
**PROTECTION CONTRE NEMATODES A GALLES : INTERET DE
LA GESTION DES ROTATIONS CULTURALES**

Hélène VEDIE et Benjamin PERRIN (stagiaire)

Abstract :

Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) are an increasing problem for mediterranean production of organic vegetables under greenhouse. The effects of “alternative” methods (soil solarisation, nematicidal amendments or green manures...) are too limited in heavy infestation conditions. The aim of this study, conducted in south-eastern France, is to evaluate, in high infestation conditions, the efficiency of inserting poor host plants in rotation to limit the nematodes reproduction. We started a 4 years trial in 2008, to evaluate the effectiveness of a poor-host rotation in comparison with a classic farming system consisting in salad crop in autumn and zucchini crop in spring. First results are encouraging, showing fewer attacks on the poor-host rotation, but the economic result is lower. We will continue this study in the next 2 years, to see if the break in the biological cycle of meloidogyne with poor host crops during 3 years allows a significant reduction of the infestation level on a same susceptible crop in the two cropping systems. At the same time, we identified the lowest susceptible species by surveying organic farmers, and we then verified in the field the host status of the 12 identified species. The comparison of the 12 vegetable species' susceptibility during 2009 summer allowed us to show that all these species are less susceptible than a salad control. Moreover, we determined 5 poor hosts of meloidogyne which could be cultivated to reduce the infestation level : onion, fenel, leek, lamb's lettuce and rocket salad.

Résumé :

Les nématodes à galles (*Meloidogyne* spp.) sont des ravageurs particulièrement préoccupants en maraîchage biologique sous abri en zone méditerranéenne. Les techniques « alternatives » ne donnent pas de résultats suffisants en conditions de forte infestation. Le but de cette étude, menée dans le Sud-Est de la France, est d'évaluer l'intérêt de l'insertion de plantes mauvais hôtes des nématodes dans la rotation dans des conditions de forte infestation. Un essai « rotation », dans lequel nous comparons une rotation « moins sensible » à une rotation témoin sensible faisant alterner une culture de salade à l'automne et une courgette au printemps, a été mis en place en 2008 pour 4 ans. Les premiers résultats techniques sont encourageants, avec moins d'attaques sur la rotation moins sensible, mais les résultats économiques sont nettement inférieurs dans cette modalité. L'étude se poursuit pour voir si la différenciation des cultures pendant 3 ans se traduit par des différences de niveau d'infestation sur une même culture sensible en 2011. En parallèle, nous avons identifié 12 espèces moins sensibles parmi les légumes cultivés dans la région par enquêtes auprès de producteurs, et évalué leur statut d'hôte par des essais au champ en comparaison à un témoin salade. Les résultats montrent que les 12 espèces sont toutes moins sensibles que la salade, et que 5 sont particulièrement moins touchées : l'oignon, le fenouil, le poireau, la mâche et la roquette. Ces espèces devraient être cultivées en priorité pour diminuer les niveaux d'infestation.

1- OBJECTIF ET CONTEXTE :

Les nématodes à galles (*Meloidogyne* spp.) sont des ravageurs particulièrement coriaces : la durée de leur cycle est courte (3 à 8 semaines), ils sont très polyphages (cultures et adventices), et peuvent descendre profondément dans le sol, ce qui rend la lutte très difficile. Les dégâts sont particulièrement importants en maraîchage sous abri, où les conditions de leur multiplication sont optimales (températures élevées, succession de cultures sensibles) et les mesures prophylactiques (rotations, précautions sanitaires, variétés résistantes...) sont insuffisamment mises en œuvre par les producteurs.

Le GRAB étudie depuis plus de 10 ans différents moyens de lutte utilisables contre les nématodes à galles (*Meloidogyne* spp.) en Agriculture Biologique : sous-produits végétaux (tourteaux de ricin et de neem, extraits d'ail) ou animaux (chitine...), engrais verts nematicides, microorganismes, désinfection vapeur... Ces techniques utilisées seules donnent des résultats aléatoires (Védie & Lambion, 2006). Leur

combinaison sur plusieurs années améliore l'efficacité, qui reste toutefois insuffisante en conditions de forte infestation (Védie, 2008). Par contre, l'introduction de plantes non hôtes telles que le fenouil ou l'oignon, a eu un effet supérieur aux traitements étudiés dans les essais. Cette observation montre l'importance de faire des rotations et d'insérer des cultures non hôtes dans cette rotation. Une étude a donc débuté en 2008 afin d'identifier les cultures maraîchères moins sensibles aux nématodes à galles et d'évaluer l'effet à court et moyen terme de différentes plantes de coupure dans les rotations méditerranéennes.

