

Orobanche : des interactions entre l'hôte, le parasite et le sol

La plante parasite et son hôte échangent des signaux qui influencent le cycle de l'orobanche rameuse du colza. Comment les micro-organismes de la rhizosphère s'invitent-ils dans cette signalisation ?

VALÉRIE VIDRIL, *Phytoma*



Photo : Terres Inovia

Lors d'un webinaire le 5 juin dernier, Christophe Jestin, de Terres Inovia, et Lisa Martinez, de Nantes Université, ont rappelé les fondamentaux de la biologie de l'orobanche rameuse en France et présenté les travaux en cours sur le rôle des micro-organismes du sol dans l'interaction entre la plante parasite et la culture de colza.

Biologie et fondamentaux Comme une asperge...

Une plante parasite vit aux dépens d'une autre plante grâce à un organe de parasitisme spécialisé appelé l'haustorium. Il existe une grande diversité de plantes parasites. Moins de 10 % d'entre elles ont un impact négatif sur les cultures, parmi lesquelles certaines

espèces de cuscute *Cuscuta* spp. ou d'orobanche comme l'orobanche rameuse *Phelipanche ramosa* (famille des Orobanchaceae). Cette dernière est un holoparasite racinaire : elle est dépourvue de chlorophylle et il lui faut obligatoirement un hôte pour accomplir son cycle de développement, hôte auquel elle se fixe au niveau du système racinaire. *Phelipanche ramosa* est présente partout en Europe. Sa tige ramifiée, trapue, un peu comme celle d'une asperge, atteint 10-30 cm et la floraison en grappe dense est de couleur bleu violacé. Elle se distingue de l'espèce *Orobanche cumana* qui se développe sur tournesol, et dont la tige, plus grande, n'est pas ramifiée. Les graines de l'orobanche rameuse sont abondantes (plusieurs milliers/plante), minuscules, de l'ordre de 0,2 mm ; elles se disséminent facilement (vent,

Floraison
d'orobanche rameuse.

RÉSUMÉ

► **CONTEXTE** – L'orobanche rameuse *Phelipanche ramosa*, très présente en Poitou-Charentes et en Vendée sur colza, infeste régulièrement de nouvelles parcelles, provoquant un jaunissement du feuillage, une diminution de la biomasse et des pertes de rendement (réduction du nombre de siliques).

► **ÉTUDE** – La germination et la fixation du parasite sur le colza sont déclenchées par des signaux libérés par la

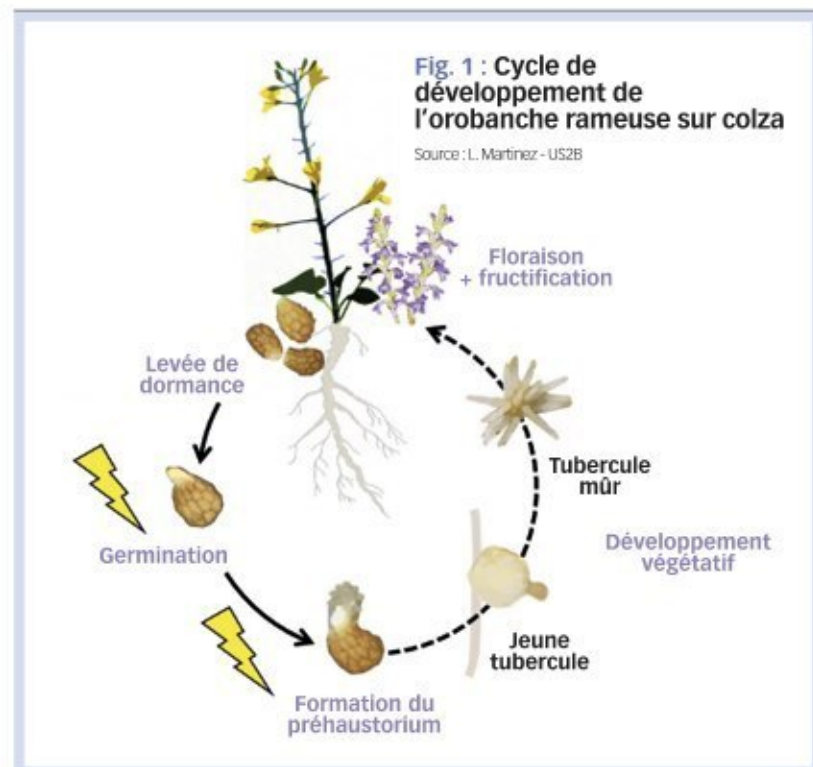
plante-hôte au niveau racinaire. Des travaux de thèse ont été menés sur l'intervention des micro-organismes du sol dans cette « communication » hôte/parasite.

