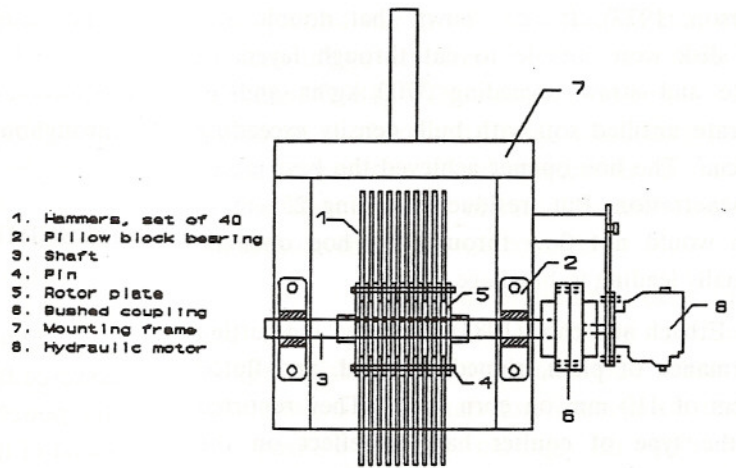


Figure 2. Powered flail tool main components

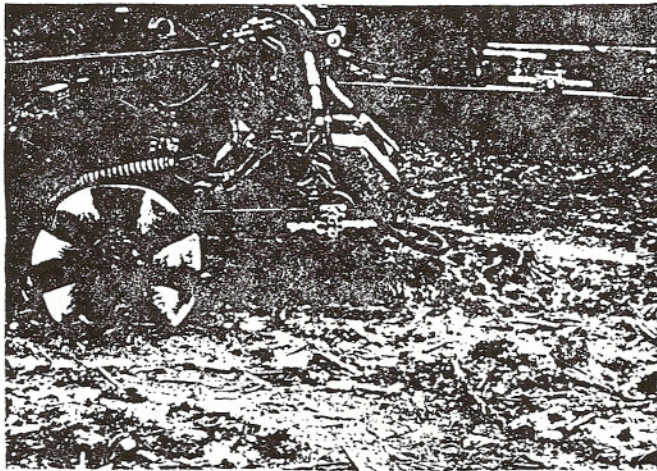


Figure 3. Powered flail tool-side view.

ample space for the disk opener to operate adequately. The flail tool used 10 rows of blades. The thickness of a single blade was set to 6.5 mm. The spacing between the blades was approximately 8 mm. To prevent any bending of the blades due to stones or hard surface, the blades were made free swinging.

A frame was constructed to support the rotating flail. A shroud fixed to the frame acts as a guide to remove or redeposit the residue on the row. The depth of side walls of the shroud was 25 cm to confine the residue. A shear bar was fixed at the front of the shroud to help chop the residue. The clearance between the blades fully extended and the shear bar was set to approximately 5 mm.

A hydraulic motor was used to power the flail tool. The speed of the hydraulic motor could be changed by varying the flow from a proportional flow divider. The flail was run at 2000 rev/min with a flow rate of 19 L/min. The flail was clamped to the planter frame by means of a mounting bracket and setscrew. This mounting system made it possible to move the entire device up and down allowing for fast adjustments of the working depth. Front shielding mounted on the frame was used to prevent objects from being thrown onto the tractor driver. Figure 3 shows a side view of two constructed prototypes.

TEST PROCEDURES

To evaluate the performance of the powered flail device in the field, the constructed prototypes were fitted to a four row no-till planter. These were mounted ahead of two disk openers, while rolling coulters were mounted ahead of the two remaining disk openers.

Two experiments were established to evaluate the performance of the conceived device. The first experiment investigated the performance of the tool with respect to: (1) residue handling, (2) effect of tractor speed and (3) power requirement. The later parameter was measured using an instrumentation

system fitted on a tractor. It consisted of a turbine flow transducer (FT-32TM), a pressure transducer (Dynisco PTJTM), and a datalogger (Campbell Scientific CR7TM). The system measured the hydraulic power input to the flail for rotation.

The tests were performed in plots that were residue cover consisted of corn stalks. These were hand distributed on the field at approximately 6700 kg/ha. The height of the anchored stalks was about 20 cm. Test runs were made at tractor forward speeds of about 2.1, 3.2, and 4.7 km/h. Different positions of the flail unit were also tested. These were: flail reversed 30° from row, flail perpendicular to row, and flail rotation opposite to direction of travel.

The second experiment investigated the effect of the powered flail tool on seedling emergence and depth of planting in comparison to a rolling coulters. Plots were established in a two by two factorial design with 8 observations. The treatments investigated were :

- a. Absence of residue, use of the rolling coulters,
- b. Absence of residue, use of the powered flail tool,
- c. Presence of residue, use of the rolling coulters,
- d. Presence of residue, use of the powered flail.

These four factor-level combinations were assigned at random to the plots. The size of each plot was 1.5 m by 25 m. Layers of residue were hand distributed on the plots at similar rate than the first experiment. All plots were planted in corn with a row spacing of 76 cm. The same fertilizer rate was applied for all the treatments. Insecticides were applied at the time of planting. Seed planting depth was set to 5 cm. Seeding rate was adjusted to 60700 seeds per hectare.

Plant emergence was observed daily for each treatment, starting the sixth day after seeding. Seed depth was recorded for ten plants selected at random in each plot. The procedure required clipping the selected plants at the soil surface and removing them from the soil. The seed depth was determined as the distance from the soil surface (clipped end) to the top of the seed.

RESULTS AND DISCUSSION

The overall objectives of the powered flail design were proven in field tests. The flail tool was able to cut through the residue with no difficulty leading to a clean planting row. The residue was cut into small pieces against the tool shield and thrown away from the row. Also, little soil disturbance was observed.

The flail unit performed relatively well for all the different tractor speeds and flail positions. Field tests did not show any significant effect of tractor speed on the cutting performance of the flail tool. Reversing the flail 30° from the row yielded a clean row path. However, rotation of the flail unit opposite to travel direction resulted with residue being thrown onto the planter. Accumulated residue on the planter units could cause plugging of the seeding units, especially if these use pressurized metering devices. Also, the device was unable to cut residue on an uneven soil surface and the hydraulic motor became overloaded in heavy residue. Correction are to be made in these areas.

The emergence percentage, ratio of the number of seeds which emerge from the soil to the number of seeds planted was calculated for each treatment. Final emergence percentage averaged approximately 75% for all the treatments (Figures 4 and 5). The counts for this calculation was taken 28 days after planting. The analysis of variance indicated that neither the powered flail nor the rolling coulters affected the seedling emergence rate ($p > 0.05$). It should be noted that the late planting date combined with a drought period which began during seeding probably affected the seed emergence.

An index for assessing seedling emergence SERI (Seedling Emergence Rate Index) was determined. This index measures the maximum emergence percentage within the shortest time and was defined as :

$$SERI = \sum_{i=1}^x E(x-i)$$

where :

E = Emergence percentage

x = Total number of days of observation from planting

i = Number of the current day of observing the seedling emergence.

Figure 6 shows the SERI results obtained from the four treatments. Analysis of variance and least significant difference (LSD) were calculated for the SERI'S results. Based on Fisher's LSD, a significant higher SERI was achieved in the absence of residues in the plots and the use of the powered flail as compared to the presence of residue and the use of a rolling coulters ($p < 0.05$). The use of the powered flail appears to be the reason for this result. No significant difference resulted from the other treatments.

The effect of each treatment on standard deviation of planting depth was analyzed. Seed placement depth, in relation to the soil surface ranged from 3.5 to 7 cm. An analysis of variance was performed to determine the most effective treatment with respect to uniformity of seed depth. No significant difference between any treatment was concluded ($p > 0.05$). This suggests that the same seed depth variability was observed for all the treatments.

The input power to the flail tool was calculated using the measured flow passing through the motor and the applied hydraulic pressure. it was noticed that power input depends on the level of residue in the plots and soil conditions rather than the forward tractor speed. The power required to rotate the flail tool ranged between 0.2 and 5.2 kW.

