

Deux géosites emblématiques du volcanisme dans la presqu'île du Cap-Vert (Sénégal) : les volcans des Mamelles et des îles de la Madeleine

Gilbert Crevola¹, Abdoulaye Ndiaye² et Papa Malick NGom³.

Le réseau africain des géoparc

Dans les pays africains, comme dans les pays du nord, si la protection de la biodiversité, sous forme de parcs naturels et de réserves naturelles, est ancienne, pouvant remonter au début du XX^e siècle, la protection du patrimoine géologique est une préoccupation relativement récente, quelques décennies tout au plus. Ainsi, le Sénégal compte 6 parcs nationaux pour la faune et la flore et une trentaine de réserves naturelles. Le premier celui du Niokolo-koba date de 1954, succédant lui-même à une réserve. En Afrique, plusieurs pays, notamment le Maroc, comptent désormais plusieurs géoparc et beaucoup d'autres sont en projet ou en voie de réalisation sous l'égide de l'UNESCO (*african geoparks network*, créée en 2009 : Errami *et al.*, 2015 ; voir <http://www.globalgeopark.org/>).

Projets et possibilités de géoparc et de géosites au Sénégal

Lors de la deuxième conférence internationale sur les géoparc d'Afrique et du Moyen Orient, qui a eu lieu à Dakar en 2014, sous l'égide de l'UNESCO (Initiative de Géoparc et de Centre de Science en Afrique Francophone, 2014), 3 projets de géoparc sénégalais ont été présentés. En dehors de leur intérêt géologique et pédagogique intrinsèque, ils peuvent présenter, selon les cas, un volet géodiversité, et un volet ethno-culturel dont les bénéfices à en attendre pour la zone concernée, sont évalués.

Le géoparc de la Petite Côte. À moins de 100 km de Dakar, il concerne d'abord la zone côtière à falaises pittoresques de calcaire éocène et de grès maastrichtien, s'étendant de Bargny à Joal, falaises du Cap Rouge, du Cap de Naze notamment. Les deltas et lagunes à mangroves sont des conservatoires pour la biodiversité. Son arrière-pays du horst de Ndiass et de la falaise de Thiès sont des sites classiques pour la stratigraphie, la paléontologie et la tectonique.

Le géoparc de Walidiala (Youm *et al.*, 2018). Il est situé dans l'extrême sud-est du pays, près de Kédougou, au pied de la falaise du Fouta-Jalon. Il est très intéressant du point de vue géologique, car on peut y observer le socle birimien (~ 2000 Ma), fait de micaschistes, de granites et de marbres, surmonté par des niveaux du néoproterozoïque (650 Ma), avec la tillite éocambrienne. Les gabbros

d'Ibel - Landiéni, intrusifs dans les séries gréseuses qui coiffaient le birimien, se trouvent maintenant en position d'inversion de relief, dominant la plaine birimienne de 200 à 300 m. Par ailleurs ce géoparc est remarquable par ses écosystèmes soudaniens.

Le géoparc de Dakar. Parmi les trois projets, c'est celui qui a fait l'objet d'une évaluation précise (ANSRA, 2015). Il concerne aussi bien le **volcanisme tertiaire** (environ de 20 à 5 Ma) que le **volcanisme quaternaire** (de 1,5 à 0,5 Ma). Il est décliné en plusieurs géosites géographiquement circonscrits (Fig. 1) : sites côtiers de la Pointe des Almadies, des Mamelles, de la Pointe de Fann et du Cap Manuel et sites insulaires de l'île de Gorée et des îles de la Madeleine. Deux de ces sites présentent un d'intérêt considérable, **ceux des Mamelles et des îles de la Madeleine**, les autres sites ayant surtout un intérêt paysager. Soulignons toutefois l'intérêt épistémologique de la pointe de Fann, où a été mise en évidence en 1934 par Combier, la superposition des volcanismes quaternaire et tertiaire. Le site historique de l'île de Gorée présente, en plus, bien sûr, un grand intérêt culturel. La réalisation de ce géoparc est prioritaire, en particulier pour le site des Mamelles, en raison de son immense intérêt scientifique, de l'ur-

