

---

---

Soumis le : 10/01/2017

Forme révisée acceptée le : 23/11/2017

Auteur correspondant : [d.bentahar@st.ensa.dz](mailto:d.bentahar@st.ensa.dz)

---

---

---

---

**Nature & Technology**

<http://www.univ-chlef.dz/revuenatec>

---

---

# Analyse comparative entre trois techniques culturales et le semis direct pour la mise en place du sorgho fourrager en vue d'optimiser son rendement

BENTAHAR Djamila<sup>a,\*</sup>, AMARA Mahfoud<sup>b</sup>, BAKEL Mouhamed

<sup>a</sup>Institut Technique des Grandes Cultures, El-Harrach, Algérie

<sup>b</sup>Département de Génie Rural, ENSA – El-Harrach, Algérie

---

## Résumé

Ce travail porte sur une analyse comparative de l'effet de trois techniques culturales et le semis direct, pour la mise en place d'une culture fourragère, sur les propriétés physiques du sol et les conséquences sur le développement et le rendement de la culture du sorgho fourrager. Pour répondre à cette problématique, une analyse des différents paramètres liés au sol (Humidité et la résistance mécanique à la pénétration) et d'autres liés au développement de la culture (la levée-peuplement, le tallage, la hauteur et le diamètre des tiges, les rendements en fourrage vert et matière sèche) a été effectuée. En matière de levée-peuplement les taux de levée obtenus sont directement liés à la technique utilisée : la technique du semis direct semble offrir le meilleur taux de levée avec 85 %; le plus faible taux étant réalisé avec la technique du travail simplifié avec seulement 67 %. Quant aux rendements, les meilleurs sont enregistrés avec la technique du travail conventionnel et sont de 90,11 T/ha en MV et 36,64 T/ha en MS pour la dose 1 et 87,22 T/ha en MV et 33,83T/ha en MS pour la dose 2. Les plus faibles rendements sont enregistrés avec la technique du semis direct et sont respectivement de 42,11 T/ha en MV et 11,23 T/ha en MS pour la dose 1 et 87,22 T/ha en MV et 33,83 T/ha en MS pour la dose 2. Malgré un faible taux de perte à la germination, environ 15 %, le rendement le plus faible a été obtenu au niveau des parcelles du semis direct.

Mots-clés : sorgho, techniques culturales, caractéristiques physicomécaniques du sol, semis direct, matière sèche, matière verte, rendement.

---

## Abstract



This work focuses on a comparative analysis of the effect of three cultivation techniques and direct seeding for the establishment of a fodder crops, on soil physical properties and the consequences on fodder sorghum growth and crop yield. To answer this problem, an analysis of the various parameters related to the soil (moisture and penetrometer resistance) and others related to the development of culture (the emergence-stand, tillering, the height and diameter of the stems, yields of green fodder and dry matter) has been done. As regards lifting-settlement the rates of lifting obtained are directly related to the technique used: the technique of the direct drilling seems to offer the best rate of lifting with 85 %; more the low level being realized with the technique of simplified work with only 67 %. As for the outputs, best are recorded with the technique of conventional work and are of 90.11 T/ha into green matter and 36.64 T/ha in dry matter for proportion 1 and 87, 22 T/ha into green matter and 33,83T/ha in ms for proportion 2. Most poor yield is recorded with the technique of the direct drilling and is respectively of 42, 11 T/ha into green matter and 11.23 T/ha in ms for proportion 1 and 87.22 T/ha into green matter and 33.83 T/ha in dry mater for proportion 2. In spite of a low level of loss to germination, approximately 15 %, the weakest output was obtained on the level of the direct seeding.

Keywords: Sorghum, farming techniques, physical and mechanical characteristics of the soil, direct drilling, dry Matter, green matter, yield.

