

BULLETIN D'INFORMATION MARAICHAGE DU GRAB

SOMMAIRE

- ❑ Agenda
- ❑ Formations
- ❑ Dossier : De nouvelles pistes pour gérer les nématodes à galles

AGENDA

SALON TECH & BIO

le salon des techniques alternatives et bio
mardi 8 et mercredi 9 septembre 2009,
à Valence (Drôme)

Conférences « légumes » : désherbage,
valorisation des légumes bio (frais et transformé)
Démonstrations « légumes » :
destruction des faux semis, binage des cultures
tél : 04 75 82 40 21 - www.tech-n-bio.com

MIFFEL

salon méditerranéen des fruits et légumes
du mardi 13 au jeudi 15 octobre 2009,
au Parc des expositions d'Avignon
journée bio le 14 octobre
Renseignements : www.miffel.com
tél : 04 86 160 240 fax : 04 90 14 98 26

**JOURNEES TECHNIQUES ITAB - GRAB
FRUITS ET LEGUMES BIOLOGIQUES**
les mardi 8 et mercredi 9 décembre 2009,
à Paris (programme dans prochain MBI)

FORMATIONS EN MARAICHAGE BIOLOGIQUE

par le Chant des Arbres à Manosque (04),
période : 3 jours du 24 au 26 novembre 09
avec l'intervention du GRAB
Contact : Jean-Luc Petit tel : 04 92 78 53 19
jlpetit.arbo-bio@wanadoo.fr
www.arbobio.com

au CFPPA de Carpentras (Vaucluse) :
Certificat de spécialisation :

conduite de production en AB (fruits,
légumes, viticulture) et commercialisation
période : 7 mois de décembre 2009 à juin 2010
Contact : CFPPA de Carpentras (84) :
tel : 04 90 60 80 90 fax : 04 90 60 93 78
cfppa.carpentras@educagri.fr

MARAICHAGE BIO INFO : le bulletin devient trimestriel (et coloré)
Abonnement annuel (secrétariat du GRAB) : 25 € France - 30 € Etranger
Tel : 04 90 84 01 70 - fax : 04 90 84 00 37 - : secretariat@grab.fr

De nouvelles pistes pour gérer les nématodes à galles

Caroline Djian-Caporalino (INRA¹), Alain Arrufat (CIVAMBIO66²), et Hélène Védie (GRAB)

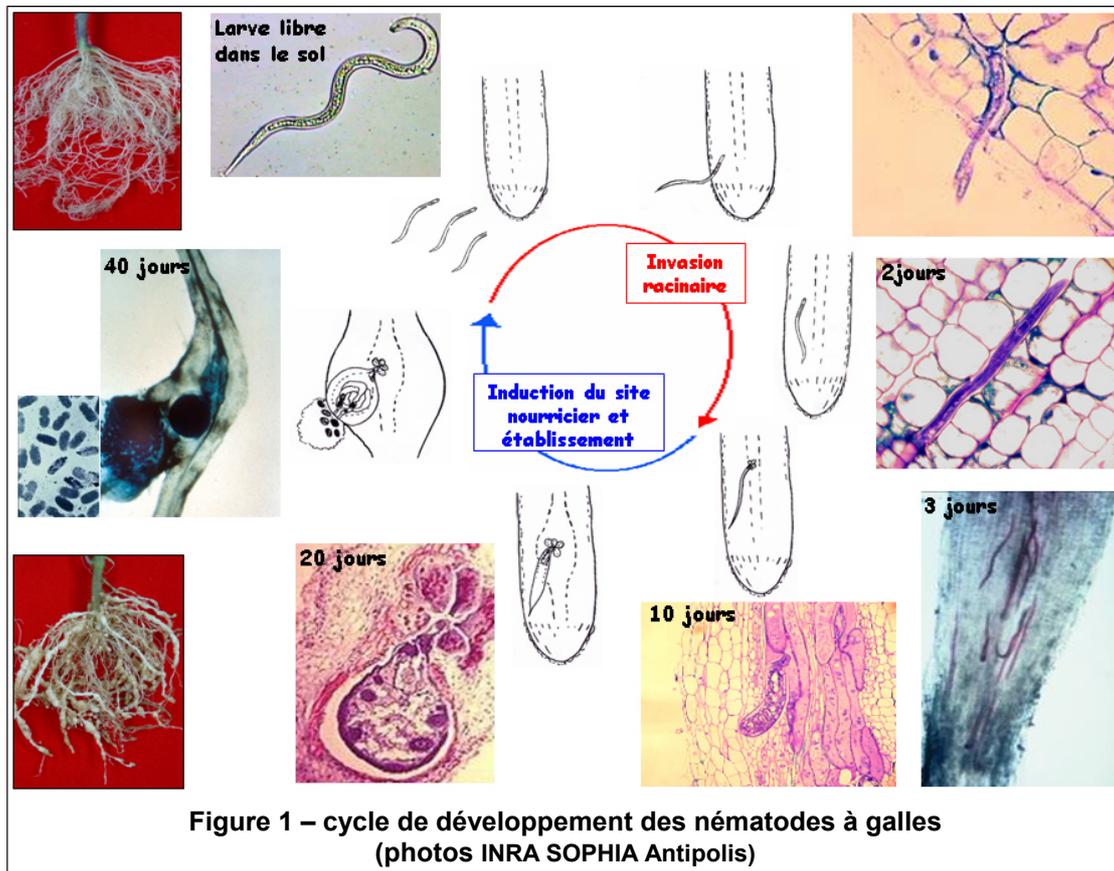
Cet article paraîtra également dans les revues Phytoma et PHM

