



HAL
open science

Effets des systèmes de production sur les populations de nématodes nuisibles aux grandes cultures : recherche de méthodes pratiques de diagnostic et de gestion des risques

A. Chabert, A. Buisson, François Brun, Laurent Ruck, Agnès Champeil, Jean Baptiste Thibord, P. Taupin, Sylvain Fournet

► To cite this version:

A. Chabert, A. Buisson, François Brun, Laurent Ruck, Agnès Champeil, et al.. Effets des systèmes de production sur les populations de nématodes nuisibles aux grandes cultures : recherche de méthodes pratiques de diagnostic et de gestion des risques. *Innovations Agronomiques*, 2012, 25, pp.205-217. hal-01208600

HAL Id: hal-01208600

<https://hal.science/hal-01208600>

Submitted on 29 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Effets des systèmes de production sur les populations de nématodes nuisibles aux grandes cultures : recherche de méthodes pratiques de diagnostic et de gestion des risques.

Chabert A.¹, Buisson A.³, Brun F.², Ruck L.⁶, Champeil A.⁷, Thibord J.B.⁴, Taupin P.⁵, Fournet S.⁸

¹ ACTA, ICB-VetAgroSup, 1 avenue Bourgelat, 69280 Marcy l'Etoile, France

² ACTA, UMR 1248 AGIR, B.P. 52627, 31326 Castanet Tolosan Cedex, France

³ ANSES, Laboratoire de la Santé des Végétaux, BP35327, 35653 Le Rheu Cedex, France
France

⁴ ARVALIS - Institut du végétal, Chemin de Pau 64 121 Montardon, France

⁵ ARVALIS - Institut du végétal, Station expérimentale 91 720 Boigneville, France

⁶ CETIOM, Avenue L. Brégnières, Campus de Grignon, 78850 Thiverval Grignon, France

⁷ ITB, 45 rue de Naples, 75008 Paris, France

⁸ INRA, UMR 1349 IGEPP, INRA-Agrocampus Ouest-Université Rennes 1, Bât 320 BP35327, 35653 Le Rheu cedex, France

Correspondance : andre.chabert@acta.asso.fr

Résumé

Pour la plupart, les dernières études d'ampleur sur les nématodes inféodés aux grandes cultures datent d'une trentaine d'années. Les dommages observés dans les parcelles ne sont que rarement imputés à la présence de ces ravageurs, leur mise en évidence nécessitant des analyses spécifiques et coûteuses et leur répartition sur le territoire restant, à quelques exceptions près, mal connue. Ce projet a donc eu pour vocation de relancer ces études dans un contexte profondément remanié par l'augmentation des surfaces de colza destinées à la production de diester, les nouvelles directives liées à la gestion des intercultures pour répondre aux exigences de la directive nitrates et à la nécessaire diminution de l'utilisation des solutions d'origine chimique au profit de l'utilisation de variétés résistantes et/ou tolérantes. Les espèces étudiées dans ce projet sont celles qui sont nuisibles aux cultures de betteraves, de colza, de blé dur et de maïs. Les expérimentations réalisées sont destinées à : i) estimer l'effet des nouvelles cultures et cultures intermédiaires sur les populations de nématodes, ii) recenser les méthodes utilisables pendant la période de l'interculture pour limiter l'évolution de populations, iii) construire des systèmes d'aide à la décision. Bien qu'il soit parfois nécessaire de les consolider, les résultats obtenus apportent de nouvelles données sur la répartition, la biologie, la nuisibilité d'espèces parfois peu connues. Ils contribuent également au développement d'une gestion optimisée des variétés résistantes et/ou tolérantes, de l'interculture et des méthodes de lutte alternatives, visant à maintenir ces populations à des niveaux compatibles avec les exigences quantitatives et qualitatives des filières.

Mots clés : Nématodes, *Meloidogyne artiellia*, *Heterodera schachtii*, *Pratylenchus sp*, *Heterodera avenae*, *Heterodera cruciferae*, interculture, cycle biologique, colza, blé, maïs, betteraves.

Abstract: Effects of production systems on crop-damaging nematode populations: research of practical methods of diagnosis and risk management.

The most recent studies on nematodes date from the last thirty years. As their detection requires expensive and specific analyzes, the observed damages are thus rarely attributed to their presence in the fields. As a result, their distribution over the territory, with few exceptions, remains poorly known. This project was therefore intended to update these studies in a new agronomical context linked with the increase in rapeseed surfaces for the production of biodiesel, the new guidelines related to the management of intercropping to meet the requirements of the Nitrates Directive and the need to reduce

the use of chemical solutions in favor of the use of resistant varieties and / or tolerant. The species studied in this project are those that are harmful to beets, canola, durum wheat and corn. The main purposes of this project are: i) to estimate the effect of new cultures and intermediate crops on nematode populations, ii) to identify the methods used during the intercropping to limit the evolution of populations, iii) to build decision support systems. Although they sometimes need to be consolidated, the results give some new data on the distribution, biology and harmfulness of poorly known species. They also contribute to the development of an optimized management of resistant and / or tolerant varieties of intercropping and alternative control methods, to maintain these populations at levels which are consistent with the quantitative and qualitative requirements of the sector.

Keywords: Nematodes, *Meloidogyne artiellia*, *Heterodera schachtii*, *Pratylenchus sp*, *Heterodera avenae*, *Heterodera cruciferae*, intercrop, life cycle, oil seed rape, wheat, maize, sugar beet.

Introduction

Les nématodes phytoparasites sont présents dans toutes les régions du globe, sur tous les types de culture et s'attaquent pour leur grande majorité aux organes souterrains des plantes, racines, tubercules, rhizomes, plus rarement aux feuilles et aux tiges. Sur la partie aérienne des plantes, les symptômes sont peu spécifiques et se traduisent par des décolorations, un jaunissement du feuillage et un ralentissement de la croissance de la plante attaquée. Invisibles à l'œil nu, à l'exception de certains stades de développement chez des espèces bien particulières, ils sont source d'erreurs fréquentes de diagnostic visuel sur les plantes attaquées. Un diagnostic précis permettant d'attribuer les dégâts à la présence d'une espèce phytoparasite ne peut être établi qu'à partir d'analyses de sol et ou de racines, par un laboratoire spécialisé. Elles ne sont que rarement réalisées, pour des raisons évidentes de coûts et faute de laboratoires disponibles et clairement identifiés au niveau national. Ce constat tend à s'aggraver avec l'évolution de la réglementation, tant au niveau européen que français, qui limite de plus en plus le nombre et la fréquence d'utilisation des nématicides. Plusieurs espèces, masquées jusqu'ici par l'utilisation et l'efficacité de ces produits, risquent de poser à nouveau de sérieux problèmes agronomiques, en fonction des rotations pratiquées.