En 2009, le programme de travail s'est centré sur 2 études complémentaires :

- la poursuite de l'essai « rotation » mis en place en 2008, où on évalue la sensibilité comparée de deux rotations,
- un essai « sensibilité des cultures » pour évaluer la sensibilité de 12 espèces maraîchères identifiées lors d'enquêtes en 2008 (voir fiche GRAB L 08/LR 01).

2- ESSAI « ROTATION »:

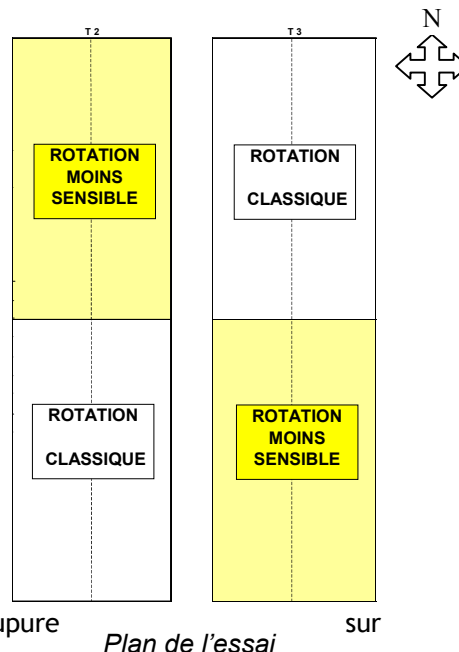
2.1 Matériel et méthodes :

2.1.1 Dispositif expérimental

Site : Le dispositif expérimental est situé chez un maraîcher en AB à Marguerittes (30), dans deux tunnels (T2 et T3) sur lesquels les problèmes de nématodes à galles sont importants et récurrents depuis plusieurs années.

Dispositif : essai à 2 modalités et 2 répétitions en Blocs de Fischer. Parcelles élémentaires de 8 x 30 = 240 m².

Modalités : Les 2 rotations sont différenciées depuis l'automne 2008. La rotation témoin, couramment pratiquée par ce producteur, fait alterner 2 cultures sensibles : courgette et salade. La rotation « moins sensible » fait alterner 2 cultures « mauvais hôtes », identifiées à partir d'enquêtes auprès des producteurs et de la bibliographie (Védie, 2008). En 2008/2009, il s'agit de fenouil et épinard, et à l'automne 2009, de mâche. L'été, les tunnels sont solarisés. En troisième année d'essai, on cultivera une courgette dans les 2 modalités afin d'évaluer l'impact des deux années de coupure le niveau d'infestation (voir planning).



Plan de l'essai

2008												2009												2010												2011											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43					
Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Jun	Jul.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Jun	Jul.	Aou	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Janv	Fév.	Mars	Avril	Mai	Jun	Jul.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv	Fév.	Mars	Avril	Mai	Jun	Jul.					
T2 sud				Courgette				Salade				Courgette				Salade				Courgette				Salade				Courgette				Salade				Courgette				Salade							
T3 nord								Solarisation								Solarisation								Solarisation								Solarisation								Solarisation							
T2 nord								Fenouil								Epinard								Mâche								Culture mauvais hôte (à choisir)								Culture mauvais hôte (à choisir)							
T3 sud																																															

Planning de l'essai : réalisé 2008-2009 et prévisionnel 2010-2011

2.1.2 Conditions de culture

Précédents (automne 2008-9): **Batavia blonde** en rotation témoin / **Fenouil** en rotation moins sensible.

Cultures de printemps 2009 :

- **Rotation témoin :** Courgette, variété Géode (Voltz).
Plantation : 12/03/2009 - Récolte : jusqu'au 30 juin
- **Rotation moins sensible :** Epinard, variété Impérial (Fabre).
Plantation : 12/03/2009 - Récolte : 15 avril (T2) - 28 avril (T3)

Solarisation : du 13 juillet au 12 octobre

Cultures d'automne 2009 :

- **Rotation témoin :** Batavia blonde, variété Kismy (Voltz)
T2 Sud : Plantation : 21/10/2009 - Récolte : 20 au 30/12
T3 Nord : Plantation : 14/10/2009 - Récolte : 1er au 15/12

- **Rotation moins sensible : Mâche**, variétés Agathe, Trophy et Jade (Clause).
- T2 Nord : Plantation : 21/10/2009 - Récolte : 20/12
T3 Sud : Plantation : 14/10/2009 - Récolte : fin novembre

