



Influence de l'itinéraire technique sur les propriétés physiques et hydriques du sol sous culture du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) dans une rotation de «longue durée» dans la zone «non-chernozem» de la Fédération de Russie

Ali GARANE^{1*}, Somé KOUSSAO¹, Mamoudou TRAORE², Mahamadou SAWADOGO³
et Xésus Petrovich PÉQUÉNIO⁴

^{1*}*Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA/CREAF-Kamboïse),
Département Production Végétale, 01 BP 470 Ouagadougou 01, Burkina Faso.*

²*Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), CREAM-Kamboïse, Département Gestion
des Ressources Naturelles/Système de Production, 01 BP 476 Ouagadougou 01, Burkina Faso.*

³*UFR/Sciences de la Vie et de la Terre. Université de Ouagadougou, Laboratoire de Génétique et de
Biotechnologie Végétales, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso.*

⁴*Université de L'Amitié des Peuples de la Russie, Département de L'Agronomie Générale et Production
Végétale, Moscou, 117198, rue Miklouko-Maklaya, 6, Russie.*

* Auteur correspondant ; E-mail: ali_garane@yahoo.fr

RESUME

La production des céréales reste souvent limitée par les caractéristiques physiques et hydriques du sol et par les pratiques culturales employées. Le présent travail contribue à l'étude de l'effet de six types de travail du sol sur le comportement physique et hydrique d'un sol destiné à la culture du blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Un dispositif expérimental a été mis en place sur la base d'une rotation vesce commune +avoine, blé d'hiver, maïs, orge + trèfle, trèfle, Seigle d'hiver et blé. Cet essai croise six techniques de travail (labour conventionnel, labour traditionnel, travail minimum, labour conventionnel alterné au travail minimum, et du labour conventionnel exécuté après un labour traditionnel, et un labour au chisel). Chaque technique a été répétée quatre fois. Il a été fait le suivi de l'évolution de la densité, de la porosité, de la compacité et de l'humidité du sol. Les résultats ont montré pour les techniques de travail minimum une amélioration de la porosité globale en moyenne de 46,4% sur l'horizon 0-30 cm et une forte augmentation de la densité apparente des couches 10-20 cm et 20-30 cm. Le labour traditionnel et le labour périodique par le chisel avaient une densité homogène sur l'horizon 0-30 cm (1,27-1,31g/cm³), soit une amélioration de 0,06 à 0,15 g/cm³. La teneur en eau du sol est mieux conservée dans ces traitements. Sa valeur atteint 21 à 22% respectivement au stade épiaison.

© 2017 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés: Techniques de labour, densité, porosité, compacité, réserves utiles.

Influence of the technical route on the physical and hydric properties of the soil under cultivation of soft wheat (*Triticum aestivum* L.) in a long term crop rotation in the non-chernozem region of Russian Federation

ABSTRAT

Cereal production is often limited by soil characteristics, and cultural practices. The aim of this work was to compare the effect of six tillage systems: the classical and deep plowing permanent respectively 20 and 30 cm, surface plowing 8 cm, alternating tillage Classic 20 cm with shallow tillage conventional tillage and finally executed after plowing the soil deep to 30 cm moldboard plow and chisel English) in 7.th year of rotation on physical and hydric behavior of soil for the cultivation of the soft wheat (*Triticum aestivum* L.). An experimental design was established on experimental plot of the Nimchinock station of the Agricultural Research Institute in the Central Region located in the city of Odinsk on "non-black" or "non-chernozem" lands of the Russian Federation. The treatments were arranged in a randomized block design. Rotation includes crops vetch + oats, winter wheat, corn, barley + clover, clover, winter rye, and soft wheat. Soil bulk density, soil porosity, soil compactness and moisture were monitored. The results showed that for the surface plowing 8 cm, an overall porosity improvement of 46.4% on the 0-30 cm layer and a very significant increase in density on the 10-20 cm and 20-30 cm layer. Deep plowing and tillage Classic 20 cm executed after plowing the soil deep to 30cm with chisel English recorded a homogeneous density on the horizon 0-30 cm (1.27 cm -1.31 g/cm³), an improvement of 0.06 to 0.15 g/cm³. The water content of the soil is better preserved in these treatments. Its value reaches 21 to 22% respectively at the stage heading.

© 2017 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Plowing techniques, density, porosity, compactness, useful reserves.

INTRODUCTION

Malgré une utilisation intensive des engrais et désherbants, des rendements faibles de céréales sont enregistrés ces dernières années (Lopez-Bellido et al., 2000; Chennafi, 2012). Aussi, bon nombre de chercheurs se penchent sur les méthodes de travail du sol et leurs effets sur les propriétés physiques et hydriques du sol (Huwe, 2003; Nacro et al., 2010; Pouya et al., 2013; Some et al., 2015). Les résultats de nombreuses recherches, comme celles de Köller (2003); Munkholm et al. (2003); Roger-Estrade et al. (2004); Laverdière (2005); Lal et al. (2007), Teasdale et al. (2007) et Vanasse et al. (2012) sous différentes zones climatiques, ont révélé des problèmes communs aux sols labourés: tassement, érosion, limitation de la circulation de l'eau. On assiste depuis quelques décennies à une transition graduelle qui s'effectue entre le labour conventionnel et des formes variées

de préparation sans retournement des couches de sol, allant jusqu'au semis direct. Cependant, de nombreux travaux montrent que le remplacement du labour par un travail simplifié entraîne une augmentation de la densité du sol (Basic et al., 2004; Blanco-Canqui et al., 2007). En conséquence, la porosité totale diminue en non travail du sol dès la mise en place du système (Eynarda et al., 2004). Les cultures conduites sous régime pluvial sont souvent soumises à des déficits hydriques, causés par l'épuisement des réserves d'eau stockées dans le sol (Hassine et al., 2003; Ritchie et Basso, 2007). Dans cette optique, l'étude avait pour objectif d'évaluer l'effet de quelques itinéraires techniques: des labours conventionnel et traditionnel sur 20 et 30 cm respectivement, le travail du sol minimum sur 8 cm, le labour conventionnel en alternance avec le travail du sol minimum et enfin du travail du sol conventionnel

exécuté d'une part suite au labour profond à la charrue à soc et d'autre part suite au labour profond du chisel en 7ème années de rotation sur le comportement physique et hydrique d'un sol destiné à la culture du blé tendre.

