

IMPACT ET GESTION
DES RISQUES VOLCANIQUES
AU VANUATU

Pierre WIART
Stagiaire ISTOM
82ème Promotion

ORSTOM Documentation



010003832



terre, océan, atmosphère

NOTES TECHNIQUES

SCIENCES DE LA TERRE

GEOLOGIE-GEOPHYSIQUE

N°13

1995

Document de travail

INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

ORSTOM

REPRÉSENTATION DE L'ORSTOM
EN RÉPUBLIQUE DU VANUATU

A43111
ex3

ORSTOM VANUATU
BP. 76
PORT - VILA
VANUATU
Fax : (678) 2.3276
Pacifique Sud Ouest

FICHE DESCRIPTIVE

A joindre à tout envoi de document

à : Fonds Documentaire ORSTOM
Cellule de Collecte
70 - 74, Route d'Aulnay
93140 BONDY

Auteur (s) /THERY, Laurent; /CHARLEY, Douglas; /LARDY, Michel; TARI, Joseph

Titre original : Bathymétrie du lac Létas, île de Gaua (Banks), (Vanuatu)

Titre en Anglais :

Titre en Français
(si le document est en
langue étrangère) :

Mots-clés matières : GEOLOGIE, GEOPHYSQUE; BATHYMETRIE; DONNEES DE TERRAIN;
(10 au plus) DONNEES CORRIGÉES

CDE : VOLUME; CAPACITE

Résumé en Français :
(150 mots maximum)

Pour les documents destinés
à entrer dans la Base ASFA,
Résumé en Anglais :
(150 mots maximum)

INSTITUT SUPERIEUR TECHNIQUE D'OUTRE MER

32, Boulevard du Port - 95094 CERGY PONTOISE Cedex

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

IMPACT ET GESTION DES RISQUES VOLCANIQUES AU VANUATU

Pierre WIART
82 ème promotion
stage effectué à l'ORSTOM
de Port-Vila (VANUATU)
du 09/06/1994 au 01/09/1995

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 43.111

Cote : A ex3



L'Institut
français
de recherche
scientifique
pour le
développement
en coopération

213, rue
La Fayette
75480 Paris
cedex 10
téléphone :
(1) 48 03 77 77
télex :
ORSTOM 21 46 27 F
télécopieur :
(1) 48 03 08 29

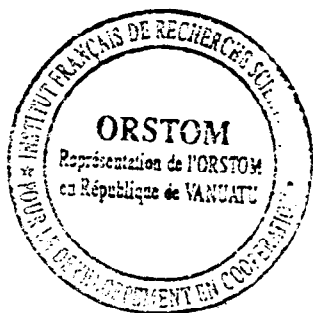
REPRÉSENTATION DE L'ORSTOM
EN RÉPUBLIQUE DE VANUATU
B.P. 76 - PORT-VILA
VANUATU

Tel. (678) 22268
Fax (678) 23276

ATTESTATION

Je soussigné, Michel LARDY, Représentant de l'ORSTOM en République du VANUATU, certifie que Monsieur Pierre WIART, a bien effectué son service en tant que Coopérant au Service National ainsi que son stage de fin d'études dans notre centre de Port-Vila du Juin 1994 à Septembre 1995.

Attestation établie pour valoir et servir ce que de droit.



Fait à Port-Vila, le 23 Août 1995

Michel LARDY
représentant de l'ORSTOM
République de VANUATU

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout d'abord Michel LARDY qui, en plus de son support quotidien, m'a fait confiance et m'a donné les moyens d'avoir une approche la plus réaliste possible au cours des missions et au sein de la Représentation de l'ORSTOM au Vanuatu. Je tiens à souligner que notre bonne entente, nous a permis de travailler plus efficacement, ce qui un reste un privilège.

Je remercie Knox KALKAUA et Job ESAÛ du Bureau de Désastres du Vanuatu pour l'entraide, et la confiance réciproque.

Je voudrais saluer l'ensemble du personnel du centre de Port-Vila pour leur gentillesse et leur aide.

Enfin, je remercie le Chef Noël TAHI et la communauté villageoise de Nanbamgahaké pour leur hospitalité et leur aide lors de la "Crise" d'Aoba.

RESUME

Situé sur la partie sud-ouest de la ceinture de feu, le Vanuatu compte de nombreux édifices volcaniques actifs dont 6 volcans aériens. Suite aux recherches scientifiques sur l'histoire du volcanisme du Vanuatu menées depuis quelques années (MONZIER, ROBIN *et al*, 1990-1994), certains de ces édifices apparaissent dangereux à court et à moyen termes pour la population et le Vanuatu.

Les diverses formes d'éruption furent soit cataclysmiques, tel l'éruption de Kuwae (1452), soit petites et courtes, tel l'actuel activité "strombolienne" du volcan Yasur à Tanna.

L'impact de deux volcans sur l'environnement a été étudié: celui de Tanna et la reprise d'activité du Lombenben à Aoba. Totalelement différents, ces deux volcans ont un impact indéniable sur la forêt et les jardins des habitants. Le Yasur émet des gaz et des cendres provoquant des pluies acides, pouvant détruire le milieu végétal et créer des disettes occasionnelles. La "crise d'Aoba" (mars 95) a provoqué la destruction du milieu végétal de l'ensemble de la caldeira, par le dégazage intense de gaz acides et toxiques au travers du lac de cratère Vouï. De plus les risques d'éruption à moyen terme ne semblent pas écartées, et restent toujours un danger pour la population locale.

Cette crise et l'ensemble de l'étude de l'activité des volcans du Vanuatu, nous ont permis de bien étudier les éléments de gestion en cas d'intervention du Bureau des Désastres Naturels du Vanuatu en cas de crise éruptive majeure. Les îles-volcans potentiellement dangereux sont souvent les plus peuplées à cause de la richesse de leurs sols. Le gouvernement se doit de prendre en charge la prévention, et la surveillance de ces volcans avec l'aide des organismes scientifiques et de coopération tel l'ORSTOM, pour arriver à une surveillance régionale dans les prochaines années.

MOTS CLES: VANUATU - VOLCAN - IMPACT - GESTION - CRISE - ENVIRONNEMENT - EAUX ACIDES.

SUMMARY

Located in the south-wertern part of the Pacific rim of fire, Vanuatu includes numerous active volcanic structures, 6 of which are emerged volcanoes. Further to the scientific research which has been carried out for several years into the history of volcanoes in Vanuatu (MONZIER, ROBIN *et al*, 1990-1994), some of these volcanoes have been found dangerous to the population and the country as a whole in the short and medium term.

The various forms of volcanic eruption have been either cataclysmic, as in the case of the eruption of Kuwae volcano (1452), or minor and of short duration, such as the current "strombolian" type of activity found in Yasur volcano on Tanna.

The environmental impact of two volcanoes in particular has been subject to research, namely Yasur on Tanna and the resumption of activity in Lombenben volcano on Ambae. Whilst very different, both these volcanoes have had an undeniable impact the surrounding forests and village gardens. Yasur belches out gases and ashes causing acid rain which is detrimental to plant life and could lead to occasional food shortages. The "Ambae crisis" (in March 1995) caused the destruction of the flora throughout the caldeira due to the concentrated emission of acid and toxic gases through the crater lake called voui. Futhermore, one cannot entirely dismiss the risk of eruption in the medium term and therefore the local population continues to be under threat.

The crisis, together with the overall study of volcanic activity in Vanuatu have enabled us to look into the management aspects of such occurrences in the event that the National Disaster Management Office is called upon to act following a major eruptive crisis. The potentially dangerous island volcanoes are often the more densely populated areas because of their rich soils. The Government has a duty to ensure disaster prevention and the continued monitoring of such volcanoes with the help of scientific and cooperation organisations such as ORSTOM with a view to achieving a global surveillance system of volcanoes in the region in the next few years.

KEY WORDS: VANUATU - VOLCANO - IMPACT - MANAGEMENT - CRISIS - ENVIRONMENT - ACID WATER.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	p 1
1 - PRESENTATION DES RISQUES VOLCANIQUES AU VANUATU	p 2
1.1 - Contexte géo-tectonique du Vanuatu	p 2
1.2 - Le volcanisme : Histoire et état des lieux	p 5
1.3 - Les risques liés et induits	p 13
2 - IMPACT DES RISQUES VOLCANIQUES AU VANUATU	p 23
2.1 - Aspect social	p 23
2.2 - Impact sur l'environnement de Tanna	p 25
2.3 - Impact sur l'environnement d'Aoba (Ambae)	p 35
2.4 - Synthèse	p 39
3 - GESTION DU RISQUE	p 39
3.1 - Dispositif du système de surveillance	p 39
3.2 - Gestion d'une crise majeure cas d'Aoba (Ambae)	p 44
3.3 - Gestion économique	p 53
4 - SYNTHESE GÉNÉRALE	p 55
CONCLUSION	p 58
ANNEXES	p 59
LISTE DES CARTES	p 76
LISTE DES FIGURES	p 76
LISTE DES TABLEAUX	p 77
LISTE DES ANNEXES	p 77
BIBLIOGRAPHIE	p 78
TABLE DES MATIERES	p 81

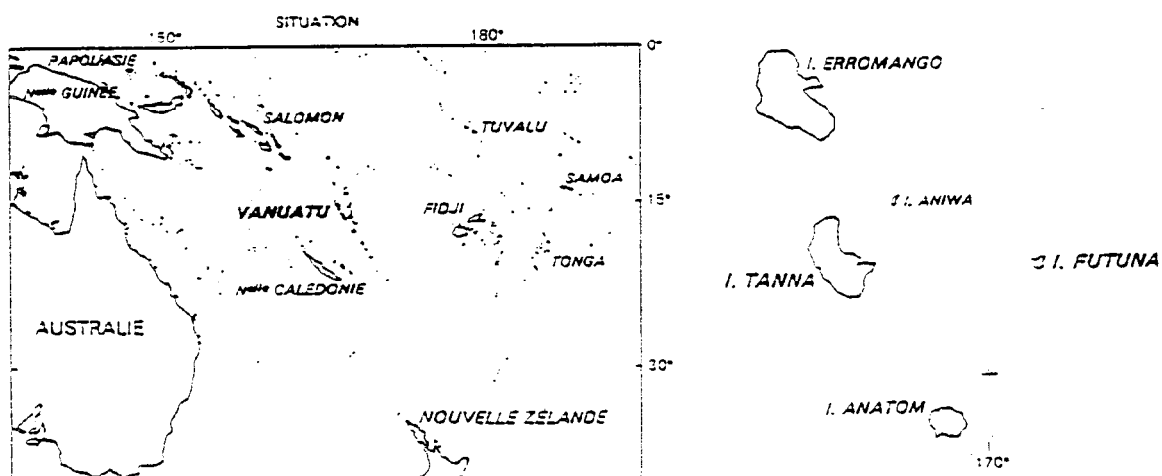
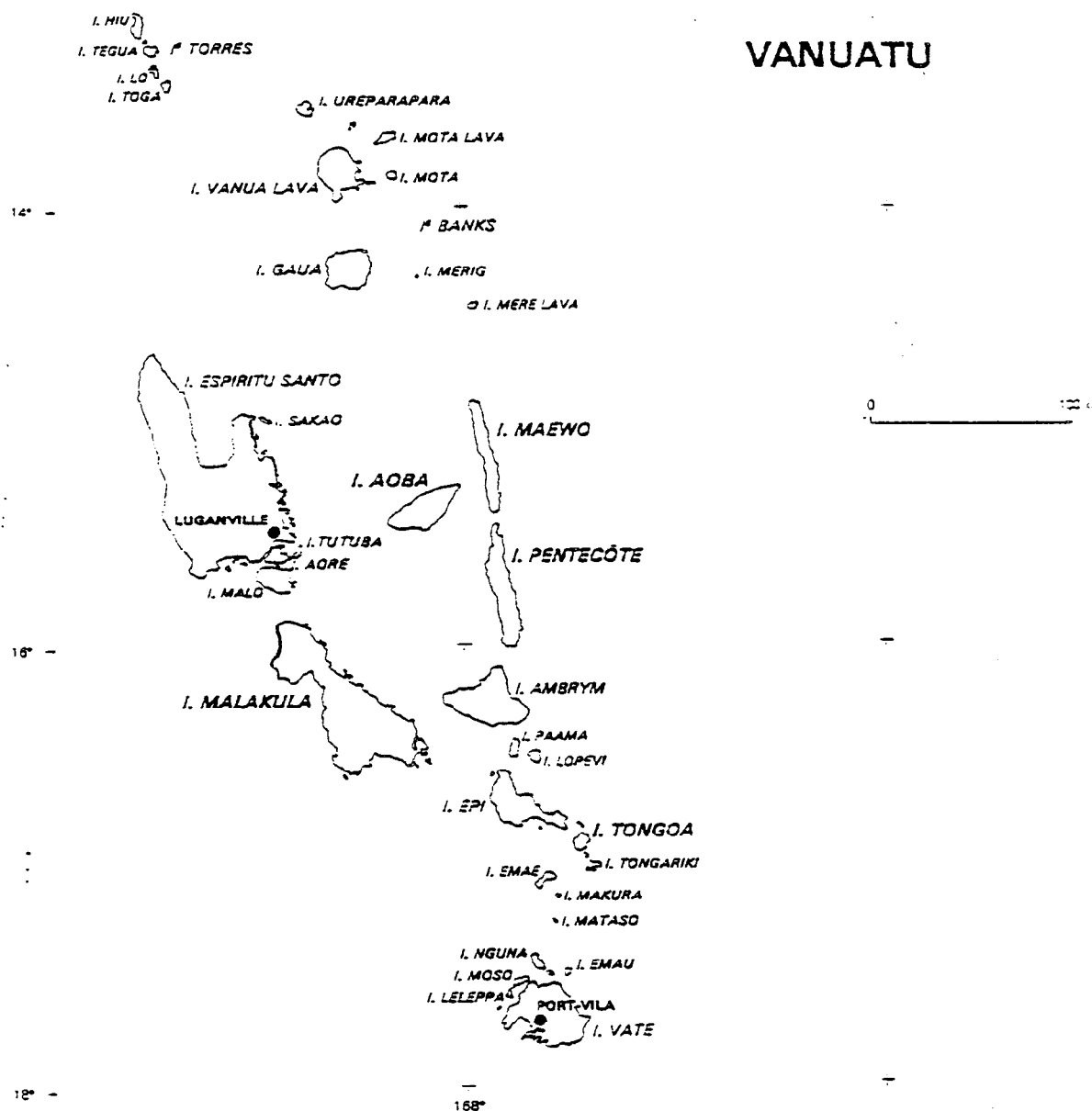
INTRODUCTION

Terre mélanésienne, le Vanuatu fait partie de la mosaïque des petits pays du Pacifique Sud. La terre de cet archipel appartient donc à chaque homme comme entité. Elle est riche tout comme leur coutume. Pourtant ces habitants vivent sous la menace des risques naturels de tout genre: cyclones, tremblements de terre et volcanisme actif. De tous ces risques, ce dernier peut se montrer le plus dangereux voire cataclysmale.

Conséquence physique d'une zone de subduction, l'arc insulaire des Nouvelles Hébrides, où se situe le Vanuatu, comportent six volcans en activité qui sont dangereux pour la population locale insulaire. C'est donc en étudiant le passé de ces volcans que l'on va pouvoir mieux discerner leur impact présent et futur. Qu'ils soient une menace quotidienne ou temporaire, sur une région propre ou sur un ensemble d'îles, les risques engendrés par ces édifices volcaniques doivent être gérés le mieux possible pour prévenir et aider, le plus efficacement possible, les habitants vivant avec cette menace permanente.

Pour garantir un développement durable et pour limiter les causes d'une catastrophe naturelle, le gouvernement se doit de gérer ce risque le mieux possible, en partie grâce à l'aide des organismes et instituts internationaux tel que l'ORSTOM.

VANUATU



Carte 1.1 : Présentation géographique du Vanuatu
 Carte 1.1 : Vanuatu geographical presentation

1. PRÉSENTATION DES RISQUES VOLCANIQUES AU VANUATU

1.1 CONTEXTE GÉO-TECTONIQUE DU VANUATU

1.1.1 - Présentation générale du Vanuatu

L'archipel du Vanuatu se situe dans la partie mélanésienne de l'Océan Pacifique (Carte 1.1). Sa superficie est de 12 190 km², alors que son espace maritime couvre 848 000 km². Ces îles sont formées de roches volcaniques et/ou de roches sédimentaires, laissant un paysage insulaire accidenté. On ne trouve pas ou peu d'atoll au Vanuatu, preuve d'une formation récente.

Le climat, chaud et humide, est caractéristique de la zone intertropicale. La température moyenne est de 24,2°C, et la pluviométrie est importante (supérieure à 2000mm). Les saisons sont peu contrastées et l'on note une saison "fraîche" de mai à octobre. Pour l'agriculture, l'ETP, ou évapotranspiration, est de 1400mm et l'humidité est de plus 78%. Quant à l'indice d'insolation il varie de 1800 à 2300 h/an. Il faut nuancer ce cliché climatique par:

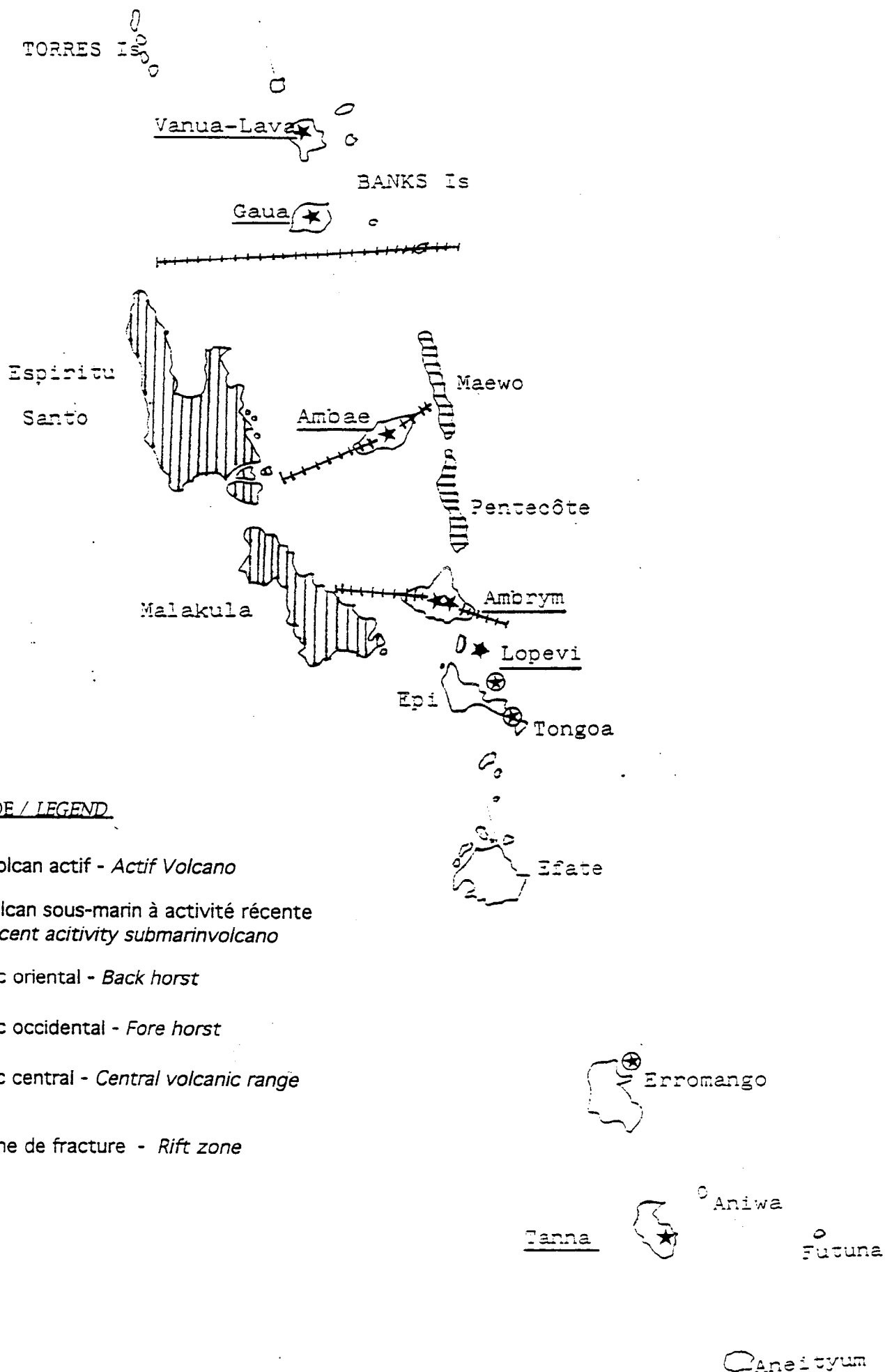
- une variation de 0.5°C par degré de latitude
- une baisse de pluviosité du Nord au Sud
- une différence d'exposition au vent:
 - * zone tropicale humide (zones au vent)
 - * zone perhumide (zones de montagne)
 - * zone tropicale à saison sèche (zones sous le vent)
- une différence zonale liée à l'altitude (plus frais, plus humide, moins de soleil).

Les premiers habitants, Mélanésiens, de ces îles sont arrivés il y a quelques 3500 ans par pirogues. Découvert une première fois (îles Torres, Banks et Espiritu Santo) en 1606 par Quiros (navigateur Portugais), puis par Bougainville, en 1768, qui aborde Aoba (Ambae), Pentecôte et Maewo et enfin une troisième fois par James Cook en 1774 qui donne le nom de 'Nouvelles-Hébrides' à l'ensemble de l'archipel, le Vanuatu a acquit son indépendance en 1980 après avoir été un double protectorat Franco-Anglais unique au monde.

L'archipel compte 159 800 habitants en 1993 qui se répartissent sur 68 îles. La densité moyenne est de 13 hab/km².

1.1.2 - Mise en place tectonique des Nouvelles Hébrides

Ce petit pays regroupe l'ensemble des 80 îles et îlots faisant parties de l'archipel des Nouvelles Hébrides. Le Vanuatu s'étale entre le 13° et le 21° parallèle sud, et entre le 166° et 170° de longitude, et se retrouve ainsi entouré par la Nouvelle Calédonie au Sud Ouest, par Fidji à l'Est et par les îles Salomons au Nord Nord-Ouest.



Carte 1.2 : Carte de situation des volcans, des arcs et des fractures au Vanuatu
 Carte 1.1 : *Volcanoes and horst and rifts of vanuatu*

Situé au contact de deux plaques, le Vanuatu fait partie de l'arc insulaire des Nouvelles Hébrides dans l'Océan Pacifique. Séparées de la Nouvelle Calédonie par une fosse s'étalant sur 1500km, et qui peut atteindre plus de 7000m de profondeur, les îles du Vanuatu ne sont qu'une partie de l'ensemble complexe de l'arc insulaire des Nouvelles Hébrides qui comprend aussi les îles Santa-Cruz (Salomon islands) au Nord et les îles-volcans Matthews et Hunter au Sud.

Il faut souligner l'originalité tectonique qui caractérise la fosse des Nouvelles Hébrides. La zone de subduction des Nouvelles Hébrides, et la fosse qui y est associée, est une zone atypique de part ces caractéristiques géométriques. Entre l'archipel des Nouvelles Hébrides et les îles Loyauté, la vitesse de convergence, et donc de rapprochement entre les plaques, est l'une des plus rapides au monde. Près de 12 cm/an en moyenne disparaissent entre Tanna (Vanuatu) et Lifou (Nouvelle Calédonie).

L'arc insulaire des Nouvelles Hébrides est le siège d'une importante sismicité superficielle et intermédiaire. L'approche scientifique récente (Pascal *et al* ;78) admet que le mouvement s'effectue bien de façon informelle et que le pendage du milieu subducté est constant le long de l'arc. Pourtant, bien que les séismes superficiels (0-100 km) traduisent, pour la plupart, le glissement relatif des plaques Australienne et Pacifique, quelques mécanismes focaux indiquent cependant que ce glissement s'accompagne de déformation à l'intérieur des plaques concernées. La sismicité intermédiaire (>100 km) est interprétée par l'existence d'une lithosphère subductée. L'angle de prolongement du milieu ainsi mis en évidence passe de 60° à 100 km de profondeur à 80° à 300 km. L'ensemble des mécanismes focaux à l'intérieur du milieu subducté ont pour principale propriété d'avoir l'axe des tensions dans la direction de plus grande pente du plan de Benioff, ce qui assure une pente subductée uniforme et continue. On note toutefois, que dans la partie centrale de l'arc des Nouvelles Hébrides, la sismicité intermédiaire n'est pas vérifiée. Cette perturbation viendrait de l'introduction de la zone de fracture d'Entrecasteaux. Elle se traduit morphologiquement par une absence de fosse et la présence de 2 grandes îles: Santo et Mallicolo. Pour la sismicité, la subduction de la ride d'Entrecasteaux s'est manifestée par les plus grosses crises sismiques superficielles : août 1965 et soulèvement du sud de Mallicolo de plus de 50 cm. décembre 1973.

Donc le pendage de la lithosphère océanique qui plonge sous le plateau Nord Fidjien est aussi l'un des plus incliné au monde: 70% d'inclinaison au lieu de 30-50% en général. On explique ce plan d'inclinaison extrêmement fort par le fait que les courants de convection mantellique circulant d'Est en Ouest sous la plaque Pacifique sont très puissants, et exercent une force qui maintient la lithosphère océanique dans une position sub-verticale. Une conséquence est que les volcans du Vanuatu sont à 200-250 km à l'aplomb du plan de Benioff : situation anormale comparée à l'ensemble des arcs insulaires où les volcans sont en moyenne à 110 km à l'aplomb du plan de Benioff.

Il en résulte donc que le produit éjecté par les volcans est lui aussi atypique, et l'on est sûr qu'il a subi d'autres transformations et apports dûs à la profondeur dans lequel il a été enfoui dans le coin asthénosphérique où les produits commencent à remonter (C.ROBIN, M.MONZIER). Il n'est pas rare non plus de trouver la présence de l'eau de mer dans les roches volcaniques, confirmant des éruptions phréatomagmatiques.

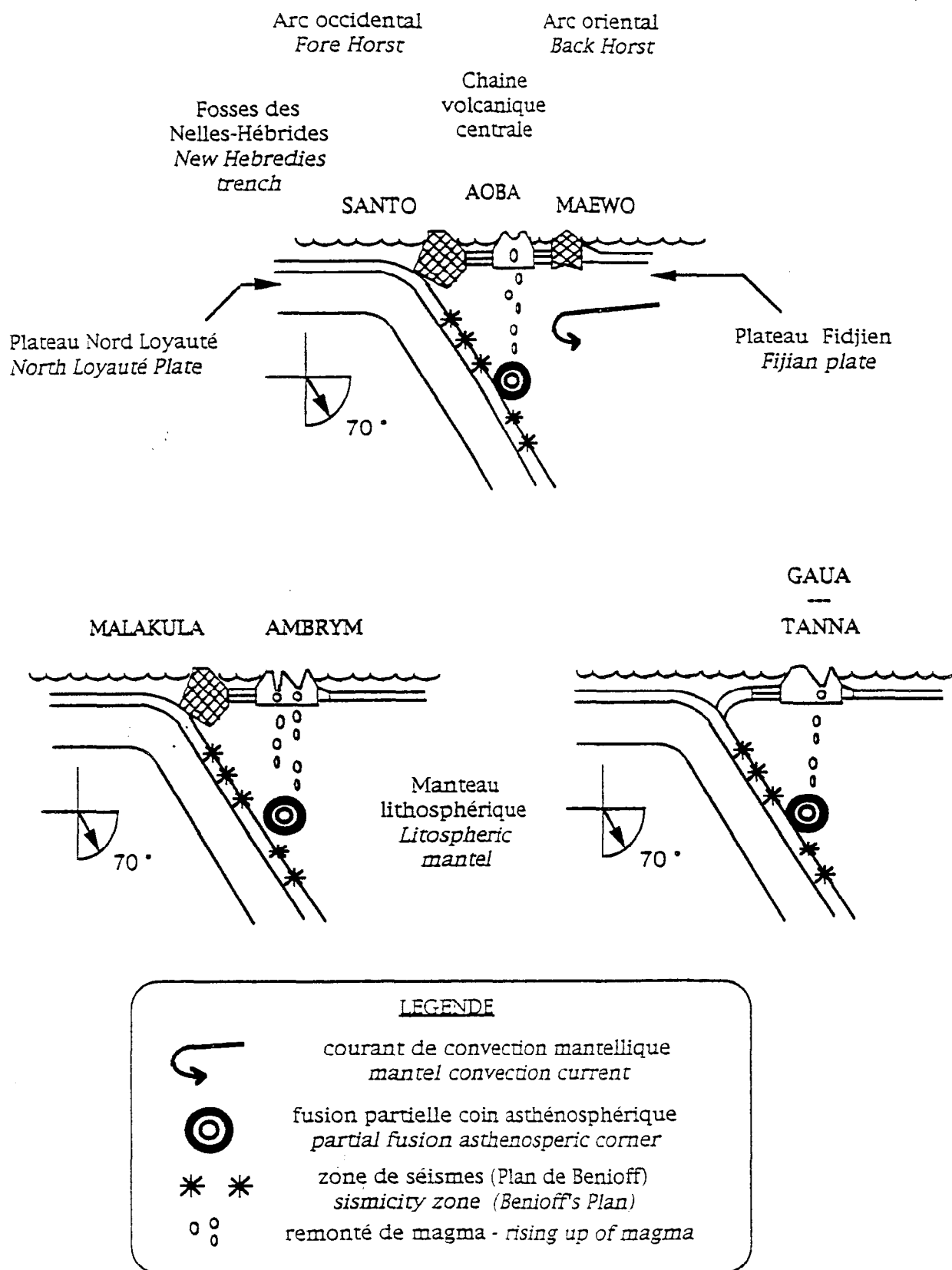


Figure 1.1 : Coupe de la structure de l'arc néo-hébridais (chaine volcanique centrale)
1. Coupe Santo-Aoba-Maewo 2. Coupe Mallicolo-Ambrym 3. Coupe Tanna ou Gaua

Figure 1.1 : Vanuatu arc structural section (Central volcanic range)
1. Section Santo-Ambae-Maewo 2. Section Malakula-Ambrym 3. Section Tanna or Gaua

1.1.3 - Présentation du volcanisme au Vanuatu

Le Vanuatu forme de façon grossière un Y. L'axe centrale du Vanuatu, orienté Nord Nord-Ouest, Sud Sud-Est, est constitué par une chaîne de volcans actifs et parfois dangereux. Ces phénomènes volcaniques, associés à de fréquents tremblements de terre, témoignent ainsi de la grande activité tectonique associée à l'arc insulaire.

On peut y distinguer 3 unités (cf Carte 1.2 et Figure 1.1):

- un arc oriental récent (Pentecôte, Maéwo)
- un arc central moderne et actif (Anatom, Tanna, Erromango, Vaté, Epi, Ambrym, Aoba, Gaua, Vanua Lava)
- un arc occidental (Mallicolo, Santo)

Ce schéma est le résultat d'un long processus géologique qui a commencé il y a 25 millions d'années avec le premier épisode volcanique sous-marin (20 millions d'années):

- Entre 25 et 14 millions d'années (oligocène supérieur et miocène moyen), la base de la chaîne occidentale, alors comprise dans l'arc insulaire de subduction de Vitiaz qui était alors le contact des plaques australienne et pacifique, est formée par des éruptions sous-marines basaltiques et andésitiques, vite recouverte par des dépôts volcaniques et sédimentaires.

- Puis entre 11 et 4 millions d'années (miocène supérieur à pliocène inférieur) émerge alors la chaîne occidentale. Ensuite on note le déplacement de l'activité volcanique à l'est de la chaîne occidentale (Santo - Malicolo).

- Entre 4 et 2 millions d'années (pliocène inférieur à supérieur), les chaînes occidentale et orientale sont soulevées.

- C'est donc au miocène tardif (6-8 millions d'années) qu'émerge l'arc actif dans la chaîne centrale.

L'arc occidental est un arc de volcanisme ancien et l'arc oriental est un arc de sédiment (calcaire coralien). L'arc central est composé d'îles aux roches volcaniques récentes dont la plupart contiennent des volcans en activité. Ces volcans actifs ou assoupis sont à dominante basaltique et andésite-basique.