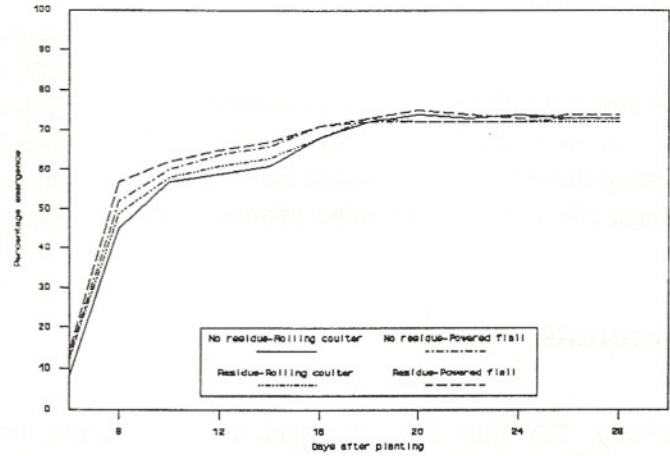


Figure 4. Accumulated percentage emergence

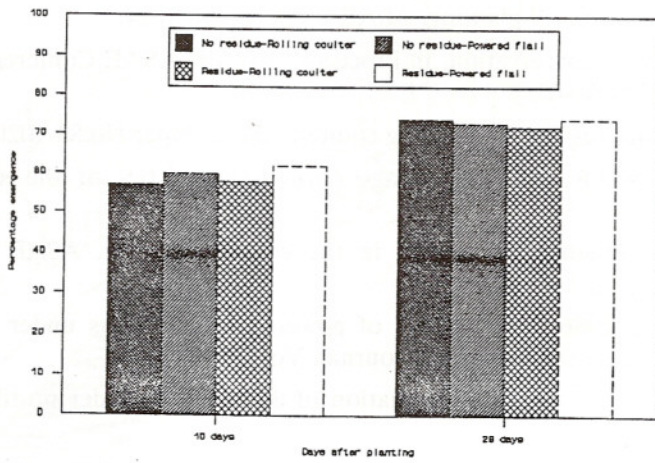


Figure 5. Accumulated percentage emergence 10 and 28 days after seeding

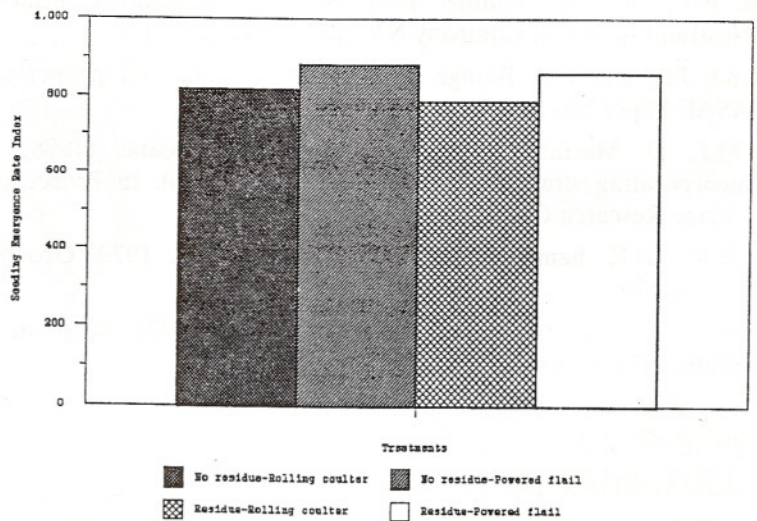


Figure 6. Seeding emergence rate indices

CONCLUSIONS

A powered flail tool for residue manipulation in conservation planting was designed and built. Field testing showed that the powered flail is able to cut through a high density of residue, approximately

6700 kg/h, with no difficulty. The input power required to rotate the flail ranged from 0.2 to 5.2 kW, depending on soil conditions and the level of residue on the plots. After a one year experiment, data from emergence percentage and planting depth showed no significant difference between using the rolling coulters or the powered flail tool.

REFERENCES

- Cannel, R.Q., F.B. Ellis, D.G. Christian, and B.T. Barnes. 1982. Long-term comparisons on direct drilling, shallow tillage and ploughing on clay and silt loam soils, with particular reference to straw disposal. In Proceedings of the 9th conference of the Int. Soil Tillage Research Organisation. P:85-90.
- Dickey, E.C., T.R. Peterson, J.R. Gilley, and L.N. Mielke. 1983. Yield comparisons between continuous no-till and tillage rotations. *Trans. ASAE* 26 (6):1682-1686.
- Erbach, D.C. 1978. Residue cutting furrow opener for no-till planting. ASAE Paper No:78-1014.
- Erbach, D.C. 1981. Planting for crop production with conservation. In Proceedings of the ASAE Conference on Crop Production in the 80's. ASAE Publ. 7-81:50-65.
- Erbach, D.C. and C.H. Choi. 1983. Shearing of plant residue by a rolling coulters. ASAE Paper No:83-1020.
- Harrold, L.L., G.B. Triplett Jr., and W.M. Edwards. 1970. No-tillage corn-characteristics of the system. *Agricultural Engineering*. 51:128-131.
- Hummel, J.W. and J.C. Siemens. 1985. Tillage systems comparison in the central cornbelt. ASAE Paper No:85-1008
- Rushwaha, R.L., A.S. Vaishnav, and G.C. Zoerb. 1986. Performance of powered-disk coulters under no-till crop residue in the soil bin. *Canadian Agricultural Engineering Journal*. Vol. 28 (2):85-90.
- Kushwaha, R.L., A.S. Vaishnav, and G.C. Zoerb. 1986. Soil bin evaluation of disk coulters under no-till crop residue conditions. *Trans. ASAE* Vol. 29:40-44.
- Lindwall, C.W., and D.T. Anderson. 1977. Effects of different seeding machines on spring wheat production under various conditions of stubble residue and soil compaction in no-till rotations. *Canadian Journal of Soil Sciences*. Vol. 57 (2):81-91.
- Phillips, R.E. and S.H. Phillips. 1984. No-tillage agriculture, principles and practices. Published by Van Nostrand Reinhold Company NY. ISBN 0-442-27731-8.
- Townsend, J.S., and J.M. Bethge. 1984. Furrow opener for proper seed and fertilizer placement in no-till. ASAE Paper No. 84-1511.
- Sharp M.J., D. Macintyre, J.A. Pascal, and B.D. Soane. (1988). A new rotary tillage implement for incorporating straw and other materials into soil. In Proceedings of the 11th Int. Conf. of the Soil Tillage Research Organization. Vol.(2):517-522.
- Smith, E.M., D.E. hammett, and H.J. Thompson Jr. 1979. Ground driven power tillage. ASAE Paper No:79-1024.
- Wittmuss, H.D., D.E. Lane, and B.R. Somerhalder. 1971. Strip till-planting of row crops through surface residue. *Trans. ASAE*. Vol. 14 (1):60-63.

ENERGY REQUIREMENTS AND PERFORMANCE OF DIFFERENT SOIL TILLAGE SYSTEMS IN THE GHARB AND ZAER REGION

DYCDER J. (1) & BOURARACH E.H. (2)

1- INTRODUCTION

The mecanisation of soil tillage in rain feed farming in the regions Gharb and Zaër is not yet on a satisfactory level. The mainly used implements are disc harrows and also ploughs. Especially on the the heavy soils in the Gharb region they do not work very well. Often three to five passages are necessary to produce a fine structured seedbed so that the efficiency is very low. Fields which are worked with disc harrows and disc ploughs are endangered by soil erosion on inclined locations. For this reasons there is a need of establishing new types of tillage systems which correspondend to the pretensions of rain feed cultivation in semi-arid regions in quality of work as well as in efficiency. Within the scope of a project financed by the European Community field tests of different tillage systems, including direct drilling on two locations are under investigation. First results concerning energy input, time requirements and field performance shall be shown in this paper.

2- DESCRIPTION OF TEST PLOTS AND CHOSEN TILLAGE SYSTEMS

One test plot is situated in Aïn El Aouda in the Zaër region and the other one is located on the experimental station (F.A.G.) of the Institute

Agronomique et Vétérinaire Hassan II. The test plot in the Gharb region consists of the alluvial soil type Vertisol ("Tirs"). It is a deep soil with a wide A-horizon (up to 100 cm) over a C-horizon. B-horizons are often absent. The clay content on the test plot varies between 67 and 81 %. The main clay mineral is the montmorillonit, with the attributes of extension and contraction. This mineral is responsible for the typical self-mulching effects of Vertisols. The precipitation rate is between 500 and 600 mm/a, with the main part falling in winter. Because of high evaporation the Gharb region belongs to the semi-arid areas. The test plot in Aïn El Aouda shows quite different soil and climatic properties. The soil is a kind of ferrusol (morrocan typology) w'ith concretions of hard iron and mangan oxides. These concretions cause high wear rates to the implements. Another remarkable characteristic feature of this soil is the absence of the 'self-mulching effect' as it is known by the vertisols in the 'Gharb'. This fact increases the danger of soil compaction. The average precipitation of the last ten years varies between 350 and 400 mm/a with great variation between the years and also within the year. The water deficit can reach more than 350 mm/a.

By taking into account the local conditions of the two test sites the following tillage systems were chosen :

(1) Institut fur Landtechnik, Giessen, R.F.A.

(2) I.A.V. HASSAN II, Departement de Machinisme, Rabat, MAROC.

Table 1 : Tillage systems on the test sites 'Gharb' and 'Zaër'

'Gharb' (Sidi Allal Tazi)		
primary tillage	seedbed preparation	Abbr.
1- disc harrow (heavy)	disc harrow (light)	DHh+DHI
2- disc plough	rotary cultivator tines with ('Rototiller')	DP+RT
3- chisel plough with rigid tines	rotary cultivator with tines ('Rototiller')	CH+RT
4- rotary cultivator with tines and roller ('Rototiller')		RT
5- winged shares with rotary cultivator and roller (type 'DUTZI')		DZ
6- direct drilling machine		DD
'Zaër' (Aïn El Aouda)		
1- disc harrow (heavy)	seedbed combination (spring tines with roller tiller)	DHh+SC
2- chisel plough with rigid tines	seedbed combination	CH+SC
3- rotary cultivator with tines and roller ('Rototiller')		RT
4- direct drilling machine		DD

3- RESULTS

3-1 Power and energy requirements

In figure 1 the specific power requirements of the implements used in the field tests in the Zaër and Gharb regions are shown. These measurements represent the average values over two years at the above mentioned locations.

The combined machine (DZ) composed of winged shares which work on 20 - 25 cm soil depth and a following rotary cultivator working on 8 - 10 cm depth has with 22 kW/m the highest power needs per m-working width, divided in approximately 50 % for tractive power and 50 % for p.t.o.-power. The only use of a light type of rotary cultivator (RT) on 10 cm working depth in reduced tillage systems shows lower requirement of power of about 16 kW/m. Nearly 100 % of the power is needed at the p.t.o. shaft. In the group of drawn implements used in two-phase conventional tillage systems the heavy disc harrow (DHh) needs with 13 kW/m the lowest tractive power. The chisel plough needs about 14 kW/m and the disk plough takes about 17 kW/m. For seedbed preparation the combination consisting of spring tines and roller

tiller (SC) shows with 5 kW/m the lowest power requirement. A light disc harrow (DHI) needs 9 kW/m and the p.t.o driven rotary cultivator (RT) needs more than 10 kW/m with a little part for tractive power. For direct drilling with a three-disc-seeder nearly 6 kW/m are needed to pull the machine.

