

OBSERVATIONS GÉOMORPHOLOGIQUES À L'ÎLE VOLCANIQUE DE TERCEIRA (AÇORES)

Les différentes îles des Açores sont constituées de deux types principaux de relief: des strato-volcans à grandes caldeiras avec des cônes secondaires sur les pentes externes, et des alignements de cônes plus ou moins importants. La combinaison des deux types donne à chaque île son originalité et son allure.

São Miguel, carrefour de deux directions qui se recoupent obliquement, doit à ceci son allure arquée; beaucoup plus longue que large parce que la caldeira principale, la merveilleuse caldeira de Sete Cidades est nettement à l'écart, au NW de l'île, séparée d'une trentaine de kilomètres du second édifice important, la Lagoa do Fogo, par une région basse, longue et effilée, où s'alignent de multiples petits cônes stromboliens. Le massif de la Lagoa do Fogo est lui-même éloigné d'une quinzaine de kilomètres du système complexe des caldeiras de la Lagoa das Furnas au-delà duquel s'étend le Planalto das Graminhas, puis l'imposant massif du Pico da Vara (1105 m).

Faial, dans le groupe central, est formé à l'Est d'un imposant édifice à caldeira, à l'Ouest duquel s'allonge une pointe formée de cônes alignés que l'éruption de 1957 des Capelinhos a contribué à faire avancer sur la mer, donnant à cette île extraordinaire l'allure d'une gigantesque raie.

Pico, dans l'axe tectonique de Faial, n'a pas de caldeira et conserve encore intact son cône principal qui, à 2219 m, mérite son surnom de Fuji Yama des Açores. A l'ESE de ce beau volcan, l'île se rétrécit progressivement par une succession de cônes secondaires plus petits.

São Jorge est une échine parfaitement rectiligne de plus de 60 km de long et dont la largeur dépasse rarement 10 km, les volcans la constituant étant eux aussi très bien alignés et leur diamètre jamais très important.

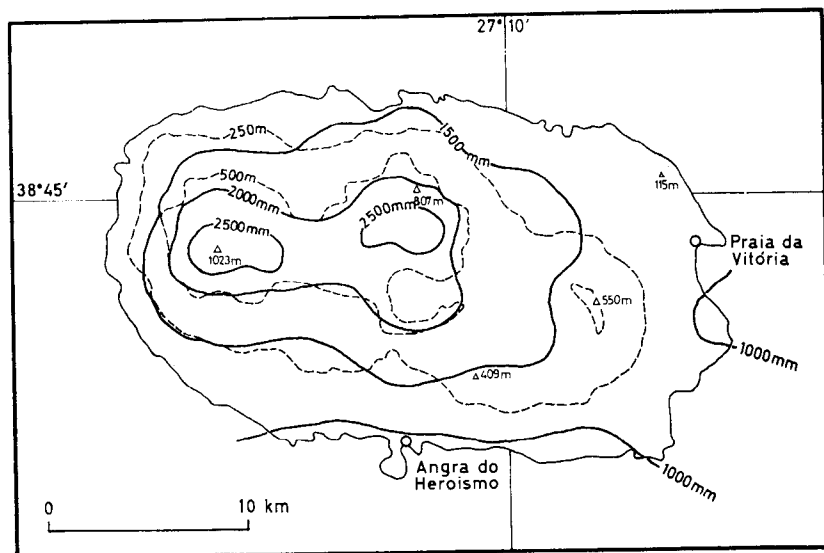


Fig. 1 — Carte pluviométrique de l'île de Terceira, d'après J. AGOSTINHO. En tireté, courbes de niveau, en trait plein, isohyètes annuelles. Les deux maxima de l'île (Santa Bárbara à l'Ouest et massif trachytique au centre nord) apparaissent bien, égaux ou supérieurs à 2500 mm par an.

Terceira, elle, doit sa massivité à ce qu'elle est formée de trois massifs à caldeiras très rapprochés :

- a) le massif de la Serra do Cume et sa caldeira,
- b) le massif de la Serra do Morião et la caldeira de Guilherme Moniz,
- c) le massif de Santa Bárbara, sa caldeira et ses reliefs originaux.

I. L'ARMATURE DE L'ÎLE DE TERCEIRA

Ce sont ces trois massifs volcaniques très rapprochés, aux caldeiras plus ou moins grandes, qui constituent les éléments majeurs du relief autour desquels s'organisent les éléments secondaires, cônes stromboliens alignés, coulées plus

ou moins épaisses, dômes-coulées de trachytes (fig. 2). Il faut ajouter, méritant une étude à part, le massif trachytique du centre nord de l'île ⁽¹⁾.

1. LE MASSIF DE LA SERRA DO CUME ET SA CALDEIRA

A. Les restes d'une grande caldeira

Elle constitue l'élément majeur de diversification du relief de la partie orientale de l'île (fig. 2 et 9). Cette caldeira très vaste, ou plutôt ce qui en reste, est loin de former une entité morphologique évidente et continue. Cependant les aspects topographiques qui subsistent sont suffisamment clairs. Ils sont au nombre de trois :

⁽¹⁾ Ayant eu connaissance du travail d'un pédologue portugais, l'Ingénieur O. Vasconcelos de Azevedo, sur l'île de Terceira, l'idée nous est venue, fortement encouragé par cet ami, d'en faire l'étude morphologique. La Fondation Calouste Gulbenkian ayant accepté de nous aider, nous avons pu, en Juillet-Août 1970, effectuer les déplacements nécessaires. Qu'elle en soit ici vivement remerciée.

Avant de nous rendre aux Açores nous avons, au cours d'un séjour d'une semaine à Lisbonne, réuni la documentation indispensable (cartes topographiques, géologiques, photographies aériennes, bibliographie). Pour cela nous avons reçu l'aide, aussi aimable qu'efficace, de nos collègues du Centre d'Etudes Géographiques de l'Université de Lisbonne, en particulier Orlando Ribeiro, Suzanne Daveau, Raquel Soeiro de Brito et Ilídio do Amaral.

Notre arrivée à Terceira avait été préparée par les Professeurs Rafael Avila de Azevedo, de l'Université de Porto, et Orlando Ribeiro. Cela renforce encore la sympathie de l'accueil du Préfet de Terceira, Dr. Teotónio Machado Pires auquel les tâches administratives n'ont pas fait oublier de fines connaissances de la géographie et de ses besoins. C'est pourquoi nous avons pu utiliser pendant deux semaines un véhicule tous terrains des Services Forestiers. Son conducteur, l'Ingénieur João Carlos Areia Borges Cota, en nous faisant emprunter de nouvelles pistes récemment ouvertes par ses services, facilita beaucoup notre travail de terrain dans les parties les moins accessibles et les moins connues de l'île. L'association des spéléologues de Terceira, os Montanheiros, nous fit connaître, quant à elle, des grottes et des tunnels découverts par ses membres.

Ainsi, en toutes circonstances, nous avons reçu une aide et un accueil qui nous ont été très précieux. Que tous ceux qui à Lisbonne comme aux Açores en furent les auteurs, soient ici chaleureusement remerciés, ainsi que le comité de rédaction de la revue «Finisterra» qui a bien voulu accueillir ces lignes.

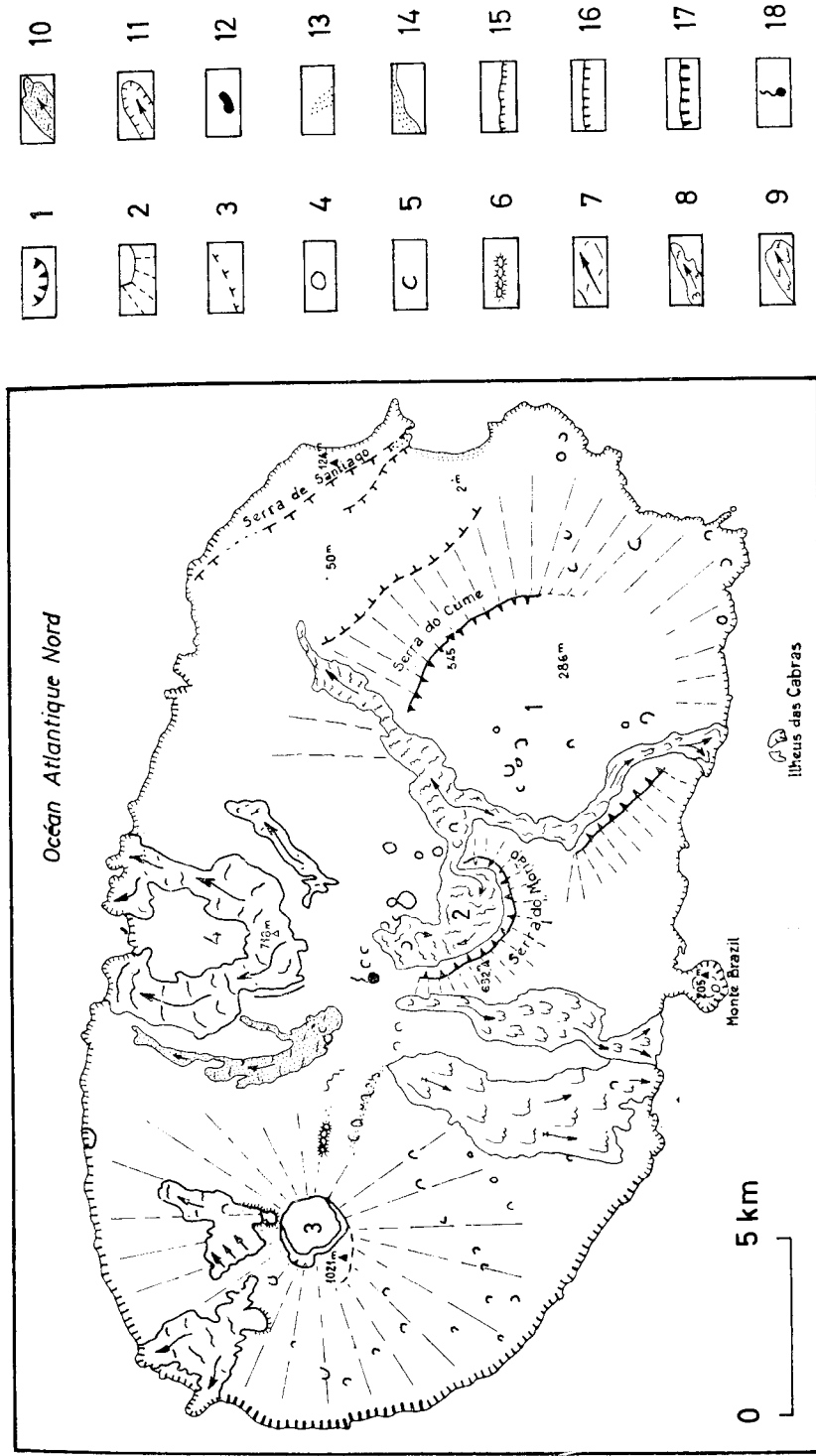


Fig. 2 — Croquis morphologique général. 1: Escarpement de caldeira — 2: grandes pentes externes des massifs à caldeira — 3: escarpements de faille de la tectonique générale du NE — 4: cône strombolien adventif — 5: cône strombolien égueulé — 6: dômes-champignons de 1761 (Mistério Negro) — 7: dômes-coulées de trachyte du massif du centre nord (4) — 8: coulées de basalte (cheires) ayant contribué au remplissage des caldeiras de Serra do Cume (1) et de Guilherme Moniz (2) — 9: coulée d'andésite de San Mateus — 10: coulée de basalte de 1761 — 11: promontoire de trachyte — 12: lac — 13: alluvions quaternaires — 14: côte basse de Praia da Vitória — 15: côte rocheuse de moins de 50 m de hauteur — 16: id., de 50 à 100 m — 17: id., de plus de 100 m — 18: solfatare de Furnas do Enxofre. Les chiffres portés sur le croquis indiquent: 1, la caldeira de la Serra do Cume da Praia, 2, la caldeira de Guilherme Moniz, 3, la caldeira de Santa Bárbara, 4, le massif trachytique du centre nord de l'île.

a) La Serra do Cume proprement dite. — C'est l'élément de relief le plus important qui subsiste et c'est pourquoi nous étendons son nom au système volcanique large et puissant que l'on peut reconstituer à partir de lui. Il s'agit d'une masse montagneuse dissymétrique culminant à 545 m. Elle s'impose immédiatement au regard depuis l'aéroport de Lajes ou depuis la ville de Praia da Vitória comme un massif allongé, aux pentes externes douces et très évoluées, parcourues par un réseau d'une vingtaine de rivières assez encaissées dans des vallées rayonnantes et nettement soulignées par un ruban de végétation forestière. La route directe Lajes-Angra do Heroísmo gravit obliquement ces pentes au milieu d'un charmant bocage aux haies vives d'hortensias bleus, franchit un petit col, 400 m à l'Ouest de la Serra do Cume et, d'un coup, débouche sur un paysage différent:

b) Une vaste plaine intérieure qui s'étend un peu plus bas, à une altitude voisine de 300 m. La route est parfaitement rectiligne sur plus de 6 km. C'est la plus longue ligne droite de l'île de Terceira et son développement représente le diamètre de la plus grande et de la plus ancienne caldeira des îles du groupe central des Açores. De cette plaine apparaissent clairement les problèmes: les pentes internes de la Serra do Cume sont beaucoup plus raides, encore que régularisées et sans replats structuraux; elles correspondent à l'escarpement évolué à partir de la faille dont le rayon de l'arc permet de reconstituer la totalité de la caldeira primitive. L'intérieur de celle-ci, c'est-à-dire la plaine, est constitué par trois types de relief:

De grandes étendues très mollement ondulées, cultivées sur un sol assez épais, aux parcelles séparées (fait constant aux Açores) par des haies d'épierrement.

Des cônes stromboliens, particulièrement au centre ouest de la caldeira où ils constituent le groupe au nom évocateur des «Cinco Picos» dont le plus élevé est celui de Ginjal (482 m) qui domine la caldeira d'une hauteur relative de 180 m environ. Ce «Pic de Ginjal» (comme disent les Açoréens qui ont coutume d'appeler Pic ou «Pico» les cônes stromboliens qui constellent l'île) a donné son nom à un petit lac, la «Lagoa do Ginjal». Il ne s'agit vraisemblablement ni d'un lac de cratère, ni d'un «maar», mais plutôt d'un petit lac de barrage,

bloqué derrière un petit puy. Ces petits cônes semblent alignés sur des fractures légèrement obliques, de direction NNW-SSE ou NW-SE.

Des coulées récentes, en véritables «cheires». Un même flot de basaltes scoriacés a dévalé, à partir d'un point d'émission situé au NW de la caldeira, en trois directions: au NE, profitant de l'abaissement d'axe de la Serra do Cume pour former la coulée de Fontinha; à l'Ouest, pour remplir la caldeira voisine de Guilherme Moniz; au Sud, le flot, rencontrant les parois internes de la Serra da Ribeirinha (symétrique de la Serra do Cume de l'autre côté de la plaine intérieure), longe celle-ci, prenant de ce fait une direction SE, la contourna et, par une ancienne vallée, à la hauteur du village de Feteira, s'étala avant d'atteindre la mer. Ces cheires, rocailleuses et boursouflées, incultes et recouvertes d'herbes et de fougères, contrastent nettement avec les étendues cultivées plus anciennes du fond de la plaine intérieure de la caldeira.

c) La Serra da Ribeirinha est le pendant, de l'autre côté de la plaine intérieure des Cinco Picos, de la Serra do Cume. Elle en a la dissymétrie, flanc interne assez accusé aux pentes toujours voisines de 30°, sauf à mi-pente où apparaît un ressaut vertical d'une dizaine de mètres d'élévation correspondant à l'affleurement d'un niveau compact de trachy-andésites grossièrement columnaires. La destruction progressive par l'érosion mécanique de ce banc dur a, en aval, pavé le versant de blocs clairs qui ont dû glisser en masse en un processus lent mais régulier. Cette évolution est d'ailleurs parfois terminée lorsque le ressaut n'existe plus. Convexe au sommet, concave à la base, la pente raide, interne, de la Serra da Ribeirinha est parcourue d'un lacs de petites banquettes dues au tassement par le surpâturage. De longues murettes d'épierrement descendent la pente depuis le haut jusqu'en bas contre la coulée récente des basaltes scoriacés. Le sommet de cette Serra, comme celui de la précédente, est convexe, recouvert d'un maigre tapis herbeux cachant mal de nombreuses dalles de trachy-andésites.

B. Le relief du Nord-Est de l'île

La partie orientale de l'île de Terceira, bien que vraisemblablement la plus ancienne, de par la maturité des formes des deux serras principales, a été affectée par une tectonique cassante qui a souvent rejoué jusqu'à nos jours, en particulier dans la région de Praia da Vitória (fig. 9). C'est pourquoi le relief de cette région doit beaucoup plus à la tectonique qu'à l'action directe du volcanisme. Il se compose en effet, à notre avis, d'un large graben dominé au SW par la Serra do Cume, au NE par le horst de la Serra de Santiago (124 m), prolongée, après une atténuation à la hauteur des bâtiments de l'aéroport, par le petit massif de Capariça (74 m).

Le fond du graben constitue la plaine rectangulaire qui s'étend depuis S. Braz, Lajes au NW, jusqu'au golfe de Praia da Vitória au SE, sur une longueur de 8 km et une largeur de 3,5 km depuis Fontainhas jusqu'à la base aérienne.

