

Académie de La Réunion

SEML Réunion Muséo - Maison du Volcan

Laboratoire des Sciences de la Terre et de l'Univers

Sciences Réunion

Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise

Itinéraire géologique :

LA ROUTE DU VOLCAN,

DECOUVERTE DE LA FOURNAISE ANCIENNE

Édition revue et augmentée

Texte et figures : Philippe MAIRINE
Lycée Pierre Poivre, Saint Joseph
LSTUR - Université de La Réunion

octobre 2006

Devenir un Spécialiste des Sciences de la Terre, spécialité Volcanologie, en suivant ses études sur l'île de La Réunion.

Grâce au soutien du Ministère de l'Education Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, et dans un but de valorisation d'un contexte géographique exceptionnel, l'Université de la Réunion s'affichera dès 2006 comme la première et la seule université française à proposer une formation complète en Sciences de la Terre (Licence, Master et Doctorat) à proximité d'un volcan actif: le Piton de la Fournaise, second volcan le plus actif au monde.

L'enseignement en Sciences de la Terre concernera les diverses approches des sciences de la Terre en Licence et Master avec, tout au long du parcours, une orientation et des applications plus particulièrement axées sur la Volcanologie. Pour ce qui est de la formation des étudiants à la géologie de terrain en contexte non volcanique, un stage de terrain à Madagascar est proposé aux étudiants de L3.

Contacts: laurent.michon@univ-reunion.fr ou anthony.finizola@univ-reunion.fr

www.univ-reunion.fr/lstur



AVANT PROPOS

Le Volcan, au même titre que le Récif corallien et la Forêt de bois de couleurs, font partie du patrimoine de la Réunion ; tous les élèves à l'issue de leur scolarité devraient avoir découvert, étudié et compris l'importance de ces milieux dans l'histoire de leur île.

Le travail de Philippe Mairine que j'ai l'honneur de préfacer va permettre à tous les enseignants, de l'école au lycée, de découvrir le Piton de la Fournaise.

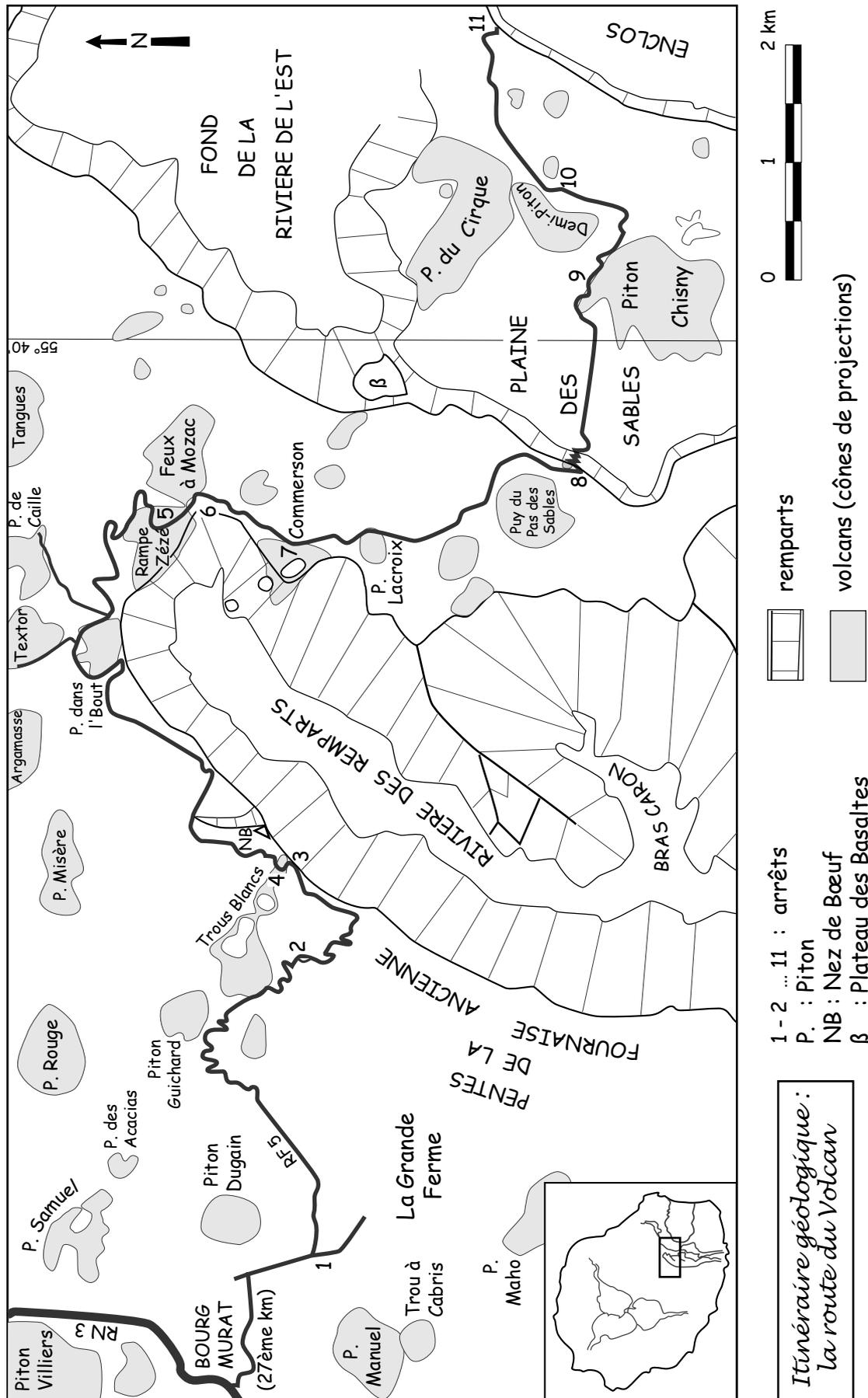
Ce volcan a une longue histoire ponctuée de multiples éruptions volcaniques, certaines effusives ont laissé sur l'édifice leurs coulées, d'autres explosives leurs cicatrices. Cet ouvrage va permettre de découvrir l'histoire complexe de ce volcan, graduellement au cours du cursus scolaire d'un élève et ainsi d'illustrer les manifestations de l'activité de la Terre à l'école, du volcanisme et de sa contribution à l'élaboration du concept de plaque au collège et de l'étude des points chauds au lycée.

L'enseignement des Sciences de la Terre privilégie la classe de terrain pour favoriser le questionnement, l'observation et l'intégration des connaissances à une échelle accessible à l'élève. Tout au long de la route du Volcan, l'élève va pouvoir observer différents objets géologiques qui vont susciter l'émergence de problèmes. La recherche explicative est ainsi à l'honneur : comprendre l'origine d'un phénomène, établir la relation causale entre deux faits naturels, toujours complexes, approfondir la connaissance des mécanismes en partie connus sur les mouvements de la matière... et pas seulement décrire et restituer.

Aussi, la production proposée ne manquera pas d'appeler des réflexions multiples sur la part, dans la démarche, de l'analyse des faits, de l'authenticité du problème posé par rapport aux connaissances acquises par les élèves, ou encore du nombre volontairement limité des hypothèses explicatives. Ces réflexions restent essentielles et l'on sait que l'horaire et les conditions de cet enseignement les modulent.

La science qui se dit dans les médias, celle qui se fait dans les laboratoires et celle que l'on enseigne, ne peuvent pas être dissociées. La présente brochure est un bel exemple de ce point de rencontre indispensable entre les professionnels de la recherche et les spécialistes de la pédagogie.

Philippe TERCE
Inspecteur Pédagogique Régional - Inspecteur d'Académie
des Sciences de la Vie et de la Terre.



LA ROUTE DU VOLCAN : SOMMAIRE

ARRET 1 : Vue sur la Fournaise ancienne Le flanc occidental de la Fournaise ancienne, qq pitons, la Grande Ferme	p7
ARRET 2 : Altération des laves de la Fournaise ancienne - L'érosion en boules	p8
ARRET 3 : Point de vue sur la Rivière des Remparts	p10
a - La vallée de la Rivière des Remparts n'est pas cohérente avec la pente de la Fournaise ancienne : l'accident de la Rivière des Remparts	
b - Le creusement de la Rivière des Remparts : l'érosion depuis 65 ka (facteurs favorisant l'érosion, les lahars)	
c - La Rivière des Remparts est isolée du centre volcanique principal (l'accident de la Plaine des Sables)	
d - La Rivière des Remparts ancienne	
e - La Rivière des Remparts a dégagé des structures de la Fournaise ancienne	
ARRET 4 : Vue sur le massif du Piton des Neiges	p20
1 - Le Massif du Piton des Neiges	
2 - La Plaine des Cafres	
ARRET 5 : Les projections volcaniques	p23
ARRET 6 : Vue sur le remplissage du Nez de Bœuf L'ancien relief, le remplissage, datations, problèmes géologiques	p26
ARRET 7 : Le cratère Commerson Déroulement de l'éruption, les formes pahoehoe	p29
ARRET 8 : Vue sur la Plaine des Sables Le paysage	p34
ARRET 9 : Le PK 20 La «caldéra» des Sables, l'éruption du Chisny, laves et cumulats, le centre volcanique ancien	p37
ARRET 10 : La petite carrière Les cendres de Bellecombe	p42
ARRET 11 : Le Pas de Bellecombe Le Volcan actuel, les rift-zones, origine et formation de l'Enclos, les éruptions paroxysmales	p46
ANNEXES	p52

INTRODUCTION

Voir et comprendre l'histoire de la Fournaise

La Route du Volcan est un lieu de passage de plus en plus fréquenté par des personnes curieuses de connaître l'île de La Réunion, sa nature, son histoire... Enseignants, élèves, étudiants, pique-niqueurs et touristes, après avoir admiré des paysages, des collines des gouffres bizarres ou, plus simplement, un caillou, se posent parfois des questions sur les phénomènes volcaniques, l'érosion ou les risques géologiques de ce secteur.

Le travail présenté dans ce fascicule a pour but de répondre à quelques-unes de ces interrogations en décrivant d'abord puis en essayant d'expliquer les phénomènes géologiques ou géographiques qui ont modelé le relief de cette région.

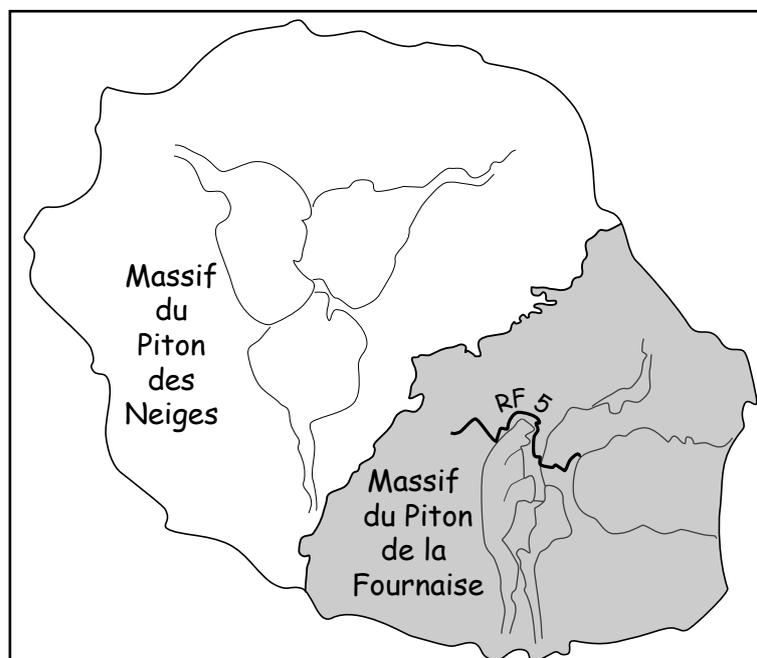
Parfois l'explication est simple mais fréquemment il faut entrer dans le domaine des hypothèses (toujours liées aux observations de terrain) ; de nouvelles découvertes peuvent cependant les remettre en question, la science avance vite !

Ce livret comprend deux parties : la première décrit et explique les paysages et les affleurements visibles à partir de la Route du Volcan (11 arrêts sont proposés, depuis le Piton Dugain jusqu'au Pas de Bellecombe) ; la seconde présente aux enseignants une exploitation possible de cet itinéraire à différents niveaux et se termine par un lexique, une bibliographie et une publication de P. BACHELERY.

Cet ouvrage, écrit dans le cadre de mon travail à l'Education Nationale, est réédité par la SEML Réunion Muséo - Maison du Volcan, avec l'aide, notamment, de Sciences Réunion et de l'Université, acteur de la recherche scientifique dans notre île.

D'autre part, cette publication n'aurait pas été possible sans des liens étroits avec l'Observatoire Volcanologique et le Laboratoire des Sciences de la Terre où les théories sont passées à la « moulinette » de la critique et où l'accès aux dernières données est possible. Le présent du Volcan éclaire le passé et réciproquement.

Il faut noter aussi les longues heures de relecture et de reformulation effectuées par Jean Luc CHEVERRY (lycée Pierre Poivre) et par Clairette mon épouse.



ARRÊT 1 : Vue sur la Fournaise ancienne

Il est facile de se garer à la croisée des routes du Volcan (RF 5) et de la Grande Ferme.

Ce point de vue, situé dans l'ensellement entre le Massif du Piton des Neiges et celui de la Fournaise permet un premier contact avec les grands ensembles volcaniques de notre île.

Autour de l'arrêt 1, le relief est plus jeune ; il est relativement plat avec, de part en part, des collines isolées : ce sont des volcans excentriques (voir arrêt 4).

Le plus proche, le Piton Dugain est entré en éruption il y a une dizaine de milliers d'années (âge estimé). Cette éruption a été assez violente car le

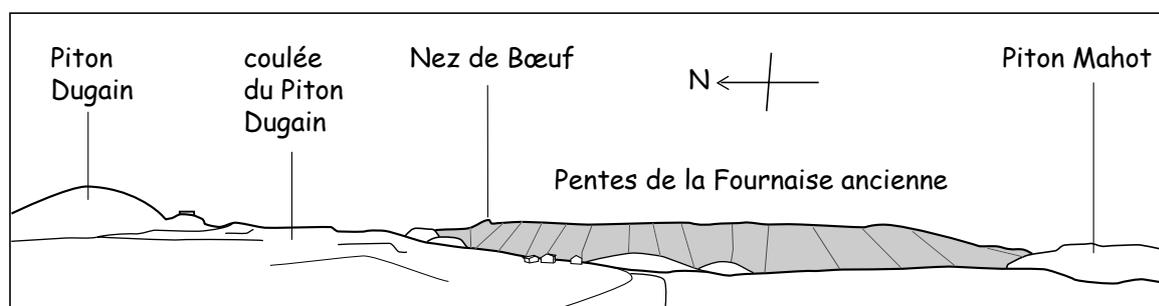


Figure 1a : Vue de l'arrêt 1

A l'ouest domine le Piton des Neiges, entaillé profondément par des cirques et des bassins ; nous l'étudierons à l'arrêt 4.

Du côté opposé, à l'est, s'étalent les flancs de la Fournaise ancienne (fig 1a), ils sont pentés vers l'observateur, c'est-à-dire vers l'ouest.

Les dernières laves ayant construit ces pentes ont un âge d'environ 300 000 ans (= 300 kilo-années = 300 ka). Depuis cette période, cette région est isolée du centre principal d'activité (voir arrêt 3), les laves superficielles ont subi une altération hydrochimique poussée (étudiée à l'arrêt 2) et ont été érodées par le ruissellement. Le relief résultant est «évolué», avec de nombreuses vallées et des crêtes arrondies. Actuellement il est recouvert de prairies, de forêts d'«acacias» ou de cryptomérias ; on y trouve aussi quelques lambeaux de forêt primitive dégradée.

volume des projections constituant le cône est important et parce qu'on trouve de nombreuses bombes denses, pluridécimétriques, sur son pourtour. Ses coulées, moins fluides que les coulées basaltiques classiques, ont donné ce relief un peu cahotique observable au nord de la route.

Au sud, d'autres volcans excentriques, les pitons Maho, Manuel et le Trou à Cabris (et leurs coulées) ont construit une barrière naturelle arrêtant dans leur descente vers Saint Pierre les laves des pitons plus récents (Dugain, Trous Blancs...). Il s'en est suivi un remplissage du secteur de la Grande Ferme, en amont du barrage et un lissage du relief préexistant (**rajeunissement du relief**) ; des alluvions amenées par des torrents (Ravine Blanche...) ont aussi contribué au comblement.

ARRET 2 : Altération des laves de la Fournaise ancienne

S'arrêter au niveau de la tranchée creusée au PK 4,4 pour rectifier la route forestière n° 5 (altitude 1925 m). Observer sur les flancs de l'excavation une superposition de blocs arrondis de basalte altéré (photo 2a). Ces blocs résultent d'un phénomène d'érosion chimique commune aux laves anciennes et aux granites : **l'érosion «en boules»**. La lave étudiée ici est un basalte aphyrique vieux d'environ 300 ka.

Lors de la solidification, les «fentes de retrait» (cassures plus ou moins planes et verticales) et les limites entre les unités d'écoulement (zones de faiblesse plutôt horizontales) ont morcelé la coulée en blocs grossièrement parallélépipédiques.

Sur cet affleurement, les cassures (= diaclases) se présentent sous l'aspect de fentes quand elles recoupent un flanc de la tranchée et sous forme de plans bosselés quand elles sont parallèles.

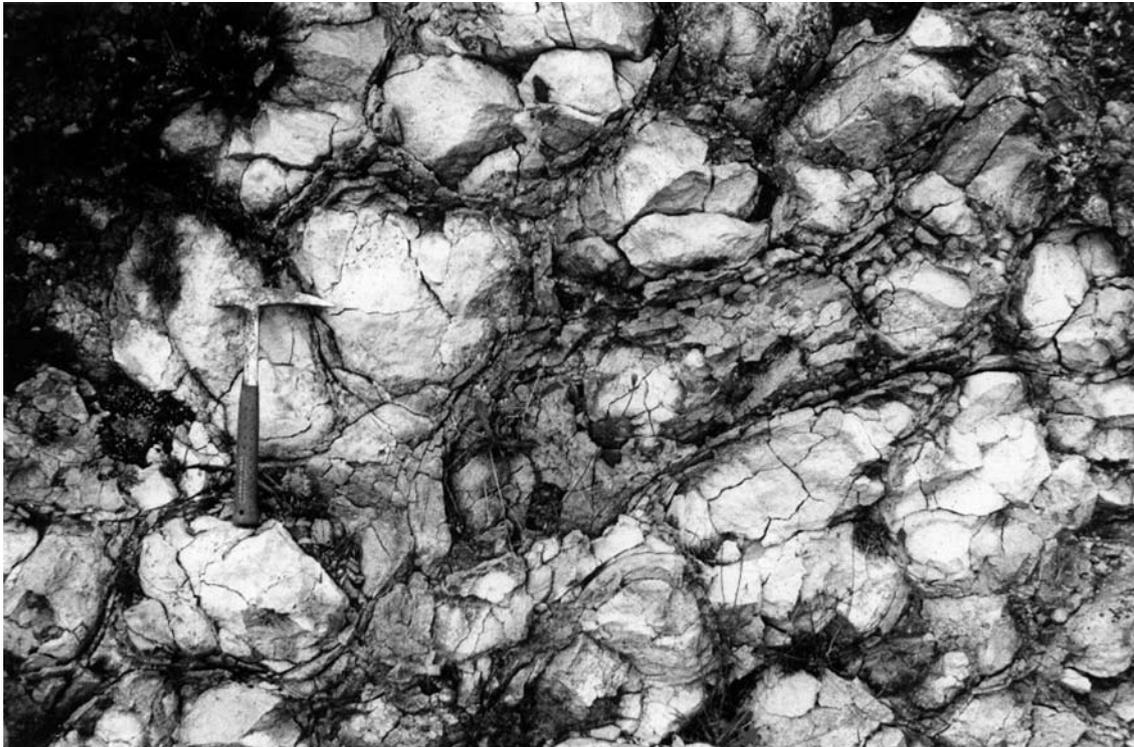


Photo 2a : Altération en boules (marteau : 30 cm)

Quand cette lave s'est mise en place, elle a formé une couche massive, dans laquelle des figures d'écoulement sont encore visibles.

Ces figures résultent du fait qu'une coulée avance comme un fluide, constitué d'«unités» se déplaçant à des vitesses légèrement différentes les unes des autres. L'intérieur de la coulée est alors constituée d'une superposition de sous-couches, séparées parfois par des accumulations de petites bulles.

L'eau infiltrée (il tombe 2,5 m d'eau par an dans ce secteur) suit tous ces plans et mouille la roche pendant de longues périodes. Lentement, des processus hydrochimiques altèrent la lave au contact de l'eau et la «pourrissent».

Les intersections des diaclases (sommets et arêtes des parallélépipèdes) sont les zones les plus touchées, les coins s'arrondissent.

L'altération se poursuit vers le centre des blocs et donne des écailles (= «pelures d'oignon») qui délimitent des «boules» (photo 2b) ; à l'arrêt 2, ces boules sont petites et altérées jusqu'au cœur.

Pour en arriver là, il a fallu 300 ka.



Photo 2b : Altération en boules, détail

Le stade final de l'altération hydrochimique est l'argilisation complète de la coulée.

Du point de vue chimique, l'altération des basaltes se caractérise surtout par un départ des «bases» (MgO , CaO , Na_2O , K_2O) et une désilification importante (la teneur en silice passe de 48 à 10 %) ; la roche s'enrichit relativement en oxydes de fer, d'aluminium et de titane.

A 2 000 m d'altitude, la température est assez basse et l'altération sera lente. Dans les Bas, pour des mêmes conditions de pluviométrie et de durée, les coulées seront argilisées sur une dizaine de mètres d'épaisseur.

Plus loin sur la route du Volcan, en particulier entre les PK 5 et 6, des accumulations de blocs arrondis sont visibles dans les prairies, ce sont des boules dégagées par le ruissellement ou l'épierrage ; plus loin encore, jusqu'au pied du Nez de Bœuf, les laves anciennes altérées affleurent dans les talus de la RF 5. Les boules, de taille réduite au PK 4,4, peuvent atteindre 1 mètre ailleurs.

Ce qu'il faut retenir de l'arrêt 2 :

Les laves s'altèrent ; elles réagissent avec l'eau qui les imprègne et se transforment en «basalte pourri» puis en terre (argile).

Pour cela il faut des dizaines de milliers d'années et tout peut être érodé en peu de temps après destruction de la végétation par l'Homme.

ARRET 3 : Point de vue aménagé sur la Rivière des Remparts

L'histoire géologique de ce secteur est très complexe. L'acquisition de nouvelles données de terrain ou de laboratoire remet parfois en question des croyances qui paraissent bien établies ; aussi décrivons-nous ce qui est observable et indiscutable, ensuite nous en tirerons quelques conséquences géologiques.

a - La vallée de la Rivière des Remparts n'est pas cohérente avec la pente de la Fournaise ancienne

Nous avons vu à l'arrêt 1 que le flanc occidental de la Fournaise ancienne est penté vers l'ouest ou le sud-ouest, c'est-à-dire selon une direction rayonnante par rapport au centre volcanique principal de l'époque (voir paragraphe 3e). Or la Rivière des Remparts est séquentée par rapport aux lignes de plus grande pente, elle est SSW à l'amont et sud ensuite, cela implique une origine tectonique pour la vallée (fig 3b).

En effet, seule une érosion guidée par une falaise préexistante peut conduire à une telle morphologie. Nous proposons de nommer cette structure guide «**accident de la Rivière des Remparts**». Il a abaissé le compartiment oriental par un jeu de failles normales, concentriques par

rapport à la Fournaise ancienne (fig 3 g) ; le compartiment ouest (ND de la Paix, Nez de Bœuf) n'a pas bougé. Nous étudierons un autre accident du même type à l'arrêt 9 et nous tenterons alors d'en déterminer les causes.

Les dernières laves recoupées par ces failles sont datées à 290 (\pm 9) ka, ce qui implique un âge un peu inférieur pour l'accident.

Remarque : Nous utilisons ici le mot «accident», terme très général, plutôt que celui de «caldéra» (effondrement vertical fermé, de diamètre supérieur au km). Les études actuelles (JG MOORE, JF. LENAT, Ph. LABAZUY...) montrent la très grande importance des glissements de flancs dans l'histoire des îles volcaniques. Il est fort probable que le phénomène «accident de la Rivière des Remparts» associe plusieurs effondrements caldériques et quelques glissements de flancs (voir arrêt 9 et 10).

Les limites exactes de l'accident ne sont pas définies avec précision car la cartographie géologique est difficile du fait de l'important couvert végétal et de la complexité géologique de la région. Trois zones de contacts anormaux ont été mises en évidence à l'amont du Nez de Bœuf,

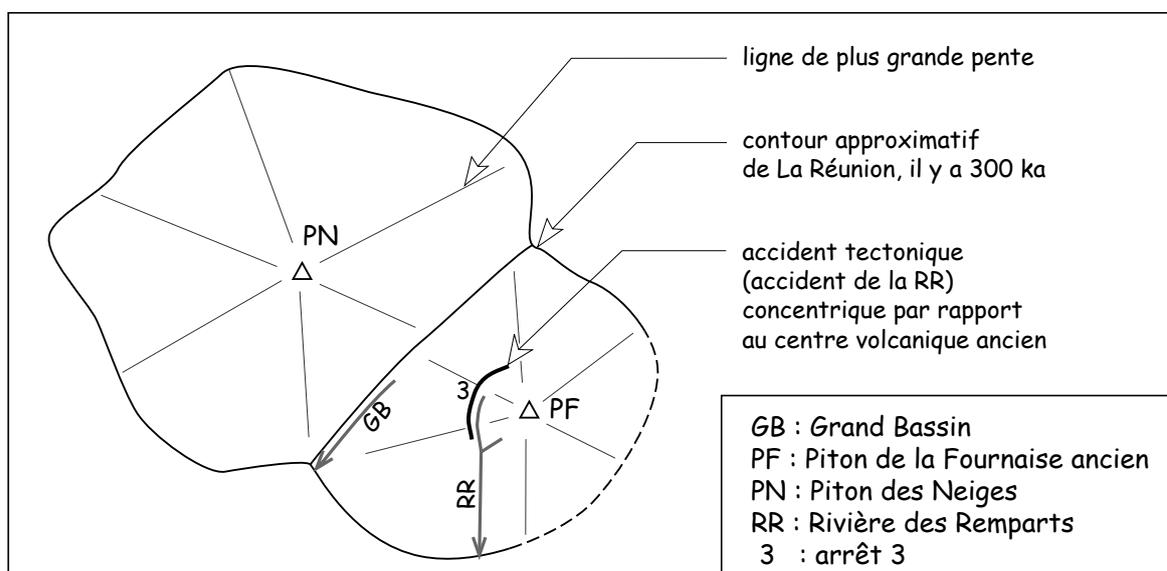


Figure 3b : La Rivière des Remparts a été guidée par une structure tectonique

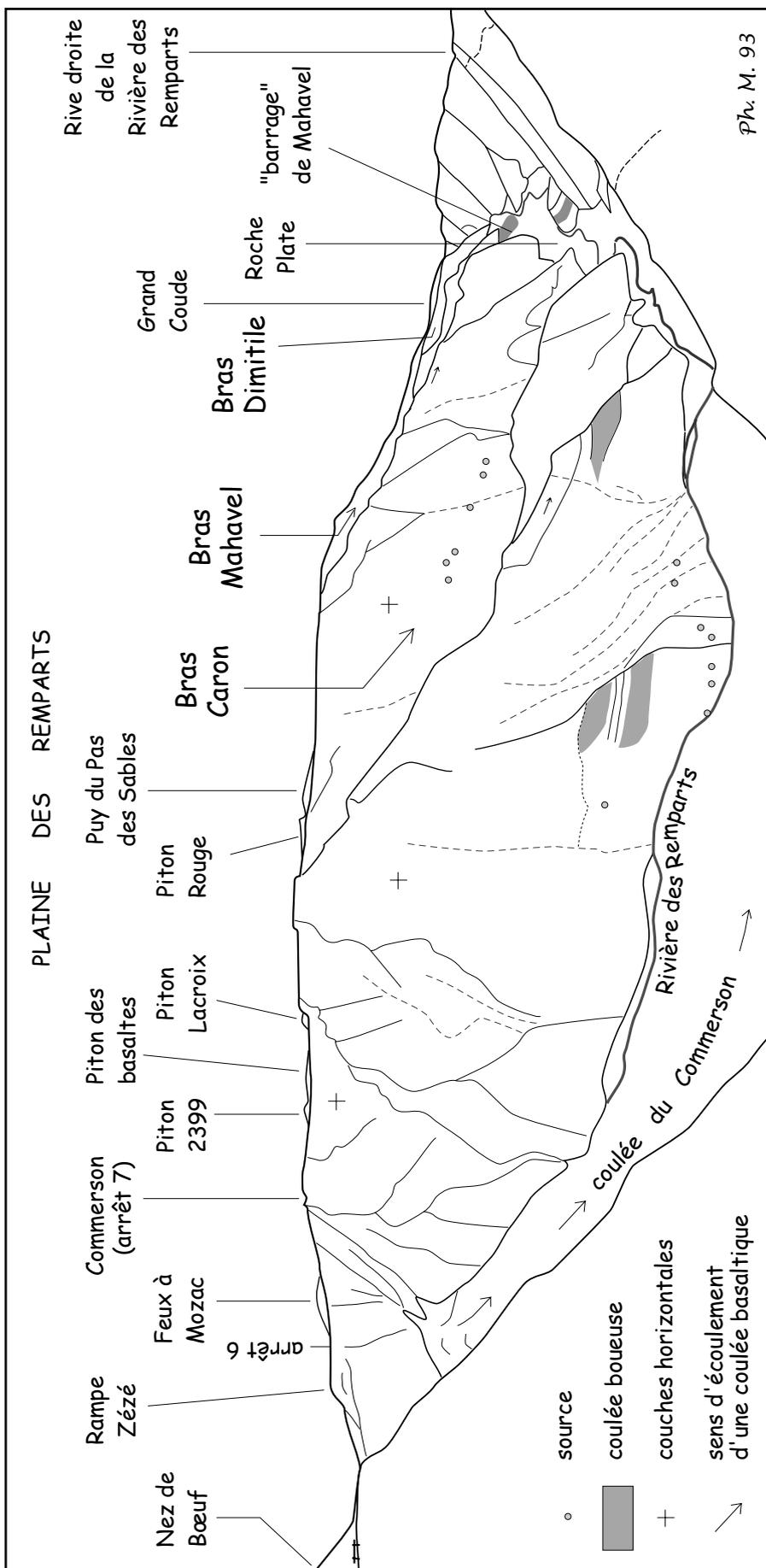


Figure 3a; Vue de l'arrêt 3, croquis d'observation

en pied de paroi - à l'embouchure du Bras Mahavel, en rive gauche - au niveau de Cap Blanc, dans la Rivière Langevin. Ces trois zones permettent de proposer un tracé de la limite ouest présenté dans la figure 3f.

Ailleurs, aucun élément ne permet de poursuivre le tracé.

b - Le creusement de la Rivière des Remparts

• L'érosion, produite avant tout par les pluies (3 à 4 m / an), est favorisée par :

- le relief élevé et les fortes pentes de La Réunion (8° en moyenne) ; les torrents faisant suite aux fortes précipitations ont un pouvoir érosif important ;

- la faible cohésion des matériaux volcaniques ; l'accumulation des coulées aa et pahoehoe se présente comme une succession de couches assez massives mais diaclasées et de couches de gratons

- et, comme nous l'avons indiqué en a, une direction d'écoulement guidée par des

accidents géologiques qui canalisent l'eau vers les falaises d'origine tectonique.

Ces accidents ont fragilisé les roches, les rendant ainsi plus vulnérables à l'érosion : les plans de failles ont aujourd'hui complètement disparu. Des remparts de plusieurs centaines de mètres de hauteur, grossièrement parallèles aux failles érodées, résultent de ces phénomènes.

• Ces remparts, recoupant des matériaux volcaniques peu cohérents, sont instables. Ils peuvent s'effondrer brutalement, les débris descendent alors la vallée sur plusieurs kilomètres en donnant des «coulées boueuses». Le mot indonésien «*lahar*» définit le phénomène et les formations qui en résultent.

La «coulée boueuse» du 6 mai 1965 dans le Bras Mahavel en fournit un bon exemple. Ce lahar, visible de l'arrêt 3 en aval du hameau de Roche Plate (fig 3a), se présente sous forme de bad-lands gris.

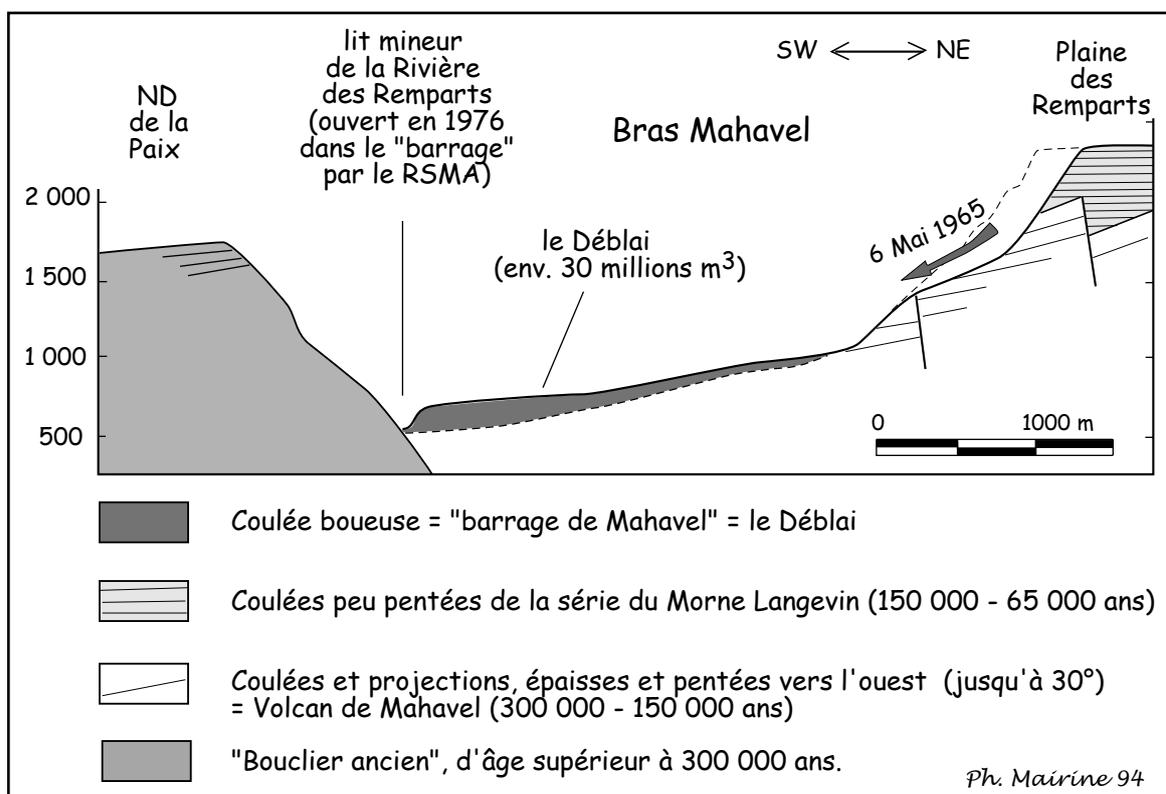


Fig 3c : Eroulement de Mahavel : origine et état actuel

Il a pour origine l'écroulement de la paroi du fond du Bras Mahavel ; les roches en mouvement sont venues buter contre la rive droite de la Rivière des Remparts, cinq kilomètres en aval. Le volume du «Déblai» (= «barrage de Mahavel») est estimé à 30.106 m³ (fig 3c).

Sa surface, mélange de graviers, galets et blocs, est assez régulière, elle est pentée vers l'aval. Des ravinements permettent de l'observer en coupe : les blocs ont une dimension maximale de huit mètres et les éléments fins (sable, silt surtout) sont de couleur gris-mauve.

Le remaniement rapide du lahar par les crues fait qu'en aval du Bras Mahavel, le fond de la Rivière des Remparts est nappé d'alluvions non végétalisées ; ces roches sont arrivées à Saint Joseph pendant le cyclone Firinga (1989).

Dans cette vallée, les écroulements en masse sont favorisés en rive gauche par les pentes naturelles des coulées et des projections vers l'ouest (fig 3c).

De nombreux lahars se sont mis en place dans ce secteur ; on peut les observer dans les vallées affluentes de la Rivière des Remparts et à l'embouchure de la Rivière Langevin. Ils se marquent aussi par la forme convexe du «cassé» de la falaise à l'endroit de l'arrachement.

Le dernier en date s'est produit en février 1996 dans le Bras Mahavel.

c - La Rivière des Remparts est isolée du centre volcanique principal

- Le fait que l'érosion creuse la Rivière des Remparts ne signifie pas que tout le Massif de la Fournaise soit inactif, mais que le secteur SW est protégé de l'envahissement des coulées provenant du centre principal d'activité. Cela a permis à l'érosion d'être l'agent principal de modelage du relief.

- L'isolement de la région est postérieur à la mise en place des coulées qui ont construit Grand Coude (à l'est de l'accident de la Rivière des Remparts) ; la plus récente de ces coulées s'est épanchée il y a 65 (± 6) ka.

Il résulte probablement du premier **effondrement de la Plaine des Sables** (voir arrêt 8). Cet accident a marqué la fin de la construction de la planèze de Grand Coude - Jean Petit et le début du creusement de la Rivière des Remparts actuelle, en séparant le secteur sud-ouest du Massif de la Fournaise du centre principal d'activité.

- Depuis cette période, de rares coulées ont suivi le lit de cette rivière ; la dernière, âgée d'environ 1 900 ans, est bien visible du point de vue, elle provient du Commerson (voir fig 3a et arrêt 6). Le magma, assez fluide s'est étalé tout le long de la vallée, d'une rive à l'autre en donnant une surface pahoehoe peu accidentée. En aval du Bras Mahavel, la coulée est recouverte par le lahar de 1965 ou des alluvions.

Les trous circulaires visibles au fond de la vallée, correspondent à des effondrements du plafond de tunnels de lave, nombreux depuis la tête de coulée jusqu'à Saint-Joseph. Leur diamètre horizontal peut atteindre 20 m.

Depuis 1 900 ans, la Rivière des Remparts creuse un lit mineur où elle ne coule qu'en période de fortes pluies.

d - La Rivière des Remparts ancienne

- La cartographie géologique des falaises de la Rivière des Remparts a permis la découverte de grands lahars ennoyant le fond d'une ancienne vallée.

Ces lahars sont visibles de l'arrêt 3 à partir de 10 h, quand le soleil éclaire la rive gauche, sous la source de la Vierge et dans la cloison nord du Bras Caron (voir fig 3a).