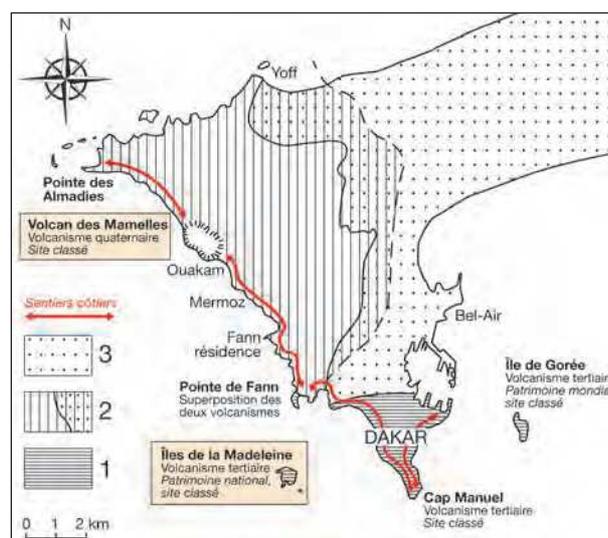


Figure 1. Carte géologique schématisée de la tête de la presqu'île du Cap-vert montrant les divers géosites du géoparc de Dakar ; 1, substratum tertiaire ; 2, coulées de laves quaternaires, avec extension sous les sables ; 3, sables quaternaires. Source : d'après document ANSRA.

1. Ancien enseignant aux universités de Dakar et de Bordeaux 3. Courriel : crevola.gilbert@yahoo.com

2. Université UCAD (Université Cheikh Anta Diop de Dakar).

3. Département de Géologie UCAD (Université Cheikh Anta Diop de Dakar). Courriel : komalick@gmail.com

gence de sa sauvegarde et de la demande pédagogique locale pressante.

Dans un premier temps, les potentialités scientifiques sont déterminées, puis, la phase préparatoire à l'obtention d'une labellisation par l'UNESCO passe par la mise sur pied d'un argumentaire très détaillé. En dehors des aspects scientifiques et pédagogiques intrinsèques, de nombreux critères extrinsèques : esthétiques, socio-culturels, économiques, de valorisation pédagogique, de fonctionnement, doivent être respectés. Il y faut une volonté politique opiniâtre, soutenue par les motivations de la collectivité scientifique et de la société civile.

Intérêts pédagogiques majeurs des deux géosites des Mamelles et des Iles de la Madeleine

Leur intérêt intrinsèque résulte d'abord de l'observation d'une multitude d'objets géologiques, de leurs relations géométriques (indépendamment du volcanisme, ils illustrent des principes de base de la stratigraphie et de la tectonique) et de la compréhension des nombreux phénomènes éruptifs impliqués.

Leur intérêt socio-éducatif vient de l'énorme demande de la part des établissements scolaires et universitaires d'une agglomération de 4 millions d'habitants. Au Sénégal, les classiques excursions géologiques aux Mamelles, adaptées aux divers niveaux, qui s'appuient sur une documentation de bon niveau, sont en quelque sorte un rituel éducatif. Le site de la Madeleine, quant à lui, pourra combiner diverses approches naturalistes sur un socle géologique de premier ordre.

Ces sites « providentiels » permettent de répondre à la recommandation de l'UNESCO pour l'éducation en sciences de la Terre en Afrique, ainsi qu'à une sensibilisation à tous les aspects du milieu naturel.

Le volcan des Mamelles : un remarquable appareil volcanique ancien « à ciel ouvert »

Présentation

Le volcan pléistocène inférieur des Mamelles est le seul appareil volcanique aérien de la presqu'île dont il porte le point culminant. Il est donc aussi, *l'unique exemple d'appareil volcanique aérien de toute l'Afrique de l'Ouest*, ce qui en fait un géosite exemplaire.

