

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

Hélène VÉDIE et Christelle AÏSSA MADANI

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 nématicides, 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.

Depuis 2008, le GRAB étudie les possibilités de rotations incluant des cultures moins sensibles afin de diminuer le potentiel infectieux de parcelles fortement infestées par les nématodes. La première partie du travail a permis d'identifier (par enquêtes et tests de sensibilité) un certain nombre de cultures moins sensibles parmi lesquelles la roquette, le poireau, la mâche, l'oignon et le fenouil, qui sont apparus particulièrement intéressants (voir compte-rendus GRAB L08/LR01 et L09/LR01). En parallèle, un essai « rotation » est en place depuis 2008 pour comparer une rotation « moins sensible » à une rotation sensible témoin. Cette année correspond en principe à la dernière année de l'essai, où après 3 années de différenciation des rotations, nous avons évalué l'effet sur une même culture « révélatrice » sensible, la courgette.

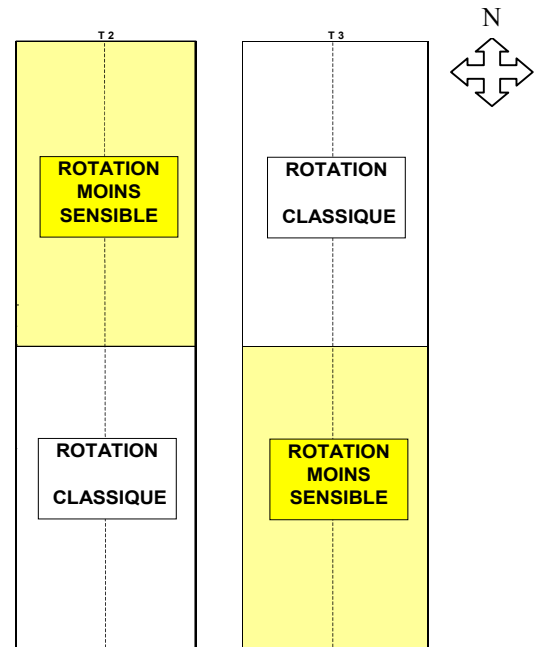
2- MATERIEL ET METHODES :

2.1 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 des cultures « mauvais hôtes » (voir planning), identifiées en 2008/2009 : fenouil (automne 2008), épinard (printemps 2009), mâche (automne 2009 et 2010) et oignon (printemps 2010). L'été, les tunnels sont solarisés. En 2011, quatrième année d'essai, une culture de courgette est mise en place dans les 2 modalités afin d'évaluer l'impact des deux années de coupure sur le niveau d'infestation.



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 | Juin | Juil. | Aout | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil. | Aout | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. | Janv | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil. | Aout | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. | Janv | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil. |
| T2 sud | Courgette | | | | Solarisation | | | | Salade | | | | Courgette | | | | Solarisation | | | | Salade | | | | Courgette | | | | Solar | | | | | | | | | | | | | | |
| T3 nord | Courgette | | | | Solarisation | | | | Salade | | | | Courgette | | | | Solarisation | | | | Salade | | | | Solar | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| T2 nord | Courgette | | | | Solarisation | | | | Fenouil | | | | Epinard | | | | Solarisation | | | | Mâche | | | | Oignon | | | | Solarisation | | | | Mâche | | | | Courgette | | | | | | |
| T3 sud | Courgette | | | | Solarisation | | | | Fenouil | | | | Epinard | | | | Solarisation | | | | Mâche | | | | Oignon | | | | Solarisation | | | | Mâche | | | | Courgette | | | | | | |

Planning de l'essai

2.2 Conditions de culture

Précédents (automne 2010-11): **Batavia blonde** en rotation témoin / **Mâche** en rotation moins sensible.

