

Les nématodes du riz et la résistance du riz aux nématodes en Asie du sud-est

Georges Reversat¹ et Jean-Claude Prot²

En dépit du fait que les nématodes infestent de manière endémique les rizières de l'Asie du sud-est, elles influent peu sur le rendement de riz irrigué puisque les conditions anaérobiques du sol ne permettent pas au parasite de se propager autrement que d'une plante à une plante. Les nématodes nuisent davantage au rendement du riz pluvial mais, comme ce système cultural ne représente que 20 % des récoltes, le développement de variétés de riz résistantes a figuré en bas des priorités de recherche, malgré l'importance que ce mode de culture revêt pour bien des agriculteurs pauvres. De nos jours, le besoin de réduire la consommation d'eau à l'aide de techniques de conservation, et l'utilisation de méthodes culturales alternativement en environnement pluvial et sec menace la quasi-immunité dont les systèmes de culture irriguée disposaient jusqu'à présent face aux nématodes.

La résistance du riz aux maladies des parties aériennes

Les affections des parties aériennes du riz causées par des attaques d'insectes, de microorganismes (champignons, bactéries) et de virus sont inventoriées et combattues depuis longtemps. Ces organismes provoquent des symptômes et des dégâts très spécifiques sur les feuilles, les tiges et les grains. C'est cette spécificité qui permet par un criblage rapide la création de variétés de riz résistantes à ces maladies. Cette démarche, entreprise avant la création de l'IRRI, a été reprise parmi les premières activités de l'IRRI dans les années 60. Les nématodes phytoparasites *Aphelenchoides besseyi* et *Ditylenchus angustus* affectent également les parties aériennes du riz en provoquant des symptômes et des dégâts tout aussi spécifiques. Mais c'est surtout par la prophylaxie et l'application de pratiques culturales qu'ils sont combattus. Les variétés résistantes ou tolérantes à ces nématodes ne sont que peu utilisées.

Les nématodes parasites des racines du riz en Asie

L'étude des nématodes qui parasitent les racines du riz en Asie a été abordée par l'IRRI dans les années 80 aux Philippines, au Vietnam et en Indonésie. Contrairement aux maladies précédemment mentionnées, ces nématoses induisent des symptômes et des dégâts sur les parties aériennes du riz qui ne sont pas spécifiques de l'attaque des racines par les nématodes. Ils peuvent être confondus, notamment, avec ceux provoqués par des désordres de la nutrition minérale. Dès lors, il fallait disposer de données précises sur les dommages réels des nématodes sur le riz. L'essentiel de la collaboration entre l'IRRI et l'ORSTOM, puis l'IRD, entre 1985 et 2000 a donc porté sur l'inventaire des espèces des nématodes qui parasitent les racines du riz en Asie et sur l'évaluation des dégâts qu'ils provoquent. Des différences qualitatives importantes des peuplements ont été observées entre le milieu inondé et le milieu exondé en Asie du sud-est. Ceci avait déjà été constaté dans d'autres régions rizicoles du monde, comme en Côte d'Ivoire et au Sénégal par l'ORSTOM dans les années 70.

En riz irrigué en Asie, comme en Afrique et en Amérique du sud, le genre *Hirschmanniella*, endoparasite migrateur, prédomine, avec plusieurs espèces selon les pays ou les régions. Les dégâts produits sont modérés, et l'efficacité de quelques mesures de contrôle comme l'emploi du *Sesbania rostrata* en plante piège, ou l'épandage d'un excès d'engrais azotés ont été appliqués avec succès aux Philippines.

En riz pluvial, il n'y a que deux espèces majeures aux Philippines, en Indonésie et au Vietnam: *Meloidogyne graminicola*, endoparasite sédentaire et *Pratylenchus zaei*, endoparasite migrateur. Ce sont également les deux espèces majeures trouvées par d'autres nématologistes sur riz pluvial dans le sous-continent indien (Inde, Bangladesh, Pakistan, Sri Lanka, Népal), dans d'autres pays de l'Asie du sud-est (Birmanie, Thaïlande, Laos, Taiwan), en Amérique du sud, mais pas en Afrique. Les dégâts causés par *P. zaei* se sont révélés modérés. Par contre *M. graminicola* s'est montré d'emblée beaucoup plus pathogène et d'un potentiel ambigu, car il était présent aussi bien en riz irrigué qu'en riz pluvial.

