

Biocontrôle des communications moléculaires bactériennes

Fiche **QUESTIONS SUR...** n° 05.01.Q02

2023, révisée en juin 2026

Xavier LATOUR & Denis FAURE, membres de l'Académie d'Agriculture de France

Mots clés : biocontrôle, anti-virulence, quorum sensing, quorum quenching, biostimulant

Les bactéries constituent un règne dominant de la biosphère, tant en nombre qu'en biomasse.

Ces organismes unicellulaires ont longtemps été considérés comme se développant isolés les uns des autres dans l'environnement. C'était faire abstraction du potentiel d'adaptation considérable de ces organismes vivants : en effet, certaines bactéries sont capables de s'adapter aux changements environnementaux, au travers de relations sociales complexes tissées entre elles ; elles communiquent par l'intermédiaire de molécules chimiques qu'elles produisent et s'échangent (le *quorum sensing*).

Certains systèmes de communication sont ainsi utilisés par des bactéries phytopathogènes pour coordonner l'attaque d'un ensemble et contrecarrer les défenses des plantes. Ces molécules de communication ont donc été prises pour cibles lors de l'élaboration de nouvelles stratégies de biocontrôle, visant à éliminer les messages échangés par les bactéries (*quorum quenching*).

Les progrès considérables obtenus dans la caractérisation des signaux et des mécanismes de communication, ainsi que dans la connaissance des antagonistes microbiens, ont permis de proposer une méthode de lutte originale : choisir des bactéries du sol capables d'interférer avec les communications de pathogènes, puis à favoriser leur installation et leur activité antagoniste au voisinage de la plante hôte.

La communication *quorum-sensing* des agents pathogènes comme nouvelle cible pour le biocontrôle

La lutte biologique consiste à utiliser des organismes vivants ou leurs composants pour supprimer ou contrôler les populations d'organismes nuisibles.

Le biocontrôle des populations microbiennes phytopathogènes dans les sols constitue ainsi une des solutions agroécologiques actuellement promues.

Celle-ci doit répondre aux besoins d'une agriculture raisonnée moins polluante, et aux impasses technologiques laissées par le remplacement des intrants chimiques ; elle repose sur l'utilisation de microorganismes auxiliaires présents naturellement dans les sols, ou apportés massivement afin de compenser leur faible présence. Des recherches récentes ont permis l'émergence de nouvelles approches de lutte visant à contrer l'expression de la virulence plutôt que la viabilité des agents pathogènes.

Un des mécanismes de virulence présent chez certaines bactéries pathogènes repose sur l'émission et la perception de molécules de communication appartenant à la famille des *N-acyl homosérine lactones*.

Comme chaque bactérie produit une petite quantité de lactones, la concentration environnementale de ces signaux informe l'ensemble de la population pathogène à la fois de son nombre, mais aussi de sa localisation dans un environnement clos, comme par exemple au sein d'une blessure. Cette particularité a valu à ce système de communication le nom de *quorum sensing* (QS).

La communication QS est devenue une cible privilégiée de lutte, par exemple contre les bactéries macergènes des genres *Dickeya* et *Pectobacterium* ; ces bactéries sont responsables de la *maladie de la jambe noire* sur une culture vivrière (pomme de terre), mais aussi de pourritures sur les produits de récolte de nombreuses autres productions maraîchères et horticoles (*Figure 1*). Ici, la communication QS permet aux populations pathogènes de mener une attaque massive synchronisée permettant de submerger les défenses de la plante hôte.



figure 1 : symptôme de jambe noire sur plants de pomme de terre, provoqué par la bactérie *Pectobacterium* (photo Amélie Beury© - SIPRE).

La protection des cultures grâce au principe anti-virulent de *quorum-quenching*

De nombreux organismes, dont des bactéries, sont capables de produire des substances qui perturbent la communication bactérienne. Par analogie, l'aptitude de ces organismes à masquer la communication QS a reçu le qualificatif de *quorum quenching* (QQ).

Dans la majorité des cas analysés, ces substances sont soit des enzymes qui modifient l'intégrité des signaux QS, soit des molécules chimiques qui perturbent le processus d'activation de la signalisation QS.

Dans le cadre de la protection de la pomme de terre, des bactéries auxiliaires ont été recherchées dans la rhizosphère de cette plante, après adjonction de stimulants carbonés particuliers (γ -lactones) dans le substrat de culture ; ces derniers sont des analogues structuraux des signaux bactériens, mais avirulents et peu coûteux. Ils ont ainsi permis de favoriser l'émergence de populations capables de dégrader les lactones similaires des agents macergènes.

Une souche particulièrement efficace (*R. erythropolis* R138) a notamment été sélectionnée, et les déterminants génétiques responsables de l'activité protectrice ont été recherchés au laboratoire. Grâce à une approche de protéomique comparative, la plupart des enzymes responsables de l'assimilation des molécules signalétiques et des biostimulants a été caractérisée chez la souche R138. Des études analytiques et de transcriptomique ont ensuite permis de démontrer, *in planta*, l'implication de cette voie dans la protection biologique couplée à la dégradation des signaux QS dans le tubercule.

Ces travaux ont surtout montré que c'était la communication QS et la virulence associée de l'agent pathogène – plutôt que sa présence dans l'hôte au côté du *Rhodococcus* protecteur – qui étaient responsables de l'induction de l'activité de protection QQ, ainsi que de la modification afférente du métabolisme de l'agent protecteur. Des essais réalisés en culture hydroponique ont permis de valider le paradigme de biostimulation des bactéries auxiliaires par des lactones biostimulantes (Figure 2). Ils ont été suivis par des essais complémentaires aux champs : les premiers résultats ont montré une baisse significative des symptômes lors d'un traitement contenant l'agent *R. erythropolis* R138 si sa croissance est soutenue par l'adjonction concomitante du biostimulant.

