

Les rhyolites hyperalcalines (pantellérites) du lac Tchad. Composition et signification tectonomagmatique

Jean-Paul Vicat^{a,b}, André Pouclet^{b,*}, Yves Bellion^c, Jean-Claude Doumnang^{a,b}

^a Département de géologie, université de N'Djaména, BP 1027, N'Djaména, Tchad

^b Institut des sciences de la Terre, UMR 6113, université d'Orléans, BP 6759, 45067 Orléans cedex 2, France

^c Université d'Avignon et des pays de Vaucluse, BP 10, 84029 Avignon cedex 1, France

Reçu le 26 mars 2002 ; accepté le 2 août 2002

Présenté par Jacques Angelier

Abstract – The peralkaline rhyolites (pantellerites) of the Lake Chad. Composition and tectonomagmatic significance. Remnants of rhyolite lava-dome and of alkaline microgranite extrusions emerge, as inselbergs, in the alluvial plain, south of Lake Chad. The peralkaline, arfvedsonite- and acmite-bearing rhyolites are determined as pantellerites. They can be related to a tectonomagmatic stage, dated of the Late Cretaceous, of the western central Africa rift system. They may constitute the NNE extension of a N50° to 30° elongated succession of small alkaline complexes, from the Gulf of Guinea to the North-Cameroon, which initiated the magmatic activity of the Cameroon Line. *To cite this article: J.-P. Vicat et al., C. R. Geoscience 334 (2002) 885–891.*

© 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

pantellerite / Cameroon Line / Lake Chad / western–central Africa rift system

Résumé – Des lambeaux de dôme–coulées de rhyolites et des extrusions de microgranites alcalins émergent en inselbergs dans la plaine alluviale au sud du lac Tchad. Les rhyolites, hyperalcalines à arfvedsonite et acmite sont définies comme des pantellérites. Elles peuvent se rapporter à une phase tectonomagmatique, à la fin du Crétacé, du système des rifts d'Afrique du Centre-Ouest. Elles constitueraient le prolongement NNE d'un chapelet de petits complexes alcalins allant, en direction N30°, du golfe de Guinée au Nord-Cameroun et qui correspondent à la phase initiale de l'activité magmatique de la Ligne du Cameroun. *Pour citer cet article : J.-P. Vicat et al., C. R. Geoscience 334 (2002) 885–891.*

© 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

pantellérite / Ligne du Cameroun / lac Tchad / système des rifts de l'Afrique du Centre-Ouest

Abridged version

A few kilometres south of the Lake Chad, some rhyolitic inselbergs emerge from the horizontal Quaternary formations of the Chad Basin [1–3, 9, 12] (PLT, Fig. 1). They are the five large rocks of Hadjer el Khamis that look down 140 m upon the plain, the 15 m-high small hill of Hadjer Bigli, and the very small, 5 m-high, hill of Hadjer el Kher. The Hadjer el Khamis inselbergs are the remnants of a lava dome of ignimbritic alkaline rhyolite, showing a vertical columnar jointing. The Hadjer Bigli hill is made of alka-

line rhyolite crosscut by rhyolitic dykes and is interpreted as a small extrusion. The Hadjer el Kher is made of an alkaline microgranite belonging to the inner core of a small extrusion.

The rhyolites show a eutaxitic and hyalo-porphyritic texture, with embayed quartz and phenocrysts of alkali feldspars, indicating hyper-solvus crystallisation conditions. Felsitic groundmass includes microcrysts of arfvedsonite (Na₂O% = 7.78–8.20; FeOt% = 35.19–36.29; Si = 7.99–8.00; Na = 2.41–2.57), acmite (Na₂O% = 13.27–13.52; Fe₂O₃t% = 34.17–34.48; Ac% = 93.10–94.80),

* Correspondance et tirés à part.

Adresse e-mail : andre.pouclet@univ-orleans.fr (A. Pouclet).

alkali feldspar, and iron oxides. Two samples have been analysed (Table 1). The chemical composition is acidic and peralkaline ($\text{SiO}_2\% = 72.76\text{--}74.07$; $\text{Na}_2\text{O}\% = 3.16\text{--}4.67$; $\text{K}_2\text{O}\% = 4.25\text{--}4.98$; $\text{A/NK} = 0.78\text{--}0.85$; normative $\text{Ac}\%$ and $\text{SiO}_3\text{Na}_2\% = 4.3\text{--}4.4$ and $0.8\text{--}2.2$, respectively). It corresponds to pantellerite [14] according to the $\text{FeO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ratio (Fig. 2). The incompatible element contents are very high (sum of Rare Earth Elements = 6900–9900 ppm). The mantle-normalised patterns show negative anomalies of Ba, Sr, Eu, and Ti, which are explained by crystal fractionation of feldspar and oxides. The immobile element contents exhibit a moderate fractionation in the Rare Earth elements ($\text{La}_N/\text{Yb}_N = 18\text{--}22$), but important enrichments in Rb, Th, U, Ta, and Nb. These features may correspond to an alkaline magma evolved from an OIB (Oceanic Island Basalt) parental magma [27]. The patterns correspond closely to the type pantellerite of Pantelleria [6]. They are slightly more evolved than the patterns of the rhyolites of the Kapsiki Plateau, at the northern end of the Cameroon Line [20] and of the Ethiopian Rift [28] (Fig. 3).