Les nématodes parasites de plantes sont des **vers microscopiques** munis d'un stylet buccal servant à perforer les tissus du végétal hôte. Ils occasionnent des pertes agronomiques annuelles de **plusieurs dizaines de milliards d'euros** dans le monde entier (un tiers des pertes attribuées aux parasites et maladies !).

Les espèces causant les plus gros dégâts appartiennent au genre *Meloidogyne* (**Anguillule ou nématode à galles des racines**). Ce sont des endoparasites sédentaires : la larve fraîchement éclosée pénètre entièrement dans la racine et y accomplit l'ensemble de son cycle (*Figure 1*). En **3 à 8 semaines (selon la température)**, les larves deviennent des femelles obèses qui pondent à l'extérieur de la racine de **300 à 3000 oeufs** protégés dans une gangue mucilagineuse. **Plusieurs cycles** peuvent se succéder en une année et l'infestation peut alors atteindre **100.000 à 200.000 larves par kg de sol**, sur des **profondeurs pouvant être supérieures à 30 cm** (De Guiran, 1983).

¹ INRA, UMR Interactions Biotiques et Santé Végétale INRA / UNSA / CNRS, 400, Route des Chappes, BP 167, F-06903 Sophia Antipolis Cedex. E-mail: Caroline.Caporalino@sophia.inra.fr

² CIVAMBIO66, 19 Avenue de Grande Bretagne, F-66025 Perpignan Cedex



En induisant leurs sites nourriciers dans les racines, ces vers provoquent la formation de **galles typiques** de l'infection (Figure 2). En cas d'infestation forte, les galles peuvent envahir tout le système racinaire, perturbant l'absorption hydrique et minérale de la plante qui peut **dépérir rapidement**. Le « **seuil de nuisibilité** » ou « **limite de tolérance** » de la plante est d'environ 100 à 1000 individus par kg de sol ou 10 à 100 par gramme de racine (De Guiran, 1983). De plus, les nématodes provoquent des **lésions racinaires** qui favorisent d'autres pathogènes telluriques, fongiques ou bactériens. Les dégâts se présentent souvent par **taches dans un champ** et la **récolte peut parfois être réduite à néant** (Figure 2)³.

