



# Sélection du ray-grass d'Italie pour la résistance au nématode à kyste des céréales (*Heterodera avenae*)

Roger Rivoal, P. Bourdon

## ► To cite this version:

Roger Rivoal, P. Bourdon. Sélection du ray-grass d'Italie pour la résistance au nématode à kyste des céréales (*Heterodera avenae*). Fourrages, 2005, 184, pp.557-566. hal-02681414

**HAL Id: hal-02681414**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02681414v1>**

Submitted on 31 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.

Copyright

# Sélection du ray-grass d'Italie pour la résistance au nématode à kyste des céréales (*Heterodera avenae*)

R. Rivoal<sup>1</sup>, P. Bourdon<sup>2\*</sup>

***H. avenae* cause en France des dégâts aux différentes céréales à paille ainsi qu'au maïs. La culture pendant 2 années successives d'un couvert qui réduit la multiplication des nématodes permet d'assainir le sol. D'où l'intérêt de ray-grass résistants, qui seraient utilisés en culture intermédiaire ou principale.**

## RÉSUMÉ

Un test de résistance variétale au nématode à kyste des céréales a été adapté pour les graminées fourragères (volume du contenant de culture, dose d'inoculum, pathotype). Il a ensuite été utilisé pour tester des ray-grass anglais et d'Italie, qui se sont révélés être des hôtes médiocres pour ce nématode par rapport à un blé tendre témoin (cv. Arminda). Par croisements successifs entre plantes à résistance complète, au cours de quatre cycles annuels de sélection, on a fortement augmenté le niveau de résistance du ray-grass d'Italie qui se traduit par une réduction du nombre moyen de kystes par plante et un pourcentage accru de plantes sans nématodes. Une variété de ray-grass d'Italie alternatif a pu être récemment inscrite.

\* avec la collaboration de S. Baratin<sup>1</sup>, J.P. Gauthier<sup>1</sup>, G. Romane<sup>1</sup>, M. Le Guen<sup>1</sup>, S. Valette<sup>1</sup>, F. Destuyver<sup>2</sup>.

## MOTS CLÉS

*Heterodera avenae*, méthode d'estimation, nématode, ray-grass d'Italie, sélection variétale, variabilité génétique

## KEY-WORDS

Cultivar breeding, estimation method, genetic variation, *Heterodera avenae*, Italian ryegrass, nematode

## AUTEURS

1 : INRA/AGROCAMPUS Rennes, UMR Biologie des Organismes et des Populations appliquée à la Protection des Plantes (BiO3P), BP 35327, F-35653 Le Rheu cedex ; roger.rivoal@rennes.inra.fr

2 : Carneau S.A., BP 8, F-59310 Orchies-France ; Carneau.RD@wanadoo.fr

# 1. Présentation

## ■ Le nématode : ses caractéristiques biologiques

La caractéristique biologique principale d'*Heterodera avenae* est sa forme de survie : le kyste qui est le tégument chitinisé de la femelle. Ce kyste contient plusieurs centaines de larves (juvéniles) qui y sont protégées ; elles en sortent lorsque le sol est humide et en fonction de conditions thermiques strictes. Selon la localisation géographique de la population, la libération des juvéniles est soumise à la levée de deux types de diapause qui assure une infestation en période hivernale pour les populations du sud de la France (écotype méridional), en période plutôt printanière pour les populations du nord du pays (écotype septentrional) (RIVOAL, 1982). Ces juvéniles, au deuxième stade de leur développement, envahissent les céréales au niveau de l'apex des racines puis migrent et se fixent près du cylindre central pour s'alimenter. Là, elles vont subir trois mues pour aboutir soit à un mâle filiforme de 2 mm de long, soit à une femelle blanche en forme de citron de 0,5 mm de diamètre (figure 1). Ce dimorphisme sexuel accentué est d'ailleurs à l'origine du nom donné au genre *Heterodera*. La fécondation obligatoire effectuée, la femelle meurt ; sa paroi durcit et brunit pour donner le kyste brun, contenant la descendance en larves, qui se détache des racines. Cette espèce produit une génération par an. *H. avenae* présente également des entités (pathotypes) qui diffèrent par leur capacité (virulence) à contourner (ou non) des gènes de résistance identifiés chez l'orge et chez le blé et à se développer (ou non) sur des avoines de type hiver ou printemps (RIVOAL, 1977 ; COOK et RIVOAL, 1998).