---

## Abréviation

d1 et d2 : Doses de semis  
K : Coefficient de tallage  
MV : Matière verte  
MS : Matière sèche  
SD : Semis direct

TC : Technique conventionnelle  
TM : Travail minimum  
TSL : Technique sans labour  
 : Dose faible (d1)  
 : Dose forte (d2)

---

## 1. Introduction

La rareté et la diminution des ressources hydriques, suite à la sécheresse et à l'irrégularité des précipitations, constituent le problème majeur qui menace l'agriculture Algérienne. Ce problème est accentué par la défaillance des pratiques culturales utilisées par les agriculteurs, notamment celles liées au travail du sol, à la gestion des résidus de récolte et au contrôle des mauvaises herbes. Aussi, il serait intéressant de rappeler que la mise en place des grandes cultures est très énergivore. Avec le progrès des techniques agricoles, pour la mise en place des grandes cultures, nous assistons actuellement à une importante évolution des techniques de travail du sol. Celles-ci visent la suppression totale du labour en remplaçant la méthode conventionnelle par une technique dite travail minimum ou travail sans labour (TSL) et à la limite par la technique du semis direct (SD). Ces techniques sont aperçues comme étant des alternatives capables de réduire la dégradation du sol et la consommation d'énergie [1].

Les résultats obtenus dans la région semis aride par [2, 3], ont montré que la simplification du travail du sol réduit le rendement du blé par rapport à la méthode classique et que le taux d'enracinement est directement lié à la structure du sol et à ses propriétés physico-mécaniques, notamment l'humidité, la porosité et la résistance pénétrométrique qui sont elles mêmes fonction de la technique culturale utilisée. Le même essai réalisé par [4, 5] et portant sur les différents paramètres du sol (humidité, porosité, résistance pénétrométrique) a démontré que les différents passages des outils aratoires, par leur action et par leur profondeur de travail, permettent une meilleure conservation de l'humidité et une augmentation de la porosité du sol comparativement au semis direct. La résistance pénétrométrique est inversement proportionnelle à la teneur en eau dans le sol et elle est donc plus importante au semis direct que sur les parcelles labourées.

Quelques travaux sur ce sujet ont été réalisés ; l'intérêt a beaucoup plus porté sur les rendements obtenus sans tenir compte des caractéristiques physico-mécaniques du sol et du développement de la culture pendant son cycle végétatif. Parmi ces travaux, les plus importants sont ceux réalisés par [6]. En Algérie, nous citerons ceux de [7, 8]. Les résultats de tous ces travaux ont démontré que les effets des techniques culturales sur les rendements des céréales obtenus ne sont apparemment pas très différents.

Selon [9], le rendement en fourrage d'une culture, dans un milieu donné, dépend pour une large part du nombre de pieds installés ; c'est-à-dire des taux de germination et de levée par rapport à la densité de semis. Tous ces paramètres dépendent de l'état structural du sol et plus particulièrement de l'affinement du lit de semence et de son aération. En effet, la petite taille des graines nécessite un travail du sol soigné afin de préparer un lit de semence fin et bien émiétté. Un sol peu profond peut limiter le développement du sorgho. L'expérience algérienne dans ces techniques est toute récente, les résultats des différents essais ne se sont pas suffisamment vulgarisés au niveau des agriculteurs. L'introduction de ces nouvelles techniques concerne plus particulièrement le blé. C'est pour cela que nos essais portent sur les effets de quatre techniques culturales sur les rendements finaux estimés d'une culture fourragère importante pour l'Algérie, le sorgho (variété Sudan Grass).

Notre étude consiste à mettre en évidence l'effet de trois techniques culturales respectivement conventionnelle (TC), simplifiée (TS), minimum (TM) et semis direct (SD) sur l'évolution des caractéristiques physiques du sol (Humidité et la résistance mécanique à la pénétration), et sur les différents facteurs de rendement de la culture du sorgho fourrager (la levée-peuplement, le tallage, la hauteur et le diamètre des tiges, les rendements en fourrage vert et matière sèche).

