

Comparaison de la sensibilité de différents engrais verts de Brassicacées aux nématodes à galles (*Meloidogyne spp.*)

Effets sur l'infestation de la culture suivante

Hélène VEDIE

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** plantes 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).

L'objectif de cet essai est d'étudier le comportement agronomique et la sensibilité de différentes variétés d'engrais verts de la famille des *Brassicacées*, et notamment de radis fourragers, aux nématodes à galles du genre *Meloidogyne spp.* Il s'agit également d'évaluer l'effet sur l'infestation de la culture suivante.

Cette pratique vise en effet à combiner deux processus dans la lutte contre ces ravageurs : une rupture de cycle par l'insertion de variétés résistantes en interculture, et une action directe après broyage et enfouissement par la libération de composés volatils soufrés aux propriétés toxiques.

2- MATERIEL ET METHODES :

2.1 Dispositif expérimental :

Site : Le dispositif expérimental est situé sur une exploitation en agriculture biologique à Mauguio (34), dans un tunnel froid (T15) de 8 m de large sur 80 m de long, infesté par les nématodes *M. incognita*.

Le sol est calcaire de texture limono-argilo-sableuse.

Dispositif : essai à 10 modalités (tableau 1) et 2 répétitions (blocs). Parcelles élémentaires de 4 m de large sur 6 m de long, soient 24 m².

Modalités :

| N° | Modalités | Variété | Société | Densité de semis (kg/ha) |
|----|----------------------------|-----------------------------|----------------|--------------------------|
| A | Radis fourrager | A | RAGT | 20 |
| B | Radis fourrager | B | RAGT | 20 |
| C | Radis fourrager | C | RAGT | 20 |
| D | Radis fourrager | D | RAGT | 20 |
| E | Radis fourrager | E | RAGT | 20 |
| F | Roquette | R | RAGT | 12 |
| G | Moutarde brune | « Etamine » | Soufflet | 15 |
| H | Témoin paillé | Paillage noir biodégradable | | |
| I | Radis fourrager | « Contra » | Alpha-semences | 25 |
| J | Témoin enherbement naturel | - | | |

Tableau 1 : modalités de l'essai

2.2 Conditions de culture

- **Précédent** : tomate, variété Millenia, 4 double-rangs dans la largeur du tunnel, arrachée fin septembre 2011
- **Engrais verts d'automne** : automne 2011 - hiver 2012
 - **Fertilisation** : engrais organique correspondant à la dose de 50 unités N total/ha
 - **Semis** : les engrais verts ont été semés à la volée le 13/10/2011. Le semis a été suivi d'un passage de rouleau et d'une irrigation de 20 mm. Ils ont subi un engorgement en eau fin novembre lié à des inondations (extrémité sud du tunnel surtout) et de fortes gelées fin janvier.
 - **Broyage** : le 16 février 2002 au broyeur à marteaux. **Enfouissement** immédiat à la rotobèche et roulage. **Irrigation** de 20 mm et **bâchage** le 17 février pendant 15 jours.
- **Printemps 2012** : culture de courgette, variété Ariane (Gautier, semences biologiques), plantation le 15/03/12, densité de plantation : 1,6 plants/m², 4 rangs. Fertilisation : 180 uN organique/ha.

2.3 Mesures et observations :

Cartographie de l'état initial d'infestation par les nématodes à galles :

Arrachage des systèmes racinaires de tomate et attribution d'une note d'infestation (Indice de Galles, IG) de 0 à 10 (Echelle de Zeck, 1971). Les notations sont effectuées sur les 4 rangs de tomate dans la largeur et tous les 2 m (correspondant aux arceaux) dans la longueur. La cartographie est établie pour cette densité de mesures, correspondant à 6 notations par future parcelle élémentaire.

Mesures agronomiques sur les engrais verts :

- Développement et taux de recouvrement au cours de la croissance
- Rendement : mesures des biomasses fraîches et sèches des parties aériennes et racinaires (pour les radis) sur 2 placettes de 0,5 m x 0,5 m soit 0,25 m² par parcelle élémentaire.

Mesures de sensibilité aux nématodes sur les engrais verts :

- Pour les 6 variétés de radis (modalités A, B, C, D, E, I) notation du niveau d'infestation de toutes les racines récoltées sur 2 placettes de 0,25 m² par parcelle élémentaire, soient 4 placettes par modalité. **L'échelle de notation, de 0 à 4**, utilisée pour les radis est la suivante :

0 : pas de galles

1 : 1 à 2 galles

2 : 3 à 5 galles

3 : 6 à 10 galles

4 : plus de 10 galles

- Pour l'ensemble des engrais verts (radis, roquette et moutarde), cartographie des IG aux mêmes emplacements que celle réalisée sur les tomates : 6 notations par parcelle élémentaire. Chaque note attribuée par emplacement est la moyenne de 3 à 4 systèmes racinaires, sauf pour les radis où 2 emplacements correspondent aux notes sur placettes. Echelle de notation ci-dessus, de 0 à 4.

Cartographie de l'état final, sur courgette :

Arrachage des systèmes racinaires de courgette et attribution d'une note d'infestation de 0 à 10 (Echelle de Zeck, 1971). Les notations sont effectuées le 13 juillet, aux mêmes endroits que pour la tomate et les engrais verts. Etablissement de la cartographie pour la même densité de mesures, correspondant à 6 notations par parcelle élémentaire.

Analyses nématologiques de laboratoire :

- Dénombrements de larves réalisés par le laboratoire hollandais BLGG dans chaque parcelle élémentaire, sur un échantillon composite de 6 prélèvements réalisés aux mêmes endroits que les observations des racines lors des cartographies : 15 juin, 1 mois avant arrachage.
- Détermination d'espèce de *Meloidogyne* sur racines de courgettes (13/7) par le laboratoire ANSES.

3- RESULTATS - DISCUSSION

3.1 Cartographie de l'état initial d'infestation par les nématodes à galles

La cartographie a été réalisée le 23 septembre 2011, en fin de culture de tomate. Elle figure en annexe 1. On remarque que le niveau d'infestation est relativement élevé, et surtout assez hétérogène : les rangs centraux sont plus touchés, et l'infestation est plus importante en bordure nord de l'essai. Cette cartographie a été utilisée de façon à positionner les traitements de l'essai sur des zones de niveau de pression équivalente, notamment pour les radis qui étaient principalement étudiés dans l'essai (tableau 2). Ainsi, les différentes variétés de radis étudiées se trouvent toutes dans des zones de niveau d'infestation initial moyen de 3 environ sur l'échelle d'indices de galles de Zeck, de 0 à 10.

