

## GEDUNEM

### Gestion durable des nématodes à galles



2015

---

Claire GOILLON, APREL.

Essai rattaché à l'action N°04.2015.06 : Stratégie de protection durable contre les bio-agresseurs telluriques.

---

#### 1 – Thème de l'essai

Les nématodes à galles sont de plus en plus présents dans les exploitations maraîchères en Provence. Ils touchent presque toutes les espèces cultivées en causant de nombreux dégâts. Face à la pression sanitaire observée sur les cultures, même greffées, et à la disparition de produits de désinfection du sol, des techniques alternatives telles que la solarisation et/ou la mise en place d'engrais verts aux propriétés dites désinfectantes, tentent de se développer afin de remédier à ces problèmes.

Le projet GEDUNEM piloté par l'INRA de Sophia Antipolis vise à tester des techniques complémentaires au greffage pour réduire la population de nématodes dans les sols et rendre plus durable l'utilisation des porte-greffes résistants en cultures maraîchères. Ce programme intègre un réseau d'expérimentations multi-sites avec de nombreux partenaires qui étudient des systèmes de culture différents pendant 4 ans.

#### 2 – But de l'essai

Le système étudié par l'APREL dans le cadre de ce projet est l'introduction d'intercultures assainissantes (sorgho fourrager) et de cultures de solanacées résistantes aux nématodes dans une rotation sensible melon/salade. Le but est d'évaluer l'efficacité de l'engrais vert assainissant dans la réduction des nématodes du sol et dans la protection des résistances contournables. Le projet ayant débuté en 2012, les observations réalisées cette année permettront de dresser un bilan sur l'intérêt de ce système.

#### 3 – Facteurs et modalités étudiés

Le dispositif expérimental mis en place permet d'étudier l'effet de l'introduction de sorgho fourrager (1 an sur 2) et des rotations avec résistance génétique pour la gestion des nématodes dans les sols maraîchers. L'effet du système est étudié d'une année sur l'autre.

Dans le tunnel suivi, deux modalités sont comparées pour le facteur sorgho fourrager :

- 1) La variété Piper, référencée à faible teneur en HCN, donc potentiellement peu nématocide
- 2) La variété 270911, présentée comme contenant de fortes teneurs en HCN, donc potentiellement nématocide par biofumigation

#### 4 – Matériel et méthodes

##### 4.1 Parcelle

L'exploitation se situe sur la commune de Lambesc (13). Cette exploitation conduite en Agriculture Biologique pratique des rotations multiples de cultures maraîchères sous tunnels plastiques et en plein champ. Le sorgho fourrager était déjà pratiqué par le producteur en tant qu'engrais vert. La présence de nématodes est importante dans de nombreux tunnels et cause des dégâts en particulier sur les cultures de melon et concombre.

Le dispositif est mis en place dans un tunnel identifié T6 de 640 m<sup>2</sup> (8 x 80 m) orienté Nord/Sud.

Historique cultural du tunnel : 2010 : Aubergine – salade  
2011 : Concombre – scaroles  
2012 : Melon – sorgho – blette  
2013 : Poivron – salade  
2014 : Melon – sorgho - salade 1 – salade 2  
2015 : Tomate/poivron - blettes

#### 4.2 Dispositif

Le tunnel est séparé en deux dans la largeur pour comparer deux sorghos fourragers lorsqu'il est mis en place dans les rotations.

- Piper est une variété Sudan grass habituellement pratiquée en interculture dans le maraîchage sous abris. Elle est référencée à faible teneur en HCN, donc potentiellement peu nématocide.
- 270911 est une variété hybride Sorgho x Sudan grass proposée par la société Cerexagri sélectionnée pour ses fortes teneurs en HCN, donc potentiellement nématocide par biofumigation.

Toutes les autres cultures sont faites dans l'intégralité du tunnel. En 2015, néanmoins, le tunnel a été partagé en deux dans la longueur avec tomate et poivron greffés

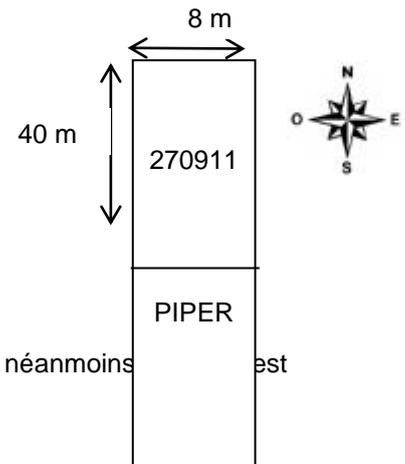


Figure 1 : Dispositif d'expérimentation dans le Tunnel

#### 4.3 Conditions de culture

Figure 2 : Calendrier de culture du tunnel pour 2015

J		F		M		A		M		J		J		A		S		O		N		D	
mi	fin	mi	fin	mi	fin	mi	fin	mi	fin	mi	fin	mi	fin	mi	fin	mi	fin	mi	fin	mi	fin	mi	fin
Salade						Tomate / poivron greffés										Scaroles							

