

Étude expérimentale de la formation des solutions métallifères sous hautes pressions et températures élevées

PAR K. M. FÉODOTIEV,

Institut de géologie des gîtes, de pétrographie, minéralogie et géochimie
de l'Académie des Sciences de l'U. R. S. S., Moscou.

Résumé. — Action de solutions de chlorure de sodium à des températures voisines de 700° C sous des pressions pouvant atteindre 1 350 bars sur un verre aluminosilicique contenant du molybdène. Le verre cristallise en albite tandis que le molybdène passe en solution.

Abstract. — Action of sodium chloride solutions at temperatures near 700° C under pressures up to 1,350 bars on an aluminosilic glass containing molybdenum. The glass crystallizes into albite whereas molybdenum goes into solution.

On admet généralement que la formation, dans l'écorce terrestre, des solutions qui peuvent transporter des éléments chimiques, est associée à la fusion magmatique, qui, au refroidissement, donne naissance aux solutions pneumatolytiques saturées en constituants essentiels des roches autant qu'en éléments minéralisateurs. Ces solutions se transforment en liquides et réagissent ensuite avec les roches et précipitent les minéraux favorisant la mise en place des filons et autres corps métallifères. Ce procédé, très vraisemblable, n'est pas contesté.

Il existe néanmoins un autre mécanisme de formation des solutions dans les grandes profondeurs de l'écorce terrestre qui est lié avec un nombre de transformations subies par les roches en cours de leur subsidence due à la tectonique profonde. Les expériences effectuées dans le but d'expliquer l'action de l'eau sur les minéraux et les roches (Ovtchinnikov *et al.*, 1966 ; Féodotiev, 1962 ; Khitarov, 1953, 1958, 1961 ; Morey, Hesselgesser, 1951, etc.) démontrent l'instabilité des minéraux essentiels dans les conditions d'un milieu aqueux chauffé sous haute pression. Les expériences que Winkler (1957) a réalisées pour préciser l'action de l'eau et des solutions aqueuses des sels sur des argiles de composition variée, ont confirmé le processus des transfor-

mations métamorphiques des roches et fixé les limites de température pour certains faciès métamorphiques. Pourtant, ce travail bien intéressant révèle un manque d'analyse sur le procédé lui-même de la formation d'une solution hydrothermale ; l'étude est consacrée uniquement au problème de la pétrogenèse.

Cependant les résultats des expériences actuellement obtenus font pencher les chercheurs pour la genèse métamorphique possible des solutions hydrothermales (Saoukov, 1960 ; Smirnov, 1965 ; Soudovikov, 1955, *et al.*). Compte tenu que l'étape sédimentaire lithogénétique amène, dans la plupart des cas, à la différenciation des constituants, à leur concentration locale, dans divers points du globe — de tels exemples sont bien connus — on doit admettre l'existence d'endroits qui favorisent la mobilisation ultérieure de la substance métallifère, soumise à l'action hydrothermale, et le dépôt définitif des concentrations de minerais.

Pourtant les études expérimentales confirmant un tel procédé font défaut. Les travaux qui abordent avec plus ou moins de détails les questions expérimentales de la formation des solutions hydrothermales sont consacrés, en règle générale, au problème de la solubilisation des constituants essentiels. Ceci permet de conce-

voir le taux d'échange pour un certain nombre d'éléments chimiques provenant des minéraux des roches. Mais cela ne suffit pas pour juger de la formation d'une solution métallifère.

Nos expériences ont pour but de combler quelque peu cette lacune et de fournir quelques données permettant d'estimer la transition des constituants métallifères en solution hydrothermale renfermant le chlorure de sodium et s'approchant, du point de vue de la composition, de celle du milieu naturel.

Trois facteurs essentiels sont indispensables pour la formation d'une solution hydrothermale dans l'intérieur de l'écorce terrestre : présence d'eau (ou de solutions aqueuses), température et pression élevées.

Le géochimiste A. A. Saoukov (1960) a démontré par ses calculs qu'un km³ de roches argileuses de densité 2,5 et teneur en eau 5 %, par chauffage dans la profondeur de l'écorce terrestre perd 4 % d'eau et peut libérer 10⁸ tonnes d'eau. Donc, les couches épaisses des roches renferment assez d'eau pour former les solutions hydrothermales.

