



terre, océan, atmosphère

NOTES TECHNIQUES

**SCIENCES DE LA TERRE
GÉOLOGIE-GÉOPHYSIQUE**

**N° 19
1996**

**Projet de mise en œuvre d'un équipement d'étude
et de surveillance sur le volcan LOMBENBEN
(Ile d'Aoba - République du VANUATU)**

**Proposal for the installation of monitoring equipment
on the volcano LOMBENBEN
(Ambae Island, Republic of VANUATU)**

**Michel LARDY (x)
Michel HALBWACHS (xx)**

(x) ORSTOM
(xx) LIG (Université de Chambéry-France)

Fonds Documentaire ORSTOM



010007976

**INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION**

ORSTOM

**REPRÉSENTATION DE L'ORSTOM
EN RÉPUBLIQUE DU VANUATU**

A * 7975 ex 2

NOTES TECHNIQUES
SCIENCES DE LA TERRE
GEOLOGIE-GEOPHYSIQUE

N° 19

1996

Projet de mise en oeuvre d'un équipement d'étude
et de surveillance sur le volcan LOMBENBEN
(île d'AOBA - République du VANUATU)

Michel LARDY(*)
Michel HALBWACHS(**)

(*) ORSTOM

(**) LIG (Laboratoire d'Instrumentation Géophysique, Université de Chambéry, France)



En bordure du cratère VOUI le 1/12/1995

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote: A* 7975 Ex: 2

TECHNICAL NOTES
EARTH SCIENCES
GEOLOGY - GEOPHYSICS

N° 19

1996

**Proposal for the installation of monitoring equipment on the volcano LOMBENBEN
(Ambae Island, Republic of Vanuatu)**

Michel Lardy (*)
Michel Halbwachs (**)

(*) ORSTOM

(**) LIG (Geophysics Instrumentation Laboratory, Université de Chambéry, France)



On the rim of Vouï Crater, 1/12/1995

TABLE OF CONTENTS

I) - GENERALITIES

II) - LOMBENBEN VOLCANO : A FEW ELEMENTS

III) - SYNOPSIS OF RECENT ACTIVITY AT LOMBENBEN

IV) - SCOPE OF WORKS CONSIDERED

V) - INSTALLATION OF THE EQUIPMENT: LOGISTICS AND SAFETY

VI) - FUTURE ACTIVITIES

VII) - CONCLUSION

DOCUMENTS

- Map showing the volcanic risk
- Topographical map of Ambae Island - Vanuatu Topographical Department
- SPOT image of the summit area of Ambae Island (M. Lardy - L. Sigaud)

- 9 photographs:
 - On the rim of Vouï Crater, 1/12/1995 (photo M. Lardy)
 - Islets in Vouï Lake, 1969 (photo G. Gardissat)
 - Islets in Vouï Lake, 1/12/95 (photo M. Lardy)
 - Manaro Lakua and Vouï Lakes, 1986 (photo G. Gardissat)
 - Manaro Lakua and Vouï Lakes, 1/12/95 (photo M. Lardy)
 - Large island in Vouï Lake, 1/12/95 (photo M. Lardy)
 - The 3 lakes: Manaro Ngoro, Vouï, Manaro Lakua, May 1986 (photo Captain Andrew Dwyer - VANAIR)
 - Vegetation on the edge of the lake, 1/12/95 (photo M. Lardy)

APPENDICES

- 1 - French Ministry of Foreign Affairs Convention for Equipment at Ambae
- 2 - 1995 press releases
- 3 - Excerpts from the report "Volcanic Hazards in Vanuatu"
- 4 - Chronology of activity at Lombenben
- 5 - Excerpts from GVN and LAVE Bulletins
- 6 - Article "STOP Disasters", n° 23, 1995
Natural Disaster Relation in Pacific Island Countries
- 7 - Technical note on hydro-acoustics
- 8 - Bibliography on Ambae Island

SOMMAIRE

I) - GENERALITES

II) - LE LOMBENBEN : quelques éléments

III) - ESSAI de SYNTHÈSE sur l'ACTIVITÉ RÉCENTE DU LOMBENBEN

IV) - TRAVAUX ENVISAGÉS pour une MISE SOUS SURVEILLANCE

V) - LOGISTIQUE et SÉCURITÉ pour l'INSTALLATION des MATÉRIELS

VI) - PERSPECTIVES

VII) - CONCLUSION

DOCUMENTS

- Carte du risque volcanique (C Robin, M. Monzier) p.7
- Carte topographique d'AOBA IGN - Service topographique du VANUATU p.5
- Scène SPOT de la zone sommitale d'AOBA (M. Lardy - L. Sigaud) p.9

- 9 photographies :
 - En bordure du cratère Vouï 1/12/1995 (photo. M. Lardy) page de garde
 - Ilots du lac Vouï 1969 (photo P. Gardissat) p.8
 - Ilots du lac Vouï 1/12/1995 (photo M. Lardy) p.8
 - Lac Manaro Lakua et Vouï 1986 (photo P. Gardissat) p.4
 - Lac Manaro Lakua et Vouï 1/12/1995 (photo M. Lardy) p.4
 - Grande île sur le lac Vouï 1/12/1995 (photo M. Lardy) p.11
 - Les 3 lacs : Manaro Ngoro, Vouï, Manaro Lakua, mai 1996 (photo Captain Andrew Dwyer/VANAIR) p.12
 - Végétation en bordure du lac (1/12/1995) (photo M. Lardy) p.12

ANNEXES :

- 1 - Convention MAE pour l'équipement d'AOBA p.16
- 2 - Communiqués de 1995/Press release (1995) p.20
- 3 - Extraits du rapport "Risque volcanique au Vanuatu"
Report "Volcanic Hazards in Vanuatu" p.36
- 4 - Chronologie de l'activité du Lombenben p.40
- 5 - Extraits des Bulletins GVN et LAVE p.41
- 6 - Article "STOP Disasters", numéro 23, (1995) p.50
Natural Disaster Relation in Pacific Island Countries
Présentation des catastrophes dans les petits pays insulaires du Pacifique
- 7 - Note technique sur l'hydroacoustique p.56
- 8 - Bibliographie sur AOBA p.61

D) GENERALITIES

In this report we shall discuss the main reasons which led to the request that the summit region of Ambae Island (population 10,000 approx) be equipped with vulcanological monitoring equipment. Recently acquired data will be presented, along with a description of the work which has been planned for the upcoming months.

The installation is mainly funded by the French Ministry of Foreign Affairs. Our request for financial support, submitted in 1994 and renewed in 1995 (see Appendix 1), received the support of the French Embassy in Vanuatu following the critical situation in Ambae Island in 1995 (see Appendix 2), the 6 releases issued in 1995, and the "Operational Support Plan" report from the Natural Disaster Management Office.

The French Research Institute for Development through Cooperation (ORSTOM) has been working in close collaboration with the Geophysics Instrumentation Laboratory of the University of Savoie (LIG) for the development and implementation of this monitoring project. The LIG is uniquely qualified and experienced in the field of installing sensing equipment on the edges of volcanic crater lakes (Kelut in Indonesia, Taal in the Philippines), and we wished to associate their experience and ours through such organisations as C.R.V.* and WOVO*, to which both our teams belong.

We intend to set up a thermo-hydro-acoustic station in the Vouli crater lake (see photo page 4), complemented by a data acquisition station (SADAN-TSA**) to be located on the Manaro Ngoro dry lake-bed (shown as point n°3 on the map on page 5), approximately 500 m from Lake Vouli. The data will then be transmitted by ARGOS satellite to CTIV***, which will handle data processing and formatting into a data-base.

The monitoring of the volcano will be complemented by a 3-axis seismographic station located in the southern district of Ambae Island (shown as point n°6 on the map page 5), and an other seismographic station (vertical axis only) at point n°2. These stations were installed in 1995, and they transmit their data to the seismological observatory at Santo Island.

The Volcanic Hazards map for Ambae Island (page 7) was sent to the UNDHA office in Fiji (United Nations Department of Humanitarian Affairs) for publication of the 1995 updated version. The Vanuatu Department of Mines and Geology, the Natural Disasters Management Office and ORSTOM wish to see this map widely distributed among the population at risk. We also intend to include it in the VANRIS GIS****

(*) CRV: *Centre de Recherches Volcanologiques* - Jean-François Lénat, Clermont Ferrand, France

(*) WOVO: World Organisation Vulcanological Observatories - Jean-Louis Cheminée, IPG, Paris, France

(**) SADAN-TSA: Analog and Digital Data Acquisition - Transmission by ARGOS Satellite

(***) CTIV: *Centre de Téléobservation Informatisée des Volcans* - Jeanette Tabbagh, Garchy, France.

(****) VANRIS GIS: Vanuatu's Geographic Information System

I - GENERALITES

Ce rapport rassemble les principales informations qui ont justifiées la demande de mise sous surveillance de la zone sommitale du volcan LOMBENBEN sur l'île d'AOBA (environ 10000 habitants). Il fait état de quelques données récentes et décrit l'ensemble des travaux qui seront conduits dans les prochains mois.

Cette installation est principalement financée par le Ministère Français des Affaires Etrangères (MAE). Notre demande de financement de 1994, renouvelée en 1995 (annexe 1) a reçu un appui de l'Ambassade de France au VANUATU suite à la crise d'AOBA de 1995 (annexe 2, les 6 communiqués de 1995, et le rapport "operational support plan" du NDMO (Natural Disasters Management Office) à consulter.

Une collaboration étroite associe l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM) avec le Laboratoire d'Instrumentation de Géophysique (LIG) de l'Université de Savoie (Chambéry) pour la réalisation de cette opération de Surveillance. Le LIG possède une compétence unique en matière d'équipements sur les lacs de cratère (KELUT en INDONESIE et TAAL aux PHILIPINES) et nous avons souhaité associer nos expériences simplement au travers d'organisations (C.R.V* et WOVO*) auxquelles les deux équipes sont rattachées.

Nous envisageons d'installer dans le lac de cratère VOUI (voir photo page 4) une station thermo-hydroacoustique, complétée par une unité d'acquisition (SADAN-TSA**) située sur le lac asséché MANARO NGORO (point 3 sur la carte page 5) à quelques 500 mètres du lac VOUI. Les données seront transmises par ARGOS vers le CTIV***, qui se chargera du traitement et de leur mise en banque.

La surveillance du volcan est complétée par une station sismologique trois composantes située dans la zone sud de l'île d'AOBA (point 6 sur la carte page 5) et par la station sismologique du point 2 (une composante verticale). Elles ont été installées en 1995 et les signaux sont télétransmis vers l'observatoire sismologique de SANTO.

La carte des risques volcaniques (page 7) pour l'île d'AOBA a été adressée pour son édition en octobre 1995 au bureau de Fidji de l'UNDHA (Département des Affaires Humanitaires de l'ONU). Le Département des Mines et de la Géologie du VANUATU, le NDMO (Bureau chargé de la Gestion des Désastres au VANUATU) et l'ORSTOM souhaitent qu'une large diffusion de la carte des risques soit faite auprès des populations concernées. Nous pensons également l'introduire dans le SIG VANRIS****.

(*)CRV : Centre de Recherche Volcanologique. (Jean-François Lénat-CLERMONT FERRAND-FRANCE)

(*)WOVO : World Organisation Volcanologic Observatories. (Jean-Louis Cheminée-IPG. PARIS)

(**)SADAN-TSA : Système d'Acquisition de Données Analogiques Numériques-Transmission par Satellite ARGOS

(***)CTIV : Centre de Téléobservation Informatisé des Volcans. (Jeanette Tabbagh-GARCHY-FRANCE)

(****) SIG : Système d'Information Géographique du VANUATU

II) - LOMBENBEN VOLCANO : A FEW ELEMENTS

Lombenben is the bulkiest of Vanuatu's volcanoes, and is also considered as the most dangerous (see Appendix 3, excerpt from the report "Volcanic Hazards in Vanuatu", by C. Robin and M. Monzier).

During the course of the XXth century, its activity has mostly consisted in the production of fumaroles; it is difficult to attribute a cause to the "rock and water fall" mentioned in Aubert de la Rue's book "Islands of Coral and Ashes" as having taken place sometime between 1910 and 1920. Dr Kirk Huffman, anthropologist, remembered being told an old story by one of the chiefs about a fall of rocks which would have happened between 1912 and 1914, indicating that an earth tremor might have been the cause of the event related by A. de la Rue.

Its configuration as a shield volcano, the low-lying position of the active areas, the nearly permanent cloud which shrouds them and the impenetrable forest covering all but the crater lakes, make observation and access particularly difficult*.

Lake Vouï is known as "the lake of the spirits", and its access requires permission from custom authorities. In 1995, we made contact with the chief of the village of Nabamgahake, and established Mr. Noël Tahï as our representative with the custom authorities. We have since been able to appreciate his sense of responsibility and his valuable assistance during the year 1995.

III) - SYNOPSIS OF RECENT ACTIVITY AT LOMBENBEN

The recent acquisition of a few photographs and of one 1992 SPOT image helped shed some additional light on the evolution of the recent activity of the volcano (see Appendix 6, excerpts from GVN Bulletins).

The comparison between a 1969 photograph** showing the southern islets of Lake Vouï and a shot taken in December 1995 (page 8) shows the disappearance of the luxuriant vegetation and significant erosion of the islets. The emission of sulphurous gasses, together with a raise in soil temperature, result in deforestation, which in turn leads to increased erosion under the influence of the abundant rainfall***. The recently processed 1992 SPOT image (see page 9) confirmed the volcano's increased activity (further deforestation compared to 1991) and showed an area of dissolved gasses in the lake (showing as a light blue discoloration in the colour photo of the lake) corresponding exactly with the phreatic explosion observed on March 3 1995 (see CVN, volume 20 n°2 and 8, and LAVE n°57).

(*) It took C. Peter and S. Glaser, of the association L.A.V.E. 3 days in late April 1996 to get to Lake Vouï from the village of Nabamgahake. The footpath had to be reopened following the passage of cyclone Bety.

(**) Paul Gardissat, a school teacher, was with A. Waren, who carried out the first significant geological survey of the island (see Appendix 7, Bibliography).

(***) In 1993/94, on the neighbouring island of Ambrym, we recorded approximately 7 meters of rainfall over a 12 month period.

II - LE VOLCAN LOMBENBEN, QUELQUES ELEMENTS

C'est le plus volumineux volcan du VANUATU, qui est également considéré comme le plus dangereux (en annexe 3, l'extrait de "Risque volcanique au VANUATU" par C. ROBIN et M. MONZIER).

Son activité au cours du 20^e siècle semble avoir été essentiellement fumerolienne, bien qu'il reste difficile d'attribuer une origine à la cataracte dont Aubert de la RUE fait état dans son livre "îles de cendre et de corail" (chronologie des événements connus en annexe 4) et qui se situerait entre 1910 et 1920. Une information orale (2/8/96) de Kirk HUFFMAN (anthropologue) nous précise qu'il a recueilli d'un chef une histoire d'une chute de rochers qui se serait passée entre 1912 et 1914. Ce pourrait-être un séisme qui serait à l'origine de l'évènement rapporté par A. de la RUE.

Sa forme de volcan bouclier, l'encaissement des zones actives, une couverture nuageuse quasi permanente, un couvert végétal total et très dense à l'exception des lacs rendent son observation et son accessibilité particulièrement difficiles*.

Le lac VOUI est "Le lac des esprits" son accès en est "règlementé" (ORSTOM Actualités n°48) . Nous avons établi en 1995 un contact avec le chef du village de NABAMGAHAKE ; Noël TAHI est notre représentant auprès des chefs coutumiers. Nous avons pu apprécier son sens des responsabilités et son aide efficace pendant l'année 1995.

III - ESSAI DE SYNTHÈSE SUR L'ACTIVITÉ RÉCENTE DU LOMBENBEN

La collecte récente de quelques photos et d'une image SPOT de 1992 nous permet d'apporter un éclairage complémentaire à l'évolution de l'activité récente du volcan (annexe 6, les documents extraits de bulletins GVN).

La comparaison entre une photographie** de 1969 des îlots du sud du lac VOUI et un cliché de décembre 1995 (photos page 8), nous montre avec la disparition d'une végétation luxuriante, une importante érosion des îlots ; l'émission de gaz sulfureux associée à une montée en température des sols entraînent une déforestation qui favorise à son tour l'érosion des sols soumis à des pluies abondantes***. La scène SPOT d'octobre 1992 (page 9) récemment traité nous permet de confirmer la montée en activité du volcan (augmentation de la surface déforestée par rapport à 1991) avec également la mise en évidence d'une zone de dissolution des gaz (tâche bleue-claire sur le cliché couleur dans le lac VOUI) qui correspond précisément à celle de l'explosion phréatique du 03 mars 1995 (voir GVN volume 20 n°2 et n°8, et LAVE n°57).

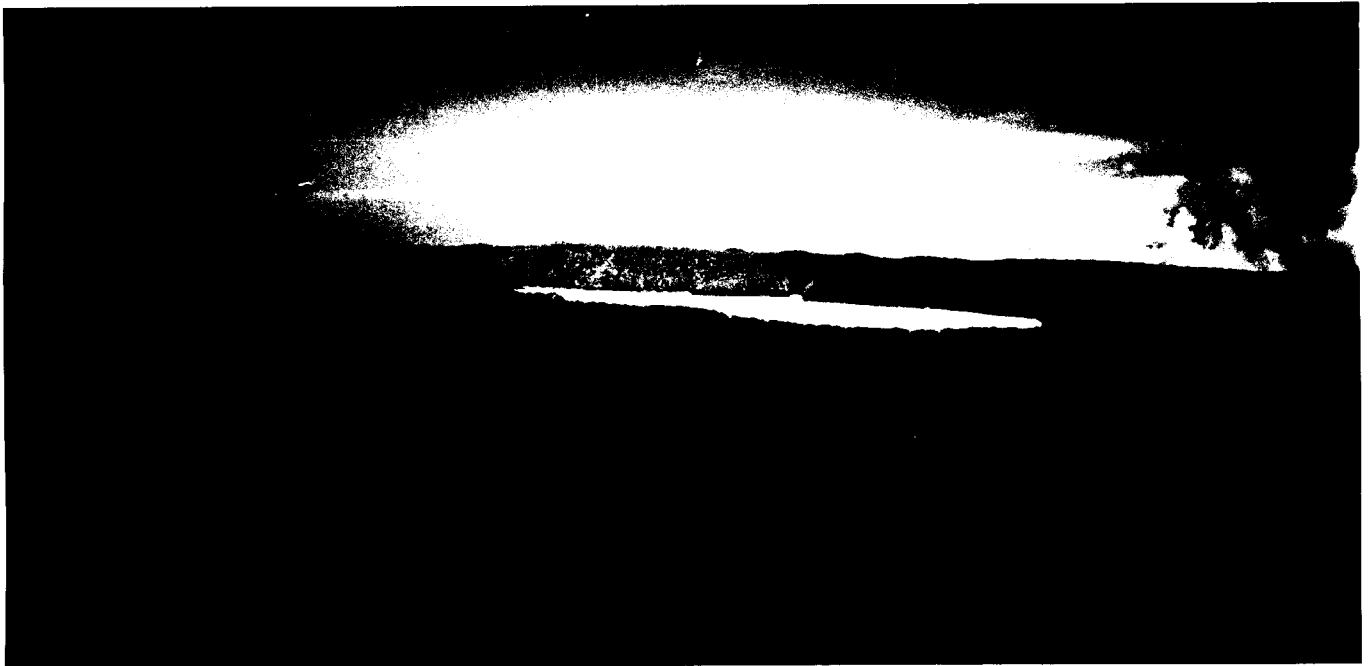
(*) - (C. PETER et S.GLASER de l'association L.A.V.E ont mis 3 jours, fin avril 96, pour accéder depuis le village de NABAMGAHAKE au lac VOUI. La réouverture de la piste a été nécessaire après le passage du cyclone BETY.

(**): Paul Gardissat (enseignant) accompagnait A. Warden qui a entrepris le premier travail géologique important de cette île. (Bibliographie en annexe 7).

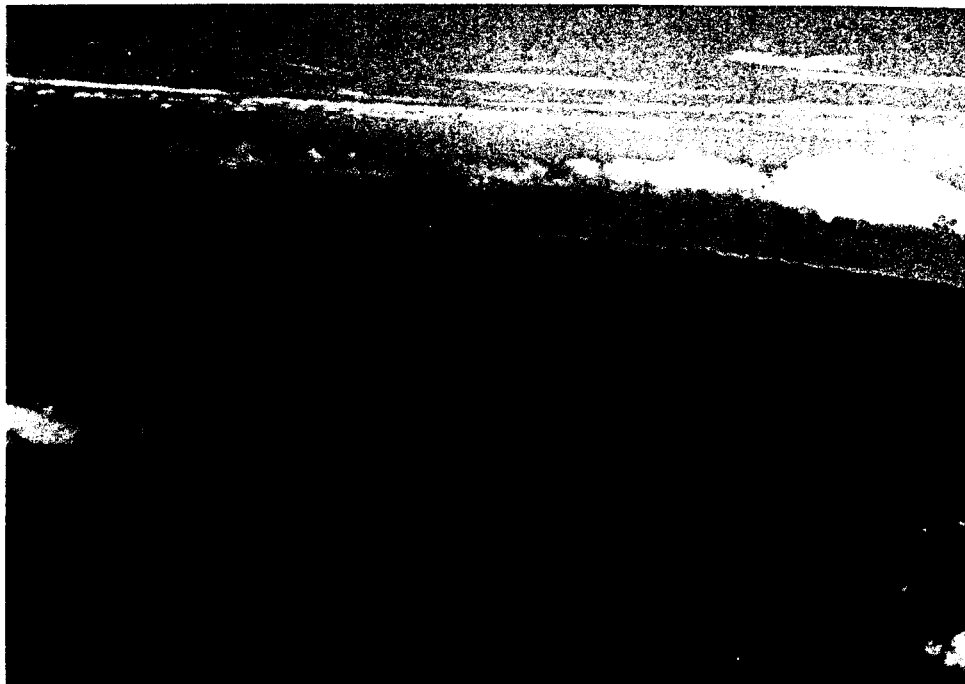
(***): Sur Ambrym en 1993/94 nous avons enregistré une pluviométrie de l'ordre de 7 mètres sur douze mois.



