



La revue francophone sur les fourrages et les prairies

The French Journal on Grasslands and Forages

Cet article de la revue **Fourrages**,
est édité par l'Association Francophone pour les Prairies et les
Fourrages

Pour toute recherche dans la base de données
et pour vous abonner :

www.afpf-asso.fr



AFPF - Maison Nationale des Eleveurs - 149 rue de Bercy - 75595 Paris Cedex 12
Tel. : +33.(0)7.69.81.16.62 - Mail : contact@afpf-asso.fr

Association Francophone pour les Prairies et les Fourrages

Etude de l'influence de la technique de travail du sol et la rotation culturale sur la production du pois fourrager (*Pisum sativum* L.) en zone semi-aride de l'Est d'Algérie

A. Chouter¹, R. Benniou¹, N. Louahdi²

RESUME

Le pois fourrager (*Pisum Sativum* L.) est une légumineuse annuelle intéressante car sa plante possède une haute valeur nutritionnelle utilisée en alimentation des ruminants en grain ou en fourrage. Dans le système de culture, le pois fourrager enrichit le sol en azote par la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique. L'objectif de cette étude est de comparer le rendement en grains et en fourrage du pois fourrager cultivé via deux techniques culturales, le semis direct (SD) et le travail conventionnel (TC), au sein de trois successions culturales (blé/ pois, blé/ triticale/ pois, blé/ lentille/ blé/ pois), sur trois campagnes agricoles consécutives (2016/2017, 2017/2018, 2018/2019). Les résultats obtenus indiquent un effet année très significatif sur l'ensemble des paramètres étudiés (morphologiques et agronomiques) montrant l'influence des conditions climatiques sur la production de la culture. Cependant, l'effet de la technique culturale n'a pas été significatif sur la majorité des paramètres étudiés, ce qui est en faveur du semis direct. Quelle que soit la rotation, la culture en semis direct a accumulé plus de matière sèche par stade végétatif : stade plantule (0,67 t/ha), ramification (1,91 t/ha) et pleine floraison (3,9 t/ha). Le rendement en grains a aussi été élevé en semis direct comparé au travail conventionnel. L'analyse de corrélation révèle une relation positive entre la matière sèche cumulée, le nombre total des nodules ($r = 0,65$), le nombre de nodules actifs ($r = 0,59$) et le rendement en grains ($r = 0,64$). Ce dernier a été aussi positivement lié au nombre de nodules actifs formés ($r = 0,85$). En conclusion, le semis direct apparaît favorable à la production du pois fourrager en zone semi-aride d'Algérie, le choix du précédent cultural a aussi son influence et les composantes du rendement du pois apparaissent très sensibles au contexte climatique.

SUMMARY

Study of the influence of tillage systems and crop rotation on the production of field pea (*Pisum sativum* L.) in the semi-arid zone of eastern Algeria

Field pea (*Pisum sativum* L.) is an important component of cropping systems, and as a fodder for ruminants. The objective of this study was to evaluate the growth and the production of field pea conducted with conventional tillage and no tillage system under rain-fed conditions in different crops successions: wheat/ pea, wheat/ triticale/ pea, wheat/ lentil/ wheat/ pea, during three consecutive cropping seasons (2016/2017, 2017/2018, 2018/2019). The results showed a significant cropping season effect on all measured traits indicating the importance of water availability on field pea production. On the other hand, the of tillage system effect was not significant on most of the parameters studied. The plant growth under no till system was better according to the biomass production at different stages (0.67 t/ha, 1.91 t/ha, 3.9 t/ha) compared to the conventional tillage. The grain yield under no-till system was also higher compared to conventional tillage. In addition, grain yield was positively correlated with the number of active nodule ($r = 0.85$) and dry matter ($r = 0.64$) while the dry matter was positively correlated with. The number of total nodule ($r = 0.85$), and the number of active nodule ($r = 0.59$). These results showed a positive effect on the field pea production with different successions under rain-fed conditions in semi-arid of Algeria.

Les zones semi-arides représentent 85 % des terres agricoles en Algérie (Bessaoud *et al.*, 2019). Dans ces zones, l'élevage fait partie intégrante du système de production, associé à un système de culture pluvial dominant de type céréales-jachère (superficie de plus de 8,5 millions d'hectares) (Benniou, 2008; Bessaoud *et al.*, 2019). La pluviométrie dans ces zones ne dépasse pas 400 mm, et

elle est caractérisée par une haute variabilité intra-annuelle et interannuelle des précipitations et des températures (Rouabhi *et al.*, 2019 b). Les températures basses en hiver, les températures hautes de l'été et la sécheresse estivale en plus des aléas climatiques (gelées printanière et sirocco) sont des freins importants à la production végétale (Chebouti et Abdelguerfi, 2002). De plus, la dégradation des terres pâturées a engendré un

AUTEURS

1 : Laboratoire Technique Urbaines et Environnement, Département des sciences agronomiques, faculté des sciences, Université Mohamed Boudiaf -BP 166 M'sila 28000 (Algérie). a.chouter15@gmail.com ; assya.chouter@univ-msila.dz

2 : Institut Technique des Grandes Cultures –Sétif- (ITGC- Sétif-), Algérie.

MOTS-CLES : Pois fourrager, fourrage, semis direct, travail conventionnel, succession des cultures, semi-aride.

KEY-WORDS : Field pea, forage, no-till, conventional tillage, crop succession, semi-arid

REFERENCE DE L'ARTICLE : Chouter A., Benniou R., Louahdi N., (2022). « Etude de l'influence de la technique de travail du sol et la rotation culturale sur la production du pois fourrager (*Pisum sativum* L.) en zone semi-aride de l'Est d'Algérie » *Fourrages* 251, 55-65

déficit en fourrage (Mebarkia et Abdelguerfi, 2007). Les cultures fourragères occupent une place marginale au niveau des productions végétales, elles ne présentent que 5,03 % de la SAU (Chaabna et Abdelguerfi, 2007 ; Abdelguerfi *et al.*, 2008), malgré leur intérêt agronomique dans les rotations et leur valeur nutritionnelle dans la ration alimentaire du bétail. En plus de ces contraintes, les aspects techniques liés à la mise en place des cultures, notamment fourragères et leurs conduites comme le travail du sol et la fertilisation sont à améliorer. Assurer la durabilité du système de production en régions semi-arides nécessite l'amélioration des pratiques culturales afin de pallier au manque de fourrage et d'améliorer la qualité des fourrages (Issolah, 2008; Abdelguerfi *et al.*, 2008; Benniou et Aubry, 2009).

Dans le contexte de l'agriculture de conservation, le semis direct est utilisé pour les cultures annuelles (céréales et légumineuses). La culture sans labour permet une bonne productivité surtout dans les conditions pluviales dans les climats arides et semi-arides (Pittelkow *et al.*, 2015). D'après Khan *et al.* (2020), le semis direct permet de stopper la dégradation du sol, d'améliorer sa structure et sa fertilité chimique, ainsi que d'augmenter la conservation d'humidité du sol ; ce qui se traduit par l'augmentation du rendement des cultures (Lafond *et al.*, 1992). De ce fait, l'introduction des légumineuses fourragères dans le système de culture combiné au concept d'agriculture de conservation à travers le semis direct, peut d'une part pallier le déficit en fourrage et d'autre part, améliorer la qualité physico-chimique du sol. D'après Nleya et Rickertsen (2011), les rotations traditionnelles (céréales-jachère) doivent être remplacées par des rotations diversifiées avec l'introduction des cultures légumineuses. Les légumineuses fourragères apportent entre 30 et 70 % de fourrage en plus, et elles fournissent une ration riche en protéines pour le cheptel (Cesar *et al.*, 2004). Les légumineuses fourragères enrichissent le sol en azote qui sera disponible à la culture suivante, et permettent aussi la réduction de l'apparition des maladies, des parasites et des adventices en agissant comme cultures nettoyantes (Ruissi *et al.*, 2012). Nleya et Rickertsen (2011) affirment que les légumineuses fourragères conservent l'humidité du sol pour la culture qui suit grâce à son enracinement peu profond. Parmi les légumineuses fourragères, le pois fourrager (*Pisum sativum L*) est une excellente culture de rotation, bien adaptée aux zones semi-arides, elle demeure une culture annuelle intéressante pour diversifier les systèmes de culture. Le pois fourrager peut être cultivé en culture pure (peuplement monospécifique) ou en association avec une céréale (peuplement plurispécifique). Il peut être utilisé en foin (16 % MAT), en ensilage (18 % MAT) ou en grains (25 % MAT) comme source de protéines dans une ration alimentaire à base de céréales (Benbrahim et Gaboun, 2008). Des études menées par Lafond *et al.* (2006 ; 2011) ont montré que le rendement de blé s'est amélioré après une culture du