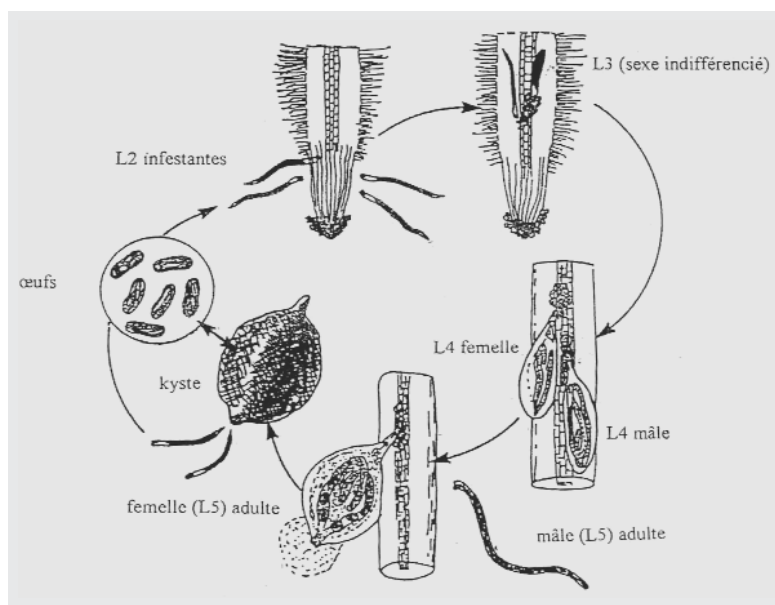


FIGURE 1 : Cycle biologique du nématode à kyste *Heterodera avenae*.

FIGURE 1 : *Biological cycle of the cyst nematode Heterodera avenae.*

## ■ Cadre des recherches

De nombreuses revues et travaux ont montré l'importance d'*H. avenae* qui est largement distribué en France et **cause des dégâts aux différentes céréales à paille ainsi qu'au maïs** (RIVOAL et COOK, 1993). On connaît peu ses effets sur les graminées fourragères (ray-grass, fétuques...) qui sont cependant des hôtes potentiels. Plusieurs articles ont montré que cette espèce ainsi que d'autres nématodes sont capables de causer des attaques dans les prairies et gazons enherbés avec ces graminées (COOK et YEATES, 1993 ; COUCH, 1995 ; RIVOAL et ROMANE, 1997).

Pour des raisons environnementales et économiques, **la résistance variétale est actuellement la voie la plus intéressante pour lutter contre ces bioagresseurs** (COOK et EVANS, 1987). La démonstration a été faite pour la protection du blé dur dans le sud de la France avec **l'utilisation d'orges résistantes qui ont assuré l'assainissement des sols après seulement deux années de culture** (RIVOAL et BESSE, 1982). De plus, pour éviter l'érosion des sols dans les périodes interculturelles et le lessivage de l'azote, on préconise actuellement l'implantation de cultures intermédiaires, dites pièges à nitrates, basées en particulier sur l'utilisation de graminées fourragères (BONNEMORT *et al.*, 1999 ; BESNARD et LE GALL, 2000).

C'est dans ce contexte que la Société Carneau, en collaboration avec l'INRA, a développé **un programme de sélection de ray-grass résistants au développement d'*H. avenae* qui pourraient être utilisés pour empêcher la multiplication de ce nématode**. Le travail présenté a consisté en **la mise au point d'un test de résistance spécifique des graminées fourragères** en conditions contrôlées et miniaturisées, en la recherche de géniteurs potentiel dans une gamme suffisamment large de génotypes **et en l'amélioration de cette résistance, en particulier chez les ray-grass d'Italie** alternatifs et non alternatifs.

## 2. La méthodologie appliquée

### ■ Le test de résistance

Il est réalisé selon un protocole éprouvé lors de travaux similaires sur betterave et blé (CAUBEL et CHAUBET, 1988 ; BEKAL *et al.*, 1998). Les semences sont désinfectées à l'eau de Javel à 5% pendant 5 minutes, puis disposées dans des boîtes de Petri sur papier filtre imbibé d'eau. On les place alors dans une chambre climatisée à 3°C pendant 48 heures pour la levée de dormance ; elles sont ensuite transférées dans une chambre à 20°C durant 48 à 72 heures, selon la vitesse de germination. Lorsque l'épicotyle pointe de quelques millimètres, les plantules sont repiquées dans des tubes en matière plastique percés au fond, emplis d'un mélange de sable de Fontainebleau (80%) et de kaolin (20%), préalablement fertilisé avec une solution d'hakaphos à 4 grammes par litre (100 ml de solution pour 1 kg de mélange sable-kaolin)(VALETTE et RIVOAL, 2005).

