

Effet du sorgho fourrager sur le contrôle des nématodes à galles du genre *Meloidogyne*

Hélène VÉDIE

1- OBJECTIF ET CONTEXTE :

L'objectif de cet essai est d'étudier l'effet de 2 sorghos, types « herbe du Soudan » ou hybride, et de la durée d'interculture, sur les nématodes à galles du genre *Meloidogyne spp.*. Cette pratique vise à combiner deux processus dans la lutte contre ces ravageurs : une rupture de cycle par l'insertion d'une plante non hôte en interculture et une action directe après broyage et enfouissement par la libération de composés volatils aux propriétés toxiques (acide cyanhydrique).

2 - MATERIEL ET METHODES :

2.1 Dispositif expérimental :

Site : Le dispositif expérimental est situé sur une exploitation en agriculture biologique à Mauguio (34), dans un tunnel froid (T15) de 8 m de large sur 80 m de long, infesté par les nématodes *M. incognita*. Le sol est calcaire (pH = 8,2) de texture de limon-sablo-argileux, très riche en nutriments.

Dispositif : - Comparaison d'un sorgho riche en HCN (Hybride sorgho x sudan-grass) à un sorgho fourrager de référence (Piper, Sudan-grass) et à un témoin « sol nu » :
 - Evaluation de 2 itinéraires techniques (1 ou 2 broyages).
 - Essai à 4 modalités (tableau 1)– Répétitions sur placettes. Plan en annexe 1.

Modalités :

MODALITE	Descriptif
H1	Sorgho hybride 1 broyage à 5 semaines (B1) + enfouissement + bâchage
H2	Sorgho hybride 1 premier broyage à 5 semaines (B1) 2 ^{ème} broyage de la repousse à 5 semaines (B2) + enfouissement + bâchage
Piper	Sorgho fourrager herbe du soudan, référence Piper Broyé et enfoui idem H2 (B1+B2)
Témoin sol nu	Témoin « sol nu » Broyage adventices + bâchage, idem H1

Tableau 1 : modalités de l'essai

Parcelles élémentaires : 4 parcelles de 120 m² chacune (30 mètres linéaires X 4 m de large)

Surface de l'essai : 480 m²

2.2 Conditions de culture

- **Précédent** : courgette, variété Ariane (Gautier, semences biologiques), 4 rangs, arrachée en juillet 2012
- **Traitements été** : sorghos
 - **Fertilisation** : amendement organique du commerce
 - **Semis** : les sorghos (semences non traitées) ont été semés à la volée le **20 juillet**. Le sorgho Piper a été semé à la dose de 50 kg/ha, le sorgho hybride à 70 kg/ha. Le semis a été suivi d'un passage de rouleau et d'une irrigation de 20 mm.
 - **Broyages-enfouissement** :
 - le premier broyage B1 a eu lieu le 28/08 sur toutes les modalités au broyeur à marteaux. **Enfouissement** immédiat à la rotobèche pour les modalités H1 et témoin sol nu. **Irrigation** de 30 mm et **bâchage** (ancienne bâche de solarisation) dans la foulée. La bâche a été maintenue durant 1 mois.
 - le deuxième broyage B2 a eu lieu le 1/10 sur les modalités H2 et Piper, de la même façon que pour B1. Après enfouissement et irrigation (20 mm), la bâche, retirée des 2 autres modalités est placée sur H2 et Piper pendant 10 jours
- **Automne - hiver 2012/13** : culture de choux raves, variété Terek (Rijk Zwaan), plantation le 16/10/12, densité de plantation : 13 plants/m². Fertilisation : 80 uN organique/ha. Récolte en février.