#### Cultures d'été :

- Plantation du 7/04/15
- Variété tomate : Cauralina, Marbonne, Paronset, greffés sur Maxifort (Mi)
- Variétés poivron : Raimu, Relys, Magno, greffés sur Me3DLL
- 3 doubles rangs : poivron sur 2 lignes, tomate sur 1 ligne (2 têtes)
- Récolte jusqu'au 22/09/15

#### Culture d'hiver

- Plantation : 27/09/15
- Variété : scarole Parmance
- Densité : 10/m<sup>2</sup>
- Fin de culture : 5/02/16

#### 4.4 Observations réalisées

##### ➤ Analyses de sol

Un suivi des teneurs en nitrates par analyse rapide sur un prélèvement de sol est effectué régulièrement. Une analyse de sol générale de fin de suivi est faite à l'identique du début du suivi par le laboratoire France analyse.

##### ➤ Suivi climatique

Un enregistreur automatique de température et d'hygrométrie ambiante est positionné au centre du tunnel ainsi qu'une sonde de température du sol, enfouie à 15 cm (hobo). Les données sont enregistrées pour chaque cycle cultural.

##### ➤ Développement des cultures

Une observation globale des parcelles est également effectuée à chaque visite afin de noter d'éventuels problèmes pouvant survenir dans la culture tels que le développement de certains adventices, la présence de ravageurs sur le sorgho, des problèmes d'irrigation ou de nutrition de la plante.

### ➤ Suivi des nématodes

**Cartographie** : Des cartographies d'indices de galle de nématodes sont réalisées au moment de l'arrachage de chaque culture. L'échelle de Zeck est prise comme référence (annexe 1).

**Analyses nématologiques** :

- **Identification de l'espèce présente** : des prélèvements de racines sont réalisés en fin de culture pour identifier l'espèce de *Meloïdogyne* présente. Les analyses sont réalisées par PCR à l'INRA de Sophia Antipolis.
- **Potentiel infectieux** : des échantillonnages de sol sont réalisés sur 16 points identifiés par des indices de galle élevés sur melon en 2012. Un kilogramme de sol est prélevé après chaque cycle cultural toujours au même endroit. Le sol est ensuite utilisé comme substrat pour des jeunes plants de tomate sensible. Des comptages d'œufs sur racines permettent de déterminer le potentiel infectieux du sol (IS). Ces analyses sont effectuées par l'INRA de Sophia Antipolis.
- **Quantification et caractérisation des nématodes dans le sol** : des échantillonnages de sol sont réalisés entre chaque cycle cultural, après la culture de piment résistant et après celle de salade (6 à 8 prélèvements à 15 cm de profondeur). Sur chaque échantillon, le dénombrement et l'identification de chaque genre de nématodes sont effectués par le laboratoire de l'IRD de Montpellier.

## 5 – Résultats

### 5.1 Analyses de sol

L'analyse physique du sol réalisée en 2012 met en évidence un sol sablo-limono-argileux avec un taux de matière organique de 3.5 %, un pH très basique (>8), et une conductivité élevée (> 8 meq/100 g). En 2015, ce même bilan montre une augmentation du taux de matière organique (+0.7%) et de la conductivité (+2.8 meq/L). Les teneurs élevées en Magnésie participent à la conductivité élevée et peuvent être à l'origine d'une mauvaise assimilation de la Potasse. Le pH élevé rend également difficile l'assimilation des oligo-éléments par la plante.

Le suivi avec Nitratests montre que le sol maintient de bonnes réserves en nitrates pour les cultures, entre 30 et 130 unités.