Figure 2 shows the average total energy requirements and fuel consumption per ha of different soil tillage systems inclusive seeding from measurements of two years on the test plot in the Gharb region. Two-phase tillage systems with P.t.o.-driven implements for seedbed preparation need very high energy inputs. The combination of disc ploughing as primary tillage and using the rotary cultivator for seedbed preparation shows with more than 92 kWh/ha the maximum energy requirements. With about 68,4 kWh/ha for chisel plough and rotary cultivator and 69,2 kWh/ha for the combination of winged shares with a rotary cultivator in one implement this two systems show nearly the same energy requirements. The system with heavy and light disc harrow needs with 37 kWh/ha the lowest energy input of methods with soil treatment. As no-tillage system the direct drilling method distinguishes oneself with the absolut

lowest energy requirement of 6 kWh/h. Looking at the fuel consumption per ha one can see the same order like the energy input with exception of the rotary cultivator. Because of the better efficiency of p.t.o. driven implements it even has a lower fuel consumption than the disc harrow system however the energy requirement of the rotary cultivator is higher. The systems CH+RT and DZ are in energy requirements and fuel consumption nearly equal. Both systems need a part of power as tractive power and a part as p.t.o.-power. The absolute lowest fuel consumption is naturally measured in the direct drilling system.

The measurements on the test plot in the Zaër region show tendentially the same results as in the Gharb region. The seedbed preparation here is done by a seedbed combination with spring tines and roller tiller which lowers the energy requirements and fuel consumption. The higher efficiency of the p.t.o. driven rotary cultivator can also be seen at this location.

3-2 Soil profile

The performance of the different tillage systems can be judged by measuring the soil surface profile with a profile meter. The standard deviation of the surface profile is a measure for the average roughness of a soil surface after tilling. The results of the surface measuring are shown in figure 4 and 5.

The primary tillage with CH and DP produces a very rough soil surface with standard deviations of 5.3 and 6.9 cm. The following seedbed preparation with the rotary cultivator nearly halves the standard deviation to 3.3 cm. The heavy disc harrow makes a more even soil surface but the effect of the second passage with the light disc harrow is very small. This result confirms that more than two passages with a disc harrow, as it is often done by the farmers do not bring any effect to the soil roughness. Using a rotary cultivator (RT) or the combination of winged shares with a rotary cultivator (DZ) in reduced tillage systems the soil surface gets a very fine crumb formation. The use of a seedbed combination (SC) after chisel plough and

heavy disc harrow on the soils of the Zaër region makes soil surface with standard deviations of roughness between 2.45 cm for CH+SC and 1.92 cm for DHH+SC. The rotary cultivator produces the finest soil surface, like on the Gharb soil.

3-3 Rate of emergence and grain yield

In the first year winter wheat was drilled on both locations. Figure 6 describes the rate of emergence in the Gharb region. The seed was drilled in dry soil and the first rain fell about 4 weeks after drilling time. At this location the direct drilling variant shows an enormous growing. Seven days after drilling there were grown nearly 100 plants per m² and approximate five weeks later the tillering phase began with more than 300 plants per m². At harvesting time 260 ears per m² were counted.

The rate of emergence of all other variants was much smaller. Before the first rain about four weeks after drilling there were only traces of emergence. After the rain a little push of growing could be watched. In the middle of December there were only between 50 and 100 plants per m² counted. In the first phase before raining the conventional systems with deeper soil treatment showed partially a slightly higher rate of emergence than the reduced systems of RT and DZ. But after raining the reduced variants tendentially overtook the other systems.

The differences in the count of ears per m² at harvesting time were very small. The system CD+RT took the last place with 190 ears per m². The best result of the systems with soil tillage showed CH+RT with about 223 plants per m².

The reason for the good growing of the direct drilling variant is that here the remaining soil water could be used. The variants with soil treatment loosened and turned the soil and caused so a high rate of evaporation in the seedbed horizon, however the soil was recompacted by preparing the seedbed the capillarity was disturbed and so there was no subsequent delivery of water into the seeding horizon.

Looking at the grain yield shown in figure 7 the direct drilling variant has the significant highest yield. The differences between the other systems are very little besides with RT and DP+RT which have the lowest yield level. The reasons for the bad yields of RT and DP+RT could be found in the small weight per thousand seeds in the RT variant and the small count of ears/m² in DP+RT variant.

The rate of emergence and grain yield on the field in the Zaër region are not comparable to the results of the Gharb. Seeding time was shortly after raining so that enough water for growing could be found on the plots with soil tillage. For this reason the direct drilling system only shows a very small advantage of 192 plants per m² to 159 - 162 plants per m² in the variants with soil tillage. There also cannot be watched a higher grain yield for direct drilling. For all variants the grain yield is relatively low. Direct drilling and rotary cultivator do not differ significantly from each other. The system with disc harrow shows the significant lowest grain yield, while the chisel plough has the highest grain yield.

4- EFFICIENCY OF ENERGY INPUT AND FIELD PERFORMANCE

To judge the efficiency of total energy input of tillage systems the calculation of fuel consumption per grain yield is a useful standard.

Figures 10 and 11 show the results for soil tillage inclusive seeding on both locations. In the Gharb region the system DP+RT has with 1.54 l/dt a very bad level of energy use. DZ and CH+RT need approximatively half of the fuel than DP+RT to produce 1 dt grain. The system DHh+Dhl takes 0.68 l/dt and RT 0.61 l/dt. Besides direct drilling this two systems show the most efficient use of fuel. Direct drilling without any soil tillage only consumes 0.09 l/dt. In the Zaër region the results are similar. The absolut minimal fuel consumption per dt grain is measured by direct drilling. Under the systems with soil tillage the only using of a

rotary cultivator takes the lowest fuel input per dt grain.

In figure 12 the time requirements of the tested tillage systems are shown in comparison to the field performance of three passages with a disc harrow how it is traditionally often done by the farmers. The implement width is calculated for a tractor of about 65 kW by using the data measured in the field tests in 1990 and 1991, the calculation of the operating time on farmers' fields based on investigations in 1989 in the Gharb region. The calculations do not take into consideration the turning times at the field end, preparation time and transport time because they are quite different for each given circumstances. The results show the theoretically possible field performance of the tested systems.

All systems with soil tillage cannot concure with the field performance of direct drilling.

Only looking at systems with soil treatment the rotary cultivator (RT) shows the best field performance followed in ascending order by CH+SC, DHh+SC, DHh+Dhl. With values between 2 and 2.3 h/ha CH+RT and DZ are not so efficient but in every case better than DP+RT (more than 3 h/ha) and the performance of three passages disc harrowing as it is often observed on the farms.

5- CONCLUSIONS

After two years of measuring the technical properties and one year of watching the plant properties following statements can be made :

- DD is the system with lowest fuel consumption and time requirements. Especially under dry conditions the plant growing is better than in systems with soil tillage because of the better use of the remaining soil water. On vertisol soils it shows the absolutely highest grain yield.

- The only use of a rotary cultivator (RT) distinguishes with the lowest fuel consumption of the tested systems with soil tillage, the most even soil profile and a high performance per area.
- The system composed of winged shares and rotary cultivator (DZ) in one implement with deeper soil breaking on 20 cm also produces a fine soil surface but needs more fuel per hectare. To have an acceptable performance per area with a working width of about 2.50 m a powerful tractor (>74 kW) is necessary.
- The system CH+RT is in time requirements and total fuel consumption similar to DZ. But because the system is divided into two passages a smaller tractor may be used. The profile however shows a bigger roughness than RT and DZ. Changing the rotary cultivator through a seedbed combination on the test plot in Ain El Aouda time requirements and fuel consumption can be lowered and the soil surface is a little bit finer.
- CD+RT marks with the highest fuel consumption and highest time requirements of all systems. This is due to the bad performance of the disc plough. The rough surface of a disc ploughed field cannot totally be leveled by the rotary cultivator but the re-compaction is better than by the

commonly used light disc harrow for seedbed preparation.

- Time requirements for the use of a heavy disc harrow are comparatively low. The second passage with a light disc harrow for seedbed preparation shows no effect on the soil surface and re-compaction. The crumbs are only transported from one side to the other by the discs. By using a seedbed combination with spring tines and roller tillers the soil surface becomes finer.

The grain yield and rate of emergence are to be watched under the consideration that the results base only on one year. Long term effects on soil and plant have to be judged after a longer time of using the same tillage system. The direct drilling variant in the Gharb under dry conditions gives an idea of the good possibility to use this technique in semi-arid regions.

6- SUMMARY

On the base of field tests in the Gharb and Zaër region selected technical, soil and plant properties of different soil tillage systems are shown. By using the fuel consumption per area and per dt grain yield, looking at the power requirements, operating time and the influence on soil roughness after tillage it is possible to give a first estimation of the implement performance under semi-arid conditions.