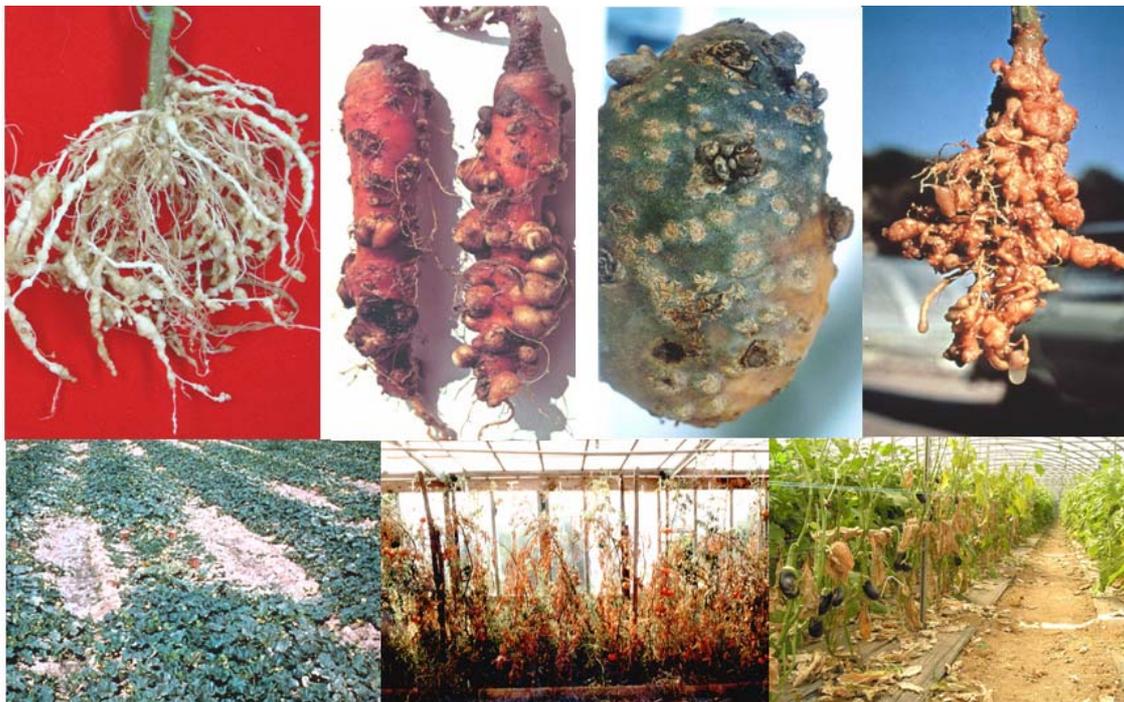


Figure 2 = dégâts sur racines de tomate, carotte, pomme de terre, concombre, melon, tomate (photos INRA SOPHIA Antipolis); et d'aubergine (photo F. Veyrier- CETA Aubagne)

³ Pour de plus amples détails sur leur biologie, symptômes et dégâts, lire le « Dossier Nématodes » dans PHM n° 392 de mai 1998.

Ces *Meloidogyne* parasitent plus de **5500 espèces végétales** (grandes cultures, plantes maraîchères, florales, fruitières...) (Blok *et al.*, 2008), sont le plus largement répandues sur le globe (zones intertropicales, régions tempérées chaudes et même Nord de l'Europe) et constituent un grave problème phytosanitaire **mondialement répandu**. Le problème est particulièrement préoccupant dans les **jardins potagers** et les **systèmes maraîchers méditerranéens** (Espagne, Afrique du nord, Sud de la France...) où les conditions optimales de leur développement sont réunies : températures élevées et successions de plantes sensibles (salades, cucurbitacées, solanacées...). Les attaques sont plus fortes en **sols sableux, légers, ou pauvres en matières organiques**. Le problème est présent depuis longtemps dans les exploitations menées en agriculture biologique. En conventionnel, le problème se révèle de plus en plus préoccupant et pourra devenir **dramatique dans les années à venir**, du fait des **restrictions d'emploi** ou de **l'interdiction des nématicides chimiques**.

On note ainsi un regain d'intérêt de la profession pour la recherche de méthodes alternatives. Une **enquête** visant à établir la situation actuelle du problème en **région PACA** et la répartition sur le terrain des populations a donc été lancée en 2007 et se poursuit actuellement⁴. Elle pourrait également être élargie à d'autres régions du Sud de la France sur demande. Ce contexte entraîne également une **recrudescence des programmes de sélection** prenant en considération la résistance des plantes aux nématodes chez les semenciers et oriente la recherche vers la **gestion des rotations introduisant des plantes « de coupure »** ou **plantes « pièges » non-hôtes ou résistantes** permettant d'**améliorer l'état sanitaire du sol** en réduisant son taux d'infestation.

Limites des méthodes de lutte biologique

Les méthodes de stérilisation du sol par injection de vapeur d'eau sous pression (**désinfection vapeur**) ou en générant de la chaleur par effet de serre pendant 45 jours sous film plastique (**solarisation**) (Figure 3), ne permettent pas une désinfection totale en profondeur. Il est donc conseillé de les mettre en oeuvre peu après la récolte (lorsque les nématodes sont encore dans les horizons superficiels du sol), et d'éviter un travail du sol trop profond après la désinfection qui ferait remonter en surface du sol non désinfecté. Leur **efficacité** est **très variable** selon le type de sol et sa préparation.

