

**Programme National
pour le Développement
Agricole et Rural (PNDAR)**
Illustration d'actions sur
la période 2014-2018



La génétique au service de la réduction des produits phytosanitaires

Un grand pas en avant vers des rosiers résistants à la maladie des taches noires	2
Accélérer la création variétale grâce à l'évaluation précoce de la résistance à la carie du blé	6
BettyBot, le robot qui détecte les betteraves peu gourmandes en pesticides	10

Type d'action: Appel à projets (SSV) « BELAROSA »

Coordination: INRA-IRHS

Partenaires: Végépolys Innovation, Roses André Eve, Roseraie Félix, Roseraie Laperrière, Meilland international, Roseraie Guillot, Rose Orard, Roseraie Pilte, Pépinière de la Saulaie, Roseraie Reuter, Pépinière Chastel, Société nouvelle des pépinières, Roseraies Georges Delbard

Un grand pas en avant vers des rosiers résistants à la maladie des taches noires

Depuis 2019, les jardiniers amateurs n'ont plus le droit d'utiliser de produits phytosanitaires. Cette interdiction renforce la volonté des créateurs de rosiers de proposer des variétés résistantes à la maladie des taches noires. Un projet de recherche auquel ils ont participé a permis de mieux connaître le champignon responsable et de mettre au point un test robuste pour définir la sensibilité ou la résistance des nouvelles variétés.



Symptômes de la maladie des taches noires du rosier © INRA-IRHS.

« Un rosier, ça ne doit être que du plaisir ! » La phrase est d'Arnaud Delbard, président des pépinières et roseraies Georges Delbard basées à Malicorne dans l'Allier. Tous les jardiniers partagent sans doute cet avis, mais ils sont souvent confrontés à un champignon très répandu en Europe et jouant les trouble-fêtes en provoquant la maladie dite des taches noires. Quand la pluie et la chaleur sont de la partie, au printemps ou à l'automne notamment, ces taches couvrent les feuilles jusqu'à les faire tomber et pénalisent l'effet esthétique des plantes.

« Commercialement, l'enjeu est très important, affirme le pépiniériste. Cette maladie donne une image négative des rosiers. Et avec l'interdiction de l'usage des pesticides par les particuliers depuis 2019, nous avons besoin de nouvelles solutions. Nous souhaitons que nos clients aient dans leur jardin de jolis rosiers sans avoir à s'en préoccuper. »

Cette volonté de satisfaire les consommateurs, sur un marché estimé à plus de cinquante millions d'euros par an, a été le point de départ du projet de recherche Belarosa piloté par l'Institut de recherche en horticulture et semences (IRHS / INRA-Université d'Angers-Agrocampus Ouest). Son principal objectif était la mise au point d'un test en laboratoire permettant de contrôler la sensibilité ou la résistance des variétés de rosiers en cours de création, vis-à-vis d'une collection de souches représentative de la variabilité du champignon.

Souche sauvage du Kazakhstan

Juger objectivement de la sensibilité ou de la résistance d'un rosier implique de disposer au préalable d'une échelle de notation fiable et partagée par l'ensemble des professionnels. Ce travail avait été réalisé lors d'un précédent projet Casdar nommé Rosa Fortissima associant également des partenaires privés.

« Il n'existait pas encore en France de collection des souches du champignon responsable. »

Avec cet outil, les chercheurs ont observé qu'une variété pouvait se révéler sensible ou résistante selon le site où elle était cultivée. Suspectant l'existence de souches différentes du champignon, ils ont alors collecté des échantillons de feuilles malades dans toute la France, ainsi qu'en Europe et en Asie, afin d'en isoler les inocula. C'est ainsi qu'une collection de 77 souches monosporeées de *Diplocarpon rosae* (chacune étant issue d'une spore unique du champignon) a pu être constituée.