Fig. 1 : Average specific power requirements of different implements for varying tillage operations

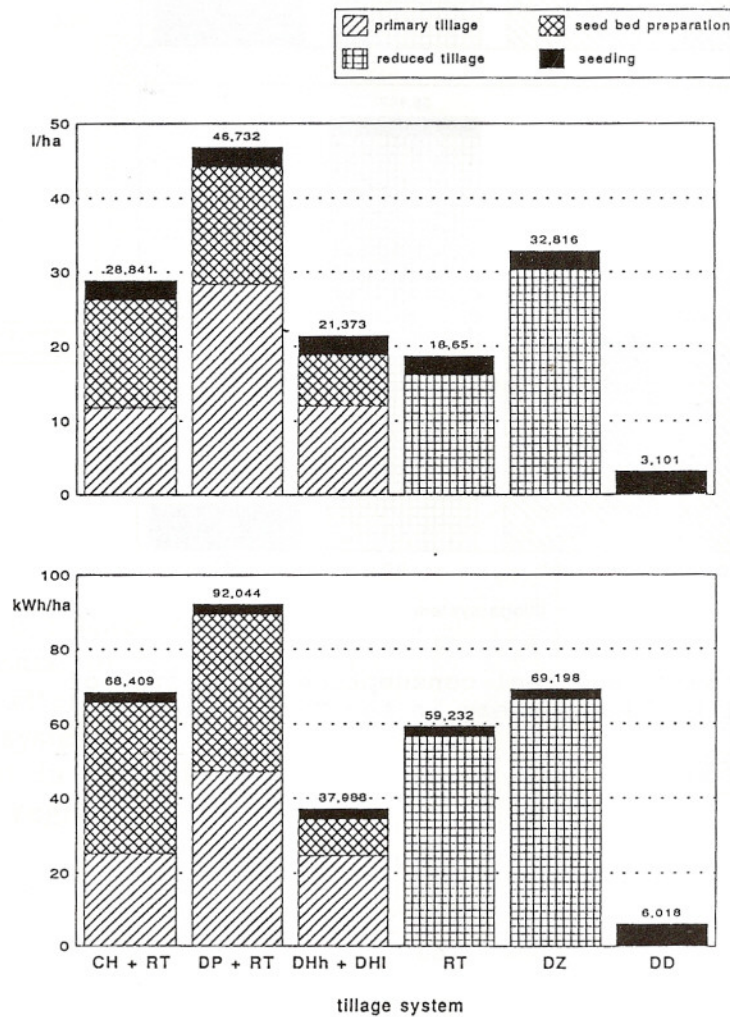
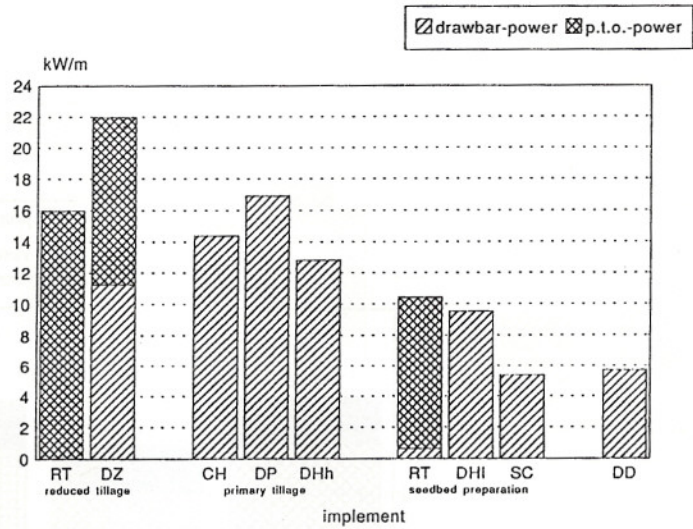


Fig. 2 : Energy requirements and fuel consumption per hectare of different soil tillage systems in the Gharb region.

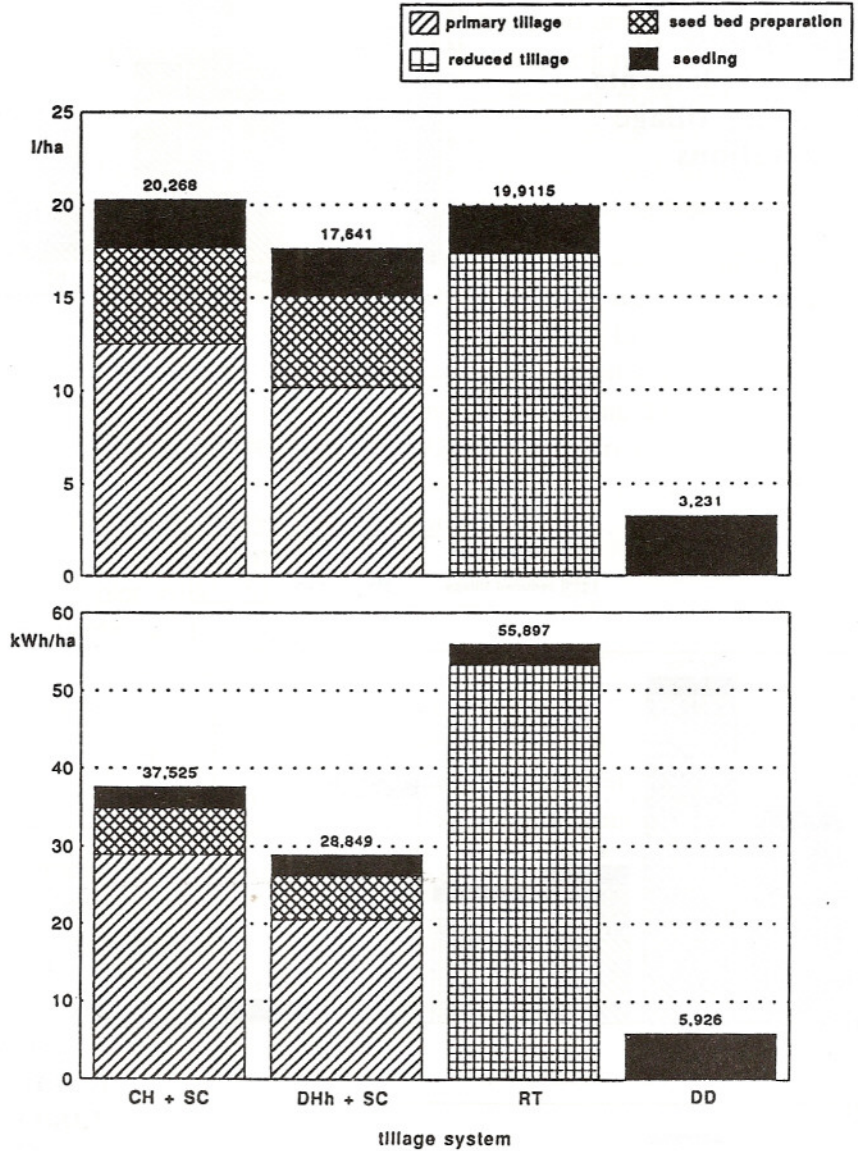


Fig. 3: Energy requirements and fuel consumption per hectare of different soil tillage systems in the Zaër region.

Fig. 4 : Roughness of soil surface in the Gharb region after different tillage systems.

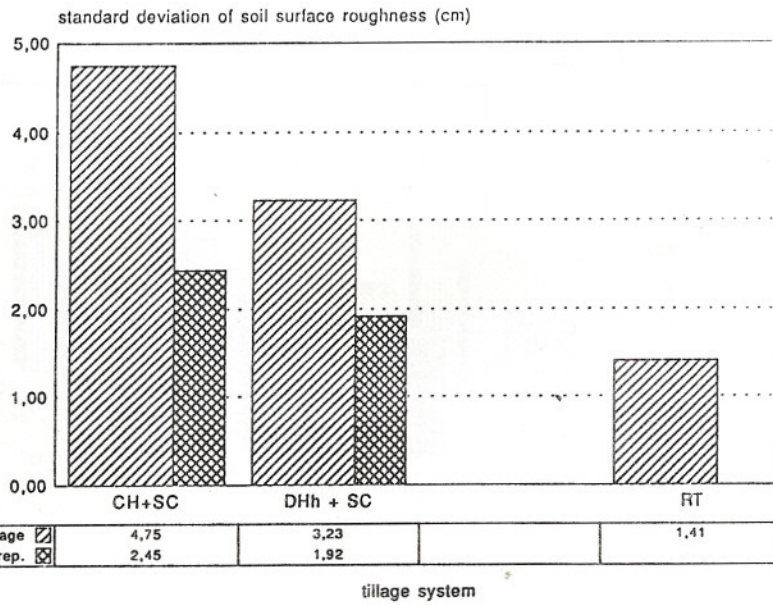
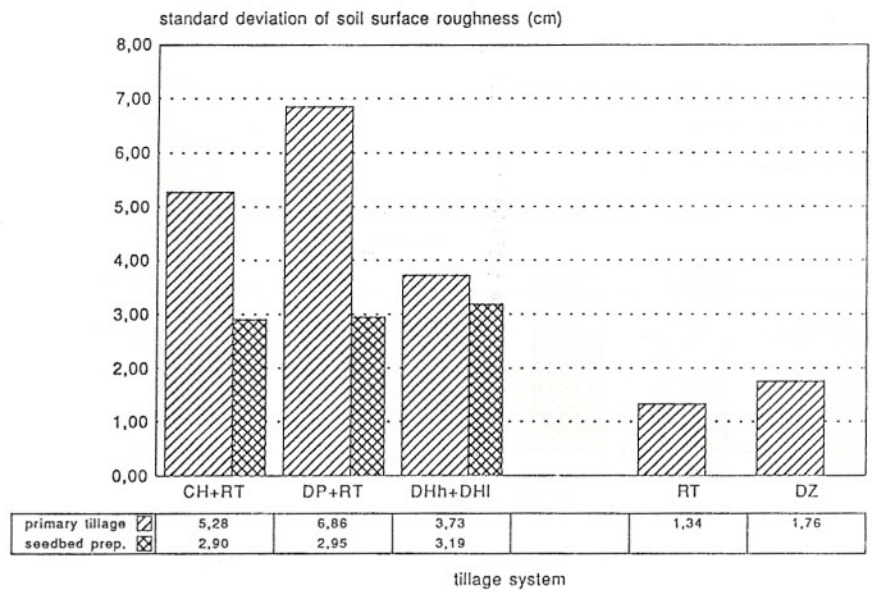
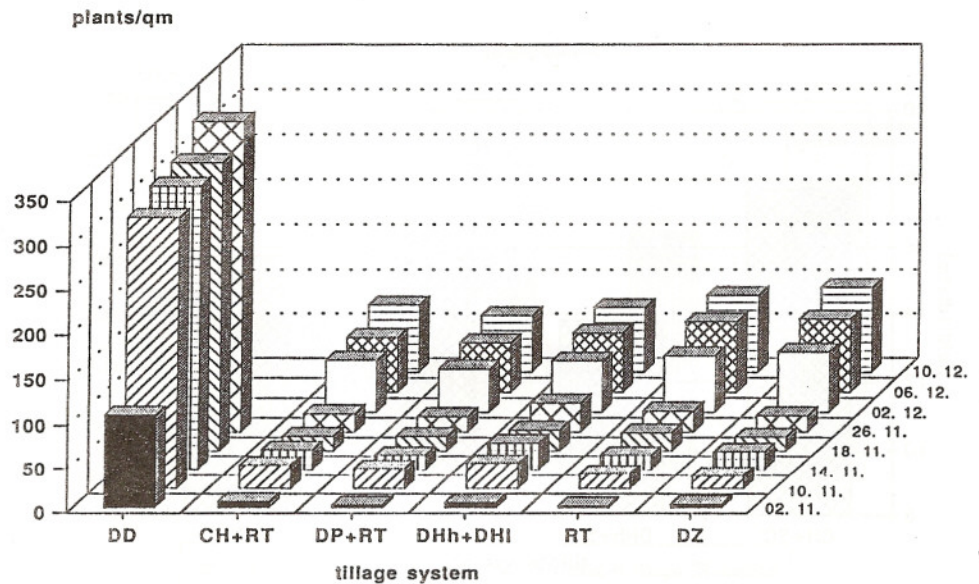