Toutes les **mesures prophylactiques** (nettoyage des outils de travail du sol, destruction des mauvaises herbes « réservoirs de nématodes ») et la **maîtrise de l'irrigation** (éviter les excès d'eau et l'arrosage à la raie) sont un préalable indispensable à la limitation des populations et à leur dispersion.

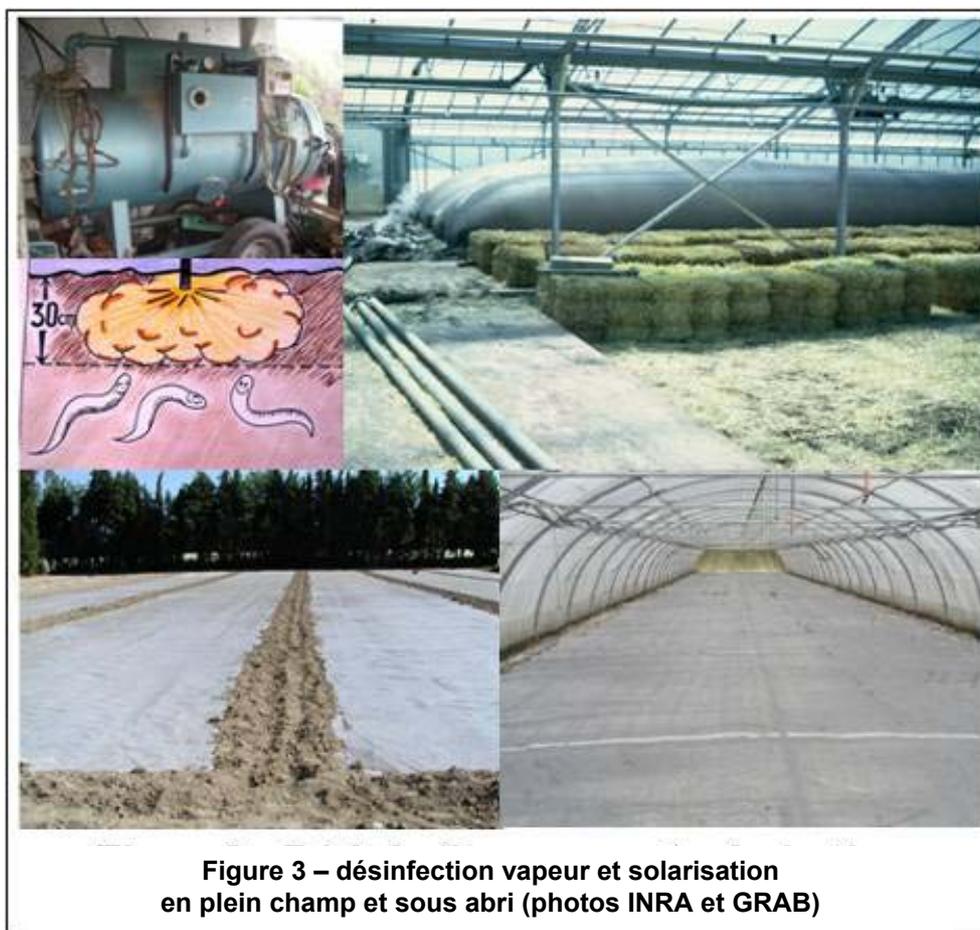


Figure 3 – désinfection vapeur et solarisation en plein champ et sous abri (photos INRA et GRAB)

⁴ Pour participer à l'enquête, des fiches sont disponibles sur le site Web de l'INRA de Sophia Antipolis: http://www2.sophia.inra.fr/enquete_nematodes

Les **antagonistes naturels** - champignons prédateurs des larves ou parasites des oeufs, bactéries, mycorhizes - sont **difficiles à produire, à stocker, à utiliser**, et leur **efficacité est très variable** en fonction des espèces de *Meloidogyne*, du type de sol et des méthodes culturales utilisées⁵. Aucun produit n'est commercialisé en France, mais des essais avec le champignon prédateur *Arthrobotrys conoïdes* (Figure 4) sont en cours⁶.