MATERIEL ET METHODES

Essai en station

Les expériences ont été conduites dans la ville d'Odinsk sur des parcelles de l'Institut de Recherches Agronomiques de la Région Centrale située dans la zone des «terres non noires» ou «ni-ferozem» de la Fédération de Russie sur la base d'essai longue durée sur l'étude de la profondeur et du type de labour sur la fertilité du sol, l'infestation de la culture par les adventices et le rendement du blé tendre de printemps avec une alternance des cultures suivantes: vesce et avoine, blé d'hiver; maïs pour l'ensilage, semis mixte orge et trèfle, trèfle en première année, Seigle d'hiver, et le blé de printemps.

La parcelle expérimentale (dernovo-podzolique), est un sol limoneux avec une teneur en particules argileuses- 40% avec 25-28 cm d'épaisseur de la couche d'humus. Avant l'installation de l'essai, les données agrochimiques sur la parcelle sont les suivantes: acidité (Ph)-6,6 presque neutre; Acidité hydrolytique 1,6-1,8 méq/100 g de sol et la somme des bases échangeables -16-19 méq/100g de sol. Le taux d'humus (par Tiourim)-1,8-2%; phosphore mobile (par Kirsanov) -25-35 mg/100g de terre; potassium (par Maslov)-15-19 mg/100g de terre et la densité du sol-1,38-1,45 g/cm³.

Dispositif expérimental

Les expériences ont été conduites en 2008 dans la ville d'Odinsk sur des parcelles de l'Institut de Recherches Agronomiques de la Région Centrale située dans la zone des «terres non noires» ou «ni-ferozem» de la Fédération de Russie. Le dispositif expérimental suivant:

T1: Labour conventionnel: un travail profond

du sol effectué à l'aide d'une charrue à soc de profondeur avoisinant 20 cm (LC-20); T2: Labour traditionnel: un travail profond du sol a été effectué par une charrue à soc de profondeur avoisinant 30 cm (LT-27-30); T3: Labour conventionnel suite à un labour profond de la charrue à soc sous l'orge d'hiver (CL-20 après LT-27-30); T4: Travail minimum sur 8 cm pratiqué en alternance avec le labour conventionnel (TM-8/LC-20); T5: Travail minimum continu sur 8 cm (TM-8); T6: Labour conventionnel pratiqué suite au labour du chisel sur 27-30 cm (LC-20 après L. chisel-27-30). Le schéma complet de l'expérience est donné dans le Tableau 1.

Les techniques de travail du sol

En tout début septembre, le travail conventionnel et le labour traditionnel ont été réalisés à l'aide d'une charrue à socs de profondeurs 20 et 30 cm respectivement suivi d'un passage de cover-crop et un hersage, tandis que le labour profond sans retournement a été effectué à l'aide du chisel anglais type «Paraplay» de profondeur 30 cm, suivi d'un passage de cover-crop et un hersage. Le cultivateur KPS-3 est utilisé pour le travail superficiel du sol sur 8-10 cm, suivi d'un passage de cover-crop et un hersage. La parcelle expérimentale est à sa 7ème année d'installation. Elle est divisée en six grandes sous parcelles qui ont chacune subi un itinéraire technique différent. La parcelle élémentaire mesurait 312 m² et la parcelle utile 200 m² (25 m x 8 m). Les échantillons du sol analysés ont été prélevés dans les profils 0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm du sol.

Un dispositif expérimental en bloc de Fisher randomisé à quatre (4) répétitions a été utilisé

Mesures effectuées au niveau du sol

Mesure de la densité apparente du sol ou masse volumique

Pour connaître l'effet du travail du sol sur la structure, la densité apparente (d_a) a

été mesurée selon la procédure décrite par Yoro et Godo (1990). Le principe de la méthode au cylindre est fondé sur l'évaluation du poids spécifique apparent d'un volume (V) de sol prélevé, le volume est celui du cylindre. Le poids prélevé (p) a été évalué par pesée au laboratoire après séchage à 105 °C pendant 24 heures en utilisant une balance de précision. Le rapport du poids sur le volume détermine la densité apparente (g/cm³).

Masse volumique du sol (da) = masse totale du sol sec/volume du cylindre.

Mesure de l'humidité pondérale

L'Humidité du sol a été déterminée par la méthode gravimétrique qui consiste à dessécher les échantillons du sol à 105 °C pendant 24 heures. La perte de poids après séchage est égale à la teneur d'eau du sol. Les valeurs obtenues sont exprimées en pourcentage par rapport au poids de l'échantillon sec du sol. L'humidité pondérale (H%) du sol a été exprimée par le rapport de la variation du poids d'eau (PE= PF-PS) entre

le poids frais (PF) et le poids sec (PS) au poids de terre sèche (PS), selon l'expression décrite par Henin (1977).

% Humidité du sol = (Poids frais) – (Poids sec)/(Poids sec) x100

Mesure de la porosité totale

Le Calcul de la porosité totale a été effectué à partir de la densité apparente (d) et de la densité réelle (D).

d= (Poids de la terre) /(V grains + V pores). C'est la fraction du volume de terre occupé par les grains.

Donc: pourcentage du volume de terre occupé par les grains = d/D x 100

Pourcentage du volume de terre occupé par les pores = 100 - (d/D x 100)

100Pt (%) = Volume des vides / volume total de la roche x 100

Des analyses de variance ont été effectuées avec HCPO (Hierarchical Column Prime Order) pour apprécier si les différences entre les résultats obtenus sont significatives au seuil de 5%.

Tableau 1: Schéma de l'expérience.