Ils se présentent à l'affleurement sous forme de couches épaisses, massives, de couleur brune atteignant souvent 100 m de puissance avec parfois, interstratifiées, des coulées de vallée bien diaclasées. Ils recouvrent toujours en discordance des roches d'âge supérieur à 460 ka et moulent des surfaces d'érosion profonde.

Les lahars anciens sont semblables à ceux (actuels) des trois cirques du Piton des Neiges et des grandes rivières de la Fournaise. Le principe de l'actualisme :

«les lois qui régissent les phénomènes géologiques actuels sont également valables dans le passé»

permet d'affirmer qu'ils résultent, comme aujourd'hui, de la déstabilisation brutale de falaises abruptes, taillées par l'érosion

torrentielle tropicale. Ils se sont mis en place par venues successives dans une vallée profonde. Une des coulées interstratifiées entre deux lahars anciens est datée à 220 (± 4) ka.

Il y a 220 ka, la vallée avait donc atteint une grande profondeur (inférieure cependant à l'actuelle), avec des berges élevées et instables ; cela implique un âge nettement supérieur pour le début du creusement, certainement proche de 280 ka.

En reportant sur une carte les emplacements des lahars anciens, il est possible de retracer les limites du fond de cette paléovallée dans laquelle se sont accumulés les produits d'érosion. Si notre reconstitution est correcte (fig 3e), cette vallée était plus vaste et moins profonde que l'actuelle Rivière des Remparts.

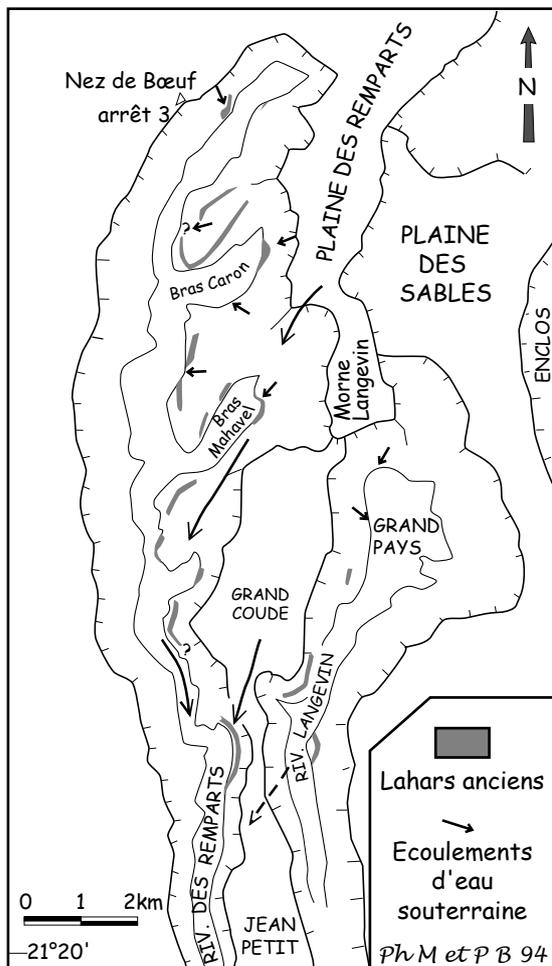


Figure 3d : Les lahars anciens, guides de l'écoulement souterrain

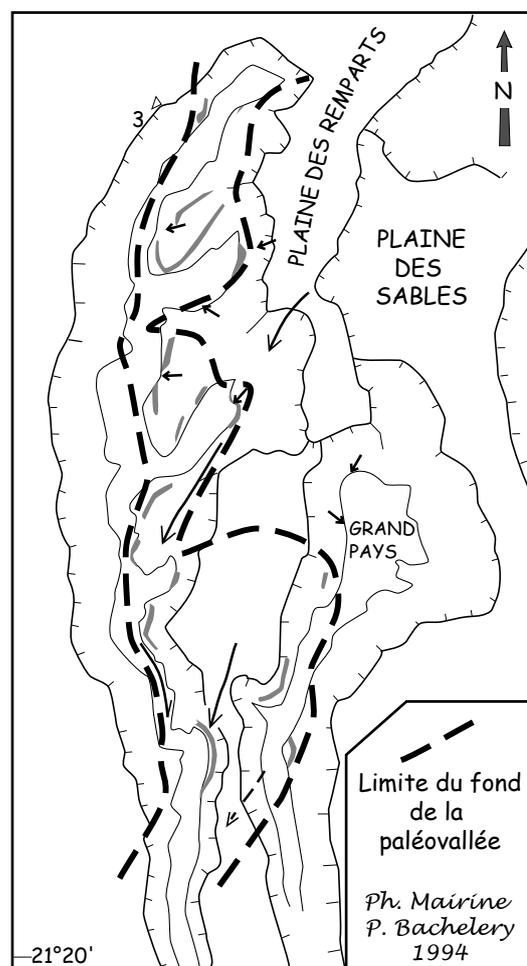


Figure 3e : Limites de la paléo-Rivière des Remparts

Les formations de démantèlement (lahars, éboulis, alluvions) de l'ancienne vallée sont surmontées par des coulées venues de la Plaine des Remparts, elles ont comblé partiellement la paléovallée. Elles sont très pentées au niveau des anciennes limites orientales de la rivière et faiblement inclinées quand elles ont atteint le fond de la vallée.

De l'arrêt 3, on peut les observer au-dessus des lahars anciens (sources de la Vierge, cloison nord du Bras Caron et dans la rive droite du Bras Mahavel, photo 3c).

L'Ilet Liot (au dessus de Roche Plate), les pentes du Morne Langevin et la planèze Grand Coude-Jean Petit sont des témoins du niveau atteint par ce remplissage, ils n'ont pas été érodés par la rivière actuelle.

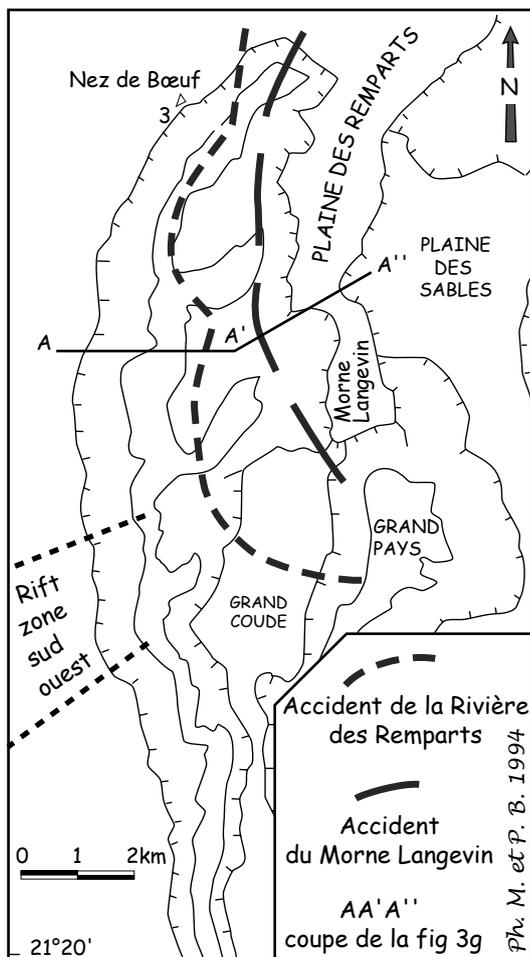


Figure 3f: Limites occidentales possibles des accidents de la Riv. des Remparts et du Morne Langevin

Une des premières coulées surmontant les coulées boueuses anciennes a été datée à 105 ka et nous avons déjà noté que la dernière s'est mise en place il y a 65 ka.

La Rivière des Remparts ancienne s'est donc creusée pendant environ 185 ka, de 290 ka (âge supposé de l'accident de la Rivière des Remparts) jusqu'à 105 ka. Par comparaison avec ce qui se passe actuellement, nous pouvons dire que ce secteur a été isolé de la zone principale d'activité pendant toute cette période. Cela peut être expliqué par l'existence d'une série d'accidents tectoniques (de type Plaine des Sables) qui ont limité l'extension des produits volcaniques vers l'ouest.

Le nombre, les limites et l'âge de ces événements ne seront probablement jamais connus avec précision, il est seulement possible d'affirmer que la plupart des limites occidentales des effondrements qui ont modifié la physionomie du Piton de la Fournaise entre 290 et 105 ka sont situées à l'ouest du Morne Langevin ; en effet, ce haut plateau montre sur son flanc sud un empilement régulier, sur plus de 1 100 mètres, de coulées de lave tabulaires qui n'ont pu s'accumuler qu'à l'intérieur de caldéras successives.

Un de ces effondrements a eu des conséquences importantes car il est associé au déplacement du centre volcanique principal vers son emplacement actuel ; il s'agit de «l'accident du Morne Langevin» qui a eu lieu il y a 150 ka environ, nous en reparlerons à l'arrêt 9.

Pour expliquer la reprise de la construction dans ce secteur, entre 105 et 65 ka, nous proposons deux hypothèses non exclusives :

1 - les caldéras se sont remplies et les laves ont débordé dans la Rivière des Remparts pendant 40 ka car aucune barrière ne séparait le centre volcanique principal de la paléovallée ;

2 - de nombreuses éruptions excentriques se produisent dans les zones nord et est de la rivière (rift-zone N 100 ?) et les coulées, guidées par la pente envahissent cette région.

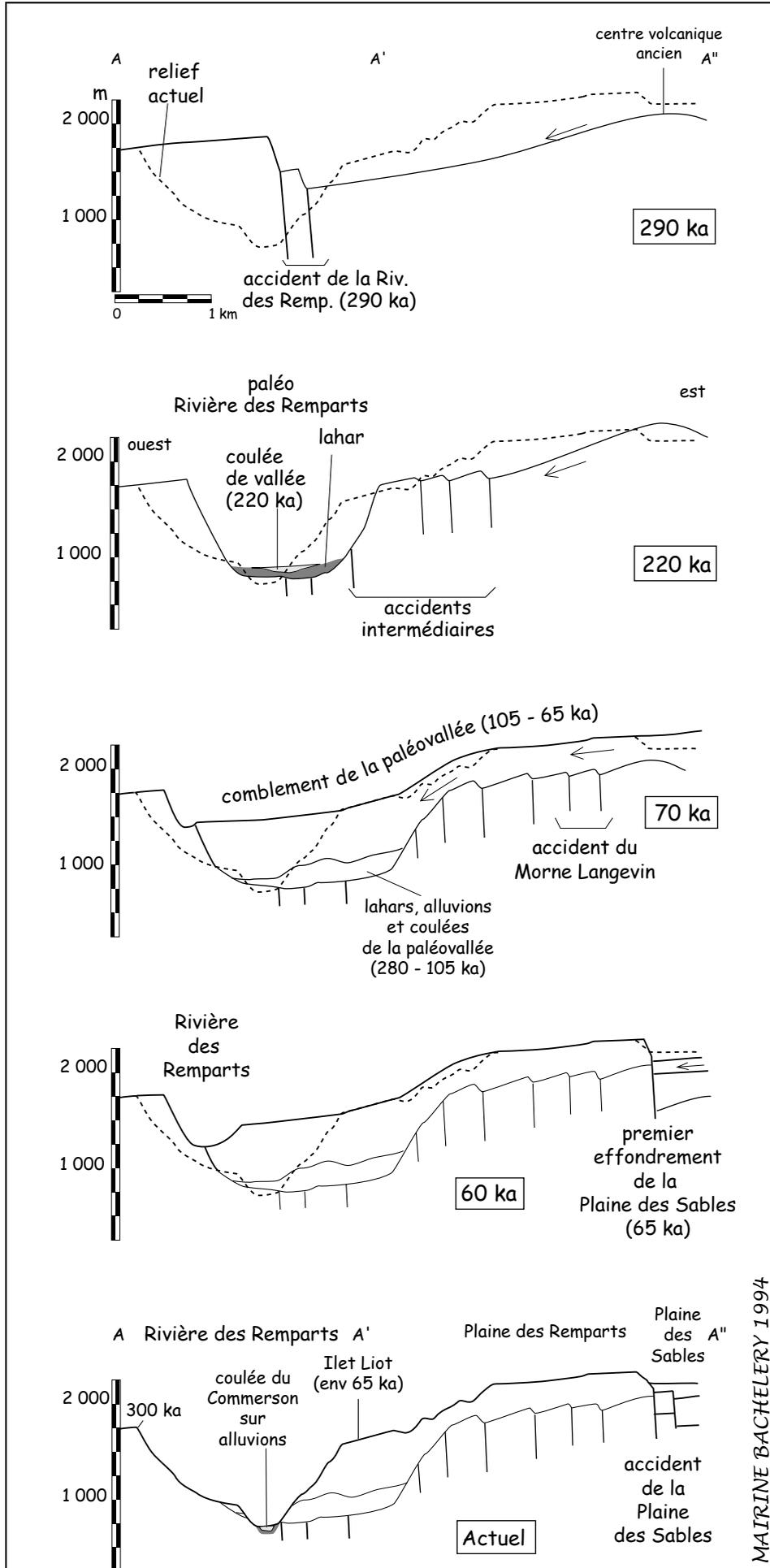


Fig 3g : Série de coupes géologiques montrant l'évolution possible du secteur sud-ouest du Massif de la Fournaise depuis 290 ka (voir situation de la coupe A - A' - A'' sur la figure 3f)

Figure 3g : Série de coupes géologiques montrant l'évolution possible du secteur sud-ouest du Massif de la Fournaise depuis 290 ka.

Cette figure résume ce que nous connaissons en 1998 sur l'évolution de la Rivière des Remparts depuis 400 ka.

- De 400 à 290 ka, les pentes de Notre Dame de la Paix, de la Plaine des Cafres et Saint Joseph sont en continuité avec le centre volcanique. De nombreuses cheminées (voir fig 9e) alimentent les éruptions de cette région.

- Il y a **290 ka**, un accident tectonique majeur isole la partie ouest du massif des zones volcaniques actives : l'accident de la Rivière des Remparts (qui donnera sa forme à la partie amont de la rivière), les éruptions dans le secteur sud-ouest du Massif de la Fournaise cessent.

Les coulées, issues de la Fournaise ancienne, buttent contre la barrière.

- D'autres accidents, situés à l'est du premier, maintiennent séparés le Volcan et les zones de calme éruptif. Une rivière s'installe, guidée par la limite tectonique initiale, elle creuse le «Cirque des Remparts» entre 280 ka et 105 ka.

Il y a **200 ka**, un écroulement de falaise (un lahar) barre la vallée à l'emplacement de Roche Plate.

- Entre 105 et 65 ka, des coulées envahissent la vallée et la comblent jusqu'à la hauteur de Grand Coude. La barrière entre la Fournaise (située à l'emplacement actuel) et le Cirque des Remparts a disparu et rien n'empêche les laves d'avancer vers le sud-ouest.

Il y a **70 ka**, la Rivière des Remparts, repoussée contre son flanc ouest était dissymétrique.

- Le premier effondrement de la Plaine des Sables, âgé d'environ 65 ka, bloque une nouvelle fois les laves dans leur progression vers l'ouest.

- Depuis cette époque, de rares coulées nappent cette région et l'érosion modèle seule le relief : les Rivières des Remparts et Langevin se creusent jusqu'à leurs formes actuelles.

Un parallèle peut être fait entre la Rivière des Remparts ancienne comblée et la Plaine des Palmistes actuelle, envahie par les laves des pitons excentriques qui la surmontent au sud et à l'est. Quelques ravines, peu profondes drainent le ruissellement du secteur : ce relief est très jeune ; le risque volcanique n'y est pas nul.

e - La Rivière des Remparts a dégagé des structures de la Fournaise ancienne

- L'étude des falaises de la Rivière des Remparts a permis aussi de reconnaître les laves et les structures d'alimentation du secteur ouest de la Fournaise ancienne.

Les plus vieilles laves connues dans ce secteur sont les basaltes de la période des «roches pintades», ils sont souvent riches en mégacristaux de plagioclase et on n'y rencontre jamais d'océanite. Des échantillons ont été datés à 530 (± 18) ka ; ces laves n'ont donc pas le même âge que

les «pintades» du Piton des Neiges (350 - 100 ka), elles sont «fournaisiennes».

Il est probable que ces laves aient été produites par le « Volcan des Alizés », centré sur le Grand Brûlé actuel. Cet édifice serait âgé de plus d'un Ma et aurait cessé son activité il y a 450 ka environ ; de grands glissements de flancs l'ont réduit à peu de choses.

Les roches pintades sont surmontées par des basaltes à olivine semblables à ceux émis actuellement.

Tous les dykes basaltiques (= intrusions volcaniques, voir lexique) mesurés dans la Rivière des Remparts convergent vers le centre volcanique actif entre 450 et 150 ka, responsable de la construction du «Bouclier Ancien». Il était situé à l'emplacement de la Plaine des Sables (voir fig 9e). Ce centre s'est déplacé vers son emplacement actuel 150 ka avant notre époque et bâtit depuis le «Bouclier Récent».

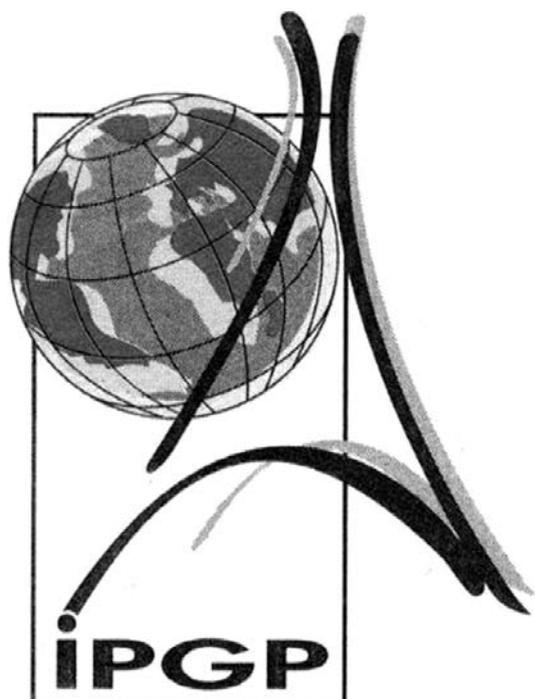
Ce qu'il faut retenir de l'arrêt 3 :

Le creusement de la Rivière des Remparts a été guidé par une falaise, «l'accident de la Rivière des Remparts», qui a abaissé la future rive gauche par rapport à la droite.

Les remparts d'érosion qui limitent son lit et ceux de ses affluents sont instables et s'écroulent de temps en temps en donnant des «coulées boueuses» de plusieurs millions de m³. Celle du 6 mai 1965 a descendu tout le Bras Mahavel et barré la vallée principale.

Une Rivière des Remparts ancienne a été découverte grâce à la cartographie géologique. Des coulées boueuses s'y sont mises en place : elle devait être aussi importante que l'actuelle. Elle s'est creusée entre 290 et 110 ka environ ; ensuite elle a été comblée par des coulées jusqu'au niveau de Grand Coude, entre 110 et 65 ka, quand aucune barrière ne la séparait du Volcan.

Depuis cette dernière date, la rivière creuse son lit actuel ; peu de coulées l'envahissent car la falaise de la Plaine des Sables arrête les laves provenant du centre volcanique principal.



IPGP
DEPARTEMENT DES
OBSERVATOIRES



MAISON DU VOLCAN
Muséum de la Fournaise

ARRET 3 : Point de vue aménagé sur la Rivière des Remparts

Ce point de vue se situe 200 m après l'arrêt 3, du côté gauche de la RF 5. Une table d'orientation réalisée par l'ONF permet de situer les éléments géographiques du massif du Piton des Neiges et de la Plaine des Cafres ; la figure 4a représente aussi le paysage observé par beau temps.

1 - Le Massif du Piton des Neiges

a - La construction du massif

Ce volcan a émergé de la surface de l'Océan Indien il y a environ trois millions d'années (3 Ma). Après un début explosif de type Surtsey (dû à d'importantes infiltrations d'eau marine au cœur du volcan), le Piton des Neiges présente ensuite une activité effusive qui s'est terminée il y a environ 340 ka. Les laves émises sont des basaltes contenant souvent de l'olivine.

Pendant cette période, à l'image du Piton de la Fournaise, l'épanchement des laves a pu être limité dans certains secteurs, par l'effet barrière d'accidents tectoniques ; l'érosion y modèle alors seule le relief.

L'accumulation des coulées fluides pendant plus de 2 Ma donne au Piton des Neiges sa forme de cône surbaissé (forme de «volcan bouclier») bien visible de l'arrêt 4 (pointillés sur la figure 4a).

Depuis 340 ka, les laves les plus fréquentes contiennent des plagioclases (roches pintades) mais des produits de plus en plus riches en silice sont émis (basalte - hawaïite - mugéarite - benmoréite - trachyte et comendite) car le magma du Piton des Neiges est isolé de sa source d'alimentation mantellique (le point chaud) et évolue dans deux chambres, une superficielle et une autre, « profonde » (KLUSKA, 1997).

Dans cette dernière, le magma se différencie lentement, en 300 ka. Il envoie vers la surface des roches pintades lors de trois épisodes éruptifs (340-250 ka, 140-

100 ka et 30 ka) et il remplit le réservoir supérieur. Dans celui-ci, la différenciation est assez rapide (en quelques dizaines de ka) et des liquides visqueux et riches en gaz donnent de rares mais violentes éruptions (210 ka : la Dalle soudée du Maïdo, 180 ka : nuées ardentes de Saint-Pierre, Saint-Louis, Salazie, Takamaka...).

Le Piton des Neiges que nous connaissons se construit de 140 à 30 ka, c'est un stratovolcan bâti par l'accumulation de produits effusifs et explosifs ; son sommet se trouvait 500 m à l'ouest de l'actuel et devait culminer à 3 400 m maximum.

Cet édifice s'élève au centre du vieux massif érodé et représente un dixième du volume de l'île.

La dernière nuée ardente aurait un âge de 22 ka et la dernière coulée de lave 12 ka. Ces dates sont trop récentes pour affirmer que le Piton des Neiges est éteint.

Remarques :

L'histoire géologique du Piton des Neiges est complexe et encore mal connue. Plusieurs auteurs ont entrepris de la reconstituer : L. CHEVALLIER 1979, J.L. HAURIE 1987, Ph. ROCHER 1988, P.Y. GILLOT et P. NATIVEL 1990, G. KIEFFER 1990, J.M. KLUSKA 1997, E. MAILLOT 1999 ...

Actuellement (2005), les recherches sont axées sur les grands épisodes de destruction violente du massif (glissements de flancs avec avalanches de débris). Les cicatrices et les dépôts résultant de ces phénomènes brutaux se retrouvent en de nombreux endroits, à La Réunion, dans et autour de toutes les îles volcaniques ; ces accidents géologiques représentent des moments où la forme d'un volcan se modifie de façon catastrophique.

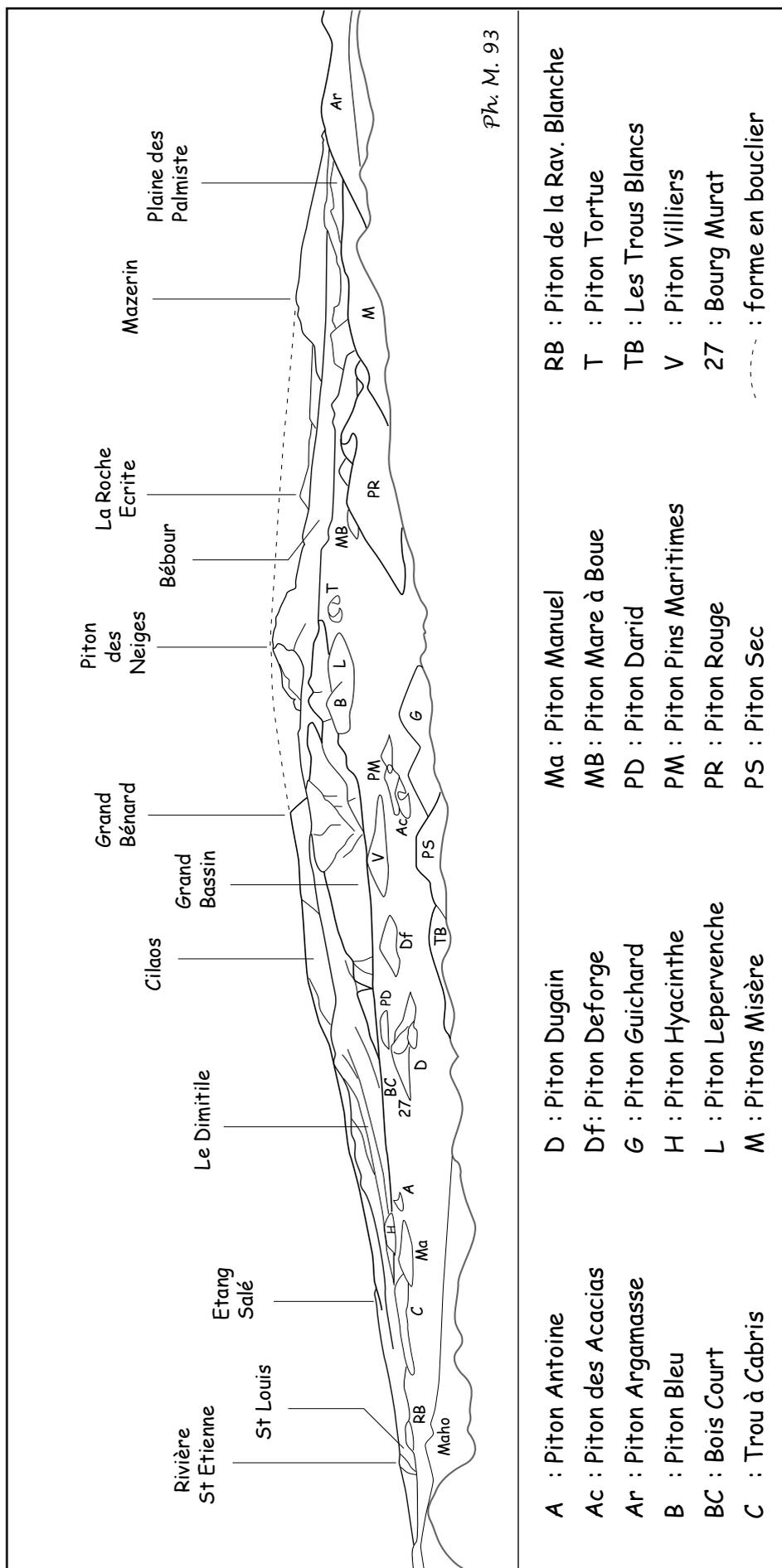


Figure 4a : Paysage vu de l'arrêt 4 ; croquis d'observation

b - L'érosion du massif

Pendant plus de 2 Ma le Piton des Neiges a dû fonctionner de la même manière que le Piton de la Fournaise ; ce volcan avait une activité quasi-permanente qui n'intéressait pas nécessairement, en même temps, l'ensemble du massif.

Entre 210 et 140 ka environ, le Piton des Neiges connaît une phase de d'érosion dominante entrecoupée par de rares épisodes de nuées ardentes (vers 180 ka). En l'absence d'apport de lave fraîche, l'érosion attaque l'ensemble du massif et particulièrement la région la plus arrosée, l'est. Des cirques se creusent : ceux de Bébour, de Bélouve et probablement celui des Palmistes. A l'ouest, l'érosion moins intense, sculpte quelques vallées dans les planèzes.

Le secteur du Dimitile, isolé des centres d'activité depuis 400 ka, n'a connu ensuite que l'érosion, cela explique son état actuel, très accidenté.

La reprise d'activité, provoque un «rajeunissement» du relief en comblant presque entièrement les cirques orientaux qui avaient éventré le Massif.

De l'arrêt 4, le cirque comblé de Bébour est bien visible ; il se présente comme une surface peu accidentée, en pente douce vers Saint Benoît, bordée au nord par le rempart du Mazerin.

Depuis 70 ka, l'activité du Piton des Neiges se limite à quelques centres dont le plus important est proche du sommet actuel ; les produits volcaniques se déversent essentiellement dans les deux anciens cirques de Bébour et Bélouve.

Pendant les 30 derniers millénaires, l'érosion est le seul agent qui modifie la physionomie du massif ; celui-ci va évoluer vers sa forme actuelle (les rares éruptions qui ont eu lieu depuis cette époque n'ont amené en surface que peu de matériaux magmatiques).

2 - La Plaine des Cafres

La Plaine des Cafres est caractérisée par un relief plat, penté vers l'ouest de 6 à 7° à partir de la cote 1 500 m : c'est un **relief jeune**, peu évolué car il n'est que faiblement attaqué par l'érosion ; il résulte essentiellement de l'accumulation de coulées basaltiques, c'est une **planèze**.

Cette région est remarquable aussi par la présence de nombreux cônes volcaniques qui appartiennent au domaine fournaisien par leur âge et la nature de leur lave. Leurs noms sont indiqués sur la figure 4a.

Ces volcans sont différents des édifices récents de l'Enclos ; ils sont éloignés du centre volcanique principal (ce sont des **volcans excentriques**) et sont aussi beaucoup plus grands. Le volume important des projections indique une explosivité du magma supérieure à celle que nous connaissons actuellement, provoquée par une plus grande teneur en gaz du liquide magmatique.

Cette explosivité accrue résulte :

- d'une origine profonde, «primitive» du magma, il sera moins dégazé avant d'arriver en surface ;
- de la traversée par le magma ascendant de nappes d'eau souterraine confinées sous la Plaine des Cafres ; la vaporisation en profondeur de l'eau augmente la quantité de gaz du magma, les éruptions seront donc plus violentes. Une partie notable de l'eau de ces nappes ressort dans Grand Bassin, sur la rive gauche (source des Hirondelles, Pont du Diable...).

Ce volcanisme, constructeur de grands cônes peut être qualifié de strombolien car le volume des projections n'est pas négligeable par rapport à celui des coulées.

L'origine de ce magma, son évolution dans le temps et les structures d'alimentation sont à l'étude. Le risque volcanique dans ce secteur reste à quantifier ; il semble à première vue non négligeable.

ARRET 5 : Les projections volcaniques

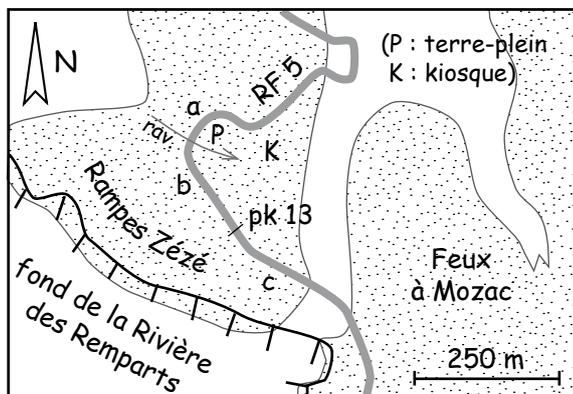


Fig. 5a : Situation des points observés à l'arrêt 5

Environ 100 m après la pancarte ONF «Bois Ozoux», s'arrêter sur le terre-plein situé sur la gauche de la RF (fig 5 a), 200 m avant le PK 13.

A cet endroit, la route a été creusée dans les projections des «Rampes Zézé», volcan excentrique ; nous les observerons en trois endroits.

a - Les projections meubles

Dans le talus qui fait face au terre-plein, affleurent toutes sortes de projections volcaniques. Elles résultent de

l'arrivée très rapide du magma en surface (fontaines de lave) ou de l'explosion des bulles de gaz (fig 5 b).

La nomenclature des projections prend d'abord en compte leur grandeur :

- moins de 2 mm : cendres,
- de 2 mm à 64 mm : lapilli,
- plus de 64 mm : bombes,

auquel peut s'ajouter un terme décrivant la forme (ex : bombes en bourse de vache, en fuseau, en chou-fleur ...).

Remarque : Le terme «scories» est très général ; on l'utilise pour nommer du matériel magmatique grossier et divisé (gratons, projections), ou pour qualifier un lapillus ou une bombe rugueux, sans forme particulière : lapilli scoriacés ...

A cet arrêt, les bombes et les lapilli sont purement magmatiques car leurs formes sont arrondies (les morceaux d'encaissant, cassés et expulsés par des explosions, sont anguleux).

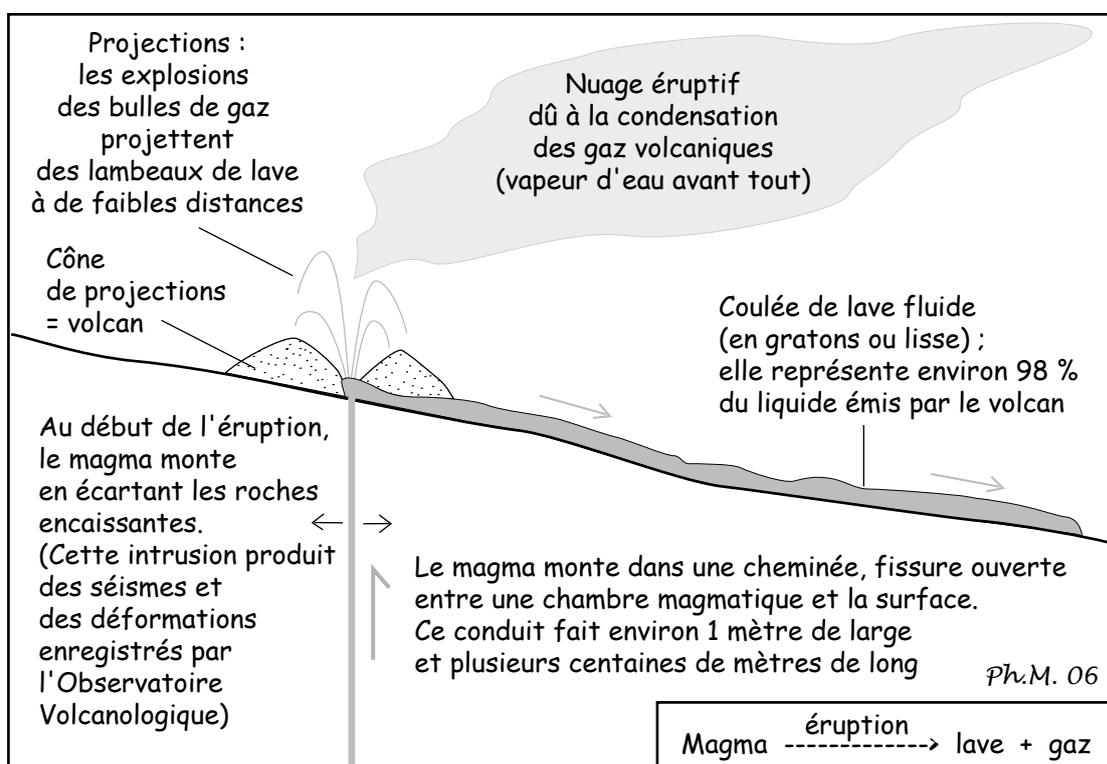


Fig 5b : Coupe décrivant une éruption volcanique de type effusif

Les niveaux d'accumulations sont bien marqués, chacun correspond à un style d'éruption :

-cendres: explosions fortes, le magma est pulvérisé et hydrolysé car l'éruption est compliquée par la rencontre en profondeur du magma et de l'eau souterraine, elle est alors hydromagmatique. Un niveau de cendres claires affleure un peu plus loin, sur le bord d'une petite ravine.

d'émission ; il se situe en amont, vers le bord de la Rivière des Remparts.

La partie supérieure de l'affleurement a été remaniée par l'eau ; on y trouve quelques bombes assez denses et des cendres.

b - Les projections soudées

Un peu plus loin, sur le même côté de la route, 15 m après la petite ravine, on

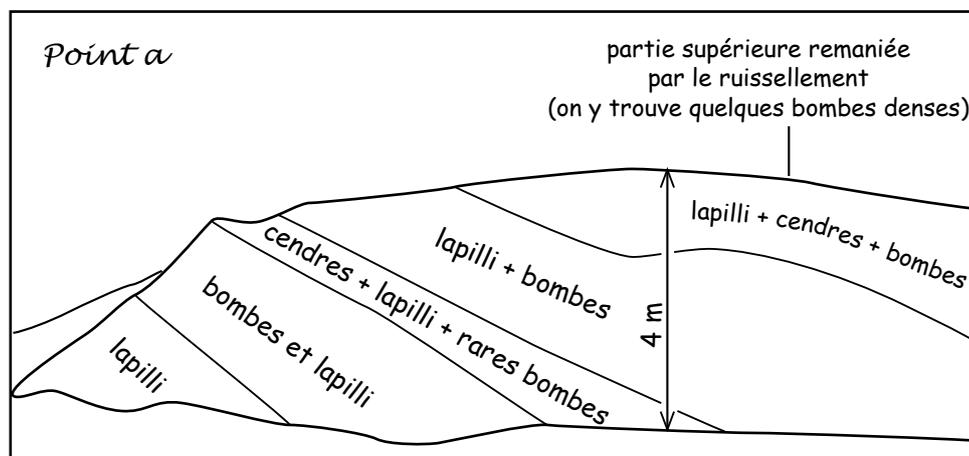


Figure 5c : Coupe dans le talus de la RF 5, montrant les projections meubles

Remarque : Avec les cendres sont souvent expulsées des «bombes trempées», denses, en forme de chou-fleur ; la lave a été refroidie tellement rapidement par l'eau que les gaz dissous n'ont même pas eu le temps de former des bulles,

- lapilli : arrivée rapide du magma en surface, des fontaines de lave projettent des fragments de lave centimétriques avec parfois des cheveux de Pélé, facilement emportés par le vent,

- bombes scoriacées : l'éruption est classique. Ici les bombes sont bien individualisées, le trajet aérien est assez long pour que la lave soit solidifiée (du moins en surface) en arrivant au sol.

Le pendage des couches (= ligne de plus grande pente) donne une idée du point

peut voir, sur 5 m d'épaisseur, une coupe différente de la première.

Vers le milieu et le haut, on reconnaît des projections assez classiques, gris-rougeâtre. A la base, par contre, une couche solide grise ressemble à une coulée de lave ; de près, on constate qu'elle est constituée par une accumulation de lentilles décimétriques, soudées entre elles, certaines gris pâle et d'autres gris foncé, vacuolaires.

Le passage entre ce niveau et celui des bombes est progressif : toutes les roches de ce talus ont la même origine, ce sont des projections.

La base est constituée par l'accumulation de projections soudées ayant pour origine des fontaines de lave

à gros débit ; leur trajet aérien fut nécessairement court car ces éjectats n'ont pas eu le temps de se solidifier. Ils sont arrivés au sol encore plastiques et se sont aplatis et liés entre eux. Les lentilles sombres, riches en bulles ont dû retomber un peu plus froides que les autres car les bulles sont restées captives.