2.1.3 Mesures et observations :

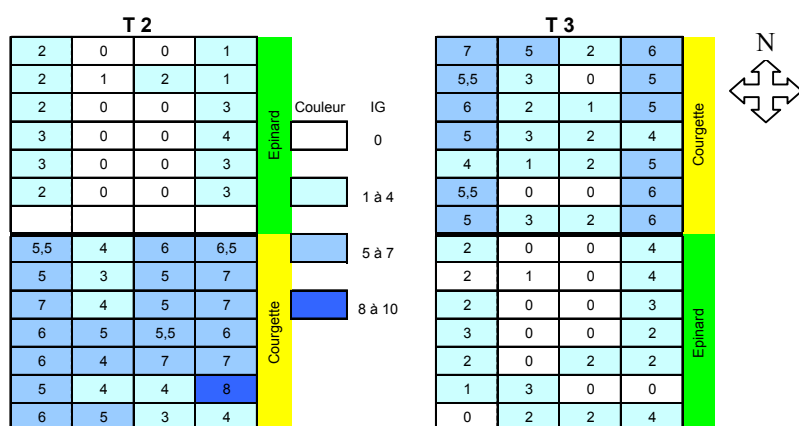
Mesures des infestations de *meloidogyne* spp. :

Cartographie de l'infestation dans les 2 tunnels : à la fin de chaque culture, observation des racines sur chaque rang tous les 2 arceaux (4m), soit 28 plants par parcelle élémentaire. Une note de 0 (pas de galles) à 10 (racines couvertes de galles, plant dépérissant) est attribuée à chaque système racinaire selon l'échelle de Zeck (1971). Cette cartographie permet de disposer à la fois de la répartition des dégâts dans l'espace et de l'évolution du degré d'infestation dans le temps.

Bilan économique des deux rotations de l'essai

2.2- Résultats - discussion :

2.2.1 Indice de galles sur cultures de printemps : IG 2 (IG 0 et IG 1 réalisés en 2008)



- La cartographie des indices de galles montre, comme les années précédentes, une infestation plus forte sur les rangs de bordure que sur les rangs centraux. Les indices de galles sont significativement inférieurs sur épinard que sur courgette, ceci étant probablement la résultante d'une moindre sensibilité de l'épinard et d'une durée de culture plus courte (1,5 mois pour l'épinard et 3,5 mois pour la courgette) qui plus est en période moins chaude.
- Les valeurs moyennes des indices de galle sont récapitulées dans le tableau ci-dessous.

IG 2	BLOC		
	T2	T3	
Epinaud	1,3 A	1,5 A	1,4
Courgette	5,4 B	3,6 B	4,5

Indices de galles IG 2 – Courgettes et épinards 2009

2.2.2 Indices de galles sur cultures d'automne : IG 3

La cartographie des Indices de galles mesurés sur salades et mâches figure page suivante. Les mesures ont été réalisées sur les 5^{ème} rangs à partir des bordures et sur les 5^{ème} rangs à partir du centre des tunnels. On garde les mêmes emplacements pour chacune des notations sur cultures d'automne chaque année.

Ces rangs correspondent :

- aux anciens rangs de la culture de courgette pour les rangs de bordure (rangs 4,5 et 6 de la culture d'automne en partant du bord),
- aux passe-pieds pour les rangs centraux, la courgette dans ces zones se superposant plutôt aux rangs 2,3 et 4 de la culture d'automne (en partant du centre).

IG 12/01		T 2						IG 10/12		T 3			
0	0	0	0		Mâche	Couleur IG 0	4	3	0	3	Batavia blonde		
0	0	0	0				2	0	2	0			
0	0	1,5	2				0	0	0	0			
1	0	0	1				0	0	0	1			
0	0	0	1				2	1	0	3			
1	0	0	3		1 à 4	0	0	0	3	Batavia blonde			
1	0	0	1,5			5	0	0	5				
5	2	0	6			0	0	0	0				
6	0	0	7		5 à 7	0	0	0	0		Mâche		
5	0	1	4			0	0	0	0				
7	0	0	6			0	0	0	0				
5	0	2	7		8 à 10	1	0	0	0	Mâche			
7	0	0	4			0	0	0	1,5				
7	0	0	7			1	0	0	1				
6	1	2	7		0	0	0	1	Mâche				
											Mâche		
										Mâche			
												Mâche	
													Mâche
									Mâche				

IG 10/12		T 3		
4	3	0	3	Batavia blonde
2	0	2	0	
0	0	0	0	
0	0	0	1	
2	1	0	3	
0	0	0	3	
5	0	0	5	
0	0	0	0	Mâche
0	0	0	0	
0	0	0	0	
1	0	0	0	
0	0	0	1,5	
1	0	0	1	
0	0	0	1	



La cartographie montre l'infestation plus importante sur les anciens rangs de courgette (rangs de bordure), et une infestation du T2 globalement plus importante que le T3. La différence de planning entre les 2 tunnels peut l'expliquer en partie, car on a mesuré les IG un mois plus tard dans le T2.