Modalité	H1	H2	Piper	Témoïn sol nu
Date de semis	20/07/2012			X (enherbement spontané)
Dose de semis	70 kg/ha		50 kg/ha	X
1 ^{er} broyage	28/08/2012 Broyeur à marteaux + Enfouissement rotobêche + bâche 5 semaines	28/08/2012 Repousse	28/08/2012 Repousse	28/08/2012 Broyeur à marteaux + Enfouissement rotobêche + bâche 5 semaines
2 ^{ème} broyage	X	1/10/2012 Broyeur à marteaux + Enfouissement rotobêche + bâche 10 jours	1/10/2012 Broyeur à marteaux + Enfouissement rotobêche + bâche 10 jours	X
Plantation choux raves	16/10/2012 – Variété Terek – Fertilisation de 80 kg N organique/ha			
Arrachage choux raves	20/02/2013			

Calendrier récapitulatif de l'essai

2.3 Mesures et observations :

2.3.1 Mesures agronomiques

Mesures agronomiques sur les engrais verts :

- Développement et taux de recouvrement au cours de la croissance,
- Rendement : mesures des biomasses fraîches et sèches des parties aériennes sur 3 placettes de 0,5 m x 0,5 m soit 0,25 m² par parcelle élémentaire. Le 28/08 pour la 1^{ère} coupe, le 1/10 pour la 2^{ème} coupe (H2 et Piper),
- Observation des racines de sorgho pour la présence éventuelle de galles.

Autres mesures agronomiques :

- Rendement des choux raves : pesées de 3 placettes de 13 choux, correspondant à 1 m², le 15 janvier 2013,
- Mesures de la concentration en azote nitrique du sol les 1/10/2012 (fin traitements d'été), et 20/02/2013 (fin de la culture de chou rave).

2.3.2 Mesures nématologiques

Cartographie de l'état [initial] d'infestation par les nématodes à galles :

Arrachage des systèmes racinaires de courgette le 13/07/2012 et attribution d'une note d'infestation (Indice de Galles, IG) de 0 à 10 selon l'échelle de Zeck, 1971). Les notations sont effectuées sur les 4 rangs de courgettes dans la largeur et tous les 2 ou 4 m (dans l'alignement des arceaux) dans la longueur. La cartographie établie correspond à 18 notations par future parcelle élémentaire.

Cartographie de l'état [final] sur choux raves :

Arrachage des systèmes racinaires de chou rave et attribution d'une note d'infestation de 0 à 10 (Echelle de Zeck, 1971). Les notations sont effectuées le 20 février 2013, dans les mêmes zones que pour la courgette. Etablissement de la cartographie pour la même densité de mesures.

Analyses nématologiques de laboratoire :

- Dénombrements de larves de *Meloidogyne spp.* dans le sol dans chaque parcelle élémentaire à 3 dates : T0 (13/07, fin de culture de courgette), T1 (1/10, fin des traitements d'été) et T2 (20/02, fin de la culture de chou rave). Chaque échantillon analysé est composé de 10 prélèvements sur 20 cm de profondeur localisés toujours aux mêmes endroits.
- Détermination des espèces de *Meloidogyne spp.* sur racines de courgette (13/07).

3 - RESULTATS - DISCUSSION

3.1 Résultats agronomiques sur les sorghos

Développement des sorghos :

Les sorghos ont globalement eu un très bon développement.

- Lors de la 1^{ère} coupe, 5,5 semaines après semis, ils couvrent bien le sol et dépassent 1,60 m de hauteur (tableau 1). Le sorgho Piper est plus haut et plus dense, avec de nombreuses tiges fines (densité de semis élevée). Le sorgho hybride a des tiges beaucoup plus grosses et des feuilles plus larges. On note quelques plantes adventices dans la parcelle de sorgho hybride, notamment au nord de la modalité H2 où les amarantes sont bien présentes. Sur la parcelle « témoin sol nu » dans laquelle on a laissé se développer les

adventices, la flore, très abondante, est essentiellement composée d'amarantes (60%), de sorgho d'Alep (30%) et de quelques chénopodes.

- Lors de la deuxième coupe, réalisée 5 semaines après la première, les sorghos sont assez hauts et atteignent en moyenne 1,2 m pour Piper et 1,4 m pour le sorgho hybride. La hauteur et les couverts sont cependant assez hétérogènes, notamment dans la modalité H2 où le couvert est constitué d'un mélange de repousses vraies et de plantes très hautes qui n'ont vraisemblablement pas été broyées lors de la première coupe (sous les passages de roues) et se sont redressées. Les adventices sont quasi inexistantes sous l'effet de la compétition des repousses mais également du paillis constitué par la végétation broyée à B1. On note quelques rares amarantes et chénopodes dans la modalité H2. Par ailleurs, des foyers de pucerons, partiellement nettoyés par les auxiliaires, sont assez présents sur les 2 modalités en fin de culture.

