

ces microorganismes. Depuis le premier *Bdellovibrio* de Stolp, plusieurs équipes ont découvert divers autres Balo, les dotant en général d'un nom synonyme de «dévoreur». Jusqu'à dans les années 2000, cependant, ce domaine de recherche est resté assez confidentiel: entre 1972 et 1980, seules une vingtaine de publications sur les Balo ont vu le jour, puis le

Les Balo, comme les phages, ont un grand potentiel antimicrobien

sujet a été délaissé. Mais à partir des années 2000, dix à vingt articles scientifiques sur les Balo ont paru chaque année, surtout sur *Bdellovibrio bacteriovorus*. L'année 2017 a comptabilisé à elle seule plus d'une trentaine de publications liées à leur étude. De fait, alors que l'on recherchait des alternatives à l'utilisation des antibiotiques, devenus inopérants face aux bactéries multirésistantes, on s'est aperçu que les Balo, comme les phages, avaient un grand potentiel antimicrobien.

PETITES MAIS REDOUTABLES

Les Balo sont des bactéries dites «à Gram négatif», c'est-à-dire caractérisées par une enveloppe particulière à double membrane (voir l'encadré page ci-contre). Équipés d'un flagelle lorsqu'ils ne sont pas attachés à leur proie, ils sont par ailleurs très mobiles. En effet, un tel prédateur est capable de se déplacer à 160 micromètres par seconde, ce qui n'est pas négligeable pour des organismes de 0,5 à 2,5 micromètres de longueur et de 0,2 à 1 micromètre de largeur, soit sensiblement plus petits que les bactéries *Escherichia coli*, longues d'environ 3 micromètres. Mais petit ne signifie pas inoffensif! Bien au contraire, ces prédateurs redoutables s'attaquent à de nombreux hôtes quels que soient leur physiologie, leur taille ou leur pedigree, contrairement aux bactériophages, qui ont souvent un hôte bien spécifique. Ainsi, une grande proie ne les impressionne point et, d'ailleurs, certains Balo infectent plus rapidement les grandes cellules que les petites.

Découverts initialement dans le sol, puis dans divers milieux aquatiques, les Balo

semblent être partout où on les cherche: océans, mers, eaux côtières, estuaires, rivières, lacs, bassins d'aquaculture, stations d'épuration, eau d'irrigation, sols variés, rizières, rhizosphère et même fèces animales. De fait, si, en nombre, ils sont loin de dominer leur milieu de vie, ils n'en restent pas moins suffisamment nombreux pour être aisément détectables par les techniques routinières de biologie moléculaire.

Au premier abord, on pourrait voir dans les Balo des parasitoïdes – des organismes qui se développent dans ou sur un autre organisme et finissent par le tuer. Mais les spécialistes de ce groupe les définissent plutôt comme des prédateurs, car comme ces derniers, un Balo induit rapidement la mort de sa proie (généralement dans les quinze minutes suivant l'attaque), bien avant le développement de sa progéniture. Mais, à l'inverse des grands prédateurs, la majorité des Balo ne consomment pas leur victime à la vue de tous. Si certains restent à l'extérieur de leur proie (prédation épibiotique), la plupart l'utilisent comme un refuge temporaire, un habitat osmotiquement stable et regorgeant de nutriments (prédation endobiotique). Ce faisant, les Balo se protègent des variations des conditions environnementales et des attaques des bactériophages. Une fois qu'ils se sont multipliés dans l'hôte, leur progéniture détruit sa paroi et se retrouve dans le milieu environnant, prête à entamer son cycle *via* la prédation d'un nouvel hôte (voir l'encadré pages 66 et 67).

UNE CHASSE EN SOLITAIRE

Dans l'arbre du vivant, les Balo ne constituent pas un groupe monophylétique: ils n'ont pas d'ancêtre commun à eux seuls (voir l'encadré page 68). Ce qui fait qu'un Balo est un Balo n'est donc pas tant lié à sa signature génétique qu'à son mode de fonctionnement. De fait, la morphologie et les stratégies de prédation uniques des Balo en font un groupe à part des autres bactéries prédatrices. D'abord, ce sont des prédateurs «obligatoires»: ils sont incapables de vivre dans des milieux dépourvus de proie. Cela dit, en laboratoire, diverses équipes ont observé qu'en l'absence de proie, mais placés dans un milieu très riche en nutriments, certains types de Balo étaient capables de se nourrir du milieu nutritif.

