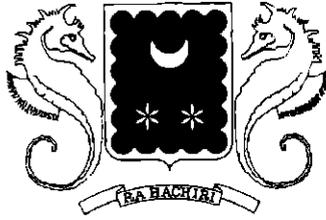


Collectivité Départementale de Mayotte



DIRECTION
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA FORET

Approche géologique et hydrogéologique des ensembles volcaniques de Grande-Terre (Ile de Mayotte)

Etude réalisée dans le cadre du projet de Service public du BRGM 02-EAU-706

T. Jourdain, N. Maurillon et R. Mouron

octobre 2002
Rapport BRGM/RP-52193-FR
2002 MAYOTTE 04



*Approche géologique et hydrogéologique des ensembles volcaniques
de Grande Terre (Ile de Mayotte)*

Mots clés : Aquifères, Eaux souterraines, Géologie, Hydrogéologie, Massif
Volcanique, Mayotte.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

JOURDAIN T., MAURILLON N. et MOURON R. (2002) - Approche géologique et
hydrogéologique des ensembles volcaniques de Grande-Terre (Ile de Mayotte). Rap.
BRGM/RP-51498-FR – 2002 MAYOTTE 04, 80 p., 17 fig., 8 tab., 5 ann.

© BRGM, 2002

Synthèse

Dans le cadre de la fiche de Service Public 02 EAU 706 "Protection et optimisation de la ressource en eau souterraine à Mayotte", co-financée à parts égales par le BRGM et la Collectivité Départementale, la DAF de Mayotte a demandé au BRGM d'apporter des éléments complémentaires de connaissance géologique et hydrogéologique sur l'île de Mayotte.

Cette étude a été réalisée sur 4 des 5 ensembles volcaniques de Mayotte, Petite Terre ne rentrant pas dans le cadre de ce projet. Ses principaux objectifs sont :

- d'apporter des informations complémentaires sur le contexte général des forages de la campagne 1999-2000 progressivement mis en production, afin de contribuer à évaluer les ressources en eaux souterraines ;
- d'amorcer sur le terrain, l'identification des cibles des futures campagnes de forages d'exploration et d'exploitation des eaux souterraines dans l'île.

Elle s'est déroulée en 2 étapes. La première a consisté en une recherche documentaire incluant les données topographiques disponibles (cartes, MNT, etc.) et les photographies aériennes. Dans un deuxième temps, une campagne d'observations de terrain a été effectuée afin de déterminer au mieux la nature et la géométrie des formations géologiques, leur degré d'altération, la localisation et les caractéristiques des émergences éventuelles dans le but d'estimer les potentialités hydrogéologiques des secteurs étudiés. Des coupes géologiques schématiques ont été établies sur les massifs volcaniques de Mtsamboro, de Bouéni – secteur de Dapani-Chirongui et secteur de Poroani-Dembéni - et de Mtsapéré – secteur de Mamoudzou.

Sur le secteur de Mtsamboro, 3 zones présentent un intérêt pour les futures recherches en eaux souterraines. Il s'agit du bassin versant situé entre Mlina Mapouéra et Mlina Dziani Bolé (bassin versant étendu, altérites peu épaisses et basaltes sains affleurants dans les ravines), du secteur de Dzoumogné (convergence de bassins versants, basaltes sains dans les ravines) et du secteur nord du Mlima Mahojani (possibilité de formations bréchiques au contact de basaltes sains dans un contexte fissuré).

Sur le massif volcanique de Bouéni – secteur de Dapani, nos investigations ont mis en évidence une zone pouvant être hydrogéologiquement intéressante. Celle-ci correspond au bassin versant du Mroni Bé, en y incluant les crêtes du Mlima Choungui Kéli et du Mlima Chirongui.

Les reconnaissances effectuées sur le massif volcanique de Bouéni – secteur de Poroani-Dembéni, ont mis en évidence une zone hydrogéologiquement favorable en amont du bassin versant du Mro Oua Dembéni (coulées de lave saines, axe de convergence de coulées de lave issues de 2 lignes de crête : Boungoubé et Kombéni, etc.)

Sur le massif volcanique de Mtsapéré – secteur de Mamoudzou, en accord avec la DAF, l'étude a simplement consisté à établir une coupe géologique à partir des données préexistantes, sans contrôles complémentaires de terrain.

Sur toutes ces zones, et afin de valider (ou infirmer) les hypothèses émises et aider à la compréhension du contexte hydrogéologique (dans le but d'y implanter de futurs forages de recherche d'eaux souterraines), il sera nécessaire :

- de réaliser des investigations géologiques complémentaires ;
- d'effectuer des prospections géophysiques (résistivité, panneaux électriques) ;
- de réaliser un suivi des différentes ravines et émergences (inventaire plus précis, débit d'étiage, pluviométrie, etc.)

Sommaire

SYNTHÈSE	3
1. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE	9
2. MÉTHODOLOGIE MISE EN OEUVRE	11
3. CONTEXTE GÉOLOGIQUE DES GRANDS ENSEMBLES VOLCANIQUES DE MAYOTTE (D'APRÈS LA BIBLIOGRAPHIE)	13
4. LE MASSIF VOLCANIQUE DE MTSAMBORO	17
4.1. CHOIX DU SECTEUR D'ÉTUDE.....	17
4.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE.....	17
4.2.1. <i>Données antérieures</i>	17
4.2.2. <i>Données acquises dans le cadre de cette étude</i>	20
4.2.3. <i>Synthèse géologique</i>	29
4.3. APPROCHE HYDROLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE.....	32
4.3.1. <i>Données bibliographiques</i>	33
4.3.2. <i>Observations à partir de la carte IGN 4410 nord (Mamoudzou)</i>	35
4.3.3. <i>Observations de terrain</i>	37
4.3.4. <i>Discussion, hypothèses</i>	38
4.4. SYNTHÈSE GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS.....	40
5. LE MASSIF VOLCANIQUE DE BOUÉNI : SECTEUR DE DAPANI-CHIRONGUI	43
5.1. CHOIX DU SECTEUR D'ÉTUDE.....	43
5.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE.....	43
5.2.1. <i>Données antérieures</i>	43
5.2.2. <i>Données acquises dans le cadre de cette étude</i>	44
5.2.3. <i>Synthèse géologique</i>	52
5.3. APPROCHE HYDROLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE.....	57
5.3.1. <i>Données bibliographiques</i>	57
5.3.2. <i>Observations à partir de la carte IGN 4410 sud (Sada)</i>	58
5.3.3. <i>Observations de terrain</i>	60
5.3.4. <i>Discussion, hypothèses</i>	61
5.4. SYNTHÈSE GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS.....	62
6. LE MASSIF VOLCANIQUE DE BOUÉNI : SECTEUR DE POROANI – DEMBÉNI	65
6.1. CHOIX DU SECTEUR D'ÉTUDE.....	65
6.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE.....	65
6.2.1. <i>Données antérieures</i>	65
6.2.2. <i>Données acquises dans le cadre de cette étude</i>	67
6.2.3. <i>Synthèse géologique</i>	72
6.3. APPROCHE HYDROLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE.....	75
6.3.1. <i>Données bibliographiques</i>	75
6.3.2. <i>Observations à partir de la carte IGN 4410 nord (Mamoudzou)</i>	76
6.3.3. <i>Observations de terrain</i>	78
6.3.4. <i>Discussion, hypothèses</i>	78
6.4. SYNTHÈSE GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS.....	80

7.	LE MASSIF VOLCANIQUE DE MTSAPÉRÉ : SECTEUR DE MAMOUDZOU	81
7.1.	CHOIX DU SECTEUR D'ÉTUDE.....	81
7.2.	CONTEXTE GEOLOGIQUE.....	81
8.	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	85

Liste des Figures

<u>FIGURE 1 : DÉLIMITATION DES PRINCIPALES UNITÉS VOLCANIQUES DE MAYOTTE</u>	14
<u>FIGURE 2 : DÉLIMITATION DE LA ZONE ÉTUDIÉE SUR LE MASSIF VOLCANIQUE DE MTSAMBORO</u>	18
<u>FIGURE 3 : CARTE DES AFFLEUREMENTS SUR LA ZONE ÉTUDIÉE DU MASSIF VOLCANIQUE DE MTSAMBORO</u>	21
<u>FIGURE 4 : DONNÉES STRUCTURALES SUR LE MASSIF VOLCANIQUE DE MTSAMBORO</u>	28
FIGURE 5A: COUPE GÉOLOGIQUE INTERPRÉTATIVE MTSANGAMOUI-ANDRIANABÉ	30
FIGURE 5B: COUPE GÉOLOGIQUE INTERPRÉTATIVE MTSANGAMOUI-HANDRÉMA	31
<u>FIGURE 6 : DÉLIMITATION EN TROIS SECTEURS HYDROLOGIQUES DE LA ZONE D'ÉTUDE SUR LE MASSIF VOLCANIQUE DE MTSAMBORO</u>	36
FIGURE 7 : DÉLIMITATION DE LA ZONE D'ÉTUDE DE LA PARTIE MÉRIDIIONALE DU MASSIF VOLCANIQUE DE BOUÉNI.....	44
FIGURE 8 : CARTE DES AFFLEUREMENTS SUR LA ZONE ÉTUDIÉE DU MASSIF VOLCANIQUE DE BOUÉNI (SECTEUR DE DAPANI-CHIRONGUI).....	46
FIGURE 9 : DONNÉES STRUCTURALES SUR LE MASSIF MASSIF VOLCANIQUE DE BOUÉNI (SECTEUR DE DAPANI-CHIRONGUI)	51
FIGURE 10A : COUPE GÉOLOGIQUE INTERPRÉTATIVE DAPANI-CHIRONGUI	54
FIGURE 10B : COUPE GÉOLOGIQUE INTERPRÉTATIVE NGOUMBILI-MRONI DJALIMOU	55
FIGURE 10C : COUPE GÉOLOGIQUE INTERPRÉTATIVE CARRIÈRE DE MOUTSAMOUDOU – MLIMA CHOUNGUI.....	56
FIGURE 11 : DÉLIMITATION DES DIFFÉRENTS SECTEURS HYDROLOGIQUES SUR LA ZONE DE DAPANI - CHIRONGUI	59
FIGURE 12 : DÉLIMITATION DE LA ZONE D'ÉTUDE DU MASSIF VOLCANIQUE DE BOUÉNI.....	66
FIGURE 13 : CARTE DES AFFLEUREMENTS SUR LA ZONE ÉTUDIÉE DU MASSIF VOLCANIQUE DE BOUÉNI	68
FIGURE 14 : DONNÉES STRUCTURALES SUR LE MASSIF VOLCANIQUE DE BOUÉNI (SECTEUR DE POROANI-DEMBÉNI).....	71
FIGURE 15 : COUPES (1, 2) GÉOLOGIQUES INTERPRÉTATIVES SUR LE MASSIF VOLCANIQUE DE BOUÉNI	74
FIGURE 16 : DÉLIMITATION DES DIFFÉRENTS SECTEURS HYDROLOGIQUES DU MASSIF VOLCANIQUE DE BOUÉNI (SECTEUR DE POROANI-DEMBÉNI)	77
FIGURE 17 : COUPE GÉOLOGIQUE INTERPRÉTATIVE MAMOUDZOU - MLIMA MTSAPÈRE SUR LE MASSIF VOLCANIQUE DE MTSAPÉRÉ	83

Liste des Tableaux

<u>TABLEAU 1 : PARAMÈTRES HYDRAULIQUES SUR LE MASSIF VOLCANIQUE DE MTSAMBORO</u>	33
<u>TABLEAU 2 : PARAMÈTRES PHYSIQUES DES BASSINS VERSANTS HYDROLOGIQUES SUR LE MASSIF VOLCANIQUE DE MTSAMBORO</u>	34
<u>TABLEAU 3 : INFORMATIONS HYDROLOGIQUES DE LA DAF SUR LE MASSIF VOLCANIQUE DE MTSAMBORO (2000)</u>	34
<u>TABLEAU 4 : PARAMÈTRES HYDRAULIQUES DES BASSINS VERSANTS HYDROLOGIQUES SUR LE MASSIF VOLCANIQUE DE BOUÉNI - DAPANI</u>	57
<u>TABLEAU 5 : PARAMÈTRES PHYSIQUES DU MRO BÉ SUR LE MASSIF VOLCANIQUE DE BOUÉNI-DAPANI</u>	57
<u>TABLEAU 6 : PARAMÈTRES HYDROLOGIQUES DES BASSINS VERSANTS HYDROLOGIQUES SUR LE MASSIF VOLCANIQUE DE BOUÉNI DE MBÉNI</u>	68
TABLEAU 7 : PARAMÈTRES PHYSIQUES DES BASSINS VERSANTS HYDROLOGIQUES SUR LE MASSIF VOLCANIQUE DE BOUÉNI-DEMBÉNI	

TABLEAU 8 : INFORMATIONS HYDROLOGIQUES DE LA DAF CONCERNANT LE COURS D'EAU DE DEMBÉNI
(2001)..... 69

Liste des Annexes

- ANNEXE 1 : PHOTOGRAPHIES D'AFFLEUREMENTS SUR LE MASSIF VOLCANIQUE DE MTSAMBORO
- ANNEXE 2 : AVIS TECHNIQUE CONCERNANT L'UTILISATION DE LA MÉTHODE AMT A MAYOTTE
- ANNEXE 3 : PHOTOGRAPHIES D'AFFLEUREMENTS SUR LE MASSIF VOLCANIQUE DE BOUÉNI
- ANNEXE 4 : COUPE GÉO-ÉLECTRIQUE SUR TSARARANO
- ANNEXE 5 : COMPTE RENDU DE RÉUNION TECHNIQUE

1. Objectifs de l'étude

Une stratégie prévisionnelle de mise en valeur des eaux souterraines de l'île de Mayotte a été établie en début d'année 2002, qui intègre les objectifs de la convention cadre 2001-2004 entre la Collectivité Départementale de Mayotte et le BRGM. Elle a été élaborée de manière conjointe entre la DAF de Mayotte et l'Antenne du BRGM à Mayotte. A partir de celle-ci, des actions d'exploration des eaux souterraines ont été définies sur chacun des 5 ensembles volcaniques identifiés à ce jour : les massifs volcaniques de Mtsamboro, Bouéni, Mtsapéré, et les groupes de cratères tardifs de Kaouéni - Kavani et Dziani -Moya.

Dans le cadre de la fiche 02 EAU 706 de Service Public du BRGM « Protection et optimisation de la ressource en eau souterraine à Mayotte », co-financée à parts égales par le BRGM et la Collectivité Départementale, la DAF de Mayotte a demandé au BRGM d'apporter des éléments complémentaires de connaissance géologique et hydrogéologique de l'île de Mayotte à partir des données existantes (forages antérieurs) et de nouvelles reconnaissances de terrain, entreprises à l'échelle des grandes structures volcaniques identifiées à ce jour.

Cette étude a été conduite sur 4 des 5 ensembles volcaniques de Mayotte, Petite-Terre ne rentrant pas dans le cadre de ce projet.

Cette analyse a eu comme principaux objectifs :

- d'apporter des informations complémentaires sur le contexte général des forages de la campagne 1999-2000 progressivement mis en production, afin de contribuer à évaluer les ressources en eaux souterraines ;
- d'amorcer sur le terrain l'identification des cibles des futures campagnes de forages d'exploration et d'exploitation des eaux souterraines dans l'île.

Pour répondre au mieux à ces objectifs, une recherche documentaire des travaux antérieurs concernant le contexte géologique et hydrogéologique des ensembles volcaniques de Grande-Terre a été réalisée dans un premier temps, suivie d'analyses, préliminaires à des contrôles de terrain, utilisant des informations topographiques disponibles (cartes topographiques, MNT,...) et la photographie aérienne.

Dans un deuxième temps, une campagne d'observations de terrain a été effectuée sur ces ensembles volcaniques. Elle a visé à déterminer au mieux la nature et la géométrie des formations géologiques observées, leur degré d'altération, la localisation et les caractéristiques des émergences éventuelles (estimation du débit, contexte d'émergence,...) et, sur la base de la synthèse de ces informations, leurs potentialités hydrogéologiques. Ce travail a permis d'établir de grandes coupes géologiques schématiques pour chacun des 4 ensembles volcaniques, mettant en évidence les terrains réputés aquifères traversés par les forages. Le tracé de ces coupes a été défini en fonction de critères d'accessibilité, de la présence d'affleurements (identifiée par la photo-interprétation) et d'informations de terrain déjà collectées par l'hydrogéologue de la DAF/SER (M. Giorgi), mais non intégralement communiquées au BRGM.

2. Méthodologie mise en oeuvre

Dans le cadre de ce projet, défini en étroite concertation entre le BRGM et la DAF, les observations et interprétations géologiques de terrain ont été faites non pas dans le but d'une cartographie fine et systématique, mais pour effectuer des esquisses géologiques ayant comme principal objectif d'aboutir à un schéma conceptuel du volcanisme de Mayotte.

La méthode utilisée sur le terrain a consisté, non seulement à identifier la nature des formations géologiques rencontrées, mais aussi à cartographier et dissocier les faciès d'altération des roches volcaniques (laves altérées à très altérées, altérites, etc.). Ces observations ont été reportées sur une carte d'affleurements.

En raison des délais impartis pour la remise de l'étude, les observations de terrain ont du être réalisées en fin de saison des pluies 2002. Par voie de conséquence, certains aspects de l'étude hydrogéologique (localisation des sources pérennes, évaluation du débit d'étiage des cours d'eau et/ou de leur caractère pérenne ou non, etc.), n'ont pu être menés à bien sur la plupart des secteurs d'étude. Par ailleurs, l'acquisition de matériel de mesure (conductimètre) n'ayant pu se faire avant la fin de cette étude, les mesures de conductivité et de température n'ont pas pu être réalisées.

Le modèle numérique de terrain (MNT), utilisé dans le cadre de cette étude, correspond à une représentation du relief sous forme d'une grille régulière dont l'altitude des nœuds correspond à l'altitude interpolée du terrain au point considéré. A partir des produits dérivés du MNT (pente, exposition, courbures, éclairages artificiels, etc.), il est possible de mettre en évidence des structures linéaires d'échelle kilométrique, pouvant caractériser des zones de déformation d'origine volcanique et/ou tectonique (axes éruptifs, failles, fractures, etc.).

Les linéaments repérés au moyen du MNT et de l'interprétation de photo-aériennes sont, ensuite, confrontés aux observations de terrain pour vérifier l'existence des systèmes de déformation associés.

3. Contexte géologique des grands ensembles volcaniques de Mayotte (d'après la bibliographie)

Les quatre îles de l'archipel des Comores : Grande Comore, Mohéli, Anjouan, et Mayotte, correspondent à un linéament volcanique orienté selon un axe NW - SE mis en place au sein d'un bassin océanique caractérisé par l'accumulation d'épais dépôts sédimentaires.

Le contexte géodynamique des Comores s'inscrit au sein de l'océan Indien qui reste, parmi les grands bassins océaniques de la planète, l'un des moins bien connus.

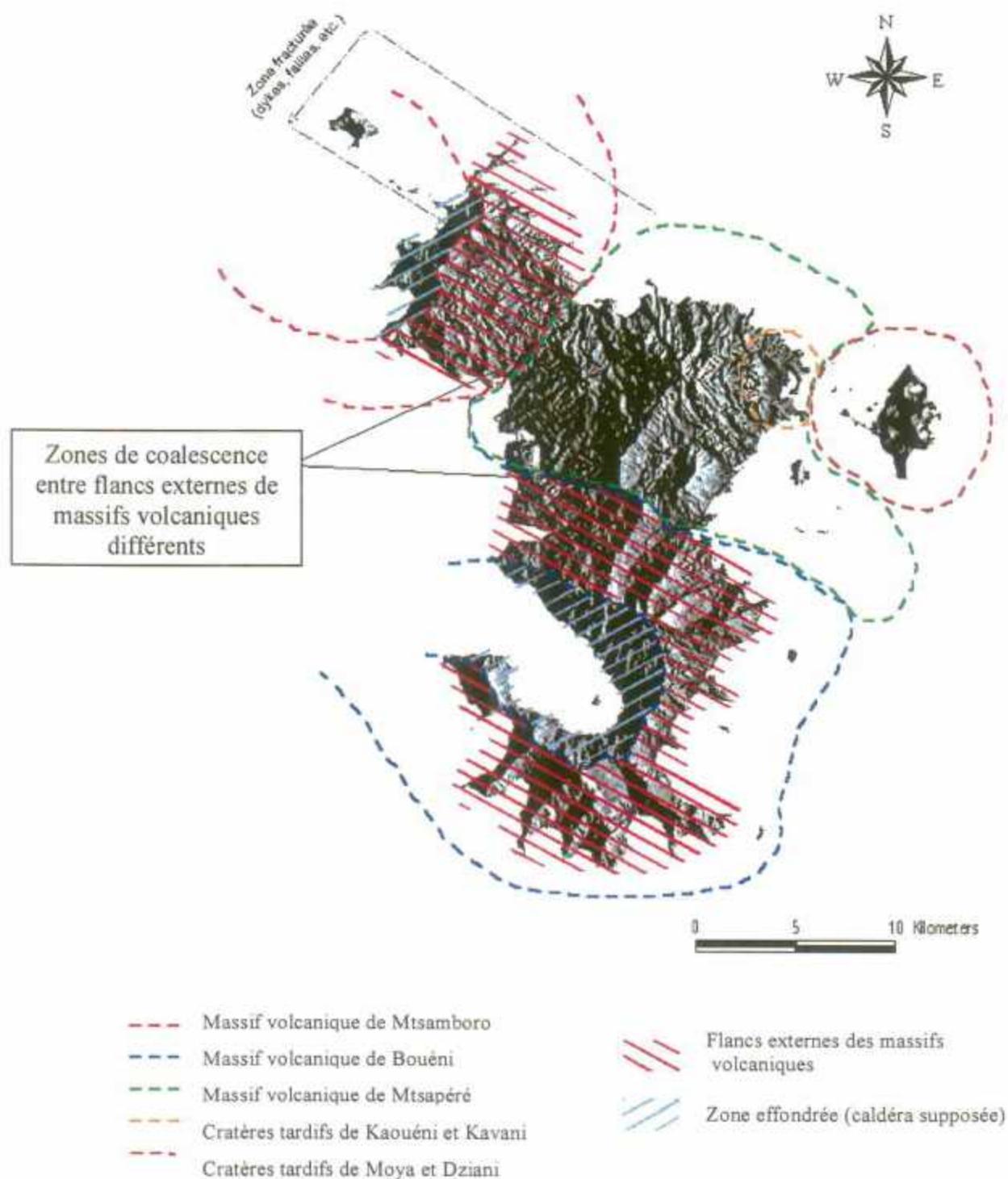
Le bloc tectonique de Madagascar se serait détaché des côtes somaliennes, kényanes et tanzaniennes et aurait commencé à dériver vers le Sud vers 165 Ma¹ (Jurassique moyen), en couissant le long de la faille transformante que constitue la ride de Davie, entraînant probablement les Seychelles et l'Inde (Rabinowitz et Coffin, 1983). Cette migration se serait arrêtée il y a environ 125 Ma. Les Comores auraient commencé à s'édifier, vers la fin du Miocène (environ 8 Ma), sur une croûte océanique franche ou dans une zone de transition entre la croûte océanique et continentale (Nougier *et al.*, 1986; Späth *et al.*, 1996), plutôt que sur une croûte continentale (Flower et Strong, 1969).

La genèse de l'archipel est encore discutée. Nougier *et al.*, (1986) proposent l'hypothèse d'un magmatisme alcalin synchrone, le long de fractures lithosphériques anciennes sub-méridiennes (du continent malgache vers les îles océaniques des Comores), périodiquement réactivées pendant le Tertiaire. La plupart des auteurs font néanmoins appel à la théorie des points chauds (Class *et al.*, 1998; Emerick and Duncan, 1982), sur la base d'une croissance de l'âge du volcanisme vers le Sud-Est, de la Grande Comore vers Mayotte et Madagascar (migration de la plaque somalienne au dessus d'un point chaud).

L'île de Mayotte, la plus orientale et la plus ancienne de l'archipel, est constituée par un bouclier volcanique primitif sur lequel se surimposent diverses unités volcaniques effusives puis explosives (Figure 1).

¹ Ma : millions d'années.

Figure 1 : Délimitation des principales unités volcaniques de Mayotte
(collaboration BRGM/DAF)



Les principaux travaux concernant l'histoire géologique de Mayotte (Nougier *et al.*, 1986 ; Stieltjes, 1988) ne tranchent pas entre deux interprétations majeures pour expliquer la structure de l'île :

- soit, présence d'un vaste volcan bouclier dont le centre, maintenant effondré, se situerait à l'ouest de Mayotte ;
- soit, existence d'une chaîne de petits massifs volcaniques coalescents.

En tout état de cause, Mayotte semble être le résultat d'une évolution volcanologique qui se serait faite en 4 phases principales (Nougier *et al.*, 1986) :

1. mise en place d'un bouclier primitif, généralisé à l'ensemble de l'île, à partir d'un ou plusieurs ensembles volcaniques dont les coulées de base, subaériennes, sont datées aux environs de 8 Ma. L'âge du volcanisme initial (basanites et basaltes à néphéline, augite et olivine) est estimé, entre 15 et 10 Ma. Les dernières éruptions de cette phase ont donné des coulées de lave sous-saturées en silice (néphélinites) mises en place au sein de paléovallées (3,25 Ma) ;
2. épanchement de laves plus différenciées. Ce sont essentiellement des dômes et écoulements phonolitiques dans le centre et le sud de l'île, mis en place le long de grands accidents convergeant probablement vers le centre du bouclier, entre 3,3 et 2,5 Ma, avec une dernière récurrence vers 1,5 Ma ;
3. mise en place d'un volcanisme basaltique et basanitique au nord-ouest, suivant la seule zone de rift distensive de type « hawaïen » identifiée à Mayotte, de direction N175, daté aux alentours de 2 Ma. Ces coulées de lave nappent les reliefs de l'extrémité nord-ouest de Grande Terre jusqu'à la baie de Longoni, à partir d'un centre d'émission situé probablement en mer (Stieltjes *et al.*, 1988). Suit la mise en place du massif du M'Tsapéré qui, avec son cortège de protrusions phonolitiques (1,8 à 1,5 Ma), puis de coulées tardives de vallée (1,5 à 1,4 Ma), traverse et occupe la partie méridionale du rift ;
4. phase explosive trachytique et basaltique très récente (mais pas précisément datée) caractérisée par la mise en place de structures toujours bien préservées. Ce volcanisme explosif laisse des cratères d'explosion bien préservés en particulier sur Petite Terre et à Mamoudzou.

L'île a été soumise, depuis 1,5 à 1 Ma au moins, à une subsidence d'au moins 70 m, probablement d'origine thermique, qui explique le développement de son récif frangeant (Coudray *et al.*, 1985). Cette barrière récifale est interrompue par quelques passes qui coïncident généralement avec le réseau hydrographique des périodes glaciaires de l'Holocène (10 000 ans), pendant lesquelles le lagon actuel était exondé et la barrière soumise à des processus de karstification. Les plaines sédimentaires côtières actuelles correspondent principalement au comblement récent des vallées entaillées à cette période.

Les formations volcaniques sont affectées par les processus d'altération, d'origine climatique d'une part (latérisation) et hydrothermale d'autre part, suivant la mise en place des phonolites. L'altération climatique concerne essentiellement les formations les plus anciennes (antérieures à 3,5 Ma ?). Elle conduit à des profils d'altérites de plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, (Stieltjes *et al.*; 1988, Ben Youssef, 1992). C'est uniquement au sein de ces formations argilisées que se développent des *bad-lands* (padzas en mahorais).

