



Géochimie des sources hydrothermales

Auteur : Nadine LE BRIS

Professeur, université Pierre et Marie Curie, Laboratoire d'Écogéochimie des environnements benthiques, Banyuls-sur-Mer

Où trouve-on les sources hydrothermales ?

Les sources « hydrothermales » sont des sorties de fluides sur les fonds marins, dont la température est supérieure à celle de l'eau environnante. Ces émissions témoignent de la circulation de l'eau de mer au travers des roches fracturées sous l'influence d'une source de chaleur. Si leur existence sur les flancs immergés de volcans est connue depuis toujours, ce sont les sources des grandes profondeurs océaniques qui mobilisent surtout les scientifiques. À la fin des années 1970, la découverte des « fumeurs noirs », dont s'échappent des fluides à des températures extrêmes pouvant atteindre 410 °C, a mis l'accent sur des phénomènes géochimiques et des écosystèmes jusqu'alors inconnus.

La plupart des champs hydrothermaux découverts à ce jour sont localisés sur des zones de remontées de magma, à la jonction de plaques tectoniques. L'activité hydrothermale s'y concentre sur des sites distants de quelques dizaines de mètres à quelques kilomètres, caractérisés par de multiples sorties de fluides. À ce jour plus de 200 champs hydrothermaux ont été inventoriés, sur les dorsales médio-océaniques ou en arrière des arcs volcaniques près des zones de subduction, et ce jusqu'à 5 000 mètres de profondeur. L'inventaire est encore très largement incomplet, mais l'exploration des océans et de nombreuses mers du globe s'accélère grâce aux efforts d'un nombre croissant de pays aujourd'hui équipés de robots submersibles.

Fluides acides et réducteurs, transport et accumulation de métaux

Si la composition géochimique des fluides hydrothermaux est très variable, ils partagent à quelques exceptions près des caractéristiques communes : acidité, propriétés « réductrices », caractérisées par l'absence d'oxygène, et surtout fortes concentrations en sulfure et en métaux. Les réactions chimiques qui conduisent à la réduction complète du sulfate, l'un des ions majeurs de l'eau de mer, en sulfure et à la dissolution de métaux constitutifs des roches ont été décrites par les géochimistes. Parmi ces métaux, le fer, métal le plus abondant des roches formant le plancher océanique, mais aussi le manganèse, le zinc, le cuivre et, en proportions plus réduites, toute une gamme de métaux : cadmium, plomb, cobalt, nickel, or et argent, etc. La grande diversité de la composition chimique des fluides reflète en premier lieu les différents types de roches avec lesquelles ils interagissent : basalte formant la croûte océanique, roches volcaniques des zones de subduction, ou encore roches du manteau terrestre. Ces concentrations dépendent aussi de phénomènes physiques à hautes pression et température, qui conduisent à la séparation d'une fraction enrichie en métaux, d'une fraction plus légère enrichie en gaz dissous, dont le CO₂ issu du magma. Les éruptions volcaniques sont également connues pour influencer fortement la composition des fluides.

Le mélange et l'échange de chaleur entre ces fluides et l'eau de mer déclenchent un ensemble de réactions chimiques, dont la plus remarquable est la précipitation de sulfures métalliques à partir de sulfure d'hydrogène (H₂S) et des métaux dissous. Le panache des « fumeurs noirs » est composé principalement de particules de sulfures de fer et d'autres métaux qui se dispersent dans l'océan. Ces cheminées minérales sont formées elles aussi de sulfures de zinc, de fer associé ou non au cuivre (pyrites et chalcopyrites), piégeant d'autres métaux du fluide. L'activité d'une cheminée hydrothermale est éphémère, estimée à environ une dizaine d'années sur une dorsale à fort taux d'expansion (telles que la dorsale est-pacifique) ou

l'activité magmatique est importante. Sur certaines dorsales à faible taux d'expansion dites « lentes », l'activité hydrothermale plus continue peut conduire à l'accumulation progressive de minéraux sulfurés et former de véritables monts sous-marins. Ce sont ces zones inactives qui sont aujourd'hui la cible de projets d'extraction de minerai en grande profondeur.



Figure 1 : Fumeur noir sur la dorsale est-pacifique à 2 600 mètres de fond, formé de sulfures de fer, cuivre et zinc, et dont s'échappe un panache de particules minérales (PHARE2002 Ifremer).

