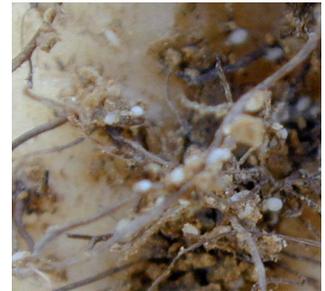


Le nématode à kystes de la betterave, *Heterodera schachtii*, est un vers blanchâtre de moins d'1 mm de long se déplaçant dans le sol et se fixant aux racines de betteraves pour s'en nourrir. C'est un endoparasite strict qui a besoin d'une plante hôte pour se reproduire. Il s'agit d'un des ravageurs les plus importants sur betterave, pouvant provoquer des baisses de rendement significatives ainsi qu'une augmentation de la tare terre. L'intensité des infestations est cependant très variable selon les régions.

Pour faire face à ce bioagresseur, 16 % des surfaces étaient protégées avec des variétés tolérantes en 2017 (soit environ 77 000 ha), un chiffre qui sera au minimum de 18 % en 2018. Ceci a conduit l'ITB en lien avec l'interprofession à mettre en place un réseau national de surveillance (observatoire de la durabilité) pour évaluer les risques de multiplication du nématode.

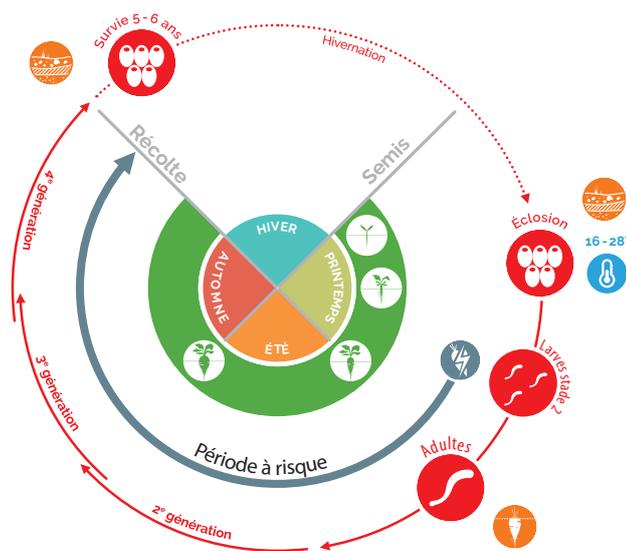
### Mémento

*Heterodera schachtii* a été identifié, pour la première fois en 1859 en Allemagne, par le botaniste Hermann Schacht. Cette maladie était alors connue sous le nom de "fatigue des sols" à betteraves, observée dans les zones de culture intensive autour des usines et provoquant des pertes de rendement inexplicables. Ce n'est qu'en 1871 que Schmidt décrit et nomme ce bioagresseur en l'honneur de Schacht. Le nématode à kystes est présent dans toutes les zones de production betteravières, Europe, Asie, Proche-Orient, États-Unis et Australie.



En France, il a été signalé pour la première fois en 1884 par l'agronome Aimé Girard dans la région parisienne, dans le Nord, puis en Seine-et-Marne, dans l'Oise et dans l'Aisne.

## Biologie et écologie du nématode



Le cycle du nématode à kystes est constitué de quatre stades larvaires et d'un stade adulte tous séparés par une mue. Les éclosions des œufs d'un kyste s'échelonnent sur plusieurs années (les kystes se conservent dans le sol 5 à 6 ans), sous l'influence de la température (16 °C à 28 °C) et des sécrétions radiculaires des plantes hôtes. Lors de l'éclosion, les kystes contiennent le second stade larvaire du nématode. Ces larves filiformes pénètrent dans les racines grâce à leur stylet. En l'absence d'hôte convenable, elles peuvent survivre plusieurs mois dans le sol. Dans la plante, les sécrétions salivaires du parasite provoquent le développement de cellules géantes, lesquelles entravent la circulation de la sève et provoquent la mort des radicelles. La plante réagit en formant de nouvelles radicelles, donnant naissance à un chevelu dense. Après 3 mues, les femelles deviennent ovoïdes et font saillie à l'extérieur de la racine, la tête restant fixée au végétal, le corps rempli d'œufs. Le développement entier, depuis la pénétration de la larve jusqu'à la ponte, dure 4 à 8 semaines (*en été, cette période peut être réduite à 2 ou 3 semaines*). En France, on dénombre 2 à 4 générations par an selon la température.