En France, les grandes cultures pratiquées ne font donc pas exception et sont également touchées par une large gamme de nématodes phytoparasites. Les espèces impliquées sont parfois clairement identifiées : c'est le cas dans de nombreuses zones géographiques dont les productions sont caractérisées par des rotations courtes et des cultures identiques depuis plusieurs décennies. Néanmoins, l'origine précise des dégâts reste le plus souvent indéterminée : c'est le cas dans de nombreuses régions et pour des cultures s'insérant dans des rotations variées suivant les zones géographiques concernées. Le colza en est un bon exemple, largement distribué sur l'ensemble du territoire, sa culture est pratiquée dans des rotations très différentes, en longueur comme en composition. On le retrouve même, dans le nord de la France, de plus en plus souvent en rotation avec la betterave sucrière, sur des surfaces considérables, parfois fortement contaminées par le nématode à kyste *Heterodera schachtii* dont le colza est également une plante hôte.

Les principaux axes de travail du programme CasDar "Effet des systèmes de production sur les populations de nématodes nuisibles aux grandes cultures" reposent donc sur ces quatre constats majeurs que sont l'amenuisement des moyens de lutttes conventionnels propices à la réémergence d'espèces jusqu'ici masquées par leur utilisation, l'absence de spécificité des dégâts ne permettant pas d'établir un diagnostic fiable et rapide, la faiblesse de l'offre en terme d'analyses de sol et de racine, l'évolution récente et rapide de certaines pratiques culturales. Si les moyens de lutte conventionnels peuvent être remplacés par différentes solutions alternatives (intercultures à propriétés nématicides ou résistantes, variétés résistantes, plantes pièges...), elles sont en général bien plus spécifiques de

l'espèce ciblée que ne le sont les nématicides d'origine chimique. Leur développement et leur utilisation impliquent donc de disposer des connaissances et de l'expertise pour poser un diagnostic fiable et précis à partir duquel la production pourra raisonner le choix des méthodes de lutte et des rotations à mettre en place.

Trois cultures majeures ont été retenues, le colza, le maïs, le blé et suivant le niveau d'intégration des connaissances en matière de méthodes de lutte et d'identification des espèces concernées, six axes ont été développés :

- décrire la situation actuelle vis-à-vis des nématodes en grandes cultures,
- estimer l'effet des nouvelles cultures et inter-cultures dans la rotation sur les populations de nématodes déjà en place et identifier les facteurs explicatifs de leur présence dans les parcelles,
- recenser les méthodes utilisables en inter-culture permettant de limiter le développement des espèces ciblées,
- développer des systèmes d'aide à la décision qui tiennent compte de facteurs agronomiques, culturaux, variétaux, etc. et à destination des agriculteurs,
- publier un ouvrage de vulgarisation à destination des professionnels synthétisant les connaissances par espèce,
- recenser et diffuser la liste des laboratoires d'analyses nématologiques en France et établir une dynamique favorisant le développement de cette activité.

1. Nématodes présents en cultures de colza

Des foyers de plantes peu développées, au feuillage jaunissant sont régulièrement observés dans des parcelles de colza, les régions les plus touchées se situant dans l'Aube, la Marne et l'Aisne, mais également sur la façade atlantique, en Charente, Vendée, Loire-Atlantique et dans le sud de la Touraine. Ces symptômes s'expriment essentiellement à la fin de l'hiver, à la reprise de végétation et peuvent avoir diverses origines : nématodes, viroses, carences, problèmes de structure de sol. Néanmoins, les rotations pratiquées dans ces régions et les données historiques disponibles permettent d'identifier quatre espèces de nématodes pouvant être à l'origine des symptômes observés. *Meloidogyne artiellia* (nématode à galles), décrit pour la première fois sur avoine en Angleterre (Franklin, 1961) puis en Grèce (Kyrou, 1969), en Espagne, en Italie et en Syrie, où il provoque des dégâts sévères sur céréales (Greco, 1984 ; Greco *et al.*, 1984 ; Lombardo *et al.*, 2010). Très répandue sur le pourtour du bassin méditerranéen, cette espèce peut se développer sur toutes les céréales mais également sur les légumineuses et les crucifères (Di Vito *et al.* 1985, Davis et Venette 2004). Elle a été détectée en France en 1981 à l'occasion d'une enquête colza suite à des dégâts en culture et a été signalée dans l'Eure, en Haute-Normandie et en Champagne. *Heterodera cruciferae* et *Heterodera schachtii* sont des nématodes à kyste, bien connus tant du point de vue de leur biologie que de leur gamme d'hôte : *H. schachtii* se développe sur une large gamme de plantes hôtes (Baldwin et Mundo-Ocampo, 1991), betteraves, crucifères, *H. cruciferae* étant strictement inféodé à cette dernière famille de plantes (Franklin, 1945 ; Jones, 1950 ; Winslow, 1954 ; Baldwin et Mundo-Ocampo, 1991). Il n'existe par contre, que peu d'informations sur leur présence respective dans les zones où le colza domine même si *H. cruciferae* y est relevé ponctuellement. Néanmoins, l'introduction récente et massive du colza dans les zones betteravières pose la question de la nuisibilité de *H. schachtii* sur cette culture et de l'effet de celle-ci sur sa dynamique des populations. Les *Pratylenchus* sp sont largement connus pour être des agents de fatigue des sols et sont par conséquent des candidats potentiels pour ce type de dégâts.

Les objectifs sont donc :

- de réaliser un état des lieux par un diagnostic précis permettant de relier les symptômes observés dans les parcelles et la présence de ces espèces,
- d'étudier le cycle biologique de *M. artiellia* sur colza et de modéliser le cycle,
- de vérifier la nuisibilité de *H. schachtii* sur colza et de vérifier l'impact de cette culture sur sa dynamique des populations,
- d'intégrer lorsque cela est possible, l'ensemble de ces informations dans des modèles d'aide à la décision.

1.1 Des espèces phytoparasites impliquées dans 75 % des dégâts observés

Durant trois années (2008-2010), des prélèvements ont été réalisés au printemps dans des parcelles de colza présentant des foyers contenant des plantes à croissance ralentie et au feuillage jaunissant. Ces prélèvements proviennent des régions où la présence de foyers était la plus fréquente, à savoir l'Aube, la Marne, l'Aisne, l'Oise mais également sur la façade atlantique, en Charente, Vendée, Loire-Atlantique et dans le sud de la Touraine. Pour chaque parcelle, des plantes issues du foyer attaqué et de la partie saine du champ ont été analysées.