4. Le massif volcanique de Mtsamboro

4.1. CHOIX DU SECTEUR D'ETUDE

Dans le cadre de ce projet, la zone d'étude a été choisie en concertation entre le BRGM et la DAF en fonction de données complémentaires à acquérir dans une optique de compréhension hydrogéologique de ce massif volcanique. Ce secteur d'étude correspond à une « bande » d'axes ; l'axe principal nord-sud du massif de Mtsamboro, allant de Bandraboua (nord) à Mtsangamouji (sud) (Figure 2).

4.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE

4.2.1. Données antérieures

Le territoire du nord-ouest de la Grande Terre a été interprété comme résultant de l'activité de l'un des grands massifs volcaniques constituant le bouclier primitif de Mayotte. Sa partie effondrée immergée et l'un de ses flancs externes (partie Sud-Ouest), composé d'un ensemble de coulées de lave superposées, arment les reliefs (Nougier *et al.* 1979, 1986 ; Stieltjes, 1988) (Figure 1).

Ce massif volcanique est constitué, à la base de la série lithostratigraphique de basanites (laves basiques très riches en olivine) et, au sommet des reliefs, de basaltes ankaramitiques (basalte à phénocristaux de pyroxène et d'olivine) interprétés comme correspondant aux dernières venues magmatiques. Au niveau du flanc externe du massif volcanique, Nougier *et al.* (1979, 1981) décrivent un ensemble basal de coulées de lave de type *pahoehoe* alternant avec des pyroclastites. Les venues de lave plus visqueuses (phonolites) formant des dômes (ou dômes-coulées) apparaissent, par la suite, et sont conservées au niveau des crêtes actuelles, surmontant les secteurs de Bandraboua, Handréma et Mtsamboro (Stieltjes, 1988).

Les toutes dernières venues de laves de ce massif volcanique, localisées essentiellement dans sa partie nord (basaltes ankaramitiques), se font autour de 2 Ma à partir de systèmes fissuraux.

Par ailleurs, Nougier (1979) a mis en évidence des réseaux filoniens très denses dont l'agencement définit un premier groupe intrusif ancien très altéré, formé de dykes (épaisseur inférieure au mètre) de direction N90, recoupé par un faisceau d'autres dykes plus épais (2 m), aphyriques, à bordure vitreuse, de direction N180.

Un second groupe (environ 50% de la totalité du réseau filonien), constitué par des dykes (dont certains hydrothermalisés) d'orientation N170, est lui même recoupé par un faisceau N10. La totalité de ces systèmes intrusifs orientés principalement N150-180, traduit une phase distensive importante, de direction E-W.

Figure 2 : Délimitation de la zone étudiée sur le massif volcanique de Mtsamboro

Approche géologique et hydrogéologique des ensembles volcaniques
de Grande Terre (Ile de Mayotte)



- Forages de la campagne de 1990
- Forages de la campagne de 1999
- Zone d'étude

En 1983, une campagne de prospection géophysique (magnéto-tellurique) a été réalisée dans le cadre d'un programme Cordet (Ballestracci *et al.*, 1984). Parmi les profils réalisés et interprétés, le profil Tsingoni - Dzoumonyé (Annexe 2, figure 6), met en évidence deux failles importantes d'orientation E-W, avec quatre couches de résistivités différentes :

- une couche superficielle (0.5 à 12.5 m de profondeur) de résistivité comprise entre 0.5 et 5 Ohm.m, qui a été assimilée à la couverture pédologique, à des alluvions récentes (limons argileux à sableux plus ou moins perméables) et à des altérites ;
- une couche de résistivité moyenne (200 à 400 Ohm.m), interprétée comme des roches altérées et fracturées (« épanchements basaltiques et différenciés surmontant le bouclier primitif »), avec, dans le nord, des niveaux plus sains (600 Ohm.m) que dans le reste de l'île. Selon les auteurs, ces empilements de coulées de lave peuvent être intercalés d'alluvions ;
- un troisième horizon de résistivité plus faible (1 à 10 Ohm.m) d'épaisseur variable (de 10 à 150 m) mais régulière, a été interprété par Ballestracci *et al.* comme étant une zone noyée des formations de la couche 2. Pour Eberschweiler (1986), cette couche correspondrait à une épaisse couche d'altérites, localement surmontée d'alluvions, formée pendant un épisode de repos entre la phase de mise en place du bouclier et les épanchements laviques supérieurs ;
- la couche la plus profonde et la plus résistante (> 400 Ohm.m) a été interprétée comme étant un socle basaltique rendu imperméable en surface par un épais niveau d'altération.

Par ailleurs, Ballestracci *et al.* (1984) envisagent l'hypothèse d'un système de fracturation cassante en système de horst et graben sur le secteur de Mtsangamouji-Dzoumonyé. Des failles normales de direction N100-110 de pendage 40° environ vers le nord, limiteraient des compartiments qui s'abaisseraient en marches d'escalier de Mtsangamouji vers Dzoumonyé. L'axe du horst se caractériserait, au niveau de Mtsangamouji, par des failles de même direction (N100-110) avec un pendage orienté vers le sud.

Le peu de mesures structurales disponibles sur le secteur ne permet pas de confirmer ou d'infirmier cette hypothèse.

4.2.2. Données acquises dans le cadre de cette étude

a) Les formations géologiques

• Les formations basaltiques

La morphologie actuelle du massif volcanique se caractérise par un ensemble de coulées de lave bien visibles à l'intérieur d'une structure caldérique supposée et sur ses flancs externes (Figure 1). Cet ensemble de coulées basaltiques appartiendrait au volcan bouclier primitif.

A l'affleurement, cet ensemble est constitué d'un empilement de laves basaltiques massives, d'épaisseur métrique, dans lesquelles s'intercalent des niveaux scoriacés (brèches de progression). Un affleurement dans l'ancienne carrière de Mtsangadoua (Figure 3 ; n°A1) illustre la stratigraphie typique des empilements, coulées de lave massives / niveaux scoriacés, avec de bas en haut :

- basalte aphyrique sain, compact, avec quelques zéolites dans des vacuoles, d'un minimum de 2 mètres d'épaisseur. Les fissures au sein de cette unité sont sub-verticales et liées au refroidissement de la lave (rétraction thermique) ;
- niveau scoriacé (brèche de progression) d'épaisseur de 2 à 3 m avec des blocs de basalte vacuolaire aphyrique (aspect scoriacé) ;
- basalte compact (épaisseur de 2 à 3 m), sain, riche en olivine, avec quelques pyroxènes ;
- niveau scoriacé similaire à celui décrit ci-dessus (environ 3 m d'épaisseur) ;
- basalte sain, d'environ 2 mètres minimum d'épaisseur ;
- altérite (niveau argileux issu de l'altération climatique du basalte sous-jacent), d'environ 1 m d'épaisseur.

Ce type d'unité basaltique, composée d'une succession de bancs de lave plus ou moins massifs, de faible épaisseur, est présent non seulement à l'intérieur de la structure effondrée, mais aussi sur les flancs externes du massif volcanique (Figure 3 ; n°A2, Annexe 1 : photo 1 : coulées de lave massive intercalées avec des niveaux scoriacés).

Les formations basaltiques ont été cartographiées et localisées sur la carte d'affleurements de la figure 3 en prenant en compte trois degrés d'altération :

- basalte sain (en vert) ;
- basalte altéré à très altéré, mais gardant sa structure originelle (en vert clair : isaltérite) ;
- basalte très altéré, ayant perdu sa structure originelle (en rouge : allotérite).

Par ailleurs, d'après les reconnaissances géologiques réalisées dans le secteur de Mtsangamouji lors de la campagne de recherche en eau de 2001-2002, les laves qui constituent le substratum du flanc externe du massif volcanique sont essentiellement des basaltes riches en olivine et pyroxène. Ceux-ci sont recouverts par une autre série de coulées de lave basaltique, formant les reliefs du secteur, plus riches en pyroxène.

Le sens d'écoulement des laves a pu être déterminé dans certains secteurs. En général, les coulées de lave du flanc externe, ont une direction préférentielle N100 (les mesures présentées dans ce rapport se rapportent² au nord magnétique avec un pendage de 10-20° vers le SE, ce qui est cohérent avec l'hypothèse d'une zone interne du massif volcanique située en mer, au NW de l'île Figure 1).

• Les formations cendreuses et bréchiques

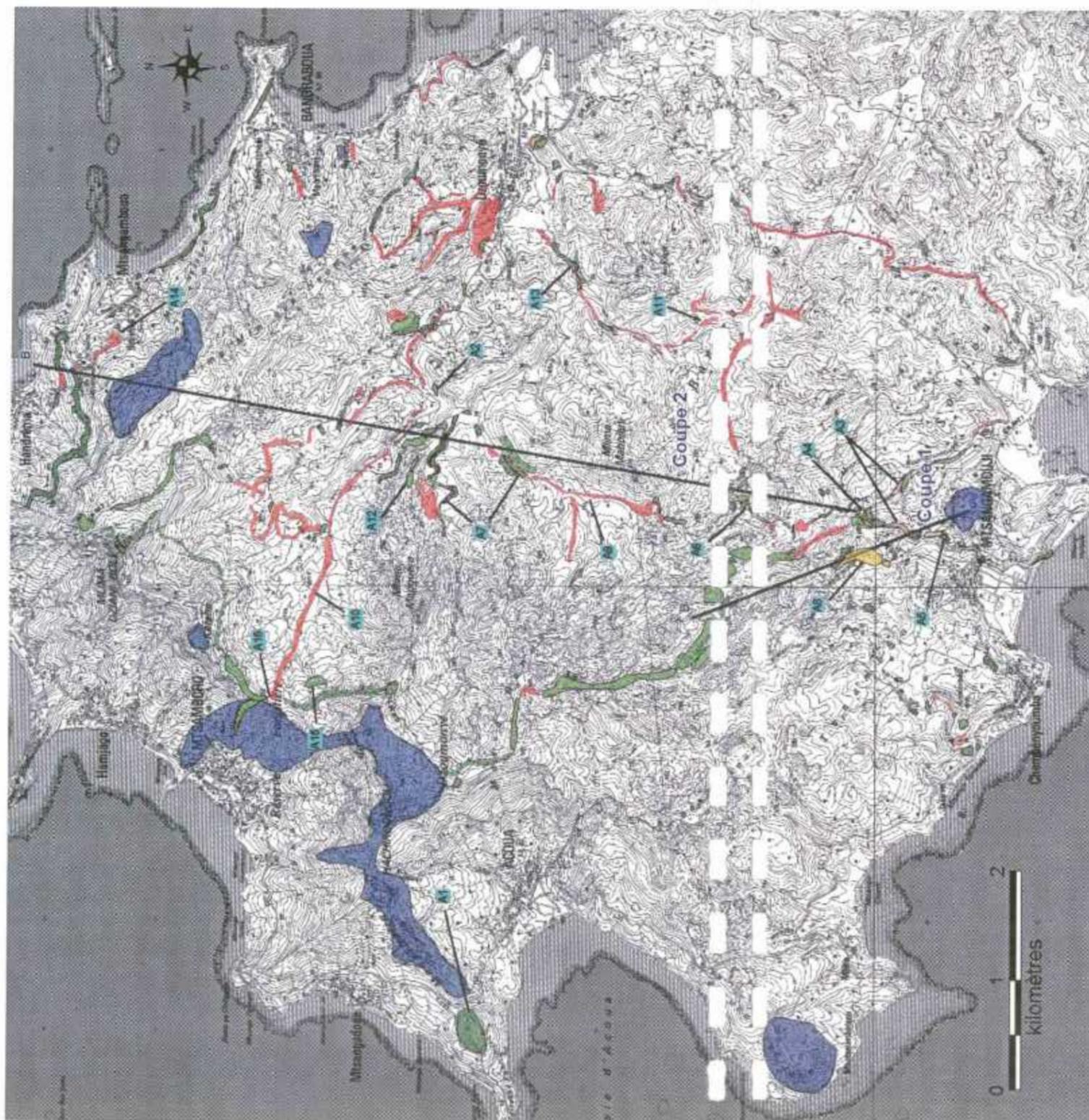
Des formations à **cendres et blocs**, de nature pyroclastique, ont été observées autour de Mtsangamouji et seulement dans le secteur sud du flanc externe du massif volcanique (Figure 3, n°A3).

A l'affleurement, ces dépôts présentent une stratification plus ou moins grossière sur plusieurs mètres d'épaisseur (environ 10-15 m). Ils sont constitués de matériaux de taille et de texture variés (cendres, lapilli, blocs plus ou moins scoriacés, etc.). A leur base, on observe souvent la présence d'un niveau bréchi que plus grossier (blocs et boules de basalte dans une matrice cendreuse). Ces dépôts pyroclastiques qui présentent une direction N90-100 avec un pendage de 15° (environ) vers le nord, se sont mis en place entre deux épisodes effusifs puisqu'ils sont « encadrés » par deux coulées de lave.

Des formations **bréchi que**s sont observées sur les flancs internes du massif volcanique. Certains affleurements bréchi ques repérés sur le secteur (Figure 3, n°A3 et A4) présentent des fragments monogéniques de lave basaltique vacuolaire, arrondis (< 5 cm) et emballés dans une matrice fine, plus ou moins argileuse selon le degré d'altération. Leur épaisseur varie entre 1 et 2 mètres.

² A Mayotte la déclinaison magnétique est d'environ 7° entre le Nord magnétique et le Nord Géographique

Figure 3 : Carte des affleurements sur la zone étudiée du massif volcanique de Mtsamboro



Légende

- Formations sédimentaires**
 - Localisation des coupes géologiques interprétatives: A — B
 - Source: Source
 - Suintement: Suintement
 - Numérotation des affleurements: Numérotation des affleurements
 - Dépôts volcano-sédimentaires variés (alluvions, colluvions):
 - Phonolite:
- Formations volcaniques différenciées**
- Formations basaltiques**
 - Formations cendreuses:
 - Formations bréchiques:
 - Altérites (allotérites):
 - Coulées de lave altérées à très altérées (isaltérites):
 - Coulées de lave saines:
 - Coulées de lave supposées (à partir de la carte géologique):

Ces dépôts peuvent correspondre :

- soit, à des brèches de progression ou de toit de coulées (Figure 3, n°A3, annexe 1, photo 1) ;
- soit, aux effets de l'altération au sein d'une coulée de lave dont la texture est essentiellement vacuolaire (ex : Mtsangamouji à Ankétabé ; Figure 3, n°A4) ;

D'autres dépôts bréchiqes sont constitués de fragments de lave, anguleux, polygéniques, de différentes tailles (de 1 à 50 cm) consolidés dans une matrice argileuse. L'exemple le plus représentatif (Figure 3, n°A5) se situe à Mtsangamouji, à la base du mont Andimaka. Il peut atteindre 2 à 3 mètres d'épaisseur et correspondre :

- soit à des coulées de boue (lahars) consolidées postérieurement à leur dépôt ;
- soit à des brèches de débouillage lors d'une éruption explosive précédant la mise en place de dépôts pyroclastiques. A l'affleurement, ce niveau bréchiqes se présente toujours en-dessous et au contact franc des niveaux pyroclastiques à cendres.

Ce mode de mise en place, ainsi que la nature de la plupart des niveaux bréchiqes (Figure 3, n°A6, A7, annexe 1 : photo 2) sont difficilement identifiables à l'affleurement en raison de leur altération importante (argiles rouges). Ils peuvent correspondre à différents modes de genèse, incluant ceux présentés ci-dessus.

Ces faciès rocheux à forte porosité (brèches, scories, etc.) ont été tout particulièrement cartographiés, en raison de leur potentiel hydrogéologique, déjà reconnu lors de la campagne de forages de 1999-2000.

● **Formation volcano - sédimentaire**

Un dépôt présentant une stratification sub-horizontale bien marquée en discordance avec les formations volcaniques primaires sous-jacentes, a été identifié à deux endroits sur l'ensemble du secteur : Bouyouni et Mtsangamouji (forage Mtsan1 1230-6X-0017 ; Figure 3, n°A8).

Le dépôt est constitué d'éléments argileux indurés d'origine probablement volcanique, très fins (silt). Il présente à la fois un faciès granulométrique et lithologique homogène. Il s'est très vraisemblablement mis en place en milieu sédimentaire calme (en contexte lacustre ou de mangrove) et atteint localement une épaisseur importante (> 25 m, forage Mtsan1 1230-6X-0017).

- **Les laves différenciées tardives (phonolite, téphrite,...)**

Ces faciès pétrographiques forment les hauts reliefs du massif volcanique de Mtsamboro (Figure 3). Sur les secteurs de Mtsamgamouji et Mtsamboro, leurs limites cartographiques reportées sur la carte géologique de Mayotte (Stieltjes *et al*, 1988) ont été vérifiées.

Ces laves correspondent à des venues tardives de magma visqueux qui ont formé des dômes et dômes-coulées. Les roches, riches en feldspaths (sanidine et/ou anorthose) et feldspathoïdes (néphéline), avec parfois quelques minéraux ferromagnésiens, présentent souvent un débit en dalles sonores.

- **Les formations d'altération**

Les allotérites

Les roches volcaniques totalement argilisées correspondent à des allotérites, sans aucune structure préservée (Figure 3).

Les allotérites se sont en particulier développées sous les effets de l'altération météorique à partir de formations volcaniques variées. Elles ne sont préservées que dans des zones de faible pente ou de replats qui doivent fossiliser des paléo-surfaces (Figure 3, n°A9 et A10). Ailleurs, elles ont été érodées ou, éventuellement n'ont pu se former (pentes trop fortes : érosion > altération). Elles sont très vraisemblablement associées à de longues périodes d'exposition à l'altération climatique. Leur altération est donc ancienne. Le seul impact de l'activité anthropique est de les avoir mises à nu ce qui a pu, ensuite, favoriser le développement des *padzas* (*bad-lands*).

Ces formations peuvent parfois atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur et affecter totalement des ensembles de coulées (ex : secteur de La Vigie ; Figure 3, n°A11).

Les isaltérites

La partie inférieure des profils d'altération présentés ci-dessus, est composée de formations volcaniques variées qui, ayant été moins soumises aux processus d'altération ont conservé leur structure originelle et passent progressivement, vers le bas, à des formations volcaniques saines.

Les effets de l'érosion postérieure à cette altération ont permis de dégager partiellement ou totalement ces produits. Les profils observés peuvent donc être complets (allotérites-isaltérites-roches saines) ou tronqués par le haut. Cette succession peut également se rencontrer à l'échelle d'une seule coulée de lave (altération superficielle).

Les reliefs résultants : padzas (*bad-lands*)

Les padzas, dénomination mahoraise des « *bad-lands* », sont issus de la mise à nu, sous l'effet des actions anthropiques (déforestation, en particulier), des profils d'altération présentés ci-dessus (isaltérites éventuellement surmontées d'allotérites) (Figure 3, n°A12, annexe 1 : photo 3). Ce sont des terrains où la faible végétation et l'importance du ruissellement sur les formations altérées, fragiles, ont contribué à la formation de zones dénudées et traversées par de profondes ravines. Ces formations, localisées dans leur grande majorité sur le flanc externe sud du massif volcanique de Mtsamboro, ont été cartographiées en tant qu'isaltérites.

Toutes les formations peuvent être affectées par l'altération (coulée de lave, dépôt pyroclastique, dépôt volcano-sédimentaire, etc.) et éventuellement se transformer en padza ensuite. Le sommet des profils complets d'altération correspond à une paléo-surface d'altération, c'est à dire à une ancienne surface topographique.

b) Analyse structurale

• Interprétation du Modèle Numérique de Terrain (MNT) et analyse des photographies aériennes

L'étude du Modèle Numérique de Terrain (MNT au pas de 50m), couplée à l'interprétation stéréoscopique des vues aériennes de l'IGN (1997), a permis de mettre en évidence deux familles de linéaments de grande extension (ordre kilométrique) (Figure 4) :

- la première famille est orientée selon une direction N100 à N120³. Les linéaments qui lui correspondent ont été identifiés sur l'ensemble du secteur d'étude et principalement sur le flanc externe du massif volcanique ;
- la deuxième famille présente une direction générale N150. Observée à proximité des « grands » linéaments N100-120, on peut la considérer comme accompagnant la formation de ceux-ci.

• Observations de terrain

Deux types de structures discordantes par rapport à la stratigraphie ont été observées :

- la fissuration et la fracturation (fissures, fractures, failles, etc.) ;
- les intrusions filoniennes de lave (dykes) ;
- glissements de terrain.

1. Fissuration et fracturation

³ Les mesures de direction et de pendage, faites à la boussole, correspondent aux mesures magnétiques. Il n'a pas été tenu compte de la déclinaison magnétique en raison du faible écart en le Nord magnétique et géographique (7°) et en raison de l'imprécision de la mesure.

- **Fissuration liée à la mise en place des coulées de lave**

Lors de leur refroidissement, les coulées de lave se rétractent et un réseau de fissures et de micro-fissures se met en place perpendiculairement à la surface de refroidissement de la coulée.

- **Fracturation d'origine volcano-tectonique et/ou tectonique**

Les quelques plans de fracture observés sur le terrain complètent les interprétations issues du MNT et des photo-aériennes. Les indications de terrain (discontinuités lithologiques, ...) permettent de caractériser le type de structure (faille normale ou inverse, décrochement...) mis en évidence (Figures 3 et 4, n°A13 et A14).

Certains linéaments, repérés à partir de l'étude du MNT, ont été confirmés sans ambiguïté comme des accidents cassants en raison de l'observation sur le terrain de contacts anormaux entre différentes formations géologiques. Un bel exemple est observable au niveau de la retenue collinaire de Dzoumonyé où des altérites, situées au sud, sont au contact (rectiligne) d'un ensemble basaltique sain (au nord) suivant une direction N140.

2. Intrusions filoniennes

Des injections de laves recoupant la stratigraphie (dykes) fossilisent un système de fractures post-mise en place du bouclier primitif du massif de Mtsamboro dans toute sa partie nord-est, de part et d'autre de l'axe volcano-tectonique marqué par l'alignement des îlots Choazil, Hamjago et Bandraboua. Elles correspondent à des venues magmatiques tardives. Nougier (1979) interprète ces réseaux filoniens comme révélateurs d'une phase distensive importante orientée E-W.

En général, l'orientation des dykes passe de N160 (Mtsamboro) à N120 en remontant vers le nord (de Mtsahara à la pointe de Rassis Douamounyo) (Figure 3).

Des indices de fractures synchrones, voire postérieures à ces dernières injections magmatiques ont été également identifiés à Bouchini (Figures 3 et 4, n°A14), avec une faille recoupant un dyke.

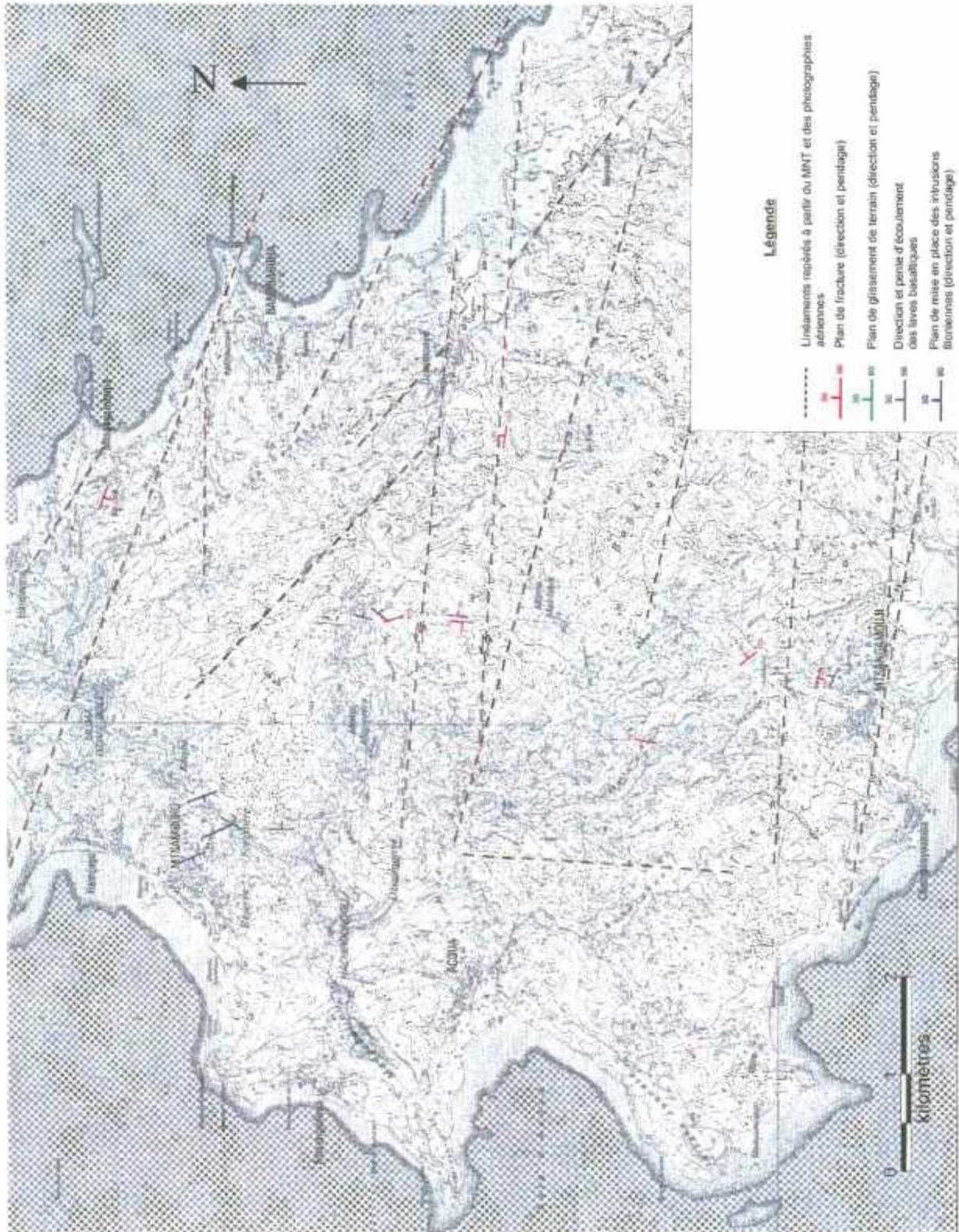
3. Indices de glissements de terrain

Plusieurs indices de glissements de terrain ont été détectés sur l'ensemble du secteur. Ils se caractérisent par la présence de stries sur des plans de glissement, au sein de formations basaltiques altérées.

Ces indices sont essentiellement visibles en amont des pentes fortes. L'exemple le plus représentatif a été observé dans le secteur nord de Mtsamboro, dans la partie haute du

flanc externe du massif (Figures 3 et 4, n°A15 et A16). Les plans des glissements de terrain se produisent parallèlement au pendage (sens d'écoulement) des coulées de lave. Le peu d'informations recueillies sur le terrain ne permet pas d'avancer la possible existence d'un mouvement de terrain de grande amplitude affectant l'ensemble de la zone concernée.

Figure 4 : Données structurales sur le massif volcanique de Mtsamboro



4.2.3. Synthèse géologique

Dans le cadre de la présente étude, deux coupes géologiques schématiques ont été réalisées, à partir des observations géologiques et structurales de terrain (Figures 5a et 5b). Leur tracé est représentée sur la carte d'affleurements (Figure 3). Les secteurs où les informations de terrain sont absentes, sont indiqués sur les coupes en tant que zones interprétées, à partir des affleurements situés à proximité.

Ces deux coupes géologiques apportent des informations supplémentaires sur la géométrie des altérites :

- la coupe de la figure 5a (Mtsangamouji–Andrianabe) suggère très nettement l'existence d'une paléo-surface sub-horizontale ou montrant un léger pendage apparent, vers le SE. Cette paléo-surface est disséquée par l'érosion (certaines ravines actuelles la recoupent complètement, atteignant ainsi les laves saines) ;
- la coupe de la figure 5b (Mtsangamouji – Handrema) montre que :
 - o le flanc sud de la protrusion semble affecté par une paléo - surface d'altération, alors que son flanc nord semble plus sain. Dans ce secteur, l'altération ne suit donc pas la topographie actuelle et serait plus ancienne ; cette phase d'altération pourrait être antérieure ou contemporaine de l'effondrement caldérique ;
 - o dans les autres secteurs de la coupe, l'altération semble pelliculaire et suivre la topographie actuelle. Elle semble donc récente. L'existence de plusieurs phases d'altération est également mise en évidence.

