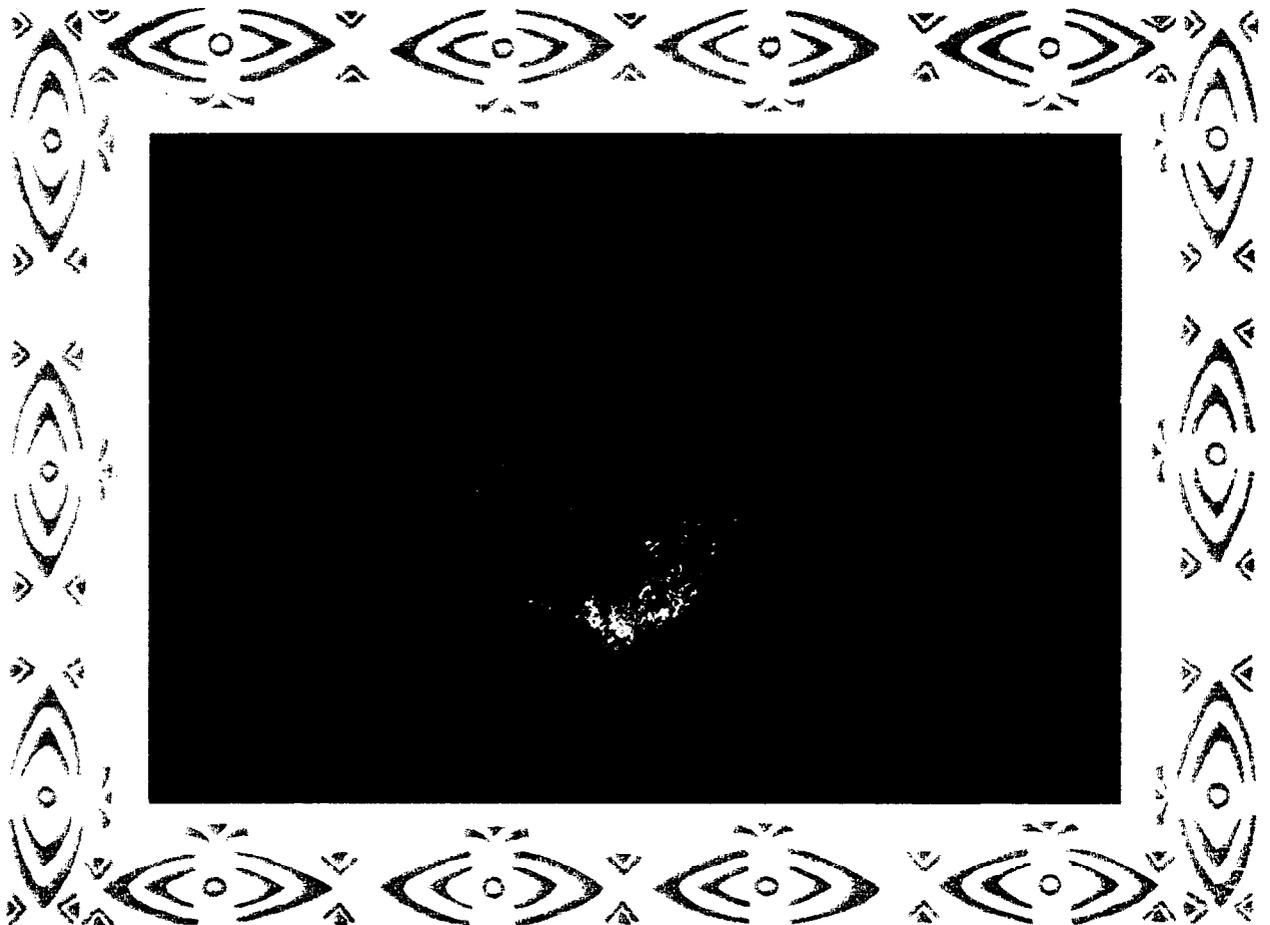


Etude des impacts socio-économiques des
menaces volcaniques et autres risques
naturels sur l'archipel du Vanuatu
(Mélanésie) :



Eruption du Yasur (Tanna) en novembre 1994 (Photo LARDY M.)

Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées
« Sciences de l'Environnement »
Année 1997/98.

Sandrine WALLEZ

Stage de fin d'études effectué au Centre ORSTOM de Port-Vila (VANUATU).



Fonds Documentaire ORSTOM
Cote : AX 15365 Ex : 1

Remerciements

Je tiens particulièrement à remercier M. M. LARDY, sans qui ce stage n'aurait pu se faire et qui m'a beaucoup appris au sujet des mœurs au Vanuatu. Sa connaissance de l'archipel m'a été très utile et le partage, dans la bonne humeur, de son savoir m'a énormément enrichi. Je le remercie également pour sa magnanimité.

Je remercie, également, M^{lle} Liz PECCAN et M^{me} Kate DUGGAN du bureau de la planification de l'utilisation du sol pour le temps qu'elles m'ont consacré afin de me former sur VANRIS et pour les documents qu'elles m'ont fourni.

Un grand merci pour toute l'équipe de l'ORSTOM de Port-Vila, tout particulièrement Alfreda MABONLALA et Douglas CHARLEY pour leur aide et leur soutien moral et Pascal GINESTE pour m'avoir gracieusement prêté son portable !

Et enfin, je remercie toutes les personnes que j'ai rencontré, au cours de mon séjour sur l'archipel, pour leur hospitalité, leur aide et soutien.

Sommaire

INTRODUCTION.....	1
PARTIE I : GENERALITES.....	3
<u>I - Présentation du Vanuatu</u> :.....	5
1.1 - Géographie :	5
1.2 - Le contexte géologique et structural de l'archipel :	6
1.2.1 - la fosse :	7
1.2.2 - le complexe de plate-forme d'arc :	8
1.2.3 - La zone arrière-arc :	10
1.3 - Le climat :	11
1.3.1 - les changements Nord-Sud :	12
1.3.2 - Les climats locaux :	12
1.4 - L'économie :	13
1.4.1 - L'agriculture :	13
1.4.2 - Le centre financier :	17
1.4.3 - Le tourisme :	18
1.4.5 - Conclusions :	21
1.5 - Méthodologie :	21
1.5.1 - Présentation de VANRIS :	21
PARTIE II : LES RISQUES VOLCANIQUES :	25
<u>I - Les risques volcaniques au Vanuatu</u> :	27
1.1 - Introduction :	27
1.2 - Les risques directs :	29
1.2.1 - Les coulées de lave :	29
1.2.2 - Les écoulements pyroclastiques :	29
1.2.3 - Les retombées de téphra et les projections balistiques :	30
1.2.4 - Les gaz :	31
1.3 - Les risques indirects :	31
1.3.1 - Les pluies acides :	31
1.3.2 - Les lahars :	34

1.3.3 - Les tsunamis :	35
1.3.4 - Les tremblements de terre et les glissements de terrain :	36
1.3.5 - Les phénomènes atmosphériques :	36
II - <u>Les impacts sociologiques</u> :	39
2.1 - Les perceptions des risques :	39
2.2 - Les populations à risques :	41
2.3 - Les impacts sur la santé :	42
2.3.1 - Les écoulements pyroclastiques :	43
2.3.2 - Les lahars :	43
2.3.3 - Les retombées de téphra :	44
2.3.4 - Les autres risques :	44
2.4 - Conclusions :	45
III - <u>L'étude des impacts économiques</u> :	49
3.1 - Présentation des édifices volcaniques :	49
3.1.1 - TANNA :	49
3.1.2 - AMBRYM :	53
3.1.3 - AOBA :	58
3.1.4 - GAUA :	62
3.2 - Les impacts économiques :	66
3.2.1 - L'agriculture :	66
3.2.1.1 - TANNA :	68
3.2.1.2 - AMBRYM :	73
3.2.1.3 - AOBA :	77
3.2.1.4 - GAUA :	81
3.2.2 - Les estimations de pertes pour l'agriculture :	84
3.2.2.1 - TANNA :	85
3.2.2.2 - AMBRYM :	87
3.2.2.3 - AOBA :	90
3.2.2.4 - GAUA :	91
3.2.3 - Les estimations de pertes pour l'agriculture commerciale :	91
3.2.4 - Les infrastructures :	94
3.3 - La surveillance et la prévision :	97
3.4 - La prévention :	99
3.5 - Conclusions :	101

PARTIE III : LES RISQUES CYCLONIQUES ET LES TREMBLEMENTS DE TERRE :	103
I - <u>Les risques cycloniques</u> :	105
1.1 - Le Service Météorologique du Vanuatu :	105
1.2 - Les perturbations météorologiques :	105
1.3 - Les risques directs :	110
1.3.1 - Les vents :	110
1.3.2 - Les précipitations :	111
1.3.3 - La houle cyclonique et la marée de tempête :	112
1.4 - Les risques indirects :	113
1.4.1 - Les glissements de terrain :	113
1.4.2 - Brûlures de la végétation et pluies acides :	114
1.4.3 - Action sur l'activité volcanique :	114
1.5 - La prévision :	116
1.6 - La prévention et la protection :	117
1.7 - Conclusions :	118
II - <u>Les tremblements de terre</u> :	121
2.1 - Les séismes :	121
2.1.1 - La magnitude (M) :	122
2.1.2 - L'intensité (I) :	123
2.1.3 - L'énergie :	123
2.2 - L'origine et la localisation des séismes au Vanuatu :	123
2.3 - Les risques sismiques :	127
2.4 - L'observation des séismes et des déplacements :	129
2.5 - La prévention :	130
2.6 - Conclusions :	131
III - <u>Quelques précisions sur les tsunamis affectant le Vanuatu</u> :	135
3.1 - Introduction :	135
3.2 - La prévision :	137
3.3 - La prévention :	138
SYNTHESE GENERALE :	139
ANNEXES :	143
BIBLIOGRAPHIE :	173

Introduction

L'archipel volcanique du Vanuatu, qui appartient à la « ceinture de feu » du Pacifique subit les menaces de multiples phénomènes naturels tels que, principalement, les cyclones, les tremblements de terre et les éruptions volcaniques.

Au cours de cette étude, les impacts socio-économiques des trois principales manifestations naturelles sont abordées et plus particulièrement ceux des éruptions volcaniques, qui représentent une menace permanente, pour une grande partie de la population de l'archipel, mais qui est encore peu prise en compte, dans les plans de Développement.

Cette étude s'appuie sur deux outils principaux :

- les cartes de menaces, élaborées par les géologues-volcanologues de l'ORSTOM¹ (M. C. ROBIN et M. M. MONZIER),
- le Système d'Information Géographique VANRIS², mis en place par AusAID³, pour le Gouvernement de la République du Vanuatu, avec des accords de partenariat, pour une meilleure gestion des ressources de l'archipel.

Ce mémoire se divise en trois principaux chapitres :

- partie I : présentation du Vanuatu dans ses contextes géologique, climatique et économique ;
- partie II : impacts socio-économiques des risques volcaniques pour quatre îles volcaniques de l'archipel : Tanna, Ambrym, Aoba et Gaua, équipées de stations de surveillance, mises en place dans le cadre du programme « étude et surveillance des volcans du Vanuatu » de l'ORSTOM et du Département de la Géologie, des Mines et des Ressources en Eau du Vanuatu;
- partie III : impacts des perturbations cycloniques, des tremblements de terre et des tsunamis.

¹ Institut de Recherche pour le Développement.

² Vanuatu Natural Resource Information System.

³ Australian Agency for International Development.

PARTIE I :
GENERALITES

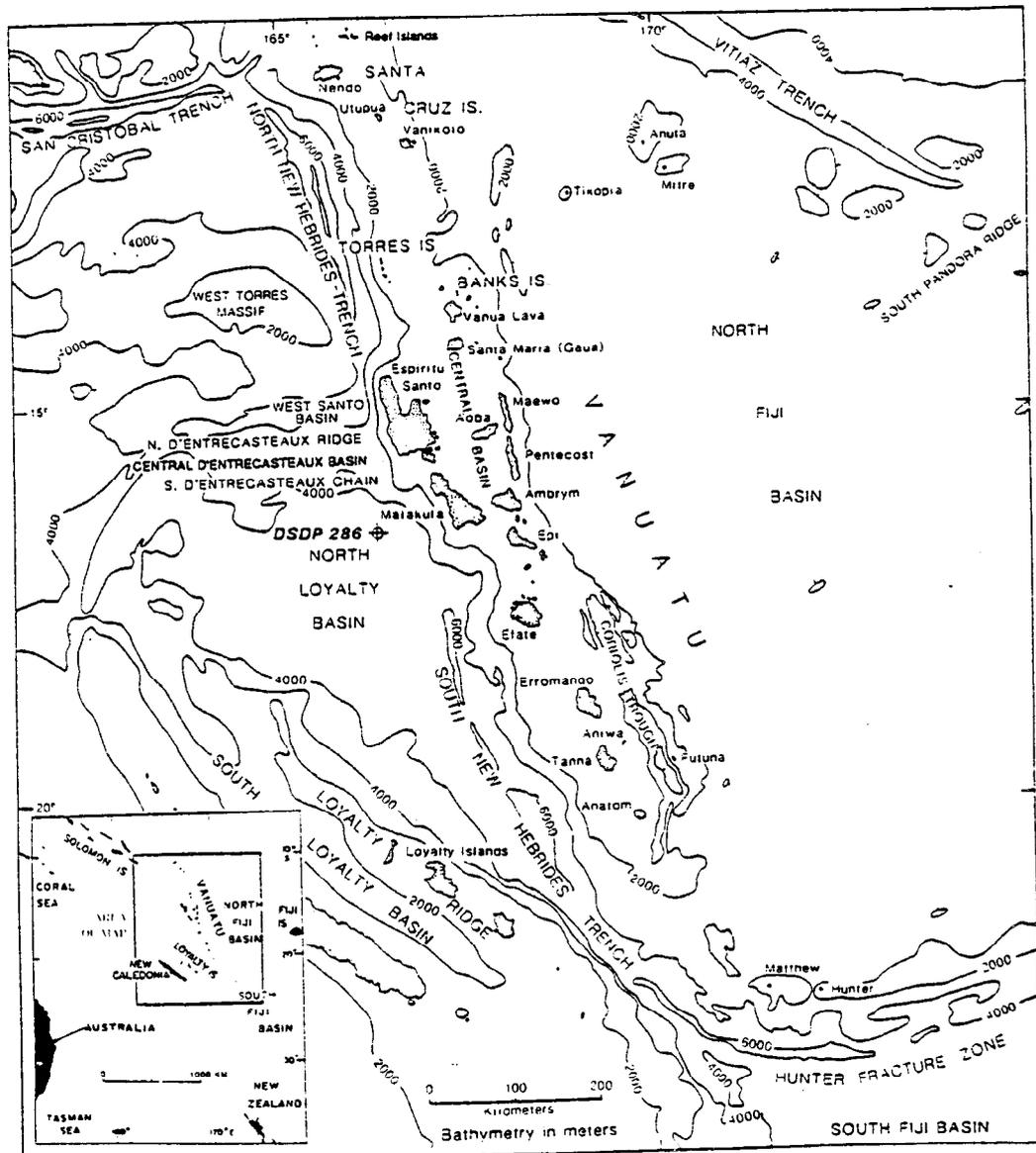


Fig.I.1 : carte bathymétrique de l'arc des Nouvelles-hébrides
 - région du bassin des Loyautés (Greene et al., 1988).

I - Présentation du Vanuatu :

« il ne faut pas juger les habitants de ces contrées en fonction de nos propres besoins, de nos propres préoccupations, de notre convoitise et de notre appréciation de la valeur des choses ; il faut les considérer comme des hommes qui cherchent qu'à vivre avec le moins de peine possible, contrairement à nous qui nous épuisons à la recherche du superflu. » Pedro-Fernandez de Quiros (Huitième requête au Roi d'Espagne, Madrid, 1609. Tiré de Bonnemaïson, 1986.).

1.1 - Géographie :

Encadré N°1 : « la colonisation des Nouvelles-Hébrides » :

Les premiers contacts avec le monde occidental remontent du début du XVII^e. s. avec les navigateurs espagnols comme Pedro-Fernandez de Quiros, Torres, Leza puis repirent au XVIII^e. s. avec les navigateurs français et britanniques Louis-Antoine de Bougainville et James Cook. Ensuite, pendant un demi siècle, l'archipel est resté à l'abri de la colonisation et du désir d'évangélisation des Européens et des Nord-Américains, jusqu'en 1825, date à laquelle fut découvert le bois de santal qui était très prisé sur le marché chinois ainsi que les bèches de mer (des holothuries).

Ces premières expéditions furent des échecs mais l'intérêt économique du santal contribua à la poursuite des tentatives. Entre 1829 et 1830, les santaliers évitèrent les îles du Sud de l'archipel, considérées comme trop dangereuses et se tournèrent vers la Nouvelle-Calédonie et les îles Loyauté. Puis, après épuisement des ressources, vers les îles Anatom, Vate, Aniwa et Erromango, riches en santal de meilleure qualité. Ce trafic était dangereux et entretenu par des aventuriers avides de faire fortune. C'est au milieu du XIX^e. s. qu'apparut le bichlamar, « le pidgin bislama, qui est l'extension, sous une nouvelle forme, d'un parler véhiculaire employé à l'origine en Insulinde par des navires marchands, pour J. M. Charpentier » (Bonnemaïson, 1986).

Ainsi que l'utilisation du tabac comme moyen de transaction principal entre les mélanésiens et les blancs.

Dès 1865, ce trafic cessa par épuisement des sites santaliers et engendra dans le monde mélanésien un changement important avec l'introduction des outils en fer qui allaient complètement transformer les pratiques agricoles. Puis, survint la traite des « oiseaux noirs » (Blackbirding) qui se traduisit par l'importation massive des hommes d'abord vers l'Australie comme main d'œuvre pour les champs de coton et ensuite de canne à sucre et enfin vers la Nouvelle-Calédonie pour les mines....

L'archipel du Vanuatu (ancien archipel des Nouvelles-Hébrides, condominium franco-britannique devenu indépendant le 30 juillet 1980) se situe dans le Sud-Ouest du Pacifique et appartient à la "ceinture de feu" du Pacifique.

Cet arc volcanique, s'étendant sur 1000 km, se localise entre le 13° et le 21° de latitude et le 166° et le 170° de longitude et est formé d'environ 83 îles et îlots, dont 68 sont habités, représentant une superficie totale de 12189 km² et une surface en eaux territoriales de 848000 km² (fig.L1).

La population est de 172900 habitants (juin 96), avec une densité moyenne de 14 hab./km², dont 97% de nationalité ni-Vanuatu et 3% de nationalités étrangères. La population est principalement répartie sur les îles de Santo, Mallicolo, Vaté et Tanna.

La capitale, Port-Vila, sur l'île de Vaté, avec Luganville, sur l'île

d'Espiritu Santo, sont les deux pôles urbains du Pays.

Les langues officielles sont l'anglais, le français et le bichlamar, langue véhiculaire alors qu'il existe, sur l'archipel environ 100 langues vernaculaires différentes.

...Ces pratiques, qui continuèrent jusqu'en 1904, eurent des conséquences dramatiques sur la population mélanésienne avec une chute du peuplement estimée à 50% sur l'ensemble de l'archipel, jusqu'à 80% pour certaines îles. Ces pertes humaines avaient entraîné un abandon de la société mélanésienne dans les populations de rivage et une menace de survie du peuple mélanésien. C'est à ce moment qu'apparut la scission dans la communauté mélanésienne avec ceux qui se tournèrent vers le monde occidental en travaillant dans les plantations européennes et en se regroupant près des missions et ceux qui reprirent le chemin de la coutume, de la société traditionnelle. Les deux centres où s'établirent les premières plantations de coton, maïs et cocotiers, pour le coprah, étaient Tanna, dans la baie de Lenakel et Vaté, dans la baie d'Exema, Port Havannah, centre de la colonisation anglo-saxonne au Vanuatu. La colonisation française s'installa, à la fin du XIX^e. s., avec John Higginson (irlandais) qui voulut annexer les Nouvelles-Hébrides pour agrandir la présence française dans le pacifique et recruter la main d'œuvre d'origine néo-hébridaise pour les mines en Nouvelle-Calédonie. Une course contre la montre était engagée entre les Français et les Britanniques pour obtenir le monopole de l'archipel. Les Français possédaient la terre, les Anglais dominaient le commerce alors que « les missionnaires anglo-saxons s'approprièrent les âmes » (Bonnemaison, 1986). C'est sur ces bases que se mit en place, en 1906, le condominium franco-britannique, unique au monde.

Le refus mélanésien de la propriété européenne sur leurs propres terres et le non respect des valeurs traditionnelles entraînèrent, dans les années 1970, la revendication d'une « indépendance mélanésienne » par le parti nationaliste mélanésien, le « National New Hebrides Party », devenu par la suite le « Vanuaaku Pati » ou VAP, soutenu par les églises protestantes anglo-saxonnes (l'église presbytérienne et l'église anglicane). C'est ainsi, qu'inexorablement, le passé remonta à la surface avec le retour aux fondements de la coutume qui aboutit à l'indépendance du pays en 1980 qui devient le Vanuatu, dont l'étymologie vient des langues du Nord du mot « Vanuaaku », « notre pays ».

L'archipel dessine un Y incliné vers le Nord-Ouest, dont chacune des trois branches correspond à une phase volcanique particulière avec :

- une chaîne volcanique au Nord-Ouest, formée de l'oligocène supérieur (25 Ma) au début du miocène supérieur (14 Ma), représentée par les îles Torres, Espiritu Santo, Mallicolo (ou Malakula),
- une chaîne volcanique à l'Est, formée du miocène supérieur (14 Ma) au début pliocène inférieur (4 Ma), représentée par Maewo et Pentecôte,
- et une chaîne volcanique centrale, plio-quadernaire et actuelle, représentée par les îles Vanua-lava, Gaua (ou Santa-Maria), Aoba (ou Ambae), Ambrym, Erromango, Vaté, Tanna, Anatom (ou Aneityum).

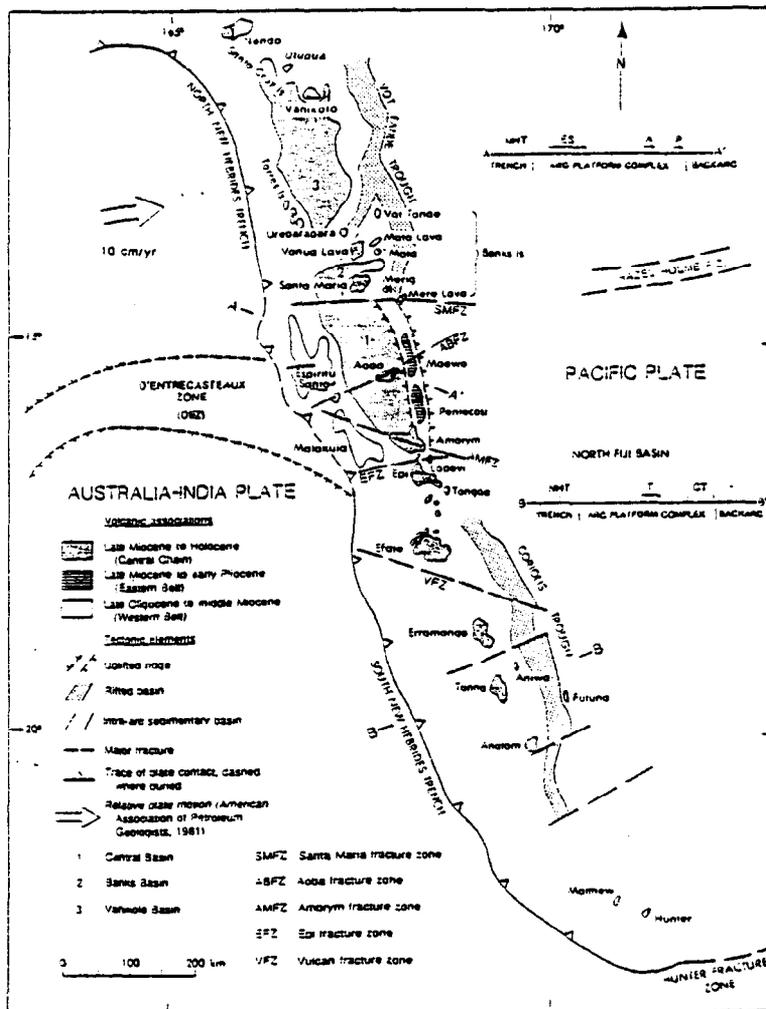
1.2 - Le contexte géologique et structural de l'archipel (fig.I.2) :

Le Vanuatu appartient à l'arc insulaire des Nouvelles-Hébrides, à l'aplomb d'une zone de subduction qui lui confère une activité sismique et volcanique élevée. Cette zone

est le contact de deux plaques majeures lithosphériques océaniques qui sont :

- à l'Est, la plaque pacifique,
- et à l'Ouest, la plaque indo-australienne.

Fig.1.2 : principales caractéristiques géologiques et tectoniques de l'arc insulaire des Nouvelles-Hébrides (modifié d'après *Carney et Macfarlane, 1982*).



Cette convergence, avec le passage de la plaque indo-australienne sous la plaque pacifique, se fait à des vitesses moyennes de 12 cm/an à 20° Sud, au Sud de l'archipel, et 15 cm/an à 11° Sud, au Nord (Louat et Pelletier, 1989), qui correspondent aux vitesses les plus élevées au monde. Ces plaques subduisent rarement l'une sous l'autre, mais plus généralement sous un bassin marginal ou arrière-arc; l'arc insulaire des Nouvelles-Hébrides marque ainsi la subduction à vergence Est de la plaque indo-australienne sous le bassin Nord Fidjien.

L'arc insulaire est donc caractérisé par trois unités distinctes :

1.2.1 - la fosse :

Située à l'Ouest, c'est une limite discontinue, quasi-parallèle à l'arc, absente en face des îles Espiritu Santo et Mallicolo due à la collision de la zone d'Entrecasteaux avec l'arc, et qui s'étend sur près de 1500 km, suivant la direction Nord 75° Est entre 11° Sud et 21° Sud, à plus de 6000 m de profondeur par endroit (Louat et Pelletier, 1989). A la limite Sud de l'arc, à l'Est des îles Matthew et Hunter, la fosse passe à l'Est à un ensemble de horsts et de grabens complexe connu sous le nom de fracture de Hunter. Immédiatement à l'Ouest de la fosse des Nouvelles-Hébrides avec des profondeurs de 1000 à 5000 m, se trouve le bassin des Loyautés Nord, daté de l'éocène moyen.

La zone d'Entrecasteaux subducte sous la plaque pacifique. A cet endroit, la zone d'Entrecasteaux, de direction Est-Ouest, est complétée par la ride d'Entrecasteaux Nord de la croûte type océanique, du bassin central d'Entrecasteaux, à fond lisse et de 4000 m de profondeur et d'une ligne de monts sous-marins, la chaîne Sud d'Entrecasteaux. Cette zone est une zone de subduction de plongement Sud de la fin de l'éocène qui s'est soulevée pendant le miocène. Cette subduction causa le volcanisme de l'arc insulaire des îles Loyautés et la chaîne d'Entrecasteaux Sud (Robin *et al.*, 1993).

Au Nord de la zone d'Entrecasteaux se trouvent les bassins Ouest de Santo et le massif Ouest de Torres, ce dernier comme la zone d'Entrecasteaux, rentre en collision avec l'arc juste au Nord de l'île d'Espiritu Santo.

1.2.2 - le complexe de plate-forme d'arc :

Il est constitué des trois chaînes volcaniques (Fig.I.2) et des deux fossés arrière-arcs (les fossés de Jean Charcot et de Coriolis).

- la chaîne Ouest est un ensemble de plate-forme d'arc central;

- les îles Torres, les plus au Nord du Vanuatu, sont un ensemble de petites îles essentiellement coralliennes avec une superficie totale d'environ 120 km² et une altitude maximale de 366 m.

- Espiritu Santo est l'île la plus grande du Vanuatu avec 4150 km², avec à l'Ouest un paysage accidenté volcanique et volcanoclastique et à l'est des séries de plateaux calcaires.

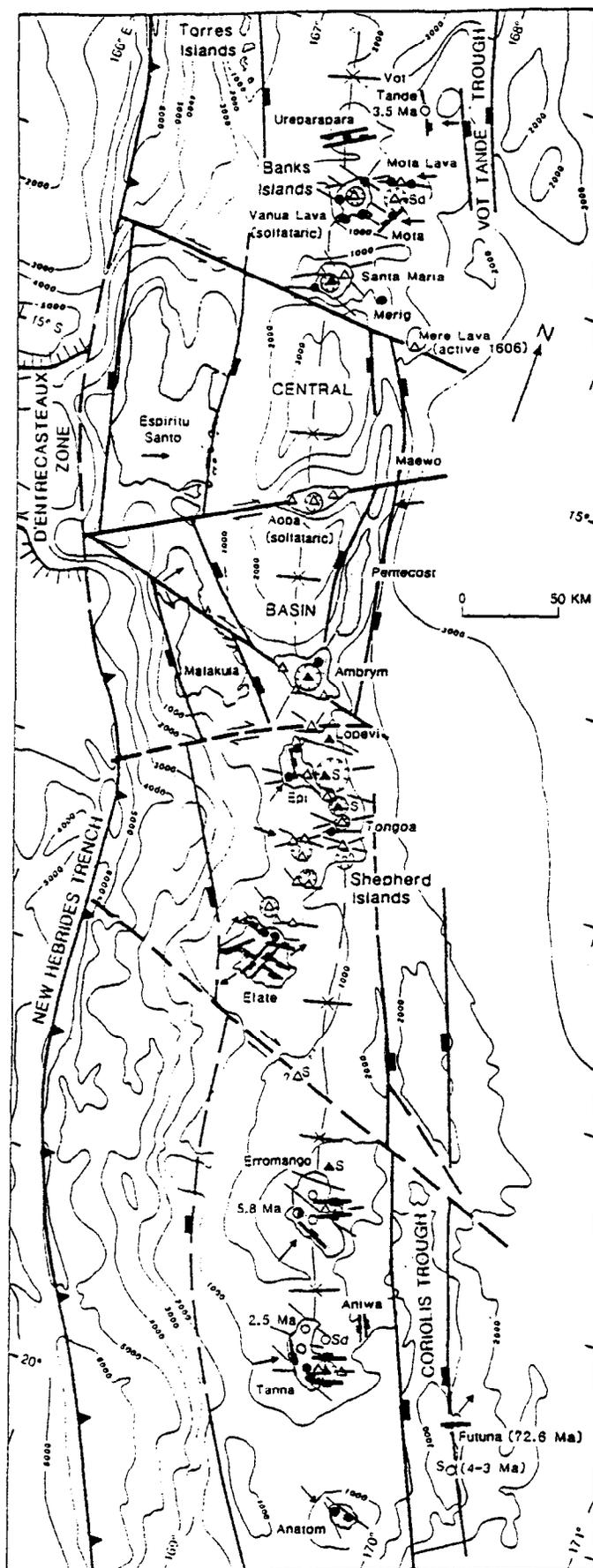
- Mallicolo est de taille comparable à Santo. La zone volcanique centrale, profondément disséquée avec une altitude maximale de 879 m, est entourée d'un plateau calcaire corallien élevé.