A K/Ar age dating performed on the Hadjer el Khamis rhyolite gives 69 ± 1.4 Ma [26]. These rhyolites belong to the Late Jurassic–Present time rift system of western-central Africa (WCARS) [10, 23]. They are located south-southeast of the Agadem trough, south of Lake Chad (PLT, Fig. 1), in the northeastern prolongation of the Bornu trough. They are controlled by WSW–ENE fractures as well as some other alkaline rhyolite–granite extrusions, outcropping 300 km farther to the east [1–3] (CAO, Fig. 1). The WCARS has suffered two rifting stages, namely during the Early Cretaceous, with NW–SE normal faulting, and during the Late Cretaceous, with NNW–SSE normal faulting associated with WNW–ESE left-lateral transcurrent fracturation [16]. The Lake Chad rhyolites and

the easternmost similar extrusions can be related to this Late Cretaceous tectonic event, as it is also suggested by the age.

Numerous other alkaline intrusions are known in all the area between the West and Central African cratons. They are (Fig. 1): (A) the Devonian ring complexes of Air in Niger, (B) the Jurassic ring complexes of Nigeria, (C) the Late Jurassic–Neogene volcanic evolved products of the different volcanic area of the WCARS and of the Tibesti, and (D) the Palaeogene alkaline complexes of the Cameroon Line. The older age of the Air complexes and the petrographical associations for both Air and Nigeria complexes [17, 18] rule out any analogy with the Lake Chad pantellerites. Numerous acidic extrusives are known in the Air Oligo-Pliocene volcanic area [24] (#1, Fig. 1), in the Jurassic–Late Cretaceous northeastern, middle and southern volcanic areas of the Bénoué trough [15, 29] (#2, 3 and 4, Fig. 1). But they are mainly trachytic to comenditic in composition (VB, VT, Fig. 2) and always associated with abundant basaltic lavas. Same compositions and magmatic associations are recorded in the Neogene volcanic massifs of the Cameroon Line and of the Tibesti (VLC, VT, Fig. 2). The oldest Cameroon Line magmatic activity is characterised by the intrusion-extrusion of about 60 small alkaline complexes, dated between 66 and 30 Ma, and set along a $\text{N}50^\circ$ to $\text{N}30^\circ$ trend from the Gulf of Guinea to the northern Cameroon [6, 19, 21]. Some of these complexes contain comenditic to pantelleritic products (PLC, Fig. 2), such as the Golda Zuelva (GZ, Fig. 1), at the northeastern end of the trend [20]. It is very convenient to attribute the Lake Chad extrusions to a north-northeast extension of this tectonomagmatic trend. Then, the lake Chad pantellerites could be related to the Late Cretaceous initiation of the Cameroon Line magmatic activity.

1. Données de terrain

Sur la rive sud du lac Tchad, à environ 32 km à l'est du fleuve Chari, se dressent les inselbergs du Hadjer el Khamis (PLT, Fig. 1) [9, 12]. À environ 20 km à l'ouest-sud-ouest du Hadjer el Khamis, deux pointements plus modestes, le Hadjer Bigli et le Hadjer el Kher, sont également connus [1–3]. D'après les premiers travaux, le Hadjer el Khamis et le Hadjer Bigli sont constitués de rhyolites hyperalcalines et le Hadjer el Kher de microgranite hyperalcalin. Ce magmatisme a été rattaché soit aux *Younger Granites* jurassiques du Nigeria, soit à un axe volcanique hyperalcalin néogène, qui irait du Cameroun au Tibesti [3].

Le Hadjer el Khamis comprend cinq rochers, dominant la plaine d'environ 140 m et disposés sur une surface de moins de 1 km². Il s'agit d'un gros piton isolé et de quatre rochers émergeant d'une base commune, quelques centaines de mètres plus au sud. Tous présentent la même structure, avec une partie

inférieure massive grossièrement prismée verticalement en éléments de 1 à 1,5 m de section, et une partie supérieure plus élancée, à prismes verticaux de 50 à 80 cm de section. La roche est une rhyolite ignimbritique à petites fiammes, disposées horizontalement ou bien dispersées dans la masse (échantillon MKR11). Un filon métrique de rhyolite aphanitique traverse, sur quelques dizaines de mètres, la base du piton isolé au nord de l'ensemble, en direction $\text{N}130^\circ$. Une importante fracturation sub-verticale affecte tout le substratum, selon une première famille de larges diaclases $\text{N}0\text{--}10^\circ$ et une deuxième, de diaclases plus fines $\text{N}80\text{--}90^\circ$. L'ensemble suggère des lambeaux disséqués d'un vaste dôme-coulée, qui serait sorti du piton nord. Le Hadjer Bigli, plus modeste, ne fait qu'une quinzaine de mètres de haut. Il s'agit d'un petit dôme, orienté du nord au sud, de 500 m de long sur 200 m de large, constitué d'une rhyolite fluidale rougeâtre plus ou moins altérée et d'une rhyolite verte massive, exploitée en carrière (échantillon MKR1). Des filons de