De de taille moyenne, son cœur d'environ 2 km de diamètre, est ceinturé par un glacis de coulées, l'ensemble ayant un diamètre de 10 km. Du fait de l'érosion et de la tectonique postérieure à son activité, il ne subsiste, sur la partie émergée de la côte, que la moitié nord-est de l'appareil originel. Malgré leur âge vénérable d'un million d'années, les affleurements actuellement visibles autorisent une reconstitution des phases d'activité et de la structure résultant de leur succession (Fig. 2). En effet, l'érosion a mis à nu le cœur du volcan, au niveau des deux Mamelles et des plateaux du champ de tir et du camp Archinard, d'où son qualificatif de « volcan à ciel ouvert ». D'autre part, ses parties distales ont été préservées en partie, sur environ 8 km, dans les falaises côtières des Almadies à Fann. Les vestiges du passé de ce volcan sont encore imposants : les deux mamelles culminent à 105 et 99 m d'altitude respectivement ; la falaise littorale du champ de tir et du camp Archinard a 40 à 50 m de hauteur.

L'étude de ses laves a fait l'objet de nombreux travaux depuis le début du XX^e siècle : Chautard, 1907 ; Gorodiski, 1952 ; Debant, 1963 ; Bellion et Crevola, 1991 ; Crevola *et al.*, 1994 ; Roger *et al.*, 2009 ; N'Diaye et NGom, 2014. Sa structure et son évolution n'ont été bien décrits qu'à partir des années 60 (Faure *et al.*, 1967 ; Crevola, 1974, 1975).

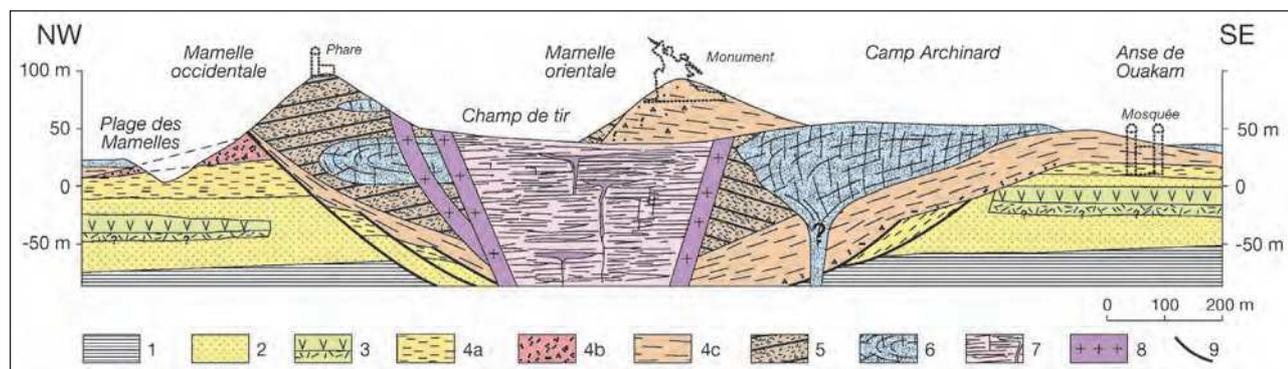


Figure 2. Coupe semi-interprétative de l'appareil volcanique des Mamelles ; 1, substratum tertiaire ; 2, sables infra-basaltiques ; 3, dolérite et tufs d'une phase d'activité antérieure ; 4a, tufs lités, niveau inférieur ; 4b, scories noires ; 4c, tufs lités, niveau supérieur ; 5, scories rouges stromboliennes ; 6, laves massives en intrusions et coulées ; 7, lac de lave dans cratère-puits ; 8, cone-sheet de dolérite ; 9, faille listrique. Source : d'après Bellion et Crevola, 1991.