## 2. Matériels et méthodes

Les essais ont été effectués au printemps 2013, sur une parcelle située dans la station expérimentale de l'École nationale supérieure agronomique (ENSA), El Harrach, Alger, sur un sol limono sablo-argileux et un précédent cultural maïs coupé et ramassé avant la période des essais. La culture utilisée pour nos essais est le sorgho fourrager variété Sudan Grass HYBRIDE-F1 d'origine du Pakistan, caractérisée par un pouvoir germinatif de 82,60 % et un poids de mille grains de 30,26 g. Tenant compte du microrelief de la parcelle qui est relativement plat, le dispositif expérimental adopté est de type factoriel bloc à deux facteurs étudiés avec trois répétitions :

Premier Facteur : technique de travail du sol à quatre niveaux (T1, T2, T3, T4) :

- Technique 1, T1(TS), travail du sol à 15 cm de profondeur à l'aide d'un pulvérisateur à disques du type "Cover-crop", suivi par un vibroculteur ;

- Technique 2, T2 (TM), 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", suivi par un vibroculteur (7 dents) ;
- Technique 3, T3 (TC), travail du sol avec retournement à 30 cm de profondeur, à l'aide d'une charrue bisocs et un *cover-crop* (14 disques) ;
- Technique 4, T4 (SD), semis direct ; un désherbant total (Roundup) a été appliqué, sa matière active est le glyphosate, avec une concentration d'un litre par 100 litres d'eau.

Deuxième facteur : densité de semis à deux niveaux (d1 et d2) :

- Une dose faible : d1 = 25 kg/ha ;
- Une dose élevée : d2 = 35 kg/ha.

L'opération du semis a été effectuée à l'aide d'un semoir en ligne de type AGRIC PSM 30 attelé à un tracteur JOHN DEERE 5605 pour les trois techniques (conventionnelle, minimum et simplifiée) et un semoir SEMEATO de type SHM 11/13 pour le semis direct.

Les paramètres étudiés sont déterminés comme suit :

- La méthode de mesure directe de la teneur en eau d'un échantillon de sol s'effectue simplement par pesée avant et après étuvage à une température de 105°C pendant 24h ;  
Le taux d'humidité est calculé par la relation suivante :  $H \% = \{(Ph - Ps) / Ps\} \times 100$ , avec Ph le poids de l'échantillon humide et Ps le poids de l'échantillon sec (en g).  
Les mesures a été faite sur trois stades différents (avant semis, stade montaison et épiaison) sur une profondeur de 25 cm. Cette répartition nous permet de suivre l'évolution de l'humidité au cours du cycle de la plante et de comprendre les effets du travail du sol sur l'humidité du sol.
- La résistance pénétrométrique exprimée en daN/cm<sup>2</sup>, paramètre plus fréquemment retenu, est mesurée à l'aide d'un pénétromètre ;
- Le taux de levée exprimé en pourcentage est déterminé par comptage du nombre de pieds levé par m<sup>2</sup> à l'aide d'un cadre en bois mesurant 1m de chaque coté ;

- Le coefficient de tallage (K), est le rapport entre le nombre de talles et le nombre de pieds ;
- La hauteur des tiges est mesurée en cm à l'aide d'une règle plate. ;
- Le diamètre des tiges est mesuré en cm à l'aide d'un pied à coulisse numérique ;
- L'estimation de rendement en matière verte (MV) exprimé en T/ha, a été déterminé par des prélèvements de fourrage vert à l'aide d'un couteau sur des échantillons de 1m<sup>2</sup> au stade épiaison. La matière verte récoltée sera ensuite pesée et avec une simple règle de trois on a converti le rendement dans un hectare (ha) ;
- Le rendement en matière sèche (MS) exprimé en T/ha, a été déterminé après séchage des échantillons de 1m<sup>2</sup> de fourrage vert à l'étuve à 95°C pendant 3 jours. Les taux de matières sèches sont calculés à partir de la formule suivante :  $MS (\%) = (Ps/Ph) \times 100$  où Ps est le poids sec de fourrage et Ph le poids humide de fourrage (en kg.)