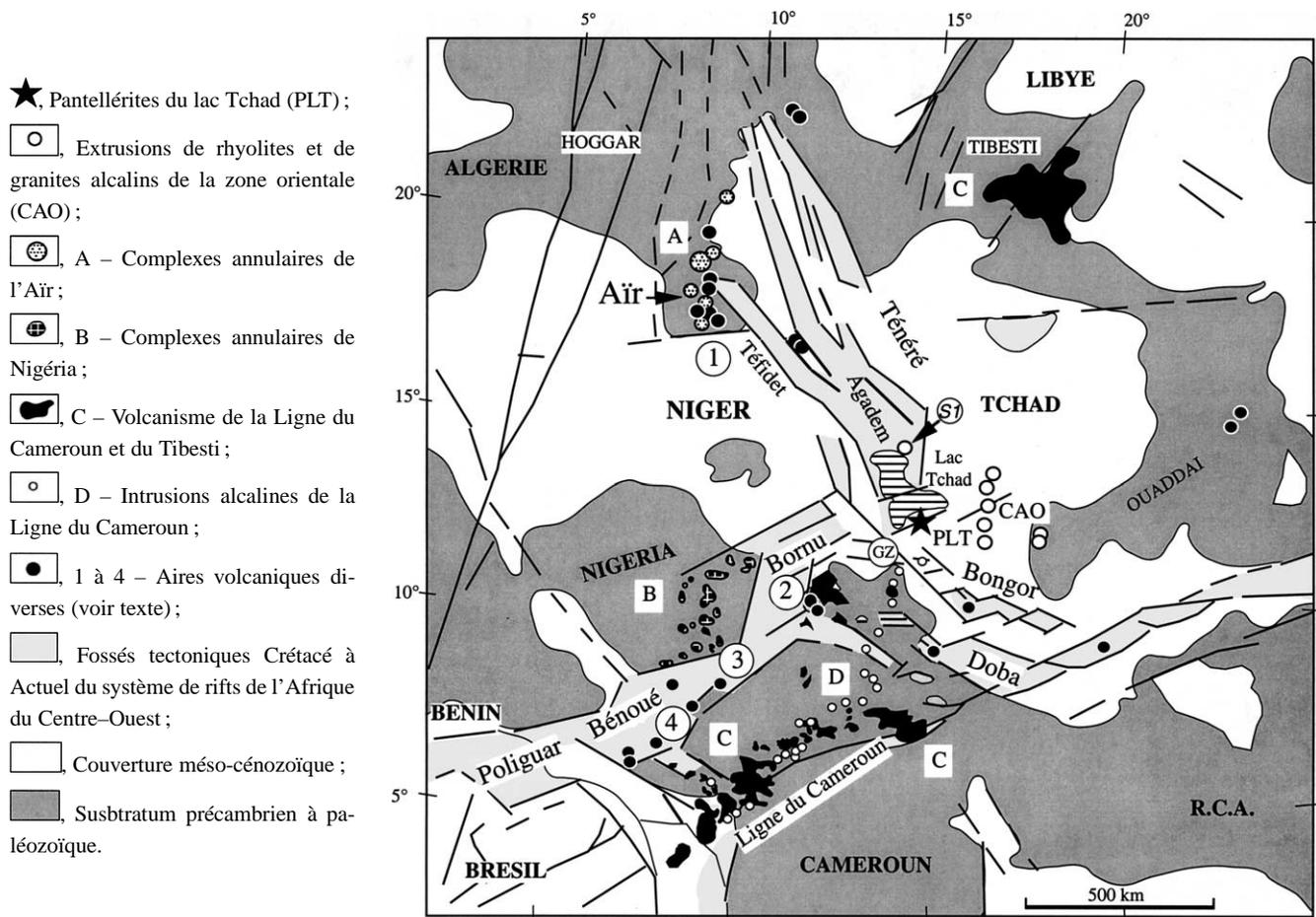


Figure 1. Croquis géologique schématique de l’Afrique centrale, synthétisé d’après [6, 10, 23, 24]. Étoile, pantellérites des massifs Hadjer el Khamis, Hadjer Bigli et Hadjer el Kher du Sud du lac Tchad (PLT); grands cercles vides, extrusions de rhyolites et de granites alcalins de la zone orientale (CAO); **A**, complexes annulaires de l’Aïr; **B**, complexes annulaires de Nigéria; **C**, grandes aires volcaniques de la Ligne du Cameroun et du Tibesti (surfaces noires); **D**, petites intrusions alcalines de la Ligne du Cameroun (petits cercles vides), dont GZ, Golda Zuelva; 1–4, petites aires volcaniques dispersées (cercles pleins) (voir texte); **SI**, forage de Sédigui.