► **RÉSULTATS** – Des communautés microbiennes des sols dits « compatibles » au parasitisme favorisent le développement précoce de l'orobanche rameuse en amplifiant le dialogue moléculaire établi avec l'orobanche dans la

rhizosphère. Outre la libération de molécules de signal par ces communautés, l'hypothèse d'une activité enzymatique microbienne a été confirmée en isolant des candidats bactériens et fongiques du sol. À l'inverse, des communautés microbiennes de la rhizosphère du colza peuvent réduire le parasitisme de l'orobanche en réduisant le nombre et le développement des fixations parasitaires, et en induisant des nécroses de

ces fixations. Elles n'auraient cependant pas d'impact sur le développement précoce de l'orobanche rameuse (germination, formation du préhaustorium). Des mécanismes suppressifs spécifiques et des candidats ont été proposés à la suite d'analyses corrélatives et de tests nécrotiques.

► **MOTS-CLÉS** – Orobanche rameuse *Phelipanche ramosa*, colza, sols compatibles, sols suppressifs, rhizosphère.



animaux, matériel agricole) et se conservent dans le sol plus de dix ans. Par ailleurs, outre les plantes cultivées, de nombreuses plantes sauvages comme le gaillet gratteron, les géraniums, la mercuriale annuelle et les véroniques peuvent servir d'hôtes à l'orobanche.

Une nuisibilité pour le colza dans l'Ouest

L'orobanche rameuse présente une forte nuisibilité sur colza dans l'Ouest (Poitou-Charentes et Vendée), avec des pertes de rendement pouvant dépasser 90 % sur des variétés sensibles. L'est de la France est également touché, mais sur chanvre. En effet, il existe plusieurs orobanches rameuses selon le spectre de cultures-hôtes préférentielles :

- type 1 : colza et tabac dans l'ouest de la France ;
- type 2a : chanvre dans l'Est ;

- type 2b : chanvre, tabac et tomate, disséminé plus largement en France et en Europe (type ancestral). Ainsi, le type 1 ne parvient pas à se fixer sur le chanvre par exemple. Si l'orobanche adaptée au colza évolue dans l'Ouest, touchant un nombre croissant de communes d'année en année, cette évolution reste confinée, avec plus de 900 parcelles de colza réparties sur seize départements en 2023, soit potentiellement 50 000 à 60 000 ha touchés. Plusieurs raisons sont avancées pour expliquer ce confinement :

- des signalements non remontés ;
- le conditionnement de l'infestation aux conditions pédo-climatiques ;
- les moyens de lutte mis en place par des acteurs locaux plus ou moins sensibilisés ;
- la possibilité d'une régulation biologique (ponte d'une petite mouche - *Phytomyza orobanchia* - dans les graines d'orobanche ; souches de *Fusarium* pathogènes).

Un parasite difficile à éradiquer

Le premier levier de lutte est le choix variétal. Mais la résistance partielle implique qu'en cas de forte pression du parasite, ce levier s'avère insuffisant. Un projet (Cobra) est en cours (Nantes Université, Inrae ; financement Soleopro) pour rechercher de nouvelles sources de résistance parmi les espèces parentales du colza et cumuler les mécanismes afin d'augmenter l'efficacité et la durabilité des résistances.

