

La fusariose de l'ail

Etat des connaissances et perspectives



©INRAE



©FiBL France

La pourriture sèche de l'ail, communément appelée fusariose de l'ail, est une maladie qui s'exprime en post-récolte, causée principalement par *Fusarium proliferatum*. Sa présence n'est quasiment pas détectable au champ rendant sa gestion d'autant plus difficile. A ce jour, il n'existe pas de solutions efficaces pour maîtriser la fusariose de l'ail, que ce soit par des leviers chimiques, biologiques ou les pratiques culturales et de stockage.

Cette fiche présente l'état des connaissances sur l'agent pathogène *F. proliferatum* et sur les méthodes de lutte étudiées par la communauté scientifique et technique, ainsi que les résultats des travaux réalisés entre 2019 et 2022, dans le cadre du projet SYNERGIES.

Index

Etat des connaissances dans la littérature scientifique.....	3
Sources d'inoculum et infection	3
Symptômes.....	3
Leviers de contrôle de la fusariose de l'ail.....	4
Contrôle cultural et conditions de stockage	4
Lutte chimique et biologique	5
Résultats du projet SYNERGIES.....	6
Caractérisation de <i>F. proliferatum</i>	6
Tests de réceptivité des sols	6
Indicateur précoce.....	6
Métabolomique	7
Etude de leviers agroécologiques.....	8
Perspectives pour la filière	9
Outil d'aide à la décision DEXi.....	9
Continuer sur la caractérisation de <i>F. proliferatum</i> et son développement tout en adoptant une gestion intégrée de la maladie ..	9

Etat des connaissances dans la littérature scientifique

Sources d'inoculum et infection

Actuellement, il existe encore de nombreuses incertitudes quant à la localisation des sources d'inoculum primaire de *F. proliferatum*. **Les deux principales sources d'inoculum seraient le sol et le matériel de plantation** mais il peut aussi être retrouvé dans les résidus de culture, les mauvaises herbes ou les cultures voisines.

F. proliferatum peut se trouver en dormance dans le sol, mais jusqu'à présent, il n'y a pas de corrélation prouvée entre la quantité d'inoculum dans le sol au début de la culture et la gravité de la maladie sur les bulbes.

Les **résidus de cultures** peuvent aussi être une source d'inoculum primaire. Cela a été montré pour le **maïs, le blé, l'asperge, le sorgho, la pomme de terre et le tournesol**. Cependant, il n'y a pas d'études disponibles qui expliquent le rôle joué par les résidus de culture de l'ail comme source de l'inoculum primaire de *F. proliferatum* au champ.

F. proliferatum a la particularité d'avoir une phase **endophyte, c'est-à-dire qu'il peut être présent dans les caïeux sans qu'ils ne présentent de symptômes visibles**. Les semences

asymptomatiques pourraient contribuer à la propagation de l'agent pathogène d'une génération de multiplication à l'autre. Les facteurs entraînant le passage de sa forme endophyte à sa forme pathogène ne sont pas connus. **Cela complexifie la recherche de méthodes de lutte.**

De fortes différences interannuelles de niveaux de dégâts sont enregistrées. Elles tendent à indiquer l'importance de certains facteurs abiotiques tels que les températures et la pluviométrie, en particulier dans les premières phases de développement des cultures. Les professionnels observent des différences importantes de sensibilités selon les variétés sans que cela ait été corroboré par les études de pathogénicité en laboratoire.

Symptômes

Les infections causées par *F. proliferatum* peuvent être observées aux premiers stades de croissance au niveau des racines et plateau racinaire, donc difficilement observables. Elle peut aussi entraîner un certain retard dans l'émergence des semis. Dans la plupart des cas, l'infection est difficile à observer sur le terrain. **Les symptômes sont véritablement visibles sur les caïeux après la récolte. Ce sont des brunissements puis un dessèchement des tissus des caïeux, sans marques sur les tuniques extérieures ni impact sur la fermeté du bulbe.**



Bulbe fusarié. ©CTIFL

Leviers de contrôle de la fusariose de l'Ail

Contrôle culturel et conditions de stockage

Les pratiques culturales ainsi que les bonnes conditions de stockage sont des facteurs cruciaux qui influencent grandement l'expression de la maladie.