Le plan de l'essai figure en annexe 2; il fait apparaître les 2 blocs de l'essai dans la largeur (B1 à l'Ouest et B2 à l'Est), et la répartition des 10 modalités dans la longueur.

3.2 Résultats agronomiques sur les engrais verts

Développement des engrais verts :

Les engrais verts ont eu un développement limité et hétérogène car le semis a été réalisé assez tardivement (13/10) : la combinaison de durées de jours courtes et de températures peu élevées, l'inondation en novembre et le gel en fin d'interculture, ont fait qu'il n'ont pas atteint leur potentiel de croissance. Il y a des différences notables de qualité de couverture du sol et de hauteur moyenne des plantes.

Du fait de la forte présence de plantes adventices, essentiellement de mourron blanc (*Stellaria media*) et de quelques repousses de tomate, la densité de semis s'est parfois avérée insuffisante : la roquette (modalité F) et le radis B, par exemple, ne couvrent que 50% de la surface un mois et demi après semis (tab.3).

Nous avons également noté quelques dégâts d'altises, ravageurs assez communs des crucifères, et de *Rhizoctonia*, de façon plus ou moins marquée selon les engrais verts. En fin d'interculture, des dégâts de gel dus à de très basses températures, peu communes pour la région, fin janvier-début février sont bien visibles sur certains engrais verts, notamment les radis.

| N° | Modalités | IG 0 bloc 1 | IG 0 bloc 2 | IG 0 moyen |
|---------------|----------------------------|-------------|-------------|------------|
| A | Radis fourrager A | 2 | 3,8 | 2,9 |
| B | Radis fourrager B | 2 | 3,8 | 2,9 |
| C | Radis fourrager C | 2,9 | 2,5 | 2,7 |
| D | Radis fourrager D | 3,2 | 2,8 | 3,0 |
| E | Radis fourrager E | 3,3 | 2,5 | 2,9 |
| F | Roquette | 2,3 | 2,5 | 2,4 |
| G | Moutarde brune | 2,7 | 4,3 | 3,5 |
| H | Témoin paillé | 1,8 | 0,3 | 1,1 |
| I | Radis fourrager I | 5,3 | 1,0 | 3,2 |
| J | Témoin enherbement naturel | 3,6 | 1,0 | 2,3 |
| Moyenne essai | | 2,9 | 2,4 | 2,7 |

Tableau 2 : Indices de Galles initiaux (IG 0) de chaque parcelle élémentaire mesurés sur tomate le 23/09/2011. Dans chaque bloc, la valeur IG 0 d'une modalité correspond à la moyenne de 6 notations.

Les principales caractéristiques du développement des engrais verts se trouvent dans les tableaux 3 et 4. Les chiffres indiqués sont la moyenne des 2 répétitions pour chaque modalité. Visuellement, les plantes se sont mieux développées dans le bloc 2 que dans le bloc 1, plus envahi par le mourron blanc. L'effet bloc est significatif sur la hauteur des plantes aux 2 dates de mesure.

Les hauteurs des plantes et le pourcentage moyen de couverture ont été mesurés à deux dates : le 24 novembre, 1,5 mois après semis, et le 13 février, 4 mois après semis. On constate que la croissance des radis a peu évolué entre les 2 dates, du fait des conditions climatiques peu adaptées. Certaines plantes sont même couchées le 13 février, et jaunies, probablement à cause du gel. La roquette a également peu poussé et prend une teinte rougeâtre. Seule la moutarde brune semble avoir mieux résisté à ces conditions : elle a poursuivi sa croissance pour atteindre plus de 40 cm de hauteur, et assure une très bonne couverture de sol. Elle a ici mieux supporté le gel que les radis, alors qu'on observe l'inverse en général.

Globalement, les meilleures performances en terme de croissance, résistance au gel et concurrence à la très forte pression du mourron sont la moutarde brune, suivie par les radis A, E et I. La différence observée entre les différents radis n'est cependant pas statistiquement significative.

| N° | Modalités | 24 novembre 2011 (S+1,5 mois) | | 13 février 2012 (S+4 mois) | |
|----|----------------------------|-------------------------------|----------------|----------------------------|----------------|
| | | Hauteur (cm) | Couverture (%) | Hauteur (cm) | Couverture (%) |
| A | Radis fourrager A | 28 (A) | 70 (A) | 28 (AB) | 80 (B) |
| B | Radis fourrager B | 26 (A) | 50 (B) | 27,5 (AB) | 60 (B) |
| C | Radis fourrager C | 27,5 (A) | 70 (A) | 27,5 (AB) | 70 (B) |
| D | Radis fourrager D | 26,5 (A) | 75 (A) | 23,5 (AB) | 60 (B) |
| E | Radis fourrager E | 28 (A) | 77,5 (A) | 27,5 (AB) | 85 (B) |
| F | Roquette | 11,5 (B) | 50 (B) | 13,5 (B) | 55 (B) |
| G | Moutarde brune | 23,5 (A) | 95 (A) | 43,5 (A) | 100 (A) |
| I | Radis fourrager I (Contra) | 32,5 (A) | 65 (A) | 37,5 (AB) | 75 (B) |

Tableau 3 : Hauteurs (cm) et couverture (%) des engrais verts 1,5 et 4 mois après semis. Groupes homogènes selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5% (analyse à 2 blocs)

| N° | Modalités | Sensibilité à <i>Rhizoctonia</i> | Sensibilité au gel |
|----|----------------------------|----------------------------------|--------------------|
| A | Radis fourrager A | + | + |
| B | Radis fourrager B | + | ++ |
| C | Radis fourrager C | + | + |
| D | Radis fourrager D | + | ++ |
| E | Radis fourrager E | ++ | + |
| F | Roquette | ++ | + |
| G | Moutarde brune | + | - |
| I | Radis fourrager I (Contra) | + | + |

Tableau 4 : sensibilité des engrais verts au *Rhizoctonia* et au gel. Notations à la récolte

Notons que sur la modalité témoin « enherbement naturel », la présence d'adventices est TRES importante, avec essentiellement du mourron blanc (80-90%) et des repousses de tomate. La modalité « témoin paillé », avec une couverture de paillage biodégradable, est aussi envahie, dans une moindre mesure, par les adventices.



Rendement des engrais verts :

Les biomasses et teneurs en matière sèche des engrais verts ont été mesurées le 13 février, soit 4 mois après semis, sur 4 placettes de 0,25 m² par modalité. Les biomasses aériennes ont été mesurées pour tous les engrais verts, les biomasses racinaires uniquement sur les radis.