Modalités	28 août 2012 (B1 : S+5,5 semaines)			1 octobre 2012 (B1+5 semaines)		
	Nb feuilles	Hauteur (cm)	Couverture (%)	Nb feuilles	Hauteur (cm)	Couverture (%)
Hybride	11	165	90	9 à 11	140	95
Piper	9	175	100	8-9	120	100

Tableau 1 : Hauteurs (cm) et couverture (%) des sorghos lors des 2 coupes

Sur les 2 modalités H1 et « sol nu », une forte densité de plantes du genre *Cyperus* s'est développée sous la bâche qui avait été posée après le premier broyage et enfouissement. Ces plantes adventices, très répandues sur cette exploitation, ont soulevé la bâche et ont sans doute limité la hausse de température qui aurait pu avoir lieu. De ce fait, la bâche a joué son rôle de conservation des gaz les jours suivant le broyage et l'incorporation du sorgho sur la modalité H1, mais il n'y a pas eu de véritable effet solarisation.

Il est probable que les *Cyperus* affectionnent de plus hautes températures que les autres adventices car ils étaient les seuls présents sur ces deux modalités, alors qu'il n'y avait à la même date aucun *Cyperus* sous les repousses de sorgho des modalités « 270911-F2 » et Piper.



Vue depuis le Nord.

A gauche « Piper » (repousse). A droite, la bâche soulevée sur la parcelle H1



Vue depuis le Sud.

A droite la parcelle H2 (repousse). A gauche, vue des *Cyperus* ayant poussé sous la bâche

Photos de l'essai le 1 octobre, 5 semaines après le 1^{er} broyage, juste avant le 2nd broyage

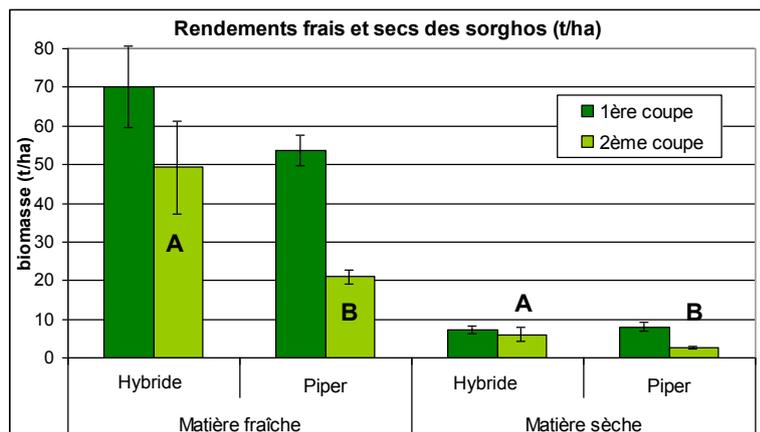
Rendement des sorghos :

Les biomasses et teneurs en matière sèche des parties aériennes des sorghos ont été mesurées lors des 2 coupes, le 28 août, et le 1^{er} octobre. L'ensemble des résultats figure dans le tableau 2.

- Les rendements moyens sont peu différents entre les deux sorghos pour la première coupe. La biomasse fraîche est plus importante pour le sorgho hybride (différence significative à 7%) mais la biomasse sèche est équivalente, comprise entre 7 et 8 tonnes de matière sèche par hectare, en raison d'une teneur en matière sèche plus élevée pour Piper.
- Pour la repousse, la production de l'hybride est quasiment le double de Piper, avec presque 6 tonnes de matière sèche par hectare.

Le poids d'une plante est de 2 à 4 fois plus important pour l'hybride, notamment sur les repousses.

Le graphique 1 illustre la plus forte hétérogénéité du couvert de sorgho hybride avec des écart-types importants, notamment sur la repousse (mélange de repousses vraies et de plantes redressées). Les biomasses racinaires n'ont pas été mesurées, mais le système racinaire du sorgho hybride est visiblement beaucoup plus vigoureux et développé que celui de Piper (photo).