Trente mètres plus loin, surmontant un niveau de bombes scoriacées rouges, une dalle de projections soudées, en équilibre en haut du talus, a été érodée par la pluie et le vent. Les petits niveaux riches en bulles ont moins bien résisté que les niveaux plus massifs : le flanc du bloc ressemble un peu à un peigne.

c - Variété des projections

Après la borne du PK 13, affleurent des projections rouges présentant des variations entre le soudé et le meuble.

Toutes les roches de cet arrêt proviennent des «Rampes Zézé». La fissure éruptive (= cheminée volcanique), longue d'environ 750 m est grossièrement parallèle au bord de la Rivière des Remparts (N 130) Elle a d'abord fonctionné sur toute sa longueur puis l'éruption s'est limitée à la partie basse d'où sont sorties les coulées de lave, vers la rivière et le nord. Des explosions violentes ont démolis plusieurs fois l'édifice volcanique, ce qui rend difficile l'étude détaillée des affleurements.

Ce qu'il faut retenir de l'arrêt 5 :

Lors d'une éruption, des morceaux de lave sont éjectés et retombent à proximité du point d'émission : ce sont des projections.

Leur grosseur (et leur nom) dépend de la force des explosions : plus ces dernières sont violentes, plus la lave est divisée et plus les projections sont petites.

Des bombes denses peuvent être éjectées avec les cendres lors d'éruptions rendues plus explosives par la reconcontre du magma et de l'eau souterraine

Si elles ne sont pas solidifiées en arrivant au sol, les projections se soudent entre elles et donnent un niveau solide, une dalle de projections soudées.

ARRET 6 : VUE SUR LE REMPLISSAGE DU NEZ DE BŒUF

Se garer sur le parking en bas du sentier Josémont LAURET et avancer jusqu'au bord de la Rivière des Remparts (attention aux rafales de vent).

Cette vue sur ce qui est considéré comme une trace de l'accident de la Rivière des Remparts s'avère d'interprétation difficile. Des datations, une étude de la base du rempart et de la source Cresson ont permis de mieux cerner les problèmes géologiques et de proposer le modèle de l'année 98.

a - Description

De l'arrêt 5 on voit une discordance nette, d3 sur la figure 5a, entre les coulées notées 1 et 4, et d'épaisses coulées plus récentes qui les recouvrent (5), ces dernières sont venues buter contre une falaise et remplir une dépression.

En observant attentivement le rempart, on découvre la discordance majeure : d1. Elle est située plus bas que d3 et constitue la limite entre le relief ancien (constitué par des coulées d'âge supérieur à 290 ka) et les remplissages : c'est une ancienne falaise.

En pied de rempart aucune faille n'est visible, la discordance n'est donc pas la limite d'une caldéra. Par contre, nous avons découvert un lahar ancien (2) épais de plus de 100 m, semblable à ceux observés dans la région : la falaise résulte de l'érosion (voir arrêt 3b).

Comme nous l'avons déjà vu à l'arrêt 3a, cette érosion a été guidée par l'accident de la Rivière des Remparts ; nous pouvons en déduire que les failles bordières de cette structure géologique se situent au nord du lahar 2 car la falaise tectonique a été érodée et n'est plus visible. Si nous

devions placer une limite, nous la mettrions sous les formations 3, au pied du chemin qui descend le rempart.

La discordance d3 est aussi une limite d'érosion et de mise en place de matériaux détritiques ; l'imperméable de la source Cresson (sc) est formé par une couche d'éboulis surmontée par un niveau de cendres volcaniques : une période de calme éruptif a dû concerner ce petit secteur entre 100 et 75 ka environ.

b - Tentative d'explication

Les alternances érosion / comblement par des coulées montrent que cet endroit est une zone charnière pour les accidents tectoniques qui ont modifié la physionomie de la Fournaise : nous pensons que le fond de la Rivière des Remparts et sa rive gauche forment un lieu où sont rassemblées quelques bordures ouest de caldéras (et / ou glissements ?).

La dynamique pourrait être la suivante :

- quand un effondrement tectonique se produit dans ce secteur, le Nez de Bœuf est isolé du centre volcanique et l'érosion fait reculer la falaise ;

- la dépression tectonique se remplit progressivement puis les laves débordent et viennent buter contre la falaise ; ce fut le cas par exemple entre 80 et 65 - 60 ka quand des coulées ont recouvert la discordance d3. Les laves proviennent de volcans situés dans la Plaine des Remparts.

Ce processus construction - destruction semble se terminer avec le premier effondrement de la Plaine des Sables ; depuis l'érosion modèle seule la forme du Nez de Bœuf.

ARRET 7 : LE CRATERE COMMERSON

S'arrêter au parking du cratère Commerson, 1 km après l'arrêt 5 ; s'approcher du cratère en observant les roches affleurantes puis le longer vers la Rivière des Remparts.

Attention ! Le point de vue au bord de la rivière est vertigineux et venté.

L'éruption du Commerson fut une éruption majeure et complexe ; sa reconstitution reste difficile.

1 - Description

Le «Commerson» est un volcan au cône surbaissé, creusé de trois cratères alignés sur une fissure éruptive longue d'un kilomètre et orientée N 145

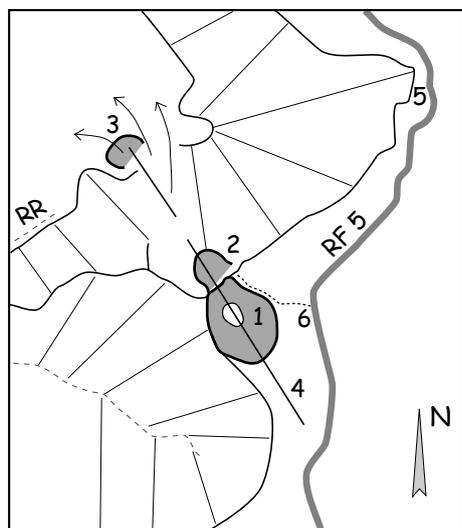


Fig. 7a : L'éruption du Commerson, situation des trois cratères

- 1 : Cratère Commerson
- 2 : Trou Fanfaron
- 3 : cratère de lave
- 4 : fissure éruptive
- 5 : arrêt 5
- 6 : parking du Commerson
- RF 5 : Route forestière n°5
- RR : Rivière des Remparts
- ← : coulées de lave

échelle approximative : 1 / 25 000

(voir fig 7a). Le «cratère Commerson», le plus impressionnant des trois, atteint plus de 200 mètres de profondeur.

Le **cône** est constitué avant tout par des niveaux de bombes plus ou moins soudées, visibles :

- en surface le long du chemin allant du parking au cratère,
- en coupe dans le haut du rempart, en face du point de vue (au-dessus de coulées de lave aa de la Plaine des Remparts) ; les niveaux soudés sont gris et de loin ressemblent à de petites coulées.

Certaines projections contiennent des blocs anguleux de roches anciennes, arrachées à l'encaissant lors de l'éruption, ce qui montre la violence de l'ascension du magma dans sa cheminée (grande vitesse et fort débit).

Du chemin qui longe le goufre, on aperçoit sur la paroi d'en face, des placages de projections soudées collés contre les laves anciennes ou contre les autres projections ; elles se sont mises en place en fin d'éruption.

Du bord de la Rivière des Remparts, il est possible d'étudier la falaise surmontant la cloison entre le Commerson et le Trou Fanfaron ; elle présente la coupe géologique la plus complète de ce volcan : on n'y observe que des **projections** (figure 7 b) ; il en est de même tout autour de ces deux cratères.

Les **coulées** du Commerson sont sorties essentiellement du cratère de lave 3 (fig 7a et itinéraire), visible au pied du rempart, 400 m en dessous de l'arrêt 7. Ces laves, déjà repérées au Nez de Bœuf (fig 3a), nappent le fond de la vallée jusqu'à Saint Joseph, 22 km plus loin, où elles ont construit la Pointe de la Cayenne.

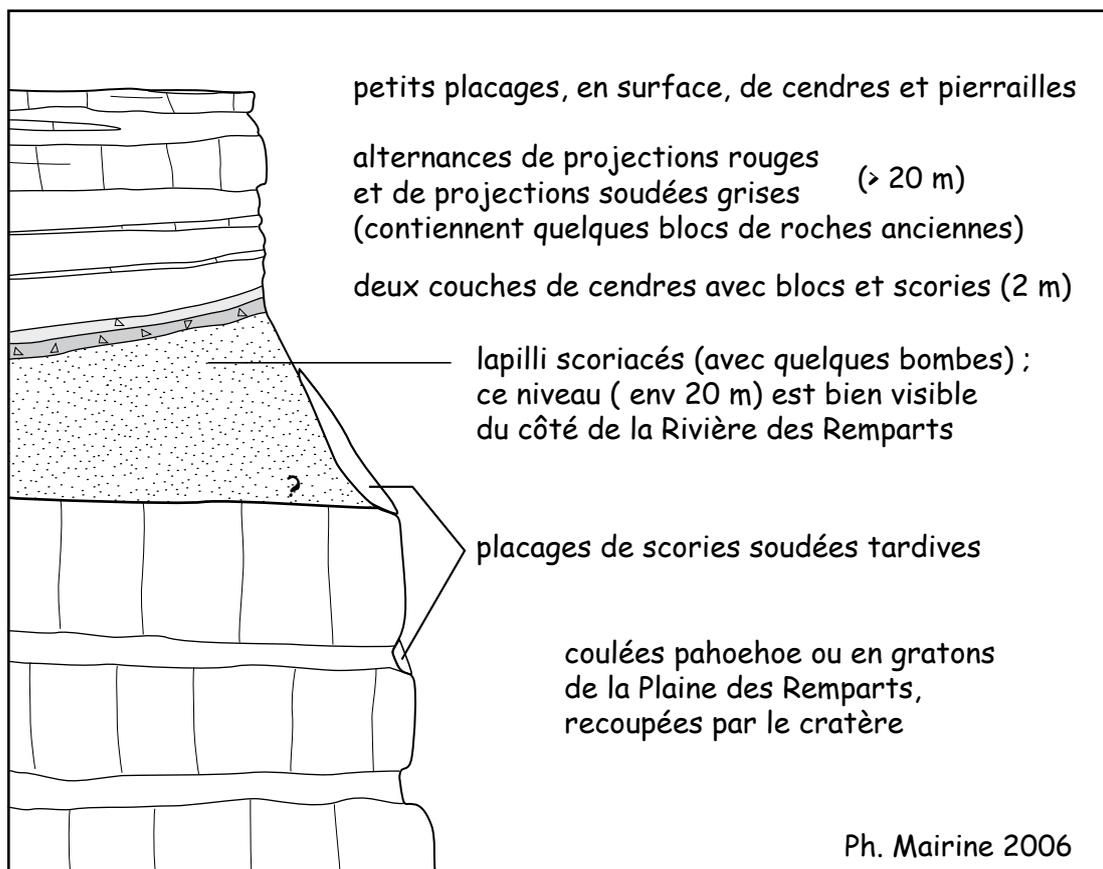


Fig 7b : Coupe lithostratigraphique relevée dans la cloison entre le Cratère Commerson et le Trou Fanfaron

Le **magma** responsable de l'éruption provient d'une chambre magmatique profonde et n'a pas évolué en montant dans un réservoir supérieur ; il est pour cette raison qualifié de «primitif». Très turbulent et riche en gaz, il a ramassé pendant son ascension des cumulats d'olivine (= dunite) formés au fond de chambres magmatiques anciennes (voir arrêt 9) ; on en trouve dans les coulées et parfois dans les projections.

Le volume des laves émises, estimé à plusieurs centaines de millions de m³, est beaucoup plus important que ceux d'éruptions historiques (15 millions à Saint Philippe en 1986, 100 millions à Sainte Rose en 1977) : le Commerson correspond à une **éruption majeure** de la Fournaise actuelle.

2 - L'éruption

Un bois carbonisé, trouvé dans les lapilli, donne pour ce volcan un âge calibré de **1825 BP ± 74 ans**.

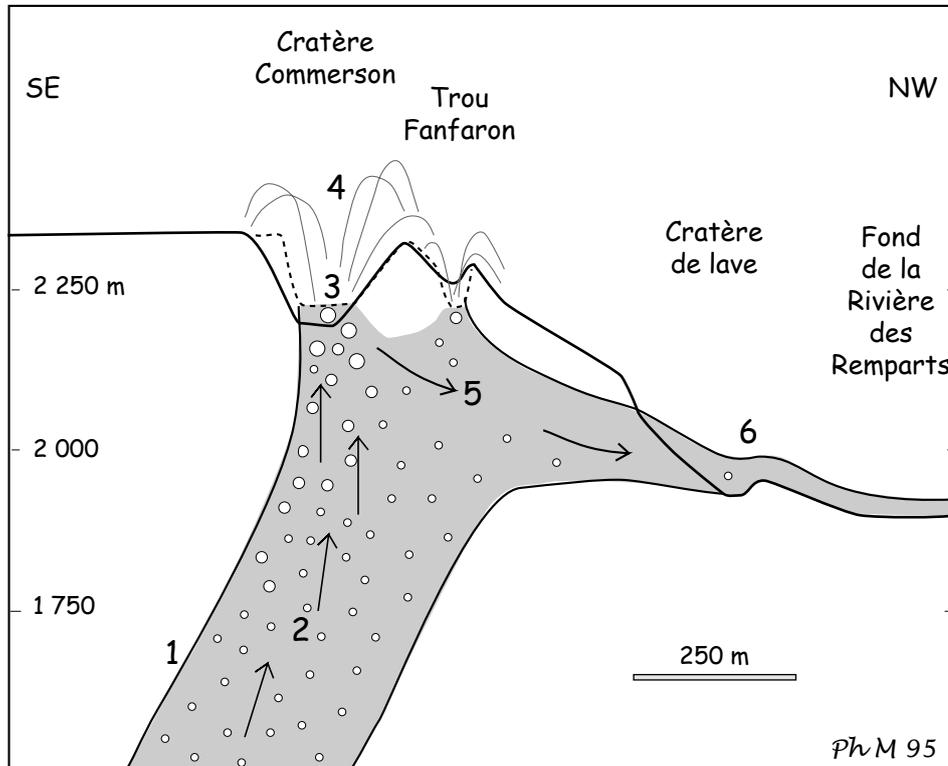
Remarque : les âges absolus sont rapportés à une date fixe : l'année 1950, an 1 du «Présent». BP signifie donc «avant 1950».

Le Cratère Commerson a fait éruption entre 73 et 220 après J C.

La coupe décrit dans la figure 7b présente deux ensembles indiquant que l'éruption a comporté au moins deux phases :

- la première correspond au niveau épais de scories plus ou moins soudées et de lapilli ; l'éruption est de type classique sans explosions violentes. A ce début sont associées des projections semblables à celles de l'Enclos, émises par la partie amont de la fissure éruptive ;

- la seconde débute avec le niveau riche en blocs et se termine avec les projections plus ou moins soudées pouvant contenir des morceaux de vieilles laves : l'éruption est devenue brutalement plus explosive puis elle se calme. A la fin, le niveau



- 1 : cheminée principale (environ 2 m de large et qq centaines de m de longueur)
 2 : montée de magma avec de nombreuses bulles de gaz
 3 : lac de lave où se dégaze le magma
 4 : l'explosion des bulles de gaz projette des lambeaux de lave (projections)
 5 : le magma dégazé, plus dense, redescend dans la partie ouest de la fissure
 6 : sortie de la lave ; la coulée est de type pahoehoe

Figure 7c : Coupe hypothétique montrant le trajet du magma pendant la seconde partie de l'éruption du Commerson (la coupe a été réalisée le long de la fissure éruptive)

du magma dans les deux premiers cratères baisse, les projections n'atteignent plus le sommet et se plaquent contre les parois.

L'analogie entre l'éruption du Commerson et une éruption ultérieure, survenue en 1860 au sommet de la Fournaise (voir encadré), permet de proposer le scénario (hypothétique) suivant grâce au principe de l'actualisme.

Au début, une fissure orientée N 145 s'ouvre sous la poussée du magma, elle est située en bordure de la Rivière des Remparts. Une éruption classique se produit avec projections et coulées de lave (voir annexe D5).

Puis, pour une raison encore inconnue, le magma perce la cloison entre

la cheminée et la rivière, un flot important de lave sort alors du troisième cratère. Le niveau baisse brutalement dans les deux premiers et l'eau des nappes est aspirée par la dépression : des explosions phréatomagmatiques violentes se produisent (niveau de cendres + blocs).

Suit une augmentation du débit dans la cheminée volcanique, provoquant la remontée du niveau de lave dans les deux cratères supérieurs tout en entretenant les coulées à grand débit s'échappant du cratère inférieur (voir fig 7c et annexe D5). Un lac de lave se met en place dans le cratère Commerson où le magma peut se dégazer (projections plus ou moins soudées) ; sa densité augmente alors et il redescend dans le conduit pour s'écouler par le cratère 3.

Les derniers jours de l'éruption, le débit magmatique diminue et le niveau du lac de lave descend : les projections ne peuvent plus atteindre le sommet et se plaquent contre les parois. Dans les derniers moments, quelques explosions phréatiques envoient un peu de cendre et des petits blocs de lave anciennes sur le pourtour des cratères.

des déferlantes basales (voir arrêt 10) dues aux explosions phréatomagmatiques ; celles-ci peuvent être canalisées par une grande vallée (rivières des Remparts, Langevin et de l'Est) et atteindre, quoique amorties par la distance, les zones habitées ;

- le recouvrement du fond et de l'embouchure d'une grande vallée par des

En 1860, au sommet de la Fournaise, un lac de lave fonctionne dans le cratère central (le Bory). En mars, une fissure latérale s'ouvre, reliant directement la cheminée aux grandes pentes, et provoque une baisse brutale du niveau de lave. Cet effondrement de la colonne magmatique a deux conséquences :

*- les parois du cratère, non soutenues par le magma s'écroulent
- l'eau qui imbibe le Volcan est aspirée et se déverse dans la place laissée libre. L'arrivée rapide de grandes quantités d'eau et sa vaporisation au contact des roches surchauffées provoquent des explosions violentes (explosions phréatiques) qui projettent hors du cratère des blocs, encore visibles de nos jours vers la Soufrière, et des cendres. Ceux-ci ont recouvert un bateau, la Marie Elisa, à 25 km des côtes.*

3 - Le risque éruptif

Trois volcans récents résultent de l'arrivée en surface d'un magma profond :

- le Commerson ; 1825 ± 74 ans,
- le Piton du Cirque ; 920 < âge < 5 000 ans (Plaine des Sables),
- le Piton Chisny ; 980 ± 61 ans (Plaine des Sables).

L'occurrence de ce genre d'éruption dévastatrice semble inférieure au millénaire pour autant qu'on puisse mesurer une probabilité de retour avec aussi peu d'événements repérés dans le temps.

Il est donc difficile d'augurer sur la venue plus ou moins proche d'une éruption majeure de type Commerson.

Les risques liés à ce genre d'éruptions sont de deux sortes :

- les effets de souffle et de chocs

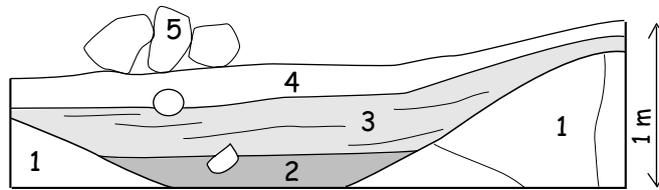
coulées de lave. En plus des problèmes d'évacuation des populations menacées, la prise d'eau dans la Rivière de l'Est pourrait être perdue privant La Réunion du quart de son énergie électrique.

4 - Autour du Commerson

• De l'autre côté de la RF 5, en face du parking, on peut observer une petite coupe géologique dans le talus de la piste (figure 7 d).

• Les cendres de Bellecombe et des projections du Commerson recouvrent par place une **coulée pahoehoe**, âgée de 44 000 ans, provenant d'un volcan situé en arrière plan : le Piton Caverne des Lataniers.

L'étude d'une cassure fraîche (il y en a beaucoup dans le fossé) montre qu'il s'agit d'un basalte à petits cristaux de plagioclase et d'augite.



- 5 : blocs de la coulée 1 déplacés lors du creusement des fossés de la Route forestière n°5
- 4 : niveau de bombes provenant du Commerson)
- 3 : niveau de lapilli émis par un piton excentrique non identifié
- 2 : "cendres de Bellecombe", datées à $4\,700 \pm 270$ ans, cachées par des éboulis de 3
- 1 : coulée pahoehoe à plagioclase et augite, provenant du Piton Caverne des Lataniers datée à 44 000 ans

Figure 7d : Coupe dans le talus de la RF5, en face du parking du Commerson

En marchant sur cette coulée, il est possible d'étudier différentes formes de surfaces pahoehoe (cordées, en boudins...) et des chenaux de lave (voir fascicule «Découverte de la Fournaise actuelle : le Tremblet»).

On remarque aussi le découpage de la coulée en compartiments par des fentes de retrait. Celles-ci résultent de la rétraction de la lave lors de la solidification car le volume du solide est inférieur à celui du liquide.

• Les cendres datées à 4 700 ans sont associées à un accident lié à l'Enclos (voir arrêt 10). Elles contiennent de nombreux cristaux d'olivine et quelques cristaux d'augite, peu visibles à l'affleurement.

Pour en trouver, il faut les chercher dans des «placiers» à olivine, petits creux où se sont déposés ces cristaux denses, après érosion des cendres et transport par le ruissellement. Dans le fossé de la RF, dans les fissures de la coulée et dans les ravines proches de l'arrêt 7, ces formations sédimentaires abondent.

Ce qu'il faut retenir de l'arrêt 7 :

L'éruption du Commerson a eu lieu au début de l'ère chrétienne.

Après un début assez classique, des explosions violentes, hydro-magmatiques, ont creusé le cratère principal ; ensuite un lac de lave y a fonctionné pendant que de grandes coulées pahoehoe envahissaient la Rivière des Remparts, depuis la tête de vallée jusqu'à Saint Joseph.

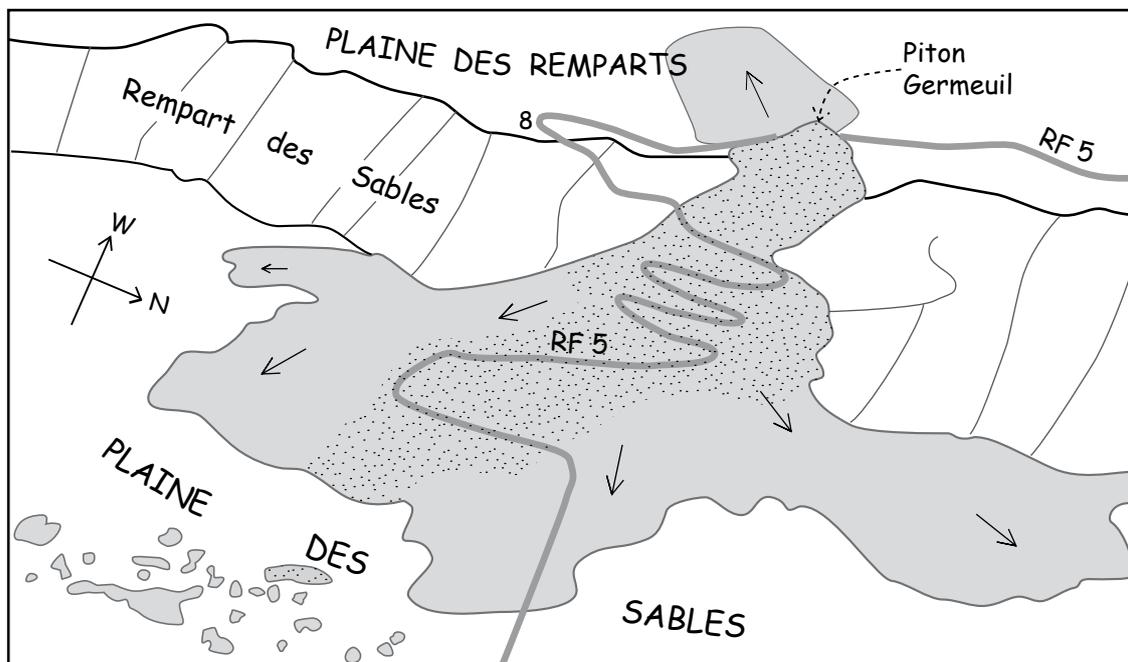
ARRET 8 : POINT DE VUE SUR LA PLAINE DES SABLES

S'arrêter sur le parking situé à côté du panneau d'information de l'ONF, marcher vers le bord du rempart, à droite de la route forestière. S'il y a trop de vent, descendre par la route jusqu'au panoramique.

Les différents éléments du paysage sont représentés sur la figure 8a et une photo aérienne oblique (fig 8b) montre une partie de la Plaine des Sables, son rempart et le Pas des Sables.



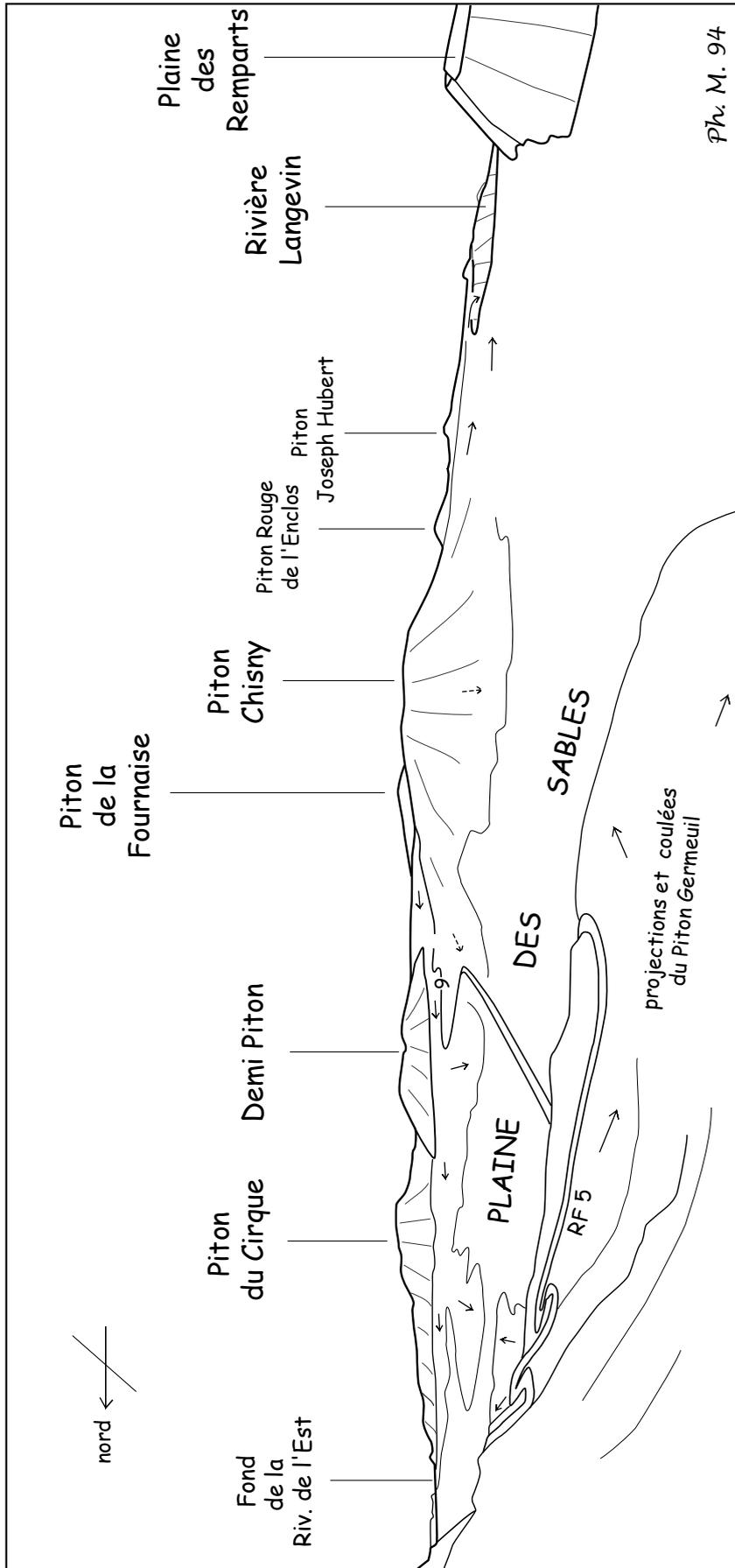
Figure 8b : Photo aérienne oblique du Rempart des Sables



8 : Situation de l'arrêt 8

 Couléés et projections du Piton Germeuil

Figure 8b' : Croquis d'interprétation de la photo 8b



→ sens d'écoulement des laves

RF 5 : route forestière n°5

9 : arrêt 9

Figure 8a : Croquis du paysage observé de l'arrêt 8

Au premier plan, contre la falaise, s'étalent des projections et des coulées d'un petit volcan né à 150 mètres de la crête du rempart. Ses produits ont créé un talus dans lequel a été taillée la RF 5. Ce piton est bordé au nord-ouest par la Ravine Germeuil ; pour cette raison, nous lui donnerons le nom de Piton Germeuil.

Son âge est indéterminé, cependant on peut l'encadrer :

- il est plus jeune que les cendres de Bellecombe (4,7 ka, voir arrêt 10 et annexe F) car il n'est pas recouvert par celles-ci ;
- il est plus vieux que le Piton Chisny (980 ans, voir arrêt 9) car les lapilli de cet édifice surmontent ses projections et ses coulées.

On peut donc estimer que l'âge du Piton Germeuil est compris entre 5 et 1 ka.

Au second plan, la Plaine des Sables est dominée par trois grands édifices volcaniques, le Piton du Cirque au nord, le Demi Piton au centre et le Piton Chisny au sud, près de la Rivière Langevin (voir fig 8a).

L'importance de la colonisation de ces volcans par la végétation permet de proposer, depuis le point de vue, une chronologie des éruptions. On admettra que l'âge des pitons est d'autant plus élevé que la végétation qui le recouvre est importante. Ainsi le Demi Piton, recouvert de brandes verts et blancs, est plus ancien que le Piton du Cirque à la végétation clairsemée, lui même plus vieux que le Piton Chisny (étudié à l'arrêt 9) qui reste très minéral.

Ce dernier volcan a émis d'énormes quantités de lapilli qui ont nappé la Plaine des Sables et ses environs : le «sable» est en fait constitué de projections centimétriques.

Au nord et au sud de ce cône, se sont étalées les coulées émises pendant l'éruption ; la plus grande partie s'est déversée dans la Rivière Langevin jusqu'à l'océan.

Au troisième plan on distingue le sommet du Piton de la Fournaise avec la fissure éruptive de 1957 (voir arrêt 11).

L'histoire de la Plaine des Sables et les discussions qu'elle soulève seront abordées à l'arrêt 9 où nous aurons une meilleure vue d'ensemble de cet accident tectonique complexe.

ARRÊT 9 : LE PITON CHISNY ET LA PLAINE DES SABLES

S'arrêter à proximité de la borne kilométrique n° 20 (PK 20), sur le flanc nord du Piton Chisny.

Examiner, si le brouillard ne le masque pas, le paysage situé au nord-ouest, vers le Rempart des Sables.

une planèze dont le plateau des Basaltes actuel constitue une relique.

Cette situation n'est pas sans évoquer celle de l'Enclos actuel (voir arrêt 11).

Plusieurs milliers d'années plus tard, un autre accident, du même type que le

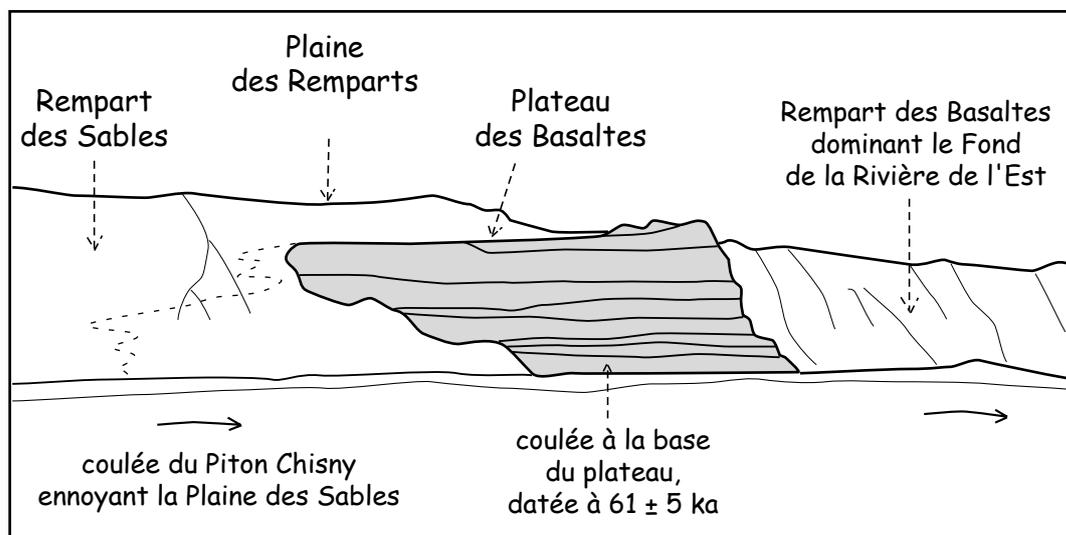


Figure 9a : Vue de l'arrêt 9 vers le NNW

1 - Le Rempart des Sables

Contre le rempart s'appuie une structure tabulaire, le **Plateau des Basaltes** (voir fig 9a) dont l'étude a permis de mieux comprendre l'histoire de la Plaine des Sables.

Un échantillon prélevé à la base du plateau a donné un âge de 61 ± 5 ka et nous avons vu à l'arrêt 3 que les dernières laves qui ont rempli la paléo Rivière des Remparts avaient 65 ± 6 ka. Ces deux datations permettent de relier la fin du remplissage de Grand Coude et la formation de la Plaine des Sables :

il y a environ 65 ka, un effondrement a donné naissance au Rempart des Sables, séparant un compartiment oriental effondré (la future Plaine des Sables) et un compartiment occidental immobile (la Plaine des Remparts). Interrompues dans leur écoulement vers l'ouest par le Rempart des Sables, les coulées, provenant des zones actives du Massif de la Fournaise, se sont accumulées, donnant naissance à

précédent, affecte le plateau nouvellement construit. Cependant, les limites en sont un peu différentes ; entre autre, le Plateau des Basaltes n'a pas bougé, il est resté en dehors de la partie abaissée : c'est un témoin du premier remplissage de la Plaine des Sables (voir fig 9b).

Ce secteur a dû subir quelques remplissages et quelques accidents entre ce second événement et la formation de l'Enclos, mais aucun indice en surface ne permet de repérer ces structures.

En résumé, l'histoire du Piton de la Fournaise est une succession d'épisodes de construction (accumulation de coulées) et d'accidents géologiques abaissant le centre et le secteur oriental du massif volcanique.

Ces accidents n'ont pas tous laissé des traces dans le relief actuel mais ils isolent une partie du Massif de La Fournaise de l'invasion des coulées et laissent du temps à l'érosion pour creuser de grandes rivières.

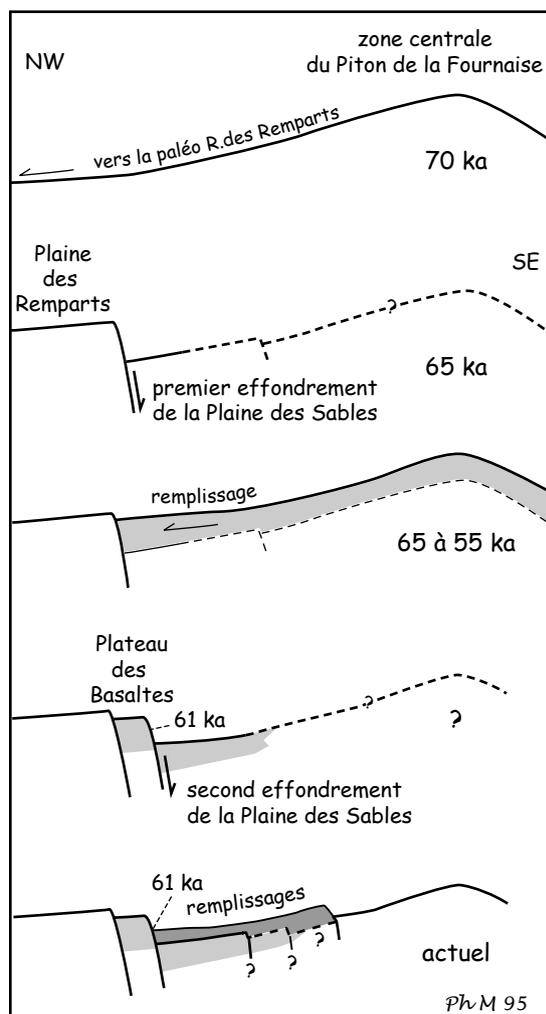


Figure 9b : Coupes montrant l'évolution de la Plaine des Sables depuis 70 ka. (échelle verticale exagérée)

2 - Les projections du Piton Chisny

Tout autour du PK 20 s'étalent les projections du Piton Chisny, on reconnaît des bombes et des lapilli.

En marchant vers le sommet, on découvre des roches anguleuses de trois types :

- des morceaux de bombes massives,
- des débris de roches anciennes, brisées et projetées par des explosions assez violentes ; certains de ces blocs sont enveloppés de lave, ce sont des «bombes à cœur xénolitique»,

- des **cumulats**, roches grenues plus denses que le basalte, composées entièrement de cristaux (sans pâte ni bulles) :

- cristaux d'olivine verts : dunites (abondantes),

- cristaux d'olivine + cristaux de pyroxène noirs : wherlites,

- cristaux de plagioclase blancs avec pyroxène et parfois olivine : gabbros (rares ici).

Ces cumulats résultent de l'accumulation de cristaux formés aux dépens du liquide basaltique, au fond de réservoirs magmatiques.

Le magma du Chisny, d'origine profonde, a brisé et remonté ces roches en traversant des chambres magmatiques de la Fournaise ancienne, refroidies et entièrement cristallisées.

Remarques :

- la cristallisation du magma se produit là où les pertes de chaleur font passer sa température en dessous du point de fusion de cristaux : avant tout au fond des chambres.

Des mouvements de convection renouvellent le liquide entre les cristaux et permettent leur croissance sans variation chimique (fig 9 c ; Jaupart 1994).

- Le magma de la chambre étant lui-même renouvelé régulièrement par du magma plus profond et primitif, la chimie de l'ensemble varie peu et les cristaux produits resteront globalement les mêmes.

- Les minéraux visibles dans toutes les laves de La Réunion sont apparus et ont grandi lentement dans une chambre magmatique. A l'intérieur d'une cheminée et en surface, le refroidissement est tellement brutal que de très nombreux cristaux se forment mais ils restent microscopiques (les microlites).

- Pendant l'éruption, des circulations de gaz (air ou gaz volcaniques) à travers le Chisny ont oxydé certaines projections ainsi que les cumulats mélangés à elles : ils sont devenus rouges.