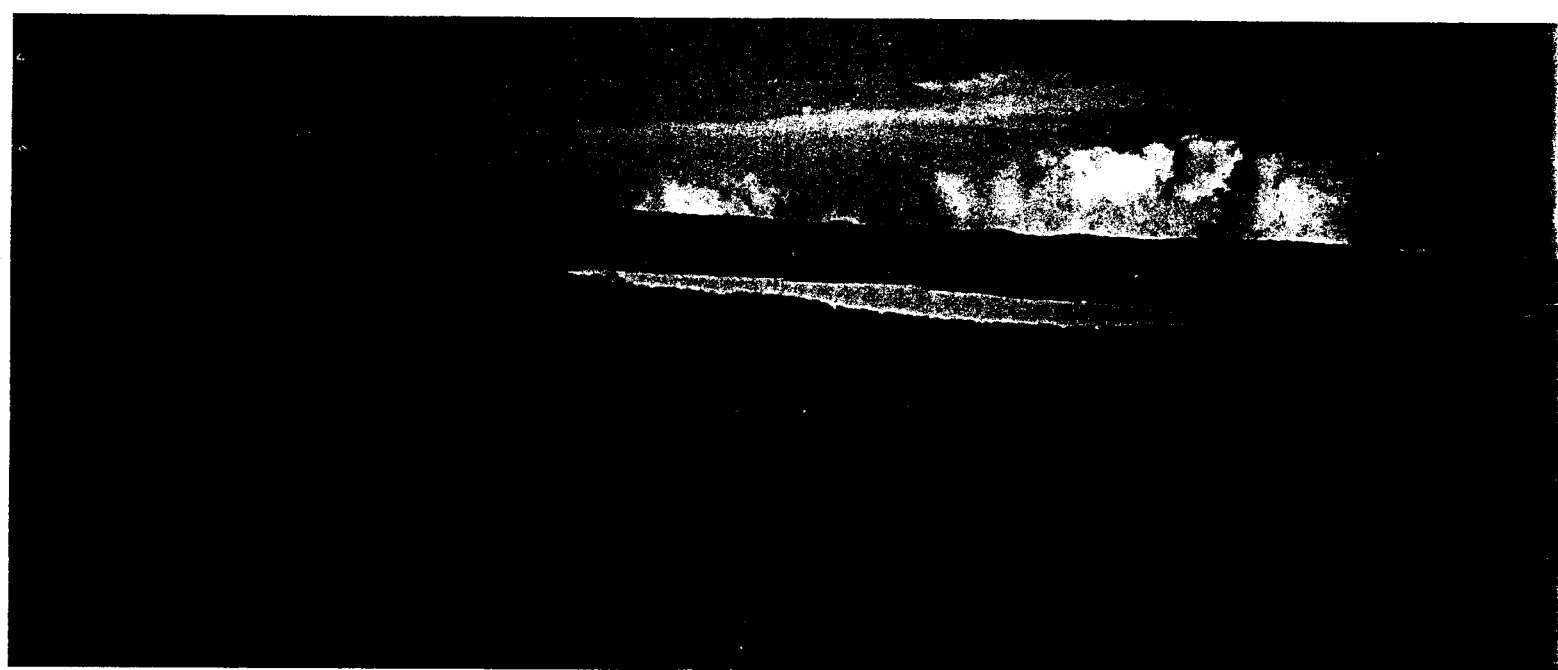
Ambae (Aoba): Manaro Lakua and Voui Lakes
Photo taken in 1986 by P. Gardissat



Ambae (Aoba): Manaro Lakua and Voui Lakes
Note the significant discoloration of Voui Lake, the deforestation of
the areas near Voui Lake, and the two landslides to the right of the
picture.
Photo taken December 1st 1995



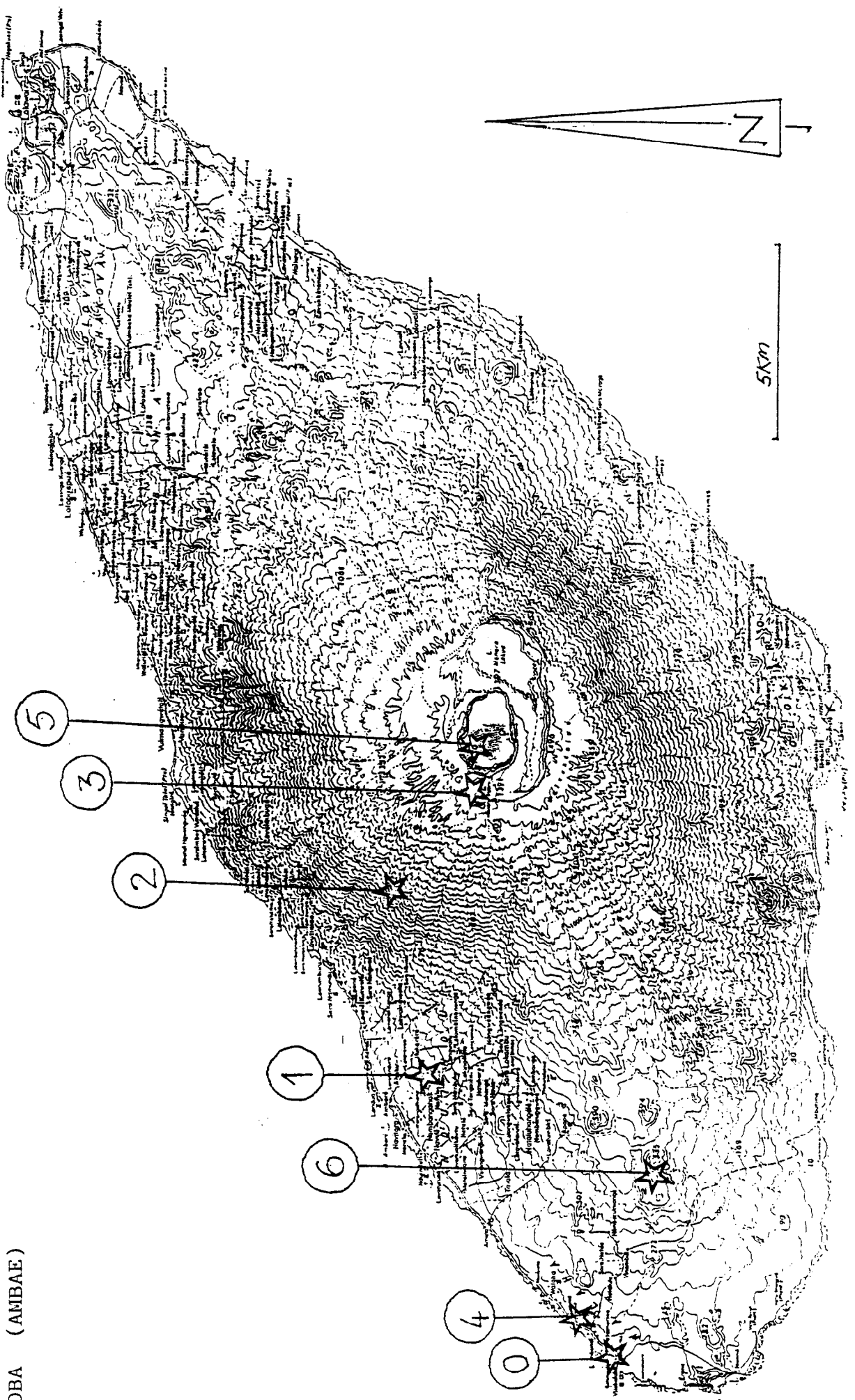
AOBA (AMBAE) Lacs Manaro Lakua et Voui
photographie prise en 1986 (P. Gardissat)



AOBA (AMBAE) Lacs Manaro Lakua et Voui.

On observe la forte décoloration du lac Voui,
la déforestation des zones proches du lac Voui
ainsi que deux glissements de Terrain (à droite sur
la photo). Cliché du 1^{er} décembre 1995.

AOBA (AMBAE)



The use of SPOT images for regular monitoring of Lombenben in order to follow the evolution of the activity at the crater lakes and the alterations of the surrounding areas (surface area and intensity of deforestation) is worth considering. The purchase of the required SPOT images can be shared with forestry inventory programmes (monitoring of the evolution of man-made deforestation). The image-derived data can be validated by ground-truth investigations (sampling and geo-chemical analysis of the waters), to match the evolution of water characteristics with image chromatic signature. Once the necessary credits have been allocated (approximately 15,000 FF per image), a period of minimal cloud cover will need to be selected.

IV) - SCOPE OF WORKS CONSIDERED

Our goals are threefold:

1) - Bathymetric survey of Lake Voui, and possibly of Lake Manaro Lakua, with the intention of producing a map similar to the one established for Lake Letas (Gaua, Banks Islands)*. We would like to know the configuration of the crater in order to help select the location of the hydrophone for the proposed monitoring station, and to be able to estimate the volume of water corresponding to a given reference level (the level of the lake can vary by 6 to 8 meters). We shall also attempt to obtain a sampling of the water at depth.

Required equipment:

- one small boat, aluminium or plastic, to be hired
- one outboard motor, 4.5 hp, already available
- one echo-sounder with 300 m range, already available
- one GPS receiver, to be borrowed
- one sampling bottle, tip type, to be borrowed
- VHF voice communication equipment, already available
- life jackets, already available.

The operation can only be carried out when visibility is sufficient. For measurements of the central portion of the lake, (the most active) the helicopter will be standing by for rescue if need be, sitting on the central islet or on a specially prepared platform with the turbine running.

2) - Installation of a hydro-acoustic station on the islet in the centre of Lake Voui (the photos on page 14 show the landing site used on June 27 1995)**. A hydrophone will record carefully selected signal band-widths going from a few Hz to several tens of Hz (ultrasonic range).

We will make use of a system which separates the signal, in analog mode, into spectrum band-widths; a micro-computer will handle the data acquisition and transmit this data via ARGOS beacon (see Appendix 6. Note by M. Halbwachs and J.C. Sabroux)

(*) L. Thery *et al.*, Report n°10, 1995 - ORSTOM Port Vila (Vanuatu)

(**) M. Lardy *et al.*, Report n°11, 1995 - ORSTOM Port Vila (Vanuatu)

L'utilisation des images SPOT pour une surveillance régulière du LOMBENBEN afin de suivre l'évolution de l'activité des lacs de cratères et des perturbations causées sur l'environnement (surface et intensité de la déforestation) mériterait d'être envisagée. L'acquisition de scènes SPOT pouvant se faire en association avec des programmes d'inventaires forestiers de l'île (déforestation anthropique) et complétée par des vérités terrains (échantillonnages et analyses géochimiques des eaux) pour suivre leur évolution en fonction de différentes réponses colorimétriques des images. Après la mise en place de crédits (environ 15000 FF la scène) il restera à choisir une période ou la couverture nuageuse sera réduite.

IV - TRAVAUX ENVISAGES

Nous nous sommes fixés trois objectifs principaux.

1) - Une reconnaissance bathymétrique du lac VOUI, voire du MANARO LAKUA, c'est à-dire aboutir à une carte sensiblement identique à celle que nous avons produite pour le lac LETAS (île de GAUA-BANKS)*. Nous aimerions connaître la structure du cratère pour faciliter l'installation de l'hydrophone qui sera associé à la station de surveillance et estimer le volume d'eau pour un niveau de référence donné (fluctuations de 6 à 8 mètres). Un échantillonnage des eaux en profondeur sera également tenté.

Matériels nécessaires :

- une petite embarcation en aluminium ou matière synthétique : à louer
- un moteur de 4,5 HP : disponible
- un sondeur 0-300 m : disponible
- un GPS : en prêt
- 1 bouteille à renversement : en prêt
- sécurité :
- liaison phonie en VHF : disponible
- gilets : disponible

L'opération ne pourra être conduite qu'avec une visibilité suffisante. L'hélicoptère pour les mesures dans la partie centrale du lac (la plus active) assurera la sécurité des opérateurs (turbine en marche, et posé sur l'ilôt central ou une plateforme devra être aménagée dès le début de l'opération du lac VOUI).

2) - Mise en oeuvre d'une station hydroacoustique sur l'ilôt central du lac VOUI (photos page 14 zone d'atterrissage du 27 juin 1995)**. Un hydrophone enregistrera dans les bandes de fréquences judicieusement découpées des signaux compris entre quelques hertz et plusieurs dizaines de kilohertz (spectre ultrasonore).

Nous disposerons d'un système qui découpe le signal de manière analogique par bandes spectrales ; un micro-ordinateur gère l'acquisition et transmet les informations via une balise ARGOS (note de M. HALBWACHS et J.C. SABROUX en annexe 6).

(*) L. THERY et al ..Rapport n° 10 (1995)

ORSTOM PORT-VILA (VANUATU)

(**) M. LARDY et al.. Rapport n° 11 (1995)

ORSTOM PORT-VILA (VANUATU)

VOLCANIC HAZARD MAP FOR AOBA ISLAND / CARTE DES RISQUES VOLCANIQUES POUR L'ILE D'AOBA (VANUATU)

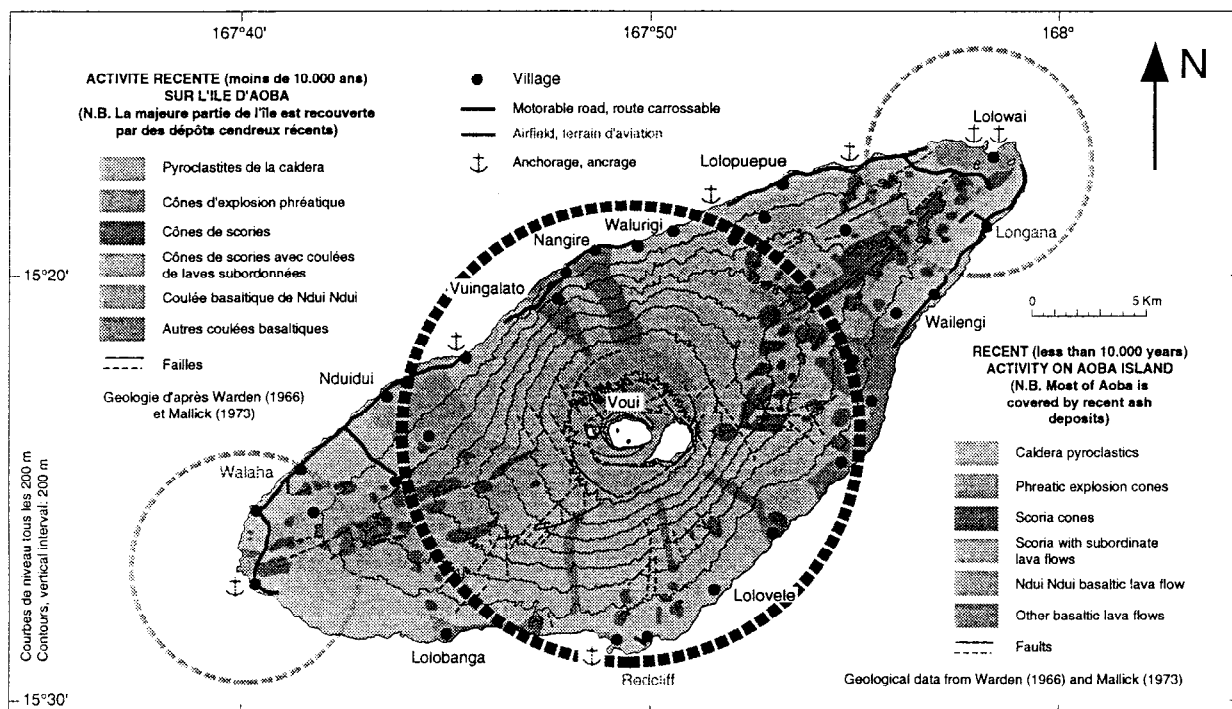
by / par M. MONZIER and C. ROBIN (ORSTOM)

■ ■ ■ 10 km radius area surrounding the Lake Voui (main summit crater). In the case of a resumption of volcanic activity in the summit area, strong falls of ash, dense lapilli and accretionary lapilli, as well as devastating pyroclastic flows, base surges and lahars may occur in this area. Then, it will be wise to evacuate, in a first phase, the population of coastal villages of this area towards the NE and SW extremities of the island.

⊘ ⊘ ⊘ 5 km radius on- and off-shore area surrounding both extremities of the island, where strongly explosive magma-seawater interactions may occur. If the eruption take place near the NE and SW extremities of the island, or spread along fractures from the central vent towards these extremities, then it might be necessary to evacuate the population living in these areas.

N.B. In case of eruption, lava flows may also erupt anywhere from SW-NE flank fissures and flow down to the coast; ash may also fall over the whole island. For example, the Ndui Ndui lava flow [diagonal hatching], emitted about 300 years ago, flowed from about 1000 m in altitude and covered a large area of the island before to enter the sea.

Accretionary lapilli: small balls of mud, a few millimeters to 1-2 centimeters in diameter, falling after phreato-magmatic explosions. **Ash:** volcanic sand which fall during an eruption. **Base surge:** hot and fast pyroclastic flow rushing down the slopes after phreato-magmatic explosions. **Caldera:** large crater. **Lahar:** devastating mud flow with large blocks and tree trunks rushing down the slopes. Important lahars could be produced if explosions eject the water of Lake Voui. Lahars may also appear in case of heavy rains removing recent ash deposits. **Lapilli:** gravel and small blocks which fall during a volcanic eruption. **Magma:** very hot molten rock. **Phreato-magmatic eruption:** eruption related to an explosive interaction between magma and water (ground water or sea water). **Pyroclastics:** ash, lapilli and block deposits. **Pyroclastic flow:** very hot cloud bearing ashes, lapilli and blocks, and rushing down the slopes.



■ ■ ■ Zone circulaire de 10 km de rayon entourant le Lac Voui (principal cratère sommital). En cas de reprise de l'activité volcanique dans ce cratère, de fortes chutes de cendres, de lapilli denses et de lapilli accrétonnés ainsi que des coulées pyroclastiques, des déferlantes basales et des lahars dévastateurs pourraient se produire dans cette zone. Il serait alors prudent d'évacuer, dans un premier temps, les populations des villages côtiers de cette zone vers les extrémités NE et SW de l'île.

⊘ ⊘ ⊘ Zones circulaires de 5 km de rayon, terrestres et marines, entourant les extrémités NE et SW de l'île, où de violentes interactions explosives magma-eau de mer peuvent se produire. Au cas où une éruption se produirait à ces extrémités de l'île, ou au cas où elle s'étendrait du sommet vers ces extrémités, il serait nécessaire d'évacuer les populations qui s'y trouvent.

N.B. En cas d'éruption, des coulées de laves pourraient apparaître le long de fissures SW-NE en n'importe quel point de l'île et descendre vers la côte; des chutes de cendres pourraient également affecter l'ensemble de l'île. Par exemple, la coulée de Ndui Ndui [diagonal hatching], émise il y a environ 300 ans, est partie d'une altitude voisine de 1000 m et est descendue jusqu'à la côte, entrant dans la mer après avoir ravagé une grande surface de terrain.

Caldera: large cratère. **Cendres:** sable volcanique tombant en pluie pendant une éruption. **Coulée pyroclastique:** nuage très chaud, chargé de cendres, lapilli et blocs, dévalant rapidement les pentes (très dévastateur). **Déferlante basale:** coulée pyroclastique produite par une explosion phréato-magmatique. **Lahar:** coulée de boue dévastatrice, chargée de blocs et de troncs d'arbres, dévalant les pentes. Des lahars importants se produiraient en cas d'éjection des eaux du Lac Voui par de fortes explosions. Des lahars peuvent également apparaître lorsque de fortes pluies reprennent des dépôts de cendres fraîches. **Lapilli:** gravier, petits blocs tombant en pluie pendant une éruption volcanique. **Lapilli accrétonnés:** petites billes de boues, de quelques millimètres à 1-2 centimètres de diamètre, qui tombent en pluie après une explosion phréato-magmatique. **Magma:** roche fondue très chaude. **Eruption phréato-magmatique:** éruption liée aux interactions explosives entre magma et eau (de rivière, lac ou mer). **Pyroclastites:** dépôts de cendres, lapillis et blocs.