Figure 4 – Le champignon *Arthrobotrys* prédateur de larves de *Meloidogyne* produit sur billes (dessin J.C. Cayrol et E. Panchaud-Mirabel)

Stratégies de contrôle des nématodes à galles par la gestion des rotations culturales

Les plantes « pièges » sensibles

Ce sont des plantes qui vont **attirer les nématodes et qu'on éliminera ou détruira avant qu'ils n'aient accompli leur cycle de développement**. On se base sur le fait que les nématodes à galles sont des endoparasites sédentaires, donc que les larves qui ont pénétré dans les racines et ont commencé à grossir ne peuvent ressortir. A priori, n'importe quelle plante sensible pourrait être employée si elle est détruite à temps. **L'arrachage complet des racines et leur élimination** est nécessaire. Un simple travail du sol au rotovator risque de permettre aux femelles de poursuivre leur développement et produire des œufs. Les carottes détruites 2 à 3 semaines après plantation, les laitues ou les radis plantées tardivement en novembre, ont été utilisées comme plante « pièges » dans les jardins en Californie (Slosson Final Report 2007-2008), à Cuba (Cuadra *et al.*, 2000) et dans le nord-est de l'Espagne (Ornat *et al.* 2001). Cette méthode est néanmoins très délicate à conseiller car le problème peut empirer si la plante n'est pas détruite à temps.

Les plantes « pièges » non hôtes ou mauvais hôtes

Ce sont des plantes qui vont **attirer** les nématodes mais les empêcheront d'accomplir leur cycle, soit **en les empoisonnant** (toxines néoformées, phytoalexines⁷), soit **en ne leur fournissant pas les éléments indispensables au développement** des femelles (favorisent parfois le développement de mâles).

La polyphagie des nématodes fait qu'il est **très difficile de trouver des plantes réellement non hôtes**. D'après une enquête réalisée en 2008 auprès de producteurs du sud de la France et auprès d'experts, certaines *Liliacées* (**ail, oignon, poireau**), *Brassicacées* (**navet, moutarde, colza**), *Apiacées* (**fenouil, coriandre**), *Rosacées* (**fraise**) ou *Valérianiacées* (**mâche**) pourraient être utilisées contre les 2 principales espèces de *Meloidogyne* rencontrées dans le sud de la France et le pourtour méditerranéen (*M. incognita* et *M. arenaria*) (Vedie et Aïssa-Madani, 2008). L'**asperge** *Asparagus officinalis* (*Liliacées*) et la **roquette** *Eruca sativa* (*Brassicacées*) pourraient être utilisées contre *M. hapla*, une espèce plutôt rencontrée dans le nord de la France.

Beaucoup d'espèces utilisables comme **engrais vert**, cultivées entre 2 périodes de production de cultures de légumes, puis enfouies dans le sol pour améliorer sa structure et augmenter le taux de matière organique, sont également des plantes non-hôtes ou mauvais-hôte de nématodes : **phacélie** (*Phacelia spp.*-(*Hydrophyllacées*), **avoine** *Avena sativa*, **millet perlé** *Pennisetum glaucum*, **sorgho fourrager** *Sorghum bicolor* (*Poacées*), **moutarde blanche** *Sinapsis alba* et **radis fourrager** *Raphanus sativus* (*Brassicacées*), **crotalaire** *Crotalaria spp.* (*Fabacées*), **tagète** *Tagetes patula*, *T. erecta*, *T. minuta* (*Asteracées*) (Figure 5).

Plus de **200 espèces de plantes** tropicales ou semi-tropicales sont également signalées pour leurs propriétés **nématicides** en Asie, en Afrique ou en Amérique du Sud (Djian-Caporalino *et al.* 2008). Leur utilisation comme **biopesticides** (extraits purifiés) ou en **biofumigation** (broyats, tourteaux, amendements organiques ou matière organique compostée), donne des **résultats variables** selon les types de sol et la température qui jouent sur la dégradation de la matière organique. Leur **efficacité** est relativement **limitée sur le court terme**. De plus, certaines plantes sont peu adaptées à notre climat ou difficiles à se procurer.

Des **essais** se poursuivent actuellement au **GRAB** et au **CIVAMBio66** pour conseiller les meilleures plantes à utiliser et les durées et dates de plantation les plus appropriées pour éviter les attaques de nématodes.

⁵ une description de ces auxiliaires est donnée dans un article plus complet sur le site web de l'INRA de Sophia Antipolis.