pois fourrager en technique semis direct comparé au travail conventionnel. Néanmoins, la productivité de cette espèce en zone semi-aride d'Algérie est faible et affectée par les variations climatiques (températures extrêmes et sécheresse) et par les aspects techniques (travail du sol traditionnel).

Dans le but de maximiser le rendement en grains et fourrager du pois fourrager, nous avons étudié l'effet du type de travail du sol et de la succession culturale sur la production du pois fourrager dans des conditions agro-climatiques contraignantes. L'objectif était d'identifier la technique culturale la plus pertinente à long terme, pour répondre au mieux aux objectifs de l'agriculture de la zone d'étude.

L'hypothèse de départ est que le niveau de productivité de pois fourrager serait lié à la technique d'implantation : les pratiques traditionnelles de semis, à savoir le travail du sol à 30 cm de profondeur avant semis, suivi par un passage de cover-crop et un hersage pour la préparation du lit de semence sont inadaptés aux conditions locales et elles se traduisent par une faible production. L'hypothèse de l'étude est donc que le semis direct permettrait d'augmenter la productivité du pois fourrager lors de leur introduction dans la succession culturale, et assurer ainsi une ration fourragère de bonne qualité et la préservation de l'environnement.

1. Matériel et méthodes

1.1. Présentation du site expérimental, et matériel végétal

Les essais expérimentaux ont été menés au niveau de la ferme expérimentale de l'institut technique des grandes cultures de Sétif (ITGC-Sétif), située à 4 Km au sud-ouest de la ville de Sétif, sur le lieudit R'Mada. Les coordonnées géographiques du lieu sont 962 m d'altitude, la latitude 36°08' Nord et la longitude est de 5°20' Est. La région d'étude appartient à l'étage bioclimatique semi-aride, caractérisé par des hivers froids et pluvieux et des étés chauds et secs, et une pluviométrie irrégulière avec une moyenne de 400 mm (Rouabhi *et al.*, 2018).

Le matériel végétal utilisé lors de cette expérimentation est constitué de plusieurs espèces : le pois fourrager, le blé, le triticales et la lentille. Les caractéristiques des espèces sont présentées dans le tableau 1.

1.2. Conception expérimentale

Le dispositif expérimental adopté est un strip-plot ou nommé split-block, organisé en bloc aléatoire complet avec trois répétitions avec des parcelles élémentaires de 50 m longueur 10 m largeur, l'espace entre les blocs et les parcelles élémentaires est de 5 m et 2 m respectivement (figure 1). Le premier facteur

dispose de deux modalités : semis direct et travail conventionnel et le deuxième facteur correspond aux rotations réparties d'une manière aléatoire dans chaque bloc, avec trois répétitions. Trois successions culturales ont été testées : blé/pois fourrager (2017), blé-triticales-pois fourrager (2018) et blé-lentille-blé-pois fourrager (2019) (figure 1).

La densité de semis est estimée à 250 graines/ m². Le pois a été semé à l'aide d'un semoir expérimental en travail conventionnel, et à l'aide d'un semoir à dents de type John Shearer d'Australie pour le semis direct, l'espacement entre les rangs est de 0,23 cm. La fertilisation de fond a été appliquée au moment du semis avec 100 kg/ ha de TSP 46 % (0, 46, 0) et aucun apport d'azote n'a été effectué. Les adventices ont été éliminées avant le semis, avec du Glyphosate [N-(phosphonométhyl) glycine], à raison de 3L/ ha, 10 jours avant le semis du pois. Le semis a été réalisé vers la fin de décembre pour les trois campagnes agricoles.

1.3. Les caractéristiques pédo-climatiques pendant l'expérimentation

◆ Les caractéristiques du sol

Les analyses physiques et chimiques du sol ont été effectuées au laboratoire pendant la campagne 2016/2017 avant l'installation de l'essai. La composition physico-chimique du sol indique : une structure limono-argileuse à pH_{eau} faiblement alcaline, un sol pauvre en matière organique, une teneur modérée en calcaire, en potassium et en magnésium, une teneur moyenne en azote, une faible teneur en sodium et une bonne teneur en phosphore (tableau 2).

◆ Les caractéristiques climatiques

Les conditions climatiques des campagnes agricoles durant lesquelles s'est déroulée l'expérimentation sont mentionnées dans le tableau 3.

- **Les précipitations** : la comparaison de la pluviométrie entre les trois campagnes agricoles (2016/2017, 2017/2018, 2018/2019) a montré une importante variabilité annuelle des précipitations.

La campagne 2017/2018 est pluvieuse avec un cumul des précipitations de 419,40 mm. La campagne 2016/ 2017 est considérée comme année sèche, avec un cumul inférieur à 200 mm. D'après Touitou et Abulquasem (2018), l'Algérie connaîtra une réduction des précipitations d'ordre 5 à 13 % à l'horizon de 2020.

	Pois fourrager	Blé	Triticale	Lentille
Nom de la variété	Sefrou	Bousselam	Clercal	Syrie 229
PMG (g)	88,20	39,4	39,28	45,0
Taux de germination*	90%	90	91	88

*taux réalisé par le CNCC (unité de Sétif)

TABLEAU 1 : Caractéristiques des espèces semées en rotation avec le pois fourrager
Table 1: Characteristics of species planted in rotation with field pea

Paramètres	Prof : 0-20 cm	Prof : > 20 cm
Distribution Granulométrique		
<0,002 mm (Argile) (%)		26 %
0,002-0,05 mm (Limon) (%)		32 %
> 0,05 mm (Sable) (%)		42 %
Matière organique (MO) (%)	2,21	1,17
Azote (N) (%)	0,22	0,12
C/N ratio	12,21	5,67
pH eau	07,8	7,84
CEC (ms/cm)	0,21	0,19
CaCO3 (%)	5,64	6,69
Phosphore (P) (p.p.m)	42	13,8
Potassium (K) (meq/100 g)	0,55	0,5
Magnésium (Mg) (meq/100 g)	2,9	2,9
Calcium (Ca) (meq/100 g)	43,8	43,6
Sodium (Na) (meq/100 g)	0,3	0,15

TABLEAU 2 : Caractéristiques physico-chimiques du sol de site de l'expérimentation
Table 2 : Physico-chemical characteristics of the soil of the experimentation site