Par rapport aux interprétations établies par les différents auteurs sur l'édification du massif volcanique de Mtsamboro, nos observations de terrain ont permis de confirmer :

- la mise en place tardive de basaltes ankaramitiques qui se surimposent à des basanites (résultats de la campagne de recherche en eaux souterraines 2001-2002). A l'heure actuelle, aucun argument déterminant de terrain ne prouve l'existence de paléovallées dans lesquelles se seraient mises en place les basaltes ankaramitiques. Seule, une longue période de calme éruptif entre les deux grandes phases d'édification du massif volcanique aurait pu permettre le creusement par érosion de ces paléovallées et la formation d'horizons d'altération conséquents, ce qui n'est pas démontré aujourd'hui ;
- l'effusion de coulées de lave terminales, plus visqueuses, formant des dômes ou dômes-coulées.

Figure 5 a : Coupe géologique interprétative Mtsangamouji – Andrianabé (massif volcanique de Mtsamboro)

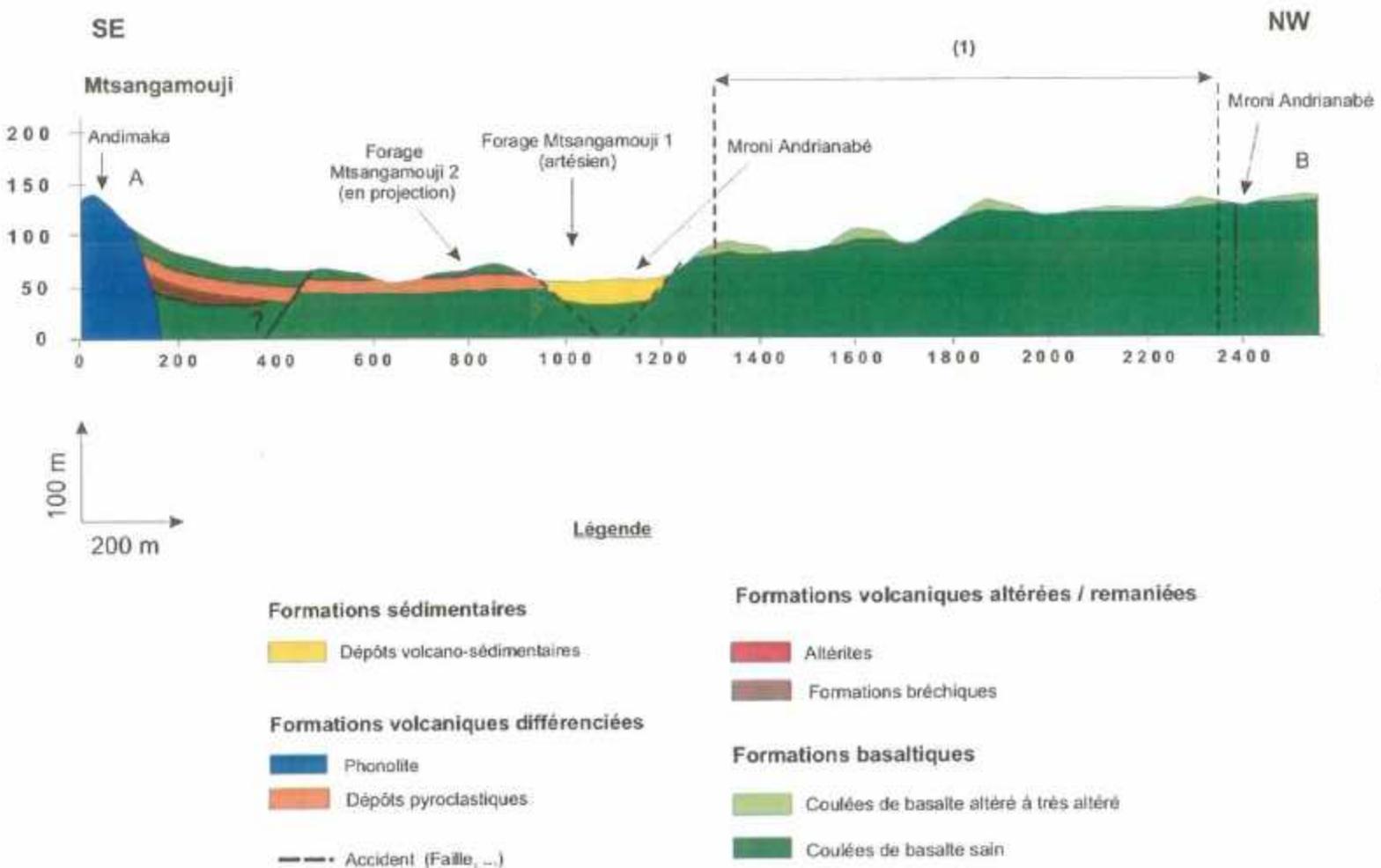
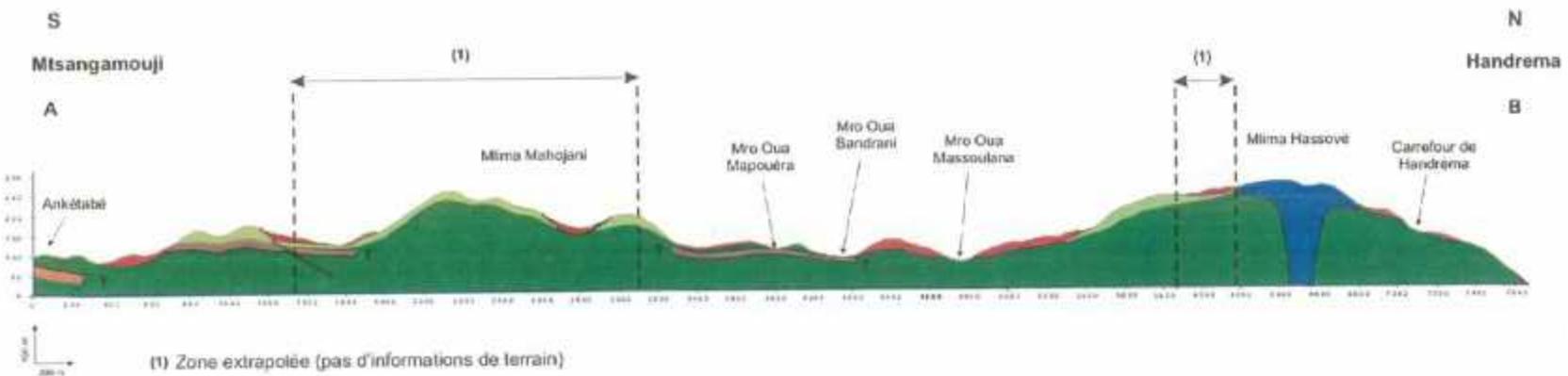


Figure 5 b : Coupe géologique interprétative Mtsangamouji-Handréma (massif volcanique de Mtsamboro)



Légende

- | | |
|---|--|
| Formations sédimentaires | Formations volcaniques altérées / remaniées |
| Dépôts volcano-sédimentaires | Altérites |
| Formations volcaniques différenciées | Formations bréchiques |
| Phonolite | Formations basaltiques |
| Dépôts pyroclastiques | Couées de basalte altéré à très altéré |
| Accident (Faille, ...) | Couées de basalte sain |

D'autres informations ont été acquises sur notre secteur d'étude :

- l'existence de niveaux scoriacés (de faible épaisseur : < 5 m), inter-stratifiés avec les bancs de lave massive généralisés sur l'ensemble du secteur ;
- la présence de niveaux cendreux et bréchiques interstratifiés entre deux coulées de lave (Figure 5a). Contrairement à l'interprétation établie par Stieltjes *et al* (1982), il paraît peu probable que ces dépôts pyroclastiques proviennent du volcanisme explosif de Mamoudzou, Cavani, Kawéni ou Petite Terre puisque la coulée sus-jacente aurait un âge plus ancien que cette phase d'activité réputée la plus récente de Mayotte ;
- des dépôts fins, stratifiés, caractérisent une mise en place en milieu sédimentaire calme (lac ou mangrove) ;
- les isaltérites et allotérites sont peu présentes. Elles sont rencontrées essentiellement en position topographique haute (sommets des reliefs). La quasi-totalité des fonds de ravines recoupe des laves saines.

L'article de Ballestracci *et al.* (1984) développant les données d'une campagne de prospection magnéto-tellurique à Mayotte, appelle, de la part d'un spécialiste des méthodes électromagnétiques du BRGM (B. Bourgeois, communication personnelle), les remarques suivantes :

- ses résultats (avis technique en Annexe 2) sont à prendre avec précaution en raison :
 - des effets topographiques probablement non pris en compte ou non corrigés ;
 - de l'orientation du dispositif, établie de manière un peu aléatoire en fonction des routes et des accès ;
 - du nombre de stations insuffisant, une station tous les 2 km en moyenne (un maximum d'un pas de 500 m entre les stations est préconisé) ;
- par contre, la présence d'une couche conductrice à quelques centaines de mètres de profondeur semble claire et non discutable sur la base des sondages présentés. Il faut néanmoins rester prudent sur son épaisseur, son extension et son comportement (possibilité de variantes assez différentes du marqueur étudié en raison du pas utilisé lors de la campagne).

Si ce niveau est confirmé par les prochaines campagnes de prospection géophysique, il pourrait constituer un niveau repère intéressant sur le secteur, du point de vue de ses potentialités hydrogéologiques.

4.3. APPROCHE HYDROLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

4.3.1. Données bibliographiques

Elles sont tirées de deux rapports BRGM (1, 2) et de deux thèses (3, 4) :

1. « Inventaire des ressources hydrauliques de Mayotte ». G. Billard, (1977) ;
2. « Schéma directeur de mise en valeur des ressources en eau de Mayotte ». L. Stieltjes et D. Rigal (1982) ;
3. « Etude hydrologique, hydrochimique et géochimie isotopique d'une île volcanique sous climat tropical pluvieux : Mayotte. ». C. Eberschweiler (1986).
4. « Aspects quantitatifs et qualitatifs de la pluviométrie dans deux enjeux majeurs de la problématique de l'eau à Mayotte : la ressource hydrique ; l'assainissement pluvial et l'érosion ». J. Lapègue (1999).

Plusieurs paramètres hydrauliques relatifs aux cours d'eau de notre secteur d'étude peuvent en être extraits (tableau 1).

Zone	Cours d'eau	Taille du bassin versant en km ²	Débit instantané d'étiage en 1977 en l/s (m ³ /j)	Débit spécifique en l/s/km ²
Mtsamboro	4 ruisseaux	4.6 (en cumulé)	0.97 (84) (en cumulé)	0.37
Hamjago	2 ruisseaux		0.77 (67) (en cumulé)	
Mtsangamouji	Une source, un ruisseau à Mliha et Tanakari		0.18 (15.5) (en cumulé)	
Mtsangamouji	Massimoni	4.5	8 (691)	1.77
Mtsangamouji	Ampouriani/Andrianabé	3.2	16.5 (1426)	5
Acoua	2 ruisseaux	5 (en cumulé)	1.42 (123) (en cumulé)	0.28
Bandraboua	Une source (Handréma), un ruisseau	1.4	0.23 (20) (en cumulé)	0.16
Mitseni	Un ruisseau		2.3 (199)	
Bouyouni	Bouyouni	10.14	51.7 (4467)	5
Dzoumonyé	Un ruisseau		5.2 (449)	
Dzoumonyé	Mijhari	22.7	26.9 (2324)	2.85
Dzoumonyé	Mouhogoni		37.3 (3223)	

Tableau 1 : Paramètres hydrauliques sur le massif volcanique de Mtsamboro

Ces données, mesurées à l'aide de récipients jaugés et d'un micro-moulinet OTT (de novembre à décembre 1977) constituent une base d'informations intéressante, étant donné l'impact anthropique très limité sur les débits à cette époque. Il est cependant nécessaire de rester prudent vis-à-vis de ces informations en raison de leur caractère ponctuel.

Des informations physiques sur les bassins versants sont également disponibles (tableau 2).

nom du cours d'eau	paramètres géométriques					paramètres du relief				paramètres morphométriques			
	surface (km ²)	périmètre (km)	Indice de compacité	rectangle équivalent		dénivelé global	Indice global de pente	indice de pente	dénivelé spécifique	longueur totale du cours d'eau (km)	densité de drainage	hiérarchisation (talweg principal)	forme du chevelu
				longueur	largeur								
Mare	22,7	21	1,24	7,54	3,01	280	3,714	6,75	176,95	53	2,33	5	ramifié
Amasimoni	4,6	10,75	1,41	4,34	1,06	250	5,76	8,4	123,54	14,5	3,15	3	ramifié
Ampouriana	3,2	10,75	1,7	4,76	0,67	260	5,462	8,18	97,71	8,5	2,66	3	en arête

Tableau 2 : Paramètres physiques des bassins versants hydrologiques sur le massif volcanique de Mtsamboro

De plus, Météo France indique sur ce secteur une pluviosité de **1200 à 2000 mm/an** (annuaire hydrologique 2001 de la DAF).

L'annuaire hydrologique de l'année 2000 de la DAF sur le secteur, donne, quant à lui, des informations plus actuelles sur certaines rivières (tableau 3).

Cours d'eau	Bassin versant (km ²)	Débit d'étiage (l/s)	Débit spécifique (l/s/km ²)	Débit caractéristique (dépassé 9 mois dans l'année) (l/s)
Bouyouni	2.88	8	2.8	12.8
Dzoumonyé	15.87	4.9	0.30	19.6
Mougohoni	2.48	14.7	5.9	17
Amporiani/Andrianabé	2.01	1.2	0.6	2.8

Tableau 3 : Informations hydrologiques de la DAF sur le massif volcanique de Mtsamboro (2000)

Toutefois, ces données seraient à prendre avec précaution selon M. Giorgi, hydrogéologue de la DAF/SER (emprise anthropique forte existant sur l'amont des stations et possibles erreurs de mesure).

En outre, des reconnaissances hydrologiques détaillées (de terrain, ou analyses de courbes de tarissement) seraient nécessaires pour interpréter les débits spécifiques. Par exemple, de faibles débits spécifiques d'étiage peuvent être interprétés, soit par l'absence d'aquifères perchés significatifs, sur le bassin versant, soit, au contraire, par la présence d'un flux d'eau sous-jacent au droit de la station de jaugeage.

4.3.2. Observations à partir de la carte IGN 4410 nord (Mamoudzou) au 1/25 000 de 1993

En prenant l'hypothèse générale que les bassins versants hydrologiques correspondent aux bassins versants hydrogéologiques, la lecture de la carte topographique et l'observation du chevelu hydrographique qui la caractérise, permettent de distinguer **quatre secteurs** (Figure 6) :

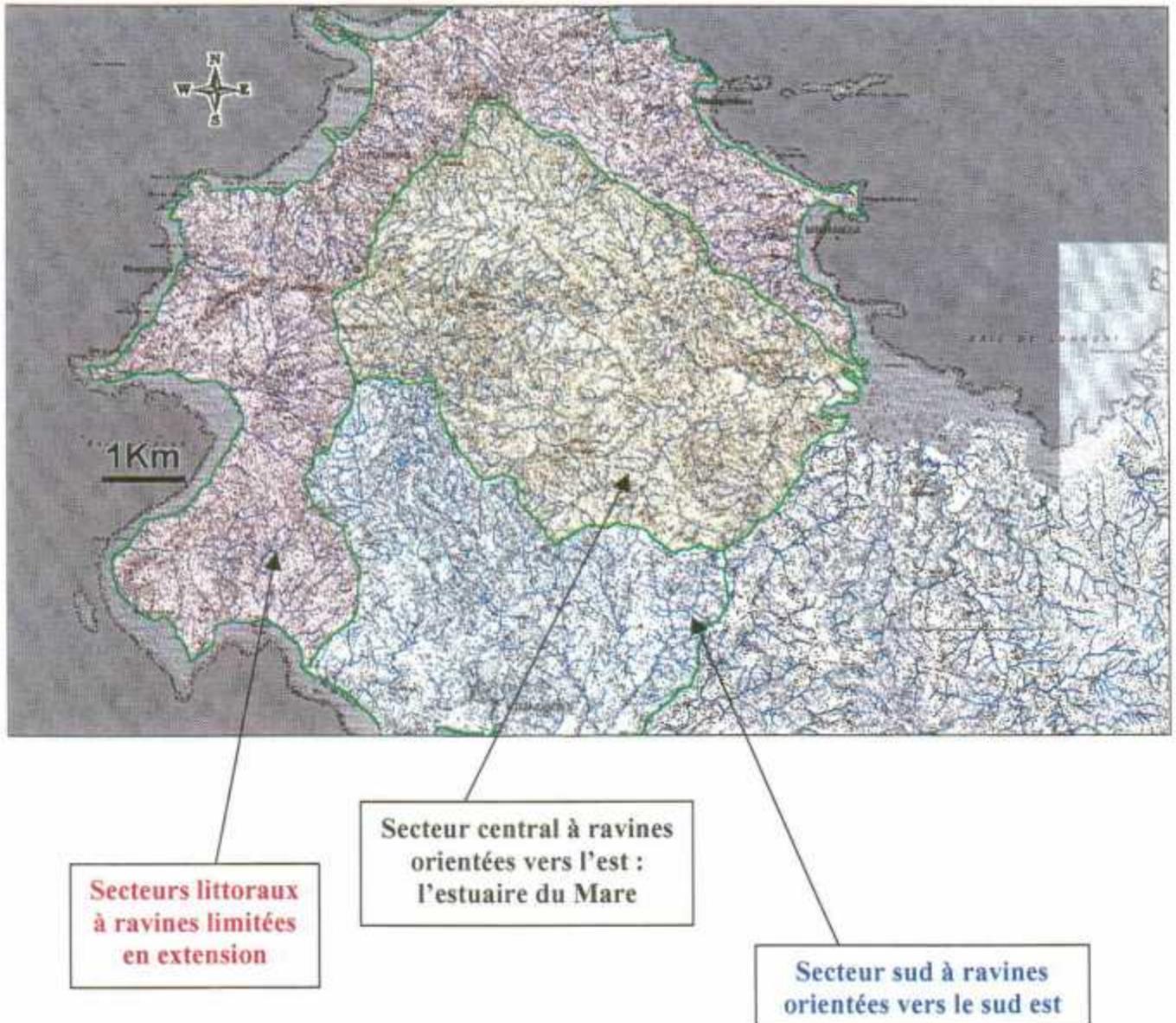
- un secteur central, le plus étendu, où toutes les ravines ont pour exutoire l'estuaire de Dzoumonyé (le Mare) ;
- un secteur, plus au sud, dont les ravines coulent en direction du littoral sud sur la commune de Mtsangamouji ;
- un secteur sud-ouest, d'extension assez limitée, autant par sa surface que par son réseau hydrographique ;
- un secteur nord-ouest, comparable au précédent de par sa faible extension et le nombre limité de ravines qui le traverse.

Sur l'ensemble de ces secteurs, **les reliefs sont bien marqués** (dénivelées pouvant aller jusqu'à 150 m de hauteur pour 250 m de longueur). En général, les cours d'eau présentent un **encaissement prononcé à l'exception des zones proches du littoral et du bassin versant hydrologique du Mro Oua Tanabé (la Massoulaha et la Bandrani)**.

Le chevelu hydrographique de tout le secteur de M'tsamboro est fragmenté (nombre important de ravines). A l'exception des cours d'eau littoraux nord et ouest, les **rivières sont assez longues**, donnant des bassins versants compacts.

Le secteur central est traversé par deux cours d'eau (Massoulaha et Bandrani) qui ont de plus grands bassins versants.

Figure 6 : Délimitation en trois secteurs hydrologiques de la zone d'étude sur le
massif volcanique de Mtsamboro



4.3.3. Observations de terrain

En complément des observations géologiques (cf. § 4.2), des informations sur l'hydrogéologie des zones visitées ont été apportées.

Le secteur central du massif de Mtsamboro est considéré comme le plus prometteur en terme de potentialités en eaux souterraines, étant donné ses particularités (bassins versants de tailles plus importantes, chevelus plus larges, distance au littoral,...). Nous nous y sommes donc principalement intéressé.

Le cours d'eau de la ravine du Mapouera, s'écoule sur des formations **bréchiques** (laves scoriacées altérées).

On n'observe **aucune infiltration d'eau et peu de résurgences**, tels que des suintements ou des sources. Celles-ci ne sont visibles qu'à l'**interface des formations bréchiques avec les coulées de basalte vacuolaire** (plus perméables) (Figure 2, n°A5).

Ce niveau de brèches dont le pendage suit approximativement la topographie, se comporte, à l'affleurement, comme une couche imperméable. Il affleure de manière continue sur l'ensemble du lit de la Mapouéra jusqu'à la cote 130.

Le long d'un affluent qui circule parallèlement au nord de la Mapouera, nous avons observé un manque d'eau total en amont de l'émergence détectée (Figure 3), sensiblement au même niveau d'altitude que les suintements observés le long du Mapouera.

En amont de ce point, les terrains sont des colluvions de pente avec une perméabilité plus importante que le niveau bréchiq. **L'eau (vraie source) émerge au contact des formations bréchiques** (similaires à celles rencontrées dans la ravine de Mapouéra) **et des basaltes sus-jacents**, avec un débit continu de l'ordre de 0.5 l/s et d'importants dépôts orangés (d'origine microbienne ou algale).

En raison de pluies récentes, les débits et les écoulements constatés ne peuvent donner d'indications déterminantes sur le comportement hydrogéologique des terrains. En effet, les écoulements observés peuvent correspondre aussi bien à la vidange d'un réservoir hydrogéologique qu'au ressuyage des terrains superficiels.

Par ailleurs, il ne peut être exclu qu'une part significative des écoulements souterrains se produise sous le niveau bréchiq, ce qui expliquerait le faible débit des cours d'eau tant en amont qu'en aval du niveau bréchiq.

4.3.4. Discussion, hypothèses

a) Interprétation des faciès géologiques rencontrés en termes de potentialités hydrogéologiques

Les niveaux bréchiques, identifiés dans le lit du Mapouera, sont très argilisés et correspondent à des couches imperméables sur lesquelles circule le ruisseau (Figure 2, n°A5) et constituent un niveau repère hydrogéologique intéressant (généralisé au niveau de plusieurs ravines, avec une épaisseur quasi-constante de quelques mètres).

Suivant la nature des dépôts, cet intérêt est différent :

- il peut s'agir de niveaux inter-stratifiés de lave, pouvant être productifs comme l'a démontré la campagne de forages de 1999-2000 ;
- il peut aussi s'agir d'anciennes coulées de boue (lahars) indurées et épaisses qui seraient alors improductives.

Nos observations de terrain montrent que les laves scoriacées, bréchifiées, sont les formations les plus largement représentées.

Une cartographie plus précise de ces niveaux que cette esquisse sur l'ensemble du secteur, permettrait de mieux caractériser leurs potentialités aquifères (géométrie, volumes, débits spécifiques,...) et d'établir un modèle hydrogéologique précis pour ce secteur (si l'on considère que les observations réalisées en position stratigraphique peuvent être extrapolées pour les formations plus anciennes).

Les différentes formations géologiques identifiées au cours de notre campagne de terrain peuvent être classées selon leur degré de perméabilité :

- **Faciès supposés perméables :**

Il s'agit :

- des **formations basaltiques fissurées/fracturées** localisées essentiellement au niveau des zones faillées. La perméabilité peut correspondre à une perméabilité de fissure dans un milieu peu altéré (sinon risque de colmatage) ;

- des **coulées basaltiques *sensu lato*** (basanite, basalte ankaramitique,...) (cf. § 4.2.1.a), peu ou pas altérées, à structure souvent vacuolaire.

Leur perméabilité proviendrait de leur réseau de fissures/fractures et de leur porosité structurale (vacuoles non remplies par des minéraux d'altération) ;

- des **niveaux scoriacés** peu affectés par l'altération, identifiés en profondeur comme des terrains aquifères intéressant lors de la campagne de forages de 1999-2000. En surface, ces niveaux semblent plus altérés.

- **Faciès supposés imperméables** :

Sont concernées :

- les formations **cendreuses altérées** (argilisées) ;
- les **formations d'altération** (à argiles kaoliniques prédominantes) des laves différenciées (phonolites, trachytes) pouvant créer une barrière étanche retenant ainsi en amont les eaux souterraines ;
- les **formations bréchiques** à l'affleurement (laves scoriacées altérées, brèches pyroclastiques, coulées de boue indurées,...).

b) Les bassins hydrographiques

Deux secteurs présentent un intérêt particulier (Figure 6) :

- **un secteur central** de grande extension ayant pour exutoire Dzoumounyé ;
- **un secteur méridional** ayant pour exutoire Mtsangamouji.

En effet :

- la pluviosité importante sur la zone permet une recharge conséquente ;
- des faciès perméables peuvent servir de drain-réservoir ;
- des faciès imperméables permettent l'accumulation de l'eau.

Il est quand même nécessaire de nuancer ces propos en rappelant l'altération omniprésente constaté sur tout le secteur qui peut diminuer la perméabilité des roches et l'infiltration des eaux de pluie.

Il est aussi à noter que les débits spécifiques des cours d'eau de ces secteurs (Ampouriani, Mare, Bouyouni) laissent présager (par leurs valeurs en comparaison des autres) l'existence de terrains aquifères perchés en relation avec les cours d'eaux et une recharge intéressante de ceux-ci. Il est donc fortement recommandé de poursuivre les prospections sur ces secteurs (reconnaissance géologique plus précise, prospection géophysique, etc.) et d'analyser à l'aide de logiciels spécialisés les données pluviométriques de la zone pour mieux caractériser les recharges et, de ce fait, les potentialités de ces terrains.

c) Relations entre les forages existants et les données géologiques

Dans notre zone d'étude, deux forages ont été exécutés en 2000 (Mtsangamouji 1 et 2). Leur coupe litho-stratigraphique et leur piezométrie, nous fournissent des données intéressantes :

- le forage de Mtsangamouji 1 recoupe des formations volcano-détritiques d'une trentaine de mètres de puissance se superposant à des coulées de lave ;
- le forage de Mtsangamouji 2, pourtant proche de Mtsangamouji 1 (250 m environ), ne traverse pas les mêmes formations géologiques. Il recoupe des formations cendreuses et des basaltes vacuolaires (20 m d'épaisseur) au dessus de basaltes pauvres en olivine ;
- le forage de Mtsangamouji 1 présente un artésianisme permanent contrairement à celui de Mtsangamouji 2 ;
- lors des essais de pompage, aucune arrivée d'eau notable ne s'est produite à partir des niveaux volcano-détritiques, confirmant ainsi le caractère peu perméable de ces formations ;
- les deux forages de Mtsangamouji ne présentent pas les mêmes caractéristiques hydrodynamiques. La forte différence de charge observée de l'un à l'autre impose l'existence d'une discontinuité hydrogéologique entre eux. En conséquence, cet aquifère ne peut être que limité spatialement.