Les plantes sont inoculées aussitôt après le repiquage avec une solution aqueuse contenant des juvéniles, au moyen d'une pipette de type «Eppendorf multipipette 4780». Les tubes sont disposés dans des bacs de culture recouverts de couvercles transparents et placés dans des chambres avec température et photopériode contrôlées. Les plantes inoculées avec le **pathotype Ha 11 d'origine septentrionale** sont placées à 15°C ; celles inoculées avec le **pathotype Ha 41 d'origine méridionale**, à 18°C. Dans ces deux chambres de culture, la photopériode est de 16 heures de jour, 8 heures de nuit. Une humidité convenable est assurée par une humidification hebdomadaire du lit de sable sur lequel reposent les tubes. La culture dure au minimum deux mois et demi, pour assurer la formation des nématodes femelles adultes.

Les plantes sont analysées individuellement. Les racines sont lavées sous un jet d'eau à forte pression qui détache les femelles blanches et les kystes bruns, recueillis sur un tamis de 250 µm de maille et dénombrés ensuite sous la loupe binoculaire. Les racines sont également observées pour dénombrer les femelles et kystes qui y sont encore fixés. Pour plus de clarté dans la présentation des résultats, on regroupera l'ensemble de ces individus sous le terme kyste.

■ Les populations de nématodes

Deux populations d'*H. avenae* ont été utilisées. Elles correspondent aux pathotypes Ha 11 (Argentan, Orne) et Ha 41 (Villasavary, Aude), de la nomenclature européenne (ANDERSEN et ANDERSEN, 1982),

| Espèce ou cultivar    | Dose en juvéniles | Nombre de répétitions | Kystes par plante (moyenne et écart-type) |
|-----------------------|-------------------|-----------------------|---|
| Blé Arminda           | 300               | 6                     | 6,7 ± 6,31                                |
|                       | 200               | 7                     | 8,4 ± 9,57                                |
|                       | 100               | 3                     | 4,0 ± 4,00                                |
|                       | 90                | 8                     | 10,6 ± 6,59                               |
|                       | 60                | 8                     | 5,8 ± 3,06                                |
|                       | 30                | 8                     | 2,6 ± 3,81                                |
| Blé Fidel             | 300               | 5                     | 7,2 ± 4,38                                |
|                       | 200               | 4                     | 6,5 ± 6,03                                |
|                       | 100               | 6                     | 5,8 ± 3,43                                |
|                       | 90                | 5                     | 8,6 ± 5,90                                |
|                       | 60                | 6                     | 8,2 ± 3,71                                |
|                       | 30                | 7                     | 5,0 ± 1,29                                |
| Avoine Peniarth       | 300               | 8                     | 1,5 ± 1,31                                |
|                       | 200               | 8                     | 1,0 ± 0,93                                |
|                       | 100               | 8                     | 0,1 ± 0,35                                |
|                       | 90                | 7                     | 0,6 ± 0,79                                |
|                       | 60                | 6                     | 1,0 ± 1,26                                |
|                       | 30                | 8                     | 0,5 ± 1,07                                |
| Ray-grass anglais 01  | 300               | 8                     | 0,8 ± 1,04                                |
|                       | 200               | 10                    | 1,5 ± 2,07                                |
|                       | 100               | 8                     | 1,0 ± 0,93                                |
|                       | 90                | 8                     | 0,5 ± 0,54                                |
|                       | 60                | 8                     | 0,4 ± 0,74                                |
|                       | 30                | 8                     | 0,5 ± 0,54                                |
| Ray-grass d'Italie 61 | 300               | 7                     | 0,3 ± 0,49                                |
|                       | 200               | 5                     | 5,6 ± 4,04                                |
|                       | 100               | 8                     | 1,1 ± 1,25                                |
|                       | 90                | 8                     | 1,8 ± 2,05                                |
|                       | 60                | 7                     | 0,6 ± 0,54                                |
|                       | 30                | 8                     | 0,3 ± 0,46                                |