Traitement des semences

La thermothérapie (trempage des caïeux dans de l'eau chaude à 50 °C) a montré une diminution substantielle de la viabilité des spores de *F. proliferatum*, dans une étude conduite in vitro. Cette technique est utilisée en Espagne. La désinfection à l'hypochlorite de sodium (javel) : bien que pratiqué, aucune étude n'a démontré l'efficacité de ce traitement.

Gestion du sol

Rotation des cultures

L'effet des rotations sur la gestion de la fusariose de l'ail n'est pas encore bien connu. Les tissus racinaires d'espèces asymptomatiques (maïs, blé, pomme de terre, tournesol) peuvent permettre le maintien de l'agent pathogène sur une parcelle et être source d'inoculum lors de la mise en place d'une culture d'ail. *F. proliferatum* est un agent pathogène polyphage qui possède une large gamme d'hôtes, les affectant à des degrés plus ou moins importants selon l'hôte. Le choix d'une culture non-hôte appropriée pour que la rotation soit réellement efficace est donc difficile.

Gestion des résidus de culture

Des essais en plein champ réalisés en Espagne montrent que *F. proliferatum* peut survivre jusqu'à 2 ans dans les résidus de cultures, bien qu'une perte de viabilité importante des propagules soit observée après 1 an. De plus, cette étude suggère que les résidus de culture de l'ail devraient être incorporés au sol (à 20 cm) peu après la récolte car la densité de l'inoculum resterait plus importante sur les résidus laissés en surface.

La décomposition graduelle des matériaux dans le sol par les micro-organismes, la disponibilité des nutriments, la teneur en humidité, le pH, la capacité de rétention de l'eau ou l'absence de chlamydospores pourraient être les

facteurs d'influence de la faible survie du champignon.

La solarisation (seule ou en combinaison avec des amendements de matières organiques)

Bien qu'il n'y ait pas d'étude sur l'utilisation de cette technique en culture d'ail, des résultats sur asperge et oignon ont indiqué qu'elle réduit le niveau d'inoculum de l'agent pathogène dans ces cultures. C'est une pratique de désinfection du sol utilisée dans régions chaudes (Europe du Sud, Sud de la France).

Conditions de stockage

Jusqu'à présent, le moyen le plus efficace de contrôler la progression de la maladie est de gérer les conditions de température et d'humidité durant le stockage.

Température

Lorsque l'ail est stocké en chambre froide (4-5 °C), une progression beaucoup plus lente du développement des symptômes et de la gravité de la pourriture par rapport à celle enregistrée pendant la même période à température ambiante (20-25 °C) a été constatée. La basse température ralentit l'activité de *F. proliferatum* mais n'affecte pas sa viabilité. La croissance et le métabolisme du champignon redémarrent rapidement dès que la température augmente.

Humidité

Une humidité relative (HR) de 60-70% est considérée comme optimale pour le stockage de l'ail, car une HR plus élevée favorise la croissance des champignons et une HR plus faible entraîne une perte d'humidité excessive des bulbes.

Lutte chimique et biologique

Traitements chimiques

Peu d'études sont disponibles concernant l'efficacité des traitements chimiques pour lutter contre *F. proliferatum* sur une culture d'ail. La plupart d'entre elles sont des études conduites *in vitro*, bien qu'il existe quelques essais dans lesquels les chercheurs ont appliqué des fongicides à plus grande échelle, soit en traitement pré-plantation des caïeux, soit par pulvérisation sur le terrain. **Les résultats expérimentaux ont révélé que tous les traitements fongicides testés n'ont pas réussi à contrôler la pourriture du bulbe d'ail pendant et après le stockage.**

Agent de Biocontrôle Microbien (ABM)

La maladie étant présente dans les premiers stades de la culture au champ, l'application opportune d'ABM pourrait aider à protéger la culture, bien que peu d'études aient testé leur application au champ.