ORSTOM, 1995

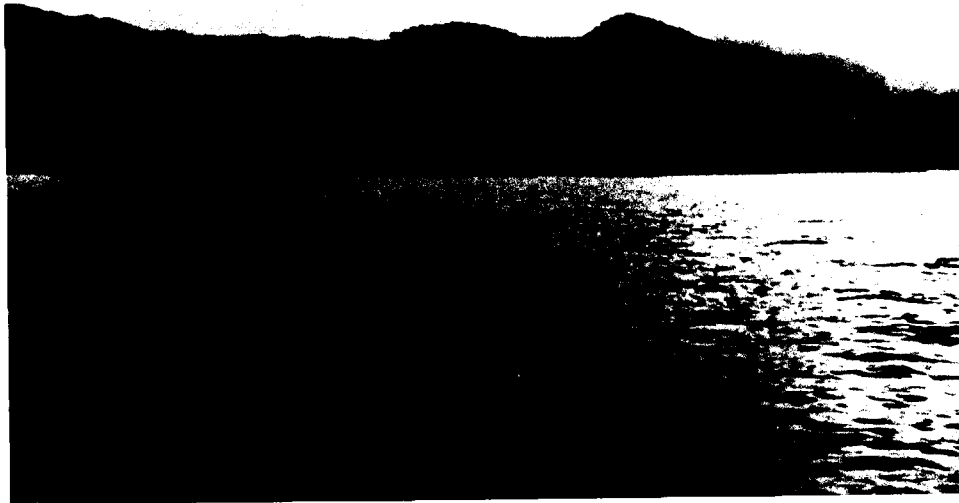


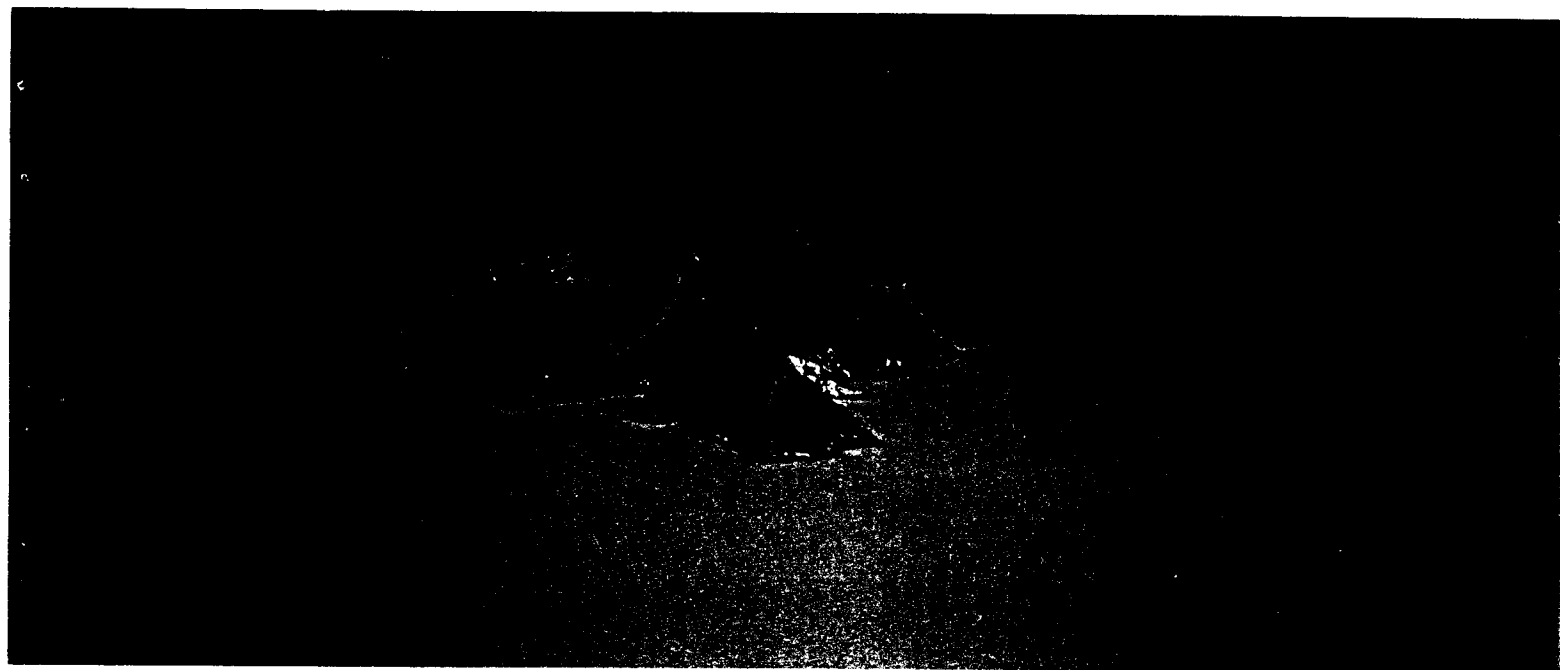
Photo taken in 1969 by P. Gardissat
Dense vegetation covers the islets of Vouli Lake



Photo taken December 1st 1995 by M. Lardy
Comparison with the above picture shows both the loss of
vegetation and the magnitude of the erosion of this group of islets in
the southern part of Lake Vouli



Cliché de 1969 (P. Gardissat).
Une forte végétation recouvre les ilots du lac Vouï

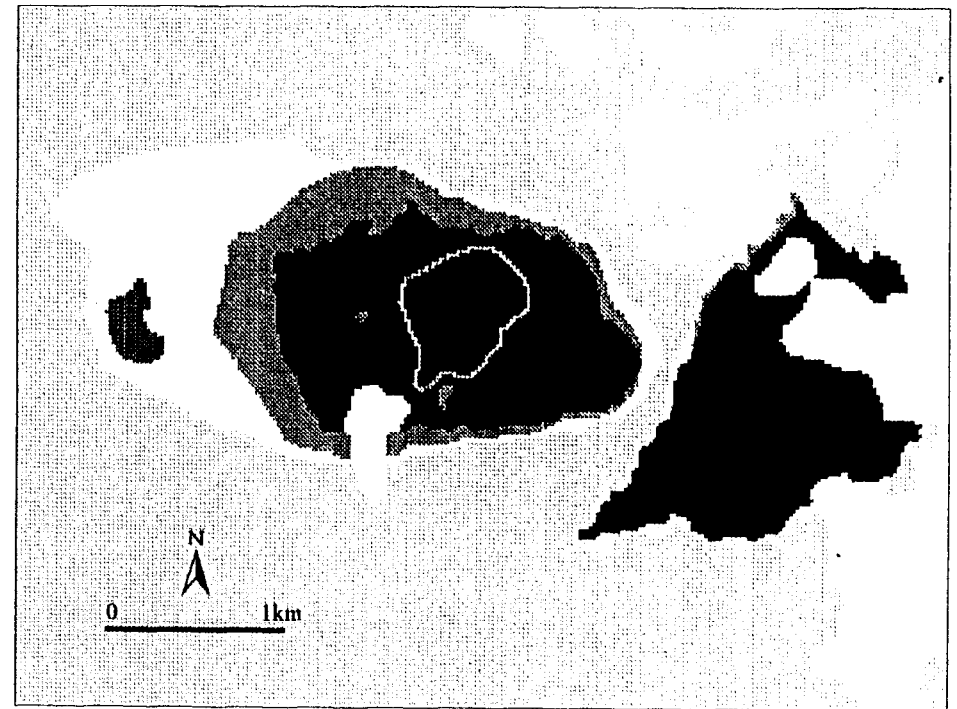
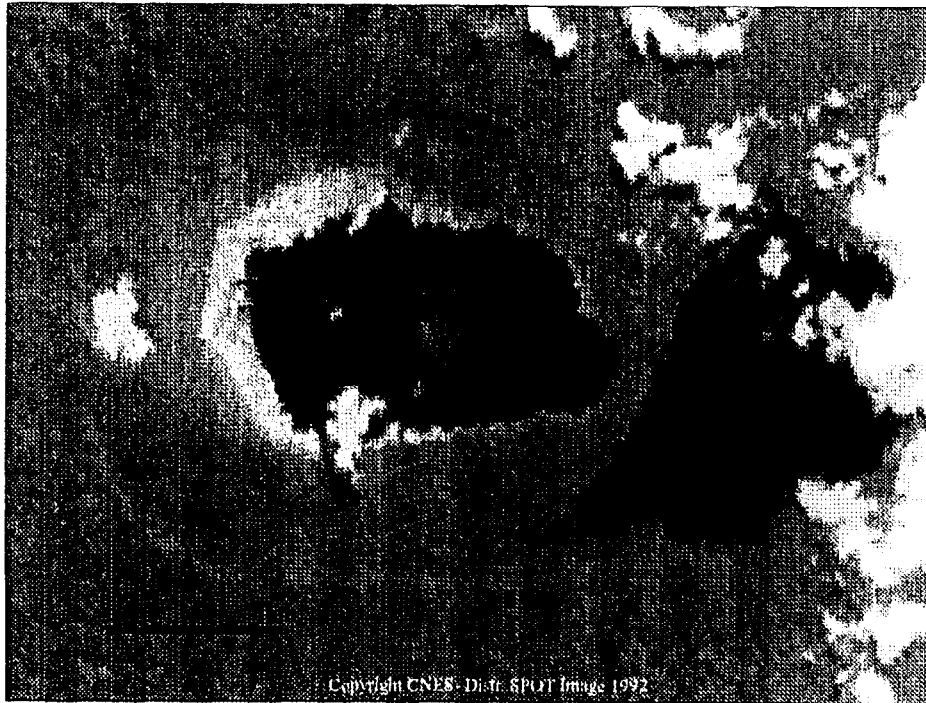


Photographie du 1er décembre 1995 (M. Lardy).

La comparaison avec le cliché ci-dessus montre, outre une déforestation totale, une importante érosion du groupe d'ilots de la zone sud du lac Vouï.

Highlighting phenomens of gaz dissolution of volcanic lake and deforestation around the lake, using a SPOT image

(Manoro Voui volcanic lake, Aoba island, Vanuatu)

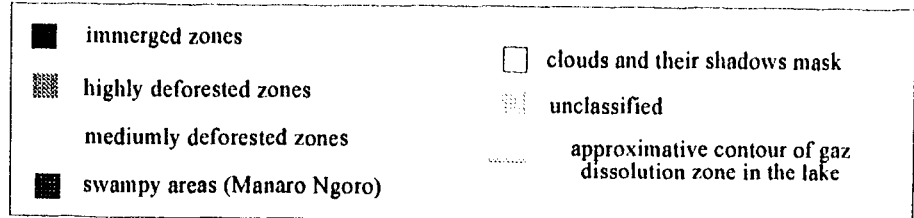


False colour composite image from XS1, XS2 and XS3 SPOT channels
SPOT image (KJ 414/380) - 09.10.92

Thematic cartography of immersed and deforested areas
(supervised classification of the colour composite image)

Surfaces estimation

themes	estimated surfaces (ha) from classification	extrapolated surfaces (ha) after the removal of mask zones
immersed zones (Manaro Voui)	192	200
immersed zones (Manaro Lakua)	160	206
highly deforested zones	91	94
mediumly deforested zones	139	159
gaz dissolution zone of Voui lake	41	41
Voui lake islets	1.1	1.1
swampy areas (Manaro Ngoro)	10	10



Realised in May 1996
Michel LARDY - Luc SIGAUD
Caledonian Image Processing Laboratory
ORSTOM Nouméa, New Caledonia



The same type of equipment was installed on the volcanoes Kelut (Indonesia) and Taal (Philippines). A bathymetric thermometer probe will record the temperature variations within the lake waters, and its data will be transmitted simultaneously with the signals from the hydrophones. Because of the difficulty of access to the site, we shall need to use particularly simple and reliable equipment.

The first stage of the programme will consist of identification of the signals picked up in Lake Vouli. *In situ* processing will be carried out during later development stages.

3) - The installation of a second station, identical to the ones in place at the volcanic sites of Tanna, Ambrym and Gaua islands, will be set up in the area of the dried lake-bed of Manaro Ngoro (western part of the volcanic structure, see photo on page 12). Separate rainfall measurements, with collection of rainwater samples, will complement the seismic activity and ground temperature measurements (same system as the one set up at Port Resolution, Tanna Island).

IV - LOGISTICS AND SAFETY

a) - Transportation

Equipment coming from France will be shipped to Port Vila by air-freight. The whole of the equipment will then be taken to Ambae by air and by boat. We expect to store it in the village of Nabamgahake, under the responsibility of Chief Noël Tahī. When the time comes for carrying out the installation, the gear will be taken to the dry lake-bed site (the only treeless area) by a series of helicopter journeys. The dry lake-bed will then become the base-camp for the project.

We would expect to complete the operation within four days. Meteorological conditions will be the most critical factor, particularly for carrying out the operations on Lake Vouli with the support of the helicopter.

A part of the work team will travel from Port Vila with the helicopter, the rest taking the regular VANAIR flights.

b) - Safety

We will have an HF transceiver to keep in daily contact with the Vanuatu authorities and with the Port Vila ORSTOM Centre. The helicopter is also fitted with its own communication equipment.

The measurements within the lake itself will be the trickiest. The personnel involved will be the helicopter pilot, three or four scientific and technical people, and two or three local (Ambae) residents to serve as guides and labour and to look after provisioning.

The footpath leading from the village of Nabamgahake to the summit will need to be made useable.

Ce dispositif a été installé sur le volcan KELUT (INDONESIE) et TAAL (PHILIPINES). Une bathythermie enregistrera les variations de températures du lac qui seront transmises simultanément avec les signaux hydroacoustiques.

La difficulté d'intervention sur un tel site nous conduit à retenir des matériels simples et fiables.

L'identification des signaux émis dans le lac VOUI est une première étape ; les traitements *in situ* sont réservés à des phases de développement ultérieur.

3) - La mise en oeuvre d'une seconde station, d'un modèle identique à celles qui sont installées sur les édifices de TANNA, d'AMBRYM, et de GAUA, sera disposée dans la zone du lac asséché MANARO NGORO (zone Ouest de l'édifice, voir photo page 12). Les mesures de sismicité et température de sol seront complétées par une mesure pluviométrique indépendante avec récupération des eaux de pluies (système identique à celui installé à Port-Résolution (TANNA).

IV - LOGISTIQUE ET SECURITE

a) - Transport :

Les matériels en provenance de France seront acheminés par avion jusqu'à PORT-VILA. L'ensemble du matériel sera transporté vers AOBA par avion et bateau. Nous pensons l'entreposer au village de NABAMGAHAKÉ sous la responsabilité du chef Noël TAHI. Au moment de la mission une série de rotations hélicoptérées assureront l'acheminement de tous les matériels vers le lac asséché (seule zone sans arbres) qui nous servira de camp de base.

Nous envisageons de boucler l'opération sur un maximum de quatre jours. Les conditions météorologiques seront des éléments clefs en particulier pour conduire les opérations sur le lac VOUI avec l'appui de l'hélicoptère.

Une partie des personnels sera acheminée depuis Vila par l'hélicoptère, les autres par les vols réguliers sur VANAIR.

b) - Sécurité

Nous disposerons d'un émetteur HF pour assurer avec les organismes gouvernementaux de l'archipel et le Centre ORSTOM de PORT-VILA les contacts quotidiens. L'hélicoptère dispose également de ses propres outils de transmission.

Ce sont les mesures dans le lac qui poseront le plus de problèmes. Les effectifs seront limités au pilote, à trois ou quatre techniciens et scientifiques et deux ou trois personnes d'AOBA (guide, main d'oeuvre, intendance).

La piste conduisant du village de NABAMGAHAKÉ au sommet sera rendue utilisable.



Western side of the islet at
the centre of Lake Vouli.
Photo taken December 1st
1995



The same islet, seen from the
East, December 1st 1995



Côté Ouest de l'îlot
situé au centre
Ouest du lac Vouï
le 1^{er} décembre 1995

11



Même îlot que
ci-dessus vu côté Est
le 1^{er} décembre 1995



The three lakes at Lombenben Volcano. Manaro Ngoro is in the foreground, Voui in the middle, with Manaro Lakua further back. In the distance, one can see the islands of Maewo and Pentecost.

The photographic process exaggerates the discoloration of Lake Voui.

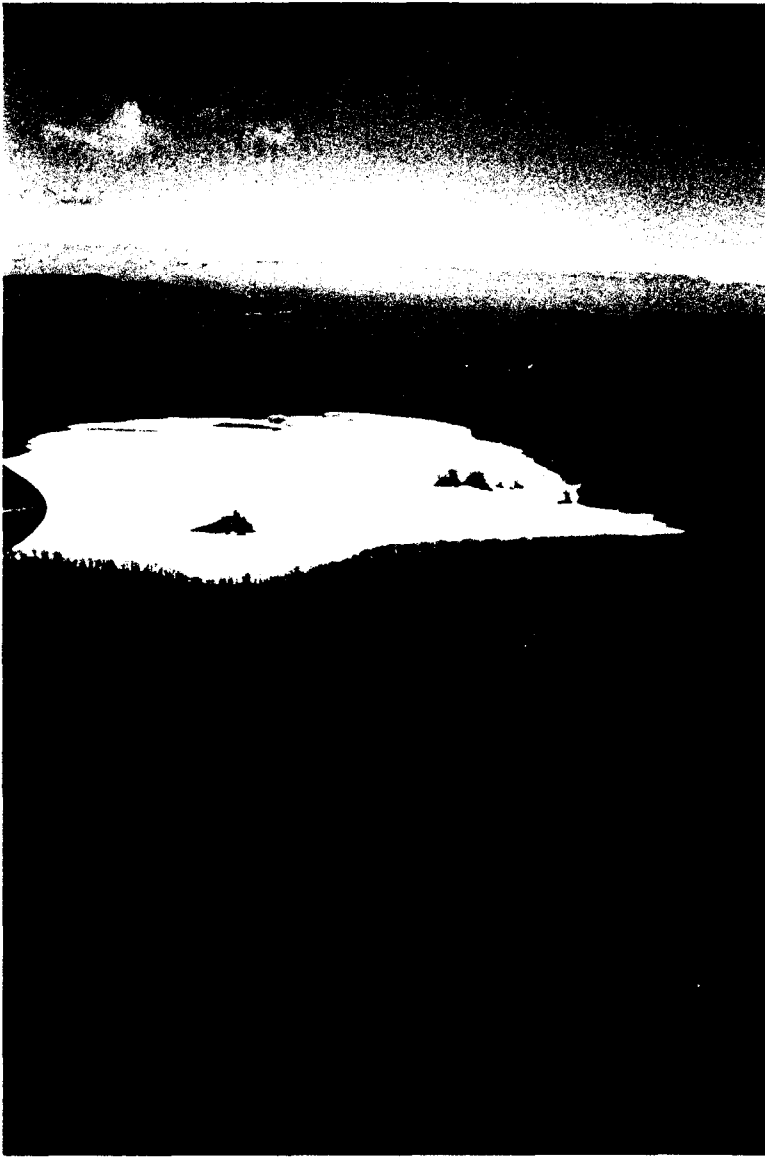
The author of the photograph (Captain Andrew Dwyer) confirms that the true colour of the lake is as seen on the photograph at the bottom of page 4.

The lake water has a pH of about 2.

Photo taken in May 1996



Close up of the deforestation along the edges of Lake Voui, December 1st 1995. One may note the beginning of regrowth of fern species.



L'ensemble des 3 lacs du volcan Lombok. Au premier plan le Manaro Ngoro, au centre le lac VOUI puis le Manaro Lakua. On aperçoit plus loin les îles de Maewo et de Pentecôte.

La décoloration du lac VOUI est amplifiée (effet photographique).

L'auteur du cliché (Captain Andrew Duger) confirme que la couleur du lac est celle de la photo du bas de la page 4 de ce rapport.

(Le pH de l'eau est de l'ordre de 2).

Photo prise en mai 1996.



Un aspect de la déforestation en bordure du lac VOUI le 1er décembre 1995.

On observe une début de recolonisation par des fougères.

V - CONCLUSION

Full time monitoring of the volcano Lombenben, in an area where visibility is severely limited and access is difficult, will be made possible through the installation within the summit area of two data-gathering stations with transmission facilities through ARGOS beacons.

The station to be installed within Lake Vouliouki will also be able to investigate a new range of signals (see Appendix 7).

The seismological station shown as point 6 on the map of page 5, coupled with the one at point 2 (single vertical axis) should facilitate pinpointing of neighbouring seismological events. Their data, transmitted to the Santo Observatory, can then be processed using RSAM technology (Real Time Seismic Amplitude), and the signals analyzed in real time. In this way, the relationships between nearby seismic activity and seismic phenomena within the summit area can be brought to light.

Full time monitoring would have made it possible to spot the very slow regain of activity of the volcano, beginning in 1986 and culminating in the phreatic explosion of 1995.

The two remote-transmitting stations will complement the installations already set up at Tanna, Ambrym and Gaua. The whole of the four volcanoes monitored will form a network of five beacons spread north-south through Vanuatu over about 800 km. The life expectancy of the system will depend on the quality of its maintenance, and a minimum logistic support by scientific personnel (ORSTOM, LIG, etc.) will need to be provided to the Department of Mines and Geology.

The funding required for the ongoing operation of the beacons remain to be found, and it may be regretted that the United Nations, having decreed 1990-2000 as the Decade of Reduction of Natural Hazards, has only offered moral support to programmes of experimentation which call upon collaboration between the local populations, the authorities and the scientific community.

Permission was obtained from the chiefly authorities of the island of Ambae for the installation of the equipment within the summit area of the volcano. As the project falls within the "Study and Monitoring of Vanuatu's Volcanoes" programme, the support of the national government is implicit.

V - CONCLUSION

La mise en oeuvre de deux outils d'acquisition de données télémétrés au travers du système ARGOS, dans la zone sommitale du volcan Lombenben, permettra d'assurer une surveillance permanente dans un secteur de visibilité réduite et d'accès difficile.

La station qui sera installée dans le lac VOUI explorera également un nouveau champ de signaux (annexe 7).

La station sismologique du point 6 (carte page 5) associée à celle du point 2 (une composante verticale) devraient faciliter une localisation d'évènements sismologiques proches ; télémétrées sur l'observatoire de SANTO elles pourront-être associées à un outil de traitement RSAM (Real Time Seismic Amplitude) dans lequel les signaux seraient analysés en temps réel. Les relations entre l'activité sismologique proche et les manifestations de la zone sommitale seraient ainsi mises en évidence.

Une surveillance permanente aurait permis de suivre la très lente reprise d'activité qui a commencée entre 1986 et 1991, et qui s'est poursuivie jusqu'à l'explosion phréatique de 1995.

Les deux stations télémétrées par ARGOS compléteront les dispositifs installés sur TANNA, AMBRYM et GAUA. L'ensemble des 4 volcans instrumentés représentera un dispositif de 5 balises réparties sur environ 800 km du Nord au Sud de l'archipel du VANUATU. La qualité de la maintenance assurera la pérennité des observations ; un soutien logistique minimum des scientifiques (ORSTOM, LIG...) devra être maintenu auprès du département des Mines et de la Géologie.

Les fonds nécessaires aux frais de fonctionnement des balises restent à trouver, et on peut regretter que les Nations-Unies qui ont décrété 1990-2000, décennie de la réduction des risques naturels (IDNDR), n'apportent qu'un soutien moral à des expériences qui associent les populations, les autorités administratives et les scientifiques.

Les autorisations des chefferies de l'île d'Aoba ont été obtenues pour l'installation de matériels dans la zone sommitale du volcan. L'opération s'inscrivant dans le projet d'"étude et de surveillance des volcans du VANUATU" le soutien des autorités administratives du pays est implicite.

ANNEXES

a u

Rapport N° 19/1996

Demande d'aide DCSTE (MAE) pour 1996
Au titre de la Coopération Scientifique
avec le VANUATU

=====

Objet : Mise en oeuvre d'une station de téléobservation (ARGOS) pour la surveillance du volcan de l'île d'Aoba (latitude : 15°20S longitude : 167°50E) en République de VANUATU (OCEANIE).

Nom du chercheur :
Michel LARDY / Michel HALBWACHS

Organismes demandeurs :
ORSTOM, Centre de PORT-VILA/Université de Chambéry

Opération : Complément au programme d'étude et surveillance actuellement mené par l'ORSTOM/MAE (avec l'arrivée d'un nouveau partenaire : l'Université de Chambéry).

Thème : Surveillance des volcans : recherche scientifique et protection civile dans le cadre de la Décennie "Risques Naturels" (ONU).

Justification scientifique :

Les études géologiques récentes entreprises dans le cadre du programme "Etude et Surveillance des volcans du VANUATU (MAE/ORSTOM) ont montré que le volcan d'Aoba ou AMBAE (le plus volumineux, reste potentiellement un des plus dangereux de l'Archipel du VANUATU). Nous n'avions pas retenu initialement l'équipement de ce volcan, notre choix appuyé par la demande gouvernementale s'étant porté vers les édifices les plus actifs (TANNA, AMBRYM, GAUA).

Les observations de terrain réalisées récemment montrent qu'à chaque reprise d'activité le lac de cratère sommital (lac Vouï : 2 km de diamètre, probablement plus de 100 m de profondeur) est expulsé, entraînant la formation de lahars (coulées boueuses transportant des blocs et des troncs) qui ont ravagé à plusieurs reprises les flancs de la partie centrale de l'île (très nombreux villages...). En 1914 un lahar* a détruit un village sur la Côte Est...).

(*) - *En fait on ne sait pas s'il faut attribuer l'origine de cette catastrophe à un fort séisme, à un glissement de terrain, ou à une éruption volcanique ; de même le nombre de victimes oscille entre 12 et la centaine ("on voyait encore nettement la trace de cette cataracte à l'époque de mon voyage". Rapportait Aubert de la Rüe en 1936).*

L'explosion phréatique du 3 mars et les manifestations gazeuses permanentes depuis plusieurs mois confirment la nécessité de réaliser des mesures permanentes sur l'édifice LOMBENBEN.