Fig. 5 : Roughness of soil surface in the Zaër region after different tillage systems

Fig. 6 : Rate of emergence of winter wheat after different tillage systems on the test plot in the Gharb region.



seeding time: 24./25. 10. 1990
 first rain after seeding: 21. 11.
 begin of tillering phase DD: 30. 11.

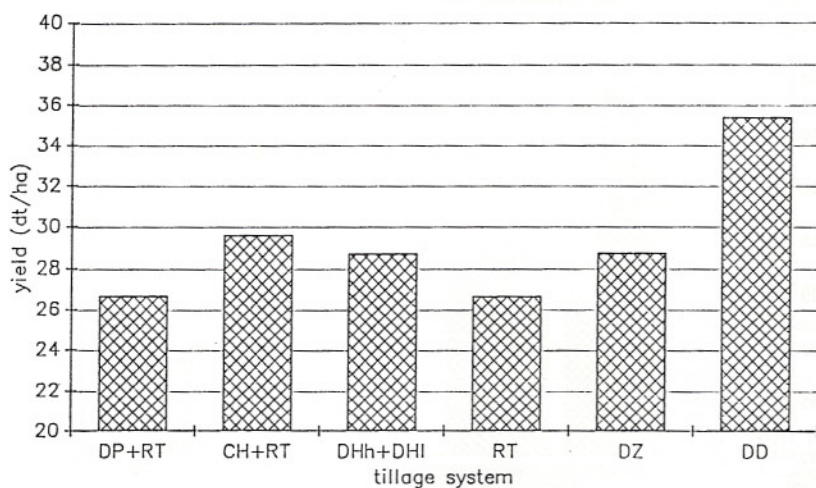


Fig. 7 : Grain yield of winter wheat after different tillage systems in the Gharb region.

Fig. 8 : Rate of emergence of winter wheat after different tillage systems on the test plot in the Zaër region.

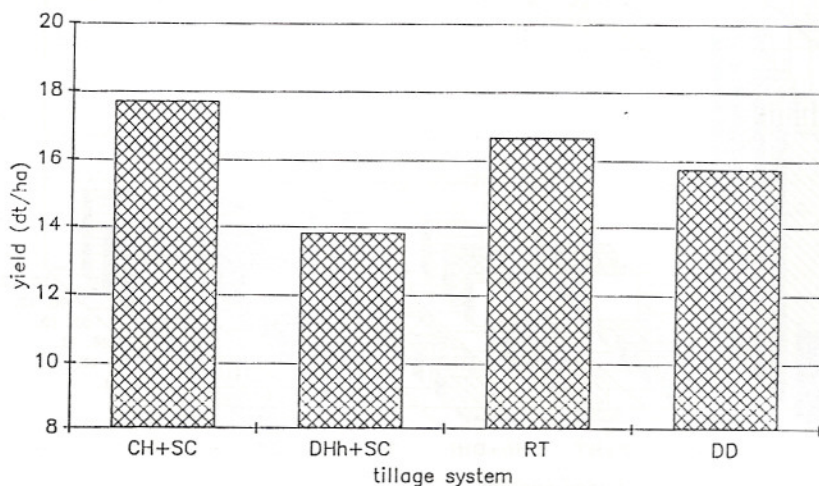
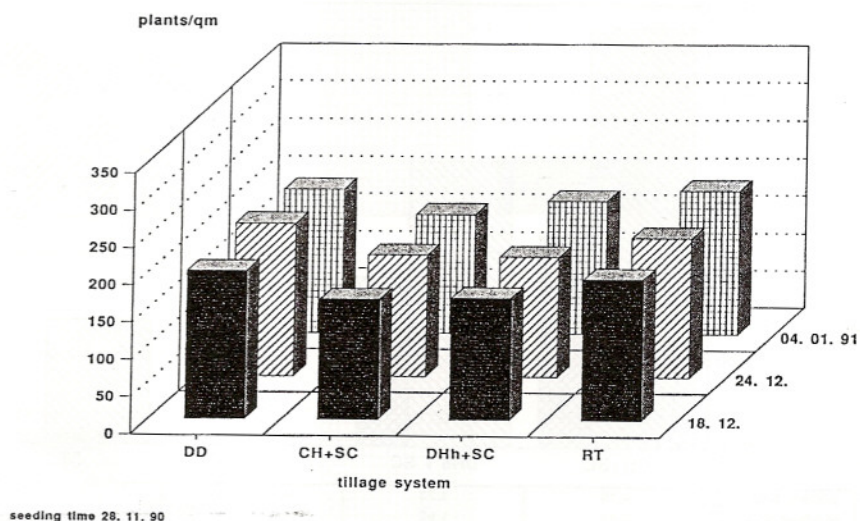


Fig. 9 : Grain yield of winter wheat after different tillage systems in the Zaër region.

Fig. 10 : Spec. fuel consumption per dt grain yield after different tillage systems in the Gharb region.

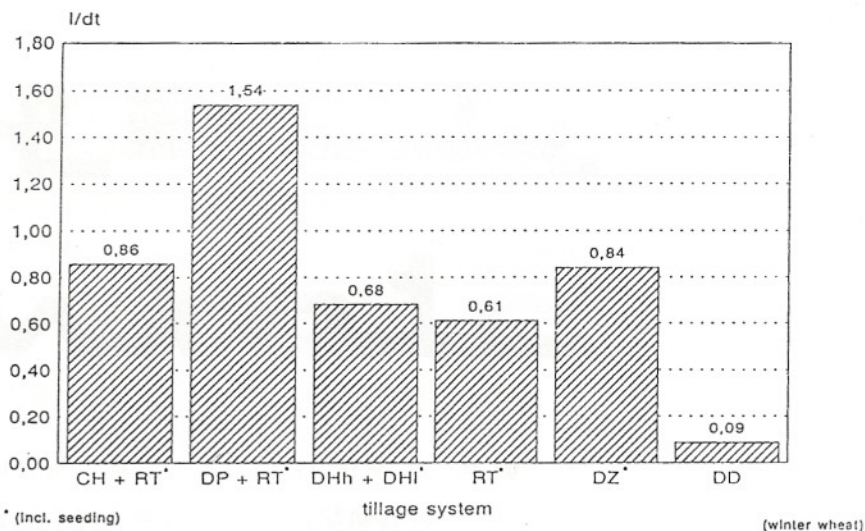


Fig. 11 : Spec. fuel consumption per dt grain yield after different tillage systems in the Zaër region.