1.2 - LE VOLCANISME : HISTOIRE ET ÉTAT DES LIEUX

1.2.1 - Histoire récente des volcans du Vanuatu

L'activité volcanique dépasse rarement un ou deux siècles, une durée très brève en comparaison des longs intervalles de repos existant habituellement entre les éruptions dangereuses. Les études volcanologiques et géologiques ont permis d'établir des zones à risque (C.ROBIN et M.MONZIER), et de permettre l'installation de stations de surveillance sur les édifices les plus actifs (M.LARDY).

D'un point de vue géologique, nous ne présenterons donc ici que les volcans aériens ayant eu une activité *historique* (moins de 500 ans) en partant du Nord vers le Sud de l'arc insulaire. Cette présentation reprend en partie la chronologie établie en 1991 par J.P. EISSEN, C. BLOT et R. LOUAT.

Le **SURETAMATAI** se situe sur l'île de VANUA LAVA dans les îles Banks par 13°48'S et 167°28'E. L'île n'est que la partie immergée d'un strato-volcan basaltique d'environ 35 km de largeur pour une de hauteur 2500 m. Dominés par le cône du Suretamatai, deux autres cratères secondaires sont occupés par des lacs de 300 et 500 m de diamètre respectivement au Nord et au Sud-Est.

Activité historique :

- * 1841 : aucune précision
- * 1856 : explosions modérées
- * 1861 : explosions modérées depuis un cratère adventif sur les flancs Est.
- * 1965 : panache cendreuse émis par un nouveau cratère (flanc NW) suivi d'émissions pendant 1 an.
- * 1966 : Petites explosions (magmato-phréatiques ?)
- * 1976 : Zone géothermale active avec fumerolles, sources chaudes et bouillonnantes le long de la rivière du soufre.
- * 1994 : une fumée grise est observée par les habitants. (Planner de Torba - Avril 1995) : Suretamatai (?).

Ce volcan a eu une faible activité peu fréquente (3 manifestations modérées au XIX^{ème} siècle et 2 pour le XX^{ème}). Ce volcan a une faible activité pour l'instant d'après l'ensemble des informations qui restent, somme toute, faibles et irrégulières. Il faut aussi prendre en compte la difficulté d'observation de ce volcan, et le fait qu'elles ne soient pas systématiques.

GAUA ou SANTA MARIA dans les îles Banks est une île-volcan de 40 km de diamètre à la base pour une hauteur de 3000 m, située par 14°15'S et 167°30'E. C'est un strato-volcan basaltique comprenant une *caldeira* de 6 X 9 km occupée par le lac Létas entourant le Mont GARET culminant à 797 m. Des études précédentes ont permis de différencier quatre stades de formation de l'édifice (MALLICK et ASH, 1975). La dernière étant formée de cônes de laves, de cendres et de tufs lités.

Activité historique :

Aucune précision avant 1962.

- * 1962 : Ouverture d'un nouveau cratère sur le flanc SE du cône.
- * 1963 : Explosions modérées de sept. à nov. à partir d'un événement sur le flanc SE avec des nuages de fumée noire et des cendres.
- * 1965 : Eruption de quelques jours. Colonne de fumée montante à 6000-7000 m.
- * 1966 : Petites émissions de cendres éparses tout au long de l'année.
- * 1967 : Petite émission de vapeur (19.04) et de cendres en juillet.
- * 1968 : Événement actif au SE. Nombreuses fumerolles SW et émission de cendres.
- * 1969 : Eruption modérée avec cendres et vapeur (22.09)
- * 1970 : Émissions de vapeur et nuage de vapeur et de fumée sulfureuse.
- * 1971 : Poursuite de l'activité et émission de cendres les 12 et 13 mai
- * 1973 : Explosions phréatiques; augmentation de l'activité volcanosismique, explosions dans le cratère SE.
Evacuation de l'île le 15 Décembre prédition sismo-volcanologique de C. BLOT.
- * 1974 : Le réseau sismologique mis en place montre la remontée de magma qui n'atteint pas la surface. L'éruption n'a pas eu lieu mais l'on note des petites émissions de cendres, de fumées et de gaz.
- * 1976 - 1977 : Explosions modérées cratère central à la mi-janvier 76 et en avril 77
- * 1980 - 1981 : Observation de fumées blanches (06 et 07/81), noires en juillet et brunes avec cendres en avril 82.
- * 1991 : Reprise des fumées de dégazage sur les flancs SE.
- * 1994 : Maintien de cette activité. Végétation sous le vent brûlée par les pluies acides (M.LARDY)

Malgré le fait qu'aucune éruption volcanique n'ait été rapportée avant 1962, l'activité est en fait assez soutenue depuis cette date. Ce volcan à la particularité d'avoir un lac au pied du Mont Garet d'une profondeur maximale de 119 m (THERY *et al*, 1994). Ce grand volume d'eau (800.10^6 m^3), reste un problème s'il est associé au volcanisme (réactions phréatomagmatiques). Une station de surveillance a été installée en novembre 1994 (LARDY *et al*, rapport ORSTOM n°12, 1995).

AOBA ou **AMBAE** ("l'île des Lépreux" pour Bougainville) est le volcan-île le plus volumineux de l'archipel (3900 m de hauteur depuis le fond océanique et environ 2500 km^3 de volume). C'est un grand strato-volcan basaltique plio-quaternaire culminant à 1496 m par $15^{\circ}24'S$ et $167^{\circ}50'E$. Il est ramassé en structure de bouclier (type 'Hawaïen'), allongé selon une zone de fracture SW-NE. Il est couronné par deux caldeiras concentriques imbriquées. La plus petite (interne) contient le lac MANORO LAKUA (diam. env. 1,3 km) et le lac de cratère "MANARO VOUI" (diam. env. 2,1 km), ainsi qu'un petit lac asséché périodiquement le MANORO-NGORO. Plusieurs légendes et des travaux géologiques (WARDEN) permettent d'établir la chronologie de l'activité du volcan LOMBENBEN.

Activité historique

- * 1575 +/- 54 : Explosion à partir du cratère central, formation du cône du lac Vui et du cratère explosif du lac Manoro (C¹⁴) WARDEN.
- * 1670 env.: Eruption à partir d'une fissure radiale sur le flanc West avec coulée de lave.
- * 1870 : Eruption avec explosions et coulée de boue (*lahars*). Destruction et victimes.
- * 1914 : Eruption et séisme (?) entraînant un glissement de terrain, lahars (eau provenant d'une rupture de cataracte), détruisant un village et tuant une douzaine ou une centaine d'habitants sur le flanc Est (A. DE LA RUE, 1936) selon les sources.
- * 1966 : Emission de vapeurs dans la caldeira en Août, forte activité fumerollienne le 11 Août. Formation d'un petit cône de cendres.
- * 1971 : Emission de vapeur dans la caldeira en février et en avril.
- * 1976 : Solfatare plus active.
- * 1991 : Identification de 3 zones bouillonnantes dans le lac Vouï le 13.07. accompagnées d'un fort dégazage de SO₂ qui brûle la végétation jusqu'à la lèvre du cratère (80 m au dessus du niveau de l'eau).
- * 1993 : La végétation du pourtour du lac Vouï est brûlée. Vraisemblablement par un des forts dégazages au travers du lac de cratère Vouï.
- * 1994 : Fortes secousses sismiques ressenties dans l'ensemble de l'île les 4 et 5 Décembre.
- * 1995 : "*Crise d'Aoba*" ou "*Crise d'Ambae*". Emission d'une grande colonne de fumée cendreuse foncée (03.03) visible des autres îles. Puis fumée blanche et enregistrement de forts trémors les 4, 5 et 6 mars. Constatation d'un dégazage intense au sortir du lac Vouï avec une odeur soufrée.
Le 08.03, une alerte est donnée, et un déplacement des populations (rayon de 10 km autour du lac Vouï) est demandée par C. Robin et M. Lardy. Une cellule d'alerte est ouverte au Bureau des Désastres (NDMO) du Vanuatu compte tenu des signaux enregistrés les 4, 5 et 6 mars. Baisse des signaux le 9 et 13/3, les populations restent chez elles. La probabilité d'une éruption se situe entre 60 et 70% le 09.10 (ROBIN). Les mois qui suivent, le lac reste toujours inquiétant.
Le 27.06, premières mesures dans le lac et échantillonnage (mission LARDY - WIART) sur l'îlot ouest du lac Vouï. Confirmation de la baisse du niveau du lac (5-6m). Fort dépôt de sédiments gris et de soufre sur les roches nouvellements découvertes. Eau chaude 40°C en moy. et acide pH 2,3.
Le dégazage est toujours intense, et la végétation au bord du lac est "calcinée" (LARDY, WIART, CHARLEY, Rapport n°11/95).

Bien que l'activité historique du volcan d'Ambae ne soit pas la plus importante, il n'en reste pas moins l'un des volcans les plus dangereux de l'archipel. L'activité ne fut pas toujours bien rapportée. Force est de constater que les habitants de l'île vivent le long des côtes, et vu la structure de l'île, ils ne peuvent pas voir directement l'activité du volcan (fumerolles, dégazage, etc.). Les cycles d'activité sont espacés (à l'échelle humaine). Les activités humaines sont surtout développées dans les parties basses de l'île. L'observation de la zone sommitale est difficile (zone 'effondrée') et la couverture nuageuse est quasi permanente. Seules sont rapportées les fortes manifestations souvent associées à des mythes et légendes (cf § 2.1.1). On

note, quand même, que l'ensemble des manifestations volcaniques rapportées ont un caractère désastreux pour les habitants (lahars provoquant des morts, coulée de lave). Ce caractère est dû à la structure du volcan : 2 lacs de cratère au sommet associés à son volume (grande chambre magmatique), ce qui sous-entend des risques d'explosions phréatomagmatiques. Les manifestations qui ont débuté à partir du 3 mars 1995, ne font que confirmer la mise en garde des géologues (WARDEN, MONZIER, ROBIN, EISSEN) qui considèrent ce volcan comme étant **le plus dangereux** de l'archipel. Il y a en effet une très forte probabilité d'interactions "eau-magma", donc de caractère explosif.

AMBRYM est un grand volcan basaltique s'élevant à environ 1800 m au dessus des fonds marins par 16°15'S et 168°05'E. Le cône principal, surmonté par un grand anneau de tufs, est tronqué par une immense caldeira de 12 km : "la plaine de cendres" formée il y a environ 2 000 ans lors d'une explosion cataclysmale (MONZIER - ROBIN). Au sein de cette caldeira se trouve deux cônes volcaniques principaux : le BENBOW (1160 m) et le MARUM (1200 m) ainsi que plusieurs cônes adventifs (le Taten MBUELESU et le Niri Taten MBUELESU). Depuis sa découverte en 1774 (COOK), un très grand nombre d'éruptions historiques caractérise ce volcan, en activité quasi-permanente, comme le volcan le plus actif du Vanuatu. Il faut signaler le côté explosif et violent de ses éruptions. Les lacs de lave sont présents de manière quasi-permanente dans le cratère du Mbuelesu (Marum) et du Benbow. Ils se vidangent périodiquement : diverses éruptions flancs, intra caldérique ... (fissures). De plus l'ensemble de l'île comporte une fracture NW-SE de part et d'autre de la caldeira.

Activité historique:

- * 1774 : Cook le premier relève l'activité d'AMBRYM avec "2 grosses colonnes de fumée" le 21 juillet.
- * 1820 : Eruption désastreuse avec coulée de lave - Craig Point.
- * 1863-64 : Violentes activités
- * 1871 & 1884 & 1886 : Eruptions violentes
- * 1888 : Eruption avec coulée de lave vers NE depuis le SE
- * 1894 : Eruption avec coulée de lave au Nord et à l'Ouest, pluies de cendres et rivière de feu de 15 km. On rapporte au moins 6 morts. (Eruptions aux extrémités de l'île, magma-eau de mer)
- * 1895 & 1898 & 1909 : Eruptions sans grande précision.
- * 1912-13 : nombreuses coulées de lave au SO, W-NW.
- * 1913 : Forte éruption du Benbow, dommage des cultures sous une émission de cendres (2/3 île). Fissure à l'Ouest "vomissant des torrents de lave". Coulée destructrice (hôpital de Lon-wol-wol) tuant 21 personnes. Evacuation sur Mallicolo (600 personnes à Port Sandwich), Paama et Epi. Nombreux villages touchés.
- * 1914 : Eruptions du Marum et du Benbow ,
- * 1915 : 20.10, éruption SE, 2 villages évacués et détruits.
- * 1929 : Eruption du Benbow avec fissures W du 28 Juin au 1 Juillet. Une mission dévastée: 500 personnes évacuées.
- * 1934 : L'île est recouverte de cendres. Cultures brûlées.
- * 1942 : Coulée de lave en juin sur NW
- * 1951 : Abondantes pluies de cendres sur la partie sud: évacuation de 2000 personnes (famine?)
- * 1952 : Plantations de Mallicolo touchées par les cendres d'Ambrym

- * De 1953 à 1977 : Variation d'une forte activité permanente au cours de ces années. Problèmes des retombées de cendres pour Ambrym et les îles avoisinantes.
- * 1979 : Fortes émissions de cendres et gaz (acide), provoquant des brûlures sur la végétation, l'eau est impropre à la consommation (pH acide <5), troubles gastriques et brûlures de la peau du 7 au 18 Fév.
- * 1980-85 : Fortes activités avec éjectats de cendres.
- * 1986 & 1988 & 1989 : Activité importante avec des coulées de laves intra-caldeira.
- * 1990 - 95 : Activité strombolienne du Mbulesu. Dégazage régulier des deux édifices avec des émissions de cendres.
1991 : mise en place du cratère Niri Taten Mbulesu (Sud Marum).
Octobre 1993 : Installation d'une station de surveillance à 2 km des cratères Benbow et Marum. Importante activité du Niri Taten Mbulesu.
Novembre 1994 : Fortes explosions, plusieurs km² recouverts d'une cendre grise zone Sud Est du MBULESU (M. LARDY).
1995: Lacs de lave et Benbow, Marum. Plus forte activité du Benbow. Mars : Arrêt de l'activité du Niri Taten Mbulesu, Mai : reprise, Juillet : forte activité.

Le volcan d'Ambrym s'impose comme le volcan le plus actif de l'archipel. Bien qu'il ait été le mieux (le plus) observé, édifice plus facile à observer, il n'en reste pas moins le volcan ayant le plus de conséquences sur la population (évacuations en 1913, 1929, 1951), sur l'agriculture (retombées de cendres sur l'ensemble de l'île et îles proches : Paama, Malicolo, Santo). Les deux cratères sont au sein de la caldeira qui est totalement inhabitée. Elle permet une 'semi' protection naturelle pour la population contre les coulées de lave sporadiques. Mais du fait des épanchements de lave sortant le long de la zone de fracture, les parties Ouest et Est de l'île peuvent être touchées; il s'en est suivi des destructions de villages, d'un hôpital ou de missions à plusieurs reprises. Or ces zones étant proches de la mer, elles deviennent d'autant plus des zones vulnérables par l'interaction explosive eau-magma (fracture Est-Ouest de l'île). D'un point de vue historique notons qu'en deux siècles, Ambrym a eu au moins huit éruptions importantes, avec des coulées extra-caldeira ayant entraîné des destructions en 1820, 1894, 1913 ou 1929. Soulignons le fait qu'aucune éruption extra-caldeira n'a été signalée depuis une cinquantaine d'année. Pour conclure, la zone la moins exposée, donc la plus sûre, est la partie Nord de l'île qui compte plus du tiers de la population de l'île.

Le **LOPEVI** est une île-volcan formant un magnifique cône régulier, seul volcan de l'archipel sans caldeira, par 16°30'S et 168°21'E. C'est un strato-volcan culminant à 1413 m. Ce volcan actif a été habité jusqu'en 1967, date de la dernière évacuation. Aucun repeuplement depuis cette date.

Activité historique :

- * 1774 : Le 21 juillet COOK rapporte le premier la découverte de l'île apparemment sans activité.
- * 1863-64 : Le volcan rentre dans une phase d'éruption ayant son apogée en Juin. Violentes explosions accompagnées de projections, de blocs de lave et de cendres

- * 1874 & 1883 & 1884 & 1892 : Eruptions sans précision entrecoupées de phases de faibles activités.
- * 1908 : Coulée de lave descendant jusqu'à la mer
- * 1922 : Eruption fin juin obligeant 500 personnes à être évacuées.
- * 1939 : Eruption début février, aux activités stromboliennes avec des coulées de lave détruisant 2 villages à l'Ouest Sud-Ouest. Forte éruption en Novembre, ouverture provoquant une coulée de lave sur les pentes. Evacuation de 160 personnes sur Paama.
- * 1960 : Violente éruption avec explosion de type plinien à mi-pente au NW, vers le 10 Juillet, montant jusqu'à 10 000 m d'altitude ! Suivie d'une nuée ardente qui dévale les flancs Ouest tuant bétail, cultures et végétation. Les villages furent presque épargnés mais la population fut évacuée sur Epi.
- * 1962 : Petite coulée de lave
- * 1963 à 1970 : De violentes éruptions avec fontaines de lave, émission de panache cendreuse, coulée de lave et activité strombolienne vont se succéder tout au long de cette période. Dépôts cendres intermitent sur Paama (1967 & 1969).
- * 1974 et 1975 : Activité intermittente, petite éruption.
- * 1978 à 1982 : Activité normale, éruption avec coulée de lave, forte émission de cendre, retombée sur Paama (1980)
- * 1991 - 1994 : Pas d'activité, juste quelques fumerolles.

Comme on peut le constater, ce volcan a été extrêmement actif. Il était indiscutablement dangereux pour les habitants de cette île, bien heureusement déserte maintenant. Cette île ayant de fortes pentes, seule la base est habitable. Il ne faut pas oublier que c'est une vie au pied d'un volcan en édification (construction). Au delà du danger premier de cette île quant à une éventuelle possibilité d'y vivre, ce sont les îles aux alentours qui sont les premières à en subir les conséquences. Les dépôts de cendres arrivent facilement sur Paama et Epi (selon la direction des vents). Ces îles souffrent alors de pluies acides ou de lahars (cf § 1.3.2.2) provoquant des problèmes sur l'agriculture .

KARUA est un volcan sous-marin à subaérien associé au cataclysme de **KUWAE** : 1452 date reprécisée (J.P.EISSEN, M.MONZIER, C.ROBIN, 1994) après les travaux conduits par GARANGER, 1968 (ed.1972) et J. ESPIRAT, 1973. Situé entre l'île d'Epi et de Tongoa par 16°50'S et 168°32'E, ce volcan sous marin n'a pas grand impact sur l'activité humaine. Il s'avère que depuis le début du siècle le cône du volcan a émergé à plusieurs reprises pour finalement rester apparemment inactif ces 15 dernières années. Ce volcan est le témoin de la violence du volcanisme dans la région due aux réactions phréatomagmatiques. Les îles d'Epi et de Tongoa étaient une seule et même île au début du 15ème siècle. L'explosion cataclysmale de 1452 est le témoignage le plus récent du caractère de forte explosivité des édifices du Vanuatu. Ce cataclysme a eu une ampleur comparable à celle de Santorin (1500 avant J.C., Grèce).

Le **YASUR** est un petit volcan en activité permanente sur l'île de Tanna situé par 19°32'S et 169°21'E. C'est un petit strato-volcan basaltique haut de 365 m situé à proximité du lac Siwi. L'île s'est formée à la suite de plusieurs périodes d'activité volcanique. Le Yasur n'est en fait qu'un petit cône au sein d'une caldeira qui s'étend sous la mer partie Est de Tanna. Au Nord du Yasur s'étend une plaine de cendres où se trouve le lac de retenue Siwi dont le faible volume varie constamment suivant les précipitations.

Activité historique

- * 1774 : Cook, le premier, décrit l'activité du Yasur. Fortes émissions de cendres, violentes explosions, et projections de scories (bombes de lave et pierres). Il note aussi la présence de sources géothermales.
- * 1793 : Fortes émissions de cendres.
- * 1796 & 1825 : Les navigateurs ayant croisé au large de Tanna ne révèlent pas d'activité.
- * 1840 & 1842 : Grande activité.
- * 1854 : Forte activité entraînant la destruction de jardins, de huttes et tuant 2 personnes.
- * 1862-65 & 1872-75 : Grande activité.
- * 1878 : Tremblement de terre dans la région de Port Résolution, créant un glissement de terrain obstruant partiellement le port, provoquant un tsunami local. Des fissures se forment entre la baie et le volcan, laissant s'échapper des colonnes de fumée et une coulée de lave sur une courte distance.
- * 1888 : Violentes éruptions accompagnées par un tremblement de terre en Avril. La crise détruit partiellement l'accès maritime à Port Résolution.
- * 1890 & 91 & 93 : Grande activité avec un lac de lave visible par intermittence. Emissions de cendres tout au long de l'année.
- * 1919 : Glissement de terrain sur le flanc NO.
- * 1951 & 1959-60 : Activité strombolienne accompagnée de pluies de cendres vulcaniennes.
- * 1963 à 1967 : Emissions sporadiques de cendres et explosions intermittentes.
- * 1968 : Ejections de gaz, de cendres provoquant des colonnes de fumée. De temps à autre coulées de laves sur les pentes.
- * 1969 - 1976 : Activité variablement soutenue. Notons le glissement de terrain en Mai 75 provoqué par les explosions et la pluie, 50 000 m³ du flanc NO se décolle laissant une niche de 100m de large.
- * 1977 : Forte activité accompagnée de trémors, de violentes explosions, d'éjection de bombes et de blocs sur les pentes externes, avec une épaisse colonne de cendres (3000m).
- * 1978-87 : Activité strombolienne normale.
- * 1987 : Forte activité après le passage du cyclône UMA en 1987.
- * 1992 : 11/92 : Mise en oeuvre d'une station de surveillance permanente.
- * 1993 : Activité strombolienne soutenue. 10/93 : Mise en oeuvre d'une nouvelle station à 2 km du cratère.
- * 1994 : Forte activité explosive durant toute l'année. Constatation d'un dépôt de plus de 12 cm de cendres, et de projections de bombe de plus de 100 kg jusqu'à plus de 400 m autour du cratère. 30/94 : Arrêt de la première station.
- * 1995 : Baisse de l'activité. Le 16/01 un Ni-Vanuatu meurt de ses blessures causées par un projectile. Le 04/02, une touriste et un guide local meurent tués par un projectile d'une quinzaine de kilogramme en tir direct.

Le volcan de Tanna, qui est sûrement le volcan en activité le plus facile d'accès au monde, fascine depuis des années la population locale et les touristes de plus en plus nombreux. Pourtant ce volcan ne simplifie pas la vie des habitants par ses importantes chutes de cendres qui, associées aux précipitations, donnent des pluies acides, détruisant la végétation et les jardins. C'est une île très peuplée plus de 21 000 habitants en 1995. La partie

qui est au Nord du volcan, sous le vent, a souvent des mauvaises récoltes, les habitants de Whitesand sont concernés par cette pollution naturelle (D.BUISSON, 1994). L'activité touristique qui s'est fortement développée ces dernières années, a malheureusement été frappée par la mort de 3 personnes en ce début d'année. Cela a soulevé des problèmes nouveaux au niveau de la sécurité, de la gestion locale du tourisme et de la responsabilité nationale.

1.2.2 - Bilan des désastres volcaniques

L'examen de l'histoire récente des édifices du Vanuatu, nous montre que le danger créé par le volcanisme est toujours présent et d'actualité. Il est caractérisé tantôt par des **éruptions violentes** sur l'ensemble de l'archipel qui mettent en danger la population locale (déplacement des populations, destruction de villages, morts) et par extension les touristes (cas de Tanna), tantôt par une **activité soutenue** qui perturbe la vie quotidienne des Ni-Vanuatu (pluies acides). Le risque lié à ces éruptions n'est pas le même partout. On peut comprendre, suivant la forme du volcan, l'activité historique et l'observation, quel peut-être le danger associé à chaque édifice. Il en ressort que l'on peut identifier les risques par édifices, à savoir :

- Les coulées de lave : Suretamatai - Ambrym - Lopévi.
- Emission de cendres : Tous les édifices et plus particulièrement le Lopévi, Ambrym, Tanna de façon quasi-permanente.
- Projectiles : Le Yasur, le Benbow et le Marum. Trois morts sur le Yasur par projectiles (bombes) en janvier et février 1995.
- Glissement de terrain et lahars : Lopévi, Aoba, Gaua, Ambrym.
- Risques de réactions phréatomagmatiques (lac et mer) : En tout premier lieu Aoba (lac de cratère), Gaua (lac de cratère) et le Yasur (pénétration des eaux de pluies renforçant l'activité comme l'impact du cyclone UMA). Enfin tout volcan dont une ouverture rentrerait en contact avec la mer tel Ambrym et Aoba.

L'ensemble de ces risques est bien réel, les îles Lopévi, Santa Maria (Gaua) et Ambrym ont été l'objet d'**évacuations** à cause d'éruptions. Tout comme Aoba en mars 1995 qui a été préparé à une évacuation.

Au delà de cette constatation, il faut ajouter aussi les points suivants, à savoir :

☞ On note une **activité strombolienne** pour les édifices d'Ambrym et de Tanna; c'est à dire que les cratères Marum (Ambrym), Benbow (Ambrym) et Yasur (Tanna) ont un ou plusieurs conduits, qui restent ouverts laissant apparaître un lac de lave. Ainsi de grosses poches de gaz viennent éclater à la surface de manière intermittente, projetant à faible altitude des fragments de magma (bombes volcaniques).

☞ Les île-volcans comportant un **lac de cratère et/ou un lac de retenue** sur le volcan augmentent considérablement les risques liés au glissement de terrain et lahars (extrêmement dangereux pour les hommes) (Gaua, Aoba)

☞ L'ensemble des édifices dont les **émissions de cendres** sont permanentes provoque des phénomènes en chaîne avec l'association de l'eau. On constate alors des **pluies acides** et des **glissements de terrain**. Cela affecte des zones de cultures et ces problèmes, souvent répétitifs, ne peuvent-être anodins.

Il est important de comprendre le mécanisme de l'ensemble des risques directs et indirects des activités volcaniques. Il faut en effet dissocier les risques directs d'une éruption (projectiles, lave) et les risques induits par le volcanisme qui interagissent entre eux, telles les pluies acides et les coulées de boue (interactions des gaz et de l'eau, des cendres et de l'eau).

1.3 - LES RISQUES LIÉS ET INDUITS

Il s'avère que l'ensemble des risques volcaniques prend naissance avec les premiers phénomènes d'une éruption. Ce sont les risques primaires engendrés par une éruption dans le cadre d'un volcan aérien de structure 'classique'.

Puis ces premiers risques peuvent être amenés dans un second temps à créer ou à être incorporés à d'autres phénomènes naturels, ce sont les risques secondaires.

1.3.1 - Risques primaires

1.3.1.1 - Coulées de lave

Le risque le plus 'classique' associé à une éruption est la coulée de lave. La lave est du magma en partie dégazé, plus ou moins fluide, qui s'épanche sous l'effet de la gravité soit au sortir de la bouche d'un volcan soit par une ouverture sur les flancs ou une fissure sur l'édifice. La température de la lave s'échelonne entre 1 200 °C pour les laves basaltiques (associés aux volcans de points chauds : La Réunion, Hawaï) et 900 °C pour les laves rhyolitiques.

Les coulées de lave n'ont pas à priori un caractère dangereux pour l'homme, en effet la lave est **visible** et relativement **lente**, et il paraît peu vraisemblable qu'elle puisse surprendre un homme ou un village, bien qu'elle garde un caractère destructif. Pour les volcans du Vanuatu, les coulées de lave concernent avant tout les édifices d'Ambrym (dernières coulées intra caldeira en 1988-89) et du Lopevi (coulées de 1979). Cette dernière étant inhabitée, le problème ne se pose que pour Ambrym. Or l'édifice d'Ambrym renferme cette immense caldeira de plus de 12 km de diamètre, ce qui est déjà une première cuve naturelle de protection pour les habitants. La caldeira a le rôle de 'vase d'expansion ou terrain de sécurité'. De plus cette caldeira est inhabitée, donc il n'y a aucun risque pour la population. Bien sûr des épanchements de lave peuvent provenir de fissures le long des zones de faille. De ce fait les parties médianes d'Ambrym et d'Aoba peuvent être concernées lors d'une forte éruption par des coulées provenant d'intrusions spontanées de lave créées par des tremblements de terre ou des pressions au sein de l'édifice.

1.3.1.2 - Écoulements pyroclastiques

Les écoulements pyroclastiques correspondent à l'ensemble des émissions brutales et dirigées d'une émulsion intime de liquide et de gaz magmatique, dans laquelle le gaz constitue une phase continue, transportant des éléments solides en suspension. L'ensemble se propage à grande vitesse (plusieurs centaines de km/h), à haute température (plusieurs centaines de degrés), sur des distances importantes (jusqu'à plusieurs dizaines de km) et constitue un risque volcanique majeur pour l'homme.

Les écoulements pyroclastiques sont les *nuées ardentes* (les plus importantes dont 4 sous groupes), les *déferlantes* (surges) et les *ignimbrites*. L'ensemble des distinctions de ces différentes manifestations violentes se caractérise par le paramètre granulométrique et par le paramètre morphologique (fragment de verre) qui met en évidence l'âge du matériel magmatique. On distingue ainsi quatre grands types (2x2) : deux sortes de nuées d'avalanches, type *Merapi* et *Arenal*, et deux sortes de nuées ardentes, type *Santiaguito* et *Pélée - Saint Vincent* (Figure 1.2). Les déferlantes sont des écoulements très turbulents souvent liés à l'effondrement d'une colonne éruptive ou d'une partie de l'édifice. Quant aux ignimbrites, elles résultent d'éruptions particulièrement importantes, mettant en jeu des quantités de matériaux et d'énergies considérables (Ambrym).