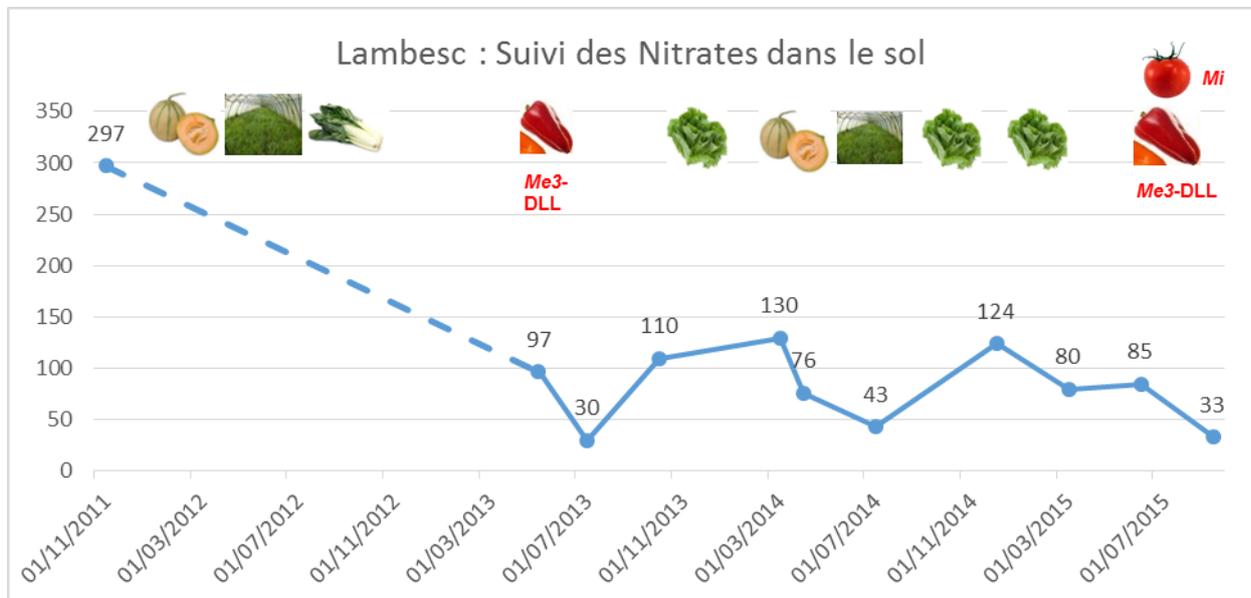


Figure 3 : Suivi des nitrates dans le sol par analyse rapide (Nitrathek®)

## 5.2 Conditions climatiques

Les données graphiques se trouvent en annexe 2. En 2015, les températures moyennes sous abri sont très régulières, entre 20 et 25°C. On note toutefois une montée en température importante fin juin, notamment pour les températures nocturnes (jusqu'à plus de 20°C), rendant les conditions caniculaires jusqu'à fin juillet. Cette chaleur a provoqué quelques coulures sur tomates mais surtout a accéléré les cycles des ravageurs comme *Tuta absoluta* qui ont détruit toutes les plantes de tomates. Les récoltes ont été arrêtées mi-août. Sur la culture de salade, l'hiver a été particulièrement doux avec des températures descendant rarement en dessous de 5°C, créant des conditions difficiles pour la culture (croissance rapide, fragilité, développement de maladies).

La température optimale de développement et de reproduction des nématodes *Meloidogyne incognita* est estimée à 25°C dans le sol. Dans la parcelle, le sol se trouve entre 20 et 25°C pendant toutes les cultures d'été. Sur les cultures d'hiver, les moyennes se situent en général autour de 10°C mais on constate qu'en 2014 et 2015, avec des plantations de salades plus précoces et des hivers plus doux, les températures de sol moyennes sont plus proches de 15°C. A cette température, la capacité de développement des nématodes est moins rapide mais ils restent capables d'infester les racines.

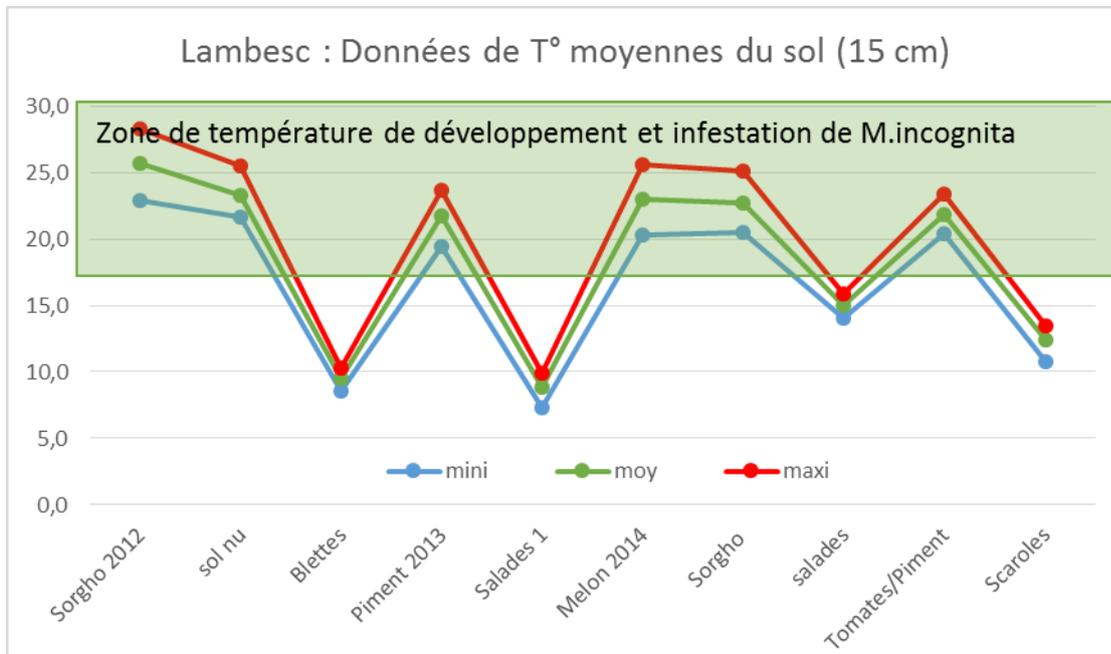


Figure 4 : Evolution des températures moyennes de sol sur chaque culture du système