4.4. SYNTHÈSE GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS

A l'issue de notre approche, il a été mis en évidence trois zones présentant un intérêt particulier pour les recherches futures en eaux souterraines :

* la première, localisée au niveau du bassin versant entre Mlima Mapouéra et Mlima Dziani Bolé, présente un intérêt hydrogéologique certain (extension du bassin versant, altérites peu épaisses, basaltes sains affleurant dans les ravines). Une campagne géophysique (résistivité, panneaux électriques, ...) permettrait de mieux connaître les caractéristiques de ces formations basaltiques saines en profondeur ;

* la seconde, à l'aval de cette première zone, au niveau de Dzoumonyé (secteur de la retenue collinaire) correspond à un contexte hydrogéologique également favorable pour des nappes perchées en relation avec les cours d'eau (convergence de bassins versants hydrogéologiques, basaltes sains affleurant dans la ravine et pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, si l'on se réfère au log du forage de 1990 à Dzoumonyé : 50 m de basalte sans discontinuité) ;

* la troisième zone correspond au secteur nord de Mlima Mahojani, au niveau d'un replat topographique. Une campagne géophysique (résistivité, panneaux électriques) pourrait mettre en évidence l'épaisseur des formations bréchiques au contact des basaltes dans un contexte fissuré et fracturé. Ce niveau bréchiq ue semble

s'orienter N10 avec un pendage de 15° vers l'est. Il serait intéressant de caractériser ce niveau (ou plusieurs) en aval pour connaître la profondeur de plongement de cette unité supposée intéressante d'un point de vue hydrogéologique.

Pour valider ou infirmer les hypothèses formulées ici, aider à la compréhension de l'hydrogéologie de la zone et prévoir des cibles de forage, il serait ultérieurement intéressant :

- de cartographier de manière plus précise que cette esquisse les principales formations géologiques dans le but de confirmer ou non la présence et l'extension de plusieurs niveaux de scories ;
- d'exécuter une campagne de géophysique visant à une meilleure compréhension de la géométrie de ces formations et de leurs potentialités hydrogéologiques .

5. Le massif volcanique de Bouéni : Secteur de Dapani-Chirongui

5.1. CHOIX DU SECTEUR D'ETUDE

La zone d'étude sur le massif volcanique de Bouéni, a été choisie en étroite concertation entre le BRGM et la DAF. Elle correspond à une « bande » d'axe principal nord-sud, allant de Chirongui (au nord) à Dapani (au sud) (Figure 7), où peu de données hydrogéologiques sont, pour l'instant, disponibles.

5.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE

5.2.1. Données antérieures

Le sud de l'île a été interprété comme résultant de l'activité du massif volcanique le plus ancien (environ 8 Ma) (Stieltjes, 1988).

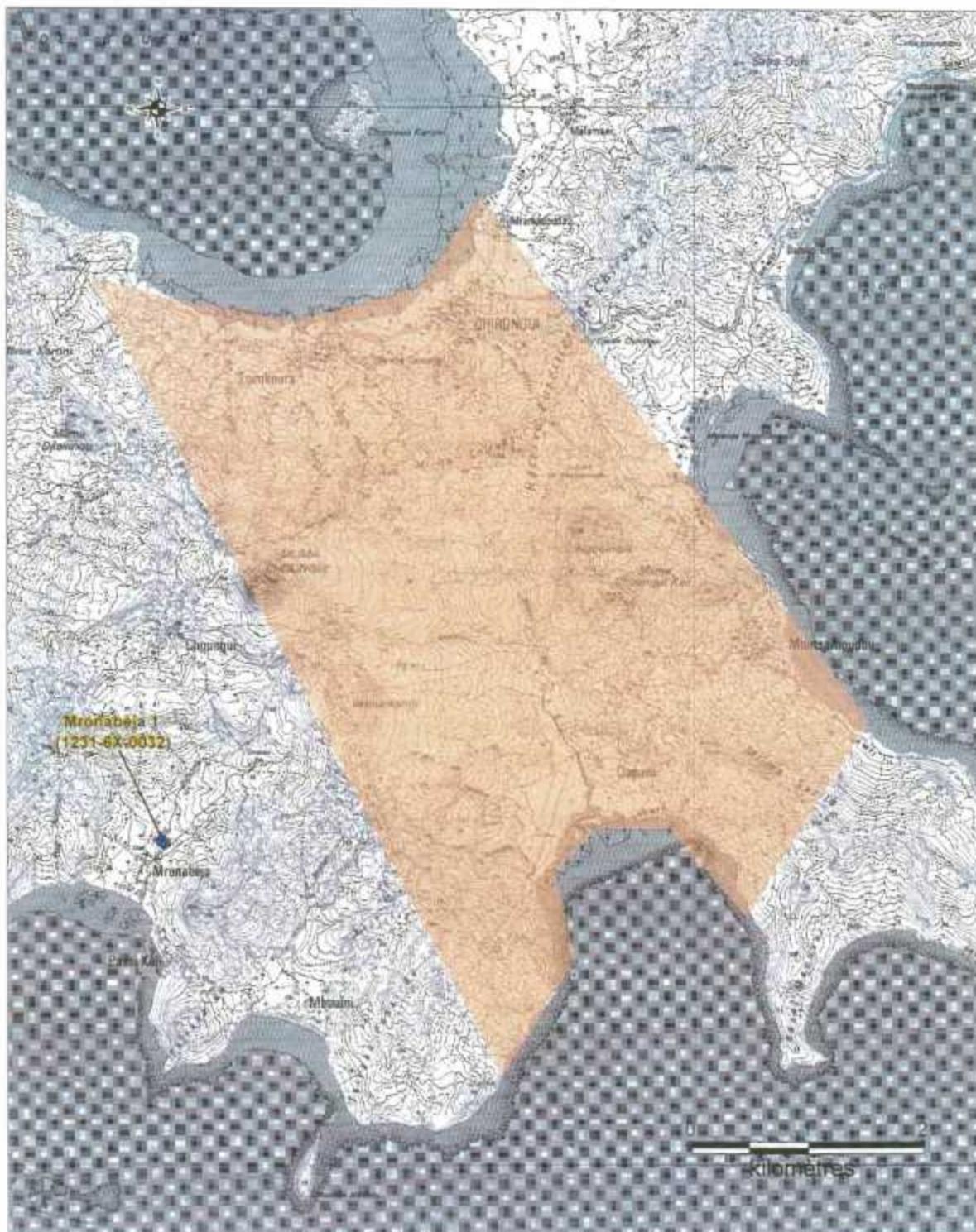
Le strato - volcan de Bouéni, dans sa morphologie actuelle, présenterait deux ensembles structuraux, une dépression interne et des flancs externes. Comme pour le massif volcanique de Mtsamboro, sa partie effondrée, submergée par la mer, limiterait ainsi l'espace attribué au flanc interne. Par contre, le flanc externe sud du volcan (secteur de Dapani) rétréci par son littoral, montre une faible superficie par rapport à celui du massif volcanique du nord.

Selon Nougier (1979) et Stieltjes (1982), le volcan bouclier se serait formé à partir de deux phases importantes d'activité volcanique :

- une succession d'effusions de lave (basalte, basalte à néphéline, etc.), suivie d'une période d'érosion (creusement de paléo-vallées), constituant ainsi le volcan bouclier ;
- une seconde phase éruptive, caractérisée par le remplissage des paléo-vallées par des basaltes ankaramitiques.

D'après Nougier (1979), les alignements phonolitiques du Bénara et du Choungui repose sur une semelle de lave téphritique en lambeaux très altérés, traversés par des extrusions phonolitiques. Les téphrites apparaissent comme des témoins de vallées dégagées par inversion de relief ; elles affleurent médiocrement dans les parties les plus élevées du bouclier et arment le littoral oriental. Leur point d'émission semble se confondre avec celui des venues phonolitiques, ces dernières formant des figures de morphologie variée, tels que dômes, aiguilles, lame épaisse. La lave, finement cristallisée à enclaves homogènes, présente parfois des bordures figées.

Figure 7 : Délimitation de la zone d'étude de la partie méridionale du massif
volcanique de Bouéni



 Zone d'étude

 Forage de la campagne de 1999 - 2000

5.2.2. Données acquises dans le cadre de cette étude

a) Les formations géologiques primaires et secondaires

● Les formations basaltiques

Les observations de terrain dans les secteurs de Dapani-Chirongui révèlent la présence de deux unités principales de coulées de lave, caractérisées à l'affleurement, du plus ancien au plus récent, par :

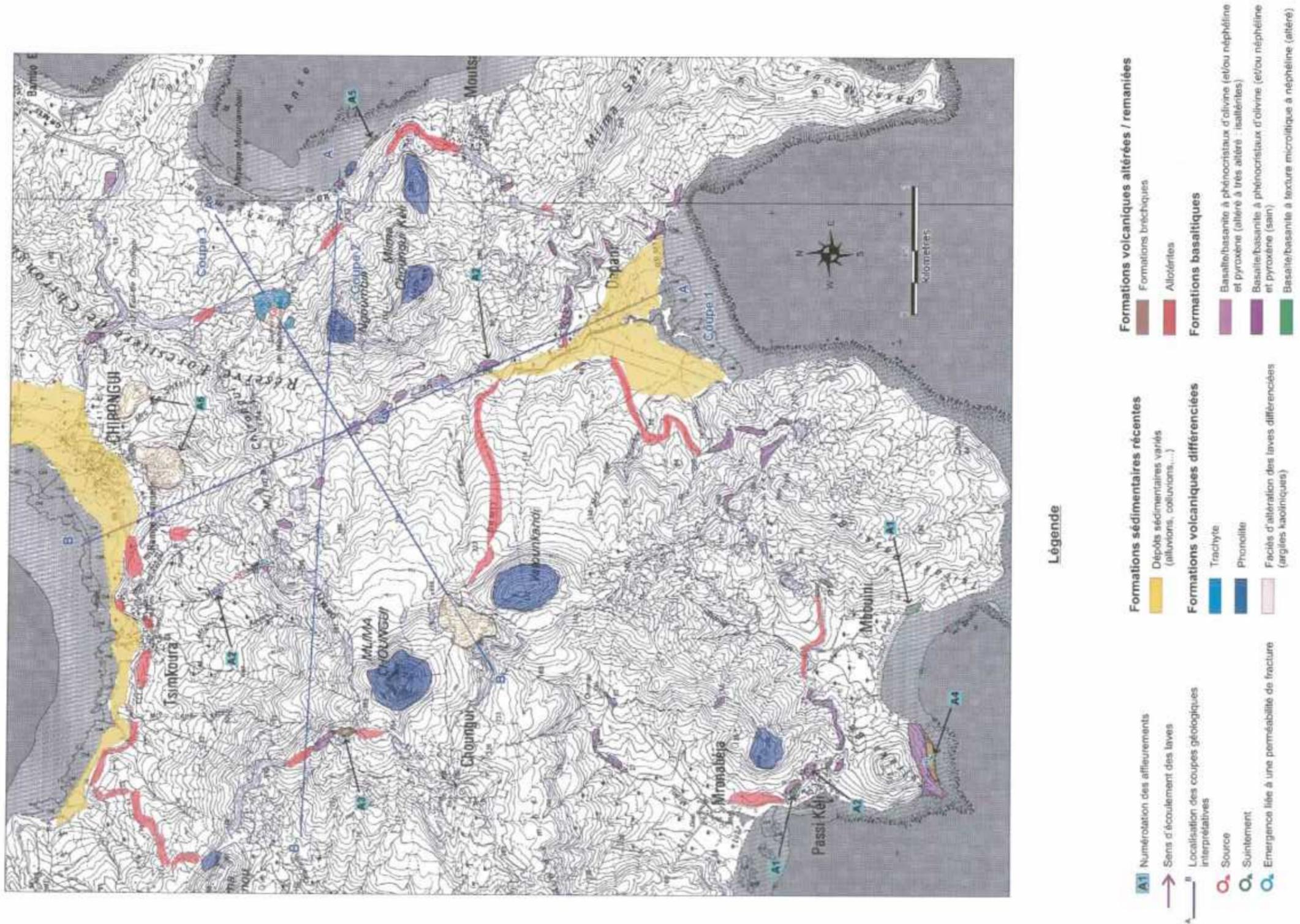
1. un ensemble de laves basiques sous-saturées (feldspathoïde : néphéline ?) à texture microlitique avec des vacuoles de quelques millimètres. Ces laves représentées comme des basaltes à néphéline ou basanite sur la carte géologique (Stieltjes, 1988) ont été reconnues uniquement dans les secteurs de Mbouini et Passi Kéli (Figure 8, n°A1). A l'affleurement, le contact entre cette unité et les laves sus-jacentes est net, marqué par un niveau scoriacé (base de coulée), sans indice d'altération entre les deux. Il présente une épaisseur minimale de 2 mètres ;
2. un ensemble basaltique porphyrique avec alternance de laves massives et vacuolaires, riches en phénocristaux d'olivine et/ou de néphéline (0.5 cm environ) avec quelques pyroxènes (Figure 8, n°A2). Cette unité de basaltes ankaramitiques (Stieltjes, 1988) présente une épaisseur décamétrique, constituant ainsi l'ossature géologique du secteur (ex : zone affleurant du village de Dapani jusqu'au sommet du Mlima Sazilé). Au contact de la coulée de lave sous-jacente, un niveau de scories de quelques mètres de puissance a été mis en évidence sur le secteur de Passi Kéli (Figure 8, n°A2).

Par ailleurs, au sein de l'unité la plus récente, sont présentes des coulées de lave mélanocrate porphyrique, à phénocristaux de pyroxène. Elles ont été identifiées essentiellement dans le secteur de Dapani, sous forme d'embrochements de 1 à 150 m³, non affleurantes le long de la ravine du Mroni Bé.

Les basaltes ankaramitiques représentent pratiquement la totalité des laves affleurantes sur notre secteur d'étude, depuis le pied jusqu'au sommet des reliefs.

L'unité (1), repérée sur les secteurs de Mbouini et Mronabeja seulement, a été distinguée sur la carte d'affleurements (Figure 8, n°A1) en tant que substratum « relatif ». Le peu d'informations recueillies à l'affleurement sur cette unité ne permet pas, aujourd'hui, de bien comprendre ses relations avec les autres unités. En conséquence, ce faciès n'a pas été représenté sur nos coupes géologiques interprétatives.

Figure 8 : Carte des affleurements sur la zone étudiée du massif volcanique de Bouéni (secteur de Dapani – Chiroungui)



On peut supposer que l'unité lavique (1) (basaltes à néphéline ou basanites) appartient au volcan bouclier et que l'ensemble (2) s'est mis en place au sein de paléo-vallées creusées postérieurement à l'édification de ce volcan primitif.

L'ensemble des empilements des 2 unités laviques (exemple en rive gauche du Mroni Bé, Figure 8) semble caractérisé :

- en amont, par une direction d'écoulement N70 avec un pendage autour de 10-20° vers le sud ;
- en aval (au niveau du littoral) par un pendage plus prononcé de 55° vers le sud.

• **Les laves différenciées tardives (phonolite, trachyte,...)**

Ces formations constituent les hauts reliefs de la partie méridionale du massif volcanique de Bouéni. Elles correspondent à des venues tardives de magma visqueux, qui ont formé des dômes et dômes-coulées.

Par rapport au nord (massif volcanique de Mtsamboro), ces formations sont beaucoup plus présentes et d'épaisseur plus importante.

La carrière de Moutsamoudou, encore exploitée, est entaillée dans des formations différenciées de nature trachytique, uniques (dans l'état actuel des connaissances) dans l'île (trachyte per-alkalin à amphibole sodique).

Sur le secteur de Dapani, les phonolites ou trachytes forment les reliefs délimitant le bassin versant du Mroni Bé où elles présentent une direction de mise en place N140.

La répartition géographique des laves phonolitiques permet de distinguer deux zones lithologiquement différentes, selon l'axe de crête (Mlima Chirongui) séparant le flanc interne supposé, du flanc externe supposé du massif volcanique :

- dans la partie interne du massif volcanique, le secteur de Chirongui, présente des faciès d'altération hydrothermale (argiles kaoliniques). Cette hydrothermalisation affecte tout le secteur, jusqu'à Mréréni ;
- par contre, avec une pente plus faible, la partie externe présente des coulées de lave de plus grande extension et semble moins affectée par l'hydrothermalisation, comme en attestent les observations de terrain effectuées sur la ravine Mroni Bé, avec notamment la présence tout le long de cette ravine, de basaltes très sains.

• Les formations bréchiques

Elles ont été observées à trois endroits particuliers :

1. au nord-ouest du Mont Choungui (Figure 8, n°A3 ; annexe 3 : photographies 1 et 2), une formation bréchique est relativement proche en distance (environ 500 m) de la protrusion phonolitique formant le relief. De nature pyroclastique, elle présente une stratification grossière avec des fragments polygéniques plus ou moins vésiculés, anguleux, de granulométrie variée (lapilli, blocs), dans une matrice argileuse abondante et hydrothermalisée (concentration de filonnets d'altération hydrothermale). Cette formation repose sur des basaltes ankaramitiques ;
2. au sud de Passi-Kéli (Tsiraka bé) (Figure 8, n°A4), des formations bréchiques, de 3 à 4 m d'épaisseur au minimum, sont disposées de façon franche sur des basaltes riches en olivine et pyroxène. Le plan de contact présente une direction N170 et un pendage de 15° vers l'ouest (Figure 9). Elles ne présentent ni stratification ni hydrothermalisme et sont constituées de fragments de lave monogéniques, de toutes tailles (du centimètre au mètre) ;
3. au nord de Moutsamoudou (Figure 8, n°A5), se rencontre une formation à blocs essentiellement arrondis, de toutes tailles (allant du centimètre au mètre) dans une matrice argileuse, pouvant être attribuée à des dépôts secondaires sur pente. Ces formations sont rencontrées essentiellement en bordure littorale.

• Les formations d'altération superficielle

Les allotérites

Comme pour le secteur étudié sur le massif volcanique de Mtsamboro, les formations très altérées ont été cartographiées comme allotérites.

Ces formations couvrent l'ensemble du sud du massif volcanique (flancs internes et externes) avec une extension plus importante sur le secteur ouest du bassin versant de Dapani. Elles ne sont préservées que dans des zones de faible pente ou de replats qui doivent fossiliser des paléo-surfaces (Figure 8, n°A6 et A7). Ailleurs, elles ont été érodées (au niveau des ravines par exemple) ou, éventuellement, n'ont pu se former (sur des pentes trop fortes, l'érosion l'emporte sur l'altération actuelle). Elles sont très vraisemblablement associées à de longues périodes d'exposition des terrains aux processus d'altération météorique.

Les padzas (*bad lands*)

Les padzas de ce secteur (Figure 8 ; annexe 3 : photographie 3) affectent les roches basaltiques altérées (isaltérites), de la même façon que dans la partie nord de l'île. Moins étendues qu'au nord de l'île, elles sont localisées essentiellement dans les zones sommitales qui peuvent constituer des reliques de paléo-surfaces.

La zone qui supporte le plus de padzas correspond à la crête séparant les flancs externe et interne supposés du massif volcanique (crête du Mlima Chirongui).

L'altération kaolinique

Elle traduit des phénomènes d'altération superficielle et hydrothermaux de roches magmatiques différenciées (phonolite, trachyte, etc.).

Cette altération, caractérisée par la cristallisation d'argiles kaoliniques, affecte l'ensemble du secteur d'étude (à proximité des protrusions de lave différenciée) et principalement sur les flancs internes du massif volcanique (secteur de Chirongui, Figure 8, n°A6).

b) Relations entre les forages et les observations de terrain

Un forage a été réalisé à Mronabéja en 2000 (Annexe 12 du rapport BRGM RP-50428-FR, 2000). La coupe lithostratigraphique suggère environ 30 m de dépôts fluviatiles (galets roulés polygéniques au sein d'une matrice limoneuse), pouvant correspondre au remplissage d'une paléo-vallée quaternaire, reposant sur au minimum 40 m de laves basaltiques avec des niveaux scoriacés et fissurés. Les laves recoupées appartiennent très vraisemblablement à l'unité basaltique riche en cristaux d'olivine et de pyroxène (unité (2) décrite dans le § 5.2.1.a) dont le mur se situe donc au moins à - 60 m NGM. Ce forage montre des venues d'eau dans des niveaux scoriacés et fissurés (débit total au soufflage : 37 m³/h environ).

c) Analyse structurale

• Interprétation du Modèle Numérique de Terrain (MNT) et des photographies aériennes

L'étude du Modèle Numérique de Terrain (MNT), couplée à la photo-interprétation, a permis de mettre en évidence trois familles de linéaments de grande extension (de l'ordre du kilomètre) (Figure 9) :

- une première famille de linéaments est orientée selon une direction N100. Elle a été identifiée principalement au niveau du flanc externe supposé du massif volcanique (Moutsamoudou et Dapani) ;
- une deuxième famille se manifeste selon une direction N40 à N50, uniquement sur le flanc externe supposé du volcan (en amont de la ravine Mroni Bé) ;
- une troisième famille est localisée au nord de Chirongui, à l'endroit le plus étroit de l'île et présente une direction N130-140.

● Observations de terrain

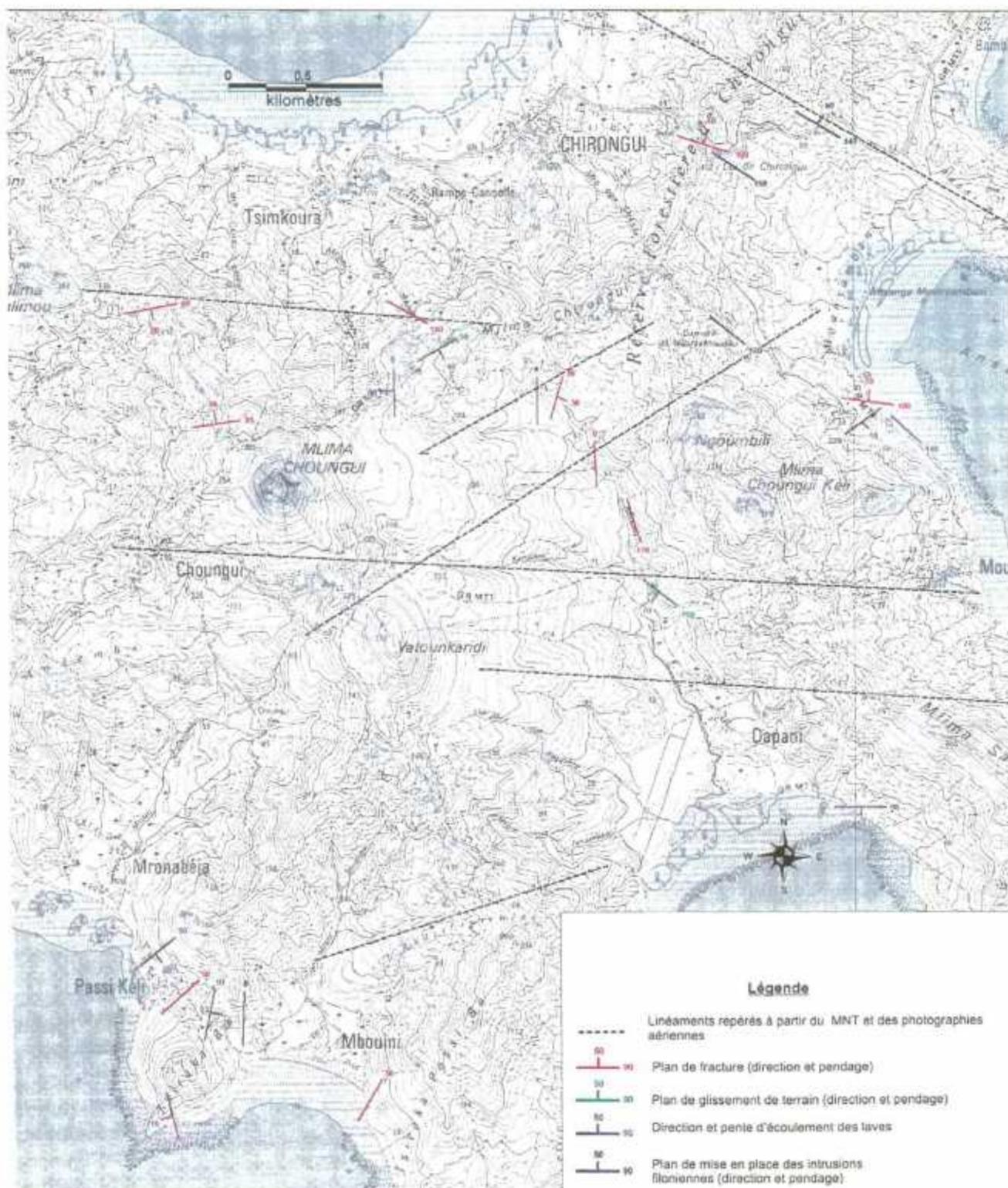
1. Fissuration et fracturation

Comme pour le massif volcanique de Mtsamboro, les indices de fissuration et/ou de fracturation présentent deux origines différentes :

- **une fissuration intrinsèque à la mise en place des coulées de lave**, a été mise en évidence au sein des formations basaltiques saines, observées essentiellement sur les flancs externes supposés du massif volcanique. ;
- **une fracturation d'origine tectonique** a été reconnue localement, affectant plusieurs unités basaltiques.
Au niveau du Mroni Bé, des indices de fracturation ont été repérés aux abords des linéaments identifiés à partir du MNT et par photo-interprétation (Figure 9). Les indices de terrain suggèrent, de la crête de Mlima Chirongui à Dapani, des plans de faille de direction allant de N50 à N100 avec un pendage autour de 30° vers le sud. Il est probable que ce secteur soit soumis à un système de failles normales en graben (similaire à celui du nord ?) dirigées vers le sud. Néanmoins, cette hypothèse reste à confirmer en raison du peu d'informations recueillies sur le terrain.

Au sein de la formation bréchique située à proximité du Choungui (cf. § 5.2.2.a.), une faille inverse (N85 NW30) avec un rejeu de 1 m a été mise en évidence, caractérisant probablement un système compressif (Annexe 3 : photographie 4).

Figure 9 : Données structurales sur le massif volcanique de Bouéni (secteur de Dapani – Chiroungui)



2. Intrusions filoniennes

Des dykes ont été repérés sur l'ensemble du secteur d'étude, et tout particulièrement au niveau des crêtes supposées délimiter les flancs internes des flancs externes du massif volcanique (Figure 10a, exemple : Mlima Chirongui). Ces intrusions filoniennes présentent une orientation quasiment perpendiculaire à la ligne de crête actuelle (Annexe 3 : photographie 5), qui conforte l'hypothèse d'un réseau de fractures « radiales » ayant pour point central l'intérieur de la caldéra supposée. Pétrographiquement, ce sont des basaltes riches en olivine et pyroxène, identiques à leur encaissant (basaltes ankaramitiques). On peut penser que ces intrusions sont contemporaines de ces dernières venues de basaltes ankaramitiques.

5.2.3. Synthèse

Sur ce second secteur d'étude, trois coupes géologiques interprétatives ont été réalisées à partir des observations géologiques et structurales de terrain (Figures 10a, 10b et 10c). Les secteurs où les informations de terrain sont absentes sont indiqués sur les coupes (1, 2 et 3) en tant que zones extrapolées, à partir des affleurements de proximité.

Par rapport aux anciennes interprétations sur l'édification du massif volcanique de Bouéni, nos observations de terrain ont permis de confirmer :

- la distinction entre flancs internes et externes dans la partie méridionale du massif volcanique de Bouéni. Les coulées de lave du flanc externe se sont mises en place vers le sud et les coulées de laves du flanc interne selon une direction nord ;
- l'effusion de laves tardives (basaltes ankaramitiques) qui se surimposent à des « basaltes » sous-saturés en silice (basanites). A l'heure actuelle, aucun argument déterminant de terrain ne prouve l'existence de paléovallées dans lesquelles se seraient mis en place les basaltes ankaramitiques ;
- la venue de laves tardives, différenciées, formant des dômes (ou dômes-coulées) avec une direction préférentielle de mise en place N140.