Figure 1. Geological sketch map of central Africa, after [6, 10, 23, 24]. Star, pantellerites of the Hadjer el Khamis, Hadjer Bigli and Hadjer el Kher massifs, South of lake Chad (PLT); large open circles, alkaline rhyolite and granite extrusions of the Eastern zone (CAO); **A**, ring complexes of the Aïr; **B**, ring complexes of Nigeria; **C**, large volcanic areas of the Cameroon Line and of Tibesti (black patches); **D**, small alkaline intrusions of the Cameroon Line (small open circles), with GZ, Golda Zuelva; 1–4, dispersed small volcanic areas (full circles) (see text); **SI**, Sédigui drill.

rhyolite verte recoupent en direction N. 30° la rhyolite rougeâtre. Le Hadjer el Kher, situé 3 km à l’ouest du Hadjer Bigli, est un petit dôme de 50 m sur 10 m, haut de 5 m, constitué de microgranite hyperalcalin, appartenant sans doute au cœur mieux cristallisé d’un dôme rhyolitique déblayé par l’érosion.

2. Caractères pétrographiques et chimiques des pantellérites du lac Tchad

La rhyolite prismatique du Hadjer el Khamis et celle de la carrière du Hadjer Bigli présentent une texture eutaxitique et hyalo-microlitique porphyrique, à mésostase le plus souvent felsitique dévitrifiée. Dans la carrière, des passées restées très vitreuses

montrent une texture sphérolitique fluidale. Dans les parties massives se développent des passées micropegmatitiques à agrégats granophyriques quartzofeldspathiques.

On détermine des phénocristaux automorphes de quartz à lacunes de cristallisation et de feldspaths alcalins, des microphénocristaux en baguettes d’amphibole et des microcristaux de clinopyroxène, feldspaths alcalins et oxydes, dans un fond quartzofeldspathique. Les phases minérales ont été analysées à la microsonde électronique (CNRS–université–BRGM d’Orléans). Les grands feldspaths sont hétérogènes, à composition moyenne d’anorthose, avec des plages irrégulières plus sodiques ($Ab_{97-99} An_{2-14}$) ou plus potassiques ($Ab_{2-14} Or_{98-86}$), traduisant une cristallisation de type *hyper-solvus*. Les amphiboles pléochroïques

Tableau 1. Compositions chimiques des pantellérites. Analyses du CRPG de Nancy par ICP et ICP–MS. MKR11, Hadjer el Khamis; MKR1, Hadjer Bigli.

Table 1. Chemical compositions of pantellerites. Analyses of the CRPG laboratory of Nancy by ICP, and ICP–MS. MKR11, Hadjer el Khamis; MKR1, Hadjer Bigli.

| | MKR1 | MKR11 |
|--------------------------------|--------|-------|
| SiO ₂ % | 74,07 | 72,76 |
| TiO ₂ | 0,16 | 0,15 |
| Al ₂ O ₃ | 8,98 | 9,57 |
| Fe ₂ O ₃ | 6,90 | 7,00 |
| MnO | 0,08 | 0,04 |
| MgO | 0,00 | 0,00 |
| CaO | 0,25 | 0,18 |
| Na ₂ O | 3,16 | 4,67 |
| K ₂ O | 4,98 | 4,25 |
| P ₂ O ₅ | 0,05 | 0,00 |
| PF (LOI) | 1,76 | 1,37 |
| Total | 100,39 | 99,99 |
| Rb ppm | 313 | 215 |
| Ba | 9,9 | 7,7 |
| Th | 60,6 | 39,7 |
| U | 15,6 | 9,87 |
| Ta | 33,7 | 22,3 |
| Nb | 525 | 348 |
| La | 708 | 487 |
| Ce | 1083 | 847 |
| Pr | 153 | 94,2 |
| Sr | 2 | 2 |
| Nd | 501 | 329 |
| Zr | 3433 | 2444 |
| Hf | 75,3 | 50,7 |
| Sm | 90,9 | 63,5 |
| Eu | 9,05 | 4,84 |
| Gd | 70,2 | 56,6 |
| Dy | 54,8 | 41,3 |
| Y | 289 | 259 |
| Yb | 23,3 | 19,5 |

vert olive à vert malachite sombre, souvent altérées en amas fibreux de smectites ferrifères, sont de l'arfvedsonite (Na₂O % = 7,78–8,20; FeOt % = 35,19–36,29; Si = 7,99–8,00; Na = 2,41–2,57). Le pyroxène microprismatique pléochroïque vert pâle à vert anglais sombre est de l'acmite (Na₂O % = 13,27–13,52; Fe₂O_{3t} % = 34,17–34,48; Ac % = 93,10–94,80).