Les résultats obtenus, basés sur 57 parcelles (soit 114 échantillons analysés) montrent que dans 75 % des cas, les symptômes observés peuvent être directement associés à la présence d'espèces phytoparasites et en particulier à celle de *M. artiellia* et de *H. cruciferae* (Figure 1). *Heterodera schachtii* n'est que très rarement présent et uniquement dans des parcelles ayant reçu des betteraves dans leur rotation. Ils montrent également que *M. artiellia* et *H. cruciferae* ne sont jamais présents dans les mêmes parcelles et plus largement dans les mêmes régions (Figure 2) : *M. artiellia* est présent exclusivement dans et autour du bassin parisien, *H. cruciferae* étant présent le long des côtes atlantiques, de la Manche (Buisson *et al.*, 2011) et jusqu'au sud de la Touraine. Pour *Pratylenchus neglectus*, cette étude montre que ce nématode est fortement associé à la culture du colza sans pour autant lui être nuisible (Figure 1). Il serait par contre nécessaire de vérifier si sa présence en de grandes quantités après un colza peut être nuisible aux autres cultures de la rotation (blé, maïs, légumineuses...)

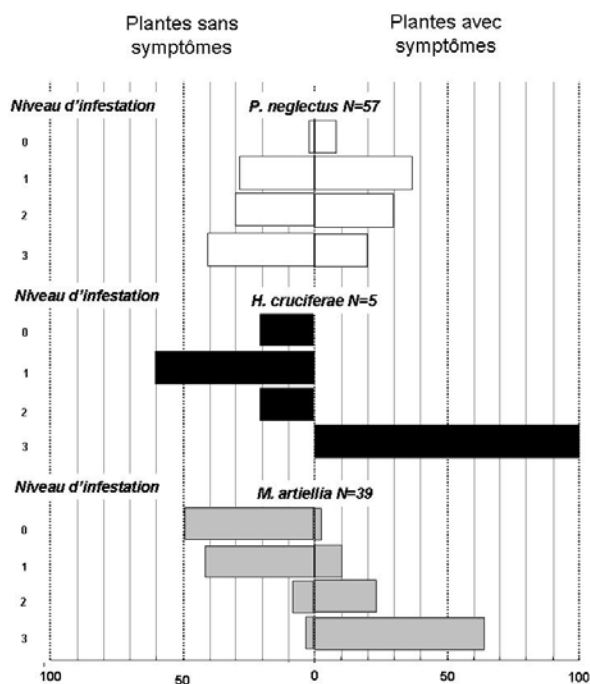


Figure 1 : Distribution comparée (%) en fonction du niveau d'infestation (0=nul, 1= faible, 2= moyen, 3= fort) des trois espèces *Pratylenchus neglectus*, *Heterodora cruciferae* et *Meloidogyne artiellia* entre des plantes issues de la partie saine de la parcelle et de la partie avec symptôme.

Si la présence simultanée des deux espèces dans une même région, ou dans une même parcelle, ne peut être exclue, les zones du centre de la France et du sud du bassin parisien n'ayant pas été échantillonnées, ce résultat a des conséquences importantes en termes de gestion. Ces deux espèces ont en effet des gammes d'hôte et des biologies différentes. Les solutions à mettre en œuvre pour en limiter l'impact ne seront donc pas du tout les mêmes. Dans le cas de *H. cruciferae*, l'absence seule de crucifères pendant plusieurs années (la capacité de survie de cette espèce est très importante) dans la rotation peut permettre de réduire les populations. Pour *M. artiellia*, les solutions sont plus complexes : sa gamme d'hôte est étendue et rend difficile toute action par un choix approprié de cultures non-hôtes dans la rotation. Les expérimentations conduites dans le cadre de ce programme sur différentes plantes d'interculture dans des parcelles fortement infestées ont permis d'identifier de futures pistes de travail.

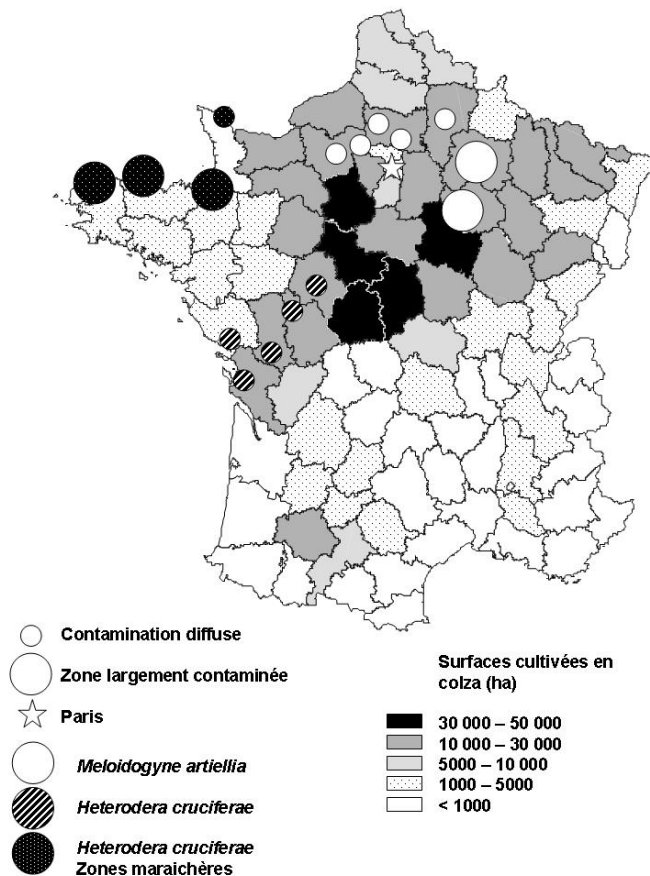


Figure 2 : Principales zones géographiques où le colza est cultivé en France et où *Meloidogyne artiellia* et *Heterodera cruciferae* ont été détectés sur culture de colza et sur cultures légumières (Buisson *et al.*, 2011). La taille des cercles est corrélée aux surfaces contaminées.

1.2 *Meloidogyne artiellia* : une seule génération dans les conditions du nord de la France

Des prélèvements réguliers de plantes, entre mars et juillet ont permis d'approfondir la connaissance du cycle biologique de *M. artiellia*, dans les conditions du nord de la France et sur colza. Les résultats obtenus (Figure 3) montrent qu'au début du mois de mars et au moment de la reprise de la végétation, aucune larve de second stade (L2) n'est présente dans les racines. Ce stade est le seul moment du cycle où les larves sont mobiles dans le sol et contaminent de nouvelles racines. Les nématodes présents dans les racines à ce moment sont soit des L3 (larves de troisième stade), soit des femelles et des mâles. Les L3 disparaissent ensuite progressivement et laissent la place à une quantité importante de femelles et de mâles. C'est seulement à partir du mois de juin que de nouvelles L2 sont observées dans les racines des plantes analysées.