Cultures de printemps révélatrice 2011 : Courgette

T2 : variété Satellite (Voltz) : Plantation : 5/03/2011 – Récolte : jusqu'au 28 juin

T3 : variété Géode (Voltz) : Plantation : 7/03/2011 – Récolte : jusqu'au 28 juin

Solarisation : à partir du 22 juillet

2.3 Mesures et observations :

Mesures des infestations de *meloidogyne spp.* :

Cartographie de l'infestation dans les 2 tunnels : en fin de 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

3- RESULTATS - DISCUSSION :

3.1 Indice de galles sur courgette révélatrice en 2011 : IG 6 (IG 0 et IG 1 en 2008 – IG 2 et IG 3 en 2009 – IG 4 et IG 5 en 2010)

Les valeurs moyennes des indices de galle sont récapitulées dans le tableau ci-dessous.

| IG 6 | BLOC | | |
|--|---------|-----|-----|
| | T2* | T3 | |
| Courgette (précédents non à peu sensibles) | 4,1 (A) | 0,5 | 2,3 |
| Courgette (précédents sensibles) | 5,7 (B) | 0,2 | 2,9 |
| Moyenne | 4,9 | 0,3 | 2,6 |

Indices de galles IG 6 – Courgettes 2011

**Groupes homogènes de Newman-Keuls au seuil de 5%*

La moyenne des résultats obtenus montre que l'IG moyen mesuré sur courgettes est moins important sur la modalité « rotation peu sensible » (IG = 2,3) que sur la rotation sensible (IG = 2,9), bien que cette différence ne soit pas statistiquement significative. Les résultats sont cependant **très** différents dans les 2 tunnels. Ces différences peuvent être liées à différents facteurs :

- **une efficacité différente de la solarisation estivale** (réalisée annuellement) sur les 2 tunnels.
- **une sensibilité différente des variétés de courgette** : malheureusement, la variété n'a pas été la même dans le T2 (variété Satellite) que dans le T3 (variété Géode), or il est fortement probable qu'il y ait des différences de sensibilité variétale aux nématodes à galles. « Satellite » est sans doute plus sensible, ce que nous avons déjà observé lors de la réalisation de l'état 0 du site d'essai en 2008 (voir Compte-rendu GRAB L08/LR01).

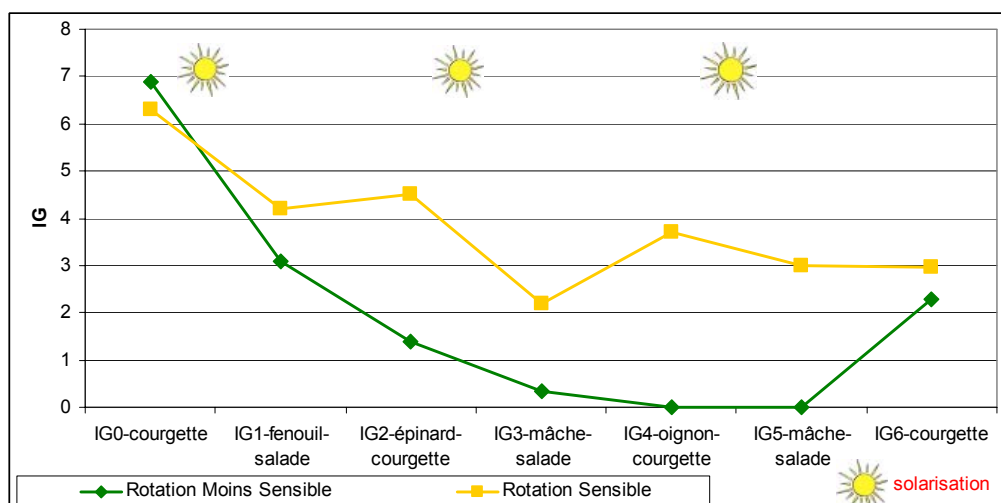
Il convient donc d'intégrer le facteur « tunnel » dans l'analyse des résultats, et d'étudier l'évolution des symptômes racinaires des cultures selon les cultures et les tunnels au cours des 3 années de l'essai.