Ce volcan est un exemple remarquable d'appareil polygénique édifié au cours de plusieurs phases d'activité de dynamismes différents : successivement des phases phréatomagmatiques, stromboliennes avec effusion de laves, d'effondrement à cratère-puits et à lac de lave, et enfin filoniennes (voir figure 2).

Les types d'activité particuliers

En dehors des phases d'activité strombolienne et d'épanchement lavique qui sont de type classique, trois autres types particuliers de dynamisme, ici magnifiquement exprimés, présentent un intérêt scientifique et pédagogique majeur.

Les deux premières phases de type phréatomagmatique édifient deux appareils successifs de type maars, séparés par la mise en place d'un appareil de scories noires. Il sera par la suite, pulvérisé par la deuxième phase. Ces phases mettent en place des tufs lités remarquables par leur grande extension, déposés sur 3 voire 4 km au-delà du cratère, visibles suivant une coupe quasi continue (Crevola, 1974.) Cette disposition rarement observée dans les exemples classiques de maars est due à une topographie antérieure assez plate et à la protection assurée par les coulées sus-jacentes.

Bien que stratifiés, d'où le terme de tufs lités, dans le détail, les caractères classiques des dépôts de déferlantes basales : antidunes, stratifications obliques, blocs déformants, blocs non déformants, niveaux à pisolithes volcaniques sont présents. Pétrographiquement, ils sont constitués d'éléments du substratum : sédiments calcaires du substratum éocène et quartz des sables infra-basaltiques. Les éléments juvéniles sont des lapillis palagonitiques bulleux.



Figure 3. Structure de la Mamelle occidentale montrant la disposition des produits des premières phase d'activité, photo antérieure aux dégradations de la falaise. Source : Wikimedia commons.

La phase d'effondrement à cratère-puits, puis à lac de lave. Des effondrements suivant des failles courbes, inclinées vers l'intérieur du volcan ont lieu au sein du cône strombolien à la suite de vidanges de la chambre magmatique. Le cratère-puits, grossièrement ellipsoïdal est de taille moyenne (600 x 400 m) ; il est rempli par un empilement de petites coulées. Il n'existe actuellement que 4 ou 5 exemples de lacs de lave actifs sur terre, dont ceux du Niragongo et de l'Erta Alé sont les plus célèbres. Ces coulées, peu épaisses, ont une surface lisse, d'aspect vitreux, en boyaux torsadés. En lame mince, elles montrent une structure vacuolaire avec des phénocristaux de plagioclase, pyroxène et olivine de grande taille et un fond vitreux à cristallites de plagioclase, qui préfigure la texture de la coulée doléritique terminale.

La mise en place des cone-sheets. De 5 à 10 m d'épaisseur, les *cone-sheets* ont une géométrie en tronc de cône renversé (ou entonnoir ou encore en coupe de champagne) incliné vers l'intérieur de l'appareil. Ils utilisent d'anciennes surfaces courbes tronconiques d'effondrement, emboîtées. L'une des deux est celle du cratère-puits, l'autre, qui recoupe les scories stromboliennes, lui est tangente. Ils sont constitués de dolérite vacuolaire et ont pu alimenter la ou les coulées de dolérite terminale ou « dolérite de Dakar ».

Quelques sites

La plage des Mamelles. Elle montre (voir figure 2) la disposition des tufs des deux premières phases et des scories noires de la phase strombolienne intermédiaire ; le premier niveau bien stratifié et les scories qui le surmontent sont recoupés par une faille listrique sur laquelle s'appuie le niveau supérieur de tuf incliné vers l'Est. Le cône strombolien a recouvert ces premiers appareils ; il est lui-



Figure 4. Cone-sheet constituant la falaise du champ de tir, limitant les fines coulées du lac de lave. Crédit-Photo Sénégal Escalade.

même intrudé par un filon-couche de basanite (Fig. 3).