Une bathymétrie du lac et des analyses géochimiques des eaux complémentaires à celles réalisées le 27 Juin seront faites au moment de l'installation.

Programme ORSTOM de rattachement :

Géodynamique et Risques Naturels

Organisme concerné :

Département de la Géologie, des Mines et des Ressources en Eau du VANUATU

Coût de la mission

- Acquisition et réalisation de matériels :	110.000	
- Transport hommes et matériels (dont location d'un hélicoptère)	25.000	
- Frais de terrain	8.000	
- Déplacements et frais de missions (1 AR de FRANCE)	25.000	
	<hr/>	
TOTAL	168.000	
Financement ORSTOM complet ou partie	13.000	
Financement Université de Chambéry	25.000	
Aide demandée DCSTE	130.000	FF

Port-Vila, le 28 Juillet 1995

**Plan d'utilisation
du crédit DCSTE destiné
à l'installation d'un observatoire
sur le volcan d'AOBA**

=====

. De la date de mise à disposition du crédit plus quatre mois :

Réalisation en FRANCE de la station (sous traitance), achat des matériels complémentaires (batteries, panneaux solaires...) réalisation d'un support étanche (VANUATU).

estimation : 90000 FF

. Transport des matériels

- FRANCE - VANUATU (délai 1 mois)

estimation : 10000 FF

- PORT-VILA - (VANUATU) - île d'AOBA (15 jours)

par bateau pour les gros matériels (station, bateau, moteur H.B., essence, sondeur, matériel de terrain, base vie...)

estimation : 3000 FF

. Voyage d'un scientifique de FRANCE au VANUATU

estimation : 11000 FF

. Mission d'installation sur AOBA (4 jours maximum) 4 personnes :

- transport aérien et hélicoptéré (l'appui logistique de l'hélicoptère est prévu sur 3 ou 4 jours)

estimation : frais de mission 4000 FF

transport 35000 FF

- aide locale de personnels Ni-Vanuatu (installation camp de base, main d'oeuvre...)

estimation \simeq 5000 FF

. Frais ARGOS une année

13500 FF

La mission doit conduire à :

- 1) - L'installation d'une station de surveillance sur le lac VOUI (appui sur un des ilots) : Mesures de températures et de signaux sismiques enregistrés à l'aide d'un hydrophone.
- 2) - La bathymétrie du lac VOUI et l'échantillonnage des eaux pour analyses.
- 3) - L'installation d'un pluviomètre dans la zone du lac asséchée MANARO NGORO (seule zone sans végétation).

Points optionnels (fonction du temps disponible et de crédits) :

Nous souhaitons limiter à 4 jours toute l'opération.

- a) - bathymétrie succincte du lac MANARO LAKUA.
- b) - installation d'une autre station de surveillance à terre sous ARGOS. (Si le problème des frais de balise se règle ; nos crédits actuels ne nous permettent pas de prendre en charge cette opération.
- c) - mesures de flux de chaleur dans le lac au moment de l'installation.

Conclusion

Il faut compter un délai de 6 mois minimum à partir de la mise à disposition du crédit pour préparer et arriver à la phase finale d'installation.

Il reste difficile d'apprécier dans le détail le coût total de l'opération. Les conditions météorologiques pouvant perturber de manière importante l'opération de montage et grèver le budget "appui hélicopté".

Une fourchette entre 148500 FF et 178500 FF nous paraît réaliste. Les participations de l'ORSTOM et du LIG devraient suffirent à apporter un volant de sécurité.

Fait à Port-Vila, le 11 Mars 1996

Michel LARDY

REPORT ON THE VISIT AT AMBAE VOLCANO
ON 7 DECEMBER, 1994

by
M. MONZIER,

ORSTOM and Department of Geology, Mines and Water Resources
of the Vanuatu Government

Due to a period of unusual seismicity felt by Ambae inhabitants, from 1st to 7th of december 1994, with a maximum of 7 small to medium-sized events on the 5th of december, we suggested to Mr Knox Kalkaua, Head of the National Disaster Management Office, to organize a brief reconnaissance by helicopter to Ambae to assess a possible resumption of activity at the main crater (Lake Vui) and define any kind of eruption that could develop.

In effect, Ambae probably should be considered at present times as the most dangerous volcano of the archipelago, due to the presence of a large lake in the main crater. Very young deposits related to strong explosive eruptions as well as thick lahar deposits (lahars=devastating mud flows with large blocks and tree trunks rushing down the slopes, which appear when heavy rains occur after an eruption and remove recent ash deposits from the flanks of the volcano) are frequent in the central part of the island, up to the coastlines. So, in the case of a resumption of volcanic activity in the summit area, it will be wise to evacuate, in a first phase, the population of coastal villages of the central part of the island (in a 10 km radius area surrounding Lake Vui) towards the less hazardous NE and SW extremities of the island. If the eruption occurs near these extremities, or spreads along fractures from central vents towards these extremities (where explosive activity is also possible by magma-water interaction), then it might be necessary to evacuate part of the population to Santo or Maewo-Pentecost (Report on volcanic hazards in Vanuatu by C. Robin and M. Monzier, 1994).

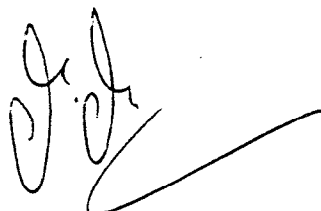
During this air reconnaissance, we attentively surveyed the Ambae caldera and especially the Lake Vui crater and the fumarolic area located on the shore of Lake Manoro. **At all these locations, activity was similar to that observed during previous aerial observations made on the 24th of July 1991 and in September 1993: small areas of hot and gaseous water raised in Lake Vui and rainforest is completely burned all around this crater.**

No large bubbles like those mentioned by a VANAIR pilot on July, 13, 1991 (10 m in diameter!) have been observed. In May 1991, the rainforest was still

green around Lake Vui, and thus **the anomalously strong SO₂ degassing which occurred between May and July 1991 and burned most of the vegetation certainly marked the end of a long time of quiescence at Ambae volcano.** This large gaseous event was unnoticed by island residents, probably because the wind quickly swept the acid cloud away from the island.

Records made at Port-Vila of the unusual seismicity felt by Ambae inhabitants, from 1st to 7th of december 1994, show evident characters of a volcanic origin: high-frequencies, lack of individualized phases....**Thus, even if this seismic crisis has apparently ended, and even if all looks like in July 1991 and September 1993 around the main crater (Lake Vui), we emphasize the need to keep vigilant (circumspect) with Ambae volcano.** In 1995, an automatized alert station, with satellite transmission up to Vila, will be installed near Lake Vui to watch the level of the seismo-volcanic activity.

During this air reconnaissance, we also observed Ambrym caldera where activity is at a normal level. Lava lakes are present in Benbow and Marum craters. As an intermediate earthquake (depth: 185 km) occured on the 26th of April 1994 under this volcano, there is a possibility that an eruption could occur during the following weeks.



M. Monzier
ORSTOM, Port-Vila
8 December 1994



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
télécopieur :
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

Communiqué sur l'activité du volcan à AOBA-AMBAE (VANUATU)

Suite à la mission effectuée les 4, 5 et 6 Mars 1995 (Michel LARDY, Douglas CHARLEY - Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération) sur l'île d'AOBA au cours de laquelle nous avons réalisé des enregistrements sismologiques pendant plusieurs heures, nous constatons qu'après une première analyse les signaux enregistrés sont bien caractérisés par des mouvements importants en relation avec l'activité du volcan. Une étude approfondie en relation avec d'autres équipes de l'Institut (C. ROBIN-M. MONZIER...) est en cours.

L'importante colonne de vapeur (estimation 2 à 3000 m) observée par les habitants d'AMBAE et de la région, le 3 Mars au matin, et la confirmation de son origine (survol VANAIR) du lac du cratère VOUI (diamètre 2 km), nous font craindre une montée magmatique et une mise en relation eau-magma dont le caractère explosif ne peut-être négligé (écoulements pyroclastiques déjà constatés historiquement). La rupture des rebords du lac VOUI pourrait entraîner dans la partie Nord-Ouest de l'île la production de lahars (coulées de boues qui se sont déjà produites dans cette zone).

Les phénomènes enregistrés et constatés à ce jour nous paraissent suffisamment importants pour déclarer qu'il y a DANGER, et qu'il nous semble nécessaire d'envisager le déplacement des populations qui résident dans un rayon de 10 km autour du cratère VOUI ; la partie Nord de l'île (de NDUI NDUI à LOMBAHA) paraissant prioritaire.

Il reste qu'il ne nous est pas possible de prévoir ni le moment ni l'intensité du phénomène, et qu'un arrêt du processus est toujours envisageable mais que l'imminence du danger doit-être prioritairement retenue.

Port-Vila, le 8 Mars 1995

Michel LARDY
représentant de l'ORSTOM
République de VANUATU

Diffusion :

- Bureau du Premier Ministre du VANUATU
- Département Mines et Géologie du VANUATU
- Bureau des désastres (Ministère de l'Intérieur) du VANUATU
- Ambassade de FRANCE du VANUATU
- Direction Générale de l'ORSTOM
- Département TOA-UR14

Press Release

regarding volcanic activity on Ambae Island (Vanuatu)

Further to the visit of the 4th, 5th and 6th of March 1995 (Michel LARDY, Douglas CHARLEY - Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération - French Scientific Research Institute for Co-operative Development) on Ambae Island, during which we took seismic recordings over a period of several hours, we note, following a preliminary analysis, that the signals recorded give every indication of significant movements associated with the volcano's activity. A more detailed study is currently being carried out with other teams from the Institute (C. ROBIN, M. MONZIER, etc.).

The significant column of steam (estimated between 2000 and 3000 m) which was observed by the people of Ambae and neighbouring areas in the morning of March 3rd, and the confirmation of its source (fly-over by VANAIR) in the lake of the VOUI crater (2 km in diameter) cause us grave concern about a possible rise of magma and a meeting of water and magma which is of highly explosive nature (pyroclastic flows having already occurred in the past). The rupturing of the side of lake Voui could lead to the occurrence of lehars (mud flows which have already happened in this area) in the north-western part of the island.

The phenomena recorded and noted to date would appear, in our opinion, to be of sufficient scope to cause us to state that the area is a DANGER zone and it would be wise to think of evacuating the people living within a 10 km range of the VOUI crater; in this regard, priority should be given to the northern part of the island (from NDUI NDUI to LOMBAHA).

Nevertheless, there is no way we can predict either the timing nor the force of the upheaval; also, it is always possible that the process may cease; however, serious consideration should be given to the imminence of danger.

Port Vila, March 8th, 1995

cc.: Prime Minister's Office
Department of Geology & Mines
National Disaster Committee (Ministry of Home Affairs)
French Embassy in Vanuatu
ORSTOM Head Office
TOA-UR1 Department





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
télécopieur :
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

Communiqué sur l'activité du volcan à AOBA-AMBAE (VANUATU)

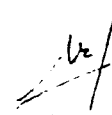
Suite à l'observation du cratère VOUI sur l'île d'AMBAE (AOBA) le lundi 13 mars et compte-tenu des mesures de sismicité enregistrées depuis le 4 mars 1994, nous proposons en accord avec le "Bureau des Désastres" de fixer quatre niveaux d'alerte établis selon les modalités ci-dessous.

Il convient de rappeler que nous avons demandé le déplacement des populations et non l'évacuation; comme des médias s'en sont souvent fait l'écho. Et qu'il s'agit de déplacement dans une zone à moindre risque sur la même île.

Toutes les informations seront diffusées à la radio régulièrement par le Bureau des Désastres, elles s'apparentent aux communiqués du "Vanuatu Meteorological Service" pendant les cyclones.

Les niveaux d'alertes sont les suivant :

- ALERTE 1 : L'alerte est maintenue - L'activité faible .
Les populations sont chez elles - Danger possible
- ALERTE 2 : L'activité est importante
Les populations se tiennent prêtes à se déplacer
- ALERTE 3 : L'activité est inquiétante
Le déplacement peut-être ordonné à tout instant
- ALERTE 4 : L'éruption est possible
Le déplacement est ordonné


Port-Vila, le 15 Mars 1995

Michel LARDY
représentant de l'ORSTOM
République de VANUATU

Diffusion :

- Bureau du Premier Ministre du VANUATU
- Département Mines et Géologie du VANUATU
- Bureau des désastres (Ministère de l'Intérieur) du VANUATU
- Ambassade de FRANCE du VANUATU
- Direction Générale de l'ORSTOM
- Département TOA-UR14



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
télécopieur :
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

ORSTOM COMMUNICATION

Further to the observation of the VOUI crater on Ambae Island on Monday, March 13th and having regard to the seismic activities recorded since March 4th, 1995, we now propose to issue, with the agreement of the National Disaster Committee, four levels of alert as set out below.

We wish also to remind everybody that we had asked for the population to be moved not to be evacuated, contrary to some of the media broadcasts. The meaning of our message was that the population should move to a safer area on Ambae itself.

All updates on developments are to be broadcast regularly over the radio by the National Disaster Committee, on similar lines to the Met warnings when cyclones are building up.

These are the following levels of alert/warning:

ALERT No.1: Alert stands - low activity - villagers to remain - potential risk.

ALERT No.2: Major activity, villagers to be ready to move.

ALERT No.3: Activity causing concern, villagers may be instructed to move at any time.

ALERT No.4: An eruption is highly likely, the population is ordered to remove itself.

Michel LARDY
représentant de l'ORSTOM
République de VANUATU

Port-Vila, 15th March 1995



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
télécopieur :
ORSTOM 21 46 27 F
(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

Communiqué sur l'activité du volcan à AOBA-AMBAE (VANUATU)

Le suivi permanent de l'activité sismologique du volcan d'AMBAE depuis le 19 mars nous permet de constater une baisse de la sismicité enregistrée sur l'île (bruit de fond et signaux caractéristiques).

Les films, photographies et observations qui ont été faits entre les 3, 13, 20, 25 mars confirment également une diminution des émissions de vapeur du lac Voui.

En conséquence, et bien qu'un changement de situation brutale soit toujours possible, nous proposons au "bureau des désastres" de baisser le seuil d'alerte au niveau "1" à compter du 31 mars.

Port-Vila, le 29 Mars 1995

Michel LARDY
représentant de l'ORSTOM
République de VANUATU

Diffusion :

- Bureau du Premier Ministre du VANUATU
- Département Mines et Géologie du VANUATU
- Bureau des désastres (Ministère de l'Intérieur) du VANUATU
- Ambassade de FRANCE du VANUATU
- Direction Générale de l'ORSTOM
- Département TOA-UR14



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

213, rue
La Fayette
75480 Paris
cedex 10
téléphone :
(1) 48 03 7777
télèx :
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

PRESS RELEASE
ON THE ACTIVITY OF
AOBA-AMBAE VOLCANO (VANUATU)

Through the constant monitoring of the seismic activity at the AMBAE volcano since March 19th, we are now able to note a decrease in the seismicity recorded on the island (background noise and typical signals).

Similarly, the films, photographs and observations made between the 3rd, 18th, 20th and 25th March also confirm a decrease in the steam cloud rising from Lake Vouli.

As a result, we are suggesting to the "Natural Disaster Management Office" that the alert level be brought back to "1" as from March 31st, bearing in mind, however, that the situation can change suddenly at any time.

Port Vila, March 29th, 1995

Michel LARDY
représentant de l'ORSTOM
République de VANUATU

cc : Prime Minister's Office
Department of Geology & Mines
Natural Disaster Management
Office (Ministry of Home Affairs)
ORSTOM Head Office
Department of TOA-UR14



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

213, rue
La Fayette
75480 Paris
cedex 10
téléphone :
(1) 48 03 7777
télécopieur :
ORSTOM 21 46 27 F
(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

Communiqué sur l'activité du volcan à AOBA-AMBAE (VANUATU)

Les observations à caractère sismologique enregistrées sur la station de NAMBANGAHAKE (région de NDUI-NDUI), et celles télémétrées directement par la ligne téléphonique de WALAHA (proximité de l'aérodrome) ne montrent aucune augmentation significative du bruit de fond sismologique depuis plusieurs semaines.

Il convient malgré tout de rester vigilant; la mise en place d'observatoires complémentaires est prévue.

Nous avons préparé la réception des signaux télémétrés sur l'observatoire ORSTOM-CIRAD de SANTO. L'installation de la station en bordure de la caldeira du volcan est fixée pour le début Juin; elle se fera à partir de la région de NDUI-NDUI.

Après une période d'enregistrements simultanés des stations du LOMBENBEN (sommet), de NAMBANGAHAKE et de WALAHA, nous pourrions être conduits à retirer la mise en alerte du 8 Mars qui a été ramenée au niveau 1 (seuil minimum) le 31 Mars 1995.

Fait à Port-Vila, le 16 Mai 1995

Michel LARDY
représentant de l'ORSTOM
République de VANUATU

Diffusion :

- Bureau du Premier Ministre du VANUATU
- Département Mines et Géologie du VANUATU
- Bureau des désastres (Ministère de l'Intérieur) du VANUATU
- Ambassade de FRANCE du VANUATU
- Direction Générale de l'ORSTOM
- Département TOA-UR14



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
télécopieur :
ORSTOM 21 46 27 F
(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

PRESS RELEASE ON THE ACTIVITY OF THE VOLCANO ON AMBAE (VANUATU)

The observations of a seismic nature recorded through the NAMBANGAHAKE station (NDUI-NDUI area) and those telemetered directly over the telephone line at WALAHA (close to the airfield) do not show any significant increase in the seismic background noise over the past few weeks.

Nevertheless, it is essential to continue being very careful. Additional observations points are due to be established.

We have arranged for the telemetered signals to be received on the ORSTOM-CIRAD observatory in SANTO. The installation of the station on the edge of the caldera of the volcano is to be carried out early June, out of the NDUI-NDUI area.

Once we have taken a series of simultaneous measurements at the stations located at LOMBENBEN (summit) at NAMBANGAHAKE and WALAHA, we may well be able to withdraw the alert issued on the 8th of March, which was rated downwards to level 1 (min threshold) by 31st March.

Port Vila, May 16th, 1995


Michel LARDY
représentant de l'ORSTOM
République de VANUATU

cc : Prime Minister's Office
Department of Geology & Mines
Natural Disaster Management Office (Ministry of Home Affairs) in VANUATU
French Embassy in VANUATU
ORSTOM Head Office
Department of TOA-UR14



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
télécopieur :
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

Communiqué sur l'activité du volcan à AOBA-AMBAE (VANUATU)

Vous trouverez ci-dessous la conclusion du rapport établi à l'occasion de la mission réalisée par l'ORSTOM et le NDMO les 26 et 27 juin dans la zone sommitale du volcan d'AOBA (AMBAE).

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 flots du lac VOUI (Nord-Ouest) et 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 "Tremors" (20 microns) les 4, 5, 6 Juin, 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.

Fait à Port-Vila, le 21 Juillet 1995

Diffusion :

- Bureau du Premier Ministre du VANUATU
- Département Mines et Géologie du VANUATU
- Bureau des désastres (Ministère de l'Intérieur) du VANUATU
- Ambassade de FRANCE du VANUATU
- Direction Générale de l'ORSTOM
- Département TOA-UR14
- DÉPAC

Michel LARDY

représentant de l'ORSTOM
République de VANUATU



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
télécopieur :
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

PRESS RELEASE ON THE ACTIVITY OF AOBA-AMBAE VOLCANO (VANUATU)

You will find enclosed the conclusions of the report established after the ORSTOM and NDMO mission on June 26th & 27th on the edge area of the AMBAE (AOBA) volcano.

BRIEF RECAPITULATION AND CONCLUSIONS

Despite the lack of regular observations and data recordings in respect of this volcanic structure, we can nonetheless note the following :

A - For several decades : Sustained solfataric activity along the edge of lake Manaro Lakua and on at least one of the island at lake Voui (North-West). Emission of gas bubbles causing discolouring in the waters

B - More recently : Increased activity in lake Voui with emergence of large diameter gas bubbles being noted in 1991. Burned out vegetation along the edges of the crater since 1991, with the surface of the caldera affected by this phenomenon increasing markedly commencing the end of 1994

C - In 1995 : A phreatic explosion on 3rd March 1995. Emanations of steam over the whole area of lake Voui since march 1995 (see GVN report), with distinctive converging cells from 3 to 400 metres. Evaporation of the water from the lake as indicated by a significant drop in the level of the lake, namely :
- approx. 2 m on April 6th
- approx. 5 m on June 27th

After having registered a high "tremor" signal (20 microns) on the 4th, 5th and 6th of March, the seismic background noise level has remained fairly much the same since April, matched by a significant decrease in the number of signals quite typical of the structure itself (regular sampling).

The temperatures recorded in the lake (averaging 40°C) on June 27th, 1995, together with heavy sustained evaporation and constant degassing of the Voui waters lead us to believe that all these manifestations taken overall remain a source of concern. At this stage, we cannot exclude the possibility of a resumption of increased activity which could even develop into an eruptive phase.

We therefore recommend maintaining the present level of alert (level 1) for a further term of three months, during which time scientific observation and monitoring of the situation will be intensified.

Port Vila, 21st July 1995

cc : Prime Minister's Office
Department of Geology & Mines
Natural Disaster Management Office (Ministry of Home Affairs)
ORSTOM Head Office
Department of TOA-UR14
DEPAC

Michel LARDY
représentant de l'ORSTOM
République de VANUATU



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
télécopieur :
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

Communiqué sur l'activité du volcan à AOBA-AMBAE (VANUATU)

Vous trouverez ci-dessous la conclusion du rapport établi à l'occasion de la mission réalisée par l'ORSTOM et le NDMO le 1^{er} décembre 1995 dans la zone sommitale du volcan d'AOBA (AMBAE).

Considérations d'ordre scientifique :

On constate depuis notre dernière visite (ORSTOM-NMDO) du 29 Juin une nette décroissance des vapeurs émises par le lac VOUL.

Les observations pratiquées par les pilotes de VANAIR pendant les mois de septembre et octobre confirment cette baisse d'activité thermique à la surface de l'eau. Nous avons toutefois pu observer de l'intérieur du cratère des émissions de vapeur cycliques qui semblent correspondre à des remontées de chaleur en provenance de la zone d'explosion phréatique du 3 mars 1995.

La température moyenne de l'eau (quelques points d'échantillonnages en bordure du lac) semble avoir baissé d'environ 5°C (40°C à 35°C) avec toutefois un niveau d'acidité supérieure (Ph. 2,02 contre 2,23 en juin).

La dissolution des gaz dans l'eau du lac, dont le niveau a augmenté d'environ 3 mètres (pluies) semble donc se poursuivre...

Nous avons également observé l'effondrement d'une partie de la paroi du cratère (sur une longueur plus de 50 m) dans le lac.