Si l'escarpement de faille dominant ce graben est net au NE, au flanc de la Serra de Santiago, il ne l'est pas moins à notre avis au SW, constituant une remarquable rupture de pente accidentant le revers de la Serra do Cume depuis la Canada do Ouvido au Sud de Casa da Ribeira jusqu'au lieu-dit «Ladeira do Cardoro», 2 km au NW de Fontainhas. L'escarpement est continu, légèrement en ligne brisée, mettant en affleurement les trachytes de constitution interne de la Serra do Cume. Sur la carte topographique au 1:25 000, cet escarpement est souligné par la végétation. Il est accidenté, au milieu de son développement, par la venue d'un cône strombolien posé sur lui, le Pico Celeiro (288 m), que contourne la route Angra-Praia au kilomètre 15. Son commandement, au Sud de Fontainhas, est de 100 m environ, bien encadré par les deux courbes de niveau de 150 et 250 m. La surface du graben est en pente douce dans sa partie orientale et beaucoup plus horizontale dans sa partie occidentale, choisie d'ailleurs pour y établir les pistes de l'aéroport dans le sens de sa plus grande longueur.

Dans le détail, en effet, ce graben est complexe: il est inégalement basculé dans le sens de la longueur: au NW l'enfoncement a été moins fort; aussi, renforcé d'ailleurs par des coulées qui l'ont recouvert, il se maintient bien à une

quarantaine de mètres d'altitude assez près du littoral élevé, rocheux et escarpé et la ligne de rivage est en gros convexe. Au SE, par contre, la tendance à l'affaissement a été beaucoup plus nette: aussi, entre la Serra de Santiago qui avance en promontoire dans l'océan et le petit massif de cônes et coulées de Fonte do Bastardo et Cabo da Praia qui constituent une seconde avancée, la ligne de rivage correspondant au graben dessine entre les deux caps un beau golfe de côte basse, avec des dunes de sable noir résultant de l'action de l'érosion marine sur l'ensemble des roches de l'île à dominante mélanocrate. C'est la seule véritable plage de l'île de Terceira. Elle est d'origine tectonique. Dans la ville de Praia elle-même, le graben principal se dédouble en un petit graben secondaire qui a permis une pénétration en touche de piano de la mer au Quaternaire et un alluvionnement. Aujourd'hui encore, cette petite région est marécageuse, ce qui n'est jamais le cas des autres parties du graben. Il s'agit d'un petit compartiment encore plus affaissé au SE, mais qui se relève lui aussi assez vite au NW.

Dominant le graben, les pistes de l'aéroport et la ville de Praia, s'allonge le demi-horst de la Serra de Santiago qui s'élève au-dessus de la plaine d'effondrement par un escarpement net et rectiligne de 5 km de longueur. C'est une masse d'andésites atteignant 124 m d'altitude, de même nature que celles qui sont demeurées au fond du fossé ou que celles qui apparaissent sur les flancs externes de la Serra do Cume sur les trachytes, et en même position que ceux de la Serra da Ribeirinha. La question qui se pose au sujet de cette montagne dominant la mer est de savoir si, par rapport au graben précédent, elle a été portée en altitude par la tectonique, ou si elle n'a que simplement échappé à l'effondrement, auquel cas elle se raccorderait naturellement aux pentes externes de la Serra do Cume dont elle serait, au-delà du graben, un élément conservé? Nous pensons qu'elle l'est, avec cependant une tendance au soulèvement comme l'attestent les dépôts quaternaires du fort de Espírito Santo qui dominent la mer d'une quinzaine de mètres. Si soulèvement il y a eu, il fut inégal: il a affecté plus fortement la partie SE que le NW, ce qui a pour conséquence d'annuler, en combinant les deux effets, le rejet de la faille à la hauteur de la base

aérienne. Cependant au-delà de celle-ci, au NW, l'escarpement reprend de la vigueur, atteignant à nouveau une cinquantaine de mètres de commandement.

On peut donc dire que le NE de Terceira est constitué d'un système de compartiments inégalement effondrés ou soulevés le long de failles de direction constante SE-NW. Bien différentes des fractures radiales sur lesquelles s'alignent les petits cônes stromboliens adventifs au revers des grands massifs volcaniques, il s'agit de failles recoupant l'ensemble du relief en profondeur selon la direction des accidents tectoniques puissants qui affectent perpendiculairement la dorsale médio-atlantique. C'est sans nul doute le rejeu, actionné par les tremblements de terre, de la faille sur laquelle est bâtie Praia da Vitória, qui explique la destruction de cette ville en 1614 et 1841. Comme le remarque XAVIER LE PICHON, «tous les tremblements de terre situés sur la dorsale médio-atlantique ... sont limités aux zones de fracturation qui sont des *structures linéaires généralement perpendiculaires à la dorsale*».

Ainsi, le complexe volcanique Serra do Cume-Serra da Ribeirinha est celui qui, de toute l'île de Terceira, par sa partie NE, se rattache le mieux à l'évolution morpho-tectonique générale de la dorsale médio-atlantique à la latitude des Açores. Il a donc fallu, pour en saisir l'évolution, faire appel à trois catégories d'actions:

a) Le volcano-tectonisme, responsable de la formation de la caldeira proprement dite; formation mixte selon MACHADO (1957) (reprenant la classification de WILLIAMS): moitié krakatoa, c'est-à-dire avec éruptions hautement explosives (1883, explosion du Perbuatan) répandant tout autour des couches de pierres poncees et de cendres, moitié type glen-coe avec effondrement d'un bloc cylindrique sans explosion (type Enclos Velain-Dolomieu à la Fournaise, île de la Réunion, ou Kartala à la Grande Comore). Dans le cas des Açores, les deux actions nous semblent avoir été combinées, avec des temps d'arrêt des phases explosives. Nous pensons avoir trouvé une preuve d'au moins un temps d'arrêt dans l'existence très constante d'un paléosol brun foncé, intercalé entre deux couches cendreuseuses trachytiques jaunes, dans la plupart des tranchées de routes et pistes de la partie orientale de l'île

(en particulier sur la route Vila Nova à Lages, au kilomètre 29). Il faudrait pouvoir dater de manière absolue les trachy-andésites de la Serra do Cume et d'autre part ce paléosol, pour avoir une idée du temps écoulé entre la formation du massif et sa modification par le volcano-tectonisme de caldeira.

b) La tectonique pure qui, au NE, nous donne une petite idée de ce que doit être le jeu de horst et de graben qui hachent la dorsale atlantique en travers du rift médian principal.

c) Le volcanisme de remplissage a posteriori de la caldeira par de petits cônes stromboliens (Cinco Picos) ou par des cheires plus ou moins récentes.

Nous n'allons plus, dans les deux autres caldeiras qui constituent Terceira, retrouver que deux de ces actions, volcano-tectonisme et volcanisme de remplissage.

2. LA CALDEIRA DE GUILHERME MONIZ

Plus petite, mais topographiquement plus nette, est la caldeira de Guilherme Moniz (fig. 2 et 3). Le tracé originel dut être grossièrement ellipsoïdal, avec environ 4,5 km pour le grand axe et 3,5 km pour le petit.

De ce développement primitif de l'effondrement volcano-tectonique, il demeure environ les deux tiers, sous forme d'un massif montagneux circulaire et dissymétrique, la Serra do Morião aux altitudes voisines de 600 m (point culminant, 632 m au Rosto), c'est-à-dire dominant le fond de la plaine interne situé vers 460 m, d'une hauteur relative de 150 m environ. La falaise d'effondrement a conservé sa fraîcheur en contre-bas du Rosto où se développe à mi-pente, sur plusieurs centaines de mètres de largeur et une cinquantaine de mètres de hauteur, un très bel abrupt à grosses orgues de couleur claire dans un matériel trachytique et trachy-andésitique analogue, semble-t-il, à celui de la Serra da Ribeirinha. La base du versant est constituée, au pied de l'abrupt, par un talus concave d'éboulis colonisés par la végétation.

Ailleurs, l'abrupt colonnaire n'est pas visible, soit que les couches tranchées aient été plus hétérogènes, avec une part plus grande de bancs scoriacés aux dépens des bancs

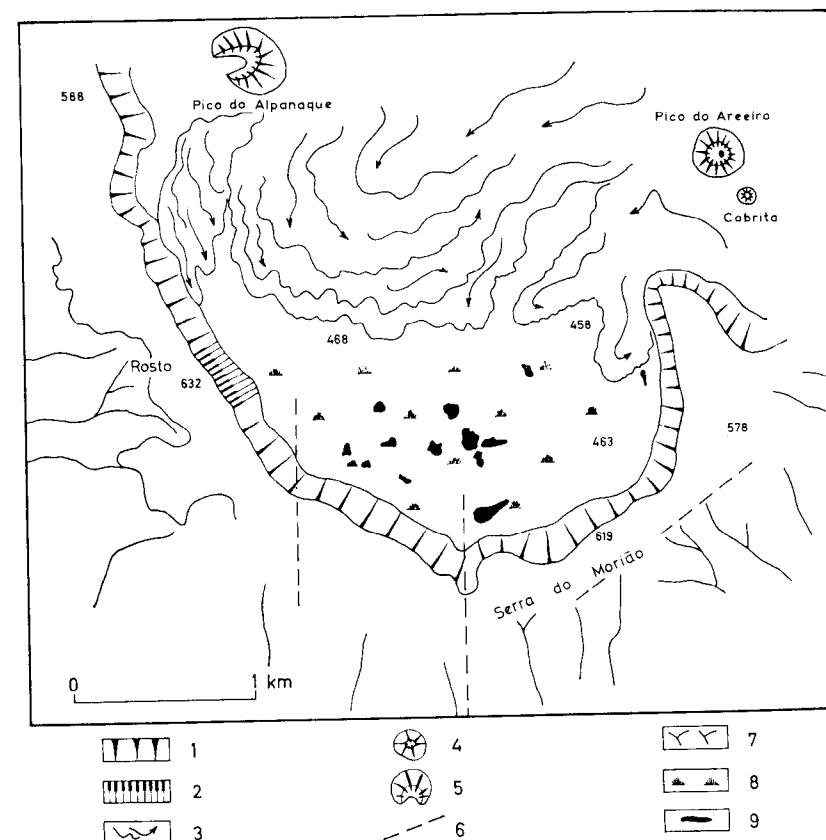


Fig. 3 — Partie sud de la caldeira de Guilherme Moniz (point 2 de la fig. 2). 1: Rebord abrupt interne de caldeira recouvert par la végétation — 2: abrupt rocheux interne de la caldeira — 3: coulée de basalte emprisonnée dans la caldeira — 4: cône strombolien — 5: cône strombolien égueulé — 6: faille probable — 7: réseau hydrographique divergent des pentes externes du massif volcanique — 8: région endoréique du Sud — 9: étangs peu profonds.

compacts, permettant un réglage plus rapide du versant par l'érosion, soit que l'effondrement volcanique se soit fait par de petites failles-relais bloquant chacune des pierriers dissimulant les bancs durs.

De plus, le rempart de la caldeira, loin d'être parfaitement ellipsoïdal, est accidenté par des failles perpendiculaires qui ont déterminé des décrochements et des basculements affectant l'ensemble de la masse de la Serra do Morião en particulier au SE (fig. 3). Le revers de cette Serra constitue les grandes pentes qui descendent en direction de la mer et du port d'Angra; des bancs compacts alternent avec des projections acides jaunes et épaisses, assez fortement soudées, témoignant elles aussi du caractère mixte, mi-explosif, mi-subsident, de cette seconde et importante unité volcanique de l'île Terceira.

Comme la précédente, elle n'a pas échappé au remplissage par des manifestations volcaniques ultérieures et ce remplissage est beaucoup plus accusé, pour deux raisons: d'abord, cause banale, parce qu'elle est plus petite; ensuite, parce qu'elle se trouve à proximité du massif complexe qui constitue au centre nord la quatrième unité volcanique et orographique de Terceira. Ce massif a lancé vers le Sud des coulées épaisses de trachy-andésites qui ont submergé le Nord de la caldeira, là où les remparts de celle-ci s'abaissent rapidement, permettant le passage de la route par un petit col. C'est le cas entre le Pico de Gualpanar (588 m) qui fait partie de la caldeira de Guilherme Moniz et le massif où se trouvent les solfatares de Furnas do Enxofre plus au Nord; les coulées épaisses de trachy-andésites recouvrent le rempart de la caldeira qui s'abaisse à cet endroit.

Deuxième élément de remplissage, des cônes stromboliens comme dans la première caldeira, mais ils sont ici plus rapprochés, plus nombreux et d'un volume plus important. Ils se localisent essentiellement dans le NE, accolés aux coulées de trachytes qu'ils recouvrent souvent en partie de leurs projections (Pico do Areeiro et son petit lac de cratère bien circulaire, l'ensemble de l'Algar do Carvão, etc.).

Le troisième élément de remplissage, les cheires de basalte, a déjà été évoqué à propos de la première caldeira mais, à la différence de cette dernière où il ne constituait qu'une langue étroite canalisée au long de la Serra da Ribeirinha et s'échappant vers la mer, il forme ici une vaste cheire, large et étalée. En effet, si le flot de basalte a pu s'échapper de la première caldeira, celle-ci étant très évoluée, il s'est

bloqué dans la seconde, beaucoup plus fraîche et fermée au Nord par les dômes-coulées et les cônes stromboliens. Il ne pouvait que s'étaler dans tous les sens, atteindre souvent le pied du rempart interne ou, quand il n'y parvenait pas, isoler entre lui-même et le rempart des espaces où, le drainage devenant par force endoréique, se formèrent de nombreux marais. L'examen de la photographie aérienne montre parfaitement ce processus et souligne de plus que le remplissage s'est fait en plusieurs fois, par plusieurs générations de coulées basaltiques difficiles à individualiser. Ces coulées se sont chevauchées, contournées en tournoyant dans le piège permanent que constituait la caldeira uniquement apte à les recevoir par son abaissement de paroi du NE, proche de leur point d'émission, mais d'où elles ne pouvaient pas sortir.

3. LES CALDEIRAS ET LE MASSIF DE SANTA BÁRBARA

La caldeira du sommet de l'imposant édifice de Santa Bárbara qui, à 1021 m, constitue le point le plus élevé de Terceira, n'a pas échappé à ce processus de remplissage. Avant d'étudier les conséquences morphologiques de celui-ci, précisons les caractères d'ensemble de la plus importante unité orographique et volcanique actuelle de l'île (fig. 4).

Le massif de Santa Bárbara constitue la quasi totalité du relief du tiers occidental de Terceira. C'est lui qui impose à cet endroit à la ligne de rivage son allure de demi-cercle presque parfait, depuis Nossa Senhora do Pilar au Sud jusqu'à Biscoitos au Nord.

A. Les grandes pentes de l'Ouest du massif, un strato-volcan bien conservé et bien drainé

Quand on aborde pour la première fois Santa Bárbara, par exemple par la route d'Angra à Biscoitos par Serreta, on recoupe, en suivant à peu près la courbe de niveau de 250 m, des pentes régulières de 5 à 8° qui correspondent au revers du strato-volcan. Ayant subi, de par leur relative ancienneté, une pédogenèse assez avancée, elles ont été épierrées et mises en culture de part et d'autre de la route, cependant que les parties les plus élevées, au-dessus de 400 m, sont consacrées

aux pâturages et, au-dessus de 800 m, conservent leur végétation arbustive naturelle, *Erica azorica*, qui cède progressivement le pas aux reboisements grandioses en *Cryptomeria*

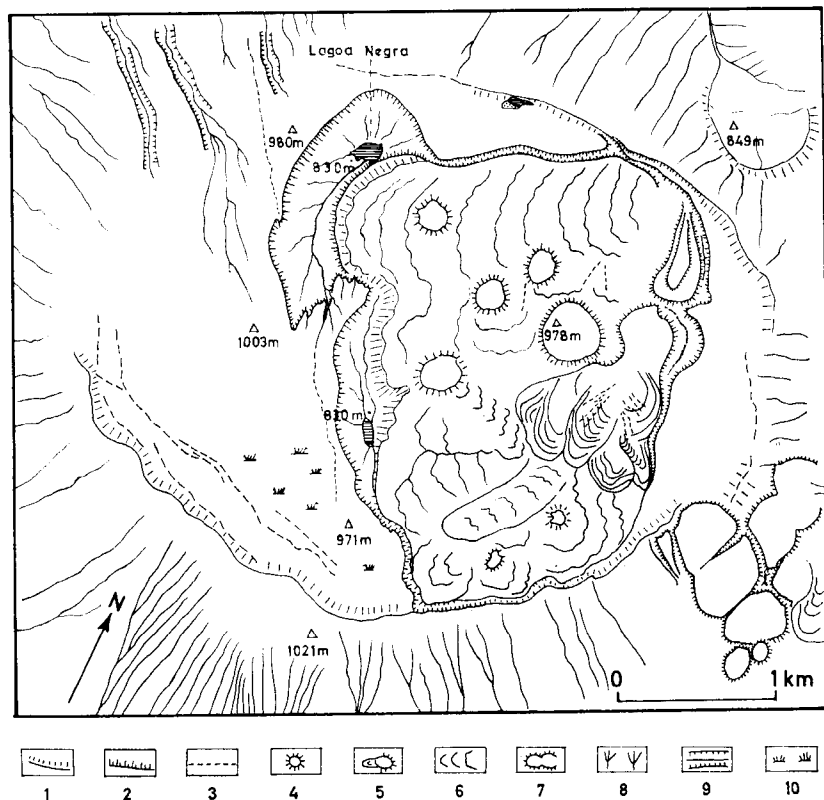


Fig. 4 — Caldeira du massif de Santa Bárbara et son remplissage, croquis morphologique général (point 3 de la fig. 2). 1: Escarpement très atténué de la première caldeira — 2: escarpement récent de la deuxième caldeira — 3: fractures — 4 à 6: remplissage acide (trachytique) de la deuxième caldeira, 4: dôme extrusif, 5: dôme-coulée, 6: coulée à grandes ondes — 7: dômes-champignons alignés des pentes externes du massif — 8: réseau hydrographique rayonnant des pentes externes — 9: rivières encaissées en barrancos — 10: région marécageuse endoréique.

japonica. Ces pentes correspondent à la partie externe la plus ancienne du volcan de Santa Bárbara, elles sont faites d'un empilement de coulées d'andésites compactes, intercalées de niveaux plus ou moins scoriacés et bulleux, évidemment plus aptes à la pédogenèse. Aptes aussi à ce processus, les pro-

jections de cendres réparties sur de grandes étendues pendant les phases explosives provenant soit du volcan lui-même, soit des cônes stromboliens adventices nombreux et assez évolués. Ces grandes pentes cultivées le sont elles aussi: il s'est installé en effet, conséquence d'un climat pluvieux et d'une relative imperméabilisation des sols par la pédogenèse, un riche réseau hydrographique. Le demi-cercle occidental de Santa Bárbara a la plus forte densité hydrographique de toute l'île. Des rivières nombreuses, très serrées, ayant un long cours parallèle avant leur convergence en aval, descendent de Santa Bárbara, très encaissées, avec des talwegs boisés séparés par des interfluves longs et plats aménagés pour la vie pastorale. Les seuls accidents à cette disposition régulièrement rayonnante sont les venues postérieures de cônes stromboliens ou de dômes-coulées trachytiques adventices que les vallées contournent. Elles se terminent au-dessus de la falaise côtière assez élevée par un système de vauzeuses (Ribeira das Catorze au Sud de Serreta).