Des études menées *in vitro* ont révélé des efficacités contre *F. proliferatum*, notamment :

- *Bacillus subtilis* a montré une activité antifongique élevée (jusqu'à 71% de réduction de la croissance fongique) et une réduction significative de l'infection des caïeux (jusqu'à 58% de réduction des symptômes).
- *Trichoderma harzianum* + *T. gamsii* a montré une diminution de la croissance *in vitro* de l'isolat de *F. proliferatum* de l'ail, avec une inhibition moyenne de la croissance de 64,9%.

La maladie étant difficilement détectable en culture, l'utilisation d'ABM devrait alors être faite de manière préventive et systématique, ou lors de fortes suspicions de contamination.

Des ABM ont aussi été testés sur la sévérité de la fusariose de l'ail pendant le stockage. *Bacillus subtilis* a montré une certaine efficacité, mais non significative par rapport à un témoin non traité. De manière générale, **les traitements par ABM ont eu un impact post-récolte très limité**, surtout lorsque l'ail était stocké à température ambiante.



Résultats du projets SYNERGIES

Caractérisation de *F. proliferatum*

INRAE a isolé des souches de *F. proliferatum* d'ail issues des deux principaux bassins de production français puis caractérisé *in vitro* leur capacité à croître à différentes températures et valeurs de pH. Il est apparu que le champignon **est bien adapté pour croître à des pH basiques** (conditions du sol également favorables à la culture d'ail). De plus, **il peut se développer et engendrer des symptômes à une température aussi élevée que 30 °C**, ce qui correspond aux conditions estivales de séchage de l'ail.

Test de réceptivité des sols

La réceptivité d'un sol correspond à sa capacité à permettre l'installation, le développement, la conservation et l'expression du pouvoir pathogène d'un bioagresseur sur une plante-hôte sensible. Ce test permet de mettre en avant l'éventuelle résistance d'un sol à un agent pathogène. Dans le cas de *F. proliferatum*, certainement du fait de sa phase pathogène latente, les travaux menés par le CTIFL n'ont pas abouti à des résultats satisfaisants, à cause d'une absence totale de mortalité, d'une faible présence de symptômes précoces et d'une durée trop longue du test pour être utilisable en routine.

En revanche, les essais ont permis de confirmer que la source de l'inoculum est multiple – sol et semences – et que **la composante biologique d'un sol peut intervenir sur l'installation et l'expression de cet agent pathogène.**

De plus, **la colonisation des pseudo-tiges d'autre Alliées**, tel que l'oignon et la ciboule, pourrait être utilisée comme indicateur de réceptivité d'un sol voire dans un test de l'impact d'un apport d'un agent biologique au moment de la plantation ou du semis. Des

Indicateur précoce

études complémentaires sont à mener dans cette direction.

Afin d'essayer d'anticiper les attaques de fusariose qui ne se voient pas au champ mais uniquement en conservation, les nécroses racinaires ont été évaluées. Dans l'étude menée par le CTIFL, l'intensité des nécroses racinaires est bien corrélée à l'augmentation de l'inoculum apporté. **Ce paramètre semble donc pouvoir être un indicateur fiable du développement précoce de la fusariose, au champ.** Cependant, c'est un suivi destructif car il nécessite l'arrachage des plants et n'est donc pas adapté pour un suivi à grande échelle en parcelle de production.



Nécroses racinaires. ©CTIFL

Métabolomique

Une analyse métabolomique (Figure 1) a été conduite sur différents échantillons d'ail provenant de différents essais du projet SYNERGIES : (1) les essais menés sous tunnel par le CTIFL (2020) avec des plants infectés par des quantités croissantes d'inoculum de *F. proliferatum* sur la variété Edenrose, (2) des essais au champ menés par la SERAIL et la Chambre d'Agriculture de la Drôme en 2020 puis en 2021 où les effets suppressifs potentiels de différents composts avaient été évalués sur

respectivement les variétés Flavor et Cledor (voir § ci-dessous).