Des centaines d'arbres en bordure du cratère (d'environ 15 mètres de hauteur) sont "brûlés", la zone sous le vent a également souffert des émissions de vapeurs acides ; toutefois la végétation se réinstalle (fougères, mousses, liliacés...) sur les 2 îlots et en bordure du cratère.

La sismicité du volcan a retrouvé un niveau "normal" et un seul séisme proche d'AMBAE situé dans une zone au nord de Lolopwépwé (comme au début du mois de décembre 1994) a été ressenti en septembre 1995 par la population.

Proposition :

Compte-tenu des éléments donnés ci-dessus nous pensons que l'alerte n°1, maintenue jusqu'en novembre 1995 depuis de nombreux mois, peut-être levée. Toutefois le volcan LOMBENBEN reste potentiellement dangereux, de nombreux mythes d'AMBAE nous le rappellent. Il semblerait profitable d'utiliser les prochains mois (Janvier à Avril 1996) pour diffuser la carte de risques réalisée par les géologues de l'ORSTOM et en cours d'édition auprès de l'UNDHA.

Il est toujours difficile d'appréhender des changements brutaux d'activité, toute observation anormale doit-être signalée aux autorités.

Port-Vila, le 3 Décembre 1995



Michel LARDY
représentant de l'ORSTOM
République de VANUATU

Diffusion :

- Bureau du Premier Ministre du VANUATU
- Département Mines et Géologie du VANUATU
- Bureau des désastres (Ministère de l'Intérieur) du VANUATU
- Ambassade de FRANCE du VANUATU
- Direction Générale de l'ORSTOM
- Département TOA-UR14
- DEPAC

**News Release on
volcanic activity
on AMBAE Island (Vanuatu)**

Please find below the conclusions to the report prepared as a result of the visit by ORSTOM and the NDMO on December 1st, 1995 in the summit zone of AMBAE volcano.

Scientific observations

Since our last visit (ORSTOM-NDMO) on 29 June, we have noted a definite decrease in the vapours emanating from Lake VOUI.

The observations made by the pilots of VANAIR during September and October corroborate this decrease in thermal activity at the surface of the water. However, we could detect vapours escaping on a cycle basis from the interior of the crater which would appear to coincide with heat fluxes stemming from the zone of the underground explosion back on 3rd March 1995.

The average temperature of the water (from samples taken at various points on the edge of the lake) appears to have dropped around 5°C (from 40° to 35°), however the acid content seems to have risen (pH 2.02 as opposed to 2.23 in June).

It would therefore appear that the gases are continuing to be dissolved into the lake waters, the level of which has risen by about 3 metres (rainfall).

We also noted that part of the crater wall (over a distance of some 50 metres or so) had collapsed into the lake.

Hundreds of trees along the edge of the crater (around 15 metres high) have got "burned", the leeward area has also suffered from the acid vapours; but the vegetation seems to be regenerating on the two islets and along the edge of the crater (ferns, moss, lilies, etc.).

The volcano's seismicity seems to have reverted to "normal" and there has been only one earthquake or earth tremor close to AMBAE, located in an area to the north of Lolopwepwe (as in early December 1994) which was felt by the villagers in September 1995.

Recommendation :

Given the information above, we believe that the Number One Alert which has been maintained over many months up until November 1995 could now be suspended. Nevertheless the LOMBENBEN volcano remains potentially dangerous - so many of the AMBAE legends are there to remind us. It would be useful to take advantage of this time to circulate the risk map which has been prepared by ORSTOM geologists and is in the process of being printed through UNDHA.

It is always difficult to anticipate or predict any abrupt changes in activity, therefore any abnormal occurrence should be reported immediately to the authorities.

Port Vila, December 3rd, 1995

Michel LARDY

représentant de l'ORSTOM
République de VANUATU

cc.: Prime Minister, Prime Minister's Office
Vanuatu Department of Geology & Mines
National Disaster Office (Ministry of Home Affairs)
French Embassy in Vanuatu
ORSTOM Head Office
TOA-UR14 Section
DEPAC

RISQUE VOLCANIQUE AU VANUATU

par

C. Robin et M. Monzier,

ORSTOM et Département de la Géologie, des Mines et des Ressources en Eau du
Gouvernement de Vanuatu

Au Vanuatu, l'historique de 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. De ce fait, la connaissance du comportement éruptif de chaque volcan doit principalement être basée sur des études géologiques détaillées. Ces études, qui permettent d'établir des scénarios volcaniques réalistes et des cartes de risques, ont constitué l'essentiel du travail de l'équipe des géologues-volcanologues de l'ORSTOM, de 1990 à 1994. En parallèle, l'installation de stations automatiques d'alerte a été entreprise sur les 3 édifices les plus actifs de l'archipel (Tanna, Ambrym et Santa Maria) et l'équipement d'Aoba est maintenant envisagé.

Les cartes des risques volcaniques pour Ambrym, Aoba et Tanna devraient être prêtes à la fin de l'année 1995. En cas d'augmentation importante de l'activité volcanique sur un édifice, détectée soit par le système d'alerte soit par les habitants, les autorités du Vanuatu pourront utiliser ces documents pour orienter l'intervention gouvernementale et informer la population. Parallèlement, les volcanologues de l'ORSTOM suivront attentivement l'évolution de la crise. En cas de crise majeure, l'intervention d'équipes extérieures (en sismologie volcanique ou chimie des gaz par exemple) sera nécessaire.

Appartenant à la Ceinture de Feu du Pacifique, le Vanuatu peut à tout moment être affecté par une grande éruption volcanique. Ce bref rapport présente, du Nord au Sud de l'archipel, les volcans actifs connus et, pour chacun d'entre eux, le type de menaces qu'il fait peser sur les populations locales.

VOLCANIC HAZARDS IN VANUATU

by

C. Robin and M. Monzier,

ORSTOM and Department of Geology, Mines and Water Resources of the Vanuatu
Government

In Vanuatu, historic records of volcanic activity are often very short (a few hundred of years) when compared with the long intervals between large and dangerous eruptions. Thus, a knowledge of eruptive behaviour of each volcano must be mainly based on detailed scientific studies, to elaborate realistic volcanic scenarii and hazard maps. This is, at present, the main work of the ORSTOM volcanological team. Another important point of this program is the installation of automatic alert stations on the 3 most active volcanoes of the archipelago.

In case of increasing volcanic activity, detected by the alert system or local inhabitants, Vanuatu Authorities may use these scenarii and maps as a base for governmental intervention as well as for public information. In such a case of alert, attention of the ORSTOM volcanological Team will be focused on the concerned volcano, but complementary intervention of external teams (volcanic seismology or gas chemistry for example) could be necessary.

As a part of the Ring of Fire of the Pacific, the Vanuatu islands are under the threat of major volcanic eruptions. This brief report presents, from North to South, the active volcanoes of the archipelago and tries to evaluate for each of them the threat for the local populations.

L'île d'Aoba (1496 m) correspond à la partie émergée du plus volumineux des volcans actifs de l'archipel (3900 m de hauteur depuis le fond océanique et environ 2500 km³ de volume, ce qui en fait un volcan tout-à-fait exceptionnel). Deux caldéras (cratères géants) concentriques la couronnent, la plus interne incluant trois lacs, dont le lac Vouï (2,1 km de diamètre) installé dans le cratère actuel du volcan.

L'activité volcanique récente comprend la formation, il y a environ 4 siècles, des cônes entourant les cratères d'explosion du Vouï et du Manaro Ngoro. Elle comprend également l'émission des coulées de basalte de N'dui N'dui à partir de fissures sur les flancs, il y a environ 300 ans. Des lahars (coulées de boues transportant des blocs et troncs d'arbres qui se produisent lorsque d'importants dépôts de cendres, instables, sont repris par les pluies torrentielles accompagnant généralement les éruptions) ont probablement détruit des villages sur le flanc SE de l'île, il y a quelque 120 ans, occasionnant plusieurs victimes. De nombreux dépôts de lahars, épais et probablement pas plus anciens que 100-300 ans, ont d'ailleurs été observés sur l'ensemble des côtes de la partie centrale de l'île. Une éruption se serait produite en 1914 avec émission de cendres et descente de lahars (12 morts). Enfin, un petit cône de cendre s'est formé en 1966 à l'intérieur de la caldéra.

Trois zones bouillonnantes avec formation de bulles énormes (10 m de diamètre) et un roussissement général de la forêt des rives ont été observés au lac Vouï le 13 juillet 1991 par un pilote de Vanair. C'était la première fois qu'il observait un tel phénomène, qui ne pouvait être que récent, puisque la forêt était encore intacte en mai de la même année. Le 24 Juillet 1991, une reconnaissance aérienne montrait seulement trois zones d'eaux blanchâtres au milieu du lac et une végétation brûlée par des gaz acides jusqu'à la lèvre du cratère, 120 m au-dessus de l'eau. Un dégagement de SO₂ anormalement fort, entre Mai et juillet 1991, est probablement à l'origine des phénomènes observés. Cet événement n'a pas été noté par les habitants d'Aoba.

Actuellement, Aoba doit probablement être considéré comme le volcan le plus dangereux de l'archipel, du fait de la présence d'un lac de volume important dans le cratère principal du volcan et donc de la forte probabilité d'interactions eau-magma explosives lors d'une future reprise d'activité. Des dépôts très récents, typiques d'un volcanisme fortement explosif ainsi que de très nombreux dépôts de lahars ont été observés le long de toutes les côtes de la partie centrale de l'île. Lorsque l'activité volcanique reprendra dans la zone sommitale, il serait sage, dans un premier temps, d'évacuer les populations des villages côtiers de la partie centrale de l'île (dans un rayon de 10 km autour du lac Vouï) vers les zones moins dangereuses situées aux extrémités NE et SW de l'île. Au cas où l'activité migrerait de la zone sommitale vers ces extrémités (où des interactions explosives eau de mer-magma se sont déjà produites et peuvent donc se reproduire), ou dans le cas d'une éruption généralisée, il pourrait être nécessaire d'évacuer une partie ou la totalité de la population vers Santo ou Maewo-Pentecôte.

Si l'important dégagement de SO₂ de 1991 n'a pas eu de conséquences néfastes pour la population c'est que le vent a probablement éloigné rapidement le nuage toxique de l'île. Un tel dégazage est imprévisible dans l'état actuel des connaissances et techniques.

Mal connu, Aoba n'était pas considéré comme dangereux lors de la mise en route du programme de volcanologie à Vanuatu et n'avait donc pas été retenu pour être équipé d'un dispositif de surveillance. Toutefois, sa dangerosité étant maintenant reconnue, ce volcan pourrait être équipé dans le courant 1995 de deux stations d'alerte (une flottant sur le lac Vouï et une sur le bord du cratère), à transmission satellitaire sur Port-Vila.

AMBAE (AOBA)

Aoba island (1496 m) corresponds to the upper part of **the most voluminous active volcano of the archipelago** (3,900 m-high from the sea bottom, about 2,500 km³). Its summit area shows two concentric calderas, the smallest including three lakes. Lake Vui (2.1 km in diameter) is located in the present crater of the volcano.

Recent volcanic activity includes the formation of Lake Vui and Manaro Ngoro explosion craters and cones (some 420 years ago). It also includes N'dui N'dui lava flows, issued from flank fissures, approximately 300 years ago. Possible lahars (devastating mud flows with large blocks and tree trunks rushing down the slopes, which appear when heavy rains occur after an eruption and remove recent ash deposits from the flanks of the volcano) annihilated villages on the SE flanks of the island, about 120 years ago, provoking several casualties. Numerous and thick lahars, probably not older than 100-320 years, may be observed on both coasts in the central part of the island. Possible eruption in 1914 with ashfalls and lahars (12 casualties). Formation of a small ash cone in the caldera in 1966.

Three anomalous "boiling" areas with large bubbles (10 m in diameter) and burned vegetation were observed at Lake Vui on July, 13, 1991 by a VANAIR pilot. It was the first time he had observed such a phenomenon, and he noted that the vegetation was still green in May. On 24 July 1991, an aerial survey only revealed three areas of discolored water in Lake Vui. Burned vegetation was observed up to the crater rim, 120 m above the water. Thus, an anomalously strong SO₂ degassing probably occurred between May and July. This event was unnoticed by island residents.

Aoba probably should be considered at present times as the most dangerous volcano of the archipelago, due to the presence of a large lake in the main crater. Very young deposits related to strong explosive eruptions as well as thick lahar deposits are frequent in the central part of the island, up to the coastlines. So, in case of resumption of volcanic activity in the summit area, it will be wise to evacuate, in a first phase, the population of coastal villages of the central part of the island (in a 10 km radius area surrounding Lake Vui) towards the less hazardous NE and SW extremities of the island. If the eruption occurs near these extremities, or spreads along fractures from central vents towards these extremities (where explosive activity is also possible by magma-water interaction), then it might be necessary to evacuate part of the population to Santo or Maewo-Pentecost.

If the strong SO₂ degassing in 1991 has not had consequences for local inhabitants, this is probably due to winds which fortunately quickly moved the toxic plume away from the island. Such an event cannot be forecasted.

Two automatic alert stations, one of which floating on the Lake Vui, with satellite transmission up to Vila, might be installed during 1995.

AOBA ou AMBAE ("l'île des Léproux" pour Bougainville) est le volcan-île le plus volumineux de l'archipel (3900 m de hauteur depuis le fond océanique et environ 2500 km³ de volume). C'est un grand strato-volcan basaltique plio-quaternaire culminant à 1496 m par 15°24'S et 167°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.

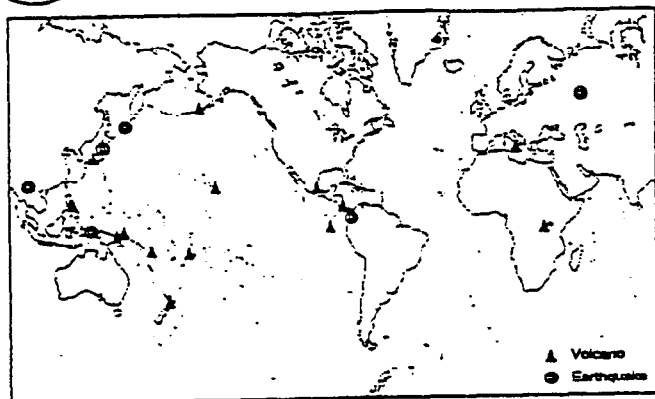
Bien que l'activité historique du volcan d'Ambae ne soit pas la plus importante, il n'en reste pas moins l'un des volcans les plus dangereux de l'archipel. L'activité ne fut pas toujours bien rapportée. Force est de constater que les habitants de l'île vivent le long des côtes, et vu la structure de 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.

Activité historique

- * 1575 +/- 54 : Explosion à partir du cratère central, formation du cône du lac Vouï 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 tremors 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 nouvellement 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).



Smithsonian Institution



Bulletin of the
**GLOBAL
VOLCANISM
NETWORK**

Volume 20, No. 1, January 1995

Aoba (Ambae)

Ambae Island, Vanuatu
15.40°S, 167.83°E; summit elev. 1,496 m

Unusual seismicity was felt by island residents during 1-7 December 1994, with a maximum of 7 small-to-medium events on the 5th. These volcanic events were of high-frequency and lacked individualized phases. At the suggestion of ORSTOM, the National Disaster Management Office organized a helicopter reconnaissance on 7 December to inspect the volcano for evidence of possible eruptive activity. Activity at the Lake Vui crater and the fumarolic area on the shore of Lake Manoro was similar to that observed during previous aerial observations on 24 July 1991 and September 1993. Small areas of hot and gaseous water were evident at Lake Vui, and the rainforest was completely burned around the crater. No large bubbles like those noted in July 1991 (10 m in diameter) were observed (*Bulletin* v. 16, no. 7). An automated seismic alert station, with satellite transmission to Port Vila, will be installed near Lake Vui.

Aoba, also known as Ambae, is a broad basaltic shield volcano with pronounced NE-SW rift zones that give the island an elongated form. A broad pyroclastic cone containing a crater lake is located at the summit within the younger of two nested calderas, the largest of which is 6 km in diameter. The last known eruption, around 1870, produced lahars that destroyed villages on the SE flank. According to local legends, an eruption around 1670 caused many fatalities on the NW coast.

Information Contact: Michel Monzier, Institut Francais de Recherche Scientifique pour le Developpement en Co-operation (ORSTOM) and Vanuatu Dept of Geology, Mines & Water Resources, BP 76, Port Vila, Vanuatu.

Aoba (Ambae)

Ambae Island, Vanuatu
15.40°S, 167.83°E; summit elev. 1,496 m

The following report, prepared on 17 March, is from volcanologists of the Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération, Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM), in Vanuatu and Ecuador.

Geological setting. Aoba is the largest basaltic shield volcano in the New Hebrides arc, with the base ~3,000 m below sea level, the summit ~1,500 m above sea level, and a volume of ~2,500 km³ (Eggins, 1993; Gorton, 1977; Robin and others, 1993). This rainforest-covered island lies in front of the d'Entrecasteaux collision zone, between the N and S Aoba Basins along an ~N50°E fracture transverse to the arc (figure 5; see Greene and others, 1994, for more information). Two concentric summit calderas, the largest 5 km in diameter (figure 6), enclose the central crater containing the 2-km-diameter Lake Voui (Vui) (figure 7). Numerous secondary craters and cones lie along the N50°E fracture, out to the extremities of the island, where previous magma-seawater interactions have produced several maars.

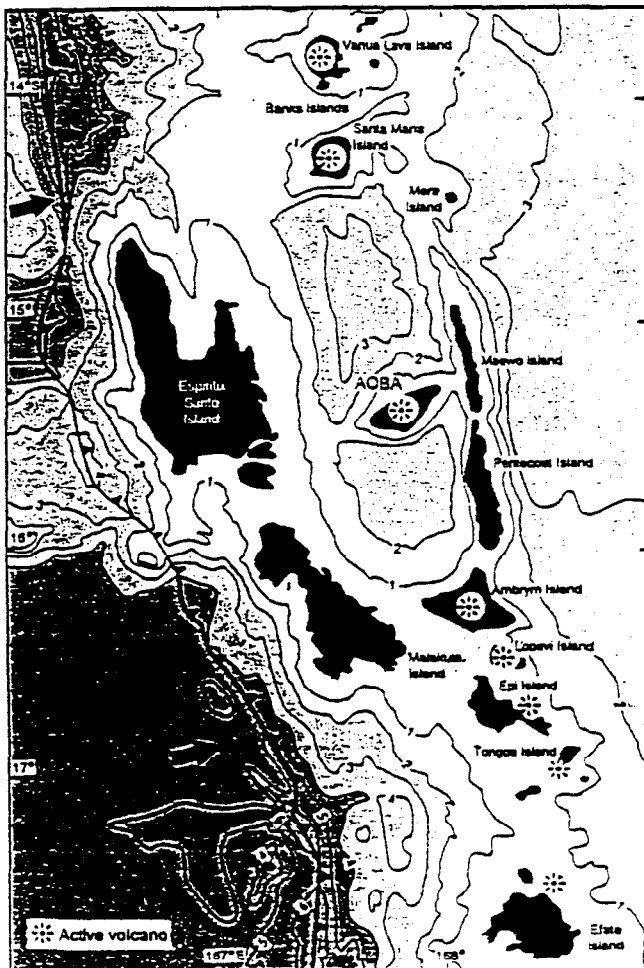


Figure 5. Bathymetric map of central Vanuatu showing the trench and direction of relative movement (arrows), Aoba, and other active volcanoes. Bathymetry in kilometers. Modified from Greene and others, 1994.

Eruptive history. Lake Voui and the Manaro Ngoro summit explosion craters and cones formed ~420 years ago. The Ndui Ndui lava flows issued from the N50°E fissure ~300 years ago and reached the NW coast (Warden, 1970). Possible eruption-related lahars (or only secondary mudflows following heavy rains?) annihilated villages on the SE flanks of the island ~120 years ago, producing several casualties. An eruption possibly occurred in 1914 with ashfalls (?) and lahars (12 casualties).

On 13 July 1991, a VANAIR pilot observed three anomalous "boiling" areas at Lake Voui (*Bulletin v. 16, no. 7*) and burned vegetation that had been green in May 1991. On 24 July 1991, an aerial survey revealed three areas of discolored water in Lake Voui. Anomalously strong degassing between May and July had apparently burned vegetation up to the crater rim, 120 m above the water. This event, unnoticed by island residents, marked the end of a long quiescence.

Robin and Monzier (1993, 1994) consider Aoba the most potentially dangerous volcano of the Vanuatu archipelago because of the wide distribution of very young deposits related to strong explosive eruptions. They also cite thick lahar deposits, the presence of Lake Voui, long repose periods (~300–400 years, Warden, 1970), strong degassing at the lake in 1991, and a population of ~3,500 within 10 km of the crater.

Activity in December 1994. Unusual seismicity was felt by Aoba inhabitants during 1–7 December 1994 (*Bulletin v. 20, no. 1*). Records from ORSTOM seismic stations on Santo (70 km W) and Efate (260 km SSE) islands showed that peak activity lasted 24 hours with 13 events, the largest M 4.6 (Regnier, 1995). Crustal hypocenters were located under the S submarine base of the volcano. On 7 December, helicopter reconnaissance showed small areas of rising hot gaseous water at Lake Voui, similar to July 1991 and September 1993, but the rainforest appeared completely burned for up to several hundred meters around the crater. Despite the end of the seismic crisis, ORSTOM emphasized to the National Disaster Management Office (NDO) the need to remain circumspect of the volcano. In mid-December, according to Robin and Monzier (1994), the following advice was given to NDO: "In the case of a resumption of volcanic activity in the summit area, it will be wise to evacuate, in a first phase, the population of coastal villages of the central part of the island (in a 10 km radius area surrounding Lake Voui) towards the less hazardous NE and SW extremities of the island. If the eruption occurs near these extremities, or spreads along fractures from central vents towards these extremities, then it might be necessary to evacuate part of the population to Santo or Maewo-Pentecost".

Activity in March 1995. According to a VANAIR pilot report on 1 March, Lake Voui was calm with gas emissions from numerous locations. The following day, the lake was steaming all over, bubbling up in the center, and its surface was rough; the pilot also reported black sediment ejections. Early on the morning of 3 March, people on Santo Island observed a gas plume rising 2–3 km above Lake Voui. Simultaneously, crustal seismicity similar to that in December 1994 was recorded.

On 4–6 March, ORSTOM geophysicists (M. Lardy and D. Charley) recorded strong continuous tremor at Ndui Ndui,

~9 km NW from the main crater. This tremor had a monochromatic signal with a 1.4 Hz mean frequency, several hours duration, and an amplitude of 3-4x background. Local observers were trained to watch the activity and the collaboration with VANAIR pilots was reinforced. As usual during the tropical summer, the top of the volcano was covered by thick clouds and rarely visible. However, on 5 March a gas plume was still visible above Lake Voui.