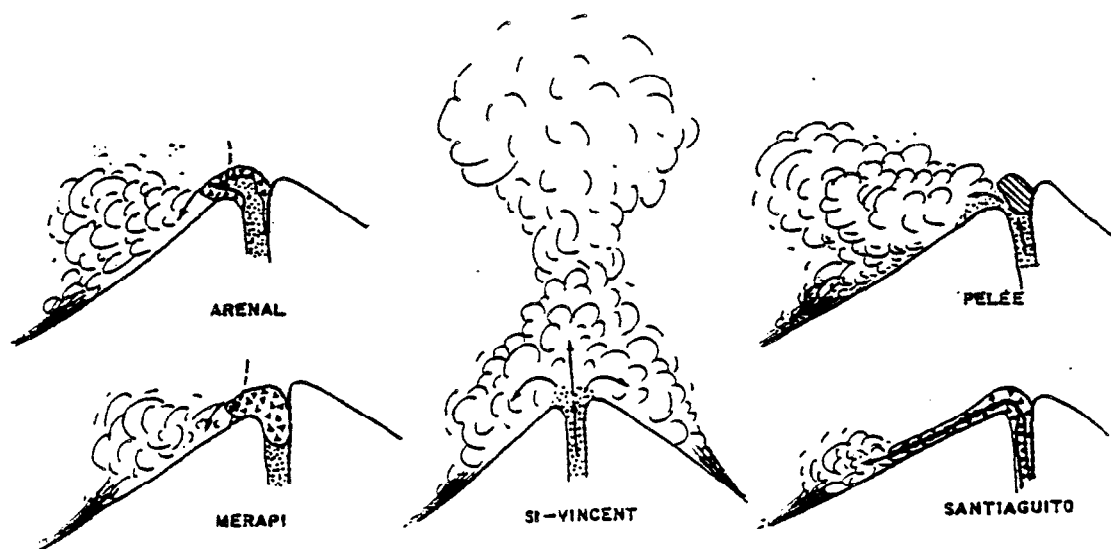
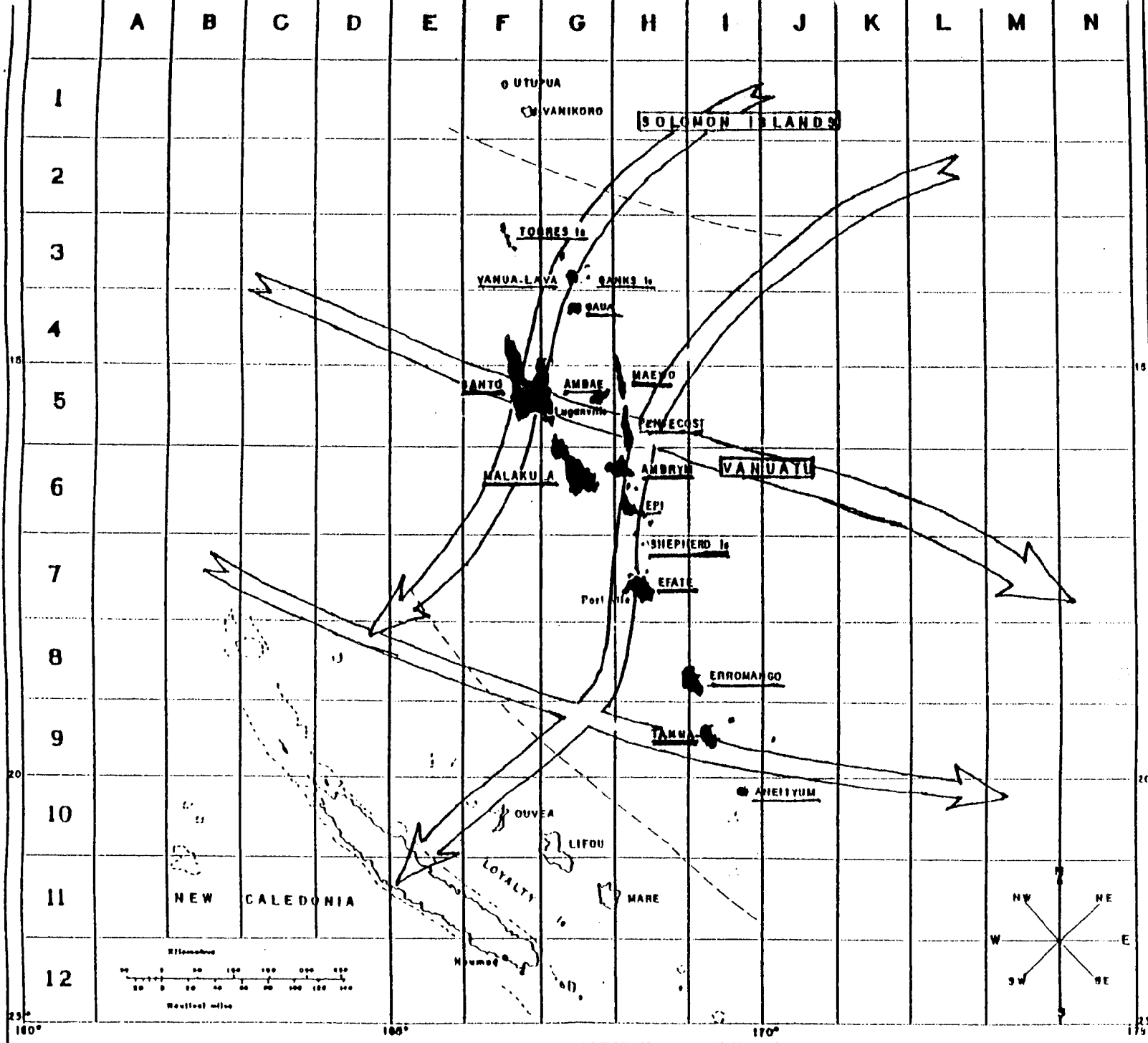


Figure 1.2 : Les différents types de nuées ardentes : Pélée, Soufrière de Saint-Vincent et Merapi (d'après MACDONALD, 1972 modifié), Arenal et Santiaguito (BARDINTZEFF, 1985). Hachures = dôme solide, triangles = dôme à blocs de laves, pointillés = magma juvénile

Dans l'ensemble ces écoulements sont rares surtout les ignimbrites pourtant lors de l'explosion de Kuwae en 1452, les recherches ont permis de découvrir un dépôt d'ignimbrites de plus de 30 m d'épaisseur à certains endroits (MONZIER, ROBIN *et al.*, 1994). Ce phénomène, d'une rare violence, est expliqué au Vanuatu par l'interaction eau de mer - magma lors de l'éruption. On sait que cette explosion correspond à une émission brutale d'une émulsion riche en magma frais (ponces et blocs vitreux), en gaz et en cendres, contenant des éléments rocheux arrachés à l'encaissant lors de l'élargissement du conduit d'alimentation au début de la phase paroxysmale.



Carte 1.3 : Courses générales
des cyclones au Vanuatu. *General
races of cyclone in Vanuatu.*

Principales trajectoires
d'ensemble sur 20 ans.
*Main directions (sample
on 20 years).*

Ces écoulements pyroclastiques sont des phénomènes relativement rares majeurs (en moyenne une éruption majeure par siècle dans le monde). On ne peut pas dire que le Vanuatu ne connaîtra pas d'autres éruptions de ce type. Des volcans comme Gaua, Aoba ou le Lopévi peuvent émettre des nuées ardentes, événements fréquents, de puissances très variables.

1.3.1.3 - Les projectiles ou retombées

Les volcans rejettent une grande quantité de matériaux : solides (tephra), liquides (laves qui se solidifient ultérieurement) et gaz. Les éruptions émettent sous forme de projectiles, des blocs de laves ou bombes volcaniques, dont les tailles peuvent aller jusqu'à plusieurs mètres de diamètre. Les volcans émettent aussi toutes sortes de matériaux dans l'atmosphère de tailles variables que l'on va regrouper sous l'appellation "cendres". Les volcans à activité strombolienne, tel le Marum, le Benbow et le Yasur, émettent en permanence lors de violentes explosions des bombes volcaniques et des cendres.

Les bombes sont donc extrêmement dangereuses pour les hommes. Ces fragments magmatiques suivent des trajectoires paraboliques obéissant aux lois de la balistique et retombent aux alentours (quelques dizaines de mètres à quelques kilomètres) du cratère. Elles sont visibles la nuit, leur teinte rouge se découpe bien dans le noir. Le jour, elles sont difficiles à discerner. Dans les deux cas leur distance par rapport à un observateur est difficile à estimer. Si l'angle de projection à l'émission de la bouche de lave est peu incliné, la trajectoire parabolique va être plus facile à deviner et surtout leur course dans le ciel va être plus longue, donc l'observateur aura plus de temps pour prévoir l'impact de leurs chutes. Mais si l'angle est ouvert, alors le projectile aura une distance plus faible à parcourir jusqu'au niveau d'un observateur qui se situe sur le bord du cratère. C'est ainsi que le Yasur a causé la mort de trois personnes durant janvier 1995.

Quant aux cendres, leur présence se retrouve sur de grandes surfaces. Transportés par le vent, les cendres sont déposées suivant leur densité au gré des vents. A noter un autre point commun entre ces volcans à activité strombolienne, c'est la présence d'une plaine de cendres au sens propre aux pieds de ces volcans.

1.3.2 - Risques secondaires

1.3.2.1 - Les cyclones et l'eau

De part sa position intertropicale, le Vanuatu est situé dans les trajectoires des cyclones. Dans l'hémisphère Sud, les cyclones se déplacent du Nord au Sud et si l'on regarde les déplacements depuis 20 ans, les mouvements se font selon les directions, soit Nord-Est au Sud-Ouest, soit Nord-Ouest au Sud-Est, traversant de part en part l'archipel du Vanuatu (carte 1.3).

Au delà de l'impact direct des cyclones sur les îles du Vanuatu, leur caractéristique propre est de créer brutalement de fortes précipitations. L'eau qui tombe s'infiltre soit au niveau superficiel soit en profondeur. La réaction phréatomagmatique étant une réaction explosive, le passage d'un cyclone à proximité d'un volcan actif peut modifier ou perturber l'activité du

volcan voir le rendre plus explosif. Ceci est tout particulièrement vrai pour des volcans à activité strombolienne tel le volcan Yasur (Tanna) où de nombreux observateurs ont constaté que le "volcan est plus actif en saison humide". On note des émissions de vapeurs plus chargées en cendres en rapport avec les fortes précipitations. Toutefois, les variations pluviométriques ne semblent pas être le moteur essentiel des changements d'activités du Yasur enregistrées (M. Lardy) depuis 1992.

L'eau a un rôle déterminant dans l'activité des volcans. La figure 1.3 nous montre bien qu'il existe trois origines d'eaux intervenant dans les phénomènes volcanologiques:

- 1) - l'eau juvénile magmatique issue soit du manteau terrestre profond ou dans notre cas, de la lithosphère océanique plongeante (plaque nord Loyauté).
- 2) - l'eau météoritique, cas des cyclones, peut s'infiltrer profondément dans la croûte à la faveur d'une fracture importante jusqu'à la chambre magmatique.
- 3) - majoritairement, l'eau météoritique peut aussi rester en surface dans les nappes phréatiques. Dans ce dernier cas, lors de la remontée de magma, le contact avec les nappes d'eau forment une réaction explosive de type phréatomagmatique.

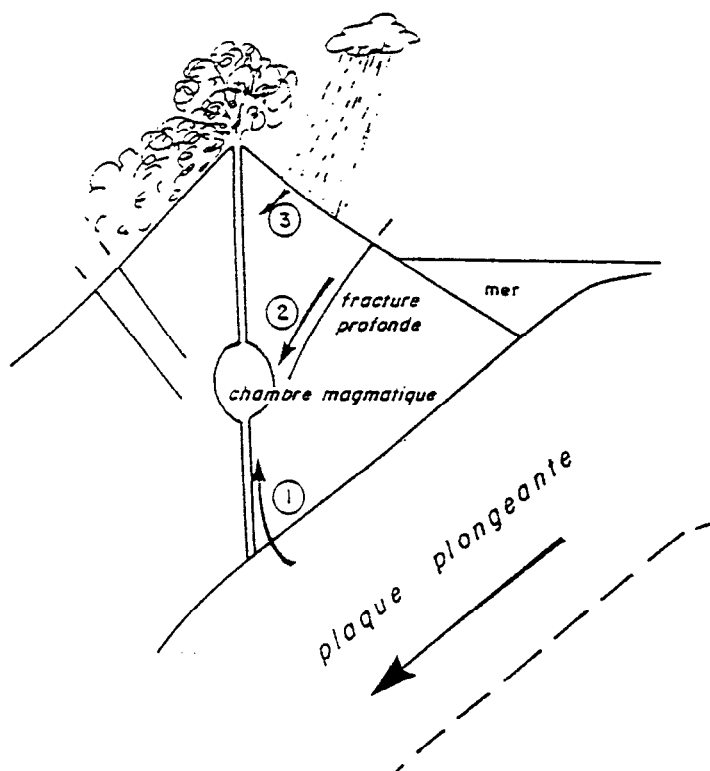


Figure 1.3 : L'origine des eaux intervenant dans les phénomènes volcanologiques. (1) eau juvénile magmatique, (2) eau météoritique injectée en profondeur au niveau de la chambre magmatique, (3) eau météoritique superficielle. Les échelles verticales ne sont pas respectées. (BARDINTZEFF, 1985).

Cas du volcan d'Aoba

C'est d'ailleurs tout le problème d'un lac de retenue et à fortiori d'un lac de cratère d'un volcan tel l'édifice d'Aoba. Les deux lacs de la zone sommitale se trouvent dans la caldeira dont le diamètre moyen est de 5,3 km. Le Manaro Lakua est un lac de remplissage de bord de caldeira, sa profondeur ne doit pas dépasser quelques mètres en moyenne. Un débordement vers la côte Est a été enregistré au début du siècle (rupture?, glissement de terrain?). Actuellement on note aucune relation apparente avec les conduits volcaniques. Une zone solfatarique existe pourtant au sud du lac.

Le deuxième lac, Manaro Vouï, occupe le cratère du centre de forme elliptique (2,15 km X 1,5 km). Une reprise d'activité constatée depuis 1991 a conduit à une explosion phréatique au début du mois de mars 1995. La dissolution des gaz dans l'eau a créé une décoloration. L'émission de gaz acides: SO₂, H₂S et la remontée en température du lac ont brûlé la végétation aux alentours (cf § 2.3). Le principal danger provient de ces deux lacs, et plus particulièrement du lac Vouï qui correspond directement à la zone active. La masse d'eau est inconnue (sans doute 10.10⁶ m³ ?), mais en cas de contact du magma avec cette masse d'eau, une réaction explosive très violente, de type phréatomagmatique est à craindre.

Cas des volcans à activité strombolienne

L'eau météorique qui s'infiltre dans les zones où le magma est présent (chambre magmatique) renforce l'activité de ces édifices. Les passages des cyclones à proximité d'AMBRYM ont provoqué une augmentation de la sismicité enregistrée (Enregistrements station d'AMBRYM non publiés) un édifice actif le rend donc par la suite plus explosif et lui donne alors l'impression d'être plus actif.

Sur TANNA, il a souvent été constaté une augmentation de l'activité pendant la saison humide (voir chrono-volcan). Le passage du cyclone UMA a augmenté le volume de gaz et de cendres émis par le YASUR (1987). L'activité semble accrue (CARNEY et MCFARLANE, 1979).

1.3.2.2 - Coulées de boue ou Lahars

Les lahars désignent au sens général des torrents de boue résultant du mélange d'eau, de matériaux volcaniques et des autres matériaux emportés le long des pentes des volcans tels arbres, roches, etc...

Les lahars étant l'une des conséquences des éruptions volcaniques, ils ne se forment que lorsque des conditions physiques sont réunis: l'eau en est l'élément clé. C'est pourquoi, les formes de lahars sont nombreux, et qu'une définition *stricto sensus* "rigide" est difficile. En effet, les lahars sont des coulées très mobiles à matériel pyroclastique, de ce fait ce terme englobe les coulées boueuses mais aussi les écoulements hyperconcentrés à faible taux de matériel solide.

Du fait que les coulées pyroclastiques dévalent les parties basses (d'un point de vue topographique), l'eau se mêle facilement aux coulées le long des bassins versants jusque dans les vallées. Ainsi les coulées pyroclastiques se transforment en lahars par refroidissement, dégazage et baisse de fluidité au fur et à mesure que celles-ci s'éloignent de sa source. En bas des vallées, l'évaporation rapide de l'eau, et l'amas des débits ramassés font que cette coulée devient une 'boue' (BLONG 84).

On distingue deux formes de lahars :

- Les lahars primaires,
risque directe, associés à une éruption

Exemple Vanuatu

- | | |
|---|-----------------------------------|
| 1 - Éruption à travers un lac de cratère | <i>Aoba</i> |
| 2 - Coulées pyroclastiques qui se mélangent à de l'eau de pluie, de lac ou de rivière. (Toujours chaud) | <i>Ambrym</i>
<i>Aoba-Gaua</i> |
| 3 - Produits d'éruption liés à la glace et la neige | Impossible |

- Les lahars secondaires,
risque indirecte, associés à une éruption

Exemple Vanuatu

- | | |
|--|--|
| 1 - Fortes pluies, tel cyclone, sur dépôts pyroclastiques non consolidés | <i>Gaua - Ambrym</i>
<i>Aoba - Lopévi</i> |
| 2 - Débordement ou effondrement du lac de cratère | <i>Aoba - Gaua</i> |
| 3 - Fonte saisonnière de la neige | Impossible |

Origine de l'eau

Les lahars les plus communs, sont liés à des éruptions lors de fortes pluies, cas du Vanuatu de la mi-novembre à la mi-mai. D'épaisses couches de cendres (de tephra) s'accumulent sur les pentes du volcan, tuant la végétation qui normalement retarde le ruissellement de la pluie. Les lahars ont lieu au moment de l'éruption (synchronisation) ou après celle-ci. Il y a toujours un risque de formation boueuse au cours des mois qui suivent une éruption. Un apport rapide d'eau peut se mélanger aux tephras le long des pentes, des vallées et des rivières. Les lahars résultant d'éruptions de volcans possédant un lac de cratère sont les plus destructeurs. Pendant la période de repos du volcan, le lac peut augmenter de volume, et être déversé au moment de l'éruption. Le risque de formation de lahars est donc proportionnel au volume d'eau. Il est donc nécessaire de connaître les bathymétries des lacs de cratère et des autres lacs. Plus le volume est grand, plus le risque de lahars est grand.

L'activité des volcans du Vanuatu nous rappellent, par les traces des éruptions, que les lahars ont sévi à plusieurs reprises. En tout premier lieu à Aoba (lac de cratère) où en 1913, une cataracte d'eau cède et provoque un lahar destructif dans la région de la côte Est. Gaua a également un lac de cratère (Lac Létas : 800.10^6 m^3), ainsi que Vanua Lava (petits lacs). Sur les autres îles, les précipitations peuvent se mélanger aux cendres tel à Ambrym, mais aussi à Paama et à Epi, les cendres provenant du Lopévi (1967-68, 1980).

1.3.2.3 - Tsunamis

Les tsunamis ou "raz de marée" sont générés par des perturbations du fond océanique. La plupart des tsunamis sont provoqués par des tremblements de terre mais un nombre important sont induits par des activités volcaniques.

Un tsunami se forme si à l'origine, il y a création d'une onde par déplacement d'un volume d'eau. Pour cela le déplacement d'eau peut être provoqué par l'effondrement du planché maritime ou le détachement d'un bloc de terre (glissement de terrain) amenant alors un 'vide' à combler ou un volume à déplacer. Ce mouvement d'eau crée alors une onde qui se propage dans le milieu liquide environnant. Cette onde de propagation s'amplifie aux abords d'une remontée continentale ou d'une côte insulaire. Plus la pente sera douce, sans obstacle, plus l'amplitude de la vague, qui se formera, s'amplifiera. Tout ce qui est falaise ou barrière de corail est considéré comme un obstacle.

Il apparaît donc que lors d'une éruption volcanique, les tremblements de terre, et les conséquences des éruptions (glissements de terrain) sont des facteurs de naissance de tsunamis. Par ailleurs, il convient d'ajouter que plus une explosion volcanique est grande, plus il y a de chance de provoquer un tsunami, tel une explosion cataclysmale comme l'explosion de Santorin (Grèce) engendrant une vague de 63 m. Cette explosion est équivalente à celle de Kuwae en 1452 entre Epi et Tongoa. Il se pourrait (hypothèse) que par l'explosion du volcan, le tsunami engendré ait pu provoqué une vague gigantesque et dévastatrice (?).

Loin d'arriver à ce genre d'extrême, le Vanuatu est régulièrement touché par des petits tsunamis tel celui de Loanatom à Tanna 1959 qui a ravagé la mission catholique ou encore celui du 17 mai 1995 ne provoquant aucun dégât mais bien enregistré jusque dans le premier lagon de Port-Vila. En fait, le Vanuatu subit ainsi l'ensemble des tsunamis qui peuvent se créer dans la Pacifique mais en souffre moins qu'un pays d'atolls à haut fond.

1.3.2.4 - Tremblements de terre

Le tremblement de terre est au sens propre une vibration, un 'tremblement' ressenti par l'homme suite à un changement de position d'une plaque ou d'un morceau de plaque vertical ou horizontal. Dans une zone de subduction comme celle de la fosse des Nouvelles Hébrides (marge active), il est normal de trouver un nombre important de tremblements de terre. Ils n'ont *a priori* rien à voir avec le volcanisme. Si l'on considère que les épicentres des séismes (lieu d'origine des séismes) est profond (au delà de 50 km), on serait tenté de dire d'un point de vue scientifique qu'un tremblement de terre n'a rien à voir avec une éruption ou quelque remontée de magma que ce soit. Il paraît bien difficile de relier les deux phénomènes au niveau scientifique sans partir de conditions empiriques. En fait les tremblements de terre ont un rôle actif qui peut être lié et induit avec le volcanisme.

☞ Premièrement l'ensemble des conduits par lesquels remonte le magma peuvent changer de configuration à la suite d'un tremblement de terre : soit un conduit peut se boucher, soit il peut se réouvrir s'il était occulté. Un tremblement peut alors permettre une remontée de magma.

☞ Deuxièmement, c'est l'effet inverse qui peut se produire à une échelle superficielle. Une remontée de magma qui est exercée par une nouvelle pression au sein de la chambre magmatique et dans les conduits (cf Annexe I), peut créer grâce à la force qu'elle exerce, des tremblements en surface (0-20 km).

Le volcanisme et la sismicité sont deux phénomènes extrêmement liés au Vanuatu (voir § 1.1.2). Il est difficile de dissocier à la lecture des enregistrements sismiques ayant pour origine un tremblement de surface proche d'un édifice volcanique. L'interprétation de données sismo-volcanique est encore loin d'être parfaitement maîtrisée. L'exemple de la 'crise d'Aoba' a bien montré la complexité de l'interaction de ces deux phénomènes. La question étant toujours de savoir si on doit les lier ou les dissocier. C'est un sujet à controverse au sein du milieu scientifique.

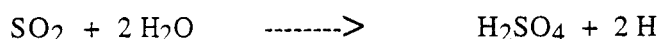
Pour la surveillance des volcans, on étudie les vibrations de surface proche du volcan et qui peuvent donner un signal bien différent de celui provoqué par un tremblement de terre; on l'appelle "trémor". Cette vibration enregistrée est une vibration de surface, très peu profonde (5-10 km) que l'on ne peut détecter qu'à proximité de l'édifice.

1.3.2.5 - Gaz et pluies acides

Le magma contenu dans la chambre magmatique est un élément contenant des gaz dissous, c'est à dire correspondant à une pression et à une température données (cf Annexe I). Lors de la remontée, les gaz et les éléments dissous redeviennent volatils. Majoritairement on trouve de l'eau (80-90%) et le dioxyde de carbone CO₂ (jusqu'à 20%), en moindre quantité l'oxyde de soufre SO, le dioxyde de soufre SO₂, l'acide sulfurique H₂S, l'acide chlorhydrique HCl et le dihydrogène H₂.

Le CO₂ est négligeable par rapport à sa présence dans l'atmosphère, par contre le SO₂ peut être présent à un taux 1000 fois supérieur, d'où cette forte odeur de soufre bien identifiée par l'homme.

Les composants volatils issus du magma des éruptions volcaniques sont :



dispersés de trois manières dans l'atmosphère :

- 1 : comme aérosols acides
- 2 : comme particules salées
- 3 : comme particules absorbées par le tephra (cendres).

La vapeur d'eau , les éléments soufrés (S₂, SO₃, SO₂, H₂S, HCl...) et l'acide chlorhydrique (HCl) sont les constituants principaux d'une colonne de fumée d'une éruption. L'acide chlorhydrique se dissout rapidement dans la vapeur d'eau et retombe sur Terre sous forme de pluies acides. Quant au SO₂, il se dissout sous la forme d'acide sulfureux puis s'oxyde lentement en acide sulfurique en présence de l'air, la concentration d'acide sulfurique pendant une éruption augmente donc dans le temps et dans l'espace, d'où un rôle important joué par le vent. L'acide sulfurique (H₂SO₄) est très soluble dans toutes les phases liquides de l'air (pluies, brouillards). Les retombées des pluies chargées d'éléments volatils, transformés au sein d'une masse d'eau (nuage), affectent à long terme les milieux agricoles environnants.

Les gaz et les particules émisent par les volcans sont donc des sources de pollution "naturelle". On peut regrouper les principaux groupes de substances qui polluent l'atmosphère. Ils sont d'origine volcanique et/ou maritimes. En effet, il faut tenir compte des apports provenant de la mer puisque la distance de toutes les terres cultivées sur la plupart des îles dépassent rarement 50 km.

POLLUANT ATMOSPHERIQUE AU VANUATU

	<i>Polluant</i>	<i>Source</i>
GAZ	Anhydride carbonique (R- CO-O-CO-R')	Volcanisme
	Oxyde de carbone (CO)	Volcanisme
	Anhydride sulfureux et autres dérivés soufrés H ₂ S, HS	Volcanisme Aérosols marins
PARTICULES	Métaux lourds Composés minéraux	Volcanisme - Embruns - Météorites - Erosion éolienne

1.3.3 - Risques liés : Synthèse des risques volcaniques

Puisque que l'on a pu appréhender les risques d'une manière générale c'est que l'on a pu les classer par deux importances d'effets. On a différencié les risques primaires qui résultent directement d'une éruption et les risques secondaires qui y sont liés. Ces risques se renforcent ou induisent d'autres risques lorsqu'ils sont associés à l'ensemble des phénomènes naturels du Vanuatu. L'histoire nous a montré qu'ils sont indissociables, et c'est pour cela que l'on peut parler de risques liés et induits ayant pour origine ou pour conséquence une activité volcanique. L'ensemble de ces risques liés et induits peuvent avoir de lourdes conséquences sur le milieu humain et son environnement.

La figure 1.4 explicite les divers risques liés et induits au volcanisme.

☞ Les tremblements de terre sont la résultante de mouvements de l'écorce terrestre. Volcanisme et tremblements de terre s'induisent mutuellement. Cet ensemble forme des risques d'origine mécanique.

☞ Les cyclones et les fortes précipitations, qui ne sont pas engendrés par le volcanisme, bien sûr, peuvent renforcer les systèmes éruptifs et surtout l'activité des volcans à caractère strombolien (volcans Yasur, Benbow, Marum...).

☞ Associé aux matériaux volcaniques (cendres, gaz), l'élément eau peut générer des pluies acides, des lahars et des glissements de terrain. Ces risques "secondaires" sont des risques latents dangereux.

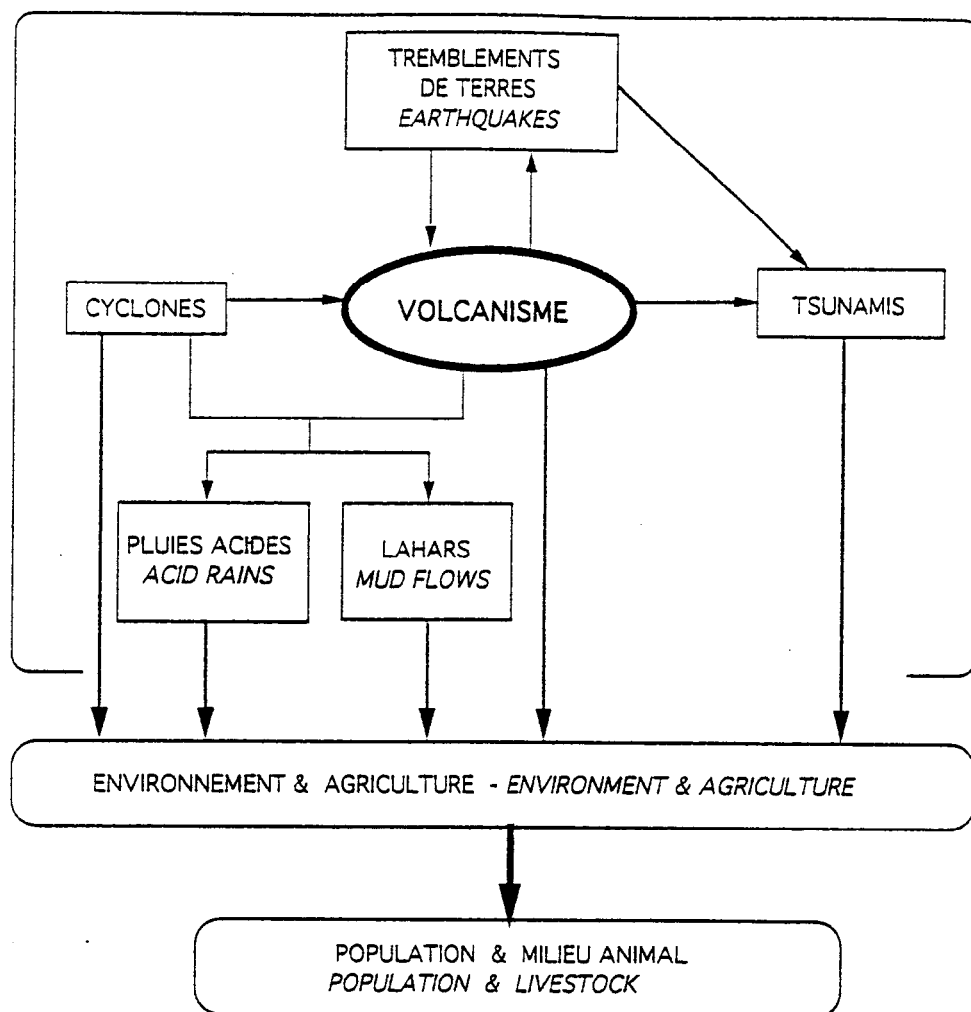


Figure 1.4 : Risques naturels liés et induits.
Figure 1.4 : Natural linked hazards.

Les volcans et leurs diverses formes d'activité présentent un risque important pour le Vanuatu, et affectent le milieu humain et son environnement (cf § 1.2). Cela se traduit, par exemple à Tanna, par des périodes de disette causées par les pluies acides. Pourtant cette île ne fût jamais l'objet de déplacement de population sauf en 1987 pour une partie des habitants vivant à proximité du Yasur suite au cyclône UMA. Pour les îles de Gaua et de Lopévi, les déplacements de population ou d'évacuation ont déjà eu lieu.

L'impact est moindre que prévu, c'est donc une étude localisée sur lequel il faut porter l'attention. Le risque volcanique reste lié à une zone géographique précise. Les conséquences de l'impact du volcanisme sont surtout régionales sauf éruption cataclysmale.

Bien que ces phénomènes restent aléatoires selon le type d'éruption, les différentes formes d'impacts, primaires ou secondaires, sont des risques important pour la population. Puisque la population est concernée, voir mise en danger, il est intéressant de pouvoir évaluer les risques, de savoir quel sont leurs impacts sur le milieu humain et sur l'environnement.

2. IMPACT DES RISQUES VOLCANIQUES AU VANUATU

2.1 - ASPECT SOCIAL

2.1.1 - Mythes et légendes

L'ensemble des événements volcanologiques qui se sont déroulés sur les îles tant au Nord qu'au Sud de l'arc insulaire des Nouvelles Hébrides, ont marqué les habitants de ces îles-volcans. Les légendes et les mythes associant les volcans sont présents et divers. Chaque volcan est associé à une divinité. Et si le volcan ne paraît pas actif, alors ce sera le nom du lieu, tel un lac de cratère, auquel sera associé une légende ou un mythe. Dans un pays où la coutume, et le système de chefferie est toujours en vigueur et respecté, les légendes sont encore extrêmement vivaces.

La coutume, "terme clé dans l'esprit Mélanésien" (E. HUFFER, 88), est l'ensemble d'une structure religieuse, politique conduisant à une organisation sociale. De ce fait, la coutume gère les relations entre les hommes, les femmes, les villages mais aussi la relation à la terre.

Le fait que les volcans d'Ambrym et de Tanna aient une forte activité, presque permanente, les habitants de ces îles intègrent dans leurs moeurs ces volcans. Ils en sont fiers au travers de leurs coutumes.

"Le paysage pour un mélanésien, c'est la terre" (J. BONNEMAISON, 86). Les volcans YASUR, BENBOW, MARUM font partie intégrante du paysage, des croyances, en résumé de la Coutume, pour de nombreux villages.

Les habitants sont conscients du "danger" et connaissent les fureurs de ces volcans divinisés. Les légendes rapportent de ce fait des événements volcaniques importants. Mais du fait de la tradition orale, seule les événements importants ont donné des légendes encore présentes. Ainsi l'explosion du volcan de Kuwae fut découverte, et datée avec pour seul élément historique de base une légende. Celle-ci incita les scientifiques à faire des recherches sur une zone précise. Corrélée à des données scientifiques, les chercheurs de l'ORSTOM ont pu "recoller les morceaux". Vivante par son côté oral, il n'en est pas moins difficile de la faire perdurer par rapport à une légende écrite, et de ce fait, elle s'oublie, voire s'altère avec le temps.

Par exemple pour l'île-volcan d'Aoba, les habitants, ou du moins la majorité, ont oublié le fait même que leur île est un volcan encore "actif". Le problème peut se resituer au niveau des générations. Pendant la 'crise d'Ambae', mars avril 1995, les jeunes n'avaient aucune idée du danger alors que les chefs étaient conscients que le lac Vouï (le lac de cratère) est un lac auquel on associe le danger. La tradition orale (J. BONNEMAISON, 86) de l'île d'Aoba rapporte des éruptions catastrophiques qui se seraient produites au cours de l'histoire. "Un mythe fait en effet état de la destruction d'une partie de la population Ouest de l'île à la suite d'une explosion qui se serait produite dans le cratère central, voilà environ trois siècles (confirmée par une datation au C¹⁴, A. WARDEN) ... L'eau des cratères se serait déversée sous forme de coulées de boue...". M. Monzier et C. Robin ont retrouvé les traces de ces lahars dans les parties basses et ouest de l'île.

