

Effets de quelques techniques culturales sur la mise en place et le développement du sorgho fourrager

Bakel M.

Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Département de Génie Rural, El-Harrach, Alger 16200

Résumé

En matière de travail du sol, la réalité pratique impose de faire un choix raisonné d’outils aratoires les plus adaptés aux conditions du milieu et la façon de les utiliser, en vue de préparer un lit de semence, afin d’aboutir à des solutions très efficaces : offrir des conditions de milieu favorables pour obtenir des rendements satisfaisants. A cet effet et à travers l’analyse des différents paramètres caractéristiques de la plante nous ferons une approche sur l’action des instruments aratoires utilisés et leur influence sur la mise en place et le développement de la plante de sorgho fourrager. Le but recherché est de dégager, à l’aide des résultats obtenus, une succession d’outils aratoires qui réponde au mieux aux exigences de la levée pour l’obtention d’un nombre suffisant de jeunes plants en vue d’aboutir à une quantité abondante de fourrage vert.

Mots-clés : Cultivateur à dents, cover-crop, levée, peuplement, sorgho et rendement.

Summary

In terms of tillage, the practical reality requires us to make a rational choice of tillage tools best suited to environmental conditions and how to use them to prepare a seedbed in order to achieve very effective solutions: to provide environmental conditions favorable to obtain satisfactory yields. To this end and through the analysis of various parameters of the plant we will approach the work of farm implements used and their influence on the establishment and development of plant forage sorghum. The aim is to identify, using the results obtained, a succession of tillage tools that best meets the requirements of the waiver to obtain a sufficient seedlings to reach an abundant green fodder. To this end and through the analysis of various parameters of the plant we will approach the work of farm implements used and their influence on the establishment and development of plant forage sorghum. The aim is to identify, using the results obtained, a succession of tillage tools that best meets the requirements of the waiver to obtain a sufficient seedlings to reach an abundant green fodder.

1. Introduction

En Algérie, à l’étape actuelle de la mécanisation de l’agriculture, les façons aratoires sont réalisées essentiellement à l’aide d’une succession d’outils qui forme la chaîne classique : charrue à disques, cover-crop, herse et rouleau.

A travers l’analyse bibliographique, que nous avons menée, il en ressort que les avantages et

les limites présentées par les outils à disques sont souvent opposées à ceux que présenteraient les outils à dents.

En effet, comme le précise Dalleine (1973) malgré les avantages reconnus, il faut tenir compte de certaines limites à l’utilisation des disques (sol trop humide, excès de terre fine en terre battante) qui les ont amenés parfois à être remplacés par d’autres outils tels que les outils à dents.

Plusieurs spécialistes en matière de travail du sol, notamment Manichon et Sebillote (1975), Dalleine (1978) et Barthélemy ; Boisgontier et Lajoux (1987), ont pu démontrer que le choix d'outils aratoires, pour la préparation d'un lit de semence, s'avère d'autant plus difficile que les divers instruments diffèrent de par leur mode d'action sur le sol. Aussi, les résultats escomptés sont essentiellement tributaires et variables selon la nature du sol, l'état de son humidité et y sont dépendants.

C'est surtout dans une perspective de complémentarité que nous nous proposons d'utiliser le cover-crop et le cultivateur à dents escamotables pour préparer le lit de semence des graines de sorgho fourrager.

La densité de semis étant choisie, pour une variété donnée, il s'agit de créer des conditions aptes à assurer la germination et la levée du maximum de graines ou l'installation du maximum de plants (Dalleine, 1977). Aussi, 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 : ceux-ci dépendent de l'état structural du sol et plus particulièrement de l'affinement du lit de semence (Manichon, 1977).

Notre présente étude portera essentiellement sur la préparation du lit de semence. A cet effet, nous procédons à une analyse comparative entre la chaîne traditionnelle (dont le cover-crop est l'instrument principal) et une chaîne dans laquelle nous introduisons le cultivateur à dents. Le choix de ce dernier se justifie par les multiples avantages qu'il présente (notamment son action de triage et de localisation des mottes, son réglage simple, etc...). Le but recherché est de dégager à l'aide des résultats obtenus une succession d'outils aratoires qui réponde au mieux aux exigences de la levée pour l'obtention d'un nombre suffisant de jeunes plants en vue d'aboutir à une quantité abondante de fourrage vert.