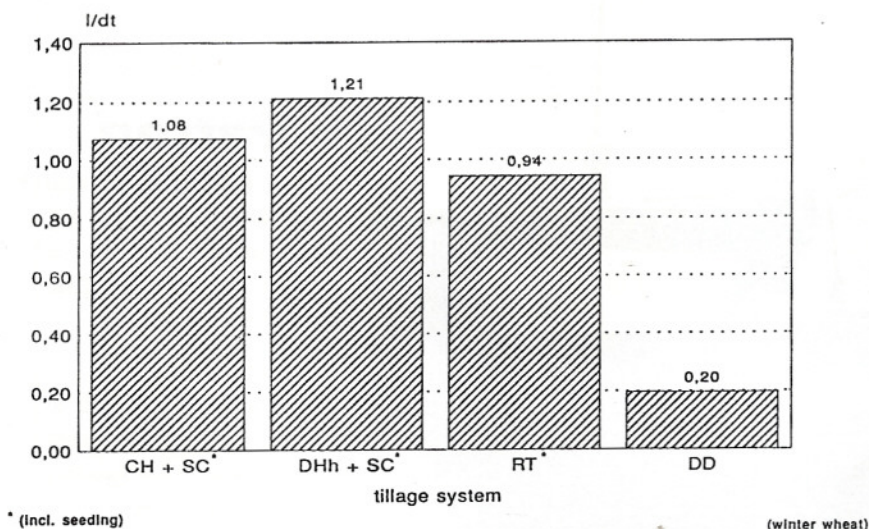
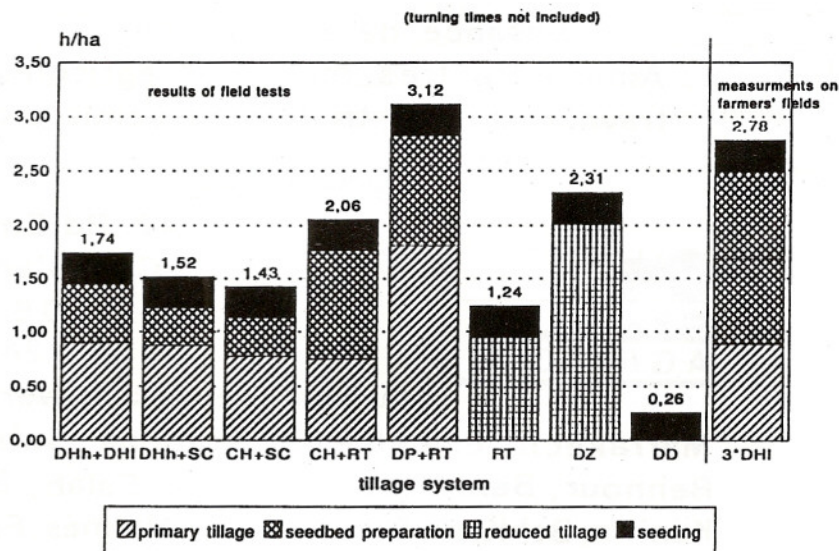


Fig. 12 : Time requirements of different tillage systems.



RECHERCHE D'ALTERNATIVES AU LABOUR EN ZONES SECHES DANS LES SYSTEMES DE CULTURE AVEC TRACTION ANIMALE

GERARD LE THIEC : CIRAD SAR 1992

RESUME

Le CEEMAT a conçu et mis au point deux outils originaux pour la préparation des sols en traction animale:

-le "coutrier", qui se compose essentiellement d'une dent permettant le décompactage des sols argilo-sableux pendant la saison sèche, et donc la réalisation plus précoce des semis; il engendre, par ailleurs, un profil de surface motteux, ce qui permet de réduire considérablement les risques d'érosion, tant hydrique qu'éolienne;

-le "Roliculteur", ou cultivateur roulant qui donne de bons résultats, soit pour la préparation directe du lit de semences- sol léger et conditions humides-, soit pour l'affinage du lit de semences -après décompactage en sec au coutrier, griffage au canadien ou encore labour à la charrue-.

Ces deux matériels répondent également à certains critères communs: efforts de traction requis adaptés aux capacités des attelages bovins disponibles en zone soudano-sahélienne; simplicité de fabrication, d'entretien et de réparation; enfin, coût les rendant accessibles aux petits exploitants agricoles.

ABSTRACT

Two new implements have been designed and developed by CEEMAT for soil preparation with draught animals :

i) the so-called "coutrier": a special share making it possible to break up (decompact) sandy-clay soils during the dry season, which allows to perform seedings at an earlier date; on the other hand, the cloddy surface obtained proves efficient for reducing water and wind erosion to a large extent;

ii) the "Rolicultor": a rolling cultivator which proves most suitable either for the very seedbed preparation -light soils and wet conditions-, or for improving such operation -after breaking up the soil with a "coutrier", a Canadian cultivator or a plough-.

They both comply with the following specifications: required tractive efforts adapted to the capacities of the draught bovines available in the Soudano-sahelian area; easily manufactured, maintained and/or repaired; of a relatively low cost making them accessible to small farmers.

I- INTRODUCTION

Après avoir été pendant des siècles la source d'énergie prépondérante dans l'agriculture des pays développés et permit son développement, (elle le reste encore dans bon nombre de situations difficiles ou d'agriculture de subsistance) la traction animale est actuellement reconnue comme moyen incomparable de développement par de nombreux pays des régions chaudes. Les Boeufs de traction sont de plus en plus largement utilisés dans les zones tropicales à longue saison sèche, au climat de type Soudano-Sahélien. Bien que la Recherche se soit penchée plus particulièrement sur le travail du sol en motorisation, un nouvel effort a été consacré à l'amélioration du système de culture avec traction animale.

En culture motorisée comme en traction animale, la création d'un profil cultural satisfaisant avant les semis est un facteur important du rendement et constitue une des plus fortes contraintes de travail des exploitations agricoles. Dans les zones Soudano-Sahéliennes de culture pluviale par exemple, la compaction des sols exclut l'utilisation en saison sèche des outils traditionnels tels que cultivateurs, houes et charrues.

Depuis près de deux décennies, les retards des pluies entravent fortement la préparation des sols. La prise en masse de ces terres et les croûtes de battance en sols limoneux empêchent l'infiltration des premières pluies qui provoquent souvent un ruissellement important et de fortes érosions. La fragilité structurale de ces sols nécessite certaines précautions lors de la mise en place des cultures.

L'efficacité du labour en humide en traction bovine n'est plus à démontrer (CHARREAU et NICOU, 1971). Malheureusement cette technique n'a pu être mise en application par les paysans en raison de la concurrence avec d'autres façons culturales non différables. La prise en masse des sols et la faible puissance disponible, empêchent la pratique du labour en saison sèche.

Les retards des pluies, particulièrement graves lors- de périodes de sécheresse récentes,

réduisent d'autant les périodes utiles à la préparation des terres.

Le CEEMAT (actuellement CIRAD SAR) a entrepris l'étude et la mise au point de deux outils : l'un pour le travail du sol en sec, l'autre pour une préparation plus rapide mais en humide; ce sont :

B. le coutrier à traction animale

C. le cultivateur roulant ou "roliculteur".

II- LE COUTRIER A TRACTION ANIMALE

2-1 OBJECTIFS

La conception de cet outil se devait de :

- Augmenter les possibilités de travail avant les pluies, impossibles en culture attelée avec les outils classiques de préparation du sol;
- Favoriser les semis précoces et permettre de mieux caler le cycle cultural de la plante dans la saison des pluies;
- Etre capable d'ouvrir la couche superficielle des sols argilo-sableux pris en masse et atteindre une profondeur suffisante pour permettre l'infiltration des premières pluies;
- Limiter les risques d'érosion éolienne et hydrique, en laissant un profil de surface motteux, avec un minimum d'éléments fins;
- N'exiger que des efforts compatibles avec la puissance des attelages sahéliens;
- Etre simple pour permettre une fabrication et une réparation artisanales locales;
- Etre accessible financièrement à tous les exploitants déjà équipés en culture attelée.

2-2 MISE AU POINT

Les premiers modèles de dents réalisés se sont inspirés des décompacteurs de motorisation. Les essais ont vite montré les limites de ce type d'outil: effort important, faible pénétration.

D'autres dents ont alors été étudiées selon les principes suivants :

- réduction maximale de l'épaisseur de la pointe,
- augmentation de l'angle d'entrure, étude approfondie des phénomènes d'usure afin de déterminer le meilleur acier résistant à l'abrasion,
- utilisation de l'effet d'élasticité des aciers manganosiliceux (acier à ressort).

Ces orientations ont donné naissance à de nouvelles formes de dents. Plusieurs séries de tests et modifications ont abouti alors à deux types d'outils donnant satisfaction: les coutriers "RS8" et "M4"; ce dernier modèle possédant une variante appelée "M5n".

2-2-1 Coutrier "RS8": (schéma N°1)

- Etauçon de 60 x 12 mm, acier mi-dur;
- Pointe ou lame en acier à ressort:
 - réversible,
 - de section 30 x 8 mm, réduite à 12 x 8 mm sur 70 mm de longueur,
 - angle d'entrure compris entre 30 et 35°.
- Fixation sur l'étauçon par un seul boulon.

2-2-2 Coutrier "M4"

- Pour le "M4", les caractéristiques des pointes sont identiques au précédent. Seul le mode de fixation diffère; il est constitué d'une cale venant bloquer la pointe en position, dans son logement, à la base de l'étauçon et permettant le rattrapage de l'usure en continu.