D'autres informations ont été acquises sur ce secteur d'étude :

- les basaltes ankaramitiques correspondant à l'ensemble lavique basique le plus récent, représentent pratiquement la totalité des basaltes sur le secteur, et sont responsables de sa morphologie actuelle. Ils s'étendraient jusqu'à la base des reliefs ;
- des coulées de lave basaltique, relativement saines mais fissurées, sont présentes tout le long de la ravine du Mroni Bé et généralisées sur l'ensemble du flanc externe ;
- les flancs internes du massif volcanique sont supposés plus affectés par les processus d'altération des laves différenciées (argiles kaoliniques) que les flancs externes ;

- la présence de dépôts pyroclastiques a été mise en évidence pour la première fois dans le secteur d'étude. Ces dépôts prouvent l'existence d'une phase explosive liée, soit au volcanisme de Bouéni, soit au volcanisme de l'ouest de l'île (Mamoudzou, Petite Terre, etc.) ;
- des dykes sont disposés de manière radiale par rapport à la partie centrale du massif volcanique et affleurent essentiellement sur les crêtes. Leur nature pétrographique (basaltes ankaramitiques) est identique à celle de leur encaissant. La présence de ces dykes, d'orientation générale WSW - ENSE, pourrait marquer un axe éruptif fissural à partir duquel les laves se seraient épanchées de part et d'autre de la ligne de crête actuelle.

Figure 10 a : Coupe géologique interprétative Dapani – Chirongui (partie méridionale du massif volcanique de Bouéni)

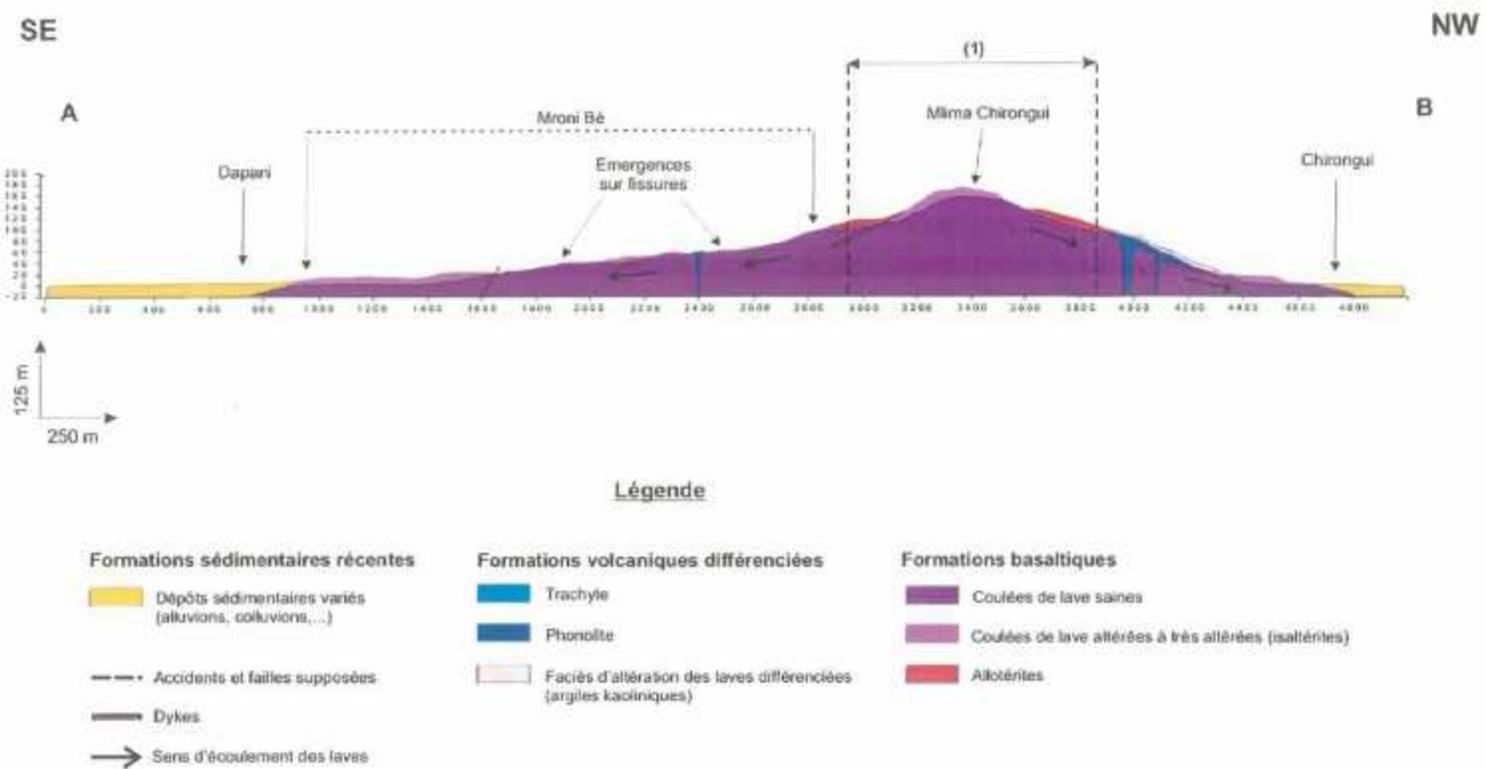


Figure 10 b : Coupe géologique interprétative Ngoumbili – Mroni Djalimou (partie méridionale du massif volcanique de Bouéni)

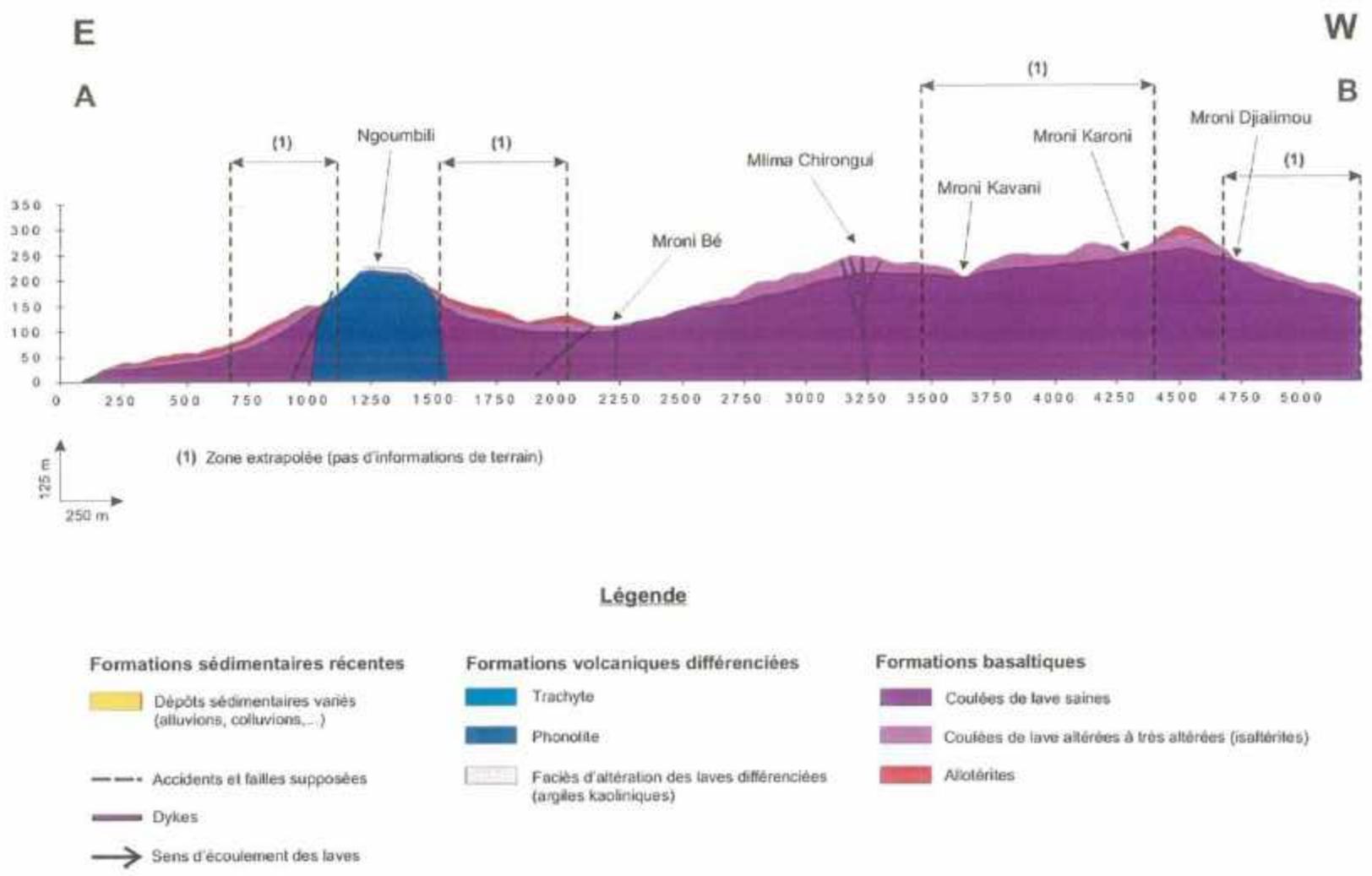
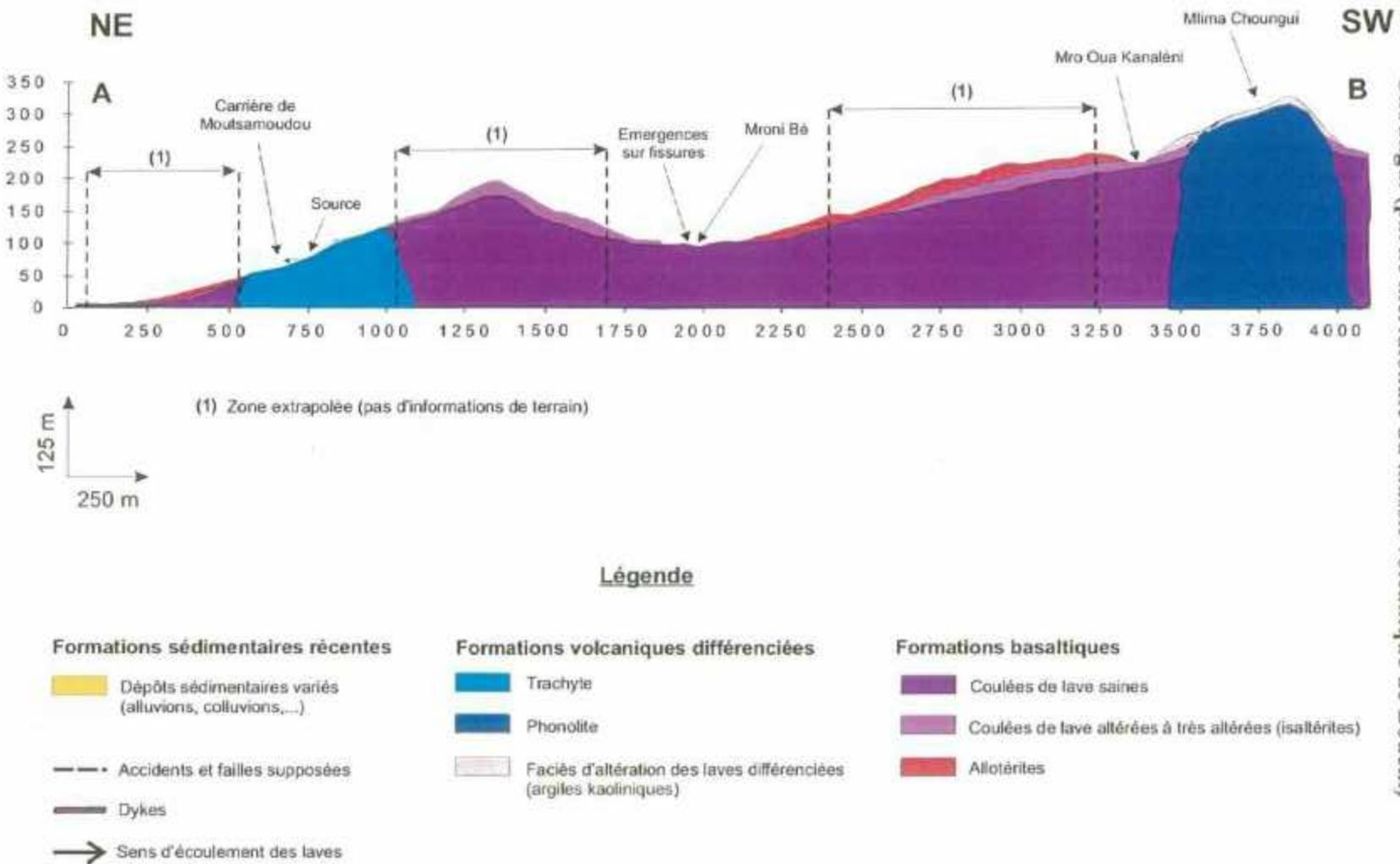


Figure 10 c : Coupe géologique interprétative à partir de Moutsamoudou – Mlima Choungui (partie méridionale du massif volcanique de Bouéni)



5.3. APPROCHE HYDROLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

5.3.1. Données bibliographiques

Elles proviennent des mêmes références que pour le massif volcanique de Mtsamboro (cf. § 4.3), et permettent de caractériser certains paramètres hydrauliques des cours d'eau du secteur d'étude (tableau 4).

Zone	Cours d'eau	Taille du bassin versant en km ²	Débit instantané d'étiage en 1977 en l/s (m ³ /j)	Débit spécifique en l/s/km ²
Dapani	Mroni Bé	7.6	0.56 (48)	0.07
Tsimkoura	Un ruisseau	> 2	0.13 (11)	<0.07
Moutsamoudou	Un ruisseau	> 2	0.02 (2)	<0.07

Tableau 4 : Paramètres hydrauliques des bassins versants hydrologiques sur le massif volcanique de Bouéni - Dapani

Ces données ont été mesurées à l'aide de récipients jaugés et d'un micro-moulinet OTT sur une période de deux mois, de novembre à décembre 1977 et constituent une base d'informations intéressante, étant donné l'impact anthropique très limité sur les débits à cette époque. Cependant, il est nécessaire de rester prudent vis à vis de ces informations en raison de leur caractère ponctuel. On peut néanmoins constater la faiblesse des débits spécifiques.

Des informations physiques sont également disponibles sur le bassin versant d'un cours d'eau de notre secteur d'étude, le Mro Bé (tableau 5).

nom du cours d'eau	paramètres géométriques					paramètres du relief				paramètres morphométriques			
	surface (km ²)	périmètre (km)	Indice de compacité	rectangle équivalent		dénivelé global	Indice global de pente	indice de pente	dénivelé spécifique	longueur totale du cours d'eau (km)	densité de drainage	hiérarchisation (talweg principal)	forme de chevelu
				longueur	largeur								
Mro Bé	7.06	10	1.06	2.66	2.66	250	9.398	10.73	249.71	12.5	1.77	3	radial

Tableau 5 : Paramètres physiques du Mro Bé sur le massif volcanique de Bouéni - Dapani

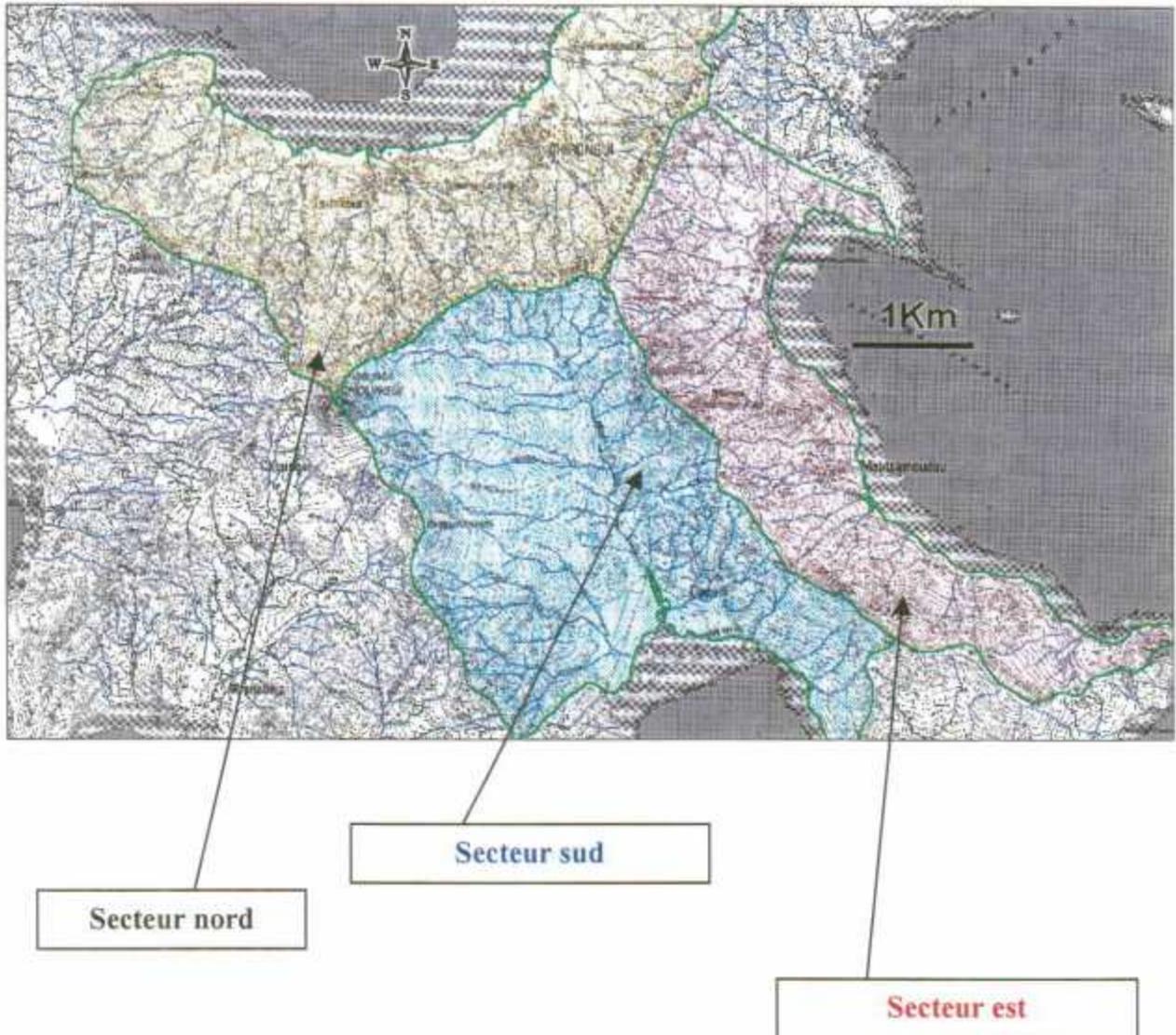
De plus, Météo France indique sur ce secteur une pluviosité de 1200 à 2000 mm/an (annuaire hydrologique 2001 de la DAF).

5.3.2. Observations à partir de la carte IGN 4410 sud (Sada) au 1/25 000 de 1993

En prenant l'hypothèse générale que les bassins versants hydrologiques correspondent aux bassins versants hydrogéologiques, la lecture de la carte topographique et l'observation du chevelu hydrographique, permettent de distinguer (Figure 11) trois secteurs plus ou moins indépendants :

- un secteur Nord, délimité par la ligne de crête (Mlima Chiroungui) séparant les flancs externes et internes supposés du massif volcanique. Cette zone inclut les villages de Chiroungui et Tsimkoura ;
- un secteur Centre et Sud, incluant le village de Dapani et tout le bassin versant hydrologique du Mroni Bé. Son chevelu hydrographique (en forme de réseau en parallèle) est important par rapport à ceux des autres bassins versants de la zone (densité de drainage de 0.9). Ce chevelu hydrographique couvre une grande surface, à l'inverse des ruisseaux des deux autres secteurs dont les superficies de bassin versant sont moindres ;
- un secteur Est, délimité par la crête de Mlima Choungui Kéli et incluant la commune de Moutsamoudou.

Figure 11 : Délimitation des différents secteurs hydrologiques sur la zone de
Dapani - Chirongui



5.3.3. Observations de terrain

En complément des observations géologiques (cf. § 5.2), des informations concernant l'hydrogéologie ont été recueillies sur les trois secteurs définis précédemment.

a) Dans le secteur Sud

Sur les rives de la ravine Mroni Bé, plusieurs émergences ont été observées et caractérisées (Figure 8). Elles proviennent de fractures sub-horizontales au sein de formations basaltiques saines et fissurées, localisées essentiellement en rive gauche du Mroni Bé. Ces écoulements semblent conséquents en début d'année (de l'ordre de quelques l/s en avril). Ils alimentent la rivière qui possède déjà un débit important vis à vis de son écoulement instantané à l'étiage (0.56 l/s). Cela laisse à penser que ces émergences ont un caractère limité dans le temps.

Lors de nos observations de terrain (en fin de saison des pluies), la rivière coulait en continu de son exutoire jusqu'aux padzas de la crête du Mlima Chirongui, plus de quinze jours environ après la dernière période de pluie. Il est probable qu'il s'agisse du ressuyage de ces pluies (écoulements hypodermiques et aquifères perchés).

b) Dans le secteur Nord

Les cours d'eau sur fortes pentes ne sont pas pérennes même quelques semaines seulement après la saison des pluies. Au niveau du littoral, quelques émergences (Figure 8) apparaissent le long de fractures dans des basaltes sains et fissurés.

Le bassin versant du secteur nord est plus petit que celui de la zone sud. Les sols sont moins perméables en raison de la présence de faciès très argilisés (argiles kaoliniques) issus de l'altération hydrothermale des formations de lave différenciée (phonolite, trachyte).

c) Dans le secteur Est

Les bassins versants y sont de moindre ampleur mais certains ruisseaux coulent toute l'année avec un débit d'étiage instantané de $2\text{m}^3 / \text{j}$. Dans la carrière de trachyte de Moutsamoudou, des émergences apparaissent au sein de la formation trachytique saine suivant des fissures sub-horizontales et avec des débits plus faibles suivant des fissures sub - verticales (Annexe 3, photographie 6).

Cependant, l'émergence la plus conséquente (Figure 8) se situe à l'interface entre niveau d'altération et unité saine (trachyte). On a estimé son débit entre 1 à 2 l/s en avril 2002. Il est à noter en amont de cette émergence, une ravine sèche qui prend son origine plus dans les hauteurs, peut-être à partir de coulées de basalte riche en pyroxènes.

5.3.4. Discussion, hypothèses

- Dans l'ensemble de la zone d'étude, étant donné le caractère systématique des émergences à partir de fractures dans le basalte sain et des indications données par le forage de Mronabéja, on peut supposer que cette formation a une grande capacité transmissive (mais pas forcément capacitive). Elle pourrait être une cible pour de futures campagnes de recherche en eau souterraine.
- Un écoulement est présent de manière sensible dans le secteur Est, ce qui laisse présager l'existence d'une structure réservoir perchée alimentant la source de la carrière de Moutsamoudou.
- A la différence du secteur Sud, les ravines du secteur Nord coulent de manière épisodique (spatialement), bien que les observations de terrain aient été acquises à la même période (mêmes conditions climatiques). Les bassins versants Nord et Sud réagissent donc différemment, en raison peut-être des facteurs suivants :
 - une surface de bassin versant moindre ;
 - une imperméabilité du sol plus ou moins importante, en relation avec l'argilisation des terrains ;
 - les phénomènes d'hydrothermalisme réduisant la porosité (de fissure ou matricielle) de la roche.

Quoi qu'il en soit, cette différence montre bien que l'eau s'écoulant dans le secteur Sud ne provient pas d'un ruissellement superficiel, mais d'un réservoir perché en relation avec les cours d'eau, ayant un débit, même en période d'étiage (cf., § 5.4.1). Il pourrait donc exister dans cette zone (ou en amont) une structure participant en partie aux écoulements de la rivière Mroni Bé. Le problème étant la recharge de cet aquifère difficile à cerner.

A partir de cette observation, deux hypothèses peuvent être proposées concernant les potentialités hydrogéologiques du secteur sud de l'étude :

- soit, nous avons affaire à plusieurs petites structures aquifères plus ou moins indépendantes (compartimentées) ;
- soit, il s'agit d'une structure aquifère unique de plus grande importance, avec un niveau piezométrique proche du niveau de la mer.

Dans le dernier cas, cette structure pourrait constituer un aquifère perché. Son intérêt potentiel dépend de sa contenance (présence de paléo-vallées ? Il n'y a pas d'arguments décisifs aujourd'hui pour trancher la question) et de son homogénéité. En effet, l'hétérogénéité des formations basaltiques (alternance de bancs de basalte massif/vacuolaire, se traduisant par d'importantes variations de porosité et de perméabilité) peut compartimenter la structure aquifère.

On peut supposer que l'aquifère correspondrait à des altérites jouant un rôle capacitif de régulation (tampon) et à des basaltes sains et fissurés ayant une grande transmissivité. Les altérites auraient, dans une vision plus optimiste, en plus, un rôle de « toit » permettant l'accumulation et la mise en charge de l'aquifère (constituant ainsi un aquiclude) avec des formations différenciées (phonolites, trachytes...) comme mur, ce qui pourrait expliquer les émergences observées.

5.4. SYNTHÈSE GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS

Nos approches géologiques et hydrogéologiques sur le secteur de Dapani, ont permis de mettre en évidence une zone hydrogéologiquement intéressante - le bassin versant du Mroni Bé incluant les crêtes du Mlima Choungui Kéli et du Mlima Chirongui - encourageant à conduire des campagnes de prospection détaillées ciblées sur ce secteur.

En résumé, le secteur d'étude se caractérise par :

- un substratum constitué de coulées de lave basaltique relativement saines et fissurées, affleurant tout le long de la ravine Mroni Bé, avec des alternances de niveaux plus perméables (basalte vacuolaire, scoriacé) ;
- une zone sud où les formations phonolitiques souvent hydrothermalisées sont peu représentées ;
- un compartimentage des structures aquifères par les laves différenciées (phonolite, trachyte...) et leurs faciès d'altération (argiles kaoliniques), délimitée à l'est et à l'ouest par les crêtes du Mlima Choungui Kéli et du Mlima Choungui à Vatoukaridi, et au nord (secteur de Chirongui) par les faciès d'altération kaolinique ;
- des émergences, à partir de fractures plus importantes dans le secteur de Dapani que dans le secteur de Chirongui ;
- une déformation d'origine tectonique.

Des investigations géologiques complémentaires peuvent être proposées sur l'ensemble du bassin versant de Dapani et, notamment, en rive gauche du Mroni Bé, pour mieux caractériser les limites des formations différenciées en sub - surface (à partir de l'affleurement de phonolite localisé à la côte 60 du Mroni Bé).

Par ailleurs, il serait intéressant de réaliser une campagne de prospection géophysique (par sondages électriques dans un premier temps, suivis de panneaux électriques sur des sites plus ciblés), sur le secteur sud de Dapani et, notamment, à partir de la côte 50 du Mroni Bé jusqu'à la côte 100 (zone pas trop éloignée de la mer pour disposer d'un bassin versant d'alimentation significatif et des niveaux piézométriques pas trop profonds, mais suffisamment tout de même pour limiter le risque d'intrusion saline). L'objectif consisterait à caractériser en profondeur l'extension des formations différenciées, afin de mieux définir le réservoir potentiel supposé au sein des formations basaltiques.

Enfin, il serait utile d'établir un suivi hydrogéologique (débit d'étiage, inventaire plus précis des sources, pluviométrie...) des ravines et principalement sur le Mroni Bé pour mieux caractériser les potentialités du site et vérifier que, d'une part les écoulements constatés ne sont pas le fait de ressuyage des sols après la saison des pluies, et que d'autre part les recharges possibles de cet aquifère sont compatibles avec une utilisation de cette ressource.

6. Le massif volcanique de Bouéni : Secteur de Poroani – Dombéni

6.1. CHOIX DU SECTEUR D'ETUDE

La zone d'étude comprend une partie du secteur nord du massif volcanique de Bouéni. Les secteurs de Poroani (flanc interne supposé du volcan) et Dombéni (flanc externe) font l'objet de notre étude en accord avec la DAF (Figure 12).

