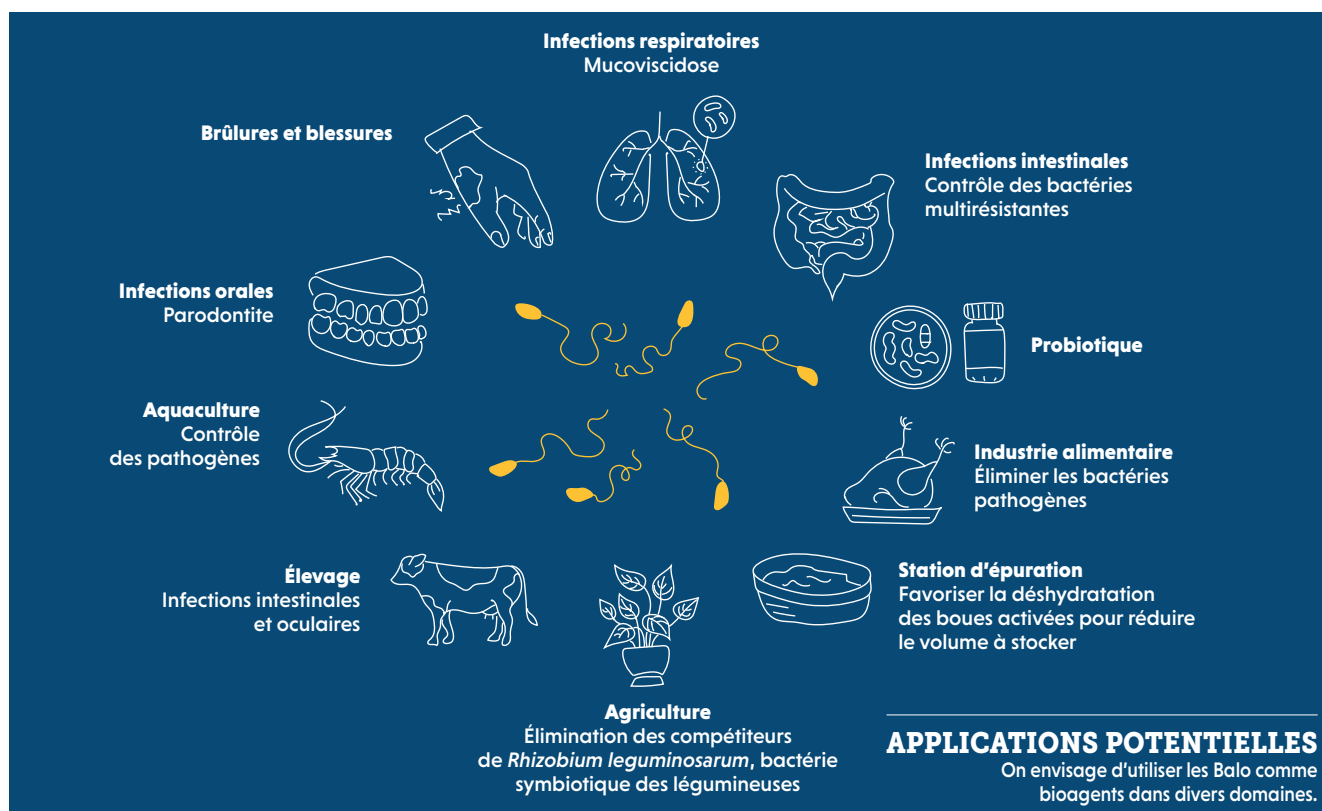




> de *Bdellovibrio bacteriovorus* au début du stade de colonisation des poumons pourrait donc contribuer à contrôler cette colonisation chronique.

DES BALO CONTRE LA PARODONTITE ?