2. Matériel et méthode

Localisation de la parcelle

Les essais se sont déroulés sur une parcelle à texture Argilo-sablo-limoneuse (43.6 % d'argile, 22.50 % de limon fin + limon grossier et 33.24 de

sable fin + sable grossier) de la ferme d'El-Alia située sur les terres de l'Institut National Agronomique El-Harrach Alger.

Matériel d'étude

En matière de travail du sol nous utiliserons une charrue bidisques (chaîne classique) et un comme instrument à dents un chisel (05 dents). Pour la préparation du lit de semence nous avons utilisé comme outil à disques un cover-crop (20 disques-10/10) et comme outil à dents un cultivateur à dents (11 dents) escamotables.

En ce qui concerne la culture nous utiliserons la plante du sorgho fourrager variété Sudan grass. Le pouvoir germinatif des graines ensemencées étant respectivement de 88 %, 90 % et 86 % pour les 03 années consécutives.

L'opération du semis a été effectuée à l'aide d'un semoir en ligne de type NORDSTEN attelé à un tracteur C6006.

Méthode d'étude

Du point de vue préparation du lit de semence et en vue de pouvoir analyser les conséquences de l'action des outils aratoires utilisés sur la mise en place et le développement de la culture nous retenons les traitements suivants :

1. Traitement I : Charrue à disques + Cover-crop (2 passages croisés).
2. Traitement II : Charrue à disques + Cover-crop + cultivateur à dents.
3. Traitement III : Chisel + Cultivateur à dents (2 passages croisés).

Les essais ont été installés sur un labour d'automne, réalisé à l'aide d'une charrue bidisques et d'un chisel attelés à un tracteur C 6006. Le labour a été réalisé dans des conditions peu humides (10 à 12 %) et a donné lieu à de grosses mottes.

Les différentes opérations de pseudo-labour ont été réalisées dans des conditions assez humides (14 à 15 %).

Concernant la dose de semis de laquelle dépendent en grande partie les rendements escomptés et en tenant compte de la densité normale de peuplement qui est de 800.000 à

1.000.000 pieds/ha nous retenons ce qui suit :

- une dose élevée a : 37,50 kg/ha soit 135 graines/m² ; 117 pieds/m²
- une dose normale b : 27,50 kg/ha soit 99 graines/m² ; 86 pieds/m²
- une dose faible c : 17,50 kg/h soit 63 graines/m². 53 pieds/m²

Le choix des divers traitements en matière de travail du sol est fait pour tenter de remédier au problème crucial des pertes au champ durant la phase germination-levée ; celui des doses de semis est fait quant à lui pour essayer d'atténuer l'effet de la plus ou moins bonne qualité du lit de semence afin d'assurer un rendement optimal malgré un taux de levée avec des pertes au champ assez considérables (65% environ).

Afin d'analyser l'influence de l'action des différents outils aratoires utilisés pour la mise en place des graines de sorgho fourrager nous étudierons le phénomène de cinétique levée et nous évaluerons les pertes à la levée. Ensuite nous nous pencherons sur le phénomène de tallage et sur le développement racinaire de la plante à travers la profondeur d'enracinement : ce dernier paramètre caractérisant l'importance du développement racinaire nous permettra notamment de juger de la qualité des racines en relation avec les différents états structuraux conséquences de l'action des outils aratoires utilisés.

Nous concluons notre étude par une analyse de l'évolution et de l'estimation du rendement en quantité de fourrage vert qui résulterait de nos essais afin de pouvoir éventuellement dégager ou proposer la meilleure succession d'outils aratoires pour la préparation d'un lit de semence qui permettrait d'améliorer les rendements actuels.