Après avoir observé les projections meubles, traversons la route pour étudier les énormes blocs en millefeuille éparpillés au pied du Chisny.

De près on reconnaît des bancs de projections plus ou moins soudées, comme celles affleurant à l'arrêt 5 : les blocs sont des morceaux de cône volcanique.

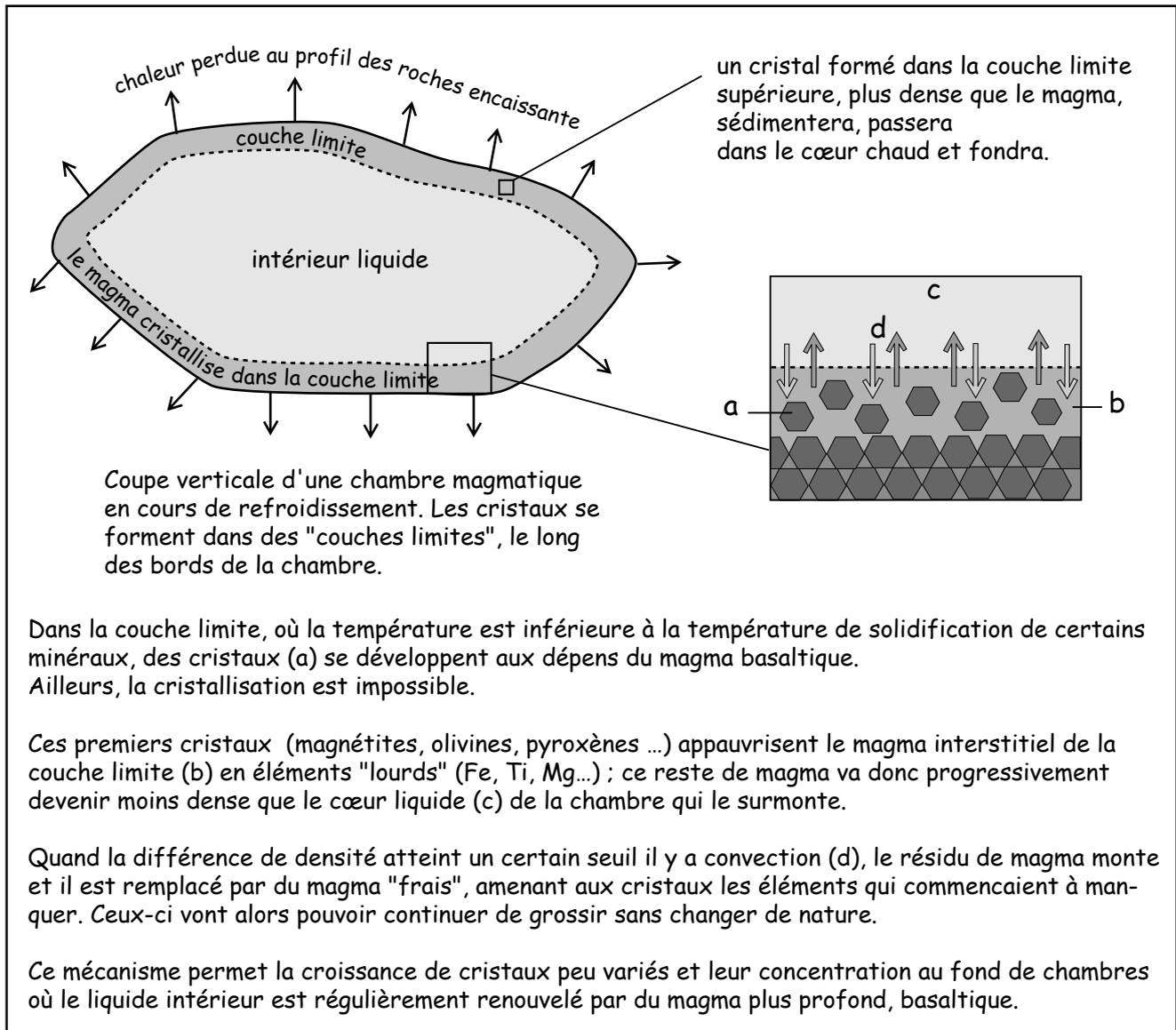


Fig. 9 c : La formation des cristaux dans une chambre magmatique basaltique ouverte (d'après Claude JAUPART, 1994)

En circulant entre ces monolithes, on constate rapidement que les couches ne sont pas en continuité et que leur pendage est très variable, un de ceux-ci présente même des strates verticales. Les projections constituant normalement des couches assez régulières, pentées vers l'opposé du cratère, nous pouvons en déduire que les blocs ne sont pas en place, ils ont été formés ailleurs puis transportés.

Pour comprendre la façon dont ils sont arrivés là, poursuivons notre marche vers le Demi Piton.

3 - Une coulée du Piton Chisny

Entre les monolithes et le Demi Piton, une coulée s'est mise en place ; elle provient des Cratères Gueules Rouges, point d'émission des laves du Chisny.

Elle a contourné le Demi Piton puis s'est avancée dans la Plaine des Sables vers le Fond de la Rivière de l'Est. La superposition coulée / projections du Demi Piton est peu visible car des éboulis ont recouvert le contact. Nous reverrons ce problème à l'arrêt 10.

Par contre, en cherchant à la limite lapilli / coulée, on trouve des affleurements

sans ambiguïté : la coulée recouvre les lapilli donc elle s'est mise en place après ceux-ci.

Sa surface n'est pas en gratons mais présente de grandes plaques plissées, tordues et cassées : c'est une coulée pahoehoe. On peut même observer de petits tubes plus ou moins brisés, caractéristiques d'un écoulement sous une croûte partiellement solidifiée au contact de l'air (voir à ce sujet le fascicule sur l'éruption de Saint Philippe en 1986).

de Piton Sainte Rose en 1977. Le magma est d'origine profonde, il est proche du «magma primitif fournaisien».

Patrick BACHELERY (1981) résume l'éruption ainsi : «Les produits observés traduisent une diminution progressive de la puissance et de l'ampleur de l'éruption. Ils montrent que l'éruption aurait débuté de manière très violente, avec un dégazage très important (projections) ainsi qu'un fort

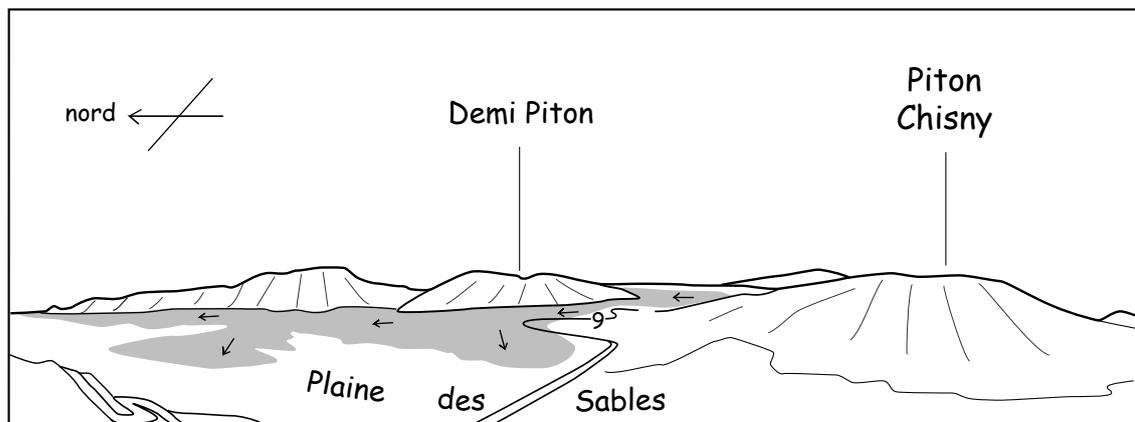


Figure 9d : Une coulée du Piton Chisny, vue de l'arrêt 8

Quand une coulée sort d'un cône, elle est capable d'en démolir une partie et de transporter, sur quelques centaines de mètres, les débris moins denses qu'elle.

C'est probablement ce qui s'est passé ici ; les monolithes résultent de la destruction du flanc nord-est du Chisny par la sortie d'une coulée. Ensuite les morceaux ont été transportés jusqu'à leur emplacement actuel.

4 - L'éruption du Piton Chisny

Une racine transformée en charbon de bois par une coulée du Chisny a permis de dater l'éruption. Elle a eu lieu il y a 980 ± 61 ans BP, c'est à dire entre 910 et 1030 (voir annexe F).

C'est une éruption majeure car le volume des produits émis est environ dix fois plus grand que celui de l'éruption

débit. Puis, au fur et à mesure que l'éruption se poursuit, on assiste à une baisse de l'activité explosive, une baisse de la quantité de coulées émises, une baisse de la taille et de la quantité des cumulats et des blocs divers rejetés.

L'activité qui, au début, devait prendre place suivant une large zone cratérique, s'est trouvée réduite à l'édification de spatters en fin d'éruption» (les Cratères Gueules Rouges, à l'est du piton)

Les coulées se sont déversées dans la Rivière Langevin et ont atteint la mer en formant la Pointe Langevin. Un tel événement, s'il se reproduisait, serait catastrophique car cette vallée est peuplée à partir de Grand Galet. Il faudrait évacuer pour une longue période cette population et elle ne retrouverait à son retour ni lieux d'habitation ni parcelles agricoles.

5 - Le déplacement du centre volcanique

Les nombreux cummulats ramassés sur les flancs du Piton Chisny, du Demi-Piton, du Puy du Pas des Sables ... proviennent de

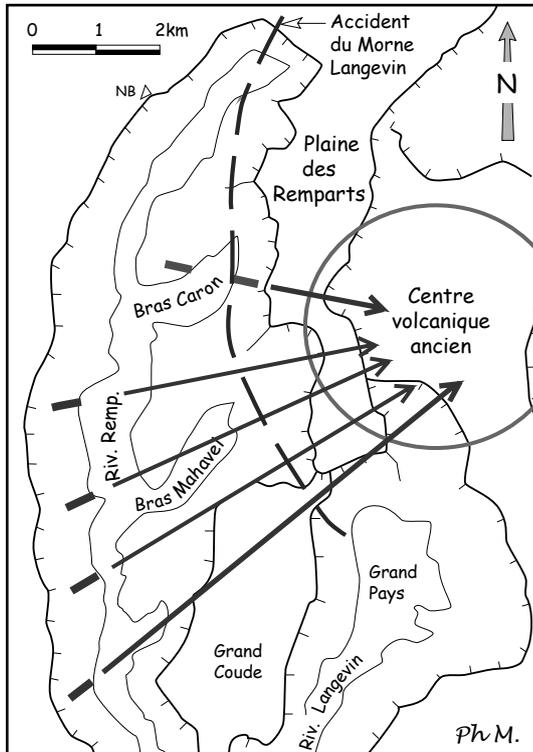


Fig. 9e : Le centre volcanique ancien et directions des dykes associés

réservoirs magmatiques situés sous ces volcans. De plus, une anomalie gravimétrique lourde à cet endroit indique une grande quantité de ces roches denses en profondeur.

Nous avons vu aussi à l'arrêt 3 (3e), que la Rivière des Remparts a dégagé des cheminées volcaniques ; la mesure de leur orientation montre qu'elles convergent vers la Plaine des Sables (fig 9e) et non vers le sommet actuel.

Toutes ces données établissent l'existence d'un centre volcanique ancien sous la Plaine des Sables. Ce centre s'est déplacé vers son emplacement actuel il y a environ 150 ka (date approximative).

Nous associons cet événement à un accident tectonique majeur : l'accident du Morne Langevin. La figure 9e présente un tracé possible pour ses failles bordières occidentales.

Les causes de cet effondrement ne sont pas encore connues, cependant, elles doivent être du même type que celles responsables de la formation de l'Enclos (voir arrêt 10).

Ce qu'il faut retenir de l'arrêt 9 :

L'accident de la Plaine des Sables (limité actuellement par le Rempart des Sables) a abaissé plusieurs fois la partie orientale (la Plaine des Sables) par rapport à la Plaine des Remparts.

L'éruption du Chisny est un événement majeur de la construction de la Fournaise actuelle : elle date de 1 030 ans environ.

Elle a débuté de façon assez violente par l'émission de grandes quantités de lapilli et de volumineuses coulées de lave qui ont envahi la Plaine des Sables et la Rivière Langevin.

En montant vers la surface, le magma profond a arraché des morceaux de roches anciennes, les a remontés et finalement projetés dans la Plaine des Sables ; parmi celles-ci il est possible d'observer des fonds de chambres magmatiques refroidies où s'étaient accumulés des cristaux d'olivine.

ARRET 10 : LA PETITE CARRIERE

500 m après le départ du sentier vers le Nez Coupé du Tremblet, à l'endroit où un GR croise la route forestière (marques blanches et rouges), près d'un petit piton à droite de la RF, s'arrêter sur le côté, au-dessus d'une carrière abandonnée.

Descendre dans celle-ci, d'abord vers la droite.

1 - Les cendres de Bellecombe.

Quand on arrive au fond de l'excavation, on constate qu'elle recoupe plusieurs types de terrain ; d'un côté les prélèvements ont

été faits dans les projections d'un petit volcan, de l'autre affleurent des formations grises terreuses, assez bien stratifiées.

Le mélange des deux a servi à recharger régulièrement la route.

Observons d'abord le côté ouest, vers le Demi Piton et la RF 5.

a - Description de l'affleurement gris

La forme générale est celle d'un demi-croissant ; la figure 10 a décrit cette coupe à son maximum d'épaisseur (4,20 m)

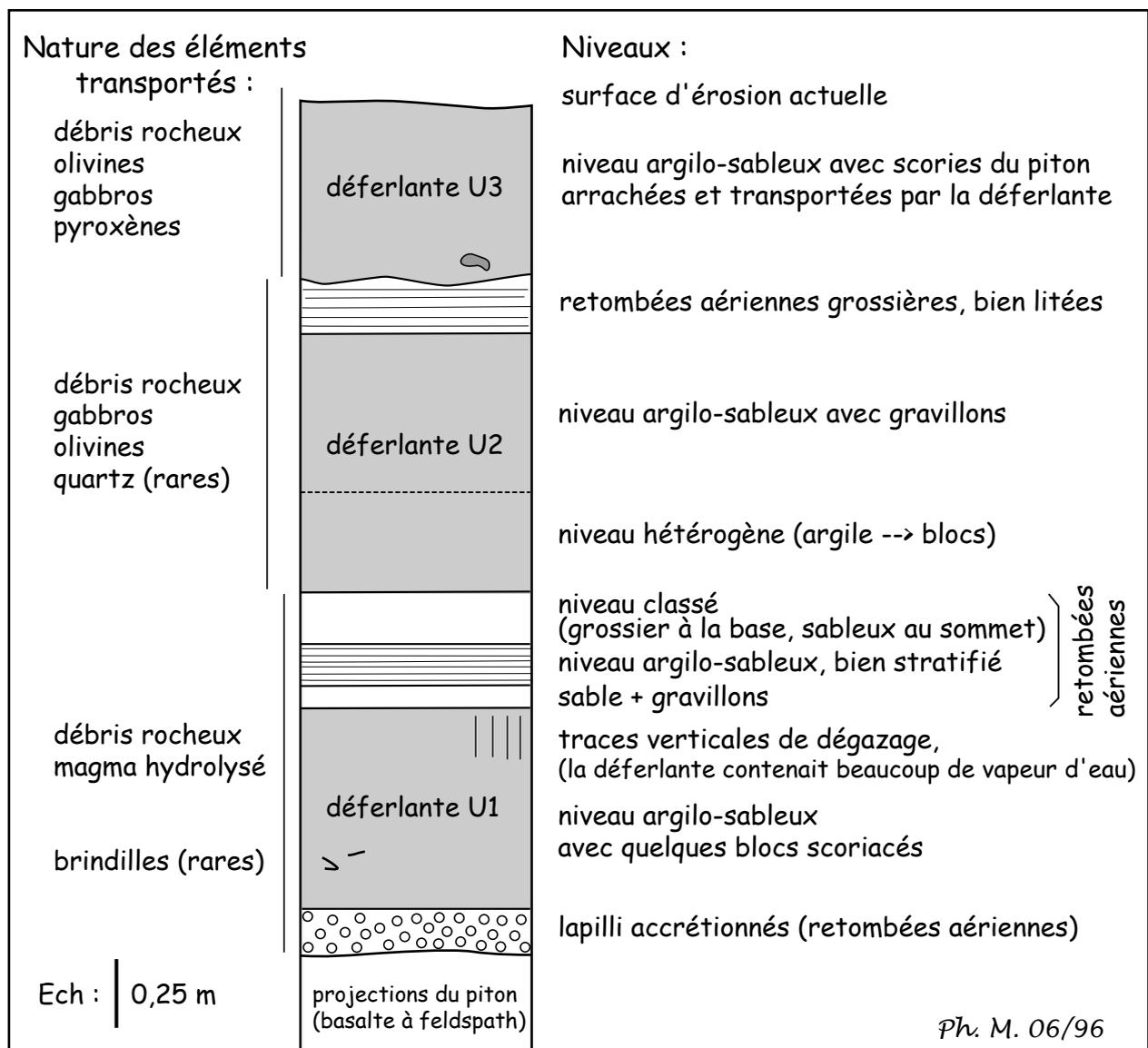


Figure 10 a : Coupe lithostratigraphique des cendres de la "Petite Carrière"

Les niveaux gris recouvrent les scories du petit volcan, ils sont donc plus récents que lui.

- Ces roches ont été décrites la première fois par Patrick BACHELERY en 1981 ; il les a nommées «Cendres de Bellecombe». L'étude a été reprise en 93 - 96 par A. M. ABCHIR, M. P. SEMET et G. BOUDON.

Ce sont des **cendres volcaniques** qui proviennent d'explosions paroxysmales du Piton de la Fournaise. Les matériaux magmatiques et anciens ont été pulvérisés et projetés à des distances pouvant atteindre plusieurs dizaines de km ; on en retrouve à la Plaine des Palmistes et à Vincendo.

- Observons d'abord l'affleurement de loin.

Trois unités épaisses (U1, U2 et U3 sur la figure 10 a) dominent l'ensemble, elles résultent du dépôt de trois «**déferlantes basales**» (= base surges) particulièrement destructrices (voir figure 10 b).

Ce phénomène correspond à une couronne d'explosion, avec cendres et pierrailles, partant du point d'émission et s'en éloignant au ras du sol, détruisant tout sur son passage : ces déferlantes sont donc érosives.

Les produits transportés et érodés se déposent surtout dans les creux du relief : cela est bien visible ici car les trois couches épaisses au centre se bisautent sur le côté sud, contre les scories du petit piton.

Après la mise place de ce matériel, les cendres projetées verticalement retombent et donnent de petits niveaux (mm à quelques cm) bien stratifiés, gardant la même épaisseur partout (**retombées aériennes**).

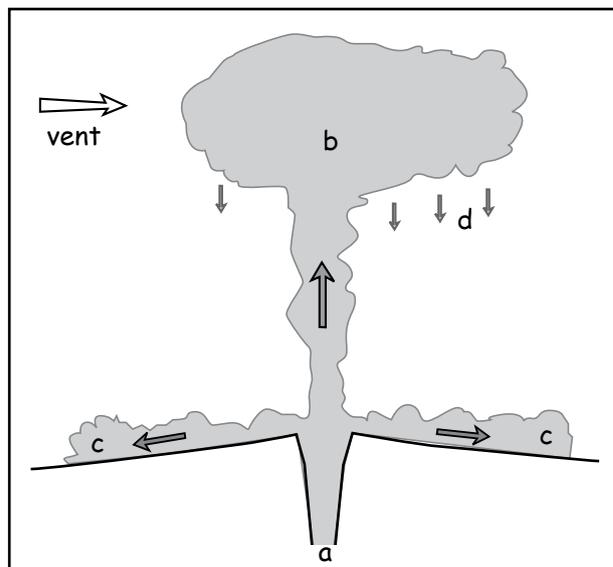
- De plus près maintenant, les détails sont visibles et nous aident à mieux comprendre ces dépôts et leur origine.

Remarques préliminaires :

Cet affleurement est fragile, ne prélevez pas d'échantillons inutilement ; de plus ils se dessèchent et s'émiettent sur les étagères. Photographiez plutôt !

Les cristaux d'augite ne sont pas visibles ici car ils sont sales. On peut en ramasser sur le sol, lavés par la pluie, en allant vers le Demi Piton.

Le plus souvent, on voit mieux les surfaces sur des blocs basculés, légèrement érodés par la pluie.



a - explosions profondes b - panache éruptif
c - déferlante basale (base surge) avec une forme d'anneau en expansion rapide
d - retombées aériennes

Figure 10 b : Schéma d'une éruption hydromagmatique (d'après DE GOER et BELIN, 1985)

La première couche apparaît comme une accumulation de pois plurimillimétriques ; ce sont des **lapilli accrétionnés** (grêlons de cendre), formés dans le nuage éruptif saturé d'eau, par agglomération de cendres (on peut en écraser un assez facilement entre deux doigts).

La première déferlante (U1), épaisse de 0,9 m au maximum est constituée essentiellement par du matériel magmatique frais (ce n'est pas visible à l'affleurement mais en lame mince). Les trois niveaux qui la surmontent lui sont associés, ce sont des retombées aériennes.

La seconde (U2) ne contient que du matériel lithique, c'est-à-dire des anciennes laves et des fonds de chambres magmatiques pulvérisés par les explosions. Ici les cumulats sont plutôt des gabbros (plagioclases + pyroxènes). On trouve aussi des scories arrachées au petit volcan par la force érosive de la déferlante U2.

Des éléments hydrothermaux (quartz, zéolites, carbonates...), échantillonnés dans la couche U2 indiquent que la profondeur des explosions a atteint des zones situées à plusieurs centaines de mètres sous le sommet, où régnait une température $\leq 350^{\circ}\text{C}$.

Dans la couche U3, on trouve en plus beaucoup d'olivine et quelques pyroxènes noirs (variété augite), de même origine que les gabbros (voir aussi l'arrêt 7).

Ce dernier niveau devait être recouvert par des retombées aériennes mais elles ont été érodées ou enlevées. Il ne reste plus, par place, que des lapillis d'origine inconnue, datés à 3,2 ka.

Remarque :

Tout ce matériel est différent de celui des nuées ardentes du volcanisme explosif ; il n'y a pas de ponces et tout est d'origine basaltique. Dans une nuée, le dégazement du magma se

fait aussi tout le long de la progression et entretient la propulsion. Ce n'est pas le cas ici où la seule impulsion provient du départ.

b - Origine des cendres volcaniques

Des brindilles récupérées dans le niveau U1 ont été cassées et enfouies il y a 4 700 ans environ, époque de la catastrophe d'où sont issues les cendres.

P. BACHELERY (1981) associe ces cendres à la formation de l'Enclos ; cette thèse est aujourd'hui admise par l'ensemble des volcanologues. Le scénario de l'éruption paroxysmale, par contre, est beaucoup plus discuté. Nous en parlerons à l'arrêt 11 quand nous surplomberons l'Enclos.

2 - Un peu de géochronologie relative

Passons dans la partie gauche de la carrière, une autre superposition s'offre à notre vue : une coulée de lave en gratons (= coulée aa, voir lexique) surmonte les projections du petit volcan (figure 10 c). Dans le fond de la carrière, cette coulée a un aspect bousculé, sans vrai cœur massif car nous sommes sur la limite de celle-ci et cette lave a subi des forces de frottements (cisaillements) plus grands qu'au centre.

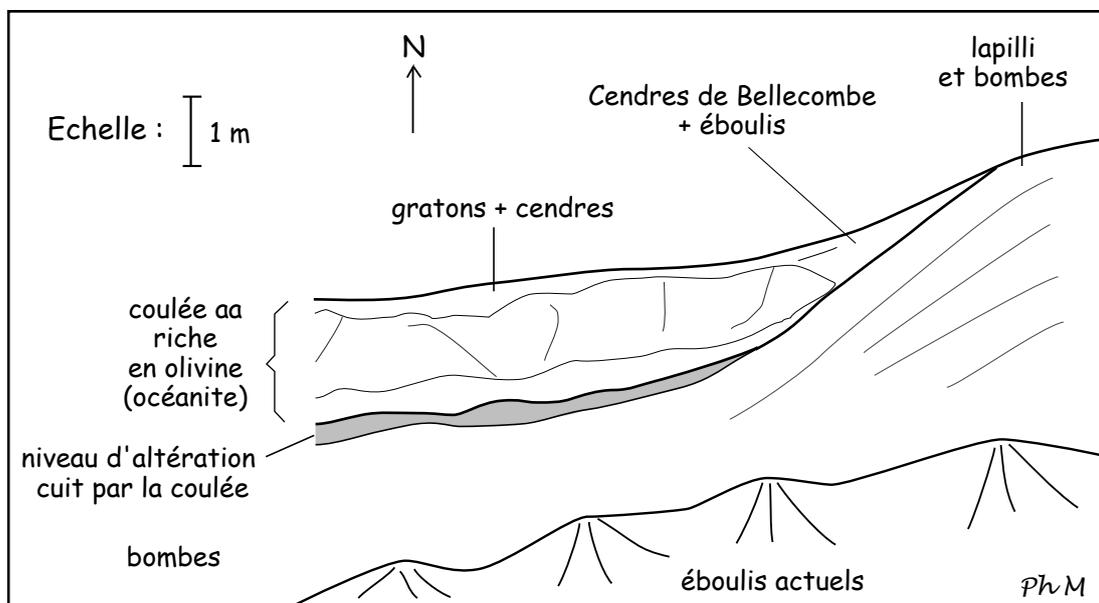


Figure 10 c : Contact coulée aa / Piton à feldspaths

Cette roche provient-elle du petit piton ou a-t-elle une autre origine ?

Pour répondre il faut s'approcher et examiner un échantillon de chaque formation (attention aux éboulements !) :

- les projections contiennent des cristaux blancs millimétriques de feldspath plagioclase : c'est un basalte à plagioclase,

- la coulée (cœur et gratons) est riche en olivine, c'est un basalte de la variété océanite.

Les deux laves sont nettement différentes au niveau pétrographique, elles ne proviennent donc pas du même volcan. Nous pouvons affirmer aussi que la coulée est plus récente que le piton car elle l'a recouvert partiellement (principe de superposition).

Quand on regarde le contact coulée/projections, on constate qu'il se fait par un niveau orange brique correspondant à des scories altérées et recuites par la coulée : un temps assez long (sans doute > 1 ka) sépare les deux mises en place, permettent une argilisation des projections à la surface du sol.

Remarque :

Le coin de la coulée est surmonté par des scories du petit volcan (mêlées à des cendres de Bellecombe) : il s'agit ici de projections déplacées (remaniées) par le ruissellement. Ici c'est évident car la coupe atteint le niveau inférieur, mais ce genre de mise en place secondaire peut mener à des interprétations douteuses !

Un dernier point reste à définir, c'est l'âge relatif de la coulée aa par rapport aux cendres.

Pour résoudre ce problème, revenons vers la route en suivant la coupe de la coulée. Au point le plus bas, on peut observer la superposition présentée dans la figure 10 d : les cendres, mêlées à des petits gratons remaniés par elles, surmontent de gros gratons ; la coulée est donc plus vieille, son âge est supérieur à 4,7 ka.

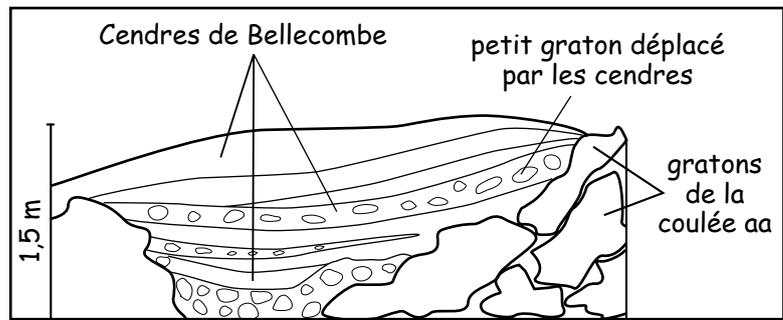


Fig. 10 d : Contact coulée aa / cendres de Bellecombe

L'interprétation des trois coupes permet de **reconstituer l'histoire géologique** de ce petit secteur :

- d'abord une éruption se produit à cet endroit même, un cône de projections se construit (le petit piton), ses laves s'épanchent vers l'ouest,

- ensuite, des centaines d'années plus tard, un volcan amène en surface des océanites ; une coulée contourne le petit piton (elle est recoupée en amont par l'Enclos, elle pourrait donc provenir du centre volcanique principal),

- il y a 4 700 ans, une catastrophe se produit : des explosions hydromagmatiques très violentes pulvérisent roches anciennes et magma. Des déferlantes basales ravagent le secteur et des dépôts de cendres volcaniques recouvrent la région. Toute vie animale et végétale est détruite : l'Enclos se forme et sépare la Plaine des Sables du centre volcanique principal,

- depuis cet événement, la vie reprend ses droits, un chemin puis une route permettent d'accéder au Volcan ; l'ONF fait creuser la petite carrière pour entretenir ce passage.

Ce qu'il faut retenir de l'arrêt 10 :

Il y a 4 700 ans, des éruptions paroxysmales avec des explosions très violentes ont envoyé de grandes quantités de cendres autour de la Fournaise, jusqu'à la Plaine des Palmistes et Vincenzo : ce sont les Cendres de Bellecombe.

Leur origine est liée à l'effondrement de l'Enclos.

ARRET 11: LE PAS DE BELLECOMBE, POINT DE VUE SUR LE PITON DE LA FOURNAISE

S'arrêter au parking du Pas de Bellecombe, marcher jusqu'à la barrière pour observer le Piton de la Fournaise dans son Enclos, avant l'arrivée du brouillard si possible.

1 - Le point de vue

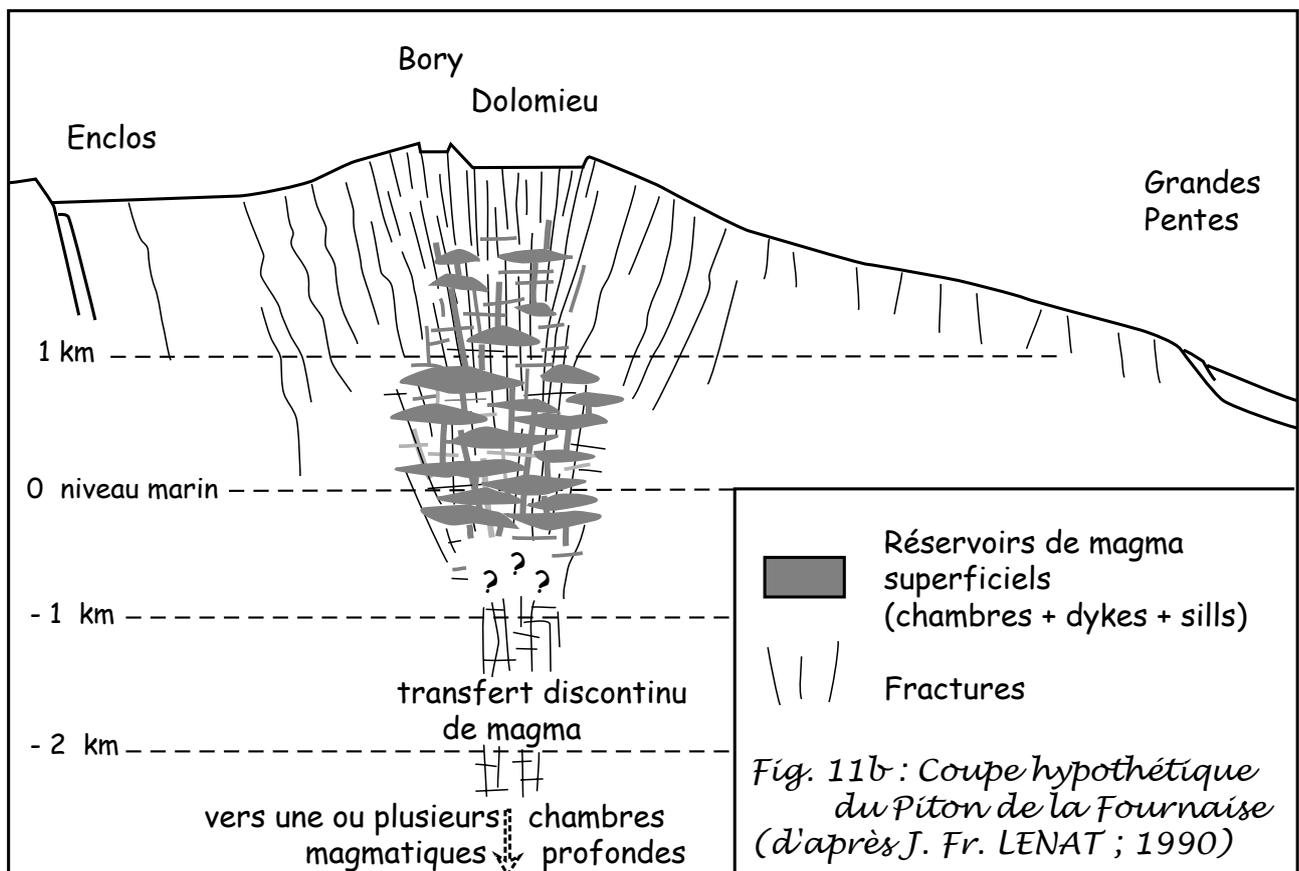
Le point de vue surplombe l'Enclos Fouqué, dépression de forme régulière ouverte vers l'est. Au centre de celui-ci trône un cône volcanique (= cône terminal) haut de 400 mètres : le Piton de la Fournaise. Deux couleurs y dominent :

- le gris-beige clair des coulées colonisées par des lichens. Beaucoup sont des laves lisses (pahoehoe) qui ont débordé du cratère Bory quand celui-ci contenait un lac de lave, avant 1860 ;

- le gris sombre des petites coulées en gratons issues de fissures sommitales (gris brillant par leurs projections).

Les laves pahoehoe du Bory sont venues buter contre un petit cône de projections rouges, bien visible au pied de rempart : le Formica Leo. Seule sa partie sommitale émerge du flot de lave et on distingue bien deux cratères. Ce volcan n'est pas daté.

La coupe présentée dans la figure 11 b propose un aspect possible de l'intérieur du Piton de la Fournaise. Sous le sommet, des chambres magmatiques «supérieures» alimentent des éruptions du type de celles qui ont eu lieu de 1981 à 1992. Elles sont remplies par du magma plus profond avec une période de 30 ans environ. La dernière réalimentation date de 1998, lors de l'éruption du Piton Kapor



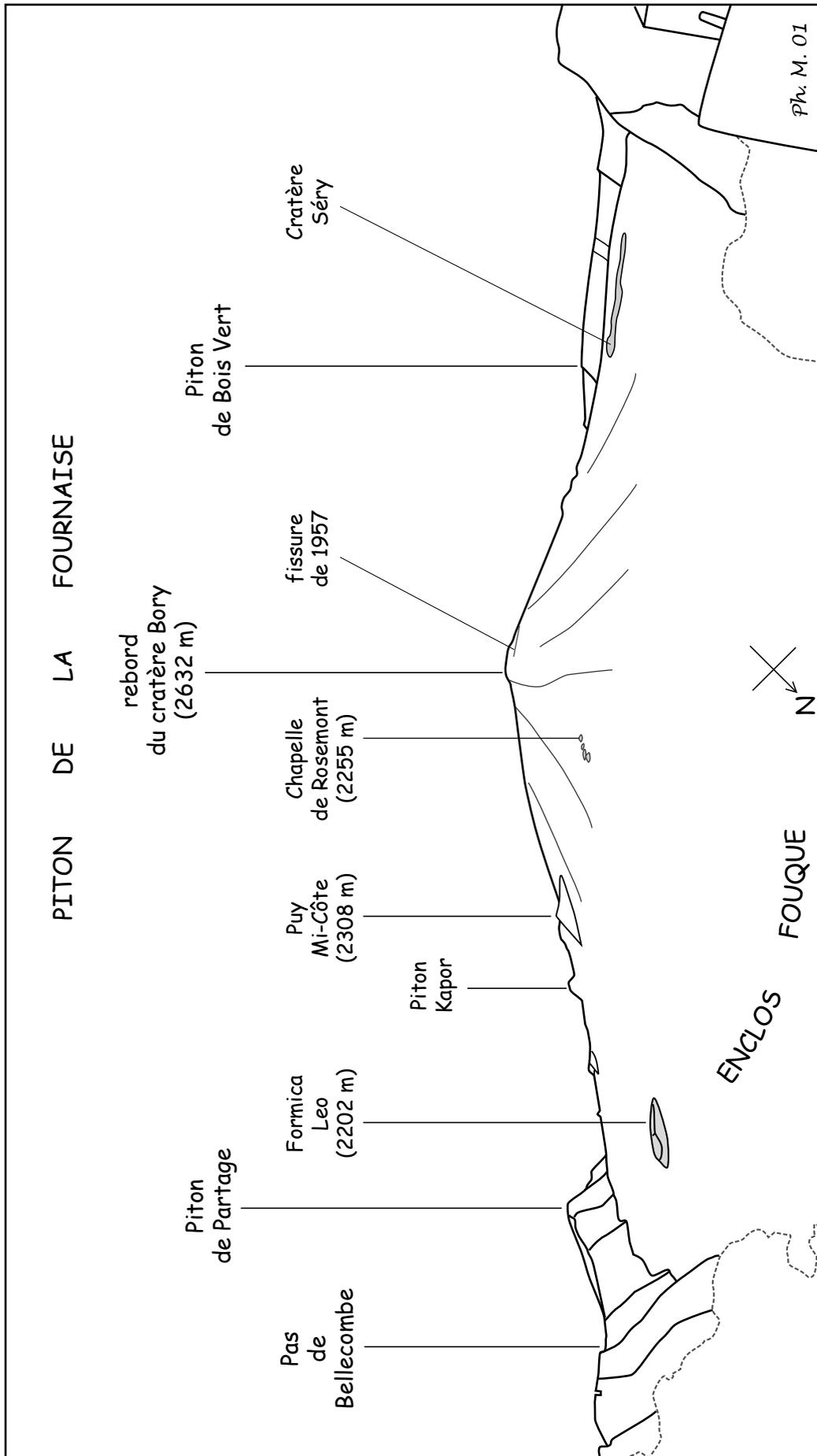
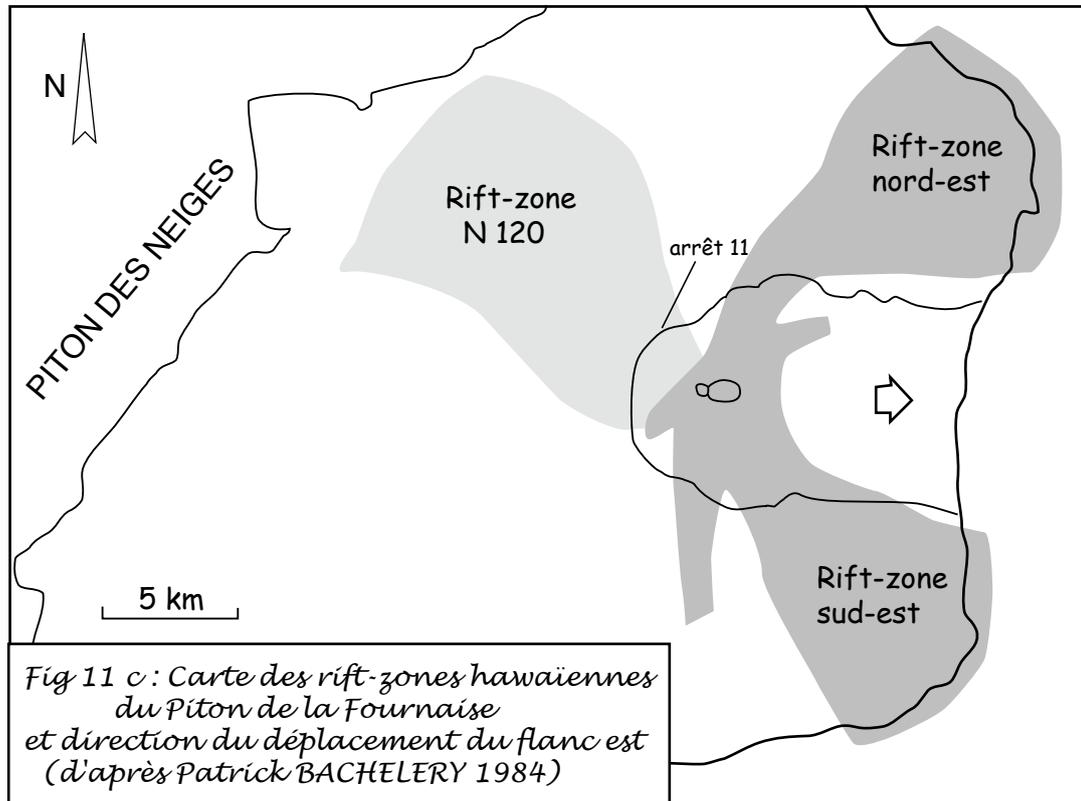


Figure 11 a : Croquis du paysage vu de l'arrêt 11 (parking)

2 - Les rift-zones



Le Piton de la Fournaise est centré au croisement de toutes les rift-zones (fig 11 c), là où la plus grande partie du magma s'injecte et arrive en surface.