Ces analyses ont montré que l'augmentation de l'inoculum apporté dans l'essai CTIFL se traduit par des différences de métabolomes marquées dans chacun des compartiments racine, feuille et bulbe des aulx (Figure 1B). En particulier des métabolites de la famille des Garlicnines sont davantage présents dans les racines des aulx infectés par *F. proliferatum* que dans la condition contrôle (Figure 1C).

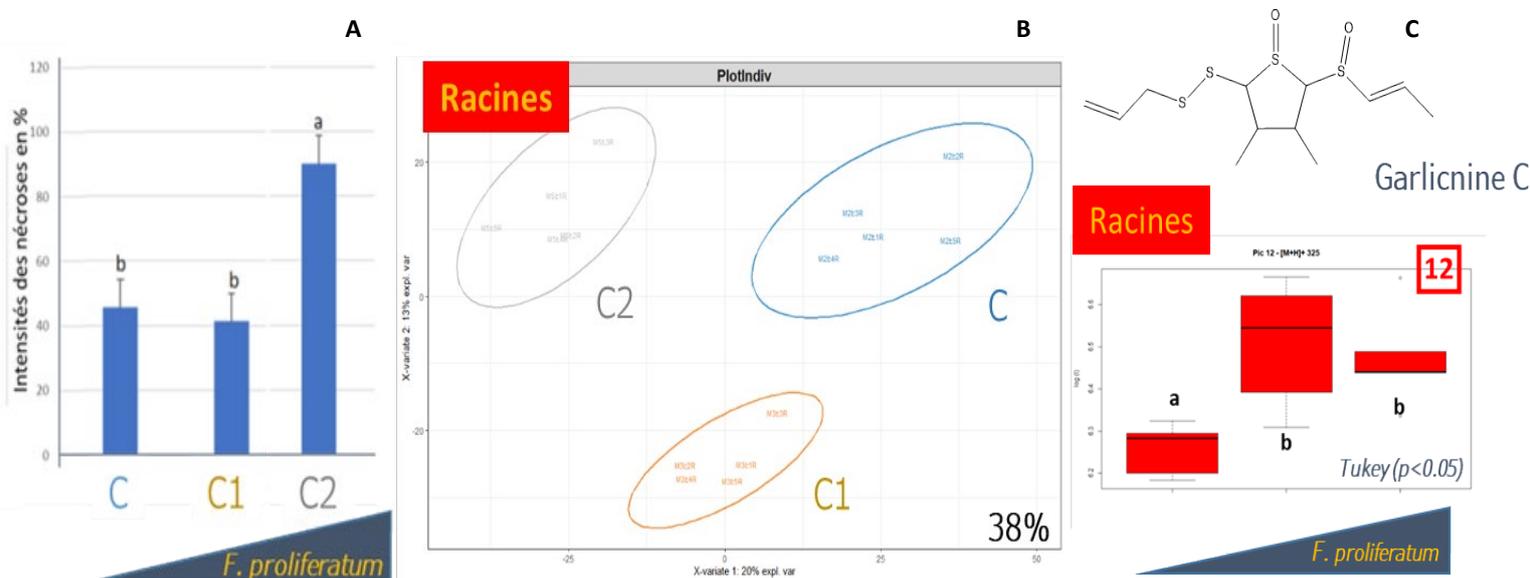


Figure 1: Dans le cadre de l'expérimentation menée par le CTIFL sous tunnel (A) comparaison des intensités des nécroses des aulx en fonction des tailles d'inoculum de *F. proliferatum* (C: contrôle non-infecté, C1= 5g et C2= 20 g de grains d'avoine infectés, source CTIFL), (B) analyse en composantes principales réalisées sur les données de métabolisme secondaire des aulx montrant la séparation marquée des profils métaboliques des racines d'ail selon la taille de l'inoculum de *F. proliferatum* (des différences similaires ont aussi été observées pour les bulbes et les feuilles), (C) la garlicnine C étant un des composés impliqués dans cette séparation et dont la concentration est significativement plus importante dans les aulx inoculés par *F. proliferatum*.