C'est un arc de volcanisme ancien.

- La chaîne Est est surtout constituée des îles de Maewo et de Pentecôte et représente un horst droit de 120 km de long et 4 km de large sur le côté Est du complexe de plate-forme d'arc (Greene *et al.* 1988).

Ces îles sont linéaires et de superficie et d'altitude quasi-égales avec un maximum de 800 m d'altitude et limitées par des escarpements rocheux abruptes. La moitié Sud de chaque île est d'origine volcanique (ophiolites pour Pentecôte) et les parties Nord sont moins disséquées et sont formées de plateaux calcaires récifaux.

C'est un arc de sédiments surtout.



CENTRES VOLCANIQUES

- ▲ Actif
- ▲ Pliocène supérieur à Holocène (0.3-0.0 Ma)
- Pliocène (1.3-0.4 Ma)
- Miocène supérieur à Pliocène supérieur (5.3-1.3 Ma)
- Actif pendant e et o
- ⊙ Caldera formée il y a 2000 ans

1 sous-marin

24 Submergé

STRUCTURE

- Faille normale
- Centre volcanique et fosse de fracture crustale
- Faille de plate-forme d'arc enjures
- (2-0.4 Ma) avec un mouvement croisé

Fig.I.3: Principaux centres volcaniques et directions structurales dans la chaîne centrale (Macfarlane et al., 1988)

- La chaîne centrale (fig.I.3) est de 160 km de largeur et forme un alignement d'îles d'âge et d'érosion différents, s'étendant de l'île Vot Tande à l'île d'Anatom (même au volcan sous-marin, Mont Gemini, au Sud d'Anatom) en passant par Vanua-lava, Aoba, Lopevi, Vaté et Tanna entre autres.

Cette chaîne représente la chaîne volcanique active du Vanuatu dont l'histoire éruptive date de la fin du miocène (au moins aussi vieille que 5.8 Ma). De la fin du miocène à la fin du pliocène, le volcanisme se localisait à Erromango, Tanna, Anatom et aux îles de Futuna et Vot Tande. Du pliocène à maintenant, le volcanisme (principalement sub-aérien) s'est développé le long de l'arc actif qui se rétrécit actuellement sur une largeur de 75 km (Robin et al. 1993). Ces volcans actifs ou endormis sont à dominante basaltique et andésite-basaltique (fig.I.4).

1.2.3 - la zone arrière-arc :

Elle s'étend vers l'Est avec le bassin Nord Fidjien datant du miocène moyen au miocène supérieur (Malahoff et al. 1982), avec au Sud, la zone de fracture Nord-Est de Hunter qui le sépare du bassin Sud-Fidjien datant de l'oligocène (Malahoff et al. 1982) et au Nord les îles volcaniques de Mitre et Anuta qui sont dérivées d'une subduction plus ancienne de la plaque pacifique le long de la fosse fossile de Vitiaz (Jezek et al. 1977).

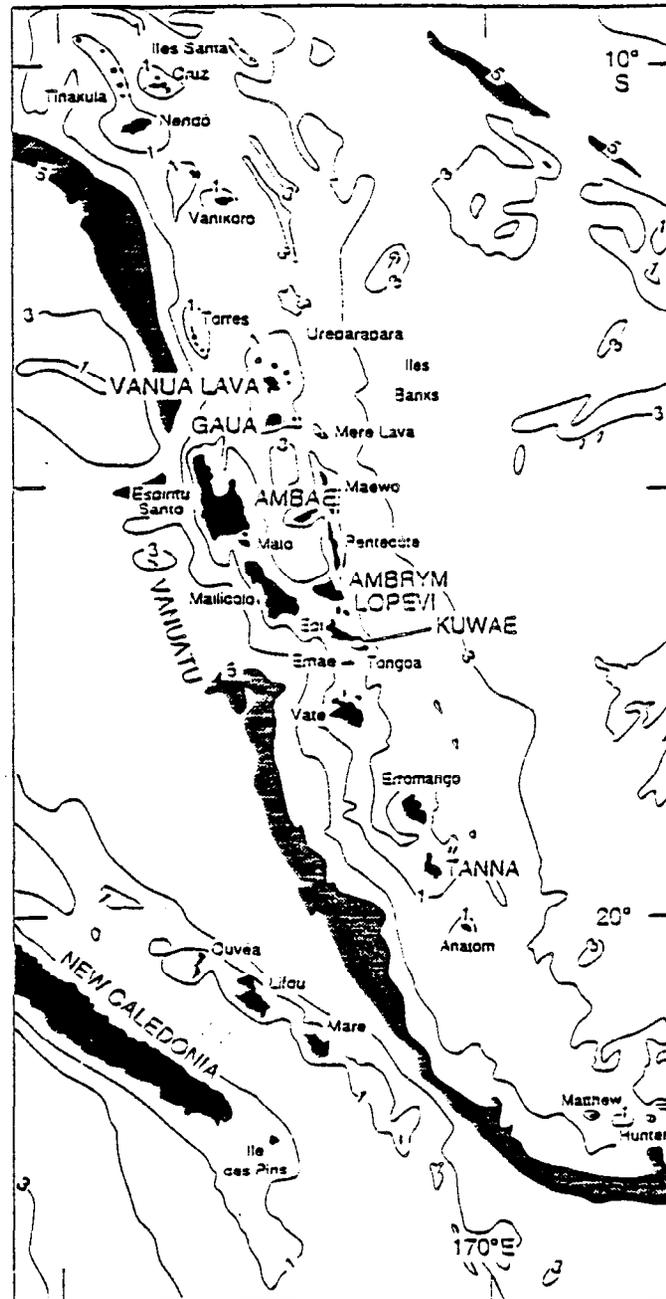


Fig.I.4 : Localisation des volcans de l'arc des Nouvelles-Hébrides (Robin et al., 1993)

1.3 - Le climat :

Encadré N°2 : El Niño ou l'enfant Jésus :

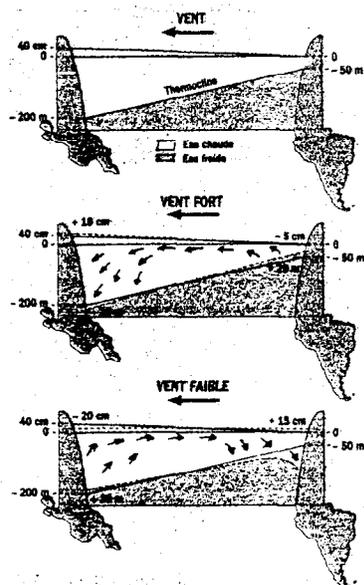
El Niño encore appelé la phase chaude d'ENSO (El Niño Southern Oscillation) est un système de fluctuation climatique global dans le pacifique équatorial ayant des répercussions sur la planète entière. La phase froide d'ENSO étant appelée la Niña, suit le phénomène hydro-climatique El Niño avec le retour à la « normale », c'est-à-dire, que le réservoir d'eaux chaudes est déplacé, à nouveau, à l'Ouest du pacifique et les eaux froides remontent sur les côtes d'Amérique du Sud (Picaut, 1997).

Cette anomalie climatique, se produisant tous les 40 mois environ, à l'été austral, s'accompagne de violentes perturbations météorologiques synonymes de catastrophes dans de nombreuses régions du monde comme, entre autres, les pluies diluviennes sur les côtes désertiques du Pérou en 1982-1983, des sécheresses engendrant des incendies sur l'Indonésie, le Mexique, l'Australie et à Bornéo en 1982-1983 et 1997-1998, cyclones sur Hawaï et la Polynésie française, tempêtes et lames de fond sur la côte Est des Etats-Unis. Plus de 1700 morts et 60 milliards de francs de dégâts ont été recensés à cause de ces désastres (Vialard J. et Quenouille B., 1997).

Ce courant marin côtier, que les péruviens ont baptisé, au milieu du siècle dernier, le « corriente del Niño », le courant de l'enfant Jésus, descend le long des côtes des eaux chaudes des régions équatoriales et provoque une élévation de la température de surface de l'océan, dans l'Est et le centre du pacifique, perturbant ainsi les climats locaux et les écosystèmes marins (la disparition des fous à face bleue des îles Christmas en 1982-1983 (Dessier, 1985), la migration des anchois sur les côtes du Pérou en 1972-1973 (Organisation Météorologique Mondiale))...

Les alizés cessent de souffler entraînant les eaux très chaudes vers l'Est du pacifique empêchant, par conséquent, la remontée des eaux froides profondes (upwelling) vers la surface dans cette région de l'océan. Sur plusieurs milliers de kilomètres des nuages convectifs énormes, des cumulo-nimbus, se forment, engendrant des pluies diluviennes se déplaçant de l'Ouest vers l'Est ainsi que des cyclones plus à l'Est dans des eaux de température supérieure à 27 °C (voir Fig. ci-dessous).

Même si, lors de ce phénomène, le Vanuatu est moins sujet aux cyclones, qui sont fréquents dans cette région du monde, il souffre alors de la sécheresse qui est tout aussi néfaste pour ce pays essentiellement agricole.



1-2 : En situation « normale » :

Les vents alizés, dus à la cellule de Hadley, soufflent de l'Est vers l'Ouest, des hautes vers les basses pressions. Les eaux chaudes s'accumulent pour former une réserve d'eau chaude (27°C à 29°C) tandis qu'à l'Est se produit le phénomène d'upwelling. Cette augmentation de température, à l'Ouest, entraîne une augmentation du niveau de l'océan de quelques dizaines de centimètres, qui se maintient tant que le vent reste assez fort pour accumuler les eaux chaudes à l'Ouest.

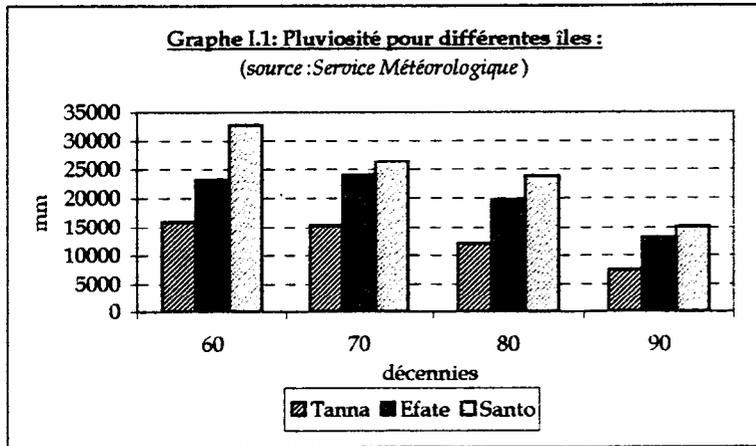
3 : avec El Niño...

Les alizés deviennent plus faibles, à cause d'une différence de pression entre l'Est et l'Ouest, et même changent de sens pour cette fois-ci déplacer le réservoir d'eau chaude vers l'Est (Voituriez, 1992).

A l'heure actuelle, la genèse et la prévision de ce phénomène sont encore à l'état de pronostics bien que des programmes internationaux (Vialard J. et Quenouille B., 1997 et Organisation Météorologique Mondiale) oeuvrent dans l'espoir de mieux le comprendre et le prévoir.

Le Vanuatu appartient au domaine climatique naturel des tropiques humides avec un climat chaud et humide, marqué par les alizés maritimes du Sud-Est, avec une différenciation Nord-Sud bien représentée.

1.3.1 - Les changements Nord-Sud (voir graphe I.1) :



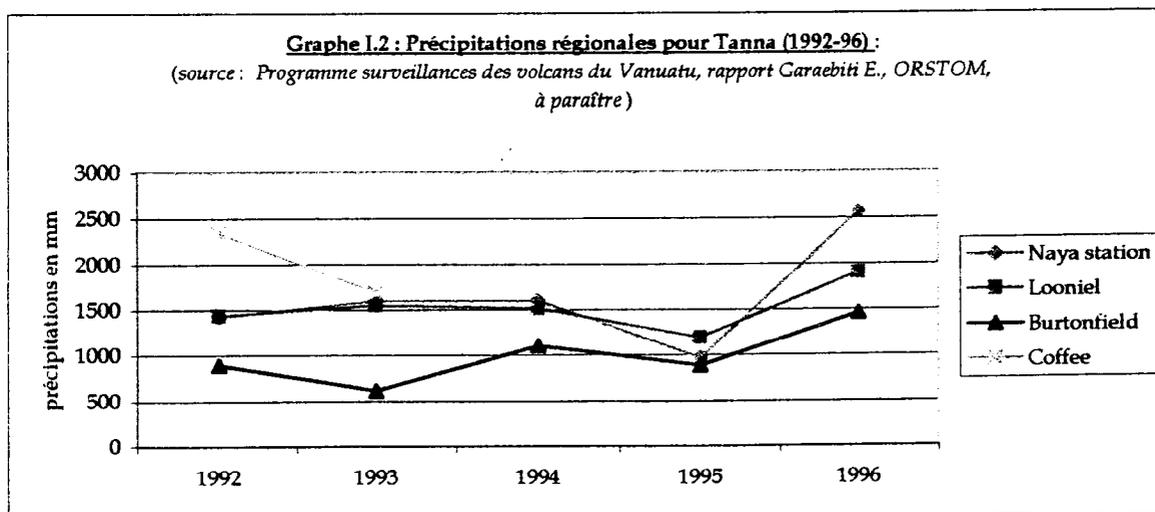
Les caractères tropicaux tels que l'humidité, les moyennes de températures augmentent du Sud au Nord de l'archipel. Le climat est chaud et humide durant l'été austral, de novembre à mai, qui est aussi la période privilégiée des cyclones et dépressions tropicales ; il est frais et sec pendant l'hiver austral, de mai à octobre, surtout bien marqué dans le Sud du Vanuatu.

La température moyenne annuelle est de 24.2°C avec un écart de 3.3°C du Nord au Sud.

Les précipitations moyennes annuelles sont importantes, d'environ 2588 mm, et doublent presque du Sud au Nord.

1.3.2 - les climats locaux (voir graphe I.2 et annexe I.1 pour localisation des stations) :

- Les versants "au-vent" correspondent aux zones Sud et Est; ils sont exposés en permanence aux souffles des alizés maritimes du Sud-Est et subissent donc une pluviosité élevée et régulière.



- Les versants "sous-le-vent" sont protégés par les reliefs, connaissent une pluviosité moindre (1/3 de celles des versants "au-vent") et peuvent subir durant l'hiver austral de véritables sécheresses.

- Le facteur de différenciation microclimatique créé par l'altitude joue aussi un rôle important avec un climat "perhumide" dans les zones hautes (les précipitations sont supérieures à 5 m aux sommets des îles d'Aoba et d'Ambrym (source : *Programme surveillance des volcans du Vanuatu, ORSTOM à paraître*).

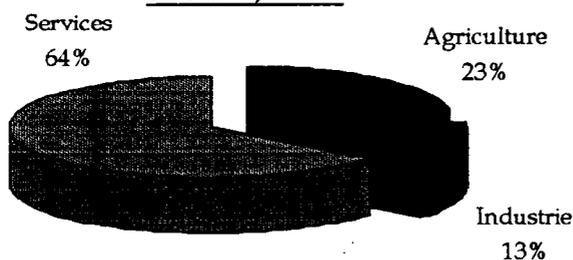
Le glissement, du Sud au Nord du Vanuatu, d'un climat tropical maritime à deux saisons vers un climat équatorial se nuance donc localement selon l'exposition des versants et l'altitude. En plus de ces variations, le Vanuatu peut subir les conséquences du phénomène hydro-climatique El Niño (voir encadré N°2).

1.4 - L'économie:

Environ 80% de la population est rurale et possède un style de vie de simple subsistance, (l'agriculture de subsistance représentant 7.6% du PIB en 1995) alors que la population urbaine se répartit dans les deux villes principales du Vanuatu, Port-Vila avec 31800 habitants et Luganville, 10100 habitants, où vit une communauté importante d'expatriés (source *bureau de la statistique, 1995* voir annexe I.2).

Les taux de croissance démographique au Vanuatu se sont ralentis ces dernières années mais sont toujours élevés; la population doublera, au cours des trente prochaines années, si le taux de près de 3%, pour l'ensemble de la population, se maintient (*Dr. Fallon, 1994*).

Graphe I.3 : % PIB par activité, en % prix courants, 1995 :



L'économie du pays est basée, essentiellement sur l'agriculture, la sylviculture et le tourisme. L'agriculture correspond à 80 % du marché du travail et représente un peu plus de 20 % du PIB.

Ce sont surtout le tourisme, le centre financier et les interventions du Gouvernement, présentent dans de nombreux secteurs, qui permettent un meilleur

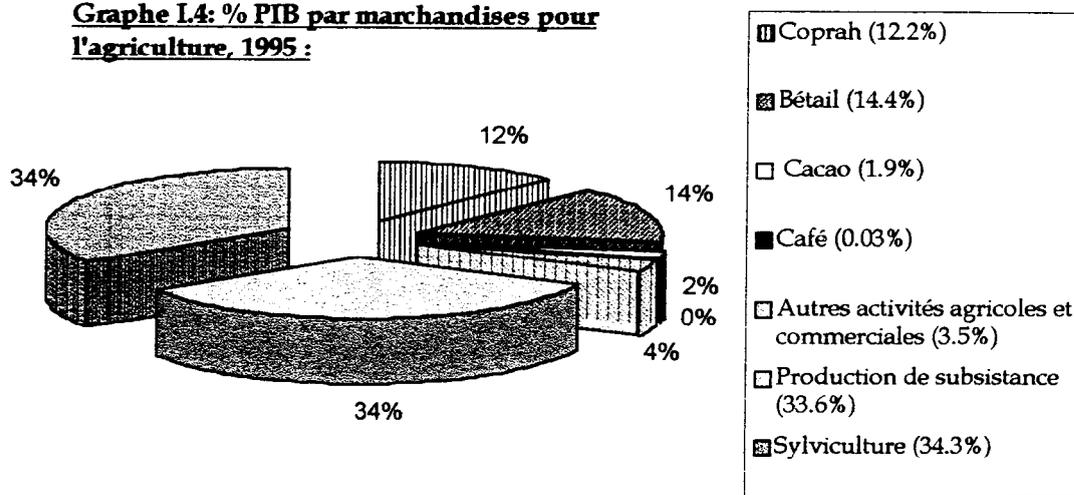
développement de l'économie (voir graphe I.3).

1.4.1 - L'agriculture (voir graphe I.4) :

Le coprah, la sylviculture et le bétail sont les plus importantes ressources, avec ensuite le cacao, la pêche, le kava et le café, mais ce sont le kava et les jardins de subsistance qui fournissent les revenus les plus élevés par hectare pour les ménages pratiquant ces

cultures. Quasiment tous les ménages ruraux possèdent des jardins de subsistance et la moitié cultive du kava. Toutefois, seulement une faible proportion des recettes de ces activités se retrouve sous forme pécuniaire (voir encadré N°3).

Graph 1.4: % PIB par marchandises pour l'agriculture, 1995 :



⇒ Le **coprah** représente 2.8 % du PIB en 1995. C'est la source principale de revenus en espèces pour les foyers ruraux, ainsi que l'élevage, et c'est la principale marchandise, en valeur, à l'exportation. Les cocoteraies couvrent environ 95000 ha du pays et il se produit actuellement un remplacement des grandes plantations qui tendent à disparaître pour la petite exploitation qui perpétue cette activité. Santo/Malo représentent 40% de la production de coprah, Mallicolo 27 % et le reste pour Aoba/Maewo, Ambrym et Banks/Torres. Cependant l'industrie du coprah doit faire face à la concurrence des Philippines ou de l'Indonésie pour demeurer rentable.

⇒ Le **bœuf** est la seconde plus importante marchandise, en valeur, à l'exportation ; il représente 3.3% du PIB en 1995. L'élevage est souvent associé aux plantations de cocotiers (83% de l'élevage en 1983) pour compenser le faible rendement moyen annuel du coprah qui a été estimé à 442 kg équivalent par ha. Environ 80000 ha sont utilisés par les troupeaux des petits exploitants. Les îles de Santo, qui est le centre des petits exploitants, Mallicolo et de Vaté, qui sont des producteurs d'Etat, répondent à la production. Cette marchandise tend à se développer avec l'ouverture d'un marché plus important dans le Pacifique avec les îles Salomon et la Papouasie Nouvelle Guinée.

Encadré N°3 :L'agriculture de subsistance :

L'agriculture de subsistance est l'industrie agricole ayant le plus de valeur, elle a été évaluée à 2035 milliards de Vt dans les comptes nationaux de 1995.

La population rurale du Vanuatu maintient un système de subsistance divers et riche. Le plus souvent ce sont les systèmes de cultures mélangées qui sont cultivés avec principalement des produits comme le taro, l'igname, la banane, la patate douce, le manioc, les fruits tropicaux ainsi que les légumes. De plus, la majeure partie des ménages ruraux possède des cochons et des volailles. Cette grande variété de produits fournit une alimentation de qualité.

Les jardins sont cultivés deux années de suite et ensuite laissés en jachère pendant sept ans pour retrouver leur fertilité mais la durée de rotation varie en fonction de la pression de la population. La production de subsistance est fournie par des surfaces de 1500 à 2000 ha, surtout la terre coutumière, sur l'ensemble du pays et est consommée par la population proche du point de production, ainsi elle n'est pas touchée par les problèmes de transport et de commerce que connaît l'agriculture des petits exploitants. Presque toutes les familles rurales produisent la plupart de leur propre nourriture et la production de subsistance est ensuite distribuée dans toutes les zones habitées du pays. Cette agriculture ne génère pas de revenus ou très peu, les recettes aux producteurs sont sous forme de produits échangés ou d'obligations futures. Toutefois la pression croissante de la population dans certaines zones du pays a créé une demande de produits de substitution d'importation, des cultures racinaires principales, qui sont surtout le riz et la farine. Le riz surtout a connu ces dernières années un accroissement de son importation, atteignant 596 millions de tonnes en 1996 contre 260 millions en 1986.

En fin de compte, bien que la production de subsistance soit efficace, dans le sens qu'elle fournit un niveau de vie sécurisant et adéquat sur le plan nutritionnel pour la population rurale, elle souffre de la croissance démographique et de son manque de recettes en espèces qui ne permet pas l'achat d'autres marchandises.

surface d'Etat de 1000 ha a été plantée. Le rendement moyen, sur les cinq années passées, est de 371 kg par ha, ce qui reste faible à côté du rendement standard pour le cacao hybride de 2700 kg par ha. C'est aussi pour cette raison que les petits exploitants

⇒ La sylviculture est une activité en plein essor, qui constitue une ressource importante du point de vue économique (la forêt primaire, au Vanuatu recouvre 35 % du territoire). Elle contribue, en 1995, à 7.8% du PIB. Les pressions menées par les agricultures de subsistance et commerciales sont les causes principales du déboisement. Le département des forêts a dénombré 105 petites scieries existantes avec une récolte totale annuelle de 8000 m³. Une surexploitation de la forêt est un des points préoccupants à l'heure actuelle, que le gouvernement tente de gérer notamment en plantant des « plantations d'approvisionnement local » ou des « plantations forestières industrielles » comme, par exemple, à Pentecôte et Erromango. Cependant à ce jour aucune plantation forestière n'a été satisfaisante. Une taxe de reforestation de 30% des royalties a toutefois été instaurée ainsi qu'une taxe d'exportation.

⇒ Le cacao est produit par environ 80 % des petites exploitations. Il a été introduit pour diversifier la base agricole. Mallicolo, Santo/Malo et Aoba/Maewo sont les principales régions de gouvernement local qui couvrent 95 % de toute la production de cacao. La surface de culture du cacao des petits exploitants était de 2965 ha en 1993 avec 7414 fermiers et une moyenne de 0.4 ha. De plus, dans le but d'estimer un rendement moyen indicatif, une



Cacao
Theobroma cacao



Café, Café
Coffea arabica



Kava
Piper methysticum

cultivent sur les surfaces de cacao d'autres produits comme les cocotiers, les bananes et le kava. La concurrence de l'Indonésie et du Ghana, en matière de frais de commercialisation, est un frein au meilleur développement de cette marchandise.

⇒ Le café qui a été introduit, comme le cacao, pour diversifier les cultures, a connu une chute importante de production avec le départ des propriétaires de plantations français à l'indépendance et aujourd'hui la production limitée se restreint principalement aux activités de recherche, avec les variétés Robusta (CIRAD) et Arabica (petites exploitations) d'où sa contribution de 0.03% du PIB seulement. D'après le recensement agricole de 1993, 500 cultivateurs de café ont été dénombrés sur Tanna et le rendement moyen annuel a été estimé en 1996 à 156 kg par ha. Et comme le cacao, cette culture pousse avec d'autres produits tels que la banane et le taro.

⇒ Le kava, qui est une récolte traditionnelle, a vu ses exportations augmenter ces dernières années avec le marché pharmaceutique européen (sous forme de poudre desséchée) et le marché pacifique et australien (sous forme de racines fraîches). Ceci lui permettant des perspectives intéressantes comme produit d'exportation. Le taux de participation des ménages ruraux dans la production de kava est passé de 25% en 1983 à 54% en 1993, au détriment des cultures traditionnelles. Cette culture couvre environ 3700 ha avec une densité standard de 1000 plants par ha et un rendement moyen annuel de 15000 kg de kava vert par ha. La production commerciale est surtout assurée par l'île de Pentecôte qui représente un tiers de la production totale pour 90% des ménages le cultivant. La province de Tafea, avec surtout Tanna, produit un

autre tiers. Aoba et Maewo contribuent à 15% de la production nationale (voir encadré N°4).

Encadré N°4 : Le kava :

Le kava, *Piper methysticum* Forst., dont le nom fut attribué par Forster au XVIII^e. s. et dont la distribution est exclusivement limitée à l'Océanie, entre les deux tropiques, 23^{èmes} de latitude Nord et Sud, est une boisson traditionnelle qui joue un grand rôle dans la « kastom », la coutume, et qui actuellement constitue une attraction non négligeable pour la population locale et touristique ainsi qu'une matière première pharmaceutique pour ses propriétés intéressantes. Le genre *Piper* est représenté, pour les plus connus, par le *Piper nigrum*, une des plus anciennes épices, le Bétel, *P. betle* en Malaisie et le cubèbe, *P. cubeba* originaire d'Indonésie, « poivre à queue », anciennement utilisé comme médicament et actuellement comme épice.

La préparation du kava se fait selon deux modes différents, à partir de la racine fraîche ou sèche par broyage ou mastication, qui tend aujourd'hui à disparaître, suivi de macération. Le kava est consommé frais, pour l'essentiel, sur l'ensemble de l'archipel tandis que le kava séché est surtout exporté. Dans la société traditionnelle, cette boisson est préparée et bue par la communauté au coucher du soleil dans le « *Nakamal* », lieu où l'on boit en Bishlamar, exclusivement réservé aux hommes. Le kava se boit d'un seul trait et la dernière gorgée se recrache, c'est le *tamafa* qui est une sorte de prière traditionnelle adressée aux ancêtres. En fait, dans la coutume, le kava est un moyen d'intercéder auprès du monde surnaturel et un ingrédient important dans la médecine traditionnelle pour traiter des maladies diverses comme les maladies de peau, les migraines, les inflammations de l'appareil urogénital, l'irritation des voies respiratoires, l'asthme, la lèpre, les rhumatismes... Les multiples applications de ce rhizome ont attiré l'attention de la communauté scientifique qui par le biais des études chimiques et pharmacologiques tente, encore aujourd'hui, d'identifier les principes actifs et d'analyser leur activité physiologique....

⇒ L'industrie de la pêche est relativement petite mais est encouragée par l'industrie touristique. Les coquillages trochus (*Cillauren E. et al.*, à paraître) représentaient environ 4 % des exportations de marchandises en 95 mais ces ressources tendent à disparaître.

⇒ Les autres marchandises comprennent le poivre, la vanille et certains fruits et légumes (citrouille). Toutefois, la continuité et la qualité de l'approvisionnement ainsi que la disponibilité de navires sont des contraintes importantes.

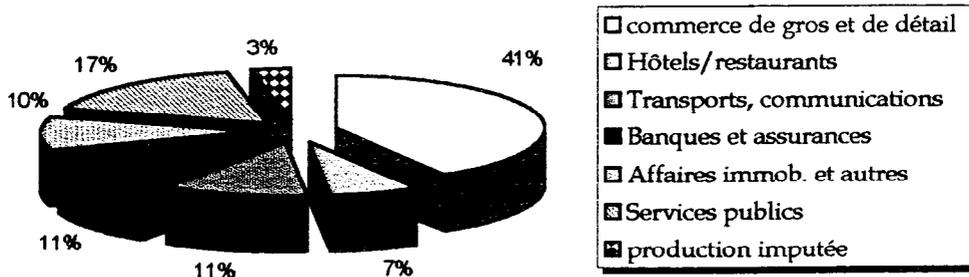
1.4.2 - Le centre financier
(graphe L5) :

Le centre financier libre d'impôts international est l'une des réussites du Vanuatu, en ce qui concerne les clients australiens et néo-zélandais. Créé en 1971, il apporte une contribution de 11% au PIB en 1995. Il a été estimé que le Vanuatu pouvait jouer un rôle similaire de l'Asie du Pacifique comme celui des îles Vierges Britanniques dans les Caraïbes. Aujourd'hui les affaires du Vanuatu se font principalement avec l'Asie, particulièrement Hong-kong et Taiwan, aussi bien que le Nord de l'Amérique. Les affaires sont une source importante d'emplois ; à la fin de l'année 1995, le centre financier

employait 386 personnes dont 325 ni-vanuatus. Le centre, au milieu de l'année 1996, soutenait 80 banques exemptes d'impôts, 2500 compagnies recensées, 10 compagnies de trust et 8 firmes de loi. Ces opérations, aujourd'hui, se concentrent sur cinq domaines principaux, les affaires bancaires internationales, l'assurance internationale, les compagnies internationales, de trust, qui assurent les aspects du support administratif des activités internationales du Vanuatu, et les compagnies maritimes. Ce

sont surtout les affaires bancaires internationales qui sont la partie la plus visible des opérations du centre financier.

Graphes I.5 : % PIB des divers secteurs pour les services, 1995 :



Actuellement, des efforts se poursuivent pour développer et mettre en œuvre une législation moderne pour le centre financier international (Skully T., 1997).