On a fini par savoir que le mot 'Vui' ou 'Voui' signifie 'esprit' en langage d'Aoba. La notion de mort, de l'au-delà, est associée au lac des esprits. Ce lac est d'ailleurs tabou dans la coutume d'Ambae : "Après la mort, l'esprit des "man-AOBA" va se réfugier au sommet du volcan. S'il est admis par KEVELO, le gardien de ce royaume, l'esprit pourra demeurer dans le village des morts, au fond du lac "Manaro Voui" (P. GARDISSAT, 1977, Nabanga n°52). Et c'est bien ce lac qui est l'objet de tous les soucis. C'est ce lac de cratère qui a retenu, et qui retient encore toute notre attention. La couleur de ce lac bleu-vert renforce le côté mythique de l'observateur.

On constate que les légendes et les mythes qu'ils soient religieux ou non, sont basés sur des faits réels et récents à l'échelle volcanique. Donc toute histoire coutumière faisant allusion à un événement éruptif volcanique est basée sur un fait réel. Ces sources d'informations non négligeables pour le milieu scientifique ne sont pas à confondre avec les rumeurs qui sont le revers de la médaille de la tradition orale: c'est l'aspect fictif qui est gardé et transformé.

2.1.2 - Déplacements de population

En cas de forte éruption, les insulaires se déplacent et migrent sur d'autres îles. Dès que l'activité éruptive est finie, les habitants retournent sur place et recommencent à y vivre. Après l'éruption de Kuwae en 1452 (MONZIER *et al*, 95) les gens qui s'étaient réfugiés à Efate dès le début du cataclysme revinrent peu à peu s'installer à Tongoa (l'île restante).

Pour de petites manifestations volcaniques, tels coulées de lave, coulées de boue destructrices, les habitants reviennent quelques temps plus tard (ré)habiter les lieux.

Pourtant il ne faut pas prendre ce comportement pour généralité. En effet, la communauté de Melé-Mat à Port-Vila (Efate) est originaire d'Ambrym. Cette communauté a fui au début du siècle (éruption de 1929, cf. § 1.2.1) pour s'installer définitivement sur l'île d'Efate.

Il y a toujours eu des migrations de populations entre les différentes îles du Vanuatu, peut-être ces populations furent-elles poussées par les différentes catastrophes naturelles à fuir un lieu? Mais à ce jour aucun endroit est foncièrement considéré comme dangereux s'il est habitable et cultivable.

Et comme le fait remarquer J. Bonnemaison :

"Les habitants sont habitués au volcanisme et semblent moins en craindre les manifestations que le passage des cyclones ou l'apparition de forts tremblements de terre. Les îles-volcans sont loin d'être moins peuplées que les autres, bien au contraire la fertilité de leurs sols y attire en général des populations nombreuses. "*Vivre au pied du volcan*" semble être devenu un risque avec lequel on compose."

2.1.3 - Analyse

De nombreux mythes et légendes sont associés aux volcans du Vanuatu. La relation des habitants avec le volcan est plus forte plus ils sont proches ou menacés. D'une façon générale les "esprits" habitent les volcans AOBA, AMBRYM, TANNA. Les mythes semblent plus vivaces à proximité des volcans les plus actifs. La légende de KUWAE subsiste aux Shepperds et particulièrement à TONGOA. L'aspect cataclysmique de l'éruption a dû favoriser sa transmission. Les études scientifiques récentes (GARANGER, MONZIER, ROBIN, *et al*) ne peuvent que raviver les mythes. Mais on constate que la transmission orale se perd curieusement avec la pénétration des moyens modernes de communication.

Que l'on ait affaire à une "catastrophisation" ou à la "banalisation" de l'information, il y a dans les deux cas une évolution de l'information donnée à la base par les experts et les services compétents. L'information dérive et devient confuse au fur et à mesure qu'elle se transmet de bouche à oreille. Le principe n'est pas nouveau, certes, mais c'est justement pour cela qu'il faut canaliser l'ensemble des informations officielles pour n'en donner que la substantifique moelle.

Au delà du manque des infrastructures dans les îles, la dérive de l'information est commune à tout pays. Il faut donc chercher la manière dont on peut informer la population avec précision et d'une manière concise. A ce niveau on arrive tout simplement à la gestion "propre" des informations, c'est le rôle extrêmement important de la communication que nous développerons dans la troisième partie.

2.2 - IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT DE TANNA

2.2.1 - Généralités

Les cendres et autres produits volcaniques légers sont transportables par le vent et autres mouvements d'air (cyclone, etc.). Ainsi comme on l'a vu dans la première partie, les îles de Tanna, Lopevi, Paama, Ambrym sont régulièrement soumises à des dépôts cendreux et à des pluies acides. Écartons de suite le Lopevi où aucun habitant vit à ce jour, ainsi que Paama qui ne reçoit qu'occasionnellement, selon la direction du vent, les retombées en provenance du Lopevi ou quelquefois celles d'Ambrym. Reste qu'une partie de l'île d'Ambrym, et à fortiori celle de Tanna, souffrent considérablement de ces rejets volcaniques et autres polluants naturels au niveau de l'agriculture.

L'impact agricole est caractérisé par les gaz et cendres provenant des cratères actifs en éruptions. Les vecteurs de propagation sont le vent et la pluie.

Les polluants d'origine volcanique sont

- les anhydrides carboniques (R-CO-O-CO-R')
- les oxydes de carbone (CO, CO₂)
- les anhydrides sulfureux (R-SO-O-SO-R')
- les dérivés soufrés (H₂S, SO₂, SO₃)
- des particules de métaux lourds ou de composés minéraux (Al, Fe, SiO₂...)

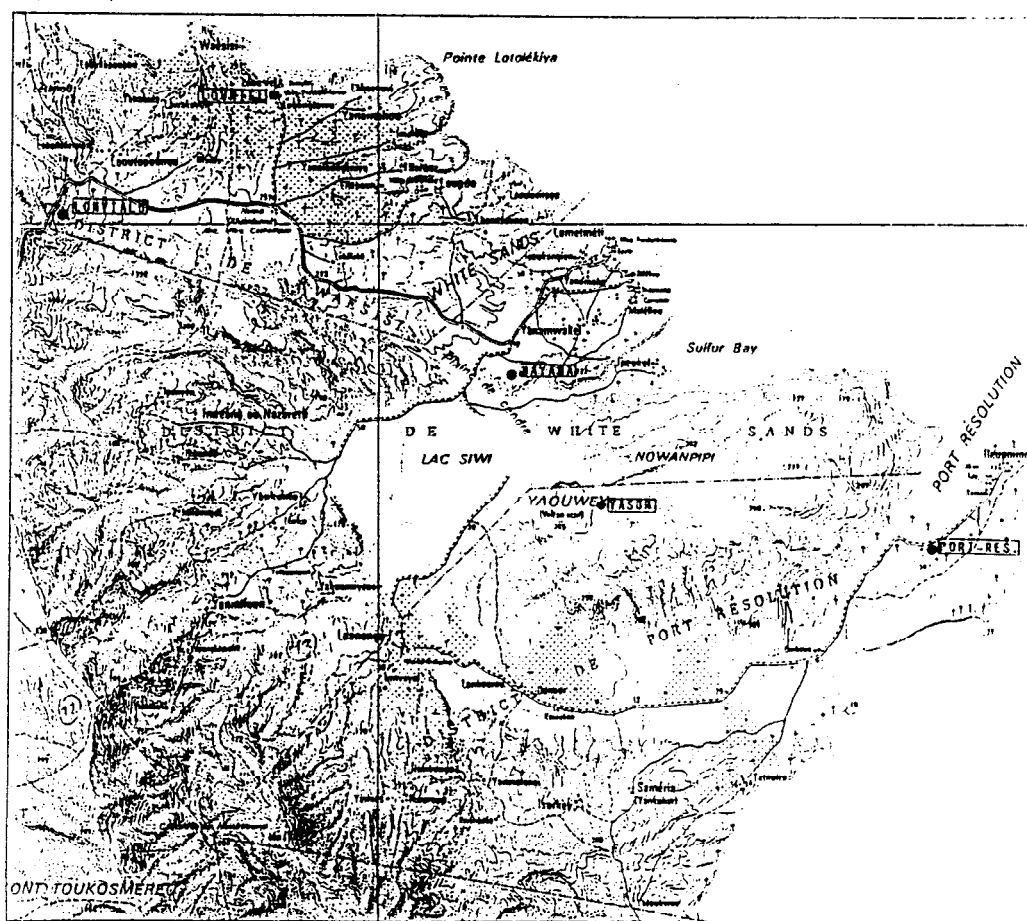
Les vecteurs de propagation ont un rôle important, ils conditionnent en effet la répartition des éléments polluants sur les milieux agricoles.

On a essayé de trouver des renseignements sur les volumes agricoles produits, et les surfaces cultivées. Les données ne sont pas répertoriées de façon systématique. Il y a peu de bilans produits par les offices gouvernementaux ou les entreprises privées, si ce n'est pour le cacao et le café. La production privée d'un village n'est de toute façon pas notée par écrit. Il est donc extrêmement difficile d'obtenir ou d'évaluer la production annuelle. Certaines îles vivent en quasi autarcie au niveau agricole, les échanges inter-îles y sont très faibles. On ne peut évaluer quantitativement l'impact de ces pluies en perte de production agricole. Mais qualitativement on peut étudier les dégâts qu'infligent les pluies acides sur les "jardins" de Tanna. De même, il est possible de mesurer l'impact des gaz et d'un système volcanique actif sur l'environnement.

2.2.2 - Méthodologie

Pour observer l'impact volcanique, des séries de mesure de pluies ont été relevées sur cinq stations situées autour du YASUR (Carte 2.1) :

- 1 Port-Résolution (Sud-est du Yasur)
- 1 Lonvialu (Nord du Yasur)
- 1 Looniel (Nord du Yasur)
- 1 Nayanamakel au pied Nord du volcan près du lac Siwi
- 1 sur le flanc sud-est du volcan Yasur



Carte 2.1 : Localisation des cinq stations de mesures à Tanna.

Les relevés sont fait à l'occasion de visites non périodiques sur l'île de Tanna. L'eau de pluie est récupérée dans des bidons étanches (pas d'évaporation). La quantité d'eau est relevée et notée, et des échantillons d'eau sont prélevés pour analyses en laboratoire. Pour chacun de ces échantillons, il a été mesuré les teneurs en chlorures, sulfates voire nitrates, ainsi que le pH.

L'ensemble des données récoltées sur Tanna sont brutes, et elles doivent être associées et comparées en tenant compte des phénomènes naturels extérieurs.

L'objet de cet ensemble de prélèvement est de faire ressortir l'éventuel caractère acide des pluies, et de montrer la pollution naturelle des rejets cendreux et gazeux du volcan sur la végétation et l'environnement. Il est donc possible de mieux comprendre l'impact des pluies acides en fonction de la direction des vents et de l'intensité des pluies.

De plus pour essayer de caractériser l'impact au sol, des analyses de sols ont été faites à Tanna. Enfin de la cendre issue du Yasur a été analysée pour lever le doute sur l'utilité en tant qu'engrais naturel, ou sur la nuisibilité en tant que polluant naturel.

L'ensemble des analyses ont été effectuées au CNET (Département Environnement) en France ou au Laboratoire de Chimie du centre ORSTOM de Nouméa.

Remarque : l'ensemble des données et interprétations font suite à l'étude de D. Buisson. "Impacts des pluies acides causées par le volcan Yasur sur la végétation de Tanna" (Rapport n°8,1994 - ISTOM/ORSTOM). L'étude reprend une partie des données qu'il a acquit dans le cadre de son stage.

2.2.3 - Résultats

2.2.3.1 - Pluviométrie

On constate que ces données confirment les fortes précipitations associées aux cyclones : PREMA, SARAH et USHA. L'impact des cyclones se fait bien ressentir sauf pour le dernier (petit cyclone à la limite presque hors saison).

PREMA : 26-30 Avril 93

SARAH : Janvier 1994

USHA : 25-27 Mars 1994

VANIA : 15-16 Novembre 1994

Pourtant d'un point de vue annuel global, le total des précipitations reste faible et l'on peut juger ces années sèches par rapport à 1959 - 1963, voire des années records tel 1971 avec 2.200 mm d'eau à Lénakel.

Les répartitions des précipitations sont très inégales. Il faut prendre en compte le relief associé à un climat subtropical et à un milieu insulaire. Les précipitations sont donc extrêmement variables suivant les zones. Un nuage (masse d'eau en suspension) peut s'effondrer dans une zone spécifique. On constate que les précipitations sont plus importantes à l'Est car c'est la zone au vent, l'ouest étant protégé par une chaîne de montagnes. La zone au vent étant au sud-est, la zone côtière est en fait, peu touchée, et les masses nuageuses s'effondrent plus à l'intérieur de l'île de Tanna : zone Centre et Nord.

Les données récoltées sont réunies dans le Tableau 2.1 .

LIEU /Altitude	PORT-RESOL	YASUR	NAYANAMAKEL	LOONIEL	LONVIALU	
DATE	40m	300m	100m	200m	550m	
11/11/91	ON	ON		ON	ON	
31/12/91	95	158	ON	125	155	
4/04/92	400	762	740	735	365	FRAN
23/05/92	144	388	87	217	156	
1/10/92	/	562	481	384	442	
12/11/92	0	0	0	0	0	
31/12/92	50	0	110	100	110	
Somme1992	594	1712	1418	1436	1073	
27/04/93	295	/ *	* 815	798	683	PREMA
10/06/93	159	212	218	218	192	
7/10/93	220	374	349	328	260	
31/12/93	200	200	210	200	200	
Somme1993	874	786	1592	1544	1335	
12/01/94	295	651	328	431	0	SARAH
9/03/94	* 408	/	* 377	* 317	181	
4/05/94	170	/ *	734	510	260	USHA
7/07/94	130	120	164	159	108	
31/08/94	63	114		93	57	
Somme1994	1066	885	1603	1510	606	
26/03/95	133	/	/ 888	* 738	133	

Légende : / : Problème de fonctionnement
 0 : Pas de pluie
 == : Passage d'un cyclone

* : Cendre, débouchage
 ON : Mise en service

Tableau 2.1: Précipitation - Région du Yasur (Tanna) en mm

On observe les maximums de précipitations à proximité du volcan, stations de Nayanamakel et de Looniel (YASUR). Les stations de Port-Résolution et de Lonvialu récupèrent des quantités plus faibles de pluies. On a affaire à un effet de sites.

Les graphiques sont reportés en Annexe II.

2.2.3.2 - Les chlorures

Le Tableau 2.2 regroupe les résultats des 5 stations pluviométriques de la région du YASUR. Les résultats de quelques échantillons prélevés sur des sources géothermales sont indiqués à côté du tableau. Cette eau est une source provenant du système volcanique du Yasur, et n'est donc pas un rejet de chlorure trouvé dans les eaux de pluies.

L'examen des diagrammes du tableau 2.2 (Graphique 2.2 en Annexe II) montre un taux de Cl⁻ plus élevé pour la station située au près de l'édifice sous le panache (Nayanamakel). Les taux de Yasur sont plus élevés que sur

l'ensemble des autres stations (proximité du cratère, mais au vent). Looniel se trouve à 4 km du volcan mais sur une trajectoire de panache. Le taux de chlorures à Lonvialu n'est sensiblement pas plus élevé que celui de Port-Résolution qui est au vent et à l'opposé des directions privilégiées du panache. On peut admettre qu'une part des chlorures puisse venir des aérosols marins transportés par le vent.

LIEU /Altitude	PORT-RESOL	YASUR	NAYANA.	LOONIEL	LONVIALU	PORT-RESOL
DATE	40m	300m	100m	200m	550m	Source (50°-60°C)
	ON	ON		ON	ON	
Avr-92	9,25	38,35	ON	12,55	12,75	
Mai-92	9,60	36,20	*	11,60	11,70	
Jun-92	9,60	14,60	14,10	6,50	9,80	
Aoû-92	8,90	16,30	*	7,50	8,50	
Sep-92	11,40	16,90	25,40	12,30	8,90	
Nov-92	12,80	15,26	21,60	11,40	9,20	373
Moyenne 92	10,26	22,94	20,37	10,31	10,14	
Avr-93	9,00	19,10	22,50	12,60	8,70	345
Mai-93	9,24	18,80	22,10	14,20	8,80	
Jun-93	11,60	13,30	51,80	15,90	13,30	
Oct-93	17,60	21,60	33,30	17,70	11,70	
Moyenne 93	11,86	18,20	32,43	15,10	10,63	
Jan-94	7,30	6,70	18,70	7,70	10,50	
Mar-94	17,10	*	22,00	15,80	10,60	131
Mai-94	12,50	18,00	53,60	13,60	9,60	
Jun-94	*	18,60	50,60	*	*	155
Jul-94	12,50	17,00	28,20	9,80	*	
Aoû-94	25,90	31,20	73,30	28,50	25,70	
Nov-94	*	*	9,50	23,00	*	
Déc-94	*	*	8,60	23,90	*	
Moyenne94	15,06	18,30	33,06	17,47	14,1	

Légende : * : Non relevé

Tableau 2.2: Taux de chlorures à Tanna en mg/l

A la suite des passages de cyclones, les valeurs de chlorures sont nettement plus fortes :

Après "FRAN" en mars 92, on mesure à la station YASUR un taux de 38,35 mg/l de Cl⁻. Pourtant, pour les stations de Looniel et Lonvialu, bien que ce taux ne soit pas si élevé, on note le maximum de l'année. Quant à Port Résolution, le taux reste sensiblement stable. Cette zone reste peu affectée. Pour "PREMA" en avril 93, les taux sont élevés mais pas autant que pour "FRAN". Dans le cas de "PREMA", il y a une augmentation générale des taux de chlorures. Ces dépôts proviennent autant du volcan que des apports marins.

Après "SARAH" en Janvier 94, les mesures de mars 94 sont un peu plus élevées mais comme pour "PREMA", on ne peut rien faire ressortir de très évident.

Pour "USHA" en mars 94, idem, sauf pour la station YASUR qui a un taux élevé de 53,6 mg/l de Cl⁻.

2.2.3.3 - Les sulfates

D'après le Tableau 2.3, les taux de sulfates sont extrêmement forts pour les stations Nayanamakel, Yasur, puis Looniel et Lonvialu. Enfin les taux pour Port-Résolution restent relativement faibles. Nayanamakel étant sous le panache, et Yasur près du volcan, il paraît logique que ces 2 stations soient les plus affectées par les rejets de sulfates. Les mesures du taux de sulfates sont plus importants sur Looniel et vraisemblablement en rapport avec la forte activité de 1994. Les stations de Looniel et de Lonvialu restent affectées, et l'on note une influence sur les cultures.

Quant à Port-Résolution, elle ne semble pas être affectée par SO_4 , et il est rare de noter un taux plus élevé que 10 mg/l, sauf en mars 94 après le passage d'une dépression (vents Nord-Sud).

A la suite des passages des cyclones "FRAN", "PREMA", "SARAH" et "USHA", les taux sont élevés, et donc corrélables avec les fortes pluies pour les sites de Yasur et Nayanamakel. Il est difficile d'admettre que le SO_4 ait un grand impact sur la région de White Sand (Looniel-Lonvialu) car les fortes teneurs en SO_4 sont rares dans l'ensemble (mis à part novembre 94 avec 38,7 mg/l, forte activité du Yasur, et passage de "VANIA"). Les cyclones ne semblent pas avoir un impact très probant sur les données recueillies.

LIEU /Altitude	PORT-RESOL	YASUR	NAYANA.	LOONIEL	LONVIALU	PORT-RESOL
DATE	40m	300m	100m	200m	550m	Source (50°-60°C)
	ON	ON		ON	ON	
Avr-92		28,95	ON	7,15	26,35	277
Mai-92	5,2	29,6	--	7,6	27,7	
Jun-92	7,2	11,5	10,9	1,8	7,1	
Aou-92	7,2	13,9	11,1	2,8	8,6	
Sep-92	8,3	14,8	23,3	8,2	5,8	
Nov-92	9,12	18,7	24	10,1	7,8	
Moyenne 92	7,40	19,58	17,33	6,28	13,89	313
Avr-93	4,6	87,1	57,4	7,4	5,2	
Mai-93	5,3	18,8	50,9	7,7	6,2	
Jun-93	1,96	15,2	22,6	4,3	5,4	
Oct-93	4,5	38,2	47,9	11,2	10,1	
Moyenne 93	4,09	39,83	44,70	7,65	6,73	211 360
Jan-94	3,5	8,1	31,9	7,3	10,6	
Mar-94	11,6	*	50,3	13,1	18,3	
Mai-94	6,4	33,4	23,1	6,4	9,7	
Jun-94	*	17	51,8	*	*	
Jul-94	5,5	12,7	35,2	9,9	*	
Aoû-94	6,8	24,1	95	54,3	17,8	
Nov-94	*	*	17,6 **	38,7 **	*	
Déc-94	*	*	16,6 *	26,8 *	*	
Moyenne 94	6,76	19,06	40,19	22,36	14,10	

Légende : * : Non relevé ** : Pas de mesure de pluie

Tableau 2.3: Taux de sulfates à Tanna en mg/l

2.2.3.4 - Les nitrates

L'ensemble des valeurs des taux de NO_3^- relevés est faible. Il n'y a aucune corrélation avec les cyclones, ni même avec l'activité volcanique.

Le tableau 2.4 met seulement en valeur un très fort taux de nitrates à Port-Résolution à partir de janvier 94. Ces forts taux font plus penser à une pollution non naturelle. La présence de bétail autour de la station, associé surtout à la construction d'un aéroport gazonné avec utilisation d'engrais semble être l'origine de cette importante pollution.

LIEU /Altitude	PORT-RESOL	YASUR	NAYANAMAKEL	LOONIEL	LONVIALU
DATE	40m	300m	100m	200m	550m
Mai-92	ON	ON	ON	ON	ON
Jun-92	0,4	0,3	0	1,1	5,7
Sep-92	0,1	0,2	*	0,2	2
	*	0,23	*	0,3	1,68
Moyenne 92	0,25	0,24	0	0,53	3,13
Avr-93	1,16	*	*	0,13	7
Jun-93	0,26	*	*	0,08	3,03
Oct-93	3,1	0,3	0,1	0,1	2,8
Moyenne 93	1,51	0,30	0,10	0,10	4,28
Jan-94	54,7	0	0,1	0,1	8,3
Mar-94	6,1	*	0,05	0,15	2
Mai-94	1,4	0,23	0,04	0,13	1,3
Jun-94	53	1,2	0	*	*
Jul-94	55,4	6,1	1,2	6,6	*
Août-94	64,2	8,9	0,6	0,4	7,1
Nov-94	*	*	0,4	0,9	*
Déc-94	*	*	0,3	0,7	*
Moyenne 94	46,96	4,11	0,34	1,28	4,68

Légende : * : Non relevé

Tableau 2.4. : Taux de nitrates à Tanna en mg/l

2.2.3.5 - Les sols

Les sols de Tanna sont considérés comme riches. Formés sur une roche mère volcanique, la majorité des sols de Tanna sont des andosols plus ou moins désaturés.

Plusieurs échantillons ont été prélevés dans deux endroits différents. Les premiers prélèvements ont été effectués au cours du mois d'août 1994 dans la région de WhiteSand. Les analyses ont été réalisées le 5.09.94 au Laboratoire LFS - ORSTOM Bondy (France) par P. Quantin.

Analyse du pH et des anions en solution

Extrait 1/5 sur 5 g de sol soit 1 g sol pour 5 g eau d'où 25 ml eau

Échantillon		pH e.a.	CO3 mg/l	Cl mg/l	NO3 mg/l	SO4 * mg/l
1.	Jardin de Manioc	5,27	24,41	31,80	46,05	64,70
2.	Site 2	5,34	21,36	40,65	108,40	49,55
3.	Site 3 jardin	6,41	295,95	46,50	62,35	54,45
4.	Nayanamakel	4,39	0,00	25,60		118,90

* : SO3, SO2 n'ont pas été dosés par la méthode de chromatographie ionique utilisée.

pH e.a. : Résultats du pH de la solution du sol en extrait aqueux et des anions en solution. Le pH varie de 4,4 à 6,4. Il est généralement acide pour ce type de sol. L'acidité augmente avec la quantité de SO4, qui provient sans doute des rejets soufrés du volcan. Elle est mentionnée par la présence de carbonate (peut-être du à un chaulage?) dans le site n°3.

Analyse de N, C et S

Résultats en équivalent pour 100 g de sol X 1/2 soit en mg/100g (m.e.).

		N (azote) en % sol sec	C (carbone) en % sol sec	S (soufre) en % sol sec
1.	Jardin manioc	0,1112849	1,050854	0 *
2.	Site 2	0,3978025	4,063214	0 *
3.	Site 3	0,3140718	2,854772	0 *
4.	Nayanamakel	1,450582E-02	4,688764	0 *

		C/N	M. O.
1.	Jardin manioc	9,443	1,812
2.	Site 2	10,215	7,005
3.	Site 3	9,089	4,922
4.	Nayanamakel	323,23 (?)	8,083

* : Le soufre total n'a pas été mis en évidence par cette méthode (CHNS, combustion). On trouve quelques traces de soufre, mais le soufre est en fait non dosable dans le sol global, mais seulement dans la solution.

Le carbone et l'azote sont en % de sol sec. En multipliant par 1,724 le carbone organique, on obtient la valeur de la matière organique globale du sol. Le site 2 et le site de Nayanamakel sont donc les plus riches en matière organique.

On peut calculer le rapport C/N qui nous renseigne sur la richesse de l'humus en azote. Ce rapport est d'environ 10/1 pour les trois premiers sites mais bien plus supérieur pour le n°4 (autour de 300).

On peut dire que pour les trois premiers sites, la matière organique est bien décomposée. Quant au site de Nayanamakel, on ne peut conclure car le rapport C/N=300 est inexploitable.

Un deuxième échantillonnage a été effectué dans la région de Centre Brousse avec double prélèvement à 20 et 40 cm au cours du mois d'avril 1995. Les analyses ont été effectuées par le Laboratoire de Chimie ORSTOM-Nouméa le 31.05.95 par J.L. Duprey. Ces échantillons proviennent de la région centre de Tanna, assez éloignés du volcan. Les parcelles de prélèvements servent de cultivars de café.

Acidité, humidité du sol et matière organique

	M.O. %	pF (%)			pH		C/N
		2,5	3	4,2	eau	KCl	
Tan4 20	3,97	21,21	18,61	11,78	6	5,45	12,2
Tan4 40	3,37	24,43	12,55	12,65	6,05	5,45	12,4

Ce sol est faiblement à moyennement acide pH= 6 et, est confirmé par les mesures en sonde KCl. Résultats moins acide que les échantillons 1, 2 et 3.

Le taux de matière organique est avoisinant les 4 % en surface et décroît légèrement en profondeur. Le rapport Carbone - Azote est plus intéressant : C/N, il est fort et il est de 12,2 à 12,4 en profondeur. Ce sol est riche et bien décomposé.

L'humidité maximum, soit la capacité de rétention de ce sol est bonne (pF 2,5 = 21,21%) et augmente légèrement en profondeur. L'humidité équivalente (pF = 18,6%) est forte en surface, mais diminue en profondeur (12,65%). Quant au point de flétrissement il est faible (PF=11,78%) mais les racines des plantes ne peuvent pas résister à une sécheresse prolongée à 40 cm (pF 4,2 = 12,65%).

Analyses des cations et de la capacité d'échange de l'échantillon : "Tanna4 40"

	Ca meq %	Mg meq %	Na meq %	K meq %	CEC meq %
meq %	8,99	1,92	2,32	0,15	16,3
mg %	179,8	23,04	53,36	5,85	

Ce tableau d'étude de la capacité d'échange, nous donne une partie des cations en milliéquivalents pour 100 g de sol. Les résultats obtenus ne concernent que les mesures à 40 cm, l'échantillon "Tanna4-20" à 20 cm étant épuisé.

La capacité d'échange est moyenne avec 16,3%. Pourtant si l'on regarde les rapports entre les cations, ils ne sont pas toujours équilibrés.

Ca meq % / Mg meq % = 4,68. Ce taux est normal mais tend à être insuffisant.

Mg meq % / K meq % = 12,8. Rapport très équilibré proche de 11.

Ca + Mg meq % / K meq % = 72,3. Le rapport est beaucoup trop fort, nettement supérieur à 40-50.

Dans l'ensemble ce sol est bon et fertile. Il contient des éléments relativement équilibrés et aucune carence est notée.

A la vue des résultats de ces échantillons de sols de Tanna, on remarque que l'ensemble des données indique une bonne fertilité du sol. On constate qu'ils sont plus affectés près du volcan, pH plus acide, pourtant l'humus y est bien décomposé. D'une manière générale ces sols sont des andosols, ils se sont formés sur la roche mère volcanique (basalte) et sont plus ou moins désaturés. Plus les andosols sont désaturés, plus ils deviennent riches et fertiles. Les sols des îles-volcans du Vanuatu n'échappent pas à cette règle.

On ne peut pas dire que ces sols soient affectées par les pluies acides dans l'ensemble. Il reste quand même certain que les sols étudiés proche du volcan, échantillons "1.Jardin de manioc", "2.Site2" et surtout "4.Naya" sont affectés par les pluies acides. Le sol est nettement plus acide et les éléments fertilisants dénaturés voire manquants. Donc aux abords du volcan, il paraît clair que les retombées cendreuses associées aux pluies portent préjudices aux sols et donc aux cultures.

2.2.3.6 - Les cendres

Enfin pour lever le doute quant à l'utilité ou non des cendres sur la végétation, un échantillon de cendre, prélevé au pied du YASUR, a été analysé.

Un prélèvement a été fait le 03 août 94 par D. Buisson et un autre par mes soins le 01 novembre. Les mesures ont été effectuées par le laboratoire de Chimie de l'ORSTOM à Nouméa (dossier n°454 - 1995)

Résultats CENDRES : échantillons 1Y et 2Y

	Ca	Mg	Na	K	CEC
1Y (03/08)	0,00	0,00	0,13	0,06	-0,2367
2Y (08/11)	0,28	0,00	0,00	0,10	0,0379

Comme on peut le constater, ces résultats n'apportent pas grande confirmation quand à une éventuelle richesse des cendres "fraîches". Il n'y a quasiment aucune interprétation à en déduire. Pour 1Y, ces cendres ne proviennent pas d'un matériau neuf donc elles ont été légèrement lessivées, de ce fait les cations échangeables peuvent avoir tout simplement migré et disparus. Ce qui expliquerait le résultat aberrant et impossible de la capacité d'échange (CEC).

On regrette le manque de mesures de pH, et de sulfates de ces cendres, qui nous auraient renseignés sur l'acidité et l'attaque des feuilles.

Comparés à un sol, ces résultats montreraient une énorme carence et un déséquilibre entre les cations échangeables. Les cendres jouent définitivement un **rôle inhibiteur** sur tout l'aspect végétal. Plus le volcan rejette des cendres, plus elles stopperont la croissance végétale par étouffement pur et simple. On comprend pourquoi la région de Whitesands souffre tant de l'acidité du volcan. Ceci n'enlève rien à la richesse du sol.

2.3 - IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT D'Aoba (AMBAE)

2.3.1 - Méthodologie

Le cas d'Aoba est intéressant à traiter car il y a une dégradation du milieu environnant et surtout du milieu végétal. Pour en apprécier l'impact, il faut reprendre l'ensemble des observations (photographies, textes, témoignages), de façon exhaustive. La zone sommitale du volcan d'Aoba est un endroit difficile d'accès. Pour l'atteindre, une montée de plusieurs heures est nécessaire au travers d'une forêt dense et difficilement pénétrable. De ce fait une analyse systématique de cette zone située à 1400 mètres, loin de toute habitation, est impossible. Seules quelques missions ou grands randonneurs ont eu la chance d'observer la caldeira. Le meilleur outil d'observation reste l'observation aérienne.

Une récente mission en hélicoptère les 26 et 27 juin 1995, nous a permis de ramener des informations pour étudier et pour observer l'impact actuel de ce volcan. Cette mission nous a aussi permis d'échantillonner pour la première fois les eaux du lac du cratère Manaro Voui.

2.3.2 - Observations

Missions d'observation

L'ensemble des observations de la zone sommitale, qu'elles entrent dans un cadre scientifique ou non, nous permettent de retracer dans un premier temps l'évolution historique.