Pour approfondir l'analyse de l'effet des techniques culturales sur les différents paramètres étudiés, une analyse de variance a été effectuée. Aussi, une comparaison des moyennes à l'aide du test de BONFERRONI au seuil 5 % a été réalisée.

### 3. Résultats et discussions

#### 3.1. Effet des techniques sur l'état structural du sol

##### 3.1.1. Effet sur l'humidité du sol

Les valeurs moyennes de la variation de la teneur en eau du sol sont présentées dans le tableau 1. Ces résultats montrent que la technique T3, travail du sol avec retournement à 30 cm de profondeur, permet une meilleure conservation de l'eau ; la valeur moyenne de l'humidité est de 12,76 %. Pour les autres techniques, la valeur moyenne est légèrement inférieure ; elle varie de 11,41 à 11,66 %. L'analyse au de l'évolution de l'humidité du sol au cours des stades végétatifs de la culture a démontré, qu'en fonction de la technique de travail du sol appliquée, le labour (T3) a emmagasiné plus d'eau suivi par le semis direct et puis le travail simplifié (T1) qui semble offrir les conditions d'humidité les plus défavorables.

Tableau 1 :  
Évolution du taux d'humidité (%) dans le sol

Stade de prélèvement	Technique			
	T1	T2	T3	T4
Avant semis	13,86	12,55	14,04	14,06
Stade montaison	11,32	12,08	13,79	12,08
Stade épisaison	9,07	9,73	10,46	8,86

### 3.1.2. Effet des techniques sur la résistance pénétrométrique du sol

La mesure de la résistance pénétrométrique avec un pénétromètre est un des indicateurs fréquemment utilisés pour avoir un aperçu sur l'état de compaction du sol et la contrainte qu'opposera le sol à la progression des racines.

Les mesures ont été faites à deux stades différents (stade montaison et début épisaison) sur une profondeur de 24 cm.

#### 3.1.2.1. Variation de la résistance pénétrométrique au stade montaison

Les résultats présentés dans la figure 1, montrent que la résistance à la pénétration dans les parcelles travaillées T2 et T3 est inférieure à celle enregistrée au niveau des parcelles réservées au semis direct et au travail superficiel (*cover-crop*). Cette diminution de la résistance est due au travail profond de la charrue et du chisel, c'est-à-dire à l'effet de soulèvement de la terre pendant le travail du sol.

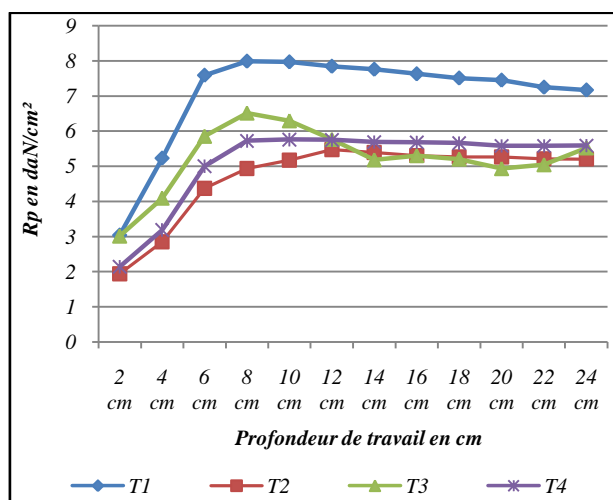


Figure 1 : Évaluation de la résistance pénétrométrique (daN/cm<sup>2</sup>) en fonction de la profondeur au stade montaison

#### 3.1.2.2. Variation de la résistance pénétrométrique au stade début épisaison

Les résultats présentés dans la figure 2 montrent que la résistance à la pénétration est proportionnelle à la profondeur de travail, mais la résistance enregistrée au niveau des quatre techniques est un peu inférieure à celle de stade montaison. Cette diminution peut se justifier par l'amélioration de la structure avec le temps (stabilité structurale), en présence des racines qui favorisent beaucoup plus la macroporosité.