1.4.3 - Le tourisme (graphe I.5) :

...Les études multiples ont permis d'identifier 15 composés appartenant aux lactones dont 7 sont d'importance majeure avec la yangonine, la méthysticine, la dihydrométhysticine, la déhydrokawainine, la kawainine, la dihydrokawainine et la tétrahydroyangonine (Duve, 1981). Une équipe de chercheurs de l'institut de pharmacologie de l'Université de Fribourg a montré les principales propriétés de ces composés qui sont la potentialisation des narcoses barbituriques, l'effet analgésique, l'anesthésie locale, l'activité anti-fongique et l'excellente activité psychopharmacologique de la kawainine qui permet une décontraction émotionnelle et musculaire, une stabilité affective et la stimulation de la capacité de pensée et d'action d'après Sterly (1970). En fin de compte, cette espèce est parfaitement adaptée à l'agriculture vivrière traditionnelle avec une valeur unitaire élevée permettant de le cultiver avec profit, même sur de petites surfaces. Et le développement de sa culture est d'autant plus important que le kava se multiplie facilement, demande peu d'espace, exige peu de soins et fournit une boisson et des médicaments (Lebot V. et Cabalion P., 1986).

Bien que les revenus, provenant du tourisme, aient baissé, au cours de la dernière décennie, le tourisme apporte une contribution importante à l'économie du Vanuatu, où le gouvernement est de plus en plus présent. Les recettes en devises du secteur du tourisme sont bien plus importantes que celles fournies par les autres secteurs économiques de l'Agriculture et du centre financier (Tab. I.1). En 1987, le gouvernement a créé la compagnie aérienne "Air Vanuatu". Les autres principaux organismes liés au tourisme sont l'Office National du tourisme, l'Association des organisateurs du tourisme et l'Association des complexes et des hôtels du Vanuatu (« Vanuatu Hotels and Resorts Association »). Le nombre d'arrivées touristiques totales, en 1995, était estimé à 51000 avec principalement des australiens (26000).

Tab. I.1: Recettes en devises du tourisme, du Centre financier et de l'agriculture en 1993 :

secteur d'activités	Total (Millions de Vt)
tourisme	6658
centre financier	2201
agriculture	2758

(source: banque de réserve du Vanuatu, rapport économique trimestriel, mars 1994).

principales pour la poursuite du développement du tourisme sont les coûts locaux élevés, un manque d'accès directs aux grands marchés, un manque de sensibilité publique à l'importance du tourisme et à ses apports, un manque de terrains pour l'implantation d'infrastructures touristiques à cause surtout du régime foncier traditionnel, qui représente 80% des terres rurales du Vanuatu, seulement une amorce de formation sur le pays aux métiers du tourisme ainsi qu'une inadéquation du logement d'accueil, surtout en dehors de Port-Vila. Malgré toutes ces contraintes qui freinent l'expansion du tourisme au Vanuatu, certains projets gouvernementaux (*Plan directeur de développement du tourisme et renforcement institutionnel des organismes gouvernementaux de tourisme*) ont été élaborés afin de remédier à ces problèmes en stimulant l'investissement dans les entreprises à vocation exportatrice, en promouvant l'esprit commercial et corporatif au niveau du secteur public et en développant la commercialisation des récoltes traditionnelles alimentaires.

Des propositions d'instauration d'études d'impacts ont été faites par ce projet pour permettre la conservation des ressources naturelles ainsi qu'un développement socio-économique durable pour éviter l'essor « sauvage » du tourisme non respectueux de l'Environnement. De plus, des tentatives de déclarations de parcs nationaux et de régions naturelles protégées ont été formulées comme par exemple, le parc national de Big Bay, le parc marin d'Uri, la réserve de sapins de kaoris d'Erromango ou encore le volcan Yasur à Tanna mais aucune d'elles n'est encore enregistrée comme telle malgré les efforts des ONG et les organismes gouvernementaux (le service des forêts et l'unité pour l'Environnement).

Des objectifs complémentaires de la politique gouvernementale ont été fixés pour le développement d'infrastructures suffisantes pour faciliter l'essor du tourisme avec l'entretien des 27 aérodromes existants, le développement de l'infrastructure routière qui est de 1400 km seulement avec essentiellement des pistes, l'amélioration des ports, une meilleure définition des zones de protection d'eau, la protection des ressources en eau avec un projet, pour Port-Vila, de système d'égouts, complété par des usines de traitement des eaux résiduelles et de traitement des déchets urbains.

L'amélioration des différents réseaux est aussi envisagée, avec celui de l'électricité (création de l'UNELCO¹ et prochainement de la centrale électrique de Tagabé), des

¹ La centrale électrique de Port-Vila fournit une puissance totale de 11480 kW pour une demande, en électricité, de la ville de 7280 kW (données UNELCO, 1996-1997).

La beauté des paysages, la diversité culturelle, le climat agréable et la facilité d'accès pour l'Australie et la Nouvelle-Zélande sont des atouts pour le développement de ce secteur d'activité. Le prochain marché touristique envisagé est l'Asie du Sud-Est ou les Etats-Unis.

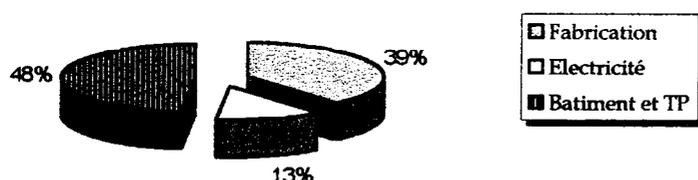
Toutefois, les contraintes

télécommunications (avec trois partenaires principaux ; France Télécom Cable and Wirless et le Gouvernement du Vanuatu), de la radio (avec trois ondes courtes, deux ondes OM et deux FM, dont une locale et RFI) et de la télévision TBV (Television Blong Vanuatu), qui émet sur Port-Vila, Santo, au nord de Mallicolo et l'ouest d'Aoba.

En fin de compte, le tourisme s'est, jusqu'à présent, très peu développé au niveau du Vanuatu, la majorité des touristes restent sur Port-Vila, mais à long terme si les projets proposés sont mis en application, le tourisme pourra devenir une source de plus en plus importante des recettes étatiques et une source d'emplois non négligeable avec le développement de l'éco-tourisme basé sur les atouts culturels et environnementaux du pays (volcans, forêt, milieu marin...).

1.4.4 - L'industrie (graphe L6) :

Grappe L.6 : % PIB des divers secteurs pour l'industrie (1995) :



Au cours de cette dernière décennie, la part du secteur industriel a régulièrement augmenté, poussé par une croissance rapide de la fabrication et de la construction.

En 95, le secteur de la fabrication a contribué à environ 6.5 % du PIB.

Ce secteur subit les contraintes d'une structure de coût qui est très élevée à l'échelle internationale. Les salaires ajustés pour la productivité, l'électricité, les frais de télécommunications et de transport sont parmi les plus élevés de la région. Toutefois des perspectives existent pour les secteurs liés à l'industrie touristique, notamment les denrées alimentaires et les produits à base de bois.

L'industrie minière est peu développée mais avec toutefois des possibilités d'expansion avec la présence d'or à Santo et Mallicolo et la recherche de pétrole financée par AIDAB (Australian Development Assistance Bureau) et par des sociétés privées.

Des carrières de graviers existent, principalement, pour la construction et la maintenance des routes, au nombre de cinq sur l'île de Vaté et de deux sur l'île de Santo.

D'autre part, des projets ont été mis en place pour l'utilisation des énergies géothermale et hydrique afin de limiter l'emploi des carburants. Un site hydro-électrique, qui est une réussite, a été installé sur la rivière Sarakata à Santo par l'agence de coopération internationale japonaise (cette centrale est maintenant entretenue par l'UNELCO et fournit une puissance, avec la centrale thermique, de 2840 kW). Une source géo-thermale a été localisée au nord de Vaté, il y a quelques années (BRGM), mais, pour le moment, tous les projets sont restés sans suite (*Australian Agency for International Development, 1998*).

1.4.5 - Conclusions :

L'économie du Vanuatu, basée, essentiellement, sur l'agriculture et le tourisme est une économie fragile. L'économie de subsistance est très importante avec les ménages ruraux qui possèdent presque tous leurs propres jardins. Les $\frac{3}{4}$ des petits exploitants produisent du coprah qui est la source principale de revenus de la population rurale. Cependant, le kava vert est la culture qui produit le plus important revenu par ha et par an avec plus de 500000 VT ; mais seulement 8 à 10% du kava est commercialisé. Ce sont, en fait, les produits de subsistance et les cocoteraies qui représentent la plus grosse part de l'économie rurale malgré les tentatives de diversification.

Les handicaps principaux restent actuellement des coûts élevés¹, un manque d'accès direct à des marchés étendus et des installations de logement inadéquates pour le tourisme. Une amélioration de la commercialisation des marchandises, tout en garantissant le maintien des normes de santé, de sécurité et de l'environnement appropriés et en attirant des investissements étrangers, est nécessaire pour rendre plus efficace les divers secteurs d'activité.

De plus les rôles importants de l'instabilité politique, entre la fin 1995 et le début 1998, de l'isolement par rapport aux marchés internationaux et la vulnérabilité du pays face aux catastrophes naturelles (cyclones, tremblements de terre, éruptions volcaniques...) contribuent à la fragilité de l'économie ni-Vanuatu.

1.5 - Méthodologie :

Ce rapport s'est appuyé sur les cartes de menaces, réalisées par l'ORSTOM, (M.M. Monzier et M.C. Robin) couplées aux données du système d'information des ressources du Vanuatu (VANRIS).

1.5.1 - Présentation de VANRIS (VANuatu Resource Information System) :

En 1987, le gouvernement du Vanuatu a demandé l'aide du gouvernement australien afin de mettre en place un projet permettant l'obtention d'un inventaire de la ressource forestière nationale pour pouvoir contrôler l'exploitation de la forêt.

En juin 1990, le projet d'étude de la ressource de la forêt nationale du Vanuatu, proposé par le Service de la Forêt du Queensland (Queensland Forest Service) et l'Organisation de la Recherche Industrielle et Scientifique du Commonwealth d'Australie (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation

¹ Tarification - de l'énergie électrique en annexe I.3,

- des télécommunications en annexe I.4,

- du fret aérien avec la compagnie VANAIR en annexe I.5,

- du fret maritime, avec des particuliers, de l'ordre de 5000 Vatus par m³ ou tonne (prix fixe pour toutes les îles).

Australia), est accepté par le gouvernement du Vanuatu et exécuté par le Bureau d'Aide au Développement international australien (Australian International Development Assistance Bureau).

Cette base de données s'est ensuite élargie aux données de la pédologie, de la végétation, de l'intensité d'utilisation du sol, de la population rurale, de l'activité économique des petits exploitants et de la configuration du terrain dont les diverses sources sont énumérées dans le tableau L.2. Dans ce tableau ne sont représentés que les domaines qui ont été utilisés pour ce rapport.

VANRIS incorpore une base de données couvrant le pays entier.

Tableau L.2 : Sources des données VANRIS utilisées :

	Sources	Mise à jour	Taux de changement	Précision	Recouvrement
Utilisation du sol	Photographies aériennes 1984-1986	1984-86	1-5 ans	1/30000	archipel
Climat	résumé climatologique 1961-1983	1961-1983	> 5 ans		archipel
Ports	Ports et Marine	1997	1-5 ans	1/50000	archipel
Utilisation du sol dominante, sub- dominante	Imagerie satellite	Ambae 1992 Ambrym 1987 et 1990 Tanna 1992	1-5 ans	1/50000	Ambae Ambrym
Population	Bureau des statistiques	recensement 1989	> 5 ans		archipel
Ecoles	Bureau de l'éducation	1997	chaque année		archipel
Santé	département de la santé	1997	chaque année		archipel
Aéroports	Aviation civile	1997	1-5 ans	1/50000	archipel
Localisation des épisodes	ORSTOM	1997	1-5 ans	1/50000	archipel
Risques volcaniques	ORSTOM	1995-1996	> 5 ans	1/50000	Ambae Ambrym Tanna

Cet outil constitue une base de données sur la distribution et l'utilisation des ressources naturelles au Vanuatu. Il est composé de trois parties distinctes corrélées que sont :

- une base de cartes contenant la représentation graphique des unités de base spatiales des systèmes d'information désignées sous le terme « d'unités de ressources cartographiées » (RMUs, Ressource Mapping Units),
- une base de données contenant un inventaire des informations décrivant la ressource naturelle, l'utilisation du sol et la distribution de la population rurale pour chaque RMU (voir annexe L.6),

5806 RMUs ont été délimitées pour l'ensemble du Vanuatu, dont 479, pour l'île de TANNA, 124, pour l'île de GAUA, 272, pour l'île d'AMBRYM et 196, pour l'île d'AOBA.

Les données sur l'utilisation du sol, fournies par VANRIS, représentent les ressources du sol qui sont actuellement utilisées et l'intensité de ces utilisations.

Les informations sur l'utilisation du sol sont basées sur l'interprétation de photographies aériennes noir et blanc prises entre 1984 et 1986, à une échelle approximative de 1/30000. Ce sont actuellement les données les plus récentes qui recouvrent l'ensemble du Vanuatu ! A partir de ces cartes différentes zones ont été déterminées :

1- les zones interprétées comme pouvant être utilisées, déterminées à partir de la reconnaissance de la végétation en fonction de ses caractéristiques au niveau des analyses des photographies aériennes. La terre utilisée correspond donc à tous les terrains où il y a la présence d'une végétation anthropogénique, qui correspond aux zones de revégétalisation et/ou de cultures, relativement récente.

2- Ces zones utilisées ont été classées en fonction de l'intensité de l'utilisation de la terre qui est représentée par sept classes dont six sont pour les terres utilisées. Les différentes classes d'intensité sont les suivantes:

- **très élevée avec des cultures arbustives et/ou des pâturages, > 75% de végétation anthropogénique avec > 20% d'utilisation courante ; 25% peut avoir un recouvrement de forêt.**

Cette zone est dominée par des plantations d'exploitations, des pâturages et/ou des cultures arbustives de non-subsistance très étendues (ou des légumes) plantés par des petits exploitants. Cette classe inclut les stations de recherche agricole. Dans cette zone il peut coexister la culture de produits alimentaires associés à des cultures commerciales dans un système complexe d'inter-cultures (l'identification des différentes cultures est quasi impossible étant donné l'échelle des photographies aériennes.).

- **très élevée avec des jardins, > 75% de végétation anthropogénique avec 10-20% d'utilisation courante, < 25% peut avoir un recouvrement de forêt.**

Cette zone est dominée par les cultures de produits destinés à l'alimentation et est associée à une densité de population très élevée. Cette classe est très représentée dans les îles où le compostage et/ou l'irrigation (essentiellement du Taro) sont pratiqués. Ces cultures peuvent être accompagnées par des cultures commerciales et le pâturage.

- **élevée, > 60% de végétation anthropogénique avec 5-10% d'utilisation courante ; < 40% peut avoir un recouvrement forestier.**

Cette intensité d'utilisation du sol correspond essentiellement aux zones où la culture de produits alimentaires est principale. Ceci est typique des zones ayant une densité de

population élevée caractérisées par la culture semi-permanente. Des parcelles de cultures commerciales et d'élevage peuvent être présentes.

- **modérée**, 30-60% de végétation anthropogénique avec 1-5% d'utilisation en cours ; 40-70% peut avoir un recouvrement forestier.

L'utilisation du sol est principalement consacrée à la production de nourriture, est associée à une densité de population modérée et correspond à la culture avec des périodes de jachères courtes à modérément longues. De petites parcelles de cultures commerciales et d'élevage peuvent encore persister dans cette classe.

- **faible**, 20-50% de végétation anthropogénique avec < 1% d'utilisation courante ; 50-80% peut avoir un recouvrement forestier.

L'utilisation du sol est pour la production de nourriture, correspond à des zones ayant une densité de population faible et est caractérisée par la culture avec des jachères ayant des périodes courtes à modérément longues. Les cultures commerciales et l'élevage peuvent toujours être présents.

- **très faible**, 10-20% de végétation anthropogénique avec < 1% d'utilisation en cours ; 80-90% peut avoir un recouvrement forestier.

La production de nourriture est toujours l'utilisation du sol principale avec des jachères de périodes modérées à courtes. Cette intensité d'utilisation du sol est souvent associée à une autre source de nourriture (la pêche par exemple.). Il persiste encore dans cette classe la culture en faible quantité de cultures commerciales.

- **extrêmement faible**, < 10% de végétation anthropogénique avec < 1% d'utilisation en cours ; > 90% peut avoir un recouvrement forestier.

L'utilisation du sol est très dispersée (jardins épars) avec, principalement, la production de cultures destinées à la consommation. Pour cette intensité d'utilisation du sol les cultures commerciales sont quasi inexistantes.

- **non utilisé / non subsistance**, jusqu'à 100% de végétation anthropogénique ou jusqu'à 90% de recouvrement forestier.

Ces zones correspondent à toutes les autres formes d'intensité d'utilisation du sol (urbaine, forestière et exploitation minière). Ceci inclus, toutefois, les zones étant éclaircies utilisées pour les pâturages, l'agriculture de plantations ou quelques utilisation pour des cultures de non-subsistance, mais avec aucune autre utilisation que celle de l'extraction du bois.

PARTIE II :
RISQUES
VOLCANIQUES

Tableau II.1 : VOLCANS DU VANUATU (octobre 1997) (ORSTOM) :

Volcans aériens					
Noms	latitudes	longitudes	Activités	Caractéristiques	Observations
Vanua-lava	13°48 S	167°28 E	fumerolles	Caldeira	
Gaua *	14°15 S	167°15 E	panaches	Caldeira, 1 lac ~ 0.8 km ³ d'eau	
Ambae *	15°24 S	167°50 E	vapeurs	Caldeira, 2 lacs (2*50.10 ⁶ m ³)	1 lac acide, explosion phréatique en mars 1995
Ambrym *	16°15 S	168°05 E	panaches	1 caldeira, 12 km, 2 grands cratères	lac de lave, activité plinienne, accroissement de l'activité (1997)
Lopevi	16°30 S	168°15 E	fumerolles	cratère	
Tanna *	19°32 S	169°21 E	panaches	post-caldeira	activité strombolienne, panaches de cendre, diminution de l'activité (1997)

*. Station de surveillance (système ARGOS)

Volcans sous-marins					
Noms	latitudes	longitudes	Activités	Caractéristiques	Observations
Epi (Est)	16°45 S	169°15 E	eaux jaunes	3 monts s/marins: (A, 124 m, B, 34 m et C, 169 m (1990)	forte coloration édifice B des eaux de surface (en 1997)
Karua	16°50 S	168°32 E	bulles	appartient à la caldeira Kuwae (6*12 km), prof. 9m (1997)	coloration des eaux de surface, île de cendre (éruption 1971)
Erromango	18°45 S	170°10 E	eaux jaunes	1 volcan s/marin	forte coloration eaux de surface en 1994
Gemini	21°00 S	170°16 E	explosions	2 monts s/marins: (Est/Ouest) prof. 40m (en 1989)	mont s/marin Est, explosion février 1996 et octobre 1997

I - Les risques volcaniques au Vanuatu :

1.1 - Introduction :

Le positionnement du Vanuatu à l'aplomb d'une zone de subduction engendre un volcanisme d'arrière-arc très actif. L'activité volcanique actuelle se situe sur la chaîne centrale avec au moins une quinzaine de volcans aériens et des volcans sous-marins dont les principaux sont présentés dans le tableau II.1. Le type éruptif de chacun de ces volcans est différent d'un édifice à un autre avec une activité dominante basaltique et andésite-basique. Actuellement les volcans sous-marins sont encore assez mal connus, par contre, des études ont été faites sur les volcans aériens et sub-aériens, surtout pour les six volcans les plus actifs dont quatre d'entre eux sont sous surveillance, équipés de stations de surveillance télémétrées par le système ARGOS (transmission satellite des données) (Tab. II.1). Des cartes de menaces, pour les quatre îles habitées considérées les plus « dangereuses », ont été élaborées par l'ORSTOM à partir des données géologiques et de l'étude de l'activité historique récente et ancienne pour chaque volcan, basés sur les observations et les articles de géologues-volcanologues ou sur les témoignages (*Eissen J. P. et al., 1991*).

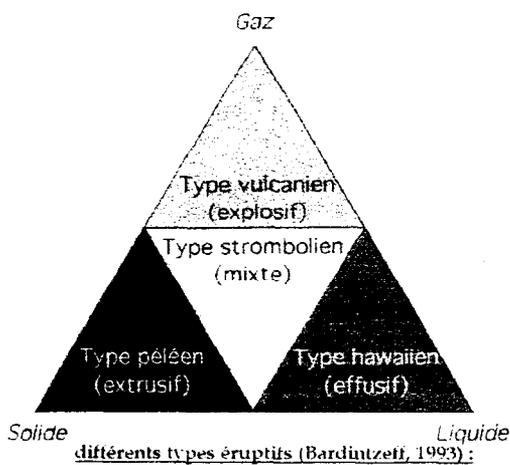
Ces volcans actifs sont caractérisés par des éruptions variables en fonction du type éruptif, de l'activité volcanique et de l'importance d'une éruption qui est le plus souvent basée sur une estimation de l'énergie thermique totale libérée à partir du volume de matériel expulsé. La difficulté d'estimation des risques volcaniques repose aussi sur le fait qu'un même volcan peut présenter différents types éruptifs au cours d'une même phase active ainsi qu'une activité variable au niveau du temps géologique. En fonction du type et de l'importance d'une éruption, les risques volcaniques causent des dégâts différents. D'après Thorarinsson (1979), ce sont surtout les retombées de tephra, les effets atmosphériques, les pluies acides, les gaz et les tremblements de terre qui se produisent le plus fréquemment créant des dégâts à plusieurs niveaux complexes à évaluer de manière objective. En tenant compte du facteur humain, ce sont essentiellement les écoulements pyroclastiques et les tsunamis qui sont les agents volcaniques les plus risqués et ensuite les lahars et les retombées de cendre.

Les cartes de menaces volcaniques, utilisées dans ce rapport, tiennent compte de la magnitude, du volume total de produits éjectés, pendant une éruption, ainsi que du type éruptif, suggéré par les activités antérieures des différents volcans étudiés. Toutefois, avant d'étudier ces cartes plus en détail, une présentation succincte des divers risques volcaniques s'impose afin de mieux comprendre leur genèse et leur distribution.

Sur l'ensemble des risques créés par une activité volcanique, deux groupes peuvent être individualisés :

- les risques directs qui correspondent aux phénomènes liés à une éruption (coulées de lave, retombées de cendre, écoulements pyroclastiques...),

Encadré N° 5 : les dynamismes éruptifs :



Différents types éruptifs sont distingués en fonction de la quantité de magma expulsé et de la puissance de l'éruption (voir figure ci-contre). En général, les produits éjectés par un volcan sont sous les trois états de la matière :

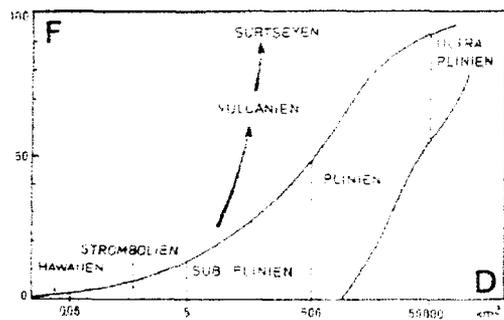
- gazeux, avec les fumerolles, les gaz, les écoulements pyroclastiques,
- liquide, avec les coulées de lave,
- et solide, avec les projections (bombes, blocs et cendres).

Deux grandes familles d'éruptions sont classées en fonction du type de produits éjectés :

- les éruptions laviques où le magma s'épanche sous forme de lave. Ce sont aussi les éruptions effusives, qui caractérisent les types hawaïien (fontaines de lave, coulées fluides) et strombolien (coulées de lave fines modérément fluides et cônes de cendre), ou extrusives, quand le magma devient plus visqueux, qui caractérise le type péleén,

- et les éruptions explosives où le magma est émis de manière discontinue sous forme gazeuse, liquide ou solide, pour former les retombées de tephra et les écoulements pyroclastiques. Ces éruptions caractérisent les types péleén, vulcanien, phréatique, phréato-magmatique et plinien.

Classification en fonction des indices de dispersion et de fragmentation (Bardintzeff, 1993) :



Ces principaux différents mécanismes éruptifs sont classés de manière descriptive en fonction de la proportion du magma sous chacun des états de la matière (voir figure ci-contre).

- Les types hawaïien et strombolien se caractérisent par une dispersion des éléments inférieure à 5 km² et une fragmentation, pulvérisation des produits éjectés, faible.

- Le type surseyen (ou phréato-magmatique), surtout pour les éruptions sous-marines, correspondent à une fragmentation maximale avec 100% du matériel qui a une taille inférieure à 1 mm.

- Le type vulcanien qui correspond à un type intermédiaire du surtseyen, avec des éjections modérées à violentes de blocs visqueux, parfois de petites coulées de lave fines et des cônes de tephra et de blocs.

- Le type plinien qui se traduit par une dispersion des éléments maximale, éjection paroxysmale incluant l'expulsion de ponces.

Au niveau du Vanuatu, les volcans Yasur (Tanna), Marum (Ambrym) et Benbow (Ambrym) sont surtout caractérisés par des éruptions de type strombolien alors qu'Aoba est caractérisée par une activité explosive et Gaua par une activité de type strombolien, vulcanien. Toutefois un même volcan au cours d'une même phase éruptive peut connaître plusieurs types éruptifs, ce qui complique la prévision des phénomènes d'où l'utilité d'étudier les éruptions anciennes par l'étude des dépôts volcaniques.

- et les risques indirects, induits par l'activité volcanique (tsunamis volcanogéniques, glissements de terrains, pluies acides...).

1.2 - Les risques directs :

1.2.1 - Les coulées de lave :

Il existe communément trois types de coulées de lave (magma dégazé) :

- les coulées aa,
- les coulées pahoehoe,
- et les coulées de blocs de lave,

qui sont représentées par des températures et des compositions différentes.

Ce sont les coulées basaltiques ($1050^{\circ}\text{C} < \text{température} < 1130^{\circ}\text{C}$) qui sont celles qui se déplacent sur de plus grandes distances car leur température est plus élevée et leur composition moins siliceuse d'où leur viscosité plus faible que les coulées andésite-basaltiques, plus siliceuses, $880^{\circ}\text{C} < \text{température} < 1050^{\circ}\text{C}$. La vitesse des coulées de lave est clairement affectée par la température, la viscosité, la résistance, la quantité d'émission, la pente et la topographie. Toutefois, ces vitesses restent relativement faibles (de 5 m/h à 50-75 km/h) réduisant de beaucoup le risque pour l'humain mais en représentant néanmoins un pour la végétation et les constructions avec les températures qui sont bien au dessus des points d'inflammation de beaucoup d'éléments.

De nombreuses coulées de lave se sont mises en place sur l'île d'Ambrym lors des éruptions de 1888, 1894, 1910, 1912-1914, 1929, 1934, 1942, 1968, 1971, 1986 et 1988 et sur l'île de Tanna en 1878 (*Aubert de la Rüe, 1956*) et 1968 (*N.H.G.S. Ann. Rep. For 1968*).

1.2.2 - Les écoulements pyroclastiques :

Les écoulements pyroclastiques regroupent trois phénomènes volcaniques, qui font partie d'un continuum :

- *les écoulements pyroclastiques*, sensu stricto, appelés des nuées ardentes ou des nappes incandescentes. Ce sont des écoulements au dessus de la surface du sol de matériel fragmenté (pyroclastes) correspondants à des dispersions gaz-solide concentrées, où le gaz est majoritaire, chaudes, contrôlées par la gravité et s'accumulant dans les points bas topographiques.
- *Les déferlantes* qui impliquent des mouvements latéraux turbulents de dispersions de gaz-solide faiblement concentrées. Ces écoulements s'épanchent à grande vitesse et ne sont pas limités topographiquement et peuvent être chauds ou froids.
- *Les souffles*, blasts en anglais, dirigés résultant de l'effondrement d'une partie du volcan. Avec la formation parfois d'ignimbrites qui sont des écoulements

créés lors d'éruptions importantes correspondants à l'émission brutale d'une émulsion riche en magma frais (ponces et blocs vitreux), en gaz et en cendre. Ce type d'écoulement est généré lors d'interaction magma-eau aboutissant à des éruptions phréato-magmatiques très destructrices.

Pour une évaluation des risques des écoulements pyroclastiques, les paramètres à prendre en compte sont la vitesse d'écoulement, la température et les dimensions de l'écoulement. Comparés aux coulées de lave, ces écoulements ont une mobilité très importante avec une vitesse d'expansion variable en fonction de leur taille (50 km/h à 650 km/h) sur des distances importantes. Ce sont également à cause de leurs températures élevées que ces phénomènes sont considérés parmi les risques les plus dangereux pour la population.

Des dépôts d'écoulements pyroclastiques ont été retrouvés sur les îles d'Aoba, de Gaua et de Tanna.

1.2.3 – Les retombées de téphra et les projections balistiques :

Les produits aeroportés sont désignés sous le terme de téphra, dont la constitution est complexe. En fonction de la taille des éléments, différentes nominations sont attribuées :

- diamètre < 2 mm : cendre,
- 2 mm < diamètre < 64 mm : lapillis ou scories,
- 64 mm < diamètre : blocs.

Elles apparaissent dans les éruptions de type strombolienne, vulcanienne, plinienne et surseyenne où un panache se forme, pouvant atteindre des hauteurs de 30 km ou plus, composé de particules solides et de gaz. Une colonne éruptive est caractérisée par trois ensembles distincts :

- une région basale, de quelques centaines de m, qui est le siège de vitesses d'éjection très élevées et de décélérations sensibles,
- une partie médiane, de plus d'une dizaine de kilomètres de haut, où se produisent des mouvements convectifs intenses ; la densité de la colonne est alors inférieure à celle de l'atmosphère ambiante, ce qui favorise son ascension verticale,
- et le sommet de la colonne défini par le niveau d'égale densité entre la colonne et l'atmosphère. La colonne s'étale alors horizontalement lui conférant ainsi une forme de champignon caractéristique.

Les bombes et les lapillis expulsés de l'événement constituent des projectiles qui ont une trajectoire parabolique avant de percuter le sol. Leur forme dépend de la fluidité du magma, de la longueur et de la vitesse de vol, du taux de refroidissement, du taux d'échappement des gaz et de la déformation lors de l'impact. La zone de distribution des projectiles est limitée autour de l'événement à quelques kilomètres, pour les éléments les plus petits, et jusqu'à des milliers de kilomètres pour les cendres suspendues dans le

panache éruptif des plus grandes éruptions, voyageant dans la stratosphère. Les risques pour les projections sont essentiellement limités aux alentours de l'événement alors que pour les retombées de cendre, ils peuvent être présents sur des distances importantes avec une décroissance exponentielle de l'épaisseur du dépôt avec la distance. Ces risques résultent principalement dans l'accumulation du dépôt et lorsque les éléments n'ont pas atteint leur équilibre thermique avant l'impact. Ce manteau cendré, pour les éléments de taille inférieure à 0.1 mm, a tendance à former à la surface des croûtes qui encouragent le ruissellement et inhibent la pénétration des végétaux.