Traitements	Rotation des cultures						
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
	Vesce +avoine	Blé d'hiver	Maïs	Orge + trèfle	Trèfle 1 ^{ère} année	Seigle d'hiver	Blé de printemps
T1	LC-20	LC-20	LC-20	LC-20	LC-20	LC-20	LC-20
T2	TM-8	LT-27-30	LT-27-30	LT-27-30	LP-27-30	LT-27-30	LT-27-30
T3	LT -27-30	LC -20	LC-20	LC-20	LC-20	LT-27-30	LC-20
T4	LC-20	LM-8	LM-8	LC-20	LC-20	TM-8	LC-20
T5	TM-8	TM-8	TM-8	TM-8	TM-8	TM-8	TM-8
T6	L. chisel-27-30	LC-20	LC-20	LC-20	LC-20	L. chisel-27-30	LC-20

LC -20 : Labour classique (conventionnel) à 20 cm de profondeur
 TM- 8 : Travail (Minimum) ou superficiel à 8 cm de profondeur
 LT-27-30: Labour traditionnel à la charrue à soc à 27-30 cm de profondeur
 L. chisel -27-30: Labour profond au chisel anglais type «Paraplay» à 27-30 cm de profondeur

RESULTATS

Effet des techniques sur la densité apparente (da) ou masse volumique du sol

La différence de densité observée incombe aux différents types de labour principal pratiqués. Pour les trois périodes observées, le traitement (LC-20) a enregistré une densité moyenne de 1,36 g/cm³ sur la couche 0-30 cm. Une densité de 1,4 g/cm³ en hausse relativement faible de 0,05 à 0,06 g/cm³ a été observée sur le sous horizon 20-30 cm comparativement à la couche 0-20 cm avec labour continu. Dans le traitement (LT-27-30), les densités ont été pratiquement identiques sur l'horizon 0-30 cm (1,27-1,31g/cm³), soit de 0,06 à 0,15 g/cm³ en moyenne plus faible sur cette couche par rapport à l'ensemble de l'essai.

Comparativement au témoin (LC-20), aucune différence notable dans la densité n'a été observée sous les traitements (LC-20 après LT-27-30) et (TM-8/LC-20). Dans le premier cas, la couche 0-20 cm a subi un travail conventionnel continu et la couche 20-30 cm un labour 2 années sur 7 dans la rotation. Aussi, la densité de la couche 0-20 a été pratiquement identique au témoin, tandis que sur l'horizon 20-30 cm cette différence a été minimale. Le travail conventionnel réalisé 3 années sur 7, traitement (TM-8/LC-20), a eu pour conséquence une hausse légère de la densité sur l'horizon 10-20 cm par rapport au témoin. Les couches 0-10 et 20-30 cm n'ont enregistré aucune variation notable de leur densité. S'agissant du traitement (TM-8), seul l'horizon supérieur (0-10 cm) travaillé annuellement a été pratiquement identique au traitement témoin par sa densité. Les couches 10-20 cm et 20-30 cm qui n'ont subi aucun labour ont été plus compactes, ce fut le cas en particulier de l'horizon 20-30 cm (1,50

g/cm³). Comparativement au témoin, le labour profond au chisel 2 années sur 7 suite au labour conventionnel (LC-20 après L. chisel-27-30) a enregistré avec une meilleure densité de 1,31 g/cm³ sur la couche 0-30 cm. Aucune différence fondamentale n'a été observée sur les couches 0-10 et 10-20 cm, tandis que sur l'horizon 20-30 cm cette différence a été nettement plus importante. Par rapport à l'ensemble de l'essai, seul le labour traditionnel à la charrue lui a été supérieur (Tableau 2).

Effet des techniques sur la porosité du sol

La porosité du sol (Tableau 3) est un paramètre lié intimement à sa densité. Sa corrélation reste négative avec celle-ci. Aussi, le travail conventionnel de par sa densité plus forte a enregistré une plus faible porosité au contraire du labour traditionnel annuel où la porosité a été plus forte, supérieur à 50% sur l'horizon 20-30 cm. Ceci témoigne de meilleures propriétés hydriques et d'aération du sol sur ce traitement. L'Horizon le plus compact (20-30 cm) du traitement (LC-20 après LT-27-30) a enregistré une chute plus importante de la porosité et aucune différence probante avec le témoin n'est observée dans le traitement (TM-8/LC-20). Comparativement aux autres pratiques, le traitement (TM-8) a enregistré le plus faible taux de porosité, en moyenne de 46,4% sur l'horizon 0-30 cm avec une différenciation nette par couche: optimal sur l'horizon supérieur labouré annuellement (50,3%) et la plus faible (42,8%) sur le profil 20-30 cm. Quant au traitement (LC-20 après L.chisel-20-30) où le labour profond au chisel est effectué 2 années sur 7 dans la rotation, la porosité a été supérieure au témoin et identique pratiquement au traitement (LT-20-27) sur

l'horizon 0-20 cm. La sous couche 20-30 cm de par sa densité plus forte a été caractérisée par une plus faible porosité.

Effet des techniques sur la compacité du sol

La compacité du sol a évoluée fortement en fonction des différents traitements labours.

A la levée du blé, le traitement (LC-20) enregistrait une compacité de 20-24 kg/cm² sur l'horizon 0-20 cm régulièrement labouré et (41 kg/cm²) sur le sous horizon 20-30 cm, soit pratiquement deux fois plus important. Au contraire, la compaction du sol sous le labour traditionnel (LT-27-30) était plus homogène et moins importante sur les horizons 0-10 cm et 20-30 cm soit 20 kg/cm² et 29 Kg/cm² respectivement.