□ Rendement des parties aériennes

L'ensemble des résultats figure dans le tableau 5.

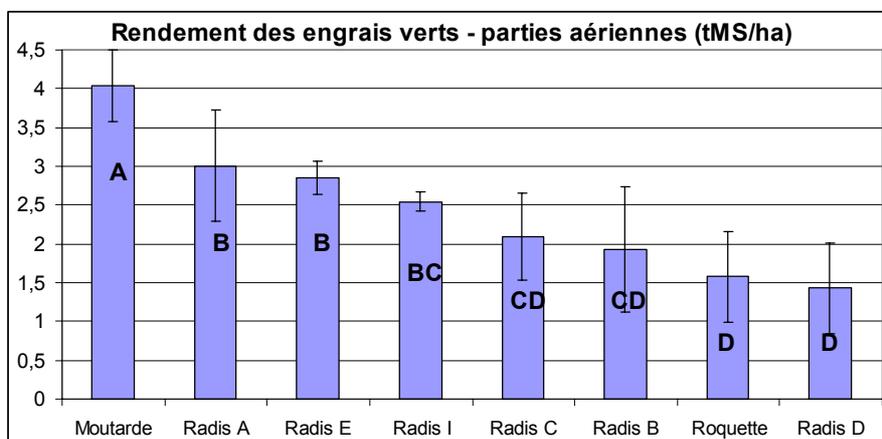
- Les rendements moyens en **matière fraîche** (MF) varient de 8,2 t/ha pour la roquette à 23 t/ha pour la moutarde brune. Pour les radis, ils sont intermédiaires et compris entre 9,2 t/ha pour le radis D et 16,7 t/ha pour le radis A.

- Les teneurs en matière sèche sont assez homogènes, comprises entre 16,2 et 19,4%.

- Les rendements en **matière sèche** (MS) varient de 1,6 t/ha pour la roquette à 4 t/ha pour la moutarde brune. Pour les radis, ils sont compris entre 1,4 t/ha pour le radis D et 3 t/ha pour le radis A. Les couverts sont cependant assez hétérogènes, comme en témoignent les valeurs des écarts-types (graphique 1). En effet, le bloc 1 est significativement moins productif que le bloc 2, ce qui confirme les observations visuelles.

| N° | Modalité | Rendement MF (t/ha) | Rendement MS (t/ha) | % MS |
|----|----------------------------|---------------------|---------------------|------|
| A | Radis fourrager A | 16,7 (B) | 3,0 (B) | 17,9 |
| B | Radis fourrager B | 12,0 (BC) | 1,9 (CD) | 16,9 |
| C | Radis fourrager C | 12,7 (BC) | 2,1 (CD) | 17,3 |
| D | Radis fourrager D | 9,2 (C) | 1,4 (D) | 16,2 |
| E | Radis fourrager E | 16,4 (B) | 2,9 (B) | 17,5 |
| F | Roquette | 8,2 (C) | 1,6 (D) | 19,4 |
| G | Moutarde brune | 23,0 (A) | 4,0 (A) | 17,6 |
| I | Radis fourrager I (Contra) | 14,9 (B) | 2,5 (BC) | 17,1 |

Tableau 5 : Rendements et teneurs en matière sèche des parties aériennes des engrais verts. Groupes homogènes selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5% (analyse à 4 blocs)



Graphique 1 : Rendement en matière sèche des parties aériennes des engrais verts. Groupes homogènes selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5% (analyse à 4 blocs)

□ Rendement des parties racinaires des radis

L'ensemble des résultats figure dans le tableau 6.

- Les rendements moyens des racines de radis sont assez homogènes entre les variétés, de 6 à 7,2 t/ha en **matière fraîche** (MF), et environ 1,2 t/ha en **matière sèche** (MS). Seule la variété C se distingue par un rendement nettement supérieur : près de 9 t/ha de matière fraîche pour 1,8 t/ha de matière sèche.

- Les teneurs en matière sèche sont assez homogènes et plus élevées que pour les parties aériennes ; elles sont comprises entre 17,7 et 21,3%.

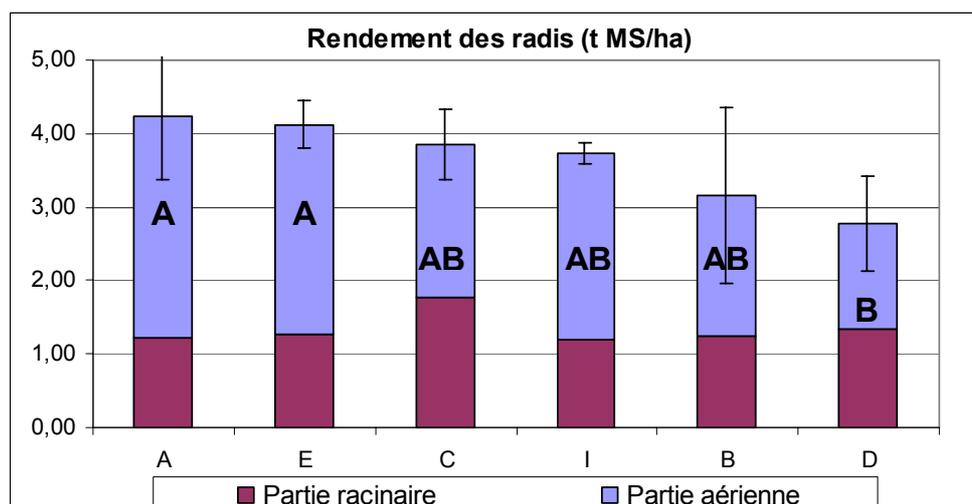
- Les ratios poids des racines/poids total des radis est de l'ordre de 30 % pour les radis A, E, I, de 38 % pour le radis B et de 46% pour les radis C et D. Tout se passe donc comme si les radis qui produisent le plus de parties aériennes (radis A, E et I, voir graphique 1) produisent proportionnellement moins de parties racinaires, et inversement. De ce fait, les différences de rendement total des radis sont moins prononcées que pour les seules parties aériennes (graphique 2). Les rendements en matière fraîche ne sont pas significativement différents, et les rendements en matière sèche le sont de façon moins marquée. Néanmoins, les radis A et E restent les plus productifs en rendement total, et le radis D, le moins productif.

- Les systèmes racinaires des radis sont également assez différents entre les variétés. Les poids peuvent être assez hétérogènes au sein d'une même variété mais certaines se distinguent tout de même (tableau 6) : les racines du radis B sont particulièrement grosses (9,2 g MF/racine) alors que le radis E fait un grand nombre de petites racines (2,3 g MF/racine).

