

PHYTOMA

La santé des végétaux

17€

GESTION DU DÉSHÉRBAGE

DIVERSITÉ DES SEMENCES

ADVENTICES p. 10

BONNES PRATIQUES

PLACE DES VARIÉTÉS

DANS LES CEPP p. 39

SUR LE MÉTIER

RESPONSABLE DE PROJETS « BONNES
PRATIQUES D'EXPÉRIMENTATION » p. 49

Résistances variétales

- Des technologies pour améliorer les plantes p. 16
- La création variétale chez Florimond Desprez p. 20
- Cecidomyie orange : le blé fait de la résistance p. 24
- La génétique au service de la vigne p. 28
- Un basilic résistant intermédiaire au mildiou p. 34



Photo : D. Merdinoglu

Veille réglementaire et actualité phytosanitaire

Réglementation : le conseil stratégique se précise p. 4



Cécidomyie orange : le blé fait de la résistance

La petite mouche, dont la détection est toujours délicate, se heurte désormais à des variétés résistantes de blé.

 **ANDRÉ FOUGEROUX**, Végéphyt.

L'analyse du génome du blé a permis d'identifier des gènes de résistance à certains bioagresseurs, en particulier la cécidomyie orange, vis-à-vis de laquelle des variétés résistantes sont désormais disponibles.

À la recherche de solutions

Exemple de la cécidomyie destructive

La mouche de Hesse *Mayetiola destructor* (Say), dénommée aussi la cécidomyie destructive, était un ravageur redouté des producteurs de blé comme son nom le laisse imaginer. Originaire d'Europe, on la retrouve partout où la culture des blés (*Triticum* sp.) est pratiquée : en Europe, en Asie et en Amérique. Depuis le milieu du XX^e siècle, elle a perdu son importance sur les céréales européennes en partie grâce au parasitisme de microhyménoptères qui limitent ses pullulations.

L'histoire veut que *Mayetiola destructor* ait été introduite aux États-Unis au XVIII^e siècle avec les troupes venant de Hesse⁽¹⁾ dans les pailles desquelles elle a voyagé. La femelle de cette petite cécidomyie a pour habitude de pondre 200 à 300 œufs sur les tiges de céréales, surtout le blé. Les asticots se nourrissent aux dépens de la céréale. Leur salive toxique a des conséquences délétères sur la croissance des tiges. En effet, cette salive favorise la perte de sève de la plante et réduit sa croissance. Les fortes in-



^ Sous nos climats, les blés tendres d'hiver sont soumis à des attaques régulières de ravageurs : pucerons, taupins, mouche grise, zabre, criocères, tordeuse et cécidomyies.

festations se traduisent par un changement de la coloration des plantes, un arrêt de la croissance, une verse du pied de céréale, une mauvaise alimentation des grains et finalement une perte de rendement sévère pouvant dépasser dix quintaux par hectare. Pour lutter contre ces dégâts, jusque dans les années 1950, les procédés de destruction étaient limités à, d'une part considérer que

nos meilleurs auxiliaires dans la lutte contre ces insectes» et, d'autre part, « recommander l'incinération des éteules après la moisson et l'ensemencement tardif des céréales » (Dongé et Estiot, 1931) et parfois le recours aux pyrèthres, à la rotenone ou autre nicotine. Autant dire qu'il n'y avait pas de bonne solution !

Aux XVIII^e et XIX^e siècles, des cultivars résistants furent identifiés aux États-Unis. Toutefois, la sélection variétale dut attendre les travaux de Mendel sur les lois de l'hérédité pour être comprise. Depuis, le développement de la génétique et des outils de génétique moléculaire, ainsi que l'analyse du génome du blé ont permis d'identifier les gènes de résistance à la mouche de Hesse. L'analyse du génome a nécessité treize années de travail ; elle a évalué cet ensemble à environ 15,5 milliards de paires de bases et plus de 107 000 gènes. Parmi ceux-ci, 32 gènes, de H1 à H32, sont efficaces contre cet insecte. Quelques-uns sont cartographiés

RÉSUMÉ

♦ **CONTEXTE** - Des deux cécidomyies des fleurs de blé impactant les cultures de céréales en France, la cécidomyie orange *Sitodiplosis mosellana* (Gehin) est responsable des pertes les plus importantes. La surveillance des vols de cécidomyie est nécessaire pour positionner une intervention insecticide spécifique qui s'avérerait délicate. Elle est maintenant

facilitée par la mise au point de pièges sexuels spécifiques.