La compacité sur les couches 0-10 et 10-20 cm a été moins importante comparativement à la sous couche 20-30 cm dans les traitements (LC-20 après LT-27-30), (LC-20 après L chisel-20-30) et témoin (LC-20) comprenant tous un travail conventionnel sur 20 cm. L'impact de la charrue à socs a été faible (40 kg/cm²) sur la couche compacte 20-30 cm dans le traitement (LC-20 après LT-27-30). Au contraire, le labour profond du chisel (LC-20 après L chisel-27-30) a provoqué un effet plus positif avec une chute de la compacité du sol à 33 kg/cm². Une plus forte compaction de la couche 10-30 cm non labourée supérieure à 60 kg/cm² est enregistrée dans le traitement (TM-8). Comparativement à ce dernier, le travail conventionnel périodique (TM-8/LC-20) a enregistré un compactage moindre de la couche 10-30 cm. Cependant, ce compactage (53-62 kg/cm²) fut très important sur l'ensemble de l'essai.

A l'épiaison du blé, l'augmentation

très sensible de l'humidité du sol due aux précipitations survenues en août a réduit la compacité sur la couche 0-10 pour l'ensemble des traitements, tandis la couche 10-20 cm connaissait une légère amélioration. Quant à l'horizon 20-30 cm moins humide comparativement à la période de la levée, la compacité du sol a augmentée dans l'ensemble des traitements (Tableau 4).

Effet des techniques sur l'humidité du sol

L'humidité du sol a été déterminée à la levée, à l'épiaison et à la récolte du blé (Tableau 5).

A la levée du blé, l'humidité du sol fut légèrement plus faible sur le profil 0-10 cm comparé aux horizons 10-20 et 20-30 cm pour l'ensemble des traitements. Ceci serait imputable à l'insuffisance des précipitations. Cependant, l'humidité s'est accrue avec la profondeur de labour.

A l'épiaison du blé (juin), les précipitations ont été supérieures à la moyenne pluriannuelle. Le profil supérieur 0-10 cm a connu l'humidité (25-28%) plus importante dans l'ensemble des traitements. Les horizons sous-jacents l'ont été plus faiblement, exceptés dans les traitements (LC-27-30) et (LC-20 suite L chisel 20-27) où dans le profil 10-20 cm la hausse du taux l'humidité a été de 21 à 22%. La période de juillet a connue des précipitations importantes au contraire du mois d'août qui fut très sec. Aussi, à la récolte du blé, par rapport à la phase d'épiaison, d'humidité a été très réduite sur l'horizon 0-10 cm, tandis que les couches sous-jacentes enregistraient une légère hausse de ce taux sur l'ensemble des traitements. Les traitements (LT-27-30) et (LC-20 suite L chisel 20-27) avec labour profond ont enregistré une humidité sensiblement plus

importante au contraire du travail du sol minimum (TM-8) dans lequel ce taux a été le plus faible de l'essai.

Effet des techniques sur la rétention en eau du sol

Les conditions sèches de 2008 ont limité les réserves utiles à la levée du blé sur l'ensemble des traitements: sur la couche 0-10 cm - 9-11 mm, 0-20 cm -22-27 mm et de 35-41 mm sur la couche 0-30 cm. A l'épiaison, à la faveur des pluies abondantes, les réserves utiles ont connu une croissance notable sur l'horizon 0-10 cm (22-25 mm), tandis que l'horizon 0-20 cm (32-40 mm) enregistrait des augmentations sensibles de ce variable en grande partie à la faveur de la couche 0-10 cm. Dans les traitements (LT-27-30) et (LC-20 après L.chisel-27-30), les réserves utiles ont été de 38,8 et 39,8 mm, à la frontière entre satisfaisantes et bonnes sur la couche 0-20 cm, tandis que les traitements (TM-8) et (TM-8/LC-20), ces réserves ont été jugées

moyennement satisfaisantes (respectivement 32,1 et 32,5 mm). La différence dans la quantité d'eau retenue a été plus importante sur la couche 0-30 cm, provoquée par l'assèchement presque total de cette couche (1,3 mm) dans le traitement (TM-8) et dans le traitement (TM-8/LC-20) par un très faible niveau des réserves utiles.

La période de récolte du blé (d'août) a été marquée par une baisse générale des réserves utiles pour l'ensemble des traitements sur la couche 0-10 cm. Cependant, les fuites d'eau survenues en juillet ont permis de rétablir les pertes d'eau des couches sous-jacentes sur l'ensemble des traitements. Les quantités d'eau ont été plus importantes sur la couche 0-30 cm comparativement aux périodes antérieures observées et s'élevaient respectivement à 49 et 50 mm dans les traitements (LT-27-30) et (LC-20 après L.chisel-27-30) et à 37 et 42 mm dans les traitements (TM-8/LC-20) et (TM-8) respectivement (Tableau 6).

Tableau 2: Effet des techniques sur la densité apparente du sol.

Traitements	Horizons du sol (cm)	Densité du sol, g/cm ³			
		Levée	Tallage	Récolte	Moyenne des 3 périodes d'observation
(LC-20) continu (témoin)	0 -10	1,33	1,34	1,36	1,34
	10 – 20	1,35	1,33	1,32	1,33
	20 – 30	1,45	1,37	1,38	1,40
	0 - 30	1,38	1,35	1,35	1,36
(LT-27-30) continu	0 -10	1,36	1,29	1,28	1,31
	10 – 20	1,33	1,24	1,24	1,27
	20 – 30	1,31	1,24	1,27	1,27
	0 - 30	1,33	1,27	1,26	1,29
LC-20 (après Lt- 27-30)	0 -10	1,34	1,33	1,37	1,35
	10 – 20	1,32	1,32	1,33	1,32
	20 – 30	1,39	1,35	1,39	1,38
	0 - 30	1,35	1,33	1,36	1,35

TM-8/LC-20 en alternance	0 -10	1,33	1,35	1,33	1,34
	10 – 20	1,34	1,37	1,39	1,37
	20 – 30	1,41	1,41	1,42	1,41
	0 - 30	1,36	1,38	1,38	1,37
TM - 8 continu	0 -10	1,27	1,33	1,32	1,31
	10 – 20	1,48	1,39	1,38	1,42
	20 – 30	1,56	1,48	1,47	1,50
	0 - 30	1,43	1,40	1,39	1,41
LC-20 (après L.chisel 27-30)	0 -10	1,28	1,25	1,32	1,28
	10 – 20	1,29	1,28	1,25	1,27
	20 – 30	1,42	1,34	1,40	1,39
	0 - 30	1,33	1,29	1,32	1,31

Tableau 3: Effet des techniques sur le taux de porosité du sol.