Il est nécessaire de combiner le choix variétal avec de la prophylaxie (nettoyage des outils...) et des pratiques culturales adaptées :

- allongement des rotations ;
- intégration de cultures faux hôtes dans la rotation, comme le lin, le pois, le maïs et le sorgho⁽¹⁾ ;
- semis le plus tardif possible - en tenant compte des risques liés aux autres bioagresseurs (ravageurs d'automne) - et moins dense avec 25-30 plantes/m² pour un colza vigoureux ;
- gestion des adventices...

Il n'existe pas de lutte curative.

Un cycle long et complexe

Des conditions de températures et d'humidité sont



3

nécessaires pour favoriser le préconditionnement des graines et leur germination (10-25 °C, avec un optimum de 20 °C, teneur en O₂ dès 3%, faible humidité...). Une fois germé, le parasite forme un suçoir, assurant sa fixation à la plante-hôte et le détournement d'eau et de nutriments, et ce durant tout l'automne. Lors des hivers froids, la plante parasite (sous forme d'un tubercule) et le colza sont au repos. À la reprise de la végétation, l'orobanche différencie une tige qui sort de terre en avril, se ramifie, fleurit et forme des

graines entre mai et juin (Figure 1). Le cycle est initié par des signaux allélopathiques exsudés par les racines du colza, lesquels sont reconnus par le parasite. Les chercheurs de Nantes Université (laboratoire US2B⁽²⁾) se sont demandé s'il existait un troisième protagoniste dans cette communication : les micro-organismes du sol et de la rhizosphère.

Un parasitisme modulé par la fertilisation

La fertilisation semble influencer le parasitisme. D'après plusieurs travaux dans la littérature, les formes azotées sous forme de fumure organique, d'ammonium ou d'urée ont tendance à inhiber la germination de l'orobanche et donc sa fixation sur la culture-hôte. Par ailleurs, la fertilisation pourrait avoir un effet indirect en modifiant l'architecture et le métabolisme de l'hôte, ou en modulant le pH qui influe à son tour sur les activités enzymatiques et la signalisation. La quantité et la qualité d'exsudats racinaires (glucosinolates par exemple) - qui ont un effet sur la germination et la fixation du parasite - sont susceptibles de varier selon les quantités d'azote ou de soufre disponibles. En conditions contrôlées, l'absence de soufre diminue effectivement le pourcentage de germination de l'orobanche ; l'absence de phosphore et d'azote réduit la capacité du parasite à se fixer. Toutefois, les résultats contradictoires selon les couples hôte/parasite, et selon les conditions (laboratoire ou terrain) invitent à ne pas extrapoler.

Influence du microbiote du sol sur l'interaction parasitaire

Un dialogue moléculaire spécifique

La spécificité d'hôte (colza) et de l'orobanche rameuse type 1 révèle un dialogue moléculaire particulier. La libération des exsudats racinaires du colza constitue un signal déclencheur pour la plante parasite. Les glucosinolates ainsi libérés sont dégradés par des enzymes spécialisées de la plante (myrosinases), produisant, en condition de pH 7-8, des isothiocyanates

(ITC) qui provoquent la germination de l'orobanche. Par ailleurs, le colza libère également des cytokinines qui induisent la formation du préhaustorium du parasite (papilles d'adhésion aux racines du colza).

L'observation de sols apparaissant « compatibles » au parasitisme (nombreuses émergences) et d'autres « suppressifs » (peu d'émergences et tubercules d'orobanche nécrosés) a conduit les chercheurs à s'interroger sur la contribution des organismes du sol à cette interaction parasitaire. Ainsi, des travaux de thèse (2019-2023) à Nantes Université (Lisa Martinez, cofinancement MESR-Terre

Inovia, UMR 6286 CNRS-Nantes Université) ont porté sur le rôle des communautés microbiennes dans le dialogue moléculaire hôte/parasite, sur la base de deux hypothèses : certaines communautés favorisent le développement précoce de l'orobanche rameuse ; d'autres réduisent le parasitisme.