« Une telle collection n'existait pas encore en France, contrairement à l'Allemagne, au Royaume-Uni ou aux États-Unis », souligne Laurence Hibrand-Saint Oyant, ingénieure de recherche à l'INRA d'Angers. Le génome de deux de ces souches assez différentes (l'une sauvage venant du Kazakhstan, l'autre européenne) a ensuite été séquencé afin d'identifier des marqueurs génétiques et d'analyser la diversité de l'ensemble de la collection. Les chercheurs ont également étudié la virulence du champignon en fonction des souches.

Un outil clairement discriminant

Toutes ces nouvelles connaissances ont permis d'aboutir à la mise au point d'un test d'infection artificielle réalisé en conditions contrôlées sous serre, sur de jeunes plants issus de boutures de rosiers de variétés témoins.

« Nous observons par ailleurs les infections naturelles sur des rosiers cultivés au champ afin de vérifier que les notes de sensibilité ou de résistance sont bien corrélées entre la serre et le champ, explique Laurence Hibrand-Saint Oyant. Cela

a permis de valider la fiabilité et la reproductibilité du test. Cet outil permet clairement de discriminer des comportements différents vis-à-vis de la maladie des taches noires: résistant, intermédiaire, ou sensible.»



Test d'infection artificielle réalisé sous serre pour juger la résistance des variétés © INRA-IRHS

Par la suite, le test a été employé afin de juger une quarantaine de variétés de rosiers, commercialisées ou en cours d'inscription, récupérées auprès des obtenteurs.

« Certaines, comme Emera ou des variétés pas encore présentes sur le marché, montrent un large spectre de résistance vis-à-vis des dix souches monosporees du champignon, retenues dans le test, témoigne l'ingénieure de recherche. Les sélectionneurs ont déjà travaillé sur le sujet et il y a donc beaucoup d'espoir de voir se multiplier les variétés résistantes. Reste à cumuler ce caractère avec les autres critères recherchés chez les rosiers: la couleur, le parfum, etc. Cela prendra du temps.»

« Nos méthodes ont évolué »

Selon Arnaud Delbard, les résultats du projet Belarosa constituent «un très grand pas en avant.» En particulier, l'identification de la variabilité des souches a contribué à une meilleure compréhension de la maladie, et a ouvert un nouveau champ de réflexion et d'action pour les sélectionneurs.

« Nous avons apprécié que ces travaux de recherche aient été concrètement orientés vers nos problématiques, à savoir la satisfaction des clients dans un contexte de suppression des produits phytosanitaires.

« Nous lançons entre deux et cinq nouvelles variétés de rosiers par an, toutes résistantes. »

Depuis trois ans, nos méthodes pour tester la sensibilité ou la résistance des variétés ont évolué. Nous continuons à faire des tests sur des rosiers au champ comme par le passé, mais nous ajoutons des tests au laboratoire sur des organes isolés de plantes tels que les feuilles, à partir de souches congelées du champi-

gnon. Cela nous permet de confirmer nos diagnostics. La fiabilité des résultats est aussi un moyen de mieux caractériser les parents des plantes hybrides que nous créons, et de gagner en efficacité dans le travail de sélection. Nous avons aujourd’hui 250 variétés de rosiers, et nous lançons entre deux et cinq nouvelles variétés par an, toutes résistantes.»

Pour les créateurs de variétés de rosiers ne disposant pas d’un laboratoire *ad hoc*, le test de résistance à la maladie des taches noires sera proposé en prestation de services par le pôle de compétitivité du végétal Végépolys valley. Il sera également utile dans le cadre de nouveaux programmes de recherche en préparation, sur l’efficacité des produits de biocontrôle notamment.