Deux échantillons des deux sites rhyolitiques ont été analysés (Tableau 1). La composition chimique en éléments majeurs (SiO₂ % = 72,76–74,07; Na₂O % = 3,16–4,67; K₂O % = 4,25–4,98) est celle des rhyolites hyperalcalines (A/NK = 0,78 à 0,85), définies comme des pantellérites, d'après les rapports en Al₂O₃ et FeO [14] (Fig. 2). La norme est fortement sursaturée (Qtz = 32–36) et hyperalcaline (Ac = 4,3–4,4; SiO₃Na₂ = 0,8–2,2). Cette composition chimique est en parfait accord avec la paragenèse magmatique à amphiboles et pyroxènes alcalins.

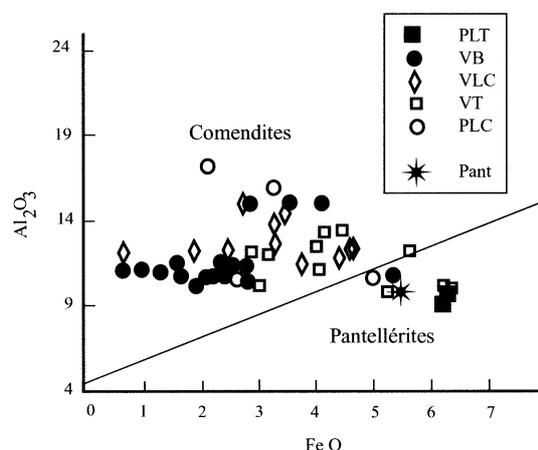


Figure 2. Distinction des rhyolites hyperalcalines dans le diagramme FeO vs Al₂O₃ [14]. PLT, pantellérites du lac Tchad (ce travail); VLC, volcanites de la Ligne du Cameroun [6, 13, 20, 22]; PLC, intrusions alcalines de la ligne du Cameroun [6]; VB, bassin de la Bénoué [4]; VT, massif du Tibesti [31]; Pant, pantellérite de Pantelleria [7].

Figure 2. Discrimination of peralkaline rhyolites in the FeO vs Al₂O₃ diagram [14]. PLT, pantellerites of the Lake Chad (this work); VLC, volcanics of the Cameroon Line [6, 13, 20, 22]; PLC, alkaline intrusions of the Cameroon Line [6]; VB, Bénoué trough [4]; VT, Tibesti massif [31]; Pant, Pantellerite of Pantelleria [7].

Les pantellérites sont des laves alcalines acides peu communes, définies dans l'île de Pantelleria, au sud-ouest de la Sicile, dans une zone d'extension intra-plaque [5].

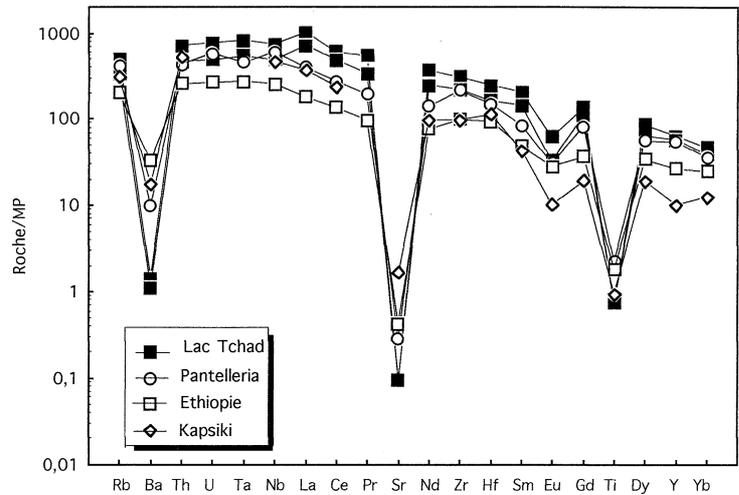
Les éléments incompatibles sont très abondants, avec des teneurs élevées en éléments lithophiles, Nb–Ta et terres rares (somme des terres rares = 6900–9900 ppm), mais sans fractionnement très important (La_N/Yb_N = 18–22), les teneurs en éléments à forts potentiels ioniques étant également élevées. Les profils normalisés au manteau primitif (Fig. 3) montrent des anomalies négatives en Ba, Sr, Eu (Eu* = 0,25–0,35) et Ti, qui résultent très probablement de fractionnements de plagioclase, feldspaths alcalins et oxydes titanés. L'allure générale des profils avec le fractionnement des Terres Rares et l'enrichissement marqué en Rb, Th, U, Ta et Nb est parallèle à celle des OIB (*Oceanic Island Basalt*) [27]. Il pourrait s'agir d'un produit différencié hyper-alcalin d'un magma alcalin intra-plaque. Les profils sont très proches de ceux des pantellérites de Pantelleria [7]. Ils sont un peu plus évolués que ceux des pantellérites du plateau Kapsiki, à la terminaison nord de la Ligne du Cameroun [20], ou de celles du rift d'Éthiopie [28].

3. Données chronologiques et relations structurales locales

Les inselbergs du Hadjer el Khamis émergent des alluvions récentes de la cuvette tchadienne. Il n'est

Figure 3. Diagrammes de compositions normalisées au manteau primitif des pantellérites du lac Tchad. Normalisation d'après [27]. Comparaisons avec les pantellérites de Pantelleria (SIC-39) [7], de la ligne du Cameroun (plateau Kapsiki, échantillon 3A) [20] et du rift d'Éthiopie (LA-7, 16 et 46) [28].