6.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE

6.2.1. Données antérieures

Les caractéristiques litho-stratigraphiques seraient semblables à celles identifiées sur le secteur de Chirongui. Le strato-volcan de Bouéni se serait formé à partir de deux phases importantes d'activité volcanique (Nougier, 1979 ; Stieltjes, 1982) :

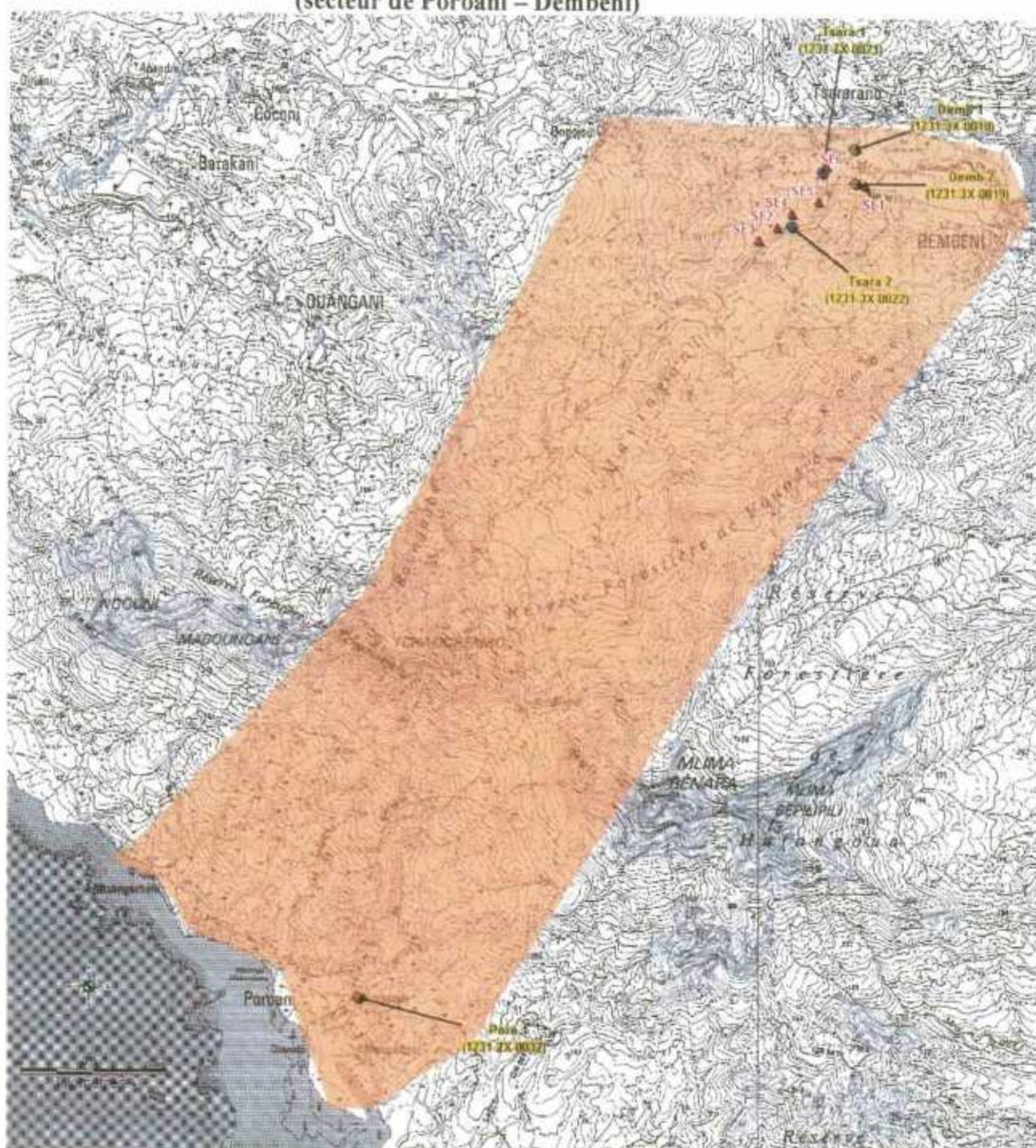
- une succession d'effusions de laves basiques (basalte, basanite à néphéline, etc.) suivie d'une période d'érosion (creusement de paléo-vallées), constituant ainsi un volcan bouclier ;
- une seconde phase éruptive caractérisée par le remplissage des paléo-vallées par des basaltes ankaramitiques.

Dans le centre de l'île, les travaux de Ballestracci (1985) apportent quelques informations supplémentaires. La coupe interprétative des données géophysiques "Chiconi - Dombéni" indique, comme dans le Nord, la présence de 4 horizons litho - stratigraphiques distincts, avec cependant des différences d'épaisseur par rapport aux autres secteurs d'étude :

- la deuxième couche (résistivité de 200 à 400 Ohm.m) semble moins épaisse (de 160 m à 300 m d'épaisseur seulement alors qu'elle serait de 600 m dans le Nord) et moins saine ;
- le troisième niveau (résistivité de 1 à 10 Ohm.m) semble plus épais aux abords du Benara (de 140 à 215 m d'épaisseur alors qu'elle est de 10 à 150 m dans le Nord).

De plus, deux failles relativement importantes, orientées N-S et encadrant au niveau de Ongojou la crête reliant le mont Bénara au mont Combani, sont rapportées dans ces travaux.

Figure 12 : Délimitation de la zone d'étude du massif volcanique de Bouéni
(secteur de Poroani – Dombéni)



● Forages de la campagne de 1990-1991

● Forages de la campagne de 1999-2000

▲ Sondages électriques de la campagne de 1999-2000

■ Zone d'étude

6.2.2. Données acquises dans le cadre de cette étude

a) Les formations géologiques primaires et secondaires

• Les formations basaltiques

Les observations de terrain réalisées dans le secteur de Poroani - Dembéli révèlent la présence d'un ensemble de coulées de lave similaires à celles des secteurs de Dapani - Chirongui. Celles-ci sont caractérisées à l'affleurement, de bas en haut de la séquence stratigraphique, par :

1. un ensemble de laves basaltiques, mésocrates riches en néphéline avec des vacuoles de quelques millimètres de diamètre qui a été reconnu uniquement dans les secteurs de Msangachéhi (Poroani) et Dembéli (Figure 13, n°A1 et A2). A l'affleurement, le contact entre cet ensemble et les laves sus-jacentes n'a pu être observé distingué en raison du manque d'affleurement sur le secteur ;
2. un ensemble de laves porphyriques massives / vacuolaires plus récent dans lequel alternent des basaltes riches en phénocristaux d'olivine et des basanites à néphéline. Cette unité présente des épaisseurs décamétriques et constitue, ainsi, l'armature géologique majeur du secteur (Figure 13, n°A3, A4 et A5). A la base d'une coulée de lave, un niveau de scories de quelques mètres de puissance a été mis en évidence en amont de la ravine Mro Oua Dembéli (Figure 13, n°A3).

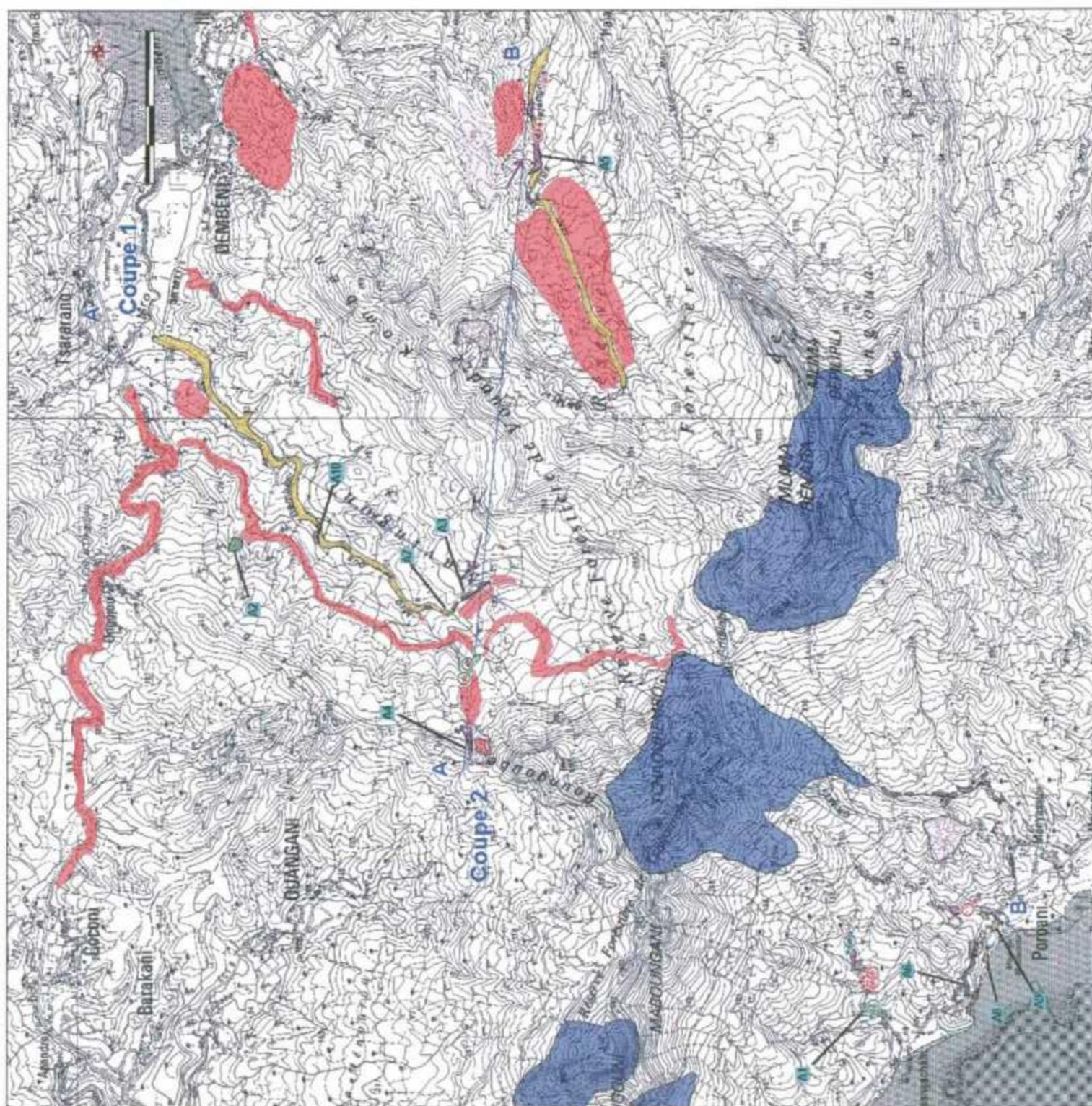
Par ailleurs, au dessus de cette dernière unité, sont présentes des coulées de lave mélanocrate, porphyrique, à phénocristaux de pyroxène uniquement. Elles ont été identifiées essentiellement dans le secteur de Poroani (Figure 13, n°A6), et sous forme de masses rocheuses (aucun affleurement n'a été observé) de 10 à 250 m³ environ, le long de la ravine Mro Oua Dembéli.

Le peu d'informations recueillies à l'affleurement sur l'unité (1) ne permet pas de bien comprendre sa géométrie et en particulier, ses relations avec les autres unités. En conséquence, ce faciès n'a pas été représenté sur les coupes interprétatives.

Les quelques informations recueillies sur le terrain concernant le sens d'écoulement des laves, montrent que :

- dans le secteur de Dembéli, les coulées de lave observées (Figure 13, n°A3, A4 et A5) ont une direction d'écoulement quasi-perpendiculaire aux actuelles lignes de crête ;
- dans le secteur de Poroani, les coulées de lave se sont mises en place du NE vers le SW, sur une pente d'environ 20°.

Figure 13 : Carte des affleurements sur la zone étudiée du massif volcanique de Bouéni (secteur de Poroani – Dembéni)



Légende

- Localisation des coupes géologiques interprétatives
- Source
- Suintement
- AI Numérotation des affleurements
- ↑ Sens d'écoulement des lavés

- Formations sédimentaires récentes**
 - Dépôts sédimentaires variés (alluvions, colluvions, ...)
- Formations volcaniques différenciées**
 - Phonolite
- Formations volcaniques remaniées / altérées**
 - Formations bréchiques
 - Allotrites

- Formations basaltiques**
 - Basalte/basalte à phénocristaux d'olivine (et/ou néphéline) et pyroxène (altéré à très altéré : isaltérites)
 - Basalte/basalte à phénocristaux d'olivine (et/ou néphéline) et pyroxène (sain)
 - Basalte
 - Formations cendreuses

- **Les laves différenciées tardives (phonolite, téphrite,...)**

Ces formations constituent les hauts reliefs de la partie septentrionale du massif volcanique de Bouéni. Elles correspondent à des venues tardives de magma visqueux, qui ont formé des dômes et dômes-coulées. Ces laves différenciées se sont mises en place selon un alignement bien distinct, de direction N120 environ.

- **Les formations bréchiques et cendreuses**

Elles ont été observées à deux endroits particuliers :

- 1) en amont du Mro Oua Dembéni (Figure 13, n°A3), des fragments (< 5 cm) de lave vacuolaire arrondis, apparemment monogéniques, sont emballés dans une matrice fine plus ou moins argileuse, présentant un contact net avec une coulée de lave massive sus-jacente. D'une épaisseur de 1 à 2 m, cette formation peut être interprétée comme une brèche de progression (ou semelle scoriacée de la coulée de lave). A 50 mètres environ, en aval de cette unité, des dépôts pyroclastiques, probablement remaniés, ont été mis en évidence, recouverts par des colluvions de pente (Figure 13, n°A7). Il s'agit de fragments polygéniques, anguleux (cendres, lapilli) de granulométrie variée (< 10 cm), inclus dans une matrice argileuse abondante. Aucune relation n'a pu être établie entre ces dépôts pyroclastiques et la coulée de lave située en amont, en raison de l'absence d'affleurements entre les deux formations ;
- 2) le secteur de Poroani présente de nombreux affleurements de formations bréchiques et cendreuses (Figure 13, n°A8 et A9). Celles-ci ont, en particulier, été observées à la base d'une coulée de lave (basalte à phénocristaux de pyroxène). La nature de ces formations n'a pu être identifiée avec certitude en raison de leur altération.

- **Les formations d'altération superficielles**

Les allotérites

Comme pour les autres secteurs d'étude, les formations très altérées ont été cartographiées comme allotérites.

Elles couvrent de manière discontinue, l'ensemble du secteur d'étude (flancs internes et externes supposés du massif volcanique) avec une extension plus importante dans le bassin versant de Dembéni (flanc externe). Elles ne sont préservées que dans des zones de faible pente ou de replats qui doivent fossiliser des paléo-surfaces (Figure 13). Ailleurs, elles ont été érodées (au niveau des ravines par exemple) ou, éventuellement n'ont pu se former (pentes trop fortes où les processus d'érosion l'emportent sur l'altération).

Les padzas (bad-lands)

Moins étendus qu'au nord et au sud de l'île, ils sont localisés essentiellement dans les zones sommitales.

b) Analyse structurale

• Interprétation du Modèle Numérique de Terrain (MNT) et des photographies aériennes

L'étude du Modèle Numérique de Terrain (MNT), couplée à la photo-interprétation, a permis de mettre en évidence deux familles de linéaments de grande extension (d'ordre kilométrique) (Figure 14) :

- une première famille de linéaments s'oriente selon une direction N50. Elle a été identifiée principalement sur le flanc externe supposé du massif volcanique (secteur de Dembéni) ;
- une deuxième famille se manifeste selon une direction N100 à N120 dans le secteur de Dembéni et au niveau de la crête du Mlima Bénara.

• Observations de terrain

1. Fissuration et fracturation

Une fissuration intrinsèque à la mise en place des coulées de lave, a été mise en évidence au sein des formations basaltiques saines, localisées sur l'ensemble du secteur d'étude.

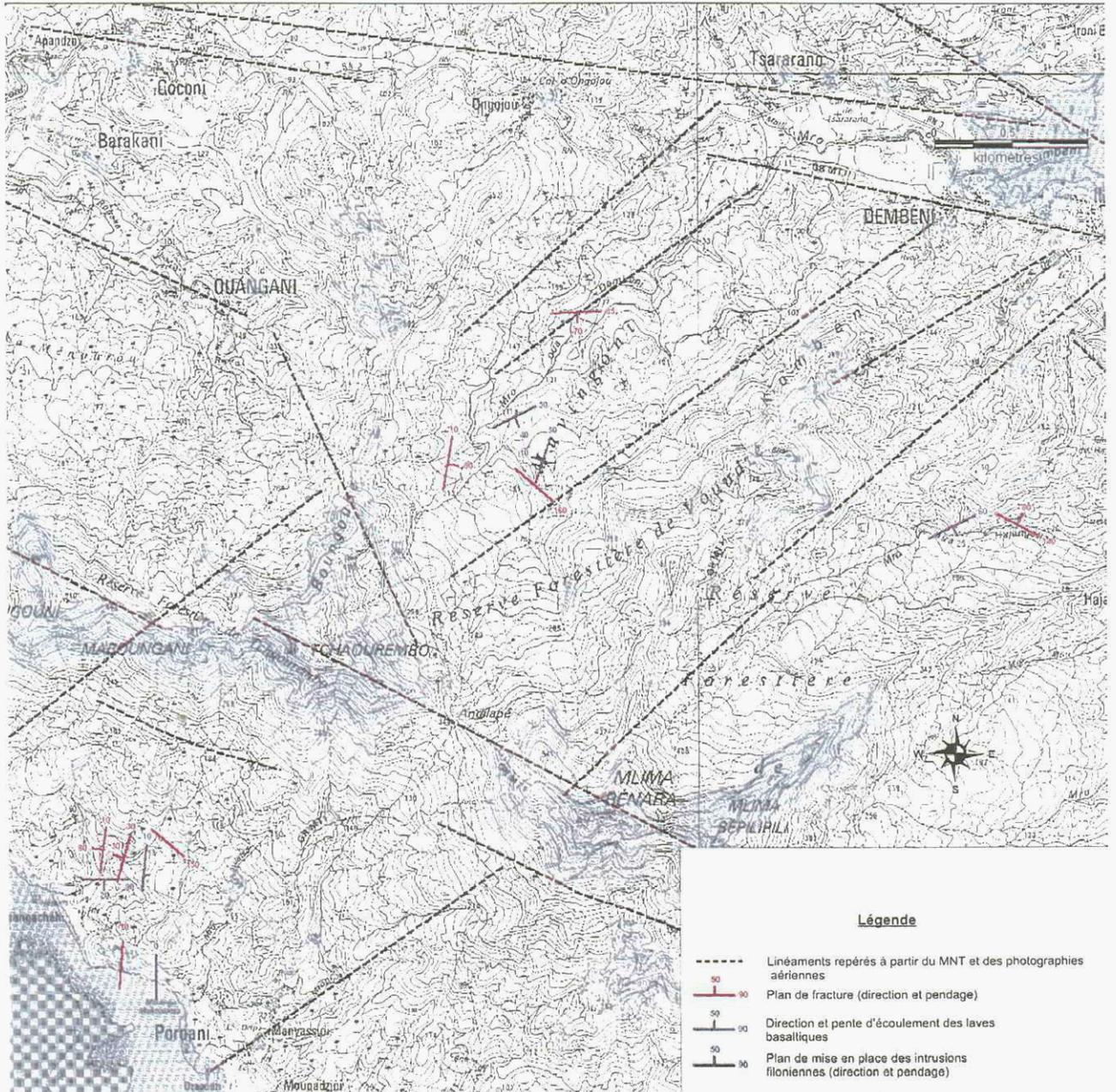
Une fracturation d'origine volcano-tectonique et/ou tectonique a été reconnue localement affectant plusieurs unités basaltiques (Figures 13 et 14, n° A10).

Sur l'ensemble du secteur d'étude, la plupart des plans de fracture observés ont une direction préférentielle N10 (Figure 14) .

2. Intrusions filoniennes

Des injections de lave différenciée discordantes par rapport à la stratigraphie (dykes) fossilisent un système de fractures post-construction du bouclier de Bouéni. Ces intrusions filoniennes de faible extension ont été observées uniquement sur le secteur de Poroani. Elles se sont mises en place selon une direction N0 à N10 et correspondent aux directions des plans de fracture reconnues sur le secteur.

Figure 14 : Données structurales sur le massif volcanique de Bouéni (secteur de Poroani – Dembèni)



c) Relations entre les forages et les observations de terrain

Lors des campagnes de recherche en eaux souterraines de 1990-1991 et 1999-2000, cinq forages, de 50 m de profondeur environ, ont été réalisés sur le secteur d'étude : quatre dans la zone de Dembéni (2 en 1990-1991 et les 2 autres en 2000) et un dans le village de Poroani (1990).

- A Dembéni, les forages Demb 1 (1231-3X-0018), Demb 2 (1231-3X-0019) et Tsara 1 (1231-3X-0021) recoupent tous les trois une série de laves basaltiques altérées entre 10 et 15 mètres de profondeur. Les basaltes sont inter-stratifiés de niveaux cendreux/bréchiques et d'altérites. Au dessus de ces laves, des dépôts fluviatiles épais se sont mis en place. Le forage Tsara 2 (1231-3X-0022) traverse uniquement des formations alluviales (sables, galets, etc.) sur 50 m d'épaisseur sans atteindre ni recouper, les formations basaltiques.
- Le forage de Poroani (1231-2X-0032), de 60 mètres de profondeur, a été réalisé au cœur du village de Manyassini. Les formations cendreuses indurées et/ou bréchiques reconnues entre 0 et 14 mètres de profondeur, reposent sur plusieurs coulées de lave (20 m d'épaisseur environ chacune), intercalées de niveaux scoriacés et d'altérites de 3 m d'épaisseur environ.

Les coupes géo-électriques (Annexe 4), réalisées dans le cadre de la campagne de 1999-2000, suggère la présence d'un « accident » entre les forages Tsara 1 et 2 (Figure 15).

6.2.3. Synthèse géologique

Sur l'ensemble du secteur d'étude, deux coupes géologiques interprétatives ont été réalisées à partir des données préexistantes et des nouvelles observations géologiques de terrain (Figure 15). Les secteurs, où les informations de terrain sont absentes, ont été indiqués sur les coupes (1 et 2) en tant que zones extrapolées, à partir des affleurements situés à proximité.

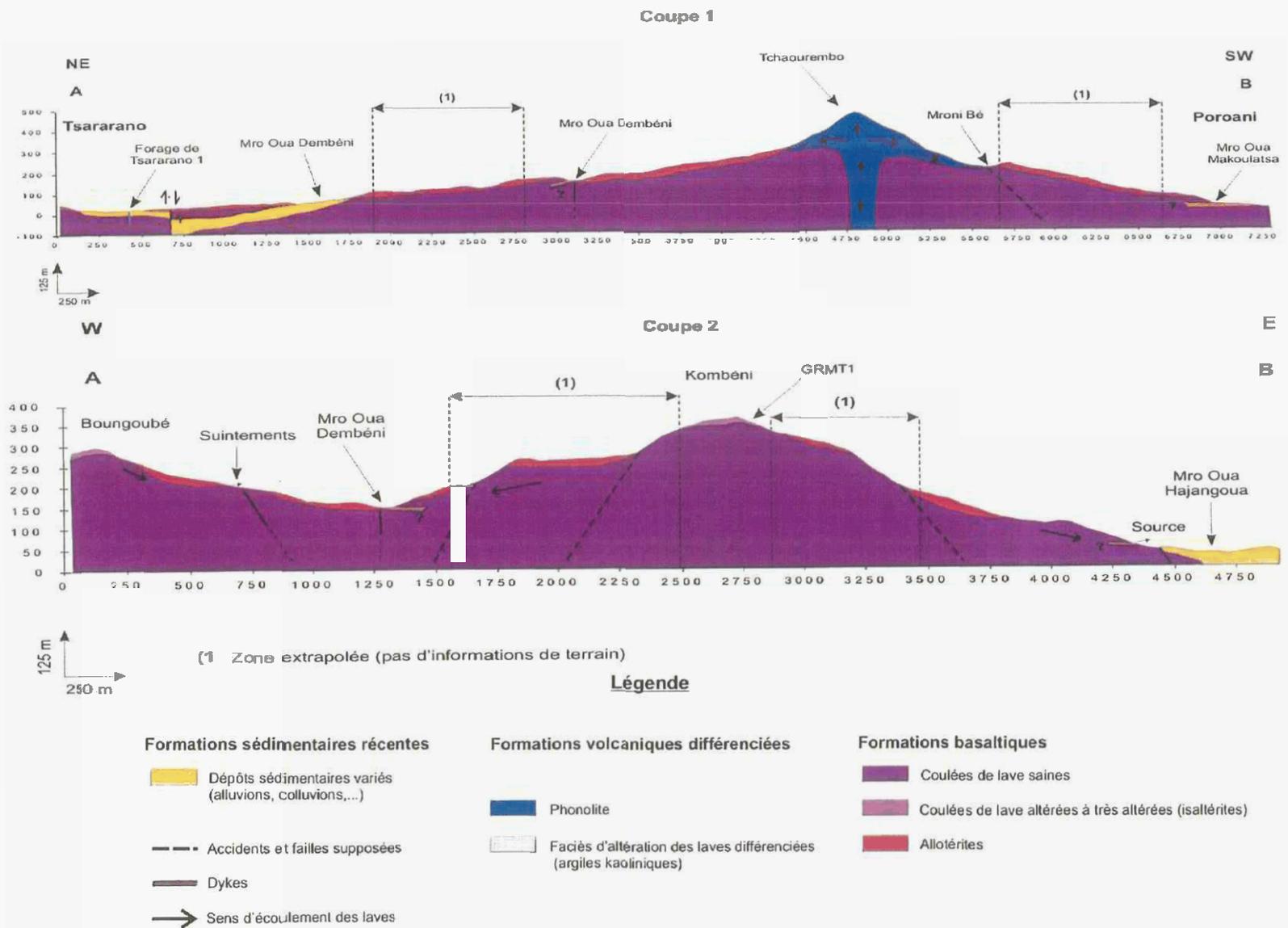
Par rapport aux interprétations établies par les précédents auteurs relativement à l'édification du massif volcanique de Bouéni, nos nouvelles observations de terrain ont permis (Figure 15) :

- de distinguer les flancs internes et externes supposés de la partie nord du massif volcanique, délimités par le Mlima Bénara ;
- de confirmer l'effusion de laves tardives (basaltes ankaramitiques) qui se surimposent à des laves à néphéline (basanites). A l'heure actuelle, aucun argument déterminant de terrain ne prouve l'existence de paléovallées dans lesquelles se seraient mises en place les basaltes ankaramitiques ;
- de confirmer la venue de laves terminales plus visqueuses (phonolites) formant des dômes (ou dômes-coulées) avec une direction préférentielle de mise en place N120 (Mlima Bénara).

Par ailleurs, les observations de terrain réalisées dans le cadre de cette étude ont permis d'apporter les informations supplémentaires suivantes (Figures 13, 15) :

- les venues de lave successives présentent des intercalations répétées laves massives / laves scoriacées / altérites (paléosols) ;
- dans le secteur de Dombéni, les coulées de lave observées ont une direction de mise en place quasi-perpendiculaire aux actuelles lignes de crête (Boungoubé et Kombéni). La ravine Mro Oua Dombéni constituerait donc une limite importante de convergence de ces coulées (issues des deux lignes de crête : Boungoubé et Kombéni) ;
- l'existence de failles supposées affectant les versants en dessous des lignes de crête principales (Boungoubé et Kombéni) dans le secteur de Dombéni ;
- les basaltes ankaramitiques représentent pratiquement la totalité des laves affleurantes sur le secteur, et sont responsables de la morphologie actuelle. Ils s'étendent jusqu'aux pentes les plus basses ;
- le flanc externe est plus affecté par les formations d'altération, dans la partie aval du bassin versant de Dombéni ;
- la présence de dépôts pyroclastiques a été mis en évidence pour la première fois sur le secteur. Le lieu origine de ces dépôts n'est pas établi (phase explosive propre au volcanisme de Boueni ou d'un autre massif volcanique de l'île) ;
- quelques intrusions filoniennes (laves différenciées) sont localisées uniquement dans le secteur de Poroani. Leur direction de mise en place correspond aux directions des plans de fractures (failles) observés sur le terrain.