♦ **RÉSISTANCE** - L'identification en 2013 d'une résistance au ravageur (gène *Sm1*) permet de proposer aux producteurs des variétés de blé résistantes à la cécidomyie orange. Ces variétés produisent des acides phénoliques précurseurs de lignine dans le grain atta-

qué, qui provoquent une inhibition de l'alimentation des toutes jeunes larves et un arrêt des dégâts. Ce levier reste à combiner avec les autres moyens de lutte afin d'assurer la durabilité de la résistance monogénique.

♦ **MOTS-CLÉS** - Cécidomyie orange, *Sitodiplosis mosellana*, blé, variétés résistantes, antixénose.



1 – Une véritable « course aux armements »

Dans le processus d'évolution, il y a une adaptation continue entre les plantes et les organismes qui s'en nourrissent. Face aux agressions des insectes phytophages, une coévolution s'est effectuée qui explique les adaptations constantes des interactions plantes-insectes phytophages.

C'est une « course aux armements » engagée entre plantes et insectes phytophages. Les plantes vont développer des mécanismes de défense contre les attaques des insectes. Ces mécanismes (la production de composés secondaires toxiques par exemple) leur confèrent un avantage tempo-

raire. Ces défenses vont être ensuite contournées, ce qui profite à certains groupes d'insectes. Et l'histoire continue maintenant depuis environ 400 millions d'années.

Cette « course aux armements stimule de façon réciproque la diversification des plantes et des insectes qui s'en nourrissent à travers le développement permanent de nouveautés évolutives » (E. Jousselin et al. dans Sauvion et al., 2013). Les sélectionneurs dans leurs recherches de plantes résistantes aux attaques de bioagresseurs ont besoin d'une connaissance des mécanismes issus de cette lente évolution. Cette diversification vé-

gétale explique aussi la variété des moyens de défense des plantes. La protection vis-à-vis des agressions de ravageurs peut se traduire soit par une résistance « mécanique », soit par une adaptation de la chimie du végétal qui le rend toxique ou repoussant pour les insectes nuisibles, ou au contraire attractif pour les insectes utiles.

Par ailleurs, un certain nombre d'insectes sont dommageables par la vectorisation d'agents pathogènes ; dans ces situations, une résistance ou une tolérance aux phytopathogènes transmis permet de réduire la nuisibilité du couple vecteur/micro-organisme pathogène.

par épi. En cas de forte attaque, le temps de chute de Hagberg⁽²⁾ peut diminuer nettement, surtout si la récolte est tardive et, sur les parcelles attaquées, les risques de germination sur pied sont accrus.

Un casse-tête pour les producteurs de céréales Des attaques insidieuses, un risque lié à la parcelle

Cette cécidomyie est un casse-tête pour les producteurs de céréales. Du fait de sa petite taille, elle est difficile à observer au moment de la ponte. Les femelles ont une longévité de seulement 24 h. Chaque jour, de nouveaux individus viennent pondre sur les épis entre le début de l'épiaison et la floraison. Les adultes apparaissent fin mai-début juin lorsque les températures du sol dépassent 12-13 °C et que le sol est humidifié par une pluie. Au crépuscule et dans les premières heures de la nuit, les femelles déposent alors leurs œufs, le plus souvent isolément. Après un développement embryonnaire d'une semaine, les larves vont se développer pendant trois semaines en se nourrissant des grains de céréales. À la fin de cette croissance larvaire, elles se laissent tomber au sol, où elles s'enfouissent pour former un cocon. Cette forme de conservation peut se maintenir dans les sols pendant plus de dix années. Quand les conditions sont réunies, elles émergent, se reproduisent et recolonisent des épis.

Le risque cécidomyies est donc en partie lié à la parcelle. Une parcelle largement touchée une année donnée par les cécidomyies a de fortes chances de l'être à nouveau les années suivantes, sous réserve que l'humidité du sol au mois de mai soit suffisante pour favoriser la sortie des adultes. Les dégâts sont particulièrement sévères lorsque le vol d'adultes est important et que les conditions sont favorables à la ponte. La gravité de ces attaques est liée à la coïncidence entre l'appari-

tion du plus grand nombre d'insectes et la présence d'épis se dégageant de leur gaine. Très souvent, les producteurs sont surpris de découvrir les attaques de *S. mosellana* alors que les larves sont déjà dans les épis et que les dégâts sont là.

et beaucoup sont localisés sur le chromosome 5A. Certains d'entre eux, comme par exemple H5, H14, H15 et H26, confèrent un niveau élevé de résistance. Ces gènes viennent enrichir le stock disponible en gènes de résistance des variétés de blé.