Effet du régime hydrique du riz sur le nématode *Meloidogyne graminicola*

L'effet du régime hydrique du riz sur le développement et les dégâts produits par *M. graminicola* a donc été étudié attentivement à l'IRRI. On a conclu de ces travaux que le stade infestant de *M. graminicola* ne pénètre dans les racines

du riz qu'en conditions aérobies. Mais une fois dans la racine, il peut continuer son développement même si le sol est ensuite submergé et devient anaérobie (riz irrigué). Par contre, une fois cette submersion établie, du 10^{ème} au 100^{ème} jour après repiquage, la descendance de cette première génération ne peut envahir les nouvelles racines de tallage car le sol est alors anaérobie. Cette limitation de l'infestation fait que les dégâts observés sont insignifiants en riz irrigué. Néanmoins à la faveur des quelques brefs épisodes aérobies qui interviennent au cours de la culture irriguée, l'infestation endémique de ces rizières irriguées par *M. graminicola* se maintient. En riz de bas-fond pluvial, l'insuffisance occasionnelle des pluies augmente la fréquence et la durée des épisodes aérobies et des dégâts peuvent apparaître. Ils sont alors proportionnels à la somme des durées des épisodes aérobies. En riz pluvial, avec un sol aérobie permanent, les dégâts sont élevés, allant jusqu'à l'anéantissement de la récolte, particulièrement en sol sableux.

Détection de sources de résistance au nématode *Meloidogyne graminicola*

En ne criblant qu'un nombre limité des ressources génétiques de l'IRRI (moins d'une centaine), plusieurs accessions résistantes à *M. graminicola* ont été trouvées chez deux riz africains, *Oryza glaberrima* et *O. longistaminata*, mais pas chez le riz asiatique *O. sativa*. Les produits des croisements interspécifiques entre ces sources de résistance et des variétés à haut rendement d'*O. sativa*, puis des rétrocroisements de ces hybrides avec *O. sativa* sont en cours de criblage pour leur résistance à *M. graminicola*. Toutefois la mise au point des lignées résistantes isogéniques, indispensables aux sélectionneurs pour créer des variétés résistantes, n'a pas encore abouti.

Bilan de la coopération IRD-IRRI sur les nématodes du riz

A la fin des années 90, le bilan du travail de IRD à l'IRRI en nématologie établissait que la plus grande partie du riz en Asie était produite sans contrainte nématologique majeure (quasi « immunité »). En effet plus de 75% du riz provient des rizières irriguées, certes avec la présence constante de nématodes du genre *Hirschmanniella*, mais dont l'impact négatif sur la production est réduit, au maximum de l'ordre de 30% de pertes dans les conditions les plus défavorables. Cet effet négatif peut d'ailleurs être partiellement compensé par l'application d'un surcroît d'engrais azoté. De plus, il n'y a aucune perspective de trouver des variétés résistantes à ces nématodes, dont la relation nutritionnelle avec la racine de riz est assez rudimentaire. Cette dernière remarque vaut pour *Pratylenchus zaei* qui appartient à la même famille de nématodes que les *Hirschmanniella*.

Par contre la production en riz pluvial (plateau et bas-fond) peut être gravement affectée par *M. graminicola*. Si seule une part réduite de la production de riz (20%) est concernée par cette menace, elle est cependant vitale pour les riziculteurs aux revenus les plus faibles. La mise au point par l'IRRI de variétés de riz résistantes à *M. graminicola* correspondrait donc bien à l'une des missions du CGIAR de lutter contre la pauvreté. Le ralentissement actuel de ce programme vient de ce qu'il n'est pas classé dans les priorités de l'IRRI. Ces rizicultures à faible rendement connaissent bien d'autres contraintes et l'IRRI a fait d'autres choix.