Pour en savoir plus :

[http://www.ecophytopic.fr/Innovation en marche/Programmes Casdar/cultures « Horti-PPAM »](http://www.ecophytopic.fr/Innovation%20en%20marche/Programmes%20Casdar/cultures%20«%20Horti-PPAM%20»)

<http://www.ecophytopic.fr/tr/innovation-en-marche/programmes-casdar/belarosa-mise-au-point-d%E2%80%99un-test-en-routine-d>

Type d'action: Appel à projets (SSV) « CARIE ABBLÉ »

Coordination: GEVES

Partenaires: Arvalis – Institut du végétal, Chambre d'agriculture de la Drôme, Fnams, Fredon Nord Pas de Calais, ITAB.

Accélérer la création variétale grâce à l'évaluation précoce de la résistance à la carie du blé

L'essor de l'agriculture biologique et la nécessité de trouver des alternatives aux traitements chimiques ont fait ressurgir le besoin de solutions contre la carie du blé, une maladie oubliée. Pour accompagner la sélection de variétés résistantes, un nouveau test en laboratoire a été mis au point permettant d'améliorer et accélérer leur évaluation.

La carie commune est une maladie affectant le blé tendre ainsi que d'autres céréales telles que l'épeautre. Elle est provoquée par un champignon transmis par la semence, mais dont les spores peuvent aussi se maintenir dans le sol jusqu'à dix ans. Avec la généralisation des traitements de semences, la carie est devenue rare et a été oubliée par les agriculteurs. Elle refait son apparition depuis une quinzaine d'années, notamment en production biologique. Le rendement d'un champ contaminé est pénalisé, de même que la qualité de la récolte rendue impropre à la transformation et la consommation en raison d'une odeur de poisson pourri. En outre, un grain de blé carié contient jusqu'à neuf millions de spores du champignon et possède donc un fort pouvoir de propagation de la maladie dans la parcelle.

« Éradiquer la carie est illusoire, affirme Laurence Fontaine, directrice technique et responsable du pôle grandes cultures de l'ITAB (Institut technique de l'agriculture biologique). Pour s'en préserver au mieux, il faut combiner plusieurs leviers de lutte dont aucun n'est efficace à 100 %. La prévention repose notamment sur une rotation diversifiée des cultures incluant des espèces résistantes telles que le triticale. Il faut surveiller de près la qualité de la récolte, et en cas de doute analyser des échantillons. Pour les semences de ferme, des traitements naturels sont autorisés en agriculture biologique. Enfin, nous comptons beaucoup sur l'inscription de nouvelles variétés de blé plus résistantes à la carie comme levier supplémentaire. »

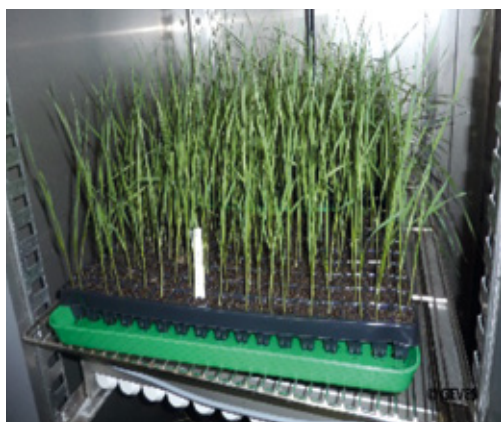
« Éradiquer la carie est illusoire. Il faut combiner plusieurs leviers de lutte dont aucun n'est efficace à 100 %.

Bientôt un test officiel pour les variétés bio

Aucune variété de blé n'est complètement résistante à la carie, mais une variation du niveau de sensibilité a déjà été mise en évidence chez certaines d'entre elles, dépendant notamment de la situation géographique.