La falaise du champ de tir. Elle montre d'Ouest en Est, le bord externe de la carapace filonienne qui a protégé les scories stromboliennes et de celui limitant les coulées du cratère-puits. La partie externe du cone-sheet, exposée aux embruns, subit la corrosion littorale qui donne naissance à de curieuses sculptures minérales (Fig 4).

De l'anse de Ouakam à Fann. On pourra observer sur l'estran et dans les falaises côtières, la coupe type suivante, de la base au sommet (voir figure 2) :

- à la base, une coulée de dolérite à débit en boule avec une frange d'altération latéritique. Il s'agit d'une activité antérieure à celle des Mamelles (1,4 Ma) dont les témoins sont présents au sein des sables infra-basaltiques ;
- les sables infra-basaltiques roux, de puissance métrique ;
- les tufs palagonitiques lités avec à leur base une flore fossile ; on distinguera un niveau inférieur et supérieur correspondant aux deux phases. Leur base moule les ondulations des sables roux (Fig. 5) ;
- deux coulées de basanites microlithiques et deux coulées doléritiques dont la supérieure (« dolérite de Dakar », altérée en boules.

Le panorama observé depuis le phare des Mamelles occidentale. La montée vers le phare permet d'observer les projections et les courtes coulées de lave de la phase strombolienne. Notons qu'une énorme bombe fuselée strombolienne (1,7 x 1 m pour 2,4 t) a été trouvée dans ce site. La plateforme du phare permet de faire une synthèse des observations afin de reconstituer l'histoire du volcan et de décrire la morphologie de la tête de la presqu'île.

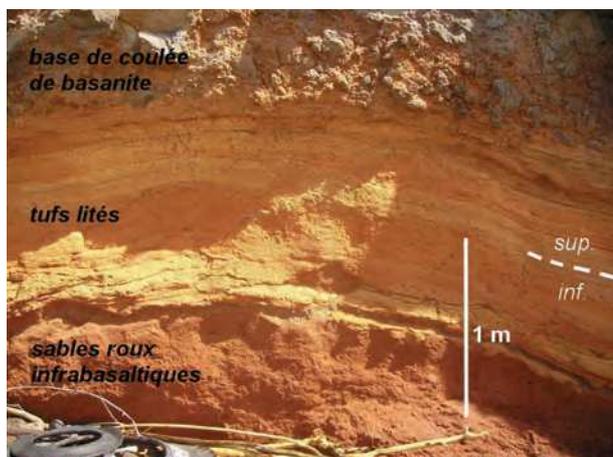


Figure 5. Plage de Fann : Sables roux, tufs lités et base de coulée. Crédit Photo : G. Crévola.

Valorisation et conservation

L'exploitation pédagogique des observations pourra être complétée par la présentation de documents (photographies, ouvrages, vidéos) relatifs à des éruptions actuelles ou récentes et aux appareils qui en résultent. À titre d'exemple : l'Eifel (Allemagne) et ses maars, pour le phréatomagmatisme ; l'Erta Alé (Ethiopie) ou le Niragongo (RDC) pour les lacs de lave.

Des thèmes connexes pourront être abordés :

- les dynamismes volcaniques, le cas particulier du phréatomagmatisme ;
- la morphologie volcanique propre à chacun des types d'activité ;
- la morphologie de la tête de la presqu'île ;
- l'érosion côtière naturelle et anthropique ;
- les risques volcaniques.

Les divers affleurements observés et les dégradations naturelles ou anthropiques qui ont pu y être constatées, ainsi que l'urbanisation rapide de secteurs côtiers, doivent conduire à la sensibilisation des jeunes générations à la protection de ce géosite, bien culturel de la République du Sénégal. Malgré son classement en monument historique, il n'a pas fait jusqu'ici l'objet d'une protection efficace et est maintenant menacé par un urbanisme déraisonnable.