La mâche, s'avère **peu sensible** aux *Meloidogyne* en comparaison de la batavia, avec un indice de galle moyen de 0,3 contre 2,2 (voir tableau des IG 3).

IG 3	BLOC		
	T2	T3	
Mâche	0,5	0,2	0,3
Batavia	3,2	1,2	2,2
Moyenne	1,8	0,7	

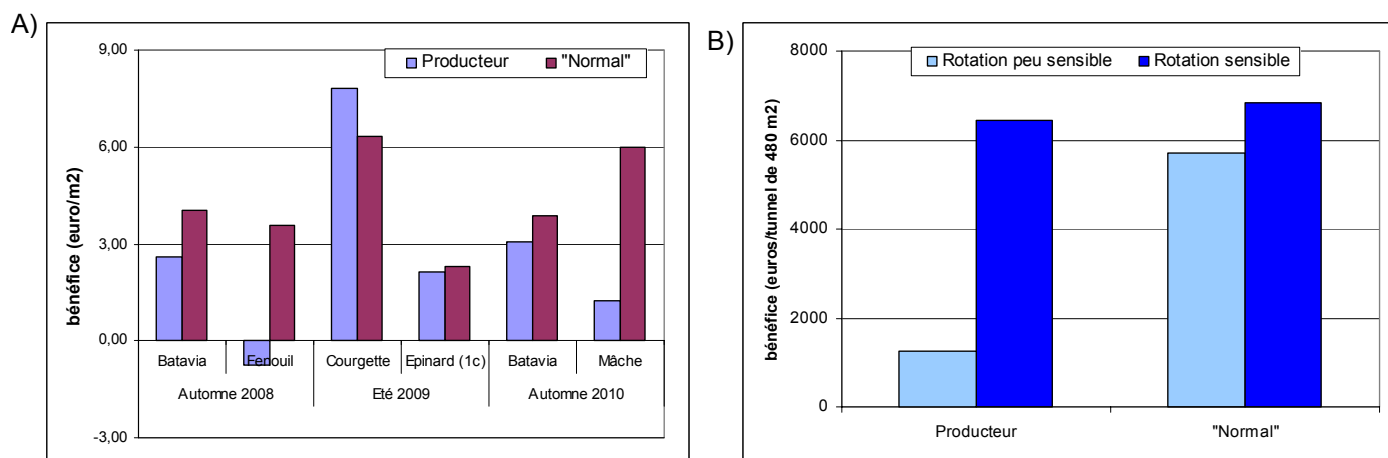
Indices de galles IG 3 – Mâche et Batavia 2009

2.2.3 Résultats cultureux et économiques :

Plusieurs problèmes cultureux sont apparus sur l'essai, notamment sur les cultures de la rotation « peu sensible ». De ce fait, les rendements de ces cultures sont en général nettement inférieurs à ce qu'on peut en attendre pour un résultat « normal » en AB. Les principaux problèmes rencontrés ont été :

- à l'automne 2008 : sur fenouil, des dégâts de GEL et de pucerons noirs, et peut-être une mauvaise tolérance aux infestations par *meloidogyne* ayant affecté le rendement. Ainsi, le rendement obtenu par le producteur n'est que de 0,66 kg/m², alors que l'on peut en attendre 3,5 kg. La marge de cette culture a même été négative ! (voir graphique A page suivante).
- à l'automne 2009 : de gros problèmes d'oïdium et de mévente de la mâche ont fortement handicapé le résultat de cette culture, car tout n'a pas été récolté. Ainsi, le rendement commercial (vendu) n'est que de 0,77 kg/m², alors que le potentiel de production est du double.

En conséquence, le bilan économique global sur l'automne 2008 et l'année 2009 (3 cultures) est largement au détriment de la rotation « peu sensible » qui génère 5 fois moins de bénéfices que la rotation sensible témoin (graphique B ci-dessous). Si les cultures, et notamment le fenouil et la mâche, avaient donné des rendements plus proches de la normale, la différence de résultat économique ne serait « que » de 15 % environ entre les 2 rotations.