- Les valeurs des écarts-types (graphique 2) illustrent encore l'hétérogénéité des couverts, notamment pour les variétés A et B, en raison de la différence entre les 2 blocs de l'essai, le bloc 1 étant significativement moins productif que le bloc 2. Cet effet bloc, particulièrement marqué sur le rendement des parties aériennes, n'est cependant pas significatif pour les parties racinaires.

| N° | Modalité | Rendement des parties racinaires | | | Poids moyen d'une racine (g) | | Rendement total (aérien+racines) | |
|----|----------------------------|----------------------------------|----------------|------|------------------------------|-----------|----------------------------------|----------------|
| | | MF (t/ha) | MS (t/ha) | % MS | MF | MS | MF (t/ha) | MS (t/ha) |
| A | Radis fourrager A | 6,2 | 1,2 (B) | 19,8 | 5,2 (AB) | 1,04 (AB) | 22,9 | 4,2 (A) |
| B | Radis fourrager B | 7,2 | 1,2 (B) | 17,7 | 9,2 (A) | 1,56 (A) | 19,2 | 3,2 (AB) |
| C | Radis fourrager C | 8,9 | 1,8 (A) | 20,0 | 6,1 (AB) | 1,20 (AB) | 21,6 | 3,9 (AB) |
| D | Radis fourrager D | 7,1 | 1,3 (B) | 19,0 | 5,7 (AB) | 1,05 (AB) | 16,3 | 2,8 (B) |
| E | Radis fourrager E | 6 | 1,3 (B) | 21,3 | 2,3 (B) | 0,48 (B) | 22,4 | 4,1 (A) |
| I | Radis fourrager I (Contra) | 6 | 1,2 (B) | 19,9 | 4,4 (AB) | 0,87 (AB) | 20,9 | 3,7 (AB) |

Tableau 6 : Rendements et teneurs en matière sèche des parties racinaires et rendement total des radis 4 mois après semis. Groupes homogènes selon le test de Newman-Keuls au seuil de 5%



Graphique 2 : Rendements totaux en matière sèche des radis Groupes homogènes selon le test de Newman-Keuls significatif au seuil de 5%

Globalement, sur l'ensemble des indicateurs agronomiques mesurés sur les engrais verts de cet essai, les meilleures performances en terme de compétitivité face aux plantes adventices, résistance aux maladies et au gel et productivité ont été obtenues pour la moutarde brune et les radis, A, E et I. La roquette, les radis B et D ont donné les moins bons résultats. Le radis C est intermédiaire.

3.3 Mesures de sensibilité aux nématodes sur les engrais verts :

Pour les notations sur les racines des engrais verts, en raison de la présence limitée de galles, l'échelle utilisée n'est pas celle de Zeck comme pour les cultures, mais l'échelle de 0 à 4, suivante (cf page 2) :

- 0 : pas de galles
- 1 : 1 à 2 galles
- 2 : 3 à 5 galles
- 3 : 6 à 10 galles
- 4 : plus de 10 galles

Mesures des intensités de présence de galles sur placettes (radis) :

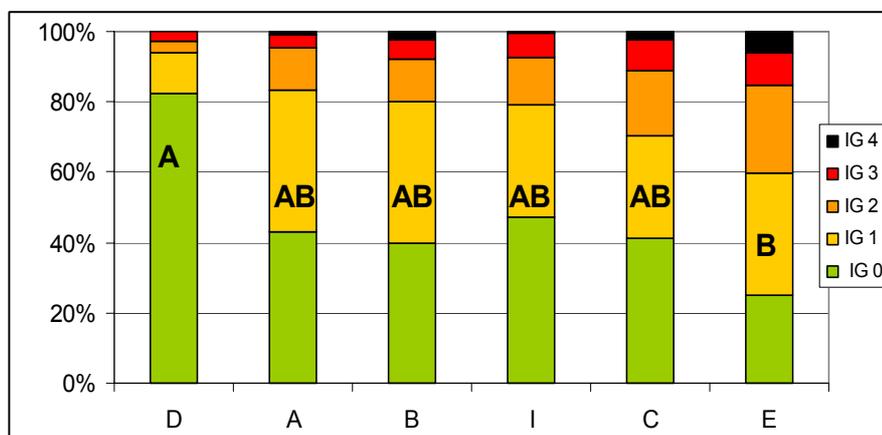
Sur chaque placette de 0,25 m² on a observé en moyenne environ 40 racines de radis.

L'indice de galles moyen obtenu pour chaque variété sur chaque placette est mentionné dans le tableau 7. Les résultats obtenus peuvent être assez variables sur les différentes placettes, en lien avec l'hétérogénéité d'infestation de la parcelle, et les niveaux différents d'infestation initiale. Toutefois, les racines du radis E présentent significativement plus de galles, et le radis D beaucoup moins que les autres variétés de radis dont le niveau d'infestation moyen est proche.

| Modalité | IG moyen BLOC 1 | | IG moyen BLOC 2 | | IG moyen 4 placettes |
|----------|-----------------|------------|-----------------|------------|----------------------|
| | Placette 1 | Placette 2 | Placette 1 | Placette 2 | |
| A | 1,0 | 1,0 | 0,7 | 0,5 | 0,8 (AB) |
| B | 0,7 | 1,1 | 1,4 | 0,4 | 0,9 (AB) |
| C | 0,9 | 1,1 | 0,6 | 1,6 | 1,0 (A) |
| D | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 0,3 (B) |
| E | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,3 | 1,4 (A) |
| I | 0,8 | 0,9 | 0,3 | 1,2 | 0,8 (AB) |

Tableau 7 : Indices de galles moyens observés sur 4 placettes de 0,25 m² par variété de radis 4 mois après semis. Groupes homogènes selon le test de Bonferroni au seuil de 5%

Les pourcentages de radis dans chaque classe d'indices de galles montrent également la moindre infestation du radis D, avec 83 % des racines ne présentant aucune galle (classe 0), contre 25% pour le radis E et 40% en moyenne pour les autres variétés (graphique 3). La somme des classes 0+1, correspondant aux racines présentant moins de 3 galles, est majoritaire pour l'ensemble des radis, avec 94% pour le radis D, 60% pour E et environ 80% pour les autres.



Graphique 3 : Pourcentages moyens des classes d'indices de galles pour les 6 variétés de radis (4 placettes).