An island resident who stayed several days in the summit area during early March described lake levels and reported that soft mud had been blown all over the shores. On 4 and 6 March the surface of Lake Voui was at least 5.4 m higher than normal. However, on 9 March the lake was hot and steaming, and was ~4.8 m below the normal level, a change of ~10 m within 3 days. Tremor activity remained constant between 9 and 13 March, but with significantly less intensity than during 4-6 March. In addition, shallow, local micro-seismicity was noted since 11 March. During an aerial survey on 13 March, the entire lake was steaming and a strong sulfur smell had been reported around the summit area.

If activity increases in the central crater, magma-water interactions could produce falls of ash, dense lapilli, and accretionary lapilli, as well as pyroclastic flows, base surges and lahars. Lava flows may also erupt from flank fissures, N50°E or other orientations. The ORSTOM seismological team in Vanuatu will be reinforced on 17 March by the arrival of a new seismologist, and 5-7 portable seismic stations will be deployed around the island as soon as possible to improve the focal locations and delineate possible areas of attenuation. Also, a new permanent seismic station will be installed on Aoba. Daily contact is maintained between ORSTOM scientists in Vanuatu and Ecuador; the latter are prepared to move to Vanuatu if necessary.

Evacuation preparations. On 8 March, after discussions between ORSTOM geophysicists in Vanuatu and volcanologists now based in Ecuador, the following advice was given

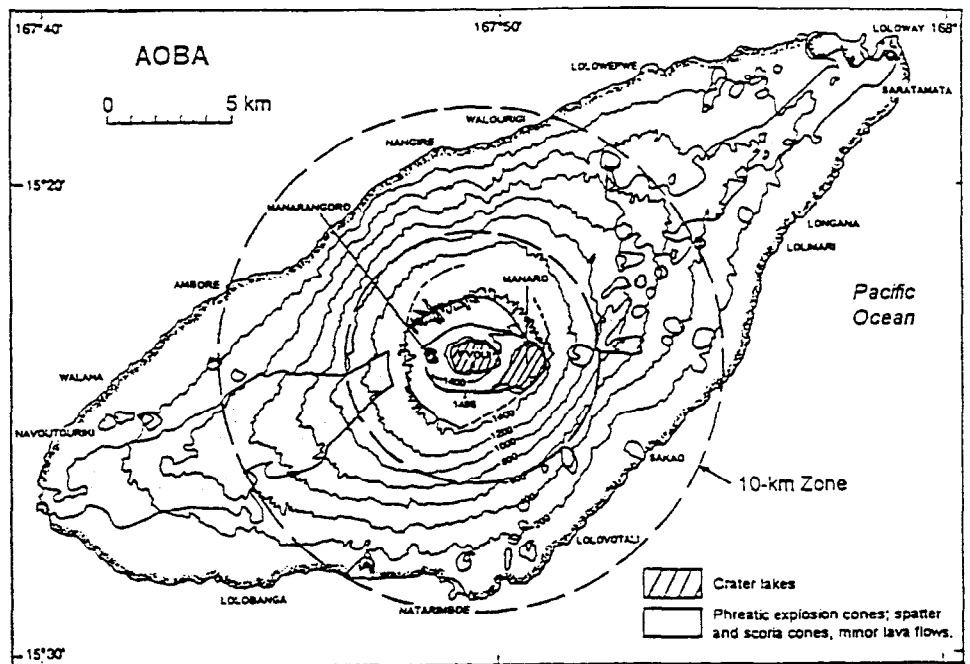


Figure 6. Topographic map of Aoba (Ambae) Island, central Vanuatu. Areas of Recent phreatic explosion cones, spatter and scoria cones, and minor lava flows are approximated from a 1979 geologic map by the New Hebrides Geological Survey (1:100,000). Large dashed circles are 5- and 10-km radius lines. Topographic base map courtesy of C. Robin, ORSTOM.



Figure 7. Photograph of the summit of Aoba Island looking approximately NW. Two concentric calderas enclose the main central crater, which contains the 2-km-diameter Lake Voui (white). A black lake in the E part of the caldera, Lake Manaro, is in the foreground. Photograph was taken by a U.S. pilot during World War II, courtesy of C. Robin, ORSTOM.

to the Vanuatu Government: "...The size of the gas plume observed above Lake Voui crater on March 3, 1995 probably means that magma is now rising within the volcano.... Thus, Aoba volcano is now dangerous and it seems necessary to

envisage the evacuation of the population of coastal villages located in a 10 km radius area surrounding Lake Vouli towards the less hazardous NE and SW extremities of the island"

Following this advice, Aoba Island was placed on alert and preparations for evacuations were begun. On 9 March, aircraft within a 4-km radius of Aoba up to 2.2 km altitude (7,500 feet) were restricted to scheduled flights and those approved by civil aviation or disaster office authorities. Correcting previous statements that evacuations had already started, the United Nations Department of Humanitarian Affairs reported on 17 March that villages within 10 km of the crater had been identified as threatened, and those within a 5-km radius had been placed on stand-by for immediate evacuation. Evacuation centers were identified, and all available government and several private ships were positioned to assist in a possible evacuation.

References: Eggins, S., 1993, Origin and differentiation of picritic arc magmas, Ambae (Aoba), Vanuatu: Contributions to Mineralogy and Petrology, v. 114, p. 79-100.

Gorton, M.P., 1977, The geochemistry and origin of quaternary volcanism in the New Hebrides: Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 41, p. 1257-1270.

Greene, H.G., Collot, J.-Y., Stokking, L.B., and others, 1994, Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 134: College Station, TX (Ocean Drilling Program).

Regnier, M., 1995, Rapport préliminaire sur la crise sismique d'Aoba de décembre 1994: Rapport ORSTOM, Port-Vila, 4 p.

Robin, C., and Monzier, M., 1993, Volcanic hazards in Vanuatu: Disaster Management Workshop by National Disaster Management Office, Republic of Vanuatu, 24-28 May 1993, Port-Vila, 8 p.

Robin, C., and Monzier, M., 1994, Volcanic hazards in Vanuatu: ORSTOM and Dept. of Geology, Mines and Water Resources of the Vanuatu Government report, 15 p.

Robin, C., Monzier, M., Crawford, A.J., and Eggins, S.M., 1993, The geology, volcanology, petrology-geochemistry, and tectonic evolution of the New Hébrides island arc, Vanuatu: IAVCEI Canberra 1993, Excursion guide, Record 1993 / 59, Australian Geological Survey Organisation, 86 p.

Warden, A.J., 1970, Evolution of Aoba caldera volcano, New Hebrides: Bulletin Volcanologique, v. 34, no. 1, p. 107-140.

Information Contacts: C. Robin and M. Monzier (geologists) ORSTOM and Department of Geology, Mines and Water Resources of the Vanuatu Government, currently at ORSTOM, AP 17-11-6596, Quito, Ecuador (Email: robin@orstom.ec and monzier@orstom.ec); M. Lardy (geophysicist), M. Regnier, J.-P. Metaxian, R. Decourt (seismologists), and D. Charley (technical assistant), ORSTOM, BP 76, Port-Vila, Vanuatu (Email: lardy@vanuatu.orstom.fr); Mario Ruiz (seismologist), Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador; J.-P. Eissen (geologist), ORSTOM, Centre de Brest, B.P. 70, 29280 Plouzane, France (Email: eissen@orstom.orstom.fr); Bureau of Meteorology, Australia (see Dukono); UN Department of Humanitarian Affairs, Palais des Nations, CH-1211 Geneva 10, Switzerland.

A lava flow that has been active for several years was observed on the volcano's SW flank. In late August the flow's front was estimated to have reached 580 m elevation. In overview, conditions at the volcano appeared stable. There was no indication of recent explosive activity.

Although reports documenting activity have been absent since early 1991, reported Bagana eruptions in the interval 1972-87 described activity that included long-term lava effusion and slow dome growth, coupled with moderate explosive activity ending with dome destruction. After destruction there was a return to dome growth and lava flows.

Information Contacts: Same as for Manam.

Loloru

Bougainville Island, Papua New Guinea
6.52°S, 155.62°E; summit elev. 1,887 m

An aerial inspection took place after the 16 August, M 7.8 earthquake 200 km to the NW. Weak-to-moderate, white vapor emissions were observed from the main fumarole field in a valley on the N flank of the summit lava dome. Sublimate deposits in the valley appeared to be less extensive than when last inspected in 1989. The lake at Loloru's summit appeared normal. There was no discoloration of lake water and the level of water appeared to be unchanged.

Loloru consists of a pyroclastic shield with a summit area that contains two nested calderas, a forested lava dome, and a crescent-shaped lake. Lying within a 10 × 15 km Pleistocene caldera, Loloru sits ~40 km from the S end of the Island and was the source of ignimbrite deposits that cover much of southern Bougainville Island. These ignimbrites have yielded radiometric ages as young as ~3,200 years BP. Along the N rim of the surrounding Pleistocene caldera are active stratovolcanoes termed the Takuan group.

Information Contacts: Same as for Manam.

Aoba (Ambae)

Ambae Island, Vanuatu
15.40°S, 167.83°E; summit elev. 1,496 m

A pyroclastic explosion on the morning of 3 March 1995 generated a vapor-and-ash column ~3 km high (*Bulletin v. 20, no. 2*). Preliminary analysis of the resulting deposit did not reveal any juvenile material. On the morning of 5 March, a vapor plume rose ~500 m. It is possible that vapor plumes were emitted over several days, but were not observed at other times because of the thick clouds that usually hide the summit area. The center of activity on 3 March was between two small islands in Lake Voui (figures 5 and 6). Because of poor weather conditions, ORSTOM scientists were unable to observe the lake at close range until 15 March. Aerial photos taken on 20 March (figure 7) show the thermal contrast between Lake Manaro Lakua, formed by the accumulation of water in a low-lying area of the caldera, and Lake Voui, which fills the active crater. Convection cells, ~300-400 m in diameter, could be discerned within Lake Voui.

A drop in the level of Lake Voui that began on 6 March (*Bulletin v. 20, no. 2*) was visible in photographs taken on 20 March. During another overflight on 6 April, the level of the crater lake had dropped by ~2 m. By the time of a 27 June landing on the NW island in Lake Voui (figure 6), the lake level had dropped ~5 m below the maximum, as determined by recent vegetation. Water temperatures measured around the most accessible parts of the island averaged 38-40°C, with highs of 63-67°C. The strongly acidic (pH 2.3) emerald-green lake was mostly obscured by clouds, but vapor emissions were visible between the island and the NW edge of the crater. A small island seen on 6 April in the N part of the lake had enlarged noticeably because of the drop in water level. The topography of the islands is steep towards the center of the lake and gentle towards crater edge. All of the trees on the island were dead, but other vegetation was beginning to reappear. Some blocks of dried mud (40-50 cm in diameter) ejected during the phreatic explosion at the beginning of March were still visible. Sulfur deposits were noted, and gas bubbles were coming from numerous fissures at the edge of the island.

A bathymetric survey of Lake Voui has never been done, but ORSTOM estimates that it has a volume of 50 million cubic meters. Although activity has declined in recent months, ORSTOM will maintain the current low-level alert status until approximately the end of November.

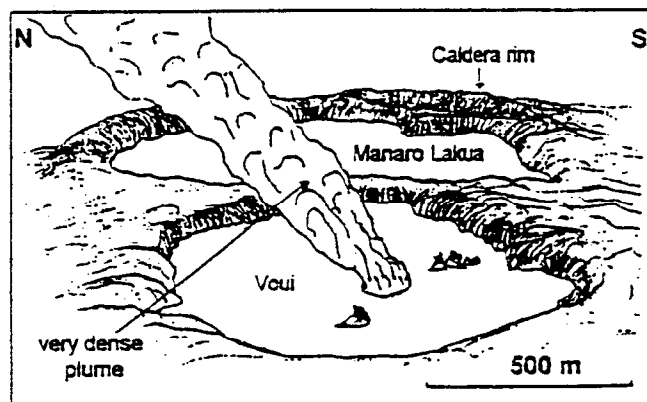


Figure 5. Sketch of the Aoba summit area, 3 March 1995, showing a very thick dense plume rising from Lake Voui. Based on images taken during an overflight by Vanair pilot Capt. Norman Samson; courtesy of ORSTOM.

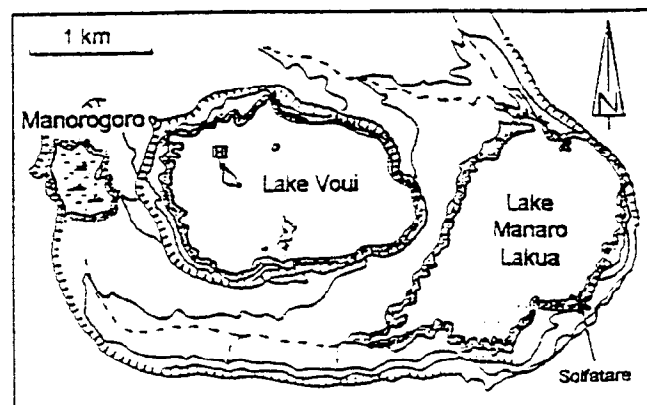


Figure 6. Map of the Aoba summit area (after an IGN map) showing the lakes and landing site of the helicopter on 27 June 1995. Courtesy of ORSTOM.



Figure 7. Photograph of the Aoba summit looking approximately SE, showing the steaming Lake Vouli in the active crater (foreground) and Lake Manaro Lakua (background), on 20 March 1995. Convection cells ~300-400 m in diameter can be seen in Lake Vouli. Courtesy of ORSTOM.

Information Contacts: *M. Lardy, D. Douglas, P. Wiart, and K. Kalkaua*, Centre ORSTOM, BP 76, Port Vila, Vanuatu, and Bureau des Désastres Nationaux, P.M.B. 014, Port Vila, Vanuatu (Email: lardy@vanuatu.orstom.fr); *M. Regnier and S. Temakon*, ORSTOM et Département des Mines et de la Géologie et des Ressources en Eaux, P.M. Box 007, Port Vila, Vanuatu (Email: regnier@vanuatu.orstom.fr); *Chief N. Tahi*, Village de Nambangahake (Ndui-Ndui) Aoba, Vanuatu; *C. Robin and M. Monzier*, Centre ORSTOM, Apartado 17-11-6596, Quito, Ecuador (Email: robin@orstom.ec); *J-P. Eissen*, Centre ORSTOM de Brest, BP 70, 29280 Plouzane, France (Email: eissen@orstom.orstom.fr); *J-P. Metaxian*, Université de Savoie, 73376 Le Bourget du Lac Cedex.

Yasur

Tanna Island, Vanuatu
 19.52°S, 169.43°E
 summit elev. 361 m

During October 1993, a telemetered surveillance station registered variations in the seismicity at Yasur. The station is located 2 km from the crater on the ashflow plain (figure 8). Seismicity (detected at five stations) generally increased from October 1993 to January 1994, corresponding to renewed eruptive activity. Very strong activity from January 1994 to January 1995 (comparable to 1976-77) ejected bombs in a radius of ~400

m from the crater rim (figure 9). Ashfall measured at the surveillance station totaled ~12 cm during January-October 1994. Seismicity remained high throughout 1994, then declined after January 1995.

Because Yasur is very accessible, it has been promoted as a tourist destination, resulting in a greater number of visitors and greater risk of accidents. In mid-January 1994 and early February 1995, when activity began to decline, there were two accidents with three victims. In one incident, two visitors on the crater rim died when they were struck by a 15 kg bomb ejected from the vent. Although there is little danger when the volcano is having regular explosions at intervals of a few minutes to tens of minutes, the local authorities want to better inform visitors of the constant danger. In January 1994, ORSTOM began

publishing a series of booklets to inform the general public of the volcanic risks. Risks discussed include bombs falling near the crater, modifications of the crater topography (raising of the floor, migration of the vent, etc.). In addition, the 200-m distance between the observation site and the active vents, and the very frequent bomb ejections at speeds of 100-300 m/second that have rendered approaching the crater rim dangerous.

Yasur, a pyroclastic cone largely contained within the small Yenkahe caldera, has probably been in continuous Strombolian activity since Captain Cook observed ash erup-



Figure 8. Photograph of an explosion at Yasur on 17 March 1994. The ARGOS-linked monitoring station is in the foreground. View is approximately to the W. Photo by M. Lardy, courtesy of ORSTOM.

Observations de l'activité du volcan LOMBENBEN

AOBA (AMBAE) - République du VANUATU

Les comparaisons entre les photos de 1995 (n° 1) et 1991 (n° 2) témoignent d'une reprise d'activité dans la zone sommitale du volcan Lombenben.

La colonne de vapeur observée le 3 mars 1995 entre 8H00 et 10H00 (heure locale) dans toute la région autour de l'île d'Aoba est représentée par le dessin de gauche de la figure n° 1 ; elle résulte d'une explosion phréatique qui a pulvérisé un matériau cendreux (observation d'un panache foncé) dont une première analyse de « boue » récupérée ne révèle aucun matériau juvénile (J.P.Eissen- ORSTOM Brest).

La hauteur de la colonne du 3 mars a été estimée à environ 3 000 mètres. Le 5 mars (dessin de droite de la figure n° 1), nous avons observé un panache de vapeur d'environ 500 mètres de hauteur entre 6H30 et 7H00 du matin (heure locale). On peut penser que des panaches de vapeur ont été émis pendant plusieurs jours, mais non observables pour des raisons météorologiques ; la zone sommitale de l'île est la plupart du temps ceinturée de nuages épais.

Une activité inhabituelle avait d'ailleurs été observée par un pilote de Vanair (liaisons aériennes régionales) le 1^{er} mars 1995. Le centre de l'activité du 3 mars provenait d'une zone du cratère située entre les deux îlots du lac Voui. Le dessin de la figure n° 2 est réalisé à partir d'images enregistrées sur un caméscope à 12H39 (heure locale) le 3 mars (vol Vanair - Capt. Norman Samson).

Les mauvaises conditions atmosphériques ont fait échouer une première tentative d'approche le 9 mars ; ce n'est que le 13 mars qu'il nous a été possible d'observer de près les fortes émissions de vapeur qui se dégageaient de l'ensemble du lac Voui.

La photo du 20 mars 1995 (n° 1) prise par un temps exceptionnellement beau par la mission Orion de la « Royal Air New-Zealand », confirme à la fois nos observations du 13 mars, et le contraste thermique entre le lac Manaro Lakua (« grand lac » peu profond) et le lac Manaro Voui (« lac des esprits »). Il faut en effet bien distinguer le lac Manaro Lakua dû à une simple accumulation d'eau dans la caldeira du fait d'un léger pendage de son plancher et le lac de cratère (Manaro Voui). On observe bien sur la photo les cellules de convection d'environ 300 à 400 m de diamètre.

Le survol du 6 avril nous a permis de constater la baisse du niveau (ordre de grandeur de 2 mètres) du lac Voui (voir GVN février 1995), baisse déjà amorcée et visible sur les photos du 20 mars.

A l'occasion de notre visite du 27 juin (Rapport n° 11-1995 ORSTOM Vanuatu), nous avons pu constater, après notre atterrissage sur un des îlots du lac, une baisse d'environ 5 mètres du niveau général de l'eau du lac par rapport à son maximum (ligne de végétation récente). Les températures de l'eau mesurées autour des parties les plus accessibles de l'îlot oscillent en moyenne entre 38 °C et 40 °C avec des maxima à 63 °C et 66,6 °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 vapeur étaient visibles entre l'îlot et la bordure Nord-Ouest du cratère. Les eaux du lac sont fortement décolorées (vert émeraude). Elles rappellent celles du "Green Lake" de Waimangu (vallée thermale - Région de Rotura Nouvelle-Zélande). L'îlot aperçu d'avion le 6 avril dans la zone Nord du lac s'est agrandi (15-20 mètres). Il est ancien et son apparition est due à la baisse du niveau du lac. Les fortes pentes des îlots vers l'Est confirment des fonds plus importants vers le centre du lac (zone d'émission du panache du 3 mars) - figure n° 2. Des pentes douces qui se sont découvertes suite à la baisse du niveau du lac en bordure du cratère dans la zone Nord et Ouest ont également été observées.