C'est que Santa Bárbara est la région la plus arrosée de l'île, arrêtant et recevant les perturbations d'Ouest et NW. Il en résulte pour cette masse montagneuse, très souvent cachée par les nuages, un maximum pluviométrique d'origine orographique, supérieur pour le sommet à 2500 mm (fig. 1), les pentes recevant de 1500 à 2000 mm, répartis sur toute l'année avec un minimum d'été assez peu marqué (tableau 1). A cette pluviosité intense s'ajoute une humidité relative permanente et très élevée qui fait de Santa Bárbara et particulièrement de son sommet un milieu d'une extraordinaire moiteur. Il faut se résoudre, lorsque l'on veut étudier ce volcan, depuis longtemps en sommeil, à marcher toute la journée «dans» un tapis spongieux de cypéracées et de mousses gorgées d'eau qui enfoncent sous le pied souvent jusqu'au genou, toujours à mi-mollet...

B. Les pentes et le plateau de la partie occidentale du sommet

Le sommet de Santa Bárbara, lorsqu'on l'aborde par le terminus de la piste forestière en cours de construction, se présente comme une surface convexe, allongée, circulaire,

TABLEAU I
Pluviosité moyenne mensuelle sur les basses pentes de Santa Bárbara
(D'après AGOSTINHO)

Station (orientation)	Alt. (m)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total annuel
Terra Chã (Sud)	100	149	137	115	89	80	62	46	59	115	123	141	152	1 268 mm
Santa Bárbara (Sud-Ouest)	180	131	121	101	78	70	54	40	52	101	108	124	133	1 113 mm
Serreta (Ouest)	300	165	152	128	99	88	68	51	65	128	136	157	168	1 405 mm
Altares (Nord)	130	145	133	112	86	77	60	44	57	112	119	137	147	1 229 mm
Bagacina (Est)	550	244	225	188	177	159	123	95	121	238	245	282	303	2 400 mm

Ce tableau révèle que l'altitude joue, dans la répartition des pluies autour du massif de Santa Bárbara, un rôle supérieur à celui de l'orientation.

dominant de quelques dizaines de mètres à l'Ouest un vaste plateau marécageux que l'on gagne par une pente douce parfois accidentée par quelque rupture de pente. Cette pente douce correspond à un premier rempart interne d'effondrement du sommet du volcan; effondrement très ancien, donnant un relief très évolué et imparfait, les failles circulaires qui constituent les petites ruptures de pente ayant un rejet inférieur à 5 m. Il faut vraiment d'ailleurs la photographie aérienne pour réaliser que la partie occidentale du sommet de Santa Bárbara a été affectée par un début d'effondrement, dessinant une première caldeira très ancienne et très inachevée.

Cet effondrement n'atteint que la partie SW du sommet. L'Ouest a mieux résisté et constitue un vaste plateau qui domine directement les grandes pentes dont ne le sépare plus le ressaut du vieux rempart de caldeira. C'est pourquoi la partie nord du plateau est relativement moins marécageuse, tandis que pour la partie SW, les eaux ont beaucoup de mal à gagner les grandes pentes dont elles sont séparées par les hauteurs de la première caldeira. Elles rendent cette partie du plateau particulièrement difficile à traverser, d'une part parce que les ruptures de pente dues aux petites failles sont recouvertes par des arbrisseaux très touffus, d'autre part parce que le tapis spongieux de mousses est épais, profond et instable. Il n'est cependant pas uniforme, on y observe l'amorce d'un drainage rayonnant qui se perd dans les marais bloqués contre les parois de la première caldeira. Ce drainage sans issue aujourd'hui correspond sans doute à la partie amont des rivières des grandes pentes externes décapitées par l'effondrement de la première caldeira. D'ailleurs, sur la partie NW du plateau occidental non effondrée, ce phénomène de tronquage du réseau hydrographique n'existe pas et les rivières aboutissent naturellement, après une pente faible sur le plateau, aux grandes vallées enfoncées en véritables «barrancos» du versant NW de Santa Bárbara.

Mais une fois cette traversée pénible et monotone effectuée, un panorama grandiose s'étend au NE du massif.

C. La deuxième caldeira et son remplissage

Le plateau occidental se termine à l'Est par un abrupt impressionnant dominant une dépression circulaire au fond de laquelle dorment deux lacs très peu profonds (pl. II, A). Au Nord, l'abrupt est constitué au tiers supérieur d'un beau rempart subvertical d'andésites en orgues régulières gris clair sans intercalation de bancs scoriacés. Certaines orgues, très belles, dépassent 30 m de hauteur sans aucune cassure, pour 2 m de section, généralement hexagonale. D'autres sont sectionnées par le milieu; si la moitié supérieure demeure en place, elle se trouve classiquement en surplomb, cependant que la moitié inférieure est tombée, souvent intacte, sur le bas du versant. Celui-ci est un versant de Richter réglant les deux tiers inférieurs du rempart interne de la deuxième caldeira; versant réglant les bancs scoriacés plus hétérogènes et moins résistants qui dominent sous les bancs compacts qui donnent les orgues. Là où celles-ci sont peu développées (1 à 2 m), la coulée de laves compactes qui leur a donné naissance étant plus mince, le processus de réglage du versant monte presque jusqu'au sommet. C'est une évolution comparable à celle du rempart de caldeira dominant la Plaine des Sables du Massif de la Fournaise à l'île de la Réunion (DERRUAU, KARCHE, MOTTET, 1970).

La partie réglée du versant est couverte par une végétation de touffes de mousse jaune et vert tendre très épaisse. Cette véritable chape végétale due à l'humidité permanente peut atteindre 1,5 m d'épaisseur! Gonflée d'eau, élastique et spongieuse, elle se présente souvent sous forme de touffes atteignant jusqu'à un mètre de diamètre, vertes à l'extérieur et devenant jaunes puis blanches au cœur, là où la lumière solaire ne pénètre pas. Entre la mousse pointent quelques cypéracées. Ce milieu hyper-humide n'accepte plus les arbustes, absents des versants et du fond de la dépression.

Celle-ci d'ailleurs surprend par sa forme. Elle est séparée en deux par une sorte d'éperon, par le faite duquel on peut effectuer la descente. Cet éperon bascule vers le Nord un morceau du plateau occidental, par l'intermédiaire d'une faille-relais de la faille principale qui est à l'origine du rempart. Au Sud, la dépression suit celui-ci qui a une forme concave

modifiée par des rentrants secondaires peut-être dus à l'érosion postérieure à la formation de la caldeira. Mais, petit à petit, la dépression qui, immédiatement au Sud de l'éperon, était encore suffisamment large pour loger un petit lac d'eaux prisonnières, se rétrécit et se limite à un étroit passage. A cet endroit, en effet, venant s'accumuler contre le rempart et fossiliser le quart, puis la moitié, puis les trois quarts de la hauteur de l'escarpement, s'empilent d'énormes coulées massives de trachytes au front convexe, alimentées par un magma visqueux et acide (voir tableau des analyses chimiques d'ESSENWEIN, 1929). Au Nord de l'éperon, le remplissage trachytique s'est arrêté assez loin, à 200 m environ du rempart d'effondrement aux grandes orgues, mais en constituant toujours un versant convexe de 150 m de hauteur. C'est pourquoi le petit lac du fond, la Lagoa Negra, est plus grand (pl. II, A). D'un diamètre de 150 m environ, il est en gros circulaire sauf au Sud où un petit delta tend à le combler, point d'épandage des ruisseaux descendus du rempart et qui entaillent profondément le versant. Du front d'empilement trachytique sans doute trop perméable, ne descend aucun filet d'eau. A vrai dire, lors de notre visite, en août 1970, le lac était à sec et ne constituait qu'une surface plane, argileuse, avec un petit tapis d'ajoncs verts qui faisaient le régal d'un troupeau d'ovins. Mais il a dû y avoir de l'eau (peut-être se remplit-il chaque hiver?). Les rives du lac portent une levée de galets d'andésites bien arrondis et les blocs tombés des parois colonnaires sur celles-ci conservent tous des traces de stagnation d'un niveau d'eau à 30 cm du niveau marécageux actuel. Derrière le lac, le front des trachytes rejoint le rempart de la caldeira, la pente est très abrupte mais l'épaisseur des trachytes est telle que parvenir à leur faite, c'est parvenir au sommet du rempart tout proche, sur un prolongement du plateau occidental conservé au Nord de la deuxième caldeira.

Il ne reste donc de la deuxième caldeira (qui fut sans doute profonde) de Santa Bárbara que ces deux dépressions enserrées entre les remparts et le front des coulées. Toute la partie orientale, c'est-à-dire en fait la plus grande partie de la caldeira, n'est qu'un chevauchement de coulées épaisses dominées par les dômes qu'elles contournent. A l'Est, un massif arrondi parcouru de longues fissures de retrait étale

de courtes coulées de laves cordées à longues ondes qui recouvrent l'extrémité d'une coulée à surface plus chaotique de sens contraire. Laquelle recouvre à son tour un autre empilement sur lequel elle s'est frayée un chemin, en repoussant de chaque côté de sa progression deux talus latéraux...

On peut donc dire que l'effondrement, sans doute rapide et profond, de la deuxième caldeira a modifié l'équilibre des pressions exercées sur les chambres magmatiques internes jamais très profondes comme l'a montré F. MACHADO (1954). Celles-ci ont réagi jusqu'à la période actuelle en renvoyant au jour dans la caldeira et dans toute la partie orientale de Santa Bárbara des quantités importantes de laves à dominante trachytique qui en modifient considérablement la classique ordonnance première.

D. Coulées et dômes des pentes orientales de Santa Bárbara

Si les pentes occidentales conservent assez bien la topographie régulière et classique d'un strato-volcan, il n'en est plus de même de la partie orientale et du Nord. L'étude sur le terrain et la photographie aérienne révèlent des formes de relief volcanique qu'il n'est pas trop emphatique de qualifier d'extraordinaires. Certes, les grandes pentes demeurent mais deviennent minoritaires, recouvertes qu'elles sont par trois centres principaux d'émissions:

a) A 3 km au Sud du village de Raminho, au tiers supérieur des grandes pentes septentrionales, six points d'émission alignés sur une fracture radiale orientée SE-NW ont construit des dômes de trachytes qui ont tous déversé du même côté nord des coulées épaisses. Le dernier flot, plus rapide et plus fort, élargissait la bouche d'ouverture, éventrait le dôme-coulée précédent, en repoussait les matériaux de chaque côté en de magnifiques «moraines latérales» où se dressent dans tous les sens des blocs surpris par l'impétuosité de ce flux terminal. En aval, au-delà de la canalisation par les moraines qui s'amenuisent faute de matériel, les six flots libérés s'étaient par une coalescence générale, en un vaste front convexe et boisé dont le mur sombre semble menacer dans une ultime progression les prairies des grandes pentes (fig. 5 et pl. III).

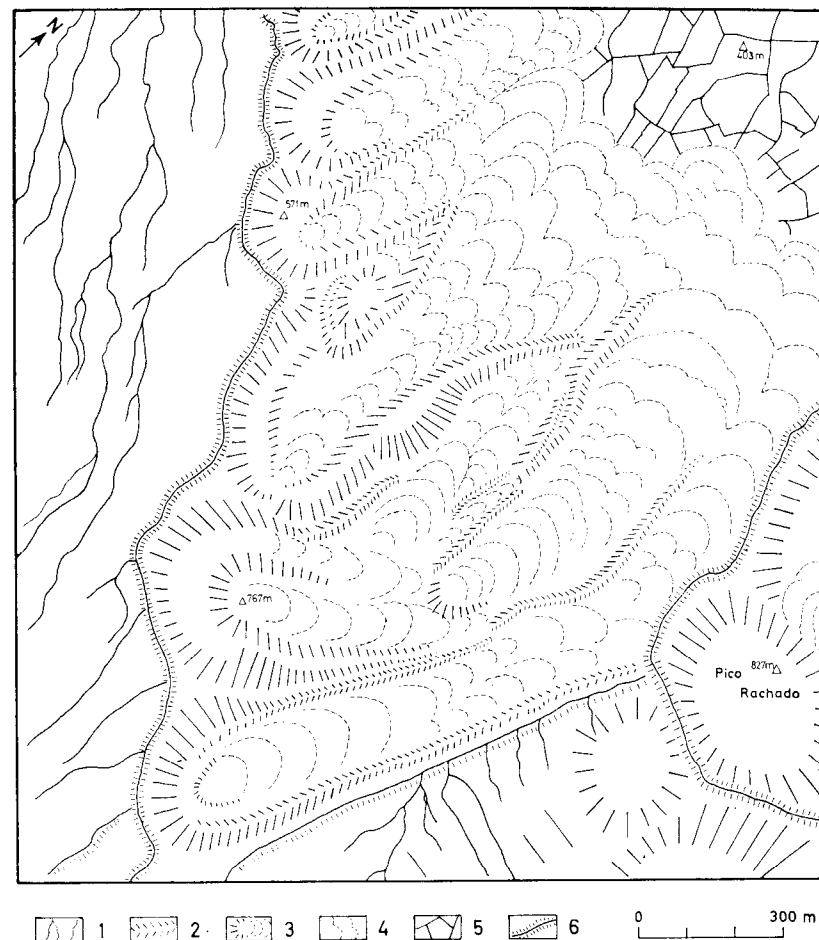


Fig. 5 — Alignement de dômes-coulées de trachyte à levées latérales du flanc nord de Santa Bárbara. 1: Rivières encaissées en barrancos des grandes pentes de Santa Bárbara — 2: levées latérales des coulées de trachyte — 3: dôme-coulée — 4: front de coulées trachytiques coalescentes — 5: bocage d'épierrement des basses pentes NE de Santa Bárbara — 6: rivière encaissée au contact de la nouvelle morphologie trachytique et de l'ancienne morphologie des grandes pentes de Santa Bárbara. Voir pl. III.

b) Immédiatement à l'Est de l'ensemble précédent un alignement méridien de dômes-coulées massifs prolonge Santa Bárbara et la font oublier (fig. 6). Il est formé de deux dômes dont l'un, très important, de 1 km de diamètre, est le Pico Rachado (827 m) bouché par une ultime extrusion. Il a ten-

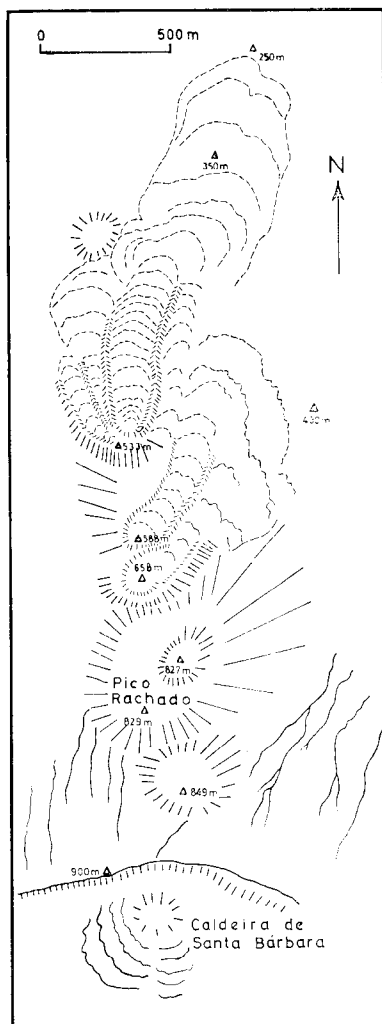


Fig. 6 — Le Pico Rachado et les dômes-coulées trachytiques du flanc nord de Santa Bárbara (voir légende de la fig. 5).

dance à recouvrir un autre dôme accolé à lui qui monte à 300 m à peine du rebord de la deuxième caldeira. A l'intérieur de celle-ci, d'ailleurs, plusieurs des points d'émission des dômes et de coulées qui la remplissent sont alignés selon la direction des émissions des pentes externes. Il s'avère donc que les venues massives de trachytes postérieures à l'effondrement du système des caldeiras du sommet se sont produites au long de fractures qui recoupent indifféremment la masse orientale de Santa Bárbara, pentes externes et caldeiras: dans la caldeira, les coulées, naturellement prisonnières, se sont empilées; sur les pentes, elles n'ont jamais pu s'épandre très loin étant donné leur acidité et leur viscosité originelles. Au Nord du Pico Rachado, quatre points d'émission: le premier, bouché par une extrusion, les deux autres terminés par des coulées à «moraines latérales» et à ondulations convexes de progression. La plus longue a été déviée vers le NE par un petit dôme qu'elle traverse,

qu'elle démantèle, réalimentant ainsi pour un certain temps sa moraine, puis elle étale son flot en un front massif, sombre et boisé, qui s'arrête à 1 km du village d'Altares, au beau milieu des prairies.