* 1970 : Visite du géologue WARDEN qui constate que le lac est acide et que "vu d'avion, on peut découvrir au milieu du lac des tâches claires". "Ces tâches blanches indiquent la présence de fumerolles au fond du cratère". Les deux îlots du lac sont eux aussi entièrement recouverts d'une épaisse végétation. L'eau du lac Manaro est "potable et convient à la vie de quelques grenouilles". Toutefois la bordure Est de ce lac est recouverte d'arbres morts. La solfatare qui est sur le côté Sud de ce lac est active.

* Juillet 1986 : Les photos prises à cette époque nous montrent une végétation luxuriante, verte et dense sur les îlots et les abords du lac (P.GARDISSAT).

* Juin 1991 : Mission de M. MONZIER . Les photos du cratère sommital, c'est à dire du lac Voui montrent que la végétation du pourtour du lac ainsi que celle des deux îlots est roussie. Ceci est dû à un important dégazage de SO₂ (MONZIER, 1995). Accès au lac Manaro Lakua : arbres morts dans l'eau, solfatare active.

* Mars 1995 : Alors que le lac Voui dégaze et s'évapore très visiblement (fumée dense apparente), l'avion de reconnaissance de la Royal New Zealand, mission ORION, rapporte des photos sur lesquelles on constate une augmentation de la végétation roussie, tout autour du lac Voui et dans la caldeira. Les îlots sont moins boisés qu'en 1991. La végétation est moins dense. Le lac est chaud , il y a une forte évaporation, de plus la végétation est "calcinée" (par la chauffe créée par le système) et très certainement brûlée par des émanations de gaz acides, soufrées vraisemblablement H₂S, SO₂ et HCl.

* Juin 1995 : Suite à la mission du 26 et 27 Juin (M. LARDY, P. WIART, C. DOUGLAS) en annexe III, on a constaté, malgré un couvert nuageux assez important, que la végétation est totalement "calcinée" aux alentours proches du lac Vouï. La zone à l'extrémité Est de la caldeira est partiellement roussie. Elle est sous le vent dominant, et l'odeur de soufre y est très nettement ressentie.

Le milieu végétal est donc fortement dégradé radialement autour du lac Vouï sur la quasi totalité de la caldeira (grand axe = 5,7 km; petit axe = 5,0 km). La végétation de la partie sommitale de l'île d'Aoba que forme cette caldeira est touchée par l'atmosphère acide qui y règne. Quand aux abords du lac de cratère Vouï et sur les îlots, la végétation est amplement brûlée, "calcinée". A noter que sur les îlots, les troncs d'arbres sont morts, secs et pour la plupart couchés voir arrachés. De plus dans les zones de ruissellement (de la pluie ?), formées en contre bas sur la terre nue, on a noté la présence d'herbacée et de mousse, jeunes pousses récentes.

2.3.3 - Résultats

Résultats de l'échantillonnage

L'échantillonnage a été effectué sur l'îlot Ouest du lac Vouï. Les références des échantillons se rapportent à divers prélèvements effectués dans la partie Nord-Ouest (A#1; A#2) et Nord-Est (B#5, C#8) de l'îlot (zone récemment découverte par la baisse du niveau d'eau). On constate d'une manière générale que la variabilité des résultats est très faible et qu'ils sont homogènes pour l'ensemble des analyses effectuées.

Cf. Annexe III- Rapport de mission sur Aoba (Ambae) les 26 et 27 Juin 1995. Résultats de l'échantillonnage et Carte 2.2 de l'îlot page précédente.

Les résultats analyses d'eau du lac Vouï - 27 / 06 / 95, tableau 2.5, ont été réalisés par le Laboratoire de Chimie du centre ORSTOM - Nouméa. Dossier N°506 - Réf. dossier : LAC VUI.

La température de surface mesurée varie entre 38°C et 42°C, et en certains endroits, la température de l'eau dépasse les 66°C. L'eau du lac est donc chaude en surface, expliquant l'évaporation observée sur toute la surface du lac. Pour des températures aussi chaudes en surface, la température en zone profonde doit être nettement plus élevée.

Acidité : Les valeurs de pH trouvées sur l'ensemble des échantillons sont toutes homogènes. Le pH est de 2,25. L'eau est fortement acide. On peut donc parler de 'lac acide'.

Anions et cations : La somme des anions et des cations est très élevée, ce qui explique bien la très forte conductivité mesurée : en moyenne 19 millisiemens. Les taux sont forts dans l'ensemble.

DATE: 27/07/95

LABORATOIRE D'ANALYSES - ORSTOM NOUMEA

RESULTATS D'ANALYSES D'EAU

DOSSIER N° :506

AB :1430092

DEMANDEUR :M.LARDY

REF.DOSSIER:LAC VUI

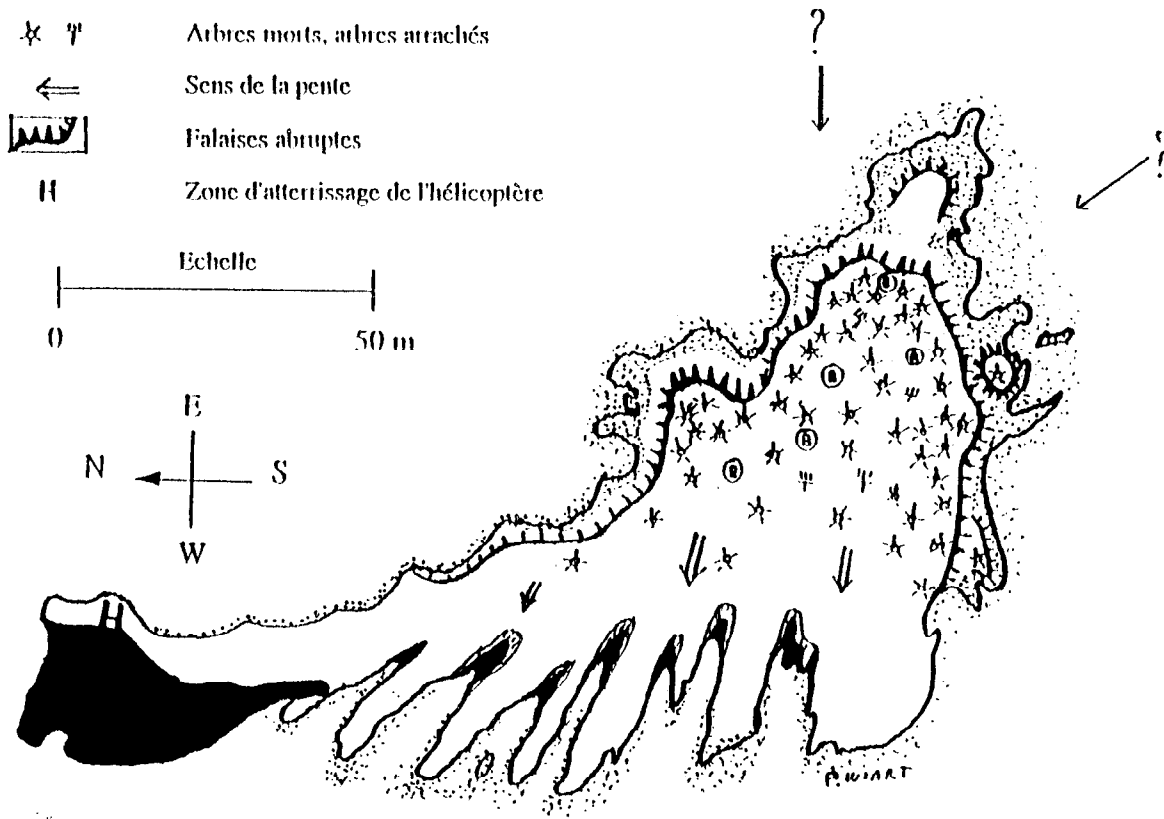
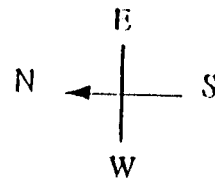
N° LABO	REFERENCES ECHANTILLON	pH	EC mS25°C	Cl mg/l	SO4 mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Somme anions	Somme cations	NO3 mg/l	PO4 mg/l	SiO2 mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Ni mg/l	Al mg/l
1	A # 1	2.20	20.200	89.00	186.00	14.10	160.85	46.65	11.13	275.0	267.4	0.00	9.50	560	433	80.6	0.39	76.6
2	A # 2	2.23	19.730	95.00	178.00	14.35	160.62	46.05	10.96	273.0	266.5	0.00	8.80	560	433	73.5	0.39	77.2
3	B # 5	2.26	19.450	91.00	178.00	14.47	153.83	43.42	11.21	269.0	256.4	0.00	8.40	554	420	72.2	0.37	74.8
4	C # 8	2.27	18.700	90.00	171.00	14.44	152.93	42.58	11.72	261.0	254.6	0.00	7.30	548	414	71.2	0.35	73.3

Tableau 2.5 : Résultats des analyses d'eau du lac Vui - Aoba

LÉGENDE

-  Dépôt de boue grise fraîche
-  Bloc de boue gris sec
-  Dépôt de soufre (couleur jaune intense)
-  Origine supposée des projections des blocs de boue gris sec
-  Arbres morts, arbres arrachés
-  Sens de la pente
-  Falaises abruptes
-  Zone d'atterrissage de l'hélicoptère

Echelle
0 50 m



Carte 2.2 : Ilot Nord du lac Vouï, le 27.06.95

Carte 2.2 : North island in Vui lake, the 27.06.95

Les chlorures dont le taux moyen est de 92 meq/l est nettement plus fort que dans l'eau de pluie acide récupérée sur les stations de Tanna. Pour comparaison, il est beaucoup plus élevé, 3266 mg/l qu'un taux d'une eau de source géothermale près de Port-Résolution, pour laquelle on note 345 mg/l. Les résultats des chlorures sont très forts pour la masse d'eau présente, bien que le volume soit inconnu.

Les sulfates sont aussi importants. Ils s'échelonnent entre 171 meq/l et 186 meq/l. Cette forte concentration, 8640 mg/l, explique le dépôt clair soufré sur les couches immergées.

Les phosphates sont relativement faibles, mais leur présence n'est pas vraiment attendue ici. Le taux de Mg est très fort il est de 160 meq/l ainsi que les taux de silice et de fer. L'ensemble éléments minéraux ont une forte teneur relative tels Al : 75 mg/l, Mn : 80,6 mg/l. Quelques traces de nickel sont mises en valeur par les analyses.

L'ensemble des éléments minéraux présents dans cette eau la caractérise spécialement comme une eau d'origine "volcanique". La concentration de ces constituants dissous est associée au système volcanique, de chauffe et de remous par dégazage, tel qu'il est établi dans le lac Vui. Il se produit des décompositions des sels minéraux comme du silicates de sodium (SiNa) ou du silicates d'aluminium (SiAl). Les éléments présents dans cette eau montrent bien leurs origines minérales dont leurs formes solides sont SiO₂, Al₂O₃, FeO, MnO, MgO et autres allophanes. L'oxyde de silicium, ou silice, est la plus forte teneur des composants de cette eau, il provient de la décomposition et de la dégradation des roches volcaniques en profondeur. Il y a une altération de ces roches due soit au système de dégazage soit dû au moment de l'explosion phréatique du 3 mars.

Ces résultats sont facilement comparables aux autres lacs acides que l'on connaît. On peut rapprocher le Lac Vouï avec le lac de cratère du Kawah Idjen, le "lac de cratère vert" (Java, Indonésie). Ce lac fait 36 millions de mètres cubes, et est rempli de minéraux que l'on estime à 1,3 million de sulfate d'aluminium, 600 000 tonnes d'acide chlorhydrique, 550 000 tonnes d'acide sulfurique, etc (KRAFT). De même l'un des lacs de cratère du Kélimutu (Florès, Indonésie) est riche en gaz sulfureux et en sels ferreux verdâtres qui lui donnent une couleur turquoise.

Enfin, on a des teneurs assez équivalentes avec des sources d'eau géothermale provenant du complexe volcanique du Nevado del Ruiz (Colombie). Les teneurs sont quasi-équivalentes, soit de 155 à 206 meq/l en SO₄²⁻ et de 11,60 à 13,85 meq/l en Ca²⁺ (STURCHIO *et al*, 1989).

Ce lac fait donc partie des lacs acides. Son évolution est accélérée depuis quelques temps par un processus de réveil volcanique. Il serait extrêmement intéressant de connaître son volume et de mesurer de nouvelles caractéristiques chimiques de cette eau à différentes profondeurs, ce qui reste techniquement difficile à réaliser.

2.4 - SYNTHESE

Dans l'ensemble l'impact des volcans est régional. On ne peut pas généraliser l'impact, il faut approcher les problèmes d'impact cas par cas. Ainsi le but étant de prévoir le risque au sens préventif et essayer de gérer ce risque. En effet pour Aoba, la crise volcanique n'est pas finie. Les conditions tectoniques régionales sont responsables de la reprise d'activité de ce volcan (CALMANT *et al*, sous presse). Le système est instable, la 'crise d'Aoba' de mars 1995 n'est sans doute que passagère. De ce fait la situation n'est pas stable en terme de risque pour les habitants de cette île. Il faut donc informer, envisager et de ce fait préparer la population à d'autres manifestations volcaniques. Cette gestion du risque doit être associée à une gestion scientifique préventive, afin d'atténuer ou d'empêcher les effets sur la population.

3. GESTION DU RISQUE

L'ensemble des volcans représente un danger potentiel pour les populations du Vanuatu. La gestion du risque liée aux volcans apparaît comme nécessaire. Le Bureau des Désastres Nationaux du Vanuatu (NDMO) est chargé de la gestion de l'ensemble des risques naturels susceptibles d'affecter le Vanuatu. Il se doit d'être capable de mettre en place le nécessaire d'intervention en gestion pour aider les populations locales.

Dans cette troisième partie, nous allons donc décrire les dispositifs de surveillance automatique mis en place par l'ORSTOM sur quelques volcans du Vanuatu depuis 1992. Nous analyserons un cas de gestion récent, celui d'Aoba (mars 95), et les conséquences économiques qui peuvent résulter d'une crise volcanologique.

3.1 DISPOSITIF DU SYSTEME DE SURVEILLANCE

3.1.1 - Dispositif sismologique

L'ensemble du dispositif de sismologie des observatoires permet de localiser les principaux séismes et d'en trouver leurs magnitudes. Ces mesures sont associées à celles des observatoires de Nouvelle Calédonie et celle du réseau de l'USGS (United States Geological Survey).

Les stations d'enregistrements sismologiques sont au nombre de 6 en 1995 (courtes et longues périodes confondues).

➤ 1 station à Tanna, dont les données numérisées sont enregistrées sur bande magnétique.

☞ 3 stations à Efate:

- une sur les hauteurs de la butte à Klem (BKM)
- une à la pointe du diable (DVP)
- une à Port-Vila au sein du bâtiment ORSTOM/Département des Mines et de la Géologie du Vanuatu. Des contrôles graphiques permanents sont réalisés sur des enregistreurs à tambour.

☞ 1 station à Luganville (Esperito Santo) dont les données numériques enregistrées sur un disque optique sont expédiées régulièrement sur Port-Vila.

Ce système est complété par une station au Sud-Ouest d'Ambae (entre Walaha et Red-Clif) au point géographique 535. Les données étaient télémétrées vers Santo jusqu'en 1994, lorsque la foudre est tombée dessus. Prochainement, à la fin de l'année 1995, une station devrait être montée à Malicollo, permettant ainsi une triangulation des mesures, et donnant ainsi des mesures plus précises de localisation. Les mesures actuelles permettent une détection des épicentres dans une zone géographique de 5 km² de forme ellipsoïdale. Une triangulation permettra une meilleure détermination d'emplacement et de positionnement d'épicentre de séismes ainsi que de leurs magnitudes.

Tout l'ensemble du système sismologique ne travaille pas en temps réel, seule la partie Courtes Périodes travaille en temps réel. Pour le reste, les disquettes voyagent par la poste, donc avec au moins un jour de retard. Mise à part les tambours qui notent l'activité en temps réel, il n'existe pas d'interprétation immédiate. Une transmission par voie téléphonique (via un modem) est en cours d'installation. A Port-Vila, l'ensemble des paramètres enregistrés, et ceux de Santo, permettent de localiser l'épicentre. L'île concernée peut ainsi être prévenue d'une éventuelle deuxième secousse, la réplique, qui est souvent à une magnitude de 1,5 en dessous de la première. Ceci peut faire deux tremblements de terre assez fort, le deuxième provoquant des dégâts sur des édifices ébranlés à la première secousse.

Après la localisation du séisme, et de la zone 'dangereuse', le sismologue prévient le Bureau des Désastres, le Directeur de la Géologie et des Mines et le Représentant de l'ORSTOM au Vanuatu. Ainsi une information unique est diffusée par des représentants "officiels" du pays.

3.1.2 - Dispositif volcanologique

Suite aux travaux de l'équipe de volcanologie de l'ORSTOM à Port-Vila, un système de surveillance a été mis en place en 1992. Il s'agit d'un système testé sur les îles-volcans Matthews et Hunter, qui associe la robustesse à la fiabilité.

Le meilleur accès aux mesures physico-chimiques (paramètres géophysiques ou géochimiques perceptibles en surface) sur des sites isolés, comme le sont la plupart des volcans du Vanuatu, passe par l'utilisation de techniques spatiales qui offrent l'avantage d'alléger les dispositifs de transmission et d'enregistrement des données. Ces techniques permettent de combiner une veille permanente et d'assurer, si nécessaire, le pilotage d'investigations plus lourdes et approfondies à la fois pour mieux comprendre le fonctionnement du volcan, et pour pouvoir intervenir en période de crise.

L'ensemble méthodologique de télé observation comprend des outils de terrain (SADAN-TSA...), un système de collecte de données (ARGOS) et une banque pour la gestion des données (CTIV). Chacun des systèmes est parfaitement opérationnel. Le système d'acquisition de données (SADAN) est détaillé dans la figure ci-dessous 3.1.

Une station de surveillance est installée près d'un volcan, et transmet les données via un satellite à une ou plusieurs stations de réception et de traitement de données. L'utilisation du satellite est certes une solution onéreuse mais permet l'étude des sites d'accès difficile. Ces stations utilisent le système de transmission de type ARGOS qui récolte les informations à un moment précis et les re-émet à un satellite lors d'un passage de celui-ci au dessus d'une antenne émettrice. Les données récoltées par ces stations sont des mesures de comptages sismologiques locales, propres à un édifice, tels les tremors, ainsi que le flux de chaleur au sol.

Les données enregistrées sont transmises, par le satellite ARGOS, six fois par jour, vers Port-Vila (ORSTOM) et à Toulouse (Centre de réception ARGOS).

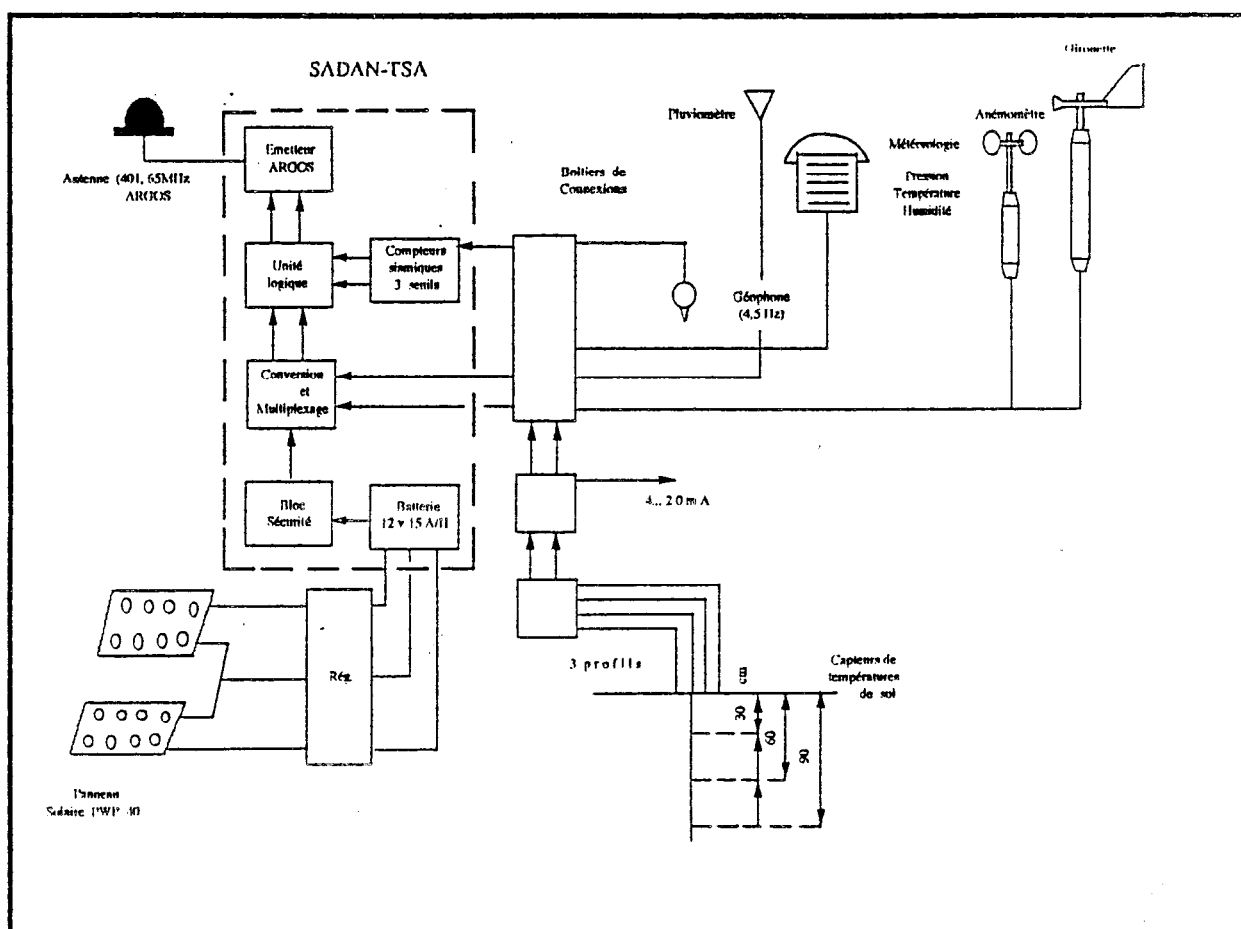


Figure 3.1 : Synoptique d'une station de terrain à Tanna (Nayanamakel)

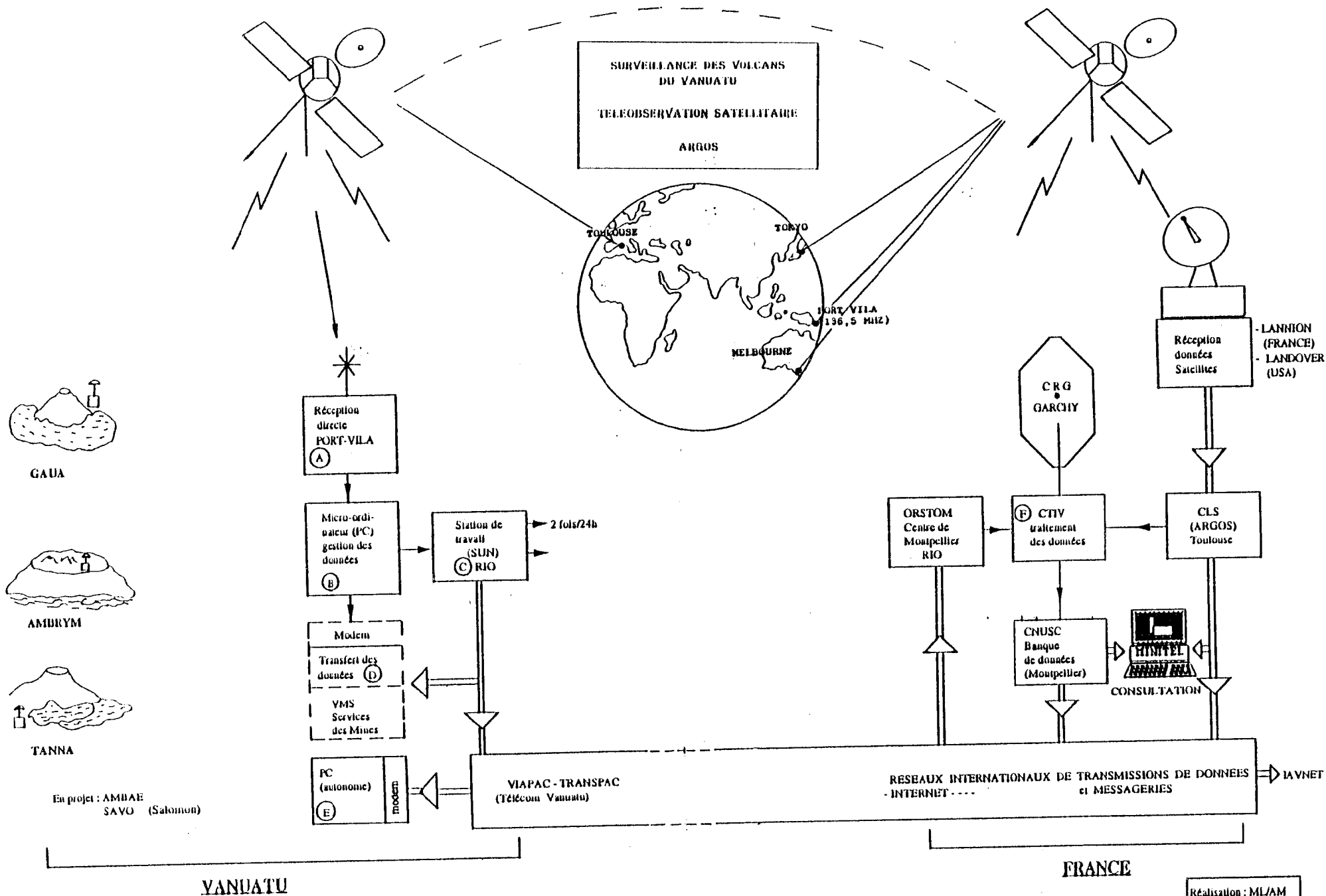


Figure 3.2 : Synoptique de la surveillance des volcans du Vanuatu et du système bouclé des données recueillies.

Réalisation : ML/AM

De plus ces stations sont équipées de capteurs météorologiques qui mesurent la direction du vent et la pluviométrie. Trois îles sont équipées de ce système : GAUA, AMBRYM, TANNA. A la fin de l'année 1995, l'île d'Ambae pourrait être équipée de deux systèmes identiques, l'un dans la caldeira à proximité du cratère lac NGORO et l'autre sur un des îlots du lac de cratère VOUI. Depuis le 27 juin 1995, Ambae a une station à flanc de montagne à 4 km du lac de cratère Vouï, qui transmet en 'vue directe' sur Santo un signal sismologique par télémetrie. Le récepteur de Santo peut ensuite soit renvoyer le signal sur une sortie graphique, soit l'enregistrer sur le micro-ordinateur du CP.

La figure 3.2 ci-contre montre que le système est bouclé, puisque, mise dans une banque de données au CNUSC à Montpellier, les données sont consultables par le biais de réseaux télématiques, et donc par le centre de Port-Vila, pour vérification.

3.1.3 - Responsabilité

Le premier Plan d'Urgence et de Désastre National établi en 1984 a été remis à jour après les cyclones des années 91 et 92 par le Bureau des Désastres Nationaux (National Disaster Management Office : NDMO) qui est à la charge de la gestion des risques et qui est rattaché au Ministère de l'Intérieur. Le rapport National Disaster & Emergency Plans - 1994 (derniers en date) fait part de la responsabilité du pays face à une catastrophe naturelle. Il stipule, page 2 (originellement en Anglais), que :

7. La Politique du Gouvernement adoptée par le Gouvernement du Vanuatu est:

A - De reconnaître les problèmes de désastres comme une responsabilité totale du Gouvernement, et de faire de son mieux pour les traiter.

B - De reconnaître les étapes de Prévention, de Préparation, de Réponse et de Recherches du Bureau des Désastres comme les éléments essentiels du développement national.

C - De développer une attitude d'entraide au sein de la communauté au moyen de l'Éducation Publique et des programmes de Prévention.

Rien n'est stipulé quant à la responsabilité scientifique elle-même. Rappelons que suite à la crise sismique d'Ambae en décembre 1994 (cf. § 3.2), lors de la réunion du 1er mars à l'Hôtel de Police, le Directeur du Bureau des Désastres Naturels, Knox KALKAUUA a demandé à l'unique organisme technique présent, c'est à dire à l'ORSTOM, une plus grande collaboration en matière de surveillance des volcans (voir Annexe IV). Il s'avère en effet que l'ORSTOM au Vanuatu qui collabore avec le Département des Mines, de la Géologie et des Ressources en eau, à en charge la surveillance des volcans suite au programme d'étude et de surveillance des volcans commencé en 1991. L'ORSTOM assure la formation et assure une partie des transferts de responsabilités. Il s'avère être le seul à pouvoir porter un jugement scientifique quant à une éventuelle éruption volcanique.

Le rôle du scientifique, et dans ce cas de l'ORSTOM, est donc prédéterminant et de ce fait responsable scientifiquement. C'est pour cela que la responsabilité de l'ORSTOM se situe au plan moral puisqu'il est de toute manière 'couvert' d'un point de vue politique.

Un problème de base se pose pour l'ORSTOM, c'est le fait de savoir qui est responsable de la gestion du risque volcanique. Car c'est un problème crucial en cas de reprise d'activité, cas de la 'crise d'Ambae'. Comment discerner la part de responsabilité entre le scientifique et le politique. Car l'affaire est importante, lorsque il s'agit d'évacuer ou de faire déplacer ou même de prévenir la population d'un risque possible sur une île peuplée de 8000 habitants.

La responsabilité d'un système de surveillance est énorme, en effet, elle peut créer, dans le cas d'un déplacement de population, une perturbation sociale et économique locale dont les conséquences peuvent influencer le reste du pays. De même, une confusion peut apparaître dans les différentes interprétations scientifiques, et être de ce fait mal véhiculé au sein de la population locale.

La fiabilité des données scientifiques de l'ORSTOM est intrinsèque. Ainsi la rigueur scientifique du groupe de recherche en fait une valeur de référence. Si son point de vue ne peut être discuté, quoique intrinsèquement peuvent apparaître des interprétations divergentes, l'interprétation finale liée à un stade décisionnel n'est pas facile à évaluer. Il faut donc interpréter avec un regard plus 'ouvert', et tenir compte du facteur humain.

Il est important de nuancer l'information scientifique et de l'explicitier puisque de l'interprétation de l'Institut, explicitée par le biais de son Représentant, va découler l'action du Gouvernement par le biais du NDMO. Il faut alors se rappeler des nuances entre, par exemple : "mettre en garde", "préparer", "déplacer" et "évacuer", et que les conséquences de leur emploi sont énormes, et n'ont pas le même impact sur la population.

A ce sujet J. TOMBLIN fait remarquer au scientifique volcanologiste dès 1979 que :

"La responsabilité finale, que doit se rappeler le volcanologue et si nécessaire le rappeler aux autorités civiles, est que la décision d'évacuer n'inclut pas seulement l'estimation d'un nombre de probabilités de risques mais aussi le contre-coût économique et social des conséquences d'une évacuation".

Ce qui pousse l'actuel Chef de la Branche de Réduction des Désastres du Département des Affaires Humaines de l'ONU de conclure par le fait qu'une équipe **multidisciplinaire** est nécessaire pour prendre une décision au delà des limites d'un risque acceptable.

L'expérience de la 'crise d'Aoba (Ambae)' a d'ailleurs montré, et favorisé le regroupement des informations entre les scientifiques (ORSTOM) et l'exécutif (NDMO). De ce fait la collaboration, surtout au niveau de l'information, est devenue primordiale et active. Un travail bilatéral a donc été rendu possible, avec surtout un travail sur la communication.

Un pays en voie de développement comme le Vanuatu a besoin de la coopération d'organismes extérieurs. Loin d'être aussi développé que l'Italie par exemple, le Vanuatu ne peut se permettre de "quadriller" l'un de ses volcans à grand renfort de stations de surveillance. Il faut donc que l'aide des pays extérieures se développe en coopération avec le Vanuatu.