Figure 15: Coupes géologiques interprétatives sur le massif de Bouéni (secteur de Poroani – Dembeni)



6.3. APPROCHE HYDROLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

6.3.1. Données bibliographiques

Elles proviennent des mêmes références que celles citées dans le § 4-3-1, et permettent de caractériser certains paramètres hydrauliques sur des cours d'eau du secteur d'étude (tableau 6).

Zone	Cours d'eau	Taille du bassin versant en km ²	Débit instantané d'étiage en 1977 en l/s (m ³ /j)	Débit spécifique en l/s/km ²
M'tsangachéi	Mro Habao		1.17 (101) (en cumulé)	
M'tsangachéi	Mro Macoulatsa		1.60 (138)	
Poroani	Dembeni	15	15.1 (1304)	1
Iloni	Ouakembeni		1.68 (145)	
Hanjagoua	Hanjagoua	6.5	2 (172)	0.3

Tableau 6 : Paramètres hydrauliques des bassins versants hydrologiques sur le massif volcanique de Bouéni- Dembeni

Ces données, mesurées à l'aide de récipients jaugés et d'un micro-moulinet OTT (novembre et décembre 1977), constituent une base intéressante, étant donné l'impact anthropique très limité sur les débits à cette époque. Il est cependant nécessaire de rester prudent vis à vis de ces informations en raison de leur caractère ponctuel.

Des informations physiques sont également disponibles sur les bassins versants de notre secteur d'étude (tableau 7).

nom du cours d'eau	paramètres géométriques					paramètres du relief				paramètres morphométriques			
	surface (km ²)	périmètre (km)	Indice de compacité	rectangle équivalent		dénivelé global	Indice global de pente	indice de pente	dénivelé spécifique	longueur totale du cours d'eau (km)	densité de drainage	hiérarchisation (talweg principal)	forme du chevelu
				longueur	largeur								
Adembéni	14,3	18,3	1,37	7,29	1,96	375	5,144	7,94	194,52	30	2,1	4	radial
Hajangoua	5,1	12	1,5	5,04	1,01	480	9,524	10,8	215,08	8,5	1,67	3	en arête
Poroani	3,3	8,25	1,28	3,08	1,07	440	14,286	13,23	259,52	6,5	1,97	2	radial

Tableau 7 : Paramètres physiques des bassins versants hydrologiques sur le massif volcanique de Bouéni - Dembeni

L'annuaire hydrologique de l'année 2001 de la DAF sur le secteur, donne quant à lui, des informations sur le cours d'eau de Dembéni (tableau 8).

Nom de rivière	Bassin versant (km ²)	Débit d'étiage l/s	Débit spécifique l/s/km ²	Débit caractéristique (dépassé 9 mois dans l'année) l/s
Dembéni	7.06	0	0	4.37

Tableau 8 : Informations hydrologiques de la DAF concernant le cours d'eau de Dembéni (2001)

Ces données seraient toutefois à prendre avec précaution selon l'hydrogéologue de la DAF/SER (emprise anthropique forte existant à l'amont des stations ; possibles erreurs de mesure).

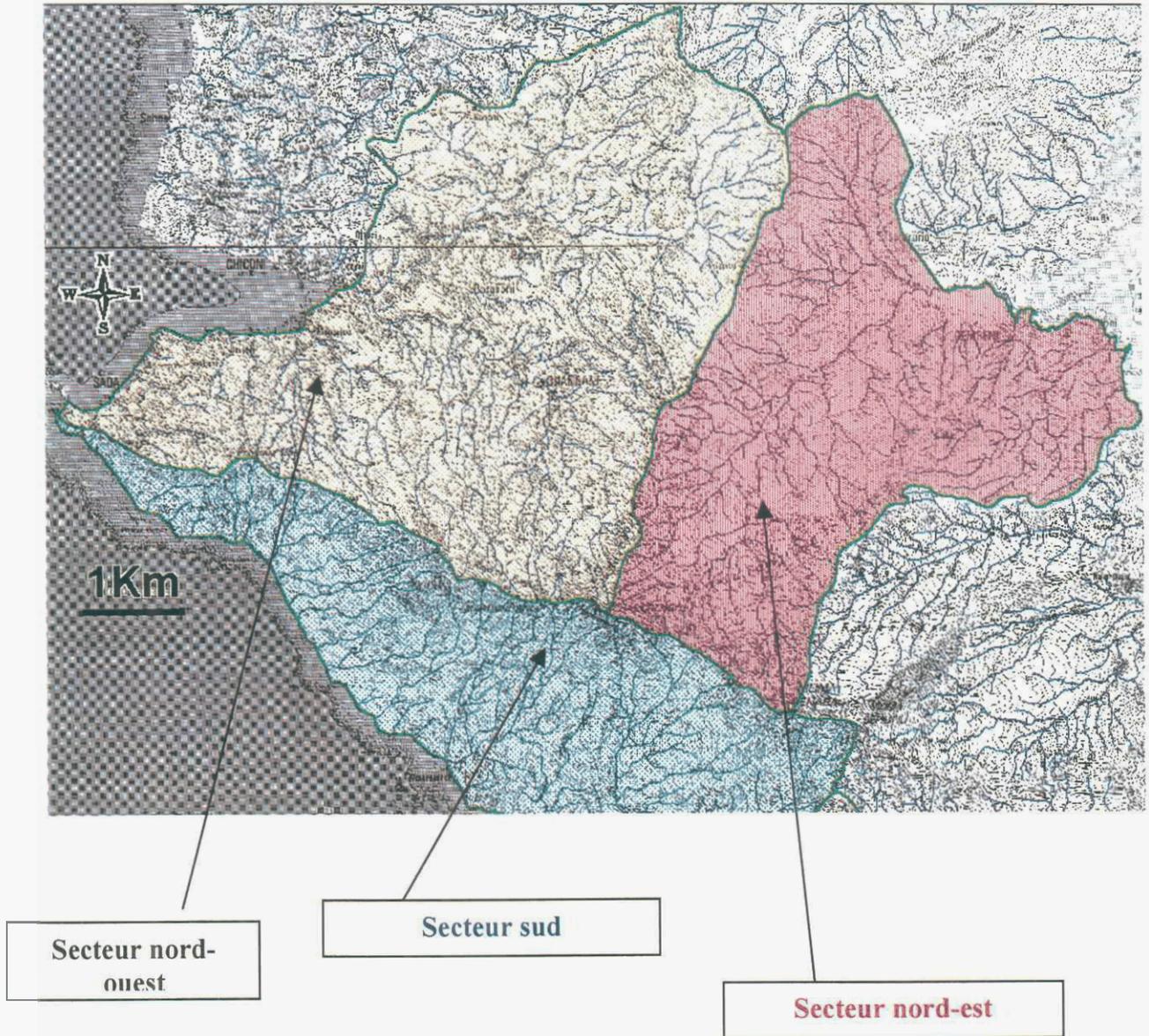
De plus, Météo France indique sur ce secteur une pluviosité de 1200 à 1500 mm/an (annuaire hydrologique 2001 de la DAF).

6.3.2. Observations à partir de la carte IGN 4410 nord (Mamoudzou) au 1/25 000 de 1993

La lecture de la carte topographique et l'observation du chevelu hydrographique permettent de distinguer (Figure 16) trois secteurs plus ou moins indépendants :

- un secteur nord-ouest, au niveau de Ouangani, délimité par les lignes de crêtes de Moungani et de Boungoubé ;
- un secteur nord-est, incluant les villages de Tsararano, Dembéni et Iloni et comprenant tout le bassin versant hydrologique du Mro Oua Dembéni. Son chevelu hydrographique est assez important (densité de drainage de 2.1), mais non pérenne. Cette zone est la plus vaste mais le débit des cours d'eau semble faible (malgré les prises d'eau constatées) ;
- un secteur sud, délimité du secteur nord-est, par la crête de Mlima Bénara, inclut le village de Poroani. Ce dernier secteur est, en superficie, le moins important.

Figure 16 : Délimitation des différents secteurs hydrologiques du massif
volcanique de Poroani-Dembéni



6.3.3. Observations de terrain

a) Dans le secteur Sud

Au niveau de la ravine de Mtsangachéhi, plusieurs émergences ont été observées (Figure 13). L'eau émerge le long de fractures ou de fissures au sein de laves différenciées saines.

Ces fractures sont peu productives à l'inverse de celles observées dans le secteur de Dapani, au sud de Mayotte.

b) Dans le secteur Est

Peu d'affluents du cours d'eau de Dembéni étaient en eau en début d'année (1 mois après la saison des pluies).

Quelques émergences situées au contact de colluvions et d'une couche plus argileuse représentent le ressuyage des terrains superficiels (observations faites un jour après des pluies sur la zone).

En aval du Mro Oua Dembéni, le secteur semble très altéré, et nous donne peu d'informations hydrogéologiques. En amont de la station de jaugeage « Dembéni haut » (Mro Oua Dembéni), aucune émergence n'est constatée. On observe la présence d'un banc de conglomérat à matrice argileuse. Il semble imperméable en surface (ce qui n'est pas forcément le cas en profondeur).

La présence de prises d'eau tout au long de la ravine, conforte les précisions et nuances de M. Giorgi, hydrogéologue de la DAF/SER, sur la fiabilité des mesures de débit actuellement réalisés sur ce cours d'eau.

Sur le secteur de Hajangoua, comme pour la Dembéni, seule la ravine principale est en eau. On n'observe pas ou peu de variations de débit sur le parcours de cette ravine, malgré quelques émergences situées dans des horizons de laves scoriacées.

6.3.4. Discussion, hypothèses

a) Observations faites sur la carte IGN

Le réseau hydrographique semble moins important que sur les autres zones d'étude et les affluents ne sont pas indiqués comme étant pérennes. Ceci peut indiquer la présence de terrains relativement plus infiltrants que sur les autres secteurs.

b) Indications données par les forages

Les forages déjà réalisés dans le cadre des campagnes de recherche en eaux souterraines de 1990-1991 et de 1999-2000 (Demb 1 : 1231-3X-0018, Demb 2 : 1231-3X-0019, Tsara 1 : 1231-3X-0021 et Tsara 2 : 1231-3X-0022), indiquent des structures aquifères spatialement limitées.

Sur le secteur sud, les ouvrages de Poroani et Mréréni (1231-2X-0032, 33, 34 et 35) fournissent certaines indications hydrogéologiques.

Trois forages ont eu des venues d'eau (1231-2x-0033, 34 et 35) à partir de formations basaltiques riches en pyroxènes, fracturées et zéolitisées.

Les valeurs de transmissivité obtenues dans le forage de Mréréni 2 (1231-2x-0035) sont de $5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ et les essais de pompage indiquent une structure très compartimentée (soit par faille ou dans un contexte hydrothermalisé avec comblement de fissures par des dépôts minéraux secondaires).

Sur l'ensemble de la zone d'étude, les venues d'eau proviennent de basaltes fissurés et ou fracturés et/ou de niveaux scoriacés (inter-coulées) de lave (campagne de forages de 1999-2000).

c) Données hydrologiques

Pour le secteur Est, au regard des données disponibles en hydrologie de surface, le bassin versant de la Dembéni, est le cinquième bassin versant en taille de l'île (14.4 km²) pour un débit moyen faible en comparaison des autres et un débit d'étiage nul (tout en nuanciant car nous ne pouvons réellement estimer l'importance des prises d'eau anthropiques en amont). Cela indique la présence de terrains plus infiltrants. L'eau ne serait pas stockée dans une nappe perchée (se vidangeant ultérieurement dans les cours d'eaux superficiels), mais dans des horizons plus profonds. Il y aurait, cependant, lors des épisodes pluvieux, un ressuyage des sols qui permettrait des émergences au contact des basaltes et des colluvions. Mais, à grande échelle, il n'y aurait pas de niveau imperméable faisant barrière hydraulique et permettant l'accumulation d'eau en nappe perchée sur la zone centrale du secteur.

d) Observations de terrain

Le cours d'eau de la Dembéni reste pérenne une grande partie de l'année si l'on se réfère aux données de l'annuaire hydrologique de la DAF. Il y a donc présence d'un réservoir perché qui l'alimente.

Les autres ravines sont, pendant la majeure partie de l'année, asséchées, n'étant en eau que lors des épisodes pluvieux (ruissellement et ressuyage des sols). De ce fait, dans la zone, il y a des infiltrations sans niveau éponte permettant l'accumulation d'eau.

En aval du Mro Oua Dembéni, des brèches de pente participent par leur imperméabilité (pas d'infiltration) au débit du cours d'eau. Ce niveau bréchiq ue est en effet, considéré comme imperméable dans ses formes altérées.

6.4. SYNTHÈSE GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS

Nos approches géologiques et hydrogéologiques de terrain, réalisées sur le secteur de Poroani - Dembéni ont permis de mettre en évidence une zone hydrogéologiquement intéressante (en amont du bassin versant du Mro Oua Dembéni), encourageant à conduire des campagnes complémentaires de prospection détaillée, ciblées sur ce secteur.

En résumé, le secteur de Dembéni supposé intéressant, en termes de potentialités hydrogéologiques, se caractérise par :

- l'existence de coulées de lave saines, reconnues en amont du Mro Oua Dembéni ;
- en aval de ce cours d'eau, un secteur très affecté par l'altération ;
- le Mro Oua Dembéni constituerait un axe important de convergence des coulées de lave issues de deux lignes de crête (Boungoubé et Kombéni) ;
- un hypothétique réservoir profond. Une campagne géophysique sur le secteur (par sondages électriques puis panneaux électriques) permettrait de mieux comprendre les structures volcaniques en profondeur et de caractériser dans la mesure du possible, celui-ci ;
- un réservoir perché constitué par une coulée de lave saine dans le secteur de Hajangoua.

Pour aider à la compréhension du système aquifère et prévoir des cibles de forage, il sera dans le futur, utile de :

- mieux identifier les niveaux scoriacés au sein des empilements de coulées de lave ;
- d'effectuer des prospections géophysiques permettant de modéliser le contexte hydrogéologique.

7. Le massif volcanique du Mtsapéré : Secteur de Mamoudzou

7.1. CHOIX DU SECTEUR D'ETUDE

L'étude du secteur de Mtsapéré - Mamoudzou (volcanisme du nord-ouest de l'île), en accord avec la DAF (cf Annexe 5) a simplement consisté à établir une coupe géologique interprétative, basée uniquement sur les données préexistantes, sans apport de nouvelles observations géologiques et hydrogéologiques de terrain. Par conséquent, aucune interprétation hydrogéologique n'a été faite sur ce secteur.

Le tracé de la coupe géologique interprétative a été défini par la DAF entre Mamoudzou et le Mlima Mtsapéré (Figure 17). Cette coupe a été établie à partir de faciès types représentatifs de la géologie de l'ensemble du secteur (coupe non rectiligne), en fonction des données disponibles que sont :

- une récente cartographie lithologique au 1/10 000 de la bande Mamoudzou Kougou réalisée dans le cadre d'une convention entre le BRGM et le laboratoire des Sciences de la Terre de l'Université de l'île de La Réunion (Debeuf et Bachèlery 2001) ;
- la carte géologique au 1/50 000 de Mayotte (Stieltjes, 1988) ;
- les forages réalisés lors des campagnes de recherche en eaux souterraines de 1990-1991 et 1999-2000.

7.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE

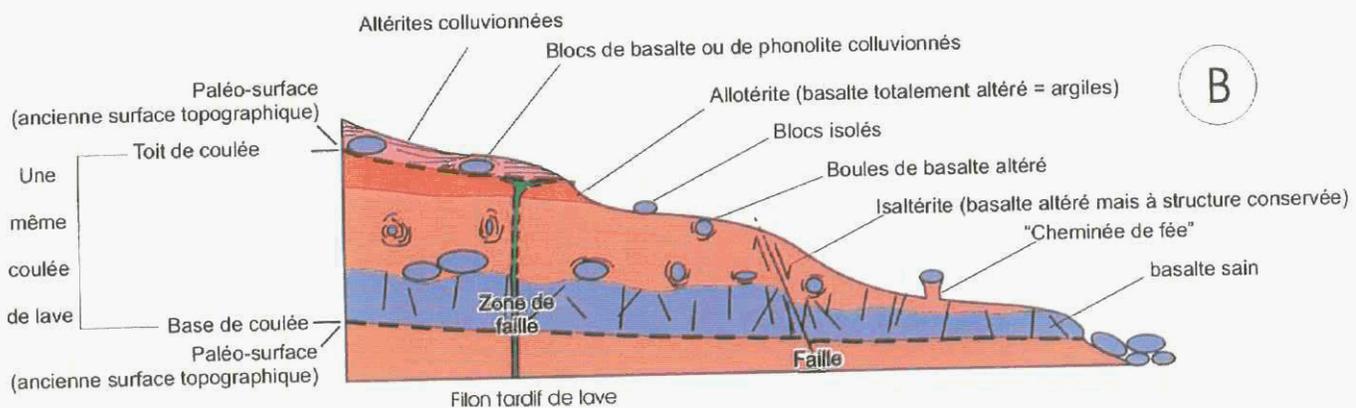
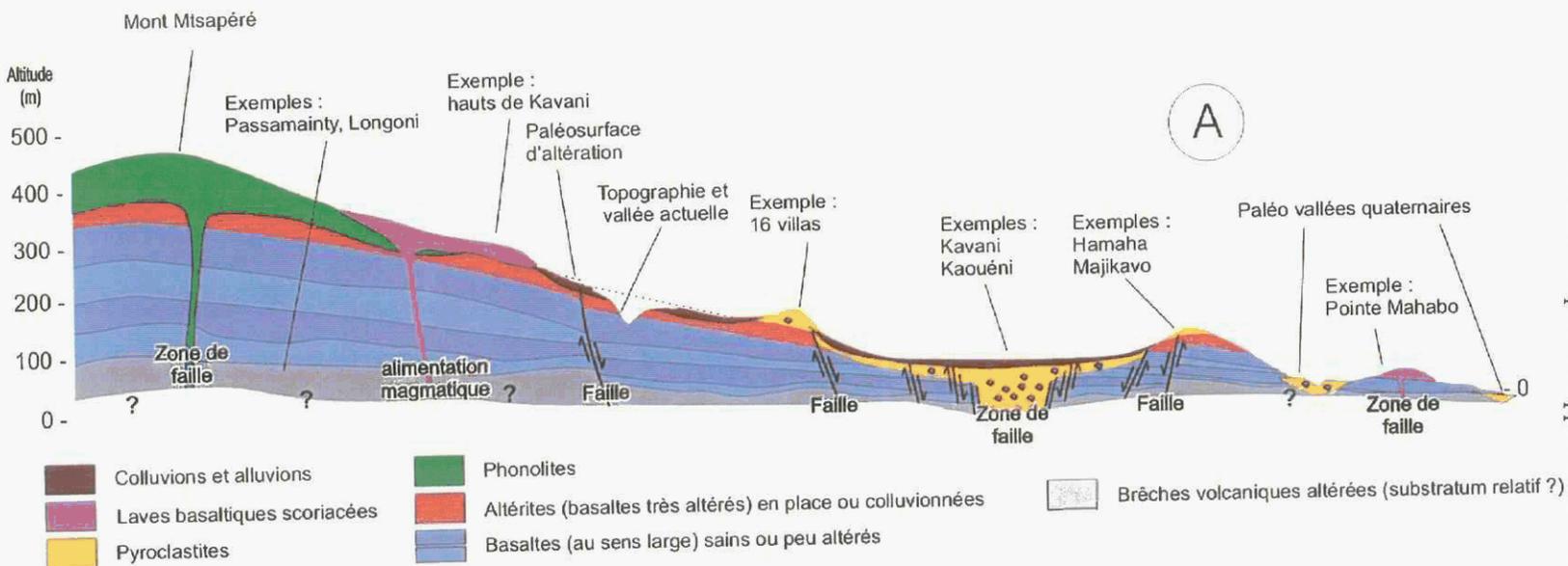
Les travaux réalisés sur le secteur de Mamoudzou - Mlima Mtsapéré, conduisent à l'interprétation d'un système géologique complexe caractérisé par le résultat d'une évolution volcanologique en trois phases principales (Figure 17) :

1. début de l'édification du massif volcanique de Mtsapéré daté autour de 1,8 Ma par des effusions successives de laves : alternance de basalte massif, de niveaux scoriacés et d'altérites (paléosols). Les coulées de lave présentent différents degrés d'altération selon leur position géographique et morphologique : elles sont complètement argilisées (dans la partie Sud de la dépression de Kavani), altérées en boule (vers le carrefour du Baobab) ou saines dans la vallée du Mro Oua Majimbini. A la base des coulées de lave se trouve un niveau bréchique (aspect bréchique à conglomératique : gros blocs polygéniques de laves altérées dont certains sont arrondis, inclus dans une matrice argilisée) a été reconnu de part et d'autre du secteur d'étude (Longoni, Majicavo Lamir et Passamainty, Préfecture, Kaouéni) ;

2. fin de l'édification du massif volcanique de Mtsapéré par une phase d'activité phonolitique, datée autour de 1,5 Ma. Les injections de magma ont utilisé les structures faillées de l'édifice, donnant en surface, par exemple, le dôme-coulée du Mlima Mtsapéré. Entre 1,5 Ma et 500 000 ans, des dépôts fluviatiles (galets, sables, etc.) ont comblé les paléo-reliefs (ex : Kavani et Kaouéni) pendant une période de quiescence volcanique. Ces dépôts peuvent atteindre une trentaine de mètres d'épaisseur environ (forage de Kaouéni 2 : 1230-7X-0020) ;
3. enfin, un volcanisme explosif mal daté (autour de 500 000 ans, mais sans doute plus jeune...) a donné lieu à l'émission de pyroclastites (retombées et écoulements) différenciées (trachytes) ou basiques (basaltes) et à la construction de cratères, dont les maars (dynamisme phréato-magmatique) de Kavani et Kaouéni. Les dépôts pyroclastiques associés ont été conservés autour de ces deux cratères. Ces épisodes explosifs sont également marqués par la présence de cônes volcaniques stromboliens (ex : hauts de Kavani et pointe Mahabo), constitués d'une accumulation de projections scoriacées (blocs, lapilli). Sur les hauts de Kavani, deux secteurs d'émission de lave basaltique ont été mis en évidence : une petite coulée massive sur le flanc sud-est du cône et une coulée sur son flanc nord-est. Il s'agit là de la dernière phase d'activité volcanique reconnue sur Grande Terre.

Figure 17 : Coupe géologique interprétative Mamoudzou – Mlilima Mtsapéré sur le massif volcanique de Mtsapéré

Modifiée d'après le Rapport BRGM/RP-51738-FR - 2002 Mayotte 03



8. Références bibliographiques

- Audru J.C., Bitri A., Desprats J.F., Mathon C., Maurillon N., Sabourault P., Sedan M. et Sedan O. (2002) – Projet risques naturels et érosion à Mayotte : résultats d'année 1. Rapport BRGM/RP-51738-FR - 2002 MAYOTTE 03, 49 p, 20 figures, 4 annexes.
- Ballestracci R. Nougier J., Benderitter Y. (1985) - Intermediate pattern and hydrodynamic process deduced from AMT investigations on the volcanic island of Mayotte (Comores Archipelago) – *Tectonophysics*, vol. 115, pp 45-60.
- Billard G. (1977) - Inventaire des ressources hydrauliques de Mayotte. Rapport BRGM n° 77 – REU 04.
- Class C. Goldstein S.L., Altherr R., Bachèlery P. (1998) – The process of plume-lithosphere interactions in the ocean basins – the case of Grande Comore. *Journal of Petrology*, vol. 39, 5, pp. 881-903.
- Coudray J. Thomassin B.A, Vasseur P. (1985) – Géomorphologie comparée des récifs coraliens de Nouvelle Calédonie et de Mayotte (province indo-pacifique), in *5th internat. Coral Reef Congr.*, edited by H.-V.M Gabriele C., 671p, Tahiti.
- Cruchet M., Daesslé M., Gérard A., Lachassagne P. (2000) - Programme de recherche et d'exploitation des eaux souterraines à Mayotte. Synthèse des résultats des reconnaissances géologiques, hydrogéologiques, géophysiques et émanométriques radon – Propositions d'implantation des sondages de reconnaissance. Rapport BRGM n° RP-50386- 2000 SGR/MAY 30.
- Daesslé M. et Verrez P. (1987) - Mise en valeur du potentiel en eau souterraine dans le Sud de l'île de Mayotte. Reconnaissance géophysique et hydrogéologique. Rapport BRGM n° 87 REU 11.
- Debeuf D. et Bachèlery P. (2001) - Carte lithologique à 1/10 000 des villes de Mamoudzou et Koungou, Mayotte. Note technique du Laboratoire des Sciences de la Terre de l'Université de la Réunion.
- Eberschweiler M. (1986). - Etude hydrologique, hydrochimique et géochimie isotopique d'une île volcanique sous climat tropical pluvieux : Mayotte. Thèse de 3^{ème} cycle Université de Paris-Sud .
- Emerick C.M. and Duncan R.A. (1982) - Age progressive volcanism in the Comores archipelago, Western Indian Ocean and implications for Somali plate tectonics. *Earth and Planetary Sciences Letters*, 60, pp. 415-428.
- Esson J., Flower M.F.J., Strong D.F., Upton B.G.J., Wadsworth W.J. (1970) - Geology of the Comores archipelago, Western Indian Ocean. *Geol. Mag.*, pp. 549-557.