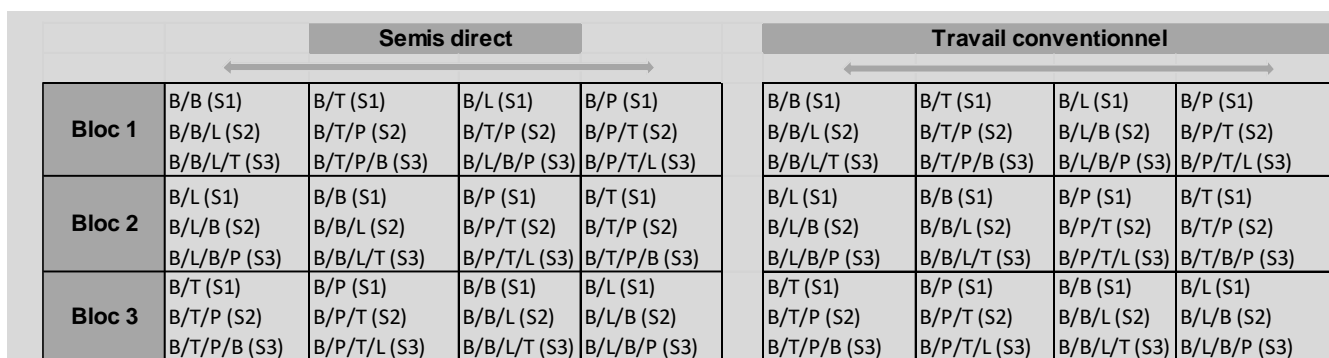


FIGURE 1 : Schéma représentatif du dispositif expérimental adopté durant les campagnes d'étude (S1= 2016/17, S2= 2017/18, S3= 2018/19).

Figure 1: Representative diagram of the experimental setup adopted during the study campaigns (S1= 2016/17, S2= 2017/18, S3= 2018/19).

Campagnes	Mois										Total
	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jun	
	Précipitation (mm)										
2016/2017	12,00	14,90	29,70	07,20	46,90	13,82	0,00	05,90	09,20	55,50	195,12
2017/2018	41,00	10,70	55,70	33,50	13,90	23,20	90,20	81,30	51,90	17,80	419,40
2018/2019	25,00	63,70	25,70	10,80	77,10	15,10	24,00	43,80	12,40	58,60	356,20
	Température (c°)										
2016/2017	20,85	18,51	10,54	07,71	04,28	08,26	10,26	11,59	19,59	24,47	13,61
2017/2018	20,90	15,95	09,45	05,28	06,43	03,43	08,86	11,21	15,40	20,78	11,77
2018/2019	28,40	14,10	09,55	07,25	03,60	05,49	10,00	12,15	14,49	28,80	13,38

TABLEAU 3 : Conditions climatiques des trois campagnes agricoles au niveau de la région semi-aride de Sétif.
Table 3 : Climatic conditions of the three agricultural campaigns in the semi-arid region of Setif.

- **Les températures** ont été plus basses au cours de la deuxième et la troisième année d'étude, et les amplitudes sont plus fortes la troisième année. Les températures saisonnières extrêmes ont un effet négatif sur le développement des cultures (Rouabhi et al., 2019a). Selon Sivakumar (2013), en Algérie la température moyenne devrait augmenter de 1,2 °C-1,8 °C en 2050.

1.4. Mesures

Une moitié de la parcelle élémentaire a été utilisée pour l'évaluation de la cinétique d'accumulation de la matière sèche et les caractéristiques agronomiques, et l'autre moitié pour mesurer le rendement en grains et ces composantes. Les relevés ont concerné :

- le nombre de plantes/ m² (NPM),
- le nombre de fleurs/ plante (NFP),
- le nombre de ramifications primaires/ plante (NRP),
- la hauteur de la plante au stade de la floraison (HP),
- le nombre gousses/ plante (NGP),
- le nombre de grains/ gousse (NGG),
- le rendement en grains (RG),
- la longueur de la gousse (LG),
- le poids de 1000 grains (PMG),
- la cinétique d'accumulation de la matière sèche (MS) « en stade plantule (S₁), stade ramification (S₂) et stade plein floraison (S₃) ».

Des notations ont porté également sur le nombre de nodules actifs (NN_a), inactifs (NN_i) et totaux (NN_t), au stade de pleine floraison. 20 plantes ont été choisies au hasard et par parcelle élémentaire au stade pleine floraison pour mesurer : NFP, NRP, HP. Le NGP, le NGG ont été mesurés à la fin du cycle de la plante. Le rendement en grains (RG) a été déterminé pour chaque campagne, par parcelle élémentaire de 1 m² (avec 3 répétitions), à partir du produit de la récolte à la

batteuse fixe. La cinétique d'accumulation de la matière sèche (MS) a été évaluée à partir d'un échantillon de 200 g de matière fraîche à chaque stade, placé dans une étuve à 105°C pendant 24 h. Pour le nombre de nodule actifs (NN_a), inactifs (NN_i) et totaux (NN_t), au stade de pleine floraison, dans chaque parcelle élémentaire, 20 plantes sont coupées délicatement à partir de la base de la tige (au-dessus du sol) et après lavage avec de l'eau, les racines sont placées sous la loupe pour noter : le NN_t et le NN_a (coloration rose). Le nombre de nodules inactifs est obtenu par l'équation suivante : $NN_i = NN_t - NN_a$.

1.5. Analyses statistiques

Les résultats obtenus ont été traités à l'aide du logiciel XLSTAT 2019, selon une analyse de variance basée sur la comparaison des moyennes de Newmann et Keuls (5 %). La relation entre les différentes paires de variables est étudiée par le calcul des coefficients de corrélation.

2. Résultats

Les données météorologiques révèlent une grande variation temporelle pour les trois campagnes d'étude. Dans la zone semi-aride, la culture du pois fourrager est soumise à une forte variation des précipitations, ce qui induit une grande fluctuation des rendements et de la production. La saison 2016/17 est la moins favorable par rapport aux deux autres saisons (2017/18 et 2018/19) ; la différence par rapport aux deux saisons suivantes apparaît au cours de la période printanière, mars-avril et mai, avec des quantités de 0 mm, 5,9 mm, 9,20 mm, respectivement (tableau 3), ce qui influe négativement sur l'alimentation hydrique au cours du cycle végétatif du pois fourrager et sur son rendement en grains.

Le comportement du pois fourrager vis-à-vis des techniques de travail du sol avec les trois types de succession des cultures dans les trois campagnes agricoles sera identifié à travers l'analyse de l'interaction type de travail du sol X année.

Technique culturale	Semis direct			Travail conventionnel			Valeur	
	B/P (2016/17)	B/T/P (2017/18)	B/L/B/P (2018/19)	B/P (2016/17)	B/T/P (2017/18)	B/L/B/P (2018/19)	F	P
NPM	231,16	207,25	100,00	195,17	207,13	123,67	0,23	0,64 ns
RG (t/ha)	00,00	2,26	0,73	00	1,52	0,50	2,50	0,15 ns
PMG (g)	00	110,7	89,1	00	89,2	86,3	3,96	0,07 ns
NGP	00	5,88	3,50	00	4,77	3,53	0,96	0,35 ns
NGG	00	6,88	6,93	00	6,63	5,87	5,03	0,05 *
N N _i	29,43	36,87	25,13	19,63	32,00	19,78	5,39	0,04 *
N N _a	13,63	29,87	12,93	12,13	26,90	10,55	3,22	0,10 ns
HP (cm)	34,10	72,75	48,17	24	60,45	44,27	3,47	0,09 ns
MS S ₁ (t/ha)	0,441	1,228	0,348	0,312	0,780	1,523	2,27	0,16 ns
MS S ₂ (t/ha)	2,289	2,761	0,985	0,852	2,452	1,989	0,01	0,93 ns
MS S ₃ (t/ha)	4,771	5,283	2,169	1,063	5,546	3,862	0,68	0,43 ns

* : effet significatif / ns : effet non significatif

TABLEAU 4 : Les valeurs moyennes du rendement en grains et en matière sèche (et autres mesures et calculs obtenus) selon les deux modalités étudiées, à savoir la technique de travail du sol et la rotation des cultures.
 Table 4: Average grain and dry matter yield values (and other measurements and calculations obtained) under the two modalities studied, namely tillage technique and crop rotation.