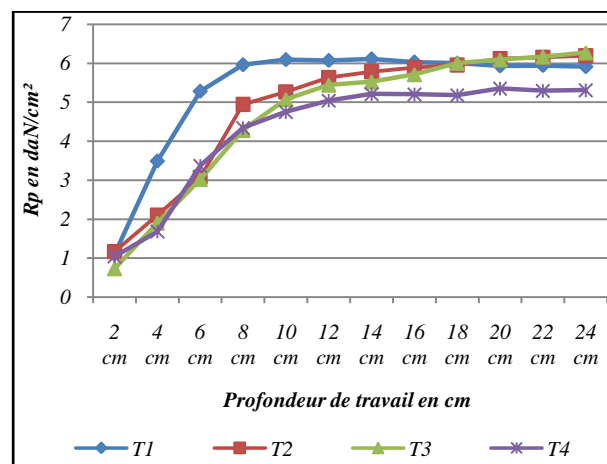


Figure 2 : Évaluation de la résistance pénétrométrique (daN/cm<sup>2</sup>) en fonction de la profondeur de travail au stade début épisaison

## 3.2. Effets des techniques sur les caractéristiques de la culture

### 3.2.1. Taux de levée

Le taux de levée peut nous renseigner sur l'état de la structure du lit de semences qui favorise au mieux une levée régulière, homogène et la plus élevée. Ces

caractéristiques sont à prendre en considération pour dégager la technique la plus adéquate et en apporter, si nécessaire, d'éventuelles corrections. Les résultats obtenus sont illustrés à la figure 3.

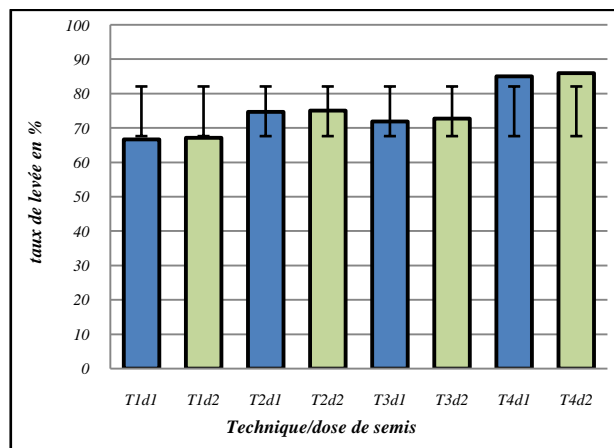


Figure 3 : Estimation du taux de levée-peuplement en relation avec la technique et la dose de semis.

À la fin de levée, la densité de peuplement reste dépendante de la dose de semis et de la méthode de préparation du lit de semence. Le meilleur taux de levée-peuplement est obtenu avec la technique T4d2 (semis direct-dose élevée) avec un taux de levée de 86 %.

Cela s'explique par l'existence des conditions favorables à la germination des graines qui sont en bon contact avec le sol avec une meilleure humidité et une bonne stabilité de la structure du sol non travaillée. Par contre, les autres techniques provoquent un changement de l'état structural du sol, par conséquent elles entraînant une évaporation d'une importante quantité d'eau qui influence de façon néfaste sur la germination des graines.

### 3.2.2. Capacité de tallage (coefficient ou capacité de tallage K)

La variation du coefficient de tallage K en fonction des densités de peuplement est représentée à la figure 4.

La variété Sudan grass semble avoir des possibilités de compensation par le phénomène de tallage et ce par

l'augmentation du coefficient de tallage (nombre de talles / nombre de pieds) [7]. D'après la figure 2, ce coefficient K semble être inversement proportionnel à la densité de peuplement. C'est le cas de la technique T1 pour les deux doses de semis d1 et d2, ce qui pourrait s'expliquer par l'espacement entre les plants qui favorise le tallage et qui permet un meilleur emplacement des plants.