La riziculture avec économie de l'eau favorise le nématode *Meloidogyne graminicola*

Une situation entièrement nouvelle pour la riziculture est apparue à partir début des années 2000, qui remet en cause la portée modeste du bilan présenté. Ce tournant est lié à la limitation de l'eau disponible pour l'irrigation, à cause de l'augmentation de la population, de l'élévation de son niveau de vie (eau courante) et de l'augmentation de la consommation d'eau par l'industrie. La couche d'eau de submersion de la rizière inondée ajoute à la consommation propre de la plante de riz des pertes par évaporation et par percolation, verticale et horizontale. Cette consommation annexe double ou triple celle qui est indispensable. Les agronomes à l'IRRI et dans d'autres pays mettent au point des techniques d'économie de l'eau en riziculture. Les plus avancées sont l'alternance humide-sec, avec une submersion à temps partiel, et le riz aérobie, sans aucune submersion, mais pour lequel le potentiel hydrique du sol est maintenu entre -30 KPa et -10 KPa. Cette différence de régime hydrique modifie l'oxygénation du sol. Au lieu de l'anaérobiose totale observée en conditions irriguées, entre le 10^{ème} et le 100^{ème} jour après le repiquage, le sol sous ces mesures d'économie d'eau connaît par périodes longues ou en permanence des conditions aérobies. Nous avons vu précédemment les conséquences de cet état du sol sur le parasitisme de *M. graminicola* et les dégâts qui en résultent. Les bilans pratiqués sur ces nouvelles techniques d'économie de l'eau en riziculture font souvent apparaître une baisse progressive des rendements avec le nombre de cultures successives (yield decline). Dans une proportion élevée de cas, *M. graminicola* serait le principal facteur impliqué dans cette diminution des rendements.

Cependant d'autres cas ont été relevés par l'IRRI de perte de rendement après application des techniques d'économie de l'eau, mais où l'agent initial n'est plus un nématode, mais probablement un champignon ou un virus. Il existe donc différents syndromes liés à ces économies d'eau et leur inventaire commence seulement.

L'économie d'eau en riziculture compromet l'« immunité » du domaine irrigué.

Une des conséquences majeures de l'application des mesures d'économie de l'eau en riziculture est l'extension du grave problème posé par *M. graminicola* à une fraction significative des rizières irriguées. Cela compromet l'« immunité » nématologique du domaine irrigué. Cette menace était jusqu'à présent confinée au riz pluvial (plateau et bas-fond). Ce constat souligne l'urgence de la mise au point de variétés de riz résistantes à ce nématode.

Recherches sur la microbiologie et la biologie des rizières

Pierre Roger¹

La collaboration IRD-IRRI sur la biologie des sols de rizière a produit des résultats dans cinq domaines: les biofertilisants fixateurs d'azote, le rôle et la gestion de la biomasse photosynthétique aquatique, l'impact des pesticides sur l'écologie de l'écosystème, la rizi-pisciculture et enfin l'émission de méthane par les rizières submergées.

Les recherches ont débuté en 1979 sur le thème des cyanobactéries libres et symbiotiques (Azolla) et de leur utilisation comme biofertilisants. En 1988 ce thème a été étendu au rôle des micro-algues et des macrophytes aquatiques dans l'écologie de l'eau de submersion, le cycle de l'azote et le maintien de la fertilité des sols, en relation avec la biomasse microbienne du sol. Un résultat majeur est d'avoir montré l'importance d'enfouir l'engrais azoté dans le sol au lieu de l'épandre à la volée dans l'eau de la rizière (technique la plus fréquemment utilisée en Asie). L'enfouissement de l'engrais azoté a un triple avantage.

1. Il permet l'expression de l'activité fixatrice de N₂ des cyanobactéries autochtones (soit un apport gratuit de 10 à 30 kg N/ha et par cycle de culture).

