

C. R. somm. Soc. géol. Fr., 1978, fasc. 3, p. 135-139.

Sills, dykes et pipes de tufs volcaniques bréchiques fluidifiés dans la presqu'île du Cap-Vert (Sénégal)

par Gilbert CREVOLA *

Mots clés. — Dyke, Sill, Pipe, Pyroclastique consolidé (Tuf bréchiq), Basalte, Composition alcaline, Pliocène sup., Pléistocène, Fluidalité, Sénégal (Cap Vert).

Résumé. — De nombreux sills, dykes et pipes de tufs volcaniques bréchiques sont mis en évidence dans la presqu'île du Cap-Vert (Sénégal). Le mode de gisement et les caractères pétrographiques de ces tufs sont démonstratifs d'une mise en place intrusive par fluidification.

Abstract. — Many sills, dykes and pipes of volcanic tuff breccia have been found in the Cap-Vert peninsula (Senegal). Geological setting and petrographical characteristics of these tuffs are demonstrative of an intrusive emplacement by fluidization mechanism.

INTRODUCTION.

Les tufs volcaniques occupent une place importante parmi les produits du volcanisme basique alcalin et sous-saturé, d'âge fini-tertiaire à quaternaire, de la presqu'île du Cap-Vert [Tessier, 1950]. Ce volcanisme clastique et lavique intervient dans une région extrêmement faillée (fig. 1) qui correspond à la marge continentale africaine, et dont l'instabilité s'est marquée tout au cours du Tertiaire dans l'histoire du bassin sédimentaire sénégalomauritanien.

À côté de dépôts de déferlantes basales bien caractérisés, tels que les tufs stratifiés des Mamelles et de Bel Air [Crevola, 1974], on connaît à l'affleurement, ou en sondages, de nombreux tufs bréchiques mixtes, se présentant soit en niveaux décimétriques à métriques intercalés dans la série sédimentaire, soit en dykes sécants, soit en masses importantes, parfois stratifiées, à nombreux blocs de roches sédimentaires (tufs à blocs des auteurs).

Le mode de mise en place et la signification de ces tufs restent mal compris. Ainsi, des mises en place sous-marine — Tessier [1954] pour les tufs de l'Anse des Madeleines et de Paki, Monod [1949] pour ceux de l'Anse Bernard — intrusive — Combiér [1935] pour les tufs de l'Anse des Madeleines, Roques [inédit] pour les tufs à blocs — ou sous forme de lahars — Tessier [1950, 1954] pour les tufs à blocs — ont tour à tour été proposés.

Une nouvelle étude des affleurements de bonne qualité, ainsi que l'étude d'une vingtaine de sondages, pour la plupart récents, permettent de conclure à une mise en place intrusive par fluidification.

MODE DE GISEMENT.

1. **Sills.** Des passées concordantes de tufs d'épaisseur décimétrique à métrique sont connues à l'affleurement au sommet des marno-calcaires paléocènes

de l'Anse des Madeleines à Dakar et ont été retrouvées dans des sondages effectués en divers points de la ville de Dakar [Tessier, 1950, 1954]. Des passées de tufs ont aussi été rencontrées vers 35 m de profondeur au sein de marnes grises ou blanches de l'Éocène inférieur dans cinq des sondages effectués dans la baie de Rufisque, dans le cadre du projet Dakar-Marine (fig. 3). Enfin, dans le sondage de Yéba, sur le horst de Sdias, un niveau de tuf

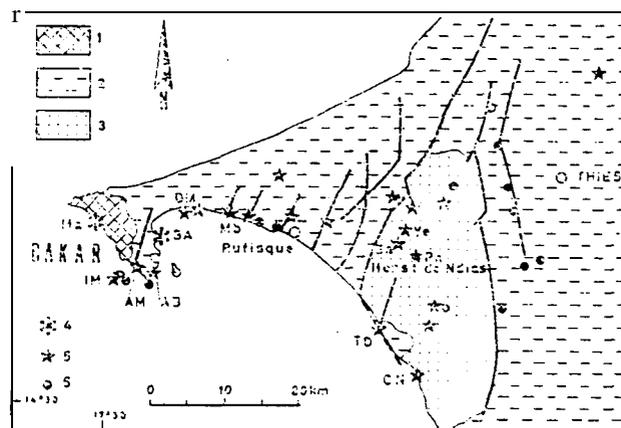


FIG. 1. — Carte géologique schématique de la presqu'île du Cap-Vert.