3. Analyses des paramètres caractéristiques de la culture

3.1. Cinétique de la levée

Résultats

Le suivi de la germination-levée au champ se fait par un comptage régulier. Cette opération qui

débutera dès l'apparition des premières levées sur des échantillons de 1 m² et se répétera chaque deux jours jusqu'au stade fin de levée.

La figure suivante nous permet d'illustrer comparativement, par des courbes ajustées, l'évolution de la cinétique de levée pour les différents traitements considérés.

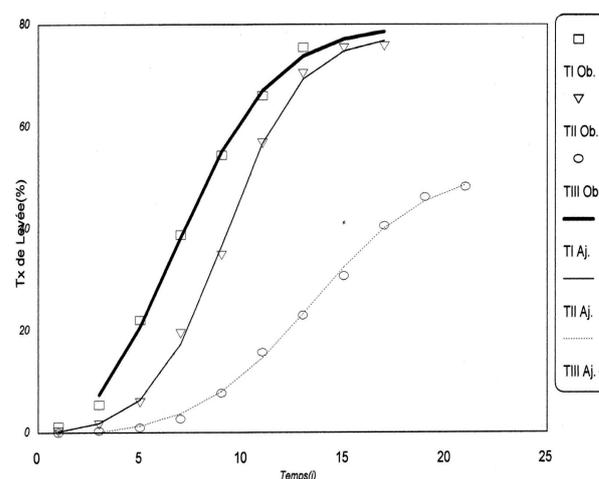


Figure 1 : Evolution de la levée

Discussion-interprétation des résultats

L'analyse des valeurs de comptage du suivi de la cinétique de levée nous permet d'affirmer que le taux de levée évoluerait dans le temps suivant une relation du type : $Y = a + b / (1 + e^{-(x - c)/d})$ qui est définie par les équations respectives suivantes :

$$Y_{t_1} = -7.43 + 87.23 / (1 + e^{-(x - 6.78)/2.39}) \quad (R^2 = 0.99)$$

$$Y_{t_2} = -0.59 + 78.40 / (1 + e^{-(x - 9.19)/1.81}) \quad (R^2 = 0.99)$$

$$Y_{t_3} = -1.30 + 53.50 / (1 + e^{-(x - 13.47)/2.87}) \quad (R^2 = 0.99)$$

Bien que le taux de levée soit le même pour les traitements I et II (76 %), l'évolution de la levée semble dépendante du type de traitement en matière de travail du sol. En effet, la levée débute au 7^{ème} jour après le semis pour le traitement I ; il en est de même pour le traitement II mais moins prononcée (les taux de levée étant respectivement de 5 % et de 2 %) alors que pour le traitement III elle ne commence qu'au 12^{ème} jour (avec seulement 1 %).

Aussi, l'allongement de la durée de la phase germination-levée semble beaucoup plus prononcée pour le traitement III : seulement 12 jours pour le premier, 14 jours pour le deuxième et enfin 18 jours pour le troisième traitement. La durée de la phase semis-levée semble être plus longue pour le traitement III (27 jour) alors qu'elle ne dure que 19 et 23 jours respectivement pour les traitements I et II. Ces deux phénomènes précités (début de levée, allongement de la durée de levée) ont des conséquences directes sur la maturité des plantes, la date de la 1^{ère} coupe et le rendement de la culture.

Aussi, faut-il le noter, que dès le début de la phase levée il s'avère que l'évolution de la levée se fasse plus rapidement (régulièrement) avec le traitement I bien que le taux de levée du traitement II rattrape celui de ce premier (début de levée précoce, phase de levée plus courte pour le premier traitement).

3.2. Levée-peuplement

Résultats

L'évaluation de levée-peuplement se fait par le comptage du nombre de pieds sur des échantillons de 1 m² de surface au stade fin de levée.