3.2 Evolution des Indices de galles de 2008 à 2011

- **Evolution des indices de galle moyens en fonction des rotations** (graphique 1)

L'évolution des indices de galles moyens mesurés sur la rotation « moins sensible » montre que dès la première culture d'automne (IG 1), les indices de galle sont inférieurs à ceux de la rotation « sensible » et qu'ils diminuent progressivement jusqu'à devenir quasiment nuls à partir de l'automne suivant (IG 3). Les cultures de mâche d'automne (IG 3 et IG 5) et d'oignon de printemps (IG 4) se sont avérées particulièrement peu sensibles aux nématodes à galles, alors qu'on pouvait observer des galles sur fenouil d'automne (IG 1) et épinard de printemps (IG 2). Cette forte réduction de la multiplication des nématodes sur la période d'essai s'avère cependant insuffisante puisque la culture de courgette « révélatrice » de 2011 montre que les infestations des racines réapparaissent rapidement (IG 6).

L'évolution des indices de galles moyens mesurés sur la rotation « sensible » montre que les indices de galles ont aussi progressivement diminué au cours de l'essai, tout en restant compris entre 2 et 5. La diminution progressive est surtout notable sur courgette (IG 2, IG 4 et IG 6), elle l'est moins sur salade. Cette évolution est sans doute le résultat des effets des solarisations annuelles réalisées l'été dans les tunnels, qui, sans éradiquer les nématodes, ont permis de maintenir les populations en-deçà d'un certain seuil de nuisibilité.

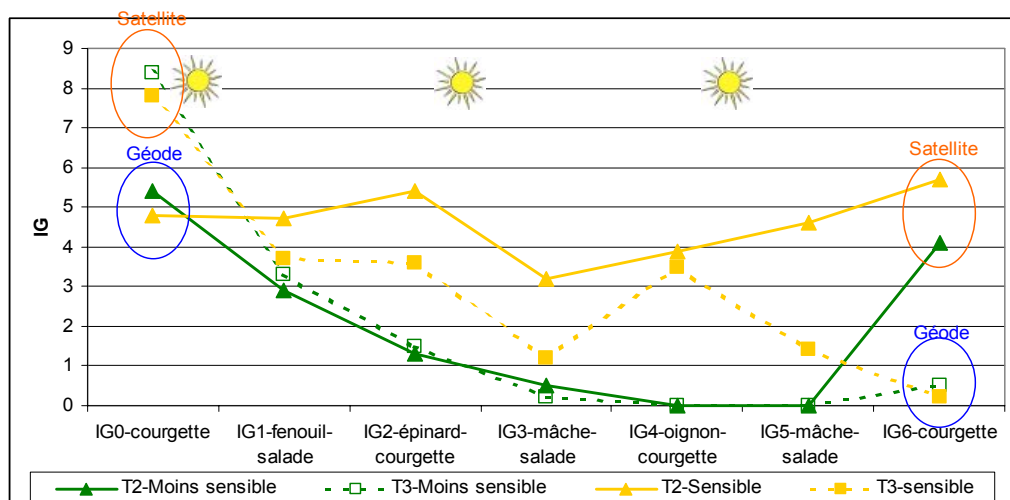


Graphique 1 : Evolution des indices de galle des 2 rotations au cours de l'essai

- Evolution des indices de galle moyens en fonction des rotations et des tunnels

L'évolution des indices de galles pour les 2 types de rotation avec distinction des 2 tunnels (symbole Δ pour le tunnel 2 (T2) et symbole \square pour le tunnel 3 (T3)) figure dans le graphique 2.

On observe que pour la rotation sensible (en jaune), la baisse progressive des indices de galle moyens observée est due à une baisse dans le T3 car les IG restent assez stables dans le T2.