2. Il évite la prolifération d'algues unicellulaires dans l'eau des rizières, ce qui:

- *Réduit considérablement les pertes d'azote par volatilisation de l'ammoniacque (qui peuvent atteindre jusqu'à 50 % de l'azote épandu) dues à l'alcalinisation de l'eau par l'activité photosynthétique des algues.*
- *Évite la prolifération des larves de moustiques (qui se nourrissent de ces algues) et dont les adultes sont des vecteurs du paludisme et d'encéphalites.*

De 1989 à 1991, un projet pluridisciplinaire en milieu paysan et en parcelles expérimentales, a étudié les effets biologiques, économiques et sanitaires des pesticides dans les environnements rizicoles des Philippines. Les résultats ont montré des effets à court terme relativement modestes sur la microflore, plus marqués sur les populations d'invertébrés et très significatifs sur la santé des riziculteurs, fréquemment en raison d'une utilisation inadéquate des pesticides. L'étude a aussi mis en lumière l'absence d'information sur les effets à long terme des pesticides sur la microflore et la fertilité des sols.

Un autre projet a étudié la rizi-pisciculture dans deux rizières des Philippines et a proposé un modèle mathématique qui montre que l'introduction de poissons dans les rizières augmente la productivité, le flux d'azote et la biomasse microbienne du sol. La production de poisson a été de 200 à 300 kg/ha par cycle cultural.

En 1997, la caractérisation de la microflore et du potentiel méthanogène et méthanotrophe d'un échantillon représentatif de 40 sols de rizières a montré l'ubiquité des deux populations et un potentiel méthanotrophe des sols toujours supérieur au potentiel méthanogène. Cela a permis de conclure que l'introduction d'à-secs au cours d'un cycle cultural, en favorisant la consommation de CH₄ et en limitant sa production, est actuellement la solution la plus réaliste pour réduire l'émission de CH₄, gaz à effet de serre, par les rizières.

Ces recherches ont donné lieu à la publication de plus d'une centaine d'articles et ont été résumées dans trois ouvrages de synthèse:

- 1. Roger PA, Kulasooriya SA (1980) Blue-green algae and Rice. The International Rice Research Institute, Po Box 933, Manila, Philippines. 112 pages.*
- 2. Pingali PL, Roger PA (eds.) (1995) Impacts of pesticides on farmer health and the rice environment. Kluwer Acad. Pub. 646 pp.*
- 3. Roger PA (1996) Biology and management of the floodwater ecosystem in wetland ricefields. International Rice Research Institute, PoBox 933, Manila, Philippines; ORSTOM, 214 rue La Fayette, Paris, France. 250 pp.*

¹ Pierre Armand Roger, directeur de recherche IRD, s'est spécialisé dans la microbiologie et la biologie des sols de rizière au cours d'une carrière exercée en Afrique de l'ouest (1969-79) puis à l'IRRI en Asie du sud-est (1979-91). Directeur d'Unité de recherche puis du Programme « Écologie et biotechnologies microbiennes », puis Chargé de mission pour la Microbiologie à l'IRD jusqu'en 2002, il est actuellement Président de la Fondation internationale pour la science.

¹ Georges Reversat, directeur de recherche à l'IRD, spécialiste de la biologie, de la physiologie et du contrôle des nématodes phytoparasites tropicaux a été en poste en Côte d'Ivoire, au Sénégal et au Congo de 1968 à 1993. A partir de 1994, ses recherches ont porté sur la résistance du riz aux nématodes à l'IRD de Bondy, puis également à l'IRRI aux Philippines, en shuttle-scientist depuis 1998.

² Jean-Claude Prot, directeur de recherche à l'IRD, spécialiste de la biologie, du comportement, de la pathogénie et du contrôle des nématodes phytoparasites tropicaux a été en poste au Sénégal à partir de 1972, à l'Université de Californie puis à l'IRRI de 1985 à 1996. Il a ensuite occupé des fonctions de responsabilités scientifiques à l'IRD dont la direction du Centre IRD de Montpellier de 2002 à 2006.

Références

Prot J.C. (1994) Monetary value estimates of nematode problems, research proposal and priorities: the rice example in South and Southeast Asia. *Fundam. Appl. Nematology* 16:385–388.