Le point de vue étant situé en dehors des rifts les plus actifs, les produits volcaniques frais sont plutôt rares de ce côté. Pour observer les endroits par où monte préférentiellement le magma, il faut emprunter le chemin du Nez Coupé de Sainte Rose qui suit le bord du rempart vers le nord-est, jusqu'au Piton de Partage, ou bien le chemin du Nez Coupé du Tremblet (départ à l'est du Chisny), jusqu'au Piton Joseph Hubert vers le sud.

De ces deux points de vue, une multitude de fissures éruptives, de petits pitons et de coulées en gratons, le tout très récent, sont visibles : ils marquent les rift-zones NE et SE. Les Puy Ramond, surplombant la ravine Basse Vallée dessinent quant à eux le rift N 10 menaçant l'ouest de la commune de Saint Philippe.

Ces secteurs d'intrusions et d'éruptions ont été délimités par P. BACHELERY en 1981 après qu'il eut cartographié les lieux de sortie récents (moins de 5 ka) des produits volcaniques. Ce sont aussi des zones d'extension (rifts) car, en s'injectant, le magma écarte les roches encaissantes (fig 5 b) et ce déplacement n'est pas résorbé en fin d'éruption car le liquide se solidifie dans la cheminée et la fossilise.

(Remarque : De nombreuses cheminées anciennes (= dykes), dégagées par l'érosion, sont visibles le long de la route du littoral, dans les parois des cirques et les remparts des grandes rivières ; elles sont plutôt verticales et recoupent des empilements de coulées peu pentées.)

Ces mouvements concernent toujours le côté le plus faible, c'est-à-dire le flanc oriental de la Fournaise, à l'intérieur de l'arc constitué par les deux rift-zones NE et SE (flèche sur la figure 11 c). Le côté ouest, bloqué par le Massif du Piton des Neiges, reste stable.

3 - Origine et formation de l'Enclos

P. BACHELERY (1995) présente les causes possibles qui ont produit les glissements du Grand Brûlé dans l'article reproduit en annexe I :

- déformation de la partie orientale du Volcan, pendant des centaines d'années, due à l'injection répétée de magma dans les rift-zones nord-est et sud-est,

- charge (et fluage) des «complexes cumulatifs» chauds et denses, formés au fond des chambres magmatiques, qui exerce une pression latérale sur le flanc libre du Volcan.

Un déplacement de 1 m vers l'est en 4 ans a été mesuré par l'Observatoire Volcanologique, sur le rebord oriental du Dolomieu.

Quelques auteurs (J. F. LENAT, Ph. LABAZUY, P. Y. GILLOT, W. A. DUFFIELD...) pensent que cela suffit pour expliquer la formation de l'Enclos. On peut résumer leurs hypothèses comme suit :

- quand la déformation a presque atteint le seuil de rupture, une nouvelle arrivée de magma provoque un déplacement brutal du flanc oriental (non calé par le Piton des Neiges). Ce ou ces glissements de terrain catastrophiques produisent des séismes de forte magnitude et un ou plusieurs raz de marée,

- le départ de ce flanc qui appuyait sur une cheminée active décompresse le magma, celui-ci explose avec l'eau des nappes (unité U1 de la petite carrière),

- l'eau qui imprègne le Volcan s'enfonce dans les fissures ouvertes (par les explosions et la décompression) et atteint des niveaux chauds ; elle se vaporise brutalement. Ces explosions «phréatiques» et les glissements atteignent des zones de plus en plus profondes (unités U2 et U3),

- les glissements, amorcés à l'intérieur des rift-zones s'étendent «par rebonds» jusqu'au Pas de Bellecombe.

A. M. ABCHIR (1996) associe les formations U2 et U3 à la pulvérisation des zones internes hydrothermalisées du Volcan, due à la décompression brusque provoquée par le départ de matériaux glissés. Finalement le cône central est remplacé par un énorme cratère d'explosion.

P. BACHELERY, pour sa part, explique le phénomène en se référant à des épisodes d'effondrements caldériques décrits ailleurs (Fernandina 1968 ...) :

- une énorme éruption latérale, probablement sous-marine, vide une grande chambre magmatique, située à 4 ou 5 km de profondeur,

- le toit surmontant le réservoir de magma, non soutenu, s'effondre verticalement sous l'effet de son poids, hachant les couches imperméables qui isolent l'eau souterraine du cœur du Volcan (il pleut beaucoup dans ce secteur), celle-ci s'enfonce,

- arrivée dans les zones chaude, l'eau se vaporise brutalement, des explosions hydromagmatiques puis phréatiques agrandissent les fractures et pulvérisent le cœur du Volcan,

- finalement, effondrements et explosions forment une grande dépression circulaire de plusieurs kilomètres de diamètre, une caldéra.

Trois arguments de terrain amènent à penser que ce dernier point est plausible :

- l'Enclos a une forme subcirculaire, plus ou moins tabulaire, qu'on retrouve sur d'autres volcans-boucliers et qui sont interprétés comme des remplissages de zones caldérique par des coulées,

- un forage, au niveau de la Vierge au Parasol, traverse, entre - 60 et - 220 m, des alluvions provenant de la Plaine des Osmondes. Elles n'ont pu se mettre en place que si une falaise isolait une rivière disparue du centre volcanique principal (M. COURTAUD 1996).

Actuellement des coulées envahissent régulièrement l'ancienne vallée car la caldéra est remplie du côté de l'océan et les laves débordent ; il n'y a plus d'érosion et de transport dans ce secteur ; l'accumulation des produits volcaniques modifie seule le relief de l'Enclos.,

- une datation sur des restes d'êtres vivants prélevés au fond du prolongement marin de l'Enclos (le « Ralé-Poussé », voir p 93) donne un âge d'environ 12 000 ans, nettement supérieur au 4 700 ans des cendres de Bellecombe

Ce scénario limite les glissements de flancs aux « Grandes Pentes » cependant, des phénomènes majeurs de démantèlement, plus rares, doivent survenir ; cela expliquerait, entre autres, la disparition quasi-totale du Volcan des Alizés et les déplacements du centre volcanique.

4 - Le risque volcanique

Ce risque d'éruption catastrophique pour La Réunion et l'île Maurice reste encore à quantifier.

Les glissements de la partie orientale de la Fournaise ont construit un haut-fond, au large de la côte est, dont le volume est estimé à 500 km³ (J. F. LENAT et Ph. LABAZUY 1990). Le volume évalué des glissements du Grand Brûlé actuel étant de 60 à 80 km³, cela montre que ce phénomène n'est pas nouveau dans l'histoire de ce massif volcanique.

Les glissements vers la mer produiront des raz de marée et des séismes de forte intensité ; tout notre département sera concerné par les tremblements de terre qui, entre autre, provoqueront des écroulements de falaises ; les tsunamis générés par l'arrivée de grandes quantités de roches glissées en mer pourraient causer des dégâts sur la côte orientale et à Maurice.

L'Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP) et son observatoire du Piton de la Fournaise s'intéressent à ce problème.

Si les mesures de déformations au sommet et sur les flancs du Volcan, ainsi que la surveillance permanente de la sismicité, du magnétisme et du radon ne permettent pas aujourd'hui de prévoir la date d'une telle catastrophe, nous savons qu'un événement d'une telle ampleur ne peut pas se préparer sans signes précurseurs et que ceux-ci seront détectés par les instruments de surveillance de l'Observatoire volcanologique. Il faut également mentionner que ces catastrophes n'ont jamais été observées, ni à La Réunion, ni à Hawaii et se compte sans doute sur une échelle de temps de plusieurs milliers d'années.

Les scénarios proposés pour expliquer l'Enclos associent sa formation aux cendres de Bellecombe. Ces roches grises se retrouvent par place sur la coulée du parking. L'âge de cette dernière, calculé sur un bois carbonisé qu'elle a recouvert, est de 5356 ± 145 ans, ce qui est supérieur à l'âge estimé des cendres, elle a d'ailleurs été recoupée par un des effondrements.

Il faut imaginer le sommet de cette époque dans le prolongement de la Plaine des Sables, sans falaise entre les deux.

Après la dernière éruption paroxysmale qui détruit le cône central, un nouvel équilibre s'instaure et un nouveau Volcan commence à s'élever : le Piton de la Fournaise actuel.

A droite du point de vue, vers le sud, un bâtiment abrite des documents sur le Massif de la Fournaise.

Au centre, une carte en relief permet de resituer l'itinéraire et de « survoler » l'Enclos ainsi que le fond océanique qui le prolonge. Tout le haut-fond situé à l'est de notre île est constitué de matériel démantelé résultant de glissements désastreux.

D'autres zones similaires ont été découvertes autour de La Réunion, d'Hawaii... Ces phénomènes semblent habituels dans le fonctionnement d'un volcan insulaire.

Nous reviendrons sur ce sujet dans le prochain itinéraire géologique qui présentera le Piton de la Fournaise, sa surveillance par l'Observatoire Volcanologique (CNRS - INSU) et les risques majeurs liés à son activité.

Ce qu'il faut retenir de l'arrêt 11 :

Le Piton de la Fournaise est un cône volcanique construit au milieu de l'Enclos. Il résulte principalement de l'accumulation de coulées provenant de magmas issus de réservoirs situés à quelques centaines de mètres sous le sommet ou plus profonds.

Ce centre volcanique est placé au croisement de rift-zones, secteurs où s'injecte préférentiellement le magma.

L'installation répétitive de cheminées finit à la longue par déstabiliser la partie orientale du Volcan, ce qui produit des glissements brutaux vers la mer avec séismes et raz de marée.

Pour certains scientifiques, ces écroulements provoquent des explosions paroxysmales et finalement créent seuls la dépression de l'Enclos. Pour d'autres, plusieurs phénomènes d'effondrements centraux (caldéras), liés à la vidange, sur les fonds marins, de grandes chambres magmatiques et accompagnés d'explosions, expliquent la forme actuelle de l'Enclos Fouqué.

L'activité actuelle de la Fournaise, essentiellement effusive depuis trois siècles, est suivie par l'Observatoire Volcanologique, centre de prévision des éruptions et de recherches sur le volcanisme.

ANNEXES

SOMMAIRE DES ANNEXES

A - Exploitation de la sortie à l'école primaire	p54
B - Exploitation de la sortie au collège	p56
C - Exploitation de la sortie au lycée	p58
D - Documents à compléter ou à exploiter :	p60
D 1 : Vue du début de la route du Volcan La Riv. des Remparts est guidée par une structure tectonique Limites possibles des accidents de la RR et du Morne Langevin	p60
D 2 : Vue du Nez de Bœuf	p61
D 3 : Vue sur le Piton des Neiges et la Plaine des Cafres	p62
D 4 : Coupe décrivant une éruption volcanique Coupe montrant la 2 nd e phase de l'éruption du Commerson	p63
D 5 : Les 3 phases de l'éruption du Commerson, dessins de Michel SICRE	p65
D 6 : Vue sur la Plaine des Sables	p69
D 7 : La petite carrière, superposition et éruption hydromagmatique	p70
D 8 : Vue du Pas de Bellecombe	p71
E - Un exemple d'exploitation de sortie, par Alain BARRERE	p72
F - Les datations au carbone 14	p81
G - Lexique	p82
H - Bibliographie	p85
I - Article de Patrick BACHELERY (1995) sur la structure du Piton de la Fournaise	p86
J - Carte batymétrique de la zone orientale du Massif de la Fournaise	p93
K - Carte géologique du Massif de la Fournaise et coupe	p94

Annexe A : Exploitation de la sortie à l'école primaire

Le programme du CM suggère deux études en géologie : les séismes et les volcans, agents de risques majeurs naturels. Le premier point peut être abordé par l'étude d'articles de journaux relatant un tremblement de terre meurtrier (les archiver !) et il serait dommage, à La Réunion, de ne pas travailler le second sujet et de ne pas en profiter pour faire une sortie-découverte.

Si les moyens financiers ne sont pas au rendez-vous, il est possible d'observer, dans sa commune, un piton (ancien volcan) et une coulée de lave ; il y en a partout. Cependant une excursion, centrée sur le Piton de la Fournaise, avec documents à compléter, échantillonnage, compte-rendu, photos ... aura davantage d'impact. La visite d'un affleurement proche de l'école, permettra ensuite de réinvestir les acquis.

Un premier itinéraire géologique «Le Tremblet, découverte de l'activité du Piton de la Fournaise» a été édité par le Conseil Général et distribué dans tous les établissements scolaires en 1992.

Le présent ouvrage décrit la géologie observable à partir de la Route du Volcan ; il correspond à l'état actuel des connaissances (2005) sur la Fournaise hors Enclos, il est donc largement au-delà des programmes du premier et second degré.

Nous suggérons une visite préalable de l'itinéraire entre collègues puis de se limiter, avec les élèves, aux points suivants :

Arrêt 1 : Vue sur la Fournaise ancienne

- géographie : présentation des 2 massifs volcaniques,
- le Piton Dugain, un exemple de volcan excentrique.

Arrêt 3 : Point de vue sur la Rivière des Remparts

- géographie : schéma à compléter avec les noms essentiels (annexe D2),
- âge de la Rivière des Remparts --> l'érosion,
- l'éboulement de Mahavel, érosion et risque géologique,
- la coulée du Commerson.

Arrêt 4 : Vue sur le Massif du Piton des Neiges

- géographie : schéma à compléter (annexe D3),
- le Piton des Neiges :
 - la forme de volcan en bouclier,
 - son âge,
 - les cirques et le Bras de la Plaine (l'érosion),
- la Plaine des Cafres :
 - le relief de planèze, relief jeune (**construction**),
 - les volcans excentriques --> le risque volcanique.

Arrêt 5 ou carrière du Piton Lacroix : Les projections volcaniques

- collecter des échantillons,
- les projections --> une éruption (schéma à compléter, annexe D4).

Arrêt 7 : Le cratère Commerson

- étude du panneau ONF (les 3 phases de l'éruption + annexe D5),
- le cratère principal : l'éruption hydromagmatique,
- retour sur le panneau ONF,
- recherche de cristaux sur la coulée pahoehoe à l'est de la route.

Carrière dans le Piton Lacroix (à la place de l'arrêt 5) : cet affleurement, facilement accessible, à l'extérieur de la route, permet aussi de découvrir les projections et une coulée de lave pahoehoe.

Arrêt 8 : Vue sur la Plaine des Sables

- géographie : schéma à compléter (annexe D6),
- âge relatif des trois pitons.

Arrêt 9 : Le PK 20

Rq : Attention de ne pas trop en dire sur «l'effondrement» («caldéra») de la Plaine des Sables, il est complexe (65 --> 40 ka),

- les projections du **Chisny** : échantillonner des cumulats d'olivine --> «les cristaux visibles grandissent lentement dans une chambre magmatique»,
- le risque volcanique de coulée dans une grande rivière (Rivière de l'Est en particulier) : travail sur la carte en relief

Arrêt 10 : La petite carrière

- n'échantillonner **les cendres volcaniques** que dans les éboulis,
- le Volcan a de temps en temps des éruptions violentes, avec un risque millénaire,
- une coulée en gratons, vue de dessus et en coupe,
- géochronologie relative : étude des affleurements (schémas à réaliser ou compléter, annexe D7) et histoire de ce secteur,
- recherche de minéraux (olivine et pyroxène) dans le creux du Demi Piton.

Arrêt 11 : Le Pas de Bellecombe

- géographie : schéma à compléter (annexe D8),
- visite du bâtiment où sont exposées des cartes intéressantes, y resituer l'itinéraire et les arrêts.

Chaque arrêt nécessite une prise de notes ou la construction de phrases par les enfants ; une certaine maîtrise de la langue pourra être obtenue en passant de l'observation à la phrase du compte-rendu.

La géographie régionale étant aussi un point fort de cet itinéraire, l'exploitation en classe de la sortie amènera des avancées dans plusieurs disciplines.

Nous insistons sur le fait que l'enseignant doit étudier la Route du Volcan avant les élèves pour limiter le discours et les points d'intérêt. La liste ci-dessus est trop longue et il faut que les enfants échantillonnent ; les arrêts 7 et 10 par exemple, ne sont pas indispensables (sauf pour la recherche de minéraux).

Les mois les plus ensoleillés sont octobre, novembre et juin. Le choix d'une de ces périodes limite le risque de brouillard dense où seule l'étude des affleurements au bord de la route est réalisable.

Une visite à la Maison du Volcan (prendre rendez-vous) peut précéder ou suivre l'excursion ; cependant, il n'est guère possible d'effectuer les deux sorties le même jour, par manque de temps.

Annexe B : Exploitation de la sortie au collège

Le programme de géologie en 5ème et en 4ème est vaste et le temps disponible réduit, cependant la géologie ne saurait être étudiée sans des sorties sur le terrain ...

En relation avec ce nouveau programme, le service pédagogique de la MAISON DU VOLCAN propose une classe de terrain sur la région : ils pourront découvrir et exploiter les méthodes de la géologie de terrain, utiliser les ressources muséographiques et bibliographiques de la Maison du Volcan (voir p 58).

Pour tout renseignement ou réservation, il faut contacter le service pédagogique de la Maison du Volcan. Tél : 02 62 59 00 26 ; fax : 02 62 59 16 71

Si vous ne passez pas par ce musée, il est possible d'utiliser ce fascicule. Il décrit la géologie observable à partir de la Route du Volcan mais comme il est largement au-delà des programmes du second degré, nous suggérons de se limiter, avec les élèves, aux points suivants :

Arrêt 1 : Vue sur la Fournaise ancienne

- géographie : présentation des 2 massifs volcaniques,
- les pentes de la Fournaise ancienne (schéma à compléter, annexe D1)
- le Piton Dugain, un exemple de volcan excentrique.

Arrêt 3 : Point de vue sur la Rivière des Remparts

- géographie : schéma à compléter avec les noms essentiels (annexe D2),
- la Riv des Remparts est perpendiculaire à la pente de la Fournaise ancienne
--> l'accident de la RR il y a environ 300 ka (fig 3b, annexes D1 et F)
- le creusement actuel de la RR et l'instabilité des falaises : l'érosion,
- la coulée du Commerson : le risque volcanique.

Arrêt 4 : Vue sur le Massif du Piton des Neiges

- géographie : schéma à compléter (annexe D3),
- le Piton des Neiges :
 - la forme de volcan en bouclier,
 - son âge,
 - les cirques et le Bras de la Plaine (l'érosion),
- la Plaine des Cafres :
 - le relief de planèze, relief jeune (construction),
 - les volcans excentriques --> le risque volcanique.

Arrêt 5 : Les projections volcaniques (voir annexe E)

- collecter des échantillons,
- les projections meubles et soudées, nomenclature, aspect ...
----> une éruption (schéma à compléter).

Arrêt 7 : Le cratère Commerson

- étude du panneau ONF (les 3 phases de l'éruption, annexe D5),
- le cratère principal :
 - l'éruption hydromagmatique,
 - les projections soudées et le lac de lave,
- retour sur le panneau ONF,
- recherche de cristaux sur la coulée pahoehoe à l'est de la route.

Arrêt 8 : Vue sur la Plaine des Sables

- géographie : schéma à compléter (annexe D6),
- exercice de l'annexe E,
- âge relatif des trois pitons.

Arrêt 9 : Le PK 20

- le Plateau des Basaltes : la Plaine des Sables s'est effondrée en plusieurs fois entre 65 et 40 ka (annexe E, p78),
- les projections du Chisny : échantillonner des cumulats d'olivine --> «les cristaux visibles grandissent lentement dans une chambre magmatique»,
- la coulée pahoehoe,
- les monolithes du Chisny : reconnaissance et mise en place (circuler entre les blocs et observer le piton entaillé par la route),
- le risque volcanique de coulée dans une grande rivière (Rivière de l'Est en particulier) : travail sur la carte en relief

Arrêt 10 : La petite carrière

- n'échantillonner les cendres volcaniques que dans les éboulis,
- observer les cendres + coupe rapide ---> le Volcan a de temps en temps des éruptions violentes, liées à la formation de l'Enclos,
- une coulée en gratons, vue de dessus et en coupe,
- géochronologie relative : étude des affleurements (schémas à réaliser ou compléter l'annexe D7) et histoire de ce secteur,
- recherche de minéraux (olivine et pyroxène) dans le creux du Demi Piton.

Arrêt 11 : Le Pas de Bellecombe

- géographie : schéma à compléter (annexe D8),
- visite du bâtiment présentant quelques cartes où on pourra resituer :
 - l'itinéraire et les arrêts,
 - les rift-zones
 - les glissements dans l'Enclos,

Il est souhaitable de préparer un livret d'excursion avec l'itinéraire, documents, schémas à compléter ou à réaliser et questions.

Les élèves de quatrième sont encore assez lents, n'en faites pas trop et surtout tester l'excursion et le livret avec des collègues.

Les mois les plus ensoleillés sont octobre, novembre et juin. Le choix d'une de ces périodes limite le risque de brouillard dense où seule l'étude des affleurements au bord de la route est réalisable.

Annexe C : Exploitation de la sortie au lycée

En première S, une classe de terrain d'une demi journée est prévue au programme de SVT (rentrée 2001).

En relation avec ce nouveau programme de 1ereS, le service pédagogique de la MAISON DU VOLCAN propose une classe de terrain sur la région du Volcan : pendant une semaine ou quelques jours, les élèves sont accueillis en pension complète à la Plaine des Cafres et suivent des activités pédagogiques sur la Route du Volcan, dans la Plaine des Sables, à la Maison du Volcan et éventuellement dans l'Enclos Fouqué.

Ils pourront découvrir et exploiter les méthodes de la géologie de terrain, utiliser les ressources muséographiques et bibliographiques de la Maison du Volcan.

Pour tout renseignement ou réservation, il faut contacter le service pédagogique de la Maison du Volcan. Tél : 02 62 59 00 26 ; fax : 02 62 59 16 71

Si vous ne passez pas par ce muséum, il est possible de réaliser une journée (entière) de terrain de deux manières :

- exploiter la plupart des arrêts (ne pas traîner !),
- se limiter à la Plaine des Sables et reconstruire son histoire.

a - Utiliser la plupart des arrêts

L'itinéraire géologique, proposé dans ce fascicule, présente des notions étudiées en première et terminale S :

- niveau première S :
 - les anomalies magnétiques : approcher une boussole de la surface d'une coulée et mesurer la déviation (jusqu'à 70° sur la Pl. des Remparts, arrêt 8),
 - des roches profondes donnent des indications sur l'histoire locale : les cumulats du Chisny, arrêt 9,
 - la croûte océanique, basaltes et gabbros : recherche de gabbros dans les cendres de Bellecombe, arrêt 10 ; étude de qq basaltes ;
- niveau terminale S :
 - principe de superposition : arrêts 6 et 10
 - principe d'inclusion : cumulat dans une bombe, arrêt 9,
 - métamorphisme : sol argileux cuit par une coulée, arrêt 10,
 - reconstituer l'histoire d'une région : arrêt 10, 6 ou 3,
 - la crise KT : les cendres volcaniques, arrêt 10.

En suivant l'itinéraire, cela donne :

Arrêt 1 : les pentes de la Fournaise ancienne (utile pour l'arrêt 3)

Arrêt 3 : l'histoire complexe de la Riv. des Remparts (difficile !) avec fig 3a, b, f et g ;
(il faudra être directif et bien connaître le plan du discours !)

Arrêt 4 : la construction de la Plaine des Cafres, l'érosion du Piton des Neiges.

Arrêt 5 : les projections ; une éruption = arrivée du magma en surface.

Arrêt 6 : le principe de superposition, reconstitution de l'histoire de la tête de vallée : construction, accidents tectoniques, érosion... Il est souhaitable d'ignorer la discordance d1, peu visible du point de vue.

Arrêt 7 : reconstitution de l'histoire d'une éruption.

Arrêt 8 : admirons un paysage.

Arrêt 9 : l'histoire de la Plaine des Sables, des effondrements multiples, les cumulats remontés par le magma du Chisny.

Arrêt 10 : les cendres de Bellecombe, dynamisme éruptif, mise en place. Pour observer leur surface, il faut marcher jusqu'au cœur du Demi Piton ; on trouvera alors des gabbros ; le principe de superposition et l'histoire de ce secteur ; un sol cuit sous une coulée en gratons .

Arrêt 11 : le dernier accident géologique du Piton de la Fournaise.

b - Reconstitution de l'histoire de la Plaine des Sables

(utiliser les annexes D6, D7, p 78)

Arrêt 8 : le paysage (chronologie relative des 3 pitons) ;
les laves du Piton Germeuil (superposition, âges relatifs) ;
les coulées de laves recoupées par la falaise (nature, aspect, âge...)

Arrêt 9 : le Rempart des Sables et le Plateau des Basaltes (caldéra complexe avec au moins deux effondrements, âges, activité continue du Massif de la Fournaise, comblement à l'intérieur, érosion à l'extérieur...) ;
le Piton Chisny (projections, coulées, démolition, âge...) ;
les cumulats (la Fournaise ancienne, une roche grenue...) ;
le Demi-Piton...

Arrêt 10 : le Petit Piton, la coulée aa d'océanite, les cendres de Bellecombe...

Arrêt 11 : l'Enclos et la Fournaise actuelle...

Reconstituer l'histoire, avec une narration ordonnée et intégrant des schémas, n'est pas facile pour les élèves. Au lycée, il faut reprendre les notes et réaliser une frise chronologique (400 ka à l'actuel) où seront placés tous les événements de l'histoire dans un ordre logique. Un compte-rendu peut être demandé ensuite.

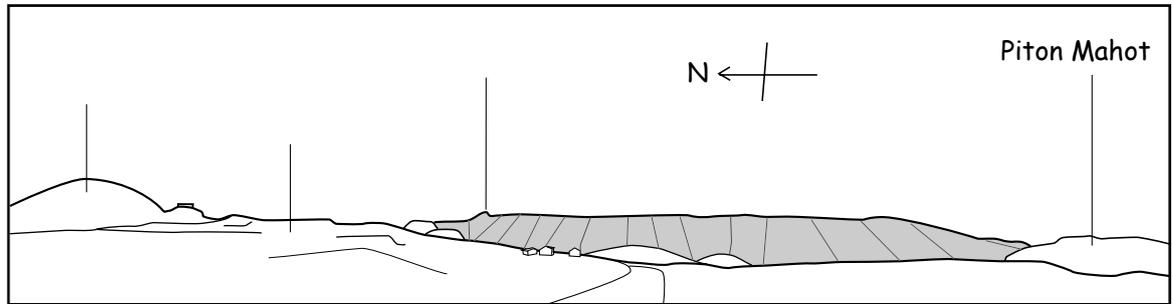
Remarques :

Il faut bien gérer son temps pour terminer au Pas de Bellecombe à temps.

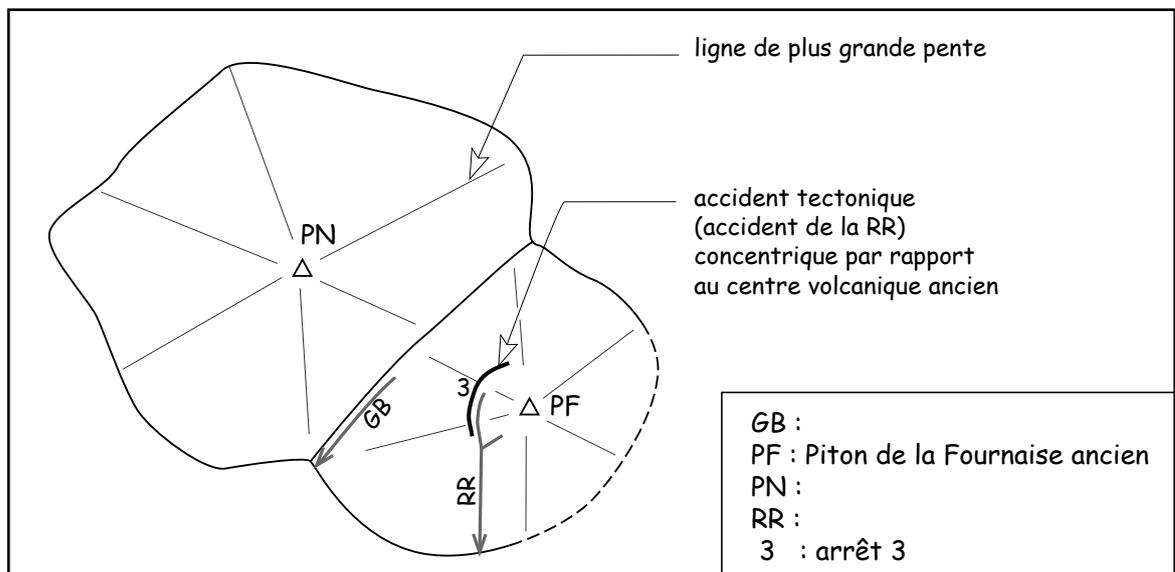
Il est souhaitable de préparer un livret d'excursion avec l'itinéraire, documents, schémas à compléter ou à réaliser, questions... et surtout tester l'excursion et le livret.

Les mois les plus ensoleillés sont octobre, novembre et juin. Le choix d'une de ces périodes limite le risque de brouillard où seule l'étude des affleurements au bord de la route est réalisable.

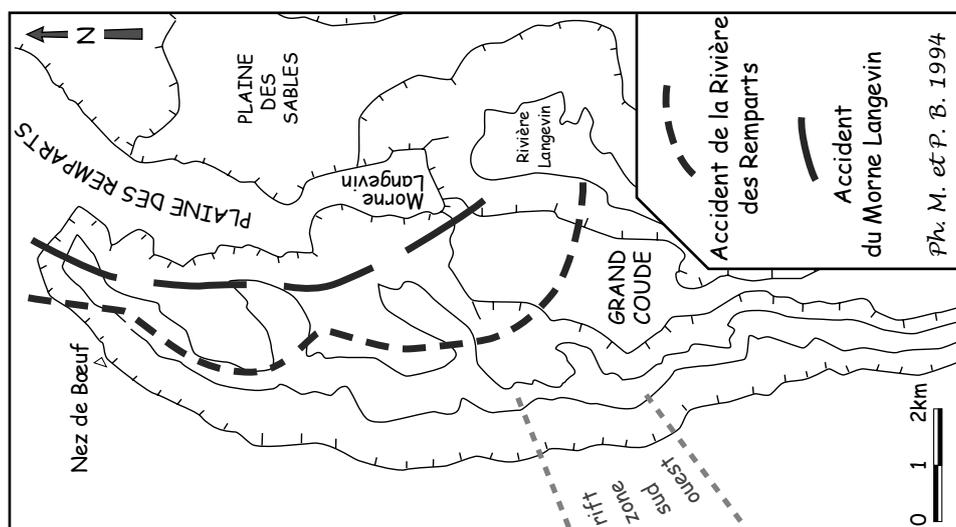
Annexe D 1



Début de la Route du Volcan : croquis d'observation

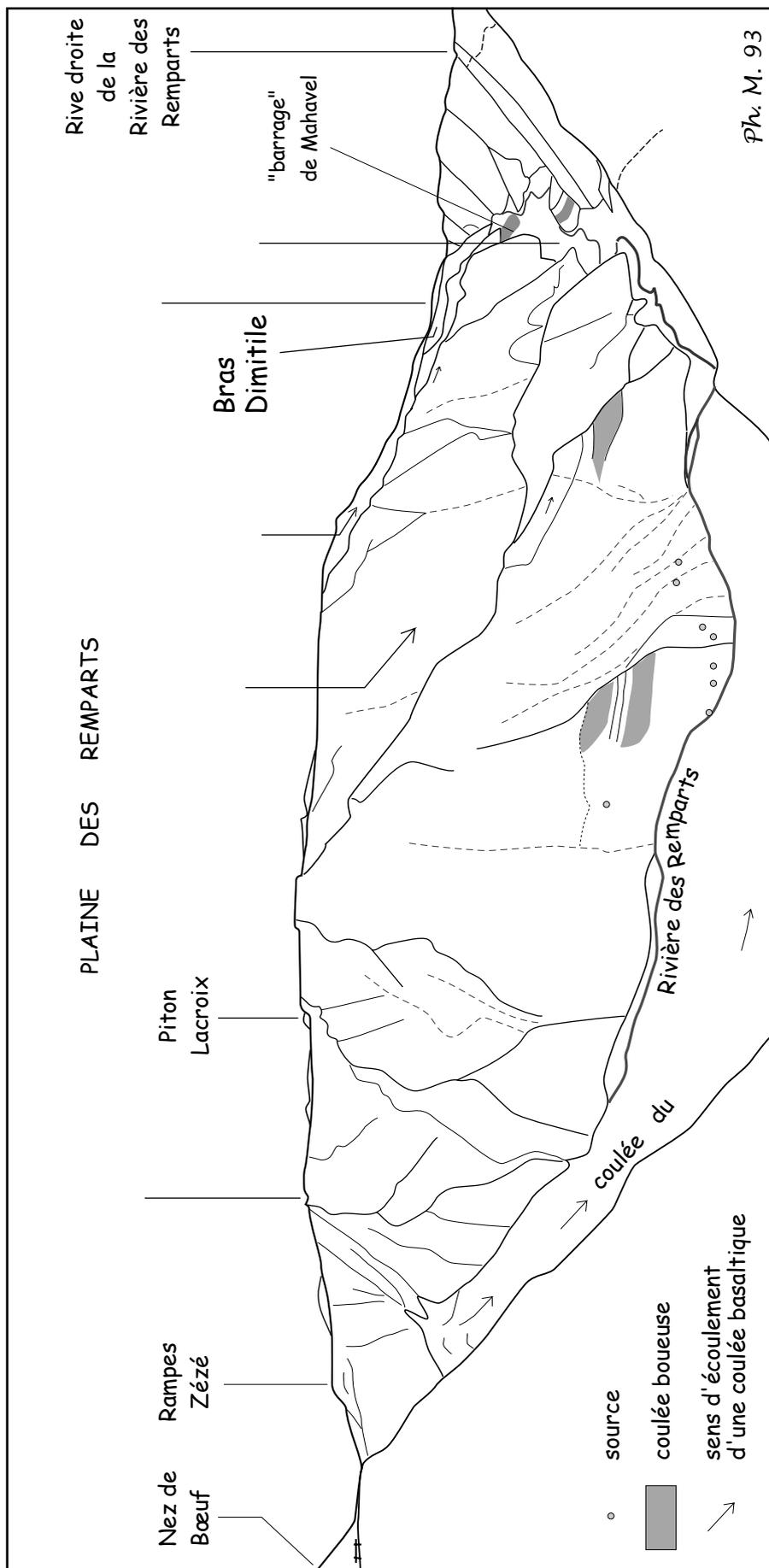


La Rivière des Remparts a été guidée par une structure tectonique



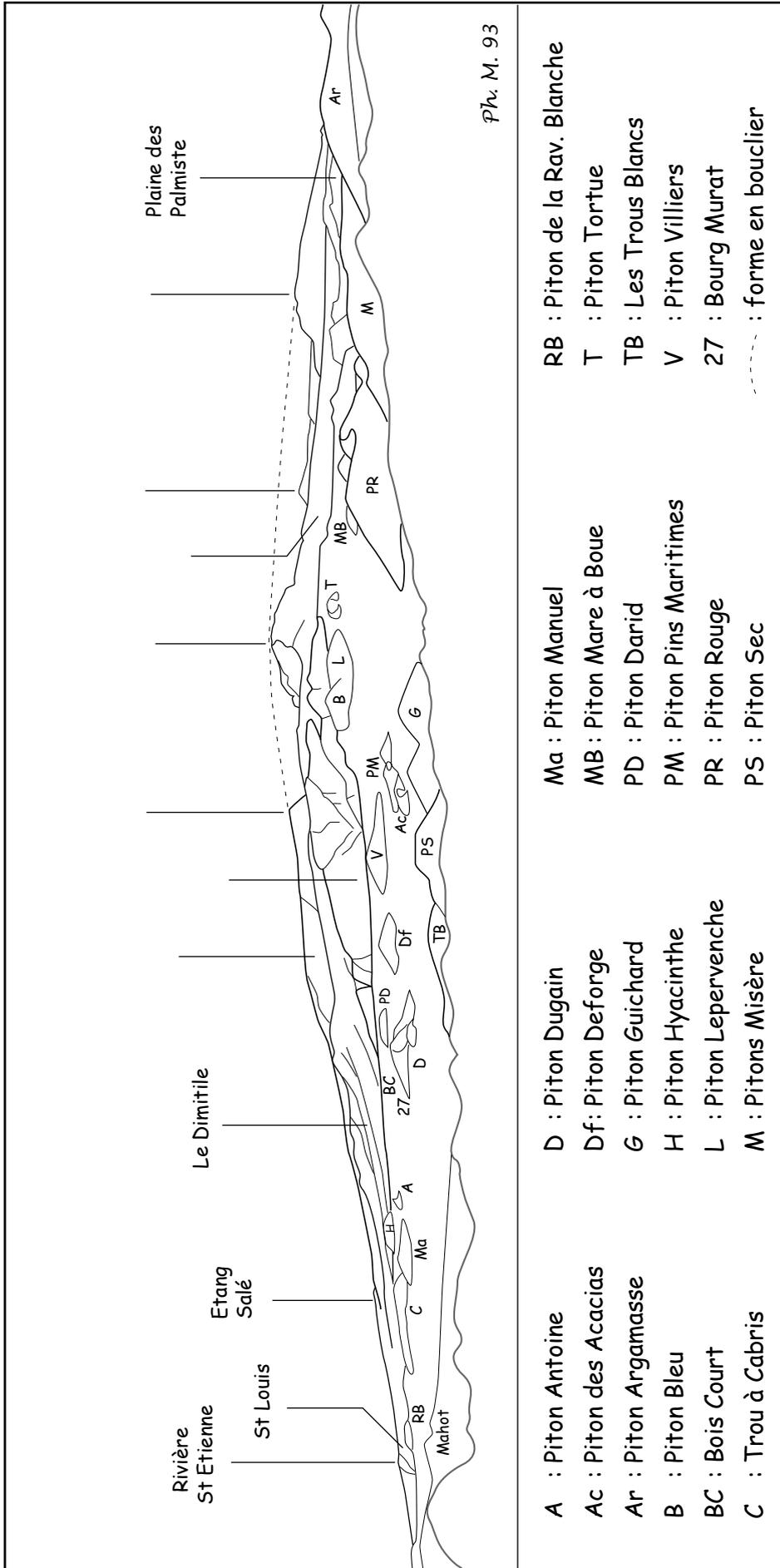
Limites occidentales possibles des accidents de la Riv. des Remparts et du Morne Langevin

