

LE MARÉCHAL A. — Géologie et géochimie des sources thermominérales du Cameroun, thèse Univ. Paris VI, le 6 mars 1974.

геология и геохимия термоминеральных источников камеруна

Изученная географическая область включает центральную (Адамауа), и западную части Камеруна.

RÉSUMÉ. — Le domaine géographique de l'étude comprend le Centre (Adamaoua) et l'Ouest du Cameroun.

Après une brève présentation de la géographie physique régionale, les données géologiques essentielles sont rappelées dans *la première partie* : presque partout affleurent des roches cristallophylliennes et éruptives d'âge précambrien à cambrien d'une part et tertiaire d'autre part. Elles sont partiellement recouvertes par le bassin sédimentaire côtier de Douala au Sud-Ouest et par des bassins sédimentaires continentaux d'origine structurale. Une activité volcanique importante s'est manifestée à partir du Tertiaire jusqu'à l'époque actuelle suivant trois processus distincts : un volcanisme fissural est à l'origine de plusieurs trapps basaltiques, un volcanisme central avec formation de quelques grands appareils qui ont émis des roches rhyolitiques et trachytiques, enfin un volcanisme central avec de nombreux petits puys à émissions basaltiques. Une carte en couleurs à 1/1 000 000 rend compte de ces données.

Une autre carte à la même échelle rassemble les éléments structuraux : directions du socle, massifs plutoniques tertiaires, failles et mylonites, appareils volcaniques, réseau hydrographiques et griffons des sources thermominérales. Les régions étudiées ont été soumises à des efforts tectoniques de compression qui se sont traduits par d'importants décrochements notamment le décrochement dextre du Sud de l'Adamaoua qui pourrait être d'environ 150 km. Les fractures de compression ont ensuite joué en failles de distension et sont responsables du modelé très caractéristiques en horst et graben ou demi-graben. Ces accidents et les alignements des autres éléments structuraux ont des orientations constantes et en nombre réduit.

La deuxième partie présente l'inventaire des sources thermominérales et l'étude des propriétés physicochimiques des eaux. L'inventaire comprend 150 sources dont 115 ont été étudiées. Après avoir envisagé les différentes origines possibles des eaux souterraines, l'origine en majeure partie météorique des eaux thermominérales est admise. On en déduit le modèle de leur circulation souterraine : circuit en forme de siphon où les gaz jouent un rôle essentiel dans la dynamique de l'eau.

Certaines émergences ont servi à définir des failles que rien d'autre ne signalait et toutes caractérisant des fractures de distension. Plusieurs sources sont marquées par des dépôts de travertins calcaires ou siliceux, presque toujours ferrugineux. Les résultats de l'étude de la saturation des eaux en carbonate de calcium sont en accord avec l'existence des dépôts calcaires.

Vingt-six sources thermales ont été dénombrées ; leurs températures vont de 26 à 74 °C. Elles sont associées soit à l'activité volcanique quaternaire, soit aux failles dont les rejets sont les plus grands. L'influence du gradient géothermique normal peut suffire à expliquer la thermalité des eaux et les températures peu élevées indiquent des circulations peu profondes.

— Les minéralisations s'échelonnent de 50 mg/l (eau pure chargée de CO₂ dissous) à plus de 60 g/l (eau ayant lessivé des couches salifères). La mesure de la conductivité électrique à 25 °C (E.C.) en micromhos/cm permet d'estimer la valeur de la minéralisation globale (M) en mg/l des eaux bicarbonatées au moyen de la relation $M = E.C.$ pour des valeurs de E.C. comprises entre 10² et 10⁴ micromhos/cm.

— Les gaz libres qui accompagnent la plupart des eaux n'ont pas été étudiés. La seule analyse disponible montre une très forte proportion de CO₂. Des données provenant d'autres régions du globe permettent de penser que l'azote est le constituant essentiel des gaz d'autres sources notamment des sources sulfatées.

Parmi les gaz dissous CO₂ est toujours présent tandis que H₂S a été décelé quatre fois. L'origine profonde des gaz ne fait pas doute compte tenu de l'environnement géologique (roches cristallines et cristallophylliennes), mais il peut s'agir de gaz d'origine soit métamorphique, soit magmatique ou juvénile.

La troisième partie est consacrée à l'étude de la géochimie des éléments majeurs. L'ensemble des analyses a été représenté sous forme de diagrammes triangulaires et une classification des différents types d'eau rencontrés au Cameroun est établie :

- eaux de terrains sédimentaires,
- eaux de terrains éruptifs et cristallophylliens, parmi lesquelles on distingue :
 - . eaux bicarbonatées avec des proportions variables de cations,
 - . eaux bicarbonatées sulfatées ou sulfatées bicarbonatées sodiques,
 - . eaux bicarbonatées chlorurées ou chlorurées bicarbonatées sodiques.