« En raison du risque de suppression des traitements de semences, la résistance variétale à la carie commune devient un enjeu plus important en sélection, estime Valérie Cadot, responsable des tests de résistance aux bio-agresseurs au GEVES (Groupe d'étude et de contrôle des variétés et des semences). Du point de vue réglementaire, l'inscription d'une nouvelle variété de blé tendre au Catalogue français n'exigeait plus la réalisation du test de résistance à la carie depuis 2007. Toutefois, ce test va redevenir officiel dans le protocole d'inscription des variétés destinées à l'agriculture biologique. »

Coordonnée par le GEVES, le projet Carie Abblé a donc été imaginé dans l'objectif de mettre au point un nouveau test de résistance plus rapide et fiable que l'existant. En effet, la méthode employée jusqu'à présent était mise en œuvre au champ avec des semences contaminées. D'une part, elle présentait un risque de contamination des sols; d'autre part elle nécessitait un délai de sept mois pour obtenir les résultats sur les plantes adultes au stade de l'épiaison. Le GEVES a donc travaillé à l'élaboration d'un test de résistance réalisé en laboratoire sur de jeunes plantes.



Test de résistance à la carie commune du blé réalisé au laboratoire sur de jeunes plants © GEVES



Epi carié (à gauche) comparé à un témoin sain © GEVES



Grains de blé sains et grains cariés contenant les spores du champignon © GEVES

Une souche cumule les virulences

La première étape a consisté à analyser la variabilité des souches du champignon et de leur virulence sur le territoire français. Une collecte d'échantillons

a été coordonnée par l'ITAB auprès de coopératives agricoles et d'agriculteurs. Vingt-six souches ont ainsi été collectées en 2015 dans quinze départements, principalement sur blé tendre. Leur caractérisation a mis en évidence la prédominance de l'espèce *Tilletia caries*. Une vingtaine de souches de cette espèce ont été conservées afin d'être inoculées sur quinze blés hôtes dont les gènes de résistance sont connus. Les plantes contaminées ont été cultivées dans deux départements (Pas-de-Calais et Maine-et-Loire) et notées sur leur taux d'épis cariés. La souche finalement retenue pour les tests de résistance est celle cumulant les virulences prédominantes.

« Nous savons que des contournements de résistance sont possibles avec l'évolution dans le temps des virulences; il faudra donc surveiller cette évolution afin de toujours disposer d'une souche représentative des virulences prédominantes en France », souligne Valérie Cadot.

La deuxième étape du projet Carie Abblé concernait la mise au point du test de résistance précoce en laboratoire. La souche sélectionnée au préalable a été inoculée sur les semences de variétés témoins sensibles et résistantes, semées en pots au laboratoire dans des conditions favorables au développement du champignon. Pour mesurer la quantité de champignon présente au stade plantule, l'ADN a été extrait et analysé (méthode PCR). Différents facteurs ont été définis afin d'optimiser le protocole. Des plantules ont également été repiquées au champ et cultivées jusqu'au stade de l'épiaison, pour comparer les résultats au champ à ceux obtenus au labo.

« Les résultats montrent une bonne corrélation entre les analyses ADN au laboratoire et les notations visuelles d'épis cariés au champ. »

Cette comparaison des analyses ADN au laboratoire au stade précoce avec les notations visuelles du taux d'épis cariés au champ, a été renouvelée sur un panel de dix variétés utilisées en agriculture biologique, implantées dans deux sites (Drôme, Essonne): cela a permis de vérifier la fiabilité du test.

« Les résultats montrent une bonne corrélation, indique Valérie Cadot. Le classement des variétés en fonction de leur résistance est proche entre les deux méthodes, et ceci sur les deux sites. »

Sept semaines contre sept mois

Pour confirmer la fiabilité du test, la comparaison entre les analyses en laboratoire et les observations au champ sera renouvelée en 2020. Le test de résistance à la carie commune du blé pourra alors être intégré dans le protocole d'inscrip-

tion des nouvelles variétés destinées à l'agriculture biologique réalisé par le GEVES.