## 5.3 Effet du système sur les nématodes

### ➤ Cartographie des indices de galles

Les cartographies des indices de galle sur racine ont été réalisées sur la parcelle d'expérimentation après chaque culture (tomate/poivron puis scarole). Les deux cartographies sont basées sur l'échelle de Zeck (Annexe 1). Un code couleur a été attribué à chaque indice pour donner un résultat visuel de la parcelle, les indices les plus forts étant représentés en couleur foncée.

La présence de Crown-gall lié à *Agrobacterium tumefaciens* a de nouveau été observée sur 6 racines de solanacées. Ceci complexifie l'analyse des IGR car la distinction du crown-gall et des galles de nématodes n'est pas aisée.

En salade, l'IGR n'a pas pu être déterminé sur 3 racines qui étaient pourries du fait d'une culture avancée.

Sur racines de poivron et tomate le 22 sept 2015

Arceau	A	B	C	D
4	0,5	0,5	0,5	0,5
6	1	0	0,5	0,5
8	0	0	0,5	0
10	0,5	0,5	1	0,5
12	0	0	0,5	0
14	0,5	0	0,5	0,5
16	1	0,5	1	1,5
18	1	0	1	0,5
20	0,5	0	1	1
22	0	0,5	1	0,5
24	0	0,5	0,5	0,5
26	0	0,5	0,5	0,5
28	0	0,5	1,5	0,5
30	0	0,5	1	0,5
32	0	0	0,5	1
34	0	0,5	0,5	2
36	0,5	0	1	0,5
38	0	0	0,5	1

Sur racines de scarole, le 5 février 2016

Arceau	A	B	C	D
4	5,5		2	5,5
6	5,5		0,5	5,5
8	5,5	0	5	5,5
10	5,5	2	0,5	5,5
12	5	0,5	0,5	5,5
14	5	2	0,5	5
16	5,5	6	5	5
18	5,5	1	2	5,5
20	5,5	2,5	0,5	
22	5	2,5	4	3
24	1	1	1,5	5,5
26	4	2	1	4
28	4	1,5	1	2
30	3	2	0	4,5
32	1	3	3	3
34	2	3	1,5	5
36	3	1	1,5	5,5
38	3	2,5	1	2



Fin de culture de tomate et poivron (vu du Sud)



Impact visible des nématodes sur scarole mi décembre (vu du nord)

Les cartographies montrent une contamination générale des nématodes dans la parcelle (76% et 97% des plantes touchées) avec des zones de bordure plus marquées. Les indices de galle observés sont plus faibles sur les cultures d'été du fait des porte-greffes résistants. Toutefois, les IGR de 0.5 à 2 montrent que la résistance est contournée par des nématodes virulents ou que les températures élevées l'ont rendu moins efficace. Ces cultures ont donc entretenu des populations de nématodes dans le sol sans que la production soit pénalisée. Sur scarole, les IGR observés vont de 0.5 à 6 et l'impact sur la production est rapidement visible dans les zones les plus touchées en bordure (IGR > 4). Les nématodes dans le sol n'ont pas été freinés par les températures douces cet hiver et la salade reste une espèce sensible.