2.1. Variabilité du rendement et ses composantes

L'analyse de la variance de l'effet de technique du travail du sol montre une variabilité non significative sur les variables étudiées : à citer le nombre de pieds levés par m² (NPM), le rendement en grains (RG), le nombre de gousses par plante (NGP), et le poids de 1000 grains (PMG). Ces résultats corroborent à celles de Carr *et al.* (2009), il est significatif seulement, pour le nombre de

grains par gousse (NGG). Les meilleurs résultats ont été enregistrés en technique semis direct comparé au travail conventionnel (tableau 4).

L'analyse de la variance des trois années montre un effet année très significatif pour NPM, le RG, le NGP, le NGG et le PMG, révélant l'effet fort des conditions météorologiques (températures et précipitations) qui étaient nettement différentes d'une campagne à une autre (tableau 3). La campagne agricole pluvieuse (2017/2018), notée 2018 sur la figure 2, se distingue

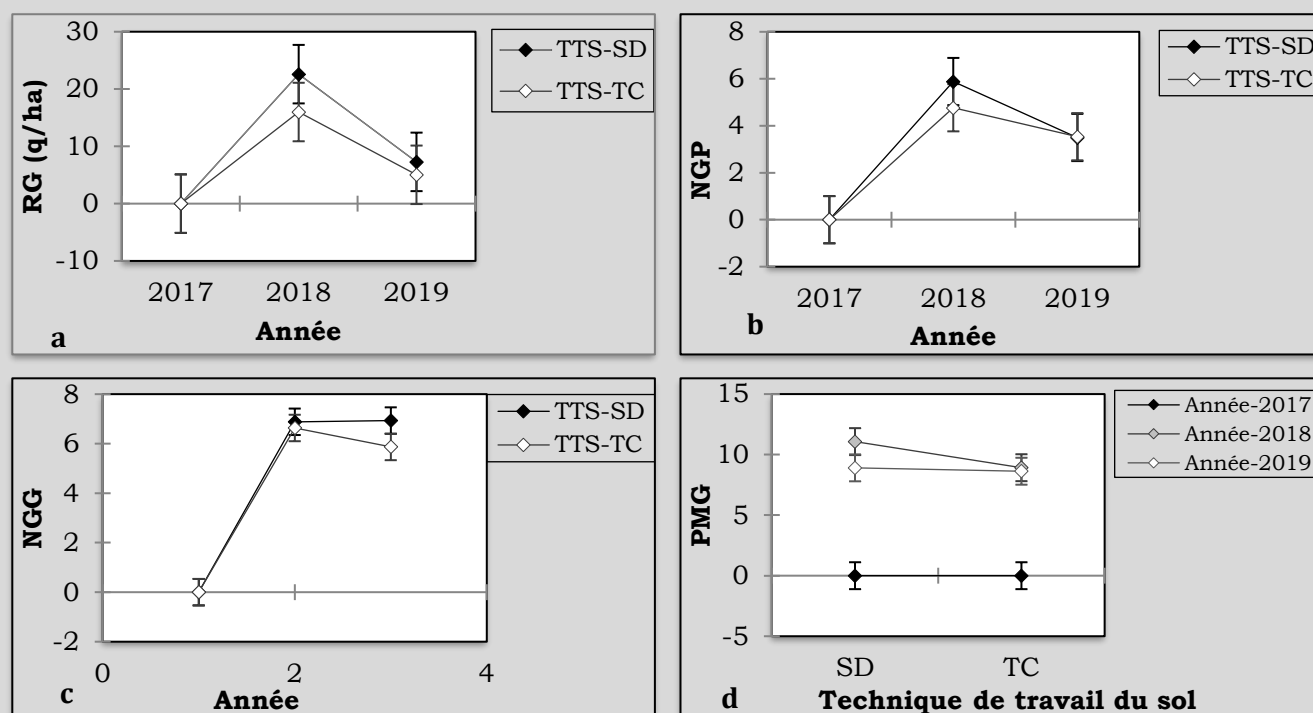


FIGURE 2 : Variation du rendement en grains (a), nombre de gousses/plante (b), Nombre de grains/gousse (c) et PMG (d) pour les 3 années d'étude, en fonction du travail du sol.
 Figure 2 : Variation in grain yield (a), number of pods/plant (b), number of grains/pod (c) and PMG (d) for the 3 years of study, according to tillage.

par un RG, NGP, NGG et PMG élevé comparé aux autres campagnes agricoles (2016/2017 et 2018/2019). En revanche, le NPM est élevé en campagne 2016/2017. Au cours de la campagne 2016/2017, le rendement en grains est nul et cela est dû à l'avortement des fleurs et à l'arrêt de la croissance de la plante à cause d'un stress hydrique sévère qui a persisté du mois de mars jusqu'au mois de mai, avec des périodes de gel fréquentes durant le mois d'avril qui coïncidait avec la période de floraison.

La comparaison de ces variables dans les trois rotations étudiées avec les deux modes de travail du sol indiquant que ces relevés sont plus élevés dans les rotations en technique semis direct excepté pour la succession B/L/B/P, qui a donné un nombre de gousses par plante élevé en travail conventionnel (tableau 4).

On peut conclure que l'absence de travail du sol au semis a un impact positif sur le NPM, NGP, NGG, PMG, RG du pois fourrager et que le précédent triticale est plus avantageux que le blé pour la culture du pois fourrager.

Pour le nombre de fleurs par plante, la variance traduit une variabilité significative de l'effet année. Toutefois, pour le nombre de ramifications par plante, la variance est non significative. Pour la campagne 2017-2018, le NF/ P et NR/ P est élevé (6,03 fleurs/ plante et 2,23 ramifications/ plante) comparée aux deux autres campagnes (3,39 et 2,04 pour le NFP et 1,79 et 2,10 pour le NRP respectivement pour les campagnes 2018/19 et 2016/17). Par technique culturale, le semis direct est meilleur pour ces deux variables comparativement au travail conventionnel. Toutefois, **l'ensemble des rotations culturales a été marqué par un nombre de fleurs et de ramifications par plante élevées en semis direct**, sauf pour la rotation B/ P qui a donné une valeur en nombre de ramifications élevée en travail conventionnel.

2.2. Variabilité des paramètres morphologiques

Les résultats de l'analyse de la variance montrent que le type de travail du sol n'affecte pas la hauteur des plantes (HP) et la longueur de la gousse (LG) ; ceci est confirmé par Carr *et al.* (2009). Cependant, pour l'effet année, la variance est significative pour ces deux variables. Les valeurs obtenues en année 2018/19 s'élèvent à 66,60 cm et 4,90 cm respectivement pour HP et LG. Les meilleures valeurs sont obtenues en semis direct (51,67 cm et 3,04 cm) respectivement pour la HP et LG. La hauteur des plantes est plus élevée en semis direct quel que soit le type de rotation culturale. Concernant la longueur de gousse, elle est plus élevée en travail conventionnel pour la succession B/T/P (4,87 cm) comparé à la rotation B/L/B/P (4,24 cm), **et comme les niveaux pluviométriques de deux campagnes agricoles (2017/2018 et 2018/2019) se rapprochent, on peut déduire que le précédent**

triticale est nettement avantageux pour la culture du pois en technique conventionnelle comparé à la culture du blé, cette dernière épuise le sol surtout en conditions pluviales (tableau 4).

2.3. Variabilité du nombre des nodules totaux, actifs et inactifs

Pour le nombre des nodules totaux (NN_t), la variance est significative pour l'effet technique culturale et elle est très hautement significative pour l'effet année. Un nombre de nodules élevé est observé en campagne 2017/18 (année pluvieuse) avec 34,43 nodules/ plante. A noter que **le semis direct donne la valeur en nombre de nodules la plus élevée** avec 30,48 nodules/ pied, comparée au travail conventionnel (23,80 nodules/ pied), figure 3.