*Heterodera schachtii* est apte à se développer sur différentes espèces végétales cultivées (betterave, épinard, chou, colza, céleri, carotte, radis, œillet, saponaire), ainsi que sur des adventices (chénopode, stellaire, arroche). Le tableau suivant présente les principales espèces hôtes d'*Heterodera schachtii* regroupées par famille botanique, ainsi que leur effet sur la multiplication des populations du nématode.

*Principales plantes hôtes d'Heterodera schachtii  
(d'après Nématodes des grandes cultures, ACTA, 2011)*

Famille	Espèce	Nom commun	Multiplication
Amaranthacées (dont Chénopodiacées)	<i>Amaranthus caudatus</i>	Amarante queue de renard	++
	<i>Amaranthus hybridus</i>	Amarante hybride	+++
	<i>Amaranthus retroflexus</i>	Amarante réfléchie	++
	<i>Atriplex hortensis</i>	Arroche des jardins	+++
	<i>Atriplex patula</i>	Arroche étalée	++
	<i>Beta vulgaris</i>	Betterave, bette	+++
	<i>Chenopodium album</i>	Chénopode blanc	+
	<i>Chenopodium bonus-henricus</i>	Épinard sauvage	+++
	<i>Chenopodium hybridum</i>	Chénopode hybride	++
	<i>Chenopodium quinoa</i>	Quinoa	++
	<i>Spinacia oleracea</i>	Épinard	++
Caryophyllacées	<i>Agrostemma githago</i>	Œillet des champs	+
	<i>Dianthus caryophyllus</i>	Œillet commun	++
	<i>Saponaria officinalis</i>	Saponaire officinale	++
	<i>Stellaria media</i>	Mouron des oiseaux	++
Brassicacées (Crucifères)	<i>Brassica campestris</i>	Chou chinois	+++
	<i>Brassica hirta</i>	Moutarde blanche	+++
	<i>Brassica napus</i>	Colza	+++
	<i>Brassica oleracea</i>	Chou	+++
	<i>Camelina sativa</i>	Sésame d'Allemagne	+++
	<i>Capsella bursa pastoris</i>	Bourse à pasteur	+++
	<i>Raphanus sativus</i>	Radis	(+)++
	<i>Thlaspi arvensis</i>	Tabouret des champs	+++
Fabacées (Légumineuses)	<i>Lathyrus sativus</i>	Gesse commune	++
	<i>Trifolium resupinatum</i>	Trèfle résupiné	(+)+
	<i>Vicia villosa</i>	Vesce	++
Polygonacées	<i>Fagopyrum esculentum</i>	Sarrasin	+
	<i>Fagopyrum tataricum</i>	Sarrasin de Tartarie	+
	<i>Polygonium lapathifolium</i>	Renouée à feuilles d'oseille	+
	<i>Rumex acetosella</i>	Petite oseille	++



### Symptômes foliaires

Sur le terrain, les symptômes apparaissent sous la forme de foyers limités dans la parcelle, repérables par leur couleur vert pâle, qui s'accroissent au cours de la saison. Les premiers symptômes visibles au niveau du feuillage sont un flétrissement aux heures chaudes de la journée à partir du mois de juin, ainsi qu'une décoloration jaune de l'extrémité des feuilles. Ce jaunissement est dû à une carence magnésienne induite par défaut d'alimentation de la plante lié à une mauvaise efficacité du système racinaire. Il est souvent accompagné en fin de saison par des nécroses et dessèchements en bordure de limbe des feuilles externes avec présence de l'*Alternaria*, un champignon de faiblesse. Dans les cas les plus sévères, la croissance du bouquet foliaire est affectée, ce qui pénalise la couverture du sol et favorise la présence d'adventices, mercuriales et chénopodes en particulier.