Résultats économiques 2008-2009 : A) comparaison des bénéfices par culture, résultats du producteur et résultat « normal » (potentiel de rendement) - B) comparaison des bénéfices des 2 rotations pour un tunnel de 480 m2 (somme des 3 cultures)

3- ESSAI « SENSIBILITE DES CULTURES »:

3.1 Matériel et méthodes :

3.1.1 Dispositif expérimental

Sites : Le dispositif expérimental a été implanté sur 3 sites sous tunnel froid, chez des maraîchers en AB confrontés depuis de nombreuses années aux problèmes de nématodes à galles. Le sol, calcaire de texture limono-argilo-sableuse, a des caractéristiques semblables sur les 3 sites. Les espèces de *meloidogyne* sont : *m. incognita* et *hapla* sur 2 sites, et *m. arenaria* sur un site. Sur les 3 sites, l'essai a été implanté sur une planche de culture où les indices de galle de la culture précédente étaient homogènes.

Caractérisation des 3 sites de l'essai

Site	1	2	3
Lieu	Marguerittes (30)	Mauguio (34)	Aix en Pce (13)
Producteur	Mr Hévin	Mr Menoury	Mr Audier
Espèce(s) de Meloidogyne	<i>M. incognita</i> et <i>hapla</i>	<i>M. incognita</i> et <i>hapla</i>	<i>M. arenaria</i>
Précédent cultural	Persil	Salade	Salade
I.G. initiaux (min-max)	5-9	2-3	2-5

Les 13 espèces évaluées dans l'essai « sensibilité »

Dispositif : Sur chaque site et pour chaque espèce, 40 plants des espèces évaluées ont été repiqués, avec une répartition aléatoire.

Modalités : 12 espèces (tableau ci-contre), identifiées comme moins sensibles par des enquêtes réalisées en 2008 auprès de producteurs et experts, ont été évaluées en comparaison à un témoin « salade ». La salade (batavia blonde) a été choisie comme témoin car elle se cultive généralement sur des crèneaux semblables aux autres espèces testées et qu'elle est reconnue comme étant sensible aux nématodes à galles.

Espèce	Famille botanique	Variété	Semencier
Mâche	Valérianeae	Rodion	Nunhems
Fenouil	Apiaceae	Orion	Bejo
Coriandre	Apiaceae		Agrosemens
Persil	Apiaceae	Géant d'Italie	Voltz
Ail	Alliaceae	Bianco	
Oignon	Alliaceae	De Rebouillon	Essem bio
Poireau	Alliaceae	Fantassin	Gautier
Navet	Brassicaceae	Oceanic	Gautier
Chou rave	Brassicaceae	Azur star	Voltz
Roquette	Brassicaceae	Cultivée	Ducrettet
Epinard	Chénopodiaceae	Tarpy	Enza Zaden
Fraise	Rosaceae	Ciflorrette	
Batavia blonde	Asteraceae	Tourbillon	Rijk Zwan

3.1.2 Conditions de culture

Calendrier : Les plants ont été repiqués mi-mai. La pression parasitaire étant plus importante en période chaude, cela permet de mieux discriminer les différentes espèces. Les plantes ont été arrachées 1,5 mois après plantation.

Calendrier de l'essai

Site	1	2	3
Lieu	Marguerittes (30)	Mauguio (34)	Aix en Pce(13)
Producteur	Mr Hévin	Mr Menoury	Mr Audier
Date de plantation	19/05/09	19/05/06	18/05/09
Date d'arrachage	06/07/09	01/07/09	29/06/09

Les espèces évaluées sont plutôt des cultures d'automne. De ce fait, elles n'étaient pas dans des conditions optimales de développement, notamment à cause des températures élevées pendant l'essai. L'ail, la fraise, la mâche, le fenouil et le poireau se sont particulièrement mal développés. L'ail et la fraise n'ont d'ailleurs pas pu être pris en compte dans les résultats : trop de plants avaient dépéri dans le cas de l'ail, et les systèmes racinaires des fraisiers étaient nécrosés (mauvaise reprise de plants vraisemblablement trop âgés).