1 : volcanisme quaternaire ; 2 : régions à substratum tertiaire ; 3 : régions à substratum secondaire ; 4 : dépôts de déferlantes basales ; 5 : tufs bréchiques ; 6 : laves tertiaires. Localités citées dans le texte : AB : anse Bernard ; AM : anse des Madeleines ; BA : Bel-Air ; CS : Cap de Naze ; DM : Dakar-Marine ; Ga : Gandoul ; IM : Iles de la Madeleine ; Ma : Mamelles ; Mb : Mbao ; Pa : Paki ; TD : Toubab Diallao ; Ye : Yéba.

* Dépt de Géologie, Univ. de Dakar, Dakar-Fann, Sénégal. Laboratoire associé au C.S.R.S., n° 132.

NOTE déposée le 3 avril 1978. présentée à la séance du 8 mai 1978.

de 3 m d'épaisseur a été recoupé vers 310 m de profondeur, intercalé dans des marnes grises du Maestrichtien.

Ces différents tufs, à matrice argileuse ou argilo-sableuse, mais riche en calcite, sont soit à dominante sédimentaire lorsqu'ils sont peu épais, soit mixtes lorsqu'ils constituent des niveaux métriques. Les éléments sédimentaires, millimétriques à centimétriques, sont subanguleux et, le plus souvent, pétrographiquement distincts de l'encaissant.

La présence de tuf n'a occasionné aucune perturbation dans la sédimentation (stricte identité pétrographique du toit et du mur, absence de niveaux siliceux ou carbonatés au toit, absence au toit d'éléments de tuf repris). Les passées de tuf sont concordantes à l'échelle de l'affleurement, mais dans le détail elles injectent des fissures à leur toit et à leur mur et peuvent contenir des enclaves du toit, libres ou à peine détachées (fig. 2 B). Cne zonation parallèle aux épontes est parfois visible. L'extension horizontale des passées est limitée, et en aucun cas celles-ci ne correspondent à un niveau stratigraphique.

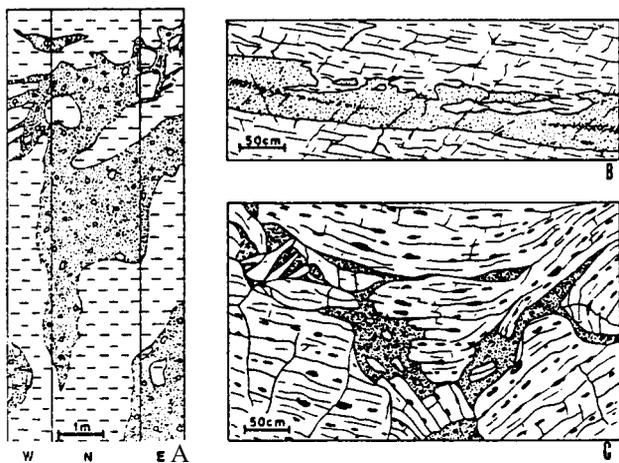


FIG. 2. — Sills et dykes de tufs bréchiques.

A : dykes dans un encaissant marneux, puits à Gandoul (dessin de 3 parois) ; B : sill dans des calcaires compacts, Anse des Madeleines à Dakar ; C : dyke et sills dans des marno-calcaires à silex, Cap de Naze.

2. *Dykes*. Des puits foncés à Gandoul, sur le horst de Ndias, permettent d'observer, dans un encaissant marneux, des dykes de tufs à dominante sédimentaire digités et anastomosés, de quelques centimètres à 1 ou 2 m de puissance, et dont le pendage est de 50 à 80° (fig. 2 A). Dans le bel affleurement de la falaise du Cap de Naze, situé dans un secteur intensément faillé, des tufs riches en éléments basaltiques injectent les failles, les diaclases et les joints de stratification, cimentent les éléments des brèches tectoniques et remplissent les cavités karstiques du

calcaire paléocène de l'un des compartiments (fig. 2 C). Dans l'île de la Madeleine, sur le pourtour de la crique Hubert, des dykes de tuf s'injectent dans une épaisse coulée de basanite.