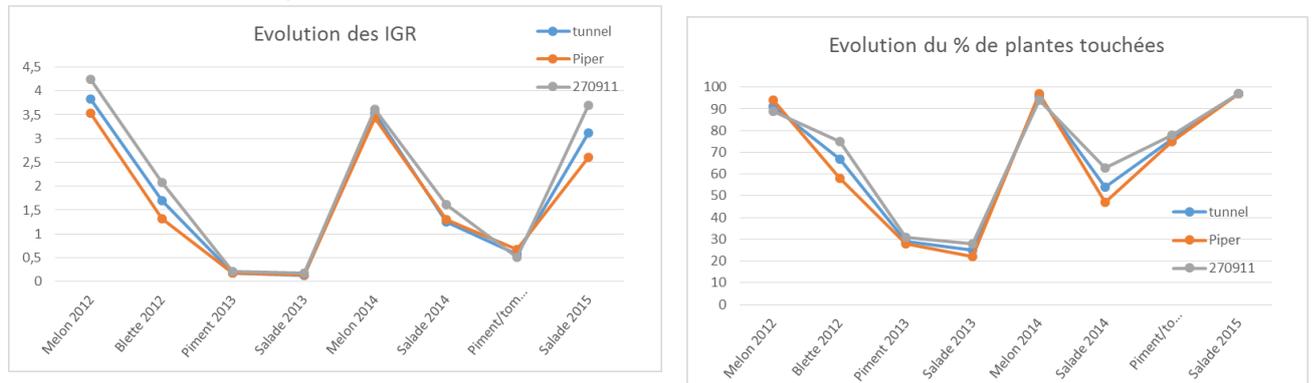
### ➤ Evolution du système

On évalue l'évolution de la pression des nématodes sur les cultures du système en considérant les indices de galle sur les racines ou en quantifiant par analyse la présence des nématodes dans le sol.

#### - Evolution des Indices de galles :

Sur melon, la contamination initiale en 2012 est importante avec plus de 90% des plantes attaquées et un IGR moyen de 3.8. En 2014, sur une culture identique, on retrouve une contamination similaire. Sur les solanacées, les IGR moyens sont faibles (<0.5) mais la présence de galles est visible sur un grand nombre de plantes, notamment en 2015 (97% des plantes touchées). Au niveau cultural, la résistance est efficace mais incomplète : les nématodes parviennent à se reproduire.

Sur les salades, la période hivernale permet souvent d'éviter de grosses attaques, d'autant plus lorsque la plantation est tardive (2013). En fin de projet (hiver 2015-2016), les attaques de nématodes sur scarole sont très importantes.



Figures 5a et 5b : Evolution des IGR et du % de plantes touchées observées sur les cultures du système

Du point de vue cultural, la pression des nématodes sur la parcelle n'a malheureusement pas évolué pour des cultures maraîchères sensibles que ce soit en été ou en hiver. Concernant l'interculture, on ne peut pas mettre en évidence de différence entre les deux modalités de sorgho sur la pression des nématodes.

- Evolution du potentiel infectieux. Mesure des taux d'infestation du sol (IS) en *Meloidogyne* (œufs+larves). Analyses INRA Sophia Antipolis

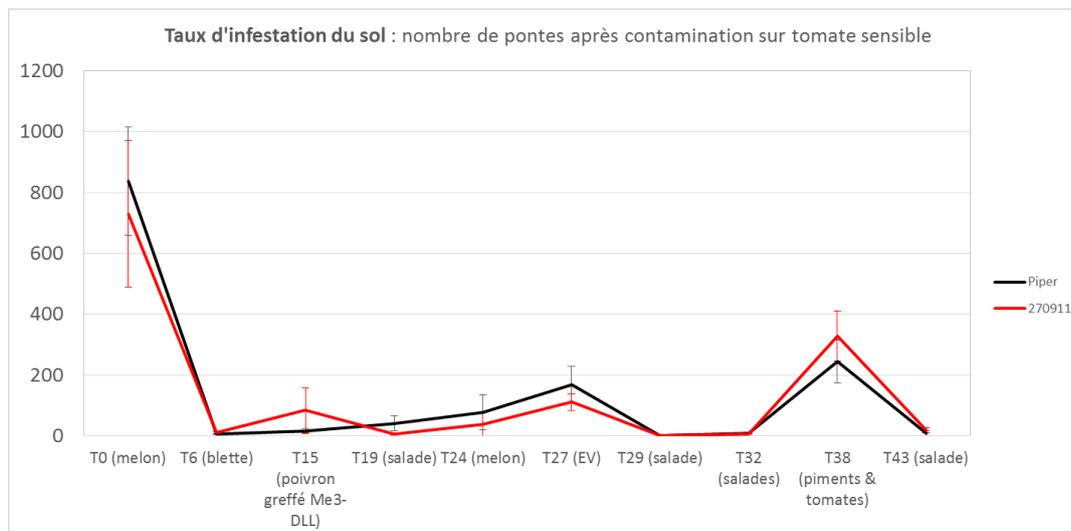


Figure 6 : Taux d'infestation du sol (IS) par *Meloidogyne* mesuré après chaque culture à partir d'échantillons de sol dans les 2 modalités d'engrais vert Piper et 270911.

Ces analyses montrent une évolution différente de ce qui est observé sur les cultures. Entre les deux melons (T0 et T24), on constate une forte réduction du taux d'infestation du sol par les *Meloidogynes* alors que la contamination sur la culture, mesurée à l'aide des indices de galles, est aussi importante en 2012 qu'en 2014. En cultures d'hiver, les taux d'infestation sont très bas, même si les contaminations dans la culture sont significatives, notamment en 2014 et 2015.

Par contre, on ne met pas non plus en évidence de différence entre les 2 modalités sorgho sur le taux d'infestation.