Traitements	Horizons du sol (cm)	Taux de porosité du sol, %			
		Levée	Tallage	Récolte	Moyenne des 3 périodes d'observation
(LC-20) continu (témoin)	0 -10	49,4	49	48,3	48,9
	10 – 20	48,7	49,4	49,8	49,3
	20 – 30	44,9	47,9	47,7	46,8
	0 - 30	47,7	48,4	48,6	48,2
(LT-27-30) continu	0 -10	48,3	51	51,3	50,2
	10 – 20	49,4	52,9	52,9	51,7
	20 – 30	50,2	52,9	51,7	51,6
	0 - 30	49,3	52,3	52	51,2
LC-20 (après LT- 27-30)	0 -10	49	49,4	47,9	48,8
	10 – 20	49,8	49,8	49,4	49,5
	20 – 30	47,1	48,7	47,1	47,6
	0 - 30	48,4	49,3	48,1	48,6
TM-8/LC-20 en alternance	0 -10	49,4	48,7	49,4	49,2
	10 – 20	49	47,9	47,1	48
	20 – 30	46,4	46,4	46	46,3
	0 - 30	48,3	47,7	47,5	47,8
TM - 8 continu	0 -10	51,7	49,4	49,8	50,3
	10 – 20	43,7	47,1	47,7	46,2
	20 – 30	40,7	43,7	44,1	42,8
	0 - 30	45,4	46,7	47,2	46,4
LC-20 (après L.chisel 27-30)	0 -10	51,3	52,5	49,8	51,2
	10 – 20	51	51,3	52,5	51,6
	20 – 30	46	49	47,8	47,6
	0 - 30	49,4	50,9	50	50,1

Tableau 4: Effet des techniques sur la compacité du sol.

Traitements	Horizons du sol (cm)	Compacité du sol, kg/cm ²		
		Levée	Tallage	Récolte
LC-20 continu (témoin)	0 -10	20	15	17
	10 – 20	24	35	31
	20 – 30	41	52	48
LT-27-30 continu	0 -10	20	12	14
	10 – 20	26	22	23
	20 – 30	29	37	34
LC-20 (après LT- 27-30)	0 -10	21	14	16
	10 – 20	24	27	24
	20 – 30	40	43	39
TM-8/LC-20 en alternance	0 -10	38	24	23
	10 – 20	53	59	48
	20 – 30	62	70	61
TM - 8 continu	0 -10	36	22	25
	10 – 20	64	63	58
	20 – 30	67	70	67
LC-20 (après L.chisel 27-30)	0 -10	24	16	19
	10 – 20	30	32	28
	20 – 30	33	36	33

Tableau 5: Effet des techniques sur l'humidité du sol.

Traitements	Horizons du sol (cm)	Taux d'humidité du sol, %		
		Levée	Tallage	Récolte
LC-20 continu (témoin)	0 -10	17,4	25,3	23
	10 – 20	19	18	20,8
	20 – 30	18	15	15,1
LT-27-30 continu	0 - 30	18,1	19,4	19,6
	0 -10	16,2	27,5	24,3
	10 – 20	18,8	21,3	23,3
	20 – 30	20,7	15	18,6
LC-20 (après LT- 27-30)	0 - 30	18,6	21,3	23
	0 -10	16,3	25,4	23,8
	10 – 20	19,8	19	21,7
	20 – 30	20,4	13,2	14,9
	0 - 30	18,8	19,2	20,1

TM-8/LC-20 en alternance	0 -10	17,1	26,6	24
	10 – 20	18,1	15,6	20,3
	20 – 30	20,4	11,1	13,8
	0 - 30	18,5	17,8	19,4
TM - 8 continu	0 -10	16	27,7	26,5
	10 – 20	17,7	14,4	16,9
	20 – 30	17,5	10	12,1
	0 - 30	17,1	17,4	18,2
LC-20 (après L.chisel 27-30)	0 -10	16,6	27,5	24,2
	10 – 20	22,9	22,2	23,5
	20 – 30	18,5	16,2	17,9
	0 - 30	19,3	22	21,9

Tableau 6: Effet des techniques sur les réserves utiles en eau du sol.

Traitements	Horizons du sol (cm)	Réserves d'eau utilisables du sol (mm)		
		Levée	Tallage	Récolte
LC-20 continu (témoin)	0 -10	11	11	11
	10 – 20	13,4	13,4	13,4
	20 – 30	12,9	12,9	12,9
	0 - 30	37,3	37,3	37,3
LT-27-30 continu	0 -10	9,7	9,7	9,7
	10 – 20	19,9	19,9	19,9
	20 – 30	15,2	15,2	15,2
	0 - 30	37,8	37,8	37,8
LC-20 (après LT- 27-30)	0 -10	9,6	9,6	9,6
	10 – 20	14,1	14,1	14,1
	20 – 30	15,7	15,7	15,7
	0 - 30	39,4	39,4	39,4
TM-8/LC-20 en alternance	0 -10	10,6	10,6	10,6
	10 – 20	12,1	12,1	12,1
	20 – 30	15,9	15,9	15,9
	0 - 30	38,6	38,6	38,6
TM - 8 continu	0 -10	8,8	8,8	8,8
	10 – 20	12,7	12,7	12,7
	20 – 30	13,1	13,1	13,1
	0 - 30	34 ,6	34 ,6	34 ,6
LC-20 (après L.chisel 27-30)	0 -10	9,6	9,6	9,6
	10 – 20	17,8	17,8	17,8
	20 – 30	13,3	13,3	13,3
	0 - 30	40,7	40,7	40,7