Figure 3. Primitive mantle-normalised multi-element diagrams of the Lake Chad pantellerites. Normalisation values after [27]. Comparisons with the pantellerites of Pantelleria (SIC-39) [7], the Cameroon Line (Kapsiki plateau, sample 3A) [20] and the Ethiopian Rift (LA-7, 16 and 46) [28].



donc pas possible d'observer les relations des massifs volcaniques avec les formations antérieures d'âge Crétacé à Pliocène. Le Hadjer el Khamis est attribué au Maastrichtien, sur la base d'une mesure K/Ar à $68,9 \pm 1,4$ Ma citée, sans autre précision, par Schroeter et Gear [26]. Au nord du lac Tchad, une rhyolite a été reconnue dans le forage de Sédigui (SI, Fig. 1), intrudant les formations du Santonien [8]. Ces éléments de datation suggèrent une activité rhyolitique vers la fin du Crétacé.

Les rhyolites du lac Tchad se situent à l'extrémité SSE du fossé d'Agadem et dans le prolongement nord-est du fossé de Bornu, qui appartiennent au système de rifts d'Afrique centre-occidentale (WCARS), d'âge fini-Jurassique à Actuel [10, 11, 23]. Deux phases majeures de *rifting* sont reconnues dans le fossé d'Agadem [16]. La première, au Crétacé inférieur, est caractérisée par des failles normales NW–SE, la seconde fini-sénonienne à paléogène, par des failles normales NNW–SSE. À la fin du Santonien, l'ouverture se serait faite dans un contexte transpressif, avec une direction de raccourcissement NW–SE. La partie SSE du fossé d'Agadem est alors affectée par des failles transverses dextres WSW–ENE, que l'on retrouve dans les fossés de Bongor et de Doba. Les rhyolites du Sud du lac Tchad sont disposées le long de l'une de ces failles transverses, rapportée à la tectonique fini-Crétacé (PLT, Fig. 1).

Plusieurs massifs de granites alcalins et hyperalcalins sont connus près de 300 km plus à l'est, entre le lac Tchad et le massif du Ouaddai [1–3] (CAO, Fig. 1). Ils constituent des coupoles zonées à cœur de granite, passant vers le haut à des rhyolites prismées. Leur morphologie est semblable à celles des dômes rhyolitiques du lac Tchad. La majorité d'entre eux est alignée selon la direction N10°E, sur une longueur de 165 km. Mais, en réalité, les massifs les plus importants, dans la partie centrale, sont disposés sur des

failles transverses WSW–ENE, dans le prolongement de celles du Sud du lac Tchad. Il est donc aussi très probable que cette activité acide alcaline se rattache aux événements tectoniques se situant vers la fin du Crétacé.

4. Comparaisons régionales

À l'échelle régionale, dans toute la zone polycyclique située entre les cratons d'Afrique de l'Ouest et du Centre, de nombreuses intrusions alcalines intra-plaques anorogéniques sont connues. Ce sont (Fig. 1) : (A) au Paléozoïque, les complexes annulaires de l'Aïr au Niger ; (B) au Jurassique, les complexes annulaires du Nigeria ; (C) du Jurassique terminal au Néogène, les volcanites alcalines différenciées des différentes aires volcaniques du système des rifts d'Afrique centre-occidentale et du Tibesti ; (D) au Paléogène, les complexes alcalins de la Ligne du Cameroun.

(A) Les complexes annulaires de l'Aïr sont datés du tout début du Dévonien [17]. Ce sont des massifs volumineux de granites alcalins, syénites, leucogabbros et anorthosites en intrusions cylindriques et annulaires emboîtées, disposées sur un linéament nord-sud de 400 km [18]. Leur âge ancien et leur pétrographie diffèrent par trop de ceux des pantellérites du Tchad.

(B) Les complexes du Nigeria sont datés de 213 à 141 Ma [25, 30]. Ils ressemblent à ceux de l'Aïr, dont ils pourraient être le prolongement méridional sur le même linéament, avec une plus grande proportion de roches granitiques. Malgré un âge plus récent, ce magmatisme est aussi pétrographiquement différent de celui du Tchad.

(C) Dans les aires volcaniques du système des rifts, on trouve : (1) dans l'Aïr (#1, Fig. 1), des phonolites

et des trachytes comenditiques de l'Oligo-Pliocène, en extrusions au nord du fossé du Téfédet et au sud de l'Aïr [24]; (2) dans le Biu (#2, Fig. 1), au nord-est du fossé de la Bénoué, des comendites et quelques pantellérites, datées de 143 à 137 Ma [15]; (3) dans la moyenne Bénoué (#3, Fig. 1), des comendites datées à 113 Ma [29]; (4) dans le Sud-Bénoué (#4, Fig. 1), des phonolites et des trachytes comenditiques, datés à 68 Ma [15]. Les rhyolites du Tchad pourraient être dans le prolongement nord-est de celles de la Bénoué; cependant, ces dernières sont plutôt des comendites (VB, Fig. 2) et sont toujours associées, comme celles de l'Aïr, à d'abondants basaltes alcalins. Il en est de même pour les quelques comendites des complexes volcaniques de la Ligne du Cameroun (VLC, Fig. 2). L'aire volcanique du Tibesti comporte également quelques termes acides, comendites et pantellérites (VT, Fig. 2), différenciés des basaltes alcalins et d'âges récents [31].