Quasiment tous les édifices volcaniques émettent, en plus ou moins grande quantité, des retombées, plus particulièrement Tanna, Ambrym et le Lopevi, dont les activités fortes se sont arrêtées depuis 1980. Des expulsions de projectiles se produisent aussi sur Tanna et Ambrym.

1.2.4 - Les gaz :

Les principaux gaz des nuages éruptifs sont la vapeur d'eau, à plus de 90%, et les sulfures avec aussi la présence d'acide chlorhydrique, d'acide fluorhydrique, d'acide carbonique et d'ammoniac. D'autres composants, en quantité moindre, peuvent être présents ayant une action dangereuse comme la fluorine, voir tableau II.2, qui peut être adsorbée sur les surfaces de téphra. Ces gaz sont omniprésents, avant, pendant et après les phases éruptives. La couleur des fumerolles renseigne sur la présence de certains gaz ; blanches, elles renferment essentiellement de la vapeur d'eau alors que bleutées, elles peuvent contenir du dioxyde de soufre (SO₂) qui représente un risque pour les populations.

L'étude de l'évolution de la composition chimique et isotopique des gaz (hydrogène, oxygène, carbone, soufre, azote et gaz rares : hélium, argon, xénon, néon, krypton) est faite par les volcanologues au cours du cycle éruptif afin d'essayer de mieux prévoir les éruptions.

Les volcans du Vanuatu, situés en contexte de subduction de plaque, produisent de tels gaz très chauds et en grandes quantités. Surtout pour les volcans de Tanna, Ambrym, Gaua, Vanua-lava et Aoba, où pour ce dernier les gaz sont piégés dans le lac de cratère Voui.

1.3 - Les risques indirects :

1.3.1 - Les pluies acides :

d'après Thorarinsson (1979. 142), les composés volatiles du magma qui forment les gaz volcaniques sont sous formes suivantes :

- des aérosols acides,

- des composés adsorbés sur les particules de téphra,
- ou des particules de sel.

Ces différents composants se retrouvent dans le panache éruptif et peuvent être lessivés par les précipitations. Ces éléments agissent, par conséquent, sur la végétation qui subit des dégâts plus ou moins importants (Tab. II.3).

Tableau II.3 : Effets des gaz sur les cultures (Blong, 1984, p.328):

Gaz	Concentration Seuil (ppm)	Effets d'overdose
Ammoniaque	10	apparence verte "cuite" devenant marron jusqu'à sec
Dioxyde de Carbone		pas d'effet marqué
Monoxyde de Carbone	500	chlorose, chute des feuilles
Chlorine	1	lésions des feuilles
Fluorine	0,1	lésions des feuilles marginales et chute des feuilles
Acide chlorhydrique	10	lésions des feuilles
Acide fluorhydrique	variable	lésions des feuilles marginales et chute des feuilles
Dioxyde de Soufre	1	chronique : jaunissement et blanchissement des feuilles aigu : effondrement des surfaces marginales et intercostales, assèchement ivoire ou rouge-marron.
Acide sulfurique (aérosol)	variable	roussissement ou carbonisation dépendants de la teneur en humidité et de la taille des gouttes d'aérosols.

Tab. II.2 : Toxicologie des gaz volcaniques (tiré de *Blong, 1984, p.124*) :

- **Ammoniaque**, NH_3 - gaz incolore, extrêmement irritant :

seuil de limite = 79 mg.m^{-3} d'air ; 100 ppm dans l'air.

effets d'overdose : irritation des yeux, conjonctivite, irritation des membranes muqueuses du nez et de la gorge, toux et vomissements. Irritation de la peau, surtout s'il y a de l'humidité.

- **Dioxyde de Carbone**, CO_2 - gaz incolore et inodore :

seuil de limite = 9000 mg.m^{-3} d'air ; 5000 ppm dans l'air.

effets d'overdose : habituellement considéré comme un simple asphyxiant, les symptômes apparaissent uniquement quand ces concentrations élevées sont atteintes. Les symptômes sont ceux qui précèdent l'asphyxie comme les maux de tête, les étourdissements, le manque de respiration, la faiblesse musculaire, la somnolence et le tintement des oreilles. Un retour à un air moins pollué entraîne la disparition de ces symptômes. Pour les personnes avec des problèmes cardio-pulmonaires des expositions à des taux plus faibles peuvent être dangereux, aussi bien que de faibles concentrations sur des années. (Ex. accumulation de CO_2 au fond du lac froid Nyos au Cameroun en 1986).

- **Monoxyde de Carbone**, CO - gaz incolore et inodore :

seuil de limite = 115 mg.m^{-3} d'air ; 100 ppm dans l'air.

effets d'overdose : Son affinité pour l'hémoglobine est 210 fois supérieure à l'oxygène. Avec moins de 10 % de carboxyhémoglobine dans le sang, les symptômes sont rares ; à partir de 20-30 %, manque de souffle avec l'effort et des maux de tête ; entre 30-50 %, sévères maux de tête, confusion mentale et étourdissement, problèmes visuels et auditifs et effondrement et évanouissement avec l'effort ; entre 50-56 %, inconscience ; 80% mort presque immédiate. Des effets chroniques d'exposition répétée à de faibles concentrations ont été observés aussi. Comme le dioxyde de Carbone, pour des personnes souffrant de problèmes cardio-pulmonaires, de plus faibles concentrations peuvent être dangereuses.

- **Fluorine**, F_2 - gaz jaune pâle :

seuil de limite = 0.2 mg.m^{-3} d'air ; 0.1 ppm dans l'air.

effets d'overdose : possède un pouvoir très irritant ; crée des conjonctivites, des irritations de la peau, la dégénérescence des os et des taches sur les dents.

- **Acide chlorhydrique**, HCl - gaz ou liquide incolore :

seuil de limite = 7 mg.m^{-3} d'air ; 0.1 ppm dans l'air.

effets d'overdose : irritations des membranes des muqueuses des yeux et des conduits respiratoires ; pour des concentrations supérieures à 35 ppm, il cause des irritations de la gorge après de courtes expositions. Les concentrations supérieures à 100 ppm créent des œdèmes pulmonaires et souvent des spasmes du larynx.

- **Acide fluorhydrique**, HF - gaz ou liquide incolore, corrosif :

Seuil de limite = 2 mg.m^{-3} d'air ; 3 ppm dans l'air.

effets d'overdose : extrêmement corrosif et irritant pour les muqueuses et la peau. L'inhalation de vapeur peut causer des ulcères des conduits respiratoires supérieurs ; des concentrations entre 50-250 ppm sont dangereuses même pour des expositions brèves ; crée des brûlures de la peau difficile à soigner. Les tissus sous-cutanés peuvent être touchés en devenant blancs par manque d'irrigation sanguine. La gangrène peut ensuite apparaître sur les zones affectées. (Ex. attaque du verre par l'acide fluorhydrique contenu dans le panache éruptif du Benbow (ORSTOM)).

- **Hydrogène sulfuré**, H_2S - gaz incolore et inflammable avec une odeur offensive :

Seuil de limite = 28 mg.m^{-3} d'air ; 20 ppm dans l'air.

Effets d'overdose : irrite et asphyxie ; des concentrations entre 20-150 ppm causent des irritations des yeux ; des concentrations plus élevées causent l'irritation des conduits respiratoires supérieurs et pour des longues expositions, des œdèmes pulmonaires. Une exposition de 30 mn à des concentrations de 500 ppm apparaissent les maux de tête, les étourdissements, des diarrhées suivies parfois de bronchites et de broncho-pneumonies. En petite quantité, ce gaz agit comme déprimeur et en grande quantité comme stimulant ; avec des quantités très importantes, le centre respiratoire est paralysé.

- **dioxyde de Soufre**, SO_2 - gaz ou liquide incolore avec une odeur irritante :

Seuil de limite = 13 mg.m^{-3} d'air ; 5 ppm dans l'air.

Effets d'overdose : inflammation et irritation des yeux. Des concentrations de 6-12 ppm causent l'irritation immédiate du nez et de la gorge ; 10 000 ppm irrite la peau en quelques minutes ; affecte aussi les voies respiratoires et les bronches.

- **Acide sulfurique**, H_2SO_4 - liquide huileux, incolore :

Seuil de limite = 1 mg.m^{-3} dans l'air.

Effets d'overdose : cause de sévères brûlures avec une destruction rapide des tissus, une inflammation des voies respiratoires supérieures et des dermatites.

Toutefois, la dispersion des gaz et des panaches de téphra avec le temps et la distance, montre que les risques offerts par les pluies acides décroissent avec le déplacement par le vent.

Les îles du Vanuatu qui subissent le plus les méfaits des pluies acides sont Tanna, avec la zone située sous le vent, plus précisément la zone de Whitesands avec environ 1400 habitants, et à proximité du cône éruptif (Buisson, 1994 et Lardy, 1998), Ambrym, entre Ranon et Craig Cove avec environ 1300 habitants, et Gaua dans une zone inhabitée.

1.3.2 - Les lahars :

Ce sont « des coulées de boue contenant des débris et des blocs anguleux d'origine volcanique », ainsi que des dépôts résultant « d'un écoulement de masse rapide de débris de roches mobilisés par l'eau et qui ont pris naissance sur les pentes d'un volcan » (Blong, 1984). En fait, les écoulements de masse sur les pentes d'un volcan forment un continuum des écoulements pyroclastiques de faible concentration, très mobiles et chauds, en passant par des écoulements de boue, à des torrents turbides. Un écoulement pyroclastique en se refroidissant, se dégazant avec la distance de la source, s'il est pris en charge par l'eau peut aboutir à la formation d'un lahar.

Deux causes de formations de lahars, dont le nom vient de l'indonésien, sont reconnues :

- les *lahars primaires* qui sont associés aux éruptions (comme par exemple pour les éruptions à travers un lac de cratère, cas d'Aoba pour le Vanuatu).
- Et les *lahars secondaires* qui se forment après remaniement des dépôts volcaniques, comme par exemple la prise en charge par l'eau, lors de fortes pluies, des retombées de cendre sur les pentes du volcan. Ils peuvent être aussi créés par l'effondrement des bords du lac de cratère ou être initialisés par des tremblements de terre (Cas pour la côte est d'Aoba en 1914).

Etant donné que ces écoulements se font dans les fonds de vallées et se déplacent plus lentement que les écoulements pyroclastiques, les zones à risques peuvent être prédites. Toutefois la quantité d'eau en jeu est difficile à estimer pour les précipitations alors que pour les lacs de cratère, le degré de risque est proportionnel au volume d'eau dans le lac.

La présence du lac Letas, sur l'île de Gaua, et celle du lac Vouj, sur l'île d'Aoba représentent des risques importants avec la possibilité d'explosions phréato-magmatiques due à la rencontre de l'eau du lac avec le magma ascensionnel ainsi que la formation de lahars.

1.3.3 - Les tsunamis (Talandier J.) :

Les raz-de-marée sont générés par des perturbations du plancher océanique. La majorité des tsunamis, dont le mot vient du japonais « tsun », baie et « nami », onde, sont créés par les tremblements de terre mais une petite partie peut être induite par les activités volcaniques. En général dans l'océan, le raz-de-marée dépasse rarement un mètre avec une période, c'est-à-dire le temps entre des vagues successives, de 5 à 60 mn. Leur vitesse de propagation dépend de l'accélération de la pesanteur et de la profondeur. Dans des eaux profondes, comme dans le Pacifique, ils peuvent atteindre des vitesses de propagation de 800 km/h et leur amplitude est inversement proportionnelle au carré de la distance parcourue. D'autre part, la profondeur variable des eaux près des côtes, la topographie du fond, la forme du littoral ainsi que la marée vont modifier l'amplitude et la direction du tsunami. Par conséquent, les risques offerts par ces manifestations dépendent de beaucoup de paramètres, à la source et à l'arrivée, qui influent plus ou moins grandement sur ces phénomènes. L'arrivée d'un tsunami va causer sur les terres, même situées à plus d'une centaine de kilomètres de la source volcanique, des inondations dont les vitesses ont été estimées par les japonais entre 1.3 à 5.6 m/s ; ceci explique le degré de danger élevé de ce genre de manifestation pour les zones côtières.

Tab. II.4 : Echelle de magnitude des tsunamis :

Magnitude	Hauteur en mètres
1	1-1.5
1	2-3
2	4-7
3	8-15
4	16-31
5	32 et plus

créa un raz-de-marée de 63 m de haut, mais dont aucun témoignage peut confirmer son existence.

Possibilités de risques de tsunamis :

Possibilité élevée : Pour les zones qui ont connu des tsunamis ayant eu une magnitude de 2, ou plus. En somme, c'est la probabilité qu'un tsunami se produise, basée sur la situation des côtes à côté d'une ceinture de tremblements de terre majeurs, c'est-à-dire de foyers peu profonds, fréquents et de magnitude sur l'échelle de Richter de 6.5 et plus.

Possibilité modérée : Concerne les zones qui ont subi des tsunamis de magnitude entre 0 et 1 (Johnson R.W. and al., 1995).

Le Vanuatu, par sa position dans une zone sismique et par la présence de volcans actifs, est sujet à ce genre de phénomène qui par le passé a déjà montré sa capacité destructrice comme l'explosion de Kuwae en 1452 aux îles Sheperds, entre Epi et Tongoa qui fut équivalente, sans doute, à celle cataclysmale de Santorin en Grèce qui

D'autres plus récents ont été observés tel que celui de Loanatom à Tanna en 1959 qui a détruit la mission catholique et celui du 17 mai 1995 (dont l'origine est un séisme de magnitude 7.6, situé à 450 km au sud-est de Port-Vila), de plus petite amplitude, mais qui fut perceptible jusque dans le lagon de la baie de Port-Vila.

D'après les études faites par Johnson R.W. and al. (1995), pour le Vanuatu, ce

sont les côtes occidentales qui sont exposées à des risques de tsunamis élevés (voir tab. II.4) alors que les côtes orientales sont susceptibles de subir des tsunamis modérés (voir explication ci-contre). En fin de compte pour l'archipel du Vanuatu, ce sont surtout les tsunamis ayant une origine en champ proche qui sont difficiles à prévoir contrairement aux tsunamis d'origine lointaine.

1.3.4 - Les tremblements de terre et les glissements de terrain :

Les tremblements de terre volcanogéniques sont importants pour deux raisons principales :

- ils peuvent causer des dégâts importants,
- et se produisent fréquemment avant une reprise d'activité volcanique.

Ces tremblements de terre résultent de l'ascension du magma à travers les divers conduits souterrains, du dégazage de ce même magma dans sa montée, de la distribution de la charge du volcan ou de la subsidence de la caldeira. Ce sont essentiellement des tremblements de terre de surface qui ne dépassent pas les quelques kilomètres de profondeur. Ces faibles profondeurs de foyers de tremblements de terre volcanogéniques entraînent des dégâts variés (destruction des constructions et des conduits vitaux, glissements de terrain..) mais qui restent confinés à de petites zones.

Toutefois, bien que des séismes précurseurs soient antérieurs à une activité volcanique, ceci n'est pas une généralité ; aucun tremblement de terre n'a été ressenti avant l'éruption de 1983 à Asama au Japon, par exemple (*Blong, 1984*).

En ce qui concerne les volcans du Vanuatu, les reprises d'activité sont précédées par une série de séismes annonciateurs des éruptions, avec une fréquence et une magnitude croissantes. D'autre part, très peu d'habitations en dur se trouvent à proximité des volcans actifs. Par contre, quelques glissements de terrain ont déjà représenté des risques, par le passé, comme en 1914, dont l'origine volcanique ou sismique est incertaine, qui s'est produit à Aoba et qui a fait 12 morts (*Eissen et al., 1991*). Ou encore, celui de 1878 sur Tanna qui a entraîné l'obstruction partielle de Port-Résolution ; en 1919, celui sur le flanc nord-ouest du Yasur et le glissement spectaculaire de 50000 m³ de 1975, sur toujours ce même flanc du volcan (*N.H.G.S. Ann Rep. For 1975*).

1.3.5 - Les phénomènes atmosphériques :

Les effets principaux sont :

- les ondes sonores et les ondes de choc qui ne représentent qu'un risque mineur pour la population et les animaux mais qui peuvent entraîner des dégâts plus importants au niveau des bâtiments. Ces ondes se créent lorsque la vitesse des gaz expulsés excède la vitesse du son, qui varie de 332 m/s dans l'air à 830 m/s dans la vapeur d'eau à 1200° K. Ces vitesses d'éjection supersoniques permettent aux particules cendreuses d'atteindre la stratosphère. Ces ondes ont quasiment les mêmes

effets que les tremblements de terre volcanogéniques avec lesquels une distinction est parfois difficile à faire.

- Et les décharges électriques qui sont abondantes dans les éruptions où se produit une forte expansion gazeuse dans un milieu chargé en débris fins. Elles représentent un risque essentiellement pour les télécommunications, mais aussi quelquefois pour la population (Cas du décès d'un homme par une décharge électrique, près de la caldeira lors de l'éruption du Rabaul de 1994 en Papouasie Nouvelle Guinée (*Blong et al., 1995*)).

Pour l'archipel, les risques atmosphériques représentatifs sont essentiellement liés aux décharges électriques pour les télécommunications, ceci entraînant, par conséquent, des difficultés supplémentaires lors d'une éventuelle évacuation de la population ou pour la mise en place des secours.

L'étude de ce rapport porte sur les îles de Tanna, Ambrym, Aoba et Gaua (ces deux dernières possèdent aussi un lac) qui sont considérées comme les plus exposées aux risques volcaniques étant donné la présence de volcans actifs. Pour chaque île, une étude des impacts sociologiques et économiques des risques volcaniques est ébauchée.

Encadré N°6 : Les rites de protection coutumiers :

Les réponses au questionnaire posé aux chefs et aux anciens des villages des régions nord-ouest, sud, ouest d'Ambrym¹, ont montré qu'auparavant et même encore aujourd'hui des pratiques coutumières étaient faites pour contrôler l'activité du volcan ou dévier les manifestations volcaniques (coulées de lave, retombées de cendre...). Pour Tanna², les chefs coutumiers m'ont affirmé pouvoir maîtriser le temps ; ils changent la direction des vents quand il pleut pour éviter de subir les méfaits des pluies acides. Ils peuvent également arrêter la pluie. Sur cette dernière île, le volcan est sous la responsabilité de gardiens (vivants à Whitesands) qui sont chargés de maîtriser l'activité du volcan pour protéger la population de cette région, en rentrant en communication avec l'esprit du volcan.

Les initiés à la coutume « chantent sur des feuilles pour communiquer avec l'esprit du volcan, pour le calmer, ou « mâchent des feuilles et crachent sur le volcan pour arrêter son activité », ou encore lancent des jeunes cocos contenant des feuilles pour arrêter l'avancée des coulées de lave ». Ces pratiques ancestrales sont, de nos jours, de moins en moins réalisées dans ces îles à cause du désintérêt des plus jeunes pour l'apprentissage de la coutume, pour maintes raisons culturelles et personnelles. Toutefois, elles semblent toujours d'actualité dans les régions les plus reculées, comme le nord-ouest d'Ambrym où l'occidentalisation se fait moins ressentir et où la population est encore très tributaire de la mère Nature, ainsi que dans la majeure partie de l'île de Tanna, où l'enseignement de la coutume, aux plus jeunes, se fait toujours. Ce sont aussi pour ces populations que la tradition orale est la plus présente et où nous avons pu entendre les légendes les plus intéressantes comme celle de l'apparition du volcan sur l'île d'Ambrym, racontée par le chef de la lignée du volcan au village de « Ianoror³ », près de Ranon :

« Autrefois, la population d'un village du Nord partie dans les hauteurs cultiver un champ d'ignames, délimité par des bananiers. A la période où les fruits verts des bananiers commençaient à sortir, ils virent, la nuit dans la direction de ce champ, une lumière. Les jours suivants, le même phénomène se manifesta. Ils décidèrent par la suite de ramener dans leur village les bananes d'où jaillissait le feu pour mieux le voir tous les soirs. Ils disposèrent le régime sur un lit et le soir il fit du bruit, le terre trembla en même temps que le feu sortit. Le lendemain tout était détruit et le régime s'était planté dans le sol et avait creusé la terre. Ils déplacèrent le régime hors du village et le lendemain, ils constatèrent le même phénomène. Ainsi, ils déplacèrent ce régime petit à petit jusqu'au milieu de l'île où de leur village ils entendaient toujours le bruit mais la terre ne tremblait plus. Les trous, qui ne sont pas des endroits sacrés, créés par le régime lors du déplacement existent toujours ainsi que la lignée du volcan qui est la descendance des villageois qui ont planté les bananiers.

Il existe toujours aujourd'hui trois lieux sacrés, « tabous », sur Ambrym (« Hawot », « Metamli » et Ranvuremto ») qui sont des endroits où sont disposées des pierres rouges lisses et qui sont en connexion avec le volcan ; si l'une des pierres est déplacée, le volcan, correspondant à l'endroit où s'est fait ce déplacement, rentre en activité ; c'est ensuite seulement le chef coutumier du village, où se trouve l'endroit en relation avec le volcan actif, qui se rend sur le lieu et « fait la coutume » et les cérémonies pour calmer le volcan. La reconnaissance du volcan actif se fait par les produits éjectés. ».

Cette légende qui baigne dans une atmosphère de magie, qui a traversé les siècles, traduit quelques vérités géologiques. En effet, la partie la plus ancienne de l'île correspond bien au nord de l'île avec les anciens volcans représentés par les monts TUVIO, VETLAM et DALAHUM. (Warden A. J., 1968).

En fin de compte, le volcan est considéré comme un esprit, qui peut être utilisé à mauvais escient par le biais de la magie, les « boucans », un outil de vengeance. Il est le passage obligé des morts vers l'autre monde (sur l'île d'Aoba, le lac de cratère Voui est le lac des esprits, lieu considéré sacré par la population de l'île). Puis il est considéré, par la population concernée par ses risques, comme mauvais par ses effets sur la végétation (surtout les pluies acides sur Ambrym et Tanna) et bénéfique (Tanna), grâce au pouvoir fertilisant des retombées de cendre pour les jardins de subsistance.

Toutes ces croyances diffèrent radicalement de celles des pays occidentalisés, plus cartésiens, et expliquent la difficulté de faire accepter et comprendre l'utilité de stations de surveillance, basée sur des données scientifiques, sur les îles ayant des édifices volcaniques actifs. Seul le respect et la connaissance de leurs croyances a permis la mise en place de tels instruments scientifiques sur les sites actifs, même si encore aujourd'hui une bonne partie des populations de ces îles se demandent « à quoi ça sert » ! La série de réunions de villages, organisée par l'ORSTOM, dans les îles à risques, a tenté de faire comprendre à la population que la station n'arrêtera pas une éruption ; elle a aucun pouvoir magique. Mais qu'ils essayent seulement d'appréhender ce qui va se passer.

¹ Les villages questionnés sont Ranon, Lalinda Seven Day Adventist, Lalinda prosbiterian, Port-Vato, Lolonwei, Lonwei, Sanesu, Baiap et Craig-Cove.

² Les villages questionnés sont Isangel, Fetukaï, Iwel, Lamnatu, Ipeukow, Yaneumakel, Ipeukel, Yakutapunga et Port-Résolution.

³ Tous les noms en gras et entre guillemets sont en phonétique.

II - Les impacts sociologiques :

2.1 - les perceptions des risques :

Bien qu'il existe des disparités culturelles entre les îles, du nord au sud de l'archipel, les perceptions des risques, volcaniques ou autres, sont grandement dépendantes du mode d'éducation et de la mémoire collective vis-à-vis des événements catastrophiques passés. Pour la population de l'ensemble de l'archipel, le facteur important au niveau de la perception de ces risques est la coutume ou « Kastom », qui, comme l'écrivit Bonnemaïson (1986)¹, « repose sur une tradition orale à la fois réifiée et constamment réactualisée, c'est-à-dire qu'elle s'appuie sur un héritage qu'elle recrée. Dans la mesure où la coutume vit, elle produit sans cesse de nouvelles métaphores, de nouveaux mythes, elle ajoute aux anciens lieux fondateurs de nouvelles configurations spatiales, de nouveaux réseaux. Mais si la coutume évolue, ce sont l'esprit, les attitudes mentales, les valeurs de la culture mélanésienne et la parole des anciens mythes qui continuent à l'animer (p.2-p.3)... Dans ces mythes, l'homme est considéré comme un être magique parmi d'autres, espèce non pas singulière, mais espèce ordinaire dans un monde singulier dont l'essence même est magique. L'univers de la nature et l'univers des hommes naissent ensemble et s'expliquent l'un par l'autre, formant comme une harmonie préétablie, dans laquelle le destin de chacun est de s'insérer et de respecter des lois. Le mythe mélanésien crée donc une totalité qui s'appréhende par l'espace : c'est dans la mesure où les forces cosmiques qui animent le monde se sont fixées et sont devenues des lieux qu'un certain ordre est devenu possible. La mise en forme du chaos initial passe d'abord par la mise en ordre de l'espace (p.65). ».

Lors des missions effectuées dans le cadre du « programme de surveillance des volcans du Vanuatu », sur les îles d'Ambrym (*Wallez et Garaebiti, 1998*) et de Tanna (*Wallez, 1998*), une série de sept questions (questionnaire en annexe II.1) a été posée aux chefs et anciens de villages des régions nord-ouest, sud-ouest et ouest d'Ambrym et des régions ouest, centre brousse, Whitesands, Sulfur Bay et Port-Résolution à Tanna.

Pour ces populations, nous avons pu nous rendre compte que par le passé la coutume modelait profondément la perception des habitants vis-à-vis du volcan et des risques qu'il représente. Un bon nombre d'histoires coutumières nous ont été racontées par les plus anciens des villages qui nous ont précisé qu'actuellement les jeunes ne cherchaient plus à apprendre la coutume et préféraient se tourner vers le monde occidental. Autrefois, les habitants se sentaient protégés par les divers rituels coutumiers (voir encadré N°6) pratiqués avant ou pendant une éruption, alors qu'actuellement quasiment aucun village ne peut prétendre disposer de personnes

¹ Joël Bonnemaïson a étudié pendant plusieurs années la société de Tanna et a laissé un travail remarquablement riche et détaillé.

compétentes dans ce genre de pratiques, excepté sur Tanna, dans la région de Whitesands, où il existe encore des gardiens du volcan qui contrôlent son activité. Maintenant les personnes écoutées sont les chefs de village et les religieux, qui obtiennent les informations par le bureau national de la gestion des catastrophes naturelles et l'ORSTOM, alors qu'auparavant l'information était transmise par les chefs coutumiers. Ce désintérêt découle d'un amalgame de causes diverses. L'évangélisation de l'archipel, l'accentuation des échanges entre îles qui vivaient autrefois en autarcie, le développement de l'enseignement et la présence d'autres cultures sont surtout les principaux facteurs qui accélèrent la disparition de la coutume. Ces faits marquants sont surtout visibles dans la partie sud-ouest d'Ambrym alors que dans la zone nord-ouest, qui ne dispose pas d'aérodrome, la subsistance d'une relative autarcie entretient encore une coutume vivace, avec toutefois une existence de moins en moins marquée, dans la vie de tous les jours, pour les générations les plus jeunes. Il persiste cependant, au niveau de la coutume, la médecine traditionnelle en partie due à l'absence des dispensaires et de personnel médical qualifié dans encore une grande partie de l'île.

Ce questionnaire nous a paru important pour comprendre de quelles manières étaient perçus les divers risques (volcaniques et climatiques) et permettre d'élaborer une approche plus appropriée au niveau de la transmission des informations scientifiques, en attirant l'attention sur ces risques tout en ne perdant pas de vue les divers schémas de pensée. Car même si au niveau scientifique certains risques volcaniques sont considérés comme les plus dangereux (écoulements pyroclastiques, coulées de lave, tsunamis...), par le biais de ce questionnaire, nous nous sommes rendus compte que pour la majorité de la population le risque majeur reste le risque indirect des pluies acides qui représentent un impact direct constant sur les cultures vivrières, la végétation et les eaux de consommation (Ceci est bien visible depuis le mois de février 1998 sur Ambrym (*Lardy et al, 1998*)). La majorité des personnes interrogées ne considèrent pas les autres risques comme tels étant donné leur fréquence d'apparition beaucoup moins élevée en comparaison de celle des pluies acides qui engendrent des dégâts importants, essentiellement dans la zone située entre Emiotungan et les quelques kilomètres après Pelipetakeuer, sur l'île d'Ambrym, où la végétation est totalement brûlée, ce qui porte préjudice à l'économie de cette région qui est essentiellement basée sur la production de coprah. Ceci explique le fait que ces phénomènes soient perçus par la population comme les plus grandes menaces volcaniques avec, en seconde position, les retombées de cendre qui entraînent aussi des effets dévastateurs sur la végétation et la population.

Des efforts de sensibilisation de la population vis-à-vis des risques volcaniques ont vu le jour à partir de novembre 1996, pour toute l'île d'Aoba, et en décembre 1997, pour la zone ouest d'Ambrym, avec la mise en place de séries de « tok-tok », réunion de village, réalisée par l'ORSTOM, dans le cadre du « programme de surveillance des volcans du Vanuatu », accompagné d'un représentant du Bureau national de la gestion des catastrophes naturelles (National Disaster Management Office) du gouvernement du Vanuatu.

2.2 – Les populations à risques :

Cette étude s'est portée sur les îles de Tanna, Ambrym, Aoba et Gaua en utilisant les cartes de menaces (pour Tanna p.50, Ambrym p.56, Aoba p.60 et Gaua p.64), pour définir les zones touchées, et les données de VANRIS, pour le recensement de la population des différentes îles, basé sur le recensement de la population de 1989. La population de chacune de ces îles est exposée à des risques différents (voir tableau II. 5).

Tab. II.5 : Récapitulatif des risques et des zones de sécurité pour chaque île :

île	Risques principaux	Zone à risques	Zones de sécurité
TANNA	retombées de cendre pluies acides projectiles <i>déferlantes</i> <i>glissements de terrain</i> <i>tsunamis</i>	Autour du horst, du volcan et partie est	Régions centre, est, sud et nord
AMBRYM	retombées de cendre pluies acides projectiles <i>coulées de lave</i> <i>lahars</i> <i>éruptions phéato-magmatiques</i>	Plaine de cendre et régions est et ouest	Région nord
AOBA	<i>retombées de cendre</i> <i>déferlantes</i> <i>lahars</i> <i>éruptions phéato-magmatiques</i>	10 km autour du lac Vouï	Walaha-Longana et Lolopuepue
GAUA	pluies acides retombées de cendre lahars projectiles <i>déferlantes</i>	Régions nord et nord-est	Région sud

NB : Les risques écrits en italique sont présents lors d'activité cataclysmale, les autres pour une activité « normale » à modérée.