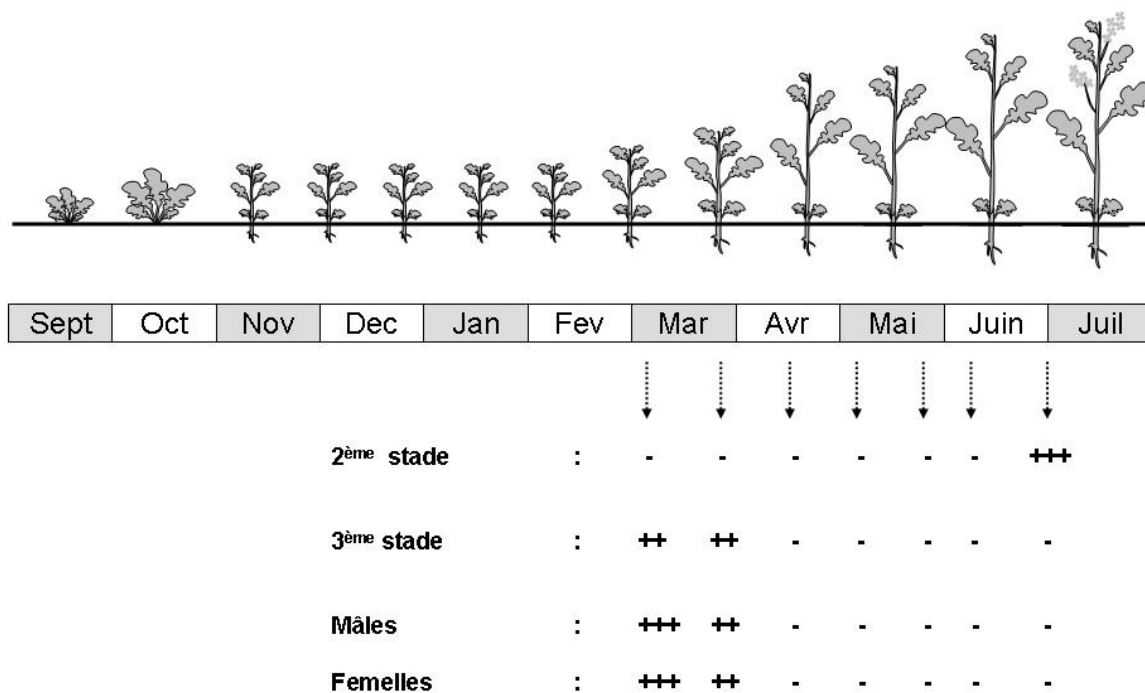


Figure 3 : Niveau de présence (- : aucun, + faible, ++ moyen, +++ fort) des différents stades de développement de *Meloidogyne artiellia* dans les racines de colza

La pénétration des premières larves dans les racines et le développement d'une première génération commence donc à l'automne et la présence au mois de mars d'individus au stade L3 dans les racines indique qu'ils ne sont pas parvenus à terminer leur cycle avant l'arrivée de conditions défavorables à leur développement.

En mars, le retour de conditions favorables leur permet d'achever leur cycle, avec la formation de nombreux mâles et femelles. Par contre, aucune nouvelle pénétration n'est observée avant le mois de juin (de la mi-avril au début du mois de juin, les plantes diagnostiquées ne contenaient presque plus aucun nématode). Une seconde génération peut se développer à partir de juin, mais sans avoir la certitude qu'elle disposera du temps nécessaire pour accomplir la totalité de son cycle avant la récolte de la culture. Après la récolte, il est probable que les repousses de colza, si elles ne sont pas détruites, puissent avoir une influence déterminante dans la réalisation de cette seconde génération. Sur ces deux périodes critiques du cycle, le développement d'un modèle plus complet tenant compte de différents paramètres climatiques pourra déterminer si certaines années peuvent être favorables au développement total ou partiel d'une seconde génération. Pour le moment, le modèle réalisé dans le cadre du projet (Buisson *et al.* 2011) indique clairement que certaines années peuvent être nettement plus favorables que d'autres au développement du nématode et donc à l'expression de dégâts.

1.3 *Meloidogyne artiellia* : une présence fortement liée à la luzerne

L'analyse des enquêtes agronomiques montre que les parcelles présentant les populations les plus élevées correspondent à des sols de craie. Elle montre également que la dominance de cultures d'hiver dans la succession est favorable aux populations de *M. artiellia* et qu'une rotation avec luzerne serait la

plus favorable à son développement. Par contre, les cultures de blé et d'orge de printemps pourraient être considérées comme des cultures n'ayant pas d'effet particulier et les cultures de pois et de betteraves comme des cultures défavorables. Le colza aurait par contre un effet neutre.

Concernant le travail du sol, les techniques de travail du sol simplifiées seraient favorables à la présence de *M. artiellia*. Le nombre de déchaumages, la gestion des pailles et de l'interculture n'ont pas pu être pris en compte ; la taille des parcelles, la présence de moutarde, la teneur en matières organiques n'auraient pas d'incidence particulière.

A partir de ces données, un premier outil d'évaluation du risque a été réalisé à l'aide de l'outil Dexi. (Bohanec *et al.*, 2000). Dans notre cadre, il a été utilisé comme une méthode d'évaluation multicritère destinée à prendre des décisions à partir de données qualitatives décrivant le système de culture. L'information de sortie de l'outil est le risque que représente le développement de *M. artiellia* en fonction du système de culture pratiqué.

1.4 *Heterodora schachtii* / Colza : nuisibilité non démontrée mais un potentiel de multiplication important

L'augmentation significative des surfaces de colza qui a eu lieu au détriment des surfaces de protéagineux, de luzerne et de betteraves ou dans les mêmes rotations que cette dernière amène à s'interroger sur deux points particuliers : cultiver du colza dans des secteurs fortement infestés par *H. schachtii* peut-il pénaliser le rendement de la culture ? Le colza permet-il de multiplier les populations de *H. schachtii* à des niveaux pouvant pénaliser une culture de betteraves sucrières ? Cette tendance est en effet sensible dans les départements de l'Aube et de la Marne où l'on estime que *H. schachtii* est présent sur 100 000 ha et qu'il provoque des dommages sur au moins la moitié de cette surface. La perte de productivité en sucre peut alors atteindre 30 à 40 % et jusqu'à 60 % en cas d'attaque précoce et importante.