3.1.3 Mesures et observations :

- Notation des indices de galles (IG) sur les 13 espèces lors de l'arrachage selon l'échelle de Zeck (note de 1 à 10)

- Dénombrement des masses d'œufs après coloration à l'éosine sur 20 plantes par espèce et par site choisies aléatoirement parmi celles qui avaient bien repris. Attribution d'un indice de masses d'œufs, de 0 à 5, selon l'échelle de correspondance suivante (Holbrook, 1983) :

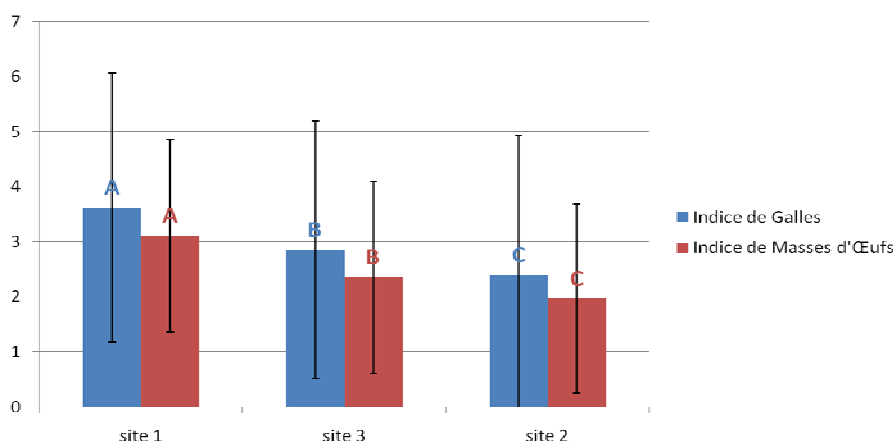
Nombre de masses d'œufs	Indice de Masses d'œufs correspondant
0	0
1-2	1
3-10	2
11-30	3
31-100	4
+ de 100	5

3.2- Résultats - discussion :

3.2.1 - Comparaison des sites

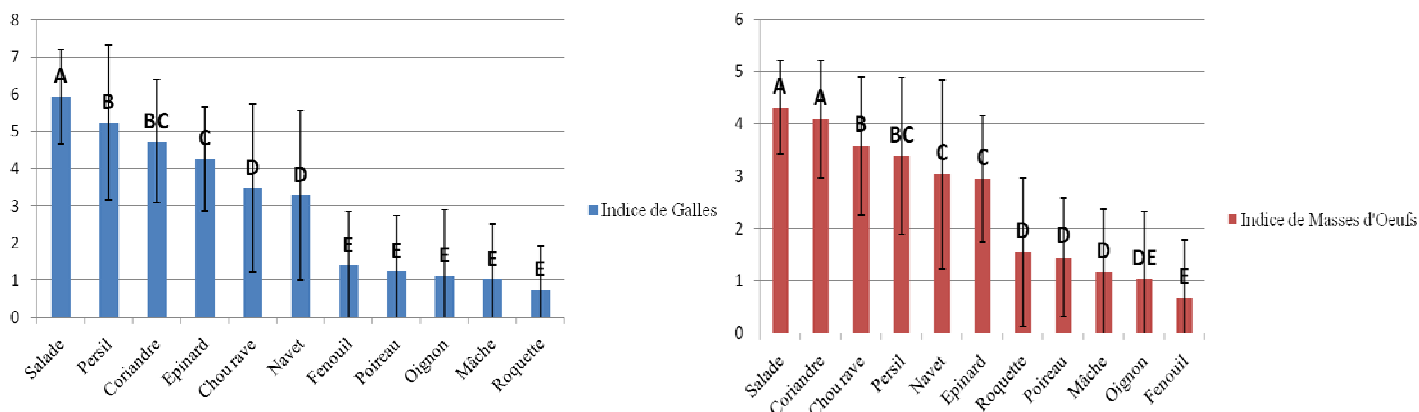
En comparant les moyennes d'indices de galles et de masses d'œufs des trois sites toutes espèces végétales confondues, on constate qu'ils sont significativement bien distincts les uns des autres. Deux raisons principales peuvent expliquer ces différences :

- Les niveaux d'infestations initiaux étaient différents : IG initiaux site1>site3>site2,
- Les espèces de nématodes à galles présentes sont différentes : sites1 et 2 différents du site 3.