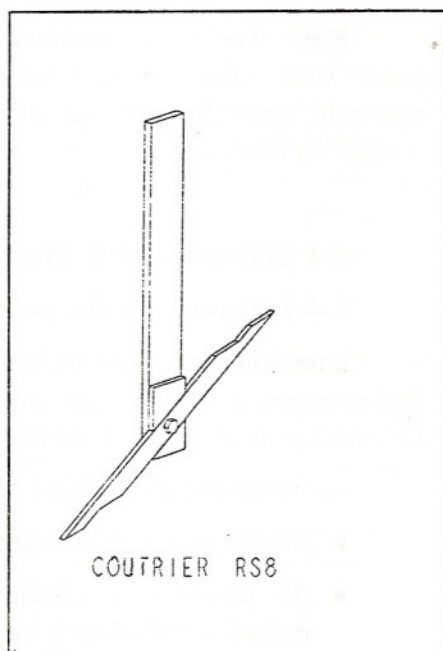


Schéma N°1

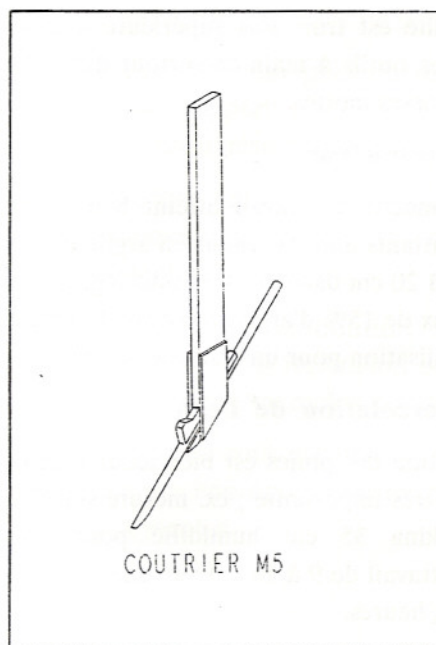


Schéma N°2

2-2-3 Coutrier "M5": (schéma N°2)

Le système de fixation est identique à M4. La pièce travaillante est réalisée ici au moyen d'un fer rond "TOR", Ø 12 mm., de résistance moyenne 100 kg/mm² (utilisé dans la construction d'ouvrage d'art).

D'un coût modéré: 10000 FCFA l'unité (SISMAR/SENEGAL, 1990), le coutrier est adaptable à tous types de multiculture et charrues.

2-3 BILAN DES ESSAIS

Plusieurs séries d'essais ont été réalisées, au BURKINA (INERA- Station de SARIA) et au SENEGAL (ISRA-KAOLACK). Bien que très peu de différence soit apparue dans la qualité du travail effectué par les deux types de dents: RS8 et M5, la première s'est toujours montrée plus performante, sans doute à cause de l'épaisseur plus faible de sa pointe.

2-3-1 Temps de travaux

Le travail au coutrier nécessite 10 à 12 h/ha de travail en cas d'interligne de 50 cm; 7 à 8 h/ha seulement si on passe tous les 80 cm.

2-3-2 Rugosité

La rugosité est trois fois supérieure à celle obtenue avec les outils à main et surtout due à la formation de grosses mottes.

2-3-3 Profondeur

La profondeur de travail atteint 8 à 9 cm dans des sols battants dont la teneur en argile est de 15 %, et jusqu'à 20 cm dans des sols plus légers. En pratique, ce taux de 15% d'argile constitue la limite supérieure d'utilisation pour un travail efficient.

2-3-4 Percolation de l'eau

L'infiltration des pluies est bien assurée et la percolation est très importante ; ex. mesuré sur 1ère pluie au Burkina 35 cm humidifié pour une profondeur de travail de 9 à 10 cm sur une pluie de 32 mm. en deux heures.

2-3-5 Ruissellement

Le travail au coutrier réduit considérablement le ruissellement, principalement sur les deux à trois premières pluies importantes. Mais cet effet ne perdure pas car, lors des pluies suivantes, la désagrégation des mottes, liée à la faiblesse structurale des sols, est relativement rapide. Si l'arrivée des pluies utiles tardent, il est recommandé de reprendre le travail au coutrier après la troisième précipitation.

2-3-6 Effet sur le rendement

Le travail de décompactage en sec a permis un gain de production de 20% [en moyenne : > 800kg/ha sur arachide par rapport à un témoin non travaillé (ISRA-KAOLACK)]. Mais l'avantage de la précocité de semis, avec des effets encore plus prometteurs par rapport à un labour, n'ont malheureusement pu être mesurés par suite d'une exécution erronée du protocole d'essais proposé.

2-3-7 Efforts de traction

Les efforts requis pour la traction restent compatibles avec les possibilités d'un attelage bovin sahélien. Les efforts moyens relevés sont sensiblement identiques à ceux requis par une charrue de 10" labourant à 15 cm de profondeur dans les mêmes types de sols mais en conditions humides: soit environ de 80 à 110 DaN.

Etant donné les conditions de travail, la pointe s'use naturellement assez vite. Bien que réversible, après 1,5 ha environ, elle demande à être changée ou reforgée.

2-4 ITINERAIRES TECHNIQUES

2-4-1 Travail en fin de cycle

L'intervention en fin de cycle cultural peut être envisagée, avant que le sol se prenne en masse. Le travail profond : > 15 cm est alors possible.

Ce travail précoce permet :

- d'éviter la reprise en masse,
- de favoriser la création de grosses mottes et donc limiter l'érosion,

- de limiter la fatigue de l'attelage dans une période où celui-ci est en bonne condition physique,
- de retarder la dessiccation en profondeur.

Toutefois, cette technique présente quelques désavantages: le profil motteux ainsi créé peut être détruit par le passage répété des troupeaux itinérants provoquant: une réduction de l'effet de captation des eaux, lors des premiers orages et l'augmentation des risques d'érosion.

Mais de toutes façons, la sécheresse empêcherait toute reprise en masse.

2-4-2 Travail avant les premières pluies

Le travail peut s'étendre sur un mois ou plus, ce qui permet de l'organiser avec une grande flexibilité en fonction des superficies et de la fatigue des animaux, qui peuvent ne travailler que 2 à 3 heures par jour seulement. Le travail au coutrier peut être repris dès la première pluie utile, soit par un labour à la charrue, soit par le passage du roliculteur, (*) soit enfin par un semis direct si le contrôle des adventices est assuré par ailleurs.

Dans les trois techniques proposées ci-dessus, la captation, l'infiltration, la conservation de l'eau, grandement améliorées par le travail au coutrier, autorisent l'emploi de ces outils de préparation du sol classiques, plus tôt en saison permettant de gagner 15 jours sur la date des semis. Naturellement, il s'agit d'un travail supplémentaire mais, celui-ci n'entrant pas dans le calendrier habituel des travaux de mise en culture, sa réalisation ne pose pas de problèmes particuliers.

(*) Cultivateur roulant mis au point par le C.E.E.M.A.T.

NB. Les coutriers "M4" et "M5" sont issus d'une collaboration et sur une idée originale d'un artisan du SUD-OUEST, qui peut en assurer la fabrication à la demande.

Adresse.: Mr MICHEL Marcel, La Fontenelle, 47360 MONPEZAT d'AGEN ou TRASOL, R.N. 666, 47260 GRANGES SUR LOT

III- LE ROLICULTEUR : UN OUTIL DE MISE EN PLACE RAPIDE DES CULTURES

Il existe une grande variété d'outils roulants à dents et à disques pour la préparation des sols en motorisation conventionnelle. Leur vitesse d'utilisation élevée et leur grande largeur de travail leur permettent un rendement important. Mais ils ne peuvent s'adapter à la traction animale à cause de leur taille et de leur poids, dont dépend en partie leur efficacité, mais aussi et surtout du fait de leur vitesse d'utilisation. En étudiant un nouveau cultivateur roulant à traction animale, le CEEMAT a tenté de réduire ces contraintes apparemment incontournables.

3-1 OBJECTIFS

Les objectifs de recherche définissaient un cahier des charges aux exigences précises :

- Assurer la préparation directe d'un sol humide, ressuyé;
- Reprendre un sol en humide, soit déjà travaillé au coutrier en sec ou au canadien, soit après labour à la charrue pour affinage du lit de semences
- Permettre un gain de temps important par rapport aux matériels classiques, dans la mise en place des cultures;
- Exiger un effort de traction modéré, n'excédant pas la capacité des attelages sahéliens;
- Etre de conception simple pour permettre la réparation et la fabrication artisanale, au moins partielle;
- Etre de coût minimal pour convenir aux capacités économiques des exploitants agricoles.

3-2 MISE AU POINT

Suite à une série de tests de laboratoire avec divers types de lames, pointes, cuillers, fixées sur un élément roulant, le premier prototype était fabriqué. Deux rotors montés sur un châssis-cadre tubulaire en deux éléments, recevaient les disques de forme originale.

Ce prototype permettait par construction de faire varier

- l'angle d'attaque des lames, de 15 à 25°,
- l'espacement entre disques, de 140 à 180 mm,
- le nombre de disques par rotor.

Les expérimentations de terrain, menés au BOTSWANA, au BURKINA, puis sur trois autres pays d'AFRIQUE de L'OUEST, ont abouti à définir les caractéristiques du modèle de présérie.

Le constructeur Français AUDUREAU a apporté son savoir-faire et ses capacités industrielles pour la mise au point finale (commerciale) du cultivateur roulant appelé: "Roliculteur".