Vue des systèmes racinaires des 2 sorghos le 1/10

Graphique 1 : Rendements en matière sèche et matière fraîche des parties aériennes des sorghos
Groupes homogènes selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5%

		1 ^{ère} coupe : 28/08		2 ^{ème} coupe : 1/10	
		Hybride	Piper	Hybride	Piper
Rendement (t/ha)	Matière Fraîche	70,1 (p=0,07)	53,7	49,3 (A)	20,9 (B)
	Matière Sèche	7,27	7,98	5,95 (A)	2,66 (B)
Teneur en MS (%)		10,4 (B)	14,9 (A)	12,1	12,7
Poids 1 tige (g)	Matière Fraîche	43,4 (A)	17,4 (B)	26,8 (A)	7,7 (B)
	Matière Sèche	4,5 (A)	2,6 (B)	3,2 (A)	1,0 (B)
Peuplement (Nb tiges/m ²)		160 (B)	300 (A)	184 (B)	272 (A)

Tableau 2 : Rendements et teneurs en matière sèche des parties aériennes des sorghos.
Groupes homogènes selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5% (analyse à 3 répétitions)

Rendement des choux raves :

Les choux raves ont été plantés le 16 octobre 2012, soit 2 semaines après le 2nd broyage, sur 4 planches de 6 lignes, à la densité de 13 choux/m². Des pesées ont été effectuées sur 3 placettes de 1 m² par modalité, situées sur les 2 planches centrales du tunnel et alignées dans la longueur, le 15 janvier 2013.

Il n'y a aucune différence significative de rendement entre les modalités. En tendance, il semble que les 2 modalités situées à l'Ouest du tunnel (H1 et témoin sol nu) aient une productivité légèrement supérieure. Un enfouissement plus précoce (pour H1), suivi d'un bâchage pendant plus d'un mois, a probablement amélioré la minéralisation de la biomasse enfouie sur ces modalités.

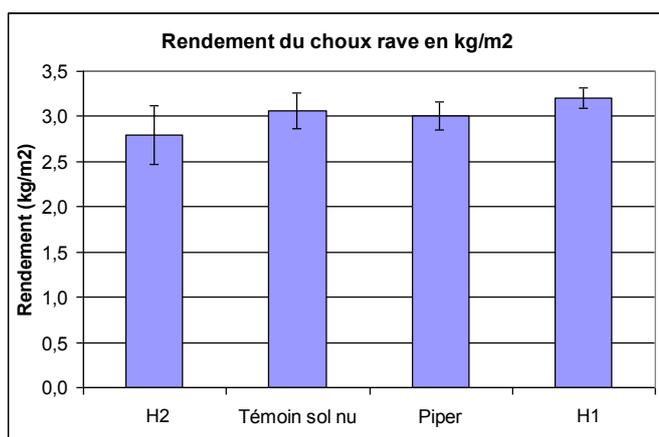


Photo du tunnel d'essai le 15/01/2013



Graphique 2 : rendement de la culture de choux raves sur les différentes modalités- 15/01/2013

Mesures d'azote nitrique du sol :

Les mesures ont été réalisées le 1/10/2012, lors du 2nd broyage des sorghos Piper et H2, et le 20/02/2013, à la fin de la culture de chou rave (tableau 3). On constate que les teneurs sont plus faibles sur les 2 modalités où le sorgho a été cultivé plus longtemps, et enfoui seulement 15 jours avant la plantation de la culture suivante (« H2 » et « Piper »). La minéralisation a donc sans doute été plus faible, jusqu'en fin de culture de choux, ce qui a pu limiter l'alimentation en azote de la culture, avec un léger impact sur le rendement (non significatif cependant).

Modalité	[NO ₃] (ppm) le 1/10/12 (deuxième coupe ou post enfouissement + bâche)	[NO ₃] (ppm) le 20/02/13 (fin culture)
Témoin sol nu	117	16
H1	96	52
Piper	52	8
H 2	71	9

Tableau 3 : Teneurs en azote nitrique du sol à la fin des traitements d'été et du chou rave

3.2 Résultats nématologiques

Cartographie de l'état [initial] d'infestation par les nématodes à galles :

La cartographie a été réalisée le 13 juillet 2012, en fin de culture de courgette (annexe). Le niveau d'infestation est relativement élevé, avec des indices de galles moyens initiaux des parcelles élémentaires compris entre 6,0 et 6,6 (graphique 3).