Graphique 2 : Evolution des indices de galle des 2 rotations au sein de chaque tunnel

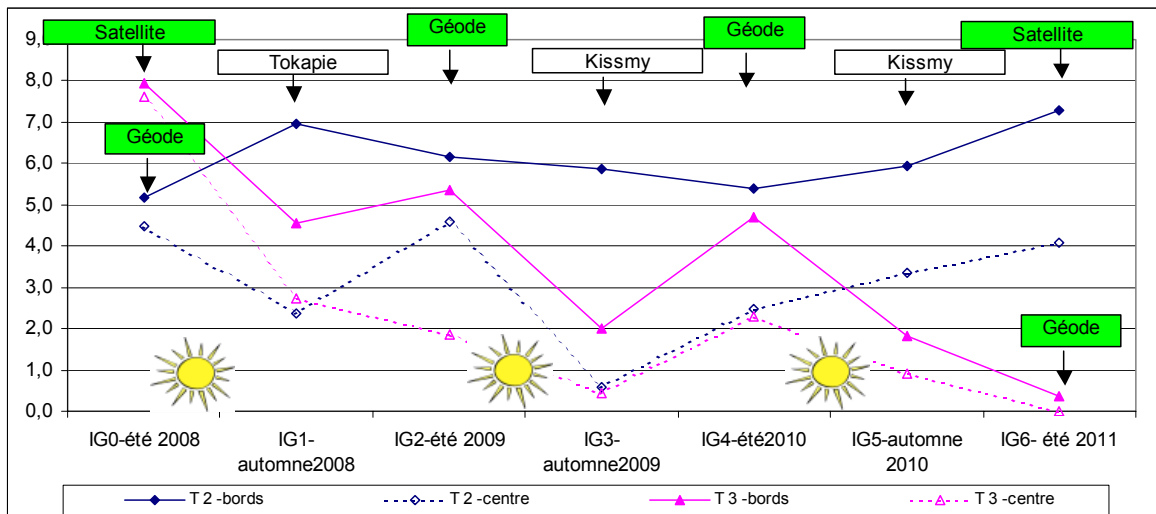
On observe également que la baisse des IG dans le T3 est surtout notable en début d'essai et en fin d'essai (IG6).

Pour la rotation « moins sensible » (en vert), il n'y a quasiment pas de différence entre les 2 tunnels, la baisse des IG étant régulière et progressive partout. La remontée de l'indice de galle en fin d'essai avec la courgette révélatrice (IG 6) est cependant localisée au tunnel 2. Cette remontée, visible sur les 2 modalités du T2, ne peut être indifférente au fait que la variété de courgette soit différente dans ce tunnel en fin d'essai.

Il y a donc une évolution bien différente des dégâts de nématodes dans les 2 tunnels. Pour essayer de comprendre quand, et comment, les 2 tunnels se sont différenciés, il est intéressant d'analyser les impacts respectifs de la solarisation et des variétés cultivées au cours de l'essai.

3.3 Evolution des Indices de galle sur la rotation sensible : effet de la solarisation

L'ensemble des cartographies réalisées au cours de l'essai (voir annexe) montre que les infestations étaient en général plus importantes sur les rangs de bordure que sur les rangs centraux. Le graphique 3 montre l'évolution des IG pour la rotation sensible dans les 2 tunnels d'essai, en distinguant les rangs de bordure d'une part (traits pleins), et les rangs centraux d'autre part (pointillés). Les variétés cultivées chaque année en courgette (en vert) et batavia blonde (en blanc) apparaissent également sur le graphique.



Graphique 3 : Rotation sensible : Evolution des indices de galle sur les rangs de bordure et centraux des 2 tunnels

Dans le tunnel 2 (courbes bleues), on voit que les indices de galle restent élevés, compris entre 5 et 7, sur les rangs de bordure tout au long de l'essai. Par contre, on assiste à une diminution de l'IG sur les rangs centraux après la solarisation de l'été 2009 (IG 3 et IG 4), puis à une remontée à partir de l'automne 2010. La montée finale sur la courgette 2011 (IG 6) est particulièrement spectaculaire, et touche à la fois les rangs de bordure et centraux, mais est sans doute liée à la présence de la variété « Satellite », qui est manifestement plus sensible aux nématodes (ce qui est également visible sur l'IG 0 du T3). L'évolution dans ce tunnel laisse penser que la solarisation a été **très efficace en 2009 sur les rangs de bordure**, pas sur les rangs centraux, et qu'elle l'a peu été en 2008 (IG2 = IG0) et en 2010.