3. *Pipes*. Les tufs à blocs, généralement très altérés et parfois recouverts par la cuirasse ferrugineuse, ne se signalent le plus souvent que par l'existence à la surface du sol de blocs épars de basalte et de roches sédimentaires distinctes des roches avoisinantes. Ils peuvent occuper des surfaces relativement importantes (100 x 300 m à l'Anse Bernard, 200 x 50 m à Mbaou, 400 x 50 m à Toubab Diallao). Dans plusieurs cas, ces masses de tufs sont allongées suivant de grands accidents régionaux : c'est en particulier le cas pour les tufs de la région Thiaroye-Rufisque, affleurant suivant la direction NNE-SSW, ou pour ceux de Toubab Diallao, affleurant suivant la direction NNW-SSE, qui, dans ce secteur, commande la cote. Leurs contacts avec l'encaissant, sont rarement observables.

Dans quelques cas (Paki, Anse Bernard, Toubab Diallao, Dakar-Marine, Ile de la Madeleine), de bons affleurements, ou des sondages, permettent d'observer des caractères de remplissage de pipe. L'épaisseur des tufs est importante : des sondages ont été arrêtés dans les tufs après une traversée de 310 m à Paki, 30 à 65 m à l'Anse Bernard, 23 m à Dakar-Marine. Les tufs présentent une stratification bien marquée, ou à peine esquissée, mais qui est le plus souvent à fort pendage (45 à 90°) ; celle-ci s'observe bien à l'affleurement sur la plage de l'Anse Bernard et dans les falaises de Toubab Diallao, où elle dessine en plan des courbures hectométriques. La présence de blocs parfois de taille importante (jusqu'à 1 m³) n'amène aucune perturbation dans la stratification (pas de figures d'impact en particulier).

Parmi les blocs basaltiques, on n'observe ni bombes ni scories. Les blocs de roches sédimentaires sont de forme anguleuse, mais ils sont émoussés et n'ont subi aucun métamorphisme thermique ; le matériel sédimentaire est stratigraphiquement plus ancien, de même âge, ou plus jeune que l'encaissant. Xinsi, à Toubab Diallao, les tufs en contact avec le Maestrichtien et le Danien contiennent, en particulier, des blocs de latérite phosphatée du Lutétien inférieur et de calcaire à Daucines du Lutétien supérieur qui n'affleurent pas à proximité [Tessier, 1950] et qui appartiennent à des niveaux anciennement situés à 200 ou 250 m au-dessus du niveau actuel d'érosion. Il en est de même pour les tufs de l'Anse Bernard, en contact avec l'Éocène moyen et inférieur, qui ont piégé des calcaires à Lépidocyclines d'âge oligocène [Monod, 1949 ; Tessier, 1950], cette dernière formation étant inconnue à l'affleurement dans l'Ouest du Sénégal.

4. *Vue d'ensemble*. Ces diverses manifestations sont liées spatialement : proximité des sills de Dakar

et du pipe de l'Anse Bernard, proximité des sills et des pipes de Dakar-Marine (fig. 3), masse de tuf de la crique Hubert, dans l'île de la Madeleine, passant à des dykes. Les intrusions majeures en pipe se font suivant de grands accidents régionaux et, à leur voisinage, les tufs peuvent s'immiscer, dans la série sédimentaire, à la faveur d'accidents mineurs, de diaclases, de discontinuités sédimentaires. Huit pipes et une vingtaine de sills et dykes ont été reconnus ; d'autres affleurements de tufs à blocs peuvent correspondre à des pipes et de nombreux puits et sondages anciens ont rencontré des tufs bréchiques. Aux intrusions de tufs sont associées des laves basiques (néphéline à mélilite, néphélines, basanites) : dykes recoupant les tufs ou leur encaissant, sills injectés dans la série sédimentaire de Dakar parallèlement aux sills de tufs, coulées de laves situées au contact des tufs de l'Anse Bernard et de l'île de la Madeleine.