Observations racinaires sur les sorghos :

Aucune galle n'a été observée sur les racines des sorghos, ni pour la variété hybride, ni pour le témoin Piper. A la même date, des galles étaient bien visibles sur les quelques plantes adventices (amarante notamment) qui se sont développées. Un contrôle sur les racines de sorgho, après coloration à l'éosine, n'a pas non plus mis en évidence de masses d'œufs.

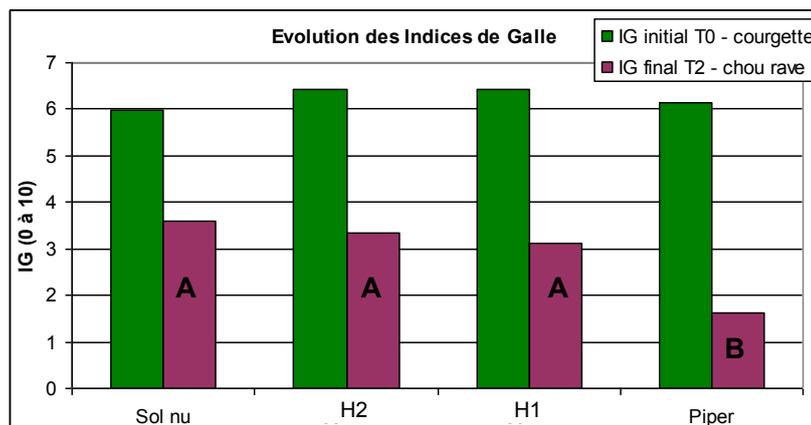
Cartographie de l'état [final], sur choux raves :

Les observations ont été réalisées le 20 février, soit presque 5 mois après la fin des traitements d'été. La cartographie finale figure en annexe.

Le niveau d'infestation des choux raves est moyennement élevé, avec des indices de galles majoritairement compris entre 1 (quelques rares galles visibles) et 4 (20% du système racinaire comporte des galles). La moindre infestation des cultures d'hiver est normale, car les températures basses sont moins propices à l'activité des nématodes à galles.

La comparaison des moyennes d'indice de galle obtenues sur les différents traitements (graphique 3) montre que le traitement « Piper » engendre un niveau d'infestation significativement inférieur aux autres (test de Student au seuil de 5%).

Ce résultat est surprenant car le potentiel nématicide de la variété hybride est *a priori* supérieur avec une teneur en HCN plus élevée que celle de Piper. Il peut s'expliquer soit par un niveau d'infestation initial inférieur dans cette partie du tunnel d'essai, sans que cette différence ne soit apparue sur la courgette, soit par d'autres phénomènes que l'effet de HCN sur les nématodes (autres molécules actives ? impact des adventices plus présentes dans le sorgho hybride ?).



Graphique 3 : IG initiaux et finaux moyens (18 mesures par modalité). Test de Student de comparaison de moyennes significatif au seuil de 5%

Dans cet essai, nous n'avons donc observé aucun effet positif d'un sorgho hybride riche en HCN, quelle que soit sa durée (1 ou 2 broyages et bâchage plus ou moins long), sur le niveau d'infestation de la culture suivante en comparaison à un témoin « sol nu » (pourtant envahi par des adventices hôtes des *Meloidogyne*) ou au sorgho Piper.

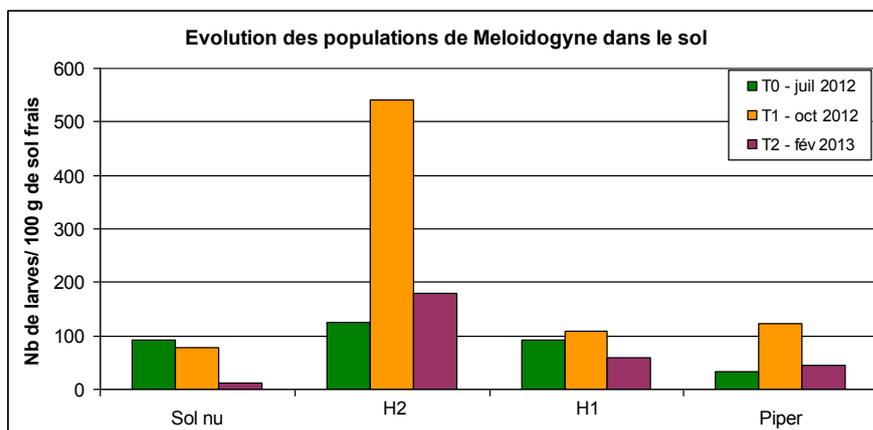
Analyses nématologiques de laboratoire :