Le Vanuatu n'a pas encore les potentialités scientifiques pour gérer une crise volcanique par exemple. L'ORSTOM est en train d'assurer un transfert technique. La phase de formation scientifique devrait faire partie des objectifs de cette décennie au sein du programme de l'ONU, l'IDNDR (Décennie Internationale de la Prévention des Catastrophes Naturelles). Mais compte tenu de la taille des petits états du Pacifique Sud, on peut penser qu'une mise en commun des moyens associés à une aide internationale soit la meilleure solution pour aborder l'an 2000. L'UNDHA (ONU), le WOVO (World Organisation of Volcano Observatories) semblent favoriser cette approche, et oeuvrent pour le développement de cette idée à un niveau régional tel le rapprochement de la surveillance des risques pour les pays mélanésiens par exemple: la Papouasie Nouvelle Guinée, les îles Salomon, le Vanuatu, Fidji, la Nouvelle Calédonie.... On essaye donc de régionaliser la surveillance et ce pour plusieurs raisons: réduction des coûts pour les petits pays, uniformisation technique, diminution des pannes, multidisciplinarité, gestion des données en commun pour favoriser les prises de décision etc...

3.2 GESTION D'UNE CRISE MAJEURE : CAS D'Aoba (AMBAE)

3.2.1 - Méthodologie / Données de base

3.2.1.1 - Géographie et Population

Le volcan d'Aoba est le plus volumineux du Vanuatu. Culminant à 1400m, la caldeira aplatie contient deux lacs dont le lac de cratère Vouï (cf. §1.2).

L'île se situe entre Esperito Santo et Maëwo, entre l'arc oriental et l'arc occidental. Sur l'île peuplée d'environ 9 000 habitants (95), les villages sont répartis autour de l'île, sur les parties basses côtières. D'un point de vue géographique, les villages ne peuvent s'établir sur les parties Sud-Est et Nord-ouest du cône étant donné le degré de la pente: 20% ou plus (DUBREIL,95). Les pentes plus douces Sud-Ouest et Nord-Est, ne sont pas habitées et correspondent à la ligne de faille.

On distingue 3 grandes zones fortement peuplées : la région de NDUI-NDUI à l'Ouest Sud-Ouest de l'île (aéroport: Walaha); puis en remontant au Nord Nord-Ouest : les régions de LOMBAHA, LOLOVINUE et LONGANA (aéroport: Longana), et la région Sud de LOLOKARO (aéroport Red Clif).

Ajoutons à cela, des petits villages côtiers entre Ndui-Ndui et Lombaha, et le long de la côte Est jusqu'au Sud : Lolokaro (Red Clif).

Aucune route ne ceinture l'île, il existe donc 3 zones isolées d'où trois aéroports.

3.2.1.2 - Historique de la crise

Durant les 5 et 6 décembre 1994, les habitants de l'île d'Aoba (Ambae) ressentent des secousses assez violentes causées par des tremblements de terre. La crise sismique se calme, et est d'abord localisée près des côtes Sud d'Aoba. Le géologue M. Monzier demande au Bureau des Désastres de passer en phase d'alerte. Une mission en hélicoptère permet de vérifier que le haut du volcan d'Ambae est "tranquille". Aucun signe extérieur d'activité est noté mis à part l'extension des zones brûlées. Toutefois, le mauvais temps entraîne des difficultés d'observation. La surveillance sismique se poursuit le long des mois de décembre, janvier et février. L'analyse des séismes ne les associe pas à des phénomènes volcano-sismologiques. Le 1er mars se déroule à l'Hôtel de Police de Port-Vila une réunion entre le Bureau des Désastres, l'ORSTOM, le Département des Mines et de la Géologie et le Chef de la Branche de Réduction des Désastres du Département des Affaires Humaines de l'ONU (UNDHA-Genève). Suite à cette réunion, le rapport des tremblements ressentis à Ambae en décembre leur est remis par l'équipe sismologique de l'ORSTOM (voir Annexe IV).

Le 3 mars la population d'Ambae (régions: Ndui-Ndui et Lombaha) note une colonne de fumée partant du sommet de l'île. Dès le premier mars, un pilote de VANAIR avait observé une activité importante qui nous est rapportée dans la semaine du 6-12 mars (distribution d'un questionnaire le 6 mars). A notre questionnaire, les pilotes s'accordent à dire que depuis le 2 mars 1995, la surface du lac Voui est **agitée**, que l'ensemble du lac **s'évapore**, une **fumée** s'échappe de son centre ainsi que de **grosses bulles** qui en éclatant à la surface projettent des **sédiments noirs**.

L'ORSTOM se rend le 4 mars sur AOBA (région de Vilakalaka), gagne Nabamgahaké le 5 et enregistre sur cassettes DAT des signaux de forts "trémors" issus du volcan. Suite aux signaux enregistrés sur place, la reprise d'activité du volcan est confirmée. Le système de surveillance reste sur place, et, est pris en charge par le Chef du village de Nambagahaké, Noël TAHI. Un contrôle quotidien commence alors, et ce jusqu'en juin, où il ne se fera plus que tous les deux jours. Au long du mois de mars, l'ensemble du lac de cratère dégaze, se réchauffe et s'évapore.

On note les activités visibles suivantes:

- Bouillonnement apparent, qui traduit l'ensemble des mouvements de convection (chaleur de l'eau).
- Dégazage du volcan (remontée de gaz dont SO_2) qui se traduit par une fumée.
- Variation du niveau de l'eau, baisse du niveau du lac (témoignages de la chaleur sous terrain)
- Apparition d'une boue grise (argileuse) sur les bords de la berge.
- Calcination progressive de la végétation autour du lac par le dégazage de SO_2 , et très certainement par la hausse de la chaleur au sol aux abords du lac et des îlots.

3.2.1.3 - Conséquences

Par sécurité, une zone à risque de 10 km a été décrétée autour du lac de cratère Vouï (C.ROBIN, M LARDY). L'analyse ultérieure des signaux de sismicité volcanique enregistrés les 5 et 6 mars donne un pourcentage de probabilité d'éruption entre 60% et 70% (statistique). Ceci n'étant qu'une **estimation**, il faut comprendre ce chiffre comme une idée de danger, un risque existant, et non comme une estimation mathématique, irréfutable, d'une éruption.

Le travail de coopération fut établi dès le signalement de la reprise d'activité, entre l'ORSTOM et le Bureau des Désastres du Vanuatu, c'est à dire entre le milieu scientifique et le politique. Dès lors la diffusion des informations scientifiques fut annoncée d'un commun accord par l'ORSTOM et le Bureau des Désastres. Un travail quotidien de collaboration s'engagea entre l'Institut et le Gouvernement. La surveillance du volcan pu se réaliser sans dérapage d'information comme ce fut le cas les premiers jours de la crise. Un bulletin d'information fut émis régulièrement dans les journaux.

Outre le problème de surveillance sismique de cette crise, sont apparus des problèmes de communication locale et internationale (tous les médias en général), d'information (canalisation du message) et politiques (mauvaises interprétations).

Au niveau locale une confusion orale est apparue dans la dénomination des deux lacs. En effet, les noms des deux lacs commencent tous les deux par "Manoro" : l'un "Manoro Lakua" qui est un lac de retenue, l'autre "Manoro Vouï" qui le lac de cratère (Voir Annexe V).

Une cellule de crise, pour la gestion de la sécurité de l'île et par extension de l'ensemble de ces problèmes, a été mise en place à l'Hôtel de Police de Port-Vila sous le nom de code "OPERATION VUI".

Rumeurs et informations informelles

A chaque éruption ou phénomène d'activité volcanique (dégazage, fumerolle, solfatare, réchauffement d'un lac, etc), les rumeurs sont des signes précurseurs d'un événement. Il faut indéniablement les vérifier car tel que le mot le précise, cela ne reste que des informations imprécises et informelles. Tout le monde sait qu'il est difficile d'arrêter un bruit qui se dit de bouche à oreille, et surtout dans ces îles où l'information est traditionnellement transmise oralement.

La radio est une source d'information mais il s'avère que l'ensemble des villages n'ont pas de radio. Donc l'information leur parvient oralement par un village voisin. Ce qui tend à dire que l'information n'est plus directe, et par extension, n'est plus la même pour tout le monde. Pendant la "crise d'Aoba", l'information annonçant la reprise d'activité du volcan s'est vue modifiée en "cataclysme" imminent. Bien sûr des réactions d'angoisse, de peur, des idées d'événements catastrophiques naissent dans l'esprit de beaucoup de personnes, et créent avant qu'apparait la panique, des réactions de survie tel le fait de tuer un cochon pour ne pas "perdre" l'animal, c'est à dire sa valeur commerciale ou sa valeur nutritive.

Ce type d'événement renforce donc l'information 'catastrophe'. C'est ce genre d'information qui repart vers l'extérieur comme "bonne" et preuve du

danger. Les médias s'empressent alors de divulguer la nouvelle, car le sensationnel a toujours bonne presse. L'écho en est revenu par delà des frontières, et la presse internationale (Néo-Calédonienne, Australienne, Néo-Zélandaise, Fidjienne et Japonaise) s'est faite une idée catastrophique avant même qu'une quelconque preuve soit mise à jour.

L'information détournée ou excessive se transmet mieux que tout autre information pragmatique et rigoureuse (officielle, scientifique). C'est pour cela qu'il est nécessaire de canaliser l'information, de ne diffuser qu'une seule information qui est celle de l'expertise. On reviendra sur le problème crucial de l'information de la population dans la troisième partie de l'étude qui traite de la gestion du risque.

Quant à Tanna, le problème est différent, le Yasur est respecté comme la terre pour les hommes de Tanna. Le volcan fait partie du paysage, des coutumes depuis toujours. Les légendes y sont nombreuses et diverses. Le grondement psalmodique et les émissions de cendres continues du Yasur rappellent aux habitants des régions avoisinantes (de Port-Résolution à White Sands) sa présence. Il n'y a pas de rumeurs ou d'histoires informelles en dehors des légendes. Par son activité strombolienne, il est présent dans l'esprit de tout habitant. Son approche jusqu'au bord de son cratère reste dangereux comme le confirme la mort de 3 visiteurs en janvier 1995; mais, ceci relève plutôt du manque de précaution, d'habitudes prises depuis de nombreuses années, d'un concours de circonstance et on ne peut le relier qu'à la hausse de la fréquentation des touristes.

3.2.2 - Gestion et Cellule de crise

3.2.2.1 - Éléments de gestion

Le Bureau des Désastres n'avait pas de plan d'"évacuation" pour l'île d'Ambae au 1er mars. Une demande de mise en alerte avait été faite par l'ORSTOM (M. MONZIER) suite aux tremblements de terre ressentis les 5 et 6 décembre 1994.

Il s'agit de clarifier certains points non évalués jusqu'alors:

- A - Plan d'évacuation schématique de l'île-volcan d'Aoba
- B - Compiler l'ensemble des données historiques (ORSTOM)
- C - Analyser le risque
- D - Mettre en place un système de surveillance
- E - Mettre en place un système d'alerte
- F - Réponse en aide (Départements, ONG)
- G - Responsabilité
- H - Communauté concernée
- I - Procédures d'évacuation
- J - Informations
- K - Identification des zones de refuge
- L - Identification des zones de transport des habitants
- M - Moyens de transport et contrôle du trafic
- N - Routes
- O - Abris et couchages dans les zones de refuge
- P - Services médicaux
- Q - Lois et directives

La zone à risque décrétée par les géologues (cercles de 10 km autour du lac VOUI) fut prise comme zone directement menacée. En conséquence de quoi, les zones suivantes ont été déclarées, zones menacées majeures:

- Red Clif à Lolovenue (du Sud vers le Nord-Est)
- NduiNdui à Walurigi (du l'Ouest Nord-Ouest au Nord)

Intégrant les zones dangereuses et la géographie de l'île, les zones de refuges sont alors :

- Walaha (à l'Ouest)
- Lolopuepue (au Nord-Est)
- Longana (à l'Est Nord-Est)

Ces zones furent décrétées points de relocalisation en cas de déplacement de la population. Le danger concerne alors au total 2912 personnes (NDMO) réparties en 3 endroits densément peuplés qui se situent aux limites de la zone de danger:

- Groupe 1 : 1024 à l'Ouest
- Groupe 2 : 488 au Nord
- Groupe 3 : 598 au Sud-Est

Ceci concerne directement plus de 1/5 de la population de l'île qui est en mars 1995 estimé à 9 089 habitants.

Le déplacement est donc prévu sur 3 sites sus mentionnés. Le déplacement des gens y sera conduit, si nécessaire, par l'ensemble des véhicules, tels ceux de la police, des écoles, des hôpitaux, des départements gouvernementaux et enfin les véhicules privés. Tous les véhicules seront alors réquisitionnés.

Pour une évacuation, l'ensemble des bateaux devra être à réquisitionner: cela représente 12 bateaux soit seulement 648 places officielles au total (un peu plus officieusement). Il est en effet hors de question de se baser sur un appui aérien, si il y a une éruption majeure avec projections de lapilli, de cendres etc..., ceci obstruerait de ce fait le trafic aérien à grande échelle. De plus les trois aérodromes d'Aoba (Walaha, Longana et Red Clif) sont petits, et ne permettent pas à un gros porteur de se poser.

Les forces de Police et le corps des 'Vanuatu Mobile Force' (VMF), hommes de terrain, militaires du Vanuatu, seront employés à diriger le bon déroulement d'un déplacement de la population. De même la Red Cross (Croix Rouge du Vanuatu sera mobilisée. Ce déplacement s'il devait se poursuivre par un transfert de population, serait l'objet d'une évacuation sur Santo (Luganville), Maëwo et/ou Pentecôte.

3.2.2.2 - Résultats et analyses

L'explosion phréatique a été la phase la plus spectaculaire des manifestations du Lombenben. Par la suite la baisse de l'activité fut notable (baisse des signaux volcano-sismologiques : "trémors"). Pourtant le volcan est dans une phase de reprise d'activité qui peut-être lente à l'échelle humaine. Une éruption est loin d'être exclue. Il faut donc compléter et adapter le système de surveillance pour l'ensemble des édifices volcaniques du Vanuatu.

Il est et restera difficile de disposer d'observatoires identiques à ceux de la Réunion par exemple ou même du Rabaul (15-20 personnes pour un édifice). C'est la raison des stations de surveillance qui concilie service public et recherche scientifique pour une expertise de contrôle qui doit être renforcée aux premiers signes menaçants. Il n'est pas facile de trouver des équipes et des moyens d'intervention pour agir rapidement en cas de crise. De ce fait, l'idée de régionalisation de la surveillance des édifices est pour le pays, mais aussi pour les pays du Pacifique Sud, le moyen de gérer le plus efficacement possible leurs édifices dangereux à un coût moindre.

Le risque d'une éruption volcanique est toujours latent dans la région du Vanuatu. La méthode de gestion du risque est calquée sur la méthode conseillée de l'ONU et de J. TOMBLIN. Elle décrit le cycle des actions de prévention des risques volcaniques. Ce schéma, adapté pour le Vanuatu, figure 3.3 page suivante, donne les actions à conduire pour une parfaite gestion des éruptions volcaniques du Vanuatu.

L'histoire et les risques volcaniques des volcans du Vanuatu ont fait l'objet de recherches répertoriées dans différents documents (C.BLOT, J.P.EISSEN, M.MONZIER, C.ROBIN, *et al*). Les systèmes de surveillance des volcans ont été installés à partir de 1992 sur Tanna, Gaua, Ambrym (M.LARDY) et pour arriver à surveiller près de 4 volcans actifs, donc potentiellement dangereux en 1995.

A ce niveau de prévention, l'ensemble des cartes de risques qui seront éditées pour fin 1995 (sauf Aoba: éditée 08/95), permettront au Bureau des Désastres de prévoir l'impact d'une éruption avec plus de précisions géographiques (villages ou vallées les plus concernées). L'impact économique d'une éruption restera à être apprécié. Non pas que l'on ne soit pas sûr de l'impact lui-même, mais on ne connaît ni les flux économiques dans les îles, ni l'économie informelle (troc, échanges), il est donc difficile de dire de quelle manière et à quel degré une catastrophe volcanique peut la perturber.

Il faut d'abord "s'atteler" à une description physique de l'impact, et à la forme des dégâts auxquels on peut s'attendre. Ainsi on peut faire quelques descriptions de désastres, île par île (6 scénarios) pour donner une idée concrète de l'ampleur et de la forme du désastre. Ces scénarios ont été expliqués et illustrés à titre préventif au Bureau des Désastres et aux représentants des Provinces concernées : TAFEA, MALAMPA, PENAMA et TORBA, lors d'un séminaire (Natural Disaster Workshop, avril 1995).

La phase de préparation entraîne une phase que l'on considère comme active, par rapport à une seule diffusion d'information qui est passive. Cette phase est celle du signal d'alerte au niveau local, et de préparation à un éventuel déplacement.

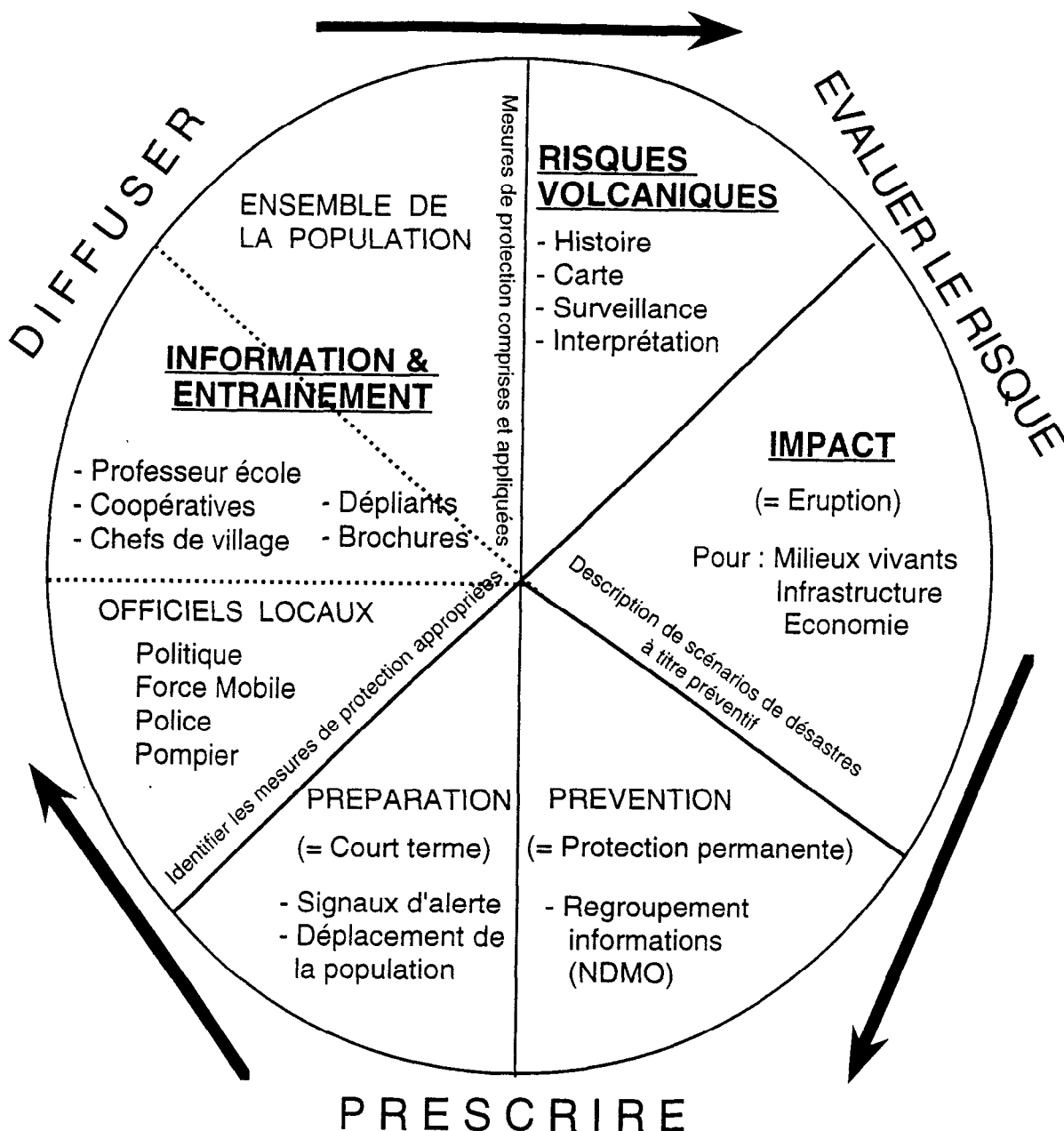


Figure 3.3 : Prévention des risques volcaniques.
Cycles des actions (d'après J.TOMBLIN, UNDHA, 1992).
Adapté pour le Vanuatu (WIART, 95)

Pour Ambae, on peut signaler le manque d'information et de communication vers la population locale. C'est un travail de fond qui est à faire au niveau des responsables du pays. L'information doit être adaptée et efficace à n'importe quel moment. Il faut donc copier le système mis en place pour les cyclones par exemple, et l'adapter pour les îles à haut risque.

On arrive au niveau de la diffusion de l'information. C'est une des phases clés qui est la résultante de tout le processus de prévention. Au travers des officiels locaux, l'information doit se faire d'une voix. Pour le Vanuatu,

l'utilisation des forces de Police, dans lequel le NDMO est partie intégrante (Ministère de l'Intérieur), est l'élément mobile *in situ* qui peut organiser toute diffusion d'information et tout préparatif de déplacement. Les 'Vanuatu Mobile Force' (VMF) sont les exécutants de ces actions. Étant militaires, ces hommes sont entraînés pour ce genre d'action. Il semble que le NDMO ait pris ses dispositions quant à l'entraînement de ces hommes dans le cadre de coopération avec l'Armée Australienne.

Un rôle tout aussi important est celui des politiciens, et des hommes d'état. Proches du peuple, ces hommes ne comprennent pas toujours directement l'intérêt d'une démarche scientifique par manque d'élément ou de recul. Il faut bien comprendre que l'aide scientifique et technique est apolitique. Il est donc nécessaire de rappeler qu'inversement le scientifique ne peut rentrer dans le jeu politique.

Enfin une démarche éducative est essentielle. A l'aide des professeurs locaux, des chefs de village, la diffusion peut se faire très rapidement à l'aide de dépliants et de brochures qui peuvent être conservés et consultés par l'ensemble de la population. Cette dernière forme de communication est la plus efficace pour la Vanuatu. La télévision n'est pas assez répandue pour devenir un bon moyen de communication, la radio n'est pas toujours adaptée car moins explicite. Par contre l'éducation et la prévention orale rentre dans le cadre coutumier mélanésien. C'est la méthode la plus efficace, appelée véhiculairement "tok-tok" (talk-talk: dialogue). Une diffusion de l'information au cours de rassemblement, meeting ou autre forme coutumière a un impact énorme au sein de la population, qui peut être illustrée par des brochures, éléments visuels médiateurs d'une information scientifique qui peut paraître compliquée à priori. La discussion est utile, longue parfois mais efficace. Par exemple, suite à l'alerte donnée par l'ORSTOM, un rassemblement extraordinaire (au sens propre) au Nakamal (lieu de réunion coutumier) des Chefs à Port-Vila a réuni un soir la quasi-totalité de la communauté (>600 personnes) de l'île d'Ambae, le NDMO et l'ORSTOM. Une discussion bilingue, durant quelques heures, a explicité oralement les réponses aux questions des habitants, et a démystifié de nombreuses idées reçues ou créées à l'occasion. De même à Aoba, au Village de Nambangahaké, une discussion explicative eut raison de l'intérêt d'une surveillance scientifique *in situ* pour la sécurité des habitants, et a permis une clarification d'une situation nouvelle et inconnue.

3.2.2.3 - Conclusion

Ce sont donc des connaissances scientifiques, découlant des recherches, qui ont été diffusées auprès de la population sous une forme officielle par le gouvernement (communiqué) ou sous une forme coutumière pour les habitants (réunion). La **communication** est l'élément qui ressort comme étant le plus important pour la gestion de la crise d'Aoba, et plus généralement pour la gestion de n'importe quelle crise volcanique. Cet aspect communication est aussi important que l'aspect de compréhension scientifique. Pour une bonne communication, il faut que le spécialiste sorte de sa "tour d'ivoire", son but est de vulgariser une information scientifique. Seuls les mots simples, voire imagés, mais justes, seront les plus efficaces. La gestion d'une crise volcanique concerne un ensemble d'organismes et de personnes travaillant dans un seul but : la protection civile. Alors que la méthode d'action et d'éducation, doit se faire cycliquement comme on l'a vu précédemment. L'information et la prévention s'articulent suivant la Figure

3.4. Il comprend des retours d'informations ("feed-back"), signe d'une bonne communication entre les divers organismes de surveillance et de prévention, et les intérêts même de la population locale.

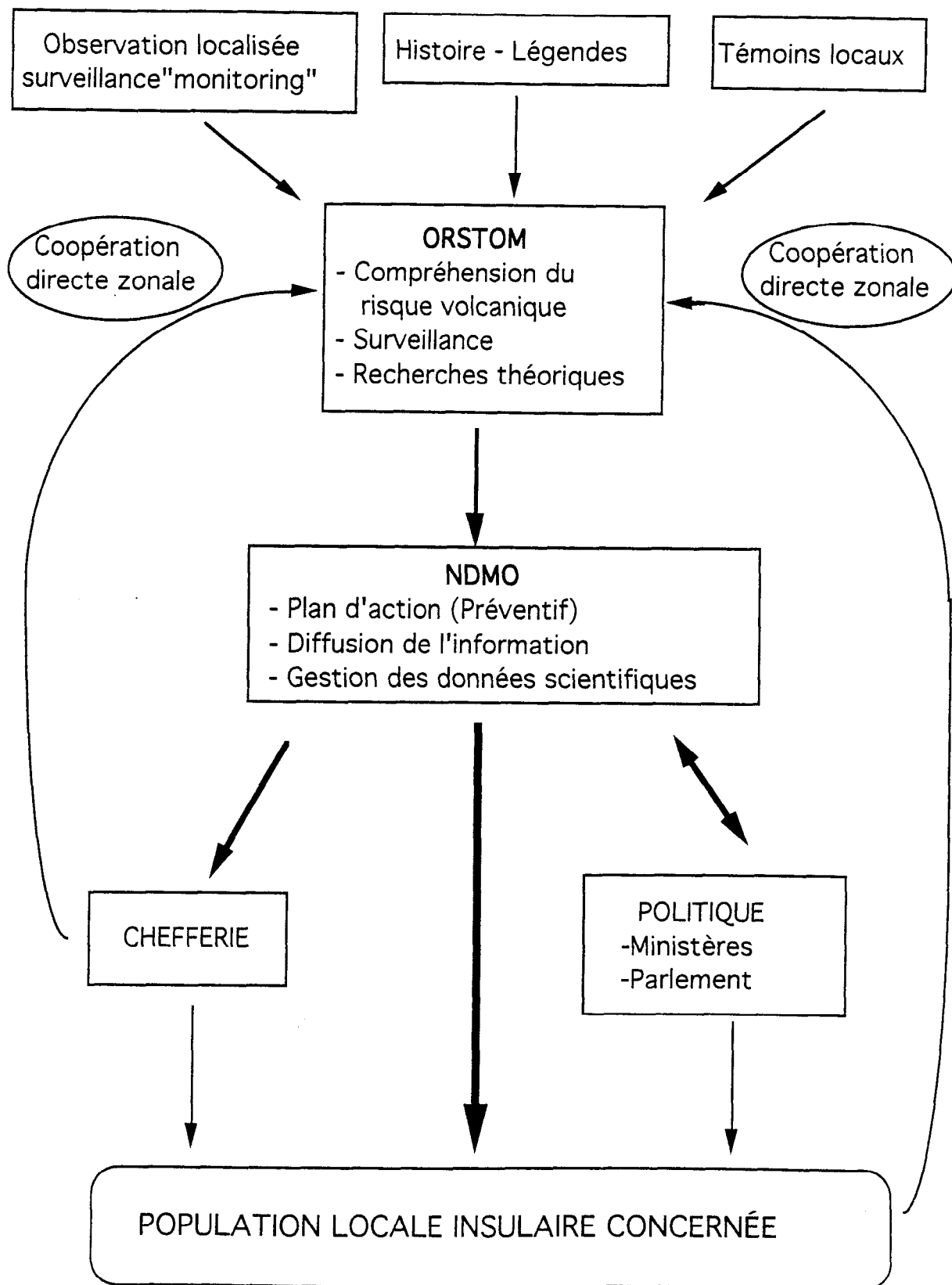


Figure 3.4 : Gestion de la communication

3.3 GESTION ÉCONOMIQUE

3.3.1 - Évaluation du coût de surveillance scientifique

Tous ces édifices plus ou moins menaçants pour le pays, ne sont pas faciles à surveiller au niveau de leur activité, et demande beaucoup d'argent pour une surveillance importante. Il est donc intéressant de voir l'approche économique de la gestion de ces volcans, la masse d'argent nécessaire, la répartition des fonds et l'ensemble de l'aide économique internationale.

Il faut faire un choix politique réfléchi pour obtenir le meilleur compromis entre une surveillance "efficace" et relativement peu onéreuse.

Au Vanuatu, vu

- 1 - l'isolement de chaque édifice (insularité)
- 2 - la difficulté d'accès à l'ensemble des caldeiras des volcans (pentes abruptes, forêt dense tel Aoba ou étendue désertique telle Ambrym)
- 3 - les facteurs climatiques destructifs (cyclones)

☞ le matériel le plus adéquat est un matériel robuste, fiable, donc simple. Les données géophysiques recueillies sont issues d'un géophone (sismicité) et de capteurs de température de sol (flux de chaleur).

L'ensemble des coûts de surveillance représente : le coût d'achat du matériel, de surveillance pour une station, plus les frais de maintenance du matériel. De plus il faut ajouter les frais de gestion ARGOS et les frais de circulation des données au travers des réseaux télématiques. L'ensemble des données est stocké dans une banque au CNUSC à Montpellier. Les frais de fonctionnement d'un tel système peuvent paraître élevés pour des petits pays en développement. La prise en charge par des organisations internationales semble nécessaire.

Coût d'une station : Matériel

SADAN	25 000 FF
structure aluminium	5 000 FF
Accessoires	1 500 FF
Émetteur ARGOS	6 000 FF
Capteurs TS + câbles	3 000 FF
Géophone	1 000 FF
Capteurs : Hr, Ta, Patm	3 500 FF
Direction vent	12 000 FF
(mât + accessoires)	1 500 FF
pluviométrie	1 500 FF
(accessoires + vidoir)	500 FF

Le prix d'une station de terrain automatique revient à 60 000 FF. Ce prix inclut l'ensemble des éléments de la station, les capteurs: géophones et températures du sol à différentes profondeurs, un émetteur ARGOS et les capteurs météorologique. A noter que si l'on veut doter la station d'un capteur mesurant la force et la direction du vent, il faut compter un prix plus élevé proche de 80 000 FF tout compris.

Réception des données

Récepteur ARGOS et PC associé	160 000 FF
PC + Imprimante de gestion	12 000 FF
Alimentation de secours	15 000 FF

L'ensemble des données doit être récupéré. A Port-Vila, le récepteur et son micro-ordinateur de réception coûtent 160 000 FF. Ajoutons à cela des éléments nécessaires à un bon fonctionnement en continu, sans perte, avec une alimentation de secours, une imprimante associée à un PC pour la sauvegarde des données, avant leur transmission dans la banque du CNUSC à Montpellier. On obtient un total de 185 000 FF.

Frais d'entretien annuel

La liaison satellite qu'utilise le système ARGOS a un coût d'abonnement annuel variable, entre 5 500 et 13 500 FF par an soit du simple au triple selon le mode de traitement choisi. Quant au frais de gestion informatique, on compte 2 000 FF/an/balise.

3.3.2 Fonds d'aide au Vanuatu

L'aide financière des pays étrangers et organismes internationaux a vraiment commencé au début des années 80. Suite au rapport de l'Assemblée Générale des Nations Unies du 24 août 1984, le Secrétaire Général des Nations Unies précise, dans la description succincte de l' "Assistance économique et spéciale et secours en cas de catastrophe" qu'une "Assistance au titre de la planification des mesures à prendre en cas de catastrophes naturelles" (Appendice II, point VII) est nécessaire, et demande 20 000 \$US pour envoyer un planificateur pour une période initiale d'environ trois mois. Le premier "Plan de Désastre National" est de ce fait établi en 1984. C'est ainsi que démarre l'aide extérieure pour la gestion des risques naturels.