*Ronds de nématodes vert pâle dans une parcelle*



*Retard de couverture du sol favorable au développement des adventices*



*Flétrissement du bouquet foliaire aux heures chaudes de la journée*



*Carence magnésienne et nécrose de l'extrémité des feuilles.*

### Ne pas confondre !



- Le flétrissement du feuillage et la prolifération du chevelu racinaire sont aussi des symptômes de la rhizomanie.
- La carence magnésienne, qui se traduit par une décoloration jaune du feuillage, peut aussi être due à une réserve du sol en magnésium insuffisante ou à un mauvais enracinement de la plante résultant d'une structure du sol défavorable.

**Dans tous les cas, la présence ou non de kystes sur les racines latérales permettra de confirmer ou d'infirmer le diagnostic.**

## Symptômes racinaires

La taille de la racine principale (ou pivot) rétrécit alors que se développe un chevelu de racines latérales. Sur ces radicelles, des kystes de couleur blanche en forme de citron d'un diamètre de 0,5 à 1 mm sont observables. Ils correspondent au stade femelle du cycle de développement du nématode. Une fois fécondées, les femelles produisent jusqu'à 600 œufs au sein des kystes. Arrivés à maturité, ils brunissent, se détachent de la racine, et peuvent se conserver dans le sol pendant 5 à 6 ans.



*Rétrécissement du pivot*



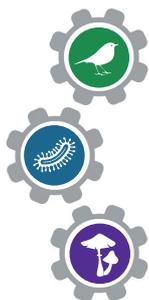
*Formation d'un chevelu racinaire*



*Chevelu racinaire avec présence de kystes blancs*



*Nombreux kystes de couleur blanche sur les radicelles contenant les femelles des nématodes*



### Utiliser des outils de détermination

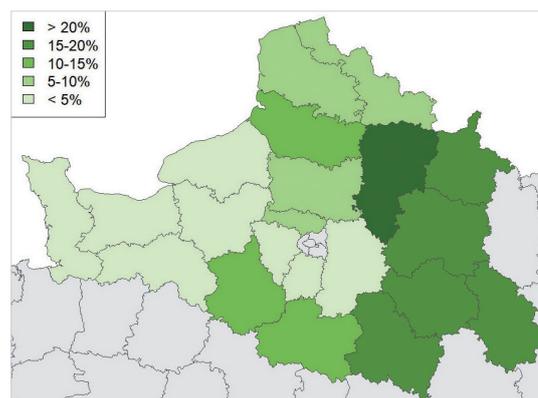
Différents outils de détermination sont disponibles sur le site [www.itbfr.org](http://www.itbfr.org) :

- "DIAGBET maladies et ravageurs" est une application qui permet d'identifier les bioagresseurs de la betterave à différents stades de la culture.
- "BetaGIA" est le guide de gestion intégrée des bioagresseurs de la betterave. Il donne des informations pratiques et synthétiques sur le bioagresseur, son impact sur la culture et sur les moyens de lutte disponibles.

## Connaître le risque régional

*Heterodera schachtii* est très largement répandu dans les zones historiques de culture de betterave sucrière et plus particulièrement autour des sucreries. En 2017, les surfaces touchées par le nématode sont estimées à 35 % dans l'Aisne, 18-20 % en Champagne, 10-12 % dans le Loiret et dans la Somme, 7-8 % dans l'Oise, 5 % dans le Nord, 3,5 % en Ile-de-France et 2 % en Normandie.

En absence de toute gestion, le rendement peut être inférieur de 30 à 40 % à celui de la moyenne régionale, voire de 60 % au sein des foyers d'infestation en cas d'attaque très précoce.



Estimation des surfaces touchées par le nématode à kystes selon les régions betteravières

## Identifier les milieux et les pratiques à risque

### → Milieux à risque

- Les sols sableux facilitent l'éclosion des larves par rapport aux sols argileux de par leur capacité à absorber la chaleur et ainsi à favoriser le cycle de développement du nématode.
- Les défauts de fertilité ou de structure du sol.
- Les parcelles proches d'un outil industriel sucrier passé ou présent (râperie, distillerie, sucrerie) ou d'un secteur d'épandage d'industrie agro-alimentaire (IAA).

