

ENTRE PARASITISME ET SYMBIOSE :

le paradoxe des apicomplexes



Récif de corail à Lifou (îles Loyauté, Nouvelle Calédonie, Océan Pacifique/Cliche L. Courtial).

Par Denis Allemand,
directeur scientifique
du Centre Scientifique de Monaco

On compte, parmi le groupe des Apicomplexés (Apicomplexa), les organismes les plus mortels au monde, dont *Plasmodium*, l'agent du paludisme qui tue chaque année entre 400 000 et 500 000 personnes et *Toxoplasma*, l'agent de la toxoplasmose, dont un tiers des humains sont des porteurs sains du parasite qui peut être très dangereux chez la femme enceinte.

Les coraux constructeurs de récifs forment, quant à eux, l'un des écosystèmes les plus productifs de la planète. Ce succès évolutif est dû à la symbiose que les coraux réalisent avec des microalgues unicellulaires du groupe des Dinoflagellés appelées communément zooxanthelles, et ce succès n'a pas échappé aux apicomplexes.

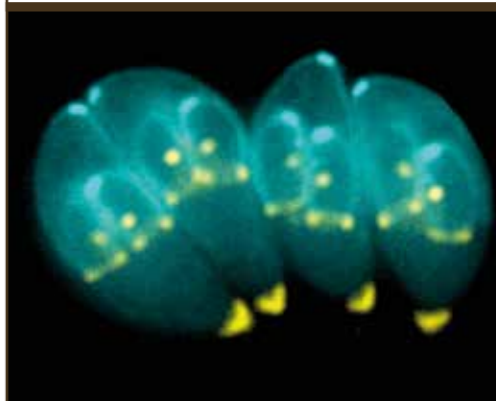
À priori, il n'y a aucun point commun entre les parasites apicomplexes et la symbiose corallienne... sauf qu'un groupe de chercheurs canadiens et hollandais a publié en 2019 dans la revue *Nature* un article étonnant relatant la découverte d'apicomplexes dans les coraux, de la surface jusqu'aux grandes profondeurs. Un nouveau taxon a même été créé spécialement pour eux : les Corallicolides. En dehors du fait qu'il est assez extraordinaire qu'une telle association soit passée inaperçue jusqu'à aujourd'hui, cette découverte constitue une ouverture majeure

non seulement vers une meilleure compréhension de l'évolution vers le parasitisme des apicomplexés, mais également de la symbiose chez les coraux constructeurs de récifs.

Mais avant de décrire cette fantastique découverte, il est nécessaire de faire quelques rappels sur ce que sont les apicomplexés. Ce sont des organismes unicellulaires, parasites obligatoires des Métazoaires; ils possèdent un organe* intracellulaire original, appelé apicoplaste, qui est limité par plusieurs membranes et contient un brin d'ADN circulaire proche de celui contenu dans le chloroplaste, mais qui ne contient pas de chlorophylle et ne possède donc pas la capacité à faire de la photosynthèse. Cet apicoplaste a ainsi été interprété, lors de sa découverte en 1996, comme le vestige du chloroplaste d'un ancêtre photosynthétique. Cet organe joue un rôle majeur chez ces organismes dans le métabolisme lipidique (synthèse d'acides gras et de terpénoïdes en particulier). L'apicoplaste est d'ailleurs une cible thérapeutique importante contre le paludisme, et certains herbicides ciblant normalement le chloroplaste sont ainsi utilisés comme médicaments antipaludéens. Cette origine photosynthétique des apicomplexés était d'ailleurs en accord avec leurs relations phylogénétiques : les Apicomplexés sont en effet des proches cousins des Dinoflagellés, auxquels appartiennent justement les zooxanthelles, microalgues symbiotes des coraux, dont la photosynthèse apporte jusqu'à 95 % de sa nourriture à leur hôte corallien. Avec ceux-ci, ils forment le super-phylum des Alvéobiontes, qui incluent également les Ciliés, comme la paramécie. Mais si l'hypothèse d'un ancêtre photosynthétique

* **Organe** : chez les eucaryotes, structure intracellulaire séparée du cytoplasme par au moins une membrane.

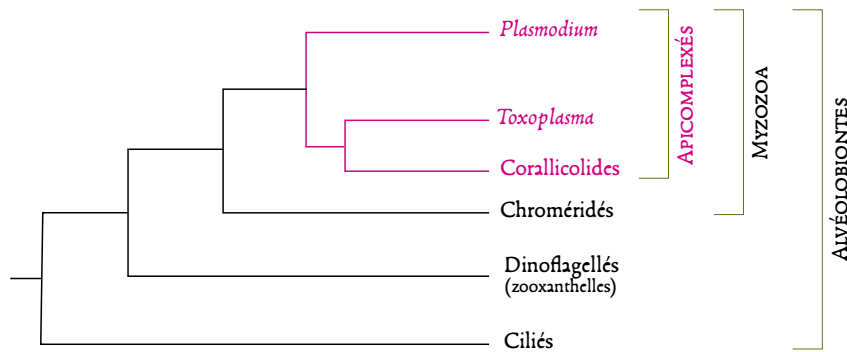
Toxoplasma gondii, agent de la toxoplasmose (cliché K. Hu et J. M. Murray/CC).