L'histoire a couplé à la France et à l'ORSTOM la gestion scientifique des risques sismologiques puis volcaniques. La surveillance sismo-volcanologique est donc financièrement lourde. Dans les conditions de développement économique auquel est confronté le pays, le Vanuatu ne peut se permettre une telle dépense. Bien que le Vanuatu soit conscient du danger pour ses habitants de vivre près des volcans, il ne pouvait avant la prise en charge tacite par l'ORSTOM, gérer seul les désastres naturels.

Aux demandes de l'équipe de volcanologie, un financement du Ministère des Affaires Étrangères a été donné à l'ORSTOM pour l'étude et la surveillance des édifices les plus dangereux. Cette convention de 660 KF va permettre de réaliser le programme proposé. Institut de recherche scientifique pour le développement en coopération, l'ORSTOM, après une phase d'étude de mise en place de système de surveillance, va transférer vers le Vanuatu la responsabilité de la gestion technique des observatoires volcanologiques. Il maintiendra une coopération étroite avec les organismes techniques du Vanuatu pour accompagner le transfert des responsabilités.

Les sommes attribuées ont été utilisées pour l'équipement de 3 volcans. L'ensemble du matériel est installé pour du long terme. Même si le gouvernement du Vanuatu n'est pas encore prêt à prendre à sa charge la responsabilité d'un tel dispositif, cela doit s'inscrire dans une planification nationale et régionale.

La France au travers de son Institut de recherche en coopération apporte son aide technique directe, et aide le Vanuatu à prendre en charge la surveillance de ses volcans au travers de dons et de formations.

4. SYNTHÈSE GÉNÉRALE

Les volcans du Vanuatu sont des édifices complexes dont les changements d'activité sont difficiles à comprendre et donc à prévoir. Le risque volcanique, tableau bilan 3.1, au Vanuatu est permanent, et peut se manifester sous diverses formes avec plus ou moins de gravité pour des habitants. Ces catastrophes naturelles ne doivent pas être subies par ces habitants d'autant plus qu'elles sont un frein au développement du pays voire destruction pure et simple d'un projet durable.

Les acquis scientifiques souvent rattachés à la base à la coutume ont permis d'identifier les risques volcaniques présents. Au travers d'une coopération entre la France et le Vanuatu, la gestion de ces risques passe par une surveillance des édifices considérés comme dangereux.

Un risque d'éruption majeure est toujours possible sur l'une de ces îles, pourtant la prédiction d'un tel événement au jour et à la date exacte est scientifiquement impossible. Cependant le système de surveillance ainsi que les signes avant-coureurs de reprise d'activité sont autant d'aide pour prévoir et pressentir de telles catastrophes. Ainsi la diminution des risques volcaniques passe par la prévention de ces risques. Pour que la prévention soit efficace, il faut qu'elle soit directement menée par les organismes gouvernementaux sous la tutelle du Bureau des désastres du Vanuatu. L'éducation, la prévention, la diffusion de l'information sont autant d'éléments nécessaires pour, au moins, diminuer l'impact de ces catastrophes. L'ORSTOM a donc un rôle de conseiller, et d'aide. L'aide de l'ORSTOM est plus technique et pratique que de gestion pure et simple de la prévention. L'Institut est obligé "moralement" de se tenir à son objectif de développement en coopération. Il se doit d'aider le pays, d'autant plus que le Ministère des Affaires Étrangères participe financièrement.

ILES	Ambae	Ambrym	Gaua	Tanna	Vanua Lava	Lopevi
Danger / Vanuatu	1 ^{er}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	3 ^{ème}	6 ^{ème}	7 ^{ème}
DONNEES GEO. Nb Habitants (*)	9 089 (03.95) 3 000 menacés	7 860 (94) 4 000 menacés	1 466 (94) Tous menacés	22 960 6 000 concernés	1 493	0 (depuis 68)
Superficie Ile voisine (dist.)	399 km ² Maëwo (10km) Pentecôte (25 km)	666 km ² Pentecôte (11km) Malicollo(25km) Epi	338 km ² Vanua Lava (26km)	561 km ² Erromango (40km)	310 km ² Gaua (26 km)	km ² Paama (5 km)
INFRASTRUC. Abris maritimes	oui	3 (1 par zone)	-	2 + 1		Non
Aéroport	3	2	1	1 + 1 construction	1	Non
Routes	150 km	3 x 50 km	*	100		Non
Lignes Tel.	3 + 2	5	1	2 +		Non
VOLCAN (s)	- Lombenben Cratère : Lac Vouï	- Mt Benbow - Mt Marum	- Mt Garet	- le Yasur	- Le Suretamatai	- Lopevi
ERUPTION 1 ^{er} danger pour la population	-Lapilli de lave -Lahars -Déferlantes	-Coulées de lave -Cendres -Bombes de lave	-Coulées de lave -Lahars -Lapilli	-Bombes de lave -Cendres	-Cendres -Coulées de lave	-Nuées ardentes -Coulées de lave -Cendres
PROTECTION POPULATION Evacuation maritime	Très difficile	Difficile sauf par <u>zone</u> (W - E - N)	Possible	Non envisagée	Possible	
Déplacement	Possible	Selon les zones	Difficile	Facile	Possible	
EQUIPEMENT de surveillance	Enregistrement à Nambagahake (DAT)	Station SADAN-TSA	Station SADAN-TSA	Station SADAN-TSA		
Zone de sécurité	Walaha-Longana Lolopuepue	Région Nord	région Sud	Régions : Centre Est, Sud et Nord	Région Sud	L'île de Paama
Zone à risque	10 km autour du Lac Vui	-Plaine de cendres -Régions E et W	Régions Nord et Nord-Est	Autour du Volcan et Partie Est	Nord	Toute l'île

* : Estimation de la population en 1995 d'après le dernier recensement de 1989 actualisé avec l'indicateur de croissance de chaque île.

Tableau 3.1: Tableau bilan du risque volcanique au Vanuatu des îles par rapport aux possibilités d'évacuation.

Pour l'impact sur l'environnement, le phénomène est facilement gérable, car il ne porte pas le caractère catastrophique, violent et inattendu. Pourtant, l'impact est sur le long terme et périodique. A Tanna, l'impact du Yasur est surtout sensible dans les régions de WhiteSand. On est sûr que périodiquement, les pluies acides engendrées par le volcan et les forts dépôts de cendres sont nuisibles à court terme sur le milieu agricole des régions sous le vent par rapport au Yasur. Ces phénomènes sont irréguliers et sporadiques. On retrouve le même phénomène sur Ambrym et Paama.

En cas d'éruption violente, explosive, une aide ne pourra venir que de l'extérieur, puisque le Vanuatu n'a pas les moyens matériels d'évacuer les quelques 9 000 habitants d'Aoba par exemple. Ce sont les pays de la région qui pourront le mieux contribuer à des secours d'urgence, géographiquement le plus proche, soit la Nouvelle Calédonie, l'Australie, la Nouvelle Zélande et Fidji. L'Australie a apporté son aide à la Papouasie Nouvelle Guinée au moment de la crise du Rabaul en 1994. Il importe donc de fédérer les secours, c'est un des rôles de l'UNDHA.

CONCLUSION

L'impact des volcans à Vanuatu est important, et perturbe la population locale: soit directement lors de grandes manifestations éruptives, soit indirectement sur le milieu agricole et le milieu naturel.

Le risque volcanique est constant sur l'ensemble de l'archipel bien qu'il ne soit pas le même sur chaque île-volcan. La gestion de ce risque passe par la surveillance et la prévention au niveau local.

Le coût de la gestion des volcans est trop onéreux pour être supporté par le Vanuatu seulement. La coopération scientifique dans laquelle s'inscrit l'ORSTOM associée aux divers organismes gouvernementaux est bénéfique pour le pays. la surveillance et la gestion doivent être implicitement prises en charge par le gouvernement à long terme.

Dans le cadre de la Décennie Internationale des nations Unies pour la Prévention des Catastrophes Naturelles (1990-2000), programme UNESCO (UNDHA), une régionalisation de cette gestion avec les pays voisins semble être la solution la plus favorable pour le développement du Vanuatu et des pays de la Région Pacifique Sud, tout en réduisant les coûts.

ANNEXES

ANNEXE I

Naissances des éruptions volcaniques

(d'après l'article de Claude Jaupart "Genèse et métamorphoses d'une éruption", *La recherche*, n°274, mars 95).

Le Vanuatu est comme on le sait un archipel volcanique. Le nombre de volcan actif aérien est au nombre de six. L'activité de ces volcans n'est pas la même d'un édifice à un autre. En effet, les volcans les plus actifs sont le Yasur, le Benbow et le Marum, car leur activité strombolienne, apparente depuis James Cook (1774), confirme une certaine continuité, même variable en amplitude, depuis deux siècles. Au contraire les volcans des Banks, nous apparaissent plus calmes, voire peu actif depuis le début du siècle (Suretamatai). Il faut bien comprendre que l'échelle du temps dans la "vie" d'un volcan n'est pas la même que pour les êtres humains. De ce fait, les volcans actifs du Vanuatu sont tous potentiellement susceptibles d'éruption ou tout autre scénario cataclysmale. Rappelons que le cataclysme de Kuwae en 1452 - qui a séparé l'île d'Epi de celle de Tongoa - est certainement l'une des sept plus grosses explosions volcaniques des derniers 10000 ans (MONZIER,94) comparable à Santorin (1300 av. JC).

Ces "bouches de feu" sorties des océans, ont toutes des légendes associées à leur activité. Pourtant après trente années de volcanologie, on connaît maintenant les principes fondamentaux qui régissent le fonctionnement des volcans. Mais il est vrai qu'une éruption met en jeu de nombreux phénomènes, et qu'il est, de ce fait, difficile de les maîtriser complètement.

Les volcans actifs du Vanuatu sont tous sujet à une éruption. Et avant même de voir quels sont les risques liés au volcanisme, il faut comprendre ce qu'est une éruption.

Les éruptions sont des événements qui durent longtemps (quelques semaines à quelques mois) et dont l'évolution est complexe.

Un volcan est composé de trois éléments indispensables : un magma, une chambre magmatique et des composants volatils:

- Le *magma* est produit soit par une source profonde dans le manteau terrestre à plusieurs centaines de kilomètres - tel les points chauds (Hawaï, La Réunion) -, soit au niveau de la croûte terrestre portée à haute température. C'est le cas du Vanuatu qui est situé sur une zone de *subduction*. A cet endroit la plaque Indo-australienne s'enfonce sous la plaque Pacifique, et les forces mises en jeu (densité, pression, température) créent une fusion partielle au niveau du coin asthénosphérique (cf. Figure 1.1). Or la température de pression décroît avec la pression. A faible profondeur, les roches chaudes se mettent donc à fondre. Plus léger que les roches qui l'entourent, le magma s'en extrait et monte vers la surface répondant tout simplement à la poussée d'Archimède.

- Au voisinage de la surface, les roches encaissantes se font moins denses et la force d'Archimède ne suffit plus pour faire monter le magma. Il stagne donc et se rassemble dans un réservoir ou poche ou *chambre magmatique*. Cette accumulation en profondeur se traduit par un gonflement en surface et par des phénomènes de fissuration induits, provoquant des séismes volcaniques (cheminement du magma). Au sein de la chambre magmatique, le liquide résiduel change sans cesse de composition chimique avec le temps.

- Le magma renferme des *éléments volatils* au moment de sa formation en profondeur. Ces éléments volatils sont majoritairement de l'eau (80 à 90%), et du dioxyde de carbone, CO₂, (jusqu'à 10%), et en moindre quantité de l'oxyde de soufre (SO), de l'acide sulfurique (HS), de l'acide chlorhydrique (HCl), etc... En profondeur, ces éléments sont dissous dans le magma sous l'action de la pression et de la température. Lors de la remontée du magma à la surface, ces éléments ne sont plus solubles puisque la pression baisse. De ce fait des bulles de gaz se forment et se dilatent.

Connaissant les éléments constituant un volcan, nous allons voir le mécanisme d'éruption des volcans. Majoritairement une éruption se crée lorsque il y a mise *sous pression* de la chambre magmatique. La chambre magmatique gonfle, puis les parois se fissurent jusqu'à leurs ruptures, laissant s'échapper le magma vers la surface.

La mise sous pression de la chambre magmatique est due à deux facteurs : soit une nouvelle arrivée de magma dans la chambre, soit à une évolution du magma lui même.

- Dans le premier cas, si pour un volume donné d'une chambre magmatique, on y ajoute l'arrivée de magma, alors les forces de pression au sein de la chambre provoquent des fissurations, et permettent au magma de remonter à la surface. Cette arrivée de magma provient des roches liquides des coins asthénosphériques et remonte probablement par paquets avec un débit variable. De ce fait, il est très difficile de calculer le flux de magma qui vient l'alimenter

- Le magma peut également évoluer. Lorsque le magma se refroidit, il se cristallise et les éléments volatils qu'il contient ne trouvent pas de minéraux hôtes. Leur concentration augmente donc progressivement puis au-delà du seuil de solubilité, une phase gazeuse s'individualise. Ainsi pour une masse donnée, le volume du mélange liquide + gaz contenu dans la chambre augmente progressivement. Il y a donc mise sous pression, déformant les parois de la chambre.

C'est la pression dans la chambre magmatique qui augmente par l'arrivée de nouveau magma ou par dégazage de ce dernier, qui peut déclencher une éruption volcanique. La vitesse de l'éruption tout comme l'état du mélange magma-gaz varie pendant l'ascension dans le conduit volcanique.

Il est donc difficile de relier le régime éruptif observé en surface aux processus internes qui en sont responsables. Quoi qu'il en soit lorsque le magma monte vers la surface, la pression diminue ce qui provoque exsolution et la dilatation de la phase gazeuse avant de passer en *régime éruptif*.

La diversité des régimes éruptifs provient essentiellement de trois effets.

- Le premier est la grande gamme de viscosité des magmas, à savoir qu'une rhyolite est plus de cent mille fois plus visqueuse qu'un basalte.

- Le deuxième effet est la grande variabilité de la teneur en eau et en dioxyde de carbone des magmas. Selon ces valeurs et les lois de solubilité, une phase gazeuse peut apparaître à des profondeurs très différentes et occuper un volume plus ou moins important.

- Le troisième effet est la plus ou moins grande mobilité des bulles de gaz par rapport au magma liquide.

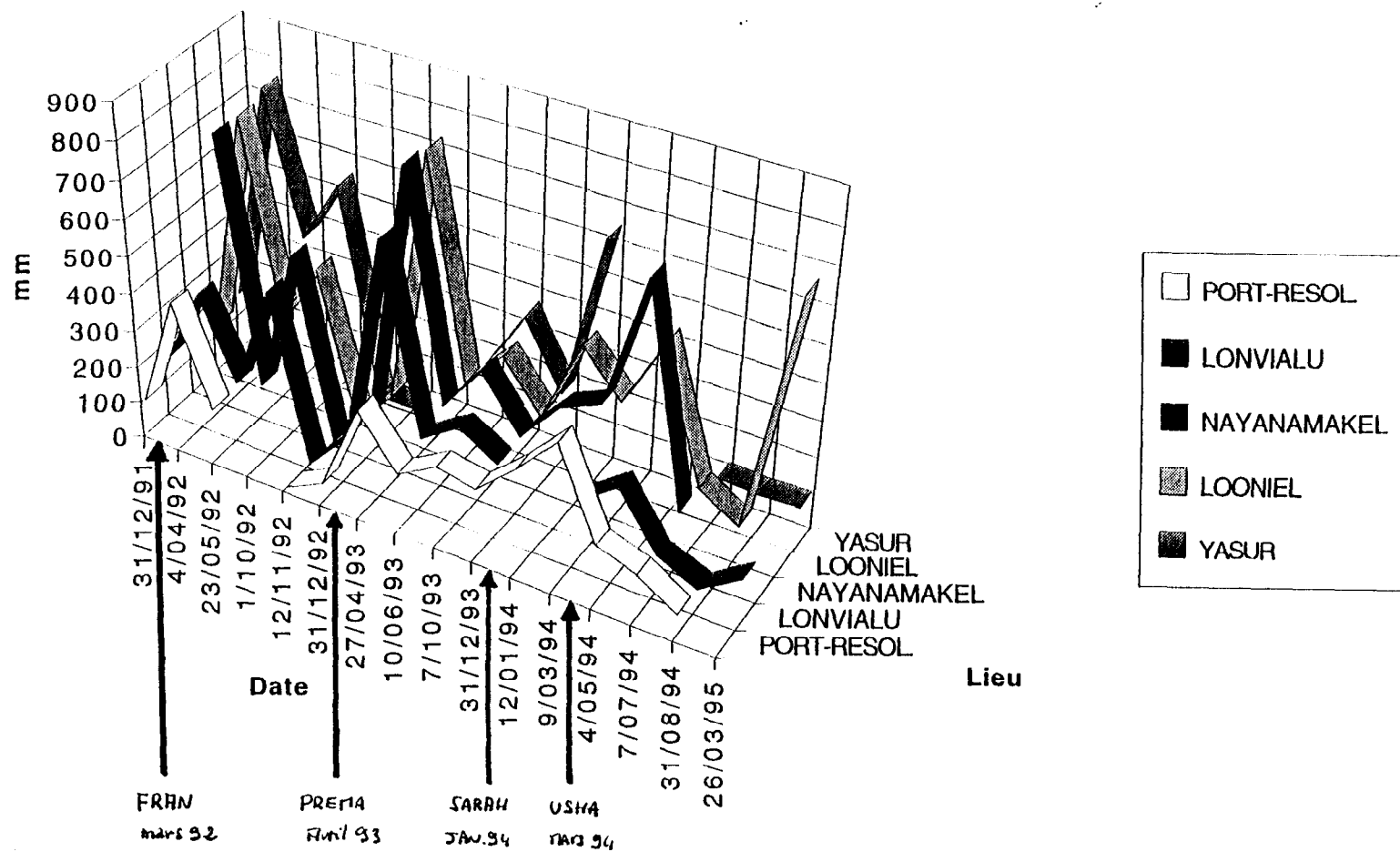
L'ensemble de ces facteurs nous montre que l'on peut prédire un grand nombre de phénomènes différents. Une éruption peut alterner entre des phases peu dangereuses et des phases explosives meurtrières. Un volcan peut passer du régime plinien à celui de coulées pyroclastiques, et réciproquement.

- La première transition est due soit à l'agrandissement du conduit volcanique sous l'effet de l'action érosive du mélange magma-gaz, soit à la décroissance du contenu en éléments volatils du magma.

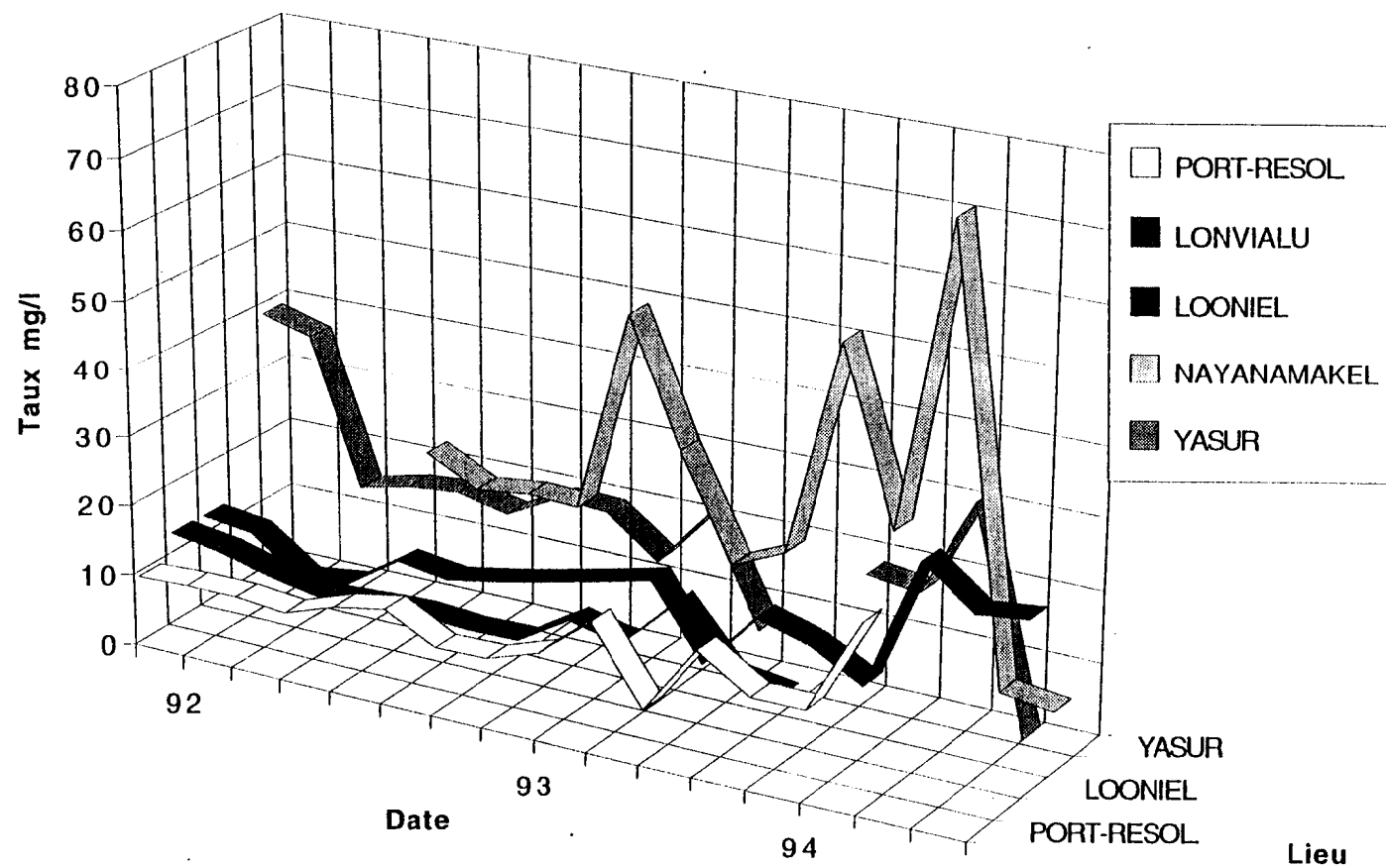
- Le retour à la phase plinienne après une épisode de coulée pyroclastique ne peut en revanche être expliqué par un rétrécissement du conduit, mais seulement par l'augmentation du contenu en éléments volatils.

Le magma perd une partie de son gaz en montant. Trois variables sont nécessaires pour décrire ce phénomène : la vitesse d'ascension du magma, la pression et les éléments volatils. Et c'est ce dernier qui fait varier la vitesse d'éruption. En effet, le flux de gaz à travers les parois fissurées du conduit volcanique ne dépend que de la pression. En conséquence, une forte vitesse d'ascension ne permet pas au magma de perdre de grandes quantités de gaz car il n'a pas le temps. Au contraire, une faible vitesse de montée assure un dégazage important.

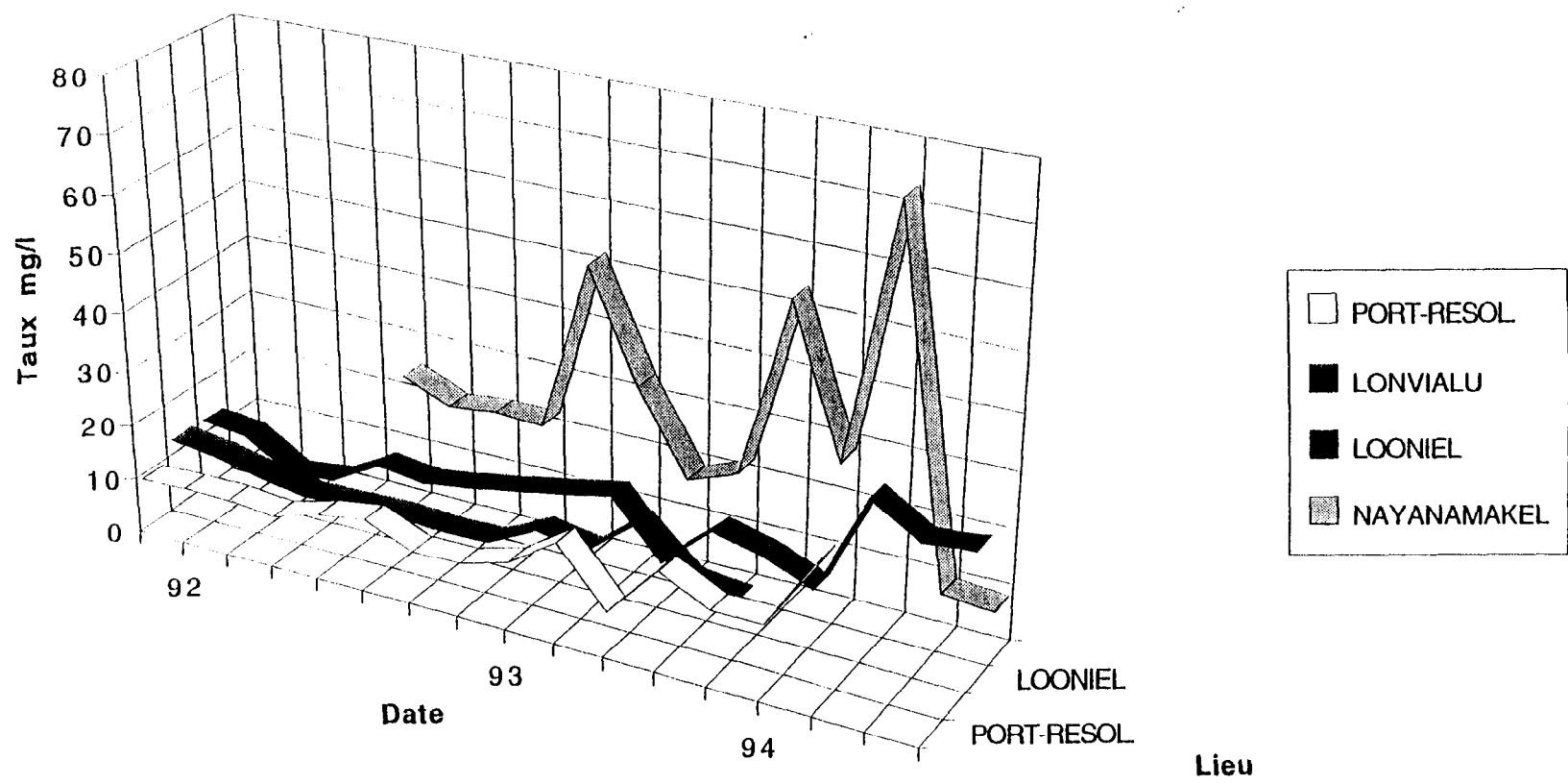
Précipitations Tanna



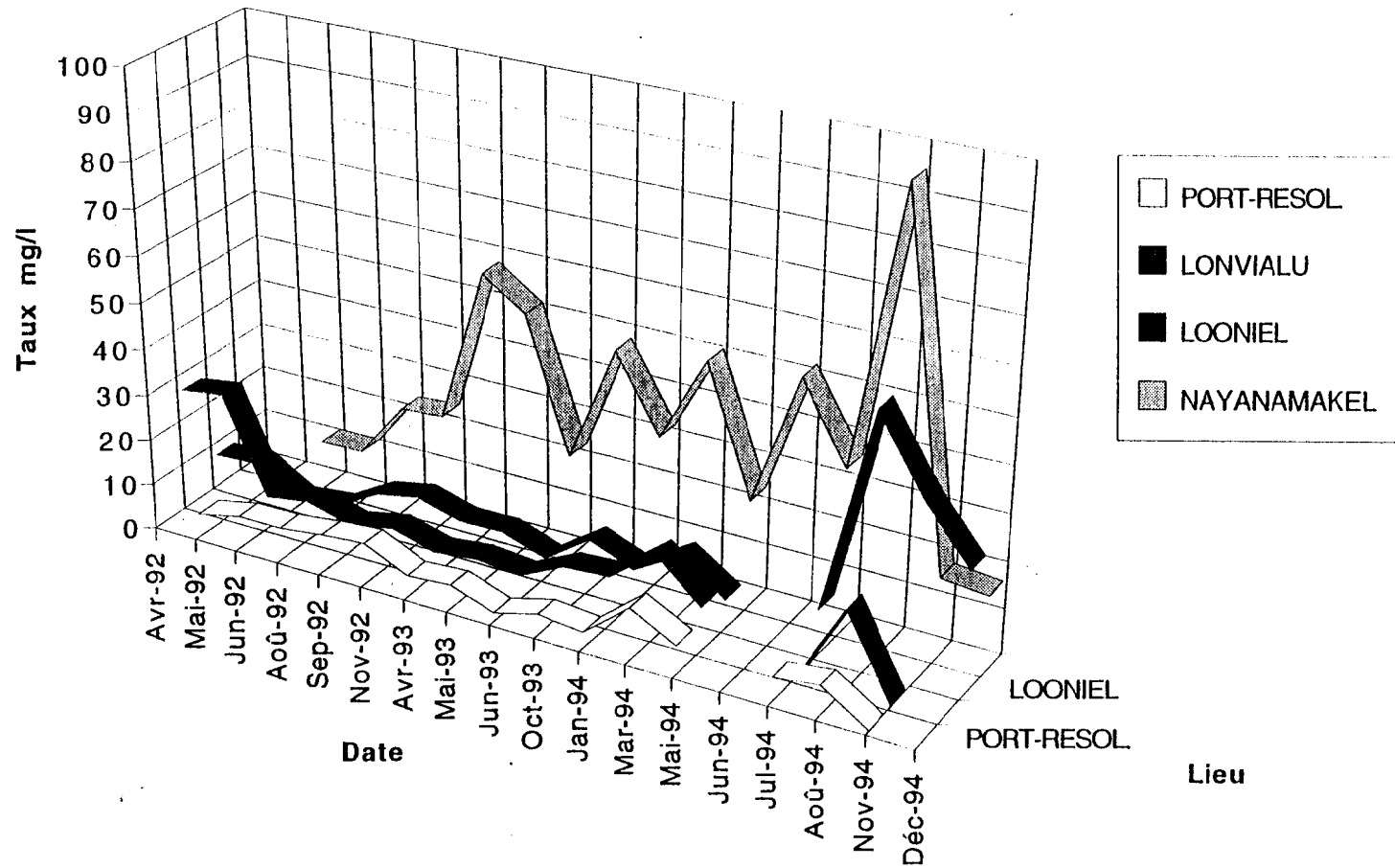
Taux de Chlorure (Tanna)



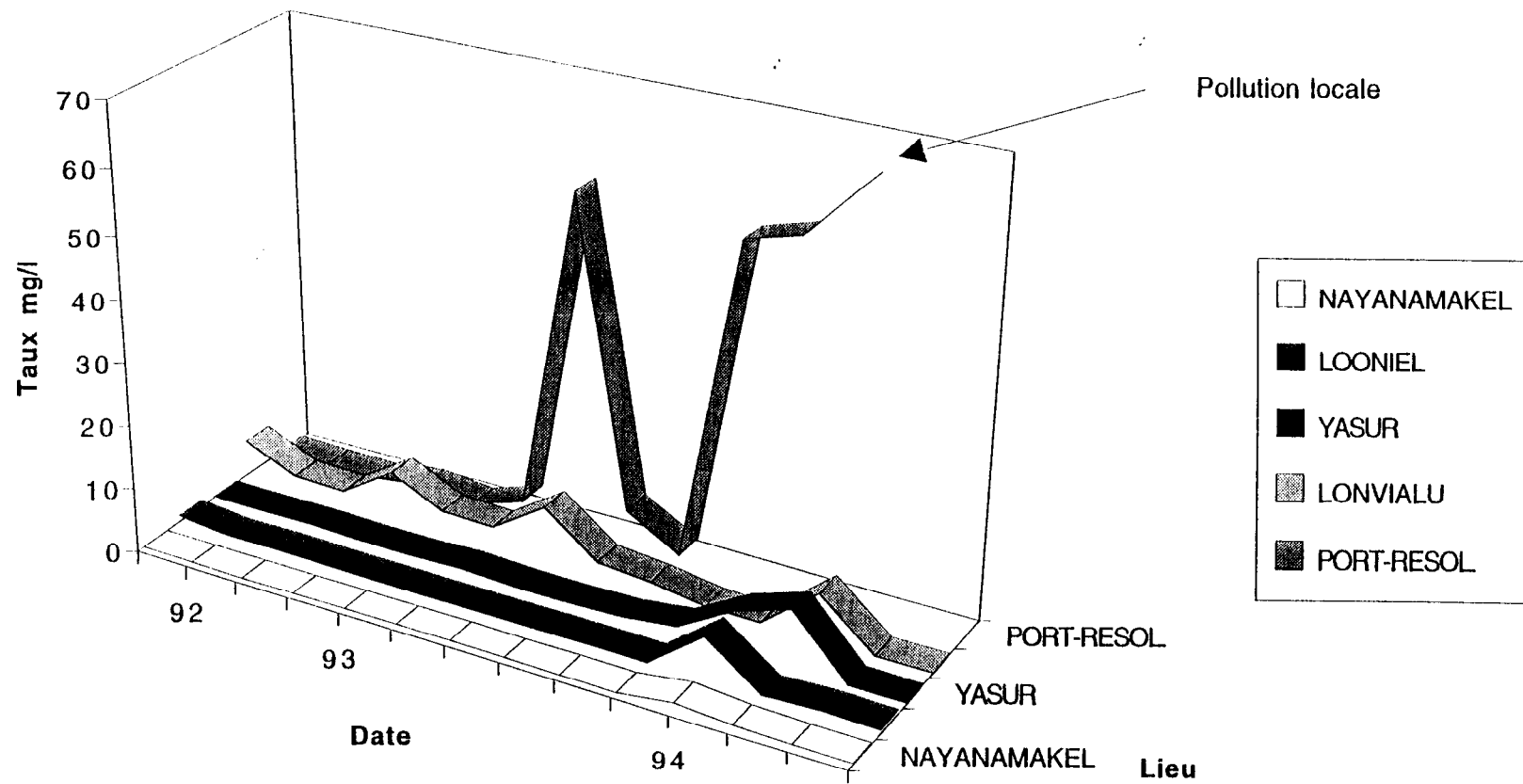
Taux de Chlorure (Tanna)



Taux de SULFATES (Tanna)



Taux de nitrates (Tanna)



ANNEXE III

NOTES TECHNIQUES SCIENCES DE LA TERRE GEOLOGIE-GEOPHYSIQUE

N° 11

1995

**Rapport de mission sur AOBA (AMBAE)
les 26 et 27 juin 1995 (Vanuatu)**

***AOBA (AMBAE) Mission Report
26 & 27 June, 1995 (Vanuatu)***

**Michel LARDY
Pierre WIART
Douglas CHARLEY**

ORSTOM - NDMO*

***Bureau National des Désastres Naturels, Vanuatu**

****Natural Disasters Management Office, Vanuatu***

Déroulement de la mission

Après un départ plusieurs fois retardé pour diverses raisons (depuis le 26 mai) nous avons pu gagner en hélicoptère l'île de SANTO (1h 45 de vol) le 26 Juin dans la soirée. Après un vol d'une vingtaine de minutes nous avons atterri au village de NAMBANGAHAKE (région de NDUI-NDUI à 9 km du cratère) vers 6h 30 le 27 Juin.