### → Pratiques à risque

- Une rotation inférieure à 4 ans entre betteraves et/ou colza.
- Les épandages de déchets de betteraves, ainsi que de boues ou d'eaux de lavage d'IAA contribuent de manière importante à la dissémination du nématode sous forme de kystes. Ceux-ci peuvent être également dispersés par les chantiers de récolte et par le bétail dans une moindre mesure.
- L'irrigation dans le sens où les parcelles irriguées expriment plus vite les attaques de nématodes.
- Les semis tardifs, qui vont maximiser l'effet sur le rendement.



Rotations courtes blé / betterave

## Réagir

À ce jour aucune lutte chimique n'est homologuée, en betteraves, sur ce ravageur. Cependant, dès le constat d'une primo infestation par les nématodes dans la parcelle (quelle qu'en soit l'importance), la lutte agronomique à l'échelle de l'ensemble de la rotation doit être entreprise afin de limiter les attaques ultérieures. Celle-ci passe notamment par l'implantation d'une variété tolérante rhizomanie-nématodes.

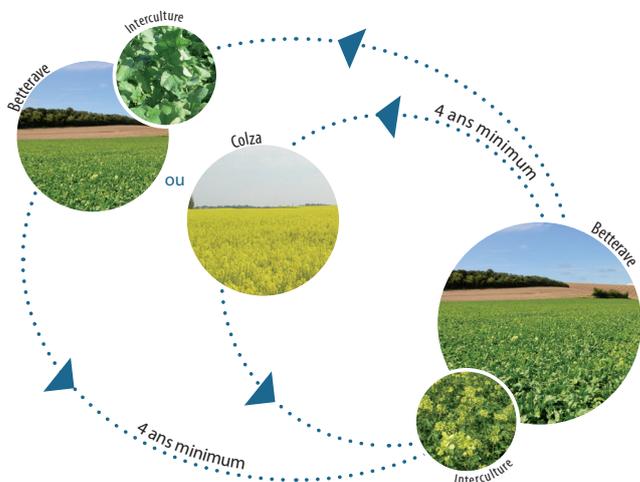
### Surveiller l'apparition et le développement des nématodes à kystes

Le Bulletin de Santé du Végétal permet d'appréhender le risque nématodes à kystes. Un peu plus de 200 parcelles du réseau de surveillance biologique sont suivies du semis à la récolte dans toutes les zones betteravières. Les animateurs de chaque filière réalisent ensuite l'analyse de risque à partir des observations remontées de ces suivis et la mettent en ligne dans les bulletins.

Cette analyse de risque est complétée par des conseils de gestion dans les notes d'informations régionales qui sont communiquées aux planteurs de manière hebdomadaire sur le site [www.itbfr.org](http://www.itbfr.org), dans la rubrique notes d'informations et par e-mail pour les abonnés.

## Allonger la rotation

L'allongement de la rotation permet de diminuer naturellement les niveaux de populations dans le sol en l'absence de betterave et de colza. Il est ainsi recommandé d'espacer les cultures multiplicatrices de quatre ans au minimum.



### Allongement des rotations

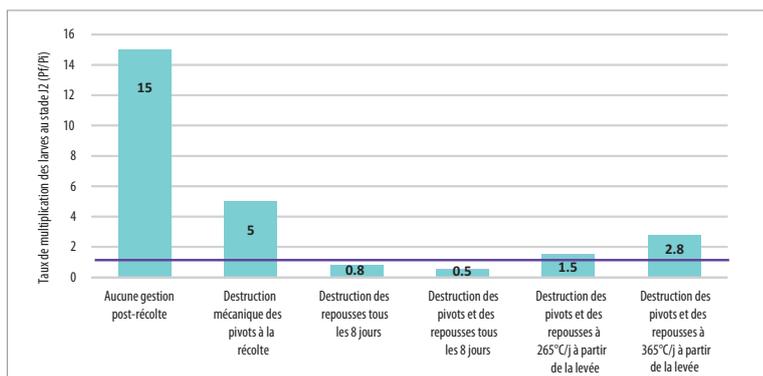
Exemple de rotations longues entre betteraves ou betterave et colza en cas d'infestation par du nématode à kystes. L'implantation de crucifères résistantes en interculture est conseillée afin de réduire les populations de nématode.