Les valeurs moyennes calculées de Densité de peuplement (en Nbre de pieds / m²), du taux de peuplement (en %) et du taux de pertes au champ (en %) sont représentées dans le tableau suivant :

Discussion-interprétation des résultats

Au stade fin de levée, la densité de peuplement reste dépendante de la dose de semis et de la méthode de préparation du lit de semence. Les meilleurs taux de peuplement sont obtenus avec les traitements I et II: effectivement le taux de levée semble être supérieur à 73 % pour les trois doses

de semi a,b, et c. Il est à remarquer aussi que pour les traitements I et II seulement 24.00 % des pertes enregistrées durant la phase germination-levée seraient dues essentiellement à la qualité du lit de semence (émiettement, porosité, etc...).

Avec seulement un taux de peuplement < 50 %, le traitement III paraît être le plus défavorable pour cette phase de germination-levée : avec ce traitement nous enregistrons durant cette phase un taux de pertes au champ d'environ > 50 % dû à la qualité du lit de semence et cela indépendamment de toutes les doses de semis.

Au vu de ces résultats nous pouvons retenir que seuls les traitements I et II sont relativement favorables en matière de qualité de lit de semence pour assurer une densité de peuplement avec un taux de levée acceptable car la densité de peuplement étant primordiale pour l'obtention de bons rendements en fourrage vert pour la culture de sorgho. Nous en déduisons ce qui suit :

- Il en ressort nettement que les densités de levée-peuplement soient identiques pour les traitements I et II et cela respectivement pour les doses de semis a, b et c.

- Quant au traitement III il semble être différent car effectivement le taux de levée-peuplement de ce dernier est sensiblement égal à 52 % pour les trois doses confondus.

3.3. Capacité de tallage

Résultats

Pour évaluer la capacité de tallage de la culture de sorgho fourrager, nous procédons à un comptage de nombre de talles / m² au stade fin montaison.

La variation du coefficient de tallage K en fonction des densités de peuplement, pour les 03

Tableau 1 : Levée-Peuplement (%)

Traitements	Ia	Ib	Ic	IIa	IIb	IIc	IIIa	IIIb	IIIc
D. de Peuplement	91	66	40	90	66	40	53	39	27
Tx de Peuplement	78	77	73	77	77	73	46	47	50
Tx de perte	22	23	27	23	23	17	54	53	50

années consécutives, est représentée dans la figure suivante.

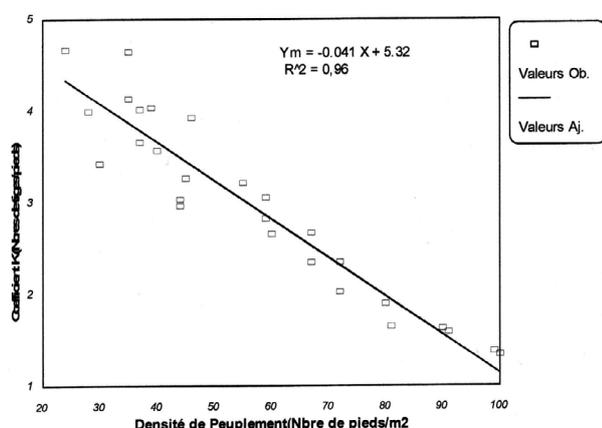


Figure 2 : Variation du coefficient de tallage

Discussion-interprétation des résultats

La variété de Sudan grass semble avoir des possibilités de compensation par le phénomène de tallage et cela par l'augmentation du coefficient de tallage (nombre de tiges / pied). En effet, d'après la figure 10 ce coefficient K semble être inversement proportionnel à la densité de peuplement selon la régression linéaire de type $Y = ax + b$ définie par l'équation $Y_m = -0.041.x + 5.3$. Le traitement III offrant le plus faible taux de levée semble réaliser le meilleur coefficient de tallage ($K = 4.10$).

Ce que nous pouvons confirmer en tout état de cause c'est que K semble être une possibilité pour remédier au faible taux de levée offert par le traitement III. En effet, ce coefficient $K = 4,10$ permet d'obtenir un nombre de tiges / m^2 suffisamment élevé pour ne pas compromettre le rendement final en quantité de fourrage cela malgré l'état du lit de semence qui semblait a priori être très défavorable à la levée.