En revanche, au semis direct qui avait un taux de levée assez bien, dans le cas où la capacité de tallage soit très faible signifie la compétition existe entre les plants et l'espace distinguant entre eux.

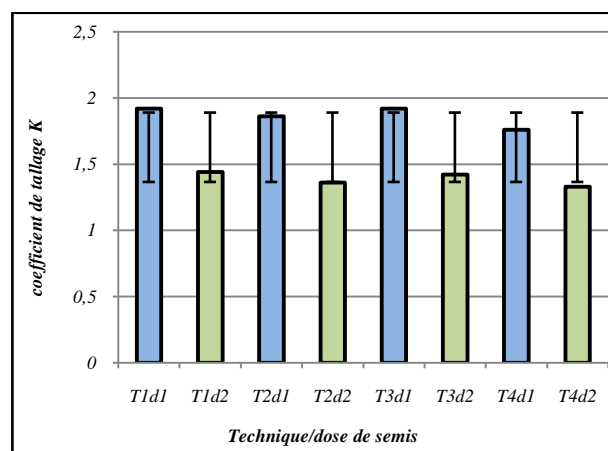


Figure 4 : Estimation du coefficient de tallage en relation avec la technique et la dose de semis.

Tableau 2 :

Valeurs moyennes des hauteurs et des diamètres des tiges

Traitement	T1d1	T1d2	T2d1	T2d2	T3d1	T3d2	T4d1	T4d2
Hauteur des tiges (cm)	91,5	80,4	115,4	110,3	131,8	136,2	67,9	62,9
Diamètre des tiges (cm)	0,66	0,62	0,77	0,70	0,80	0,81	0,57	0,55

### 3.2.3. Facteurs de croissance de la culture

Les facteurs de croissance analysés sont la hauteur et le diamètre des tiges. Les résultats obtenus sont présentés au tableau 2.

Les meilleurs résultats sont obtenus avec les techniques T3 et T2, ceci est dû à une bonne exploitation de l'eau et des éléments nutritifs provenant d'un bon enracinement et un taux de concurrence faible. Contrairement aux techniques T1 et T4 qui présentent une faible croissance des plantes à cause de la compétition exercée par les adventices qui sont énormément de grand nombre dans ces techniques.

### 3.2.4. Estimation du rendement de la culture

Les meilleurs rendements ont été obtenus avec la technique du travail conventionnel et sont de 90,11 T/ha sur une base humide (MV) et 36,64 T/ha sur une base sèche (MS) pour la dose 1 et 87,22 T/ha en MV et 33,83 T/ha en MS pour la dose 2. Par ailleurs, les plus faibles rendements ont été obtenus avec la technique du semis direct et sont de 42,11 T/ha en MV et 11,23 T/ha en MS pour la dose 1 et 87,22 T/ha en MV et 33,83 T/ha en MS pour la dose 2. Les résultats obtenus sur les parcelles travaillées conventionnellement s'expliquent par un bon développement du système racinaire et la grande capacité de tallage grâce aux bonnes propriétés physico-mécaniques du sol. Ces résultats sont comparables ceux obtenus par [10, 11]. De même, une recherche réalisée en Suisse a démontré qu'une culture de blé a subi une perte de rendement de 14 % en travail réduit comparativement au travail conventionnel [12].