## Éviter l'implantation d'espèces hôtes dans la rotation

Dans les situations où les parcelles sont infestées en nématodes, la culture du colza ou d'autres crucifères non nématicides en rotation avec la betterave doit être évitée. Dans tous les cas, il est impératif de bien gérer la culture de colza après la récolte (chaumes et repousses) en détruisant systématiquement les pivots et les repousses au minimum toutes les 4 semaines (cf. directive nitrates) ou toutes les 3 semaines sur les parcelles dont l'infestation est reconnue. Une destruction mécanique à l'aide d'un outil superficiel sera suffisante.

Préconisations pour la gestion du colza en rotation avec la betterave

Infestation de la parcelle en nématodes	Gestion de la culture de colza après la récolte	Choix variétal de la betterave	Implantation d'une espèce en interculture
Parcelle infestée	- Destruction des pivots sitôt la moisson - Destruction des repousses toutes les 3 semaines	Variétés doubles tolérantes	Possible avec des crucifères tolérantes ou des espèces neutres
Parcelle saine	- Destruction des pivots sitôt la moisson - Destruction des repousses toutes les 4 semaines	Variétés classiques	Possible avec des crucifères tolérantes ou des espèces neutres



### Impact de la destruction des pivots et repousses de colza sur la multiplication du nématode

Résultats d'un essai réalisé par Terres Inovia et l'ITB en 2009 à Aulnois-sous-Laon, dans l'Aisne, avec une destruction chimique des repousses.

La ligne violette indique un taux de multiplication égal à 1, au-dessus duquel la multiplication des populations de nématode est effective. La destruction des pivots et des repousses permet de limiter grandement voire de stopper la multiplication du nématode.



## Planter des crucifères résistantes en interculture

Planter très précocement une crucifère résistante en interculture, moutardes blanches et radis, est conseillé. Les radis ont l'avantage, par rapport aux moutardes, de pouvoir être implantés plus précocement. En France, le caractère résistant des variétés est validé par un test normalisé proposé par le laboratoire national de référence du GEVES (la SNES). Grâce à leur profondeur d'enracinement, les crucifères résistantes peuvent avoir une action nématocide jusqu'à 90 cm de profondeur et améliorent la structure du sol.

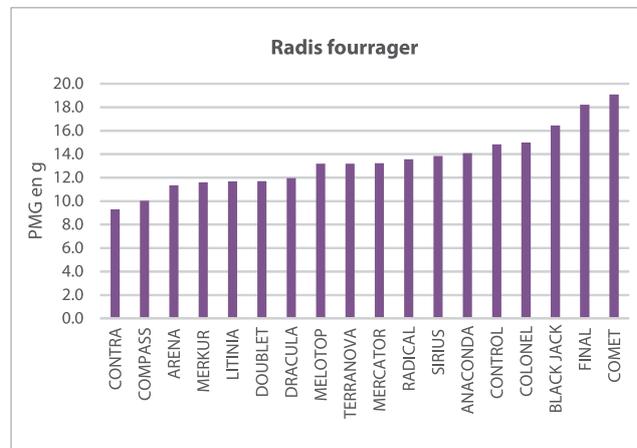
Pour pouvoir bénéficier d'un effet de réduction des populations de nématodes, l'implantation des moutardes ou des radis doit être effectuée au minimum début juillet à la dose de 100 grains/m<sup>2</sup>. Dans une utilisation conventionnelle de crucifère en couvert d'interculture, les variétés résistantes sont conseillées afin d'éviter tout risque de multiplication si les températures clémentes de l'automne sont suffisantes pour boucler un cycle parasitaire.

### Exemples de PMG (Poids de Mille Grains) pour différentes variétés de radis fourrager et de moutarde blanche

Les PMG sont très variables d'une variété à l'autre, ce qui entraîne des dosages/ha très différents pour obtenir une densité de 100 grains/m<sup>2</sup>.