D'autres exemples de résistance variétale aux insectes ravageurs sont connus, comme les variétés résistantes au puceron *Schizaphis graminum* (Rondani) sur blé et sur sorgho aux États-Unis, ou encore les cultivars de riz résistants à la cicadelle *Nilaparvata lugens*.

Des petits diptères dont les larves consomment les grains Deux cécidomyies des fleurs de blé

Sous nos climats, les blés tendres d'hiver sont soumis à des attaques régulières de ravageurs : pucerons, taupins, mouche grise, zabre, criocères, tordeuse. À cet inventaire s'ajoutent les attaques de cécidomyies. Ces diptères minuscules sont responsables de dégâts sur tiges ou sur épis. Les adultes à l'origine de ces attaques sont discrets et passent fréquemment inaperçus, que ce soit la cécidomyie équestre *Haplodiplosis marginata* (Von Roser) ou les cécidomyies des fleurs de blé. Parmi ces dernières, deux en France sont susceptibles de provoquer des dégâts sur les céréales. Elles peuvent s'attaquer isolément ou ensemble aux fleurs de blé et parfois aux fleurs d'autres céréales : orge, avoine ou seigle. L'adulte est un diptère à l'allure fragile de la taille d'un petit mou-

cheron de 2 à 3 mm, aux pattes allongées, orange pour la cécidomyie orange *Sitodiplosis mosellana* (Gehin), principale espèce représentée en France, et jaune pour la seconde, *Contarinia tritici* (Kirby), plus rare.

Les larves de chaque espèce ont la même couleur que les adultes. Ce sont des asticots pratiquement immobiles. C'est en s'alimentant aux dépens des grains qu'ils sont responsables des dégâts. Les larves de cécidomyie jaune entraînent un avortement des grains. En revanche, les attaques de larves de *S. mosellana* se traduisent par des grains qui arrivent à maturité mais se vident. Le plus souvent, la cécidomyie orange est responsable de pertes plus importantes : diminution du poids de mille grains, réduction de la capacité germinative, auxquelles s'ajoutent des effets sur les teneurs en gluten, en sucre et en amidon. Ses attaques sont fulgurantes et aboutissent à des dommages qualitatifs et quantitatifs sur la culture. Dès l'éclosion, la larve consomme les grains, provoquant par la suite le fendillement des téguments et des malformations de grains. Les attaques précoces peuvent provoquer des avortements de grains. On estime les pertes de l'ordre de 1 q/ha pour une population d'une larve

Du fait de sa petite taille, elle est difficile à observer au moment de la ponte.

(1) Mercenaires allemands engagés par les Britanniques durant la révolution américaine (1775-1783).

(2) Le temps de chute de Hagberg est utilisé pour déterminer l'activité amyliasique qui peut devenir excessive en cas de début de germination de la récolte.



Déterminer le moment d'intervention

Comme pour beaucoup d'insectes ravageurs, la détermination du moment opportun d'intervention est passée par plusieurs étapes de connaissance, qui ont fait l'objet de nombreux travaux en Europe de l'Ouest : l'observation visuelle des périodes de vols et de pontes, puis la modélisation des différentes conditions de développement, et la mise au point de pièges sexuels pour suivre les vols entre le début de l'épiaison et la floraison. Les observations ont d'abord porté sur l'estimation de l'importance numérique des cocons dans le sol dans l'espoir d'établir un lien entre cette infestation au sol et les dégâts à l'épiaison. Malheureusement, les résultats très aléatoires n'ont pas permis de réaliser des prévisions d'infestation et encore moins de risque pour la culture. Les pièges colorés jaunes se sont avérés plus informatifs pour suivre les vols, mais ils nécessitent un tri fastidieux pour l'identification de ces « mouchérons » perdus dans une bouillie d'autres insectes. Ce tri était réservé à des personnes qualifiées. Pendant longtemps, la méthode de suivi recommandée était d'observer les femelles en position de ponte sur les épis, au crépuscule (entre 19 h et 20 h) par temps calme et température supérieure à 15 °C et lorsque 40 % des épis étaient dégagés. Un seuil de nuisibilité a été établi qui recommandait de traiter lorsque 30 % des épis portaient une femelle en position de ponte. C'était là aussi une méthode assez fastidieuse qui nécessitait du temps et souvent une bonne vue !