⁶ contact : E. Panchaud-Mirabel, Casale chemical SA, e-mail : elisabeth.mirabel@wanadoo.fr

⁷ substances antibiotiques produites par la plante en réaction à une infection



Figure 5 – Plantes pièges en engrais verts nématicides : tagetes, phacélie, sorgho fourrager, crotalaire (photos Jachère apicole, Cal-inist, INRA Sophia Antipolis)

Les variétés ou porte-greffes résistants

Ce sont des variétés d'une espèce normalement sensible aux nématodes qui vont attirer les nématodes des couches profondes grâce à leurs exsudats racinaires puis les bloquer à l'intérieur de la racine par une **réaction d'hypersensibilité** (mort rapide et localisée des cellules végétales autour du nématode due à l'expression d'un **gène de résistance**).

Cette réaction peut être précoce (empêche la migration des larves jusqu'au cylindre central de la racine, le privant ainsi de nourriture) ou tardive (empêche le développement du site nourricier indispensable au développement des nématodes) (Figure 6). Cette méthode a l'avantage non seulement de permettre des rotations de culture plus courtes, d'avoir des plantes saines sans galles, mais de permettre également d'**améliorer l'état sanitaire du sol** en réduisant son taux d'infestation.

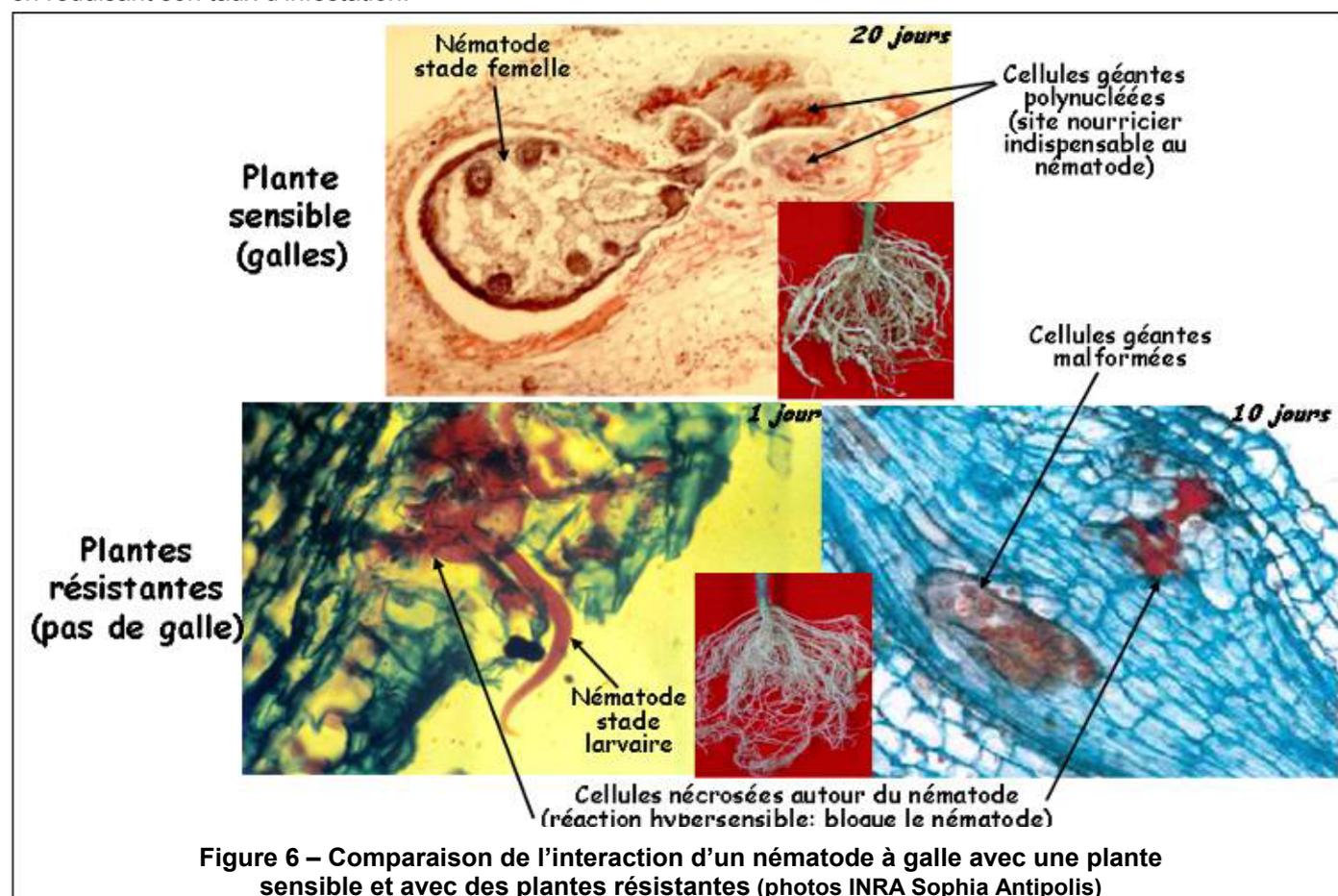


Figure 6 – Comparaison de l'interaction d'un nématode à galle avec une plante sensible et avec des plantes résistantes (photos INRA Sophia Antipolis)

A ce jour, seulement quelques espèces de plantes ont montré des potentialités de **résistance totale** aux nématodes à galles: la **carotte** (gène *Mj-1*), le **coton** (gènes *MIC-3*, *rkn-1*, *Mi1*), les **prunus** (gènes *Ma*), la **tomate** (gènes *Mi*), la **pomme de terre** (gènes *Rmc1*, *MfaXII*), les **piments/poivrons** (gène *N* et gènes *Me*), (Djian-Caporalino *et al.*, 2008). Une fois la lignée résistante choisie ("lignée sauvage donneuse"), plusieurs

rétrocroisements avec la variété cultivée sensible ("lignée élite") seront alors nécessaires pour obtenir une "lignée convertie", se rapprochant le plus possible de la variété cultivée mais possédant le gène de résistance. A l'échelle mondiale, seul le gène *Mi-1* de la tomate (qui contrôle *M. incognita* et *M. arenaria* mais pas *M. hapla* et n'est pas actif au-delà de 32°C) est commercialisé à l'heure actuelle. Il a été introduit il y a 60 ans à partir d'une seule plante sauvage dans toutes les **variétés de tomates résistantes** et les **porte-greffes résistants** actuellement disponibles pour la **tomate** ou l'**aubergine**. Ceci explique en partie la rapidité d'apparition et l'extension de **populations de *Meloidogyne virulentes*** (se multiplient sur plantes résistantes) **vis-à-vis de ce gène *Mi-1*** dans diverses régions du monde.