Influence positive sur le parasitisme : hydrolyse enzymatique et amplification du signal

Pour étudier le rôle de l'activité enzymatique du microbiote du sol dans la signalisation hôte/parasite, des extraits contenant soit les micro-organismes et les métabolites d'un sol compatible, soit les métabolites du sol uniquement ont été appliqués sur des co-cultures de colza et graines d'orobanche en mini-rhizotron (boîte de Petri semi-fermée). Les résultats

Émergence d'orobanche.

L'absence de soufre diminue le pourcentage de germination de l'orobanche.

Tubercule d'orobanche rameuse sur racine de colza.



2

(1) Les espèces faux hôtes stimulent la germination de l'orobanche sans que celle-ci puisse se fixer, le parasite finit donc par dépérir.

(2) <https://us2b.univ-nantes.fr/equipes/interactions-plante-plante-et-signaux-rhizospheriques/>

ont montré que les micro-organismes du sol amplifiaient la germination du parasite au contact des racines du colza, puisque le colza, en absence des micro-organismes du sol, ou en présence seulement des métabolites du sol, émet plus tardivement un signal inducteur de la germination du parasite. Une autre expérimentation *in vitro* a montré que l'application de l'extrait microbien directement sur les graines d'orobanche n'induit pas leur germination, mais le permettait avec l'addition de glucosinolates dans le milieu. Ce résultat démontre l'implication des micro-organismes du sol dans la dégradation enzymatique (de type myrosinase) des glucosinolates, libérant ainsi les stimulants de germination (isothiocyanates). Par ailleurs, huit bactéries (*Arthrobacter* spp., *Ralstonia* sp., *Actinomyces*, *Betaproteobacteria*) et trois champignons (*Penicillium* sp.) isolés au laboratoire sont capables d'une activité enzymatique de ce type et sont proposés comme des candidats impliqués dans l'interaction parasitaire.

Outre les glucosinolates, la plante émet d'autres métabolites signaux pour l'orobanche : les cytokinines qui stimulent la formation du préhaustorium (haustoriogenèse). Selon les travaux menés à Nantes Université, les micro-organismes seraient capables d'amplifier ce signal en libérant des « facteurs inducteurs d'haustoriogenèse » (HIF) – dont la nature est inconnue –, et ainsi d'augmenter l'agressivité de la plante parasite.

Influence négative sur le parasitisme : réduction des fixations et nécroses

Une seconde partie des travaux de thèse de L. Martinez a consisté à valider l'hypothèse de communautés microbiennes impliquées dans la réduction du développement de l'orobanche. Pour cela, des co-cultures de colza et graines d'orobanches ont été mises en place dans des sols compatibles et des sols suppressifs géographiquement voisins et de mêmes profils physico-chimiques. Le parasitisme racinaire ainsi que le microbiote du sol et de la rhizosphère y ont été comparés. L'application des exsudats racinaires « compatibles » vs « suppressifs » sur les stades précoces (pré-parasitaires) de l'orobanche (germination et haustoriogenèse) ne provoque aucun effet ;

cependant, la réduction du nombre d'orobanches fixées aux racines du colza, accompagnée d'un retard de développement et d'une augmentation de tissus nécrosés (60% en sol suppressif contre 30% en sol compatible), révèle un effet des sols suppressifs au stade post-fixation.