Au champ, nous n'avons pas visualisé de différences marquées des métabolomes en réponse aux leviers écologiques composts. Ces résultats sont cohérents par rapport à l'absence d'effets suppressifs des composts testés sur l'expression de la fusariose.

Ces résultats sont au stade de la recherche amont mais ils sont encourageants pour l'identification de marqueurs précoces de la fusariose sur l'ail.

Etude de leviers agroécologiques

Le projet SYNERGIES s'est intéressé au rôle des amendements organiques et produits de biocontrôle pour lutter contre la fusariose de l'ail. Suite à une caractérisation d'une vingtaine de composts par le FiBL France (propriétés physiques, chimiques, biologiques et suppressives), des essais en condition semi-contrôlées (pots sous serre) et en plein champ ont été mis en place en 2019, 2020 et 2021 par le CTIFL, le CEFEL, la SERAIL et le FiBL France.

- 6 composts testés : déchets verts (DV), DV + fumiers de dinde, composts de déchets traités issus de l'industrie agroalimentaire et de l'agriculture.
- 2 produits de biocontrôle : Asperello® T34 Biocontrol (*Trichoderma asperellum*) et BLINDAR (*Trichoderma gamsii* ICC080 et *T. asperellum* ICC012 T25 et TV1)



Essai en pots à Ballandran, CTIFL. ©CTIFL



Mise en place d'un essai plein champ dans la Drôme pour évaluer l'effet de composts sur la fusariose de l'ail. © FiBL France

Aucun résultat significatif sur l'expression de la fusariose n'a pu être observé. Ceci pourrait s'expliquer en partie par le caractère endophyte de *F. proliferatum*. En effet, le compost et les produits de biocontrôle peuvent avoir des propriétés suppressives contre un agent pathogène dans le sol mais pas s'il est déjà dans la plante. Il existe malgré tout des souches de *F. proliferatum* dans le sol et il est toujours mieux d'éviter une contamination supplémentaire.

L'utilisation de certains composts (DV+Fumier) et compost + Blindar améliorerait le rendement ou le développement des bulbes. **Un seul compost (de DV) a réduit le nombre de bulbes présentant des symptômes.**

Perspectives pour la filière

Outil d'aide à la décision DEXi

Le projet SYNERGIES a permis de faire un inventaire de l'ensemble des facteurs qui auraient un impact sur le développement de la fusariose de l'ail. Cet outil d'évaluation multicritères DEXi est aujourd'hui encore un prototype qui ne peut pas être utilisé comme outil d'aide à la décision par les producteurs en tant que tel, mais plutôt à des fins de conseil et pour faciliter les choix de recherche à effectuer dans les prochaines années.

Pour plus d'information, contacter nous.

Continuer la caractérisation de *F. proliferatum* et de son développement tout en adoptant une gestion intégrée de la maladie

Ce travail de synthèse a mis en évidence le manque de connaissances disponibles concernant *F. proliferatum*. Dans un premier temps, il semble important de se concentrer sur le cycle de vie de cet agent pathogène. En effet, une meilleure connaissance de son développement permettra d'identifier plus facilement les types de leviers mobilisables afin de protéger efficacement les cultures.

Le projet GARLIC (CASDAR) porté par INRAE et débuté en 2022 a notamment pour objectif de mettre au point des méthodes de détection précoce de *F. proliferatum* dans les tissus de l'ail et d'assainissement des caïeux d'ail tout au long des générations de multiplication. D'autres réservoirs potentiels d'inoculum (air, pluie, eau d'irrigation, etc.) seront aussi explorés, et des essais en conditions contrôlées seront réalisés pour évaluer la sensibilité de différentes variétés.