Toutefois, l'efficacité de la protection demeure intimement liée à la persistance de l'agent protecteur et à l'exercice de son effet antagoniste sur ses cibles. Il reste donc nécessaire de maîtriser la formulation des produits biologiques et le conditionnement physiologique et métabolique des microorganismes étudiés.



Figure 2 : essai de protection de cultures de plants de pomme de terre contre les phytopathogènes *Pectobacterium* et *Dickeya*. Les essais initiaux de lutte biologique par anti-virulence ont été menés grâce à l'agent bactérien de biocontrôle *Rhodococcus erythropolis* stimulé ou non dans son métabolisme par des γ -lactones similaires aux signaux échangés par les pathogènes (photo Amélie Beury© - SIPRE).

Face à ces défis, les molécules biostimulantes sélectionnées semblent aussi présenter de nombreux avantages :

- Disséminées seules, elles favorisent une augmentation transitoire des communautés bactériennes natives, capables de métaboliser les signaux des pathogènes (lutte biologique par conservation).
- Elles peuvent également être disséminées en compagnie de l'agent de lutte, pour maintenir son installation et son activité antagoniste au voisinage de la plante (lutte biologique par augmentation).
- Surtout, il s'avère que les lactones les plus performantes sont utilisées comme additifs alimentaires avec l'approbation de l'Autorité Européenne de Sécurité des Aliments (et de la Food and Drug Administration, aux États-Unis).

Face à leur faible coût et leur non-toxicité, elles pourraient donc être utilisées pour le traitement des cultures à grande échelle. Concrètement, les bactéries *Rhodococcus* étant facilement incorporables dans diverses formulations, il est possible d'envisager des préparations bactériennes regroupant l'agent de biocontrôle et son biostimulant dans un sachet en polymère biodégradable, à épandre au côté du tubercule ou de la graine lors de la plantation. Cela devrait permettre une libération prolongée de l'agent de lutte et de son stimulant tout au long du cycle de croissance des cultures.

Ce qu'il faut retenir :

Certaines bactéries phytopathogènes, telles que *Pectobacterium* et *Dickeya*, utilisent des systèmes de communication dit *quorum sensing* pour synchroniser leur virulence à l'échelle de la population. Il s'agit pour ces bactéries d'échanger des petites molécules diffusibles, dont la concentration dans l'environnement de la plante informera la population pathogène sur sa densité.

Pour lutter contre les dégâts engendrés à l'échelle mondiale, une stratégie de biocontrôle – initialement mise au point pour les cultures de pomme de terre – consiste à isoler des bactéries antagonistes capables de dégrader les molécules signalétiques échangées par les agents pathogènes, et donc de perturber leur communication et la virulence afférente.

Pour être efficace, cette stratégie doit être accompagnée de l'épandage à grande échelle de biostimulants inoffensifs et bon marché, dont la structure moléculaire est suffisamment proche de celle des signaux pour stimuler le catabolisme protecteur des bactéries auxiliaires, sans avoir les effets néfastes des molécules produites par les pathogènes.

Pour en savoir plus :

- A. CHANE, C. BARBEY, M. ROBERT, A. MERIEAU, Y. KONTO-GHIORGHI, A. BEURY-CIROU, M. FEUILLOLEY, M. PÁTEK, V. GOBERT, X. LATOUR : *Biocontrol of soft-rot: confocal microscopy highlights virulent pectobacterial communication and its jamming by rhodococcal quorum-quenching*. Mol. Plant-Microbe Interact. 32, 2019
- A. CHANE, C. BARBEY, Y. BOURIGAULT, O. MAILLOT, S. RODRIGUES, M. BOUTEILLER, A. MERIEAU, Y. KONTO-GHIORGHI, A. BEURY-CIROU, R. GATTIN, M. FEUILLOLEY, K. LAVAL, V. GOBER, X. LATOUR : *A flavor lactone mimicking AHL quorum-sensing signals exploits the broad affinity of the QsdR regulator to stimulate transcription of the rhodococcal qsd operon involved in quorum-quenching and biocontrol activities*. Front. Microbiol. 10, 2019
- A. CIROU, S. DIALLO, C. KURT, X. LATOUR, D. FAURE : *Growth promotion of quorum-quenching bacteria in the rhizosphere of Solanum tuberosum*, Environ. Microbiol. 9, 2007
- A. CIROU, S. MONDY, S. AN, A. CHARRIER, A. SARRAZIN, O. THOISON, M. DUBOW, D. FAURE : *Efficient biostimulation of native and introduced quorum-quenching Rhodococcus erythropolis populations is revealed by a combination of analytical chemistry, microbiology and pyrosequencing*, Appl. Environ. Microbiol. 78, 2012
- C. GRANDCLÉMENT, M. TANNIÈRES, S. MORÉRA, Y. DESSAUX, D. FAURE : *Quorum quenching : role in nature and applied developments*, FEMS Microbiol. Rev. 40, 2016.
- X. LATOUR, D. FAURE : *Orienter les communautés et populations microbiennes telluriques via l'utilisation de biostimulants perturbant la communication moléculaire bactérienne*, Chapitre 14, Les sols et la vie souterraine, des enjeux majeurs en agroécologie. Jean-François Briat & Dominique Job (AAF, coordinateurs), Quae (Ed) - Collection Synthèses, 2017
- D. FAURE, X. LATOUR : *Biocontrol of plant pathogens via quorum quenching*, Chapitre 7, Biocontrol of plant diseases: Recent advances and prospects in plant protection - B. Dumas & C. Pringent-Combaret (Eds.). ISTE Sciences Publishing LTD (London, U.K.) & Wiley (Hoboken, U.S.A.), 2022.