Ainsi, le volcan des Mamelles est un géosite exceptionnel pour l'étude des phénomènes volcaniques. Son intérêt pédagogique, très ancien, a été longuement souligné. L'aménagement de ses affleurements et leur protection sont maintenant impératifs.

Les îles de la Madeleine : un géosite d'intérêt exceptionnel pour les naturalistes

Présentation

Les laves, témoins du volcanisme tardi à fini miocène ou « système éruptif de Dakar », sont situées au sud de la tête de la presqu'île du Cap Vert (voir figure 1). Si l'on excepte le site de la Pointe de Fann à fleur d'eau, trois autres sites importants, l'île de Gorée, le Cap Manuel et l'archipel des îles de la Madeleine sont spectaculaires, offrant au visiteur le spectacle grandiose de leurs colonnades de prismes, surgies des flots.

L'archipel des îles de la Madeleine (voir figure 1), à 3,5 km au SW de Dakar, est constitué d'une île principale, l'île de la Madeleine ou île aux Serpents, et d'îlots et récifs

groupés sous le nom d'île Lougne. D'une superficie de 25 hectares, l'île de la Madeleine se présente comme un plateau basaltique régulièrement incliné vers le NE, limité par des falaises prismées abruptes (Fig. 6). Inhabité, c'est d'abord une réserve insulaire pour l'avifaune, d'où l'appellation d'« île aux Oiseaux », qui a conduit à son classement en réserve naturelle en 1949, puis en parc naturel en 1976. En dehors de sa biodiversité exceptionnelle, avifaune marine mais aussi ichtyofaune et végétation adaptée aux conditions insulaires tel le baobab nain, elle doit aussi être considérée comme un géosite remarquable, joyau du volcanisme de la presqu'île et du géoparc de Dakar, aspect longtemps occulté par l'intérêt biologique.

On peut rapprocher l'île de la Madeleine de la célèbre île de Staffa en Écosse. Ces deux îles inhabitées ont des superficies et des altitudes équivalentes. Elles se présentent comme des tables basaltiques à prismation spectaculaire. Richesse paysagère, réserve d'avifaune et site hors du temps en font des sites touristiques attractifs.

De nombreux sites internet sont consacrés à ce parc naturel ; en particulier, Meriotte et Durand, 2016, le désignant comme site naturel majeur du Sénégal. Ils mettent en avant sa richesse paysagère, due au cadre minéral insulaire sauvage et inattendu, comme sa biodiversité exceptionnelle. Ils invitent à la visite mais aussi au dépaysement à quelques encablures de l'agitation de la capitale. En outre, cette île est riche d'un patrimoine culturel, protohistorique révélé par l'archéologie, historique des chroniques des premiers visiteurs européens et mystique, de la tradition orale des pêcheurs lébous (Descamps et Barbey, 1968).

La géologie de l'île a été étudiée par Gorodiski (1952) et par Combié (1952) qui s'est intéressé en particulier à la pétrographie, et a été revisitée par Crevola (1982, 2015). L'île, restée sauvage, offre, contrairement au littoral de la presqu'île, des affleurements de grande qualité, observables dans leur aspect originel. Si c'est le caractère spec-

taculaire et atypique de la prismation qui retient d'abord l'attention, ses caractères pétrographiques et la présence d'un diatrème sont également attractifs.

Intérêt Géologique

La prismation y est soit classique, en orgues à une seule colonnade de prismes verticaux grossiers dans la majeure partie de l'île (Fig. 7), soit atypique dans sa partie sud et l'île Lougne. De longs faisceaux de prismes courbes sont disposés à plat, en arcs longs de plusieurs dizaines de mètres, à concavité tournée vers le haut. Cette prismation atypique a été dénommée « *prismation en arcs* », sous-entendu, en arcs disposés à plat, par Crevola (2015). Ces arcs de prismes s'affrontent à partir de grandes discontinuités agrandies par l'érosion marine donnant des figures en « mégachevrons » (Fig. 8 et 9).