Ensuite, la stratégie de prédation et de croissance des Balo – individuelle et en mode endobiotique ou épibiotique – est une marque bien caractéristique. Le cycle endobiotique consiste en une appropriation complète de la proie. En effet, le Balo infecte son hôte et, dans son élan, empêche toute autre infection de celui-ci par d'autres Balo *via* l'émission d'un signal d'occupation (une molécule dédiée). En laboratoire, un cas de multi-infection a quand même été observé avec un nombre de Balo >

➤ largement supérieur à celui des proies, mais cela reste anecdotique. Le cycle épibiotique, de son côté, est plus «partageur»: plusieurs Balo peuvent s'attacher à la paroi d'une proie et consommer simultanément son contenu. Les autres prédateurs, comme *Myxobacteria* ou *Lysobacter*, se différencient par une prédation facultative – ils ne s'attaquent aux autres bactéries que lorsque les ressources en nutriments sont au plus bas – et par une stratégie de chasse en meute (voir l'encadré page 69). Par ailleurs, les études de l'ADN des Balo les séparent clairement des autres prédateurs bactériens.

UN LARGE CHOIX DE PROIES

En matière de proie, la majorité des études ont confirmé que les Balo préfèrent se nourrir de bactéries à Gram négatif. Et si on leur donne le choix, ils consomment d'abord celles qu'ils rencontrent habituellement dans leur milieu de vie. Leurs proies sont de toutes sortes, pathogènes ou commensales des plantes, des animaux ou des humains. Toutefois, il y a quelques années, une équipe de l'université Sapienza, à Rome, sous la direction de Serena Schippa, a observé un nouveau phénomène: le Balo *Bdellovibrio bacteriovorus* arrive à cibler et à consommer des bactéries à Gram positif. En effet, en présence de proies à Gram positif comme *Staphylococcus aureus*, *Bdellovibrio bacteriovorus*, prédateur naturellement endobiotique, finit par s'adapter à son nouveau repas. En une vingtaine d'heures, il change de stratégie et opte pour une prédation épibiotique. Le temps nécessaire pour consommer *S. aureus* est comparable à une phase de latence durant laquelle le prédateur synthétise un nouvel arsenal d'enzymes hydrolytiques capables d'agir sur la paroi des bactéries à Gram positif. Plus surprenant encore, *Bdellovibrio bacteriovorus* est aussi capable de s'en prendre à des cellules mortes dont le contenu cellulaire est intact.

Le spectre de prédation des Balo varie selon les représentants. Certains sont semi-généralistes, avec un large choix de proies consommables, tandis que d'autres sont plutôt spécialistes d'un type de proie. Il arrive aussi que des Balo soient versatiles, c'est-à-dire à la fois semi-généralistes et spécialistes, optant pour un comportement ou l'autre selon l'environnement. Une stratégie gagnante? Pas sûr. Certes, elle offre un avantage indéniable: la bactérie qui la pratique est moins limitée par la compétition et est donc apte à dominer la population de Balo. Cependant, l'efficacité de prédation est plus faible et un Balo spécialiste d'une proie la consomme naturellement plus vite qu'un versatile... Les populations de Balo varient donc en fonction des proies présentes dans le milieu.

Toutes ces caractéristiques confèrent aux Balo une grande facilité d'adaptation aux milieux ➤

LE CYCLE DE VIE DES BALO

Les Balo ont développé deux cycles de vie différents. Certaines bactéries, comme *Peredibacter starrii* et *Bdellovibrio bacteriovorus*, ont un cycle de reproduction endobiotique, c'est-à-dire qui se déroule à l'intérieur de l'hôte (voir page ci-contre le cycle de *Bdellovibrio bacteriovorus*), tandis que d'autres, comme *Bdellovibrio exovorus*, ont un cycle de reproduction épibiotique: le prédateur reste en dehors de sa proie (ci-dessous le cycle de *B. exovorus*). Les deux cycles durent entre trois heures et demie et quatre heures.

MODE ÉPIBIOTIQUE