- Quantification des nématodes dans le sol (larves). Analyses IRD

L'IRD, partenaire de ce projet, réalise des échantillonnages de sol pour quantifier et caractériser la diversité des nématodes présents dans la parcelle au fil du temps (8 répétitions par modalité). Une grande diversité d'espèces de nématodes phytoparasites est présente sur cette parcelle.

La figure ci-dessous présente les résultats dans les deux modalités qui sont très similaires. Parmi les principaux genres, on observe : *Meloidogyne*, *Telotylenchidae*, *Tylenchidae*, *Hoplolaimidae* ainsi que des nématodes non phytoparasites.

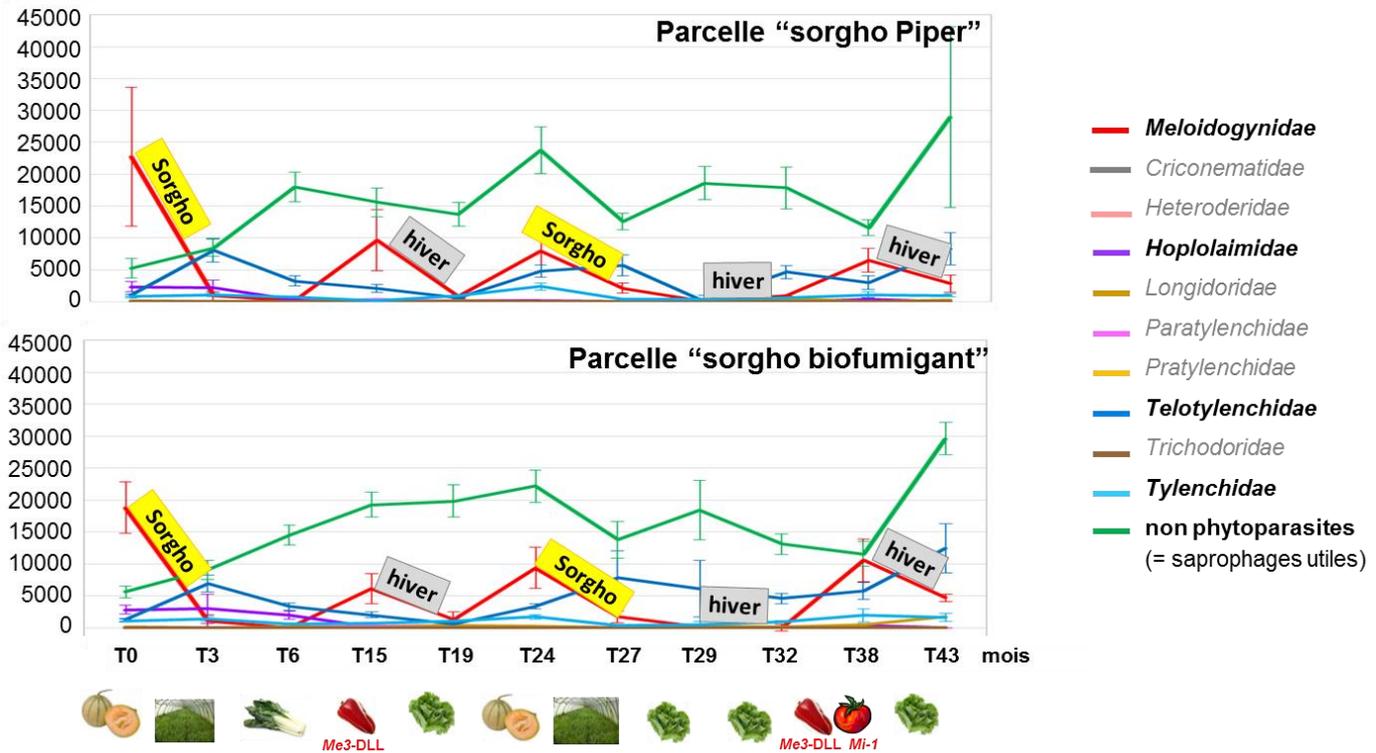


Figure 7 : Evolution des différentes espèces de nématodes dans la parcelle avec sorgho 270911 (nombre de nématodes / dm<sup>3</sup> de sol)

On peut constater une évolution importante des populations selon les cultures en place. La tendance au bout de 4 ans avec ce système de culture est à une réduction des *Meloidogyne* et autres phytoparasites en faveur d'une augmentation des nématodes non phytoparasites. Il s'agit d'une évolution favorable aux cultures mais cet équilibre est dépendant de la sensibilité aux *Meloidogyne* des cultures mises en place. D'après ce graphique, les cultures maraîchères d'été favorisent les *Meloidogyne* alors que les *Telotylenchidae* semblent se développer avec le sorgho.