Dans le tunnel 3 (courbes rouges), les indices de galle baissent de façon plus progressive. Cependant, on peut difficilement trancher sur l'évolution initiale car la variété de courgette « satellite » était présente dans ce tunnel pour l'IG 0, et « Géode » est ensuite la variété cultivée chaque année. On constate que dans ce tunnel, les indices de galle ont rapidement baissé sur les rangs de bordure, mais aussi, dans une moindre mesure, sur les rangs centraux. On peut penser que la solarisation a, comme dans le tunnel 2, été très efficace en 2009, surtout sur les rangs de bordure (résultats proches sur les rangs de bordure des 2 tunnels pour IG 3 et IG 4), et sur les rangs centraux pour la salade qui a immédiatement suivi la solarisation (IG 3) sans que l'effet ne se maintienne dans le temps pour la culture de courgette (IG 4 = IG 2).

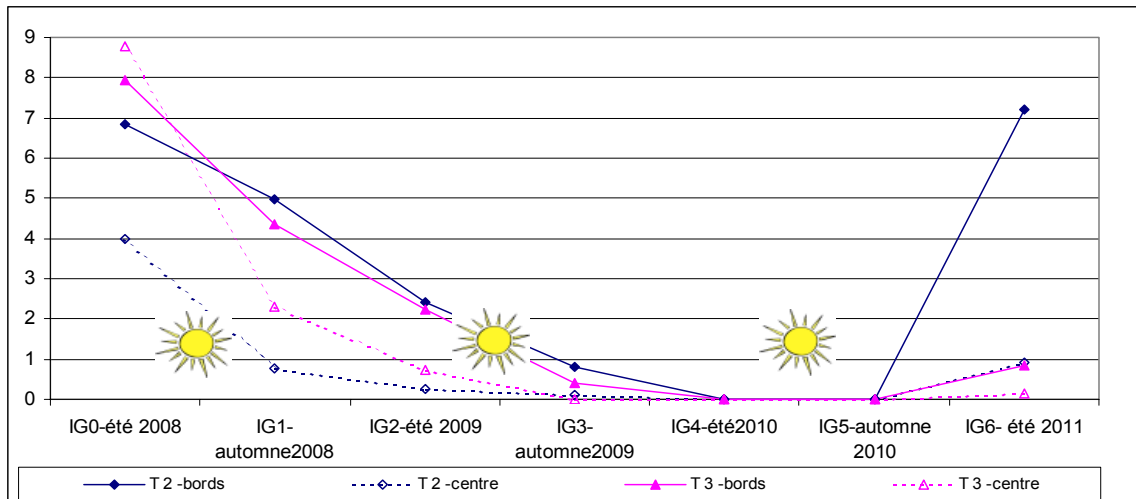
C'est surtout à partir de l'automne 2010 que les 2 tunnels évoluent de façon radicalement différente : l'augmentation des IG est massive et généralisée dans le tunnel 2, à la fois sur les rangs centraux et les rangs de bordure, alors que la diminution est spectaculaire dans le tunnel 3. Une différence d'efficacité de la solarisation 2010 entre les 2 tunnels est très probable, même si on peut difficilement l'expliquer car les conditions de réalisation ont été strictement identiques. Cependant, on peut noter que la bâche de serre a été changée en fin d'été 2010 dans le T2 car elle était abîmée et partiellement déchirée, ce qui peut être une hypothèse d'explication de la moindre efficacité de la solarisation dans ce tunnel. Néanmoins, elle ne peut être la seule explication puisque dans le tunnel 3 les indices de galle sur salade ayant suivi immédiatement la solarisation (IG 5) sont supérieurs à ceux mesurés sur la culture suivante, qui plus est sensible (IG 6).