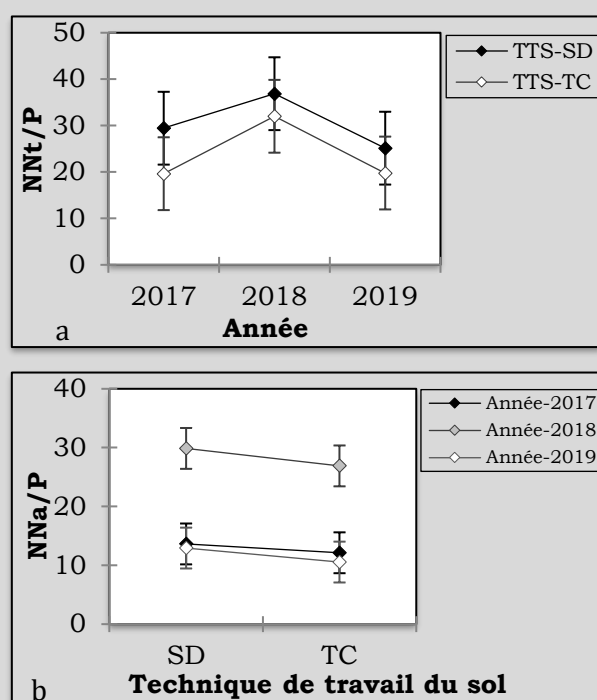


FIGURE 3 : La variation du nombre des nodules totaux (a) et actifs (b) en fonction des années et le système du travail du sol.

Figure 3 : The variation in the number of total (a) and active (b) nodules according to the years and the tillage system.

Pour les **trois types de successions de culture** (B/P, B/T/P et B/L/B/P), le **nombre de nodules par pied le plus élevé** est observé en **technique semis direct** avec respectivement 29,4 N/P, 36,9 et 25,1 ; la rotation B/T/P a un nombre de nodules plus élevés ce qui montre l'effet positif du précédent triticale comparé au blé dur qui est une culture épuisant le sol en eau et en éléments nutritifs (tableau 4). En revanche, le nombre de **nodules actifs** par plante (NN_a/P) est affecté par les effets de la combinaison de la technique culturale et de l'année ; la campagne agricole 2017/2018 est marquée par nombre de nodules actifs élevé (28,38

NN_a/P) comparée aux autres campagnes agricoles comme le montre la figure 3. En moyenne le **semis direct donne un nombre de nodules actifs appréciable comparé au travail classique ou conventionnel** (18,81 NN_a/P). De fait, **l'ensemble des rotations culturales ont donné un nombre de nodules actifs plus élevés en technique semis direct comparé au travail conventionnel** (tableau 4).

Par campagne agricole, l'analyse de la variance indique **un effet non significatif pour le nombre de nodules inactifs**. La campagne 2016/2017 (moins pluvieuse) a été marquée par un nombre de nodules inactifs élevé (11,65 NN_i/P) comparée aux deux autres campagnes (2017/2018 et 2018/2019), cela est dû probablement au stress hydrique sévère au cours de cette campagne. **En général, dans l'ensemble des campagnes agricoles le semis direct a marqué un nombre de nodules inactifs élevé**, avec une moyenne de l'essai de 11,67 NN_i/P comparé au travail conventionnel (7,27 NN_i/P), avec un écart type de 4,4 NN_i/P .

On déduit que le semis direct, par sa capacité à conserver l'humidité dans les 30 premiers cm du sol, a tendance de donner le NN_t/P et le NN_a/P le plus élevé.

On note que durant la campagne agricole 2016/2017 (moins pluvieuse surtout au printemps), le nombre de nodules inactifs est élevé ; cela est dû à la période de sécheresse qui s'est installée du mois de mars jusqu'au mois de mai et qui coïncide avec le stade floraison de la culture du pois. Irar *et al.* (2014), révèlent que la fixation d'azote est un processus très sensible à la sécheresse et limite la productivité des légumineuses.

2.4. Variabilité de la matière sèche

Pour l'accumulation de la matière sèche, l'analyse de la variance indique des effets non significatifs de la technique culturale. Cependant, des effets hautement significatifs pour la campagne agricole et interaction campagne agricole x technique culturale, Ces effets indiquent une variabilité significative de la matière sèche accumulée au cours du cycle de développement de la plante. Donc, l'élaboration de la matière sèche est

liée à l'année et à la technique culturale ; la quantité de la matière sèche produite accroît en fonction des stades physiologiques (stade plantule, stade ramification et stade plein floraison). Par technique culturale, la quantité de la matière sèche produite varie de 6,45 t/ha en semis direct à 6,29 t/ha chez le travail conventionnel (Figure 4). Alors, les rotations B/T/P et B/L/B/P produisent plus de matière sèche en travail conventionnel, contrairement à la succession B/P (Figure 4). Le triticale est un bon précédent, il a permis d'obtenir un rendement en fourrage plus élevé qu'avec le précédent blé dans les conditions de l'étude (tableau 4).

2.5. Etude des corrélations

L'analyse des corrélations entre les différentes paires de variables montrent que le rendement en grains est positivement corrélé avec : le nombre des nodules totaux et actifs, la matière sèche, le nombre de gousses par plante, le nombre de grains par gousse et le poids de 1000 grains. **Le lien avec le nombre de gousses par plante et le nombre des nodules actifs est plus puissant ($r = 0,90$ et $r = 0,85$ respectivement)**, figure 5. **La quantité de la matière sèche est positivement corrélée avec le nombre de nodules totaux ($r = 0,65$) et actifs ($r = 0,59$).** **Le rendement en matière sèche est fortement corrélé au rendement en grains et la hauteur de la plante avec $r = 0,64$ et $r = 0,72$ respectivement** (Figure 6). Selon Benbrahim et Gaboun (2008), le rendement en grains est hautement corrélé au rendement en matière sèche. Togay *et al.* (2008), trouvent une corrélation positive entre le rendement en grains et le nombre de gousses par plante, le nombre grains par gousse et le poids de 1000 grains tandis que la hauteur de la plante à un effet négatif sur le rendement.

On note que plus le nombre de nodules actifs, le nombre de gousses par plante et PMG est élevé, plus le rendement en grain est élevé.

Nous voyons également que le rendement en matière sèche est plus important avec des valeurs élevées pour le rendement en grains, le nombre de nodules actifs par plante et la hauteur de la plante.

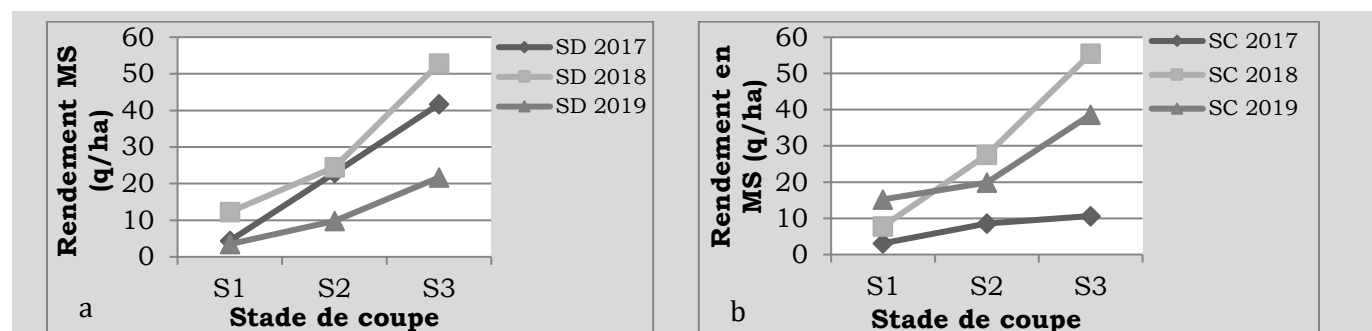


FIGURE 4 : Cinétique d'accumulation de la matière sèche en semis direct et travail conventionnel au cours des stades de développement de la plante et des années (a: semis direct; b: travail conventionnel).