Ce deuxième système de dômes-coulées est antérieur au précédent qui le contourne. Au contact des deux, se concentrent les eaux de ruissellement, mais ces constructions trachytiques sont en général trop récentes pour qu'elles aient pu être modifiées par l'installation d'un réseau hydrographique. Par contre, en recouvrant les grandes pentes externes de Santa Bárbara, elles ont désorganisé son réseau hydrographique rayonnant, comblant de la masse de leurs produits les vallées-barrancos des grandes pentes dans leur tiers supérieur. On peut donc dire qu'elles fossilisent la morphologie déjà évoluée des grandes pentes du strato-volcan de Santa Bárbara.

c) Il en est de même du troisième groupe d'émission que nous appellerons, vu l'absence de coulées et la multiplicité des petits dômes, les alignements de dômes-champignons. On les pressent au sol, mais c'est la photographie aérienne qui en révèle la curieuse morphologie.

A l'Est et au SE des grandes pentes, s'alignent parfaitement sur des fractures radiales des dômes plus ou moins gros, bien ronds sauf à leur point de tangence et qui ne donnent que très exceptionnellement des coulées. Ces édifices sont très récents et sont généralement constitués d'accumulation de blocs trachytiques.

C'est à cette catégorie morphologique qu'appartient l'éruption de 1761, appelée «Mistério dos Negros» qui, comme le nom l'indique, fut composée de blocs de laves très noires, sans doute basaltiques. Le point d'émission le plus élevé de 1761 laisse apparaître en son centre un point de départ d'écoulement avec deux petites moraines latérales. Mais il serait faux, à notre avis, de considérer que ce point d'émission a alimenté le reste de l'éruption: en contre-bas, se serrent et se recouvrent quatre dômes très noirs, à peine colonisés par la végétation, et qui ont chacun, au long de la même fracture, leur propre cheminée d'alimentation. Et il en est ainsi des autres alignements de dômes-champignons. Certains naissent très haut sur le versant de Santa Bárbara et contribuent à fossiliser la partie orientale de la seconde caldeira. Eux aussi, d'ailleurs, prolongent leur effet dans la caldeira. Ces alignements de dômes-champignons, très serrés les uns contre les autres, ont parfois contribué à canaliser des coulées postérieurs qui, ici ou là, les recouvrent.

Le massif de Santa Bárbara a donc subi une évolution différente du premier massif étudié, la Serra do Cume. A la différence de ce dernier, il a été relativement peu affecté par l'effondrement en caldeira. Dans le cas de la Serra do Cume, la surface de la caldeira représente presque la moitié de la partie émergée du volcan. Pour Santa Bárbara, la seconde caldeira, qui seule témoigne d'un effondrement important, ne représente que 1/30 environ de la masse totale du strato-volcan. De plus, le processus de remplissage est beaucoup plus efficace dans le cas de Santa Bárbara. On a donc l'impression qu'à la différence de la Serra do Cume, Santa Bárbara, après un épisode rapide d'effondrement sommital limité, maintient bien, et depuis longtemps, le volume global de sa masse montagneuse élevée, mieux, que ce volume s'accroît par l'apport des dômes et des coulées de trachyte. Cet apport, leur morphologie le prouve, est récent, et sur eux la pédogenèse est peu avancée.

Il n'en est pas de même sur les grandes pentes du Sud de Santa Bárbara, par exemple. L'examen des coupes de terrain de la nouvelle route forestière, montre, de 800 m jusqu'au sommet, deux faits constants :

De 0 à 80 cm, un sol épais, très noir, à texture très fine, à pH très acide (indication des Services Forestiers). Il s'agit d'un sol noir, humifère, d'altitude, sous climat frais, comparable aux sols humifères noirs des montagnes volcaniques du Japon, des Philippines, de Colombie et de Madagascar (Montagne d'Ambre et Ankaratra).

En dessous, de 80 cm à 1,50 m, des blocs d'andésite semblent avoir subi une action périglaciaire, certains paraissent gélifractés, éclatés, le tout emballé dans une matrice argileuse. Il faut être cependant prudent, la confusion étant possible avec un lahar froid.

Il demeure qu'on ne voit jamais la roche en place, que les niveaux cendres semblent très souvent altérés par l'oxydation donnant de fines passées violettes, et que les sols sont épais. Si, comme nous le pensons, l'hypothèse périglaciaire s'avérait la bonne, on pourrait en déduire que ce périglaciaire date des périodes froides du Quaternaire. En effet il est logique de dire que lorsque le Nord de l'Europe et des Etats-Unis étaient en partie recouverts d'inlandsis, le sommet de

Santa Bárbara pouvait connaître des conditions périglaciaires permanentes, ce qui n'est pas le cas aujourd'hui (cf. BROCHU, 1969).

En ce cas, rien ne s'oppose à ce que l'édification de Santa Bárbara ait commencé au Pliocène et celle de la Serra do Cume au Miocène. Un âge néogène pour les édifices volcaniques morphologiquement évolués de Terceira et des Açores en général est plausible; il faut rappeler à ce sujet la sédimentation calcaire miocène intercalée dans les terrains volcaniques de l'île de Santa Maria et décrite par ZBYSZEWSKI, VEIGA FERREIRA et TORRE DE ASSUNÇÃO («Notícia explicativa da folha de Santa Maria», Açores).

Une flore froide a été reconnue dans les tufs du Monte Brasil (AGOSTINHO, 1949), à une altitude voisine de la mer, à laquelle pourrait correspondre, sur les pentes du sommet de Santa Bárbara, à la même époque, les actions périglaciaires supposées.

Tels sont donc, avec leurs caldeiras respectives d'importance et de destins différents, les trois principaux massifs volcaniques qui constituent l'armature de l'île de Terceira. Ils ont subi tous les trois d'importantes modifications par des actions tectoniques, volcano-tectoniques et morphologiques et par les apports du volcanisme postérieur. Celui-ci, nous allons le voir, prend une place non négligeable dans le relief général de l'île.

II. LE VOLCANISME POSTÉRIEUR À L'ÉDIFICATION DES TROIS MASSIFS: LES COULÉES ET LES CÔNES

1. LE COMPLEXE VOLCANIQUE DU CENTRE NORD

Les reliefs situés entre la route Biscoitos-Vila Nova et la caldeira de Guilherme Moniz forment un ensemble de cônes, dômes et coulées très variés (fig. 2).

C'est là que l'on rencontre les plus longues, les plus larges et les plus massives coulées de trachyte de l'île. Deux d'entre elles atteignent la mer de part et d'autre du village de Quatro Ribeiras après un parcours de 5 km sur un front de 1 à 2 km (fig. 7). Celle de l'Ouest naît au Pico das

Pardelas à 639 m, elle descend lentement, s'accélère à la hauteur du hameau de Santa Cruz, puis sa pente faiblit à l'Est de Biscoitos à la hauteur de la Rua Longa et de Biscoito Bravo où elle arrive à la mer. La coulée orientale descend

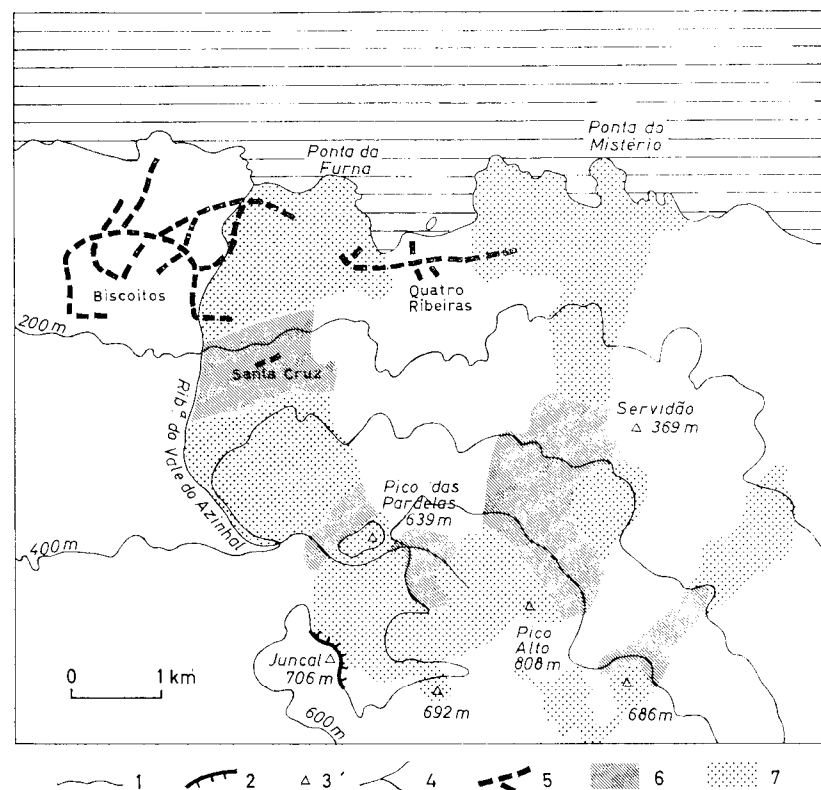


Fig. 7 — Croquis de localisation des coulées trachytiques du centre nord de l'île. 1: Courbes de niveau — 2: escarpement — 3: cône volcanique — 4: Ribeira do Vale do Azinhal et littoral — 5: habitat aligné au long des chemins — 6: coulée trachytique (secteur en pente forte) — 7: id. (secteur en pente douce).

des hauteurs du Pico Alto (808 m), subit elle aussi une accélération à l'Ouest et à la hauteur du dôme du Servidão (369 m), et descend ensuite plus lentement jusqu'à la mer pour former le promontoire élevé de Ponta do Mistério. Au Sud du Pico das Pardelas coule la rivière do Vale do Azinhal qui s'est installée au long d'une autre coulée de trachyte, plus

récente, qui descend du Pico Alto par l'Ouest. Cette magnifique coulée a largement étalé ses ondes convexes au pied de l'abrupt de Juncal (706 m) qui la domine par un rempart de 100 m de hauteur, elle s'est épaissie contre lui et n'a trouvé d'exutoire que vers le Nord où, par une langue épaisse, elle recouvre et s'arrête sur le flanc Ouest du Pico das Pardelas.

Ces coulées larges et épaisses fossilisent un relief dont le revers de l'abrupt du Juncal donne une bonne idée: des versants avec des vallées déjà bien enfoncées qui utilisent la ligne de plus grande pente, mais aussi des amorces de fracturation nettement visibles sur la photographie aérienne. Ces fractures soulignent, soit des bombements du sol, auquel cas elles sont divergentes et rayonnantes sur les flancs du bombement (fractures de tension), soit des enfoncements, auquel cas elles sont convergentes vers le centre (fractures d'effondrement). C'est dire que toute cette région du centre nord de l'île a été soumise à d'intenses phénomènes internes de poussées ou d'effondrement. La topographie que fossilisent les coulées de trachyte doit être très complexe. Tout se passe comme si un petit massif pré-trachytique avait été soumis à un début d'effondrement dont témoigne par exemple l'abrupt de la Serra do Juncal, libérant d'énormes venues de trachytes soit sous forme de dômes, soit le plus souvent de dômes avec coulées. Mise à part la zone d'effondrement du Juncal, ce massif pré-trachytique a relativement bien résisté aux processus d'effondrement. C'est pourquoi il porte assez haut le point de départ des grandes coulées du Nord et lorsque celles-ci accélèrent leurs pentes au milieu de leur étalement, elles ne font que se mouler sur la pente du massif pré-trachytique.

Le recouvrement de celui-ci s'est opéré par le processus de la montée en surface d'un magma visqueux dans une cheminée de progression grossièrement circulaire et assez large (100 à 300 m). La poussée magmatique a éventré la surface du massif pré-trachytique par le processus des fractures d'extension rayonnantes déjà décrites pour le revers du Juncal, précieux témoin d'une phase de l'évolution du massif pré-trachytique. Une fois à la surface, le magma visqueux construisait un dôme qu'il modifiait parfois ensuite

dans sa phase terminale par une coulée à moraines latérales empruntées au matériel de son sommet et de ses flancs. Cette fracturation circulaire de la surface libérant la grosse poche de magma trachytique est donc différente des fracturations linéaires qui permettent l'alignement des petits cônes stromboliens ou le volcanisme fissural basique.

Ces coulées trachytiques s'intercalent, comme le montrent les coupes des routes forestières du massif, dans des phases d'explosion donnant d'épaisses couches de lapillis trachytiques très clairs et très légers, de 0,5 à 5 cm de diamètre en moyenne. Très poreux, ces lapillis sont épandus dans les cours des maisons des vigneron de Biscoitos pour absorber l'eau. Ce massif et ses flancs, recevant de plein fouet les fréquentes perturbations venue du Nord et du NW, constitue en effet le deuxième maximum pluviométrique de l'île (2000 à 2500 mm d'eau par an), c'est-à-dire un total comparable au sommet de Santa Bárbara. Dans les coupes de lapillis, nous avons pu observer, surtout vers le bas, quelques lapillis de basaltes plus noirs et quelques blocs d'andésites sans doute arrachés au substratum du massif pré-trachytique.

Le centre nord de Terceira, quatrième unité volcanique de l'île, a donc connu une évolution très complexe que masquent en grande partie les dômes et coulées de trachyte. Ceux-ci ont en plus envahi et recouvert la partie nord de la Caldeira de Guilherme Moniz. Mais ils ne sont pas les seuls.

Le Sud du massif trachytique se continue par plusieurs groupes de cônes stromboliens plus ou moins importants, dont le Pico do Areeiro (533 m) déjà cité pour sa forme parfaite. Deux autres méritent d'être mentionnés. Le premier est l'Algar do Carvão. Ce volcan est un cône de 629 m de hauteur, égueulé vers le NW. Son intérêt réside dans le fait que, contrairement à ce qui se passe dans la grande majorité des cas, la cheminée du cratère central ne s'est pas complètement bouchée (fig. 8). Elle est demeurée ouverte sur une profondeur totale de 80 m environ. Au fond dort un lac de quelque 400 m². La descente dans cette cheminée se fait assez aisément grâce aux aménagements des spéléologues de Terceira, «Os Montanheiros». Après un puits vertical d'une trentaine de mètres qu'on évite aujourd'hui par un tunnel artificiel latéral, la cheminée s'élargit obliquement, puis se rétrécit

avant de se diviser en deux grandes poches, celle du bas qui contient le lac à — 80 m, celle du haut à — 45 m qui se divise en deux salles en cul-de-sac de 20 m de hauteur chacune. Cette disposition oblique de la cheminée, ces renfle-

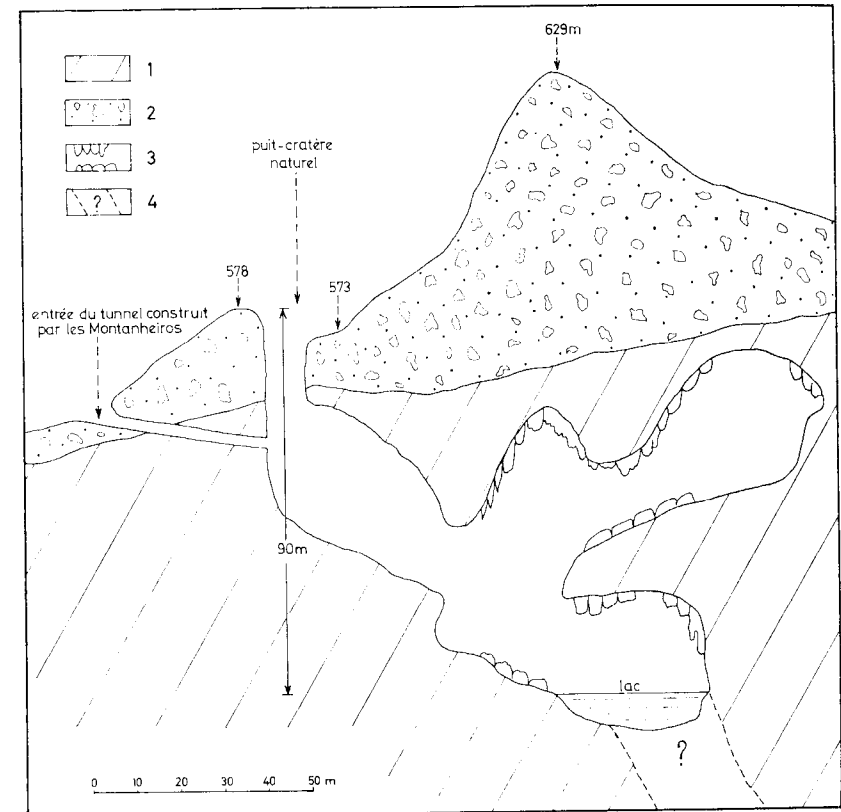


Fig. 8 — Coupe verticale de la partie accessible de la cheminée volcanique du cône strombolien de l'Algar do Carvão, d'après les relevés de la brigade technique des Montanheiros. 1: Andésites compactes du massif pré-trachytique — 2: scories du cône strombolien de l'Algar do Carvão — 3: stalactites et stalagmites de silice — 4: suite supposée et vraisemblablement comblée de la cheminée volcanique.

ments annexes qui ne mènent nulle part à l'intérieur du volcan nous montrent que lorsqu'il cherche à monter à la surface, même sous une forte pression, le magma hésite dans son cheminement, utilise les zones de faiblesse des roches à traverser, les unes après les autres, se diversifie en de nom-

breuses voies qui n'aboutissent pas à la surface, avant de trouver enfin l'exutoire d'où jailliront scories, bombes ou coulées. Son cheminement est donc loin d'être vertical.