Lors de ces analyses, les prélèvements effectués en fin de culture de solanacées en 2015 ont mis en évidence de nombreuses bactéries *Pasteuria penetrans* connues pour être parasites des *Meloidogyne*. Si le contrôle des nématodes par ces bactéries n'a pas été démontré sur la parcelle, il apparaît cependant intéressant comme indicateur de diversité biologique dans le sol.

Tableau 1 : Analyses quantitatives des *Meloidogyne* sp. dans le sol (en nombre de larves de nématodes/dm<sup>3</sup> de sol) réalisées par l'IRD et impact sur les cultures

Date de la mesure	Nb moyen de nématodes /dm <sup>3</sup> de sol		Impact sur les cultures
	Piper	270911	
10 juillet 2012 (arrachage melon)	22 700	18 833	Oui
3 octobre 2012 (après le sorgho)	1 380	3 160	Non
7 janvier 2013 (arrachage blette)	160	10	Non
22 octobre 2013 (arrachage poivron)	9673	6075	Non
17 février 2014 (arrachage salade)	838	1340	Non
3 juillet 2014 (arrachage melon)	7940	9398	Oui
26 septembre 2014 (arrachage sorgho)	2133	1715	Non
9 décembre 2014 (arrachage salade 1)	80	130	Non
3 avril 2015 (arrachage salade 2)	905	63	Non
22 septembre 2015 (arrachage poivron/tomate)	6487	10587	Non
5 février 2015 (arrachage scarole)	2850	4725	Oui

Les effectifs de *Meloidogyne* ont baissé dans la parcelle depuis les premières analyses sur melon mais restent très élevés et on constate un retour rapide des populations lorsque les conditions lui sont favorables (plante hôte, températures élevées). L'impact sur les cultures n'a pas été mesuré quantitativement mais un développement ralenti des plantes a été observé lorsque les contaminations étaient élevées. C'est le cas notamment sur les melons et sur les scaroles en 2015. En mettant ces observations en parallèle durant ces 4 ans de suivi, on peut supposer qu'en salade, les teneurs au-dessus de 2000 *Meloidogyne*/dm<sup>3</sup> de sol provoquent des dégâts. Les sorghos ne sont pas sensibles. Pour le melon, le seuil semble s'approcher plus de 10000 nématodes/dm<sup>3</sup> de sol. Les solanacées greffées sont résistantes et le seuil de nuisibilité doit être plus élevé, le risque étant de développer des souches plus virulentes.

## 6. Conclusion

Le système étudié pendant 4 ans sur cette parcelle donne des résultats encourageants sur la gestion des nématodes à galles. Si l'on considère les quantifications dans le sol, les populations de *Meloidogyne* ont globalement diminué grâce à une interculture de sorgho et la rotation avec des cultures résistantes (poivron et tomate greffés). Cependant cette gestion semble fragile car les niveaux de populations augmentent rapidement sur les cultures sensibles qui sont encore affectées par le développement de galles importantes. Le niveau de contamination des cultures (% de plantes touchées et IGR) n'a finalement peu évolué. Il apparaît clairement que les *Meloidogyne* seront présents en permanence dans les sols maraîchers avec ce système. La solution est de gérer ces populations pour qu'elles n'atteignent pas des seuils de nuisibilité.

Sur cette parcelle avec une grande diversité de populations de nématodes, on a pu montrer que les populations de nématodes évoluent en fonction des cultures mises en place. Le pouvoir d'infestation des *Meloidogyne* est très important : leur reproduction sur culture sensible est rapide et leur permet de coloniser le sol malgré la présence d'autres espèces. La progression des nématodes non phytoparasites est encourageante et va dans le sens de l'occupation favorable de la rhizosphère.

La comparaison des deux variétés de sorgho ne montre pas de différence pour leur effet sur les nématodes. Des interrogations sur les modes d'action du sorgho ont pu être levées grâce aux travaux de l'INRA de Sophia Antipolis. Les sorghos peuvent agir sur les nématodes par deux modes d'action complémentaires : la biofumigation (plus importante pour 270911) et le piégeage dans les racines (plus important pour Piper). Les sorghos testés ne sont pas considérés comme résistants aux nématodes. Ils sont définis comme plantes mauvaises hôtes car les *Meloidogyne* parviennent à réaliser un cycle de développement sur ces variétés si elles sont laissées en place trop longtemps.

Des travaux complémentaires sont nécessaires pour valider un système efficace dans le contrôle des nématodes. Une meilleure compréhension de la dynamique microbienne du sol et de l'effet des intercultures permettront d'adapter des techniques culturales qui peuvent réduire les dégâts de ces ravageurs. D'autres pistes doivent également être testées.