Le géologue Marcel Combié décrivait en 1952, le Sud de l'île de la Madeleine, l'île principale, en ces termes : « *Le Sud de l'île est divisé en secteurs d'une trentaine de mètres de hauteur, séparés par de profondes coupures au fond desquelles gronde la mer. Des gerbes de colonnes basaltiques d'axe courbe mais quasi horizontal, paraissent se jeter l'une contre l'autre. On croirait saisi - depuis longtemps figé - le mouvement même des laves qui jaillissaient de la profondeur et se rencontraient en chocs gigantesques. À l'extrémité Sud de l'île, inaccessible, l'axe des colonnes se relève jusqu'à la verticale et dessine une arche naturelle entourée d'écume* ». Le visiteur est effectivement pétrifié par cette architecture minérale qui s'écarte de la classique ordonnance des coulées à colonnade et entablement de faux prismes et les superlatifs de superbe, unique, sublime, grandiose, fascinant viennent naturellement à la bouche. Cette architecture improbable qui semble inconnue ailleurs, constitue un patrimoine local exceptionnel. Un début d'interprétation a été proposé à la suite de travaux récents, sur la prismation en éventail de certaines coulées (Forbes *et al.*, 2014) : de l'eau qui pénètre à partir du



Figure 6. Vue aérienne de l'île de la Madeleine, avec en arrière fond, le Plateau de Dakar et ses buildings. Crédit- photo : C. Moreau.



Figure 7. Prismation à une seule colonnade de prismes dans le nord de l'île. Crédit photo G. Crévola.



Figure 8. Vue d'ensemble de la partie sud de l'île : des arcs décimétriques de prismes s'affrontent suivant de grandes discontinuités, agrandies par l'érosion marine. L'une d'elle donne naissance à une arche naturelle.



Figure 9. « Mégachevron » par affrontement d'arcs de prismes.

toit de la coulée par des fissures modifie la répartition des isothermes dans la partie moyenne encore liquide de la coulée, induisant une disposition locale à plat des prismes.

Le diatrème de la crique Hubert correspond à une dépression de la table basaltique en forme de 8, qui com-

munique avec la mer. La partie nord-ouest, est remplie de tufs volcaniques mixtes à éléments volcaniques et sédimentaires, à granulométrie variable et à pendages redressés qui s'injectent localement dans les parois basaltiques de leur pourtour. Ce dispositif correspond à un petit appareil de type diatrème qui recoupe la coulée basaltique, ce type de dynamisme étant fréquent dans la presqu'île du Cap Vert (Crevola, 1978).

Les types pétrographiques associés. Trois types pétrographiques sont intimement associés avec des passages progressifs ou brusques. L'évolution se fait d'une mélabasanite aphanitique à une dolérite puis à des pegmatitoïdes. Ces roches font partie de la même coulée et ont été mises en place simultanément. Leurs contacts qui recourent les prismes sont parallèles à la fluidalité, ce qui peut s'observer notamment au niveau de la crique Hubert. Ils fournissent des exemples des classiques associations laves conjointes - pegmatitoïdes (Lacroix, 1928) dont la genèse reste débattue.

Cette île présente un géosystème à trois couches (Gray, 2014), ce qui fait son intérêt naturalistique et pédagogique : la géologie et la géomorphologie physique, éléments majeurs de sa richesse paysagère, la biodiversité liée à son insularité, enfin son patrimoine culturel. Soulignons l'opportunité offerte à la communauté scientifique d'approfondir, dans cette île, dans les meilleures conditions d'observation, l'étude du phénomène de la prismation et de la genèse des laves à pegmatitoïdes toujours d'actualité.

Références bibliographiques

- Vous trouverez les références bibliographiques de cet article sur le site de la SGF : www.geosoc.fr