Les voûtes de la salle la plus profonde, celle qui donne accès au lac intérieur, sont formées de roches très dures, andésitiques, du massif pré-trachytique. La masse compacte est parcourue par de grandes lignes de fracturation par lesquelles suinte l'eau qui a traversé facilement les scories du cône extérieur. Son parcours plus lent dans les poches compactes lui a permis d'en dissoudre certains éléments qu'elle redépose le long des fissures en d'admirables stalactites blanches qui atteignent 50 cm pour les plus longues. Les eaux qui tombent de chacune d'elles construisent, phénomène banal, comme en milieu karstique, des stalagmites très massives, étalées et qui ne s'élèvent pas très haut sur le plancher de la grotte. Mais ici la substance déposée par l'eau n'est pas le carbonate de calcium. C'est vraisemblablement de la silice et la composition chimique de ces stalactites doit être voisine de celle de la geysérite de Biscoitos (BERTHOIS, 1948), c'est-à-dire environ 80 % de SiO₂, bien qu'elles soient d'origine un peu différente. Sur la rive du lac, le dépôt siliceux a fossilisé le squelette d'un oiseau. L'ensemble du site ne manque pas de grandeur. La lumière du jour n'y parvient pas.

Le second édifice nous retiendra aussi parce qu'il porte le seul centre d'activité volcanique actuelle de Terceira. Au SW du complexe volcanique du centre nord s'étend un ensemble de dômes-coulées et de cônes stromboliens ayant parfois émis des cheires; c'est une région de transition. L'un des cônes, à la morphologie assez évoluée, comporte à son sommet une dépression (cratère de 100 m de diamètre) qu'on appelle «Furnas do Enxofre». Comme l'indique ce nom, il s'agit d'une quinzaine de bouches d'où sort par intermittence une vapeur sulfureuse à odeur caractéristique, très chaude, maintenant les pierres à leur proximité à haute température (80 à 100° C). Autour des principales bouches, le soufre s'est déposé en groupes de fines aiguilles de 1 à 5 cm de longueur. En profondeur, au-dessus des bouches, on entend par moments des clapotis sourds dus sans doute au passage des gaz à travers des poches d'argile. Sans avoir l'importance des venues sulfureuses et thermales de l'île de São Miguel, les «Furnas» de Terceira

témoignent néanmoins qu'ici aussi le volcanisme est toujours latent et que des poches magmatiques de relais ne doivent pas se trouver très loin en profondeur. Ce volcanisme a construit un peu à l'Ouest des Furnas des cônes et des coulées aux formes bien conservées.

2. TYPES DE CÔNES STROMBOLIENS

Construits au-dessus de coulées auxquelles, parfois, ils ont donné naissance, de très nombreux cônes, généralement de petite dimension (50 à 200 m de hauteur), s'éparpillent dans l'île. Il est possible d'en distinguer plusieurs types, selon leur formation et selon leur ancienneté.

A. Les cônes stromboliens anciens des revers des grands massifs

Les revers de la plus vieille caldeira (Serra do Cume) portent évidemment les cônes stromboliens adventifs les plus anciens et les plus émoussés. La région de S. Sebastião au SE de l'île, en comporte plusieurs pour lesquels nous avons mesuré des pentes externes comprises entre 22 et 26°. Cela représente une évolution morphologique certaine si l'on se rappelle que la pente originelle de retombée des scories et lapillis d'un cône strombolien en formation est de 35° environ. Les versants de ces cônes anciens ne sont d'ailleurs pas rectilignes comme c'est le cas des édifices frais, mais au contraire nettement convexo-concave, avec concavité à l'aval. C'est pourquoi les pentes internes du cratère qui, à l'origine, sont, elles aussi, des pentes de retombée par gravité des projections, sont atténuées. Ces cônes aux pentes douces sont presque toujours complètement humanisés (cultures et herbages), leur ancienneté ayant permis depuis longtemps une sérieuse pédogénèse. Ils sont complètement intégrés dans le paysage rural. Parfois, comme c'est le cas au pied SE de Santa Bárbara, ils sont à moitié recouverts par des coulées postérieures ou éventrés par des fractures radiales récentes. Cette première génération de cônes s'est établie à notre avis à la fin de la phase principale d'élaboration des trois grands strato-volcans, avant que ceux-ci ne soient affectés par le volcano-tectonisme de caldeiras.

B. Les cônes récents de Bagacina

De nombreuses coulées, avons-nous vu, partent de la région de Bagacina vers le Nord et vers le Sud. A cela s'ajoutent des édifices qui les recouvrent ou qui leur donnent naissance et qui, comme elles, ont des formes fraîches. Trois groupes très différents retiendront notre attention :

a) Pico das Caldeirinhas et Pico Vermelho. — Les reliefs évolués des pentes externes du vieux massif de la Serra do Juncal disparaissent à l'Ouest sous l'épandage de la coulée basaltique de 1761 (fig. 2). Celle-ci naît en effet de plusieurs points d'émissions alignés au Nord du cône du Pico das Caldeirinhas. C'est d'abord, à l'Est de l'alignement, un cône strombolien égueulé vers le SE de sorte que les coulées qui en sont sorties ont commencé à se répandre dans cette direction; mais, rencontrant l'obstacle des pentes de la Serra do Juncal qu'elles ne pouvaient remonter, elles obliquèrent vers le NW où elles purent facilement descendre jusqu'à Biscoitos passant de 540 à 100 m d'altitude. A l'Ouest de ce premier cône et accolés à lui, deux cônes stromboliens plus petits et un point émissif pratiquement sans édifice mais duquel est sorti un fort courant de lave en direction du Nord. Plus à l'Ouest, légèrement décalé par rapport à l'alignement précédent, un double cône strombolien égueulé a, lui aussi, commencé par lancer ses coulées vers le Sud mais elles se sont retournées vers le Nord, appelées elles aussi par la ligne de plus grande pente.

De plus, ce dernier flot de basalte de 1761 a rencontré les pentes à 33° du cône strombolien du Pico das Caldeirinhas, situé au Sud des précédents et légèrement plus ancien; mais, de toute manière, beaucoup plus récent que les cônes anciens précédemment décrits. Ici les versants internes et externes demeurent encore les pentes naturelles de retombée des débris. A peine un début d'évolution par les petites banquettes de tassement dues au pacage des bovins. Le fond du cratère est plat, marécageux. Cet édifice de 75 m de haut est un cône strombolien parfait, récent, symétrique et qui, comme chaque fois en ce cas, doit sa régularité à l'absence de fontaine et de coulées susceptibles de l'égueuler. Au Sud du Pico das Caldeirinhas s'aligne une série de petites pustules,

volcans avortés, tas de scories qui ont dû emprisonner des poches de gaz. Il nous a été facile de dégager au marteau de nombreuses ouvertures dans la masse de ces scories colonisées par une maigre végétation. Puis on progresse dans une zone très accidentée de coulées à nombreux hornitos et qui, de plus, ont charrié des blocs provenant vraisemblablement du démantèlement de la croûte de refroidissement. Cette région est particulièrement chaotique, surtout avant le carrefour des routes de Biscoitos et de Altares à l'Est du Pico Gordo.

b) Le Pico Gordo: c'est le type même du cône strombolien dont une grande partie est éventrée par la sortie des coulées. C'est plus qu'un égueulement classique toujours un peu resserré à la sortie. C'est un démantèlement de toute la face nord, comme si toutes les scories de retombée avaient été remobilisées dans le flot de la fontaine de lave. Au NW, on observe bien, s'échappant sur les pentes du Nord, des coulées qui ont repoussé de chaque côté des moraines latérales bien visibles.

La face sud du Pico Gordo est totalement différente. Là, les pentes externes du cône strombolien ont été parfaitement conservées et rappellent celles du Pico das Caldeirinhas. Au Sud du Pico Gordo, la Lagoa do Negro, petit lac bloqué contre le cône, de vieilles coulées parsemées de petits étangs dans les parties basses, témoignent du mauvais drainage de cette région. Il y a là, en effet, une espèce de cuvette perchée où les coulées d'au moins sept générations se sont emprisonnées, accumulées, superposées, sans trouver le chemin des grandes pentes, ni vers le Nord ni vers le Sud. C'est qu'il existe ici un barrage.

c) Les cônes fissurés du Pico Gaspar. — Entre le Pico da Cancela et le carrefour de Bagacina, un système de cônes s'alignent sur des fractures radiales NW-SE des pentes externes de Santa Bárbara. Ces fractures ont la même direction que celles qui, plus haut, ont permis la venue des dômes-champignons. Mais là, le matériel éjecté n'est pas trachytique, ce sont en général des scories et lapillis basaltiques.

Si les dômes-champignons ont parfaitement bouché les fractures qui les ont fait naître, les enterrant, en quelque sorte, il n'en est pas de même des cônes stromboliens alignés

qui portent encore la trace des grandes fissures émettrices qui ne se sont pas complètement comblées.

C'est pourquoi les bouches d'émission de ce curieux système fissural sont de deux types: les longues fissures proprement dites avec deux directions quasi-parallèles; les cratères arrondis qui correspondent souvent à l'élargissement d'une fissure.

On a donc deux types de points d'émission des scories: des fissures et des coulées qui donnent des cônes allongés de part et d'autre de l'ouverture et des cônes arrondis construits autour d'un cratère circulaire. C'est la combinaison d'un volcanisme linéaire et d'un volcanisme ponctuel avec prédominance du premier. L'élément de relief le plus spectaculaire de ce système de cônes fissurés se localise au NW de l'alignement et lui a donné son nom: le «Pico do Gaspar». Il s'agit d'un cône assez régulier, élancé, de 80 m de hauteur, aux pentes sommitales fortes comprises entre 40 et 60°, encadrant un cratère circulaire à l'intérieur duquel on peut distinguer deux points émissifs principaux et tangents à l'intérieur du plus grand.

Les pentes externes sommitales dressées entre 40 et 60° autour du cratère ne sont évidemment pas des pentes de retombée par gravité d'un cône strombolien classique. Nous pensons qu'il s'agit d'un édifice volcanique composé de paquets de scories grossières, accumulées les unes sur les autres à la sortie de la bouche d'émission de laquelle sortaient également beaucoup de gaz chauds à faible pression. Les ejecta les plus gros, du fait de la faible pression des gaz, n'étaient pas projetés très haut, ils étaient simplement entassés les uns sur les autres autour de la bouche d'émission principale; en se refroidissant, ils se sont soudés, constituant cette couronne aux pentes abruptes (60° face sud, 49° face nord), posée sur un cône strombolien fissuré plus ancien dont elle fossilise une des fissures.

Ainsi le relief du Pico do Gaspar s'est formé en trois étapes:

Formation d'un cône strombolien classique avec pentes sommitales rectilignes à 30-35°, pentes de retombée des lapillis et scories, à partir de deux fissures parallèles espacées d'une centaine de mètres. Des fissures, sont également sorties

des coulées dont certaines ont pu s'étaler sur les pentes en direction du Sud de l'île, cependant que d'autres s'accumulaient dans la cuvette perchée précédemment définie, contribuant à en accentuer l'endoréisme et le mauvais drainage.

Erosion abaissant la valeur angulaire des pentes du cône primitif de 30-33° à 20-27° et établissement d'un profil plus concave surtout vers le bas.

Reprise de l'activité volcanique qui construit la couronne scoriacée à fortes pentes, posée sur l'ancienne topographie qu'elle fossilise.

Le relief de l'intérieur de Terceira est donc très varié, aux revers des caldeiras s'ajoutent des venues très nombreuses de coulées s'accumulant et de cônes s'éparpillant. L'existence de tunnels et de grottes nous a permis de pénétrer dans l'intérieur de ces manifestations du volcanisme récent, postérieur à celui qui a formé les grands massifs à caldeiras.

Le volcanisme récent se superpose et parfois submerge le volcanisme ancien à Terceira, mais ces deux étapes principales du volcanisme, définies par les formes, sont toutes les deux tranchées en côtes rocheuses et souvent élevées par l'érosion marine. Ce sont, par conséquent, les magnifiques coupes naturelles du littoral qui vont nous permettre d'en préciser les étapes intermédiaires.

III. LE LITTORAL DE TERCEIRA ET SES ENSEIGNEMENTS

Tout autour des îles açoréennes se déroulent des côtes escarpées, élevées et rocheuses. Les baies y sont très rares et, en général, le dessin de la côte, reflétant la forme des édifices volcaniques émergés, est convexe ou rectiligne. Mais les promontoires sont nombreux, plus ou moins massifs et élevés, avançant toujours assez loin en mer. Promontoires qui portent souvent des postes d'observation où se relaient les vigies chargées d'annoncer aux pêcheurs le jet d'eau du souffle de la baleine. C'est ainsi que, le 27 Septembre 1957, l'éruption marine au large de Faial, commençant par des jaillissements de vapeur sortis de l'océan, fut d'abord annoncée aux cris de «Baleine, baleine...». Naturellement, l'illusion fut de courte durée.

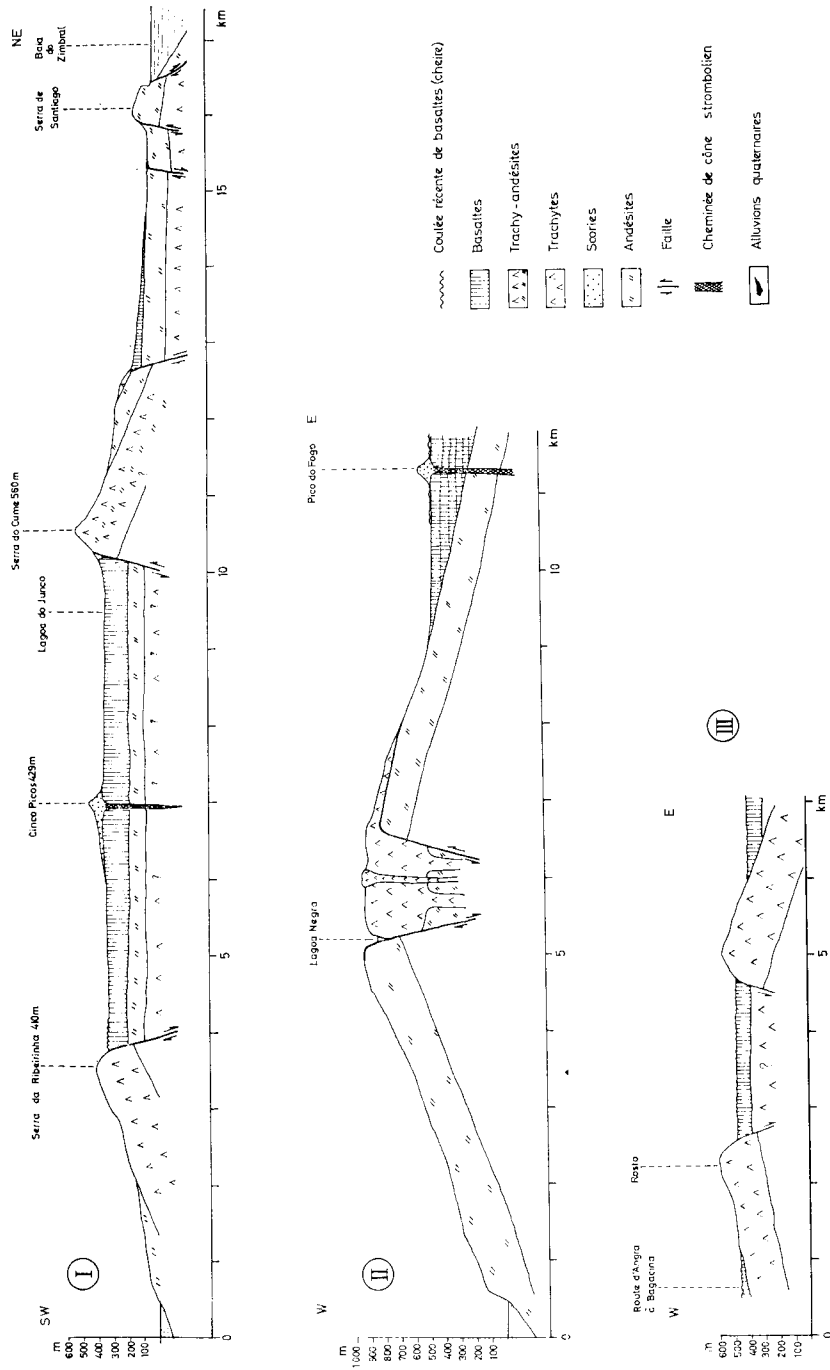


Fig. 9— Coupes à travers l'île de Terceira. I: Coupe de la partie Est et NE de l'île— II: le massif de Santa Bárbara et le remplissage trachytique de sa caldeira — III: la caldeira de Guilherme Moniz et son remplissage.