Les Balo constituent aussi une piste pour lutter contre la parodontite, une maladie infectieuse polymicrobienne qui provoque l'inflammation des tissus de soutien de la dent (le parodonte). L'infection est due à de nombreuses bactéries pathogènes à Gram négatif, comme *Porphyromonas gingivalis* et *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, qui sont enchâssées dans un biofilm complexe, la plaque dentaire. Les traitements de la parodontite consistant à éradiquer le biofilm par des thérapies classiques comme l'utilisation d'antibiotiques se révèlent de plus en plus compliqués et souvent inefficaces, voire déconseillés. Mais en 2011, l'équipe de Wim Teughels, à l'université catholique de Louvain, en Belgique, a montré que diverses souches de Balo étaient capables d'attaquer, en culture, six sortes de bactéries pathogènes de la plaque dentaire et de réduire ainsi considérablement leur population, qu'elles soient cultivées seules ou ensemble, mélangées à des bactéries à Gram positif de la plaque ne faisant pas partie du menu des Balo. Toutefois, des études complémentaires sont nécessaires dans des conditions se rapprochant plus de l'environnement

B. bacteriovorus a pour les crevettes un effet protecteur contre les infections à *Vibrio*

buccal, notamment parce que les bactéries pathogènes de la plaque dentaire sont anaérobies, tandis que les Balo ont besoin d'oxygène pour vivre. En 2019, Romeo Patini, de l'université catholique du Sacré-Cœur, à Rome, et ses collègues ont en effet montré qu'en conditions anaérobies, les Balo ne se développent pas suffisamment pour attaquer efficacement certaines de ces bactéries pathogènes.

Des expériences menées *in vivo* chez la larve du poisson-zèbre suggèrent par ailleurs que le Balo *Bdellovibrio bacteriovorus* pourrait aider à combattre une souche de la bactérie *Shigella flexneri* résistante à deux antibiotiques, la streptomycine et la carbénicilline. Les bactéries *Shigella*, à Gram négatif, font partie des agents pathogènes causant la dysenterie. Selon

L'Organisation mondiale de la santé, elles sont responsables de plus d'un million de décès chaque année dans le monde, principalement dans les pays en développement. En 2016, Alexandra Willis, de l'Imperial College London, et ses collègues ont montré qu'en injectant *B. bacteriovorus* dans le rhombencéphale (la partie postérieure du cerveau) de larves de poissons-zèbres infectées par *Shigella flexneri*, les Balo augmentaient de 35% leur taux de survie, agissant conjointement avec le système immunitaire des larves avant que celui-ci n'élimine *B. bacteriovorus* à son tour. Le système immunitaire du poisson-zèbre présentant de grandes similarités avec celui de l'humain, cette stratégie fonctionnerait-elle aussi chez ce dernier?

PROTÉGER LES ÉLEVAGES DE CREVETTES

Outre les humains, l'aquaculture et l'élevage sont tout aussi concernés par l'essor des bactéries antibiorésistantes. Chez les crevettes à pattes blanches (*Penaeus vannamei*) notamment, élevées en eau douce dans divers pays d'Amérique et d'Asie, plusieurs bactéries du genre *Vibrio*, comme *V. parahaemolyticus* et *V. cholerae* (le bacille du choléra), provoquent des épidémies généralisées et sont responsables d'une perte atteignant parfois 90% de l'élevage, l'infection n'étant pas toujours contrôlable par des antibiotiques. Or en Chine, notamment, l'aquaculture produit annuellement 300 000 tonnes de ces crevettes à destination alimentaire.

Dans ce cas encore, les Balo offrent une piste intéressante. En 2015, Haipeng Cao, de la Shanghai Ocean University, et ses collègues, sont parvenus à éradiquer dix souches pathogènes différentes de *Vibrio* en culture en les incubant avec le Balo *Bdellovibrio bacteriovorus*. De plus, le prédateur a indéniablement pour les crevettes un effet protecteur contre les infections à *Vibrio*: en reproduisant l'expérience *in vivo*, les chercheurs ont observé que le taux de survie des crevettes augmentait de plus de 60%.

Il semble par ailleurs que les bactéries prédatrices ne soient pas nocives pour les cultures cellulaires humaines ou animales, aucune maladie n'ayant été associée ou attribuée à une infection par des Balo. Contrairement à ce que l'on observe avec d'autres bactéries ou des bactériophages employés en thérapie phagique, ils ne déclenchent qu'une faible réaction inflammatoire et, à ce jour, aucune résistance permanente n'a été décelée chez leurs proies.