L'évolution finale du niveau d'infestation entre les 2 tunnels peut donc être partiellement expliquée par une plus ou moins grande efficacité de la solarisation (en 2009, mais surtout en 2010), par une plus grande sensibilité de la variété de courgette cultivée dans le T2, mais d'autres phénomènes sont sans doute apparus pour expliquer une telle différence, notamment entre l'automne 2010 et l'été 2011 dans le T3, sans que nous ayons identifié ces phénomènes.

3.4 Evolution des Indices de galles sur la rotation moins sensible : effet de la solarisation

Le même type d'analyse sur la rotation moins sensible, en distinguant les 2 tunnels et les rangs de bordure et centraux figure sur le graphique 4. Ce graphique montre que dès le début de l'essai, dans la modalité « moins sensible » du tunnel 2 (courbes bleues), il y avait une forte différence d'infestation entre les rangs de bordure et les rangs centraux. Cette différence se maintient, de façon plus ou moins importante, au cours de l'essai. La différence entre les rangs de bordure et centraux est aussi visible, dans une moindre mesure, dans le tunnel 3 (courbes rouges).

Le graphique montre surtout que, sur cette modalité, la forte infestation de la courgette révélatrice (IG 6) dans le T2 a lieu **sur les rangs de bordure**. Tout se passe comme si les nématodes, très présents dans ces zones au début de l'essai, mais qui s'exprimaient peu sur les cultures moins sensibles entre 2009 et 2010, se sont à nouveau fortement exprimés dès que les conditions sont redevenues favorables.



Graphique 4 : Rotation Moins Sensible : Evolution des indices de galle sur les rangs de bordure et centraux des 2 tunnels

L'évolution comparée des rangs de bordure et centraux dans les 2 tunnels et pour les 2 modalités de l'essai (graphiques 3 et 4) montre surtout que la solarisation est plus efficace dans le milieu du tunnel que sur les bordures. Cela peut être dû à de plus fortes fluctuations de températures dans le sol au cours de la solarisation entre le milieu et le centre du tunnel (mesures réalisées sur la station expérimentale du GRAB au cours de l'été 2010), et/ou à une recolonisation plus rapide des bordures par les nématodes qui peuvent se trouver sur les côtés ou entre les tunnels.

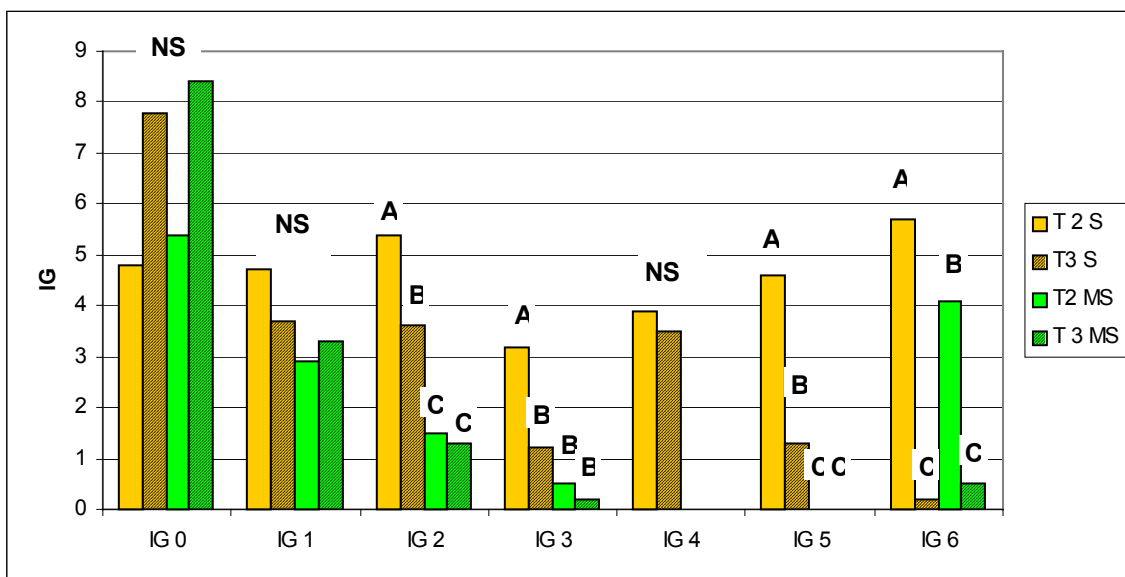
3.5 Analyse statistique des résultats : analyse comparée des effets « rotation » et « tunnel »