Figure 4 : Kinetics of dry matter accumulation in no-till and conventional tillage over plant development stages and years (a: no-till; b: conventional tillage).

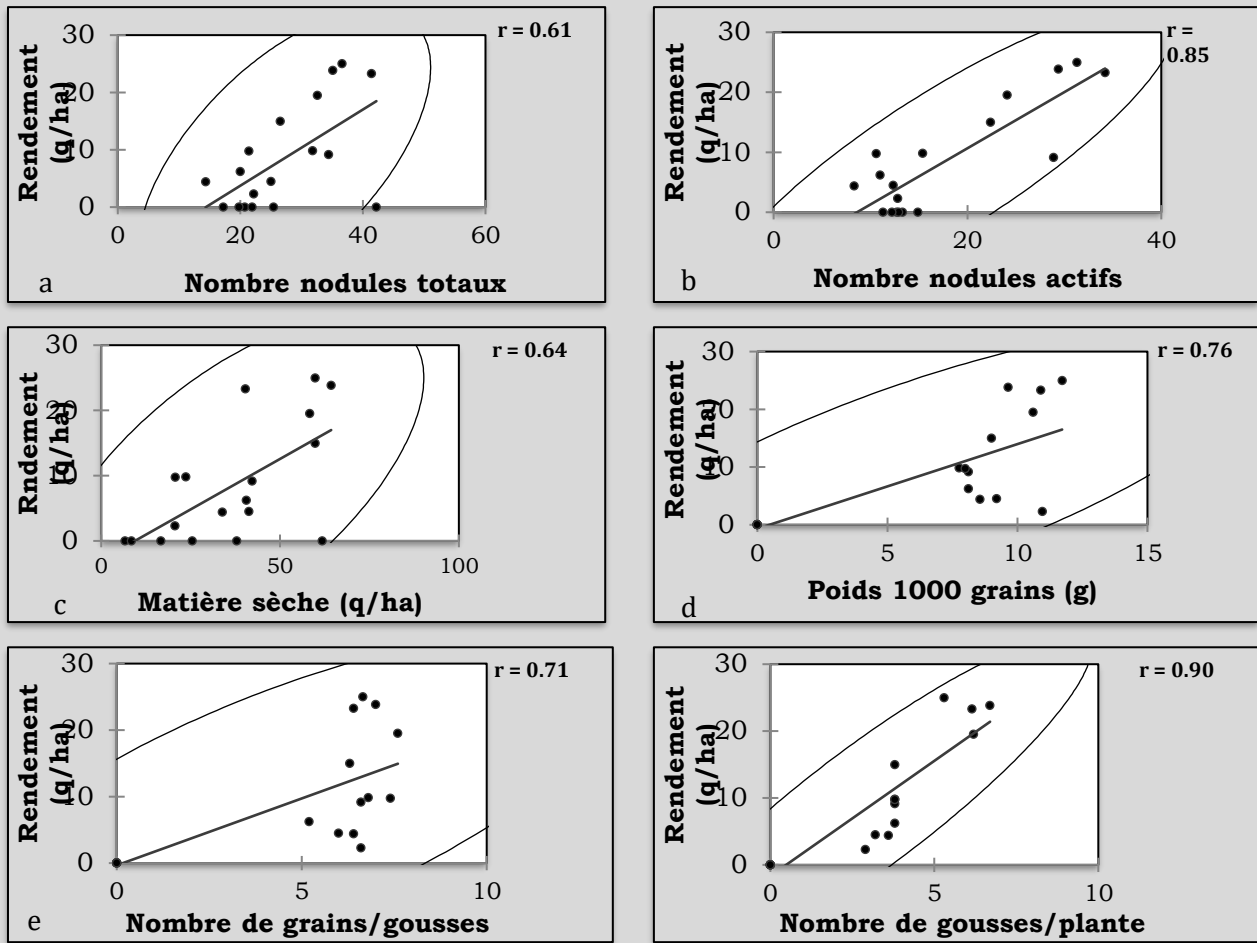


FIGURE 5 : relation entre le rendement en grains et NN_t (a), NN_a (b), MS (c), PMG (d), NGG (e) et NGP (f).
 Figure 5 : Relationship between grain yield and NN_t (a), NN_a (b), DM (c), PMG (d), NGG (e) and NGP (f).

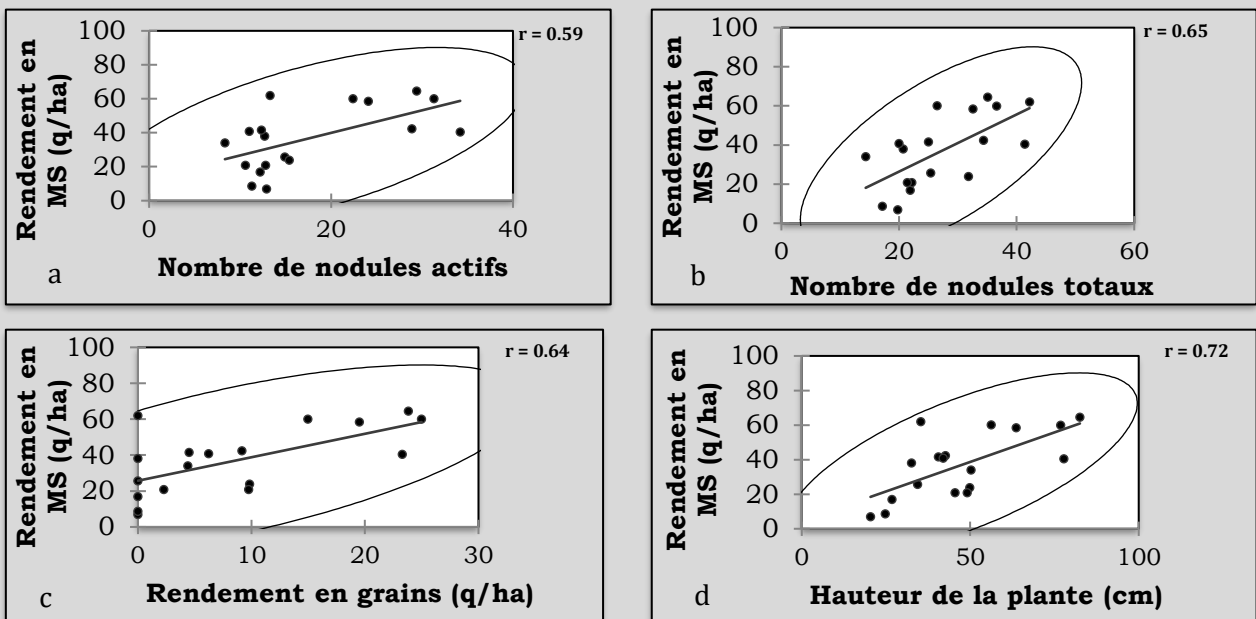


FIGURE 6 : Relation entre MS et NN_a (a), NN_t (b), RG (c) et HP (d).
 Figure 6 : Relationship between MS and NN_a (a), NN_t (b), RG (c), and HP (d).