DISCUSSION

Effet des techniques sur la densité apparente (da) ou masse volumique du sol

La densité apparente (g/cm^3) augmente lorsque les sols sont compactés, ce qui affecte leur qualité et diminue la porosité (Abdellaoui et al., 2010; Vanasse et al., 2012). Les variations de la densité apparente ont été faibles dans l'ensemble des traitements au cours de la période de végétative sur l'horizon 0-30 cm, soit de 1,29 à 1,41 g/cm^3 . Ces valeurs sont peu élevées pour ce type de sol (derno-podzolique) où la densité optimale pour la couche arable est comprise entre 1,2-1,4 g/cm^3 (Moiseev, 2013). Une analyse par couche a montré une densité apparente presque identique sur l'horizon de surface 0-10 cm indépendamment des traitements employés. Par contre, sur l'horizon 10-20 cm, la densité apparente a été plus importante dans le traitement (TM-8/LC-20) et plus encore pour le traitement (TM-8). Cet horizon dans le premier cas a été travaillé 3 années sur 7 dans la rotation et dans le second cas, aucun labour n'a été pratiqué au cours des dernières années. Quant à l'horizon 20-30 cm, seul le traitement (LP-27-30) a enregistré une structure relativement meuble. Pour les autres traitements, la densité apparente a augmenté sur cette couche passant en moyenne de 1,4 g/cm^3 en mode conventionnel (LC-20) à 1,5 g/cm^3 dans le travail minimum continu le traitement (TM-8). Les traitements (LC-20 après LT-27-30) et (LC-20 après L. chisel-27-30) n'ont pas entraîné un effet positif significatif sur la densité apparente sur cette couche. A son tour, le traitement (LC-20 après L.chisel-27-30) a connu une légère supériorité sur le traitement (LC-20) et aucune différence notable n'a été constatée entre les traitements (LC-20 après PL-27-30), (TM-8/LC-20) et (LC-20) témoin de notre essai. Dans l'ensemble, les meilleures valeurs de densité pour la croissance et le développement des

plants ont été enregistrées dans le traitement (LT-20-27) et plus mauvaises conditions dans le traitement (TM-8). Ces résultats corroborent ceux d'études réalisées dans des conditions pédoclimatiques variés qui concluent à une augmentation de la densité apparente de la couche de sol de surface (0-8 cm) qui serait favorisée dans le travail du sol réduit par rapport à un labour en raison de la présence d'un mulch en surface (Kay et Vanden Bygaart, 2002; Blanco-Canqui et al., 2007). Selon Basic et al. (2004); Hannachi et al. (2010) réduire l'intensité et la profondeur du travail du sol conduit en général à une augmentation de la densité apparente du sol mais pas au-delà de l'ancien fond de labour. Pour les auteurs (D'Haene et al., 2008; Dec et al., 2008; Touahria, 2012), les socs du chisel, en fragmentant le sol, réduisent la prise en masse du sol sur la profondeur de travail de l'outil et à long terme (> 11 ans), il semblerait que la densité apparente du sol est identique à celle d'un sol labouré.

Effet des techniques sur la porosité et la compacité du sol

Les meilleures conditions d'humidité et d'aération du sol ont été enregistrées dans le traitement (LT-27-30) où le labour du sol profond par la charrue à socs est annuel. Le labour minimal (TM-8) a enregistré les plus mauvaises conditions avec une chute importante de la porosité sur l'horizon 20-30 cm. Ces résultats corroborent ceux de Bhattacharyya et al. (2006) qui ont montré en travail du sol minimal une chute de la porosité totale dès les premières années de la mise en place du système. De même, selon Amara et al. (2015), la porosité augmente considérablement après le labour, elle passe de 40,4% à 49,38%. Pour cet auteur, le passage du Cover crop a permis d'atteindre une valeur de 51,02% et après le cultivateur à dents la porosité totale augmente à une valeur

de 52,65%.

Pour les auteurs Sheudzhen et al. (2016), porosité globale de l'horizon de labour égale à 55-65% du volume total était la meilleure, 45-50%-bonne, 40-50%-satisfaisante, moins de 40%-insatisfaisante. En général, la porosité sur la couche 0-30 cm a variée en moyenne 46,1-51,2% et caractérisée comme bonne pour l'ensemble des traitements de l'essai. La compacité des sols sont appréciés de la façon suivante: supérieure à 100 - compact; 100-50- très dense; 50-30-dense; 30-20-assez dense; 20-10-assez meuble; et inférieure à 10-meuble. Suivant cette classification, les couches supérieures ont été assez denses dans le travail du sol conventionnel (LC-20) et l'horizon 20-30 cm - dense. Il y a donc formation de semelle de labour sous la couche arable. L'ameublissement du sol par la charrue à soc (LT-27-30) a eu un effet positif sur sa compacité, tandis que le travail du sol minimum (TM-8) a au contraire provoqué une compacité très forte de la couche sans labour. Pour Boizard et al. (2004) et Cookson et al. (2008), la présence de couches très compactes et parfois imperméable créée par le labour et le tassement du sol peut conduire à la stagnation d'eau des horizons supérieurs et par conséquent, la perturbation de l'aération et des processus et microbiologiques du sol.

Effet des techniques sur l'humidité et la rétention en eau du sol

Le labour traditionnel continu (LT-27-30) et périodique au chisel (LC-20 après L. chisel-27-30) ont le plus amélioré l'humidité du sol, soit de 21-22% supérieur sur l'horizon 10-20 cm. Par contre, le travail minimum (TM-8) a enregistré une humidité plus importante sur le profil supérieur 0-10 cm par rapport aux sous horizons 10-20 cm et 20-30 cm. Ceci est en désaccord avec les travaux d'Abdellaoui et al. (2010), qui ont montré que

les travaux simplifiés permettent une meilleure rétention en eau au niveau de l'horizon (0-20 cm) par rapport au labour conventionnel avec la charrue au soc. La présence d'une couche (10-20 cm) plus compacte qui empêche une infiltration plus profonde de l'eau serait une des raisons bien que l'humidité sur cette dernière et la sous couche sous-jacente 20-30 cm soit la plus faible dans ce traitement (Baumhardt et al., 2002). Cependant, les réserves utiles enregistrées au cours de la période végétative ont un rôle important dans l'installation de la récolte.