Reversat G., Bouman B., Fernandez L., Lampayan R. and Castaneda A. (2003). How water shortage in irrigated Asian rice production affects the potential threat of plant parasitic nematodes. AFPP-Seventh International Conference on Plant Diseases, Tours, France, December 3-5, 2003. 8 p.

Soriano I.R.S., Prot J.C. and Matias D.M. (2000). Expression of tolerance for *Meloidogyne graminicola* in rice cultivars as affected by soil type and flooding. *J. Nematology* 32:309–317.

Rice nematodes and resistance of rice to nematodes in Southeast Asia

Georges Reversat¹ and Jean-Claude Prot²

Despite endemic infestation of Southeast Asian rice fields, nematodes have little effect on irrigated rice yields because prevalent anaerobic soil conditions constrain the parasite's spread from plant to plant. Nematodes are a worse problem in rainfed rice, but as this system accounts for only 20% of the harvest, breeding resistant rice varieties has been a low priority, despite the importance of the rainfed crop to many poor farmers. Today, the need to reduce water use through such water-saving techniques as alternate wetting and drying and aerobic rice cultivation threatens the near immunity to nematodes that irrigated systems have heretofore enjoyed.

Rice resistance to diseases of its above-ground parts

Diseases affecting the parts of rice plants above the ground — caused by insects, fungi, bacteria and viruses — have been inventoried and combated for a long time. These organisms cause very specific symptoms on, and damage to, leaves, stems and grain. This specificity allows the development of rice varieties resistant to these diseases through quick screening. This process, initiated before the establishment of the International Rice Research Institute (IRRI), was resumed as one of the first IRRI activities of the 1960s. The phytoparasitic nematodes *Aphelenchoides besseyi* and *Ditylenchus angustus* also affect the above-ground parts of rice plants, causing equally specific symptoms and damage. However, they are largely tackled through prophylaxis and tilling practices. Varieties resistant to these nematodes are only rarely used.

Rice root-parasitic nematodes in Asia

The study of root-parasitic nematodes in Asia was addressed in the 1980s by IRRI in the Philippines, Vietnam and Indonesia. In contrast to previously mentioned diseases, these nematodes cause symptoms on, and damage to, the above-ground parts of rice plants that are not characteristic of nematode attacks on roots. In particular, they can be confused with effects caused by mineral nutrient disorders. This necessitated obtaining specific data on the actual damage caused to rice by nematodes. From 1985 to 2000, the main focus of cooperation between IRRI and the Office de la recherche scientifique et technique d'outre-mer (ORSTOM), and then the Institut de la recherche pour le développement (IRD), its successor organization, was to inventory species of root-parasitic rice nematodes in Southeast Asia and assess the damage they cause. Significant qualitative differences in rice populations were observed between flooded and aerobic environments in Southeast Asia. ORSTOM had already noted this in the 1970s in other rice-growing areas, such as in Côte d'Ivoire and Senegal.

As is the case with Africa and South America, the *Hirschmanniella* genus, a migratory endoparasite, predominates in irrigated rice in Asia. It has several species in different countries or regions. The damage caused is moderate, and controlling measures such as using *Sesbania rostrata* as a trap plant or abundantly applying nitrogen fertilizer have been successful in the Philippines.

For rainfed rice, there are only two main species in the Philippines, Indonesia and Vietnam: *Meloidogyne graminicola*, a sedentary endoparasite, and *Pratylenchus zaei*, a migratory endoparasite. Other nematologists have found two other major species on rainfed rice on the Indian subcontinent (India, Bangladesh, Pakistan, Sri Lanka and Nepal), in other Southeast Asian countries and regions (Myanmar, Thailand, Laos and Taiwan), and in South America, but not in Africa. Damage caused by *P. zaei* has been found to be moderate. In contrast, *M. graminicola* has proved to be more pathogenic and dangerous because it is present in both irrigated and rainfed rice.