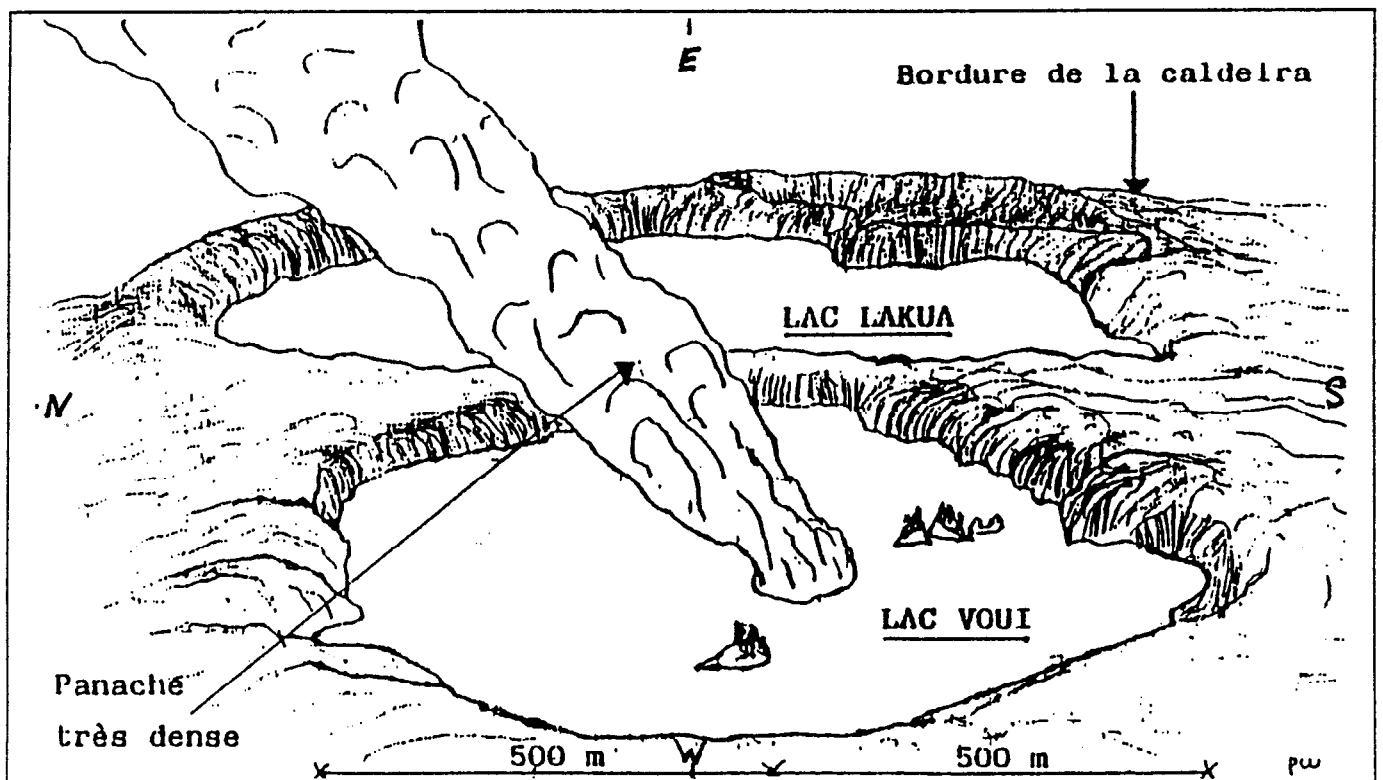
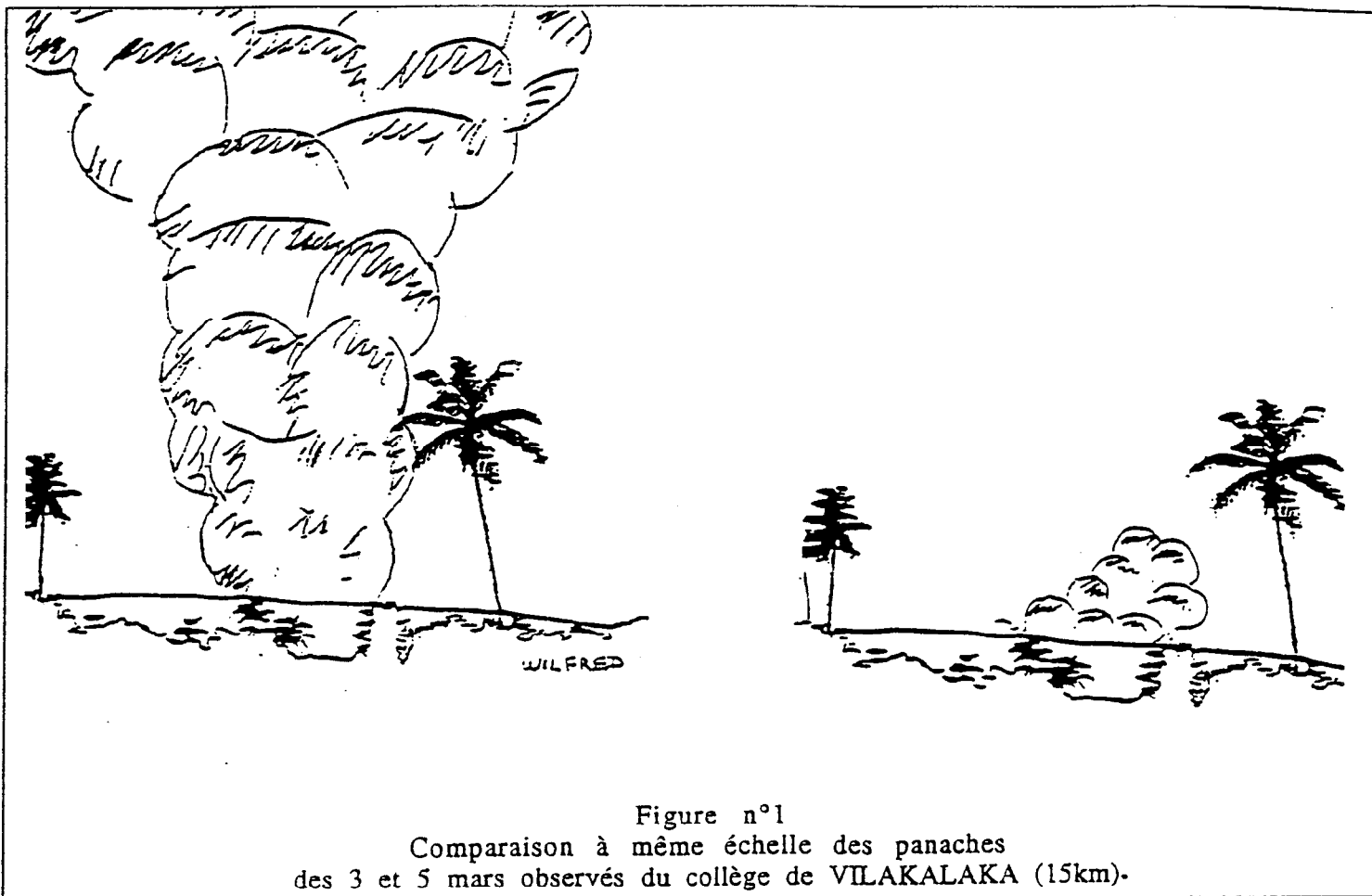


Figure N° 2 - Zone sommitale du volcan d'Aoba (Ambae),
 le 3 mars 1995 à 12H39 (H.L.).

Tous les arbres de l'îlot sont morts. Une végétation (mousses, herbacées ...) est en train de renaître. Quelques blocs de boue desséchés (40 à 50 cm de diamètre) qui résultent 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 de bulles de gaz au travers de nombreuses fissures en bordure de l'îlot.

La bathymétrie du Lac Vouï n'a jamais été réalisée, une estimation d'un volume de 50 millions de mètres cubes peut-être considérée comme un ordre de grandeur réaliste.

Malgré la baisse d'activité constatée ces derniers mois, nous avons décidé de maintenir pour une nouvelle période de trois mois l'alerte à son niveau le plus bas, la crise n'étant peut-être pas terminée.

Informations & contacts :

VANUATU : M. Lardy, D. Douglas, P. Wiart, K. Kalkaua

Centre ORSTOM - B.P. 76 - Port-Vila

et NDMO (Bureau des Désastres Nationaux) P.M.B. 014 - Port-Vila

M. Regnier, S. Temakon, R. Decourt

ORSTOM(Observatoire sismologique) et Département des Mines

et de la Géologie et des Ressources en Eaux P.M. Box 007 - Port-Vila

Chief N. Tahï - Village de NAMBANGAHAKE (Ndui-Ndui) Aoba

E-mail : Lardy@vanuatu.orstom.fr Regnier@vanuatu.orstom.fr

EQUATEUR : C.Robin,,M.Monzier - Centre ORSTOM

AP 17 - II - 6596 , Quito

E-mail : Robin@orstom.ec

FRANCE: J.P. Eissen - Centre ORSTOM - BP 70 - 29280 Plouzane

J.P. Metaxian - Université de Savoie - 73376 Le Bourget du Lac Cedex

E-mail : Eissen@orstom,orstom.fr

MESURES PHYSICO-CHIMIQUES - LAC VOUI-AMBAE

Relevé pH-temp.

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 E3 (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 Vouï					
Boue					
Surface	3,35	0,01			Boue récemment apparue Par évaporation - lac Vouï
F #1	2,26	0,01			
F #2	2,34	0,01			

Prévention des Catastrophes dans les Petits Pays Insulaires du Pacifique

Le DHA aide les pays insulaires du Pacifique à mettre en oeuvre leurs stratégies de prévention des calamités.

Les études montrent que les petits états insulaires sont fortement vulnérables aux catastrophes naturelles. La région du Pacifique sud ne représente pas une exception, et les calamités tendent à avoir une incidence considérable sur les économies des îles du Pacifique. Les conséquences pour les pays individuels atteignent souvent de graves proportions. Un facteur important est la vaste zone sur laquelle s'étend la région, avec ses communautés dispersées et isolées. La base de ressources limitée et les économies de petite échelle ne font qu'accroître la vulnérabilité des communautés. Les petits pays insulaires du Pacifique ont de plus en plus conscience de la nécessité d'affronter le problème de la prévention des catastrophes naturelles.

CONFÉRENCE DE YOKOHAMA: PRÉPARATION ET SUIVI

En guise de préparation à la Conférence de Yokohama, 15 pays insulaires du Pacifique se sont réunis pour identifier les problèmes communs de réduction des effets des catastrophes et pour formuler une stratégie commune de prévention dans la région. Le rapport régional sur le Pacifique sert de cadre et de point de départ concret pour tous les pays de la région qui souhaitent analyser et aborder les questions de catastrophes. C'est une déclaration de politique collective qui énonce une politique commune qui permettra aux pays d'atteindre leurs propres objectifs et ceux de la Décennie. La stratégie repose sur les points suivants: développement des ressources humaines et des institutions; examen et révision des plans en cas de catastrophe; évaluation des aléas, de la vulnérabilité et des risques; sensibilisation des communautés et alerte rapide; et atténuation des calamités pour un développement durable.

En septembre 1994, la troisième réunion régionale sur la réduction des catastrophes dans le Pacifique a été organisée à Suva (Fidji). Elle a servi de tribune aux représen-

tants des pays, aux organisations régionales, aux donateurs et aux spécialistes qui ont examiné les plans de gestion des catastrophes, les projets et les priorités pour les petites îles du Pacifique, de même que les possibilités de soutien de la part des pays et des organismes donateurs. Ceci s'est traduit par une proposition de coordination de la gestion des catastrophes par le Secrétariat du Forum et par des recommandations liées à la valorisation des ressources humaines et à la réduction des calamités. Les participants ont également présenté un large éventail d'études de cas et de projets de prévention et ont discuté de leur application axée sur les priorités des petits pays insulaires du Pacifique.

La Conférence de Yokohama et la réunion de Suva ont offert la possibilité aux pays insulaires du Pacifique de formuler une stratégie commune et de convenir d'un mécanisme institutionnel facilitant son application efficace. Les contributions des donateurs régionaux et internationaux, en particulier l'IDNDR Australie, le Programme régional océanien de l'environnement (PROE) et le DHA, ont eu un rôle fondamental dans ce processus.

PROJET DE RÉDUCTION DES EFFETS DES CATASTROPHES

Le Projet de réduction des effets des catastrophes dans le Pacifique Sud (SPDRP) est

Joseph Chung,
*Conseiller technique
en chef Bureau du
programme DHA pour
le sud pacifique, Fidji*

Luc Vrolijk,
*Administrateur du
Programme Asie
et Pacifique
Service de mitigation
des catastrophes,
DHA-Genève*



Réduction

actuellement la principale activité aidant les pays insulaires du Pacifique à mettre en oeuvre leurs stratégies de prévention des calamités. Le projet, financé par le PNUD et d'autres donateurs, est exécuté par le Bureau DHA du Programme pour le Pacifique sud (SPPO) de 1994 à 1997. Le projet a pour objectif le renforcement des capacités nationales et la valorisation des ressources humaines visant à atténuer l'impact des catastrophes naturelles dans la région et contribuer ainsi au développement durable.

Le projet est articulé en cinq volets étroitement liés:

Formation: la formation nationale et régionale sert à développer le professionnalisme des responsables de la gestion des catastrophes et de tous les intervenants. Une stratégie de formation régionale, y compris la "formation des formateurs" offrira des opportunités concrètes de valorisation professionnelle.

Mitigation des catastrophes: Des projets pilote et de nouvelles initiatives dans des secteurs tels que la surveillance des volcans, la protection des rivages, l'alerte et la prévision des inondations et l'intégration des questions de catastrophes

dans la planification du développement, seront mis en oeuvre avec le concours des organisations régionales.

Des matériels d'enseignement seront réalisés, notamment des manuels techniques, des études d'impact économique et des matériels de sensibilisation du public pour servir d'outils de référence et de formation.

Gestion de l'information: des bases de données nationales et régionales seront conçues et mises au point, avec un support de formation, pour contribuer à la prévention efficace des catastrophes et à la gestion des urgences.

Coopération et coordination régionale: des réunions régionales organisées chaque année serviront de tribune pour l'échange d'expériences et l'identification de secteurs de coordination. L'information relative aux calamités sera mise en commun pour améliorer la coordination dans la région.

Le projet conjugue des programmes ciblés à l'échelle des pays soutenus par des activités régionales de grande envergure avec des tentatives de trouver des solutions "océaniques" aux problèmes et aux priorités du Pacifique. Le projet est élastique afin de lui permettre d'intégrer les nouvelles opportunités de réduction des cata-

POINTS CLÉS DE LA RÉDUCTION DES CATASTROPHES

Les points suivants forment la base commune sur laquelle cibler les efforts visant à atteindre les objectifs de l'IDNDR dans le Pacifique sud.

- Les catastrophes entravent le développement et contraignent les gouvernements à réaffecter des parts importantes de leurs budgets de développement aux secours et au relèvement. Les efforts visant à atteindre un développement durable devront s'attaquer aux effets négatifs des catastrophes naturelles.
- L'échelle et l'orientation des économies amplifient les bouleversements causés par les catastrophes naturelles. Etant donné la capacité biotique limitée de l'environnement et la petite échelle des économies, les dégâts provoqués par un seul cataclysme fait souvent régresser le développement de plusieurs années.
- Du fait de l'accroissement démographique et la concentration de la population, les économies nationales doivent subvenir aux besoins de nombres croissants, et les hommes viennent s'installer aux périphéries des villes menacées par les catastrophes, essentiellement autour des capitales.
- La dispersion des communautés insulaires limite les activités de développement et l'aide en cas de catastrophe. Même à l'échelle des pays, les grandes distances et les ressources limitées entravent la participation totale des îles les plus éloignées. Les activités de planification préalable ne parviennent pas toujours jusqu'aux communautés vulnérables isolées.
- Le changement climatique et la montée du niveau des océans sont les menaces environnementales les plus graves de la région. Les modifications du climat à l'échelle planétaire peuvent accroître la fréquence et l'intensité des catastrophes hydrologiques, ce qui constitue un problème fondamental, y compris pour la réduction des risques à court terme.
- Les ressources humaines servant à affronter tout secteur spécifique de développement sont relativement limitées. Les responsables de gestion des catastrophes sont souvent responsables de multiples tâches diverses. Il faudrait orienter les efforts sur l'exploitation optimale des compétences disponibles.
- La priorité de la prévention des catastrophes doit être évaluée par rapport aux autres priorités. Les activités de prévention doivent être orientées sur les résultats et montrer clairement les avantages directs pour les populations. Les activités de développement doivent prendre en compte les risques des catastrophes naturelles pour avoir un caractère durable.
- connaissance des aléas et des risques est loin d'être complète dans le Pacifique. Un exercice détaillé de cartographie est nécessaire, et la vulnérabilité des communautés, des équipements et des infrastructures vitales doit être évaluée pour l'assignation des priorités.
- Les systèmes de communication et d'alerte sont importants en raison de la dislocation des communautés. La diffusion des messages d'alerte doit être améliorée pour permettre aux habitants de prendre toutes les précautions nécessaires.
- Les systèmes traditionnels d'intervention en cas de catastrophe se sont dégradés au cours des derniers temps. Cependant, les mesures d'atténuation des calamités telles que la diversification des cultures, la conservation des aliments et la construction d'abris sont toujours actuelles.

strophes. Il est exécuté en étroite coordination avec les donateurs et les organisations régionales.

VERS UNE RÉDUCTION DURABLE DES EFFETS DES CATASTROPHES

La stratégie et l'approche commune pour atteindre les objectifs de l'IDNDR en 1995-99 constituent un bon point de départ mais le plus gros reste encore à accomplir. L'évaluation des aléas et risques, la prise en compte de ces risques dans les programmes de développement, les projets d'atténuation des effets des catastrophes pour affronter les situations à haut risque, l'amélioration et la diffusion des alertes sont loin d'être achevées dans le Pacifique. En ce qui concerne le renforcement des institutions et le développement des ressources humaines, il reste beaucoup à accomplir.

Un des points qui mérite une attention particulière est la mobilisation d'un appui politique. Les gouvernements insulaires du Pacifique ont montré leur engagement envers les objectifs de la Décennie grâce à leur soutien et à leur contribution à la stratégie commune vers une réduction des calamités. Ceci doit se traduire par un engagement, notamment un financement, des projets et des activités de mitigation. Les autorités devront être convaincues des avantages de la prévention par les projets pilote et les activités de mitigation. Ce n'est qu'à cette condition que l'atténuation des catastrophes aura la place qu'elle mérite dans les décisions politiques prises au niveau local, national et régional.

La coopération et la coordination régionale constitue un autre secteur digne d'attention. Le système de coopération et de coordination à l'échelle régionale, conformément à ce qui a été convenu à la

réunion de septembre 1994, devra être mis en oeuvre et faire partie de la pratique quotidienne entre les pays insulaires du Pacifique. Une fois mise en place, la cellule des catastrophes du Secrétariat du Forum devra collaborer étroitement avec les projets établis en matière de réduction des calamités afin de développer les capacités institutionnelles destinées à fournir un appui durable à la région. Le financement de cette cellule devra être soutenu.

Il est capital que les projets de réduction des effets des catastrophes soient exécutés de manière à ce qu'ils se renforcent mutuellement. La cellule des catastrophes proposée au sein du Secrétariat du Forum aura un rôle majeur dans ce processus qui aura besoin, pour être efficace, du soutien des gouvernements du Pacifique et des donateurs. Dans l'intervalle, le Bureau du programme océanien du DHA devra assurer la liaison nécessaire pour une exécution coordonnée des projets. Ceci requiert la coopération des donateurs et des gouvernements des pays insulaires du Pacifique.

CONCLUSION

Les pays insulaires du Pacifique ont jeté les bases de l'exécution d'activités de prévention des catastrophes destinées à répondre aux objectifs de la Décennie. Une partie du soutien technique et financier nécessaire pour la réalisation du programme est en place, même si le champ est libre pour des programmes supplémentaires. La deuxième moitié de la Décennie sera axée -tout du moins pour la région Pacifique- sur la mise en oeuvre d'activités de prévention au niveau local, national et régional, en particulier sur la consolidation de l'appui politique et le renforcement des systèmes de coopération et de coordination régionales.

Pour tous renseignements complémentaires, veuillez contacter:
Joseph Chung,
Chief Technical Adviser,
DHA/SPO, c/o UNDP,
Private mail bag,
Suva, Fidji.
Tel.: (679) 303 239.
Fax: (679) 304 942.
ou Luc Vrolijk,
Programme Officer Asia
and Pacific, Disaster
Mitigation Branch, DHA
Genève, Palais des
Nations, CH-1211
Genève 10 (Suisse).
Tel.: (41-22) 788 8433.
Fax: (41-22) 788 6389.

PROJET PILOTE SUR LES VOLCANS DE VANUATU

Devant la recrudescence d'activité sur les volcans Tanna, Ambae et Ambrym, un projet pilote est mis en oeuvre dans le cadre du Projet de réduction des effets des catastrophes dans le Pacifique Sud afin d'optimiser la planification préalable, en commençant par ces trois volcans. Le projet rassemble un grand nombre de participants, notamment: le Bureau national de gestion des catastrophes, le Département de géologie, l'ORSTOM, les communautés et les ONG opérant dans la région. Le projet affrontera tous les aspects de la gestion des calamités, de l'évaluation et du suivi des aléas aux mesures de prévention, à la formation et aux plans et procédures d'urgence.

Le projet pilote prévoit les activités suivantes:

- Historique des éruptions volcaniques et de leur impact pour tous les volcans actifs de Vanuatu
- Evaluation des aléas et identification des éléments à risque pour Ambrym, Ambae et Tanna
- Mise au point d'un système de suivi satisfaisant en coopération avec les autorités actuellement concernés
- Préparation d'un plan d'urgence, comprenant des consultations avec les communautés locales, l'élaboration d'un système d'alerte /d'alarme, des procédures d'évacuation et l'identification de sites plus sûrs
- Formation et application du plan d'urgence, y compris formation des communautés locales et des fonctionnaires du gouvernement, et exercices
- Mesures de mitigation des catastrophes, comprenant des réglementations sur l'utilisation des terres, des sites sans danger, des voies d'évacuation, des programmes de sensibilisation de la population, etc.



Natural Disaster Reduction in Pacific Island Countries

The South Pacific Disaster Reduction Project is at present the major activity to support Pacific island countries in the implementation of disaster reduction

Studies have indicated that small island states have high levels of vulnerability to natural hazards. The South Pacific region is no exception, and natural hazards tend to have considerable impact on the economies of Pacific island countries. The consequences for individual countries often reach severe proportions. An important factor is the vast area over which the region extends, with its scattered and isolated communities. The narrow resource base and small scale of economies also increases the vulnerability of communities. Pacific island countries are increasingly aware of the need to address the issue of natural disaster reduction.

YOKOHAMA CONFERENCE, PREPARATION AND FOLLOW-UP

In preparation for the Yokohama Conference, 15 Pacific Island Countries have worked together to identify common issues in disaster reduction and to formulate a common strategy for disaster reduction in the region. The Pacific regional report to the Conference provides the framework and a clear starting point for all countries in the region to analyse and address the disaster issues that affect them. It is a collective policy statement and maps out a common policy that will enable countries to achieve their own goals and those of the Decade. The main building blocks of the common strategy are: human resource and institutional development; review and revision of disaster plans; hazard, vulnerability and risk assessment; community awareness and disaster warning; and disaster mitigation for sustainable development.

In September 1994, the Third IDNDR Pacific Regional Disaster Reduction Meeting was held in Suva, Fiji. The meeting provided an opportunity for country representatives, regional organisations, donors and resource persons, to meet and discuss disaster management plans,

projects and priorities for Pacific island countries and opportunities for support by donor countries and organisations. This resulted in a proposal for disaster management coordination through the Forum Secretariat and recommendations in relation to human resources development and disaster reduction. Participants also presented a wide range of case studies and projects for disaster reduction and discussed how these can be used in addressing the priorities of Pacific island countries.

The Yokohama Conference and the meeting in Suva together provided an opportunity for Pacific island countries to formulate a common strategy and to agree on an institutional mechanism to allow for effective implementation of this strategy. Contributions of regional and international donors, in particular IDNDR Australia, the South Pacific Regional Environment Programme and DHA have been critical in achieving this starting point for the rest of the Decade.

SOUTH PACIFIC DISASTER REDUCTION PROJECT

The South Pacific Disaster Reduction Project (SPDRP) is at present the major activity to support Pacific island countries in the implementation of disaster reduction strategies. The project is funded by UNDP and other donors and is being

Joseph Chung,
Chief Technical
Adviser,
DHA South Pacific
Programme Office, Fiji

Luc Vrolijk,
Programme Officer
Asia and Pacific,
Disaster Mitigation
Branch, DHA-Geneva



implemented by the DHA South Pacific Programme Office (SPPO) in 1994-1997. The objective of the project is to strengthen institutional capacities and develop human resources in order to reduce the impact of natural disasters in the region and thus contribute to sustainable development.

The project is implemented in five interrelated activities:

Training: In-country and regional training serves to develop the professionalism of disaster officials and those who play supporting roles in disasters. A regional training strategy, including 'training of trainers' will create coherent opportunities for relevant professional development.

Disaster mitigation: Pilot projects and new initiatives in areas as volcano monitoring, foreshore protection, flood warning and forecasting and integrating disaster considerations into development planning, will be implemented with assistance of regional organizations.

Resource materials will be produced including technical manuals, economic impact studies and public awareness mate-

rials will be developed for reference and training.