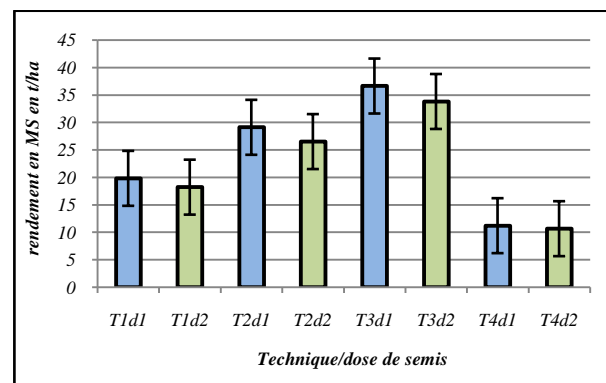


Figure 5 : Estimation du rendement en MS de la culture (%)

## 4. Analyse statistique des résultats :

Les résultats sont présentés au tableau 3. Pour ce qui est des paramètres relatifs au sol, l'effet de la technique n'est pas apparent à cause du nombre de valeurs qui est faible (9 valeurs). Néanmoins, il est à noter que :

- Le travail conventionnel (T3) a emmagasiné plus d'eau suivi par le semis direct et le travail simplifié (T1) qui semble offrir les conditions d'humidité les plus défavorables ;
- La résistance pénétrométrique est proportionnelle à la profondeur de travail qui augmente de la technique conventionnelle à la technique du semis direct.

Tableau 3 :  
Analyse statistique de l'effet des techniques culturales sur les paramètres caractéristiques de la culture

	Facteur	Nombre Levée/m <sup>2</sup>	Nombre de Talles/m <sup>2</sup>	Hauteur des Tiges	Diamètre des tiges	Rendement en vert	Matière Sèche
Probabilité	Facteur 1 : Technique	0,00062	0,89301	0,05135	0,64218	0,0004	0,00183
	Facteur 2 : Dose de semis	0,00004	0,60572	0,7348	0,58792	0,76065	0,25759
Écart-type	Facteur 1 : Technique	3,162	17,99	29,8	0,195	7,453	5,643
	Facteur 2 : Dose de semis	5,898	14,257	28,27	0,214	7,563	4,818
Coefficient de Variation %	Facteur 1 : Technique	5,198	18,886	32,11	28,95	11,15	24,75
	Facteur 2 : Dose de semis	9,69	14,96	30,469	31,716	11,31	21,13
Facteur 1 :	Signification	H, S	N, S	N, S	N, S	H, S	H, S
	PPDS	7,103	-	-	-	16,742	12,677
Technique culturale	Groupes homogènes	A : T4 B : T2 BC : T3 C : T1	-	-	-	A : T3 AB : T2 B : T1 C : T4	A : T3 AB : T2 BC : T1 C : T4
	Signification	T, H, S	N, S	N, S	N, S	N, S	N, S
Facteur 2 :	PPDS	5,512	-	-	-	-	-
	Groupes homogènes	A : D2 B : D1	-	-	-	-	-

*H.S : hautement significatif ; N.S : non ; significatif ; PPDS : le plus petite degré significatif*

L'analyse de la variance montre que la technique a un effet hautement significatif sur la densité de peuplement et sur le rendement en vert. Cet effet est significatif sur les rendements en MS. Pour ce qui est des autres paramètres, à savoir la hauteur et le diamètre des tiges ainsi que le nombre de talles par m<sup>2</sup>, l'effet de la technique n'est pas significatif. Le test de comparaison des moyennes montre que :

- Pour La densité de peuplement, le test à fait ressortir quatre groupes homogènes classés comme suit : T4 : A ; T2 : B ; T3 : BC ; T1 : C. Cela veut dire que l'effet de l'outil aratoire utilisé et l'état du lit de semence ont un effet important sur la valeur de la densité de peuplement ;
- Pour le premier facteur, à savoir le rendement, le travail conventionnel (T3) surclasse l'ensemble des techniques culturales, suivi par T2, T1 et enfin T4 (semis direct). Ce qui nous amène à conclure que la technique choisie à un effet certain sur le rendement de la culture. Les meilleurs résultats ont été obtenus sur les parcelles travaillées conventionnellement.

Concernant le second facteur, la densité de semis, l'analyse de la variance montre un effet hautement significatif sur la densité de peuplement. Quelle que soit la technique utilisée, c'est la densité élevée (d2 = 35 kg/ha) qui a résulté en un meilleur peuplement à la levée avec une différence de l'ordre de 30 plants/m<sup>2</sup> par rapport à d1 (25 kg/ha).