- **L'effet rotation** est logiquement statistiquement significatif pour les IG 1 à IG 5, avec des IG systématiquement inférieurs pour la rotation « moins sensible ». Il n'y a pas de différence significative pour ce seul facteur pour l'IG 6, sur la courgette révélatrice.

- **L'effet « tunnel »** est significatif à partir de l'IG 2 et jusqu'à l'IG 6, sauf sur les cultures d'été 2010 (IG 4) : le tunnel 2 est significativement plus infesté que le tunnel 3 à partir de l'été 2009. C'est là que l'effet « variété de courgette » est notable car le tunnel 3 était le plus infesté lors de l'état 0 (IG 0 moyen de 8,1 dans le T3 et 5,1 dans le T2)

Une analyse statistique de comparaison de moyennes des indices de galle intégrant les 2 facteurs « tunnel » et « rotation » permet de mieux discriminer les résultats. Les résultats statistiques (graphique 5) confirment la validité des observations précédentes : l'analyse interfactorielle « tunnel » X « rotation » distingue le T2 du T3 dès l'été 2009 (IG 2) sur la rotation sensible. A la fin de l'essai, sur courgette révélatrice, les 2 tunnels se distinguent quelle que soit la rotation.

Les IG faibles du T 3 ne permettent pas de voir un effet quelconque du facteur rotation. Par contre, dans le tunnel 2, la rotation « moins sensible » a permis de diminuer notablement le niveau d'infestation sur courgette, avec une réduction de l'indice de galle de 1,6 points, soit -28%.



Graphique 5 : Comparaison de moyennes d'indices de galle à 2 facteurs : « tunnel » (T2 et T3) et « rotation » (S : sensible témoin – MS : Moins sensible). Test de Newman Keuls à 5% :
NS = non significatif – A-B-C : moyennes statistiquement différentes

3.6 Résultats cultureux et économiques :

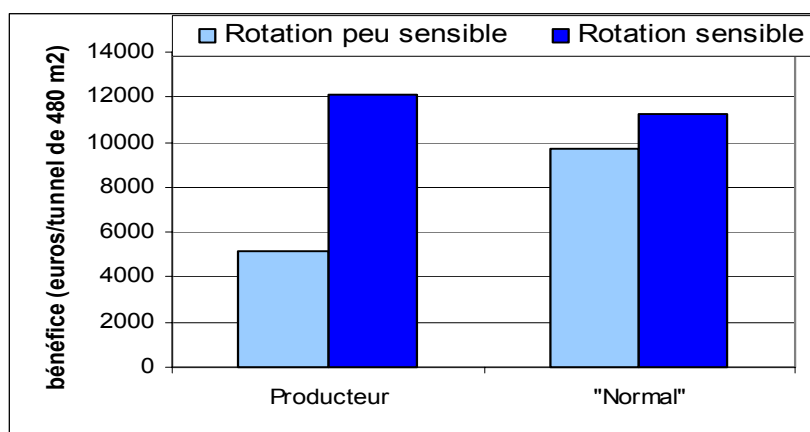
Les résultats économiques obtenus pour les 2 types de rotation sur la durée de l'essai sont en défaveur de la rotation moins sensible, en raison de la moindre valorisation financière des produits de cette modalité (graphique 6).