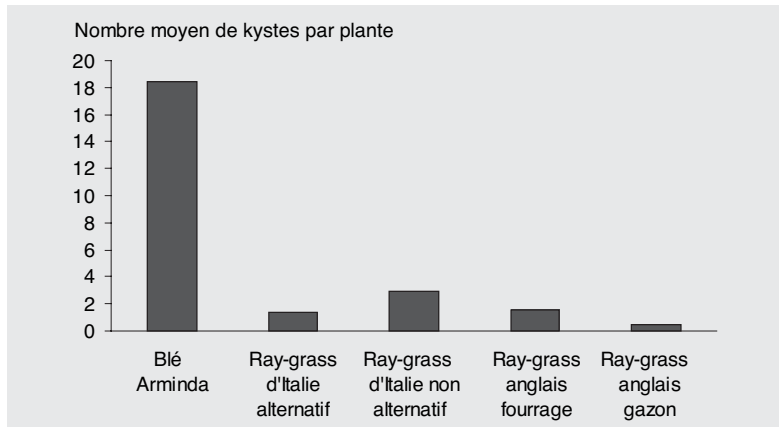
TABLEAU 1 : Développement d'*Heterodera avenae*, pathotype Ha41, sur différents cultivars de céréales et familles de graminées fourragères infestés par différentes doses de juvéniles.

TABLE 1 : Development of *Heterodera avenae*, HA41 pathotype, on different cultivars of cereals and families of forage grasses, infested with different numbers of juveniles.

préalablement appelés respectivement Fr3 et Fr1 (RIVOAL, 1977). Ces populations sont **multipliées sur le blé hôte cv. Arminda pour la production de kystes** qui sont stockés à 4°C. Les juvéniles infectieuses sont obtenues en immergeant des kystes, à 7°C pendant 4 mois, dans de petits tamis de 250 µm de maille posés sur des verres de montre, eux-mêmes placés dans des boîtes de Petri. On récupère ainsi les juvéniles qui éclosent et sédimentent naturellement dans le verre de montre. Le dénombrement des larves est réalisé sur des parties aliquotes de la suspension, au microscope stéréoscopique. On ajuste ensuite au volume nécessaire pour obtenir l'inoculum adéquat. Une programmation judicieuse des sorties de larves assure une disponibilité en juvéniles infectieuses et la réalisation de tests consécutifs tout au long de l'année (VALETTE et RIVOAL, 2005).

FIGURE 2 : **Variabilité pour la résistance au développement d'*Heterodera avenae* (pathotype Ha41) chez des espèces de graminées fourragères.** Le blé cv. Arminda est l'hôte témoin.

FIGURE 2 : **Variation in the resistance to the development of *Heterodera avenae* (HA41 pathotype) in different forage grasses.** The wheat cultivar Arminda is the susceptible control host.



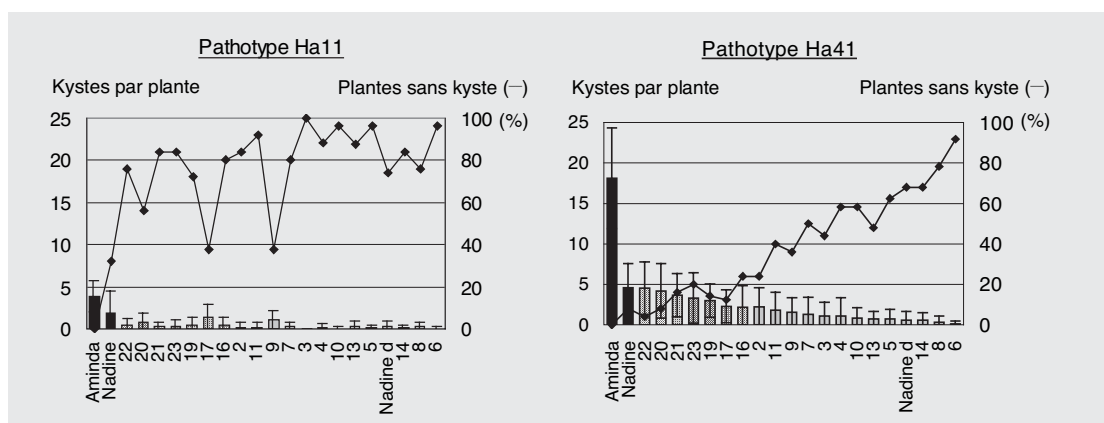
## ■ Le matériel végétal et sa sélection

L'étude a d'abord porté sur plusieurs espèces de graminées cultivées du **genre *Lolium*. 55 origines génétiques différentes ont été testées.** Les blés cv. Arminda, cv. Fidel ou l'avoine cv. Peniarth ont été utilisés pour vérifier la viabilité des larves infectieuses et leur capacité à se développer en femelles. Pour le genre *Lolium*, la **sélection a consisté à repiquer les plantes s'opposant complètement à la multiplication des nématodes** (plantes sans kyste) dans une cage d'isolement selon l'origine génétique. Les semences de ces plantes sélectionnées ont été récoltées, en mélange, et soumises à un nouveau test de résistance.