A la levée du blé sur l'ensemble des traitements, les réserves utiles ont été: sur la couche 0-10 cm - 9-11 mm, 0-20 cm -22-27 mm et de 35-41 mm sur la couche 0-30 cm. Ainsi, ces réserves utiles ont été jugées satisfaisantes ou bien à la frontière du non satisfaisantes ceci, en particulier dans le travail minimum continu (21,5 mm). A l'épiaison du blé, le labour profond continu (LT-27-30) et périodique au chisel (LC-20 après L.chisel-27-30) ont enregistré sur l'horizon (0-20 cm) 38,8 et 39,8 mm de réserves utiles respectivement. Ces quantités ont été à la frontière entre satisfaisantes et bonnes. Quant au travail minimum continu (TM-8) et périodique (TM-8/LC-20) ils ont enregistré sur cette couche respectivement 32,1 et 32,5 mm, aussi, ces réserves ont été jugées moyennement satisfaisantes. Les résultats similaires d'Al-Ouda (2010) ont montré que la quantité d'eau dans les 20 cm de surface de sol diminuait significativement d'un type de travail à un autre. Dans une culture de blé dur au niveau de l'horizon (0-20cm), Abdellaoui et al. (2010) affirment que les travail simplifié permet une meilleure rétention d'eau par rapport au labour conventionnel avec la charrue à soc. Cependant, certaines études s'accordent pour montrer que le sol en techniques simplifiées

retient un peu plus d'humidité en profondeur (20-40 cm) qu'en horizon superficiel 0-20 cm (Baumhardt et al., 2002; Bhattacharyya et al., 2006).

Conclusion

Les labours profonds ont provoqué une plus faible densité et compacité de la couche 0-30 cm comparativement au travail minimum continu ou périodique et dans une moindre mesure par rapport au labour conventionnel continu. Ces traitements ont eu comme effet de favoriser la porosité et les réserves utiles du sol. Aussi bien le labour profond (LP-27-30) à la charrue à soc que l'emploi périodique du chisel (LC-20 après L. chisel-27-30) ont permis une plus grande rétention d'eau sur l'horizon 0-20 cm et plus encore sur 0-30 cm. Le travail minimum du sol permanent et dans une moindre mesure l'alternance du travail minimum avec le travail conventionnel sur 20 cm n'a au contraire pas permis la rétention d'eau sur ces couches. Ainsi, le travail conventionnel continu semble ne pas être recommandable. Il ne faudrait pas non plus recommander le labour superficiel continu car dans ce cas précis, on peut s'attendre à une sérieuse détérioration des propriétés hydriques et physiques du sol. Les variables physiques et hydriques du sol montrent que le combiné du labour traditionnel sur 27-30 cm ou du chisel améliore les conditions du sol.

CONFLIT D'INTERÊTS

Tous les auteurs déclarent ne pas avoir un conflit d'intérêts.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

AG a collecté les données, écrit le manuscrit (40%); XPP a contribué à la conception de la méthodologie (tous les auteurs ont convenu de la méthode d'échantillonnage, de la période et du choix du site). Il a également fourni des commentaires

(20%). SK et MT ont participé à l'écriture et à l'amélioration du manuscrit. Ils ont également contribué à la vérification linguistique, lu et amélioré la section de discussion (15% chacun) MS a contribué à la rédaction de la méthodologie lu et amélioré la section de discussion (10%).

REFERENCES

- Abdellaoui Z, Tissekrat H, Belhadj A, Zaghouane O. 2010. Etude comparative de l'effet du travail conventionnel, semi direct et travail minimum sur le comportement du blé dur. In actes des 4ème rencontres méditerranéennes du semis direct. Sétif, du 3 au 5 mai 2010. Recherche Agronomique, INRAA, 68-82.
- Al-Ouda A. 2010. The role of improved regional practices in the implementation of conservation agriculture in arab countries. Actes du 4eme rencontre méditerranéen du semis direct. Setif, Algerie, du 3 à 5 mai 2010, 59-67.
- Amara M, Boudhar L, Adli N, Feddal MA. 2015. Analyse du comportement du sol sous l'action de trois techniques de mise en place d'un blé dur (*Triticum durum*). Effet sur le développement des racines et conséquences sur le rendement. «*Nature & Technologie*», *Sciences Agronomiques et Biologiques*, **12**: 130-141.
- Basic F, Kisić I, Mesic M, Nestroy O, Butorac A. 2004. Tillage and crop management effects on soil erosion in central Croatia. *Soil & Tillage Research*, **78**: 197-206. DOI:10.1016/j.still.2004.02.007
- Baumhardt RL, Jones OR. 2002. Residue management and tillage effects on soil water storage and grain yield of dry land wheat and sorghum for a clay loam in Texas. *Soil & Tillage Research*, **68**: 71-82. Doi.org/10.1016/S0167-1987(02)0097-1
- Ben Hassine H, Ben Salem M, Bonin G, Braudeau E, Zidi C. 2003. Réserve utile des sols du Nord-Ouest tunisien