3.4. Profondeurs d'enracinement

Résultats

Nous procédons à la mesure des profondeurs d'enracinement en préparant des profils culturaux au champ. Au fur et à mesure que nous creusons nous utilisons un jet d'eau pour pouvoir suivre le cheminement des racines à travers le profil cultural.

Ensuite nous mesurons sur place la profondeur maximale atteinte par les racines de la plante.

Les valeurs moyennes de profondeurs d'enracinement observées durant les 03 années d'essai sont données dans le tableau suivant :

Discussion-interprétation des résultats

Les profondeurs d'enracinement semblent dépendre des densités de peuplement sans relation distincte avec les méthodes de préparation du lit de semence.

Aussi, nous constatons que les résultats obtenus avec les profondeurs d'enracinement s'avèrent non concluants. Pour cela nous pensons qu'il serait beaucoup plus intéressant d'étudier le phénomène d'enracinement à un autre stade de développement de la plante telle que par exemple la fin montaison car à ce stade elle aurait exploité ses capacités optimales d'enracinement.

3.5. Rendement de la culture

a. Introduction

La qualité du lit de semence évaluée à l'aide de la densité de peuplement le sera aussi avec le paramètre rendement. Pour cela, dans une première étape, nous accorderons une attention particulière quant à l'évolution du rendement. Dans une deuxième étape nous tenterons d'estimer le rendement en fourrage vert au stade fin-montaison début épiaison de la culture: cela nous permettra en fin de parcours de dégager certainement la meilleure succession d'outils aratoires qui assurerait de bons rendements.

b. Evolution du rendement

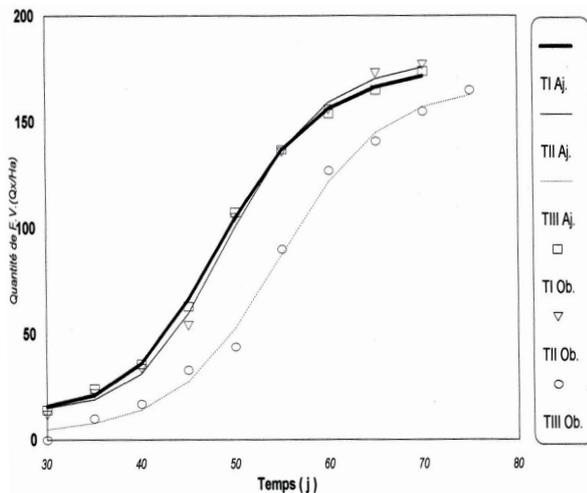
Résultats

Cette opération de suivi débutera dès la fin de la phase germination-levée (environ 01 mois après le semis). Elle consiste à prélever sur des échantillons de $1 m^2$ toute la partie en vert développée par la plante; les prélèvements seront réalisés chaque 05 jour jusqu'au stade de la première coupe. A titre indicatif et dans un but comparatif seule la dose de semis a été prise en considération.

Tableau 2 : Profondeurs d'enracinement (en cm) - au stade fin de levée -

Traitements	Ia	Ib	Ic	IIa	IIb	IIc	IIIa	IIIb	IIIc
Prof. 1 an	15.3	16.0	15.2	15.2	16.3	17.8	15.3	15.1	14.9
Prof. 2 an	13.2	14.0	13.2	13.1	14.3	13.8	13.3	13.1	12.7
Prof. 3 an	17.3	17.4	17.2	17.2	18.3	17.6	17.3	17.2	17.0
Prof. moyennes	15.2	15.8	15.2	15.2	16.3	16.5	15.3	15.2	14.9

La figure suivante permet d'illustrer l'évolution comparée du rendement en vert obtenu avec les différents traitements pour la densité de semis a.

**Figure 3** : Evolution du rendement en vert

c. Estimation du rendement

Résultats

Il s'agit d'effectuer des prélèvements en matière verte sur des échantillons de 1 m² de la culture au stade fin montaison et début épiaison qui correspond en fait à la 1^{ère} coupe. La matière verte récoltée sera ensuite pesée.