D'autres sources de résistance sont donc étudiées à l'INRA. Chez le **piment/poivron**, **plusieurs gènes à large spectre d'action, robustes et stables à haute température** sont disponibles (Djian-Caporalino *et al.*, 1999, 2007) mais non encore diffusés dans les cultivars. Afin de mettre en place une **gestion spatiale et temporelle efficace des résistances variétales**, les équipes étudient le mode d'action des gènes pour choisir les plus intéressants à combiner (« pyramider ») dans un cultivar sensible, le contournement possible de ces gènes et dans quelles conditions, ainsi que l'impact des ces variétés résistantes sur la structure des populations de nématodes. Cette **sélection pour la résistance aux nématodes** est un **objectif prioritaire** des programmes actuels d'amélioration. Des études de **robustesse et durabilité des résistances** sont donc réalisées en collaborations avec des sociétés semencières dans le cadre de projets nationaux et européen pour **orienter les sélectionneurs dans la création de nouveaux porte-greffes ou cultivars résistants à long terme**. Ces projets permettront également de **conseiller les exploitants dans la meilleure façon de les gérer dans le temps et l'espace** (mode d'emploi des variétés) afin de limiter les risques de contournement des résistances.

Conclusion

Depuis plusieurs années, les possibilités de contrôler les nématodes par des pesticides de synthèse se réduisent, pour des raisons à la fois réglementaires et économiques. On assiste donc à une **montée en puissance de ces parasites microscopiques** difficile à combattre. Plusieurs méthodes alternatives de contrôle (solarisation, biofumigation, intercultures, antagonistes naturels, désinfection vapeur notamment) font l'objet d'expérimentations en Europe et aux Etats-Unis principalement. Ces travaux montrent aujourd'hui leurs limites, du fait de l'insuffisante efficacité des techniques prises individuellement.

La **gestion des rotations introduisant des plantes « pièges »** semble actuellement la plus **prometteuse** pour contrôler les nématodes à galles. La **durée minimale conseillée** avant d'utiliser à nouveau des plantes sensibles est de **3 à 4 ans**, durée qui peut augmenter en cas de pression parasitaire importante. Une **vigilance**, un **contrôle continu** et des **mesures prophylactiques** sont également nécessaires pour contrôler ces parasites.