(D) La Ligne du Cameroun comprend plus de 60 petits complexes anorogéniques alcalins et hyperalcalins, datés de 66 à 30 Ma, et un volcanisme alcalin, daté de 44 Ma à l'Actuel [6, 19, 21]. Les complexes s'alignent d'abord en direction N50°, dans la partie sud, puis en direction N30°, dans la partie nord, vers le lac Tchad. Ce sont de petits massifs de granites à biotite, granites alcalins, syénites et rares diorites et gabbros, en intrusions cylindriques, avec quelques emboîtements simulant des structures annulaires. Cer-

tains massifs montrent des produits hypovolcaniques à volcaniques avec des comendites et quelques pantellérites (PLC, Fig. 2), comme le Golda Zuelva (GZ, Fig. 1) à l'extrémité nord-est [20]. Il est raisonnable de mettre les rhyolites du Tchad dans le prolongement nord-nord-est des complexes alcalins de la Ligne du Cameroun, en raison d'une nette analogie pétrographique et chimique.

5. Conclusion

Les pantellérites du lac Tchad constituent des pointements modestes d'un plutono-volcanisme différencié et très alcalin. Leur contexte géotectonique est en relation avec l'ouverture des fossés tectoniques d'Agadem–lac Tchad et de la Bénoué. Cependant, le mode de mise en place et la pétrographie limitée aux termes acides les rattachent très probablement aux complexes alcalins de la Ligne du Cameroun. Ces rhyolites pourraient être d'âge fini-Crétacé à Paléocène, sur la base de données géochronologiques très succinctes, mais surtout en raison de leurs relations avec l'extension des fossés d'Agadem et du Bornu et avec l'alignement des intrusions alcalines du Nord-Est de la Ligne du Cameroun. Elles constitueraient donc le témoin extrême nord-nord-est, et sans doute un des plus précoces, du fonctionnement magmato-tectonique de la Ligne du Cameroun.

Références

- [1] J. Barbeau, Les deux venues volcaniques de la rive sud-est du lac Tchad (note préliminaire), C. R. somm. Soc. géol. France (1952) 52–54.
- [2] J. Barbeau, Notice explicative sur la feuille Fort-Lamy. Carte géologique de reconnaissance à l'échelle de 1:1 000 000, Dir. Mines et Géol. A.E.F., 1956, 35 p.
- [3] J. Barbeau, B. Gèze, Les coupes granitiques et rhyolitiques de la région de Fort-Lamy (Tchad), Bull. Soc. géol. France 7 (1957) 34–350.
- [4] P. Baudin, Le magmatisme mésoprotérozoïque à cénozoïque du fossé de la Bénoué (Nigéria). Géochronologie, pétrogenèse, cadre géodynamique, thèse, Université d'Aix-Marseille, 1991.
- [5] M. Boccaletti, P.L. Cello, L. Tortorici, Transtensional tectonics in the Sicily Channel, J. Struct. Geol. 9 (1987) 869–876.
- [6] B. Déruelle, C. Moreau, C. Nkoumbou, R. Kambou, J. Lissom, E. Njongfang, R.T. Ghogomu, A. Nono, The Cameroon Line: a review, in: A.B. Kampuzu, R.T. Lubala (Eds.), Magmatism in extensional structure settings. The Phanerozoic African Plate, Springer Verlag, Berlin, 1991, pp. 274–327.
- [7] S. Esperança, G.M. Crisci, The island of Pantelleria: a case for the development of DMM–HIMU isotopic compositions in a long-lived extensional setting, Earth Planet. Sci. Lett. 163 (1995) 167–182.
- [8] G.J. Genik, Regional framework and structural aspects of rift basins in Niger, Chad, and Central African Republic (C.A.R.), in: P.A. Ziegler (Ed.), Geodynamics of rifting, Vol. II, Case history studies on rifts; North and South America and Africa, Tectonophysics 213 (1992) 169–185.
- [9] L. Gentil, Sur l'existence de roches alcalines dans le Centre africain, C. R. Acad. Sci. Paris 189 (1904) 413.
- [10] R. Guiraud, J.-C. Maurin, Le *rifting* en Afrique au Crétacé inférieur, synthèse structurale, mise en évidence de deux étapes dans la genèse des bassins, relations avec les ouvertures océaniques péripanfricaines, Bull. Soc. géol. France 162 (1991) 811–823.
- [11] R. Guiraud, J.-C. Maurin, Early Cretaceous rifts of western and central Africa: an overview, Tectonophysics 213 (1992) 153–168.
- [12] L. Lacoïn, Observations sur la géologie du pays de l'Oubangui au Tchad, Bull. Soc. géol. France 4 (III) (1903) 494.
- [13] J. Lissom, Étude pétrologique des laves alcalines du massif d'Oku. Un ensemble volcanique de la Ligne du Cameroun, thèse, université Paris-6, 1991, 207 p.
- [14] R. Mac Donald, Nomenclature and geochemistry of the peralkaline oversaturated extrusive rocks, Bull. Volcanol. 38 (1974) 498–516.
- [15] H. Maluski, C. Coulon, M. Popoff, P. Baudin, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronology, petrology and geodynamic setting of Mesozoic to Early Cenozoic magmatism from the Benoue Trough, Nigeria, J. Geol. Soc. London 152 (1995) 311–326.
- [16] J.-C. Maurin, R. Guiraud, Basement control in the development of the Early Cretaceous West and Central African Rift System, Tectonophysics 228 (1993) 81–95.