## ■ La mise en œuvre du test

L'absence de références sur la résistance de graminées fourragères à *H. avenae* nous a contraints à étudier les conditions (volume du contenant de culture, dose d'inoculum, pathotype) les plus favorables à l'expression du caractère hôte des plantes testées. Le tableau 1 donne les moyennes et écart types de kystes dénombrés sur chacune des variétés ou familles testées en contenants de 20 ml avec 30, 60, 90 juvéniles, ou de 70 ml avec 100, 200 et 300 juvéniles.

Les blés Arminda et Fidel ainsi que l'avoine Peniarth se sont révélés les meilleurs hôtes pour les deux pathotypes Ha11 et Ha41.



Peniarth est naturellement un hôte médiocre pour le pathotype Ha41 dont on a précédemment démontré sa faible capacité à se reproduire sur plusieurs autres cultivars d'avoine (RIVOAL, 1977) (tableau 1). Le caractère hôte des plantes testées a été le mieux révélé pour un inoculum de 90 juvéniles avec des plantes cultivées dans un volume de 20 ml. Dans le cas de Ha11, déjà connu pour une capacité reproductive plus faible que celle du pathotype Ha41 (RIVOAL et PERSON-DEDRYVER, 1982), l'inoculum optimal a été de 100 à 200 juvéniles apportées dans des contenants de 70 ml (résultats non présentés).

Dans la poursuite des études et du fait de contraintes dans la disponibilité en juvéniles écloses, on a utilisé des **tubes de culture d'une contenance de 20 ml avec une dose de 90 nématodes pour le pathotype Ha41 et 120 pour le pathotype Ha11**. A cause du caractère allogamme de la plupart des graminées fourragères testées, 25 plantes par famille ou variété et pour chaque pathotype ont été testées.

La comparaison, par analyse de la variance des nombres de kystes relevés sur le témoin hôte Arminda, n'a pas montré de différence significative au cours des huit tests réalisés entre 1996 et 1999. Les moyennes se sont étalées de 14,5 à 23,4 kystes par plante. Ce résultat démontre une stabilité de la capacité reproductive du pathotype Ha41, quel que soit le test effectué, et autorise en conséquence la comparaison des moyennes des différentes variétés et familles au cours de la sélection.

Comme pour les céréales à paille (BEKAL *et al.*, 1998), on a considéré résistant un cultivar qui porte moins de 1 kyste, en moyenne, par plante ; la résistance intermédiaire se situant entre 1 et 3 kystes par plante. A cause de l'allogamie du matériel végétal testé, on a également considéré le pourcentage de plantes avec 0 kyste.

### 3. Les résultats

#### ■ Variabilité pour la résistance chez les différentes espèces de graminées

La figure 2 fournit des informations sur les potentialités de reproduction d'*H. avenae* sur différentes espèces de graminées

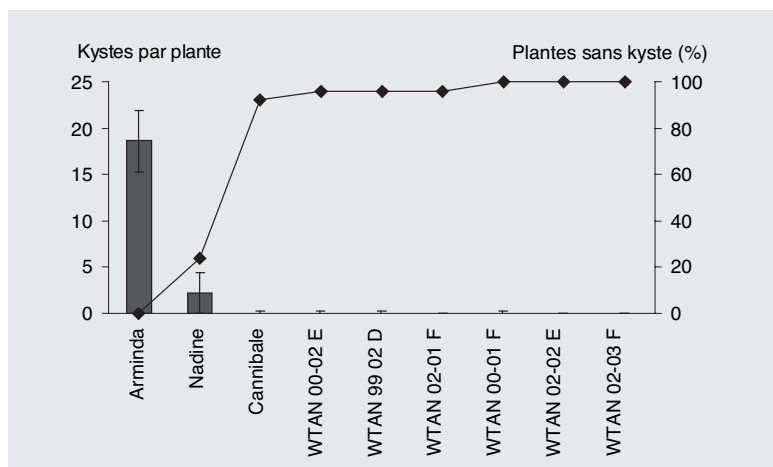
**FIGURE 3 : Niveaux de résistance de différents cultivars et familles de ray-grass d'Italie non alternatifs vis-à-vis du développement de deux pathotypes d'*Heterodera avenae* après 3 cycles de sélection.** Le blé cv. Arminda et le ray-grass d'Italie cv. Nadine sont des hôtes témoins. Les cultivars 16 à 23 n'ont pas été sélectionnés. Moyennes sur 25 répétitions et écart types.