De **nouveaux programmes** financés par l'INRA, le Ministère de l'Agriculture ou l'Europe, sont en cours à **l'INRA de Sophia Antipolis** en collaboration avec les centres d'Avignon et de Rennes, l'IRD⁸ de Montpellier, des producteurs de semences et divers instituts techniques de la région PACA⁹ (GRAB, APREL¹⁰, chambres d'agriculture) pour expérimenter certaines de ces plantes « pièges » en conditions agronomiques. Ils permettront de **mieux gérer les problèmes nématologiques et proposer des solutions durables**.

BIBLIOGRAPHIE

- > Arrufat A., 2008. Prévention contre les nématodes à galles en agriculture biologique : 10 années d'expérimentation. Journées Techniques Fruits et Légumes Biologiques, 16-17/12/2008, Montpellier, 87-89.
- > Blok V.C., Jones J.T., Phillips M.S., Trudgill D.L., 2008. Parasitism genes and host range disparities in biotrophic nematodes: the conundrum of polyphagy versus specialisation. *BioEssays: news and reviews in molecular, cellular and developmental biology*, 30(3), 249-59.
- > Cuadra R., Cruz X., Fajardo J.L. (2000). The use of short cycle crops as trap crops for the control of root-knot nematodes. *Nematropica* 30, 241-246.
- > De Guiran G. (1983). *Nématodes, les ennemis invisibles*. La Littorale S.A. (Ed.), France, 41pp.
- > Djian-Caporalino C. (2008). Des pistes pour gérer les nématodes à galles. *Journées Techniques Nationales Fruits et Légumes biologiques*. Montpellier Supagro, 16-17/12/2008: 77-84.
- > Djian-Caporalino C., Bourdy G. et Cayrol J.C., 2008 (nouvelle édition). *Plantes nématicides et plantes résistantes aux nématodes*, p. 125-185. Dans: *Biopesticides d'origine végétale : potentialités phytosanitaires*. C. Regnault-Roger et al, Editions Tec & doc, Lavoisier, Paris, 546 pp.
- > Djian-Caporalino C. (2009). Les plantes pièges et la lutte contre les nématodes à galles. 11^{ème} Colloque scientifique de la Société Nationale d'Horticulture de France, Thème « Jardins:environnement et santé», Nantes, 15/05/2009, 28-33.
- > Djian-Caporalino C., Fazari A., Arguel M.J., Vernie T., VandeCastele C., Faure I., Brunoud G., Pijarowski L., Palloix A., Lefebvre V. and Abad P., 2007. Root-knot nematode (*Meloidogyne* spp.) *Me* resistance genes in pepper (*Capsicum annuum* L.) are clustered on the P9 chromosome. *Theor. Appl. Genet.*, 114, 473-486.
- > Djian-Caporalino C., Pijarowski L., Januel A., Lefebvre V., Phally T., Palloix A., Dalmaso A. and Abad P., 1999. Spectrum of resistance to root knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) and inheritance of heat-stable resistance in the PM687 line derived from PI 322719. *Theor. Appl. Genet.*, 99, 496-502.
- > Ornat C., Sorribas F.J., Verdejo-Lucas S., Galeano M. (2001). Effects of planting date on development of *Meloidogyne javanica* on lettuce in northeastern Spain. *Nematropica* 31 (2): 148-149.
- > Slosson Final Report 2007-2008. Trap Cropping Plus Bionematicides for Management of Root-knot Nematode in Home Gardens. Final Report for Slosson Foundation. Investigator: Becky B. Westerdahl, Professor of Nematology, Department of Nematology, University of California, Davis: 6 pp
- > Védie H et Aïssa-Madani A.C., 2008. Quelles plantes insérer dans les rotations pour diminuer les populations de nématodes à galles? Journées Techniques Fruits et Légumes Biologiques, 16-17/12/2008, Montpellier, 69-75.
- > Lorrain R., Bourgeois H., Djian-Caporalino C. & Panchaud-Matei E., 1998. Dossier nématodes. PHM, Revue Horticole 392: 14-33.

⁸ IRD : Institut pour la Recherche et le Développement

⁹ PACA: région Provence Alpes Côte d'Azur

¹⁰ APREL : Association provençale de recherche et d'expérimentation légumière de la région PACA