

Role de la Vie dans la genese des roches

Tristan FERROIR

May 15, 2008

Introduction

La date d'apparition de la Vie sur Terre continue à faire débat et les difficultés actuelles sont d'identifier ce qui est d'origine biotique ou non. C'est par des méthodes plus ou moins indirectes qu'on se lance à la recherche de ces premières traces de Vie. Dans tous les cas, ces traces sont des marques chimiques ou morphologiques dans des roches. Ceci signifie donc que la Vie a une interaction étroite avec les roches, peut y laisser des empreintes voire modifier ou meme participer à la création de sédiments. La Vie, est un aussi en déséquilibre constant avec le milieu qui l'entoure et induit donc des modifications dues à son activité propre ou à la formation de certaines de ses structures. La Vie participe globalement à la genèse de roche selon 3 moyens que nous développeront ici :

- La Vie modifie son environnement et peut induire la formation de roches et de minerais
- La Vie produit directement ou indirectement un certain nombre de matières minérales qui lui sont nécessaires et qui peuvent se fossiliser
- La Vie, caractérisée par un assemblage de molécules organiques va aussi pouvoir etre dégradée et former des roches carbonées.

Dans tous les cas, la nature, la structure et la forme des roches conservent des traces de la Vie qui les a créées.

I La Vie entraine une modification de l'environnement conduisant à la formation de roches

A Importance de la photosynthèse dans la formation des roches "primitives"

- Formation des BIFs
- Formation des stromatolithes (communauté complexe : bactéries autotrophes, algues eucaryotes, bactéries hétérotrophes et cyanobactéries)

D'une manière générale, on peut classer l'ensemble des dépôts formés par des algues en trois grandes catégories: les accumulations d'algues squelettiques, les tufs algaires et les carbonates cryptalgaires, c'est-à-dire les sédiments carbonatés où la

minéralisation est essentiellement d'origine allochimique (piégeage de grains carbonatés, dégradation de la matière organique,...) et où les algues et les cyanobactéries jouent un rôle de piégeage de matériau. Les tapis algaires à l'origine des stromatolithes peuvent être considérés comme des communautés complexes composées de bactéries autotrophes, d'algues eucaryotes, de bactéries hétérotrophes et d'algues bleuvert ou cyanobactéries, ces dernières étant les organismes de loin les plus abondants.

Les laminations peuvent être dues à : une différence de croissance algale au cours d'un cycle jour-nuit; un changement périodique de l'algue dominante la population lié à une variation périodique des facteurs du milieu (humidité, salinité...); une calcification périodique à la surface du tapis; un apport de matériel détritique...

Stratification biologique : sable - bact hétérotrophes anaérobies - photosynthèse anaérobie - photosynthèse aérobie (cyanobactéries)

Ecologie

Les tapis algaires actuels colonisent la zone intertidale des plateformes carbonatées, avec une extension possible vers les zones supratidale et subtidale (Purser, 1980). Leur répartition et leur étendue dépendent de facteurs climatiques, biologiques et mécaniques: l'action des bro'uteurs et des fousseurs qui, présents en zone intertidale ou/et subtidale, y détruisent les tapis algaires; la possibilité de cimentation précoce qui, en consolidant le stromatolithe, limite l'action des organismes fousseurs et bro'uteurs et permet donc l'extension en zone subtidale; l'hypersalinité, qui élimine ou restreint la faune marine, permettant ainsi aux tapis de s'étendre vers la zone subtidale. L'hypersalinité a également pour effet d'éliminer les tapis algaires de la zone supratidale (cristallisation d'évaporites au sein des tapis avec destruction des tissus); l'action destructrice des vagues et des courants qui limite l'extension des tapis vers la mer et de même, la déflation éolienne s'exerçant sur les tapis séchés et craquelés qui limite leur extension vers le continent; l'humidité du climat (les précipitations) qui favorise l'extension des tapis algaires en zone supratidale.