Les essais réalisés au champ en 2009-2010, montrent que sur le gradient de population testé (de 400 à 640 œufs et larves / 100g de sol) et contrairement aux résultats de la littérature qui indiquent des pertes moyennes de rendement du colza de l'ordre de 18% (Decker, 1991), il n'existe pas d'écarts de rendements statistiquement significatifs. En toute rigueur, il faudrait conclure à l'absence de nuisibilité de *H. schachtii*, ou à une tolérance du colza vis-à-vis de la présence de ce nématode pour des niveaux de populations inférieurs à 10 L2/g de sol au moment du semis. Cette conclusion est cohérente avec les résultats d'études antérieures qui indiquent que *H. schachtii* peut provoquer des dégâts sévères aux crucifères lorsque ses niveaux de populations sont très élevés (Franklin, 1975 ; Brzeski, 1969 ; Miller, 1986).

Les suivis réalisés en cours de culture montrent que de deux à trois générations peuvent se développer sur l'ensemble de celle-ci, de l'automne jusqu'à la récolte en juillet. Cette troisième et dernière génération peut être complète ou non en fonction des conditions climatiques et l'effet année est probablement non négligeable : c'est la récolte et le déchaumage qui interrompent le cycle. Ils montrent également que sur l'ensemble de la culture, du semis à la récolte, le colza ne multiplierait pas mais maintiendrait les niveaux de populations.

Par contre, ils démontrent que les repousses de colza, après la récolte, peuvent avoir un impact très fort. Sur ce dernier point les investigations ont été poussées dans des essais spécifiques (Figure 4), qui démontrent qu'une absence de gestion des repousses (Témoin) et des pivots après récolte est extrêmement favorable à la multiplication de *H. schachtii* : la population peut être multipliée jusqu'à 13 fois en l'absence totale de gestion et jusqu'à 5 fois lorsque seuls les pivots sont détruits. Un déchaumage seul ne suffit pas à empêcher la multiplication. Seul un déchaumage associé à une destruction systématique des repousses toutes les semaines permet d'empêcher la multiplication du nématode et de diminuer les niveaux de population : dans ce cas, les repousses piègent les larves nouvellement écloses. La destruction des repousses doit être réalisée avant l'atteinte d'un seuil de

265°C/J en base 8. Au-delà de ce seuil, le temps de présence des repousses sur la parcelle est suffisant pour permettre au nématode d'achever son cycle et donc de se multiplier. Ces éléments de prophylaxie peuvent, dans certains cas, ne pas être compatibles avec la réglementation qui impose souvent de conserver les repousses pendant trois semaines au minimum.

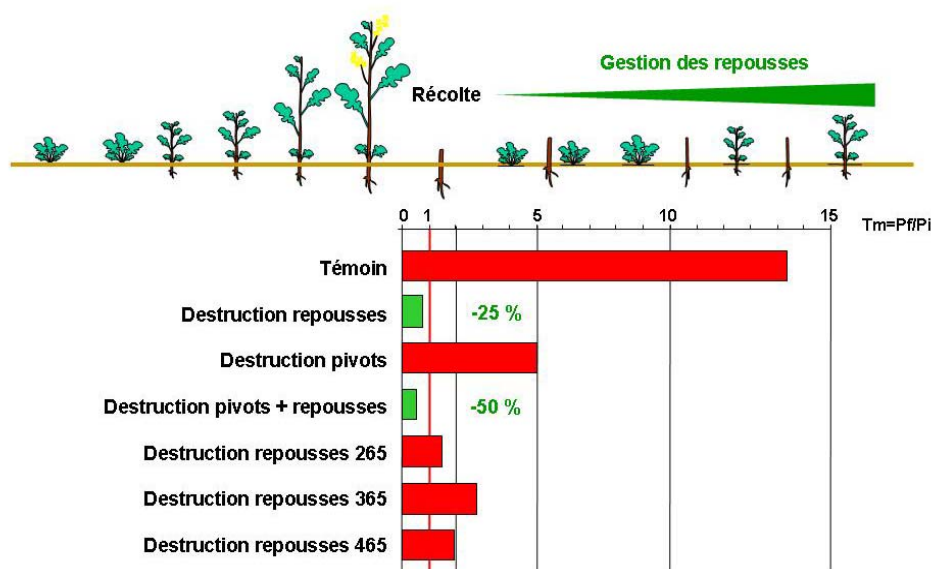


Figure 4 : Taux de multiplication (Tm) des populations de *Heterodora schachtii* sur le site de Aulnois, en fonction des différentes modalités de gestion des repousses (Champeil *et al.*, 2011, pictogrammes colza : © Bousset, INRA, 2011)

1.5 *Heterodera schachtii* : un modèle pour optimiser l'utilisation de la résistance variétale

Contrairement à *M. artiellia* et *H. cruciferae*, il existe de nombreuses variétés de betteraves sucrières résistantes (totales ou partielles, associées ou non à de la tolérance) ou d'intercultures (moutardes et radis) pour gérer les niveaux populations de *H. schachtii*. L'intégration des résultats obtenus sur colza et des données existantes sur betteraves a semblé pertinente pour développer un outil de simulation susceptible d'orienter le choix des rotations (longueur, composition), des variétés (résistantes ou non), des intercultures (résistantes ou non, non-hôtes) afin d'optimiser à la fois, le contrôle des populations et le rendement.

Le choix des formalismes a été guidé par leur simplicité et l'adéquation au type de données disponibles (Brun *et al.*, 2001). Le modèle conçu est paramétré en mobilisant les données disponibles et des données bibliographiques ou d'expertise en absence de données adaptées. Les caractéristiques des différentes variétés, leur niveau de résistance et leur niveau de tolérance sont issues des évaluations réalisées par l'ITB en plein champ dans toutes les régions de production et différents types de sol, d'essais d'évaluation variétale et d'essais de longue durée qui servent à évaluer la qualité prédictive du modèle.

Le modèle permet donc de comparer différents scénarios tenant compte du niveau initial de la population (Pi), de la rotation pratiquée (interculture comprise), du choix des variétés (Figure 5).

Le modèle prend aussi en compte l'incertitude liée au manque de connaissance et les variabilités observés sur les potentielles multiplicatrices (notamment pour le colza).

Ainsi, pour une parcelle contaminée, même en utilisant une variété de betterave peu multiplicatrice, permettant de contrôler la population lors d'une rotation betterave-blé-blé, l'introduction du colza ne permet plus un contrôle efficace, pour peu que la variété de colza soit multiplicatrice.