Effect of the water regime on the *Meloidogyne graminicola* nematode

IRRI therefore closely studied the effect of the water regime for rice on the development of, and damage produced by, *M. graminicola*. These studies found that, at the infestation stage, *M. graminicola* penetrates rice roots only under aerobic conditions. Once in the roots, however, it can continue developing even if the soil is subsequently flooded and becomes anaerobic, as is the case with irrigated rice. However, once flooding has taken place, from the 10th to the 100th day after

transplanting, the offspring of this first generation cannot infest new root suckers because the soil is anaerobic, rendering the damage to irrigated rice negligible. However, the occasional brief aerobic periods that occur during irrigated cultivation cause irrigated rice fields to face persistent, endemic infestation by *M. graminicola*. With rainfed bottomland rice, the occasional lack of rain increases the frequency and duration of aerobic periods, and damage may occur proportional to the total duration of aerobic periods. In the case of rainfed rice with permanently aerobic soil, damage is serious, even to the extent of total crop loss, particularly in sandy soils.

Detecting sources of resistance to the *Meloidogyne graminicola* nematode

After screening fewer than 100 accessions of rice genetic resources at IRRI, several varieties of two African rice species, *Oryza glaberrima* and *O. longistaminata*, were found to resist *M. graminicola*. However, the same cannot be said of Asian rice, *O. sativa*. The products of interspecific crosses between these sources of resistance and the high-yielding

Research on Ricefield Microbiology and Biology

Pierre Roger¹

Collaboration between the Institut de recherche pour le développement (IRD) and International Rice Research Institute (IRRI) on the biology of rice field soils has yielded results in five areas: (i) nitrogen-fixing biofertilizers, (ii) the role and management of the aquatic photosynthetic biomass, (iii) the impact of pesticides on the ecology of the ecosystem, (iv) fish cultivation in rice fields, and (v) methane emissions from submerged rice fields.

Research began in 1979 on the topic of free and symbiotic cyanobacteria (Azolla) and their use as biofertilizers. In 1988, this topic was expanded to include the role of aquatic macrophytes and micro-algae in the ecology of floodwater, the nitrogen cycle, and the maintenance of soil fertility in relation to the microbial biomass of the soil. One major result was to demonstrate the importance of burying nitrogen fertilizer in the soil instead of spreading it in the water of the rice field, the technique most commonly used in Asia.

Burying nitrogen fertilizer provides a threefold advantage. First, it permits native cyanobacteria to fix nitrogen, providing a free supply of 10-30 kilograms of nitrogen per hectare per growth cycle. Second, it substantially reduces nitrogen loss by avoiding the proliferation in the rice field water of unicellular algae, whose photosynthetic activity alkalizes the water and causes the volatilization of the ammonia, which can consume as much as 50% of the nitrogen spread in the field. Third, controlling algae also constrains the proliferation of mosquito larvae, which feed on algae and, in their adult form, become vectors of malaria and encephalitis.

From 1989 to 1991, a multidisciplinary project involving farmers' ricefields and trial plots studied the biological, economic and health effects of pesticides in the rice-growing environments of the Philippines. The results showed relatively modest short-term effects on microflora, more pronounced effects on invertebrate populations, and highly significant effects on the health of rice growers, often resulting from inappropriate pesticide use. The study also highlighted the absence of information on the long-term effects of pesticides on microflora and soil fertility.

Another project looked at fish cultivation in two rice fields in the Philippines and proposed a mathematical model showing that introducing fish in ricefields increases productivity, nitrogen flux, and the microbial biomass of the soil. Fish production came to 200-300 kilograms per hectare per growth cycle.

In 1997, a description of the microflora and the methanogenic and methanotrophic potential of a representative sample of 40 rice field soils showed the ubiquity of both populations and a methanotrophic potential in the soils consistently higher than the methanogenic potential. This result led to the conclusion that introducing dry-out phases during a growth cycle, which favors the consumption of methane and limits its production, is currently the most realistic solution for reducing emissions of methane, a greenhouse gas, from rice fields.