- Evolution sous culture. *Étude et Gestion des Sols*, **10**(1): 19-33. <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010030831>
- Bhattacharyya R, Prakash V, Kundu S, Gupta HS. 2006. Effect of tillage and crop rotations on pore size distribution and soil hydraulic conductivity in sandy clay loam soil of the Indian Himalayas. *Soil & Tillage Research*, **86**: 129-140. DOI: 10.1016/j.still.2005.02.018.
- Blanco-Canqui H, Lal R. 2007. Soil structure and organic carbon relationships following 10 years of wheat straw management in no-till. *Soil and Tillage Research*, **95**: 240-250. Doi: 10.1016/j.still.2007.01.004
- Boizard H, Richard G, Defossez P, Roger-Estrade J, Boiffin J. 2004. Etude de l'effet à moyen et long terme des systèmes de culture sur la structure d'un sol limoneux-argileux du Nord du Bassin Parisien: les enseignements de l'essai de longue durée d'Estrée-Mons (80). *Etude et Gestion des Sols*, **11**: 11-20.
- Chennafi H. 2012. Amélioration de la Productivité du Blé en Environnement déficitaire en Eau. *Revue d'Agriculture UNVSETIF*, **3**: 24-29.
- Cookson WR, Murphy DV, Roper MM. 2008. Characterizing the relationships between soil organic matter components and microbial function and composition along a tillage disturbance gradient. *Soil Biology and Biochemistry*, **40**: 763-777. doi:10.1016/j.soilbio.2007.10.011
- Dec D, Dörner J, Becker-Fazekas O, Horn R. 2008. Effect of bulk density on hydraulic properties of homogenized and structured soils. *J. Soil Sc. Plant Nutr.*, **1**: 1-13. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000100001>
- D'Haene K, Vermang J, Cornelis WM, Leroy BLM, Schiette Catte W, De Neve S, Gabriels D, Hofman G. 2008. Reduced tillage effects on physical properties of silt loam soils growing root crops. *Soil and Tillage Research*, **99**: 279-290. DOI: 10.1016/j.still.2008.03.003
- Eynarda A, Schumachera TE, Lindstrom MJ, Maloa DD. 2004. Porosity and Pore-Size Distribution in Cultivated Ustolls and Usterts. *Soil Science Society of America Journal*, **68**: 1927-1934. Doi:10.2136/sssaj2004.1927
- Hannachi A, Fellahi Z. 2010. Effets des résidus et du travail du sol sur le comportement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en milieu semi-aride. Mémoire Ingénieur, Département Agronomie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, UFAS. p. 8.
- Huwe B. 2003. The role of soil tillage for soil structure. In *Soil Tillage in Agroecosystems*, AET (ed). CRC Press LLC: Boca Raton; 27-50.
- Kay BD, Vanden Bygaart AJ. 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil & Tillage Research*, **66**: 107-118. Doi: 10.1016/S0167-1987(02)00019-3
- Köller K. 2003: Techniques of Soil Tillage, In A. El Titi, ed. *Soil Tillage in Agroecosystems*, AET (ed). CRC Press LLC, Boca Raton; 1-25.
- Lal R, Reicosky DC, Hanson JD. 2007. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil and Tillage Research*, **93**: 1-12. DOI: 10.1016/j.still.2006.11.004
- Laverdière MR. 2005. Conservation des sols et du milieu. Département des sols et de génie agroalimentaire, Université Laval. Sainte-Foy, Qc, 369. .
- López-Bellido L, López-Bellido RJ, Castillo JE, López-Bellido FJ. 2000. Effects of tillage, crop rotation, and nitrogen fertilization on wheat under rainfed Mediterranean conditions. *Agron. J.*, **92**: 1054-1063. Doi:10.2134/agronj2000.9261054x
- Munkholm LJ, Schjonning P, Rasmussen KJ, Tanderup K. 2003. Spatial and temporal effects of direct drilling on soil structure in the seedling environment. *Soil and*

- Tillage Research*, **71**: 163-173.
[http://doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00062-X](http://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00062-X)
- Moissev KG. 2013. Calculating the density of loamy soddy-podzolic soils from penetration resistance diagrams. *Eurasian Soil Journal*, **46**(10): 1026-1031.
- Nacro S, Ouedraogo S, Traore K, Sankara E, Kabore C, Ouattara B. 2010. Effets comparés des pratiques paysannes et des bonnes pratiques agricoles de gestion de la fertilité des sols sur les propriétés des sols et les rendements des cultures dans la zone sud soudanienne du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **4**(4): 1044-1055. <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v4i4.63042>.
- Pouya MB, Bonzi M, Gnankambary Z, Koulibaly B, Ouédraogo I, Ouédraogo JS, Sédogo PM. 2013. Perception paysanne et impact agro-pédologique du niveau de mécanisation agricole dans les zones cotonnières Centre et Ouest du Burkina. Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **7**(2): 489-506. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v7i2.7>.
- Ritchie JT, Basso B. 2007. Water use efficiency is not constant when crop water supply is adequate or fixed: The role of agronomic management. *European Journal of Agronomy*, **28**(3): 273-281. Doi:10.1016/j.eja.2007.08.003.
- Roger-Estrade J, Richard G, Caneill JH, Boizard H, Coquet Y, Defossez P, Manichon H. 2004. Morphological characterization of soil structure in tilled fields: from a diagnosis method to the modeling of structural changes over time. *Soil & Tillage Research*, **79**: 33-49. DOI: 10.1016/j.still.2004.03.009.
- Some D, Hien E, Assigbetse K, Drevon JJ, Masse D. 2015. Dynamique des compartiments du carbone et de l'azote dans le sol cultivé en niébé et sorgho dans le système zaï en zone Nord soudanienne du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **9**(2): 954-969. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i2.32>.
- Sheudzhen A.Kh , Gutorova OA, Hurum HD, Lebedovskiy IA, Osipov MA, Yesipenko S. 2017. Physical, Hydrophysical, Physical And Chemical Properties of Leached Chernozem. *International Research Journal*, **4**(58). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.58.136>
- Teasdale JR, Coffman CB, Mangum RW. 2007. Potential Long-Term Benefits of No-Tillage and Organic Cropping Systems for Grain Production and Soil Improvement. *Agronomy Journal*, **99**: 1297-1305. Doi:10.2134/agronj2006.0362.
- Touahria O. 2012. Effets des résidus et du non-labour sur le comportement de la céréale sous conditions semi-arides des hautes plaines orientales. Thèse de Magister, Département Agronomie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, UFAS., p. 38.
- Vanasse A. 2012. Les céréales à paille. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), Québec, 148.
- Yoro G, Godo G. 1990. Les méthodes de mesure de la densité apparente. Analyse de la dispersion des résultats dans un horizon donné. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, Vol. XXV, **4**: 423-429.