Les valeurs moyennes calculées de l'estimation du rendement en poids de fourrage vert à l'hectare (en t/ha) figurent dans le tableau suivant :

Discussion-interprétation des résultats

L'analyse des résultats enregistrés nous permet de constater que l'évolution de la quantité de

fourrage vert produite varie selon une loi du type $Y = a + b / (1 + (x / c)^d)$ qui est définie pour les différents traitements par les équations de régressions respectives suivantes :

$$Y t_1 = 14.08 + 162.95 / (1 + (X / 48.80)^{-9.32})$$

$$(R^2 = 0.99)$$

$$Y t_2 = 13.65 + 168.98 / (1 + (X / 49.75)^{-9.76})$$

$$(R^2 = 0.99)$$

$$Y t_3 = 5.90 + 165.66 / (1 + (X / 55.01)^{-9.65})$$

$$(R^2 = 0.99)$$

Aussi, l'évolution de la quantité de fourrage vert en quintaux / hectare paraît être indépendante des traitements considérés bien que les densités de peuplement soient différentes.

En ce qui concerne le rendement des quantités de fourrage vert /hectare les 03 traitements donneraient des valeurs très distinctes indépendamment des doses de semis : pour les traitements I et II dans l'ordre croissant respectivement Ib, Ic, Ia et IIb, IIc, IIa.

La densité de peuplement b tout en étant inférieure à la densité a semble offrir une quantité de fourrage vert (t/ha) légèrement supérieure : cette différence pourrait être due à la compétition entre plantes pour la dose a. Par contre pour le traitement III le rendement semble évoluer dans le même sens que le taux de peuplement ; en effet ce traitement ayant un coefficient de tallage le plus élevé grâce auquel il paraît remédier en partie à la faible densité de peuplement enregistrée.

Le traitement III qui offre le plus mauvais taux de levée (moins de 50%) semble enregistrer une quantité appréciable de fourrage vert (13.8, 12.9 et 9.5 t/ha respectivement pour les doses a, b et c de semis) : cela pourrait s'expliquer par le coefficient

Tableau 3 : Estimation du rendement en fourrage vert (t/ha)

Traitements	Ia	Ib	Ic	IIa	IIb	IIc	IIIa	IIIb	IIIc
Poids en vert	14.7	15.3	12.7	14.6	15.6	13.6	13.8	12.9	9.5

de tallage élevé de ce même traitement ($K = 4,10$) et certainement l'inexistence du phénomène de compétition (voir la faible densité de peuplement).

Notons enfin que le traitement IIIc, bien que possédant un coefficient de tallage élevé, n'arrive pas à compenser le déficit dû aux faibles taux de levée enregistré: ce traitement offre un taux de levée <50 % pour les 03 doses de semis.

Conclusion générale

Il est à noter que l'évolution de la levée se fait plus régulièrement pour le traitement I et à un moindre degré pour le traitement II et cela dès le début de la phase germination levée. Quant au traitement III, il est utile de souligner le faible taux de levée réalisé (seulement 50 %), le retard enregistré en début de germination-levée et la phase de levée beaucoup plus prolongée.

La capacité de tallage de la culture de sorgho fourrager, caractérisée par son coefficient K , pourrait être une possibilité pour remédier à un faible taux de levée dans des limites qui restent à définir.

En conclusion, nous pouvons retenir que seuls les traitements I et II sont relativement favorables en matière de qualité de lit de semence (caractérisée par son émiettement, sa porosité, son humidité,...) pour assurer une densité de peuplement avec un taux de levée acceptable (environ 73 %) car la densité de peuplement étant primordiale pour l'obtention de bons rendements en fourrage vert pour la culture de sorgho.

Enfin, dans la perspective de créer les conditions les plus favorables à la mise en place et éventuellement au développement de la culture, l'emploi du cultivateur à dents, essentiellement par son action de triage et de localisation de la terre fine, serait souhaitable en complément à l'action d'ameublissement de l'outil à disques. En plus l'utilisation de l'outil à dent offrirait à l'agriculteur une possibilité certaine pour prévenir la semelle de pseudo-labour qui ne pourrait que nuire au développement racinaire des jeunes plants.