Les Balo sont encore peu étudiés malgré le grand potentiel qu'ils recèlent et le nouvel engouement qu'ils suscitent. On est encore loin des 6990 articles que le portail Pubmed a référencés sur les bactéries *Staphylococcus* pour la seule année 2018! Néanmoins, il ne fait plus aucun doute que ces bactéries prédatrices gageront en

DES VÉSICULES SOUS-ESTIMÉES

Dès les années 1960, on s'est aperçu que les bactéries et les cellules eucaryotes (c'est-à-dire comportant un noyau) sécrétaient des vésicules membranaires. Depuis, on sait que c'est aussi le cas des archées, le troisième domaine du vivant. Il s'agit donc d'un mécanisme très conservé au fil de l'évolution. Et beaucoup plus répandu qu'on ne le pensait, comme l'ont observé Steven Biller, de l'institut de technologie du Massachusetts, et ses collègues en 2014 en montrant que les cyanobactéries *Prochlorococcus* produisent d'étonnantes quantités de ces vésicules dans leur milieu naturel.

Il s'agit de petits compartiments clos formés à partir de membranes cellulaires, sécrétés dans le milieu extérieur ou intervenant dans le trafic intracellulaire. De formes, tailles, compositions et fonctions variées (défense contre certaines infections, protection antivirale, libération de facteurs de virulence, matériel de transport génétique, moyen de communication entre organismes, leurre, nourriture pour organismes unicellulaires, inhibiteur de croissance...), ces vésicules sont produites par une diversité de mécanismes. Dans leur environnement, elles sont capables d'interagir avec des cellules et même des virus aquatiques, avec lesquels il arrive qu'elles soient confondues. En effet, de taille comparable (entre 40 et 230 nanomètres), elles sont parfois présentes en nombre très élevé (supérieur à 10⁶ vésicules par millilitre). Les virus aquatiques sont donc probablement un peu moins nombreux qu'on ne le pensait, et leur impact sur l'écosystème plus faible. Les bactéries prédatrices de bactéries y ont dès lors toute leur place.

importance dans un futur proche, tant leurs applications potentielles sont nombreuses (voir la figure page ci-contre). Il reste cependant encore beaucoup à comprendre le rôle des Balo dans les milieux naturels, qui n'ont encore jamais été étudiés de façon globale.

BIBLIOGRAPHIE

J. A. Ezzedine et S. Jacquet, **Bactéries prédatrices : zoom sur les Bdellovibrio et organismes apparentés (BALOs)**, N3AF, vol. 2, 2019.

B. Paix et al., **Diversity, dynamics and distribution of Bdellovibrio and like organisms in peri-alpine lakes**, *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 85, article 02494-18, 2019.

S. Jacquet et C. Depecker, **Les virus, piliers de la vie marine**, *Pour la Science Hors-Série n° 104*, pp. 36-43, 2019.

E. Jurkevitch et Y. Davidov, **Phylogenetic diversity and evolution of predatory prokaryotes**, dans E. Jurkevitch (éd.), *Predatory Prokaryotes – Biology, Ecology and Evolution*, Springer, 2006.

F. Azam et al., **The ecological role of water-column microbes in the sea**, *Marine Ecology Progress Series*, vol. 10, pp. 257-263, 1983.

PLEIN DE BALO DANS LES LACS PÉRIALPINS

Aujourd'hui, les nouvelles techniques de séquençage à haut débit et de la bio-informatique offrent la possibilité de décrypter la diversité de ces bactéries et leurs interactions avec l'environnement. Fin 2017, nous avons ainsi lancé un projet dans ce sens, visant à étudier la diversité, la structure, l'abondance et les rôles des Balo dans divers écosystèmes aquatiques. Nos premiers résultats sont déjà très prometteurs. Nous avons découvert que certains prédateurs bactériens étaient parfois très abondants dans les grands lacs périalpins. La famille des Peredibacteraceae – en particulier la bactérie *Peredibacter starrii*, majoritaire – représentait parfois jusqu'à 7% de l'abondance totale des bactéries, tandis que les deux autres familles analysées, les Bdellovibrionaceae et les Bacteriovoraceae, restaient très peu représentées. Ces trois familles occupaient d'ailleurs des zones différentes de la colonne d'eau, les Peredibacteraceae dominant près de la surface, tandis que les Bdellovibrionaceae et les Bacteriovoraceae étaient plus abondantes en profondeur. Stratégies de vie différentes? Niches écologiques distinctes? L'avenir nous le dira. Une chose est sûre, la prochaine fois que vous vous baignerez dans le lac Léman, vous ne le regarderez pas de la même façon. ■