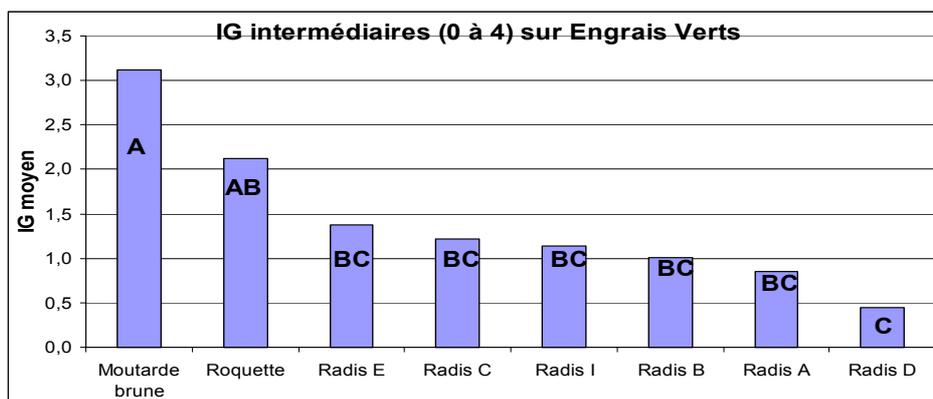
Groupes homogènes selon le test de Newman-Keuls significatif au seuil de 5% pour la somme des classes d'IG 0 et 1 (moins de 3 galles/système racinaire)



Photo : galles sur racine de radis (variété E)

Mesures des intensités de galle selon la cartographie initiale :

Les IG moyens mesurés pour l'ensemble des engrais verts dans chaque parcelle élémentaire (6 notations par engrais vert x 2 blocs) montrent que tous les radis évalués dans cet essai sont moins touchés que le témoin moutarde brune Etamine et que la roquette (graphique 4) : les radis permettent donc a priori de limiter la multiplication des nématodes à galles. Le radis D est également moins attaqué dans ces notations globales, avec un IG moyen de 0,45, contre 0,8 à 1,4 pour les autres variétés.



Graphique 4 : IG moyens mesurés sur les engrais verts aux emplacements de la cartographie initiale, avec 12 mesures par modalité (6 mesures par parcelle élémentaire x 2 blocs). Groupes homogènes selon le test de Newman-Keuls, significatif au seuil de 5%

On constate donc que les notations réalisées sur placettes de 0,25 m² avec observations de 40 racines de radis, et les notations globales réalisées aux mêmes endroits que la cartographie initiale sont cohérentes entre elles et qu'elles permettent toutes deux de mettre en évidence la moindre sensibilité de la variété D. Par contre, la cartographie réalisée sur les engrais verts (IG 1, voir annexe 3) ne montre pas de lien évident avec celle réalisée sur tomates (IG 0, annexe 1). En effet, pour une même variété, le niveau d'infestation n'est pas forcément plus élevé dans le bloc dont l'IG 0 était plus élevé. Par exemple pour le radis I, l'IG initial était de 5,3 dans le bloc 1 et 1,0 dans le bloc 2 (voir tableau 2) mais l'IG sur les racines de radis est de 1,2 dans le bloc 1 et 1,1 dans le bloc 2...

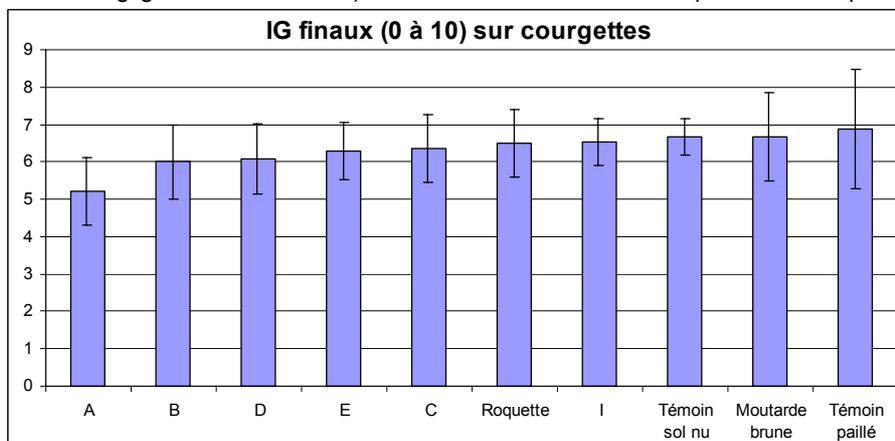
3.4 Cartographie de l'état final d'infestation par les nématodes à galles sur la courgette

Les observations ont été réalisées mi-juillet, à l'arrachage des plantes, soit environ 5 mois après l'enfouissement des engrais verts. Les systèmes racinaires observés ont été prélevés aux mêmes endroits que lors des cartographies initiale sur tomates (IG 0) et intermédiaire sur engrais verts (IG 1). Une note d'indice de galles a été attribuée à chaque système racinaire selon l'échelle de Zeck, de 0 à 10. La cartographie finale figure en annexe 4.

On constate que le niveau d'infestation des courgettes est très élevé, avec des indices de galles majoritairement compris entre 5 (25% du système racinaire comporte des galles) et 7 (75% du système racinaire comporte des galles). L'infestation est assez homogène, on ne retrouve pas l'hétérogénéité observée lors de la cartographie initiale.

Le détail des IG obtenus sur courgettes (IG 2), en fonction du traitement lors de l'interculture, figure dans le graphique 5. Les résultats sont assez proches pour les différents traitements avec des écart-types qui peuvent être relativement importants. De ce fait, et parce que le dispositif expérimental ne comporte que 2 blocs, l'analyse statistique avec 2 répétitions ne permet pas de distinguer de différence significative entre les traitements.

Toutefois, une analyse en randomisation avec 12 répétitions (ensemble des observations), distingue le radis A d'une part, avec un IG final moyen sur courgette de 5,2, les radis B et D, avec un IG de l'ordre de 6, et les autres modalités. En tendance, on constate également que les courgettes des modalités témoins « enherbement naturel » (avec développement important d'adventices), « témoin paillé » (paillage biodégradable, avec développement non négligeable d'adventices) et « moutarde brune » sont les plus infestées par les nématodes.