- Stratification biologique : sable - bact hétérotrophes anaérobies - photosynthèse anaérobie - photosynthèse aérobie (cyanobactéries)

B Réduction de certains composés en place

- Soufre, uranium

Dans les sédiments marins, le soufre est généralement disponible par la réduction bactérienne des sulfates et c'est la pyrite ou la marcassite qui se forment

$$4 \text{ FeOOH} + 4 \text{ SO}_4^{2-} + 9 \text{ CH}_2\text{O} \longrightarrow 9 \text{ HCO}_3^- + \text{H}^+ + 6 \text{ H}_2\text{O} + 4 \text{ FeS}$$

Bauxite

II Les roches dérivées des squelettes des êtres vivants

A Vie et saturation des milieux

- Notion de Ks et Qs. Sursaturation pour les carbonates dus à la Vie en surface

- CCD (Aragonite et Calcite). Variation en fonction de T, production primaire...
- Sous saturation en silice quelle que soit la profondeur

B Role de la Vie dans la genese des roches carbonatées

- Role des organismes constructeurs : récifs (barrière, atolls) + diversité des coraux en fonction de la période (Tabulés, Rugueux, Sclératinières) + de la forme des organismes en fonction de l'éclairement et de l'enfouissement + Rudistes

- la stabilisation: cette phase correspond à la fixation du substrat par un certain nombre d'espèces ubiquistes (crinoïdes, bryozoaires branchus, éponges...);

- la colonisation: c'est une phase de courte durée, marquée par l'apparition d'espèces constructrices, certaines déjà caractéristiques;

- la diversification: on observe une nette augmentation du nombre d'espèces et l'apparition de communautés différenciées et spécialisées; cette phase forme la majeure partie des édifices;

- la domination: cette phase surmonte abruptement la phase de diversification et est caractérisée par une nette diminution du nombre d'espèces. Quelques organismes, généralement encroûtants dominent.

- Microfossiles calcaires : foraminifères (étude de la taille, de la morphologie, de la nature du test), coccolithes, ostracodes

- 3 types de fixation du CaCO_3

La cimentation est le processus "classique" de précipitation physico-chimique de carbonate, sans qu'interviennent des processus organiques (hormis certains effets indirects comme l'extraction de CO_2 par photosynthèse, par exemple)

la biominéralisation correspond à une précipitation sous le contrôle de processus vitaux, à l'intérieur ou à l'extérieur de cellules vivantes (exemple: la formation d'un test carbonaté). La biominéralisation est active dans la pellicule vivante, superficielle du monticule

l'organominéralisation est la précipitation de carbonate à l'intervention de molécules issues de la dégradation de la matière organique l'organominéralisation se produit au sein du sédiment.

C Role de la Vie dans la genese des roches siliceuses

- Rappeler la sous-saturation des milieux
- Essentiellement diatomites et radiolarites. On peut faire un frottis de diatomite ce qui permet de montrer aux élèves la relation roche macro- roche micro
- Le frottis permet de montrer que le squelette est amorphe
- Les radiolarites sont des roches dans lesquelles la silice a été apportée par des tests de radiolaires. On retrouve la trace de ces protozoaires du groupe des Actinopodes en

lame mince, parfois admirablement conservée, noyée dans un ciment de calcédoine ou de quartz microcristallin. Certaines radiolarites, comme celles, tertiaires, de la Barbade, apparaissent comme l'équivalent des boues à radiolaires actuelles qu'on rencontre par des fonds de 2 000 à 6 000 m dans les océans Indien et Pacifique, d'abord mêlées à des boues calcaires, puis de plus en plus pures (vers 4 000 m) par suite de la dissolution progressive de tous les éléments carbonatés.

D'après leur structure, on distingue trois groupes de radiolarites : les jaspes, les lydiennes et les phtanites.

Les jaspes sont généralement colorés en rouge ou en noir par des oxydes de fer et de manganèse, quelquefois mouchetés de vert et parfois rubanés. Leur bel aspect décoratif justifie leur emploi en architecture (chapelle des Médicis à Florence, escaliers de l'Opéra de Paris) et en joaillerie (calcédoine). Ils affleurent dans la plupart des chaînes géosynclinales, en particulier dans les Alpes (radiolarites stricto sensu des géologues alpins), où ils sont associés aux roches vertes (ophiolites) dans les schistes lustrés déposés sous forme de calcschistes au Jurassique supérieur dans la zone piémontaise. Les jaspilites désignent des roches présentant des lits alternés de jaspe et d'hématite (Précambrien du lac Supérieur). Le terme jaspéroïde s'applique à des lits silicifiés dans les mines de zinc du Missouri, du Kansas et de l'Oklahoma.