This research has led to the publication of more than 100 articles and has been summarized in three works:

- Roger PA, Kulasooriya SA. 1980. *Blue-green algae and rice*. International Rice Research Institute, Manila, Philippines. 112 p.
- Pingali PL, Roger PA (eds.). 1995. *Impacts of pesticides on farmer health and the rice environment*. Kluwer Acad. Pub. 646 p.
- Roger PA. 1996. *Biology and management of the floodwater ecosystem in wetland ricefields*. International Rice Research Institute, Manila, Philippines; Office de la recherche scientifique et technique d'outre-mer, Paris, France. 250 p.

¹ Pierre Armand Roger, director of research of the Institut de recherche pour le développement (IRD), has specialized in the microbiology and biology of ricefield soils in the course of a career spent in West Africa (1969-1979) and then with the International Rice Research Institute (IRRI) in Southeast Asia (1979-1991). Director of Research unit, then of the major program on Microbial Ecology and Biotechnologies, and subsequently the Microbiology Project leader at IRD until 2002, he is currently chairman of Board of the International Foundation for Science.

varieties of *O. sativa*, followed by retrocrossing these hybrids with *O. sativa*, are being screened for their resistance to *M. graminicola*. However, these isogenic resistant lines, indispensable to plant breeders for creating resistant varieties, have not yet been successfully developed.

Assessment of IRD-IRRI cooperation on rice nematodes

At the end of the 1990s, an assessment of the nematology work of IRD at IRRI established that most rice in Asia was produced without major nematological constraints (near immunity). In fact, more than 75% of rice comes from irrigated paddies in the constant presence of *Hirschmanniella* nematodes, whose impact on production is limited to, at most, losses of 30% under the most difficult conditions. This negative effect can be partly offset by applying extra nitrogen fertilizer. In any case, there is no prospect of finding varieties resistant to these nematodes, which have a fairly elementary relationship with the rice root. This also applies to *Pratylenchus zaei*, which belongs to the same family of nematodes as *Hirschmanniella*.

On the other hand, rainfed rice grown either on uplands or bottomland can be seriously affected by *M. graminicola*. Although only 20% of rice production is under threat, it is vital to the livelihood of rice farmers with the lowest income. IRRI's development of rice varieties resistant to *M. graminicola* would thus be very compatible with the mission of poverty reduction pursued by the Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR). However, this program is currently progressing slowly because low-yield rice farmers face many other constraints, and IRRI is focused on other priorities.

M. graminicola thrives in water-saving conditions

At the beginning of the 21st century, an entirely new situation arose in rice farming that challenged the limited scope of the assessment. This shift is linked to the shortage of water available for irrigation because of population growth, higher standards of living that expand running water availability in households, and increased water consumption by industry. Submersion of flooded rice fields causes water loss, beyond the consumption of the rice plant itself, through evaporation and vertical and horizontal percolation, doubling or tripling the amount of water required. Agronomists from IRRI and elsewhere are developing water-saving techniques for rice farming. The most advanced techniques are (i) alternate wetting and drying with temporary flooding and (ii) aerobic rice with no flooding but for which the hydric potential of the soil is kept between -30 kPa and 10 kPa. This change in hydric regime modifies the soil's oxygenation. Instead of the total anaerobic conditions observed under irrigation between the 10th and 100th day after transplanting, these water-saving measures mean the soil has long periods of aerobic conditions, if not continuous aerobic conditions. The consequences for the parasitism of *M. graminicola* and the resulting damage are described above. The tests carried out on these new water-saving measures often show a gradual yield decline with successive crops. In a high percentage of cases, *M. graminicola* is cited as the main factor in this yield decline.

IRRI has observed other cases of yield decline after applying water-saving techniques in which the principal agent is not a nematode but probably a fungus or virus. There are, therefore, various syndromes linked to water-saving that are only beginning to be identified.

Water-saving compromises the immunity of the irrigated area

One of the major consequences of applying water-saving measures in rice cultivation is the spread of the serious problem posed by *M. graminicola* to a significant portion of irrigated rice fields. This compromises the nematological immunity of the irrigated area, introducing a threat that, until now, has been confined to rainfed rice. This discovery underscores the urgent need to develop rice varieties resistant to this nematode.