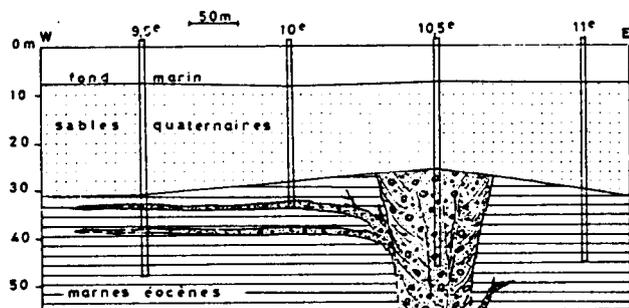


FIG. 3. — Pipe et sills de Dakar-Marine, coupe interprétative effectuée à partir des données de sondages.

Le caractère intrusif des tufs ne permet plus d'attribuer à certains d'entre eux — passées de tufs de Dakar, tufs de Paki, considérés comme sous-marins et contemporains de la sédimentation — un âge crétacé ou paléocène [Tessier, 1954]. Toutes ces manifestations sont contemporaines des laves auxquelles elles sont associées et sont donc d'âge finitertiaire [Cantagrel et al., 1978].

5. *Interprétation.* Les caractères des tufs à blocs et l'association de tufs en pipes, sills et dykes, typiques d'un volcanisme intrusif clastique basaltique ou kimberlitique [Cloos, 1941 ; Coe, 1966 ; Bowes et Wright, 1967 ; Kopecky et al., 1967 ; Berger et al., 1968 ; Hearn, 1968 ; de Vecchi et de Zanche, 1974 ; Hawthorne, 1975] sont classiquement expliqués dans le cadre de la théorie de la fluidification [Cloos, 1941 ; Reynolds, 1954 ; Dawson, 1962 ; Lorenz, 1975 ; Woolsey et al., 1975]. Dans le cas des pipes, les travaux de Woolsey et al.

— déroutante — de blocs descendus et de stratifications à fort pendage, sans pour autant faire inter-

venir de subsidence tardive suivant des failles annulaires : une subsidence tranquille de lits déposés au voisinage de la surface a lieu pendant la phase de fluidification dans les parties marginales du pipe où le flux de gaz est moins violent que dans la partie centrale. Les éléments sédimentaires, stratigraphiquement plus jeunes que l'encaissant, sont donc des témoins de niveaux situés anciennement à l'aplomb des appareils actuels, ce qui lève l'ambiguïté concernant la provenance de ces éléments.

CARACTÈRES PETROGRAPHIQUES.

1. *Pétrographie des tufs.* Les tufs bréchiques sont constitués, en proportion variable, d'éléments basaltiques de couleur gris verdâtre et d'éléments de roches sédimentaires cimentés par des fines et de la calcite. La proportion relative des deux types d'éléments, leur taille, la forme, la texture et la minéralogie des éléments basaltiques, la nature du ciment, sont variables d'une venue à l'autre. Les enclaves de lherzolites sont rares. Il n'a pas été rencontré d'enclaves de roches métamorphiques ou granitiques du socle en raison de la profondeur de celui-ci, qui est de 6 000 m à la verticale de Dakar.

Les éléments basaltiques de petite faille (≤ 1 cm), les plus nombreux, sont de forme subanguleuse, mais aussi parfois amiboïde ou sphéroïdale. Ils ne sont jamais ni vitreux ni palagonitiques et sont rarement bulleux. Ils englobent souvent, partiellement ou totalement, de petits fragments anguleux de roches sédimentaires. Ils présentent des phénocristaux d'olivine, complètement transformés en produits phylliteux verdâtres ou remplacés par de la calcite, associés parfois à des phénocristaux d'amphibole brun-jaune, de pyroxène et de biotite pâle. La pâte non vitreuse est constituée de cristallites et d'opaques.

Les éléments de plus grande faille (du centimètre au décimètre), subanguleux, ne sont jamais scoriacés ou bulleux. Ils montrent une évolution de la texture précédente vers une texture normale, souvent doléritique, par apparition de microlites de plagioclase et de pyroxène. L'olivine y est toujours pseudomorphosée et la calcite est abondante. Ils n'incluent plus d'éléments sédimentaires.

L'amphibole et la biofite, parfois très abondantes en phénocristaux, peuvent aussi se présenter en cristaux millimétriques à centimétriques libres dans les tufs. Dans un échantillon, il existe une enclave centimétrique d'amphibololite, à texture poecilitique, dans laquelle l'amphibole dominante est associée à du pyroxène et à de la biotite. Il faut noter que l'amphibole n'a jamais été observée dans les laves de la région.