Les lydiennes (de Lydie, province d'Asie Mineure) sont des radiolarites entièrement noires : leur matrice quartzeuse micro-cristalline est obscurcie par un pigment d'origine organique, et les vestiges de radiolaires sont plus difficiles à identifier. Très dures, les lydiennes sont employées comme pierre de touche pour les essais de métaux précieux. On en trouve en France dans le Carbonifère de la Montagne Noire et des Pyrénées.

Les phtanites sont des radiolarites fortement recristallisées en quartz, souvent colorées en vert pâle par de la chlorite, de l'épidote, ou des oxydes de fer, parfois graphiteuses (début de métamorphisme). Dans le Dévonien-Dinantien de la vallée de la Bruche (Vosges), elles sont associées à des grauwackes et à des tufs volcaniques.

- Les diatomites sont des roches blanches, grises, verdâtres ou jaunâtres, légères (densité voisine de 1), à porosité très élevée, tendres (les seules roches siliceuses consolidées rayables à l'ongle), bien que rugueuses au toucher, formées essentiellement par l'accumulation de tests ou frustules de diatomées (Bacillariophycées), algues unicellulaires siliceuses. Les diatomées vivent aussi bien dans les eaux douces que dans la mer, il existe à la fois des diatomites lacustres et des diatomites marines. À l'heure actuelle, les boues à diatomées se déposent dans toutes les mers, mais plus particulièrement dans les mers froides et au fond des grandes fosses océaniques.

Les diatomites sont encore connues sous les noms de farine fossile, farine de montagne, terre à infusoires, tripoli (de Tripoli au Liban) et kiesselguhr. La

diatomite est utilisée comme abrasif (tripoli). A cause de sa forte porosité, Nobel l'employa comme absorbant de la nitroglycérine, pour fabriquer la dynamite. Aujourd'hui, on l'utilise surtout en sucrerie, raffinerie, brasserie, industrie pharmaceutique (pénicilline) comme adjuvant de filtration et de clarification. On l'exploite en France sur les flancs de la montagne d'Andance (Ariège), où elle s'est déposée dans un lac de barrage dû à une coulée basaltique au Miocène supérieur (présence d'Hipparion). Lorsque la diatomite est mélangée à de l'argile, elle sert à fabriquer des briques calorifuges. Une autre diatomite lacustre a été exploitée au voisinage de la chaîne des Puys : c'est la randanite, de l'ancien lac de Randanne (Puy-de-Dôme).

D Role de la Vie dans la genese des phosphorites

- les phosphorites nodulaires dues à la présence de courants d'upwelling, riches en nutriments, favorisant des proliférations de phytoplancton. On peut supposer que périodiquement, ces proliférations provoquent une mortalité massive des poissons, avec apport d'os et de matière organique riche en phosphore dans le sédiment.
- le guano: les déjections d'oiseaux et, dans une mesure moindre, de chauves-souris, peuvent dans certaines circonstances, former des gisements de phosphate d'intérêt économique. La percolation dans le soubassement carbonaté des solutions dérivées du guano peut être responsable d'une phosphatisation secondaire.

III Les roches dérivées de la matière organique

A Présentation de la matière organique des roches et des roches carbonées

- Roches carbonées : houilles, lignites, tourbes, pétrole, gaz, ambre
houilles-charbon : dus à l'action microbienne anaérobie qui détruit la cellulose
tourbe : tourbière basse : vallée à fond plat des pays calcaires : certaines mousses meurent et se tassent à leur base pendant qu'elles se développent à la partie supérieure.
Tourbière haute : milieu réducteur anaérobie nécessitant de l'eau acide : substratum granitique ou siliceux. Conserve des cadavres (Daim en Irlande du Nord, Homme au Danemark)
ambre : résine fossile (C₁₀H₁₆O) renfermant un faible pourcentage d'acide succinique. En Pologne, très beaux insectes et poissons.
- Quelques composants du pétrole provenant de la chlorophylle
- M.O. : asphaltène, résine, HC aromatiques, HC saturés