Dans l'étude qu'il a faite des terrasses d'altitude + 5 à + 8 m de l'archipel des Açores, L. BERTHOIS signale pour Terceira des témoins de plage soulevée à l'Ouest de la plage de Praia da Vitória, sous forme d'une surface horizontale de 7 à 10 m d'altitude où se trouvent à profusion des galets de basalte et d'andésite dont on se sert pour élever des clôtures autour des champs. Vérifiant que ces niveaux marins soulevés se retrouvent dans les autres îles des Açores, Santa Maria, São Miguel, Graciosa et Pico, il en déduit une constance pour tout l'archipel de ce niveau marin ancien à + 5-8 m. De ceci l'auteur tire deux hypothèses: un témoignage des variations glacio-eustatiques ou la preuve des variations du niveau de la dorsale médio-atlantique dans le sens d'un exhaussement de cette dorsale par contre-coup de l'enfoncement des cuvettes océaniques latérales.

Bien que la première hypothèse ne soit pas négligeable, la deuxième nous semble bien correspondre à une évolution effective de la dorsale dans le cadre général d'une tectonique active dont le volcanisme actuel est un des aspects.

Très souvent, en effet, autour des îles, la côte est rocheuse et élevée. Des falaises atteignant parfois 300 m dominent la mer dont elles ne sont séparées que par un estran rocheux très étroit. C'est le cas de la quasi totalité du littoral de l'île de São Miguel.

Tout se passe donc comme si, une fois les grands édifices volcaniques construits, de lents mais constants exhaussements avaient affecté les îles, offrant à l'érosion marine l'occasion de tailler, au fur et à mesure des soulèvements, de hautes falaises régulières. Ces exhaussements, d'ailleurs, semblent avoir affecté inégalement les îles, en particulier celles du groupe central:

Faial⁽²⁾, pour sa part, est constitué à l'Est d'un système de caps à 60-100 m d'altitude enserrant des golfes de côtes basses, alluviales (golfe d'Horta, golfe d'Almoxarife), correspondant à un système de horst et graben où la subsidence semble dominer. Les côtes sont en général assez peu élevées.

(²) Nous nous permettons une digression sur cette île car son étude permet d'expliquer quelques-unes des relations entre la tectonique et le volcanisme aux Açores.

Il n'en est pas de même à l'Ouest de l'île, avant le rétrécissement de la pointe aux édifices récents: entre Porto do Caldeirão et Baía da Areia das Fontes au Nord et entre Ponta da Lapa et Castelo Branco au Sud, s'élèvent deux falaises de dessin général concave taillées dans les andésites du grand volcan central de Faial. Ces falaises abruptes dépassent 300 m d'altitude au Nord, atteignent 260 m au Sud. Il semble que le premier volcan de Faial, le grand volcan central, ait été fracturé en un système de blocs plus ou moins affaissés à l'Est et par contre soulevés et faillés à l'Ouest, offrant ainsi aux grandes houles atlantiques l'occasion de tailler de grandes falaises sur l'emplacement des failles, au détriment du bloc soulevé, la partie effondrée disparaissant sous la mer. Quatre sources thermo-minérales jalonnent l'effondrement dans le front de la falaise à l'Est de Ponta da Lapa. Sur le tracé de la faille d'effondrement, au Sud-Est, est venu un petit volcan, le Castelo Branco. Cette tectonique active tranchant le littoral au point d'y découper de véritables valleuses n'allait pas tarder d'ailleurs à être suivie par des manifestations volcaniques qui construisirent le deuxième système volcanique de Faial au long de fractures orientées WNW-ESE, c'est-à-dire de même orientation que celles qui limitent les horst et graben de l'Est de l'île. C'est alors que la puissante et double coulée d'andésites périclites venue des volcans du groupe Cabeço Verde-Pingarotes fossilisa à 500 m au Nord de Praia do Norte l'ancienne haute falaise dont elle dut épouser dans sa progression la très forte déclivité. S'étalant ensuite sur des projections, elle avança au large. Alors, entre elle et l'ancien littoral à haute falaise, se créa un golfe où s'accumulèrent les alluvions quaternaires de la baie da Areia das Fontes apportées par la rivière das Cabras et redistribuées par la houle. Aujourd'hui, l'érosion marine entaille à la fois la coulée et les alluvions quaternaires par une petite falaise d'une quinzaine de mètres.

Si donc, dans la formation de cette côte élevée taillée dans la partie occidentale du premier grand volcan central de Faial, la part de l'érosion marine est très importante, elle ne nous paraît pas exclusive. Il nous semble que des failles dues à la tectonique d'ensemble de la dorsale, affectant inégalement les édifices volcaniques, ont ici préparé le tracé de la

ligne de rivage. Par la suite, dans cette zone particulièrement active, le volcanisme allait jaillir au long des fractures, faisant croître l'île en direction de l'Ouest en plusieurs étapes, chaque construction volcanique fossilisant la pointe occidentale de l'ancien littoral: la troisième étape, celle de 1957-1958, a ainsi fossilisé le littoral de la deuxième étape que signalait le phare des Capelinhos aujourd'hui bien inutile.

On peut donc dire que les côtes des Açores sont dues à différents types de combinaisons entre trois facteurs: l'apport et la superposition des manifestations du volcanisme; la tectonique générale affectant la dorsale médio-atlantique; le temps d'action plus ou moins grand de l'érosion marine. C'est en fonction de ces trois actions et de leur rôle respectif que nous allons classer les côtes de l'île de Terceira.

1. LE LITTORAL DÙ À LA TECTONIQUE GÉNÉRALE

C'est essentiellement la partie NE de l'île déjà décrite. Nous n'y reviendrons que pour rappeler que le jeu de horst et graben a déterminé, par la subsidence plus marquée du graben en direction de la mer, l'existence de la seule grande côte basse sableuse de l'île, le golfe de Vila da Praia da Vitória. L'effondrement du graben ne fut pas suffisant au NW où il est tranché au contraire par une falaise d'une quinzaine de mètres. C'est donc la preuve de l'enfoncement inégal du graben. Le horst de la Serra de Santiago domine la mer par une belle falaise rocheuse d'une cinquantaine de mètres. Son dessin est parfaitement rectiligne de la Ponta da Serra das Lajes à la Ponta das Carneiras. Mais, de là jusqu'à la Ponta da Merenda, elle prend une allure incurvée, concave, formant la Baie do Zimbral. Cette baie, dominée de toutes parts par une côte rocheuse, beaucoup trop ouverte pour offrir un abri, n'est pas sans rappeler les côtes concaves aux hautes falaises de l'Ouest de Faial. Il est possible qu'elle doive son existence à un type de faille courbe lâchant le bloc affaissé dans une trajectoire oblique et incurvée (voir coupe n° 1, fig. 9). Au large, les deux isobathes -50 et -100 m dessinent la même concavité. Des études ultérieures pourront peut-être préciser cette notion de faille courbe à étirement oblique autour des Açores.

2. LES FALAISES ENTAILLANT LE POURTOUR DE SANTA BÁRBARA

Le littoral occidental de Terceira, depuis São Mateus da Calheta au Sud jusqu'à Biscoitos au Nord, forme un vaste demi-cercle de côtes convexes qui dominent l'océan par des falaises abruptes de 100 à 150 m de hauteur. C'est la partie de l'île la plus difficile d'accès par la mer, la plus inhospitalière. Aucun village ne s'est installé sur le rivage. Au contraire, l'habitat fuit la mer et s'organise en une suite de villages-rues étirés au long de la route circulaire qui contourne, au premier tiers des grandes pentes, à 250-300 m d'altitude environ, le massif de Santa Bárbara. Entre ces villages et la mer, s'étendent des champs cultivés, blé, maïs, tabac, qui se terminent juste au-dessus des falaises par des murs de pierre protecteurs au-delà desquels c'est le vide et le sourd ressac des vagues en contre-bas.

Au Mirador de Ponta do Raminho nous avons pu observer la magnifique coupe naturelle des falaises du NW de l'île. Sur une hauteur d'une centaine de mètres, on peut dénombrer de bas en haut sept coulées compactes d'andésites de 80 cm environ d'épaisseur moyenne, alternant avec des niveaux scoriacés un peu moins épais (60 cm).

Immédiatement au-dessus du dernier horizon, par conséquent à 3 m environ du sommet de la falaise, le dernier niveau scoriacé se termine au sommet par un niveau jaune cendreux qui vire très vite à l'ocre puis au rouge. Il s'agit incontestablement d'un véritable niveau rouge (red-parting), c'est-à-dire d'un phénomène de cuisson d'un niveau cendreux (légèrement pédogénisé) par le passage d'une coulée postérieure.

Ce «red-parting» se suit de façon assez régulière à la même altitude relative par rapport au sommet de la falaise tout autour de Santa Bárbara. Il témoigne donc, après une longue période d'empilement de coulées plus ou moins compactes ou plus ou moins scoriacées (ou scoriacées à la base et compactes au sommet), d'un arrêt de ce type de manifestation volcanique et de son remplacement par des phénomènes explosifs épandant des cendres sur les coulées des pentes externes de Santa Bárbara. Ces épaisseurs de cendres

ont été vite attaquées par l'érosion et ravinées. C'est pourquoi les niveaux de cuisson ne sont présents que là où les cendres avaient été préservées de l'ablation. Autrement dit, les coulées postérieures, à l'origine des niveaux rouges, ont fossilisé et cuit une topographie déjà bien élaborée aux dépens de la couche cendreuse. Là où l'intermédiaire cendreux n'existe plus parce qu'il a été complètement enlevé par l'érosion, les coulées postérieures s'empilent directement sur les coulées antérieures, sans phénomène de cuisson, celui-ci ne se produisant en général que sur du matériel à très fine granulométrie (cendres, argiles, etc.).

On retrouve ce niveau rouge à l'Est du cône de Matias Simão, tronqué par la mer, dans la falaise qui se développe jusqu'au port de Biscoitos, c'est-à-dire dans du matériel qui appartient encore au massif de Santa Bárbara.

Il ne nous viendrait pas à l'esprit de nier le rôle considérable de l'érosion marine frappant de plein fouet l'Ouest de Terceira dans l'élaboration de ces falaises. Ces épaisseurs de coulées hétérogènes sont, en effet, susceptibles d'être attaquées assez rapidement par l'impact des vagues, d'autant plus efficace qu'il est armé par des galets provenant du démantèlement du front des coulées compactes mises en surplomb par l'attaque plus rapide des niveaux scoriacés (sauf quand ceux-ci sont très soudés, auquel cas ils peuvent être aussi durs et résistants que les bancs compacts). Incontestablement, l'hétérogénéité du matériel est propice à l'action de l'érosion.

Mais l'érosion littorale est-elle suffisante pour expliquer ces hautes falaises de l'Ouest de l'île? Nous ne le pensons pas. Certes, il n'est pas question ici de supposer que ces côtes doivent leur existence à des failles. Mais il n'est pas interdit de penser qu'un soulèvement de la masse de Santa Bárbara ait accompagné le développement de ces falaises. Ces dernières étant les plus élevées à l'extrême ouest de l'île, plus qu'au Nord et au Sud, on pourrait penser que le soulèvement a été inégal, affectant particulièrement la partie SW de Santa Bárbara, cependant que la partie NE connaissait au contraire des effondrements, et, conséquences de ceux-ci, les venues volcaniques ultérieures.

Nous pensons qu'aux Açores les côtes à hautes falaises développées aux dépens des empilements de coulées anciennes qui constituent les grandes pentes des grands massifs volcaniques, doivent leur existence à l'action combinée de l'érosion marine et de soulèvements (ou basculements) qui affectèrent la totalité des édifices volcaniques, dans le cadre général de l'activité tectonique de la dorsale médio-atlantique. Si «l'Atlantide nummulithique» a disparu en grande partie sous les flots, au point de ne laisser que quelques témoins vindoboniens dans l'île de Santa Maria, les massifs volcaniques dont les sommets donnent l'archipel actuel ont sans doute été affectés par des mouvements verticaux, des basculements et des réajustements tectoniques qui ne sont sans doute pas terminés. Les sismographes sont là pour nous le rappeler. Il n'y a pas eu que des mouvements négatifs dans l'histoire de cette partie du globe. Ce sont bien des mouvements positifs qui ont porté à leur altitude actuelle les sédiments marins vindoboniens et, avec eux, le matériel volcanique dans lequel ils s'intercalent.

3. LES PROMONTOIRES TRACHYTIQUES

Contrastant avec la masse très sombre des falaises andésitiques et basaltiques précédemment décrites, les épaisses coulées de trachytes avancent leur masse claire dans l'océan (pl. II, B).

Elles sont le résultat de manifestations volcaniques postérieures à l'édification des grands massifs et vraisemblablement la conséquence du volcano-tectonisme affectant ceux-ci. Parties, soit à mi-pente du massif de Santa Bárbara, soit du complexe trachytique du Nord de l'île, elles sont arrivées à la mer en conservant encore une forte largeur et une forte épaisseur. Aussi donnent-elles des promontoires élevés, avançant parfois de plusieurs centaines de mètres en mer. Absents de Faial et de Pico, îles très peu trachytiques, ces caps de forme convexe sont par contre très développés au centre nord de l'île de São Miguel, où nous citerons ceux de Santa Iria (Ponta da Ribeirinha), de Ponta do Cintrão et, le plus typique, Ponta Formosa.

A Terceira, les exemples ne manquent pas: au NW de l'île, de nombreuses coulées de trachytes recouvrent les

grandes pentes de Santa Bárbara. Mais seul le groupe le plus occidental, celui du Pico do Carneiro (383 m), a donné deux longues coulées (2,5 km environ) qui ont atteint la mer en formant deux promontoires (fig. 2), la Ponta da Serreta où est installé le phare du même nom (Ponta do Queimado sur la carte géologique), d'une longueur de 800 m pour une largeur de 400 m et une altitude moyenne de 60 m, et la Ponta do Raminho beaucoup moins saillante sur la mer mais plus élevée (100 à 150 m). Aussi a-t-il été choisi comme point de vue touristique après l'avoir été comme point d'observation des baleines (vigie). Dans les deux cas, les coulées de trachytes, se moulant sur la topographie pré-existante, après avoir glissé assez lentement sur les grandes pentes andésitiques, ont dû sauter la falaise taillée dans celles-ci avant de s'étaler au large. Elles présentent alors dans leur profil en long un ressaut caractéristique en aplomb du franchissement de la paroi. Cependant, suffisamment épaisses et visqueuses, elles ne se sont pas désorganisées. Elles se moulaient sur la falaise comme un pli jurassique sur un substratum dénivélé par faille.

Les promontoires de l'Ouest de Santa Bárbara (Ponta do Queimado et Ponta do Raminho) dominent l'océan par un front bombé massif et convexe, formé de roches trachytiques compactes sur toute la hauteur de la falaise. Les coulées qui les composent proviennent en effet de points émissifs qui n'ont eu que peu de phases de projection de lapillis et cendres. Ces derniers éléments du volcanisme explosif ne se rencontrent qu'autour des points d'émission situés quelques centaines de mètres en amont des fronts de coulées. Au contraire, plus en aval, se sont accumulés les trachytes épais et compacts, résultat d'un volcanisme plus effusif et que n'affaiblissaient pas, vis-à-vis de l'érosion marine, des phases explosives trop réduites dans l'extension de leurs projections.

Il n'en est pas de même des falaises trachytiques du Nord de l'île, à l'Est de Biscoitos. Le complexe montagneux trachytique du centre nord de l'île envoie d'épaisses coulées dans la mer, sur une largeur de 5 km à l'Est de Biscoitos, de part et d'autre du village de Quatro Ribeiras (fig. 7). La route circulaire de l'île, offre à cet endroit de beaux points de vue sur ce littoral trachytique formé d'un promontoire à

l'Ouest (Ponta da Furna), d'une baie au centre (Baía das Quatro Ribeiras) et d'un double promontoire à l'Est de la baie (Ponta das Quatro Ribeiras et Ponta do Mistério). Le cap le plus occidental, la Ponta da Furna, le seul vraiment élevé, domine la mer par un à-pic d'une quarantaine de mètres. C'est qu'il est essentiellement formé de trachytes compacts et que la couche de cendres qui les recouvre est elle-même recouverte par une (ou plusieurs?) coulées de trachy-andésites issues d'un point émissif proche, vraisemblablement situé à la hauteur de Rebentão do Bom Jesus. Aussi la falaise est-elle aux trois quarts constituée de roche dures.

Quant à la baie, elle a été taillée par la mer dans un matériel où les lapillis, cendres et blocs projetés dominent et où les niveaux compacts sont rares. De plus l'action marine a été renforcée par celle des rivières qui se sont concentrées en direction de la baie, canalisées entre les deux massives coulées latérales donnant les promontoires. A une centaine de mètres au large, les vagues se brisent sur des îlots rocheux, témoins avancés d'une coulée intercalée entre les phases de projections.

