



Un fumeur noir, au large des îles Galápagos, dans le Pacifique. Contre toute attente la vie y abonde.

J

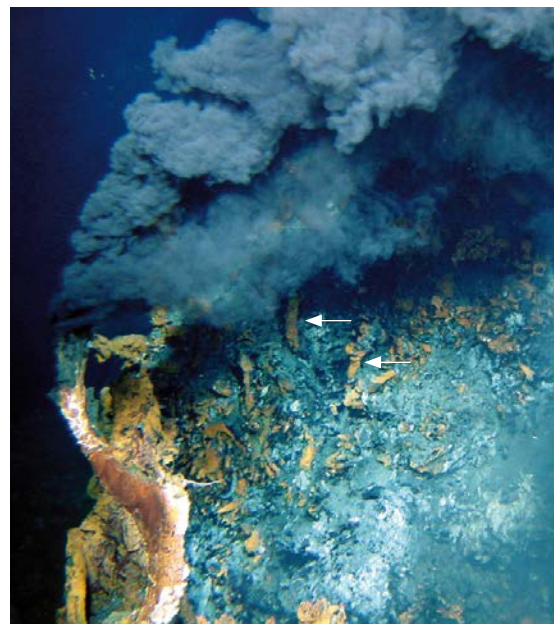
ardin de roses (*Rose Garden*), c'est ainsi qu'on a nommé la première source hydrothermale découverte. C'était en 1977, à 2500 mètres de profondeur, au large des îles Galápagos, sur la dorsale Est-Pacifique, où la remontée du magma engendre la croûte océanique. Ces sources d'eau réchauffée dans les entrailles terrestres confirmaient que la lithosphère et l'océan échangent de la chaleur. Cette observation constituait le but de l'expédition, mais celle-ci a tout de même réservé une surprise de taille: les sources hébergeaient une vie foisonnante (bivalves, crustacés, vers...), dont le gigantisme, pour certains, et l'abondance étaient totalement inattendus dans les abysses. Le nom traduit cette effervescence.

On ne s'attendait pas à trouver de la vie dans cet environnement extrême, et trop éloigné de la surface de l'océan pour autoriser la photosynthèse; les organismes utilisent d'ailleurs une autre source d'énergie, d'origine chimique.

En 1977, on n'a observé que des sources de fluide tiède, nommées sources diffuses, dont la température n'excède pas 30 °C, et qui s'échappent de crevasses entre des lobes de lave refroidie; avant de sortir, les fluides chauds y sont dilués par l'eau de mer froide (2 °C) qui circule dans le réseau de fractures du basalte. Deux ans plus tard, en 1979, on découvrait les fumeurs noirs, des «cheminées» dont le conduit central laisse échapper des fluides hydrothermaux à plus de 300 °C (*voir ci-contre*). Là encore, la vie foisonnait, que ce soit à l'intérieur des parois poreuses des cheminées ou sur leurs flancs. L'énergie utilisée par ces communautés est aussi d'origine chimique et elle abonde dans les fumeurs noirs.

Cependant, il ne suffit pas que l'énergie soit disponible, encore faut-il pouvoir l'exploiter, parfois dans des conditions de température et de toxicité particulièrement stressantes. Pour tirer profit d'un environnement aussi réactif et instable, quelles stratégies adoptent ces espèces?

Les sources hydrothermales ressemblent à des réacteurs chimiques où se rencontrent du fluide hydrothermal et de l'eau de mer, deux liquides dont les compositions sont notablement différentes. Les organismes tirent profit des déséquilibres qui en résultent. Le fluide



▼ d'hydrogène (H_2S ou HS^-), absent dans l'eau de mer où le soufre est présent uniquement sous sa forme la plus oxydée, le sulfate (SO_4^{2-}). L'eau de mer contient en effet de nombreux composés, comme l'oxygène et le nitrate (NO_3^-), capables d'échanger des électrons avec le sulfure, qui se transforme alors en sulfate.