¹ Georges Reversat, director of research at the Institut de recherche pour le développement (IRD) and a specialist in the biology, physiology and control of tropical phytoparasitic nematodes, was posted to Côte d'Ivoire, Senegal and Congo from 1968-1993. His research has focused on rice resistance nematodes at IRD in Bondy since 1994, and also at the International Rice Research Institute (IRRI) in the Philippines, where he has been a shuttle scientist since 1998.

² Jean-Claude Prot, director of research at IRD and a specialist in the biology, behavior, pathogenesis and control of tropical phytoparasitic nematodes, was first posted to Senegal in 1972 and subsequently worked at the University of California and IRRI from 1985-1996. He has since occupied senior scientific posts at IRD, including director of the IRD Montpellier from 2002 to 2006.

References

Prot JC. 1994. Monetary value estimates of nematode problems, research proposal and priorities: The rice example in South and Southeast Asia. *Fundam. Appl. Nematology* 16:385-388.

Reversat G, Bouman B, Fernandez L, Lampayan R, Castaneda A. 2003. How water shortage in irrigated Asian rice production affects the potential threat of plant parasitic nematodes. AFPP-Seventh International Conference on Plant Diseases, Tours, France, 3-5 December 2003. 8 p.

Soriano IRS, Prot JC, Matias DM. 2000. Expression of tolerance for *Meloidogyne graminicola* in rice cultivars as affected by soil type and flooding. *J. Nematology* 32:309-317.



LA FRANCE ET LE CGIAR:

DES RÉSULTATS SCIENTIFIQUES POUR LA RECHERCHE AGRICOLE INTERNATIONALE

La présente publication a été coordonnée par Daniel Rocchi et placée sous l'autorité scientifique d'un Comité de rédaction composé paritairement d'experts du CGIAR et français: Denis Despréaux,¹ Emile Frison,² Bernard Hubert³ et Manuel Lantin⁴.

Les articles signés sont de la responsabilité de leurs auteurs et les textes non signés sont de la responsabilité du Comité de rédaction.

Daniel Rocchi est officier de liaison au Secrétariat du CGIAR à Washington depuis 2005, mis à disposition par le ministère de l'Agriculture et de la Pêche. Titulaire d'un doctorat en sociologie rurale, il a occupé différentes responsabilités en matière d'aménagement et de développement de l'espace rural, notamment aux Antilles, avant de rejoindre, en 1999, la Direction générale de l'enseignement et de la recherche de ce ministère où il s'est spécialisé dans l'administration de la recherche.

¹ Denis Despréaux est sous directeur de la performance de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation au ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. Il est aussi secrétaire exécutif de la Commission de la recherche agricole internationale (CRAI). Titulaire d'un doctorat en phytopathologie, il a consacré sa carrière scientifique aux cultures pérennes tropicales.

² Emile Frison est directeur général de l'Institut international des ressources phytogénétiques (IPGRI) depuis août 2003. Titulaire d'un doctorat en pathologie des plantes, il a consacré une part importante de sa carrière à la recherche agricole internationale pour le développement.

³ Bernard Hubert, titulaire d'un doctorat en écologie, a étudié l'écologie des rongeurs en Afrique de l'ouest avant de rejoindre l'Institut national de la recherche agronomique (INRA) où il a dirigé le département de recherche «Systèmes agraires et développement ». Aujourd'hui, il est directeur scientifique de la division Société, Économie, Décision et responsable de la problématique de développement durable à l'INRA, où il est directeur de recherche. Il est aussi directeur d'études à l'École des hautes études en sciences sociales (EHESS) de Paris.

⁴ Manuel Lantin, conseiller scientifique au Secrétariat du CGIAR, est titulaire d'un doctorat de phytogénétique. Avant de rejoindre le Secrétariat du CGIAR, il a été responsable de la recherche et de la formation au ministère de l'Agriculture des Philippines, président du département d'agronomie et directeur adjoint de l'Institut d'amélioration des plantes de l'Université des Philippines à Los Bagnos.