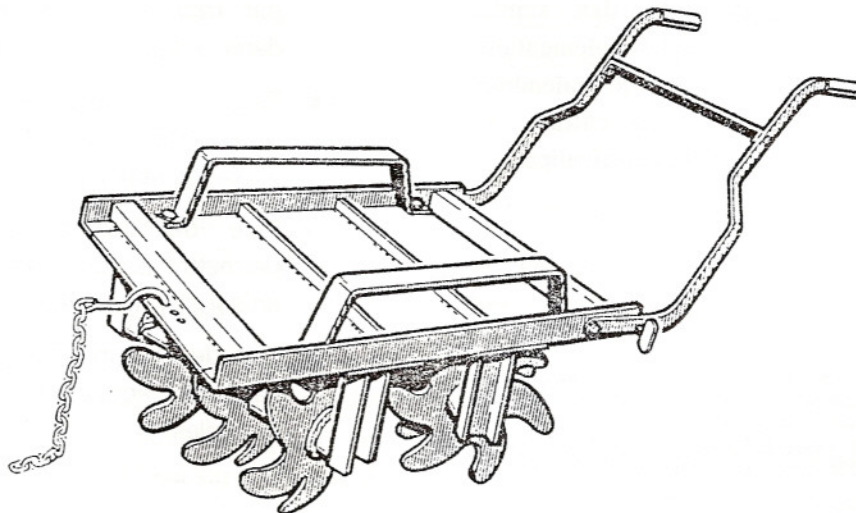
3-2-1 Description

3-2-1-1 Bati

- Chassis-cadre en tubes carré et cornières comportant :
 - à l'intérieur, une tôle compartimentant l'espace des masses d'alourdissement,
 - à l'avant gauche, un régulateur à 5 positions, sur un fer cornière du châssis,
 - sur le dessus, deux patins pour le transport (utilisables après retournement de l'appareil),
- Deux roulettes de stabilisation, à l'avant,
- Deux mancherons de guidage.

3-2-1-2 Pièces travaillantes

- Deux rotors, placés en configuration "offset", sur lesquels sont montés les disques.
- Disques en acier spécial résistant à l'abrasion.
- Concavité des disques et forme des lames issues de recherches en laboratoire.
- Position fixe des rotors, par rapport à l'avancement, définie après de nombreux tests de terrain.



3-2-1-3 Modèles

Deux modèles ont été développés :

- le F7, comportant 3 disques à l'avant et 4 à l'arrière, offrant une largeur de travail de 55 cm.
- le F9, présentant 4 disques à l'avant et 5 à l'arrière et atteignant une largeur de travail de 73 cm.

3-3 BILAN DES ESSAIS

3-3-1 Rendement de chantier

3-3-1-1 Temps de travaux

- 10 à 12 h/ha. pour le F7, soit deux fois plus rapide qu'une charrue de 10 pouces,
- 7 heures environ pour le F9, soit trois fois la charrue.

3-3-1-2 Efforts de traction

Les efforts de traction sont remarquablement peu élevés et très réguliers, particulièrement avec le F7, d'où une fatigue moindre qu'avec des outils classiques, sous résistance identique.

- Le F7, convient aux attelages de puissance moyenne (boeufs de 3 à 400 kg environ);
- Le F9, doit être réservé aux attelages plus lourds (dépassant 400 kg par animal).

3-3-1-3 Profondeur de travail

Une masse d'alourdissement de 30 à 50 kg est nécessaire mais suffisante pour atteindre la profondeur optimale de travail (maximum: 10 cm) et l'éventuelle nécessité d'augmenter fortement cette charge doit amener l'utilisateur à une réflexion sur les bonnes conditions d'emploi.

3-3-1-4 Etat du sol obtenu

Ce nouvel outil réalise une bonne préparation du lit de semences jusqu'à une profondeur de 10 cm. Toute la couche superficielle

est brassée, très bien émiettée mais non entièrement retournée. Lorsque le sol possède une certaine cohésion, le profil de fond présente un micro relief: bosses et cuvettes ainsi formées favorisent la retenue des eaux de pluies et leur infiltration. Il n'y a en aucun cas de formation de semelle de labour.

Le roliculteur laisse un terrain bien plat, nivelé, qui facilite l'utilisation du semoir sans autre intervention intermédiaire.

Le cultivateur roulant a été essayé également en culture rizicole avec maîtrise de l'eau. Sur rizière préalablement inondée puis asséchée, on peut exécuter un très bon travail de malaxage. Mais les contraintes de temps prennent ici une valeur exceptionnelle car il s'agit d'intervenir au bon moment: sol bien ressuyé avec croûte de surface mais non encore pris en masse.

3-4 CONDITIONS LIMITES D'UTILISATION

L'emploi du roliculteur répond à des conditions qui sont fondamentales pour l'exécution d'un travail satisfaisant en préparation directe du sol.

- Le roliculteur doit être utilisé en **conditions humides**: 10 cm. minimum. de profondeur du front d'humectation. La présence d'une cuirasse latéritique ou de toute semelle dure et compacte dans cette couche superficielle interdit pratiquement le recours à cet appareil pour la préparation directe.
- L'appareil convient aux **terres légères, franches, limoneuses, sablo-argileuses**, non prises en masse. Il faut exclure son utilisation dans des terres argileuses collantes ou gravillonnaires. En conditions de terrains difficiles, son emploi sera réservé en seconde intervention: affinage du lit de semences après labour ou après scarifiage au canadien.

- Les terrains enherbés, où les adventices sont déjà bien enracinées, sont défavorables à l'exécution d'un travail correct; par contre, en tout début de végétation (stade 2 à 3 feuilles), son efficacité est irréprochable.
- La présence de pailles, de tiges de mil ou de sorgho ne gêne pas le passage du roliculteur lorsque ces débris végétaux restent dispersés: il n'y a pas de bourrage, mais s'il s'en trouve en quantité importante la pénétration des lames est limitée.
- Compte-tenu de ces deux dernières conditions, la période d'intervention revêt une importance primordiale pour l'obtention d'un bon résultat.

3-5 REGLAGES

3-5-1 Tenue en ligne

- Un régulateur, situé sur la partie avant gauche de l'appareil, permet de rechercher la meilleure position de travail et l'alignement par rapport à la direction d'avancement.
- En déplaçant la masse d'alourdissement longitudinalement la pression se transfère d'un rotor sur l'autre; c'est un moyen de modifier la résultante des efforts résistants et donc la ligne de traction.

3-5-2 Profondeur de travail

Les roulettes servent naturellement à contrôler la régularité de la profondeur: 3 positions permettent de stabiliser la pénétration du rotor avant.

L'importance de la masse d'alourdissement agit également sur la pénétration des disques.

De part la configuration offset du roliculteur, la tenue en ligne correcte est dépendante d'une profondeur de travail suffisante.

3-5-3 Stabilité latérale

Les deux roulettes ne sont pas nécessaires sur terrain uni mais elles améliorent la stabilité de la machine et sont indispensables sur les terrains cahoteux.

3-6 MODE D'UTILISATION

Le travail, exécuté par planches, peut se faire indifféremment en tournant, soit à droite soit à gauche. Mais le virage à gauche est préférable car la concavité du rotor avant se trouve alors dans le sens du virage et le changement de direction est ainsi plus aisé.

Travaillant en "offset", c'est-à-dire déporté par rapport au centre, la ligne de traction est donc décalée sur la gauche.

La forme des lames "en décrochant", le rend réellement autodébarrassant sur des terres où l'on trouve des résidus de récolte tels que: tiges de mil, sorgho ou maïs.

En terrain mal dessouché, le roliculteur roule sur les souches enterrées, sans dommage ni pour le matériel ni pour l'attelage.

NB. Les Ets AUDUREAU (constructeurs) sont ouverts à toute forme de collaboration avec les entreprises des P.E.D. pour la fabrication du Roliculteur sur place.

Adresse : Ets AUDUREAU, 85260 La COPECHAGNIERE, Tél: 51.41.30.41, - Fax: 51.41.39.90

BIBLIOGRAPHIE

R. PIROT, G. PARIS - Décembre 1980

Essais pour mise au point de dents permettant le travail en semi-profond avec le minimum d'énergie en Afrique Tropicale sèche - IRAT - ISRA SENEGAL.

G. LE THIEC, D. BORDET - Décembre 1987

Essais et mise au point d'outils de travail du sol à traction animale - rapport - CEEMAT - CIRAD (79 pages).

G. LE THIEC - 1989, 1990, 1991

Rapports de missions d'expérimentation de matériels de travail du sol au BURKINA - CEEMAT/ CIRAD.

M. HAVARD - 1990 & 1991

Essais de nouveaux matériels à traction animale à l'INDR de THIES - ISRA - CEEMAT - SENEGAL.

M. HAVARD - 1991

Compte-rendu des expérimentations dans le cadre du projet d'introduction des buffles domestiques au SENEGAL.

E. JUNCKER, M. SENE - Février 1990

Comparaison de plusieurs dents pour le travail du sol en sec en traction bovine. IRAT - ISRA - SENEGAL.

A. BARRO - 1989, 1990, 1991

Rapports de campagne sur l'étude du travail du sol en traction animale. INERA - BURKINA.



LA CAISSE NATIONALE DE CREDIT AGRICOLE (CNCA) N'EST PAS SEULEMENT UN ORGANISME DE CREDIT

LA CAISSE NATIONALE DE CREDIT AGRICOLE, organisme financier, cela tout le monde le sait. Chaque année elle prête près de 2 milliards de dirhams aux agriculteurs, aux éleveurs et aux entreprises agro-industrielles, pour les aider à moderniser, équiper et rationaliser leurs exploitations.

LE CREDIT AGRICOLE c'est sa spécialité, ce n'est pas sa seule vocation : la CNCA est aussi une BANQUE.

COUT REDUIT DES OPERATIONS

Elle réalise toutes les opérations bancaires aux moindres frais.

REMUNERATION DES DEPOTS A VUE

Les comptes de chèques et les dépôts sur livret (SUPER CARNET VERT) sont rémunérés à des taux intéressants.

OUVERTURE LE SAMEDI MATIN

Les agences de la CNCA sont ouvertes également le samedi matin.

LARGE IMPLANTATION

Le réseau de la CNCA couvre tout le territoire du Royaume.

LA CNCA EST AUSSI UNE BANQUE