était exacte, pourquoi n'existe-t-il pas d'apicomplexes porteurs de plastes fonctionnels ?

Un apicomplexe parasite avait été découvert chez certains coraux il y a un peu plus de 30 ans, la coccidie (*Gemmocystis cylindrus*), mais il possédait, comme les autres apicomplexes connus, un apicoplaste et donc bien sûr aucune photosynthèse. Cet organisme parasite appartient à un groupe connu pour être responsable des coccidioses, une parasitose du tube digestif chez les oiseaux et divers mammifères, mais ne semble responsable d'aucune pathologie chez les coraux. Sa présence chez les coraux reste donc une énigme.

La découverte en 2008 chez des coraux australiens de *Chromera velia*, un proche parent des apicomplexés, relance le débat, car cet organisme unicellulaire possède quant à lui un véritable plaste photosynthétique fonctionnel. C'était la première fois que l'on identifiait un organisme photosynthétique si proche des apicomplexés. Cette découverte confirmait l'hypothèse que les apicomplexés avaient évolué à partir d'ancêtres



Phylogénie simplifiée des Apicomplexés et de leurs proches cousins.

photosynthétiques. Son rôle chez les coraux auxquels *Chromera velia* est associé n'est cependant pas connu. Il semble vivre, comme les zooxanthelles, à l'intérieur des cellules de son hôte. *Chromera velia* est aujourd'hui inclus dans un nouveau groupe, celui des Chroméridés, groupe frère des Apicomplexés, qui forme avec eux le taxon des Myzozoa. Il ne s'agit donc pas d'un vrai Apicomplexe.

Existait-il un intermédiaire entre *Chromera*, photosynthétique et proche parent des apicomplexés et les apicomplexés? C'est là que la découverte de Kwong et de ses collègues prend toute son importance. Tout d'abord, leur étude décrit un nouveau groupe d'Apicomplexés que les auteurs ont appelé Corallicolides (de *corallium*, corail et *colere*, habiter) en raison de leur localisation quasi exclusive au sein de l'écosystème corallien. Cette étude montre également que les corallicolides sont les seuls organismes capables de synthétiser de la chlorophylle sans être photosynthétiques eux-mêmes. Cette découverte n'est pas sans poser de problèmes car aucun rôle en dehors de la photosynthèse n'est connu pour la chlorophylle: alors à quoi sert-elle chez les corallicolides? Cette présence est d'autant plus

surprenante qu'une chlorophylle sans photosynthèse pour dissiper l'énergie captée, est une source de risques métaboliques majeurs pour une cellule. Enfin, cette étude montre que les corallicolides, bien que passés inaperçus jusqu'à aujourd'hui, sont pourtant très répandus dans l'écosystème corallien puisqu'identifiés dans 80 % d'un échantillon de coraux constructeurs de récifs analysé, soit dans 70 % des genres de coraux étudiés. Ils sont également présents chez les coraux profonds et chez de nombreux proches parents des cnidaires, comme les coraux mous ou les anémones.

Quel peut-être le rôle d'un organisme aussi abondant et spécifique aux cnidaires? Les corallicolides possèdent une distribution au sein du corail similaire à celle des zooxanthelles. Leur parenté avec les apicomplexés suggère qu'ils pourraient être des parasites, mais aucune pathologie ne semble être associée à ces organismes. Alors, un rôle de symbiote à l'instar de leurs cousines les zooxanthelles? Mais qui apporterait quoi? Comme toujours, toute nouvelle étude apporte plus de questions que de réponses. Les coraux sont l'exemple typique des symbioses mutualistes entre un hôte animal et

ses zooxanthelles, mais aussi avec de nombreux procaryotes et virus. On commence à peine à découvrir leur complexité, à tel point que l'on parle d'holobionte, une sorte de HLM vivant où l'ensemble des habitants coopère pour leur survie commune. On sait que la symbiose est le talon d'Achille des coraux, puisque c'est le réchauffement global qui est à l'origine de la rupture de cette symbiose et donc de leur blanchissement dans le monde entier, provoquant aujourd'hui leur mort. On peut imaginer que la découverte de Kwong et de ses collègues va stimuler la recherche dans les années à venir. Mais cette découverte ouvre également la porte à d'autres, fondamentales, sur l'évolution du parasitisme et de nouvelles recherches appliquées puisque l'apicoplaste est une cible majeure des traitements antipaludéens.

On le voit également, les apicomplexés semblent reliés aux milieux coralliens, soit à travers des associations parasitiques ou symbiotiques. Il est alors peut-être possible que les parasites apicomplexés modernes aient commencé leur évolution comme des symbiotes mutualistes du corail avant de se tourner vers le parasitisme... Une révolution dans la biologie. ■

Pour en savoir plus

- > **Allemand D. et Furla P., 2018** - "How does an animal behave like a plant? Physiological and molecular adaptations of zooxanthellae and their hosts to symbiosis", *Comptes Rendus biologies*, 341, p. 276-280.
- > **Kwong W. K. et al., 2019** - "A widespread coral-infecting apicomplexan with chlorophyll biosynthesis genes", *Nature*, 568(7750), p. 103-107.
- > **Moore R. B. et al., 2008** - "A photosynthetic alveolate closely related to apicomplexan parasites", *Nature*, 451(7181), p. 959-963.