Graphique 5 : IG finaux moyens mesurés sur courgettes aux emplacements de la cartographie initiale, avec 12 mesures par modalité (6 mesures par parcelle élémentaire x 2 blocs). Test de Newman-Keuls non significatif au seuil de 5%

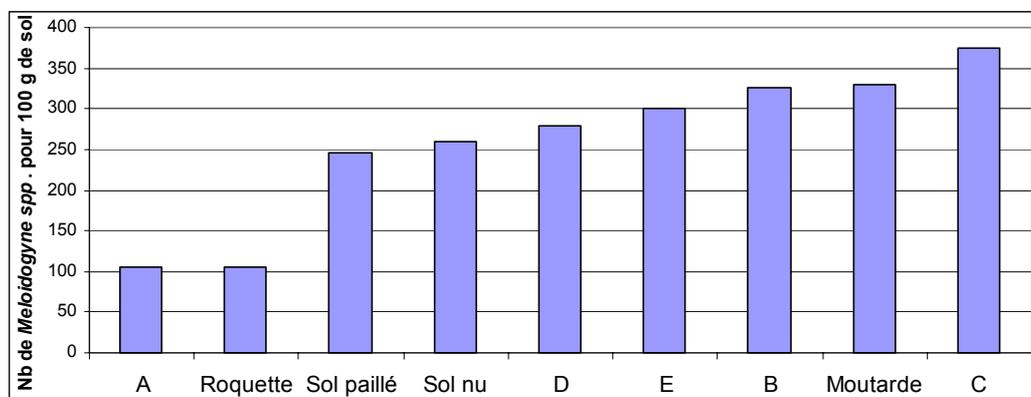
Notons que nous n'avons pas de lien entre les observations en culture, qui montraient des plantes nettement moins développées, moins vertes et moins vigoureuses dans les rangs centraux, et le niveau d'infestation observé sur les racines lors de l'arrachage. En effet, les racines des courgettes des rangs centraux n'apparaissent pas plus infestées que celles des rangs de bordure du tunnel.

3.5 Analyses nématologiques de laboratoire :

Dénombrements réalisés par le laboratoire BLGG

Les échantillons de sol ont été collectés au pied des courgettes 1 mois avant l'arrachage. Les résultats montrent que les populations sont importantes, de 100 à 370 nématodes pour 100 grammes de sol en moyenne sur les différentes parcelles. En tendance, les populations les plus faibles sont mesurées sur les traitements « radis A » et « Roquette » (graphique 6). Mais du fait du manque de répétitions de ces analyses, l'analyse statistique avec 2 blocs ne permet pas de distinguer de différence significative de populations de larves de *Meloidogyne spp.* entre les traitements.

Les résultats des dénombrements sont délicats à interpréter. En effet, les tendances observées entre le niveau d'infestation des courgettes (IG2, graphique 5) et les populations de nématodes ne sont en général pas cohérentes : des populations plus faibles sont par exemple mesurées sur les traitements « sol paillé », « enherbement naturel » ou « roquette » alors que les IG mesurés sont les plus élevés... Cependant, on observe à la fois les populations les plus basses et les IG les plus bas note pour le radis A et les populations plus élevées et les IG plus élevés pour la moutarde brune.



Graphique 6 : Populations de *Meloidogyne spp.* dénombrées sur les modalités en culture de courgette, 15 juin
Test de Newman-Keuls non significatif au seuil de 5%

La relation entre des niveaux de population de nématodes mesurés dans le sol et les symptômes observés sur les plantes est rarement évidente à l'échelle de parcelles expérimentales de petite taille du fait de la forte hétérogénéité de présence des nématodes dans le sol.

Détermination des espèces de *Meloidogyne*

Le BLGG a diagnostiqué l'unique présence de nématodes à galles « tropicaux » sur le site d'essai.

Une analyse complémentaire réalisée par le laboratoire de nématologie de l'ANSES a permis de confirmer la présence de *M. incognita*, et d'observer une autre espèce de *Meloidogyne* qui n'a pu être identifiée avec les outils moléculaires classiques. Dans les 2 analyses, on n'a pas observé *M. hapla*.

4- CONCLUSION

Les principales caractéristiques des engrais verts testés dans cet essai, sont les suivantes :

- **les performances agronomiques les plus intéressantes** (couverture de sol, production de biomasse) ont été obtenues par la moutarde brune et les radis A, E, et I. Les autres variétés de radis et la roquette sont d'une part moins productifs, et d'autre part beaucoup moins couvrants, ce qui entraîne un fort taux de présence de plantes adventives.

- **le niveau de sensibilité aux nématodes à galles, *M. incognita*** sur ce site, problématique centrale de cet essai, s'est aussi avéré assez variable : tous les radis sont moins sensibles que la roquette et la moutarde brune. La variété D est la moins sensible, la variété E, la plus sensible, et les autres variétés testées ont un niveau de sensibilité intermédiaire.

- **l'effet des différents engrais verts sur le niveau d'infestation de la culture suivante n'a pas pu être réellement mis en évidence dans cet essai**, même si en tendance les modalités où les radis avaient le moins de galles (radis D, puis A et B) sont aussi celles où la courgette suivante était « moins » infestée. La forte présence de plantes adventives pendant la culture des engrais verts, potentiellement hôtes des

Meloidogyne ⁽¹⁾, l'effet différentiel en biodésinfection des différents engrais verts, lié à des biomasses produites différentes, et le délai relativement long entre l'enfouissement des engrais verts et l'observation des courgettes (5 mois) rendent très aléatoires les possibilités d'interprétation des résultats à ce niveau.

Il conviendrait de réévaluer les variétés de radis dans des conditions plus favorables à leur développement : semis plus précoce (mi-septembre) pour bénéficier de températures et de luminosité plus importantes, mais également densités de semis plus élevées pour améliorer la compétitivité face aux plantes adventices. Il est également possible que le niveau de fertilisation azotée ait été limitant dans cet essai. De plus, certaines variétés se sont révélées plus sensibles au gel que d'autres.

Les variétés qu'il serait le plus intéressant de ré-évaluer, d'après les résultats de cette expérimentation, sont :

- **le radis D**, pour sa nette moindre sensibilité aux *M. incognita*. La densité de semis devra être augmentée (30 kg/ha ?) de façon à améliorer sa compétitivité face aux plantes adventices
- **le radis A**, pour sa sensibilité moindre aux nématodes et son bon comportement agronomique (forte production de biomasse, bonne concurrence aux plantes adventices)

L'intérêt de la variété E semble limité dans notre région car elle est visiblement plus sensible aux *M. incognita* que les autres.

(1) : Le mourron blanc, *Stellaria media*, est référencé comme hôte de *Meloidogyne incognita* dans la synthèse bibliographique de JR Rich : Rich J.R et al., 2009, « Weed species as hosts of Meloidogyne : a Review », Nematopica Vol 39 n°2, 157-185.