Références

- Barthélemy, P., Boisgontier, D., Lajoux. P., 1987.- Choisir les outils de travail du sol. ITFC. - Paris (FRANCE).
- Blondel D., 1965.- Premiers éléments sur l'influence de la densité apparente du sol sur la croissance racinaire de l'arachide et du sorgho: Ses conséquences sur les rendements. Colloque sur la conservation et l'amélioration de la fertilisation des sols à KHARTOUM (8-12 Novembre 1965) OAV/STRC communication n° 37, 173-18).
- Bryssine G., 1954.- Contribution à l'étude des propriétés physiques du sol. Note sur l'appréciation de la structure du sol. Société science naturelle et physique du MAROC – RABAT
- Callot B., Chamayou H., Martens C., Salsac L., 1982. Mieux comprendre les interactions sol - racine. Incidences sur la nutrition minérale INRA.- PARIS - FRANCE.
- Candelon P., 1981.- Les machines agricoles : Matériel de préparation et de fertilisation des sols. (Tome I). Editions J.B. Baillière.
- Charreau C., Nicou R., 1971.- L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest-africaine et ses conséquences agronomiques. Bull. Agron. (FRANCE), n°23 IRAT- PARIS - FRANCE, 254p.
- Cotte A., 1957.- Les sorgho - fourragers. Annales de l'amélioration des plantes. 7^{ème} année n°3 pp 337-347.
- Duthil J., 1973.- Eléments d'écologie et d'agronomie (Tome II). Editions J.B. Baillière.

- Dalleine E., 1977.- Etudes du CNEEMA : les façons en travail du sol. tome. n° 1 -juin 1977.
- Dalleine, E., 1978. Etudes du CNEEMA : Les façons en travail du sol. Tome n° 2 - Avril 1978.
- Dalleine E., 1979.- Etudes du CNEEMA : Les façons en travail du sol. Tome n° 4 Septembre 1979.
- Henin S., Gras R., Monnier G., 1969.- Le profil cultural. L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. 2^{ème} édition MASSON – PARIS.
- Hugues P., 1966.- Les sorghos fourragers (1^{ère} partie). Fourrages n° 27, pp 71-107.
- Hugues P., 1966.- Les sorghos fourragers (3^{ème} partie). Fourrages n° 28, pp 107-161
- Hugues P., 1967.- Les sorghos fourragers (3^{ème} partie). Fourrages n° 3, pp 56-140
- Humbel F.X., 1978.- Caractérisation par des mesures physiques, hydriques et d'enracinement des sols de Guyane Française à dynamique de l'eau superficielle. AFES. Sciences du sol, n° 2.
- Manichon H., Sebillote M., 1975.- Analyse et prévision des conséquences des passages successifs des outils sur le profil cultural. Bull. Tech. Inf. N0 302 - 303, 569-577.
- Manichon H., 1977.- Structure du sol et profil cultural : répercussions sur le rendement des cultures, modifications sous l'action du climat et des outils. INA. - Paris.
- Martens C., 1964.- La résistance mécanique des sols à la pénétration : ses facteurs et son influence sur l'enracinement. Annales agronomiques 15, 5: 539-554.
- Martens C., 1964.- Influence des propriétés physiques du sol sur le développement racinaire et conséquences sur l'alimentation hydrique et azotée des cultures. Sciences du sol n° 2.
- Monti J.R., Detraux F., Oestges O., 1970.- La mécanisation de l'agriculture. Editions S. DUCULOT, S.A.- GEMBLoux.
- Nicou, R. Thirouin, H., 1968. Mesures sur la porosité et l'enracinement - Premiers résultats. IRAT - SENEGAL Doc. 52 p, multigr.
- Piedallu A., 1940.- Cultivons le sorgho sucré et autres sorghos à fourrages. Doc. Et renseignements agricoles. Bulletin n° 17 Gouvernement de l'Algérie Direction de l'agriculture.
- Soltner, D., 1975. Phytotechnie générale. Les bases de la production végétale : Le sol. (Tome 1 - 4^{ème} édition) Collection sciences et techniques agricoles.