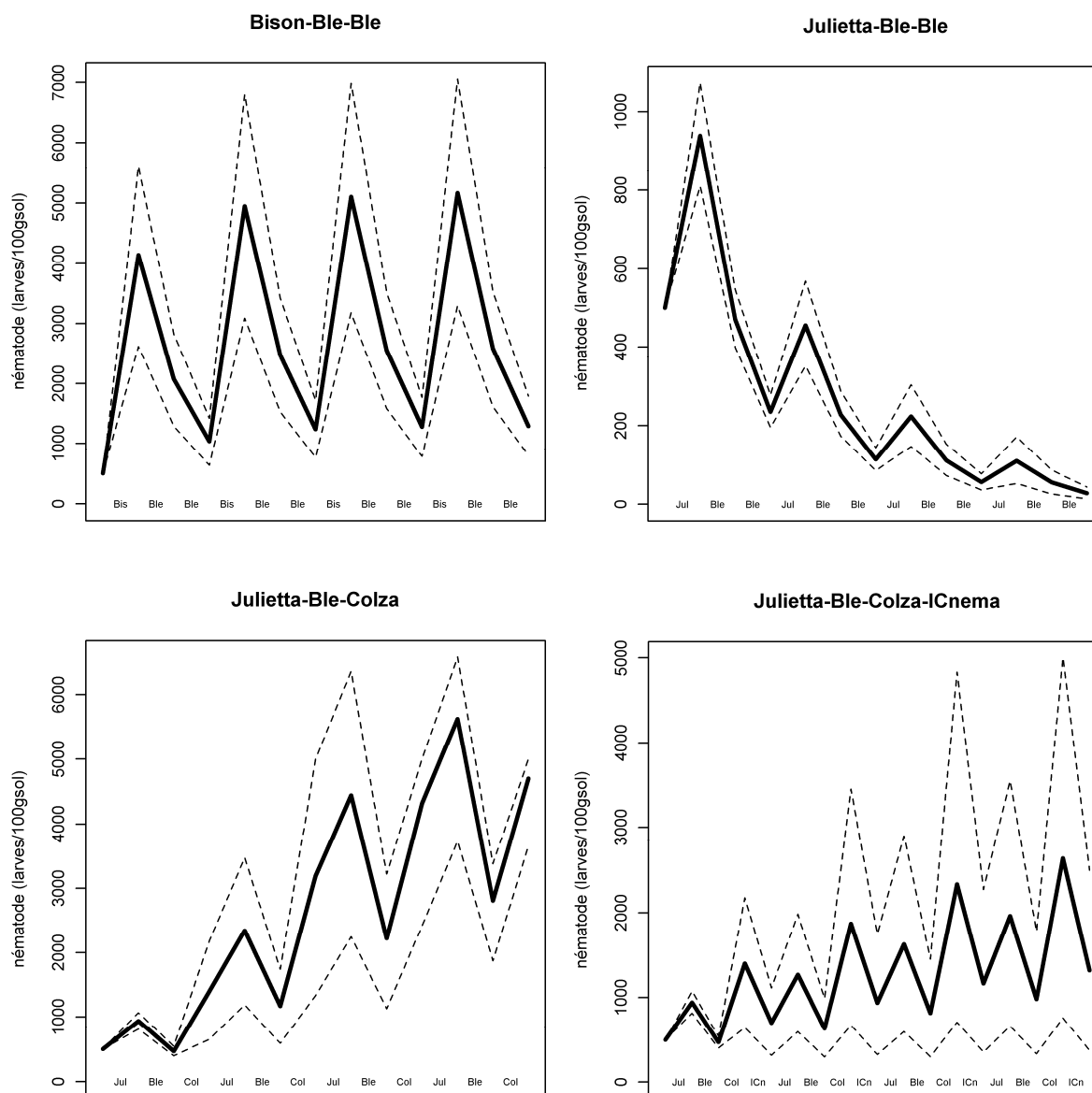


Figure 5 : Comparaison de quatre scénarios sur 12 ans : Bison (peu résistante), Julietta (très peu multiplicatrice) et l'arrivée du colza dans une parcelle contaminée. Légende des cultures : Blé (Ble), Colza (Colza), Betterave (Bison et Julietta), interculture nématocide (ICnema). En trait plein : moyenne, en pointillé : intervalle de confiance [10-90%].

Pour être utilisé de manière opérationnelle sur le terrain, l'outil en cours de développement devra être enrichi en données, sa fiabilité évaluée et son ergonomie améliorée. Il aura ensuite sa place pour prévoir et anticiper les conséquences d'un changement de stratégie, variétale ou culturale. Ce premier prototype s'intéresse au nématode *H. schachtii* et aux rotations impliquant la betterave, mais une extension peut être envisagée à d'autres espèces de nématodes pour lesquelles des leviers de lutte agronomique ont été identifiés et quantifiés.

2. Nématodes associés à la culture de blé dur

Dans le Sud-Ouest, *Heterodera avenae* peut occasionner des pertes de 30 à 40 quintaux sur blé dur. Différentes observations indiqueraient que les dommages dus à ce nématode seraient amplifiés à la

suite de sécheresses telles que celles rencontrées lors des années 1964, 1976, 1984. En effet, les dommages sont accentués lors des printemps secs, le stress hydrique s'ajoutant à la détérioration du fonctionnement du système racinaire provoquée par la présence du nématode.

Pour des raisons de sauvegarde environnementale et de coût, il n'existe plus de protection par des traitements nématicides. La seule voie possible pour maintenir les populations de *H. avenae* en dessous d'un seuil d'apparition des dégâts est d'utiliser des rotations suffisamment longues et comprenant des plantes non-hôtes et ou des variétés résistantes.

Ces deux approches ont été développées, au laboratoire et au champ : au laboratoire, en réalisant un criblage de différentes variétés pour leur niveau de résistance à *H. avenae* ; au champ, afin d'évaluer la tolérance de ces variétés aux attaques et l'impact de différentes successions sur la dynamique et le contrôle des populations.

Parmi les quarante variétés testées, la lignée INRA RE 607 confirme la stabilité et la robustesse de son gène de résistance. Par ailleurs, une variété de triticales, peu multiplicatrice du nématode pourrait être également proposée comme « plante de coupure ». Aucun blé dur n'est résistant mais quelques variétés sont nettement moins multiplicatrices et pourraient être privilégiées dans des successions incorporant des variétés résistantes.