3.2.2 - Comparaison du niveau de sensibilité des espèces

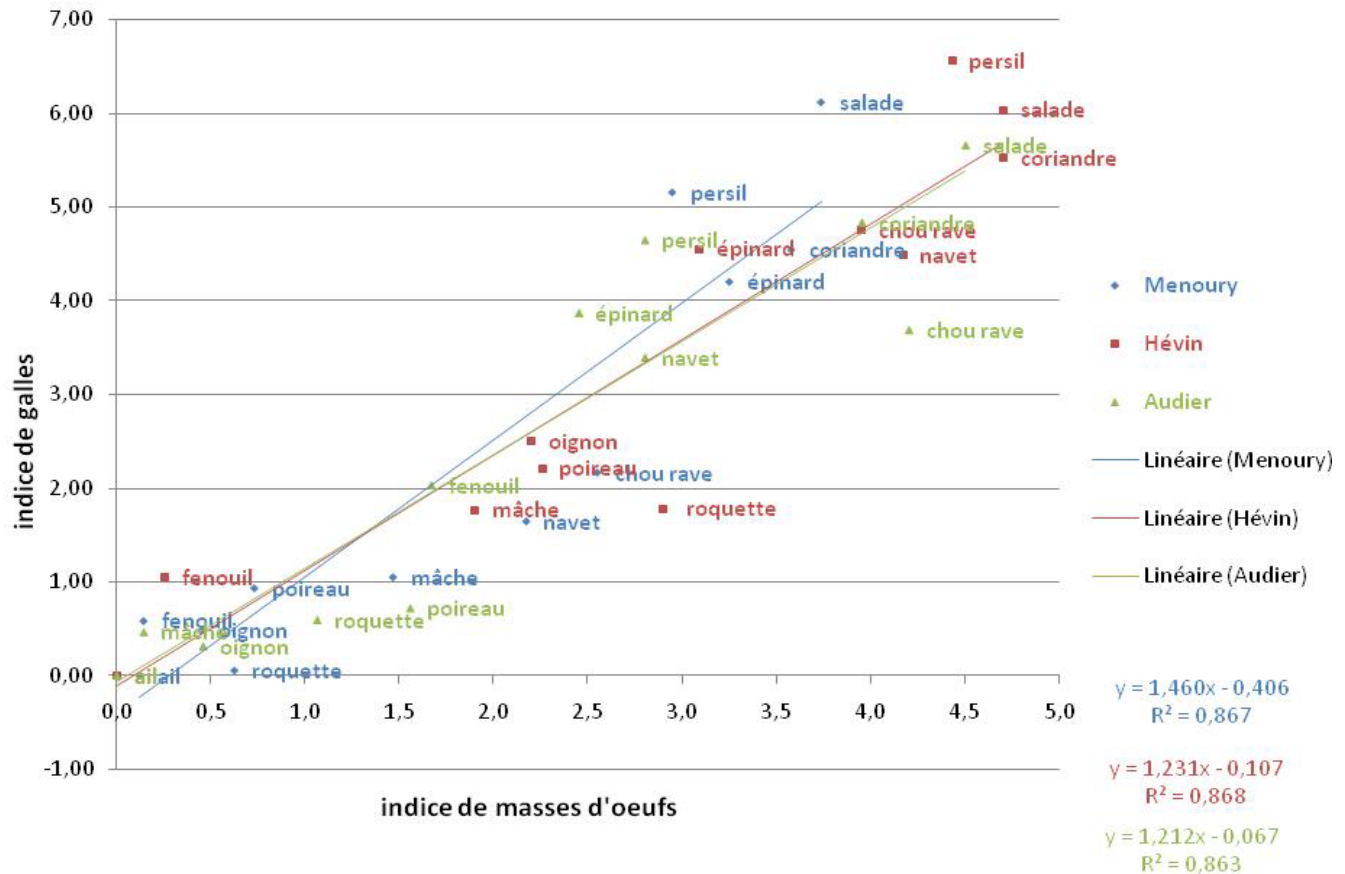
Les espèces testées sont toutes moins sensibles que la salade (IG inférieurs) et limitent la reproduction des nématodes à galles (IMO inférieurs). La roquette, le poireau, la mâche, l'oignon et le fenouil sont moins sensibles que les autres espèces, et sont susceptibles de réduire les populations de nématodes.



3.2.3 - Corrélation entre indices de masses d'œufs et indices de galles

Pour chaque site les indices de masses d'œufs et de galles sont bien corrélés ($R^2 > 0,8$), et les comparaisons des 3 droites de régression deux à deux n'ont pas révélé de différences significatives. Le

site et les espèces de *Meloidogyne* spp. présentes n'ont donc pas d'influence sur la corrélation entre IG et IMO. La corrélation observée entre IG et IMO pour les différentes espèces permet de dire qu'une espèce ayant moins de galles qu'une autre aura aussi moins de masses d'œufs. Cette extrapolation n'a toutefois été vérifiée que pour les 13 espèces et variétés testées poussant pendant une même période de culture et dans les mêmes conditions pédoclimatiques. Dans ce cas on pourra alors faire l'hypothèse qu'une espèce plus tolérante qu'une autre sera aussi plus efficace pour diminuer la population de nématodes à galles si elle est introduite en rotation.