L'analyse des conditions climatiques et de la phénologie de leurs émergences, ainsi que les facteurs induisant le déclenchement des émergences ont été déterminés récemment, et un modèle prévisionnel des émergences de *S. mosellana* a pu être établi pour la Belgique (Chavalle S., 2018).

Enfin, pour détecter et quantifier les adultes émergés, la description en 2007 de la phéromone (Hopper *et al.*, 2007) de la cécidomyie orange (2S,7S)-2,7-nonanediyil dibutyrate a permis de définir une méthode de piégeage spécifique des mâles de *S. mosellana*. Des pièges delta munis de diffuseurs de phéromone positionnés à 20 cm au-dessus du sol constituent un outil très utile de suivi des vols.

Des variétés résistantes à la cécidomyie orange Un gène de résistance apparu récemment en Europe

Récemment sur blé, une résistance à la cécidomyie orange a été identifiée. Ce caractère de résistance est lié à un gène majeur, unique, sur le chromosome 2BS du blé tendre baptisé *Sm1* (pour *Sitodiplosis mosellana*). Les variétés portant ce gène sont déjà disponibles pour les producteurs. En revanche, cette résistance, très spécifique,

2 – La résistance des plantes aux insectes : un outil de protection des cultures

De tout temps, les cultivateurs ont sélectionné les plantes d'après leurs performances et leur adaptation au milieu dans lequel elles étaient cultivées. En ne gardant que les semences ou les plants qui correspondaient le mieux à leurs attentes, petit à petit, les populations de végétaux les plus productives, les plus résistantes aux bioagresseurs et aux stress abiotiques, les moins exigeantes ont été sélectionnées. La résistance des plantes-hôtes est un moyen efficace et respectueux de l'environnement permettant de lutter contre les insectes

ravageurs. Cette résistance des plantes peut s'exprimer par l'une des trois modalités suivantes ou parfois par des combinaisons de ces modalités, combinaisons qui ne sont pas toujours aisées à décrire (Painter 1951) :

- L'antixénose (non-préférence) qui perturbe la colonisation des plantes par les insectes. L'antixénose se traduit par des mécanismes physiques (pilosité par exemple) ou chimiques (composés répulsifs...).
- La plante-hôte agit sur le comportement de l'insecte qui est dissuadé de s'installer, de se nourrir

ou de pondre sur cette plante.

- L'antibiose qui intervient une fois la colonisation débutée. Par antibiose, la plante agit sur la biologie de l'insecte au travers de composés secondaires toxiques ou inhibiteurs qui peuvent par exemple freiner son développement, réduire sa fécondité ou altérer sa survie...

- La tolérance qui agit sur la capacité de la plante à supporter les dégâts causés par le ravageur. Dans ce cas, ce sont les tissus de la plante qui vont réagir pour compenser ces préjudices.



▲ La mouche de Hesse, *Mayetiola destructor*, peut causer de sévères pertes de rendement sur blé.

n'est pas efficace contre la cécidomyie jaune. Le mécanisme de cette résistance n'est pas complètement élucidé, mais les variétés de blé résistantes à la cécidomyie orange présentent une teneur des grains élevée

en acide férulique, ou un de ses dérivés. Cet acide férulique est un acide phénolique courant présent notamment dans les parois cellulaires des végétaux comme les céréales, le riz, le maïs, le blé... Dans les végétaux,



Photos : Arvalis

< Larves de cécidomyie orange sur la base de tiges de blé et adulte sur épi de blé. L'adulte est de la taille d'un petit moucheron de 2 à 3 mm, aux pattes allongées, orange. Les larves de *Sitodiplosis mosellana* ont la même couleur que les adultes. Ces asticots peu mobiles s'alimentent aux dépens des grains. Les pertes sont estimées autour de 1 q/ha pour une population d'une larve par épi.

il participe à la synthèse de lignine. Une des hypothèses pour expliquer ce mode d'action serait que la teneur plus élevée en acide rend le grain de blé répulsif aux larves de cécidomyie orange qui ne pourraient pas s'alimenter et donc se développer. Ce mécanisme de résistance, s'il est confirmé, correspondrait à l'antixénose que décrivait Painter. C'est un vrai mécanisme de résistance (voir Encadré 2).