ANNEE DE MISE EN PLACE : 2012 - ANNEE DE FIN D'ACTION : 2018

ACTION : nouvelle ● en cours ○ en projet ○

Renseignements complémentaires auprès de : H. Védie - GRAB Agroparc 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 : nématodes à galles – meloidogyne – indice de galle – rotation culturale -- sensibilité

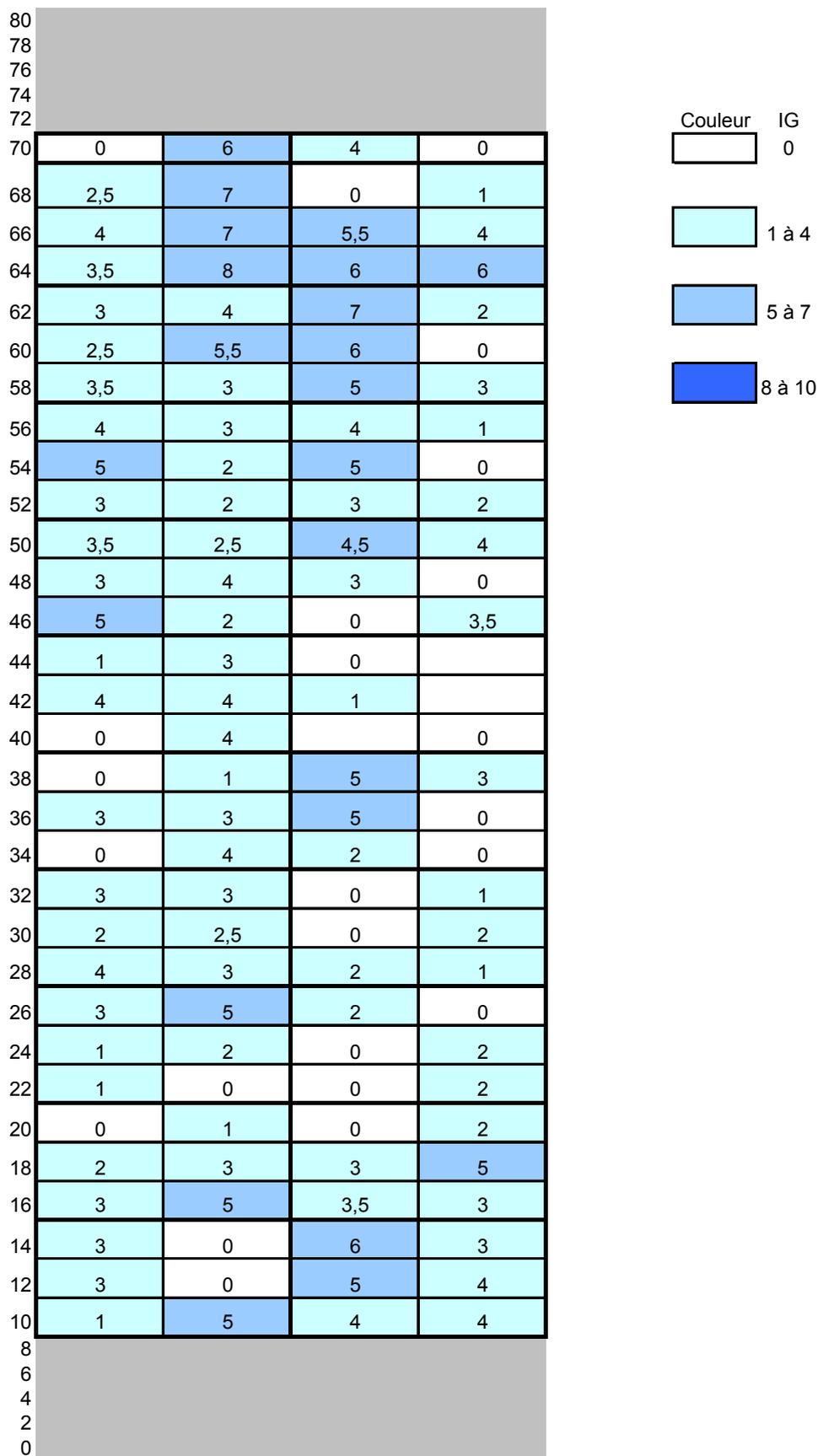
Date de création de cette fiche : mars 2013

Annexe 1 : cartographie initiale de l'essai. Notations selon l'échelle de Zeck de 0 à 10

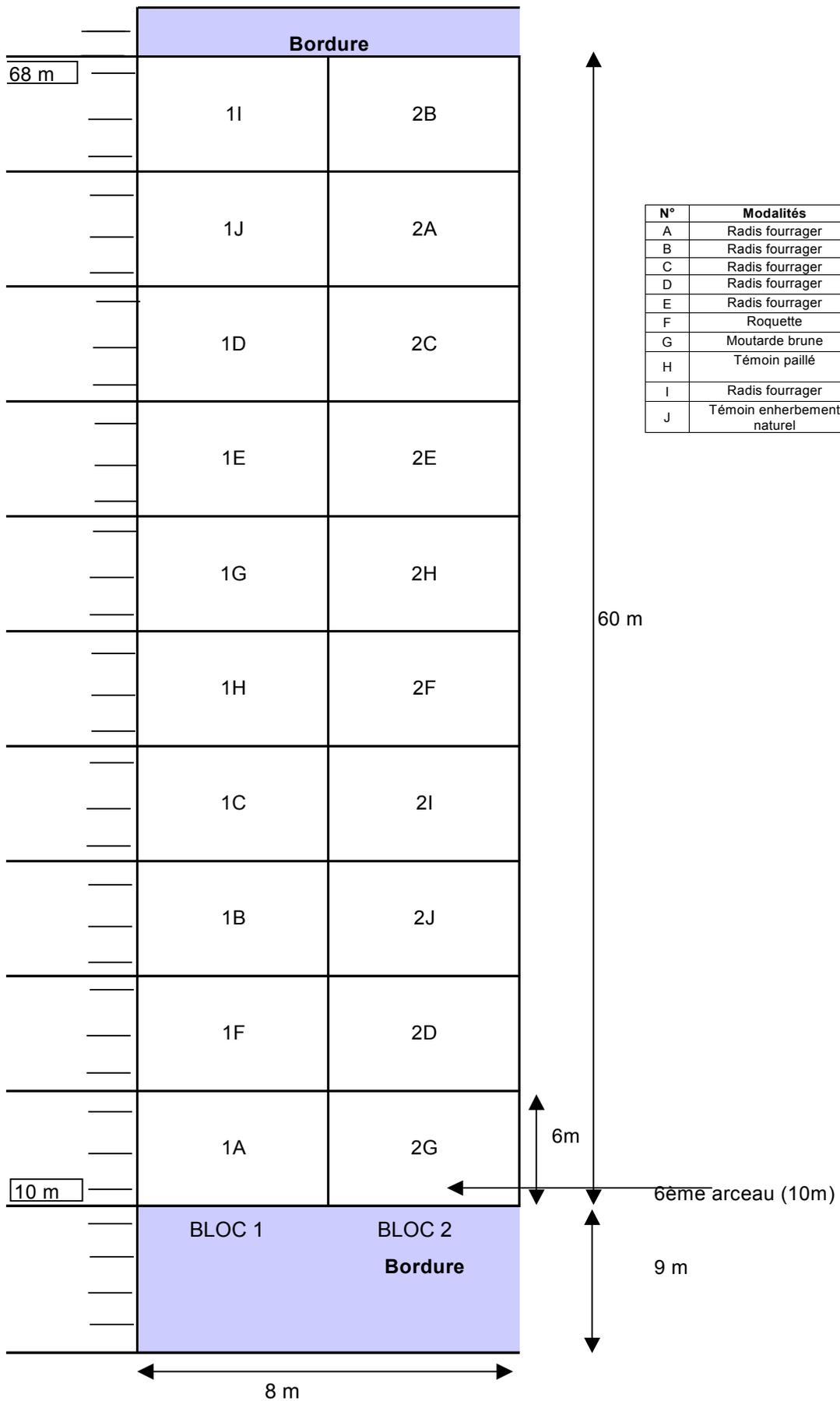
IG 0 T 15 Mauguio - essai Brassicacées/nématodes