Information management: National and regional databases will be introduced and developed, with support training, to allow effective disaster reduction and emergency management.

Regional cooperation and coordination: Annual regional meetings will provide a forum to share experiences and identify areas for coordination. Disaster related information will be shared in the region to enhance coordination.

The project combines targeted in-country programmes with broad regional support activities, and attempts to find Pacific solutions for Pacific problems and priorities. The project is flexible in order to allow it to accommodate new opportunities for disaster reduction. It is implemented in close coordination with donors and regional organisations.

TOWARDS SUSTAINABLE REDUCTION OF DISASTER

The common strategy and approach to meet the objectives of IDNDR in 1995-1999 provide the groundwork, but much

ISSUES IN DISASTER REDUCTION

These issues form the common basis on which efforts to meet the targets set by the International Decade for Natural Disaster Reduction will need to be based within the South Pacific context.

- Disasters disrupt development and force governments to redeploy substantial parts of their development budget into relief and rehabilitation. Efforts to achieve more sustainable development have to address the negative impact wrought by natural disasters.
- Scale and orientation of the economies amplifies the disruption of natural disasters. Because of the limited carrying capacity of the environment and the small scale of economies, the damage wrought by one disaster often sets back development for years.
- Population growth and population concentration imply that national economies have to cater for more people, and that disaster prone urban fringe areas are occupied, mainly around the national capitals.
- Dispersion of island communities limits development activities and disaster assistance. Even within countries, large distances and limited resources prohibit full involvement of outer islands. Disaster preparedness activities not always reach isolated communities at risk.
- Climate change and sea level rise are the most serious environmental threats to the region. Global changes may increase the frequency and intensity of hydrological disasters, which makes climate change a major issue, also for short term risk reduction.
- Human resources to cope with any specific area of development are fairly limited. Disaster managers are often charged with a wide range of other responsibilities. Efforts should be made to make optimum use of available talent.
- Priority for disaster reduction has to be weighted against other priorities. Disaster reduction activities have to be result oriented and visibly demonstrate direct benefit to populations. Development activities need to consider the risks of natural disasters in order to be sustainable.
- Knowledge of hazards and risks is still far from complete in the Pacific. A comprehensive mapping exercise is needed and the vulnerability of communities, critical facilities and infrastructures needs to be assessed as a basis for assigning priority.
- Communication and warning systems are important in view of the dispersed nature of the region. Dissemination of disaster warnings needs to be improved in order to allow people to take optimum precautions.
- Traditional disaster response systems have eroded in recent times. Yet in particular traditional disaster mitigation measures such as crop diversification, food preservation and shelter construction still have their value in present day life.

of the actual work remains to be done. Assessment of hazards and risks, taking these risks into account in development programmes, disaster mitigation projects to address high risk situations, improvement and dissemination of warnings are all activities that are far from completed in the Pacific. In terms of institution building and human resource development, a great deal of work needs to be carried out.

One of the points that require special attention is the mobilisation of policy support. Pacific island governments have demonstrated their commitment to the objectives of the Decade by their support of and contribution to the common strategy for disaster reduction. This needs to be translated into commitment, including funding, of disaster mitigation projects and activities. Policy makers will need to be convinced of the benefits of disaster reduction approaches through disaster mitigation pilot projects and activities that clearly demonstrate benefits to the people of the Pacific. Only then, disaster mitigation will get the place it deserves in the policy decisions taken at local, national and regional level.

Regional cooperation and coordination is another area for attention. The system for cooperation and coordination at regional level, as agreed by the meeting in September 1994, needs to be implemented and become part of the everyday practice of regional cooperation between Pacific island countries. The Disaster Unit of the

Forum Secretariat will, once established, have to work closely with established projects in disaster reduction to develop the institutional capacity to provide sustainable support to the region. The funding for the unit will need to be sustained.

It is of critical importance that disaster reduction projects are implemented in a way that they mutually enforce each other. The proposed Disaster Unit within the Forum Secretariat will play a major role in assuring this. It needs the backing of Pacific island governments and donors to play this role effectively. In the intermediate, the South Pacific Programme Office of DHA has been requested to provide the necessary liaison to ensure coordinated implementation of projects. This requires the cooperation of donors and Pacific island governments.

CONCLUSION

The Pacific island countries have laid a foundation for the implementation of disaster reduction activities to meet the objectives of the Decade. Part of the technical and financial support to carry out the required programme is in place, although there is still considerable scope for additional programmes. The second half of the Decade will, at least for the Pacific, focus on the implementation of disaster reduction activities at local, national and regional level. Points of attention are the consolidation of policy support and strengthening of regional cooperation and coordination arrangement

*For further information contact: Joseph Chung, Chief Technical Adviser, DHA/SPO, c/o UNDP, Private Mail Bag, Suva, Fiji.
Phone: (+679) 303 239, Fax: (+679) 304 942, or Luc Vrolijkx, Programme Officer Asia and Pacific, Disaster Mitigation Branch, DHA-Geneva, Palais des Nations, CH-1211 Genève 10, Switzerland.
Tel.: (+41 22) 788 8433, Fax: (+41 22) 788 6389*

PILOT PROJECT VOLCANOES VANUATU

In view of the increased volcanic activity on Tanna, Ambae and Ambrym, a pilot project is carried out as part of the South Pacific Disaster Reduction Project to optimise advance planning for volcanos, initially focusing on these three volcanoes. The pilot project includes a wide range of participants, including the National Disaster Management Office, the Geological Department, ORSTOM, communities and NGO's working in the area. The project will address all aspects of disaster management, ranging from hazard assessment and monitoring to prevention measures, training and emergency plans and procedures. Scheduled activities of the pilot project include:

- Compiling a history of volcanic eruptions and their impact for all active volcanoes in Vanuatu
- Hazard assessment and inventory of elements at risk for Ambrym, Ambae and Tanna
- Development of an appropriate monitoring system in cooperation with authorities currently involved
- Preparation of an emergency plan, including local community consultations, development of an alert/alarm system, evacuation procedures and identification of safer locations
- Training and implementation of the emergency plan, including training of local communities and government staff, and exercise
- Disaster mitigation measures, including land use regulations, safe locations, escape routes, community awareness programmes etc.

**CAPTEUR D'ULTRASONS DESTINE A LA PREVISION
DES ERUPTIONS VOLCANIQUES**

M. HALBWACHS - J.C. SABROUX

HISTORIQUE

Les mesures acoustiques dans les lacs de cratères volcaniques avaient initialement pour objet d'évaluer le niveau de bruit provoqué par l'activité de bullage des fumerolles sublacustres*. Ce signal se limite à la bande audiométrique - entre 50 Hz et 5.000 Hz - et représente une bonne estimation du flux gazeux dans le cratère du volcan.

Plus généralement, les mesures hydroacoustiques présentent l'avantage d'intégrer les vibrations élastiques sur une grande surface de l'édifice volcanique, de permettre un excellent couplage d'impédance entre l'hydrophone et le milieu environnant et de détecter le signal sur une bande spectrale dépassant trois décades, entre 0,1 Hz et 200 KHz (cf. figure).

L'idée de mesurer le signal acoustique dans la bande ultrasonore a été plus ou moins suggérée par le comportement anormal de certains animaux dans les périodes précédant les tremblements de terre ou les éruptions volcaniques. Il est possible que ces animaux possèdent une sensibilité de perception audiométrique supérieure à l'homme (exemple du poisson chat utilisé dans les méthodes chinoises pour la prévision des séismes). Il est possible aussi qu'ils réagissent en raison d'une bande auditive plus élevée en fréquence (ce qui est le cas par exemple pour le chat et le chien).

* C. BERCY, J. C. SABROUX and G. SUPARWOTO

Underwater noise survey in the crater lake of Kelut volcano (Indonesia), p. 529-543
In Forecasting Volcanic Events, H. Tazieff and J. C. Sabroux Eds., Elsevier, 1983

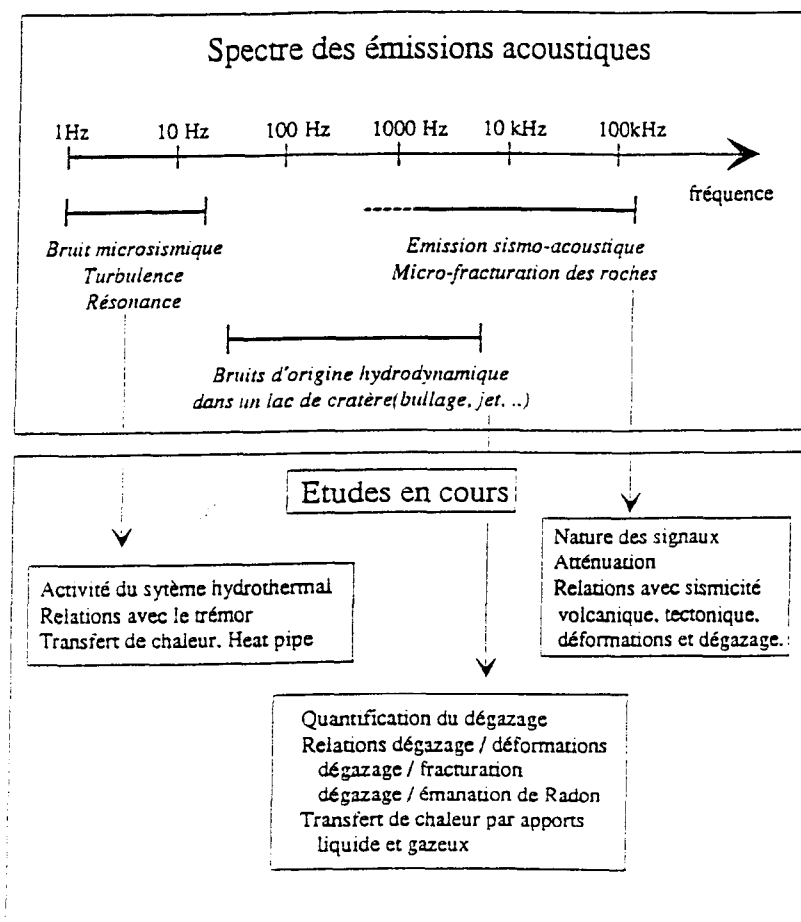
La mesure des vibrations acoustique dans la bande ultrasonore (20.000 Hz-200.000 Hz) a nécessité la mise au point d'un capteur spécifique de type piézo-électrique présentant un bruit propre extrêmement faible dans la bande utile (inférieur à 20 dB ref $1\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$). La propagation des ondes acoustiques étant fortement atténuée par le milieu et le facteur d'atténuation augmentant avec la fréquence, il est indispensable de plonger le capteur dans un liquide (lac, puits de forage, puits à usage domestique)

Deux lacs de cratères ont été instrumentés et ont donné lieu à des émissions dans le spectre ultrasonore, émissions qui sont apparues durant la phase précédant la reprise de l'activité:

- le volcan Kelut à Java (Indonésie) a été équipé en juillet 1988 d'une station hydroacoustique utilisant le système de transmission satellitaire Argos. Le volcan a fait éruption le 10 février 1990: un signal est apparu sur la voie ultrasonore dès le mois de décembre 1989,

- le volcan Taal aux Philippines a été instrumenté en juin 1991 par une station du même type que celle du Kelut. Deux violentes crises sismiques accompagnées de déformations sont intervenues, l'une en février 1992, l'autre en mars 1994. Chacune des crises a été précédée d'une augmentation notable du signal ultrasonore.

Quelques indications sur les données recueillies durant ces crises et les interprétations associées sont fournies en annexes.



INTERPRETATION DU PHENOMENE

Nous ne détaillerons pas les différentes hypothèses qui ont été envisagées pour tenter d'expliquer ce phénomène d'émission ultrasonore: bruit de bullage, cavitation, bruit thermique ... Après un examen approfondi, le seul mécanisme qui a été reconnu comme susceptible d'expliquer les résultats de nos expériences reste le phénomène bien connu de l'émission acoustique.

Des expériences de mise sous contrainte des matériaux, réalisées en laboratoire, mettent en évidence des émissions de pulses acoustiques précédant la rupture, le spectre en fréquence de ces ondes étant situé dans le domaine ultrasonore (100 KHz - > 1 Mhz). Le mécanisme responsable de cette émission est à rechercher dans les déformations irréversibles du matériau intervenant dans le domaine de la plasticité. L'échelle de dimension de ces déformations est extrêmement variable, depuis le décrochement des dislocations de leurs points d'ancrage (échelle atomique), jusqu'aux micro-fissurations inter-granulaires (échelle du grain cristallin), aux amorces de fissurations à échelle millimétrique voire centimétrique.

Les ultrasons émis dans le stade de contraintes précédant la rupture se situent dans un domaine de fréquence qui décroît lorsque la taille de la source augmente. Un séisme tectonique constitue l'extrapolation de ce mécanisme de rupture à l'échelle beaucoup plus étendue de la croûte lithosphérique. Les ondes émises ont alors des fréquences situées dans le domaine infrasonore (0.1 Hz - 50 Hz).

Ce mécanisme d'émission acoustique est largement utilisé en contrôle non destructif des matériaux pour prévoir les amorces de rupture dans les structures (principalement métalliques). Il était donc tentant d'appliquer ces techniques pour essayer de détecter les signaux acoustiques précurseurs des séismes. Des études ont déjà été entreprises et des résultats obtenus dans le domaine des fréquences audiométriques (détection de *nano earthquakes* sur la faille de San Andreas). Aucune expérience ne semble avoir été tentée dans le domaine ultrasonore. En effet l'application pratique de ces techniques se trouve confrontée au problème principal de l'atténuation des ondes élastiques dans le sol. Cette atténuation augmente de manière dramatique avec la fréquence. Il est donc indispensable de réunir un certain nombre de conditions pour assurer l'efficacité de cette méthode:

- il a été nécessaire de concevoir un capteur présentant une sensibilité exceptionnelle associée à une bonne directivité hémisphérique,
- il faut, autant que possible, effectuer la surveillance dans le voisinage de la source des contraintes,
- un excellent couplage mécanique du capteur avec le sol est indispensable: utilisation d'un hydrophone plongé dans un milieu liquide,
- enfin il faudra disposer d'une chaîne de conditionnement analogique permettant une amplification dépassant 120 dB et, si une analyse fréquentielle est envisagée, d'une unité de traitement du signal travaillant dans la gamme du Mhz.

DISPOSITIF DE SURVEILLANCE PROPOSE

La conception du dispositif de traitement du signal dépendra essentiellement de deux facteurs:

- Est-ce que le site instrumenté se trouve en milieu naturel isolé (en particulier, absence de source de courant électrique, de local, de personnel de maintenance et d'exploitation)?

- Une considération totalement prosaïque: quel est le budget disponible?

A partir de ces deux considérations objectives, l'éventail des solutions techniques proposées est très largement ouvert. Nous décrivons ci-dessous deux solutions réalistes, totalement différentes dans leurs conceptions et leurs coûts et largement différenciées dans leurs finalités.

1) Station énergiquement autonome, budget limité:

Cette station ne permet pas d'effectuer d'analyse fréquentielle de l'évolution spectrale du signal. Elle est basée sur l'acquisition du signal découpé de manière analogique par bandes spectrales. La tâche logicielle de la station se limite à une acquisition séquentielle des puissances RMS du signal filtré dans diverses bandes sélectionnées.

Suivant le mode d'exploitation des signaux, on sera amené à découper la bande de fréquence utile en plusieurs parties qui peuvent, soit provenir de diverses sources physiques, soit présenter des dynamiques très différentes. A titre indicatif, on peut proposer les bandes de fréquences suivantes:

- < 50 Hz,
- 50 Hz - 200 Hz,
- 200 Hz - 3000 Hz,
- 3000 Hz - 20 KHz,
- 20 KHz - 80 KHz,
- > 80 KHz (avec un amplificateur élargisseur de bande).

Nous avons mis au point une station prototype construite autour d'un micro ordinateur à faible coût et faible consommation qui gère une carte d'acquisition (16 voies multiplexées, 12 bits, période d'acquisition de l'ordre de 0.1 secondes). Les données RMS recueillies peuvent être mises à disposition de l'utilisateur suivant différents vecteurs:

- transmission numérique radio ou filaire,
- transmission par satellite (système Argos: 32 octets par message, d'environ 4 à 10 messages par jours),
- stockage sur mémoires Flash récupérées à intervalles de temps réguliers: une carte de 4 M octets permettrait d'échantillonner 6 voies (16 bits) à une cadence de 7.5 secondes avec une autonomie d'un mois (cette solution est en cours de mise au point).

Une telle station pourrait être très utile pour procéder à une étape exploratoire de mise en évidence du phénomène d'émission acoustique sur un site donné.

2) Le signal délivré par le capteur est disponible dans un PC d'analyse disposant de moyens informatiques suffisants. Dans cette hypothèse, il est évident qu'il faut développer un logiciel d'analyse fréquentiel spécifique de manière à accéder aux modifications quantitatives des spectres ultrasonores en relation avec les autres paramètres caractérisant l'accroissement des contraintes (sismicité, déformations, émission de radon, ...).

Le matériel nécessaire s'articule autour d'un micro-ordinateur (ou d'une station de travail multitâches) assurant la gestion d'une carte d'échantillonnage travaillant sur plusieurs voies à des fréquences de l'ordre du MHz. Le programme de base calculera en temps réel les auto spectres de puissance dans plusieurs bandes fréquentielles d'intérêt.

En conclusion, nous rappellerons qu'à ce jour nous ne disposons que d'une mise en évidence expérimentale d'un phénomène original d'émission ultrasonore précédant les éruptions volcaniques. Nous n'avons aucune indication sur la bande de fréquence affectée (au dessus de 20 KHz) ni sur la forme de la modification spectrale. Il nous semble donc judicieux d'aborder la poursuite de cet axe de recherche par la réalisation des deux types de dispositifs proposés ci-dessus. La station d'acquisition de données permettra, pour un moindre coût, de vérifier l'existence de tels phénomènes sur différents sites et d'en préciser grossièrement le contenu spectral. La station d'analyse fréquentielle devrait constituer l'outil de recherche fondamentale permettant la mise au point de logiciels évolutifs performants adaptés au signal rencontré et destinés à tenter de remonter à la description de la source géophysique du phénomène.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- DE LA RÛE A., 1940, Iles de cendre et de corail. Editions l'Arbre - MONTREAL.
- WARDEN, A.J., 1970, Evolution of AOBA caldera volcano, New Hebrides : Bulletin Volcanologique, v. 34, n° 1, p. 107-140.
- GORTON, M.P., 1977, the geochemistry and origin of quaternary volcanism in the New Hebrides : Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 41, p. 1257-1270.
- GARDISSAT P., 1977, Les lacs de cratère du volcan d'AOBA, NABANGA N°52, 23 avril 1977.
- BONNEMAISON J., 1986, L'Arbre et la Pirogue. Editions de l'ORSTOM, Collection Travaux et documents n°201.
- EGGINS, S., 1993, Origin and differentiation of picritic arc magmas, AMBAE (AOBA), Vanuatu : Contributions to Mineralogy and petrology, v. 114, p. 79-100.
- ROBIN, C. and MONZIER, M., 1993, Volcanic hazards in VANUATU : disaster Management Workshop by National Disaster Management Office, Republic of VANUATU, 24-28 May 1993 PORT VILA, 8p.
- ROBIN, C., MONZIER, M., CRAWFORD, A.J., and EGGINS S.M., 1993, The geology, volcanology, petrology-geochemistry, and tectonic evolution of the New Hebrides island arc, VANUATU : IAVCEI CANBERRA 1993, Excursion guide, Record 1993/59, Australian Geological Survey Organisation, 86p.
- ROBIN, C. MONZIER, M., 1994, Volcanic hazards in VANUATU : ORSTOM and Dept. of Geology, Mines and Water Ressources of the VANUATU Government report, 15p
- ROULAND, D. 1995, Rapport préliminaire sur la crise sismique d'AOBA de décembre 1994 : Rapport interne ORSTOM, Nouvelle Calédonie.
- REGNIER, M., 1995, Rapport préliminaire sur la crise sismique d'AOBA de décembre 1994 : Rapport interne ORSTOM, PORT VILA, 4p.
- ROBIN C., MONZIER M., LARDY M., METAXIAN J.P., DECOURT R., CHARLEY D., RUIZ M., EISSEN J.P., BUREAU OF METEOROLOGY (AUSTRALIA) and UN DEPARTMENT OF HUMANITARIAN AFFAIRS (GENEVA, SWITZERLAND). 1995. Aoba (Vanuatu):increased steam and seismicity in early March ; evacuation preparations. Bulletin of the Global Volcanism Network, vol. 20, n°2, February 1995, pp.6-8.
- WIART P., 1995, REVUE de PRESSE, "VOLCAN d'AMBAE", Mai 1995. ORSTOM PORT-VILA (VANUATU), p.1-26.
- LARDY M., WIART P., CHARLEY D., 1995, Rapport de Mission sur AOBA (AMBAE) les 26 et 27 Juin 1995. AOBA (AMBAE) Mission Report 26 and 27 June 1995 (VANUATU). Rapport n°11/1995, Sciences de la Terre, ORSTOM PORT-VILA, pp.1-20.

- DUBREIL N. 1995, Dynamismes éruptifs et pétro-géochimie de l'île d'AOBA (VANUATU). Arc insulaire des Nouvelles-Hébrides - Eruptive dynamisms and petro-geochemistry of AOBA island (VANUATU) New Hebrides Island Arc. DEA, Université de Bretagne Occidentale - (Brest) Juin 1995.
- LARDY M., CHARLEY D., WIART P., KALKAU A K., REGNIER M.; TEMAKON S., TAHI N., ROBIN C., MONZIER M., EISSEN J.P., METAXIAN J.P., 1995. Aoba (Vanuatu) : crater lake exhibits convection cells and steaming as level drops. Bulletin of the Global Volcanism Network, vol. 20, n°8, August 1995, pp. 10-11.
- LARDY M. et al., 1995, Observations de l'activité du volcan LOMBENBEN, AOBA (AMBAE). Bulletin L.A.V.E. n°57, Octobre 1995, pp.25-28.
- OPERATIONAL SUPPORT PLAN AMBAE (AOBA) VOLCANO. October 1995. NDMO, Produced with assistance of the South Disaster Reduction Programme (SPDRP).
- WIART P., 1995, Impact et gestion des risques volcaniques au VANUATU. Mémoire de fin d'études. Rapport ORSTOM - PORT-VILA (VANUATU).
- LARDY M., 1995, Menace d'éruption volcanique sur l'île d'AOBA (VANUATU). ORSTOM ACTUALITES n°48, 1995, p.34.
- METAXIAN JP., REGNIER M., LARDY M., 1995. Rapport sur la crise du mois de Mars 1995 du volcan AOBA (République du VANUATU). Rapport Sciences de la terre, n°15 1996, p.1-20.