Annexe D 2



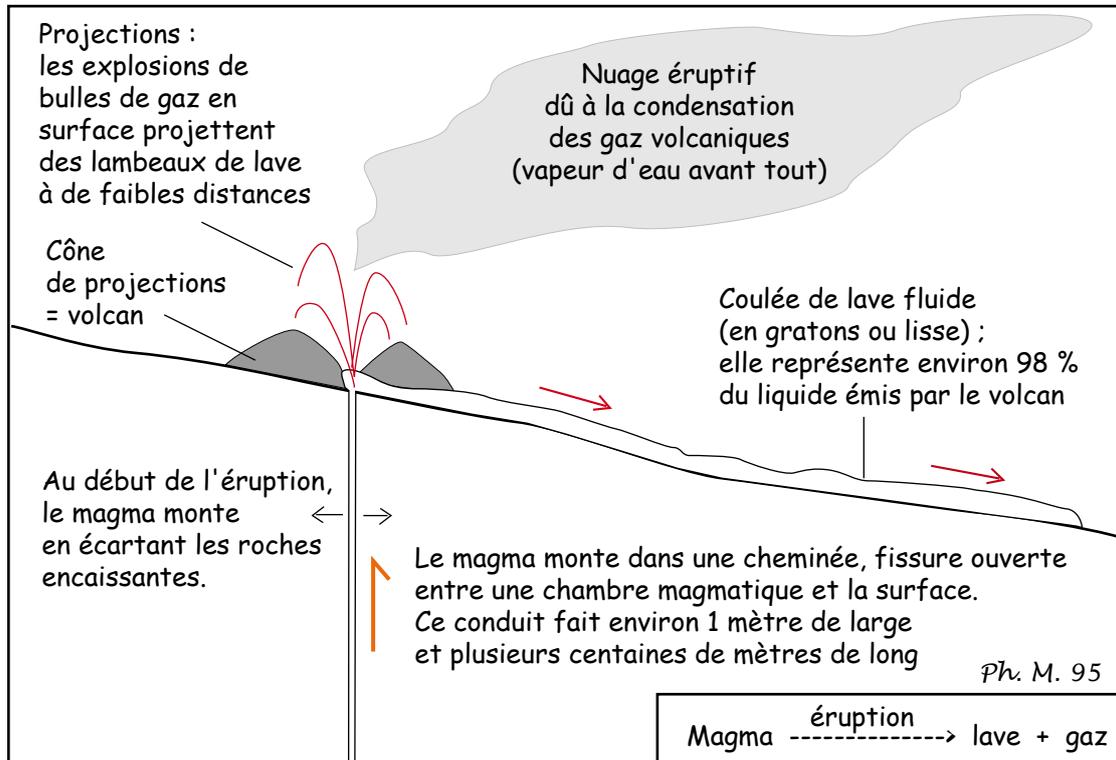
Vue du Nez de Bœuf, croquis d'observation

Annexe D 3

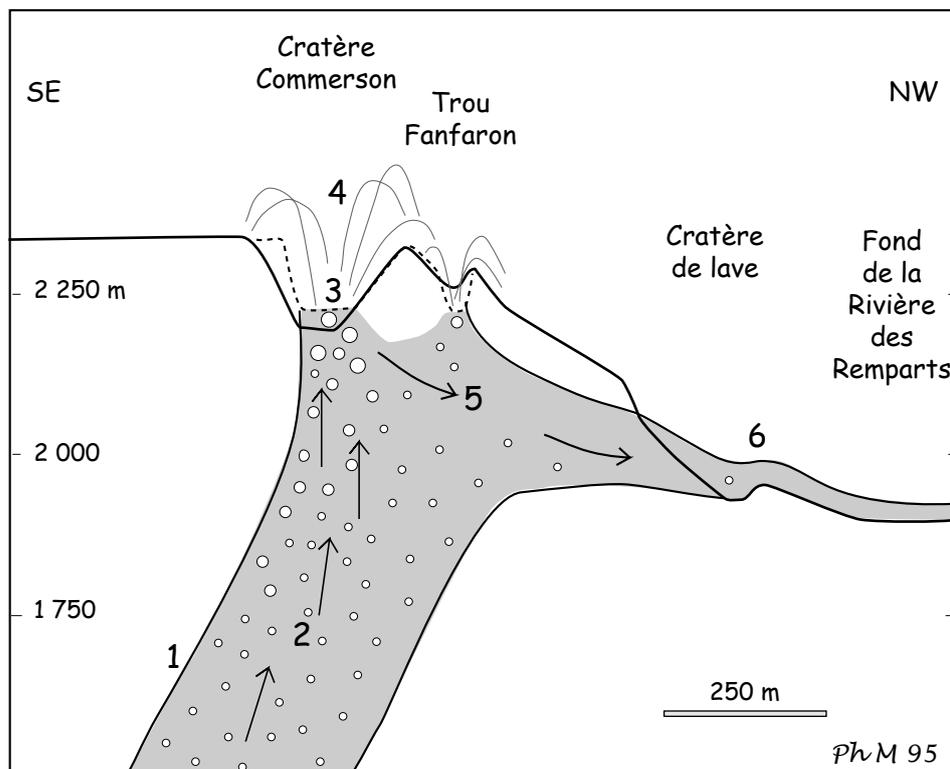


Paysage vu du Nez de Bœuf, vers l'ouest ; croquis d'observation

Annexe D 4



Coupe décrivant une éruption volcanique de type effusif



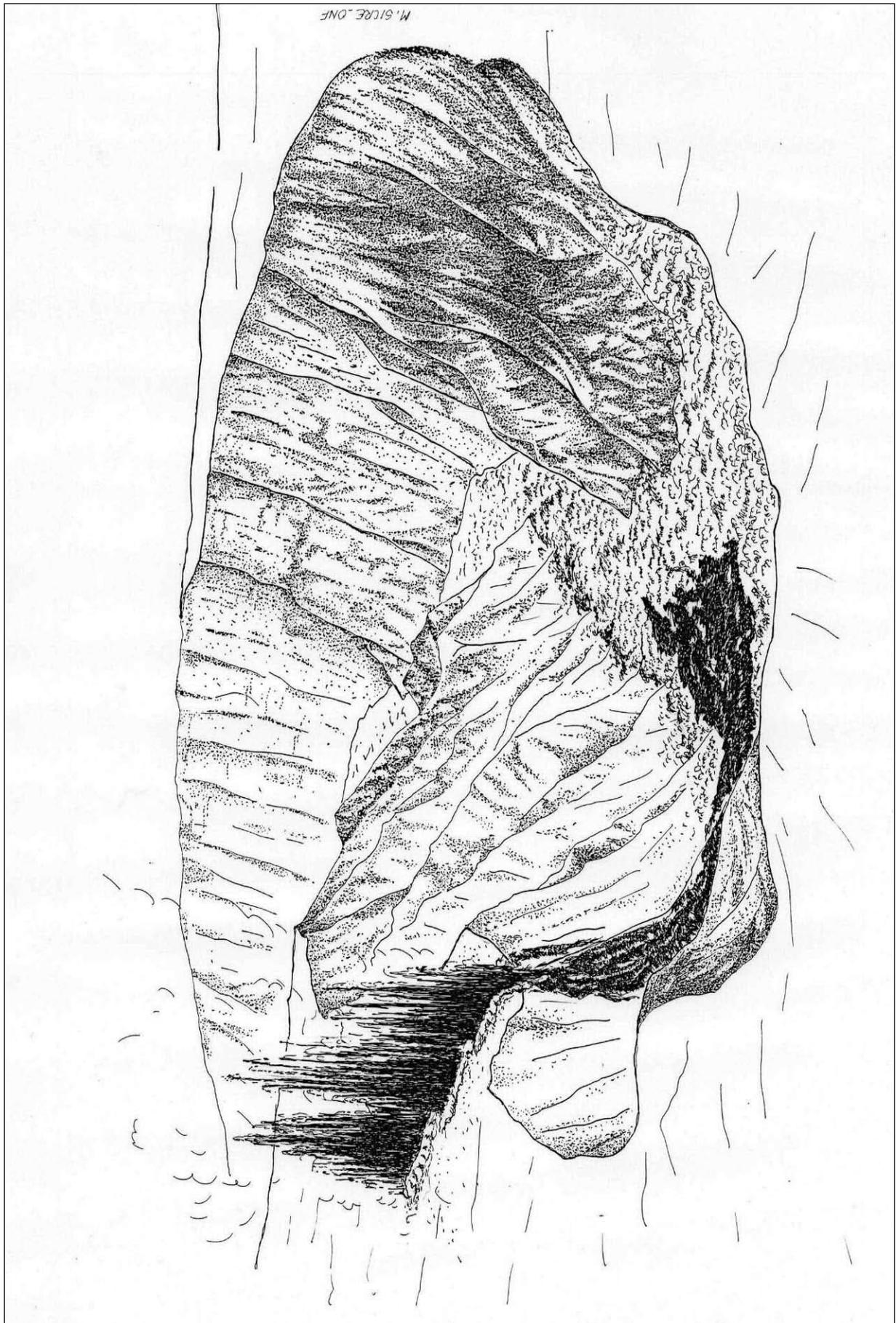
- 1 : cheminée principale (environ 2 m de large et qq centaines de mètres de long)
- 2 : montée de magma avec de nombreuses bulles de gaz
- 3 : lac de lave où se dégage le magma
- 4 : l'explosion des bulles de gaz projette des lambeaux de lave (projections)
- 5 : le magma dégazé, plus dense, redescend dans la partie ouest de la fissure
- 6 : sortie de la lave ; la coulée est de type pahoehoe

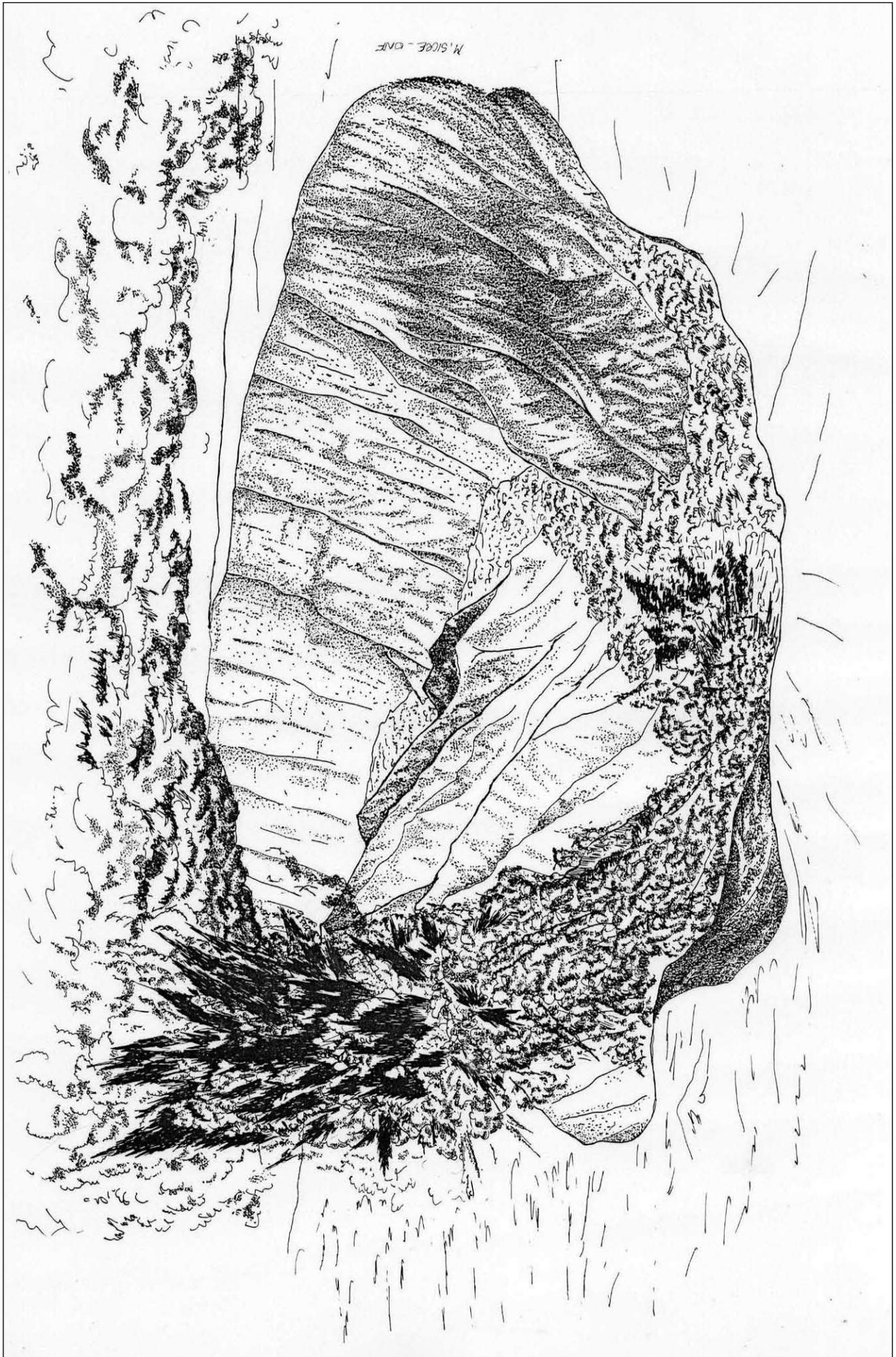
Coupe hypothétique montrant le trajet du magma pendant la seconde partie de l'éruption du Commerson (la coupe a été réalisée le long de la fissure éruptive)

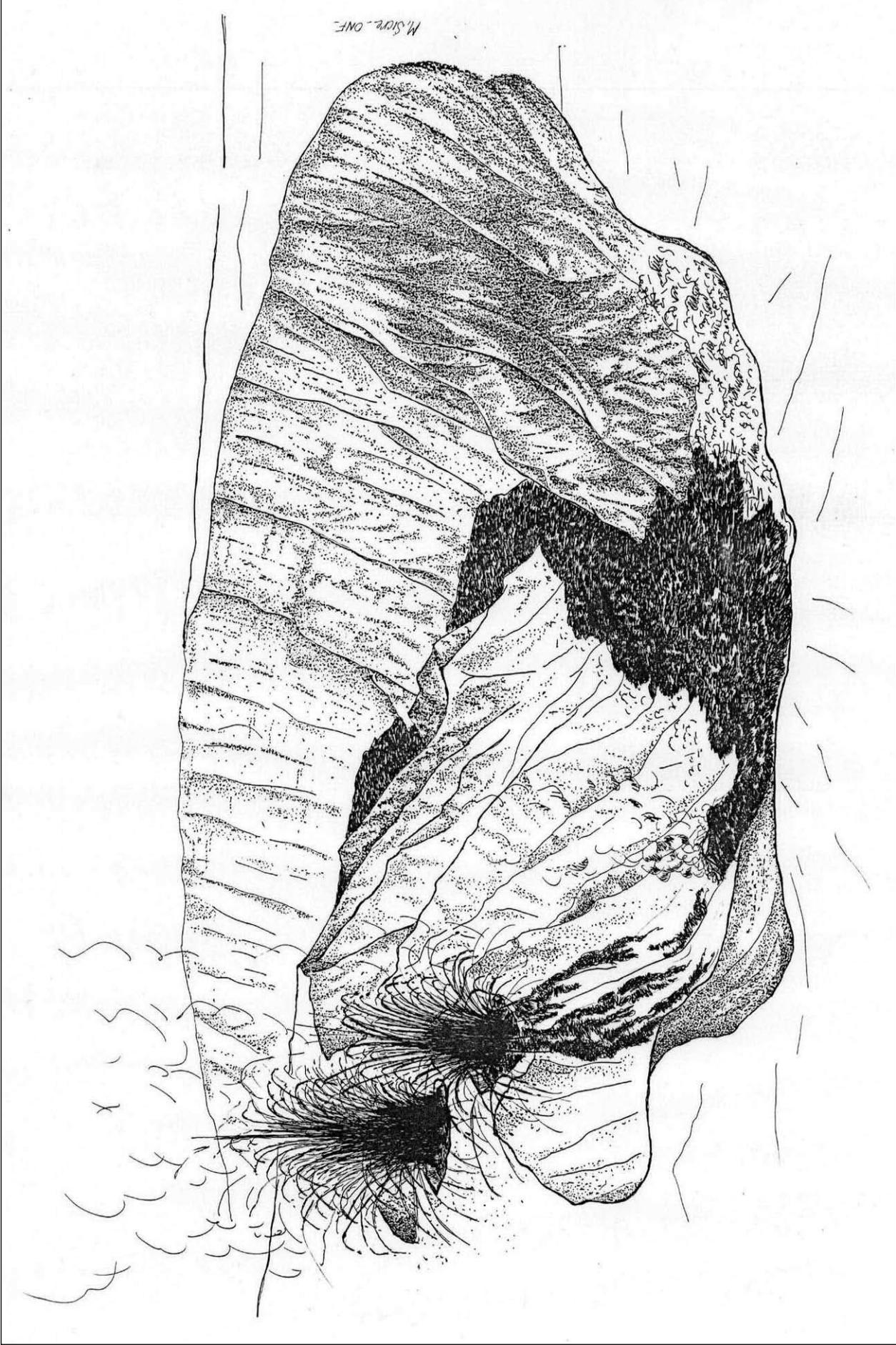
Annexes D5

Les trois phases de l'éruption du Commerson

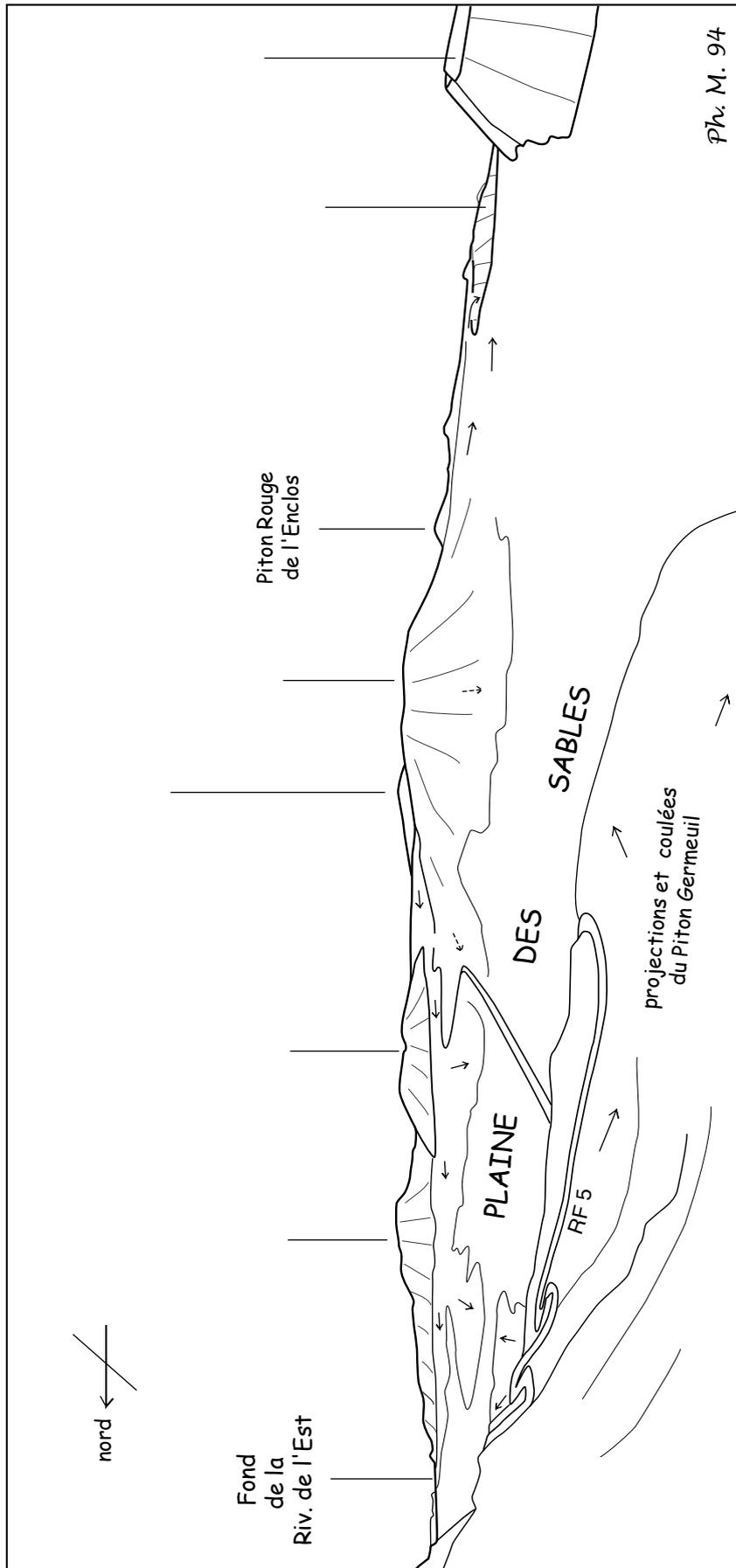
Dessins de Michel SICRE (ONF)







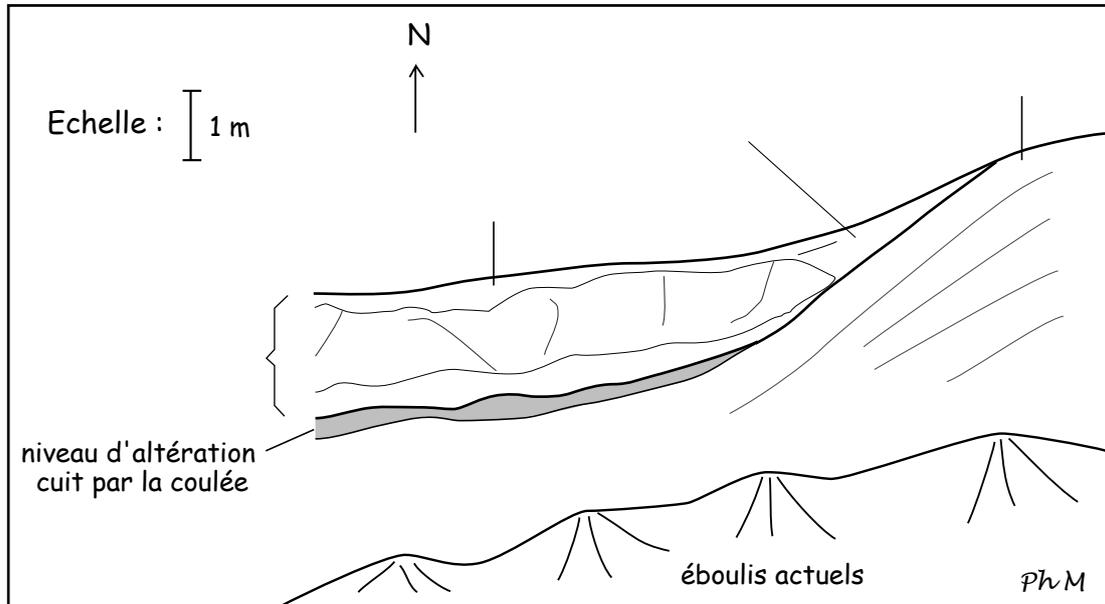
Annexe D 6



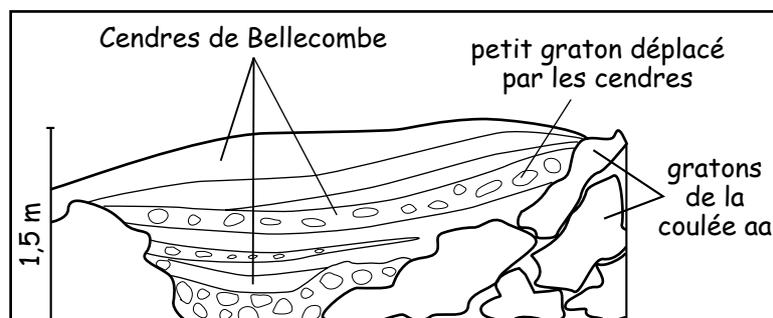
Croquis du paysage observé d'en haut du Rempart des Sables

→ sens d'écoulement des laves

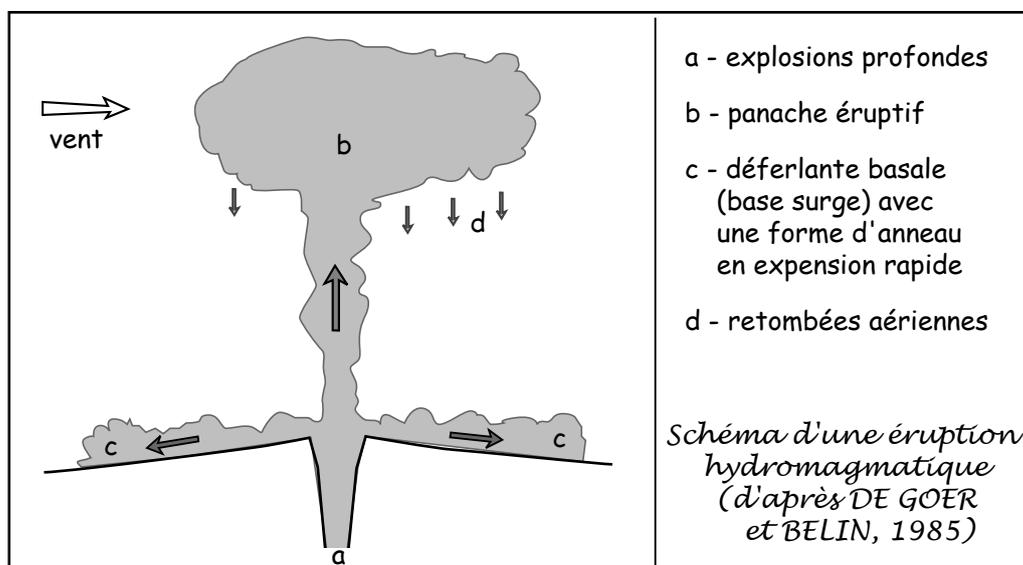
Annexe D 7



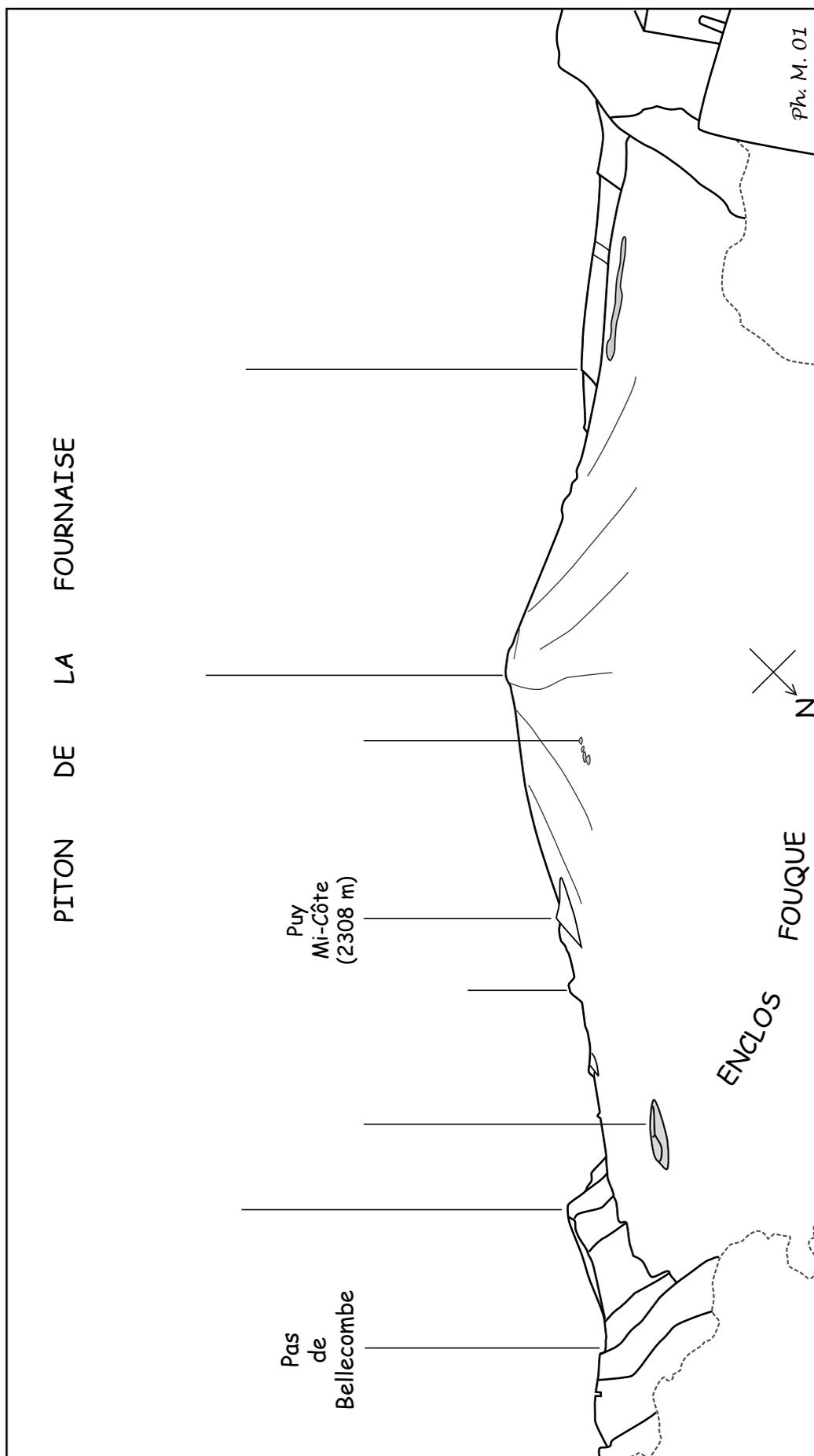
Contact coulée aa / Piton à feldspaths



Contact coulée aa / cendres de Bellecombe



Annexe D 8



Croquis du paysage vu du Pas de Bellecombe (parking)

Annexes E

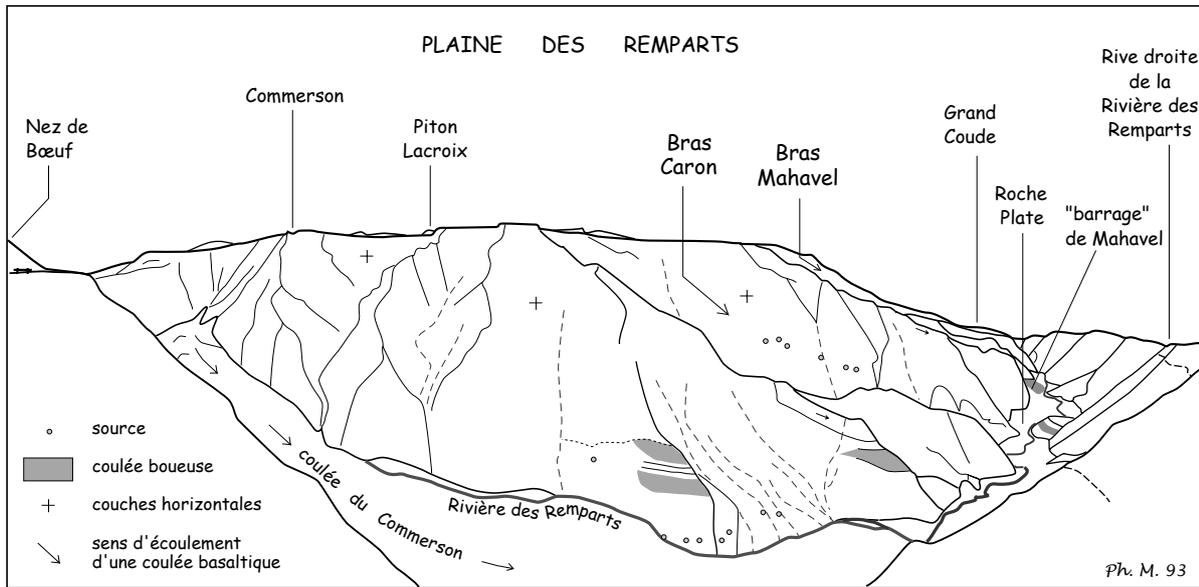
**Un exemple d'exploitation de la sortie
en quatrième**

*Alain BARRERE
Lycée Stella
Service pédagogique de la Maison du Volcan*

Arrêt 1 : Point de vue sur la Rivière des Remparts

Activité 1 : Se repérer sur la carte (fig «Itinéraire» sans les numéros des arrêts)
(écrire le numéro correspondant)

- A l'aide du croquis ci-dessous, repérer la Rivière des Remparts
- repérer Roche Plate
- repérer Grand Coude
- repérer le barrage de Mahavel
- repérer le Cratère Commerson
- repérer la coulée du Commerson.



Vue du Nez de Bœuf, croquis d'observation

Activité 2 : En imaginant que la Rivière des Remparts n'existe pas (les 2 rives sont en continuité), trouvez la direction de la pente naturelle de ce secteur :

Rayez la phrase fausse :

- La Riv. des Remparts suit la pente naturelle du secteur
- La Riv. des Remparts ne suit pas la pente naturelle du secteur

Le problème géologique à résoudre est :

En réfléchissant et en vous aidant du matériel mis à votre disposition (bouteille d'eau, 2 planchettes), trouvez la solution à ce problème géologique :

Activité 3 : Complétez ce texte :

L'activité du cratère Commerson a eu lieu il y a ans.
 Sa coulée a descendu la avant d'arriver à la mer.
 Le risque volcanique de la zone est qu'une autre..... ait lieu et qu'une
descende jusqu'à Saint Joseph.

Arrêt 2 : le Piton Lacroix

Activité 4 : Se repérer sur la carte

Définition d'un affleurement :

.....

.....

Etude d'un affleurement :

- 1 - Repérer l'affleurement sur une carte.
- 2 - Observer de loin, décrire l'ensemble des formations géologiques : premières hypothèses sur la mise en place des formations.
- 3 - Se rapprocher de l'affleurement pour reconnaître les roches et les échantillonner.
- 4 - Se reculer à nouveau en trouvant de meilleurs points d'observation qui permettent de voir les formations et les contacts entre elles ; ces contacts donnent une chronologie relative grâce au principe de superposition.
- 5 - Faire un schéma d'observation et des photographies.

Étudiez l'excavation de la carrière

Après avoir dessiné l'affleurement, rapprochez-vous, reconnaissez et échantillonner les différents types de projections grâce au tableau ci-dessous :

Taille des éléments	de 0 à 2 mm	de 2 mm à 64 mm	+ de 64 mm, arrondis	+ de 64 mm, anguleux
Nom des projections	cedres	lapilli	bombes	blocs

Echantillon 1 :

Echantillon 2 :

Echantillon 3 :

Complétez les phrases suivantes :

Le Piton Lacroix est un..... de.....

Il est formé par l'accumulation de....., de..... et de

Tous les pitons de La Réunion sont des de..... ; ils correspondent chacun à une

Activité 5 (dans l'excavation la plus éloignée de la route forestière) :

Après avoir observé et décrit ce nouvel affleurement, complétez ce texte :

A l'intérieur du Piton Lacroix, on trouve une formation..... plus que les projections qui l'entourent. C'est un endroit où le magma s'est..... vers la surface, c'est une.....

Arrêt 3 : Le point de vue sur la Plaine des Sables

Activité 6 : Se repérer sur la carte

Repérez :

- la route forestière 5 (RF 5)
- le Piton de la Fournaise, à l'arrière plan
- le Piton Chisny
- le Demi Piton
- le Piton du Cirque
- le cassé de la Rivière Langevin
- le cassé de la Rivière de l'Est

Complétez le croquis du paysage de la Plaine des Sables (annexe D 6)

Activité 7 : Chronologie relative grâce à la végétation

Coloriez les trois pitons de la Plaine des Sables en fonction de la végétation qui les recouvre (en vert si la végétation est bien visible, en gris si la végétation est peu visible ou claire, laissez en blanc s'il n'y a pas de végétation).

Complétez ce texte :

Le piton le plus ancien est

Le piton le plus récent est

Le piton d'âge intermédiaire est

Activité 8 : Les produits volcaniques

Faites la liste des produits volcaniques (émis pendant les éruptions dans la Plaine des Sables) que vous pouvez identifier depuis le point de vue.

.....

.....

.....

.....

Activité 9 : Le risque volcanique

Quel endroit de la Plaine des Sables met en évidence l'existence d'un risque volcanique ? Résumez ce risque en une phrase.

L'endroit :

Le risque :

.....

N'y a-t-il pas un autre endroit ?

.....

Arrêt 4 : la Plaine des Sables

Activité 10 : Se repérer sur la carte

Quels sont les produits émis lors de l'éruption du Piton Chisny ?

.....
.....

Qu'est ce qui a été émis en plus grosse quantité ?