De nombreux chercheurs ont démontré qu'à l'intérieur de l'écorce terrestre, vers 3,5-5 km de profondeur, on trouve des températures voisines de 200° C. Comme la température augmente assez régulièrement avec la profondeur, par simple extrapolation, la température des niveaux profonds de 10 km peut être estimée voisine de 500 à 600° C. De pareilles valeurs sont indubitablement réelles pour les zones mobiles du globe. La pression des solutions, à ces mêmes niveaux profonds de 10 km, n'excède pas 3 000 bars.

Les valeurs ci-dessus nous donnent les valeurs maximales des paramètres indispensables pour la réalisation des expériences.

EXEMPLES DES SOLUTIONS
REPRODUITES AU LABORATOIRE
LORS DU TRAITEMENT DES ROCHES
ET DES MINÉRAUX PAR L'EAU CHAUFFÉE.

En guise de premiers travaux sur la reproduction synthétique d'une solution hydrothermale, on peut citer l'étude par Morey et Hesselgesser (1951), qui traite de la solubilité de certains minéraux sous l'action de la vapeur surchauffée. La figure 1 montre les courbes (tracées d'après les données des auteurs ci-dessus) de transformation à 500° C d'une silice provenant de quartz, et dont la transition en solution aqueuse dépend de la pression de la vapeur d'eau. A cette température donnée, on trouve dans un litre de la

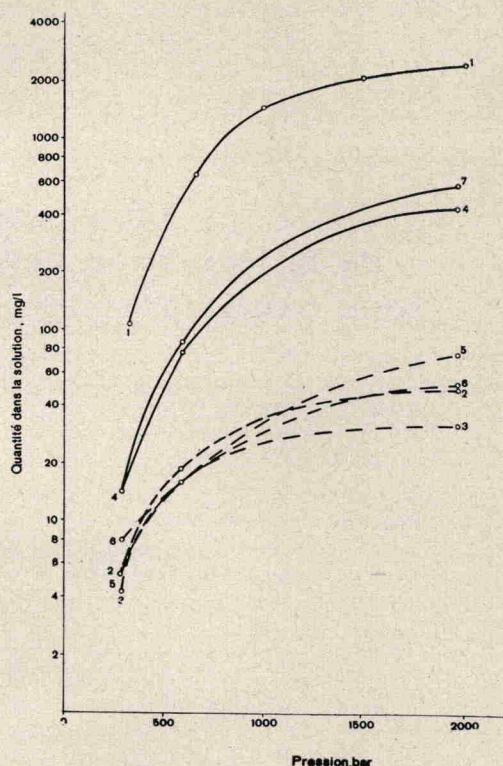


FIG. 1. — Transition des minéraux constituants des roches en solution sous l'action de l'eau chauffée isothermiquement sur le quartz et le labrador.

1 : Si provenant du quartz à 500° C ;
provenant du labrador : 2 : Na, 400° C ; 3 : Al, 400° C ;
4 : Si, 400° C ; 5 : Na, 600° C ; 6 : Al, 600° C ; 7 : Si, 600° C.

solution, selon la pression, plus de 2 g de Si. L'augmentation de la pression de 300 à 2 000 bars fait croître la concentration de la silice dans la solution, dans le rapport 1 à 20. N. Khitarov (1958) introduisit la notion de stabilité des minéraux sous l'action de l'eau à haute température. Il a démontré que le quartz est le moins stable des minéraux essentiels.

Sur le diagramme de la figure 1 on peut voir de plus les courbes tracées d'après Khitarov (1961) et Popov (1962) qui montrent la transition du sodium, de l'aluminium et du silicium provenant d'un labrador (50 % An).

Deux isothermes furent tracées pour ce minéral : à 400 et à 600° C. Elles s'approchent de celle du quartz par leur forme, mais les quantités absolues des constituants solubilisés sont, naturellement, moins importantes. La tendance générale du procédé reste invariable : avec l'augmentation de la pression la quantité de constituant solubilisé devient plus grande.