Pour trouver l'origine de l'effet suppressif, les communautés bactériennes et fongiques des sols des co-cultures ont été analysées par métabarcoding⁽³⁾, la première constatation portant sur une composition fongique différente. Notamment, les sols suppressifs sont composés de plus de 60% de champignons du genre *Aspergillus* (suivi des genres *Penicillium* et *Fusarium*) contre 12% dans les sols compatibles. Pour ces derniers, le genre majoritaire est *Chrysosporium*. Une analyse corrélatrice entre l'abondance microbienne et l'effet suppressif a permis d'identifier sept champignons spéci-

fiquement corrélés à la réduction du nombre d'accrochages (dans les familles Bartaliniaceae, Nectriaceae, Niessliaceae, Bartaliniaceae, et les ordres Helotiales et Pleosporales) ainsi qu'un individu corrélé à l'apparition de nécroses : *Berkeleyomyces basicola* ou *B. rouxiae* (= *Thielaviopsis basicola*, à l'origine de pourritures racinaires). Enfin, pour valider certaines de ces corrélations, des tests d'induction nécrotique sur microcals⁽⁴⁾ d'orobanche avec différentes souches fongiques ont mis en avant deux souches du genre *Talaromyces* induisant des nécroses de l'orobanche. Ce genre est connu pour sa bioactivité (voire pathogénicité) envers l'orobanche.

Perspectives

Les travaux de thèse de L. Martinez ont mis en lumière les interactions complexes entre le colza, l'orobanche et les micro-organismes du sol. Ces derniers sont capables, de manière non exclusive, soit de stimuler les stades précoces (préparasitaires) de la plante parasite, soit de réduire l'infestation parasitaire. Le rôle des glucosinolates et des isothiocyanates sur les deux effets reste à préciser : une étude est en cours sur ce sujet (Ahmed Choukri, stage de master 2).

En termes de recherche appliquée, ces résultats permettent :

- sur le court terme, d'expliquer les variations d'infestation d'orobanche sur des parcelles pourtant voisines ;
- sur le moyen/long terme, de proposer des pistes de recherche pour limiter et/ou prévenir l'infestation parasitaire ; par exemple, des variétés de colza exsudant moins de glucosinolates (mais il faut prendre en considération leurs effets bénéfiques sur les bioagresseurs), des souches fongiques antagonistes de l'orobanche (étude de l'efficacité d'introduction dans sol et de la dangerosité pour les autres cultures), des pratiques culturales favorisant les communautés microbiennes natives capables de stimuler la suppression (ce qui nécessite de connaître précisément toutes les communautés d'un sol), ou des bioindicateurs microbiens permettant de prédire le niveau d'infestation d'un sol. □

Deux souches du genre *Talaromyces* induiraient les nécroses de l'orobanche.

(3) Séquençage de l'ADN de l'ensemble des organismes d'un milieu grâce à des marqueurs génétiques (barcodes).

(4) Cellules de radicules d'orobanche ayant proliféré en milieu sucré (sans hôte).

REMERCIEMENTS pour leur relecture à Christophe Jestin (Terres Inovia), Lisa Martinez et Philippe Simier (Nantes Université).

POUR EN SAVOIR PLUS

CONTACT : vvidril@gfa.fr

LIENS UTILES : Terres Inovia : www.terresinovia.fr/-/en-savoir-plus-sur-l-orobanche-rameuse

Équipe Rhizoplane de l'US2B : <https://us2b.univ-nantes.fr/equipes/interactions-plante-plante-et-sigaux-rhizospheriques/>

Replay du webinaire sur www.youtube.com : <https://tinyurl.com/535bzuyb>

Thèse : « Rôle des microorganismes des sols compatibles et suppressifs dans l'interaction parasitaire entre l'orobanche rameuse et le colza d'hiver », sous la direction de Philippe Simier, Lucie Poulin et Christophe Jestin, soutenue le 10 mars 2023 à Nantes, dans le cadre de l'école doctorale Végétal, Animal, Aliment, Mer, Environnement, en partenariat avec l'Unité en sciences biologiques et biotechnologies (Nantes) et Terres Inovia (Rennes).

Article scientifique : Martinez L. et al., 2022. Soil microbiota promotes early developmental stages of *Phelipanche ramosa* L. Pomel during plant parasitism on *Brassica napus* L., *Plant Soil* n° 483, p. 667-691. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05822-6>