.....
.....

Complétez ce texte :

Un volcanisme effusif est caractérisé par des éruptions riches en et assez pauvre en
La lave, en se refroidissant donne une roche appelée

Activité 11 : L'histoire du Plateau des Basaltes

Repérer le plateau accolé au Rempart des Sables.

Le colorier en marron sur le document «Le Plateau des Basaltes».

A partir de la situation initiale (le Rempart des Sables n'existe pas encore) et la situation actuelle, essayez de reconstituer l'histoire géologique de ce secteur en classant les schémas proposés dans le document «Coupes montrant l'évolution de la Plaine des Sables depuis 70 ka».

NB : Entre 70 000 ans et aujourd'hui, il y eu au moins deux effondrements de la Plaine des Sables, limités par une falaise, qui ont arrêté les laves provenant de la zone centrale du Volcan.

Travail à la maison : coller les schémas dans l'ordre sur une feuille.

Activité 12 : Les cumulats d'olivine

Allez sur les pentes du Chisny et cherchez des projections anguleuses denses. Ce sont des roches formées entièrement de cristaux d'olivine de couleur jaune-vert (ou rouge) ; on les appelle des dunités.

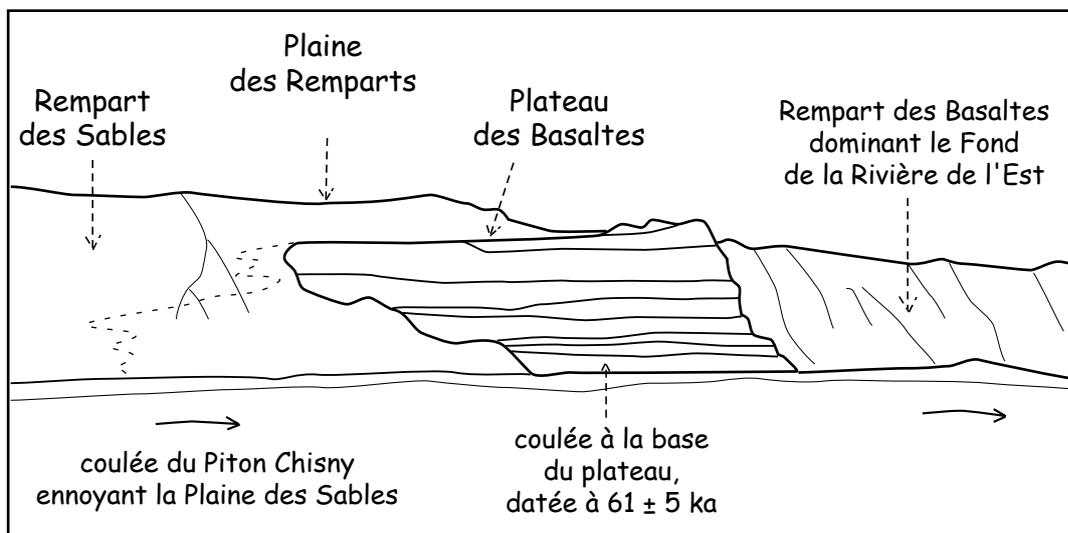
Complétez ce texte :

Ces roches se sont formées dans une située en-dessous du Chisny.

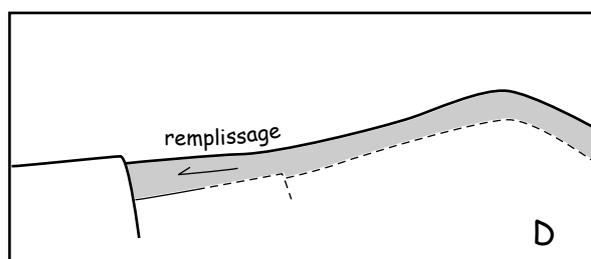
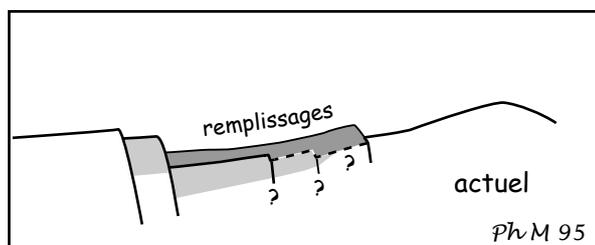
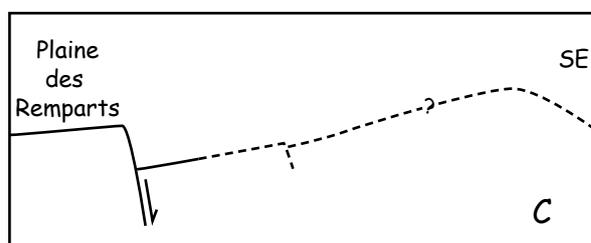
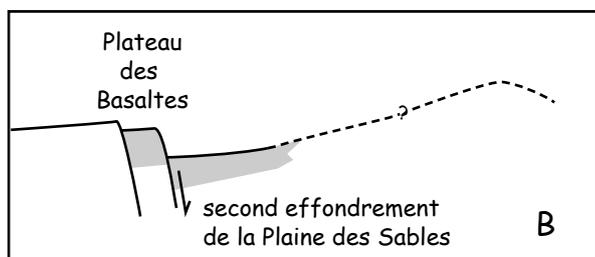
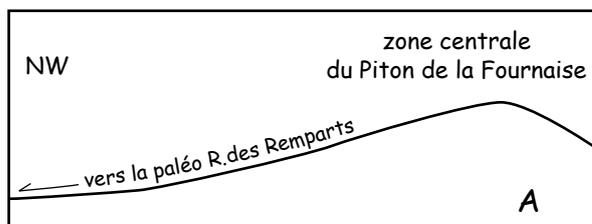
Cette..... est un réservoir où le magma peut rester pendant longtemps avant une éruption.

Pendant ce temps, la température du magma et les premiers cristaux se forment et grandissent. Ce sont des minéraux d'....., plus denses que le liquide. Ils vont s'accumuler dans le fond et sur les parois de la.....

Du nouveau magma peut arracher ces..... d'olivine et les entraîner vers : c'est ce qui s'est passé pendant l'éruption du



Vue du Chisny, vers le NNW



Coupes, en désordre, montrant l'évolution de la Plaine des Sables depuis 70 000 ans (échelle verticale exagérée)

Activité 13 : Les cendres de Bellecombe (affleurement gris)

Se repérer sur la carte

Description de la falaise

.....

Première hypothèse :

.....

Complétez le texte ci-dessous :

Les cendres de Bellecombe sont dues à une éruption
 Ce type d'éruption ne produit pas de..... mais provoque des
, véritables souffles de cendres chaudes qui se propagent
 à grande vitesse et qui tout sur leur passage.

Cette éruption date de ans et correspond à l'effondrement de l'Enclos
 Fouqué. Bien que peu fréquent, ce type d'éruption représente un majeur
 car il peut détruire une grande partie de l'île.

Activité 14 : Chronologie relative (ensemble de la carrière)

Repérez les 3 formations géologiques visibles dans la carrière.

Formation 1 : nature
 minéraux visibles.....
 roche

Formation 2 : nature
 minéraux visibles.....
 roche

Formation 3 : nature
 minéraux visibles.....
 roche

Coloriez chaque formation sur les schémas (annexe D 7) et complétez-les.

D'après le principe de superposition, trouvez l'ordre de mise en place de ces formations :

La première formation à se mettre en place est :

La seconde formation à se mettre en place est :

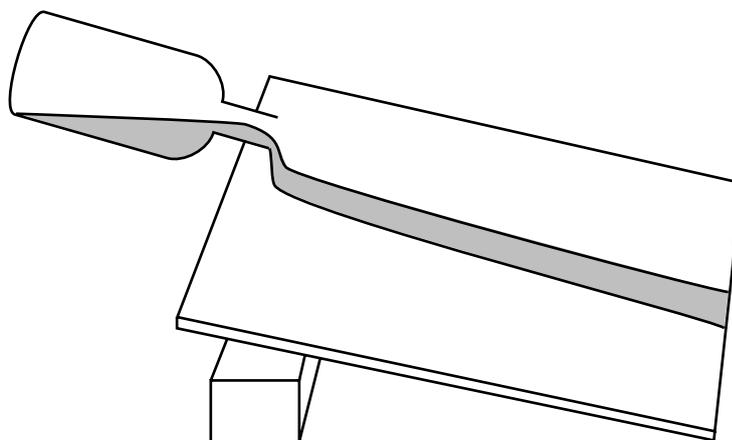
La dernière formation à se mettre en place est :

Modèle pour montrer l'écoulement de la Rivière des Remparts

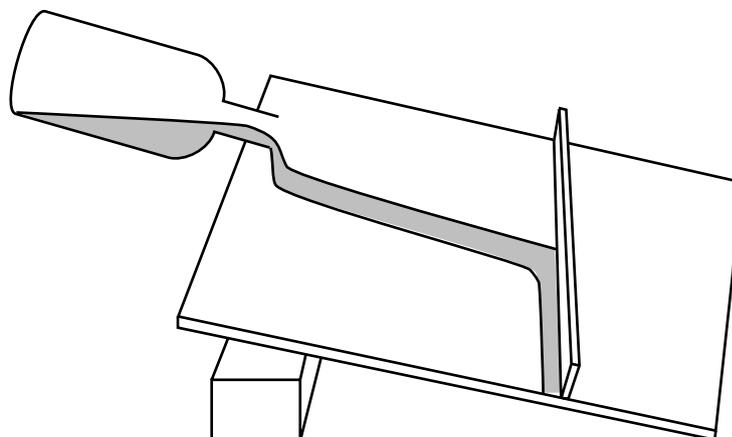
Matériel :

- un morceau de contre-plaqué rectangulaire,
- une planchette avec un bord bien rectiligne,
- une bouteille d'eau (on n'en trouve pas au Nez de Bœuf)

Placer le contre-plaqué penché vers l'ouest-sud-ouest, comme la Fournaise ancienne à cet endroit ; verser l'eau en haut --> l'écoulement suit la pente



Placer la planchette dans une direction nord-sud, un peu oblique par rapport à la pente puis verser l'eau. Elle doit être déviée par la planchette (pas d'espace en dessous !).



La route forestière est traversée par des fissures près du Nez de Bœuf. Il est possible d'en utiliser une pour la démonstration. La choisir avec une avec pente et verser l'eau en amont. Attention aux voitures !

Correction de l'exploitation pédagogique

Arrêt 1 : La Rivière des Remparts

Act2 : - la pente naturelle du secteur suit la direction SE-NW, du bord gauche de la rivière vers le bord droit

- la phrase fautive est : La Riv. Des Remparts suit la pente naturelle du secteur

- le problème géologique est : pourquoi la Riv. Des Remparts, creusée par l'eau, ne suit pas la pente naturelle ?

- solution : faire couler l'eau sur la face lisse, puis retourner la planchette (là où il y a une rainure) et recommencer l'opération (on peut également utiliser la route avec et sans fissure)

l'eau, en s'écoulant, a rencontré un obstacle et en a suivi la base. L'obstacle était une falaise (rempart) liée à un effondrement (accident).

Act3 : L'activité du cratère Commerson a eu lieu il y a environ 1825 ans. Sa coulée a descendu la Riv. Des Remparts avant d'arriver à la mer. Le risque volcanique de la zone est qu'une autre éruption ait lieu et qu'une coulée descende jusqu'à St Joseph.

Arrêt 2 : Le Piton Lacroix

Act4 : - affleurement : endroit en surface où sont visibles les roches du sous sol

- Le Piton Lacroix est un cône de projections. Il est formé par l'accumulation de bombes, de lapillis et de cendres. Tous les pitons de la Réunion sont des cônes de projections ; ils correspondent chacun à une éruption.

Act5 : A l'intérieur du Piton Lacroix, on trouve une formation verticale plus compacte que les projections qui l'entourent. C'est un endroit où le magma s'est infiltré vers la surface, c'est une cheminée volcanique (dyke).

Arrêt 3 : Le point de vue sur la Plaine des Sables

Act7 : Le piton le plus ancien est le Demi-Piton, le plus récent est le Piton Chisny, entre il y a le Piton du Cirque

Act8 : coulées, projections (bombes, blocs, lapilli)

Act9 : L'endroit : le cassé de la Riv. Langevin, le risque : une coulée peut descendre par la rivière et arriver en zone habitée.

L'autre endroit est le cassé de la Riv. De l'Est avec le même risque (en + : destruction de la prise d'eau de l'usine hydroélectrique).

Arrêt 4 : La Plaine des Sables

Act10 : produits émis : coulées, bombes, blocs, lapillis, cendres ; en grande quantité : coulées.

Un volcanisme effusif est caractérisé par des éruptions riches en coulées et assez pauvres en projections. La lave, en se refroidissant donne une roche appelée basalte.

Act12 : Ces roches se sont formées dans une chambre magmatique située en dessous du Chisny. Cette chambre magmatique est un réservoir où le magma peut rester pendant longtemps avant une éruption. Pendant ce temps, la température du magma baisse et les premiers cristaux se forment et grandissent. Ce sont des minéraux d'olivine, plus denses que le liquide. Ils vont s'accumuler dans le fond et sur les parois de la chambre. Du nouveau magma peut arracher ces cumulats d'olivine et les entraîner vers la surface : c'est ce qui s'est passé pendant l'éruption du Piton Chisny.

Act13 : Description : 3 niveaux horizontaux, matériaux gris très fins ; hypothèse : ce sont des cendres volcaniques.

Les cendres de Bellecombe sont dûes à une éruption explosive. Ce type d'éruption ne produit pas de coulée mais provoque des déferlantes basales, véritables souffles de cendres chaudes qui se propagent à grande vitesse et qui détruisent tout sur leur passage. Cette éruption date de 4 700 ans et correspond à l'effondrement de l'Enclos Fouqué. Bien que peu fréquent (tous les 10 000 ans ?), ce type d'éruption représente un risque majeur car il peut détruire une grande partie de l'île.

Act14 : Formation 1 : Nature: projections ; minéraux visibles : petits feldspath ; roche : basalte aphyrique (ou à petits feldspath).

Formation 2 : Nature: coulée aa (en gratons) ; minéraux visibles : bcp d'olivines ; roche : basalte riche en olivines : océanite.

Formation 3 : Nature : projections (cendres) ; minéraux visibles : aucun ou rares olivines et pyroxènes ; roche : cendres basaltiques.

La 1ère formation à se mettre en place est : le cône de projections

La 2nde formation à se mettre en place est : la coulée aa d'océanite

La 3ème formation à se mettre en place est : les cendres de Bellecombe.

Annexe F : Les datations au carbone 14

Lorsqu'une plante ou un animal meurt, ses échanges avec le milieu extérieur cessent et la quantité de carbone 14 (^{14}C) qu'il referme diminue de moitié tous les 5 570 ans. En mesurant la radioactivité et la concentration de cet élément dans un échantillon, il est possible de calculer le temps qu'il s'est écoulé entre cette mesure et la mort de l'organisme.

Cette méthode repose sur le principe que la teneur de l'atmosphère en ^{14}C reste constante au cours du temps. Les âges donnés par les laboratoires reposent sur cet à-priori.

Récemment, il a été prouvé que la formation de carbone radioactif dans la haute atmosphère par les rayons cosmiques variait dans le temps. Pour corriger («calibrer») les datations au ^{14}C , on a associé l'âge des cernes de bois (par dendrochronologie) avec la teneur en ^{14}C résiduel et ce sur plus de 10 000 ans.

Une datation comportant une incertitude, il faut calibrer trois dates. Prenons un exemple, l'éruption du cratère Commerson :

âge brut BP : 1890 ± 55 ans (BP : avant 1950)

--> dates d'éruption brute : entre 5 et 115, centré sur 60 ap JC

--> dates après calibration : entre 73 et 220, centré sur 125 ap JC, avec 94% de probabilité.

Cela ne resserre pas l'intervalle d'incertitude ! mais il semble que ces dates calibrées soient plus justes.

Dans le tableau suivant, les deux dates des colonnes de droite correspondent aux deux dates limites recalibrées de l'intervalle.

Remarque : Ne pas confondre âge et date.

formation datée	âges bruts (ans)	âges calibrés moyens	dates calibrées moyennes	encadrements calibré 94%	encadrements calibré 96%
coulée d'Ango	455 ± 70	508	1442	1417 ; 1482	1330 ; 1636
Piton Chisny	1105 ± 60	980	970	887 ; 1009	787 ; 1027
Commerson	1890 ± 55	1825	125	73 ; 220	11 ; 331
cendres Bellecombe	4175 ± 145	4700	-2750	-2911 ; -2475	-3254 ; -2334
Coulée Pas de Bellecombe	4745 ± 130	5356	-3406	-3652 ; -3361	-3793 ; -3099

Annexe G : LEXIQUE

basalte (β) : lave commune, très fluide à l'émission vers 1 150°C.

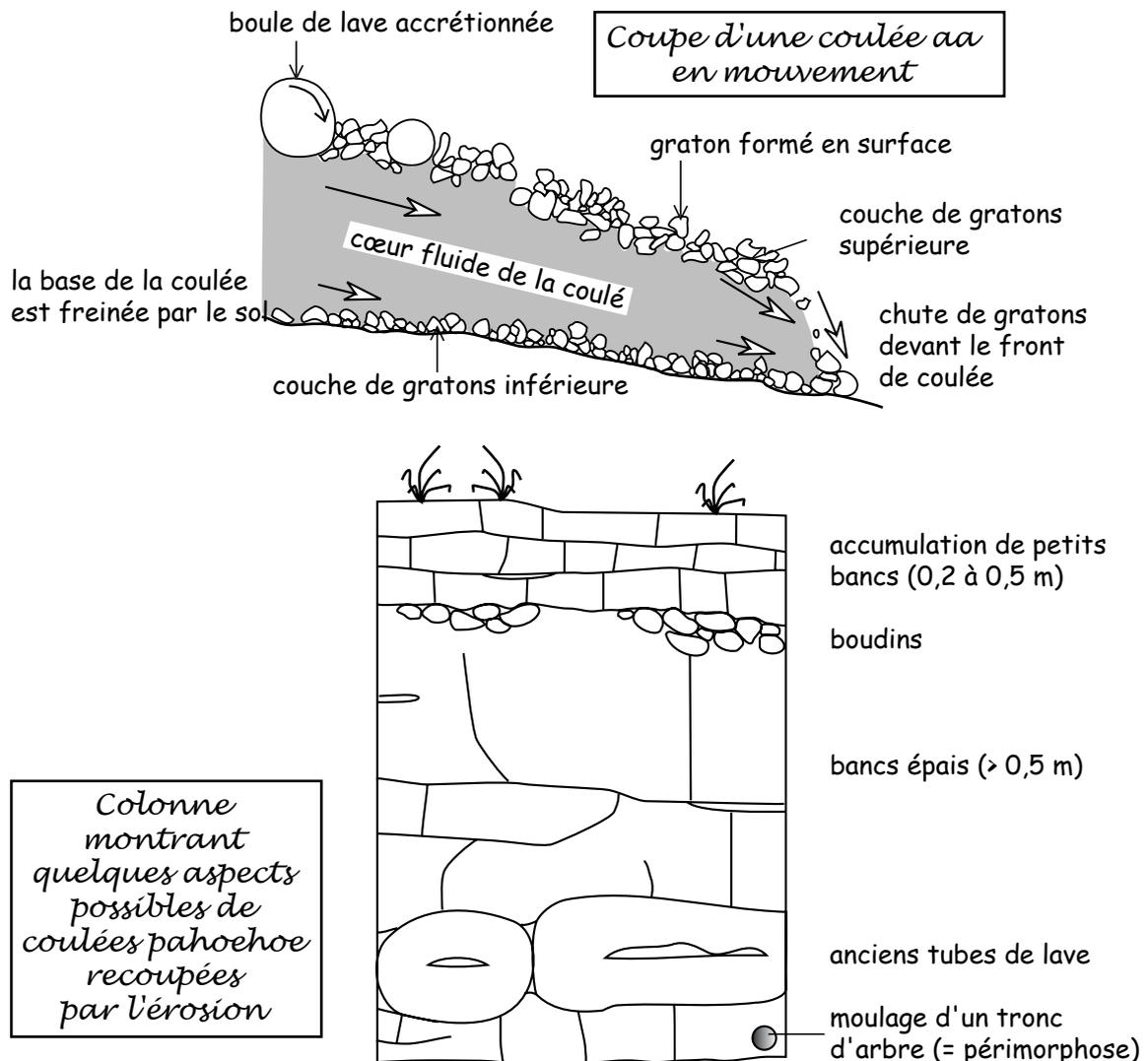
Elle forme la plus grande partie du Massif du Piton des Neiges et la quasi-totalité de celui de la Fournaise. Parmi les variétés trouvées au Volcan, on peut noter : - les basaltes à olivine,

- les basaltes très riches en olivine : les océanites,
- les basaltes sans cristaux apparents : les β aphyriques,
- les basaltes à feldspath plagioclase,
- les basaltes à 3 minéraux (olivine + augite + plagioclase).

caldéra = caldeira : effondrement vertical sub-circulaire, de diamètre supérieur au kilomètre, provoqué par la vidange du magma d'une chambre magmatique. Le phénomène est souvent accompagné d'explosions phréatiques violentes.

coulée de lave : matériau émis à l'état liquide par une cheminée ou une fissure. Le front de coulée peut atteindre une vitesse de quelques km/h au mieux ; la couche isolante et chaude formée par le déroulement d'un premier tapis de lave sur le terrain permet à la coulée de former des rivières plus rapides.

A La Réunion, il y a deux sortes de coulées, reconnaissables à leur surface : les coulées en gratons (aa) et les coulées pahoehoe.



cumulat : roche grenue résultant de l'accumulation de cristaux au fond d'une chambre magmatique. On en trouve plusieurs variétés à la Fournaise :

- les dunités, constituées d'olivine,
- les werhlites, formées d'olivine et de pyroxène (variété augite),
- les gabbros, contenant des plagioclases,
- les pyroxénites, noires.

effusif : se dit d'un type d'éruptions caractérisé par des laves fluides ; les gaz volcaniques pouvant s'échapper facilement, les explosions sont faibles et les matériaux projetés (= projections = pyroclastites = éjectats) retombent à proximité du point de sortie en donnant généralement un «spatter-cone».

éruption : c'est l'ensemble des phénomènes manifestant l'arrivée en surface d'un magma issu des profondeurs. Cette roche fondue est toujours riche en constituants volatils (gaz volcaniques) qui se séparent du liquide quand la pression baisse, formant ainsi des bulles qui favorisent la montée du magma. Quand la lave est fluide, celles-ci se rassemblent et explosent en surface, éjectant des lambeaux de lave : pendant l'éruption on a donc séparation du magma en ses deux constituants : les gaz et la lave.

fissurale (activité) : activité éruptive caractérisée par l'émission de lave et de gaz sur toute la longueur d'étroites fractures pouvant s'étirer sur plusieurs kilomètres. Elle s'oppose à l'activité dite «centrée».

A la Fournaise, les fissures s'ouvrent dans les rift-zones hawaïennes, le plus souvent dans l'Enclos.

La cheminée, fissure remplie par le magma ascendant (= dyke ou dike), a en moyenne 1 mètre de large, plusieurs dizaines à plusieurs centaines de mètres de long ; elle relie une chambre magmatique à la surface.

Lors de l'éruption de mars 1986, trois fissures se sont ouvertes.

fracture : terme général désignant toute cassure de terrain, de roche... avec ou sans rejet (= déplacement relatif des deux compartiments séparés par la fracture).

Dans le détail, chaque fissure éruptive est formée de plusieurs fractures.

hydromagmatique (phréato-magmatisme) : ensemble des manifestations éruptives provoquées par la rencontre d'un magma ascendant avec de l'eau souterraine ou de surface. L'arrivée du magma provoque la vaporisation de l'eau ce qui augmente l'explosivité du volcan.

Quand l'eau est vaporisée sans contact avec du magma frais des explosions de vapeur se produisent, l'éruption est alors «phréatique».

lahar : terme général désignant une coulée boueuse constituée par des matériaux volcaniques. A La Réunion cela correspond à l'écroulement d'une falaise et le déplacement des débris dans une vallée, arrachant tout sur son passage.

magma : matériau plus ou moins fluide qui prend naissance en profondeur puis migre vers le haut. Il est stocké à différents niveaux dans des réservoirs, les chambres magmatiques. L'éruption de Saint Philippe, en 1986, a été produite par un magma issu d'une chambre magmatique supérieure de la Fournaise (entre 0,5 et 3 km sous le sommet).

Les magmas engendrent des roches dites «magmatiques» par solidification soit en profondeur au cours d'un refroidissement lent (roches entièrement cristallisées), soit en surface par refroidissement rapide des laves.

Massif de la Fournaise : la Réunion est composée de deux grands volcans : le Massif du Piton des Neiges et celui de la Fournaise.

Le Massif de la Fournaise résulte de l'accumulation de produits volcaniques émis par le second volcan de l'île, depuis plus de 530 000 ans ; l'histoire de cet édifice est complexe.

Piton de la Fournaise : c'est la partie actuelle active du Massif de la Fournaise ; elle comprend le cône volcanique central et les rift-zones hawaïennes. L'activité actuelle a débuté il y a environ 5 000 ans par le premier effondrement de l'Enclos.

planèze : plateau de lave, généralement basaltique, faiblement incliné. Une planèze est constituée par la superposition et la juxtaposition de très nombreuses coulées. A la Réunion, elles correspondent à des reliefs jeunes, peu attaqués par l'érosion.

rift-zone hawaïenne : c'est une zone d'extension provoquée par l'injection répétée de magma dans les secteurs les moins résistants d'une île volcanique. En profondeur, la mise en place de ces dykes repousse la partie la moins stable (à la Fournaise, le flanc oriental car l'ouest est bloqué par le Piton des Neiges) et en surface, l'accumulation des coulées et des pyroclastites plus nombreuses qu'ailleurs, se marque par un bombement.

volcan : c'est à la fois le lieu par où le magma arrive en surface et l'édifice construit autour du point de sortie par l'accumulation de projections (spatter-cone entourant un cratère ou spatter-rempart autour d'une fissure émettrice). Il faut remarquer que certains points de sortie ne comportent pas d'édifice.

Volcan : synonyme de Piton de la Fournaise ; il est formé par un grand nombre de volcans ayant émis coulées, gaz et projections.

Annexe H : BIBLIOGRAPHIE

La plupart des articles scientifiques concernant le Piton de la Fournaise sont publiés en Anglais dans des revues internationales et sont donc d'accès difficile.

Nous recommandons l'achat et la lecture d'un livret :

De GOER A. et BELIN J. M. (1985) : «Le volcanisme, lexique», supplément au dossier «Le volcanisme en Auvergne» (70p), édité par le CRDP de Clermont-Ferrand (15 rue d'Amboise, 63 037 Clermont-Ferrand ; 50 F).

Cet ouvrage présente de façon claire, avec de nombreux schémas, les termes de volcanologie utilisés de nos jours ; sa lecture donne une bonne idée des connaissances actuelles de cette science de la Terre.

D'autres ouvrages sur la Fournaise peuvent être utilement consultés :

ABCHIR M. A. (1996) : «Les cendres de Bellecombe : un événement explosif majeur dans le passé récent du Piton de la Fournaise « Thèse Paris VII

BACHELERY P. (1981) : «Le Piton de la Fournaise : étude volcanologique, structurale et pétrologique» Thèse Université de Clermont-Ferrand II

CNRS (1981) «Les volcans, aux sources de la connaissance de la Terre» (48p) Publication du CNRS (15 Quai Anatole France 75 700 Paris ; 25F).

DUPONT Ph. et SICRE M. (1987) : «Guide volcanologique et touristique du volcan actif de la Réunion». Edition ONF - CDDV (environ 50 F).

JAUPART Cl. (1994) «Cristallisation et convection dans les chambres magmatiques» (5p) Géochronique n° 49

LABAZUY Ph. (1991) : «Instabilité au cours de l'évolution d'un édifice volcanique, en domaine intraplaque océanique : le Piton de la Fournaise» (300p) ; thèse DU 341, Université Blaise Pascal

LENAT J. F. et Al (1990) : «Le volcanisme de la Réunion ; monographie» (380p) Publié par le Centre de Recherches Volcanologiques (Université Blaise Pascal et CNRS, 5 rue Kessler 63 038 Clermont-Ferrand)

MAIRINE Ph. et BACHELERY P. (1997) : «Un grand épisode érosionnel dans l'histoire de la Fournaise ancienne», (8p), CR de l'Académie des Sciences

MAIRINE Ph., OBS. VOLCANOLOGIQUE, CONSEIL GENERAL (1991)

«Itinéraire géologique : Le Tremblet ; découverte de l'activité du Piton de la Fournaise» (21 p). Distribué à tous les établissements scolaires.

MAIRINE Ph. et RENAUD J.J. (1986) : «Mise en place des coulées basaltiques de type hawaïen». Edition du CRDP de la Réunion (32p)

NOURIGAT B., CADET J., GABRIE C., TROADEC R. (1982)

«Les roches de la Réunion» (109 p). CRDP Réunion.

PREFECTURE, BRGM, RECTORAT (1995) : Dossier départemental des risques majeurs : un exemple, La Réunion» (78 p)

Annexe I : Extraits du mémoire d'habilitation de Patrick BACHELERY (juin 1999)

4/ L'importance des processus gravitaires

4.1/ L'identification des mécanismes de glissement de flanc au Piton de la Fournaise.

Les grands glissements de flancs reconnus depuis l'éruption du Mont St-Helens en 1980, comptent certainement parmi les mécanismes les plus catastrophiques affectant les volcans. Ces glissements géants peuvent impliquer des quantités phénoménales de matériaux se déplaçant sur des milliers de kilomètres carrés sous l'effet de la seule gravité, à la suite de déstabilisations initiées par les injections magmatiques...

La généralisation des descriptions de tels processus de glissement de flanc affectant de nombreux volcans insulaires, a fait que ces structures sont désormais considérées par de nombreux auteurs, non plus comme l'exception, mais comme faisant pleinement partie de la logique de construction d'un édifice volcanique en domaine insulaire. Ceci est, bien entendu, particulièrement vrai dans le cas des édifices volcaniques possédant une caldeira à morphologie caractéristique en 'fer à cheval', ouverte sur l'un des flancs du volcan.

L'existence de glissements de flancs analogues à ceux décrits pour les volcans d'Hawaii a été proposée pour la première fois par P.M. Vincent et G. Kieffer (1978) afin d'expliquer la morphologie particulière du Grand Brûlé...

Depuis les premières observations bathymétriques (Bachelery et Montaggioni, 1983), de nombreuses campagnes océanographiques ont été réalisées par les navires 'Jean Charcot', 'Marion Dufresne', 'Sonne' et 'Atalante'. J'ai eu la chance de participer à l'une de ces campagnes à bord du 'Marion Dufresne', campagne destinée à l'obtention de données bathymétriques, d'images sonar haute résolution et à la prise d'échantillons au large du Grand Brûlé, puis de prendre part à la réflexion à propos de ce concept, alors relativement nouveau, de " glissement de flancs "...

Les travaux réalisés par Ph. Labazuy dans le cadre de sa thèse (1991) ont permis de généraliser à l'ensemble de la Réunion l'existence de vastes glissements de flancs. Labazuy a notamment montré, à partir de la compilation en un modèle numérique de terrain des données bathymétriques disponibles, l'existence probable de dépôts d'avalanche de débris sur les pentes du Piton des Neiges, dans les secteurs ouest, nord et sud (Fig. A4.1).

Figure A4.1: Les glissements de flancs autour de la Réunion (d'après Ph. Labazuy, 1991, dessin Ph. Mairine)

Parmi les domaines mentionnés, deux secteurs présentent la particularité d'être dans le prolongement immédiat de dépôts d'avalanches de débris identifiable

à terre. Il s'agit des secteurs nord (identification de dépôts dans la région de Ste-Suzanne) et ouest (réinterprétation des formations bréchiques du Cap La Houssaye). Si les dépôts affleurants dans le secteur septentrional du Piton des Neiges sont difficilement reconnaissables à cause d'une intense altération, il n'en va pas de même dans le secteur du Cap la Houssaye où les dépôts sont parfaitement conservés. Les analogies existant entre ces faciès et ceux connus comme résultants d'avalanches de débris, par exemple dans le strato-volcan du Cantal (Cantagrel, 1995) sont frappantes et ont permis de les interpréter en tant que produits de plusieurs avalanches de débris datant de la fin de la période basaltique du Piton des Neiges.

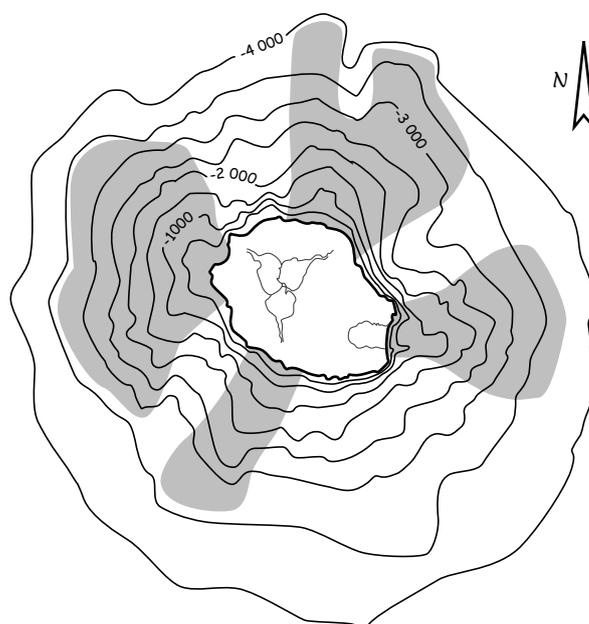


Fig A4.1: Les glissements de flancs autour de la Réunion (d'après Ph. Labazuy, 1991, dessin Ph. Mairine)

4.2/ La signification des instabilités de flancs.

L'instabilité des édifices volcaniques se traduit donc par l'existence de gigantesques glissements de flancs induisant un transport latéral essentiellement sous-marin de matériaux émis pour la plupart en milieu sub-aérien. Ce processus de destruction de la zone haute des édifices volcaniques constitue en fait un processus de construction des basses pentes sous-marine de ces mêmes édifices.

4.2.a/ Généralisation des glissements de flanc ?

Les données géophysiques récemment acquises (sismologie, magnétisme, gravimétrie) semblent montrer que l'île de la Réunion est en grande partie constituée, pour sa fraction sous-marine, de matériaux incohérents et de faible densité.

Les études réalisées sur la morphologie des pentes sous-marine de la Réunion ont permis de retrouver, sur pratiquement l'ensemble du pourtour de l'île, des formations dont les caractéristiques de surface sont comparables à celles du flanc est du Piton de la Fournaise. En particulier, l'obtention, lors de transits réalisés par l'Atalante, d'une bathymétrie très fine et d'images acoustiques sur le secteur nord-est de l'île fournit de bons arguments pour suspecter l'existence, dans ce secteur, de glissements anciens partiellement recouverts d'une sédimentation plus récente.

Ces données s'accordent avec l'existence, dans les édifices volcaniques de la Réunion, de phases de glissements multiples, répétées tout au long de l'édification de l'île. Ceci semble confirmé par les observations réalisées dans les 'cirques' du Piton des Neiges indiquant la présence parmi les " brèches de fond de cirque " d'une large proportion de matériaux présentant de fortes analogies texturales avec les dépôts d'avalanche de débris (Maillot, 1999).

Les investigations géophysiques (méthodes électriques et électromagnétiques) réalisées dans le but d'obtenir une distribution en profondeur des résistivités des terrains (Courteaud, 1996 ; Lénat et al., 1999) ont également conduit à la mise en évidence d'un niveau conducteur profond généralisé, sous les formations récentes du Piton de la Fournaise.

Les interprétations possibles quant à la nature de ce conducteur varient selon la zone considérée. Dans la zone centrale du volcan, la forte remontée du conducteur, associée aux anomalies de polarisation spontanée reconnues dans cette même zone (Malengrau et al., 1994 ; Zlotnicki et al., 1994), est assimilée aux complexes magmatique et hydrothermal du volcan. En revanche, à l'extérieur de la zone centrale active, cette hypothèse ne peut être retenue, et leur interprétation demeure plus spéculative. Sur la base d'arguments de terrain dont la généralisation peut être discutée, Courteaud (1996) considère qu'il puisse s'agir d'horizons déstructurés et argilisés ayant une origine volcano-détritique.

Cette conception ne peut être considérée comme la seule possible, même si les discontinuités structurales (présentées dans le §A3) relevées dans les formations anciennes, à l'affleurement dans les grandes rivières découpant le massif, indiquent comme fort probable l'existence d'épisodes multiples de glissement de flancs au cours des 500 000 dernières années. Une hypothèse alternative, ou plutôt complémentaire, consisterait à identifier ce conducteur aux formations éventuellement hydrothermalisées (?) du massif ancien 'anté-fournaise moderne' dont la reconnaissance a été évoquée précédemment.

4.2.b/ Caractéristiques des glissements de flancs à la Réunion.

Les glissements de flancs que nous avons étudiés

à la Réunion sont des événements récurrents, associés à la répétition de la mise en place des intrusions magmatiques plutôt qu'à l'occurrence d'un événement unique tels que ceux affectant les volcans andésitiques.

Au Piton de la Fournaise, ils sont accompagnés de la formation de structures caractéristiques avec une morphologie en " fer à cheval ", et à la mise en place de dépôts d'avalanches de débris. L'existence d'épisodes de glissements en masse constituant des blocs pluri-kilométriques est également proposée...

Les formations bréchiques du Cap la Houssaye représentent plusieurs épisodes de glissements, localement séparés par la mise en place de coulées de laves basaltiques. Cette observation est essentielle car elle démontre que les grandes accumulations de dépôts glissés identifiées sur les flancs de l'édifice réunionnais, sont constituées à partir de la répétition dans le temps d'événements de moyenne ampleur et non d'un événement unique. Cette conception quant à la mécanique de genèse des glissements est également celle qui prévalait après l'étude des formations accumulées au large du flanc est du Piton de la Fournaise.

Les unités bréchiques du Cap la Houssaye ne représente qu'une infime partie d'un large plateau sous-marin surélevé prolongé par une vaste croupe dont on peut penser, du fait de leur morphologie de surface chaotique, qu'ils sont également construits par l'accumulation de produits glissés. L'organisation des formations bréchiques du Cap la Houssaye en rides parallèles à la direction du déplacement des matériaux glissés, permet de les comparer au faciès proximal décrit au sein des produits de glissement retrouvés au large de la Fournaise, renforçant encore la similitude entre ces deux contextes.

Nous pouvons également mentionner des éléments texturaux remarquables au sein de ces dépôts :

- Les coulées de lave situées sous les unités médiane et supérieure des brèches du Cap la Houssaye présentent une striation due à la friction de la masse glissée sur la surface de la coulée..... Cette striation correspond à une usure du toit des coulées sous-jacentes ; aucune trace de vitrification n'a été relevée.