Actuellement, ces volcans sont dans une phase d'activité « normale » ; les seuls risques encourus par la population et l'environnement sont les pluies acides qui ont des impacts importants sur les îles d'Ambrym, de Gaua et, de manière plus irrégulière, de Tanna (l'étude des impacts de ces pluies sera détaillée dans le chapitre suivant.). Par contre, si les activités des volcans venaient à s'intensifier la population et l'environnement de ces îles subiraient des risques beaucoup plus dévastateurs. Ces risques ne sont pas les mêmes pour toutes les îles suivant la présence (Aoba et Gaua)

ou l'absence d'un lac de cratère, le recouvrement du terrain (sols nus ou grandement recouverts de végétation), la géomorphologie de terrain (pentes douces ou fortes), la direction des vents dominants (Sud-est) et la localisation des événements (dans une caldeira (cas de Tanna et d'Ambrym) ou près de l'océan (cas d'Aoba et d'Ambrym, pour les éruptions phréato-magmatiques)).

Dans les tableaux II.7 et II.8 sont estimées les populations susceptibles d'être touchées par ces divers risques. Dans le tableau II.7, tous les risques sont pris en compte alors que pour le tableau II.8, uniquement ceux pour des activités volcaniques « normales » à modérées qui sont fréquentes. Alors que l'activité cataclysmique est à l'échelle humaine plus exceptionnelle.

Tab. II.7 : Récapitulatif de la population à risque :

île	Population à risque*	Population totale	% Population
TANNA	17571	19639	89,5
AMBRYM	6977	6977	100,0
AOBA	5723	8580	66,7
GAUA	1260	1594	79,0

* englobe tous les cas d'activité possibles et toutes les zones à risques.

Tab. II.8 : Récapitulatif de la population à risque en cas d'activité normale à modérée :

île	Population à risque	Population totale	% Population
TANNA	16554	19639	84,3
AMBRYM	312	6977	4,5
AOBA	5723	8580	66,7

Ces résultats traduisent l'importance des risques que représentent les volcans du Vanuatu qui touchent 31531 personnes (données VANRIS) soit un peu plus de 18% de la population totale de l'archipel, estimée à 172900 (juin 1996) et 13% en ne tenant compte que des activités normale à modérée. Ceci rend nécessaire la mise en place de systèmes de déplacement ou d'évacuation de la population pour ces zones. Les déplacements sont possibles sur les îles de Tanna et de Aoba mais difficiles sur Gaua et sur certaines zones d'Ambrym. Par

contre, l'évacuation maritime est difficile pour la plupart de ces îles par manque de zones portuaires et de bateaux disponibles de grande capacité, au Vanuatu.

2.3 : Les impacts sur la santé :

Les données des impacts sur la santé des risques naturels sont difficiles, en général, à collecter. De ce fait, il est rare d'obtenir des statistiques au sujet du nombre de survivants, de blessés et des causes de mort cliniques. Ceci étant d'autant plus complexe au Vanuatu où le recensement de la population est incertain et où les données sur le nombre de morts et/ou de blessés par les agents volcaniques sont peu abondantes et correspondent à une échelle de l'histoire volcanique trop courte pour tirer des conclusions. L'éruption qui semble avoir été la plus meurtrière fut l'événement tectono-volcanique de Kuwae (~ 1452 A.D.), dont la légende orale retrace le cataclysme qui ne laissa qu'un survivant (Monzier et al., 1994).

A partir des éruptions étudiées, qui se sont produites entre 1900-1982, dans le monde, des statistiques ont montré que 43% des morts résultent des écoulements

pyroclastiques, 36% des lahars et d'autres écoulements et 17% des retombées de téphra et des projectiles. Par contre, les risques volcaniques tels que les coulées de lave, les gaz et les pluies acides et les effets atmosphériques sont peu abondantes comme agents de blessures (*Blong, 1984 et Baxter, 1990*).

2.3.1 - Les écoulements pyroclastiques :

Les causes de mort que représentent les écoulements pyroclastiques étudiées lors de l'éruption de la Soufrière en 1902 (*Nature, 1903, 15 janvier : 257*) sont, en ordre d'importance, les suivantes :

- asphyxie par inhalation de cendre chaude (un air sec à 500°C ne peut être respirer que trois minutes (*Foster, 1976 : 164*),
- brûlure par des pierres, lapillis et de la poussière chauds,
- chute de pierres,
- choc nerveux,
- brûlure par la vapeur,
- et la foudre.

Des mesures de protection ont été suggérées par l'UNESCO (1979) contre les écoulements pyroclastiques de faible volume comme par exemple des conduits de béton emmurés de gros diamètre. L'utilisation de masque est préconisée pour limiter l'asphyxie et des études de transmission de la chaleur par radiation à travers les matières des vêtements ont montré que la laine et le coton épais transmettent moins de 5% de la chaleur radiante contre 16% pour la toile de coton et 60% pour le nylon (*King, 1962 et Foster, 1976 : 164*).

D'autre part, pour les écoulements pyroclastiques relativement petits, qui se déplacent dans les points bas topographiques, les zones de protection sont les reliefs éloignés des vallées d'écoulement.

2.3.2 - Les lahars :

En général, les plus importantes pertes humaines ont été produites par des lahars primaires engendrés par la vidange des lacs de cratère (d'où les risques importants qui menacent les populations d'Aoba et de Gaua si les volcans venaient à rentrer dans une phase d'activité plus intense), par la fonte des neiges et de la glace, qui ne représentent aucun risque au Vanuatu (Cas lors de l'éruption du Tokachi le 4 mai 1926, au Japon et de celle du Nevado del Ruiz le 13 novembre 1985, en Colombie qui fit 22000 morts à Armeno (*Gautier, 1995*)).

Des risques de formation de lahars secondaires peuvent aussi se produire par remaniement des sols meubles par de fortes pluies (Cas du Pinatubo). Ce type de genèse de lahars ne doit pas être négligée, au Vanuatu, étant donné la grande proportion de cendre sur les pentes des volcans et les fortes précipitations, notamment lors des cyclones. Mais, fort heureusement, l'importance de la végétation, sur les

pentés, sur les îles d'Aoba, de Gaua et d'Ambrym, limite le remaniement des cendres par les pluies.

Des lahars ont été produits lors des éruptions de 1870± 1 (*Simkin et al., 1981*) et de 1914 qui détruisit un village sur le flanc est de l'île d'Aoba (*Warden, 1970* et *Aubert de la Rüe, 1956*).

Pour ce type de risque, les zones de protection sont les mêmes que celles pour les écoulements pyroclastiques.

2.3.3 - Les retombées de téphra :

Les retombées de cendre causent peu de morts, à court terme, si ce n'est celles liées aux effondrements des toits des maisons, pour des épaisseurs de dépôts de cendre importantes ou celles liées aux gaz nocifs qui les accompagnent. Mais, elles peuvent créer des irritations des yeux et des voies respiratoires.

Par contre, à plus long terme, il peut se produire l'apparition de maladies chroniques, dues à l'inhalation de particules fines de diamètre inférieur à 10 µm, comme la silicose, créée par l'inhalation de particules fines de silice cristalline (sous l'une de ces trois formes allotropiques, le quartz, la cristobalite ou le tridymite), qui entraîne des changements fibreux au niveau des poumons. Ou encore le développement de bronchites chroniques ou de pneumo(vol)conioses, engendrées par l'absorption de poussières toxiques comme le talc et les silicates.

Des mesures simples de protection sont applicables pour ce genre de risque comme :

- le port de lunettes, de parapluies et de masques (ou de chiffons mouillés pour filtrer les gaz solubles),

- la Croix Rouge préconise de boire beaucoup de liquides clairs, comme le thé ou l'eau, pendant des retombées de cendre, mais surtout d'éviter de consommer du chocolat chaud et du lait, qui favorisent la rétention des poussières par la production de mucus. Ils suggèrent aussi de faire fonctionner la douche (absence de douche dans les villages ruraux au Vanuatu) ou de faire bouillir de l'eau pour humidifier l'air afin de limiter les problèmes respiratoires et les irritations de la gorge.

2.3.4 - Les autres risques :

- *Les gaz et les pluies acides* peuvent aussi entraîner des troubles de la santé ou même la mort, suivant leurs concentrations. Les moyens de protection sont similaires à ceux utilisés pour les retombées de cendre.

Lors de l'éruption de 1979 du Benbow sur Ambrym, les gaz et les cendres émis ont causé des dégâts importants sur la végétation sur 90 km² et des troubles gastriques et des brûlures pour les populations des villages de Baalap et Lalinda (*Simkin et al., 1981*).

- *Les décharges électriques et les ondes de chocs atmosphériques*, essentiellement générées lors de fortes éruptions volcaniennes, pliniennes ou péleennes, sont des menaces qui ne représentent aucun risque pour l'humain s'il se tient à distance des zones découvertes, d'objets métalliques, de l'eau ou s'il se met à l'abri dans un

bâtiment muni de paratonnerres ou de structure métallique, tout en évitant de rester près des fenêtres, du système électrique et du réseau de plomberie.

- *Les coulées de lave* représentent, en général, peu de danger si ce n'est pour les personnes prenant le risque de s'en approcher de trop près. Pourtant sur Ambrym, lors de l'éruption de 1913, 21 personnes trouvèrent la mort par une coulée de lave qui détruisit l'hôpital de la mission presbytérienne à Lon-wol-wol (Gregory, 1917).

- *Les projectiles* peuvent représenter des dangers importants dans le périmètre proche des cratères. Les casques en fibre de verre sont une certaine protection pour les projectiles de faible densité. Deux accidents tragiques se sont produits sur le Yasur à Tanna à cause de l'imprudence d'une touriste japonaise et d'un guide ni-Vanuatu en 1995.

- *Les tremblements de terre volcanogéniques* peuvent engendrer la mort par l'effondrement des bâtiments ; seules des constructions parasismiques peuvent minimiser les risques étant donné l'impossibilité de prédire ces phénomènes.

- les *tsunamis* volcanogéniques sont difficilement prévisibles, si ce n'est à une distance considérable de la source. L'évacuation de la population des zones côtières à l'intérieur des terres, avant le début d'une éruption, semble être la meilleure protection.

- D'autres causes de mortalité sont susceptibles de se produire comme des *épidémies*. Les trois manières indirectes dans lesquelles les éruptions volcaniques accélèrent les maladies endémiques sont les suivantes :

- L'abaissement du pouvoir résistant des systèmes digestif supérieur, respiratoire et oculaire à une invasion microbienne par les effets irritants et dépressifs des gaz toxiques,

- la contamination des cours d'eau et des puits par des impuretés organiques,

- et la dépression morale qui affaiblit le système immunitaire des êtres vivants (Johnston-Lavis, 1914 : 63).

Une autre cause indirecte de mortalité peut être liée à la *famine* engendrée par la destruction des cultures et du bétail par les divers risques volcaniques cités précédemment. En 1988, lors de l'activité importante du Yasur sur Tanna, les émissions de cendre acides sur les plantations locales, associées au passage des cyclones UMA, en 1987 et BOLA en 1988, entraînèrent une petite famine.

2.4 - Conclusions :

Si l'on considère les volcans les plus menaçants, en englobant tous les types d'activité y compris les cataclysmes (dont la récurrence est faible à l'échelle humaine), c'est un peu moins de 20% de la population de l'archipel qui est actuellement directement concernée par les risques volcaniques.

Il est difficile, compte tenu du peu de données sur les éruptions passées et sur leurs conséquences, de connaître les manifestations qui ont eu le plus d'impacts. L'étude des

dépôts nous renseigne sur l'activité passée de plusieurs volcans de l'archipel et permet d'élaborer les cartes de menaces potentielles pour l'avenir.

Les stations de surveillance, dont les observations s'inscrivent dans la durée, préviennent d'un changement d'activité et associées à des opérations scientifiques ponctuelles, elles apportent un complément à la connaissance du fonctionnement d'un volcan. Comprendre et appréhender ne limitera que les catastrophes les plus importantes. C'est pour cette raison principale qu'il est nécessaire de maintenir ces équipements, ainsi que de continuer à informer pour sensibiliser les décideurs (politiques) et la population au sujet des menaces et des conséquences des volcans actifs afin d'éviter une mégarde au sujet des manifestations volcaniques, (comme cela a déjà été le cas sur Tanna et Ambrym où la proximité de feux de brousse dans la zone des cratères développèrent l'imagination humaine!). Des gestions scientifique et politique des risques volcaniques sont indispensables pour la sécurité des populations vulnérables (rôles importants de la sensibilisation de la population¹ et des plans de déplacement) et pour réduire, à court et moyen terme, les conséquences économiques de ces menaces (prise en compte dans les plans de développement). Ces gestions des menaces sont nécessaires d'autant plus que la pression démographique importante, que connaît le Vanuatu, engendre une augmentation des populations vulnérables.

Dans le chapitre suivant, les impacts économiques des risques volcaniques vont être traités pour chaque île, considérée à risque, avec au préalable une présentation rapide des différents édifices volcaniques concernés ainsi qu'un récapitulatif de leur activité passée.

¹ Ce sont les buts que se sont fixés l'ORSTOM, le département de la Géologie et des Ressources en Eau et le Bureau National de la gestion des catastrophes, avec les « tok-tok » (dialogues, en bishlamar), pour informer les communautés dans les îles menacées. L'organisation non gouvernementale (VANGO, VANuatu Non Government Organisation), a aussi organisé des ateliers (Workshop), dans les provinces de Tafea, Malampa et Penama, sur la prévention des catastrophes naturelles et anthropiques au niveau des provinces et des communautés (les risques volcaniques sont présentés par l'ORSTOM).



Photo N°1 : Yasur avec la station de surveillance en premier plan (Evin P., Cliché ORSTOM).

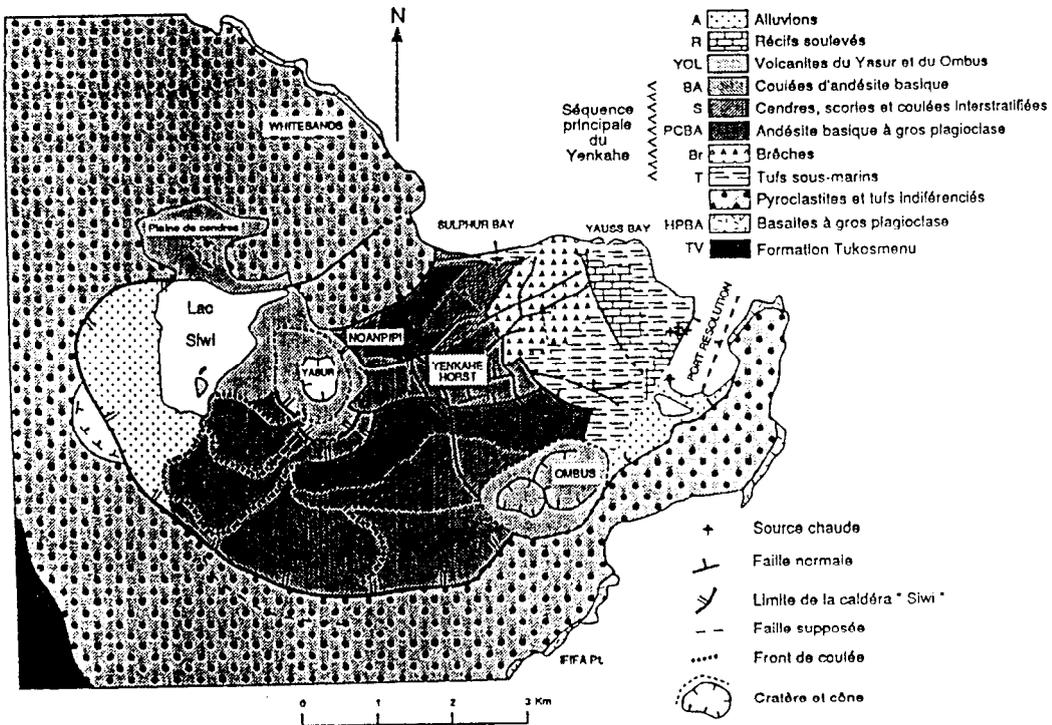


Fig. II.1 : Carte détaillée de l'unité Siwi sur Tanna comprenant le volcan Yasur (Eissen et al., 1991).

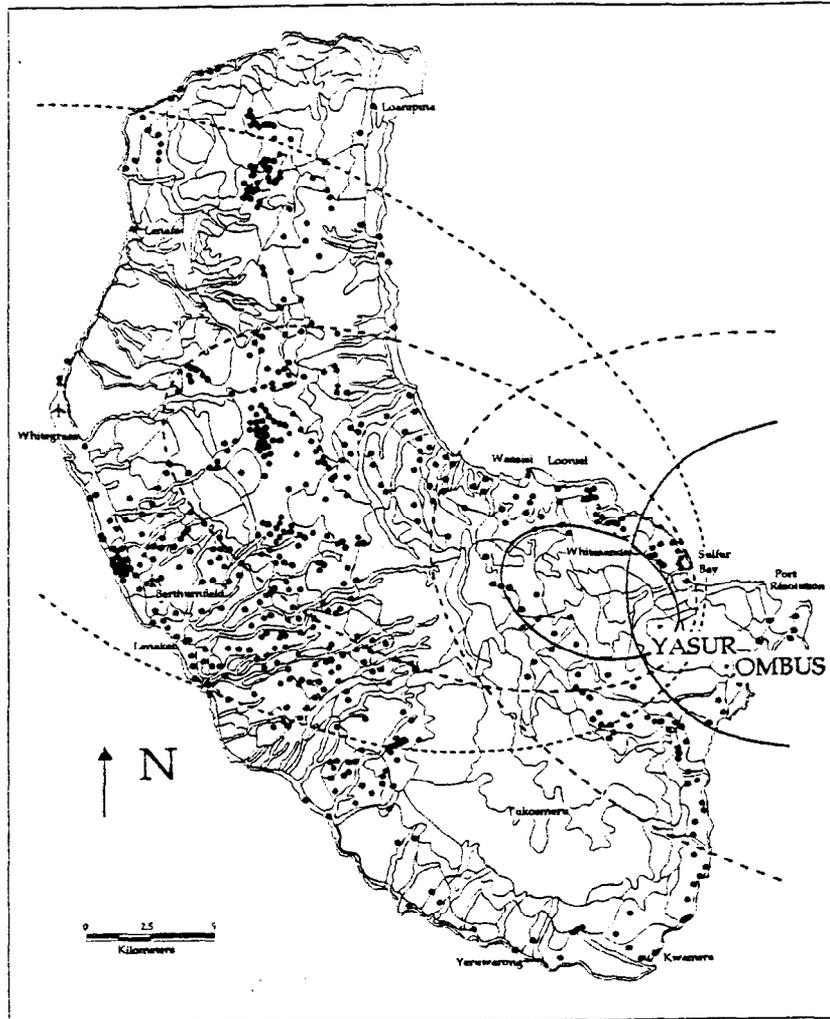
III - L'étude des impacts économiques¹ :

3.1 - Présentation des édifices volcaniques :

3.1.1 - TANNA :

Tab. II.9 (source données VANRIS)

superficie (ha)	superficie utilisée (ha)	nbre de ménages	nbre de villages	population
55978	20060	3943	592	19639



Zones à risques :

Retombées de cendre :

- Zone 1
- - - Zone 2
- · · Zone 3

Cas d'une éruption cataclysmale :

- Zone 4
- - - Zone 5
- Villages

Fig. II.3 : Les différentes zones à risques pour l'île de Tanna (Source VANRIS).

¹ Toutes les cartes VANRIS en couleurs sont regroupées dans la pochette en fin de rapport.

VOLCANIC HAZARD MAP FOR TANNA ISLAND CARTE DES MENACES VOLCANIQUES POUR L'ILE DE TANNA (VANUATU)

by / par Claude ROBIN & Michel MONZIER (ORSTOM)

Present volcanism at Tanna is represented by the Yasur cinder cone. Its activity follows a long volcanic history in the southeastern part of the island, whose main phases, since approximately 10,000 years ago, have produced : 1/ lava flows; 2/ extensive glowing ash flows (ignimbrites) that covered the entire region from Kwamera to Waasisi; and 3/ the construction of another small volcanic cone, the Ombus, presently inactive. During future eruptive events, four types of activity have to be considered :

Type 1 - Low activity, restricted to the Yasur crater : this "normal", background activity, the most frequently, presents no hazard, except on the crater edge which must always be visited with caution.

Type 2 - Yasur commonly has periods of more explosive activity lasting weeks or months, that results in the ejection of bombs in the area surrounding the crater and minor falls which, by the effect of the Trade Winds, are distributed to the northwest, sometimes towards the central part of the island or to the west coast (orange ellipse). During such a period, the access to the crater edge and its surroundings must be prohibited, due to frequent and intense fall of blocks and bombs. Elsewhere, hazard is not great. In the Whitesands region, crops often suffer from acid rains.

Type 3 - Less frequently, Yasur also experiences larger and more destructive eruptions. Since 1500 years ago, such eruptions have occurred several times. They produced thick ash and lapilli deposits (several centimeters to a few tens of centimeters) northwest of the crater (red ellipse). Usually, type 2 activity precedes the type 3 activity. It would require immediate evacuation of populations of the northwest sector living within 5 km of the crater, where bombs, small blocks and large quantities of ash are likely to fall. If the eruption persists, evacuation must be enlarged to the entire red ellipse area, where crops and most of the wood houses would be destroyed.

Type 4 - Cataclysmic eruption - The Yasur volcano lies over a large and shallow (less than 10 km in depth) magmatic chamber whose centre is located between Port Resolution and Sulphur Bay. Thus, the possibility of a huge eruption, which would produce voluminous ash flows, consequently destroying the whole southeastern part of the island, must not be ruled out, while not very likely. Such an eruption would be preceded by numerous earthquakes and landslides along the sea-coast that, although dangerous, would give alert, allowing evacuation of the population towards the west coast and the northern end of the island, the two regions that would be safe of the effects of such a cataclysm. All crops being destroyed, a large aid effort would be immediately required.

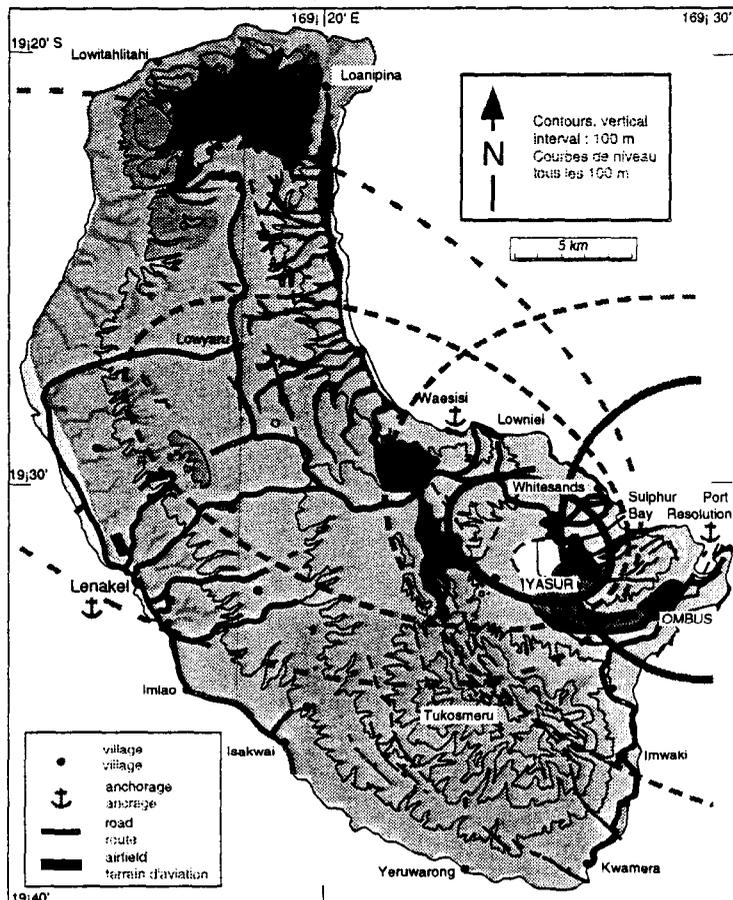
De nos jours, le volcanisme de Tanna est représenté par le cône du Yasur. L'activité de ce cône prolonge une longue histoire volcanique dans la zone sud-est de l'île qui a produit, depuis environ une dizaine de milliers d'années, des laves, des nuées ardentes (nuages de cendres très chauds contenant des blocs) entre Kwamera et Waasisi, et la construction d'un ancien cône, l'Ombus. 4 types d'activité, d'intensité croissante, sont à considérer :

Type 1 - Faible activité, restreinte au cratère du Yasur : il s'agit de l'état le plus fréquent (activité dite "normale"), n'entraînant aucun danger, sauf sur le rebord du cratère, qui doit toujours être visité avec précaution.

Type 2 - Une activité plus explosive, au cours de périodes de quelques semaines à quelques mois. Des bombes et blocs sont éjectés autour du cratère du Yasur et des cendres retombent, sous l'effet des Alizés, au Nord-Ouest du cône, atteignant parfois le centre et la côte ouest de l'île. Pendant ces périodes, l'accès au cratère et à ses environs immédiats doit être interdit. Ailleurs, le danger est faible, les conséquences les plus néfastes de telles éruptions tant surtout des pluies acides menaçant les cultures proches du cône (région de Whitesands). Les cendres peuvent toutefois provoquer l'effondrement des toits les moins résistants.

Type 3 - Des éruptions plus fortes -heureusement moins fréquentes- peuvent se produire, comme ce fut le cas plusieurs fois depuis 1500 ans. De telles éruptions engendrent des retombées épaisses (quelques centimètres à quelques dizaines de centimètres) de petits blocs scoriaqués (lapilli) et de cendres au nord-ouest du cratère (ellipse rouge). Ces éruptions surviennent probablement après une période d'activité croissante de type 2. L'évacuation des populations dans un secteur de 5 km au Nord-Ouest du cône volcanique, où des blocs de scories et de grandes quantités de cendres sont susceptibles de retomber, doit alors être immédiate. Si l'activité persiste, l'évacuation doit alors concerner la totalité de la zone limitée par l'ellipse rouge. Dans ce secteur, les cultures sont totalement détruites ainsi que les habitations en bois et chaume.

Type 4- Eruption cataclysmique - Le Yasur tant au-dessus d'un volumineux réservoir magmatique situé à faible profondeur (moins de 10 km) entre Port Resolution et Sulphur Bay, l'éventualité, à l'échelle du siècle ou du millénaire, d'une éruption cataclysmique ne peut pas être cartée. Celle-ci produirait des nuées ardentes qui recouvriraient toute la partie sud-est de l'île, y détruisant toute forme de vie. Une telle éruption serait toutefois précédée par de nombreux tremblements de terre dans cette région, probablement accompagnés de glissements de terrain et de soulèvements de la côte, lesquels, bien que très dangereux, donneraient l'alerte. L'évacuation des populations vers la côte ouest et l'extrémité nord de l'île, deux régions relativement à l'abri des effets d'un tel cataclysm, devrait alors intervenir rapidement. Toutes les cultures ayant disparu, une aide immédiate et massive serait alors indispensable.



YASUR ACTIVITY / ACTIVITE DU YASUR :

The emission of lava flows does not represent hazard for the population / L'émission de coulées de laves ne représente pas un danger pour les populations.

POSSIBLE THICKNESS OF ASH DEPOSITS FOR ERUPTION TYPES / ÉPAISSEUR POSSIBLE DES RETOMBÉES DE CENDRES AU COURS D'UNE ÉRUPTION SUIVANT LES TYPES D'ACTIVITÉ 2 ET 3

-  Type 2 / Type 2 : a few millimeters to a few centimeters / quelques millimètres à quelques centimètres.
-  Type 3 / Type 3 : more than 10 centimeters / plus de 10 centimètres.
-  Type 2 / Type 2 : a few millimeters / quelques millimètres.
-  Type 3 / Type 3 : a few millimeters to a few centimeters / quelques millimètres à quelques centimètres.
-  Type 2 or 3 / Type 2 ou 3 : a few millimeters / quelques millimètres.

CASE OF A CATACLYSMAL ERUPTION IN THE PORT RESOLUTION AREA / CAS D'UNE ÉRUPTION CATACLYSMIQUE DANS LA ZONE DE PORT RESOLUTION

-  Wholly devastated zone (by earthquakes and ash flow eruptions) / Zone entièrement dévastée par des tremblements de terre et par le recouvrement de nuées ardentes (coulées scoriaquées).
-  Zone with a strong probability of ash flows / Zone à forte probabilité de recouvrement par des nuées ardentes.

In addition : strong probability for tsunamis on the east coast and ash deposition over the whole island / En plus : forte probabilité de raz de marée sur la côte est et de dépôts de cendres sur la majeure partie de l'île.

-  Alluvium and raised beach / Alluvions et plages soulèvements
-  Recent raised reef / Récifs coralliens récents soulèvements
-  Raised limestones / Calcaires soulèvements

OLD VOLCANICS / VOLCANISME ANCIEN

-  Pyroclastic apron (Old Tanna ignimbrite; Robin et al., 1994) / Produits pyroclastiques (Old Tanna ignimbrite; Robin et al., 1994).
-  Old Tukosameru volcanic centre / Vieux volcan Tukosameru

RECENT VOLCANICS / VOLCANISME RECENT

-  Yasur and Ombus volcanics / Cônes du Yasur, de l'Ombus, et cendres récentes.
-  Prehistoric lava flows / Coulées de lave préhistoriques
-  Ash flows and Sulphur Bay raised waterlain deposits (Siwi ignimbrite) / Coulées de cendres (nuées ardentes) et taponnées sous-marines soulèvements de Sulphur Bay (ignimbrite Siwi).
-  Basal lava flows / Coulées de laves basales

Geological data / G éologie d'après : 1 - J. N. Carney & A. Macfarlane, 1975-1976; 2 - C. Robin, M. Monzier & J.-Ph. Eissen, 1990-1994.

ORSTOM, 1996

Le volcan actif Yasur sur Tanna (voir Photo N°1), île située par 19°32' S et 169°21' E (tab. II.9), est un petit strato-volcan basaltique qui appartient à l'unité de Siwi, formée du Pléistocène supérieur à maintenant, constituée d'andésite-basique et d'andésite. Il se trouve au sud-est de l'île, qui a une forme de croissant dans la direction nord-sud, et monte jusqu'à une altitude de 365 m avec un diamètre de l'ordre de 3 km (figure II.1, *Eissen et al.*, 1991). Le Yasur, dont l'activité strombolienne (*Nabyl et al.*, 1997) est assez constante depuis deux siècles (encadré n°7), comprend le cône pyroclastique asymétrique du volcan et la plaine de cendre qui s'étend au nord-ouest de celui-ci dans la pseudo-caldeira.