Les essais de tolérance au champ ont mis en évidence la forte sensibilité des variétés de blé dur à des populations élevées de nématodes. À l'inverse, certaines variétés de blé tendre et de triticales ne sont pas affectées et donc très tolérantes aux attaques. Il a également été confirmé que la lignée INRA RE 607 est également tolérante. Hormis ces cas, la quasi-totalité des variétés testées sont sensibles aux attaques.

L'essai rotation mis en place dans le cadre de ce projet compare l'effet des différentes successions des cultures : i) sorgho-blé tendre sensible, ii) sorgho-blé tendre résistant (RE607), iii) tournesol –blé dur (variété peu multiplicatrice). La dernière année d'étude toutes ces parcelles ont été semées avec une variété de blé dur reconnu comme sensible aux nématodes. Les rendements de cette culture ont été respectivement 5,7, 6,2 et 6,8 t/ha. L'utilisation de plantes de coupure pendant deux ans a donc un effet positif sur les rendements.

3. Nématodes associés à la culture du maïs

En Aquitaine, les surfaces de maïs ont peu baissé depuis 20 ans : elles représentent plus de 60 % de la surface cultivée avec plus de 90 % pour le seul département des Landes. Dans cette région, le maïs mais aussi les autres cultures pouvant rentrer dans la rotation, comme la carotte, souffrent des attaques de nématodes du genre *Pratylenchus*. Ce genre comporte environ 70 espèces qu'il est difficile d'identifier du fait du caractère ténu de leurs différences morphologiques. Néanmoins, les espèces les plus fréquentes sur céréales à paille et sur maïs sont au nombre de cinq : *P. crenatus*, *P. neglectus*, *P. penetrans*, *P. fallax* et *P. thornei* mais c'est essentiellement *P. crenatus* qui domine dans les sols acides des Landes.

Contrairement aux nématodes du genre *Heterodera*, qui sont des parasites sédentaires, *P. crenatus* est un parasite migrateur extrêmement polyphage : les larves ou les adultes pénètrent dans toutes les parties de la racine et circulent dans les cellules corticales en les détruisant au fur et à mesure de leur migration. Lorsque les racines sont détruites, en l'absence de plante hôte ou lorsque les conditions climatiques sont défavorables, tous les stades migrent dans le sol où ils se conservent (Loof, 1991). Sa polyphagie rend difficile la mise en place de rotations comportant un nombre important de plantes non-hôtes. S'il existe des variétés de blé ou d'orge résistantes à certaines de ces cinq espèces, ces deux cultures ne peuvent que difficilement entrer en rotation avec le maïs dans les zones concernées. Les solutions sont donc plus nombreuses au niveau de l'interculture en semant des plantes produisant des

substances nématicides et qui agiront sur tous les stades de développement présents dans le sol. Néanmoins, il apparaît évident que leur efficacité sera contrainte par les conditions climatiques qui devront être favorables pour éviter la migration des nématodes en profondeur et une mauvaise croissance des plantes.

Cette piste de travail a donc été exploitée au travers d'essais « cultures intermédiaires et *Pratylenchus sp.* », mis en place pour estimer l'impact de différentes cultures intermédiaires sur les populations de *Pratylenchus*. Les modalités implantées sont les suivantes : i) un mélange avoine et seigle, ii) un mélange radis, moutardes blanche et noire, iii) un mélange seigle et vesce, iv) un radis seul.

Dans cet essai, les populations de nématodes variaient entre 20 et 40 nématodes par gramme de racine. Les résultats obtenus montrent que les populations de *Pratylenchus sp.* sont plus faibles après l'implantation et la destruction mécanique du mélange avoine-vesce et du mélange moutarde-radis.

Des essais menés sur l'effet des pratiques sur *les Pratylenchus* montrent qu'en début de végétation, l'apport d'engrais starter provoque une augmentation de 35 % de hauteur de plantes par rapport à un témoin. Dans ces mêmes conditions, le nématicide Vydate 10G employé seul a permis un gain de 15 %. Ces résultats mettent en évidence l'intérêt de l'engrais localisé au semis dans les premiers stades de développement de la plante. En favorisant la production de racines, il permet d'esquiver partiellement les attaques en tout début de cycle. L'engrais starter entraîne une augmentation de rendement de 11 % par rapport au témoin, alors que la protection nématicide permet un gain moyen de rendement de 14 %. L'association engrais starter et nématicides permet un gain de rendement de 21 % en moyenne. Bien que ces deux pratiques aient des modes d'actions très différents, leur effet semble se cumuler. Par ailleurs, les différents essais variétaux réalisés n'ont pas mis en évidence de tolérance à ces nématodes.

Conclusion

Meloidogyne artiellia reste une espèce peu connue, les données bibliographiques la concernant étant peu nombreuses et portant sur des cultures adaptées aux conditions climatiques du pourtour du bassin méditerranéen. Ce projet a donc permis de générer des données originales sur sa biologie, sa dynamique des populations, sa nuisibilité et sa répartition géographique dans un contexte climatique et cultural totalement différent. Cette espèce est donc, sur le colza, responsable de dégâts importants, en particulier en Champagne et tout autour du Bassin Parisien. Par contre, sur la façade atlantique, les mêmes symptômes observables sont provoqués par une autre espèce *Heterodera cruciferae*. Si ce partage géographique reste difficile à expliquer sur la base des données collectées dans le temps imparti, la poursuite de cette approche semble pertinente tant les différences biologiques entre ces deux espèces impliquent des stratégies de gestion totalement différentes. De nouvelles parcelles devront donc être échantillonnées afin de couvrir la totalité des zones de production et le travail d'enquête devra être poursuivi pour identifier avec précision les déterminants dans la présence de chacune des deux espèces.

En ce qui concerne l'interaction colza / *Heterodera schachtii*, des avancées importantes ont été réalisées sur l'impact de cette culture sur les populations et en particulier sur la gestion des repousses de colza, sur le développement d'un outil d'aide à la décision utilisable par les agriculteurs et permettant un choix optimisé des variétés et des rotations. Par ailleurs, à partir des données acquises dans le cadre de ce projet, des premières simulations du développement de *M. artiellia* ont été réalisées à partir de données climatiques et un prototype d'outils d'évaluations des risques à partir de données agronomiques est également disponible.

Si les attentes étaient très fortes vis-à-vis du progrès génétique, en particulier en ce qui concerne les cultures de maïs et de blé dur, les travaux réalisés ont mis en évidence qu'une limite était rapidement atteinte dans la maîtrise des populations de nématodes. Il apparaît clairement que seule des approches

combinant solutions génétiques et agronomiques permettront de maîtriser de manière satisfaisante les populations de nématodes.