- Le fait de pouvoir observer la base des unités de glissement, nous permet de déterminer que l'épaisseur de ces dépôts est très faible. Même si, comme nous l'avons vu, les formations du Cap la Houssaye correspondent au faciès proximal des unités glissées, c'est à dire à une zone de transport du matériel, en amont de la zone principale d'accumulation, il est possible de considérer que ce type de glissement constitue un processus purement superficiel à l'image des unités décrites dans le chenal Vincent, dans le prolongement du Grand Brûlé.

- *L'aspect bréchiq ue constant au sein du faciès «blocs» représente une différence essentielle avec ces mêmes unités sur les strato-volcans andésitiques pour lesquels le faciès 'bloc' est généralement formé à partir de panneaux entiers provenant de l'édifice volcanique. Au Cap la Houssaye, parmi les 'blocs', des stades très divers de désagrégation et de bréchification peuvent être observés. Certains 'blocs' sont peu désorganisés, simplement fracturés, montrant une bonne «préservation» des formations initiales. La conservation d'une ancienne stratification est également observable en divers points, lorsque le processus de désagrégation n'est pas trop poussé. Mais le plus souvent, la bréchification est plus intense, conférant aux divers panneaux un aspect de brèche mono-lithologique ou encore poly-lithologique lorsque les éléments de plusieurs panneaux viennent eux-mêmes se mélanger. Les indices de bréchification in situ sont nombreux.....*

L'étude comparative, à terre et en mer, des produits de glissement de flancs permet de conclure à l'existence conjointe des avalanches de débris, et de glissements et instabilités gravitationnelles à mise en place beaucoup plus lente, constituant un ensemble de méga-blocs occupant une large part du flanc est du volcan (Labazuy, 1991). Une telle association d'événements rapides et d'événements beaucoup plus lents, décrite dans un contexte similaire sur les pentes sous-marines du Mauna Loa (Lipman et al, 1988), semble caractéristique des phénomènes d'instabilités gravitationnelles affectant les volcans-boucliers basaltiques.

Les morphologies observées que ce soit au Cap la Houssaye ou face au Grand Brûlé, indiquent que ces dépôts ne peuvent s'être mis en place que selon un plan de glissement relativement superficiel (de l'ordre de quelques centaines de mètres à 2 km) localisé au sein de l'édifice volcanique et non à l'interface entre l'édifice et les sédiments présents sur le plancher océanique. Les campagnes récentes de sismique réfraction et réflexion (Pou Palomé, 1997; Driad, 1997) ont permis la mise en évidence de discontinuités pouvant correspondre à des plans de glissement, aussi bien à l'intérieur même de l'édifice réunionnais qu'au niveau des sédiments du plancher océanique. L'âge de la croûte à l'aplomb de la Réunion et les données de vitesse des ondes sismiques obtenues, permettent de proposer l'existence d'un recouvrement sédimentaire sur le plancher océanique d'une épaisseur d'ordre kilométrique. La surcharge imposée par l'édifice volcanique doit conduire au sein de cet horizon sédimentaire à de fortes valeurs de la pression interstitielle de fluides. Ceci favorise inévitablement les processus de glissement ou d'étalement concernant l'ensemble de l'édifice volcanique. Cependant, il semble jusqu'alors que

seuls les glissements les plus superficiels associant des zones de décollement dans les parties hautes de l'île et une accumulation compressive du matériel sur les pentes basses, soient bien documentés.

La faible profondeur d'enracinement du glissement du Grand Brûlé constitue une différence par rapport aux grands glissements des volcans hawaïens qui concernent une très large portion voire la totalité de l'édifice volcanique. Ceci peut être mis en relation avec la différence existant quant à la nature des rift zones pour ces deux types de volcans. Les axes de faiblesse hors-Enclos se prolongeant sur les flancs du Piton de la Fournaise sont des structures jeunes, faiblement enracinées. Les intrusions magmatiques, à l'image de celles mise en place lors des éruptions de 1977, 1986 ou 1998, marquent le transit du magma depuis une zone de stockage relativement superficielle située dans la zone centrale du volcan vers la périphérie de l'édifice. Les données enregistrées à l'Observatoire Volcanologique du Piton de la Fournaise révèlent que ce transit est quasi aismique impliquant que ces axes préférentiels sont en fait des structures en extension, déjà "ouvertes", dans lesquelles les injections magmatiques ne se font pas en force comme ce peut être le cas pour le Kilauea (Nakamura, 1980). A l'inverse, les rift zones d'Hawaii sont des axes profondément enracinés dans l'édifice volcanique, montrant une prodigieuse richesse en intrusions verticales (Lipman et Dvorak, 1993). Elles constituent un domaine majeur du transit magmatique pour ces volcans et déterminent la majorité des éruptions.....

La jeunesse des rift zones de la Fournaise indiquée par leur faible degré de développement, peut refléter une durée de vie généralement courte pour ces structures au Piton de la Fournaise. Les axes de faiblesse NE et SE actuels fonctionnent depuis au moins 60 000 ans et au plus 200 000 ans, ce qui est peu pour un volcan de ce type. Une telle situation suggère l'existence de fréquents glissements de flancs dont l'amplitude est suffisante pour perturber (et déplacer) le système d'alimentation magmatique du volcan. La discordance marquée, existant entre les formations du "Bouclier ancien" et celles du "Bouclier récent", oblige à considérer qu'un tel dérèglement soit intervenu au Piton de la Fournaise, il y a 160 000 à 200 000 ans environ.

4.2.c/ Origine des glissements de flancs à la Réunion.

Sur un plan purement mécanique, les pentes et pendages des formations des volcans de la Réunion, et en particulier du Piton de la Fournaise, ne peuvent entraîner à elle seule la genèse d'instabilités gravitaires.

Au Piton de la Fournaise, les injections magmatiques répétées ont tendance à augmenter cette pente par leur mise en place dans la zone centrale. Elles induisent donc une accumulation de contraintes qui

doit périodiquement se résoudre dans un relâchement impliquant un mouvement brutal du flanc déstabilisé. A titre d'exemple, les déformations mesurées à la suite de l'injection magmatique de mars 1998 ont été de 30 à 40 cm en déplacement horizontal vers l'est pour les repères situés sur le cône terminal (15 à 30 cm de déplacement vertical) pour seulement un peu plus d'une dizaine de centimètres sur le flanc est à 1900 m d'altitude (2 à 3 cm de déplacement vertical) et aucun mouvement en zone littorale. La déformation ainsi accumulée au fil des ans est complètement résorbée entre le sommet (environ 2m de déplacement horizontal vers l'est du rebord est du Dolomieu entre 1981 et 1992, et plus d'un mètre de soulèvement - voir Briole et al. 1998) et le littoral est (pas de mouvement significatif sur la même période). Cette déformation résultant d'injections magmatiques répétées est donc " absorbée " au niveau du flanc est du volcan, dans la zone des Grandes Pentes. Un tel schéma de fonctionnement est en bonne adéquation avec une acquisition progressive du déséquilibre conduisant à la déstabilisation catastrophique, mais paraît insuffisant pour rendre compte à lui seul de la formation d'une dépression comme le Grand Brûlé, en moins de 4500 ans.

D'autres facteurs doivent intervenir afin de faciliter le processus de déstabilisation. L'existence en profondeur d'un plan de faible cohésion est certainement indispensable. Ce peut être un niveau argilisé issu de retombées de pyroclastites ou de hyaloclastites, une zone d'altération hydrothermale, ou un substrat ancien. Une variation de pression interstitielle dans les fractures et pores des formations constituant les flancs de l'édifice volcanique peut également jouer un rôle dans le déclenchement du processus catastrophique. Cette variation de pression peut être reliée à des variations du niveau phréatique ou du niveau marin, à une augmentation de température induisant une dilatation de l'eau interstitielle.

Les mécanismes proposés pour les volcans-boucliers en contexte insulaire, font intervenir le glissement de la séquence de roches volcaniques sur une semelle constituée par les sédiments déposés sur le plancher océanique (Nakamura, 1980..... Au Kilauea, les études sismologiques ont révélé que le plan de décollement suspecté n'était pas concordant avec les enregistrements de la sismicité associée aux glissements (Bryan, 1993).

Dans le cas du Piton de la Fournaise, la prise en compte d'un tel mécanisme peut être envisagée pour des glissements impliquant la pile volcanique dans son ensemble et limitée à l'interface édifice/plancher océanique. Il semble, comme nous l'avons vu, que cela ne soit pas le cas le plus représenté. En revanche, ce modèle ne semble pas très pertinent pour expliquer des déstabilisations du type de celles pouvant être à l'origine des glissements du

flanc oriental du volcan, ou des dépôts du Cap la Houssaye.

Je rappellerais ici l'hypothèse formulée pour le Kilauea par Clague et Denlinger (1994) proposant que les glissements géants progressent sur une semelle constituée par une concentration inhabituelle des cristaux d'olivine. Ce niveau " savonnette " permettrait l'avancée progressive du flanc du volcan.

Le fluage de complexes lourds, maintenus à haute température à proximité de la zone centrale du volcan, et " fluidisés " par la présence probable de liquide interstitiel entre les grains d'olivine, constitue une hypothèse qui me paraît tout à fait réaliste. Nous savons que de tels complexes peuvent exister à faible profondeur au Piton de la Fournaise (jusqu'à 2 ou 3 km selon les modèles de densité de Ryan (1987).

Les modèles d'étalement des volcans sous l'effet de leur propre poids sont de plus en plus souvent considérés parmi les processus physiques participant à la ruine des édifices volcaniques. Ces modèles reposent généralement sur l'existence d'horizons mécaniquement faibles au sein de la structure volcanique ou à sa base. Les structures obtenues sont des structures en distension déterminées par des failles normales. Dans un tel contexte, la prise en compte des hétérogénéités de densité pouvant exister au sein même de l'édifice volcanique doit être un facteur déterminant.

L'une des figures les plus remarquables au Piton de la Fournaise est la coïncidence très forte, existant entre l'anomalie gravimétrique du Grand Brûlé et les limites de la dépression elle-même. J'ai peine à croire que ce trait structural majeur de la Fournaise puisse être fortuit.

Le système magmatique du Piton de la Fournaise est très largement concentré dans l'axe central du volcan comme en témoignent à la fois les analyses pétrologiques et les analyses structurales avec une prédominance très marquée des éruptions " latérales " (au sens de Rittman, 1963). Outre la très forte anomalie du flanc est, la localisation des anomalies gravimétriques au sein de la structure Piton de la Fournaise montre également la présence de complexes lourds, certes moins développés, dans la zone centrale du volcan, ainsi que leur continuité avec l'anomalie lourde du Grand Brûlé. Cette information est confirmée par la répartition en surface des événements ayant émis des laves renfermant des enclaves majoritairement dunitiques.

L'alimentation des éruptions elle-même est extrêmement focalisée sur la zone centrale du volcan ; une très large majorité des éruptions ayant lieu à l'intérieur de la caldeira, voire sur les pentes du cône terminal.

La zone de glissement du Grand Brûlé est également bien définie avec une morphologie en fer à cheval, limitée en amont par la zone concave des Grandes

Pentes (ou pour suivre l'hypothèse proposée par Lénat et al. (à paraître) par le rempart de l'Enclos lui-même), puis latéralement par deux failles parallèles. Elle se place à l'intérieur d'une structure de glissement plus ancienne correspondant au prolongement de la caldeira de la Plaine des Sables. Les études géologiques réalisées sur les formations des derniers 600 000 ans ont montré l'existence d'un tel déséquilibre du flanc oriental du volcan depuis près de 200 000 ans.

La coïncidence spatiale entre ces divers éléments structuraux me permet de proposer que la déstabilisation à l'origine du glissement du Grand Brûlé a, bien entendu, son origine dans la concentration progressive des contraintes dans la zone interne de l'Enclos sous l'effet des injections magmatiques répétées, mais se trouve favorisée par le fluage dirigé de niveaux de densité élevée issus du fonctionnement

des zones de stockage magmatique dans la zone centrale, et par l'existence de discontinuités structurales à pendage est, situées superficiellement à la base du Grand Brûlé. Les olivines des enclaves dunitiques ramenées à la surface par les éruptions, ou encore celles des océanites, montrent de très nettes traces de déformations. Ces déformations sont dues à un "écoulement" plastique des complexes dunitiques chauds, écoulement résultant de leur étalement depuis la zone centrale de l'édifice vers les flancs.

La concordance entre l'épaisseur proposée pour la zone concernée par le glissement et la profondeur des stockages magmatiques renforce cette hypothèse qui mérite d'être considérée dans les modélisations

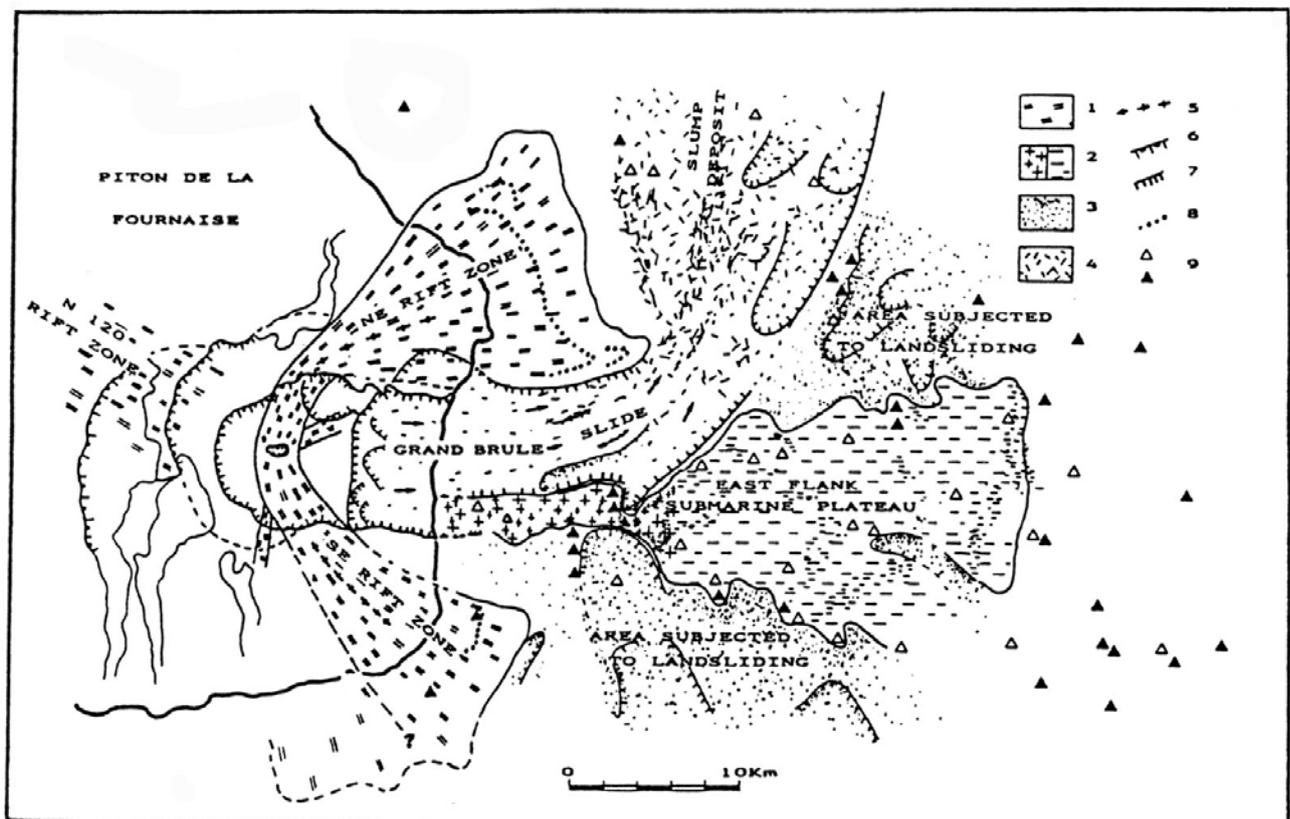


Fig A4.2b : Interprétation structurale du flanc est du Piton de la Fournaise (annexe J, p93) par Jean François LENAT et Al (1987)

- 1 - rift-zones volcaniques
- 2 - plateau oriental issu de glissements anciens
- 3 - zones de glissements secondaires
- 4 - glissement du Grand Brûlé - Chenal Vincent
- 5 - axes de rides topographiques
- 6 - caldéra ou limites d'effondrements
- 7 - escarpements faillés dus aux glissements
- 8 - changements de pentes sur les rift-zones
- 9 - principaux cônes sous-marins (triangles noirs : hauteur supérieure à 100 m)

numériques et analogiques du comportement à long terme de l'édifice. Le fluage des complexes lourds, principalement s'il est dirigé par les paléo-structures profondes, peut engendrer une contrainte stable dans le temps qui vient s'ajouter, dans le cas du Piton de la Fournaise, à celle induite par les injections magmatiques dans la zone centrale. Cette accumulation de contraintes se résout de manière catastrophique, pour un seuil déterminé, utilisant les niveaux ductiles que constituent les complexes dunitiques chauds pour initier le décollement. Cette hypothèse rend également compte de la structure très "ouvertes" des axes de faiblesse du volcan (rifting zones) et de leur faible enracinement, permettant une injection "facile" du magma à partir des zones de stockage les plus superficielles, situées à l'aplomb du cône terminal.

4.2.d/ Caldeira et glissement de flanc

L'un des traits morphologiques les plus originaux du Piton de la Fournaise est certainement la dépression de "fer à cheval" ouverte vers la mer constituée par les zones de l'Enclos Fouqué et du Grand Brûlé.

Si la zone du Grand Brûlé est unanimement interprétée comme la trace laissée par un glissement de flanc, les interprétations sont plus divergentes à propos de son extension amont usuellement dénommée la "caldeira de l'Enclos Fouqué". Pour certains auteurs (Duffield et al., 1982 ; Gillot et al., 1994) identifient un ensemble de dépressions en "fer à cheval" représentant la zone d'arrachement alimentant des glissements de flancs orientés vers l'est, dont l'ampleur est de plus en plus réduite. Dans ce schéma, la dépression de l'Enclos Fouqué et son prolongement du Grand Brûlé sont impliqués dans le déplacement latéral en masse du matériel glissé.

Pour d'autres auteurs (Chevallier et Bachèlery, 1981 ; Bachèlery et Mairine, 1990 ; Bachèlery et Lénat, 1993), la zone sub-horizontale amont (Enclos Fouqué) est une zone pour laquelle les effondrements à composante verticale constituent le processus dominant ; les glissements étant limités à la dépression orientale débutant avec les Grandes Pentes.

Les principaux arguments des partisans d'une origine de l'Enclos, dans sa totalité, par glissement latéral de matière, résident dans :

- des arguments essentiellement topographiques et en particulier, la continuité des remparts limitant la dépression, et leur morphologie qui tend à les considérer comme contemporains,
- l'absence de réservoir magmatique en profondeur, suffisamment grand pour engendrer une caldeira de la taille de l'Enclos Fouqué,
- l'estimation du volume (500 à 600 km³) des produits glissés identifiés sur le flanc oriental de la Fournaise et leur nature en grande partie sub-aérienne, en regard du volume actuel de la cicatrice laissée par le glissement (60 à 80 km³).

La continuité des remparts n'implique pas nécessairement une identité d'origine mais plutôt l'existence d'un lien génétique quelconque, à un moment du processus de formation (un élément déterminant de la géométrie est commun). Les remparts actuels, le rempart nord en particulier, ne représentent pas nécessairement les limites de la zone glissée. De plus, leur morphologie n'est pas équivalente. Kieffer (1990) souligne l'évolution morphologique plus avancée (golfs d'érosion du Trou Caron et du Trou de Sable) du rempart nord (rempart de Bois Blanc) par rapport au rempart sud.

Un forage réalisé en bord de mer, auprès de ce rempart de Bois Blanc, met en évidence une succession de niveaux alluvionnaires sous un recouvrement de près de 60 m de coulées. La base de ce niveau n'est pas atteinte par le forage profond de 285 m. La probabilité pour qu'il puisse s'agir d'alluvions marines est faible dans le contexte du Grand Brûlé où aucun système actuel de ce type n'existe, et vu l'épaisseur de la formation traversée. En revanche, de telles épaisseurs de matériel alluvionnaire sont classiquement rencontrées au débouché des grandes rivières de la Réunion. La mise en évidence par Courteaud (1996) d'un horizon se prolongeant vers l'amont en direction de la Plaine des Osmondes, et dont les résistivités sont compatibles avec celles attendues pour des formations non saturées de type alluvial, permet de suspecter la présence d'un grand système d'érosion au long du rempart de Bois Blanc. Un argument complémentaire peut être apporté avec l'existence d'analogies morphologiques fortes entre les limites formées par la bordure de la Plaine des Osmondes et le rempart de Bois Blanc avec ses golfs d'érosion, et les parois de certains grands systèmes érosionnels de la Réunion (par exemple, la Rivière Langevin). L'existence d'un tel système d'érosion sur le flanc est du Piton de la Fournaise n'est, pour le moment, prise en compte dans aucun des modèles d'évolution concernant la période récente de ce volcan. Ses implications sont multiples.

La caldeira de l'Enclos Fouqué est une caldeira de grande taille pour un volcan-bouclier. Toutefois, elle présente une morphologie polylobée caractéristique de nombreuses caldeiras hawaïennes. Les dimensions de l'unité la plus grande sont de 6 km x 5 km, ce qui reste dans la norme des caldeiras hawaïennes (Bachèlery, 1981). L'absence d'indices de la présence d'un réservoir magmatique de taille suffisante pour expliquer la formation des divers effondrements unitaires reste, malgré tout, un problème non résolu. Nos connaissances des modalités de stockage magmatique à l'aplomb de la Fournaise sont encore bien faibles et ne permettent pas de trancher de manière définitive. Plusieurs points peuvent être rappelés :

- les limites du complexe magmatique du Grand Brûlé sont du même ordre de grandeur que celles de l'Enclos,

- l'étalement des niveaux lourds sous l'Enclos est également d'un ordre de grandeur comparable à celui de la structure d'effondrement ; le stockage des magmas pouvant dès lors être réalisé à l'interface entre cet horizon de forte densité et les coulées sus-jacentes, " plus légères ",

- la plupart des intrusions observées dans la zone centrale du Piton des Neiges (Maillot, 1999) sont des lames inclinées et des sills.

Les évaluations du volume des produits déplacés dans les glissements ayant affecté le flanc oriental du volcan au cours de son histoire sont de 500 à 600 km³, si l'on inclue l'ensemble des produits, y compris le Plateau Oriental. Si l'on considère les seuls produits du 'Chenal Vincent' et du 'Râlé Poussé' qui constituent les dépôts d'avalanche de débris les plus récents de la zone et pour lesquels la relation avec la dépression du Grand Brûlé est clairement établie, leur volume n'est que de l'ordre de 30 km³ (Labazuy, 1996), soit un volume tout à fait compatible avec celui de la zone Grand Brûlé - Grandes Pentas.

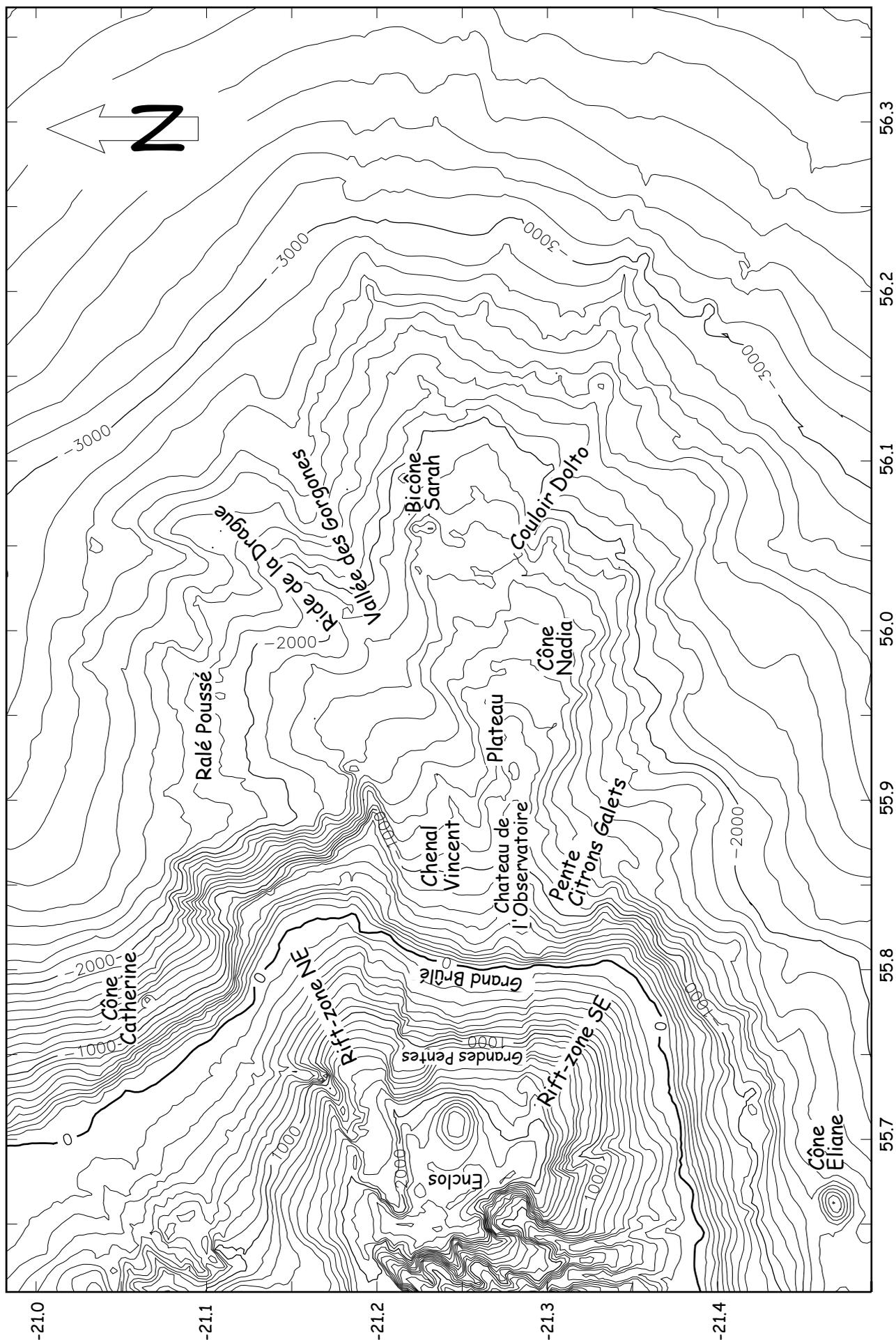
L'origine des dépressions 'caldeiriques' des volcans insulaires reste discutée, au Piton de la Fournaise, mais également pour d'autres volcans. L'association de processus d'effondrements (composante verticale) et de glissements (composante latérale) a également été proposée pour d'autres édifices volcaniques insulaires (Ténérife, Fogo), et leur rôle relatif dans la formation de telles dépressions, fait également l'objet de discussion.

Le lien génétique entre les zones affectées par les glissements et la situation, à une époque donnée, du système magmatique (réservoir et injections latérales) requiert que le système magmatique se situe à la frontière amont de la zone glissée au moment où elle se forme. Au Piton de la Fournaise, cette situation est réalisée si la tête du système de glissement actuel, déterminant la dépression du Grand Brûlé, est située vers l'amont au niveau des Grandes Pentas, ou au niveau de la limite orientale d'injection magmatique constituée par les segments centraux des rift zones NE et SE. Ces deux structures peuvent d'ailleurs être en coïncidence.

Le massif du Piton de Crac, du fait de sa position, joue un rôle clef. Il a été interprété comme une portion du flanc est du volcan, restée isolée, et non concernée par le glissement qui se développe à l'est, et par l'effondrement caldeirique qui intéresse la zone ouest (Bachèlery, 1981). Une hypothèse alternative, si l'on considère que la tête du glissement se situe dans la partie occidentale de l'Enclos Fouqué, est de considérer le Piton de Crac comme un méga-bloc englobé dans les produits glissés. Les formations

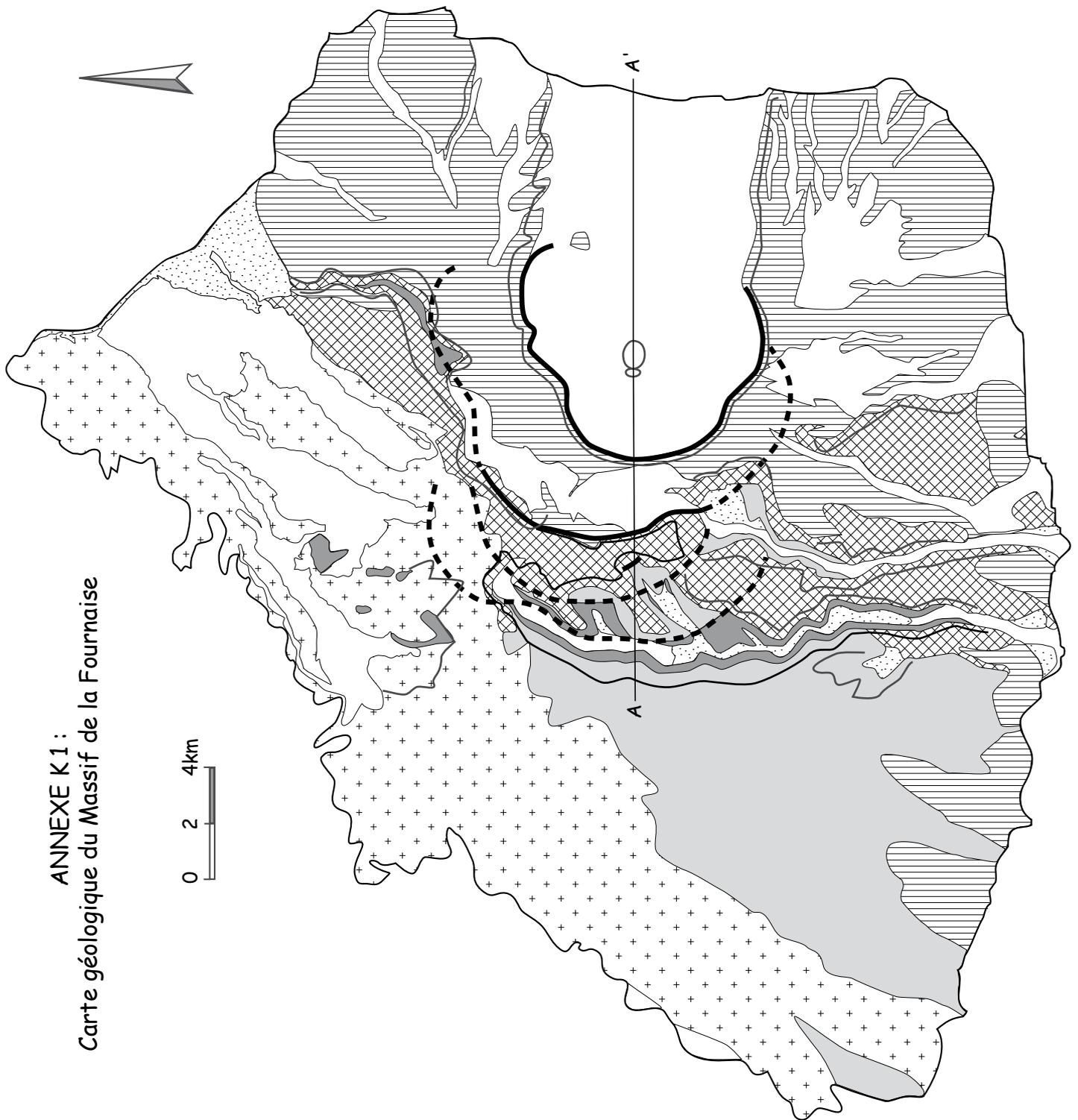
constituant le Piton de Crac ont été datées à 13000 ans \pm 6000 ans (Gillot et al., 1994) soit un âge semblable à ceux retrouvés pour les formations du rempart de l'Enclos. Une reconnaissance géologique effectuée autour du Piton de Crac montre que les coulées qui le constituent ne sont pas déplacées ; leur pendage est fort, mais conforme à celui que l'on retrouve en face dans le rempart de Bois Blanc ; un dyke injecté dans ces formations présente une orientation radiale par rapport au sommet. Ces éléments ne permettent pas de considérer le Piton de Crac comme un méga-bloc inclus dans les produits glissés. Ainsi, le Piton de Crac apparaît comme une relique isolée par l'effondrement caldeirique de l'Enclos, le glissement du Grand Brûlé et le système érosionnel de la Plaine des Osmondes.

Si l'existence de cette paléovallée est confirmée par les études à venir, elle a pu se constituer en limite nord de la zone glissée, progressant vers l'amont par érosion régressive jusqu'à recouper le rebord de la caldeira entre le Piton de Crac et l'actuel rempart nord de la Plaine des Osmondes. Notons que le forage du Grand Brûlé, situé légèrement plus au sud, n'a pas permis de mettre en évidence de produits alluvionnaires. Le faible taux de remplissage de la dépression de la Plaine des Osmondes par les coulées provenant du rift nord indique que cette ouverture est récente. La limite de l'ancienne bordure caldeirique entre le Nez coupé de Ste Rose et le Piton de Crac, peut être recherchée dans le remarquable alignement curviligne des cônes scoriacés des éruptions de 1953; 1931 et 1961 ; trois éruptions ayant amené en surface des océanites, donc des magmas ayant transité rapidement depuis des zones profondes.



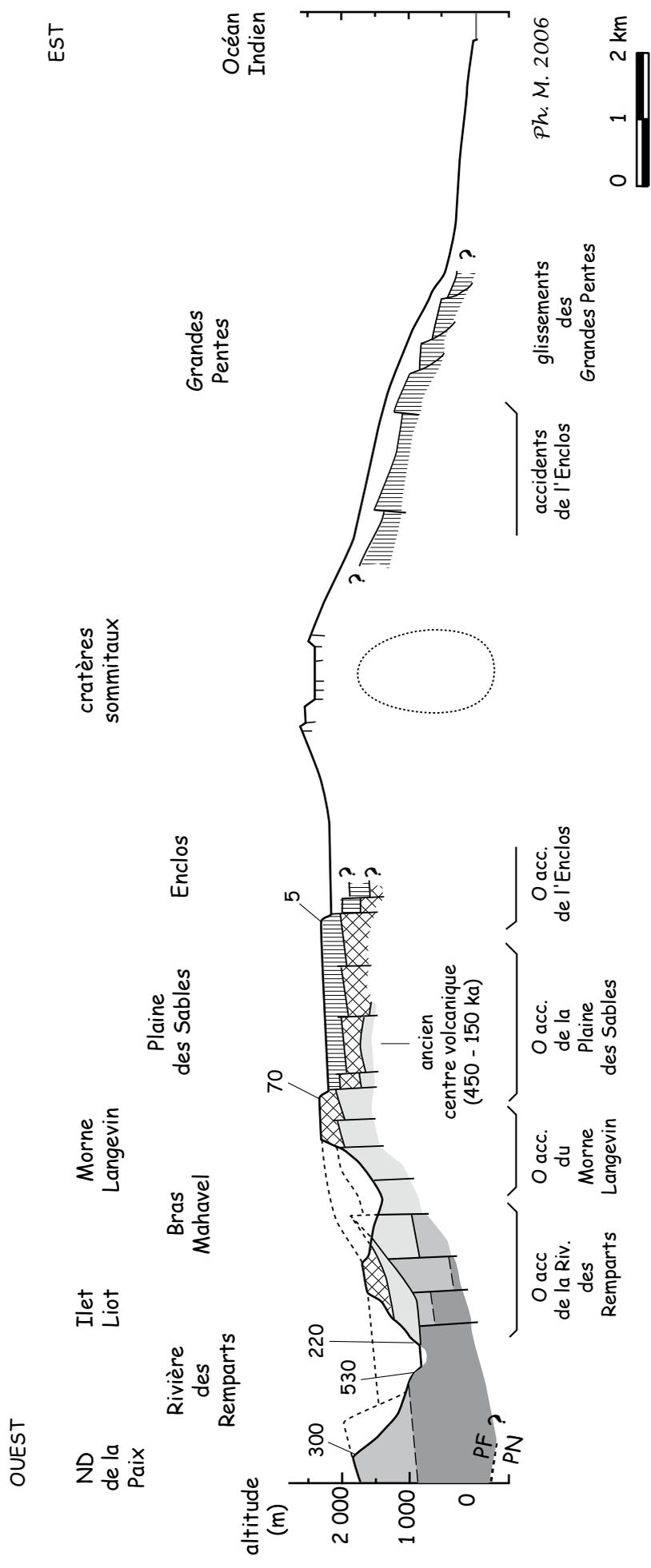
Annexe J : Carte bathymétrique de la zone orientale du Massif de la Fournaise (Ph. LABAZUY et J. Fr. LENAT 1991)

ANNEXE K 1 :
Carte géologique du Massif de la Fournaise



Formations du Massif de la Fournaise	
	Coulées boueuses et alluvions
	Série actuelle (0 à 5 ka)
	Unité de la Plaine des Cafres
	Série de la Plaine des Sables (5 à 65 ka)
	Série antérieure à la Plaine des Sables (65 à 150 ka)
	Série du Bouclier Ancien (150 à 450 ka)
	Série du Volcan des Alizés (450 à + de 530 ka)
	Limite d'accident tectonique
	Sommet de falaise
ka	1 000 ans
AA'	coupe géologique

Annexe K2 : COUPE GÉOLOGIQUE SIMPLIFIÉE (ET HYPOTHÉTIQUE) DU MASSIF DE LA FOURNAISE (avec glissements limités aux Grandes Pentès)



<div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px); margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; background: repeating-linear-gradient(-45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px); margin-bottom: 5px;"></div>	<p>Piton de la Fournaise actuel (0 - 5 ka)</p> <p>Série de la Plaine des Sables (5 - 65 ka)</p> <p>Série du Morne Langevin (65 - 150 ka)</p>	<div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; background-color: #cccccc; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; background-color: #808080; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px dashed black; width: 20px; height: 10px; margin-bottom: 5px;"></div>	<p>Série du Bouclier Ancien (150 - 450 ka)</p> <p>Laves du Volcan des Alizés (450 - > 530 ka)</p> <p>Domaine des chambres magmatiques superficielles, alimentées périodiquement par du magma profond</p>
<div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; margin-bottom: 5px;"></div>	<p>Nombres sur la coupe : âges en ka (1 ka = 1 000 ans)</p> <p>PF = Massif du Piton de la Fournaise PN = Massif du Piton des Neiges</p> <p>O acc. = bordures occidentales des accidents volcano-tectoniques</p>		

mise en page : IMAZCOM - Saint-Joseph
impression : Scanner