sur tomates variété Millenia (Gautier)

23/09/2011



Annexe 2 : Plan de l'essai – T15



| N° | Modalités | Variété |
|----|----------------------------|-----------------------------|
| A | Radis fourrager | A |
| B | Radis fourrager | B |
| C | Radis fourrager | C |
| D | Radis fourrager | D |
| E | Radis fourrager | E |
| F | Roquette | R |
| G | Moutarde brune | « Etamine » |
| H | Témoin paillé | Paillage noir biodégradable |
| I | Radis fourrager | « Contra » |
| J | Témoin enherbement naturel | - |

Annexe 3 : cartographie sur engrais verts. Notations selon l'échelle de 0 à 4

IG 1 T 15 Mauguio - essai Brassicacées/nématode:

sur engrais verts

13-14/02/2012

80

78 en rouge : moyenne des racines sur placettes (0,25 m2 -

76 en noir : test bêche : moyenne de 2 à 4 racines

74

72

70

| | | | | | | |
|----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|
| 68 | 0,5 | | 1,5 | 0,5 | | 2 |
| 66 | 0,8 | I | 0,9 | 0,4 | B | 1,4 |
| 64 | 2 | | 1,5 | 0,5 | | 0,5 |
| 62 | | | | 0 | | 0,5 |
| 60 | | J | | 0,5 | A | 0,7 |
| 58 | | | | 0,5 | | 1 |
| 56 | 1,5 | | 1,5 | 0,5 | | 0,5 |
| 54 | 0,2 | D | 0,1 | 1,6 | C | 0,6 |
| 52 | 0,5 | | 0,5 | 0,5 | | 1 |
| 50 | 1 | | 1,5 | 2 | | 1 |
| 48 | 1,2 | E | 1,4 | 1,3 | E | 1,6 |
| 46 | 1,5 | | 1 | 1,5 | | 1,5 |
| 44 | 3 | | 2 | | | |
| 42 | 2,5 | G | 3,5 | | H | |
| 40 | 3 | | 3,5 | | | |
| 38 | | | | 1,5 | | 2 |
| 36 | | H | | 1,5 | F | 2 |
| 34 | | | | 2,5 | | 2 |
| 32 | 2 | | 2 | 1 | | 1 |
| 30 | 0,9 | C | 1,1 | 1,2 | I | 0,3 |
| 28 | 2 | | 2 | 1 | | 2 |
| 26 | 1 | | 1 | | | |
| 24 | 0,7 | B | 1,1 | | J | |
| 22 | 1 | | 2 | | | |
| 20 | 2 | | 3 | 0 | | 0 |
| 18 | 2 | F | 3 | 0,5 | D | 0,1 |
| 16 | 1 | | 3 | 0,5 | | 0 |
| 14 | 0 | | 2 | 4 | | 2 |
| 12 | 1 | A | 1 | 4 | G | 4 |
| 10 | 1 | | 2 | 3 | | 3 |

8

6

4

2

0

BLOC 1

BLOC 2

Annexe 4 : cartographie finale de l'essai. Notations selon l'échelle de Zeck de 0 à 10

IG 2 T 15 Mauguio - essai Brassicacées/nématodes

IG finaux sur courgettes, variété L1006 (Gautier)

13/07/2012

| | Couleur IG | | | |
|----|------------|-------|--------|-----|
| | 1 à 4 | 5 à 7 | 8 à 10 | 0 |
| 68 | 7 | 7 | 7 | 7,5 |
| 66 | 7 | 7,5 | 5,5 | 6,5 |
| 64 | 5,5 | 6 | 5 | 6 |
| 62 | 7 | 7 | 5,5 | 5 |
| 60 | 6 | 6,5 | 5,5 | 5,5 |
| 58 | 7 | 6 | 5,5 | 6 |
| 56 | 7 | 4 | 6 | 6 |
| 54 | 6 | 5 | | 5 |
| 52 | 6 | 6,5 | 5 | 7 |
| 50 | 6,5 | 6,5 | 5,5 | 7,5 |
| 48 | 6 | 7 | 5 | 6 |
| 46 | 7 | 7 | 6 | 5,5 |
| 44 | 7 | 7,5 | 7 | 7,5 |
| 42 | 5 | 8 | 8,5 | 7,5 |
| 40 | 6,5 | 9 | 8 | 8 |
| 38 | 6,5 | 8,5 | 7,5 | 8 |
| 36 | 5 | 7 | 7 | 6,5 |
| 34 | 3 | 6 | 6 | 6 |
| 32 | 8 | 7 | 7 | 6 |
| 30 | 7 | 6 | 6,5 | 6 |
| 28 | 6,5 | 7 | 6 | 7 |
| 26 | 4 | 7 | 7 | 6,5 |
| 24 | 5 | 6,5 | 7,5 | 6,5 |
| 22 | 6 | 6 | 7 | 6 |
| 20 | 6 | 7,5 | 7 | 5,5 |
| 18 | 5,5 | 6 | 7 | 7 |
| 16 | 7 | 5 | 6 | 6 |
| 14 | 4 | 5,5 | 6 | 5 |
| 12 | 4 | 7 | 6 | 7 |
| 10 | 4 | 5 | 6 | 7 |