Aucune origine géographique de la résistance ne semble prédominante, l'allèle résistant paraît avoir été introduit faiblement à partir d'origines multiples : Chine, Hongrie, Roumanie et, dans une moindre mesure, parmi les accessions du Maroc, d'URSS et d'Inde. Le marqueur de ce gène de résistance a été testé sur 479 variétés de la collection Gediflux, constituée de variétés de blé d'hiver cultivées en Angleterre et au nord de l'Europe de l'Ouest entre les années 1940 et 1980 (Reeves *et al.*, 2004). Dans cette collection, l'allèle résistant est peu présent, 1,4 % (six variétés dont 'Renan'). Ces résultats suggèrent que le gène *Sm1* n'est apparu que récemment en Europe. Dans les essais, les variétés portant ce gène sont indemnes de larves, alors que chez les agriculteurs, des larves peuvent être observées. Au champ avec des conditions moins homogènes que dans les essais, il pourrait s'agir d'infestations précoces et de larves qui se

développent avant que le métabolisme du grain n'ait commencé à jouer son rôle répulsif. Cependant, ces observations restent rares et l'utilisation de ces variétés résistantes garde tout son intérêt en pratique. Bien que les connaissances soient encore limitées au sujet de ce mécanisme, les variétés résistantes sont disponibles pour les agriculteurs concernés régulièrement pas les attaques de cécidomyie orange. Cette résistance à la cécidomyie fait l'objet d'une bonification de l'inscription des variétés de blé tendre, de ce fait elle est de plus en plus prise en compte dans les programmes des sélectionneurs. Sur les vingt-quatre variétés inscrites à l'automne 2019,

Trente-sept variétés résistantes à la cécidomyie orange sont disponibles.

sept variétés résistantes à la cécidomyie orange sont en développement (Geves). Ces évaluations sont réalisées dans le cadre d'essais sous serre avec une méthodologie mise au point par le centre de recherches agronomiques de Gembloux. Actuellement, trente-sept variétés résistantes à la cécidomyie orange (source Arvalis Infos) sont disponibles pour les céréaliculteurs. Elles permettent de s'affranchir d'une surveillance des vols de cécidomyie délicate et d'une intervention insecticide spécifique. Elles viennent élégamment compléter les solutions agronomiques et insecticides contre ce ravageur. La gestion sur le long terme de cette résistance monogénique demeure indispensable, en as-

sociant à l'usage de ces variétés les méthodes agronomiques préconisées (allongement des rotations...).

POUR EN SAVOIR PLUS

CONTACT : fougeroux.andre@outlook.com

LIENS UTILES : <https://www.arvalis-infos.fr/cécidomyies-orange-du-blé-poser-les-cuvettes-jaunes-en-priorité-dans-les-parcelles-à-risque-@/view-32447-arvarticle.html>

http://cat.geves.info/CAT_WEB/Data/PLA_BTH_2019.pdf

BIBLIOGRAPHIE : - Chavalle S., 2018, La cécidomyie orange du blé, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) : amélioration des stratégies de lutte et gestion intégrée, thèse de doctorat en sciences agronomiques et ingénierie biologique, université de Liège, Belgique.

- Hooper A.M., Dufour S., Willaert S., Pouvreau S., Pickett J.A., 2007, Synthesis of (2S,7S)-dibutylxyronane, the sex pheromone of the orange wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Géhin) (Diptera: Cecidomyiidae), by diastereoselective silicon-tethered ring-closing metathesis. *Tetrahedron Lett.*, n° 48, p. 5991-5994.

- Hourcade D., Tréguier A., 2014, Cécidomyie orange : vers plus de variétés résistantes, *Perspectives agricoles* n° 417, p. 66-68.

- Laurent V., Uauy C., Hourcade D., Tréguier A., Ducerf R., Duchalais L., Senellart P., Caiveau S., 2014, Identification et validation de nouveaux marqueurs étroitement liés au gène *Sm1* de résistance à la cécidomyie orange du blé tendre FSOV 2014 C - OWBM2.

- Painter R.H., 1951, Insect resistance in crop plants, The University Press of Kansas, Lawrence.

- Reeves J., Chiapparino E., Donini P., Ganai M. *et al.*, 2004, Changes over time in the genetic diversity of four major European crops: a report from the Gediflux-Framework 5 Project. Genetic variation for plant breeding. Proceedings of the 17th Eucarpia general congress, 8-11 September 2004, p. 3-7.

- Sauvion N., Catalayud P-A, Thiery D., Marion-Poll F., 2013, Interactions insectes-plantes, Ed. Quae, 749 p.