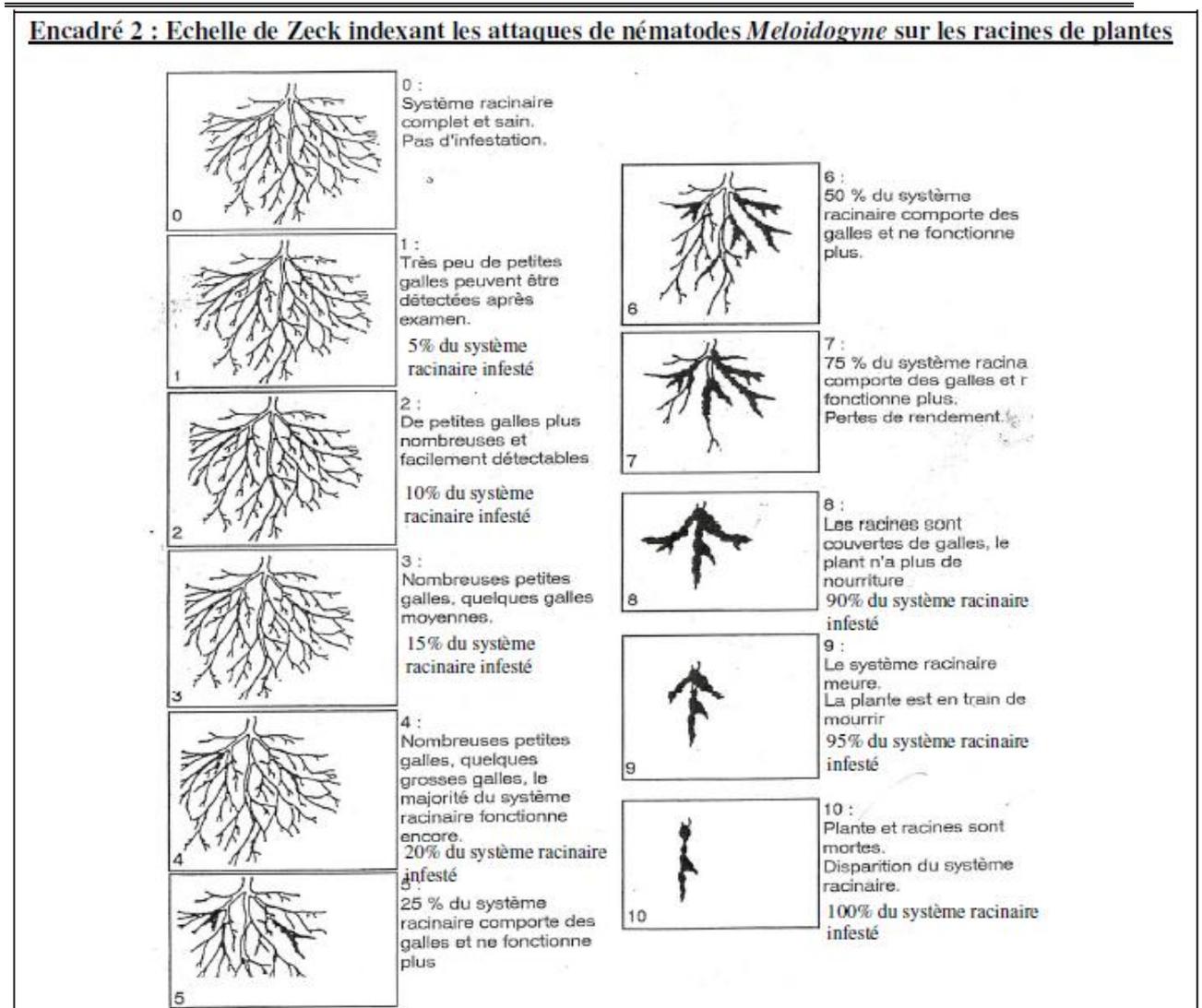
Renseignements complémentaires auprès de :  
C.GOILLON, APREL, 13210 St-Rémy-de-Pce, tél 04 90 92 39 47, goillon@aprel.fr

Action A845 et A846

<p><b>Réalisé avec le soutien financier de :</b></p>	 <p><b>FranceAgriMer</b> ÉTABLISSEMENT NATIONAL DES PRODUITS DE L'AGRICULTURE ET DE LA MER</p> <p><i>La responsabilité de FranceAgriMer ne saurait être engagée</i></p>	 <p>Liberté • Égalité • Fraternité REPUBLIQUE FRANÇAISE</p> <p>MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE DE L'ALIMENTATION DE LA PÊCHE DE LA RURALITÉ ET DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE</p> <p><small>avec la contribution financière du compte d'affectation spéciale "Développement agricole et rural"</small></p> <p><i>La responsabilité du Ministère chargé de l'agriculture ne saurait être engagée</i></p>
--	--	---

# ANNEXES

## ANNEXE 1 : échelle de Zeck (1971)



ANNEXE 2 : Relevés climatiques 2015