3. Discussion

Les résultats sont mis en regard avec les connaissances sur l'agro-physiologie du pois et les composantes de son rendement (Munier-Jolainet *et al.*, 2005)

La variété de pois fourrager « Sefrou » étudiée présente une variabilité pour l'ensemble des paramètres étudiés pour les deux modalités de travail du sol (SD et TC). La variabilité de ces paramètres a permis de choisir la technique de travail du sol la plus convenable pour l'intégration dans le système de culture pour améliorer la production fourragère dans les conditions contraignantes de la région semi-aride de Sétif.

La densité de peuplement a tendance à augmenter en semis direct comparativement au travail conventionnel (de 4 plantes en plus) ; ceci peut être expliqué par l'uniformité de la profondeur de semis et par un bon contact terre-graine-fertilisant en absence de travail du sol (semis direct) ; ce qui traduit par un nombre de pieds levés élevé par rapport au TC. Lensen *et al.* (2018), trouvent que le peuplement de pois fourrager est plus important en semis direct que dans travail conventionnel. Mohr *et al.* (2007) et Lafond *et al.*, (2006), affirment que le semis à forte perturbation, comme le travail conventionnel du sol, réduit le nombre des plantes du pois à la levée, avec un meilleur contact sol-graines en semis direct.

Le nombre des nodules actifs est plus élevé sur la campagne 2017/2018 comparé aux campagnes 2018/2019 et 2016/2017, car les conditions climatiques (températures et humidité) ont été plus favorables à la fixation d'azote atmosphérique. Le semis direct se caractérisait par une humidité de sol intéressante dans les 30 premiers centimètres du sol (l'humidité du sol a été mesurée à chaque stade de développement dans le cadre de cette étude, où on a constaté que le semis direct conserve l'humidité du sol dans les 30 premiers cm du sol comparativement au TC), ce qui contribue positivement à l'activité des nodules.

Quant à la quantité de matière sèche, elle augmente avec les stades de coupe jusqu'au stade plein floraison et formation des gousses. Selon Hamrit (1995) et Kirilov (2000), la production de la matière sèche augmente progressivement et atteint les valeurs maximales à la maturité physiologique. En moyenne, le semis direct favorise la production de la matière sèche du pois avec un pourcentage de 2,2 % et 9,91 % pour le stade 2 et le stade 3 respectivement ; cela a été expliqué par Yeboah *et al.* (2017), par le fait que la teneur de l'humidité du sol en technique du semis direct favorise la croissance des racines et diminue la densité apparente du sol, ce qui conduit à un meilleur rendement en matière sèche. Pour le premier stade de coupe, le travail conventionnel (TC) a un pourcentage de 22,94 % en plus, et cela peut être expliqué par les pluies

hivernales et que l'effet du semis direct n'apparut que dans le cas de sécheresse.

Les résultats ont montré également que le rendement en grains est plus élevé de 0,3 t/ ha (soit 29,62 % de plus) en semis direct comparé au travail conventionnel. Macák *et al.* (2020), affirment que le concept de l'agriculture de conservation (comme le semis direct) améliore le rendement en grains du pois fourrager, et cela peut être expliqué par le stockage d'eau dans le sol qui est plus important sous semis direct que sous travail conventionnel (Ruissi *et al.*, 2012). Le nombre de gousses par plante, de graines par gousse et le poids de 1000 grains est intéressant en semis direct et cela a influencé le rendement en grains. Das *et al.* (2017), disent que plus le nombre de gousses par plante, le nombre de graines par gousse et le poids de 1000 grains est élevé, plus le rendement en grains est important.

Au cours de cette étude, on a constaté que le stress hydrique sévère combiné avec des périodes de gel en phase de floraison cause une perte totale de rendement du pois fourrager. Plusieurs chercheurs ont démontré que la sécheresse a un effet négatif sur la productivité du pois fourrager. Huang *et al.* (2008), constatent que le rendement de pois est plus faible en 2003 à cause des périodes de sécheresse autour de la période de floraison. Caldéron *et al.* (2012), disent que les conditions environnementales ont un effet sur le rendement du pois fourrager surtout dans la région semi-aride. Doré *et al.* (1998), ont montré que la précipitation pendant la floraison et le développement des grains est déterminante pour le rendement du pois en conditions pluviales et dans les champs non irrigués. Lake *et al.* (2021), montrent qu'un déficit hydrique sévère peut ralentir le taux de la production, principalement le taux de floraison, la longueur de la tige et également peut provoquer l'avortement des fleurs et des embryons. Le froid associé au stress hydrique au cours de la floraison et la nouaison réduit le rendement de pois de 75 % (Benbrahim et Gaboun, 2008). Selon Benider *et al.* (2017), la variété Sefrou comme dans notre cas est très sensible au déficit hydrique durant le stade de floraison et la formation des gousses ce qui réduit leur productivité.

4. Conclusion

Au terme de cette étude, nous avons donc confirmé, dans les conditions de notre expérimentation, l'hypothèse initiale à savoir que le semis direct est une technique plus appropriée que le labour avant semis (pratiqué habituellement) pour maximiser le rendement fourrager et grainier du pois fourrager, en zone semi-aride en Algérie.

Les variations des précipitations principalement, et les écarts de températures durant les trois campagnes agricoles d'étude ont significativement influencé le niveau de productivité du pois fourrager. Lorsque les

précipitations sont inférieures à 200 mm, peu importe la technique culturale (SD, TC), la culture de pois ne produit pas de grains (rendement nul) ; cependant, son rendement en matière sèche est jugé acceptable essentiellement en semis direct. En conditions pluvieuses, la culture du pois conduite en semis direct a fourni des rendements élevés en grains et en fourrage et ce dans les trois successions culturales testées. Ceci est attribué principalement à la capacité de semis direct à conserver l'humidité du sol essentiellement en fin de cycle permettant ainsi d'atténuer l'impact du déficit hydrique sur la culture. Le précédent triticales combiné au semis direct ont permis à la culture du pois un meilleur rendement en grains, car la culture du triticales est moins épuisante pour le sol comparée à celle du blé dur.

La synthèse de ces résultats indique que l'intégration de la culture du pois fourrager dans la rotation culturale combinée au semis direct (en remplacement d'un semis avec labour profond) est très bénéfique au système de production. Cette combinaison a exprimé son potentiel de production en fourrage et en grains du pois. De ce fait, l'adoption du semis direct pour la production du pois fourrager en zone semi-aride peut pallier le manque en fourrage dont souffre la région, sujette à des déficits hydriques en floraison préjudiciables au pois (d'autant plus marqué selon les variétés). Cela permet de répondre au besoin en fourrages riche en protéines tout en développant des systèmes de culture plus diversifiés et durables.