Ce projet a également permis de pointer une difficulté majeure inhérente aux organismes étudiés et qui réside dans la réalisation d'analyses nématologiques quantitatives et qualitatives requises par les actions engagées. Si l'identification d'espèces comme *H. avenae*, *H. schachtii* et les différentes espèces du genre *Pratylenchus* n'a pas posé de problème particulier pour les laboratoires rennais (ANSES, INRA), des erreurs manifestes ont été rencontrées lorsque d'autres laboratoires sont intervenus. Egalement, ce programme a mis en évidence les manques importants de compétences et de structures capables de réaliser des analyses nématologiques sur des programmes d'expérimentation et de développement, en particulier sur des espèces peu connues comme *M. artiellia*. Plusieurs rencontres ont eu lieu en cours de projet, réunissant à la fois les filières et les responsables des laboratoires existants.

Les différentes cultures ne partagent pas le même spectre de nématodes nuisibles, mais la mutualisation des méthodes d'analyse et la réflexion sur les pratiques à mettre en œuvre pour lutter contre ces ravageurs est à maintenir, notamment en ce qui concerne d'autres nématodes non étudiés ici. Ainsi, les dommages liés aux nématodes sur ces cultures peuvent devenir préoccupants du fait du retour régulier de leurs cultures hôtes et de cultures intermédiaires également hôtes. Un renouveau dans les connaissances de la biologie et de la répartition de ces nématodes semble donc indispensable pour gérer les variétés résistantes et/ou tolérantes et les méthodes de lutte alternatives. Leur intégration dans de futurs outils d'aide à la décision pourrait permettre de prévoir et d'anticiper l'évolution potentielle des populations de ces nématodes afin qu'elles restent à des niveaux économiquement peu nuisibles.

Remerciements

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre du projet « Effet des systèmes de production sur les populations de nématodes nuisibles aux grandes cultures : recherche de méthodes pratiques de diagnostic et de gestion des risques » mené par l'ACTA et ses partenaires entre 2008 et 2011 et financé par le « Compte d'affectation spécial pour le développement agricole et rural » du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche.

Nous tenons également à remercier les personnes suivantes qui ont activement contribué à la bonne réalisation de ce projet : Ballanger Yannick (Cetiom), Brayer Charlotte (CA Aisne), Collet José (Nouricia), Gratadou Philippe (Jouffray Drillaud), Hebinger Hubert (Cetiom), Poillion Marie-Paule (CA Aube), Rivoal Roger (ex-INRA), Mugnéry Didier (ex-INRA), Marion Philippe (CA Marne), Muchlembled Claude (ITB), Rivière Luc (Champagne-céréales).

Références bibliographiques

- Baldwin, J. G. and M. Mundo-Ocampo 1991. Heteroderinae, cyst- and non-cyst-forming nematodes. Manual of Agricultural Nematology., Marcel Dekker, Inc.: 275-362.
- Bohanec M., Messean A., Scatastac S., Angevin F., Griffiths B., Kroghe PH, Znidarsic M., Dzeroskia S., 2000. A qualitative multi-attribute model for economic and ecological assessment of genetically modified crops. Ecological Modelling 215, 247–261.
- Brun F., Champeil A., Chabert A., Fournet S., Ruck L., 2011. Gestion des attaques de nématodes *H.schachtii* dans une rotation betteravière : levier agronomiques et outil d'aide à la gestion des populations. AFPP, neuvième conférence internationale sur les ravageurs en agriculture, Montpellier, octobre.
- Brzeski M.W., 1969. Nematodes associated with cabbage in Poland. Ekologia Polska 17, 227-240.
- Buisson A., Chabert A., Brun F., Ballanger Y., Ruck L., Champeil A., Fournet S., 2011. *Meloidogyne artiellia* : un nématode phytoparasite associé à l'observation de dégâts en parcelles de colza en

France : de nouvelles données sur sa répartition et sa biologie. AFPP, neuvième conférence internationale sur les ravageurs en agriculture, Montpellier, octobre.

Champeil A., Ruck L., Ballanger Y., Brun F., Chabert A., Fournet S., 2011. Identification et gestion du risque lié au nématode *H.schachtii* dans des rotations associant betteraves sucrières et colza. AFPP, neuvième conférence internationale sur les ravageurs en agriculture, Montpellier, octobre.

Davis E.E., Venette R.C., 2004. Mini Risk Assessment: British root-knot nematode: *Meloidogyne artiellia* Franklin. (Nematoda: Meloidogynidae). Department of Entomology, University of Minnesota. Available on-line at www.aphis.usda.gov/plant_health/plant_pest_info/pest_detection/downloads/pramartielliapra.pdf

Decker H., Dowe A., 1991. Some investigations with *Heterodera schachtii* Schmidt on different varieties of rape. Bulletin SROP. 14(6), 233-228.

Di Vito M., Greco N., Zaccheo G., 1985. On the host range of *Meloidogyne artiellia*. Nematologia Mediterranea 13, 207-212.

Franklin, M.T., 1945. On *Heterodera cruciferae* n.sp. of brassicas and on a *Heterodera* strain infecting clover and dock. Journal of Helminthology 21, 71-84.

Franklin M.T., 1961. A British root-knot nematode, *Meloidogyne artiellia* n. sp. Journal of Helminthology. Leiper Suppl., 82-92.

Franklin, M.T., 1975. *Heterodera schachtii*. C.I.H. Descriptions of Plant-parasitic Nematodes Set 1, N°2. St. Albans, Herts, England.

Greco N., Di Vito M., Reddy M.V., Saxena M.C., 1984. A preliminary report of survey of plant parasitic nematodes of leguminous crops in Syria. Nematologia Mediterranea 12, 87-93.

Greco N., 1984. Presenza di *Meloidogyne artiellia* su cece in Italia. Nematologia Mediterranea 12, 235-238.

Jones F.G.W., 1950. Observations on the beet eelworm and other cyct forming species of *Heterodera*. Annals of Applied Biology 37, 407-440.

Kyrou N.C., 1969. First record of occurrence of *Meloidogyne artiellia* on wheat in Greece. Nematologica 3, 432-433.

Lombardo S., Colombo A., Rapisarda C., 2010. Severe damages caused by *Meloidogyne artiellia* to cereals and leguminous in Sicily. Redia 94, 149-151

Loof P.A.A., 1991. The family Pratylenchidae Thorne, 1949. Manual of Agricultural Nematology., Marcel Dekker, Inc.: 363-421.

Miller L.I., 1986. Economic importance of cyst nematodes in North America. Cyst nematodes. Plenum Press: 373-385.

Winslow R.D., 1954. Provisional lists of host plants of some root eelworm (*Heterodera* spp). Annals of Applied Biology 41, 591-605.