B Origine de la matière organique et évolution au cours de l'enfouissement

- Importance de la conservation : profondeur et vitesse du dépôt (durée d'action de la colonne d'eau), granulométrie, oxydoréduction

- Diagenèse (intervention de bactéries, catagenèse, métagenèse) Première étape - accumulation de matière organique

En règle générale, la biosphère recycle la quasi-totalité des déchets qu'elle produit. Cependant, une petite minorité de la matière "morte" sédimente, c'est-à-dire qu'elle se dépose et est enfouie avec de la matière minérale, et dès lors coupée de la biosphère. Ce phénomène concerne des environnements particuliers, tels que les endroits confinés (lagunes, deltas...), surtout en milieu tropical et lors de périodes de réchauffement climatique intense (comme le silurien, le jurassique et le crétacé), où le dépôt de débris organiques dépasse la capacité de recyclage de l'écosystème local. C'est durant ces périodes que ces sédiments riches en matières organiques (surtout des lipides) s'accumulent.

Deuxième étape - maturation de la matière organique Au fur et à mesure que de nouvelles couches de sédiments se déposent au dessus de cette strate riche en matières organique, la roche-mère ou roche-source, voit ses conditions de température et de pression augmenter. La matière organique se transforme d'abord en kérogène, un extrait sec disséminé dans la roche sous forme de petits grumeaux. Si la température devient suffisante (le seuil est à au moins 50° C, généralement plus selon la nature de la roche et du kérogène), et si le milieu est réducteur (pauvre en oxygène, dans le cas contraire le kérogène sera simplement oxydé), le kérogène sera pyrolysé de façon extrêmement lente. Le kérogène produit du pétrole et/ou du gaz naturel, qui sont des matières plus riches en hydrogène, selon sa composition et les conditions d'enfouissement. Si la pression devient suffisante ces fluides s'échappent, ce qu'on appelle la migration primaire. En général, la roche source a plusieurs dizaines, voire centaines de millions d'années quand cette migration se produit. Le kérogène lui-même reste en place, appauvri en hydrogène.

Troisième étape - piégeage des hydrocarbures Quand aux hydrocarbures expulsés, plus légers que l'eau, ils s'échappent en règle générale jusqu'à la surface où ils sont oxydés, ou biodégradés (ce dernier cas donne des sables bitumineux), mais une minime quantité est piégée : elle se retrouve dans une zone perméable (généralement du sable, des carbonates ou des dolomites) qu'on appelle la roche-réservoir, et ne peut s'échapper à cause d'une couche imperméable (composée d'argile, de schiste et de gypse), la roche piège formant une structure piège. Il existe plusieurs types de pièges. Les plus grands gisements sont en général logés dans des pièges anticlinaux. On trouve aussi des pièges sur faille ou mixtes anticlinal-faille, des pièges formés par la traversée des couches par un Dôme salin, ou encore créés par un Récif corallien fossilisé.

- Diagramme de Von Krevelen

Conclusion

La Vie participe à la formation de roches de différentes façons : d'une part en induisant la précipitation de certains composés en modifiant l'environnement, en sécrétant ou en

profitant de la saturation du milieu en formant ainsi leurs tests et enfin en étant la matière première des roches carbonées. La recherche de la Vie extraterrestre passe par la recherche des roches formées de façon plus abondante à savoir les carbonates : c'est ce qui est activement recherché sur Mars. La Vie laisse aussi dans les sédiments certaines traces de son activité, outre les bioturbations, certaines marques isotopiques, notamment les rapports C12/C13 donnent un des caractéristiques de la photosynthèse et du type de photosynthèse. De tels marqueurs géochimiques sont étudiés sur les sédiments métamorphisés du Groënland pour essayer de dater l'apparition de la Vie sur Terre.

Biblio

Titre, ouvrage – Interet