Sources d'hydrogène et de méthane et origine de la vie

Lorsqu'elle entre en contact avec les minéraux qui composent les roches du manteau terrestre, l'eau réagit pour former de l'hydrogène. Ce phénomène est nommé serpentinitisation, du nom de la roche formée par cette altération, la serpentine. Il se reflète par un fort enrichissement des fluides hydrothermaux en hydrogène, ainsi qu'en méthane par réaction de l'hydrogène avec le CO₂. Depuis 1994, de nombreux champs hydrothermaux possédant cette signature ont été découverts, notamment sur les dorsales « lentes », découpées par de larges failles qui font remonter les roches du manteau. Même en l'absence d'influence magmatique, la chaleur dégagée par ces roches, à laquelle contribue d'ailleurs la réaction exothermique de serpentinitisation, suffirait à alimenter la circulation hydrothermale. C'est ce que suggère la découverte fortuite en 2000 d'une forme nouvelle d'hydrothermalisme, sur un flanc de la dorsale médio-atlantique. Très alcalins (jusqu'à pH 10) et ne dépassant pas 90 °C, les fluides appauvris en métaux et riches en hydrogène et en méthane contrastent avec ceux de l'axe des dorsales. La présence d'une diversité de molécules organiques dans ces fluides alimente les réflexions sur le rôle des sources hydrothermales dans les origines de la vie sur Terre. Cette découverte élargit considérablement la distribution géographique potentielle des sources hydrothermales profondes, jusqu'aux grandes fosses océaniques.

Les écosystèmes hydrothermaux

Bactéries et Archae colonisent ces parois minérales. La rencontre de l'eau de mer et du fluide offre, en effet, aux micro-organismes chimiolithoautotrophes capables de croître à partir du CO₂ et autres composés inorganiques, toute une gamme de réactions chimiques d'oxydoréduction, dont ils sont capables d'utiliser l'énergie. Certains micro-organismes se développent à haute température (environ 120 °C pour la souche la plus tolérante) et en l'absence d'oxygène, en utilisant comme oxydant les sulfates de l'eau de mer, certains minéraux des cheminées ou même le CO₂ présent dans le fluide. Si ces hyperthermophiles constituent un réservoir unique de connaissances, notamment concernant l'adaptation de leurs fonctions métaboliques et l'évolution de leurs génomes, leur biomasse reste faible.

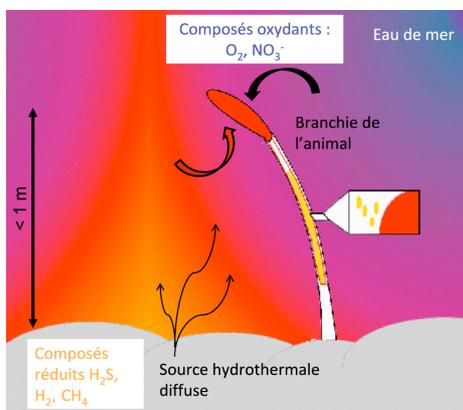


Figure 2 : Schéma de la zone de mélange formant l'habitat caractéristique de nombreuses symbioses hydrothermales, dont l'espèce emblématique *Riftia pachyptila* associée à une bactérie sulfo-oxydante (N. Le Bris/P. Henri, UPMC).

Les émissions hydrothermales diffuses, dont la température n'excède celle de l'eau de mer que de quelques degrés, créent au contraire des conditions optimales à l'installation de communautés biologiques particulièrement productives. Formés par dilution dans l'eau de mer sous le plancher océanique, ces fluides permettent les réactions les plus énergétiques telles que l'oxydation du sulfure d'hydrogène ou du méthane par le dioxygène. Ces réactions sont la source d'énergie principale des écosystèmes dits « hydrothermaux » dont les espèces emblématiques d'invertébrés marins forment des symbioses avec des bactéries. Comme les fumeurs noirs, ces écosystèmes sont remarquables, autant pour les gradients extrêmes de température, de toxicité ou d'hypoxie auxquels sont parfois confrontés les organismes, que pour l'instabilité d'un environnement soumis à de fortes perturbations volcaniques et sismiques. La capacité des communautés à recoloniser leur habitat dépend de relations étroites entre géochimie des fluides et diversité biologique, qui restent à élucider pour mieux apprécier les impacts de l'exploitation des ressources minérales dans ces environnements.

Pour en savoir plus :

- [1] Beaulieu S.E. (2010). *InterRidge Global Database of Active Submarine Hydrothermal Vent Fields: prepared for InterRidge*. Version 2.0. World Wide Web electronic publication.
<http://www.interridge.org/IRvents>
- [2] Y. Fouquet & D. Lacroix (2012). *Les ressources minérales marines profondes. Étude prospective à l'horizon 2030*. Éditions QUAE 2012, Collection « Matière à débattre et décider », 176 p.
- [3] *Biofutur*, n° 336, octobre 2012. Dossier : Vivre dans les milieux extrêmes.
- [4] Le Bris N. (2011). Des jardins de roses au fond des océans. *Pour la Science*, Dossier n° 73 : Les Océans : Le nouveau monde de la chimie durable, oct.-nov. 2011.