Chez le producteur, la différence est importante et s'explique à la fois par des problèmes cultureux et économiques, notamment en début d'essai : dégâts de gel et de pucerons noirs sur fenouil en 2008 ; oïdium et mévente de la mâche en 2009 (voir fiche GRAB L09/LR01). Ces problèmes ont occasionné des rendements inférieurs sur ces cultures en comparaison de ce qui peut être obtenu dans la « normale » en AB.

En conséquence, le bilan global sur l'automne 2008 et les années 2009 et 2010 (5 cultures) reste en défaveur de la rotation « peu sensible ».

En considérant des rendements et des prix plus proches de la normale sur l'ensemble des successions culturales depuis la mise en place de l'essai en 2008, la différence de résultat économique serait moins importante, de 14 % environ entre les 2 types de rotation.

Malgré la différenciation des rotations pendant plusieurs années, et la moindre infestation (relative) des courgettes sur la modalité « rotation moins sensible » en 2011, on n'a pas constaté de différence de rendement entre les 2 modalités. La moindre rentabilité de la rotation « moins sensible » pendant 2,5 ans ne s'est donc pas accompagnée d'une compensation relative sur une culture à plus forte valeur ajoutée venant ensuite.



Graphique 6 : Résultats économiques 2008-2010 : Comparaison des bénéfices des 2 rotations pour un tunnel de 480 m2 (somme de 5 cultures)

4- CONCLUSION

Malgré les résultats encourageants obtenus pendant les premières années de cet essai, qui nous ont permis de confirmer la moindre sensibilité d'un certain nombre de cultures aux nématodes à galles (ou de la relativiser pour d'autres, comme le fenouil planté trop tôt à l'automne), et d'observer l'intérêt de la solarisation dans la maîtrise des populations de meloidogyne, les conclusions de la dernière année sont apparues très décevantes.

Du fait d'une évolution des infestations très différente dans les 2 tunnels, et notamment sur la culture d'été 2011, il est difficile de trancher de façon nette sur l'intérêt des 2,5 années de coupure dans l'assainissement des sols. Nous avons vu que la solarisation pouvait avoir de très bons résultats sur la réduction des infestations, mais qu'elle est surtout efficace sur les rangs centraux du tunnel et qu'elle est dépendante des années climatiques et des conditions de mise en œuvre ; elle restera donc une solution à court terme nécessitant d'être renouvelée régulièrement.

Le fait d'avoir eu en 2011 deux variétés de courgette différentes rend encore plus complexe la comparaison des 2 tunnels d'essai. Enfin, la quasi absence de galles de nématodes dans le tunnel 3 cette année sur les 2 modalités reste en grande partie une énigme car elle ne peut pas être uniquement le résultat de la solarisation. Sur l'autre tunnel, la réduction d'infestation suite à une rotation moins sensible pendant 2,5 ans est de 28% par rapport à la rotation sensible. Cela est intéressant, mais décevant. Le fait que des galles aient été observées sur fenouil et épinard de la rotation « moins sensible » la 1^{ère} année d'essai laisse penser que l'effet aurait été plus important avec des cultures encore moins sensible, mais on ne peut nier que les nématodes sont aussi sans doute très difficile à éliminer, et qu'un plus grand nombre d'années de coupure soit nécessaire.

Néanmoins, les observations continuerons l'an prochain sur cet essai, avec notamment une même variété de courgette pendant l'été 2012, pour tenter de lever les incertitudes liées aux 2 différentes variétés de cette année.

Les bénéfices générés par la modalité « moins sensible » restent nettement inférieurs à la modalité témoin, car les cultures telles que l'épinard ou l'oignon sont moins rentables que 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.

Nous tenons à remercier Xavier Hévin, maraîcher biologique à Marguerittes, qui a permis la mise en place et le maintien de cet essai dans la durée.

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 BP 11283 - 84911 Avignon cedex 9 – tel : 04 90 84 01 70 – fax : 04 90 84 00 37 – E-mail : helene.vedie@grab.fr

Mots clés du thésaurus Ctifl : nématodes à galles – meloidogyne – indice de galle – rotation culturale -- sensibilité

Date de création de cette fiche : octobre 2011