C'est aussi l'alternance des coulées compactes et des niveaux cendres qui permet d'expliquer l'allure des promontoires de l'Est de la baie (Ponta das Quatro Ribeiras ⁽³⁾ ou do Pesqueiro Velho ⁽⁴⁾ et Ponta do Mistério ⁽³⁾ ou Ponta Selvagem ⁽⁴⁾). Ces deux caps sont en effet constitués d'abord d'un éperon rocheux avançant dans l'océan de 100 à 200 m, à 4 ou 5 m au-dessus du niveau de la mer. Ce front rocheux qui résiste bien à l'érosion marine correspond à la terminaison des grandes coulées massives. Gris clair pour la partie sèche, il est plus foncé dans la partie humectée par les vagues, mais il s'agit des mêmes trachytes. Phénomène normal et classique. La véritable falaise, elle, est en arrière de l'éperon rocheux, à 100 m du ressac actuel, taillée sur 30 m de hauteur dans des couches cendreuses acides et jaunes; il est tentant de parler de falaise morte, mais avec prudence, car il est possible que les fortes tempêtes d'équinoxe l'atteignent encore aujourd-

(³) Toponymie de la carte géologique au 1:50 000.

(⁴) Toponymie de la carte topographique au 1:25 000 (feuilles 22-23).

d'hui. Ainsi, à la différence du promontoire occidental où les trois quarts de la falaise sont constitués de roches dures, le promontoire oriental ne comporte que le tiers inférieur en roches compactes. D'où la discontinuité et le dédoublement du front du cap. Il faut ajouter pour expliquer la raideur des pentes de la falaise «morte» de 30 m dans les couches cendreuses que celles-ci sont, elles aussi, recouvertes au sommet, en maints endroits, par des coulées de 3 à 4 m d'épaisseur correspondant à la fin des émissions effusives descendues du Pico Alto.

Cette côte, résultat d'une véritable érosion littorale différentielle, nous confirme l'alternance de phases explosives entre les phases effusives du complexe trachytique du centre nord de l'île. Elle nous montre de plus que les couches cendreuses, si elles reculent plus vite que les coulées compactes sous les coups de boutoir de l'océan, n'en conservent pas moins une réelle cohérence. Cette relative solidité d'ensemble propre à donner une côte élevée s'explique par la transformation des pluies de cendres en tufs soudés et compacts lors de l'entassement de celles-ci sur le sol. Enfin, on peut remarquer que les niveaux cendres sont beaucoup plus épais à l'Est qu'à l'Ouest, dans le complexe trachytique du centre nord en général. Cela est-il dû à une plus forte activité de l'Est du complexe ou à des apports étrangers au complexe (Serra do Cume par exemple)?

4. LES CÔTES DE COULÉES BASALTIQUES

Les flots de basaltes sortis du centre de l'île, quand ils ont pu échapper au piège des caldeiras, ont atteint la mer en plusieurs endroits, au Sud à Feteira (5 km à l'Est d'Angra) et à Silveira (1 km à l'Ouest d'Angra), à l'Est à Porto de S. Fernando, au Nord à Biscoitos.

Ce type de coulée est généralement peu épais (3 à 4 m au maximum), mais très mobile parce que, vraisemblablement, à la fois fluide et chargé en gaz, ces deux facteurs combinés maintenant la progression. A l'intérieur de l'île, ces coulées se présentent comme des cheires mal colonisées par la végétation. Dans la mer, elles éparpillent leurs chaos de blocs et de hornitos de toutes tailles assez loin au large (3 à 400 m

environ à Biscoitos) pour que les eaux de l'océan se faufilent entre les masses rocheuses très noires, y établissant de nombreuses criques bleues et vertes.

C'est que le front de la coulée basaltique a été désorganisé par l'érosion marine, les blocs mobiles transportés lors de la progression de la cheire ayant été détruits ou emportés par les fortes houles. De sorte qu'il ne reste que les parties compactes, celles qui se sont soudées en fin de parcours alors que la température des laves le permettait encore. De nombreux hornitos dressent leur tête sombre et arrondie au-dessus de l'eau qui les recouvre à chaque ressac. Les criques correspondent aux parties les plus instables et les moins soudées de la coulée, mais au fond de celles-ci on retrouve toujours de rugueuses roches volcaniques qu'il faut recouvrir de sable pour y permettre la baignade sans danger. Bien que peu élevées, ces côtes basaltiques parsemées d'écueils sont aussi dangereuses pour la navigation.

Les roches sont en général peu compactes, les gaz les ont rendues bulleuses, scoriacées, hétérogènes. Aussi n'y observe-t-on ni cellules prismatiques, ni orgues découpées en «chaussée de géant», ni «pillow-lavas». Ce sont des chaos plus ou moins soudés et plus ou moins pénétrés par la mer. Ces morceaux de basaltes assaillis par les vagues peuvent résister encore longtemps car ils semblent adhérer très fortement à l'estran rocheux sous-jacent. Blocs transportés par les coulées, dressés au-dessus d'elles, soudés dans cette position verticale en fin de parcours, ils défient de leurs pinacles noirs le temps et les tempêtes, en vigies avancées du volcanisme récent dans l'océan.

5. LES CÔNES PÉNINSULAIRES: L'EXEMPLE DU MÔNTE BRASIL

Après la période de formation des grandes caldeiras, le volcanisme des Açores s'est continué sous forme de coulées et cônes adventices sur les revers des grands édifices primitifs. Une partie de ces constructions secondaires s'est élaborée à l'intérieur des îles, donc au-dessus du niveau de la mer, quelques autres, qui vont nous retenir ici, sont nés à proximité des côtes. Ils volcaniques à quelques centaines de mètres au large, elles se sont par la suite rattachées à l'île principale

soit par l'épaisseur de leurs projections, soit par la redistribution de celles-ci par la mer en flèches alluviales aboutissant au façonnement de tombolos volcaniques, de petites péninsules.

C'est le cas, pour l'île de Faial, du système volcanique péninsulaire qui avance en mer au Sud de la ville de Horta, à partir duquel on a lancé vers le Nord la digue du Farol da Doca. Au large, un cône strombolien de 1 km de diamètre, le Monte da Guia (145 m), a son cratère égueulé envahi par la mer. Ce volcan est rattaché à Faial par une flèche alluviale et un second édifice strombolien plus petit, le Monte Queimado (82 m), lui-même posé sur les coulées d'andésites péridotiques du Monte Carneiro (264 m) qui domine Horta. Au NE de Faial, le volcan de Capelinhos, né en mer en septembre 1957, s'est soudé à l'île principale par la masse de ses cendres qui enfouissaient à moitié le phare de l'ancienne ligne de rivage. Cette première péninsule cendreuse fut vite attaquée par la mer qui y tailla aisément des falaises. Mais les vagues attaquèrent également vigoureusement le nouveau cône lui-même et les courants marins étalèrent en longues flèches les produits de l'érosion marine au pied de ces falaises qui sont devenues, comme celles précédant l'éruption et portant le phare, des falaises mortes.

Le cône péninsulaire de Terceira est le Monte Brasil (fig. 2 et pl. IV, B). Sa masse boisée, haute de 205 m au-dessus de la mer, constitue le seul accident notable du littoral sud de l'île. C'est un des éléments du site de la ville d'Angra do Heroísmo, puisque c'est derrière l'abri naturel qu'il constitue qu'on a pu établir le port d'Angra.

Le Monte Brasil a été étudié de façon détaillée par J. AGOSTINHO (1949) qui a établi une chronologie de sa formation et montré les rapports entre les phases volcaniques de l'île principale et celle du Monte Brasil proprement dit. Cette chronologie s'appuie en grande partie sur les coupes naturelles de la baie de Silveira à l'Ouest du Monte Brasil. Nous avons pu observer ces coupes en compagnie de J. AGOSTINHO. La succession s'établit ainsi, du plus ancien au plus récent, de bas en haut:

a) à la base, le complexe andésitique du revers du massif de la Serra da Ribeirinha,

b) les trachytes du revers de la Serra do Morião par l'intermédiaire du petit édifice d'Espigão (267 m), à 2 km au Nord d'Angra,

c) puis des basaltes (visibles sous le château du XVII^e siècle) qui constituent en fait le noyau de la péninsule joignant le Monte Brasil au corps de l'île,

d) des niveaux épais de cendres trachytiques acides jaunes,

e) par dessus, les tufs basaltiques du Monte Brasil gris foncé englobant quelques blocs d'ankaramites arrachés au substratum profond de l'île et que, comme J. AGOSTINHO, nous pensons provenir d'une première période d'activité volcanique antérieure aux dépôts miocènes de Santa Maria,

f) une coulée de basaltes récents (2000 ans?) provenant du flot basaltique qui a rempli la caldeira de Guilherme Moniz selon un processus déjà mentionné. Cette coulée n'est jamais recouverte de tufs. La formation du Monte Brasil est donc antérieure.

Nous avons, quant à nous, observé d'autres coupes, en particulier, celles de la route qui longe la partie ouest du port d'Angra. Cette route taillée dans le flanc de la péninsule soudée au Monte Brasil montre fort bien le net contact entre les cendres acides jaunes et leur recouvrement par les tufs gris sombres du Monte Brasil.

On observe en particulier dans le tournant de la route avant les escaliers conduisant au Fort de Saint Jean-Baptiste, de bas en haut:

a) des cendres grises (épaisseur 50 cm),

b) un niveau à blocs hétérométriques de plus en plus gros vers le haut, emballés dans des cendres grises. La granulométrie de ces blocs peut s'établir ainsi:

35 % inférieur à 5 cm de diamètre

25 % de 5 à 10 cm

20 % de 10 à 20 cm

10 % de 20 à 50 cm

10 % de plus de 50 cm.

Ces pierres et blocs sont en général des basaltes et des ankaramites. Le tout, sur une épaisseur de 2 m.

c) sur 4 m d'épaisseur, des cendres jaunes et lapillis,

d) au-dessus, les tufs très stratifiés gris foncés du Monte Brasil sur une épaisseur de 8 m environ.

Un peu plus loin, en approchant du Club Nautique, on ne voit plus dans les coupes de la route que les tufs du Monte Brasil: c'est qu'on arrive dans la masse du volcan proprement dit. Les tufs sont presque noirs, très soudés, avec de nombreux lapillis et quelques blocs supérieurs à 5 cm où l'on observe de beaux phénocristaux d'olivine vitreuse verte. De fréquentes micro-failles sont visibles, ainsi que des circonvolutions et des poches dues à des retombées de blocs dans les lits cendreux avant que ceux-ci ne se soudent et ne se refroidissent. Des lits de projections plus résistantes de 5 à 20 cm sont mis en valeur par l'érosion différentielle alimentée par le ruissellement de l'eau de pluie sur les coupes. Le quai du Club Nautique se termine contre les tufs du Monte Brasil attaqués directement par la mer qui exploite les niveaux les moins soudés, créant ainsi de curieux types de «visors». Entre ceux-ci, quelques criques étroites de sable très foncé provenant du remaniement des niveaux tufacés tendres.

Le Monte Brasil se présente comme un cône strombolien de 205 m d'altitude maximale et de 1,5 km dans son plus grand diamètre. Il est rattaché au corps de Terceira par un isthme de 500 m de long sur 500 m de large et qui domine toujours la mer d'au moins 25 m. Cet isthme, nous l'avons vu, correspond à une ancienne coulée descendue du centre de l'île principale et recouverte par différents niveaux de projections dont, pour terminer, ceux du Monte Brasil lui-même. Aucune trace de flèche alluviale, aucun tombolo, dans la formation de ce système volcanique. Il s'agit d'un type un peu particulier de volcanisme péninsulaire: l'édification d'un cône strombolien au front d'une coulée ayant atteint la mer. C'est ce qui explique que tout le pourtour du système soit doté de côtes escarpées et élevées, soit qu'elles aient été taillées dans les flancs de la coulée et dans les projections qui la recouvrent, soit qu'elles coupent les flancs du cône lui-même.

Le cratère central du Monte Brasil n'est pas du tout un cratère d'effondrement du type caldeira, mais bien un cratère de volcan strombolien, c'est-à-dire dont les pentes sont dues

à la retombée naturelle des matériaux projetés. On distingue trois points d'émission dont deux bien visibles, assez profondément encaissés (34 m) à l'intérieur du pourtour du cratère (200 m en moyenne). Ces deux points distincts se recoupent pour former un huit au fond quasi plat occupé par une prairie hydromorphe, alors que les pentes internes et externes du cône sont recouvertes par des bruyères arborescentes de belle venue.

La masse du cône a été fracturée, si bien que la couronne sommitale est abaissée au NW à l'endroit d'une grande cassure de direction NW-SE par laquelle monte la route d'accès au sommet. Il semble en effet que la tectonique ait affecté ce volcan et il ne nous paraît pas que les deux falaises de plus de 100 m d'à-pic taillées dans la masse des tufs soudés du cône au SW et au SE soient uniquement le fait de l'érosion marine. Cette dernière, certaine et efficace, a sans doute été préparée par des fractures analogues à celle du NW. Il s'est agi ici, plus précisément, de petites failles déterminant l'effondrement (et la destruction) de la partie sud du Monte Brasil et préparant l'action de l'érosion littorale. Notre avis diffère ici de celui de J. AGOSTINHO.

Les matériaux qui composent le Monte Brasil permettent de reconstituer le substratum aujourd'hui recouvert par le volcan. L'ensemble de celui-ci est composé essentiellement de couches de tufs gris consolidés avec des niveaux plus ou moins chargés de lapillis arrondis, bulleux et scoriacés, salis par la pédogenèse développée à partir des tufs et des cendres, mais toujours bien noirs et rouges à l'intérieur. Quelques blocs d'ankaramites et de basaltes à phénocristaux d'olivine verte et vitreuse ont été arrachés au substratum, projetés, et sont retombés dans les tufs. Certains de ces blocs sont arrondis: ce sont de parfaits *galets de plage* façonnés par l'action de la mer aux dépens, sans doute, du front de la coulée qui constitue le noyau de l'isthme. Ces galets, répartis dans les tufs, et dont nous avons trouvé plusieurs exemplaires, prouvent bien que l'éruption du Monte Brasil s'est produite sur l'emplacement d'une ancienne plage à galets de basaltes et d'ankaramites. Les galets furent ensuite repris dans les éléments projetés par le volcan. Petit à petit, en se cons-

truisant, le volcan recouvrait le littoral et l'extrémité de la coulée qui a fourni les galets.

On trouve parfois sur les tufs basiques ⁽⁵⁾ gris cendreaux foncés du Monte Brasil une couche de cendres jaunes qui ne semblent pas être une altération. S'agit-il d'une ultime phase acide d'une des grandes caldeiras? En ce cas, un des grands édifices du centre de l'île se serait manifesté après l'édification du Monte Brasil.

6. LES CÔNES INSULAIRES

Les principales îles des Açores sont entourées de petits îlots généralement situés à 1 ou 2 km du rivage dont ils sont et seront toujours complètement indépendants. Ces îlots sont les restes de cônes adventices édifiés sur la partie complètement immergée du revers des grands massifs.

Volcans poussés en mer, ils ont subi fortement l'action destructive des vagues et des houles les attaquant de toutes parts. Accumulations de cendres, tufs et lapillis sur un substratum volcanique sous-marin instable, ils ont, de plus, été souvent fortement affectés par des fracturations.

Ainsi les deux îlots qui, émergeant à 2 km environ au large de la côte sud de Terceira, constituent un seul et même édifice strombolien fracturé dans son milieu par une cassure NW-SE (fig. 2 et pl. IV, A). Cette fracturation est-elle une conséquence d'un rejeu tectonique des éléments immergés de la dorsale, comme le laisserait supposer sa direction NW-SE? Ou bien s'agit-il d'un phénomène explosif dû à la pénétration de l'eau de mer dans le cratère égueulé du cône en activité? Ou de la conjonction des deux? Il nous semble en effet impossible que seule l'action de la mer soit responsable du démantèlement des «Ilhéus das Cabras» tels qu'ils se présentent actuellement. Certes, les vagues entaillent bien une

⁽⁵⁾ Ces tufs du Monte Brasil ont servi à construire le fort lors de la conquête de Terceira par les Espagnols. Ces derniers ont utilisé le matériau local, suffisamment soudé et cohérent pour édifier sur l'isthme des installations militaires. C'est dire que les tufs sont suffisamment durs, mais cependant assez aisés à façonner pour doter les portes d'entrée de la forteresse de belles sculptures, armes et blasons de l'époque (XVII^e siècle).

falaise vive de quelques mètres tout autour des restes du cône, mais il a sans doute fallu plus qu'une action mécanique marine pour tailler les grands à-pics qui divisent le cône en deux. L'érosion marine a été préparée par des fractures ou des explosions car les matériaux de ces cônes sont, bien que de projections stromboliennes, beaucoup plus soudés et cohérents qu'il ne le paraît.

Le même concours d'actions nous semble nécessaire pour expliquer le démantèlement du cône insulaire des Mosteiros au NW de São Miguel que 4 ou 5 îlots permettent de reconstituer. Mais, dans ce cas, les matériaux projetés, comme ceux qui composent en général São Miguel sont plus tendres, plus cendreuse et l'action érosive marine et pluviale a dû être plus importante.