**FIGURE 3 : Resistance levels of different cultivars and families of annual Italian Ryegrass to the development of 2 pathotypes of *Heterodera avenae*, after 3 cycles of selection.** Wheat cv. Arminda and Italian Ryegrass cv. Nadine are susceptible control hosts. Cultivars 16 to 23 are unselected. Means of 25 replications and standard deviations.



FIGURE 4 : Niveaux de résistance au développement d'*Heterodera avenae* (pathotype Ha 41) dans des familles de ray-grass d'Italie alternatif après 4 à 5 cycles de sélection. Témoins hôtes : blé cv. Arminda et ray-grass cv. Nadine. Moyennes sur 25 répétitions et écart types.

FIGURE 4 : **Resistance levels to the development of *Heterodera avenae* (HA41 pathotype) in families of annual Italian Ryegrass, after 4 or 5 cycles of selection.** Susceptible control hosts are wheat cv. Arminda and Italian Ryegrass cv. Nadine. Means of 25 replications and standard deviations.



fourragères. Par rapport au blé Arminda, témoin hôte de référence, la plupart des variétés testées présentent un niveau de résistance intermédiaire. **Les variétés de ray-grass d'Italie non alternatif montrent les plus fortes capacités pour la reproduction du nématode**, notamment le cultivar Nadine qui a été d'ailleurs utilisé comme second témoin hôte au cours des travaux ultérieurs de sélection.

### ■ Variabilité et sélection pour la résistance chez le ray-grass d'Italie non alternatif

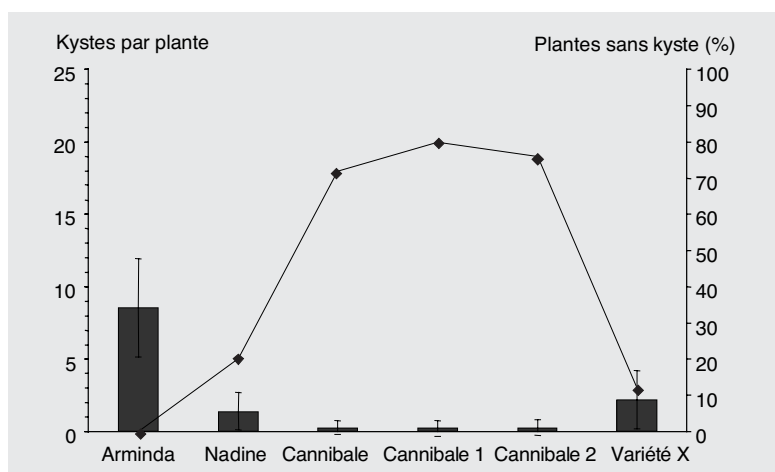
Le caractère hôte et le niveau de résistance de ce ray-grass varient incontestablement en fonction de la capacité reproductive intrinsèque des pathotypes qui, pour des doses de juvéniles ajustées en fonction des données méthodologiques préalables, ne produisent en moyenne sur le témoin hôte Arminda que 4 kystes pour Ha11 contre 18 pour Ha 41 (figure 3).

Plus particulièrement vis-à-vis du pathotype Ha41, les résultats montrent une variabilité entre les différents cultivars non sélectionnés (numérotés de 16 à 23) qui portent en moyenne 2 à 4 kystes par plante avec moins de 20% de plantes sans kyste (figure 3). **La sélection à partir de plantes avec 0 kyste fait augmenter incontestablement la résistance du matériel végétal** qui s'exprime aussi bien par un nombre inférieur de kystes par plante que par le pourcentage de plantes avec 0 kyste qui atteint 65% pour Nadine d (matériel obtenu après trois cycles de sélection dans le matériel Nadine d'origine), et même 90% pour la famille 6.

### ■ Sélection pour la résistance chez le ray-grass d'Italie alternatif

La figure 4 présente les niveaux de résistance de différentes familles obtenues **après quatre ou cinq cycles de sélection**. Comparées aux témoins hôtes Arminda et Nadine, les familles WTAN ainsi que le cv. Cannibale manifestent **un haut niveau de résistance** avec une moyenne de 0 à 0,1 kyste par plante et 92 à 100% de plantes sans kyste.





### ■ Stabilité de la résistance du ray-grass d'Italie alternatif cv. Cannibale

Les tests ont démontré la stabilité de la résistance de ce ray-grass d'Italie alternatif puisque au cours de deux cycles successifs de multiplication (Cannibale 1 et Cannibale 2), le cultivar Cannibale porte en moyenne moins d'un kyste par plante avec un pourcentage de plantes avec 0 kyste de l'ordre de 80% (figure 5). La multiplication du nématode sur les hôtes témoins, le blé Arminda et les deux ray-grass alternatif variété X et non alternatif cv. Nadine, confirment la fiabilité des tests réalisés.