Dénombrements de larves dans le sol :

Les échantillons de sol ont été collectés à 3 dates ; T0, sur la culture de courgette, T1, à la fin des traitements d'été, et T2, à la fin de la culture de chou rave. Nous avons donc une évolution des populations de larves de *Meloidogyne* spp. dans le sol au cours de l'essai (graphique 4).

A T0, fin de la culture de courgette, les populations sont comprises entre 30 et 130 larves/100g de sol. Alors que les indices de galles initiaux étaient relativement homogènes, le niveau des populations de *Meloidogyne* spp. diffère de façon notable. C'est sur la partie de tunnel correspondant à la modalité « Piper » que cette population est la plus faible, ce qui pourrait aller dans le sens de l'hypothèse formulée précédemment sur une infestation moins importante de cette zone.

A T1, fin des traitements d'été, les niveaux de population se sont maintenus dans les modalités « sol nu » et H1 où la végétation a été broyée, enfouie et suivie d'un bâchage pendant 5 semaines, mais ils ont augmenté dans les 2 modalités où on a laissé le sorgho repousser après le broyage : pour le témoin Piper, la population a été multipliée par 3,6, et pour la variété hybride par 4,3. Nous pouvons en déduire que le bâchage, s'apparentant à une mini solarisation (toutefois limitée du fait du développement des *Cyperus*) a sûrement limité les nématodes, sans pour autant permettre de les diminuer. Par contre, il semblerait que les sorghos aient permis la multiplication des nématodes pendant leur culture. Là encore, ce résultat est surprenant car nous n'avons observé aucune galle sur les racines de sorgho. Soit, la multiplication est possible sur sorgho, sans que des galles visibles ne se forment, soit les adventices présentes ont multiplié les nématodes. Cette dernière hypothèse est envisageable pour la modalité H2 où nous avons bien vu se développer des amarantes, notamment au nord de la parcelle élémentaire (voir 3.1 page 2), mais elle est moins probable pour la modalité « Piper » où nous n'avons quasiment pas vu de plantes adventices.



Graphique 4 : Populations de *Meloidogyne* spp. dénombrées sur les différentes modalités au cours de l'essai

A T2, fin de la culture de chou rave, les populations ont baissé, en lien avec les températures de la saison. Elles se retrouvent inférieures aux populations initiales pour le traitement « sol nu » et H1, ce qui est cohérent avec les résultats obtenus à T1, mais 1,3 (Piper) à 1,4 (H2) fois supérieures pour les autres modalités.

Dans les conditions de notre essai, un engrais vert de sorgho hybride riche en HCN, quelle que soit sa durée (1 ou 2 broyages et bâchage plus ou moins long) n'a aucun effet positif sur le niveau des populations de *Meloidogyne* spp. dans le sol. Le résultat positif du sorgho « Piper » observé sur le niveau d'infestation racinaire du chou (IG1) n'est pas confirmé par les dénombrements de nématodes dans le sol, la population finale la plus basse étant obtenue sur le traitement « sol nu » (+ bâchage). Il n'y a donc pas de lien direct entre le niveau de dégâts observé sur les racines de chou à un instant t et le niveau de population de larves dans le sol au même moment. La relation entre des niveaux de population de nématodes mesurés dans le sol et les symptômes observés sur les plantes est rarement évidente du fait de la forte hétérogénéité de présence des nématodes dans le sol.

Dans les conditions de notre essai, un engrais vert de sorgho hybride riche en HCN, quelle que soit sa durée (1 ou 2 broyages et bâchage plus ou moins long) n'a aucun effet positif sur le niveau des populations de *Meloidogyne* spp. dans le sol. Le résultat positif du sorgho « Piper » observé sur le niveau d'infestation racinaire du chou (IG1) n'est pas confirmé par les dénombrements de nématodes dans le sol, la population finale la plus basse étant obtenue sur le traitement « sol nu » (+ bâchage). Il n'y a donc pas de lien direct entre le niveau de dégâts observé sur les racines de chou à un instant t et le niveau de population de larves dans le sol au même moment. La relation entre des niveaux de population de nématodes mesurés dans le sol et les symptômes observés sur les plantes est rarement évidente du fait de la forte hétérogénéité de présence des nématodes dans le sol.