Deux types de pisolitisation ont pu être observés. Un premier type, assez classique [Cloos, 1911 ; Kopecky et al., 1967 ; Hearn, 1968 ; Von Eckermann,

1967], que l'on rencontre dans le sondage de Paki, correspond à des éléments basaltiques sphéroïdaux cimentés par de la calcite. Autour de leur cœur, constitué par un ou plusieurs cristaux d'olivine pseudomorphosée, se disposent tangentiellement des microlites de plagioclase.

Un second type, qui ne paraît pas avoir été explicitement décrit jusqu'ici dans un tel contexte, apparaît dans plusieurs tufs, mais est particulièrement net dans les tufs du sondage 2 D de Dakar-Marine. Il correspond à des éléments sédimentaires ou basaltiques, de taille variable (du millimètre à 4-5 cm), entourés d'un mince cortex (0.1 à 2 mm), composé de fines, à texture concentrique très fruste, et dans lequel les particules allongées sont disposées parallèlement au bord de l'élément. Cette texture rappelle celle du cortex des pisolites volcaniques [Moore et Peck, 1962] et un mode de formation analogue semble devoir être invoqué : agglomération de fines autour d'un cœur par tension superficielle ou par attraction électrostatique dans un gaz chargé en particules.

De la *pyrite* et de la *baryline* sont présentes dans le ciment calcitique des tufs. Un mince film de calcite enrobe parfois les éléments de grande taille. Des filonnets de calcite parcourent le tuf.

2. *Interprétation.* L'abondance de l'amphibole et de la biotite en phénocristaux dans les éléments de certains tufs, les pseudomorphoses de l'olivine, la richesse en calcite du ciment, l'absence de verre et de palagonitisation, la texture normale des éléments de grande taille montrent la richesse initiale du magma en gaz et plaident en faveur d'une séparation précoce d'une phase gazeuse riche en CO₂.

Le mélange intime d'éléments basaltiques et sédimentaires, l'existence de petits éléments basaltiques sphéroïdaux ou amiboïdes et leur pénétration par des éléments sédimentaires, l'existence d'une agglomération de fines autour des éléments sont caractéristiques de la fluidification. La possibilité de la réalisation d'une pisolitisation par accréation dans les systèmes fluidifiés naturels, déjà avancée par divers auteurs — par exemple Camus [1975] ou Walker [1971] — est ici confirmée. Mais la texture concentrique de ces pisolites reste fruste, contrairement à celle des pisolites formés dans un nuage volcanique. Remarquons que les deux types de pisolitisation sont couramment obtenus dans la pratique industrielle de la fluidification et ont été observés dans les expériences de Woolsey et al.

Ces caractères pétrographiques, qui montrent l'importance des gaz juvéniles, peuvent être opposés à ceux des dépôts de déferlantes basales, résultant d'explosions phréatomagmatiques, que l'on trouve dans la même région [Crevola, 1974] : présence d'éléments vésiculés vitreux et palagonitiques limités

par des faces courbes, olivine très fraîche, rareté de la calcite, absence d'amphibole et de biotite, présence de blocs trempes et de bombes en chou-fleur à texture vitreuse.

CONCLUSION.

La petite province volcanique basique alcaline et sous-saturée de la presqu'île du Cap-Vert se caractérise, comme d'autres provinces du même type (Arizona, Bohême, Causses, Écosse, Jura souabe, Montana, Vénétie, etc.) par l'importance d'un volcanisme clastique intrusif. Les tufs bréchiques fluidifiés se mettent en place dans une épaisse série sédimentaire en pipes, mais aussi en nombreux sills et dykes. Le caractère intrusif des tufs et la reconnaissance d'un dynamisme de pipe permettent de résoudre quelques problèmes de la géologie locale relatifs à l'âge de certains tufs et à la provenance des éléments sédimentaires des pipes plus jeunes que l'encaissant. Les caractères pétrographiques des tufs montrent le rôle important joué ici par les gaz juvéniles dans la fluidification.