## 4. Bilan

Ce travail mené de 1995 à 2003 a permis de rassembler de nombreuses informations dans un domaine de recherches qui n'avait jamais été abordé préalablement, aussi bien en France qu'à l'étranger (COOK et YEATES, 1993). D'une manière générale, si l'on considère uniquement le nombre moyen de nématodes adultes ramenés à la plante, les graminées fourragères testées sont des hôtes médiocres pour *H. avenae* par rapport à ses capacités de reproduction observées sur la plupart des céréales à paille (RIVOAL, 1977 ; BEKAL *et al.*, 1998 ; RIVOAL *et al.*, 2001). Néanmoins les ray-grass présentent une indéniable variabilité pour la résistance au développement du nématode, qui s'exprime plus particulièrement au niveau de l'homogénéité du matériel végétal pour ce caractère.

**Le test miniaturisé a permis de contrôler l'amélioration génétique du ray-grass d'Italie** pour sa résistance au développement d'*H. avenae* puisque l'augmentation du pourcentage de plantes indemnes de femelles ou de kystes fait clairement diminuer le nombre moyen par plante. **Pour évaluer la résistance de telles familles, il faudra utiliser simultanément ces deux critères : un nombre moyen de nématodes par plante inférieur à 1 et un pourcentage de plantes sans kyste de l'ordre de 80%**, ce second critère étant spécifique des graminées (VALETTE et RIVOAL, 2005).

**FIGURE 5 : Stabilité de la résistance au développement d'*Heterodera avenae* (pathotype Ha 41) dans le ray-grass d'Italie alternatif Cannibale après 2 cycles successifs de multiplication (Cannibale 1 et Cannibale 2). Témoins hôtes : blé cv. Arminda et ray-grass d'Italie alternatif Variété X et non alternatif cv. Nadine. Moyennes sur 25 répétitions et écart types.**

**FIGURE 5 : Stability of the resistance to the development of *Heterodera avenae* (HA41 pathotype) in the annual Italian Ryegrass cv. Cannibale over 2 successive multiplication cycles (Cannibale 1 and Cannibale 2). Susceptible control hosts are wheat cv. Arminda and annual Italian Ryegrass cultivar X and non-annual cv. Nadine. Means of 25 replications and standard deviations.**

Les résultats de ces travaux ont conduit à la **création de variétés de ray-grass d'Italie présentant un bon niveau de résistance au développement d'*H. avenae***. Plusieurs cycles de sélection ont démontré l'augmentation régulière de cette résistance après chaque cycle de sélection ; sa stabilité étant confirmée après deux cycles successifs de multiplication du matériel végétal sélectionné.

La disponibilité d'un tel matériel végétal, en particulier **la variété *Cannibale*** récemment inscrite, offre de réelles possibilités pour lutter contre *H. avenae*. Son utilisation pour des cultures fourragères ou en couverture de sol, plus particulièrement en France méridionale et au cours des périodes d'éclosion hivernale du pathogène, pourrait contribuer à en gérer les densités dans le cadre de la protection intégrée du blé tendre et du blé dur (RIVOAL et BESSE, 1982). Ces ray-grass peuvent servir également de cultures fourragères ou de cultures pièges pour les nitrates en excès et constituer d'indéniables outils de protection de l'environnement dans le cadre de politiques d'Agriculture durable (LEPOIVRE, 2001).

Accepté pour publication, le 20 juillet 2005.