Détermination des espèces de *Meloidogyne*

L'analyse réalisée sur les racines de courgette a permis de confirmer la présence de *M. incognita*, et d'observer une autre espèce de *Meloidogyne* qui n'a pu être identifiée avec les outils moléculaires classiques. *M. hapla* n'est pas présent dans ce tunnel.

4 - CONCLUSION

Cet essai a permis de mettre en évidence un **bon comportement agronomique** de la variété de sorgho hybride. Avec un semis en période chaude, et une densité de semis plus élevée que pour le témoin sudan grass « Piper », la productivité est plus importante, notamment sur la repousse après broyage. Néanmoins, sa vitesse de croissance plus lente au début fait que cette variété est plutôt moins compétitive face aux plantes adventices. **L'effet nématicide de ce sorgho plus riche en HCN n'a pas pu être mis en évidence** dans cet essai, où l'espèce présente est *M. incognita*. En effet, nous n'avons observé aucun effet positif, ni sur le niveau d'infestation de la culture suivante, ni sur le niveau de population de *Meloidogyne* spp dans le sol. Il semblerait même, d'après nos résultats, qu'une culture prolongée de sorghos (10 semaines de culture, contre 5 dans les modalités enfouies après le premier broyage) augmente les populations dans le sol. Cette évolution des populations de larves de nématodes dans le sol ne se traduit pas cependant par des différences de niveaux d'infestation sur la culture de chou suivante.

ANNEE DE MISE EN PLACE : 2012 - ANNEE DE FIN D 'ACTION :

ACTION : nouvelle ○ en cours ● en projet ○

Renseignements complémentaires auprès de : H. Védie - GRAB Agroparc BP 11283 84911 Avignon cedex 9 – tel : 04 90 84 01 70 – fax : 04 90 84 00 37 – E-mail : helene.vedie@grab.fr

Mots clés : nématodes à galles – engrais vert - indice de galle – sorgho fourrager - HCN

Date de création de cette fiche : mai 2014

Annexe : cartographies initiale (IG 0) et finale (IG1) de l'essai.

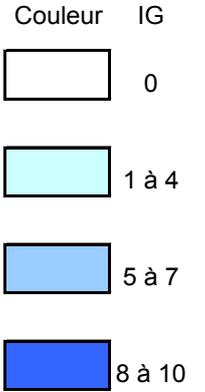


IG 0 sur courgettes 13/07/2012

80				
78				
76				
74				
72				
70				
68	7	7	7	7,5
66				
64	5,5	6	5	6
62				
60	6	6,5	5,5	5,5
58				
56	7	4	6	6
54				
52	6	6,5	5	7
50	6,5	6,5	5,5	7,5
48	6	7	5	6
46	7	7	6	5,5
44	7	7,5	7	7,5
42				
40				
38				
36	5	7	7	6,5
34	3	6	6	6
32	8	7	7	6
30	7	6	6,5	6
28	6,5	7	6	7
26				
24	5	6,5	7,5	6,5
22				
20	6	7,5	7	5,5
18				
16	7	5	6	6
14				
12	4	7	6	7
10				
8				
6				
4				
2				
0				

IG 1 sur choux raves 20/02/2013

80				
78				
76				
74				
72				
70				
68	5	3,5	2	3
66				
64	3,5	3	1	1
62				
60	1	3	1,5	1
58				
56	3	3	0,5	1
54				
52	4	3	1	2
50	0	1,5	1	1
48	4,5	2	1	1
46	5	2,5	1	3,5
44	3	4,5	2	4
42				
40				
38				
36	5	3	0	4
34	6	4,5	2,5	5
32	4	4	3	5
30	3	4,5	2,5	3,5
28	3	3	2,5	6
26				
24	2	3,5	4	4
22				
20	4,5	5	4,5	2
18				
16	1	5	4	1,5
14				
12	2	3,5	3,5	2
10				
8				
6				
4				
2				
0				



H1

Piper

Sol nu

H2