## 5. Conclusion

Les résultats obtenus indiquent que la technique culturale pour la mise en place d'une culture sorgho a un effet sur les principaux paramètres physico-mécaniques du sol et par conséquent sur le développement de la culture. Nos travaux ont permis de démontrer que :

- La technique conventionnelle permet une meilleure conservation de l'eau par rapport aux autres techniques ;
- La résistance pénétrométrique est plus importante sur les parcelles en semis direct et en travail simplifié que sur les parcelles labourées ;

- En matière de levée-peuplement et indépendamment de la dose de semis, les taux de levée obtenus sont directement liés à la technique utilisée : le semis direct semble offrir le meilleur taux de levée par rapport aux autres techniques ;
- Les meilleurs rendements ont été obtenus quand le sol est labouré.

Enfin, nous pouvons conclure que dans des conditions agro-pédologiques et climatiques propres à notre essai, le travail conventionnel est la technique la plus efficace pour répondre au mieux aux exigences agro-techniques du sorgho fourrager.

Comme perspective, il serait souhaitable de procéder à une étude comparative de la technique conventionnelle et de la technique du travail minimum dans différentes conditions pédoclimatiques.

## Références

- [1] Zenikhri M., "Influence des techniques culturales sur les facteurs de rendement du sorgho fourrager", Thèse Ing., ENSA, El-Harrach, Algérie, 2014.
- [2] Bekkeuche O., "Analyse de la résistance penetrométrique du sol sous l'action de trois techniques du travail du sol", Thèse Ing., ENSA, El-harrach, Algérie, 2012
- [3] Ferrah A. G., "effet de trois techniques culturales sur le développement de blé en zone semi-aride", Thèse Ing. de l'Université Mouhamed Boudiaf, M'sila, 2014
- [4] Adli N et Feddal M. A., "Analyse du comportement du sol sous l'action de différentes formes des pièces travaillantes des outils aratoires", Thèse Ing. ENSA, El-harrach, Algérie, 2008
- [5] Hammani A., "Effet de trois techniques de mise en place d'une culture sur le développement des racines et conséquences sur le rendement", Thèse Ing. ENSA, El-harrach, 2013
- [6] Bathelemy P., Boisgontier D., Lajoux P., 1989. Choisir les outils de semis. Ed. ITCF. France. 1987.
- [7] Bakel M., "Etude comparative de l'action des outils aratoires sur l'état structural d'un sol travaillé en vue de la mise en place de la culture du sorgho" Thèse. Ing. Agro. I.N.A., El-harrach, Algérie, 1999
- [8] Amara M., "Contribution à la modélisation interface outils aratoires –sol optimisation de la forme et de l'effort de résistance à la traction des corps de charrue à socs et des outils à dents" Thèse de doctorat et d'état, I.N.A. El-Harrach, 2007
- [9] Manichon H., (1977) Structure du sol et profil cultural : répercussions sur le rendement des cultures, modifications sous l'action du climat et des outils. I.N.A. Paris.
- [10] M'hedhbi K., Effet des outils de travail du sol et de semis sur le rendement des céréales cultivés en sec. Dans : Actes des 27<sup>ème</sup> journées nationales sur les acquis de la recherche agronomique, halieutique et vétérinaire en Tunisie, 1 (1995) pp. 36-45.
- [11] Bouhejba A., "Etudes comparatives des effets des différents modes de travail du sol sous des conditions semi arides sur l'élaboration du rendement du blé tendre", Mémoire de fin d'étude du cycle spécialisation, I.N.A Tunisie, 1997
- [12] Berner A., hildermann I., Fliebbach A., Pfiffner L., Niggali U. et Mader P., Crop yield and soil fertility response to reduced tillage under organique mangement, soil tillage Res., 101 (2008) 89-96.