« On ne s'interdit pas de le proposer pour évaluer les variétés conventionnelles, car une telle résistance permettra de réduire l'usage des traitements de semences dans le contexte du plan Ecophyto, précise Valérie Cadot. Ce test peut également être utile pour mesurer l'efficacité de nouveaux traitements de semences alternatifs aux produits chimiques. Le GEVES le proposera en prestation de services car il nécessite une certaine maîtrise technique. Nous le présenterons aussi à l'international car la France est le seul pays à disposer d'un test précoce à ce jour. »

« Le gros avantage de ce nouveau test est sa rapidité, estime Laurence Fontaine. Le diagnostic de la sensibilité ou la résistance d'une nouvelle variété ne demande plus que sept semaines contre sept mois auparavant. Nous allons donc pouvoir tester un plus grand nombre de variétés, et communiquer auprès des sélectionneurs pour les inciter à travailler sur ce critère grâce à un outil efficace. »

La directrice technique de l'ITAB insiste toutefois sur l'importance d'associer la résistance variétale à d'autres leviers de lutte contre la carie. « Il faut continuer à communiquer sur les méthodes préventives, en particulier dans le contexte de conversions très nombreuses à la production biologique en grandes cultures depuis quelques années. »

Pour en savoir plus :

[www.geves.fr/Recherche et développement/Activités de recherche/Evaluation des variétés dans leur environnement](http://www.geves.fr/Recherche%20et%20d%C3%A9veloppement/Activit%C3%A9s%20de%20recherche/Evaluation%20des%20vari%C3%A9t%C3%A9s%20dans%20leur%20environnement)

[www.itab.asso.fr/Thématiques et filières/Grandes cultures/Qualité sanitaire](http://www.itab.asso.fr/Th%C3%A9matiques%20et%20filiales/Grandes%20cultures/Qualit%C3%A9%20sanitaire)

Type d'action: Appel à projets RT « PHÉNAUFOL ».

Coordination: Institut technique de la betterave (ITB)

Partenaires: Irstea, UMR Agroécologie Dijon (Inra, AgroSup Dijon, Université de Bourgogne).

BettyBot, le robot qui détecte les betteraves peu gourmandes en pesticides

Juger une variété de betterave sur sa tolérance aux maladies est indispensable dans la perspective de réduire la consommation de produits phytosanitaires. Mais cela requiert un lourd travail d'observation et de notation. Le nouvel automate BettyBot en cours de mise au point pourra bientôt s'acquitter de cette tâche, tout en améliorant la précision et l'objectivité des mesures.

La culture de la betterave est sujette à quatre maladies du feuillage: la cercosporiose et l'oïdium sont les plus nuisibles, suivies de la rouille, puis de la ramulariose plus rare. Afin de limiter l'usage des produits phytosanitaires, l'Institut technique de la betterave (ITB) évalue les nouvelles variétés sur leur tolérance aux maladies, et établit une liste annuelle de variétés recommandées. Ce critère prend une importance croissante dans le choix des agriculteurs.

« Chaque année, nos techniciens effectuent des notations sur environ quatre-vingts variétés commercialisées, auxquelles s'ajoute une centaine de nouveautés candidates à l'inscription au Catalogue officiel, indique Fabienne Maupas, responsable du département technique et scientifique de l'ITB. L'observation des symptômes est faite jusqu'à une fois par semaine durant tout l'été, à la période où les maladies se développent. C'est un travail très chronophage, et qui pose la question de la subjectivité des notes et de leur répétabilité d'un technicien à l'autre. Or, si l'on souhaite inciter les sélectionneurs à créer des variétés tolérantes, nous devons être capables de réaliser des mesures précises et objectives. »

L'ambition du projet Phenaufol qui s'achèvera en 2020 consiste donc à automatiser la détection, l'identification et la quantification des maladies foliaires, dans le cadre de dispositifs expérimentaux.

« Si l'on souhaite inciter les sélectionneurs à créer des variétés tolérantes, nous devons être capables de réaliser des mesures précises et objectives. »

Une photo pour chaque feuille

Pour cela, l'ITB s'est entouré des compétences en automatismes et robotique de l'Institut de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et

l'agriculture (Irstea), et de l'Unité mixte de recherche en Agroécologie à Dijon. L'Irstea s'est consacré à la mise au point du robot BettyBot composé d'un bras à six articulations, monté sur un axe linéaire de 2,50 mètres de long attelé à un tracteur. Une caméra installée au bout du bras photographie une à une les feuilles de chaque betterave.