Nous nous étions fixé plusieurs objectifs qu'une météorologie peu favorable a en partie contrariés. Nous avons toutefois pu mettre en place la station sismologique du point 2 télémétrée vers SANTO et nous poser sur un des îlots du lac de cratère "MANARO VOUI" (voir carte et dessin ci-joints).

LAC VOUI

Après une première tentative infructueuse nous avons pu pénétrer dans la zone de la caldeira du volcan d'Aoba (6 km de diamètre environ) et nous poser sur un des îlots. On constate une baisse importante du niveau du lac (autour de 5 mètres) par rapport à son maximum (ligne de végétation récente). La bordure du cratère se situe en moyenne à 80 mètres au-dessus du niveau du lac. Les températures de l'eau mesurées autour des parties les plus accessibles de l'îlot oscillent en moyenne entre 38° et 40°C avec des maxima à 63° et 66°C. Le pH (2,3) mesuré *in-situ* indique une forte acidité des eaux (voir tableau ci-joint).

Une mauvaise visibilité due en partie à la présence d'une couche nuageuse ne nous a pas permis d'observer l'ensemble du lac. Des émissions de vapeurs sont visibles entre l'îlot et la bordure N.O. du cratère. Les eaux du lac sont fortement décolorées (vert émeraude), elles rappellent celles du "Green Lake" de WAIMANGU (Vallée thermale - région de ROTURUA - Nouvelle Zélande).

L'îlot aperçu d'avion le 6 avril dans la zone Nord du VOUI s'est agrandi (15-20 mètres) ; il est ancien et son apparition est due à la baisse du niveau de l'eau du lac. Les forts pendages des îlots vers l'Est confirment des fonds plus importants vers le centre du lac (zone d'émission du panache du 3 mars). Voir le dessin ci-joint de la zone sommitale d'Aoba.

Des pentes douces découvertes suite à la baisse du niveau du lac en bordure du cratère dans la zone Nord et Ouest du cratère ont également été observées. Tous les arbres de l'îlot sont morts. Une végétation est en train de reprendre. Quelques blocs de boue desséchés (40 à 50 cm de diamètre) qui doivent résulter de l'explosion phréatique du début du mois de mars sont encore visibles.

Nous avons procédé à un échantillonnage rapide de quelques produits et roches. On constate la présence de dépôts de soufre, et l'émission continue de bulles de gaz au travers de nombreuses fissures en bordure de l'îlot.

Installation de la STATION SISMOLOGIQUE

Une demande d'autorisation d'installation auprès des chefs coutumiers de l'île, par l'intermédiaire du chef Noël TAHI a été faite au mois de mai. Un accès (AR) gérable sur la journée, une visibilité optique vers l'observatoire sismologique de SANTO (CIRAD) étaient les deux principaux critères à retenir dans le choix du site.

La recherche d'un affleurement dans ces zones d'altitudes pentues et recouvertes de végétation est très difficile, et nous ne souhaitons pas nous éloigner du sentier qui part de la région de NDUI-NDUI et qui conduit au lac VOUI.

D. CHARLEY après discussions avec les villageois de la zone, a retenu une aire située à 950 mètres d'altitude et sensiblement à mi-chemin entre le village de NAMBANGAHÁKE et le lac VOUI (4 km) et à moins de 2 km de la bordure de la caldeira (dernière zone en vue optique). Une communauté religieuse d'un village a procédé au nettoyage de la zone choisie. La couverture végétale est très dense. Des arbres de 25 mètres de hauteur ont été coupés. Un complément de nettoyage du site a été fait le 27 Juin en même temps que l'installation de la station (Chef Noël TAHI, Thomas TOA, Elmon, HIOU Blessing).

Un panneau solaire de 40 watts assure la recharge d'une batterie étanche de 12 volts (40AH) qui alimente un modulateur à 3900 HZ et un émetteur de 600 mw à 440 MHZ. Un géophone (4,5 HZ) est associé à un amplificateur (gain réglé à 5800) identique à tous les modèles utilisés sur les stations de comptages sismiques (identique à la station du point 1 de NAMBANGAHÁKE).

Le signal UHF est transmis par l'intermédiaire d'une antenne du type YAGUI vers l'observatoire sismologique de SANTO distant d'une soixantaine de kilomètres. L'ensemble des signaux télémetrés par voie hertzienne (pt2, pt6) ou voie téléphonique (pt4) arrive simultanément à l'observatoire du CIRAD. La mise en oeuvre complète de l'ensemble des stations télémetrées des points 2, 4 et 6 fera l'objet d'un rapport spécifique.

BILAN SUCCINCT ET CONCLUSION

Malgré le manque d'observations et d'acquisitions régulières de données sur cet édifice volcanique, on constate :

a) - Depuis plusieurs décennies :

- Le maintien d'une activité solfatorienne en bordure du lac Manaro Lakua et au moins sur un des îlots du lac VOUI (Nord-Ouest).
- L'émission de bulles de gaz entraînant la décoloration des eaux.

b) - Plus récemment :

- Un accroissement de l'activité dans le lac VOUI avec l'observation en 1991 de remontées de bulles de gaz de grand diamètre (10 m).
- Une végétation brûlée en bordure du cratère depuis 1991, la surface de la caldeira affectée par ce phénomène augmente notablement à partir de la fin de 1994.

c) - En 1995 :

- Une explosion phréatique le 3 mars 1995.
- Des émanations de vapeurs sur l'ensemble du lac VOUI depuis mars 1995 (voir rapport GVN). Avec des cellules de convection de 3 à 400 mètres bien caractérisées.
- Une évaporation des eaux du lac constatée par une baisse importante du niveau:
 - environ 2 m le 6 avril.
 - environ 5 m le 27 juin.

- Après l'enregistrement d'un fort signal de "Trémors" (20 microns) les 4, 5, 6 mars, le niveau du bruit de fond sismologique est resté sensiblement stable depuis le mois d'avril, avec une baisse sensible du nombre de signaux bien caractérisés propres à l'édifice (échantillonnage régulier).

Les températures mesurées (40°C en moyenne) dans le lac le 27 Juin 1995 associées au maintien d'une forte évaporation, d'un dégazage permanent des eaux du VOUI nous incitent à **considérer l'ensemble des manifestations comme toujours préoccupant. On ne peut exclure actuellement la possibilité d'une nouvelle augmentation de l'activité qui pourrait aller jusqu'à une phase éruptive.**

Nous conseillons en conséquence le maintien de l'alerte à son niveau actuel (seuil 1) pour un nouveau trimestre, durant lequel les observations scientifiques seront renforcées.

MESURES PHYSICO-CHIMIQUES - LAC VUI - AOBA (AMBAE)

Date de prélèvement : 27 / 06 / 95

FLACON	pH	δ pH	θ (°C)	δ (°C)	Lieu
A #1	2,2	0,01	38,5	0,5	Zone A (Zone Est de l'îlot)
A #2	2,35	0,01	38,5	0,5	Zone A (Zone Est de l'îlot)
A #3	2,35	0,01	40,5	0,5	Zone A (Zone Est de l'îlot)
A #4	2,35	0,01	38,5	0,5	Zone A (Zone Est de l'îlot)
B #5	2,35	0,01	63	0,5	Zone B (Zone Ouest de l'îlot)
B #6	2,35	0,01	66,6	0,5	Zone B (Zone Ouest de l'îlot)
C #7	2,35	0,01	42,3	0,5	Zone C (Zone Ouest de l'îlot)
C #8	2,35	0,01	42,6	0,5	Zone C (Zone Ouest de l'îlot)
N #9	8,1	0,01	28		Village de Nambagahaké
					(Ndui-Ndui, S W - Ambae)
Lac Vui	3,35	0,01	(Boue à la surface)		Boue récemment apparue
					par évaporation - lac Vui
F #1	2,26	0,01			
F #2	2,34	0,01			

ANNEXE IV

UNDHA - Bureau des Désastres - ORSTOM Département des Mines et de la Géologie

Réunion du 01 Mars 1995
Hotel de Police , Port-Vila
Vanuatu

A l'occasion du passage de Mr John TOMBLIN, Chief Disaster Mitigation Branch du Département des Affaires Humaines des Nations Unies (UNDHA - Genève -CH), et de Mr Joseph CHUNG, Chief Technical Advisor (UNDHA - Suva -Fidji), et , suite à la demande de Mr Knox KALKAUA, Directeur du Bureau des Désastres du Vanuatu, et en présence de l'ensemble du corps scientifique de l'ORSTOM au Vanuatu, la réunion du 1er Mars 1995 a eu pour but d'expliciter et de mettre à jour l'état du Vanuatu en terme de risques volcaniques, et plus précisément, d'exposer les conclusions concernant le risque volcanique et sismologique de l'île d'Ambae.

Dans un premier temps, Mr Michel LARDY, Représentant de l'ORSTOM au Vanuatu, a rappelé la situation volcanologique de l'île d'Ambae : c'est le plus volumineux et le plus dangereux volcan actif de l'archipel du Vanuatu (MONZIER,ROBIN,94).

Mr Marc REGNIER, Sismologue, Chargé de Recherche à l'ORSTOM-Vanuatu, a ensuite expliqué d'un point de vue scientifique, la crise sismique qui a secoué l'île d'Ambae les 5 et 6 Décembre 1994. A cette occasion , il a remis le rapport des éléments concernant cette crise. Les conclusions de ce rapport prouvent que la crise de décembre 94 est d'origine sismique, tectonique (ROULAND, REGNIER -Jan94). Il a aussi expliqué les délais de l'interprétation de ces données : manque de liaison entre l'observation de Santo et d'Efate, non fonctionnement de la station d'Ambae et donc manque de données pour interprétation sûre.

Suite à ces explications, Mr Knox KALKAUA a montré qu'il souhaitait une plus proche collaboration entre l'ORSTOM et le Bureau des Désastres. Il estime que son Bureau a besoin des recherches effectuées par l'ORSTOM, sans quoi, ils ne peuvent organiser et mettre en place un plan d'aide en cas d'urgence (éruption volcanique). Le Bureau des désastres a reconnu qu'il n'avait pas, à ce jour, de plan d'évacuation de l'île prévu.

Fort de ces explications, Mr John TOMBLIN a demandé à l'ORSTOM quel était, en terme de risque volcanique de grande ampleur, le classement des îles les plus "préoccupantes" de part leur édifice et leur population. Ce à quoi, il a été répondu : Ambae, Ambrym, Gaua / Tanna (cf. Rapport ROBIN-MONZIER Sept. 1994).

Mr Michel LARDY a souligné à cette occasion que 3 édifices (Tanna-Ambrym-Gaua) étaient déjà équipés d'un système de surveillance par satellite (Système ARGOS), et que l'île d'Ambae devrait être le prochain édifice à être équipé. L'étude du financement est en cours. L' UNDHA n'a pas les moyens d'apporter une aide directe sauf pour la traduction de documents (cartes de risques ...) destinés à être diffusés.

L'UNDHA a demandé du Bureau des Désastres de prévoir des plans d'évacuation de l'île d'Ambae suivant 2 échelles d'activité du volcan d'Ambae (1) éruption/explosion majeure (2) reprise d'activité mineure (coulée de la boue ou lahars), et ceci grâce aux cartes de risque (ROBIN-MONZIER) dont l'édition est prévue fin 1995. De plus, Mr TOMBLIN a souligné l'importance de connaître le type de manifestation des risques les plus appropriés en fonction des différents volcans au Vanuatu : projections de bombes, lahars, coulée de lave etc... En effet, il n'est pas nécessaire d'évacuer une île en cas de reprise d'activité, mais d'expliquer à la population le moyen de lutter contre une retombée de cendre par exemple.

Cette réunion a eu le mérite de rapprocher le travail de recherche scientifique (Dépt. des Mines et de la Géologie - ORSTOM) et le rôle exécutif du Gouvernement du Vanuatu (Bureau des Désastres) désiré par l'ensemble des 3 organismes présents. Il faut en effet associer les données scientifiques au pouvoir politique pour mieux gérer une crise qui pourrait conduire à un éventuel désastre naturel d'ordre volcanique ou sismologique.



Pierre Wiart
Adjoint au Représentant
ORSTOM - Vanuatu

ANNEXE V

DE L'ASSECHEMENT D'UN LAC DE CRATERE "MANARO" SUR L'ILE D'Aoba (AMBAE) - VANUATU

Proposition pour une explication complétée
par quelques commentaires

Avec un peu de recul, nous pouvons proposer une explication à l'information diffusée par le bureau de l'UNDHA de Fidji, puis par celui de Genève sur l'assèchement du lac de cratère de MANARO après la reprise d'activité du volcan LOMBENBEN sur l'île d'AMBAE (République du VANUATU) au début du mois de mars 1995.

Aucune compréhension n'est possible sans savoir que ce volcan "bouclier" de 3900 mètres d'altitude avec sa partie immergée, renferme suite à des phases explosives importantes (dont la dernière datée par A.J. WARDEN*), trois lacs qui ont pour noms MANARO, MANARO KESSA, MANARO LAKUA pour un premier lac, MANURO VOUI, VUI ou VOUI pour un deuxième et enfin MANURO NGORO pour le dernier qui est assèché de manière quasi permanente (clichés IGN*, RAF* depuis les années 50 en apportent la preuve).

Ce dernier lac plus précisément ce "marécage" est le seul endroit sans végétation de toute la zone sommitale et c'est ce point que nous avons à priori retenu pour installer en 1995 une station de surveillance reliée par ARGOS identique à celle de TANNA, d'AMBRYM et GAUA.

Le 13 Mars nous avons remarqué qu'une partie du lac MANARO NGORO était remplie d'eau, les photos du 20 Mars (Royal Air New Zealand-Orion) nous ont permis de constater qu'il était de nouveau à sec.

MANARO est l'appellation la plus utilisée pas les populations et, sans suffixe, peut-être associée à l'un des trois lacs aux caractères pourtant bien différents.

Des habitants d'AMBAE se sont depuis le début de l'alerte rendus dans la zone sommitale ... des informations de baisse de niveaux nous ont été rapportées, de "bains de pieds" dans une eau "fraîche" (quel lac) ?, de sols très chauds, d'impossibilité d'approche du VOUI à cause des gaz, et enfin celle d'assèchement du lac MANARO. ... Aucune de ces déclarations n'est fausse mais elles doivent-être simplement associées à l'un ou l'autre des lacs :

- Nous avons constaté une baisse du niveau (quelques mètres au plus) du lac VOUI, seul lac à forte activité.
- On peut se baigner dans le MANARO KESSA-LAKUA sans difficulté.
- Le sol est chaud la végétation est morte autour des lacs.
- L'odeur caractéristique des gaz volcaniques a été enregistrée à l'occasion de notre passage du 13 Mars.

- Enfin la présence d'eau dans le lac MANARO NGORO (marécage) a été constatée le 13 Mars, l'eau s'était évaporée le 20 Mars (photo aérienne) ... Si ce même constat a été fait et rapporté par des habitants de l'île pour la même période en ne citant que MANARO (sous entendu NGORO), mais pas nécessairement précisé, la confusion a pu être totale, et a été attribué au MANARO VOUI l'assèchement du MANARO NGORO.

Diversité des langues (3 langues* différentes sur AMBAE, complétées par le pidjin bichlamar, l'anglais et le français) auxquelles s'ajoutent des distorsions "naturelles" au moment d'un transfert d'information ; ceci doit conduire à toujours faire une bonne analyse des informations avant d'en assurer une large diffusion. Il est sage que l'information à caractère scientifique n'émane que de l'Institution chargée de l'expertise.

Port-Vila, le 18 Avril 1995



Michel LARDY

représentant de l'ORSTOM
République de VANUATU

- A.J. WARDEN - (Evolution of AOBA Caldera Volcano NEW HEBRIDES - JVGR 1980)
- IGN - Institut Géographique National (FRANCE)
- RAF - Royal Air Force (GRANDE BRETAGNE)

NB : MANARO signifie "LAC"
VOUI peut se traduire par "ESPRITS"

(*) Principalement une langue du Nord Est AMBAE (AOBA) et le NDUIDUL

Liste des cartes

Carte 1.1 : Présentation géographique du Vanuatu.	(verso) p 1
Carte 1.2 : Carte de situation des volcans, des arcs, et des fractures au Vanuatu.	(verso) p 2
Carte 1.3 : Courses générales des cyclones au Vanuatu.	(verso) p 14
Carte 2.1 : Localisation des cinq stations de mesures à Tanna	p 26
Carte 2.2 : Ilot Nord du lac Vouï, le 27/06/95/.	(verso) p 37

Liste des figures

Figure 1.1 : Coupe de la structure de l'arc néo-hébridais.	(verso) p 3
Figure 1.2 : Les différents types de nuées ardentes.	p 14
Figure 1.3 : L'origine des eaux intervenant dans les phénomènes volcanologiques.	p 16
Figure 1.4 : Risques naturels liés et induits.	p 22
Figure 3.1 : Synoptique d'une station de terrain à Tanna.	p 41
Figure 3.2 : Synoptique de la surveillance des volcans du Vanuatu et du système bouclé des données recueillies.	(verso) p 41
Figure 3.3 : Prévention des risques volcaniques pour le Vanuatu.	p 50
Figure 3.4 : Gestion de la communication.	p 52

Liste des tableaux

Tableau 2.1 : Précipitation - Région du Yasur (Tanna) en mm.	p 28
Tableau 2.2 : Taux de chlorures à Tanna en mg/l.	p 29
Tableau 2.3 : Taux de sulfates à Tanna en mg/l.	p 30
Tableau 2.4 : Taux de nitrates à Tanna en mg/l.	p 31
Tableau 2.5 : Résultats des analyses d'eau du lac Vouï - AOBA	p 37
Tableau 3. 1 : Tableau bilan du risque volcanique au Vanuatu des îles par rapport aux possibilités d'évacuation.	p 56

Liste des annexes

ANNEXE I : Naissances des éruptions volcaniques	p 60
ANNEXE II : Graphique - Précipitations Tanna	p 63
Graphique - Taux de chlorures - 1	p 64
Graphique - Taux de chlorures - 2	p 65
Graphique - Taux de nitrates	p 66
Graphique - Taux de sulfates	p 67
ANNEXE III : Rapport de mission sur AOBA (AMBAE) les 26 & 27 Juin, 1995	p 68
ANNEXE IV : UNDHA - Bureau des Désastres - ORSTOM Département des Mines et de la Géologie Réunion du 01 Mars 1995 - Vanuatu	p 72
ANNEXE V : De l'assèchement d'un lac de cratère "Manoro" sur l'île d'Aoba (Ambae) - Vanuatu	p 74

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages et thèses

ANTHEAUME Benoit, BONNEMAISON Joël. *Atlas des îles et des états du Pacifique Sud*. Paris Publisud, p.16-23 et p.64-66, 1988.

BARDINTZEFF J.M.. *Enseignement des sciences de la terre. Volcanologie*. Paris: Masson, 1992.

BLOWG R.J.. *Volcanic Hazards - A sourcebook on the effects of eruptions*- Sydney. Academic Press, AUSTRALIA, 1984.

BONNEMAISON Joël. *Les fondements d'une identité. Territoire, histoire et société dans l'archipel de Vanuatu (Mélanésie): L'arbre et la pirogue (Tome1)*. 540 f.dactil. Thèse pour doctorat ès lettres et sciences humaines : Université de Paris IV : Soutenue le 18 mars 1985 : Edition de l'ORSTOM (collection travaux et documentation n°201).

BONNEMAISON Joël. *Les fondements d'une identité. Territoire, histoire et société dans l'archipel de Vanuatu (Mélanésie): Tanna : les hommes lieux (Tome2)*. 540 f.dactil. Thèse pour doctorat ès lettres et sciences humaines : Université de Paris IV : Soutenue le 18 mars 1985 : Edition de l'ORSTOM (collection travaux et documentation n°201).

BONNEMAISON Joël. *La dernière île*. Paris: Arlea ORSTOM, 1986.

COOK James. *Voyage dans l'hémisphère austral et autour du monde*. Port-Vila: 1978, Tome troisième, chap.V, P.122-200.

AUBERT DE LA RÛE. *Les Nouvelles Hébrides. Îles de cendres et de corail*. Paris: France Forever, 1945.

Dr FALLON John. *L'économie du Vanuatu - Comment créer les conditions d'un développement qui soit durable et à assise large*. Australian International Development Assistance Bureau - AIDAB. Canberra, International Development Issues N°32 F , Septembre 1994.

HUFFER Elise. *Grands hommes et petites îles: politique extérieure de Fidji, de Tonga et de Vanuatu*. 305 f. dactil. Thèse de doctor d'état en science politique: 1er juillet 1991: Faculté de droit et de science politique d'Aix-Marseille. Edition de l'ORSTOM (Collection études et thèses, 1993). pp 55-82, pp 93-101 et pp 237-282.

MINISTÈRE DE LA COOPÉRATION ET DU DÉVELOPPEMENT. *Mémento de l'agronome*. Quatrième éditions. Paris, techniques rurales en Afrique, 1991.

QUANTIN Paul. *Les sols de l'archipel volcanique des Nouvelles Hébrides (Vanuatu): Etude de la pédogénèse initiale en milieu tropicale*. 498 f. dactil. Thèse de doctorat d'état en sciences naturelles, soutenue le 15 mars 1991 à l'université Louis Pasteur de Strasbourg. Edition de l'ORSTOM. Paris, 1992.

DEPARTEMENT OF PRIMARY INDUSTRIES FOREST SERVICE FOR THE AUSTRALIAN INTERNATIONAL DEVELOPMENT ASSISTANCE BUREAU (AIDAB)
VANRIS - The environments of Vanuatu. CSIRO Brisbane - Queensland.
J.A. Bellamy ,1993

DEPARTEMENT OF PRIMARY INDUSTRIES FOREST SERVICE FOR THE AUSTRALIAN INTERNATIONAL DEVELOPMENT ASSISTANCE BUREAU (AIDAB)
VANRIS HANDBOOK- Vanuatu resource information system. CSIRO
Brisbane - Queensland. J.A. Bellamy ,1993

EQUIPE GÉOLOGIE-GÉOPHYSIQUE NOUMÉA. *Contribution à l'étude géodynamique du sud-ouest Pacifique. Travaux et documents de l'ORSTOM*. n°147. Paris, 1982.

Articles et rapports

BARDINTZEFF Jean-Marie. "À la découverte des volcans des Nouvelles Hébrides". *L.A.V.E. - Bulletin de L'Association Volcanologique Européenne*, n°XXX, Novembre 1993, pp.13-16.

DECOBECQ Dominique et LAVINA Pierre. "Volcanologie et communication". *L.A.V.E. - Bulletin de L'Association Volcanologique Européenne*, Janvier 1993, pp.13-17. Paris.

BOUYASSE Philippe. "La tectonique des plaques". *L.A.V.E. - Bulletin de L'Association Volcanologique Européenne*, n°49 - Juin 1994 (1ère partie), pp.11-18, et n°50 - Août 1994 (2ème partie), pp.5-12. Paris.

BRANDEIS Geneviève. "En direct des panaches". *La Recherche*, n°277, volume 26, Mars 1995, pp.302-304.

COULONIER Agnès. "Les coulées de boues dans la région du Mérapi (Indonésie, île de Java)". *L.A.V.E. - Bulletin de L'Association Volcanologique Européenne*, n°53, Février 1995, pp.15-21. Paris.

DUBREIL Nathalie. "Dynamismes éruptifs et pétro-chimie de l'île d'Aoba (Vanuatu) arc insulaires des Nouvelles-Hébrides"

GILLET Philippe. "L'eau dans le manteau terrestre". *La Recherche*, n°255, juin 1993, pp.676-685.

JAUPART Claude. "Genèse et métamorphoses d'une éruption". *La Recherche*, n°277, volume 26, Mars 1995, pp.282-287.

LECLOAREC Marie-France et MARTY Bernard. "Volatile flux from volcanoes". *Terra Review*, 3 XXX, pp.204-214.

LÉNAT Jean-François. "À l'affût des signes précurseurs". *La Recherche*, n°277, volume 26, Mars 1995, pp.296-301.

LOUAT R., HAMBURGER M. et MONZIER M. "Shallow and intermediate-depth in the New Hebrides arc: constraints on the subduction process". *AAPG - American Association of Petroleum & Geology*. 1988. Houston, Texas. USA.

RIBIERE Christine. "Les torrents de boues volcaniques ou lahars et leurs impacts sur l'environnement". *L.A.V.E. - Bulletin de L'Association Volcanologique Européenne*, n°52, Décembre 1994 (1ère partie), pp.11-18 et n°53, Février 1995 (2ème partie), pp.9-14. Paris.

STOIBER Richard E. & WILLIAMS Stanley N. "Monitoring active volcanoes and mitigating volcanic hazards: the case for including simples approaches". *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, n°42, December 1990, pp. 129-149. Amsterdam.

ROBIN Claude & MONZIER Michel. "Volcans à risques du Vanuatu à l'Equateur". *ORSTOM Actualités*, n°45, 1995, pp. 13-20. Paris

TOMBLIN J. "Deontological code, probabilistic hazard assessment or Russian roulette?" *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, n°5, 1979, pp. 213-215. Amsterdam.

WOODS Andrew W. "La fièvre destructrice des éruptions explosives". *La Recherche*, n°277, volume 26, Mars 1995, pp.291-245.

Divers

NATION UNIES - Assemblée générale - ASSISTANCE ECONOMIQUE ET SPECIALE ET SECOURS EN CAS DE CATASTROPHE: PROGRAMMES SPECIAUX D'ASSISTANCE ECONOMIQUE Assistance à Vanuatu - Rapport du Secrétaire général . 65 pages .24 août 1984.

NATIONAL DISASTER MANAGEMENT OFFICE - NATIONAL DISASTER AND EMERGENCY PLANS : 1994 -. Port-Vila. Vanuatu. Janvier 1994.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	I
RESUME/SUMMARY	II
SOMMAIRE	III
INTRODUCTION	p 1
1 - PRESENTATION DES RISQUES VOLCANIQUES AU VANUATU	p 2
1.1 - Contexte géo-tectonique du Vanuatu	p 2
1.1.1 - Présentation générale du Vanuatu	p 2
1.1.2 - Mise en place tectonique des Nouvelles Hébrides	p 2
1.1.3 - Présentation du volcanisme au Vanuatu	p 4
1.2 - Le volcanisme : Histoire et état des lieux	p 5
1.2.1 - Histoire récente des volcans du Vanuatu	p 5
1.2.2 - Bilan des désastres volcaniques	p 12
1.3 - Les risques liés et induits	p 13
1.3.1 - Risques primaires	p 13
1.3.1.1 - Coulées de lave	p 13
1.3.1.2 - Ecoulements pyroclastiques	p 14
1.3.1.3 - Les projectiles ou retombées	p 15
1.3.2 - Risques secondaires	p 15
1.3.2.1 - Les cyclones et l'Eau	p 15
1.3.2.2 - Coulées de boue ou Lahars	p 17
1.3.2.3 - Tsunamis	p 19
1.3.2.4 - Tremblement de terre	p 19
1.3.2.5 - Gaz et pluies acides	p 20
1.3.3 - Risques liés : Synthèse des risques volcaniques	p 21
2 - IMPACT DES RISQUES VOLCANIQUES AU VANUATU	p 23
2.1 - Aspect social	p 23
2.1.1 - Mythes et légendes	p 23
2.1.2 - Déplacements de population	p 24
2.1.3 - Analyse	p 25

2.2 - Impacts sur l'environnement de Tanna	p 25
2.2.1 - Généralités	p 25
2.2.2 - Méthodologie	p 26
2.2.3 - Résultats	p 26
2.2.3.1 - Pluviométrie	p 27
2.2.3.2 - Les chlorures	p 28
2.2.3.3 - Les sulfates	p 30
2.2.3.4 - Les nitrates	p 31
2.2.3.5 - Les sols	p 32
2.2.3.6 - Les cendres	p 34
2.3 - Impacts sur l'environnement d'Aoba (Ambae)	p 35
2.3.1 - Méthodologie	p 35
2.3.2 - Observations	p 35
2.3.3 - Résultats	p 36
2.4 - Synthèse	p 39
 3 - GESTION DU RISQUE	 p 39
3.1 - Dispositif du système de surveillance	p 39
3.1.1 - Dispositif sismologique	p 39
3.1.2 - Dispositif volcanologique	p 40
3.1.3 - Responsabilité	p 42
3.2 - Gestion d'une crise majeure : Cas d'Aoba (Ambae)	p 44
3.2.1 - Méthodologie / Données de base	p 44
3.2.1.1 - Géographie et Population	p 44
3.2.1.2 - Historique de la crise	p 45
3.2.1.3 - Conséquences	p 46
3.2.2 - Gestion et Cellule de crise	p 47
3.2.2.1 - Elements de gestion	p 47
3.2.2.2 - Résultats et Analyses	p 48
3.2.2.3 - Conclusion	p 51
3.3- Gestion économique	p 53
3.3.1 - Evaluation du coût de surveillance scientifique	p 53
3.3.2 - Fonds d'aide au Vanuatu	p 54
 4 . SYNTHESE GÉNÉRALE	 p 55

CONCLUSION	p 58
ANNEXES	p 59
LISTE DES CARTES	p 76
LISTE DES FIGURES	p 76
LISTE DES TABLEAUX	p 77
LISTE DES ANNEXES	p 77
BIBLIOGRAPHIE	p 78
TABLE DES MATIERES	p 81