Depuis novembre 1992, une station de surveillance fonctionne, sans interruption, sur la plaine de cendre à 2 km du cratère. Le système utilise des techniques spatiales pour la transmission des données (ARGOS). Le CTIV assure la gestion de ces données, qui sont distribuées sur le réseau Internet.

L'ORSTOM, a élaboré une carte de menaces de l'île (figure II.2) avec la localisation des diverses zones concernées par les risques volcaniques et une légende détaillée pour les zones affectées, suivant l'activité du volcan. Les observations passées rendaient compte d'un rythme « saisonnier » avec des explosions et des dégazages plus nombreux en saison humide (*Carney et Macfarlane*, 1979), mais le suivi permanent depuis cinq années, a montré également que les phases de petits paroxysmes, à certaines périodes, et de baisse d'activité importante ne sont pas en relation avec les seuls critères météorologiques (voir les histogrammes en annexe II.2).

Les différentes régions, concernées par les risques volcaniques, ont été désignées sous le terme de « zone ». Ces zones correspondent aux différentes régions délimitées sur la carte de menaces (voir figure II.2).

Les trois premières zones (Zones 1, 2 et 3) correspondent à celles qui subissent ou qui sont susceptibles de subir les effets des retombées de cendre, suivant l'activité du volcan.

Les zones 4 et 5 sont concernées si le volcan avait une activité cataclysmale. Actuellement, le volcan est dans une phase d'activité faible à « normale », c'est-à-dire qu'il se limite à quelques dégazages et des émissions de retombées de cendre dans la zone 1.

Encadré N° 7 : Chronologie de l'activité du Yasur :

Dés le XVIII^e s., les premiers navigateurs qui découvrirent le Vanuatu laissèrent des témoignages sur l'activité de ce volcan et jusqu'à ce jour une multitude de documents n'a cessé de s'accumuler. Elle reste, toutefois, insuffisante pour tracer une chronologie complète de l'activité.

- **1774** : James Cook décrit le premier l'activité du Yasur qui expulsait des grandes quantités de cendre, des projections balistiques avec des explosions violentes. Et il mentionna l'existence de sources d'eaux chaudes à proximité du volcan.

- **1793** : Colonnes de cendre d'une prodigieuse hauteur. (*Campbell, 1889*).

- **1796 & 1825** : Témoignages de marins sur l'absence d'activité du Yasur (*O'Reilly, 1956*).

- **1840 & 1842** : Eruption très importante en 1840 avec des émissions de pierres poncees et en 1842, émissions de coulées de lave.

- **1854** : Activité importante qui coûta la vie à deux personnes et détruisit des habitations et des jardins (*Adams, 1984*).

- **1862-1865, 1872-1873 & 1875** : Reprises d'activité plus importantes avec des fréquences d'explosions relativement courtes.

- **1878** : Activités sismique et volcanique importantes. Port-Résolution fut partiellement bouché par un glissement de terrain; formation de fissures entre Port-Résolution et le volcan d'où sortaient des colonnes de fumées chargées; un tsunami local prit naissance (*Campbell, 1889*) et l'émission d'une petite coulée de lave du volcan vers le sud (*Aubert de la Rüe, 1956*).

- **1888** : Eruptions volcaniques importantes accompagnées d'un tremblement de terre en avril qui limitèrent l'accès maritime à Port-Résolution (*Campbell, 1889*).

- **1889, 1890-1891 & 1893** : Importantes chutes de cendre durant toutes ces années avec l'apparition d'un lac de lave en juin 1890.

- **1919** : Glissement de terrain sur le flan nord-ouest.

- **1951 & 1959-1960** : Activité strombolienne en 1951 (*Taylor, 1956*) puis activité « normale » avec émissions vulcaniennes de retombées de cendre dans la partie est de l'île (*Williams et Warden, 1964*).

- **1963-1967** : Le volcan est passé par des phases d'activité importante (avril-mai 1964, projections de lave jusqu'à 300m de haut) à une activité moindre avec des émissions sporadiques de cendre et des explosions passagères (*N.H.G.S. Ann. Rep. For 1964*).

- **1968** : Activité importante avec émissions de coulées de lave et de colonnes de gaz et de cendre.

- **1969-1989** : Alternance d'activité quasiment « normale » (1969-1971, 1974, 1976, 1978-1980, 1989), avec des émissions de colonnes de cendre, et d'activité plus soutenue comme en 1972 et 1987 après le passage des cyclones Carlotta et Uma qui engendrèrent des pluies acides détruisant la végétation, en 1975 avec l'accentuation des émissions de gaz et cendre après la saison des pluies et en 1977 avec des éruptions violentes avec expulsions de projectiles.

- **1992** : Mise en place d'une station de surveillance en novembre dans la zone sommitale.

- **1993** : Activité strombolienne soutenue; installation d'une seconde station de surveillance à 2 km du cratère en novembre.

- **1994** : Activité importante avec expulsions de panaches jusqu'à 1500 m de hauteur entraînant l'arrêt de la première station menacée par les projections de bombes et de blocs volcaniques; 12 cm de dépôts de retombées de cendre à 2 km de l'évent (*Lardy et al., G. V. N., 1995*).

- **1995** : activité importante le premier trimestre avec la mort d'un guide ni-vanuatu, des suites de blessures par une bombe volcanique, et celle instantanée d'une touriste japonaise par une bombe, en tir direct, d'une quinzaine de kilogrammes.

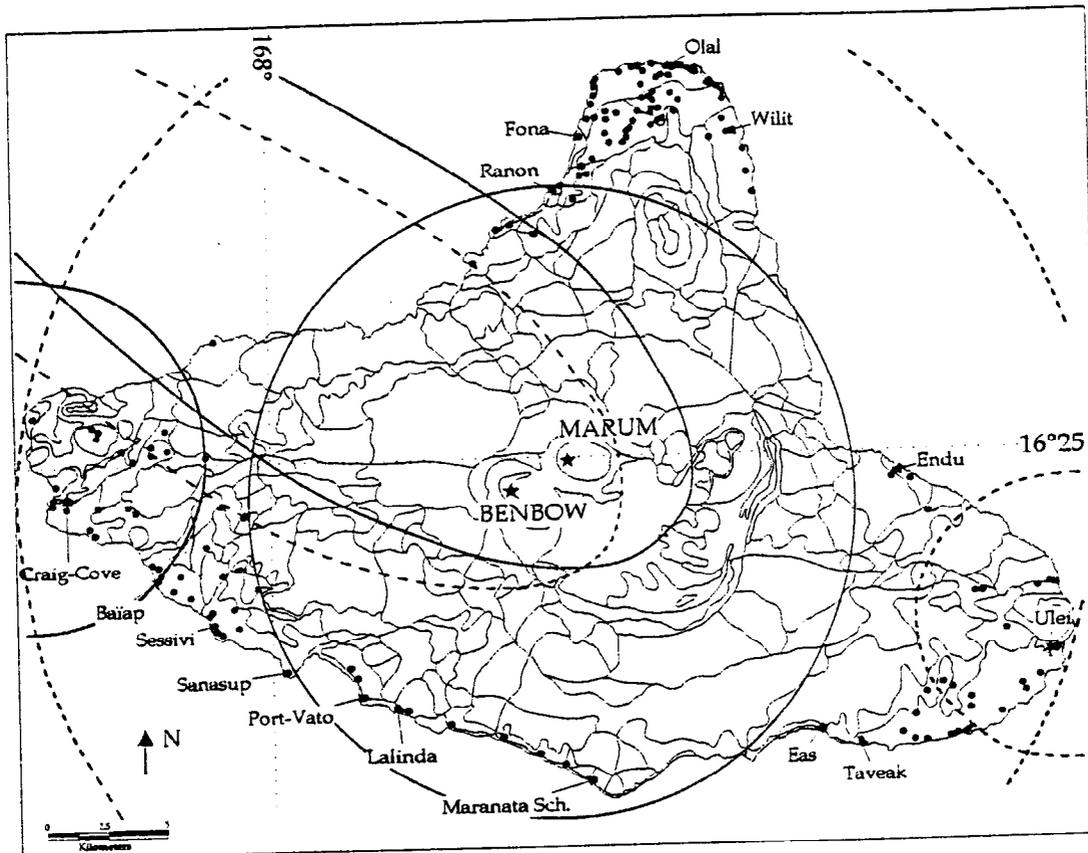
- **1996** : Activité strombolienne importante des trois événements présents lors du second semestre avec émissions de cendre et des dégazages importants (*Matera et al, 1997*).

- **1997-1998** : Baisse de l'activité dès le premier trimestre 1997 et petite reprise fin décembre 1997 à avril 1998.

3.1.2 - AMBRYM :

Tab. II.10 : (source données VANRIS)

superficie (ha)	superficie utilisée (ha)	nbre de ménages	nbre de villages	population
68454	10947	1442	177	6977



Zones à risques :

Cas de forte activité :

- Zone 1
- - Zone 2

Activités phréato-magmatiques :

- Zone 3
- - Zone 4

Cas d'activité moyenne :

- - Zone 5
- Zone 6
- Villages

Fig. II.5 : Les différentes zones à risques pour l'île d'Ambrym (VANRIS).



Photo N°2 : Benbow (à droite) et Marum (au centre) avec la coulée de lave noire de 1988/1989 sur la plaine de cendre (Lardy M., cliché ORSTOM).

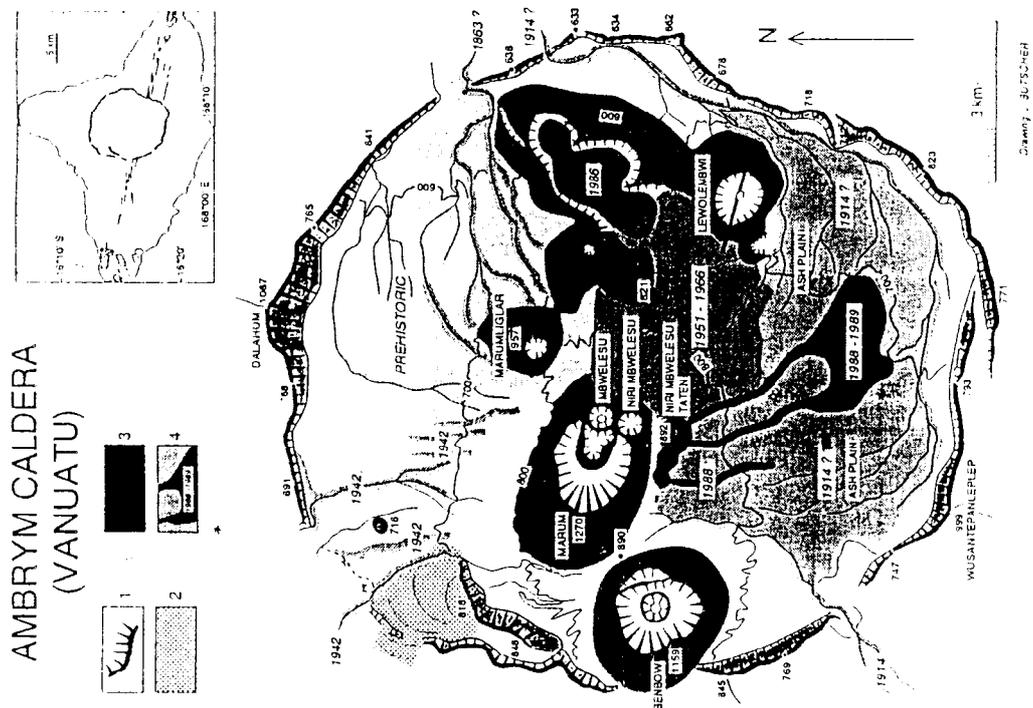


Fig. II.4 – Croquis volcanologique de la caldera, 1 : bords de la caldera, 2 : écoulement de lave visqueuse andésite-basaltique, 3 : cônes volcaniques, 4 : écoulements de lave historiques et préhistoriques (Robin et al., 1993).

Ambrym (voir Tab. II.10), située par 16°15 S et 168°05 E, est un strato-volcan basaltique allongé selon une fracture N 105 recoupant une fracture N 5. A son sommet se trouve une caldeira d'environ 12 km de diamètre, contenant la plaine de cendres (600-700 m d'altitude) et occupée par deux cônes volcaniques principaux, le Benbow (1159 m d'altitude) et le Marum (1270 m d'altitude), avec la présence de plusieurs cônes adventifs, le Mbwelesu, le Taten Mbwelesu et le Niri Taten Mbwelesu (voir figure II. 4 et Photo N°2). Ces cratères sont régulièrement occupés par des lacs de lave, qui se vidangent périodiquement, ce qui est le cas, actuellement, du Benbow et du Mbwelesu. Cet ensemble de volcans est en activité permanente (voir encadré N°8) et est considéré comme l'un des volcans les plus actifs de tout l'arc.

A cause du caractère dangereux que peut prendre ce volcan, en octobre 1993, il a été équipé d'une station de surveillance, située à deux kilomètres des cratères du Marum et du Benbow.

Depuis une cinquantaine d'années ce volcan n'a pas connu d'éruptions extra-caldeira mais les éruptions passées qui ont parfois été très violentes montrent bien qu'il n'est pas sans danger. Les zones à risques sont surtout la côte sous le vent (entre Ranon et Craig-Cove), les grandes fissures ouest et est d'orientation N 110 et les extrémités de l'île où peuvent se produire des éruptions phréato-magmatiques.

Les zones à risques pour l'île d'Ambrym sont au nombre de six (voir figure II.5) et se superposent aux régions sur la carte de menaces de cette île (voir fig. II.6). Les zones 1, 2, 3 et 4 sont celles qui sont concernées lors d'une activité forte alors que les zones 5 et 6 sont celles où se produisent des retombées de cendre qui traduisent une activité « normale » de ce volcan ; ces zones sont actuellement touchées par les retombées de cendre.

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

by / par Michel MONZIER & Claude ROBIN (ORSTOM)

Some 1800 years ago, a gigantic eruption modified the relief of Ambrym and formed the caldera which crowns the island (a caldera is a big crater, 13 km wide in the case of Ambrym). During the last centuries, Ambrym volcano has experienced many eruptions. Three activity levels have to be considered:

Normal (or weak) activity: Lava lakes are present in the craters of Marum and Benbow; ash outbursts are dangerous only in the immediate surroundings of the active craters.

Intermediate activity (1863-64, 1871, 1914, 1962, 1968, 1972, 1986 and 1988-89 eruptions): Explosions may provoke important ash clouds, several kilometers high, whose ashes, carried by the trade winds, commonly fall over the northwest slope of the island (red ellipses A). Due to the small quantity of ash in the plume, the hazard is not great, but acid rain is probable. Ashes may fall elsewhere on the island if other wind systems are present. During such an eruption lava flows may cover a limited area of the caldera floor. Due to the intense fall of ashes and small blocks (lapilli) near the vents, and the high probability of pyroclastic flows being emitted from the craters and flowing over the caldera floor, the access to the caldera area must be strictly prohibited.

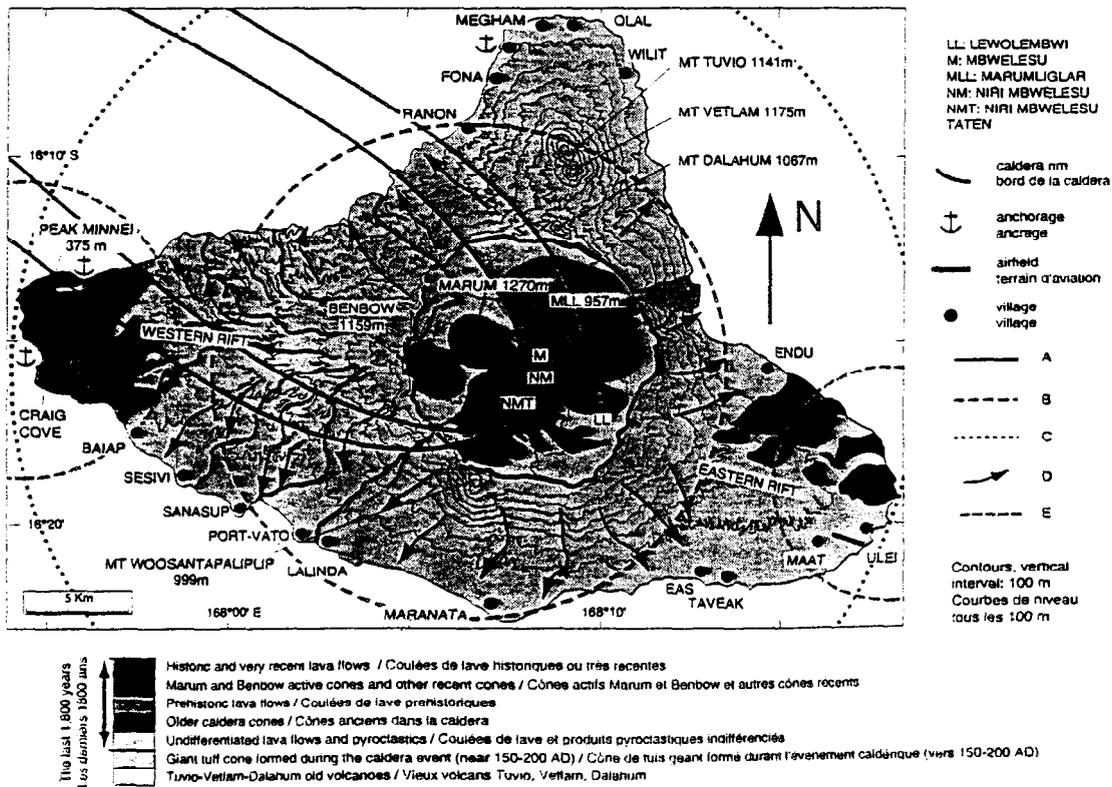
Strong activity (1820, 1888, 1894, 1913, 1929, 1937 and 1942 eruptions): High ash clouds are responsible for important and/or long lasting ashfalls which may affect all of the island if the trade winds are not strong. The thickness of ash deposits may reach 50 centimeters or more within the area delimited by the B circle and a few centimeters to a few decimeters within the C circle. During this type of eruption, lavas may overflow the caldera wall. Other lavas may erupt along the great fracture line which cuts the island. Lava flows restricted to the valleys, reach the sea and threaten coastal villages. If strong ashfalls are accompanied or followed by rains, all the valleys of the island as well as the coastal plains near their mouths may be ravaged by mudflows carrying trees and blocks. Such mudflows are extremely destructive (purple arrows D). Lastly, magma-seawater interactions may induce very dangerous explosions at the western and eastern extremities of the island, both onshore and offshore (blue circles E). If an eruption occurs at one of these extremities or spreads from the caldera towards it, it might be necessary to evacuate the populations. A plan for the evacuation (by sea) of these populations should be beforehand prepared. The northern part of Ambrym is safe in case of a strong eruption; however, some ashfall may occur if southern winds are blowing.

Il y a environ 1800 ans, Ambrym a connu une éruption exceptionnelle qui a complètement modifié le relief de l'île et forme la caldera sommitale (une caldera est un grand cratère, large de 13 km dans ce cas). Depuis, Ambrym a eu de nombreuses éruptions. Trois degrés d'activité sont envisagés.

Activité normale (ou faible): des lacs de lave occupent les cratères du Marum et Benbow, les explosions ne présentant un danger qu'aux abords des cratères.

Activité moyenne (éruptions de 1863-64, 1871, 1914, 1962, 1968, 1972, 1986, 1988-89): des explosions périodiques donnent des nuages de cendres de plusieurs kilomètres de hauteur, lesquels, poussés par l'Alizé, retombent sur le flanc Nord-Ouest de l'île (ellipses rouges A), mais aussi sur n'importe quelle partie de l'île si les vents sont autres, sans représenter de danger important. Des pluies acides sont toutefois probables. Des coulées de laves peuvent aussi s'épancher dans la caldera. Du fait de retombées de cendres et de petits blocs (lapillis), et de la possibilité de coulées pyroclastiques (nuages rasants à l'intérieur de la caldera), l'accès à cette dernière devient très dangereux et doit être interdit.

Forte activité (éruptions de 1820, 1888, 1894, 1913, 1929, 1937 et 1942): les panaches, très hauts, produisent d'importantes retombées cendreuse qui peuvent affecter toute l'île si l'Alizé n'est pas fort (cercles rouges en tireté, B et C; le premier délimite la zone où les chutes de cendres pourraient atteindre voire dépasser 50 cm d'épaisseur, le second celle où elles pourraient atteindre quelques centimètres à quelques décimètres d'épaisseur). Des coulées de laves envahissent la caldera et la débordent, empruntant le lit des rivières jusqu'à la mer. D'autres naissent le long de la grande ligne de fracture recoupant l'île. Toutes peuvent menacer les villages côtiers situés au débouché des vallées. Les fortes chutes de cendres, accompagnées ou suivies de fortes pluies, engendrent des coulées boueuses charnant des troncs et des blocs (flèches violettes D), extrêmement destructives, qui ravagent le lit des rivières et constituent une menace importante pour ces villages. Enfin, de très violentes explosions peuvent se produire aux deux extrémités de l'île, à terre et en mer (cercles bleus E), par suite d'interactions magma-eau de mer. Au cas où une éruption se produirait à l'une de ces extrémités, ou au cas où elle s'étendrait de la caldera vers une de ces extrémités, il serait nécessaire d'évacuer les populations qui s'y trouvent. Un plan d'évacuation (par mer) de ces populations doit être prêt à l'avance. La partie nord d'Ambrym est à l'abri des effets d'une forte éruption mais pourrait toutefois être affectée par des chutes de cendres en cas de vent du sud.



Historic and very recent lava flows / Coulées de lave historiques ou très récentes
 Marum and Benbow active cones and other recent cones / Cônes actifs Marum et Benbow et autres cônes récents
 Prehistoric lava flows / Coulées de lave préhistoriques
 Older caldera cones / Cônes anciens dans la caldera
 Undifferentiated lava flows and pyroclastics / Coulées de lave et produits pyroclastiques indifférenciés
 Giant tuff cone formed during the caldera event (near 150-200 AD) / Cône de tuff géant formé durant l'événement caldérique (vers 150-200 AD)
 Tuvio-Vetlam-Dalahum old volcanoes / Vieux volcans Tuvio, Vetlam, Dalahum

Geological data / Géologie d'après: 1-Stephenson, McCall, Le Maître, Robinson & Warden (1966); 2-Mallik & Greenbaum (1972-1973); 3-Robin, Monzier, Eissen & Picard (1990-1994) ORSTOM, 1996

Fig. II.6 : Carte de menaces volcaniques pour l'île d'Ambrym (ORSTOM).

Encadré N° 8 : Chronologie de l'activité des volcans d'Ambrym :

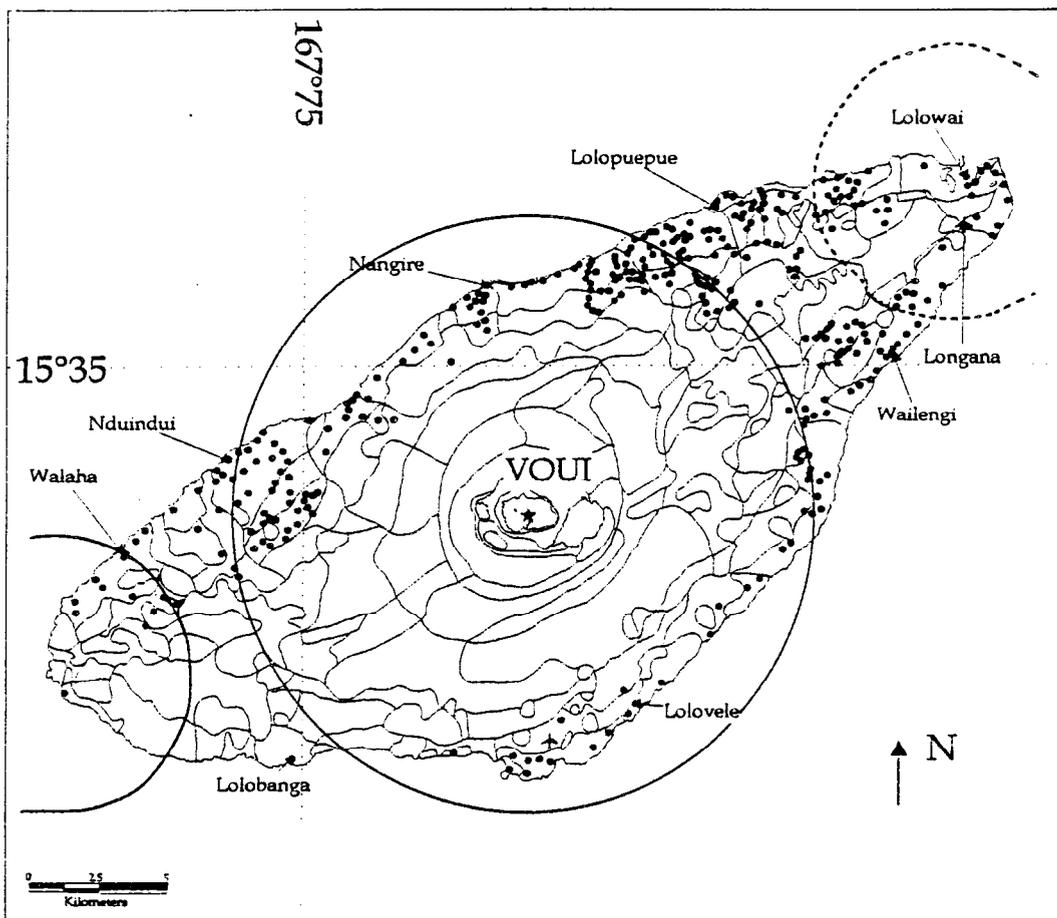
Ambrym, découverte par J. Cook, en 1774, a connu, jusqu'à ce jour, de nombreuses éruptions importantes traduisant une activité quasi-permanente.

- **1774** : Premier témoignage de l'activité du volcan représenté par deux colonnes de fumée (Cook, 1778).
- **1820** : Eruption importante avec émission d'une coulée de lave sur Craig-Cove (Gregory, 1917).
- **1863 - 1864** : Eruptions importantes sur le flan est (Atkins, 1868).
- **1871, 1884 & 1886** : Activité importante.
- **1888** : En février, activité exceptionnelle avec émissions de plusieurs coulées de lave ; une du SE au NE de l'île, de 3 km de long sur 3 km de large à l'Est d'Endu (Marshall, 1915), une autre plus courte vers Parlemomboi Pt et une dernière s'échappant d'une fissure, à 6 km de South East Point et se dirigeant vers la mer (Gregory, 1917).
- **1894** : Eruptions avec coulées de lave au Nord et à l'Ouest, émissions de cendre importantes, éruptions phréato-magmatiques aux extrémités de l'île et une « rivière de feu de 15 km » (O'Reilly, 1956). Importante activité sismique et, au moins, six personnes tuées par des retombées de bombes et de blocs (Aubert de la Rüe, 1956).
- **1895, 1898 et 1909** : Eruptions avec, en 1898, séisme dans la région d'Ambrym et d'Epi (O'Reilly, 1956).
- **1910** : Coulée de lave issue du Marum, atteignant la mer suivant la direction N-NO (Marshall, 1915).
- **1912** : Deux coulées, sur la côte sud-ouest, le long des rivières Woala et Walabe.
- **1913** : Deux coulées le long de la côte O-NO vers Ranverekon ; importante éruption du Benbow, avec émissions de cendre, qui recouvrirent les 2/3 de l'île (destruction des cultures) (Marshall, 1915). Ouverture de fissures entre le Benbow et Dip Point (partie ouest) d'où jaillissaient des torrents de lave se dirigeant vers la mer ; destruction de l'hôpital de la mission presbytérienne de Lon-wol-wol (21 morts) (Gregory, 1917). Evacuation d'une partie de la population vers Mallicolo, pour 600 personnes, Epi et Paama. La partie ouest de l'île est profondément affectée par les coulées de lave et des mouvements verticaux (Marshall, 1915 et voir annexe II.2 sur le témoignage).
- **1914** : Activité du Benbow et du Marum avec émissions de coulées de lave (Blot et Priam, 1962).
- **1915** : Eruption à la pointe SE, avec destruction de deux villages (Blot et Priam, 1962).
- **1929** : Eruption du Benbow, avec émissions de cendre importantes sur toute l'île et de coulées de lave ; ouverture de fissures, du 28 juin au 1 juillet, sur le flan ouest d'où sortaient des coulées de lave, entraînant la destruction d'une mission protestante et l'évacuation de 500 personnes (Aubert de la Rüe, 1956).
- **1934** : 7 - 22/04, forte activité sismique et activité importante des volcans, avec des émissions de cendre qui brûlèrent les cultures (Journal Le Néo-Hébridais, juin 1934, N° 158, p. 10).
- **1937** : Eruption peu violente du Benbow, et activité des fissures ouest, avec émissions de coulées de lave atteignant la mer (Fisher, 1957).
- **1942** : En juin, éruption du Benbow, avec émission d'une coulée de lave dans la direction NO (Blot et Priam, 1962).
- **1950** : Reprise d'activité en décembre précédée de tremors (Blot et Priam, 1962).
- **1951** : Alternance de phases actives intenses et modérées, accompagnées d'une forte activité sismique; émissions de retombées de cendre considérables (800.10⁶ m³ éjectés) au sud de l'île entraînant l'évacuation de près de 2000 personnes (Blot, 1976).
- **1952** : Reprise d'activité le 10/08, avec émissions importantes de cendre qui causèrent des problèmes pour les plantations de Cocotiers de Mallicolo et évacuation de 2000 personnes vers Santo et Mallicolo (Aubert de la Rüe, 1956 et O'Reilly, 1956).
- **1953 - 1955** : Apparition d'un nouveau cratère sur le flan NE du Marum, le Mbwelesu et début d'activité d'un autre cratère sur le flan sud du Benbow, dès le mois de mai 1953. Puis calme relatif du Marum en 1954 tandis que le Benbow est toujours en activité, avec émissions de cendre et des coulées de lave (Aubert de la Rüe, 1956).
- **1957 - 1981** : Alternance de période d'activité forte (1957, 1962, 1971, 1972, 1976, 1977, 1981) à modérée (1958 - 1961, 1963 - 1970, 1973 - 1975, 1979 - 1980) avec des émissions de cendre, plus ou moins importantes détruisant les cultures, et des coulées (en 1968).
- **1984** : Importante activité sismique superficielle, avec peut-être des éruptions au cours de l'année.
- **1986** : Reprise d'activité avec apparition d'un nouveau cône à 3 km à l'est du Marum, qui a émis une coulée de lave intra-caldeira (Melchior, 1988).
- **1988 - 1989** : Formation d'un nouveau cône au sud du Mbwelesu d'où est émise une coulée intra-caldeira de 1,5 km de long s'écoulant vers le sud. En 1989, émission d'une autre coulée de lave du Marum. Avec toujours des dégazages importants et des retombées de cendre (Eissen et al., 1991).
- **1990** : Activité strombolienne soutenue du Mbwelesu, alors que les autres volcans sont calmes (Lardy et al., 1990).
- **1991 - 1998** : En 1991, apparition du cratère Niri Taten Mbwelesu et alternance d'expulsion importante (1994, 1995, 1998) ou moindre (1993, 1996, 1997) de panaches éruptifs et de cendre. En 1993, installation de la station de surveillance dans la caldeira.