Cette dernière réaction est favorisée lorsque le sulfure du fluide hydrothermal jaillit du sol et entre en contact avec l'eau de mer. Elle libère une quantité importante d'énergie, que les microorganismes exploitent. Certaines bactéries, dites sulfo-oxydantes, catalysent cette réaction, détournant à leur profit les électrons échangés et l'énergie libérée pour synthétiser des molécules d'ATP (adénosine triphosphate), vectrices de l'énergie au sein des cellules. Grâce à cette énergie, d'autres microorganismes, dits chimio-autotrophes, fabriquent des biomolécules à partir des composés inorganiques dissous dans l'eau de mer, comme le dioxyde de carbone (CO_2). Ils fournissent ainsi une ressource abondante à tout l'écosystème.

Comment expliquer la composition des fluides hydrothermaux ? Ceux-ci sont issus d'une transformation progressive de l'eau de mer (riche en sulfates), qui s'infiltre dans les fractures de la croûte océanique et réagit au contact des roches à haute température et forte pression – dans ces conditions, les sulfates captent des protons H^+ de leur environnement et arrachent des électrons aux métaux des roches pour former des sulfures –, avant de remonter vers la surface. En parallèle, le fluide s'acidifie et s'enrichit en composés volatils issus du magma, comme le CO_2 et parfois le dioxyde de soufre. De nombreux éléments incorporés dans les roches de la croûte océanique sont dissous par le fluide acide. Celui-ci emporte ainsi du silicium et de multiples

Le ver *Alvinella pompejana* (ci-dessus) survit sur les flancs des fumeurs noirs, au plus près des émanations, en construisant des tubes protecteurs (à droite, indiqués par des flèches). Au sein du tube règne un microenvironnement interne moins hostile. Des bactéries sulfo-oxydantes (les filaments blancs sur la photographie du médaillon) y prospèrent sur le dos d'*Alvinella pompejana*. Les vers *Riftia pachyptila* (les tubes rouges et blancs) atteignant deux mètres de longueur colonisent quant à eux les sources diffuses (page ci-contre). Ils vivent en symbiose avec des bactéries sulfo-oxydantes.

métaux (fer, manganèse, zinc, cuivre et, en quantités moindres, cadmium, plomb, mercure, arsenic, or et argent), dans des proportions variables selon son degré d'acidité et la nature des roches. La composition des fluides hydrothermaux varie donc d'une source à une autre.

À l'instar du sulfure, nombre de métaux des fluides réagissent avec les composés oxydants de l'eau de mer, offrant aux communautés microbiennes une grande diversité de sources d'énergie, dès lors qu'elles sont capables de concurrencer les réactions chimiques spontanées. Des écosystèmes variés se mettent alors en place autour des sources. Des colonies de microbes et d'animaux marins s'y distribuent, selon leur tolérance aux températures élevées et leur capacité à exploiter les ressources disponibles. Ainsi, entre les fluides brûlants des fumeurs noirs et ceux plus tièdes des sources diffuses se décline toute une gamme d'habitats et de communautés.

L'ENFER DES FUMEURS NOIRS

Aucun organisme ne tolère le contact direct avec les fluides des fumeurs noirs, dont la température atteint 410°C . Cependant, leur voisinage est un peu moins hostile, grâce aux métaux dissous transportés par le fluide : ceux-ci se solidifient au contact de l'eau de mer froide, isolant le fluide chaud par une paroi minérale. Les sulfures de cuivre, de fer et de zinc constituent ainsi des conduits de cheminée. Le fluide chaud qui s'en échappe au sommet forme un panache sombre chargé de particules de ces mêmes sulfures métalliques. La fraction la plus fine, composée de nanoparticules, serait transportée sur de grandes distances. Plus encore, Joseph Resing, de l'université de Washington, et ses collègues, ont récemment montré que le fer, mais aussi le manganèse et l'aluminium,