Il est également important de comprendre les facteurs qui entraînent le passage de l'agent

fongique de sa forme endophyte non-symptomatique à sa forme pathogène.

Bien qu'il n'existe à ce jour aucune solution satisfaisante pour lutter efficacement contre la fusariose de l'ail causée par *F. proliferatum*, les résultats expérimentaux indiquent qu'une gestion intégrée de la maladie est à privilégier. Un contrôle strict des conditions de stockage est un facteur clé pour limiter la pourriture, mais cela n'est pas suffisant pour contrôler complètement la maladie.

Il apparaît donc nécessaire de combiner des leviers agissant sur i) le sol et les résidus de culture, sources potentielles d'inoculum primaire ; ii) les semences ; et iii) les conditions de stockage.

Le trempage des échalotes dans de l'eau chaude combinée à du vinaigre alimentaire a montré des résultats prometteurs contre la fusariose. Cette technique est en cours d'évaluation sur l'ail par le CEFEL.

Enfin, une piste de recherche qui n'a pas encore été explorée serait la biofumigation, qui consiste à utiliser des engrais verts de culture telles que les Brassicacées, qui libèrent des molécules biocides après leur incorporation dans le sol, améliorant ainsi la santé du sol pour la culture suivante en réduisant le niveau des parasites nuisibles présents dans le sol.

Rédaction :

Florence Arsonneau, FiBL France, 26400 Eurre, France

Juliette Pellat, Centre CTIFL de Balandran, 751, Le Balandran 30127 Bellegarde, France

Christel Leyronas, INRAE, Pathologie Végétale, F-84140, Montfavet, France.

Claire Prigent-Combaret, CNRS, Ecologie Microbienne Lyon 1, F-69622, Villeurbanne, France

Le projet **SYNERGIES** est piloté par l'Acta, accompagnée de 15 autres partenaires. Ce projet s'appuie sur un réseau de parcelles de producteurs mais aussi sur l'expérimentation du laboratoire jusqu'au champ en passant par le tunnel ou la serre. Trois bassins de production sont concernés pour l'ail (Nord-Pas-de-Calais, Drôme et Occitanie) et pour le melon (sud-est, sud-ouest et centre-ouest).

Ce projet a été soutenu financièrement par les fonds CASDAR du ministère de l'Agriculture.



Références :

Chrétien P.L., Laurent S., Bornard I., Troulet C., El Maataoui M., Leyronas C. 2020. Unraveling the infection process of garlic by *Fusarium proliferatum*, the causal agent of root rot. *Phytopathologia Mediterranea* 59: 285-293. DOI: 10.14601/Phyto-11103

Chrétien P.L., Morris C.E., Duffaud M., Leyronas C. 2021. Aetiology of garlic rot, an emerging disease in France. *Plant Pathology*, 70: 1276–1291. <https://doi.org/10.1111/ppa.13394>

Gálvez, L.; Palmero, D. Fusarium Dry Rot of Garlic Bulbs Caused by *Fusarium proliferatum*: A Review. *Horticulturae* 2022, 8, 628.

Leyronas C., Chrétien P.L., Troulet C., Duffaud M., Villeneuve F., Morris C.E., Hunyadi H. 2018. First report of *Fusarium proliferatum* causing garlic clove rot in France. *Plant Disease*, doi: 10.1094/PDIS-06-18-0962-PDN

Pellat, J., Fournier, C., Pierre, P., Gerlens, C. et Diouf, M. M., 2022. Des leviers agroécologiques pour contrôler un pathogène encore bien mystérieux - Composts et produits de biocontrôle comme solutions contre la fusariose de l'ail. Infos-CTIFL n° 385. Octobre 2022

Villeneuve F., Pellat J., Pierre P., Georges E., Fournier C., Prince P. 2021. *Fusarium proliferatum*, un pathogène de l'ail à double face mal connu. Infos-CTIFL n°375. Octobre 2021.

Contacts:

FiBL France
Pôle Bio, Ecosite
150 avenue de Judée, 26400 Eurre
info.france@fibl.org