Tels sont donc les paysages côtiers de Terceira. Ils ne s'expliquent que par une combinaison de facteurs, apport du volcanisme adventif des revers des grands édifices (coulées et cônes péninsulaires et insulaires), action de l'érosion marine dans ce matériel volcanique inégalement dur et plus ou moins récent, et, enfin, rôle de la tectonique générale de la dorsale médio-atlantique formant le substratum de l'ensemble de l'archipel.

CONCLUSION

L'île de Terceira offre un assez vaste champ d'étude de reliefs volcaniques d'âges différents: massifs effondrés en caldeiras aux versants quasi réglés, cônes adventifs évolués aux pentes convexo-concaves, coulées très récentes plus ou moins chaotiques, dômes-coulées trachytiques, côtes entaillant les revers des vieux massifs, promontoires élevés ou fronts de cheires désorganisées par leur arrivée dans l'océan, édifices stromboliens aux pentes fraîches, etc. On peut donc y saisir, pour plusieurs types de manifestations volcaniques classiques, une véritable évolution morphologique, en particulier pour les versants internes des caldeiras et les pentes des cônes stromboliens. On peut affirmer, une fois de plus, que les reliefs volcaniques, loin d'être uniquement des édifices surajoutés ne se prêtant qu'à l'analyse structurale, s'intègrent dans

l'évolution géomorphologique et même morpho-climatique générale dont ils subissent eux aussi les effets (DERRUAU, 1969). Comme il existe une géomorphologie des calcaires ou des granites, il existe aussi une géomorphologie des massifs volcaniques, tout aussi passionnante et, de plus, souvent remise en question par les modifications dues aux éruptions actuelles. C'est bien le cas des Açores où chaque siècle voit jaillir un volcan de l'océan. Le dernier, en 1957, projeta au-dessus de l'océan d'énormes nuages de vapeurs cendreuseuses qui s'élevèrent lourdement en volutes. De ce panache jaillirent, comme des fusées, en gerbes cupressoides, des milliers de bombes qui retombèrent dans les flots ou dans les lits de cendres entassés sur le sol de Faial.

Une autre raison d'étudier Terceira réside dans le fait que la partie NE de l'île doit plus à la tectonique générale cassante affectant perpendiculairement la dorsale médio-atlantique et son rift médian, qu'au volcanisme proprement dit. En effet, dans cette partie de l'île, la structure volcanique originelle, celle des pentes externes d'un grand strato-volcan, est profondément modifiée au profit du système de horst et graben décrit précédemment. C'est un cas suffisamment rare dans l'archipel pour qu'on insiste sur lui. Il nous indique dans quelle direction il faut poursuivre les recherches pour mieux connaître l'évolution de l'archipel: la géomorphologie sous-marine. Dans ce domaine, la géomorphologie volcanique a sa place car, plus que tout autre secteur de la géomorphologie terrestre, elle a son prolongement naturel au fond des océans, tant il est évident qu'un archipel volcanique n'est qu'une faible partie émergée d'un vaste système éruptif immergé. En ce sens, une étude globale de l'archipel des Açores ne pourrait se passer de l'analyse du relief sous-marin de la dorsale médio-atlantique à cette latitude.

Pour Terceira, nous n'avons fait que dresser un tableau d'ensemble de la partie émergée, faute de moyens proprement océanographiques. D'autre part, ne disposant pas de datations absolues, nous n'avons pu donner que des repères chronologiques relatifs. Les études ultérieures modifieront sans doute nos hypothèses. Nous voulons simplement proposer une base de départ pour des recherches plus précises.

Ceux qui auront la chance de les mener à bien seront assurés de rencontrer aux Açores des paysages magnifiques, des problèmes intéressants et des hommes accueillants, tels que nous les avons connus et appréciés.

GÉRARD MOTTET

SUMMARY

Morphological aspects of the volcanic island of Terceira (Azores).

In this study, completed thanks to the material help of the Gulbenkian Foundation and the scientific collaboration of the Geographical Studies Center of Lisbon University, the author describes the main morphological aspects of the island of Terceira.

This island is composed of 3 volcanic massives with caldeiras, the Serra do Cume massive, the Guilherme Moniz massive and its caldeira, the Santa Bárbara massive. The latter, also the youngest, includes a complex caldeira filled in by trachytic lava-domes. On the outer slopes, these lava-domes take the shape of bulky masses prolonged by wide convex lava-streams which are canalized by spectacular lateral levees.

The presence of a long graben in the NE of the island allows us to integrate the latter to the great tectonic WNW-ESE accidents offsetting the mid atlantic ridge at the latitude of the Azores Islands.

A study of the coastline permits to show how marine erosion attacks the lava-streams stretching down to the sea, as well as the strombolian cones which have formed near the coast (Monte Brasil).

BIBLIOGRAPHIE

1. Cartes:

a) Cartes topographiques:

Feuille 1:50 000, Archipel des Açores, Ile de Terceira, de l'Institut Géographique et Cadastral du Portugal, Lisbonne, 1965.

Carte au 1:25 000 de Terceira en 4 feuilles du Service Cartographique de l'Armée, Lisbonne, édition de 1959.

b) Cartes géologiques:

Feuille Terceira au 1:50 000, levés de G. Zbyszewski et C. de Medeiros. Service Géologique du Portugal, Lisbonne, 1970.

2. Photographies aériennes:

Couverture aérienne de l'île de Terceira par l'Institut Géographique et Cadastral du Portugal.

3. Articles, notes et ouvrages consultés:

AGOSTINHO, J. — «Sinopse do estudo de P. Esenwein sobre a petrografia dos Açores», *Açoreana*, vol. I, fasc. I, pp. 59-65, Angra do Heroísmo, 1934.

AGOSTINHO, J. — «Tectónica, sismicidade e vulcanismo das ilhas dos Açores», *Açoreana*, vol. I, fasc. II, pp. 86-98, Angra do Heroísmo, 1935.

AGOSTINHO, J. — «The volcanoes of the Azores Islands», *Bulletin Volcanologique*, VIII année, n° 27-30, pp. 123-138, Napoli, 1936.

AGOSTINHO, J. — «Clima dos Açores», *Açoreana*, vol. II, pp. 35-65, 107-118, 160-173, 224-267; vol. III, pp. 49-73, Angra do Heroísmo, 1939, 1940, 1941, 1945.

AGOSTINHO, J. — «O Monte Brazil, esboço monográfico», *Açoreana*, vol. IV, fasc. IV, pp. 343-355, Angra do Heroísmo, 1949.

AZEVEDO, O. V. DE — *Carta de solos da ilha Terceira. Estudo preliminar*. Lisboa, Relatório final do Curso de Engenheiro Agrônomo, 1963, 158 p.

BERTHOIS, L. — «Sur une roche siliceuse de Biscoutos, île Terceira, Açores», *Açoreana*, vol. IV, fasc. III, pp. 246-262, Angra do Heroísmo, 1948.

BERTHOIS, L. — «Sur la présence d'une microfaune dans le calcaire de Santa Maria (Açores)», *Açoreana*, vol. IV, fasc. IV, pp. 277-288, Angra do Heroísmo, 1949.

BERTHOIS, L. — «Contribution à l'étude lithologique de l'archipel des Açores», *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, tomo XXXIV, 198 p., Lisboa, 1953.

BERTHOIS, L. — «Terrasses marines d'altitude 5 à 8 mètres dans l'archipel des Açores», *Açoreana*, vol. V, fasc. I, pp. 64-70, Angra do Heroísmo, 1953.

BOURCART, J. — «Géologie des îles Atlantides», *Contribution à l'étude du peuplement des îles Atlantides*, Société de Biogéographie. «Mémoires», n° VIII, pp. 9-40, Paris, 1946.

BRITO, R. S. DE — *A Ilha de São Miguel. Estudo geográfico*. Lisboa, Centro de Estudos Geográficos, 1955, 214 p.

BROCHU, M. — «Existence d'une zone périglaciaire dans la région sommitale du Pic (o Pico) dans l'île du Pic aux Açores», *Zeitschrift für Geomorphologie*, Band 13, Heft 1, pp. 115-118, Berlin, 1969.

BRUGES, J. D'ORNELLAS — *A Ilha Terceira. Notas sobre a sua agricultura, gados e indústrias anexas*. Lisboa. (Dissertação inaugural do Curso de Engenheiro Agrônomo), 1915, 108 p.

CASTELO BRANCO, A. DE; ZBYSZEWSKI, G.; ALMEIDA, F. M. DE e FERREIRA, O. DA V. — «Rapport de la première mission géologique sur le volcanisme de l'île de Faial», *Le Volcanisme de l'île de Faial*

et l'éruption du volcan de Capelinhos, Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal, n.º 4 (Nova Série), pp. 9-27, Lisboa, 1959.

Contribution à l'étude du peuplement des îles Atlantides, Paris, Société de Biogéographie. «Mémoires», n.º VIII, 1946, 500 p.

DERRUAU, M. — «Points de vue de géomorphologie climatique dans l'étude des reliefs volcaniques», Actes du colloque de géomorphologie volcanique, 7 Juin 1969, *Revue d'Auvergne*, n.º 4, tome 83, 1969.

DERRUAU, M.; KARCHE, J.-P. e MOTTET, G. — «Problèmes de morphologie volcanique à l'île de la Réunion», *Madagascar — Revue de Géographie*, n.º 17, pp. 7-35, Tananarive, 1970.

ESENWEIN, P. — «Zür Petrographie der Azoren», *Zeitschrift für Vulkanologie*, Band XII, Heft 2-3, pp. 108-227, Berlin, 1929.

FERREIRA, A. DE B. — *A Ilha Graciosa*. Lisboa, Centro de Estudos Geográficos, 1968, 290 p.

FORJAZ, V. H. and WESTON, F. S. — «Volcanic activity in the Azores. Report for 1959-1964», *Bulletin Volcanologique*, pp. 261-266, Napoli, 1967.

FOUQUÉ, F. — «Sur les gaz qui se dégagent en mer, du lieu de l'éruption qui s'est manifestée aux Açores de 1^{er} Juin 1867 (Ilha Terceira)», *Comptes-rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, pp. 674-675, Paris, 1867.

FRIEDLANDER, I. — «Die Azoren», *Zeitschrift für Vulkanologie*, Band XII, Heft 2-3, pp. 77-94, Berlin, 1929.

HARTUNG, G. — *Die Azoren in ihrer Äusseren Erscheinung und nach ihrer geognostischen Natur*. Leipzig, Wilhelm Engelmann, 1860, 350 p.

KREJCI-GRAF, K. — «Vulkanologische Beobachtungen auf den Azoren», *Frankfurter Geographische Hefte*, Heft 30, 30 p., Frankfurter am Main, 1956.

KREJCI-GRAF, K. — «Zur Geologie der Makaronesen. Die Caldeira von Graciosa, Azoren», *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, Band 113, Heft 1, pp. 85-95, Hannover, 1961.

LE PICHON, X. — «Etude géologique de la dorsale médio-atlantique», *Cahiers Océanographiques*, vol. 13, pp. 551-620 et 669-714, Paris, 1966.

MACHADO, F. — «Perda de calor em câmaras magmáticas dos Açores», *Açoreana*, vol. V, fasc. I, pp. 23-45, Angra do Heroísmo, 1953.

MACHADO, F. — «Fracture pattern of azorean volcanoes», *Bulletin Volcanologique*, série II, tome 17, pp. 119-125, Napoli, 1955.

MACHADO, F. — «Caldeiras vulcânicas dos Açores», *Atlântida*, vol. I, n.º 5, pp. 275-278, Angra do Heroísmo, 1957.

MACHADO, F. — *Actividade vulcânica da ilha do Faial (1957-58)*. Angra do Heroísmo, União Gráfica Angrense, 1959, 51 p. (sep. de *Atlântida*, vol. II, n.º 4 et 5, 1958, et vol. III, n.º 1 et 3, 1959).

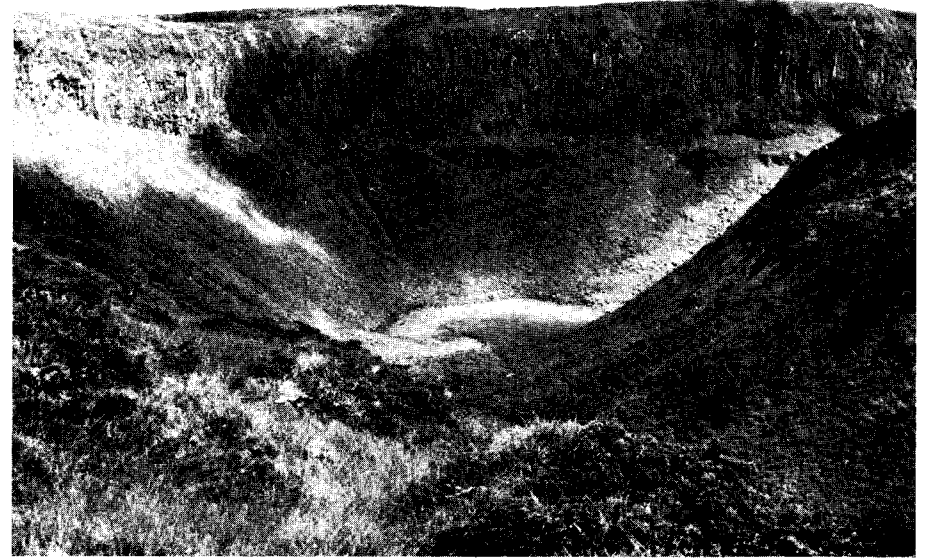
MACHADO, F. — «Submarine pits of the Azores plateau», *Bulletin Volcanologique*, série II, tome 21, pp. 109-116, Napoli, 1959.



PL. I, A — Vue générale du massif du Centre Nord de l'île, tirée de la région de Agualva. (Photo R. Soeiro de Brito).



PL. I, B — Vue générale, région de Angra do Heroísmo. (Photo R. Soeiro de Brito).



PL. II, A — Intérieur de la plus récente caldeira de Santa Bárbara. Escarpement d'effondrement avec orgues dans les andésites (980 m). A droite, au premier plan, front massif des coulées trachytiques remplissant la caldeira. Entre les deux, l'espace endoréique avec, au fond, la Lagoa Negra (830 m). (Photo G. Mottet).



PL. II, B — Coulée épaisse de trachytes clairs et visqueux des pentes SE de Santa Bárbara, constituant un promontoire qui avance d'une centaine de mètres dans la mer. Le ressaut visible au tiers inférieur est dû à l'accélération, au moment du franchissement de la falaise d'érosion marine élaborée dans le substratum andésitique. (Photo G. Mottet).



PL. III — Dômes-coulées trachytiques avec levées latérales du flanc nord de Santa Bárbara. Cf. fig. 5. (Photographie aérienne du Instituto Geográfico e Cadastral de Portugal).



PL. IV, A — Ilhéus das Cabras. Type de cône strombolien insulaire démantelé par l'érosion marine exploitant des fractures dues au volcano-tectonisme. (Photo G. Mottet).



PL. IV, B — Le Monte Brasil. (Photo O. Ribeiro).

- MACHADO, F. — «Erupções históricas do sistema vulcânico Faial-Pico-S. Jorge», *Atlântida*, vol. VI, n.º 2, pp. 84-91, Angra do Heroísmo, 1962.
- MACHADO, F. — «Earthquake intensity anomalies and magma chambers of azorean volcanoes», *Transactions American Geophysical Union*, vol. 35, pp. 833-837, Washington, 1964.
- MACHADO, F. e FORJAZ, V. H. — «Seismic swarm in the Azores, feb. 1964. (Preliminary report)», *Boletim da Sociedade Geológica de Portugal*, vol. XV, fasc. II, pp. 201-206, Lisboa, 1964.
- MEDEIROS, C. A. — *A Ilha do Corvo*. Lisboa, Centro de Estudos Geográficos, 1967, 252 p.
- RIBEIRO, O. e BRITO, R. S. DE — «Primeira notícia da erupção dos Capelinhos na ilha do Faial», *Naturalia*, vol. II, fasc. I-IV, pp. 192-224, 1957-1958.
- TAZIEFF, H. — «L'éruption de 1957-1958 et la tectonique de Faial (Açores)», *Le volcanisme de l'île de Faial et l'éruption du volcan de Capelinhos*, Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal, n.º 4 (Nova série), pp. 71-88, Lisboa, 1959.
- TEIXEIRA, C. — «Notas sobre a geologia das ilhas atlântidas», *Anais da Faculdade de Ciências do Porto*, tomo XXXIII, pp. 193-233, Porto, 1950.
- ZBYSZEWSKI, G. — «Étude géologique de l'île de S. Miguel (Açores)», *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, tomo XLV, pp. 5-79, Lisboa, 1961.
- ZBYSZEWSKI, G. e FERREIRA, O. DA V. — «Rapport de la deuxième mission géologique sur le volcanisme de l'île de Faial», *Le volcanisme de l'île de Faial et l'éruption du volcan de Capelinhos*, Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal, n.º 4 (Nova série), pp. 29-55, Lisboa, 1959.
- ZBYSZEWSKI, G. e FERREIRA, O. DA V. — «La faune marine des basses plages quaternaires de Praia et de Prainha dans l'île de Santa Maria (Açores)», *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, tomo XLV, pp. 467-478, Lisboa, 1961.
- ZBYSZEWSKI, G.; FERREIRA, O. DA V. e ASSUNÇÃO, C. T. DE — *Carta geológica de Portugal na escala 1:50 000. Notícia explicativa da folha de Santa Maria (Açores)*. Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal, 1961, 28 p.