« C'est la première fois que nous créons un outil aussi sophistiqué. Il permet d'effectuer des mesures au plus près des plantes. »

« C'est la première fois que nous créons un outil aussi sophistiqué, indique Bernard Benet, ingénieur-chercheur en robotique à l'Irstea. Il permet d'effectuer des mesures au plus près des plantes. La caméra fonctionne en perception active, c'est-à-dire qu'elle doit localiser elle-même les rangs de betteraves, puis le centre de chaque plante, puis se positionner au-dessus de chaque feuille avant de la photographier. »

Les centaines d'images enregistrées ne sont pour le moment pas traitées en temps réel, mais dans un second temps au bureau.



Démonstration au Sima du déplacement du bras articulé du robot BettyBot © ITB



Identification de tâches de cercosporiose et de rouille par les images prises par la caméra du robot Bettybot © ITB

Jusqu'à 97 % de réussite

De leur côté, les équipes de l'UMR de Dijon et de l'ITB ont testé plusieurs capteurs et algorithmes de traitement de l'image, afin de vérifier leur capacité à différencier les quatre maladies et à quantifier les symptômes.

« La lumière, et donc le moment de la journée où s'effectue la mesure, peuvent représenter une contrainte dans certains cas en raison des reflets générés sur les feuilles, observe Fabienne Maupas. L'orientation de la caméra au moment de la prise de vue a aussi une influence. Nous obtenons néanmoins de bons résultats puisque les symptômes de la cercosporiose sont correctement identifiés dans 97 % des cas, et ceux de la rouille dans 95 % des cas. C'est plus compliqué pour

l'oïdium dont le feutrage blanc s'installant sur les feuilles est plus diffus: il n'est bien reconnu que dans 60 % des cas. Quant à la ramulariose, nous n'en avons pas encore observé au cours du projet.»

L'automate BettyBot a pour le moment officié sur des plantes en pot sous abri. Les premiers tests au champ prévus pour l'été 2019 ont été décalés à l'automne en raison de la sécheresse et donc de l'absence de maladies.

Des informations plus fiables

L'outil sera en principe opérationnel courant 2020 pour une utilisation en routine.

« Les bons résultats obtenus pour la cercosporiose, maladie numéro un de la betterave, suffisent à considérer que les objectifs du projet Phenaufol sont atteints, estime Fabienne Maupas. Toutefois, en parallèle de BettyBot, nous continuerons, dans un premier temps, à réaliser des notations par des techniciens.»

Pour l'ITB, les sélectionneurs et les agriculteurs, cette technologie est la promesse d'informations plus fiables quant à la sensibilité ou à la tolérance des nouvelles variétés, et donc l'espoir du développement de telles variétés.

Grâce à une observation plus précise de la dynamique d'apparition des symptômes, les chercheurs vont aussi pouvoir améliorer leurs connaissances des maladies et la mise au point de modèles épidémiologiques permettant d'anticiper les risques et de positionner les traitements au plus juste.

Outil d'aide à la décision

En raison de son niveau de sophistication, BettyBot n'a pas vocation à être utilisé dans les champs de betteraves à grande échelle, tout au moins pour le moment. En revanche, un autre projet est à l'étude visant à élaborer un outil d'aide à la décision pour déclencher les traitements: il serait basé sur les algorithmes validés dans Phenaufol, des images prises au champ par des capteurs connectés fixes, et des modèles épidémiologiques de prévision.

Par ailleurs, le bras multi-articulé créé par l'Irstea pourra être employé pour de futurs projets visant à étudier les maladies foliaires d'autres cultures telles que le maïs, le blé, le tournesol ou encore la vigne.

Pour en savoir plus :

<https://rd-agri.fr>,

Sur www.itbfr.org