3.1.3 - AOBA :

Tab. II.11 : (source données VANRIS)

ZONE	superficie (ha)	superficie utilisée (ha)	nbre de ménages	nbre de villages	population
île	40562	13228	1806	376	8580



Zones à risques :

Cas d'activité forte :

— Zone 1

• Villages

Cas d'éruptions phréato-magmatiques :

- - Zone 2

. . . Zone 3

Fig. II. 8 : Les différentes zones à risques pour l'île d'Aoba (VANRIS).

Anciennement nommée « l'île des Lépreux », Aoba ou Ambae (voir Tab. II.11), située par 15°24 S et 167°50 E et de dimensions maximales 16×38 km, est un strato-volcan basaltique, le plus volumineux de l'archipel, qui culmine à 1496 m d'altitude. Il est allongé selon une zone de fracture N 50 et possède, dans sa partie sommitale, deux caldeiras concentriques ; la plus petite contient deux lacs permanents dont le lac MANORO-LAKUA (~1,3 km de diamètre) et le lac de cratère VOUI (~2,1 km de diamètre), et un petit lac asséchée périodiquement, le MANORO-NGORO (~300 m de diamètre) (voir Fig. II.7 et Photo N° 3).

Malgré le caractère peu actif de cet édifice (voir encadré N°9), il a été équipé, en décembre 1996, d'une station de surveillance, après la « crise d'Aoba » qui représenta une reprise d'activité du volcan LOMBENBEN, vraisemblablement amorcée en 1991. Bien qu'il soit actuellement en relatif « sommeil », ce volcan est considéré comme le plus dangereux de l'archipel étant donné la présence des deux lacs au sommet, avec le VOUI qui est à l'aplomb de la cheminée dont la couleur bleue turquoise du lac traduit la présence. Le caractère dangereux s'explique par la grande probabilité de rencontre d'un magma ascendant avec cette eau qui entraînerait des éruptions phréato-magmatiques très explosives et dévastatrices qui ont déjà eu lieu dans le passé (lahars, écoulements pyroclastiques..).

Une carte des menaces (voir Fig. II.9) a pu être réalisée, par l'ORSTOM. Trois grandes zones sont susceptibles de subir les conséquences d'une éventuelle reprise d'activité (voir Fig. II.8). La zone 1 concerne la région autour du volcan, alors que les zones 2 et 3 sont liées aux fractures d'où le magma pourrait s'épancher et donner des éruptions phréato-magmatiques en rentrant en contact avec l'eau de mer.

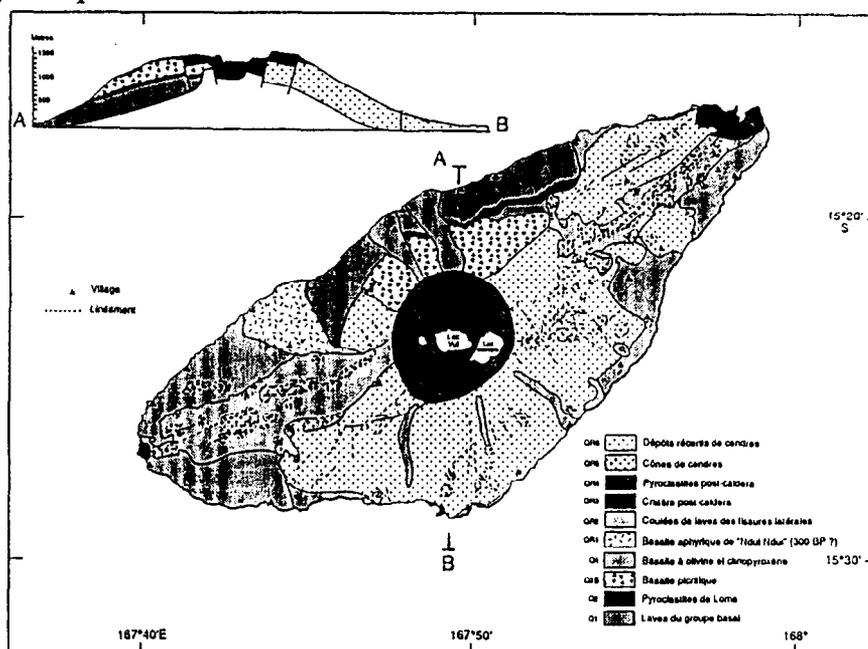


Fig. II.7 : Carte géologique et coupe d'Aoba (d'après Warden, 1970).

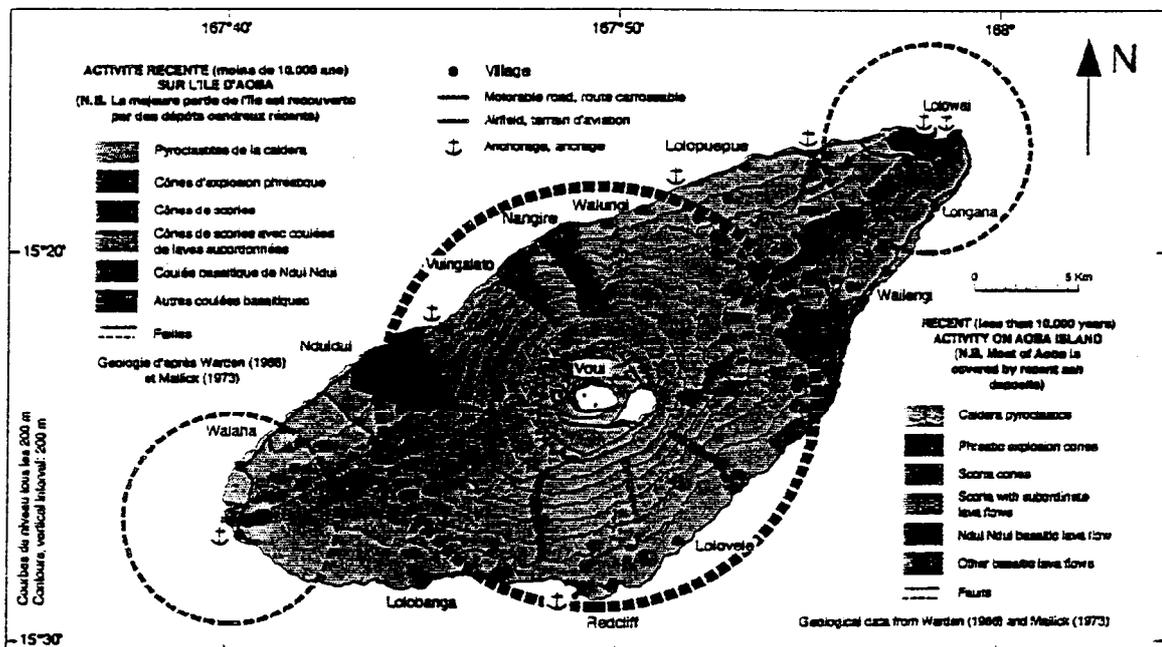
VOLCANIC HAZARD MAP FOR AOBA ISLAND / CARTE DES RISQUES VOLCANIQUES POUR L'ILE D'AOBA (VANUATU)

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

- ■ ■ 10 km radius area surrounding the Lake Vouli (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 Ndou Ndou lava flow [shaded area], 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 running 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 Vouli. 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). Pyroclastic: 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 Vouli (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 accrétoires 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 Ndou Ndou [shaded area], émise à 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 phreato-magmatique. Lahar: coulée de boue dévastatrice, chargée de blocs et de troncs d'arbres, dévalant les pentes. Des lahars importants se produisent en cas d'éjection des eaux du Lac Vouli 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 accrétoires: petites billes de boue, de quelques millimètres à 1-2 centimètres de diamètre, qui tombent en pluie pendant une explosion phreato-magmatique. Magma: roche fondue très chaude. Éruption phreato-magmatique: éruption liée aux interactions explosives entre magma et eau (de rivière, lac ou mer). Pyroclastiques: dépôts de cendres, lapilli et blocs.

ORSTOM, 1995

Fig. II.9 : Carte des risques volcaniques pour l'île d'Aoba (ORSTOM).

Encadré N°9 : Chronologie de l'activité du LOMBENBEN :

- **1575 ± 54** : La datation au C¹⁴ de Warden (1970) a précisé la formation du cône du lac Vouï et du cratère explosif du lac Manoro-Ngoru, à partir d'explosions du cratère central.
- **~1670** : Eruptions à partir d'une fissure radiale sur le flan Ouest avec émissions de coulées de lave détruisant la région de N'Dui N'Dui et formation du petit cône palagonitique du lac Vouï (Williams et Warden, 1964).
- **1870 ± 1** : Explosions et formation de lahars ayant entraîné des destructions et des victimes (Simkin et al., 1981).
- **1914** : Glissement de terrain (et/ou lahar), généré par une éruption et/ou un séisme, qui détruisit un village et tua 12 personnes (Blot et Priam, 1962) et/ou une centaine de personnes sur le flan Est de l'île (Aubert de la Rüe, 1956).
- **1966** : Emission de vapeurs dans la caldeira en août, suivi d'une forte activité fumerollienne le 11 août et de la formation d'un petit cône de cendre (Blot, 1976).
- **1971** : Emission de vapeur dans la caldeira en février et avril (N.H.G.S. Ann. Rep. For 1971).
- **1976** : Solfatares importantes (N.H.G.S. Ann. Rep. For 1976).
- **1991** : Identification de trois zones bouillonnantes dans le lac Vouï, en juillet, accompagnées d'un important dégazage de SO₂, qui engendre la brûlure de la végétation autour du lac (Robin et al., 1995).
- **1992** : Brûlure de la végétation importante autour du lac Vouï traduisant encore de forts dégazages (Image SPOT, 1992).
- **1994** : Activité sismique importante le 3 et 4 décembre (Wiat, 1995 et Metaxian et al., 1995).
- **1995** : « Crise d'Aoba / Ambae », le 3 mars, émission d'une grande colonne de cendre sombre puis de bouffées de vapeurs blanches, accompagnée de forts tremors les 4, 5 et 6 du même mois. Odeur soufrée de l'important dégazage du lac Vouï, qui encore le 27 juin avait une température de 40°C, un pH de 2,3 et avait enregistré une baisse de niveau de 5 à 6 mètres. L'état d'alerte a été déclenché le 8 mars et une préparation de la population à un éventuel déplacement, dans la zone 1, a été demandée par C. Robin et M. Lardy. Le 9 mars, C. Robin estime que la probabilité d'une éruption se situe autour de 60 et 70 %. Les mois qui suivirent un important maintien du dégazage avec des bouffées de vapeur a été observé mais l'activité volcano-sismique s'est petit à petit calmée (Lardy et al., N°11, 1995).
- **1998** : Le volcan est dans un « sommeil » relatif, sans manifestations extérieures, bien que le lac de cratère Vouï ait une composition et un pH qui traduisent une activité en profondeur. On observe toujours un dégazage, au travers d'un événement principal, mis en évidence en décembre 1996 (Batymétrie du lac).

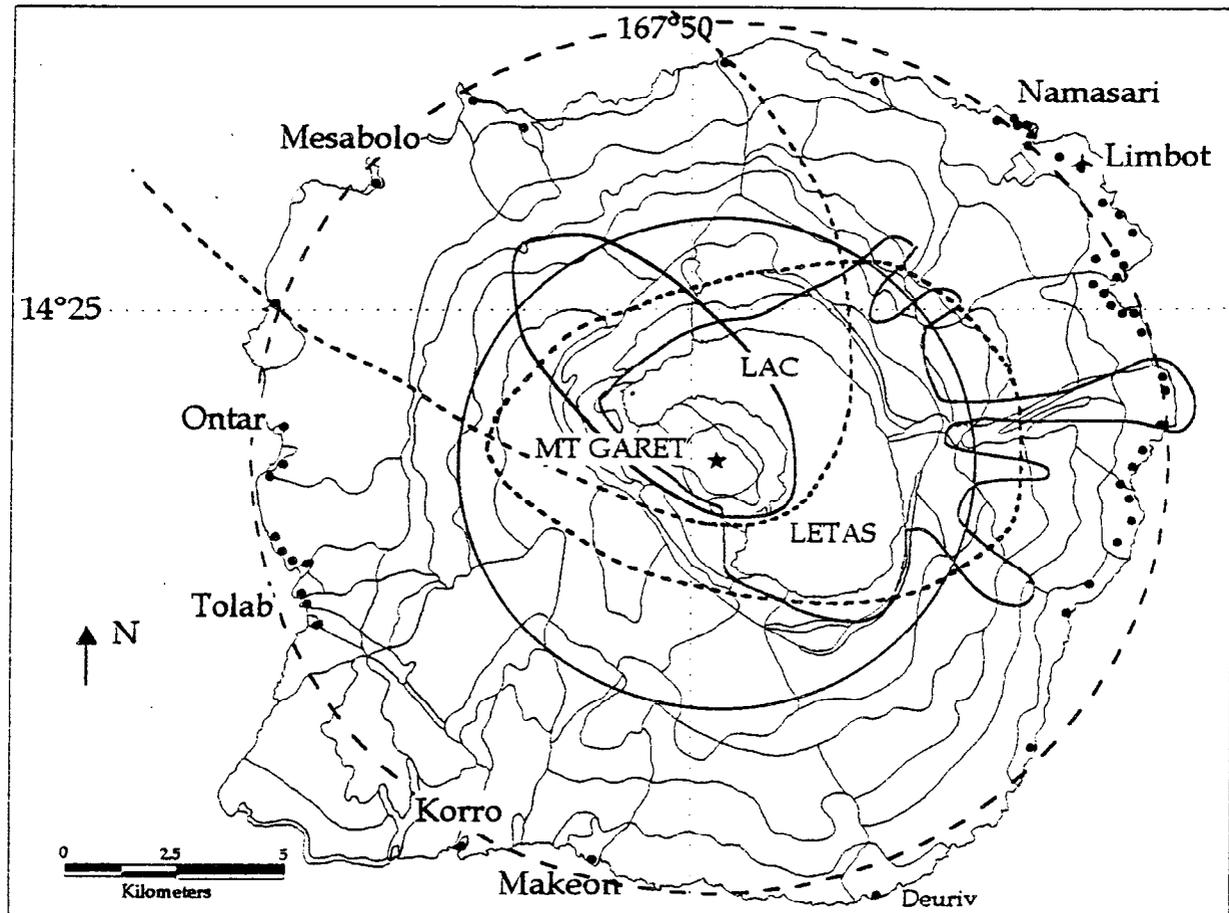


Photo N°3 : Lac de cratère VOUI (premier plan) et lac MANORO (derrière) (Lardy M., cliché ORSTOM).

3.1.4 - GAUA :

Tab. II.12 : (source données VANRIS)

superficie (ha)	superficie utilisée (ha)	nbre de ménages	nbre de villages	population
32996	1918	301	58	1594



Zones à risques :

- | | | | |
|-----|--------|-----|----------|
| — | Zone 1 | - - | Zone 4 |
| - - | Zone 2 | — | Zone 5 |
| — | Zone 3 | - - | Zone 6 |
| | | • | Villages |

Fig. II.10 : Les différentes zones à risques pour l'île de Gaua (VANRIS).

Gaua ou Santa Maria (voir Tab. II.12), située par 14°15 S et 167°30 E, est un strato-volcan basaltique, culminant à 797 m d'altitude avec le Mont Gareth, le cône volcanique actif, et possédant une caldeira de 6x9 km, occupée par le lac Létas. Le cône volcanique le plus récent se trouve actuellement au centre de cette caldeira (voir Fig. II.11 et Photo N°4). Quatre types de formation sont présentes, avec les tufs anciens affleurant au SO de l'île, la séquence indifférenciée du cône principal, des cônes de cendre d'où sont issues des coulées de basaltes et d'andésites situés sur les flancs du cône principal et la séquence intra-caldeira avec des cônes de lave, de cendre et de tufs lités (*Mallick et Ash, 1975*).

Bien que ce volcan, qui a eu une activité passée importante (voir encadré N°10), n'ait pas connu d'explosions depuis 1977, il a été équipé, en novembre 1994, d'une station de surveillance (*Lardy et al., N°12, 1995*). Le caractère dangereux de cet édifice est, comme pour l'île d'Aoba, lié à la présence du lac qui a une profondeur maximale de 119 m et représente un volume d'eau de 0.8 km³ (*Thery et al., 1995*).

Six zones à risques ont été déterminées (voir Fig. II.10) en fonction du type d'activité du volcan. La carte des menaces volcaniques présente ces régions en considérant plusieurs scénarios suivant le type d'activité (voir Fig. II.12).

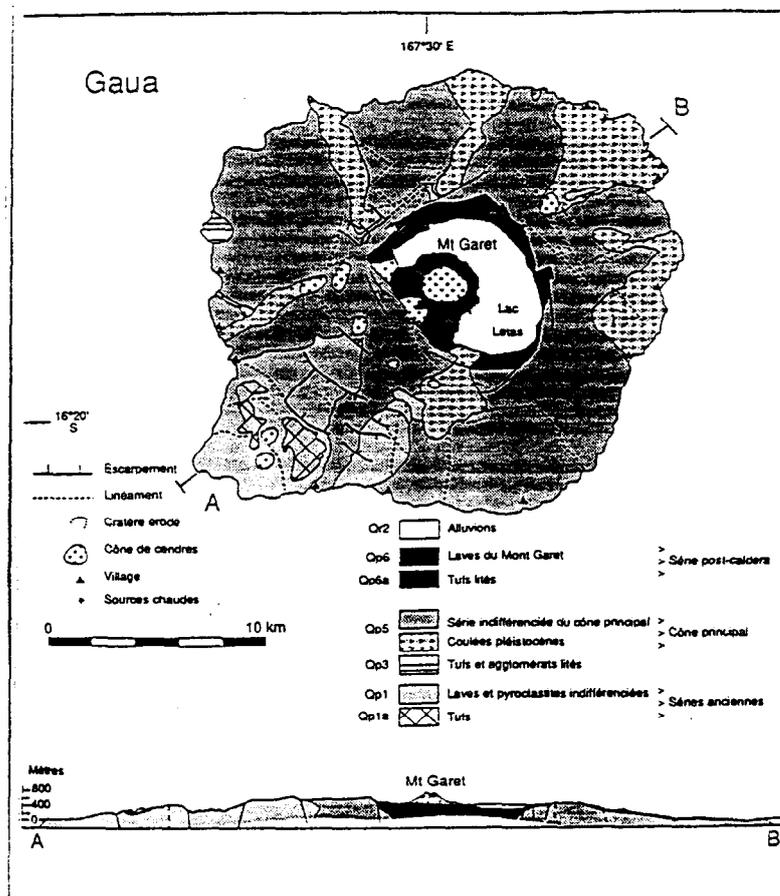


Fig. II.11 : Carte géologique et coupe de Gaua (d'après Mallick et Ash, 1975).

VOLCANIC HAZARD MAP FOR SANTA MARIA ISLAND CARTE DES MENACES VOLCANIQUES POUR L'ILE DE SANTA MARIA (VANUATU)

by / par Claude ROBIN & Michel MONZIER (ORSTOM)

L'île de Santa Maria correspond à la partie supérieure d'un volcan dont le sommet comprend une caldeira (très large cratère) occupée par le Lac Letas. Au centre de cette caldeira, le Mont Gareit, un cône volcanique haut de 400 mètres, constitue la partie active du volcan.

- En régime normal, le Mont Gareit présente une activité fumarolienne caractérisée par un panache de gaz et de vapeur d'eau. La plus souvent, ce panache est dirigé vers le nord-ouest sous l'influence des Alizés. Ses conséquences sont surtout des pluies acides affectant la végétation (ellipse A).

- **Menaces dues aux éruptions cendrées.** Des explosions dans le cratère du Gareit peuvent donner des panaches de cendres de plusieurs kilomètres de hauteur, lesquels, poussés par l'Alizé, retombent sur la partie nord-ouest de l'île (ellipse B). Si l'éruption se poursuit pendant plusieurs jours, l'épaisseur des cendres au sol peut atteindre plusieurs dizaines de centimètres; la végétation est détruite et des coulées de boue se forment dans les vallées de cette zone (flèches mauves) et en ravagant les fonds. Si l'éruption est violente, la colonne éruptive qui s'élève au-dessus du volcan dépasse 10 ou même 15 kilomètres de hauteur; elle est alors surchargée de débris de lave, de blocs légers vésiculés (lapillis de ponces) et de petits blocs vitreux, denses. La retombée de ces matériaux accentue le risque de coulées boueuses et, au plus fort de l'éruption, des coulées pyroclastiques (nuages cendrés chauds, riches en blocs) peuvent déferler sur toute la partie nord-ouest de l'île, en suivant principalement les vallées. En cas de vents faibles ou nuls, la colonne de cendres seules ou de cendres et petits blocs s'élève verticalement. En retombant, l'aire recouverte par les produits correspond au cercle bleu (C) dans le cas d'une colonne de hauteur moyenne (10 km), ou au cercle pointillé rouge (D) si l'éruption est très violente et si le nuage atteint 15 à 20 km de haut. Dans les deux cas, les cendres au sol sont transformées par les eaux de pluie en coulées de boue qui dévalent le long des pentes tout autour de l'île (flèches bleues, mauves et orangées). Au cours d'une telle éruption, il est probable qu'en retombant dans la caldeira, la partie dense du nuage chasse une partie des eaux du lac et le fasse déborder, produisant d'énormes coulées de boue dans la vallée de la Rivière Lusal, mais aussi en direction de Namasari, Tarasag et Mékelio (limite E et flèches oranges). Après un tel cataclysme, il est probable que tout le cours, embouchure comprise, de la Rivière Lusal serait ravagé. En conclusion, lors d'une éruption violente, les populations de l'île devraient être rassemblées, dans un premier temps, au sud-est de Limbot et/ou à l'extrémité sud-ouest de l'île, les deux seules zones susceptibles de ne pas être affectées.

Menaces dues aux coulées de lave. En ce qui concerne les futures coulées de lave, le plus probable est qu'elles s'épancheroient à partir du cratère ou d'un flanc du Gareit et soient ainsi limitées à la caldeira. Toutefois, de nouveaux cônes de scories peuvent se former en dehors de la caldeira sur la pente externe du volcan, près de la limite F. Les coulées issues de tels cônes adventifs suivraient les vallées en direction de la mer (toutes les flèches).

Enfin, la caldeira étant occupée par un lac et les interactions magma-eau pouvant donner lieu à des explosions extrêmement violentes, l'éventualité, à l'échelle du siècle ou du millénaire d'une éruption cataclysmique, à la suite de forts séismes, ne peut pas être totalement écartée. Dans ce cas, la caldeira s'agrandirait jusqu'à la limite (F) et toute l'île serait dévastée.

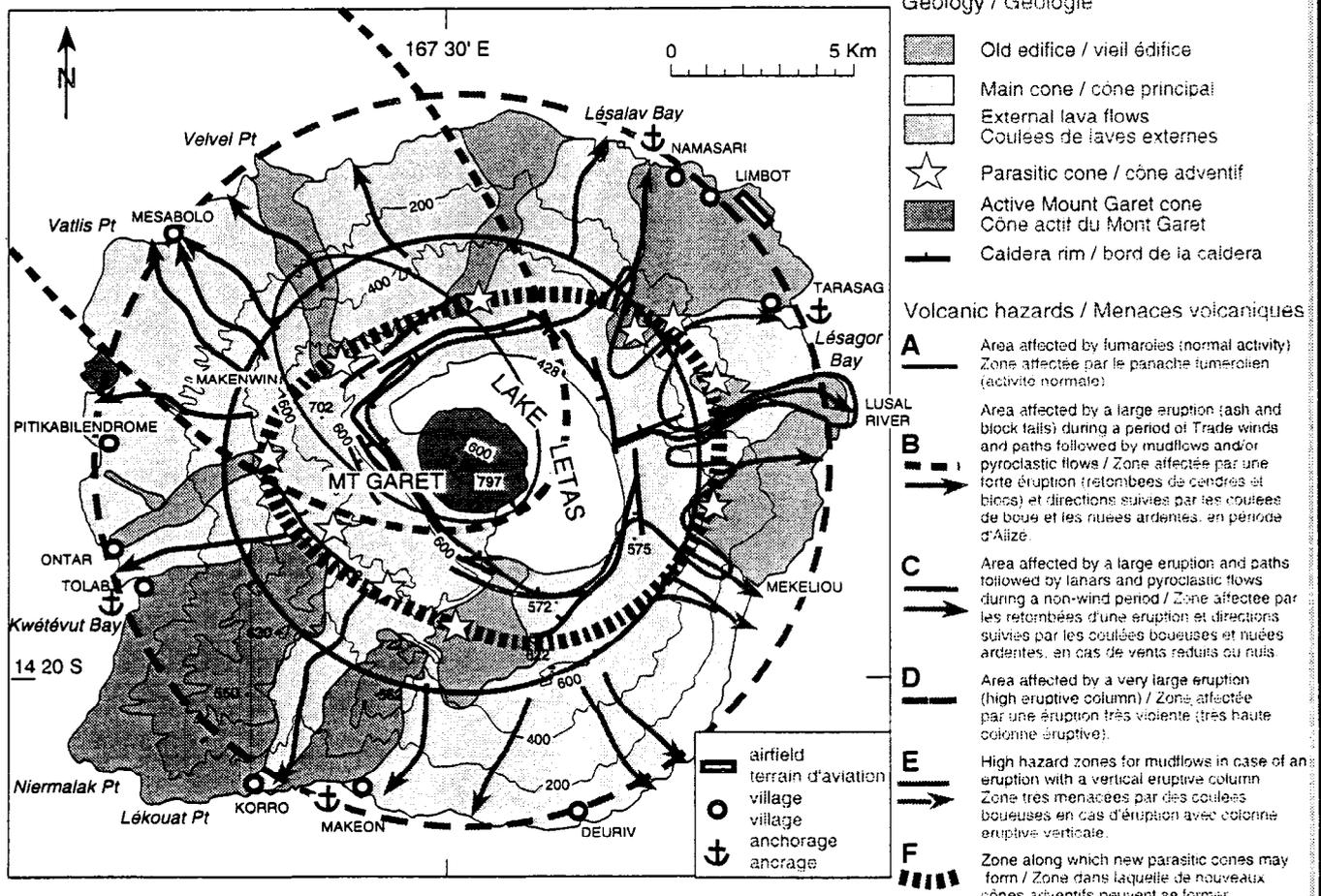
Santa Maria island corresponds to the upper part of a volcano whose summit is topped by a caldera (large crater) occupied by the Lake Letas. At the centre of this caldera, a 400 meters high volcanic cone, Mount Gareit represents the active part of the volcano.

Usually, Mount Gareit shows constant fumarolic activity represented by a cloud of volcanic gases and steam directed to the NW, by the Trade winds. Consequences of this plume are acid rains which affect the vegetation within the ellipse A.

- **Hazard due to ash eruptions.** Explosions in the Mount Gareit's crater may form ash clouds of several kilometers. These ashes, usually carried by the Trade winds, fall over the whole north-western part of the island (ellipse B). If the eruption persists for several days, the thickness of the ash deposit may reach tens of centimeters. The vegetation is destroyed and mudflows descend the valleys of this region (mauve arrows). If violent explosions occur, the eruptive column reaches 10 or 15 kilometers in height and includes lava debris, light vesiculated blocks (pumice) and more dense vitric and lithic blocks. The falling of these materials increases the mudflow hazard and pyroclastic flows (dense and hot ash clouds containing ash and blocks, which extend at high velocity) may descend all the flanks of the northwestern island. When the Trade winds are weak or absent, the eruptive column (either of gas and ash only or with blocks) rises vertically above the island. For a column whose height is of the order of 10 km, the area affected by the falling products corresponds to the blue circle (C), but during a violent eruption with a 15 to 20 km high eruptive column, the area affected corresponds to the major part of the island (red circle D). In both cases, ash removed by rain forms mudflows which follow the paths indicated by all the arrows (blue, violet and orange arrows). During such an eruption, the dense part of the eruptive column falling within the caldera would drive off a part of the lake water and also, mixing with it, form large mudflows in the Lusal valley and in talwegs to Namasari, Tarasag and Mékelio (E limit and orange arrows). After such a cataclysm, probably the whole mouth of the Lusal river would be mantled of mud. As a conclusion, in case of a large eruption it will be wise to evacuate the population, in a first phase, toward the area southeast of Limbot and/or toward the southwestern end of the island, the two areas which would be safe.

- **Hazards due to lava flows.** There is a high probability that the next lava flows extruded from Mount Gareit's crater or from a flank of this cone, and that they would be restricted to the caldera area. Nevertheless, new parasitic cones may form outside the caldera, on the external slopes of the volcano, near or along the F curve. Lava flows from such new vents would follow the valleys to the coast (all arrows), covering large areas, as it occurred in the past, and forming new volcanic badlands (for example, like those between Namasari and Tarasag).

Finally, since the caldera is filled by a lake, magma/water interactions may occur, especially following large earthquakes which open fractures and weaken the edifice. On the millenium scale, the occurrence of such a cataclysmic event remains a possibility. In that case, the caldera would probably be enlarged up to the F limit defined by the external cones and the whole island would be destroyed.



Geological data / Géologie d'après : 1- Mallick and Ash (1975);
2- Robin, Eissen and Monzier (1995).