Cette classification est confirmée par l'analyse factorielle des correspondances.

Les coefficients de corrélations entre les différents éléments de la minéralisation principale ont été calculés :

- les anions ne sont pas corrélés entre eux,
- Ca et Mg sont fortement corrélés positivement entre eux et avec HCO_3 ,
- Na et K sont moyennement corrélés entre eux et avec HCO_3 ,
- Cl et Na sont très fortement corrélés entre eux positivement.

Ces résultats sont en accord avec les hypothèses sur l'origine des différents éléments : les anions proviendraient de la dissolution dans les eaux de fluides venant de l'intérieur de la croûte terrestre et les cations de la lixiviation des roches traversées par les eaux ascendantes. Cependant une partie du sodium pourrait accompagner le chlore dans les fluides venant de la profondeur. La formation de l'ion sulfate est probablement due à l'oxydation du sulfure d'hydrogène.

La répartition des différents types d'eau est assez remarquable : tandis que CO_2 et les bicarbonates sont ubiquistes, toutes les eaux étant plus ou moins bicarbonatées, le chlore est associé soit à l'activité volcanique quaternaire, soit aux massifs subvolcaniques tertiaires et le soufre est en liaison avec les grands accidents tectoniques (analogie avec les sources sulfatées d'Europe et les sources sulfurées des Pyrénées).

Un parallèle est établi entre la nature des anions et l'évolution des gaz volcaniques.

La nature des cations dominants des eaux bicarbonatées est mise en relation avec l'environnement pétrographique : les fortes teneurs en potassium sont associées à des rhyolites et à des trachytes. Les eaux calco-magnésiennes et celles dont le rapport Mg/Ca est supérieur à 1 sont associées à des roches basiques.

La question de l'altération hydrothermale est abordée du point de vue des équilibres thermodynamiques. La kaolinite, les zéolites et la montmorillonite doivent former l'essentiel des produits de l'altération.

La quatrième partie traite de la géochimie de quelques éléments en traces Mn, Pb, Mo, Sn, V, Cu, Ni, Co, Ti, Cr, Sr, Ba, Li. La minéralisation en éléments en traces est directement proportionnelle au résidu sec. L'enrichissement relatif des eaux thermominérales par rapport à la lithosphère correspond à l'ordre de mobilité croissante des éléments. La même chose s'observe pour les eaux de rivières sauf en ce qui concerne le lithium qui migre très tôt au cours de l'altération superficielle des roches. Les éléments en traces sont libérés comme les cations par la lixiviation des roches encaissantes.

Le calcul des corrélations des éléments en traces entre eux et avec la minéralisation principale a été effectué. Certains résultats sont conformes aux caractéristiques géochimiques des éléments ainsi les corrélations de Ti, Cr, Ni, Co et Cu entre eux, de Pb avec Ba, de Ni, Ti avec Fe ; d'autres sont difficiles à interpréter ainsi la corrélation de Sn avec Ti, Cr, Ni, Co et Cu.

L'analyse factorielle des correspondances indique l'association des éléments en traces de roches basiques avec les eaux sulfatées elles-mêmes caractéristiques des grandes failles.

Les eaux sont fréquemment sursaturées en sulfate de baryum.

Les calculs statistiques mettent en évidence les teneurs exceptionnellement élevées de quelques éléments dans plusieurs sources.

La cinquième partie aborde certains problèmes en rapport avec l'étude des sources thermominérales.

La classification génétique proposée par les Russes est examinée : les eaux sont caractérisées par les gaz qui les accompagnent, et dont l'importance a été soulignée au cours de cette étude. Leur nature permet de distinguer les différents types chimiques d'eau associés à un contexte géologique particulier :

- régions sans activité magmatique profonde récente,
- régions avec activité magmatique récente ou métamorphique profonde,
- régions avec activité volcanique récente à actuelle.

Il n'est guère possible d'établir un rapport direct entre les sources thermominérales et les filons métallifères hydrothermaux. Certaines eaux pourraient toutefois être des fuites d'un système hydrothermal profond.

Enfin les sources thermominérales du Cameroun ne constituent pas des indices favorables à l'existence d'une source d'énergie géothermique car il y a peu de sources thermales, peu de sites structuraux constituant un réservoir possible et pas d'indice de températures élevées à faible profondeur.

En conclusion, l'étude des sources thermominérales du Cameroun permet de passer en revue les principaux types d'eaux qui peuvent être issues de terrains cristallins ou cristallophylliens, contribue à acquérir une meilleure connaissance de la géologie structurale régionale, peut refléter l'état de l'activité magmatique profonde et la nature pétrographique du sous-sol, montre l'importance de la nature des gaz accompagnant les eaux et enfin apporte des renseignements intéressants dans les domaines de la prospection géothermique et peut-être de la prospection minière.