**Remerciements** : Ces recherches ont été partiellement financées par des aides de l'ANVAR et une bourse CORTECHS d'ADRINORD.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDERSEN S., ANDERSEN K. (1982) : «Suggestions for determination and terminology of pathotypes and genes for resistance in cyst-forming nematodes, especially *Heterodera avenae*», *Bull. OEPP*, 12, 379-386.
- BEKAL S., JAHIER J., RIVOAL R. (1998) : «Host responses of different Triticeae to species of the cereal cyst nematode complex in relation to breeding resistant durum wheat», *Fundam. appl. Nematol.*, 21, 359-370.
- BESNARD A., LE GALL A. (2000) : «Les cultures fourragères intermédiaires : pièges à nitrates et fourrages d'appoint ?», *Fourrages*, 163 : 293-306.
- BONNEMORT C., DRIEU Y., PAUGET J., GIPPET B. (1999) : «Quels sont les meilleurs pièges à nitrates», *Perspectives Agricoles*, 247, 72-79.
- CAUBEL G., CHAUBET B. (1988) : «Méthodologie pour l'évaluation de la résistance des crucifères à *Heterodera schachtii* Schmidt», *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 74, 93-98.
- COOK R., EVANS F. (1987) : «Resistance and Tolerance», *Principles and practice of nematode control*, Brown R.H. et Kerry B.R. éd., Academic Press, London, 179-231.
- COOK R., RIVOAL R. (1998) : «Genetics of resistance and parasitism», *The cyst nematodes*, Sharma S.B. éd., Chapman & Hall, London, 322-352.
- COOK R., YEATES G.W. (1993) : «Nematode pests of grassland and forage crops», *Plant parasitic nematodes in temperate agriculture*, Evans K., Trudgill D.L et Webster J.M éd., CAB International, Wallingford, 305-350.
- COUCH H.B. (1995) : «Diseases of turfgrasses caused by nematodes», *Diseases of turfgrasses*, Couch H.B éd., 3<sup>e</sup> édition, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, USA, 216-240.
- LEPOIVRE P. (2001) : «Les systèmes de production agricole et la protection des cultures à la croisée des chemins», *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 5, 195-199.
- RIVOAL R. (1977) : «Identification des races biologiques du Nématode à kyste des céréales *Heterodera avenae* Woll., en France», *Ann. Zool. Ecol. anim.*, 9, 261-272.

- RIVOAL R. (1982) : «Caractérisation de deux écotypes d'*Heterodera avenae* en France par leurs cycles et conditions thermiques d'éclosion», *Bull. OEPP*, 12, 353-359.
- RIVOAL R., BESSE T. (1982) : «Le nématode à kyste des céréales», *Perspectives Agricoles*, 63, 38-43.
- RIVOAL R., PERSON-DEDRYVER F. (1982) : «Caractérisation des pathotypes d'*Heterodera avenae* en France : influence de la période de culture sur le pouvoir discriminant de cultivars d'*Avena sativa* et différences dans la capacité à former des femelles», *Bull. OEPP*, 12, 387-391.
- RIVOAL R., COOK R. (1993) : «Nematode pests of cereals», *Plant parasitic nematodes in temperate agriculture*, Evans K., Trudgill D.L et Webster J.M. éd., CAB International, Wallingford, 259-303.
- RIVOAL R., ROMANE G. (1997) : «Les nématodes : quelques informations sur ces organismes invisibles», *Paysages Actualités*, 194, 45-50.
- RIVOAL R., BEKAL S., VALETTE S., GAUTHIER J.P., BEL HADJ FRADJ M., MOKAZBLI A., JAHIER J., NICOL J., YAYHYAOUI A. (2001) : «Variation in reproductive capacity and virulence to different genotypes and resistance genes of Triticeae, in the complex of cereal cyst nematodes», *Nematology*, 3, 581-592.
- VALETTE S., RIVOAL R. (2005) : «Niveau de résistance des céréales et graminées aux nématodes à kystes. Test biologique miniaturisé», *Méthodes d'appréciation du comportement variétal vis-à-vis des bioagresseurs*, *Le Cahier des Techniques de l'INRA*, n° spécial, 23-27.

## SUMMARY

### **Breeding Italian Ryegrass for resistance to the cereal cyst nematode, *Heterodera avenae***

New strains of Italian Ryegrass, grown either as main crops or as catch crops, have been bred with an improved resistance to the development of *Heterodera avenae*. At first, methods were developed to adapt miniature techniques (volume of the culture container, dosage of the inoculum, pathotype) to test the resistance in forage grasses. Subsequently, a great number of lines and cultivars of Perennial and Italian Ryegrass were tested, which showed a relatively low hosting capacity, compared to the susceptible wheat control, cv. Arminda. Using plants with complete resistance to *Heterodera avenae*, through successive crosses during four annual cycles of selection, we obtained lines of Italian Ryegrass, with a markedly improved resistance, characterized by a reduced mean number of cysts per plant and an increased proportion of plants devoid of cysts.

It would be advisable to introduce such strains of Italian Ryegrass in areas where *Heterodera avenae* has a high intrinsic capacity to reproduce and when the crop season corresponds to the hatching period of the nematode (winter in Southern France). They can be used both as forage crops and as catch crops (to alleviate nitrate excesses) and will contribute to the control of the pathogen's population density, thus protecting subsequent cereal crops, such as bread wheat and durum wheat.