- BERGER E., BROUSSE R. et CAUSSE C. (1968). — Les pipes et les diatèmes des Causses septentrionaux. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (7), t. X, p. 588-600.
- BOWES D. R. et WRIGHT A. E. (1967). — The explosion-breccia pipes near Kentallen, Scotiand, and their geological setting. *Trans. Roy. Soc. Edinburgh*, vol. LXVII, 5, p. 109-113.
- CAMUS G. (1975). — La chaîne des Puys (Massif central français). Etude structurale et volcanologique. Thèse Clermont-Ferrand, 322 p.
- CANTAGREL J. M., CREVOLA G., LAPPARTIENT J. R. et TESSIER F. (19%). — Age du volcanisme de la presqu'île du Cap-Vert (Sénégal) (à paraître).
- CLOOS H. (1941). — Bau und Tätigkeit von Tuffschloten. Un tersuchungen an dem Schwabischen Vulkan. *Geol. Rundsch.*, 32, p. 709-800.
- COE K. (1966). — Intrusive tuffs of west Cork, Ireland. *Quart. J. geol. Soc. London*, vol. 122, p. 1-23.
- COMBIER M. (1938). — Carte géologique de Dakar, notice explicative. *Publ. Comité Ét. Hist. et Sc. A.O.F.*, Paris, Larose, 39 p.
- CREVOLA G. (1974). — Les dépôts de déferlantes basales du volcan des Mamelles (presqu'île du Cap-Vert, Sénégal). *Ann. Fac. Sci. Dakar*, t. 27, p. 99-129.
- DAWSON J. B. (1962). — Basutoland kimberlites. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 73, p. X5-560.
- DE VECCHI Gp. et DE ZANCHE V. (1974). — Fluidization and tuffization in the western Venetian Alps. *Boll. Soc. geol. II*, 93, p. 317-330.
- HAWTHORNE J. B. (1975). — Model of a kimberlite pipe. In : L. H. Ahrens, J. B. Dawson, 4. R. Duncan et A. J. Erlank (ed.), *Physics and Chemistry of the Earth*, 9, p. 1-16.
- HEARN B. C. (1968). — Diatreme with kimberlite affinities in north-central Montana. *Science*, 159, p. 622-623.
- KOPECKY L., PIŠOVÁ J. et POKORSY L. (1967). — Pyrope-bearing diatremes of the České středohorí Mountains. *Sborn. Geol. Véd.*, G 12, p. 81-130.
- LORENZ V. (1975). — Formation of phreatomagmatic maar-diatreme volcanoes and its relevance to kimberlite diatreme. In : L. H. Ahrens, J. B. Dawson,

- A. R. Duncan et A. J. Erlank (ed.), *Physics and Chemistry of the Earth*, 9, p. 17-26.
- MONOD Th. (1949). — Note sur les couches à Lépidocyclines. *Études sénégalaises*, I.F.A.N., Dakar p. 57-61.
- MOORE J. G. et PECK D. L. (1962). — Accretionary lapilli in volcanic rocks of the western continental United States. *J. Geol.*, 70, p. 182-193.
- REYNOLDS D. L. (1954). — Fluidization as a geological process, and its bearing on the problem of intrusive granites. *Am. J. Sci.*, 252, p. 577-613.
- TESSIER F. (1950). — Contribution à la stratigraphie et à la paléontologie de la partie ouest du Sénégal (Crétacé et Tertiaire). Thèse Marseille et Bull. *Dir. Mines A.O.F.*, 14, 573 p.
- TESSIER F. (1951). — Notice explicative sur la feuille Dakar-Est. *Carte géologique de l'A.O.F. au 1/200 000*. 88 p.
- VON ECKERMANN H. (1967). — A comparison of swedish, african and russian kimberlites. In : P. J. Wyllie (ed.), *Ultramafic and related rocks*, p. 302-313.
- WALKER G. P. L. (1971). — Grain size characteristics of pyroclastic deposits. *J. Geol.*, vol. 79, 6, p. 696-714.
- WOOLSEY T. S., McCALLUM M. E. et SCHUMM S. A. (1978). — Physical modeling of diatreme emplacement by fluidization. In : L. H. Ahrens, J. B. Dawson, A. R. Duncan et A. J. Erlank (ed.), *Physics and Chemistry of the Earth*, 9, p. 29-42.
-