Article accepté pour publication le 12 septembre 2022

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdelguerfi A., Laouar M., M'hammediBouzina M., (2008). « Les productions fourragères et pastorales en Algérie : situation et possibilités d'amélioration » . *Revue semestrielle « agriculture and développement »* (INVA, Alger), 6, 14-25.
- Benbrahim N., Gaboun F., (2008). « Amélioration et stabilisation des rendements du pois en grains et fourrage en zone semi-aride du Maroc ». *Fourrages*, 193, 65-78.
- Benider C., Bouzerzour H., Madani T., Bouguendouz A., (2017). « Performances fourragères de l'orge (*hordeumvulgar* L.), du triticales (*X Tritico-Sécalewittmack*) et du pois (*Pisumsativum* L.) et de leurs associations sous conditions semi-arides ». *European Scientific Journal*, 13, 6, 157-172.
- Benniou R., (2008). « Les systèmes de production dans les milieux semi-arides en Algérie : analyse agronomique de leur diversité et des systèmes de culture céréalières dans les hautes plaines Sétifiennes ». *Ed. Thèse de doctorat*, ENSA (exINA) Alger. 293p.
- Benniou R., Aubry C., (2009). « Place et rôle de l'élevage dans les systèmes de production agricoles en régions semi-arides de l'Est Algérien ». *Fourrages*, 198, 239-251.
- Bessaoud O., Pélissier J-P., Rolland J-P., Khechimi W., (2019). « Rapport de synthèse sur l'agriculture en Algérie (rapport de recherche) ». *CIHEAM-IAMM*, 82 p.
- Caldéron F. J., Vigil M. F., Nielsen D. C., Benyamin J. G., Poss D. J., (2012). « Water use and yields of no-till managed dryland grasspea and yellow pea under different planting configurations ». *Field crop research*, 125, 179-185.
- Carr P.M., Martin G. B., Horsley R. D., (2009). « Impact of tillage on field pea following spring wheat ». *Can. J. Plant Sci.*, 89, 281-288.
- Cesar J., Ahouin Sou M., Gouro A., (2004). « Production fourragère en zone tropicale et conseils aux éleveurs : conseils et formation en appui à la production laitière » . *CIRDES, INRAB, CIRAD EMVT Editeur*, 48 p.
- Chaabna A., Abdelguerfi A., (2007). « Aperçu sur les cultures fourragères au Sahara septentrional est ». *Annale de la faculté des sciences de l'ingénieur*. 1,2, 13-20
- Chebouti A., Abdelguerfi A., (2002). « Etude de l'effet du déficit hydrique sur le développement et le rendement fourrager chez quatre populations de *Medicago truncatula* (L.) ». *GARTN, Recherche Agronomique revue semestrielle*, 1, 27-31
- Das A., Chowdhury S., Layek J., RamkruShna G. I., Panwar A. S. (2017). « Argo-physical assessment of different pea (*Pisum sativum*) cultivars in lowland rice (*Oryza sativa*) fallow under no-till system for enhancing cropping intensity and productivity in mid hills of northeast India ». *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 87,12, 1612-1618.
- Dore T., Meynard J.M.; Sebillotte M., (1998). « The role of grain number, nitrogen nutrition and stem number in limiting pea cop (*Pisum sativum*) yields under agricultural conditions ». *Eur. J. Agron.*, 8, 29 -37.
- Hamrit S., (1995). « Situation des fourrages en Algérie ». *Al Awamia*, 89, 97-108.
- Huang G. B., Zhang R. Z., Li G. D., Li L. L., Chan K. Y., Heenan D. P., Chen W., Unkovich M. J., Robertson M. J., Cullis B. R., Bellotti W. D., (2008). « Productivity and sustainability of a spring wheat-field pea rotation in semi-arid environment under conventional and conservation tillage systems ». *field crops research* 107, 43-55.
- Irar S., Gonzalez E. M., Arres-Igor C., Marino D., (2014). « A proteomic approach reveals new actors of nodule response to drought in split-root grown pea plants ». *Physiologia plantarum*, 152, 634-645.
- Issolah R., (2008). « Les fourrages en Algérie : situation et perspectives de développement et d'amélioration ». *Recherche Agronomique*, 22, 34-47.
- Khan R., Biswas S., Kundu C. K., Jana K., (2020). « Effect of conservation tillage on yield and economics of fodder crops ». *International Journal of Environment and climate change*, 10, 2, 529-539.
- Kirilov A., (2000). « Comparaison des valeurs alimentaires de plantes entières de pois et de vesce ». *Fourrages*, 162, 181-186.
- Lafond G. P., Loepky H., Derksen D. A., (1992). « The effect of tillage systems and crop rotations on soil water conservation, seedling establishment and crop yield ». *Can. J. Plant Sci.*, 72, 103-115
- Lafond G. P., May W. E., Holzapfel C. B., Lemke R. L., Lupwayi N. Z., (2011). « Intensification of field pea production : impact on agronomic performance ». *Agronomy Journal*, 103,02, 396-403.
- Lafond G. P., May W. E., Stevensow F. C., Derksen D. A., (2006). « Effects of tillage systems and rotations on crop production for a thin black chernozem in the canadian prairies ». *Soil and tillage research*, 89, 232-245.
- Lake L., Guilioni L., French B., Sadras V. O., (2021). « Field pea ». In Sadras V. O. & Calderini D. *crop physiology: case histories for major crops*. Elsevier Science (éd.). chap. 09. 320-341 p. En ligne : <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819194-1.00009-8>
- Lensen A.W., Sainju U.M., Jabro J. D., Allen B. L., Stevens W. B., (2018). « Dryland pea production and water use responses to tillage, crop rotation, and weed management practice ». *Agronomy Journal*, 110, 5, 1-11.
- Macák M., Candráková E., Ďalovič I., Varaparasad P. V., Farooq M., Korczyk-Szabó J., Kováčik P., Šimanský V., (2020). « The influence of different fertilization strategies on the grain yield of field peas (*pisum sativum* L.) under conventional and conservation tillage ». *Agronomy*, 10, (1728), 1-12.
- Mebarkia A., Abdelguerfi A., (2007). « Etude du potentiel agronomique de trois espèces de vesces (*vicia ssp.*) et variabilité dans la région semi-aride de Sétif (Algérie) ». *Fourrages*, 192, 495-506.
- Mohr R. M., Derksen D. A., Grant C. A., Mc Laren D. L., Monreal M. A., Moulin A. M., Khakbazan M., Irvine R. B., (2007). « Effect of nitrogen fertilizer rate, herbicide rates and soil disturbance at seeding on the productivity of a wheat-pea rotation ». *Can. J. Plant Sci.*, 87, 241-253.

- Munier-Jolain N., Biarnès V., Chaillet I., Lecoœur J., Jeuffroy M.-H., (2005). « Agrophysiologie du pois protéagineux ». *Ed INRA-QUAE*, 280 pages.
- Nleya T., Rickertsen J., (2011).: « Seeding rate and variety effects on yield, yield components, and economic return of field pea in the northern Great plains ». *Crops management*, 10,(1),0. <https://doi.org/10.1094/CM-2011-0221-01-RS>
- Pittelkow C. M., Linquist B. A., Lundy M. E., Liang X., Groenigen K. J. V., Lee J., Gestel N. V., Six J., Venterea R. T., Kessel C. V., (2015). « When does no-till yield more? A global meta-analysis ». *Field Crops Research*, 183, 156-168.
- Rouabhi A., Kebiche M., M Hafsi., (2018). « Climate Change during the last century in Sétif Province ». *Agriculture*. 8(2): 61-75.
- Rouabhi A., Adouane C., Felloussia A. L., (2019 a). « Assessment of climate change and its effects on cereal production by 2070 in north Algeria ». *Revue Agriculture*. 10, (2), 27-39
- Rouabhi A., Hafsi M., Monneveux P., (2019 b). « Climate change and farming systems in the region of Setif (Algeria) ». *JAEID*, 113 (1), 79-95.
- Ruissi P., Giambalvo D., Di Miceli G., Frenda A. S., Saia S., Amato G., (2012). « Tillage effects on yield and nitrogen fixation of legume in mediterranean conditions ». *Agronomy Journal*., 104, 5, 1459-1466.
- Sivakumar M. V., Lal R., Selvaraju R., Hamdan I., (2013). « Climate change and food security in West Asia and North Africa ». *Springer*. 423 p.
- Togay N., Togay Y., Yildirim B., Dogan Y., (2008). « Relationships between yield and some yield components in pea (*pisum sativum ssp arvense* L.) genotypes by using correlation and path analysis ». *African journal of biotechnology*, 7, 23, 4285-4287.
- Touitou M., Abul Quasem A., (2018). « Climate change and water resources in Algeria: vulnerability, impact and adaptation strategy ». *Economic and Environmental Studies*, 18, 01, 411-429
- Yeboah S., Lamptey S., Zhang R., Li I., (2017). « Conservation tillage practices optimizes root distribution and straw yield of spring wheat and field pea in dry areas ». *Journal of Agricultural Science*, 8, 06, 37-48.