- Flower M. and Strong D.F. (1969) – The significance of sandstone inclusion in lavas of the Comores archipelago. – *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 747-50. pp 47-50
- Hajash A. et Armstrong R. (1972) – Paleomagnetic and radiometric evidence for the age of the Comores islands, west central Indian Ocean. *Earth and Planetary Science Letters*, n°16, pp 231-236.
- Jourdain T, Lachassagne P., lebon D., Mieke J.M., Mouron R. (2001) - Programme de recherche et d'exploitation des eaux souterraines à Mayotte campagne 2001-2002. Synthèse des résultats des reconnaissances géologiques, hydrogéologiques, géophysiques et radon – Propositions d'implantation des sondages de reconnaissance. Rapport BRGM n° RP-51498-FR - 2002 MAY 01.
- Lachassagne P., Cruchet M., Daesslé M. et Lebon D. (2000) – Programme de recherche et d'exploitation des eaux souterraines à Mayotte. Campagne prioritaire d'étude et de forages de reconnaissance et d'exploitation (juin 1999 – octobre 2000). Comptes-rendu des travaux et principaux résultats géologiques et hydrogéologiques. Rapport BRGM RP-50428-FR 2000 SGR/MAY 33
- Lachassagne P., Cruchet M., Gérard A., Lebon D. (en préparation) – Structure hydrogéologique des îles basaltiques anciennes : un modèle conceptuel distinct de ceux des îles récentes. Apport d'une campagne de reconnaissance hydrogéologique à Mayotte (Comores, France).
- Lapègue J. (1999) - Aspects quantitatifs et qualitatifs de la pluviométrie dans deux enjeux majeurs de la problématique de l'eau à Mayotte : la ressource hydrique ; l'assainissement pluvial et l'érosion. Thèse de 3^{ème} cycle, Université de la Réunion. p. 354
- Lebon D. et Lachassagne P. (2001) – Source Massimoni (commune de Mamoudzou, Mayotte). Contexte d'émergence, origine de la pollution, vulnérabilité, proposition de solutions. Rapport BRGM n° RP-50691- 2000 MAY 02.
- Nougier J., Cantagrel J.M. and Karce J.P. (1986) – The Comores archipelago in the western Indian Ocean: volcanology, geochronology and geodynamic setting. *Journal of African Earth Sciences* 5, pp. 135-145.
- Mathieu F. (1999) - Programme de recherche et d'exploitation des eaux souterraines à Mayotte. Recherches géophysiques. Rapport BRGM n° R 40750 – 2000 SGR/MAY 24.
- Mauroux B. (1992) - Programme des forages de reconnaissance des eaux souterraines à Mayotte. Rapport BRGM n° R35165 – REU 4S 92.
- Montaggioni L. et Nougier J. (1981) – Les enclaves de roches détritiques dans les volcans d'Anjouan (archipel des Comores). Origine et interprétation dans le cadre

- de l'évolution du canal de Mozambique. *Bull. Soc. Géol. France*, (7), t. xxiii, n°6, p. 595-601
- Rabinowitz P.D., Coffin M.F. (1983) – The separation of Madagascar and Africa. *Science*, vol. 22067-69
- Raunet M. (1992) – Les facteurs de l'érosion des terres et de l'envasement du lagon. Ile de Mayotte (Archipel des Comores, Océan Indien).- Rapport CIRAD.
- Salesse E., Mauroux B., Weber O. (1991) - Alimentation en eau potable de Mamoudzou. Réalisation des forages F1 (1230-7X-0013) et F2 (1230-7X-0014) - Z.I. de Kaweni. Rapport BRGM n° 91 REU 14.
- Späth A., Le Roex A. et Duncan R.A. (1996) – The Geochemistry of lavas from the Comores Archipelago, Western Indian Ocean: Petrogenesis and Mantle Source Region Characteristics. *Journal of Petrology*, vol. 37-4, pp. 961-991.
- Stieltjes L. (1988) – Carte géologique de Mayotte à 1/50 000 et sa notice. Éd. BRGM.
- Stieltjes L. et Rigal D. (1982) - Schéma directeur de mise en valeur des ressources en eau de Mayotte -. Rapport BRGM n° 82 REU 18.
- Stieltjes L. (1987) – Mayotte, volcan bouclier du plancher de l'océan indien occidental. Rapport BRGM n° 87 REU 42.
- Youssof A.A.B. (1991) - Morphogenèse et modelé dans un milieu insulaire tropical : l'exemple de Mayotte (avec carte morphologique à 1/25 000). Thèse de 3^{ème} cycle ; Université des Sciences et Techniques de Lille. p.290

ANNEXES

**ANNEXE 1 : PHOTOGRAPHIES D’AFFLEUREMENTS SUR
LE MASSIF VOLCANIQUE DE MTSAMBORO**

Photographie 1 : Coulée de lave avec toit et base scoriacés.



Cœur de la coulée

Niveaux scoriacés

Photographie 2 : Niveau bréchiq ue à la base d'une coulée de lave (Fig 3 ; n°A5).



Ciment argileux issu de l'altération de la lave

Eléments de lave anguleux préservés >2mm +/- altérés

Photographie 3 : Padzas se développant à partir de basaltes altérés.



Padzas (altérites)

Empilement de
coulées de basalte
altéré

**ANNEXE 2 : AVIS TECHNIQUE SUR L' ARTICLE
« INTERMEDIATE TECTONIC PATTERN AND
HYDRODYNAMIC PROCESS DEDUCED FROM
AUDIOMAGNETOTELLURIC INVESTIGATIONS ON THE
VOLCANIC ISLAND OF MAYOTTE (COMORES
ARCHIPELAGO) » PAR R. BALLESTRACI ET AL (NOV.
1985)**

AVIS TECHNIQUE AMT MAYOTTE

Concernant l'article « Intermediate pattern and hydrodynamic process deduced from AMT investigations on the volcanic island of Mayotte », 1985, Ballestracci, Nougier et Benderitter.

Pertinence de la méthode dans le contexte de Mayotte :

L'AMT est sensible à la topographie, comme toutes les méthodes géophysiques. Les effets topographiques sur les mesures AMT ont été étudiés par divers auteurs, mais les publications sont contemporaines ou postérieures à l'article en question. Il faut en particulier se méfier des points de mesure situés sur des sommets pointus ou au fond de vallées encaissées, surtout quand la ligne électrique est perpendiculaire à l'axe de ces reliefs. Les effets topo en AMT peuvent être corrigés, ou en tout cas pris en compte dans l'interprétation. Ce qui est dommage, c'est que les auteurs ne donnent pas l'altitude de chaque station, et ne présentent pas une analyse critique du problème topo.

Toutefois, les coupes données à la figure 7 ne montrent pas une corrélation (ou anticorrélation) flagrante avec la topo. En outre, les reliefs restent modérés par rapport à l'extension horizontale des compartiments interprétés.

Le compartimentage n'est pas véritablement un problème. Si la taille des compartiments est grande devant la profondeur du marqueur d'intérêt, ce qui semble être le cas ici, l'interprétation 1D reste possible, sauf au voisinage des failles (ceci est bien discuté par les auteurs).

La grande hétérogénéité géologique est le point le plus gênant, mais il semble quand même d'après les quelques sondages présentés en figure 5 que la présence d'un conducteur à quelques centaines de m de profondeur ne soit pas discutable. Ce que je ne puis juger, c'est de la pertinence de l'interprétation géologique qui en est faite (zone de concentration d'ions à la base de l'aquifère ?).

En revanche, **le nombre de stations est insuffisant** car le signal MT peut parfois être de mauvaise qualité, et le fait de sur-échantillonner horizontalement permet de filtrer graphiquement les points aberrants. Ici, il faudrait employer un pas d'au plus 500 m entre stations (voire plus resserré).

Avec le pas utilisé ici (2 km en moyenne), on peut imaginer des variantes assez différentes du marqueur étudié, surtout si quelques mesures défectueuses sont présentes sur les coupes.

Discussion des résultats :

Les chiffres ronds tels que 400 et 5000 ohm.m témoignent d'un choix a priori lors de l'inversion. Ce choix est nécessaire car les données AMT sont sujettes à certaines lois d'équivalence : ainsi pour une couche conductrice mince, on ne peut pas déterminer à la fois la résistivité et l'épaisseur, mais seulement le rapport des deux, résistivité/épaisseur, que l'on nomme conductance. Il faut donc faire une hypothèse sur l'un des deux paramètres, et il faut espérer ici que cette hypothèse a été faite de manière pertinente, en relation avec des géologues.

En revanche, comme je l'ai déjà dit, la présence d'une couche conductrice intermédiaire semble claire sur les sondages présentés. Elle est attestée par l'inflexion, ou le creux, observé sur les courbes de la fig. 5 autour de $\sqrt{T}=0.1$.

La fiabilité des épaisseurs inversées est fonction de la qualité des données brutes (rapport S/B) et de la pertinence des valeurs de résistivité choisies. L'usage général est d'estimer l'erreur relative sur les profondeurs et les épaisseurs entre ± 10 et ± 40 % (selon la qualité des données et la pertinence des hypothèses sur les résistivités).

Un des points qui paraît critiquable est que le dispositif ait été orienté un peu aléatoirement en fonction des routes et des accès. On recommande plutôt aujourd'hui de garder une orientation constante du dispositif par rapport aux structures 2D. En corollaire de cette remarque, on peut être surpris que les auteurs ne fassent aucun commentaire sur les « effets statiques », effets 2D d'origine superficielle, fonctions de l'orientation du dispositif, et qui peuvent donner de gros artefacts lorsqu'on les interprète en 1D (mais ces effets étaient encore assez mal connus à l'époque).

Pour revenir au modèle structural donné figure 7, celui-ci serait plus fiable si l'échantillonnage était plus resserré. D'autre part, affirmer que les blocs effondrés ont subi une espèce de basculement centrifuge me semble impossible à partir de l'AMT seule, même avec une plus grande densité de données. Il faut faire intervenir une hypothèse géomécanique.

Conclusion :

Malgré la difficulté du contexte volcanique en général, et celui de Mayotte en particulier, la méthode AMT me semble bien adaptée au problème posé (gamme de profondeurs, résolution...) à condition que les effets topo soient pris en compte ou corrigés, que l'orientation du dispositif par rapport aux structures soit systématique (ou, mieux encore, que deux orientations perpendiculaires soient enregistrées) et que la densité des mesures soit nettement plus forte.

Lorsqu'un bon contraste existe entre divers horizons, ce qui semble être le cas à la base de la série basaltique, cette méthode est tout à fait pertinente, et c'est une méthode assez économique puisqu'elle ne nécessite pas de source émettrice (les signaux MT sont naturels). Un seul opérateur est suffisant pour manipuler le récepteur.

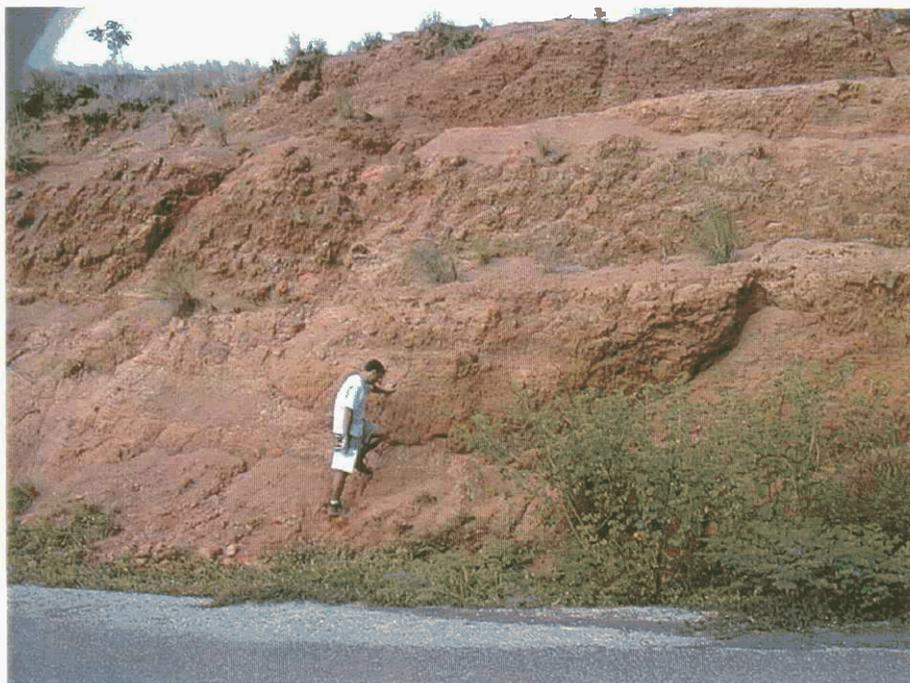
Au niveau de l'interprétation, l'interprétation 1D finale devrait être confirmée par une modélisation (ou inversion) 2D, qui ne produit pas d'artefact en présence d'effets statiques d'origine superficielle.

Référence :

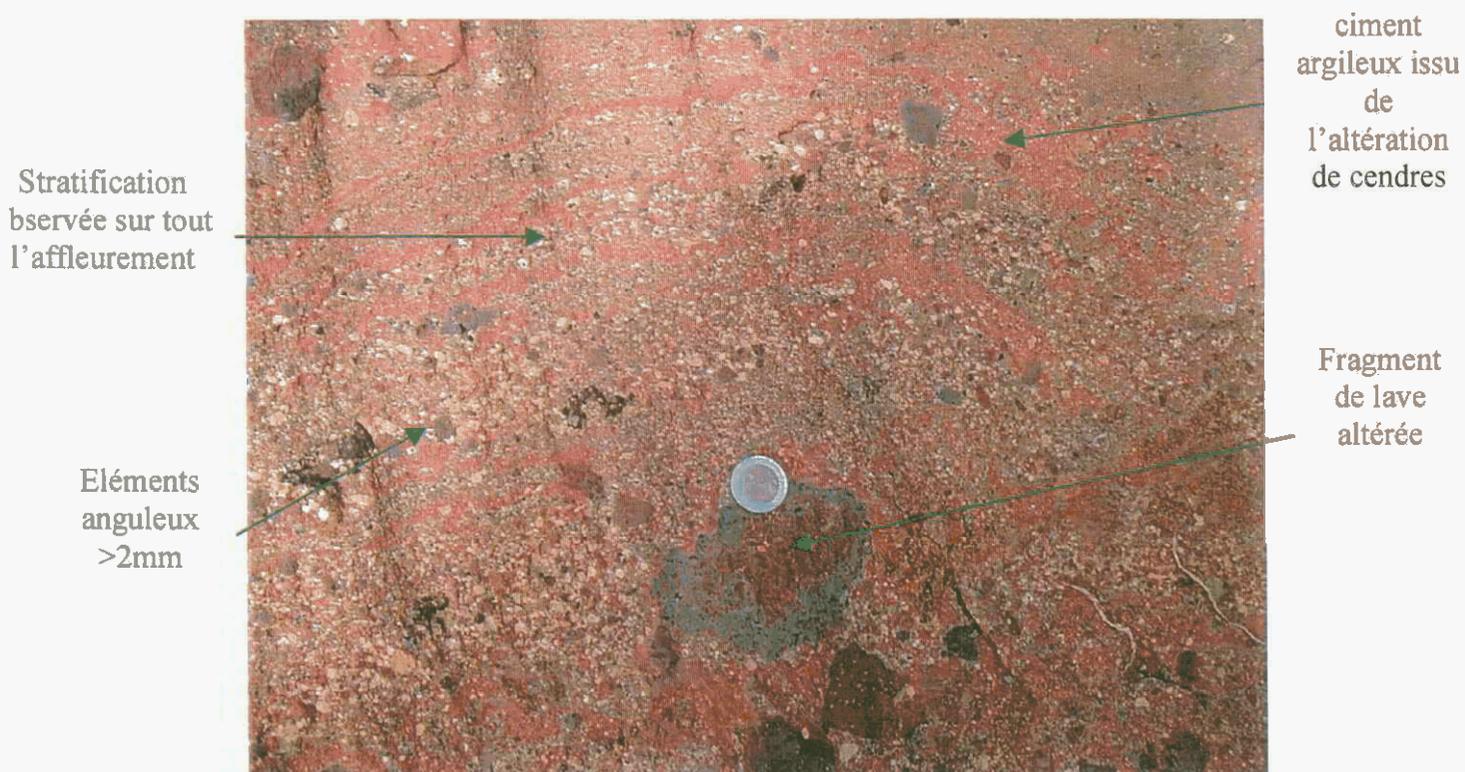
Bourgeois, B., 1997, Méthodologie audio-magnétotellurique pour la détermination d'épaisseur de couverture latéritique. Test sur la mine de Fayalala (Mine de Lero, Guinée). Rapport BRGM R39847.

**ANNEXE 3 : PHOTOGRAPHIES D’AFFLEUREMENTS
OBSERVES SUR LE MASSIF VOLCANIQUE DE BOUENI
(SECTEUR DE DAPANI – CHIROUNGUI)**

Photographie 1 : Formations bréchiques au NW du mont Choungui (Fig 8, n°A3).



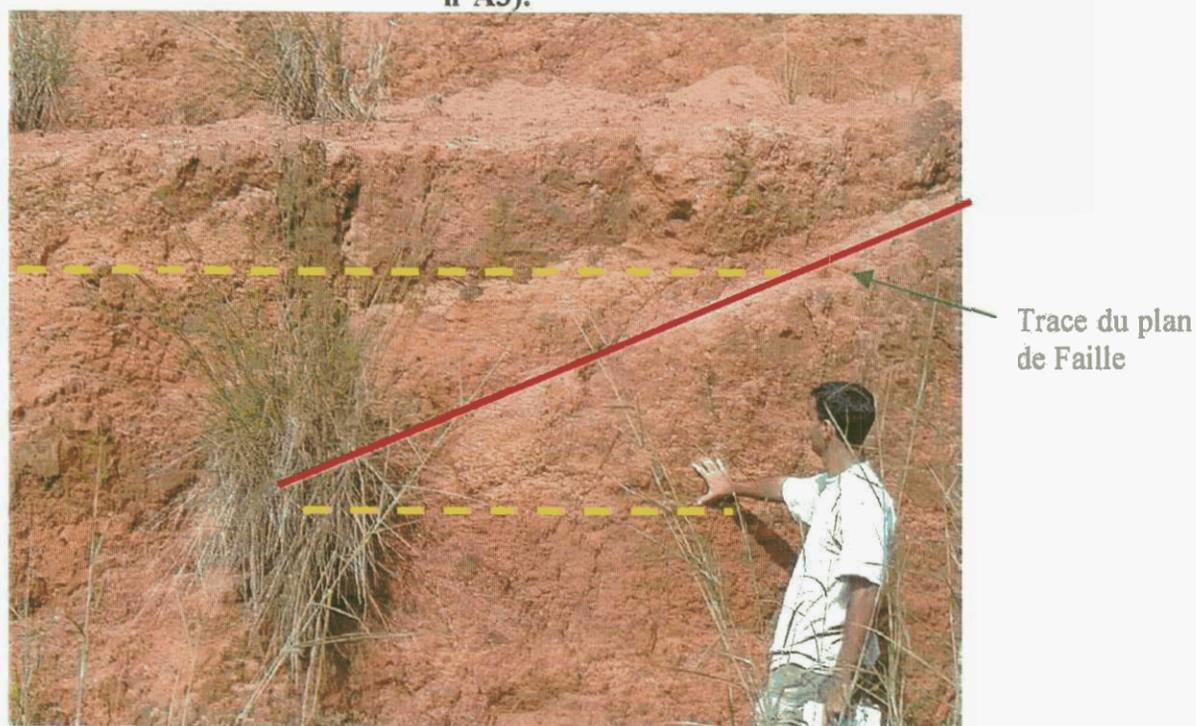
Photographie 2 : Vue de détail de ces formations bréchiques (Fig 8, n°A3).



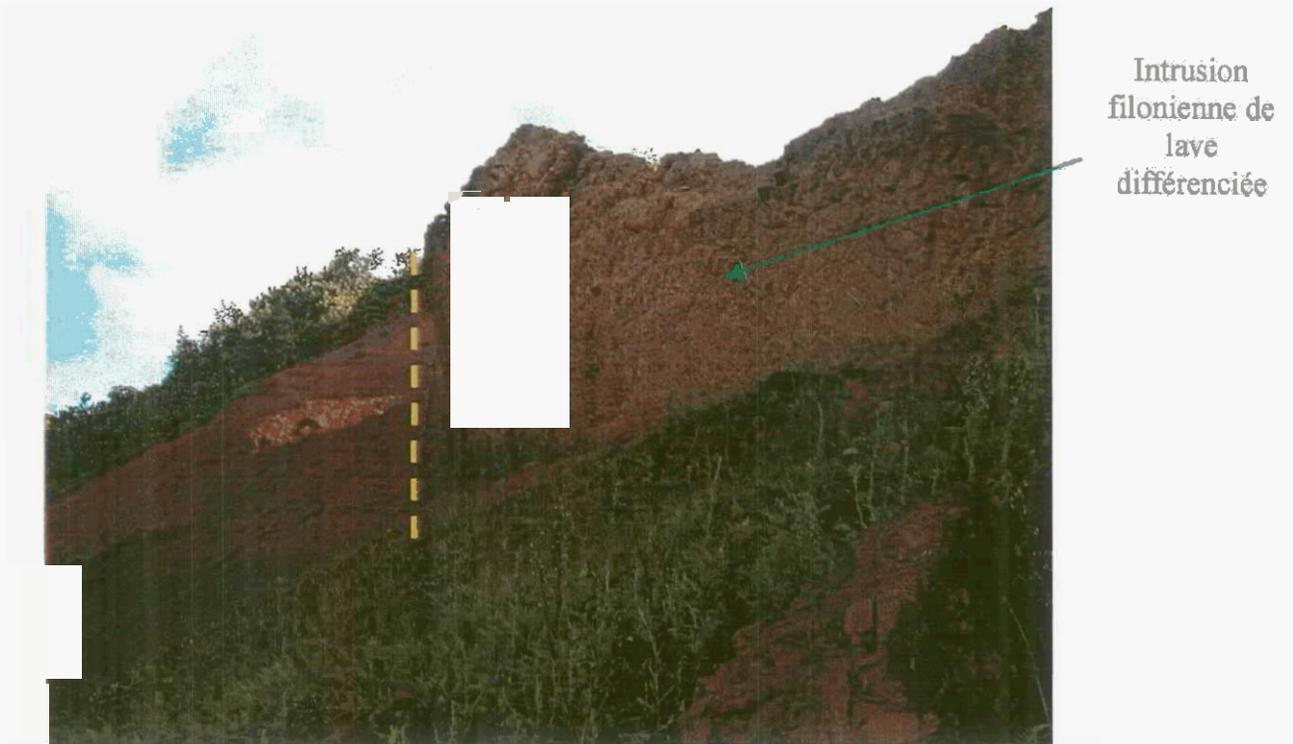
Photographie 3 : Padzas ou *bad-lands* dans le secteur de Dapani.



Photographie 4 : Faille inverse (N85 NW30) présentant un rejet de 1 m (Fig 8, n°A3).



Photographie 5 : Dyke présentant une orientation quasiment perpendiculaire à la ligne de crête actuelle.



Photographie 6 : Emergences permanentes apparaissant au sein de formations trachytiques saines suivant des fissures sub-horizontales et avec des débits plus faibles suivant des fissures sub-verticales.



**ANNEXE 4 : COUPES GEO-ELECTRIQUES REALISEES SUR
LE SITE DE TSARARANO LORS DE LA CAMPAGNE DE
PROSPECTION 1999 – 2000.**

SITE DE TSARARANO

COUPE GEOELECTRIQUE

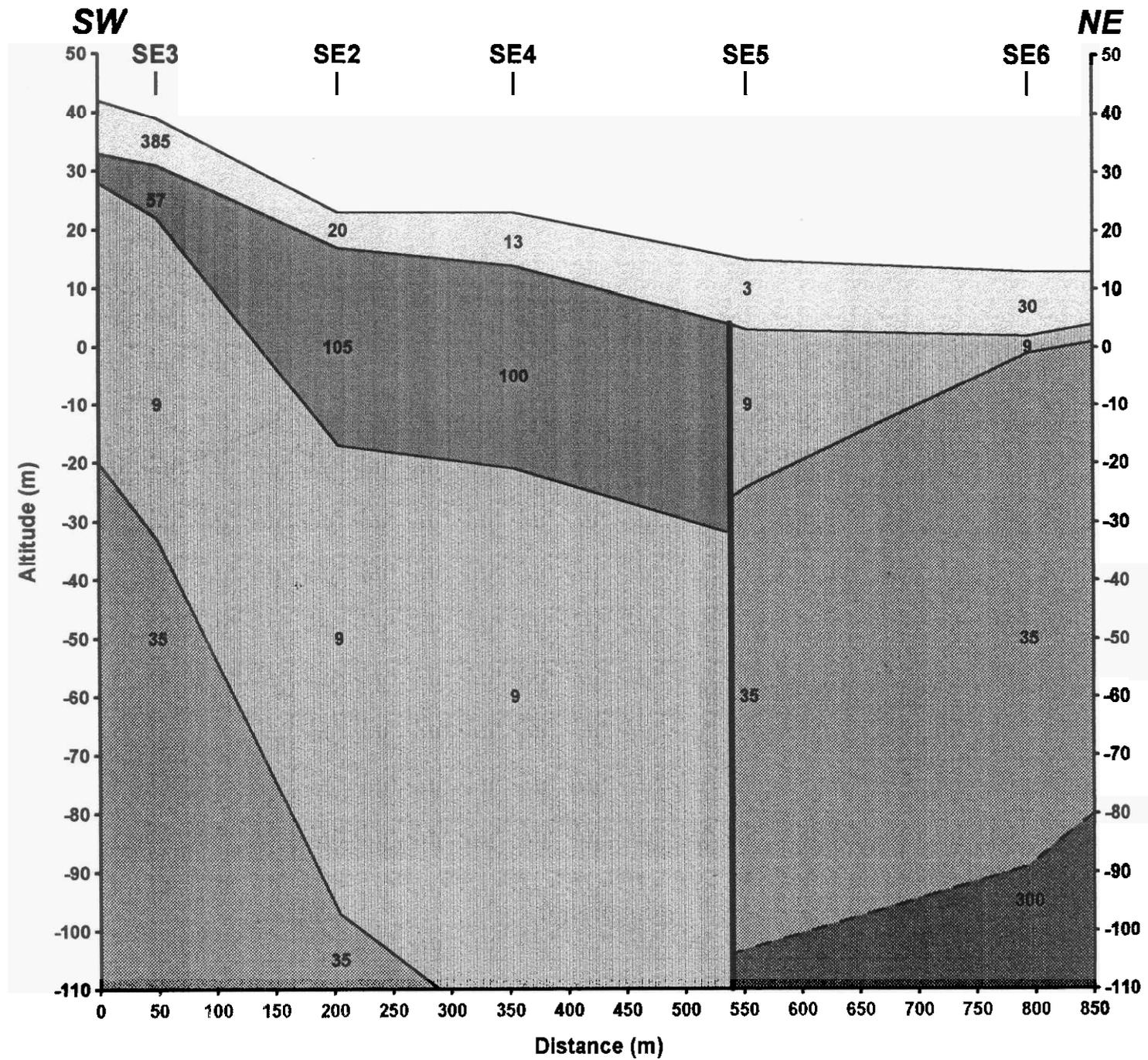


Fig. 9 – Site de Tsararano. Coupe géoélectrique.

**ANNEXE 5 : COMPTE RENDU DE LA REUNION TECHNIQUE
DU 30 / 05 /02 BRGM / DAF/SER.**

Réunion de travail du 30/05/02

14h00 – 15h00 ; locaux du BRGM

Personnes présentes :

Loïc Giorgi : DAF/SER

Thierry Jourdain, Nicolas Maurillon : BRGM

Objet de la réunion :

Etude « Approche géologique et hydrogéologique des ensembles volcaniques de Grande Terre » commandée par la DAF/SER au BRGM.

Points abordés :

- **Retour sur le cahier des charges du projet :**
 - L'annexe technique et financière prévue avec la DAF/BRGM pour acheter le matériel de mesure (conductimètre) n'ayant pu être finalisée avant la fin de cette étude, les mesures de conductivité et de température n'ont pu être établies ;
 - retour sur l'accord pris oralement avec la DAF/SER, étant donné le temps imparti pour cette étude, de répartir les zones d'observations entre le BRGM et l'hydrogéologue de la DAF/SER. La quatrième coupe concernant le volcanisme du Mtsapéré aurait du être réalisé avec les observations de terrain de l'hydrogéologue senior de la DAF/SER.
- **Rapport d'avancement de l'étude :**
 - Présentation par le BRGM des résultats pour les secteurs Nord et Sud ;
 - l'étude du secteur "Centre" (Poroani-Dembéni) est en cours de réalisation ;
 - demande par le BRGM d'une validation finale du rapport par l'hydrogéologue de la DAF/SER.

Décision / prise de position :

- La DAF/SER considère que l'on ne peut tenir rigueur au BRGM du manque de mesures (température, conductivité des eaux) sur l'étude, puisque le matériel n'est pas à sa disposition.
- la DAF/SER affirme sa volonté de dissocier le plus possible les acquis du BRGM et de l'hydrogéologue DAF/SER. Par conséquent, celui-ci ne fournira pas de données pour le quatrième ensemble volcanique. En l'absence d'apport d'information de la DAF/SER, il est convenu, lors de cette réunion, que le BRGM présente pour ce rapport une esquisse géologique sur la zone du Mtsapéré, basée sur les données géologiques disponibles, sans interprétation hydrogéologique et sans journées de terrain supplémentaire ;
- L.Giorgi Hydrogéologue senior de la DAF/SER, en raison de son expérience sur les zones concernées, a accepté de valider les données présentées dans ce rapport avant finalisation ;
- la DAF/SER considère que les informations présentées par le BRGM sur les secteurs Nord et Sud sont de qualité suffisante et respectent le cahier des charges.