Dans cet essai, on a également observé (pas de données chiffrées) que les masses d'œufs avaient des tailles variables suivant les espèces : la mâche par exemple présentait des masses d'œufs quasiment invisibles à l'œil nu. Il est donc possible qu'elles renferment moins d'œufs que les masses plus grosses observées sur d'autres espèces (salades par exemple). La viabilité des œufs peut aussi être différente d'une espèce à l'autre, il conviendrait de vérifier ces aspects sur la reproduction des nématodes dans des manipulations d'éclosion au laboratoire.

Cet essai a permis de sélectionner quelques espèces qui semblent moins sensibles aux nématodes à galles : la roquette, le poireau, la mâche, l'oignon et le fenouil. La sensibilité peut varier au sein d'une même famille botanique : on observe par exemple des comportements très différents entre la roquette et le chou rave, tous deux appartenant à la famille des Brassicacées, alors que les Alliées testées s'avèrent toutes peu sensibles.

La période de culture a aussi probablement un effet sur l'expression des sensibilités, car les espèces les mieux adaptées à de fortes chaleurs comme la roquette, se sont mieux développées et ont ainsi pu acquérir une meilleure tolérance vis à vis des nématodes à galles. Il conviendrait donc de renouveler l'essai sur la période habituelle de culture de ces espèces (automne) de façon à valider les résultats. De plus, cette manipulation n'a concerné qu'une variété de chaque espèce, or la sensibilité varie aussi avec la variété. Il faudrait donc des manipulations complémentaires avec l'évaluation de plusieurs variétés par espèce, mais cela deviendrait assez lourd à réaliser.

4- CONCLUSION

L'essai « sensibilité des espèces » nous a permis de mieux connaître le niveau de sensibilité de 12 espèces qui étaient ressorties comme peu sensibles dans les enquêtes réalisées en 2008. Les espèces testées s'avèrent toutes moins sensibles que la salade, mais il y a de grosses variations selon les espèces, la coriandre, le chou rave et le persil s'avérant par exemple assez sensibles. Les espèces identifiées comme les plus intéressantes (roquette, poireau, mâche, oignon et fenouil) seront insérées en priorité dans l'essai « rotation ». Il est intéressant de noter que la sensibilité peut varier selon les conditions climatiques : le fenouil, par exemple, ressort parmi les plantes les moins sensibles (IG entre 0,6 et 2 selon les sites) dans l'essai sensibilité alors qu'il était assez infesté dans l'essai rotation à l'automne 2008 (IG de 3,1). Inversement, l'épinard ressort moyennement dans l'essai sensibilité (IG entre 3,8 et 4,6 selon les sites) alors qu'il était peu infesté dans l'essai rotation (IG de 1,4). Un nouvel essai « sensibilité » pourrait être réalisé à l'automne, créneau plus habituel de ces cultures, de façon à compléter ces premiers résultats. Les premiers résultats obtenus sur l'essai « Rotation » mis en place en 2008 sont encourageants : les indices de galle mesurés pendant les 3 premières cultures de la modalité « moins sensible » sont inférieurs à ceux observés sur les cultures sensibles de la modalité témoin. Cependant, le bénéfice généré par la rotation moins sensible s'avère nettement inférieur, notamment en raison de la moindre rentabilité de cultures comme l'épinard par rapport à des cultures de printemps de type courgette à forte valeur ajoutée. Cette moindre rentabilité risque fort de limiter l'engouement des producteurs pour l'insertion de plantes mauvais hôtes dans leurs rotations, à moins que le niveau d'infestation soit tel qu'il pénalise trop fortement les rendements. Quoiqu'il en soit, la différenciation des cultures dans l'essai rotation nous permettra de savoir si 2 années de cultures moins sensibles permettent de diminuer significativement les populations de nématodes. L'effet sera mesuré en 2011, où la même culture sensible sera mise en place dans les 2 types de rotation.

ANNEE DE MISE EN PLACE : 2008 - ANNEE DE FIN D'ACTION : non définie

ACTION : nouvelle ○ en cours ● en projet ○

Renseignements complémentaires auprès de : H. Védie - GRAB Agroparc BP 1222 84911 Avignon
cedex 9 - tel : 04 90 84 01 70 - fax : 04 90 84 00 37 - E-mail : helene.vedie@grab.fr

Mots clés du thésaurus Ctifl : nématodes à galles - meloidogyne - indice de galle - rotation culturale -
indice de masse d'œufs - sensibilité

Date de création de cette fiche : janvier 2010