- [17] C. Moreau, D. Demaiffe, Y. Béllion, A.M. Boullier, A tectonic model for the location of Palaeozoic ring complexes in Air (Niger, West Africa), *Tectonophysics* 234 (1994) 129–146.
- [18] C. Moreau, G. Rocci, W.L. Brown, D. Demaiffe, J.B. Perez, Palaeozoic magmatism in the Air Massif, Niger, in: A.B. Kampuzu, R.T. Lubala (Eds.), *Magmatism in extensional structure settings, The Phanerozoic African Plate*, Springer-Verlag, Berlin, 1991, pp. 328–352.
- [19] I. Ngounouno, Chronologie, pétrologie et cadre géodynamique du magmatisme cénozoïque de la Ligne du Cameroun, in: J.-P. Vicat, P. Bilong (Eds.), *Géosciences au Cameroun*, Coll. Geocam, 1/1998, Presses de l'université Yaoundé-1, 1998, pp. 169–184.
- [20] I. Ngounouno, B. Déruelle, D. Demaiffe, Petrology of the bimodal Cenozoic volcanism of the Kapsiki plateau (northernmost Cameroon Central Africa), *J. Volcanol Geotherm. Res.* 102 (2000) 21–44.
- [21] I. Ngounouno, C. Moreau, B. Déruelle, D. Demaiffe, R. Montigny, Pétrologie du complexe alcalin sous-saturé de Kokoumi (Cameroun), *Bull. Soc. géol. France* 172 (2001) 675–686.
- [22] C. Nkoumbou, Étude géologique des monts Roumpi : un ensemble plutonique et volcanique de la ligne du Cameroun. Données pétrologiques sur les néphélines du mont Étindé (Cameroun), thèse, université Nancy-1, 1991, 352 p.
- [23] A. Pouclet, A. Durand, Structures cassantes cénozoïques d'après les phénomènes volcaniques et néotectoniques au nord-ouest du lac Tchad (Niger oriental), *Ann. Soc. géol. Nord CIII* (1983) 143–154.
- [24] A. Pouclet, Y. Ahmed, J.-C. Baubron, H. Bellon, A. Morel, Âge et mise en place du volcanisme cénozoïque dans le graben de Téfidet (système de rift du Niger oriental), *C. R. Acad. Sci. Paris, Sér. II* 318 (1994) 683–690.
- [25] M.A. Rahaman, J.B. Bennet, O. Van Breemen, P. Bowden, Detailed age study of the migration of Younger Granites ring complexes in northern Nigeria, *J. Geol.* 92 (1984) 173–184.
- [26] P. Schroeter, D. Gear, Étude des ressources en eau du bassin du lac Tchad en vue d'un programme de développement. CBLT. Ressources en eaux souterraines dans le bassin du lac Tchad. T1. Étude hydrogéologique, rapport PNUD/FAO, Rome, Italie, 1973.
- [27] S.S. Sun, W.F. McDonough, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes, *Geol. Soc. London Spec. Publ.* 42 (1989) 313–345.
- [28] T. Trua, C. Deniel, R. Mazzuoli, Crustal control in the genesis of Plio-Quaternary bimodal magmatism of the Main Ethiopian Rift (MER): geochemical and isotopic (Sr, Nd, Pb) evidence, *Chem. Geol.* 155 (1999) 201–231.
- [29] A.C. Umeji, M. Caen-Vachette, Rb–Sr isochron from Gboko and Ikuyen rhyolites and its implication for the age and evolution of the Benoue Trough, Nigeria, *Geol. Mag.* 20 (1983) 529–533.
- [30] O. Van Breemen, J. Hutchinson, P. Bowden, Age and origin of the Nigerian Mesozoic granites: a Rb–Sr isotopic study, *Contrib. Mineral. Petrol.* 50 (1975) 157–172.
- [31] P. Vincent, Les volcans tertiaires et quaternaires du Tibesti occidental et central (Sahara du Tchad), *Mém. BRGM* 23, 1963, 307 p.