Radis fourrager

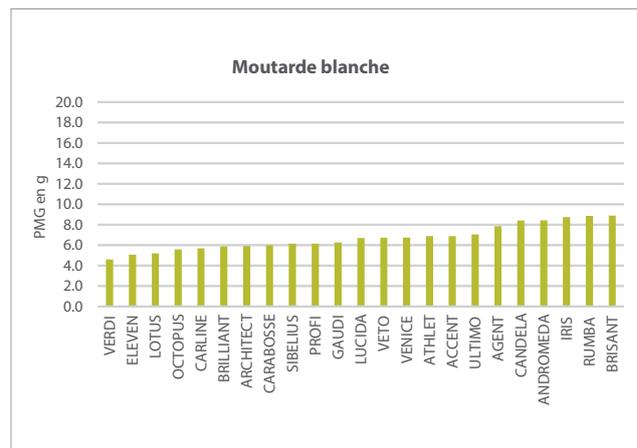


COMPASS (PMG 10 g) : dose de semis 10 kg/ha

FINAL (PMG 18,2 g) : dose de semis 18,2 kg/ha (+ 80 %)



Moutarde blanche



LOTUS (PMG 5,2 g) : dose de semis 5,2 kg/ha

CANDELA (PMG 8,4 g) : dose de semis 8,4 kg/ha (+ 60 %)

## Planter précocement les betteraves

Un semis précoce de betterave assure la formation d'un système racinaire qui permet de mieux supporter l'infestation et augmente la tolérance des plantes, plus particulièrement en période de stress hydrique. En effet, les températures printanières (<10°C) ne sont pas favorables au développement du nématode.



## Choisir des variétés tolérantes

### Des variétés résistantes abandonnées...

Les variétés résistantes, qui ne sont plus commercialisées à ce jour, étaient issues de *Beta procumbens* et présentaient le gène de résistance *Hs1Pro1*. Ces variétés empêchaient le développement des nématodes ayant pénétré dans les racines et entraînaient une réduction très forte des populations dans le sol, sous réserve que la présence de plantes sensibles due à une maîtrise insuffisante de l'isolement des productions de semences soit très faible.

Leur potentiel de productivité demeurait cependant inférieur à celui des variétés sensibles, surtout en l'absence de nématode. Par ailleurs, les expérimentations menées par l'ITB ont démontré que leur insertion dans la rotation ne permettait pas de diminuer durablement les populations de nématodes et que ces variétés présentaient un risque de contournement de la résistance à terme.

### ... au profit de variétés tolérantes

Les variétés tolérantes (commercialisées depuis 2004) sont issues de *Beta maritima* et ne bloquent le développement que d'une partie des nématodes ayant pénétré dans les racines. Ces variétés disposent d'un très haut potentiel de rendement, même en présence du nématode, aujourd'hui semblable aux variétés rhizomanie en terrain sain. Mais leur utilisation contribue à un maintien voire à une multiplication de la population de nématodes en cours de culture. Cependant, des essais en micro-parcelles réalisés en collaboration avec l'INRA de Rennes (UMR IGEPP) semblent montrer qu'il est très difficile pour le nématode de contourner ces résistances partielles même avec une pression de sélection artificiellement élevée.

### L'observatoire de la durabilité des tolérances aux nématodes

Un observatoire de la durabilité des tolérances aux nématodes a été mis en place, il y a 3 ans, sur environ 250 parcelles dans 8 régions betteravières. Les parcelles observées se situent chez les agriculteurs (3-4 parcelles par agriculteur). Dans chaque parcelle, des prélèvements de terre sont réalisés au semis (Pi) et à la récolte (Pf) afin de suivre l'évolution des populations. Les taux de multiplication des nématodes sont ainsi calculés (Pf/Pi), afin de détecter le plus précocement possible un effondrement de la tolérance (forte multiplication associée à la réapparition de symptômes). Cet observatoire pourrait être prochainement mis à profit pour séquencer la diversité génétique d'*Heterodera schachtii* au fil des rotations.



Variétés sensibles et tolérantes au nématode à kystes



45 rue de Naples - 75008 PARIS



+33 (0)1 42 93 13 38



itb@itbfr.org



www.itbfr.org



@ITBetterave



@ITBetterave

Coordination : Frédéric Boyer - f.boyer@itbfr.org