Contour interval : 200 m
Intervalle entre les courbes de niveau : 200 m

Encadré N°10 : Chronologie de l'activité du Mont Garet :

- **1962** : Ouverture d'un nouveau cratère sur le flan SE du cône.
- **1963** : De septembre à novembre, explosions modérées à partir d'un événement sur le flan SE du Mont Garet avec des émissions de cendre vers le NO (*Mallick et Ash, 1975*).
- **1965** : Le 25 septembre, éruption pendant trois jours avec une colonne de fumée de 6-7000 mètres (*Blot, 1976*).
- **1966** : Emissions de cendre de faible amplitude (*Mallick et Ask, 1975*).
- **1967** : Emissions de vapeur, en avril, à la base S-SE du cône et de cendre, en juillet (*Mallick et Ash, 1975*).
- **1968** : Événement actif vers le SE et de nombreuses fumerolles sur le flan S et SO, avec l'apparition de plusieurs sources d'eaux chaudes et la coloration des eaux du lac. Emissions de cendre en fin d'année (*Simkin et al., 1981*).
- **1969** : Éruption modérée avec émissions de cendre en septembre (*Blot, 1976*).
- **1970 - 1971** : Emissions de nuages de vapeur et de fumée sulfureuse (*Blot, 1976*).
- **1973** : Explosions phréatiques le 9 et 10 octobre, jusqu'au 21 janvier, augmentation de l'activité solfatarienne, de l'activité sismique et des explosions du cratère SE. Le 15 décembre, à la suite d'une préparation à une demande d'évacuation de C. Blot et d'une alerte volcano-sismique, la population de l'île a été déplacée vers les îles avoisinantes (*Mallick et Ash, 1975*).
- **1974** : La mise en place du réseau sismologique montre la montée du magma qui n'atteint pas la surface mais présence de dégazage et d'émissions de cendre, en janvier (*Blot, 1974*).
- **1976 - 1977** : Explosions modérées à partir du cône central et coloration du lac, à la mi-janvier 1976 et en avril 1977 (*Simkin et al., 1981*).
- **1980** : Emissions de panaches blancs, en juin et juillet, et entaille brune sur le flanc ouest (*N.H.G.S. Ann. Rep. For 1980*).
- **1981** : Nuage noir signalé sur le Mont Garet le 9 juillet (*Bull. Volc. Erupt., 1982*).
- **1982** : Emissions importantes de fumées brunes et de cendre (*Bull. Volc. Erupt., 1983*).
- **1991** : Dégazage et fumées sur les flancs SE (*Robin et al., 1995*).
- **1994 - 1998** : Installation de la station de surveillance en 1994 et toujours maintien d'une activité avec production d'un panache quasi-permanent, poussé par les alizés, qui contribue à la destruction de la végétation par les retombées de pluies acides, dans la partie sommitale de l'édifice.



Photo N°4 : Mont Garet entouré du lac Letas (Lardy M., cliché ORSTOM).

3.2 - Les impacts économiques :

L'étude économique des risques volcaniques a, essentiellement, porté sur l'agriculture qui est le secteur le plus développé pour le Vanuatu. L'agriculture de subsistance est pratiquée par près de 80 % de la population. Les impacts sur les constructions seront abordés en tenant compte des infrastructures publiques.

3.2.1 - L'agriculture :

Cette étude s'est faite à partir des données du logiciel VANRIS. L'utilisation du sol a été classée en fonction des recouvrements dominant, secondaire et mineure du sol, qui ont été définis par analyse des images satellitales et aériennes. Les différents types cultureux peuvent être dominants, secondaires ou mineurs en fonction du pourcentage de recouvrement du sol qu'ils représentent. Ces différents types ont été classés de manière suivante :

- Agriculture Rotative (AR) : L'agriculture rotative correspond à une utilisation cyclique de la terre aussi bien pour la subsistance que pour les cultures commerciales. Une parcelle particulière de terre est éclaircie et cultivée pour une courte période de trois à cinq ans et est laissée, ensuite, à l'abandon pour un autre terrain situé à proximité. Eventuellement le premier terrain cultivé peut être à nouveau utilisé en fonction des périodes de cultures, dépendantes des pressions de la population, et de la disponibilité des terres cultivables à l'intérieur de la surface contrôlée par la communauté locale. Beaucoup de communautés continuent à cultiver des jardins permanents tout en pratiquant une agriculture rotative sur de plus grandes surfaces. L'agriculture est l'utilisation du sol dominante sur :

- les fourrés denses,
- les fourrés ouverts ou des plantations denses,
- et la forêt faiblement ouverte.

Les surfaces de forêt de hauteurs faible et moyenne sont aussi utilisées pour la cueillette et la chasse.

- Jardins Permanents (JP) : Les jardins permanents correspondent à une utilisation du sol continue pour aussi bien les cultures de subsistance que les cultures commerciales. Ils sont caractérisés par une série de cultures et de plants de petite taille, poussant sous les arbres, et sont, essentiellement, cultivés pour la production alimentaire. Quelques zones de terrains nus sont toujours présentes à l'intérieur des surfaces des jardins bien que leur proportion varie en fonction du type de plants cultivés. Les jardins permanents sont localisés à proximité ou à l'intérieur des villages et villes.

- Les plantations (P) : Les plantations sont, essentiellement, des monocultures de cocotiers, de caféiers, de cacaoyers et de bananiers. Elles peuvent aussi bien pousser

sur de petites surfaces qu'être exploitées de manière extensive. Pour les petites surfaces, elles sont cultivées sur moins de 5 hectares alors que dans le cas de plantations extensives, elles peuvent couvrir plusieurs centaines d'hectares.

La densité de recouvrement des plants dans une plantation varie considérablement en fonction du type de culture et de l'âge des plants, essentiellement pour les cocotiers.

Les trois types principaux de plantations sont :

- des pâturages sous un recouvrement d'arbres épars, pour les vieilles cocoteraies,

- des pâturages sous un recouvrement ouvert d'arbres, pour les cocoteraies,

- et des plantations denses ou des fourrés ouverts, principalement pour les plantations de cacaoyers, de caféiers, de bananiers et quelques-unes de cocotiers.

- Pas d'Utilisation Courante (PUC) : Cette classe a été définie pour désigner les surfaces dans lesquelles il n'y a pas de réelles cultures mais où toutefois il peut y avoir des activités de cueillette et de chasse ainsi que des petites surfaces d'agriculture rotative éparses.

- Utilisation Urbaine ou Villageoise (UVOU) : Cette classe inclut les constructions, les routes, les terrains nus et les petits jardins de subsistance. La plupart des villages ont été incorporés dans cette catégorie d'utilisation du sol. Elle est associée presque exclusivement à un recouvrement du sol de terres nues et/ou urbain, mais quelques petites surfaces avec des pâturages et un recouvrement d'arbres et/ou de cultures épars peuvent aussi être présents.

- Aucunes données (AD) : Les surfaces appartenant à cette classe correspondent aux zones pour lesquelles aucune information, à partir des images aériennes, ont pu être fournies. Ces lacunes peuvent être dues soit à l'échelle trop petite (1/30 000), qui ne permet pas de discerner de manière satisfaisante les types d'utilisation du sol, soit dues à la présence de nuages lors de la prise de photographies.

Etant donné la complexité de l'utilisation du sol sur l'archipel, il a été souvent difficile de séparer les classes présentées ci-dessus ; le plus souvent l'utilisation du sol se traduit par un mélange de petites surfaces dans lesquelles plusieurs types cultureux sont présents. C'est pour cette raison que des sous-classes ont dû être définies comme :

- Jardins Permanents et Agriculture Rotative (JP-AR),

- Agriculture Rotative et Jardins permanents (AR-JP),

- Plantations et Jardins Permanents (P-JP),

- et Jardins Permanents et Plantations (JP-P).

Ces sous-classes définissent les types cultureux prédominants pratiqués dans une zone particulière, qui a été définie par l'analyse des photographies aériennes, la RMU (Resource Mapping Unit, voir § 1.5.1 de la partie I). L'ordre des types cultureux dans

les sous-classes traduit la prédominance d'un type par rapport à l'autre et le pourcentage de la surface utilisée associé au type culturel, pour chaque RMU, correspond à la somme des pourcentages de la surface utilisée des deux ensembles.

Une compilation des données a été faite pour les quatre îles volcaniques, Tanna, Ambrym, Aoba et Gaua.

3.2.1.1 - TANNA :

⇒ Pour l'île entière :

La population de cette île est, essentiellement, localisée dans la partie transversale de l'île, d'Est en Ouest (voir Fig. II.3). Il en découle une intensité d'utilisation du sol beaucoup plus importante dans cette zone (voir Fig. II.13).

Tab. II.13 : intensité d'utilisation du sol pour Tanna (VANRIS)

intensité	superficie utilisée (ha)	% intensité / S.U.
très élevée avec des cultures		
arbustives	853	4
très élevée		
élevée	157	1
modérée		
modérée	3982	20
faible		
faible	9038	45
très faible		
très faible	3605	18
extrêmement faible		
extrêmement faible	1793	9
non utilisées		
non utilisées	598	3
non cultivée		
non cultivée	0	0
Total	34	0
	20060	100

Le tableau II.13 montre que près de la moitié des surfaces utilisées est utilisée modérément.

Les zones les plus cultivées correspondent à la région au dessus de Whitesands, le Middle Bush et la zone côtière du SO, qui sont, par ailleurs, essentiellement les zones dans lesquelles se trouvent les plantations de

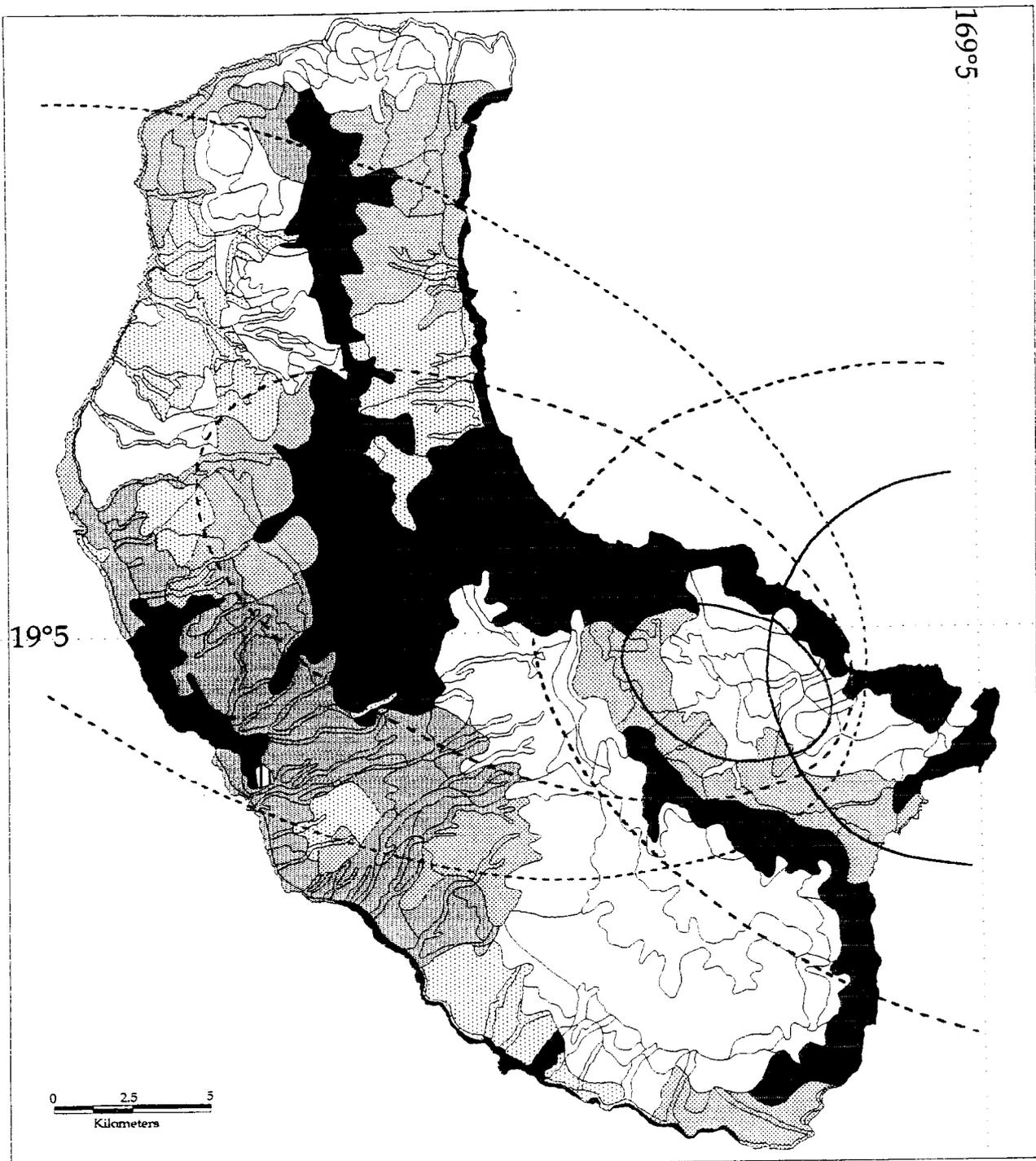
caféiers.

Tab. II.14 : Répartition des divers types cultureux (VANRIS)

	Superficie U. (ha) par type culturel	Rapport type / S.U.
AR	969	5
AD	4718	24
JP-AR	3781	19
JP-P	754	4
AR-JP	8618	43
P-JP	1158	6
UVOU	25	0
PUC	37	0
île	20060	100

En regroupant les données des utilisations du sol dominante, secondaire et mineure (voir les cartes des utilisations du sol dominante, secondaire et mineure en annexe II.3a, 3b et 3c), nous constatons que les types cultureux les plus pratiqués sont l'agriculture rotative conjuguée aux jardins permanents (Tab. II.14). Ceci

montre bien que pour cette île l'agriculture de subsistance, traditionnelle, est la plus développée.



Zones à risques :

Retombées de cendre :

- Zone 1
- - Zone 2
- - - Zone 3

Cas d'une éruption cataclysmale :

- Zone 4
- - Zone 5

intensité d'utilisation du sol
pour l'île de Tanna :

- très élevée avec des cultures arbustives
- élevée
- modérée
- faible
- très faible
- extrêmement faible
- non cultivé
- non utilisé

Fig.II.13 : Carte d'intensité d'utilisation du sol pour l'île de Tanna (VANRIS).

⇒ Pour les zones à risques :

Pour toutes les zones, en considérant tous les types d'activité volcanique, les données ont été regroupées dans le tableau II.15.

Tab.II.15 : Détails pour toutes les zones à risques pour l'île de Tanna (VANRIS) :

ZONE	superficie (ha)	superficie utilisée (ha)	nbre de ménages	nbre de villages	population
total Z1	2933	274	113	13	562
%/île	5	1	3	2	3
total Z2	18181	9112	1628	249	8135
%/île	32	45	41	42	41
total Z3	37790	15369	3263	483	16173
%/île	68	77	83	82	82
total Z4	3510	1293	315	27	1623
%/île	6	6	8	5	8
total Z5	12883	4572	931	101	4494
%/île	23	23	24	17	23
île	55978	20060	3943	592	19639

Tab.II.16 : Proportion de la surface utilisée par rapport à la surface totale en % (VANRIS)

	% S.U./S.T.
île	36
Zone 1	9
Zone 2	50
Zone 3	41
Zone 4	37
Zone 5	35

Près d'un tiers de l'île de Tanna est cultivé. Les régions les plus cultivées correspondent aux zones 2 et 3, qui sont celles de Whitesands et du Middle Bush (Tab.II.16).

⇒ ZONE 1 :

Tab.II.17: Bilan Tanna Zone 1 :

	Superficie U. par type cultural	Rapport type/S.U.
AD	99	36
JP-AR	3	1
AR-JP	137	50
PLC	35	13
Zone 1	274	100

La zone 1, qui est la région autour du volcan, est très peu utilisée pour l'agriculture (seulement 9% des terres sont utilisées). Une utilisation du sol très faible est prédominante (Tab. II.17). Et les types cultureux les plus pratiqués sont l'agriculture rotative et les jardins permanents.

intensité	superficie utilisée (ha)	% intensité/S.U.
modérée	100	36
très faible	174	64
non utilisée	0	0
total	274	100

⇒ ZONE 2 :

Tab.II.18 : Bilan Tanna Zone 2 :

	Superficie U. par type cultural	Rapport type / S.U.
AR	232	3
AD	3179	35
JP-AR	2388	26
AR-JP	2118	23
P-JP	1158	13
PUC	37	0
Zone 2	9112	100

intensité	superficie utilisée (ha)	% intensité/ S.U.
élevée	3197	35
modérée	4772	52
faible	356	4
très faible	668	7
extrêmement faible	119	1
non utilisée	0	0
total	9112	100

La zone 2 correspond, en majeure partie, aux régions de Whitesands et du Middle Bush. Cette zone est très utilisée (50 % de la surface totale est utilisée); l'intensité d'utilisation du sol est majoritairement modérée (Tab.II.18). D'autre part, les modes culturaux prédominants sont, essentiellement, l'agriculture rotative et les jardins permanents. Toutefois, nous notons que pour près d'un tiers de cette zone, il n'y a pas de données disponibles sur les pratiques agricoles.

⇒ ZONE 3 :

Tab.II.19 : Bilan Tanna Zone 3 :

	Superficie U. par type cultural	Rapport type / S.U.
AR	676	4
AD	4255	28
JP-AR	3160	21
JP-P	417	3
AR-JP	5645	37
P-JP	1158	8
EUVGU	21	0
PUC	37	0
Zone 3	15369	100

intensité	superficie utilisée (ha)	% intensité/ S.U.
très élevée avec des cultures arbustives	438	3
très élevée	157	1
élevée	3951	26
modérée	6458	42
faible	2742	18
très faible	1104	7
extrêmement faible	485	3
non utilisée	0	0
non cultivée	34	0
total	15369	100

La zone 3 couvre toujours les régions de Whitesands et du Middle Bush, mais sur des surfaces beaucoup plus étendues que les zones 1 et 2. Elle couvre près de 70 % de la surface totale de l'île et représente un peu plus des deux tiers des surfaces utilisées.

En moyenne, l'intensité d'utilisation du sol est modérée, bien qu'il y ait 26 % de la surface utilisée qui soit cultivée avec une intensité élevée.

Les pratiques culturales sont surtout représentées par l'agriculture rotative et les jardins permanents (Tab. II.19).

⇒ ZONE 4 :

Tab.II.20 : Bilan Tanna Zone 4 :

	Superficie U. par type cultural	Rapport type/S.U.
AR	122	9
AD	284	22
JP-AR	6	0
AR-JP	881	68
Zone 4	1293	100

intensité	superficie utilisée (ha)	% intensité/S.U.
très élevée avec des cultures arborescentes	83	6
élevée	334	26
modérée	759	59
très faible	117	9
non utilisée	0	0
total	1293	100

La zone 4 correspond à la région de Sulphur Bay et de Port-Résolution. Le volcan actif Yasur et l'ancien cratère actif du Ombus se trouvent sur cette zone. Elle couvre à peine un peu plus de 5 % de la surface de l'île et sa surface utilisée représente un peu plus d'un tiers de sa surface totale.

L'intensité d'utilisation du sol est, essentiellement modérée et les pratiques culturales sont, majoritairement, l'agriculture rotative et les jardins permanents (Tab.II.20).

⇒ ZONE 5 :

Tab.II.21 : Bilan Tanna Zone 5 :

	Superficie U. par type cultural	Rapport type/S.U.
AR	143	3
AD	1872	41
JP-AR	948	21
AR-JP	1331	29
P-JP	241	5
PUC	37	1
Zone 5	4572	100

intensité	superficie utilisée (ha)	% intensité/S.U.
très élevée avec des cultures arborescentes	83	2
élevée	641	14
modérée	3316	73
très faible	532	12
non utilisée	0	0
total	4572	100

Cette zone englobe les régions de Whitesands, Sulphur Bay et de Port-Résolution. Elle couvre environ 20 % de la surface totale de l'île et sa surface utilisée est de 20 % par rapport à sa surface totale.

L'intensité d'utilisation du sol est principalement modérée et les pratiques culturales sont aussi l'agriculture rotative et les jardins permanents. Nous pouvons noter que pour un peu plus de 40 % de cette zone, aucune donnée n'est disponible (Tab.II.21).

3.2.1.2 - AMBRYM :

⇒ Pour l'île entière (ou ZONE 2) :

La population est essentiellement localisée aux extrémités de l'île, dans les régions au nord, à l'est et à l'ouest (voir Fig.II.5). Il en découle une intensité d'utilisation du sol importante, dans ces régions, liée aux pressions de la population (Fig. II.14).

Tab.II.22 : Intensité d'utilisation du sol pour Ambrym (VANRIS)

intensité	superficie utilisée (ha)	% intensité / S.U.
très élevée avec des cultures arborescentes	4533	41
modérée	4230	39
faible	1844	17
très faible	221	2
extrêmement faible	119	1
non utilisée	0	0
total	10947	100

Près de 40 % des surfaces utilisées sont cultivées avec une intensité très élevée (Tab.II.22). Ces régions sont, essentiellement la côte Sud-est (entre Ulei et Taveak), la côte sud-ouest (entre Maranata Sch. Et Craig-Cove) et la côte nord-ouest (entre Olal et Ranon).

Tab.II.23 : Répartition des divers types culturaux (VANRIS)

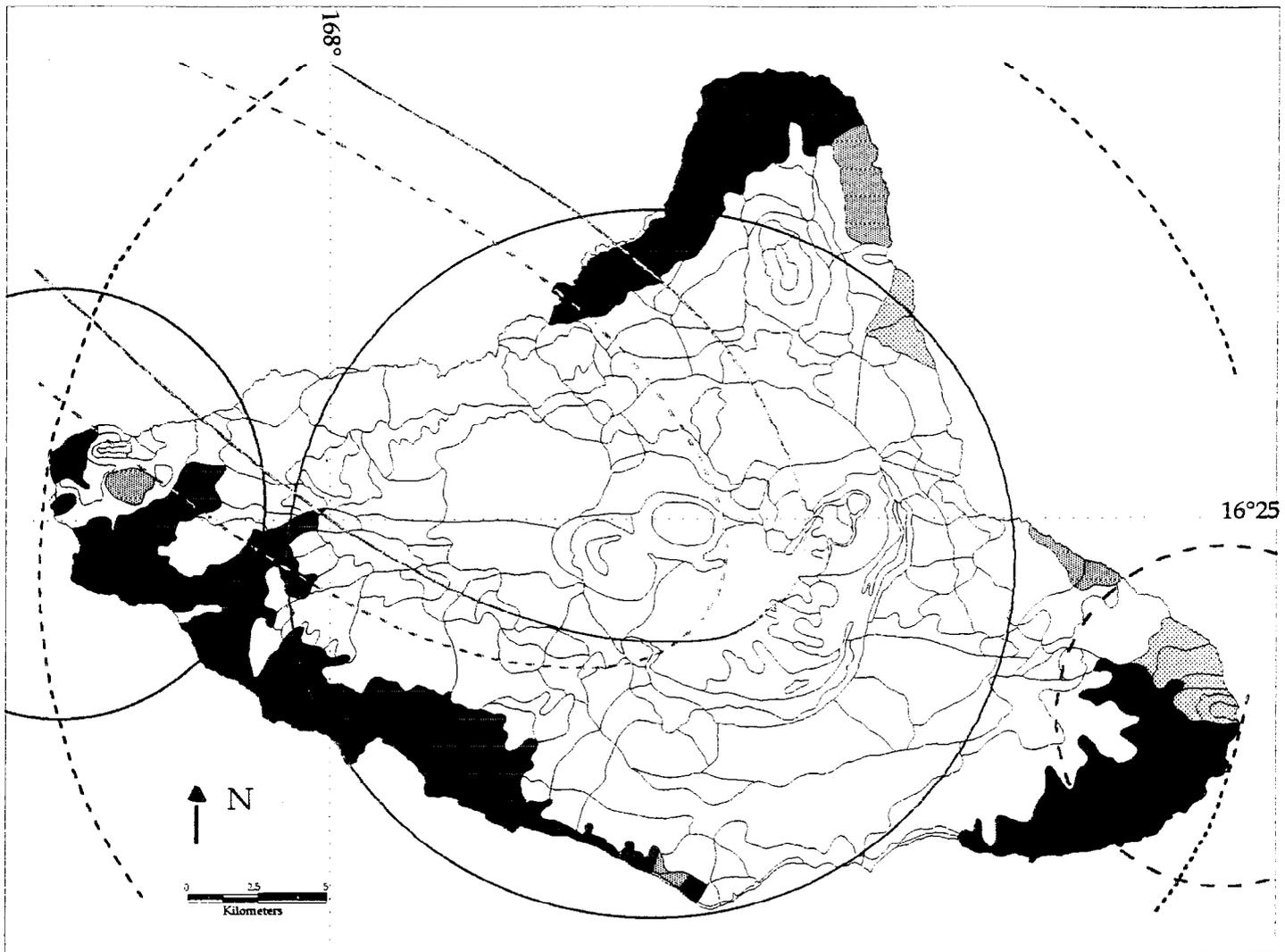
	Superficie U. (ha) par type cultural	Rapport type / S.U.
IP-AR	471	4
JP-P	6354	58
AR-JP	1890	17
P-JP	937	9
PUC	1295	12
île	10947	100

Les modes culturaux les plus pratiqués sont, essentiellement, les jardins permanents avec les plantations (généralement des cocoteraies) (voir tab.II.23) qui sont, principalement, localisés dans les régions côtières au nord, à l'est et à l'ouest (les cartes

d'utilisation du sol dominante, secondaire et mineure sont présentées en annexe 4a, 4b et 4c). Nous constatons que , également pour cette île, l'agriculture traditionnelle est la plus développée.

⇒ Pour les zones à risques :

Les informations sur toutes les zones considérées à risques sont regroupées dans le tableau II.24. Tous les types d'activité volcanique sont pris en compte, aussi bien l'activité « normale », modérée que cataclysmale qui correspond à l'île entière, soit la zone 2.



Zones à risques :

Cas de forte activité :

- Zone 1
- - Zone 2

Activités phréato-magmatiques :

- Zone 3
- - Zone 4

Cas d'activité moyenne :

- - Zone 5
- Zone 6

intensité d'utilisation du sol
pour l'île d'Ambrym :

- très élevée avec des cultures arbustives
- modérée
- faible
- très faible
- extrêmement faible
- non utilisé

Fig.II.14 : Carte d'intensité d'utilisation du sol pour l'île d'Ambrym (VANRIS).

Tab.II.24 : Détails pour toutes les zones à risques pour l'île d'Ambrym (VANRIS) :

ZONE	superficie (ha)	superficie utilisée (ha)	nbre de ménages	nbre de villages	population
total Z1	45524	3101	241	24	1255
%/île	67	28	17	14	18
total Z3	4852	1308	157	23	826
%/île	7	12	11	13	12
total Z4	3973	1967	166	18	763
%/île	6	18	12	10	11
total Z5	19274	387	21	7	111
%/île	28	4	1	4	2
total Z6	17817	597	22	5	102
%/île	26	5	2	3	1
île (total Z2)	68454	10947	1442	177	6977

Tab.II.25 : Proportion de la surface utilisée par rapport à la surface totale en % (VANRIS)

	% S.U. / S.T.
île	16
Zone 1	7
Zone 3	27
Zone 4	50
Zone 5	2
Zone 6	3

Seulement 16 % de l'île est utilisé et les zones à risques les plus utilisées sont les zones 3 et 4, qui sont les extrémités est et ouest de l'île où une forte concentration de population est présente (Tab.II.25).

⇒ ZONE 1 :

Tab.II.26 : Bilan Zone 1 Ambrym :

	Superficie U. (ha) par type cultural	Rapport type / S.U.
AR-JP	407	14
JP-P	2008	70
PUC	465	16
Zone 1	2880	100

intensité	Superficie utilisée (ha)	% intensité / S.U.
très élevée avec des cultures arborescentes	1485	52
modérée	863	30
faible	487	17
très faible	14	0
extrêmement faible	31	1
non utilisée	0	0
total	2880	100

La zone 1, qui correspond à la région de 10 km autour du volcan, est utilisée uniquement à 16 %, mais avec une intensité très élevée (Tab.II.26). Cette zone est surtout cultivée au niveau de la côte sud, sud-ouest et, dans une moindre mesure au niveau de la côte nord-ouest. Les pratiques culturales sont, essentiellement (70%), des jardins permanents et des plantations (cocoteraies).

⇒ ZONE 3 :

Tab.II.27 : Bilan Zone 3 Ambrym :

	Superficie U. par type cultural	Rapport type / S.U.
JP-P	555	42
AR-JP	742	57
PUC	11	1
Zone 3	1308	100

Intensité	Superficie utilisée (ha)	% intensité / S.U.
très élevée avec des cultures arborescentes	261	20
faible	1013	77
très faible	34	3
non utilisée	0	0
total	1308	100

Cette zone correspond à la région située à la pointe ouest de l'île dans les alentours de Craig-Cove. Elle couvre 7 % de l'île et représente 12 % de la surface utilisée totale. L'intensité d'utilisation du sol est, essentiellement, faible, pour cette partie de l'île, et les pratiques culturales associées sont, pour plus de la moitié, l'agriculture rotative et les jardins permanents, suivies par les jardins permanents avec les plantations (cocoteraies) (Tab.II.27).

⇒ ZONE 4 :

Tab.II.28 : Bilan Zone 4 Ambrym :

	Superficie U. par type cultural	Rapport type / S.U.
JP-AR	384	20
JP-P	545	28
P-JP	534	27
PUC	504	26
Zone 4	1967	100

Intensité	Superficie utilisée (ha)	% intensité / S.U.
très élevée avec des cultures arborescentes	773	39
modérée	1116	57
extrêmement faible	78	4
non utilisée	0	0
total	1967	100

Cette zone correspond à la région à l'extrémité est de l'île, dans les environs de Ulei. Elle couvre 6 % de la surface totale de l'île et sa surface utilisée représente 18 % de celle de l'île. L'intensité d'utilisation du sol est, principalement, modérée et les activités culturales sont un partage entre les jardins permanents avec les plantations et une utilisation du sol « pas courante » (où il n'y a pas d'utilisation en cours.) (voir § 3.2.1. et tab.II.28).

⇒ ZONE 5 :

Tab.II.29 : Bilan Zone 5 Ambrym :

	Superficie U. par type cultural	Rapport type / S.U.
JP-P	64	17
AR-JP	229	59
PUC	94	24
Zone 5	387	100

Cette zone couvre près d'un tiers de l'île et représente un peu moins de 5 % de la surface utilisée totale. Elle s'étire du volcan vers l'ouest suivant les alizés qui ont une direction générale SE-NO.

intensité	Superficie utilisée (ha)	% intensité / S.U.
très élevée avec des cultures arbustives	76	20
modérée	123	32
faible	188	49
non utilisée	0	0
total	387	100

L'intensité d'utilisation du sol est faible et caractérisée par l'agriculture rotative et les jardins permanents, essentiellement localisés sur les littoraux (voir Tab.II.29).

⇒ ZONE 6 :

Tab.II.30 : Bilan Zone 6 Ambrym :

	Superficie U. par type cultural	Rapport type / S.U.
JP-P	395	66
PUC	202	34
Zone 6	597	100

Cette zone couvre sensiblement la même superficie que la zone 5 et à quasiment la même surface utilisée. Elle se retrouve légèrement décalée vers le nord. L'intensité d'utilisation du sol est modérée, pour les zones cultivées, et dominée, au deux tiers, par les jardins permanents avec les plantations (cocoteraies) (Tab.II.30).

intensité	Superficie utilisée (ha)	% intensité / S.U.
très élevée avec des cultures arbustives	68	11
modérée	529	89
non utilisée	0	0
total	597	100

3.2.1.3 - AOBA :

⇒ Pour l'île entière :

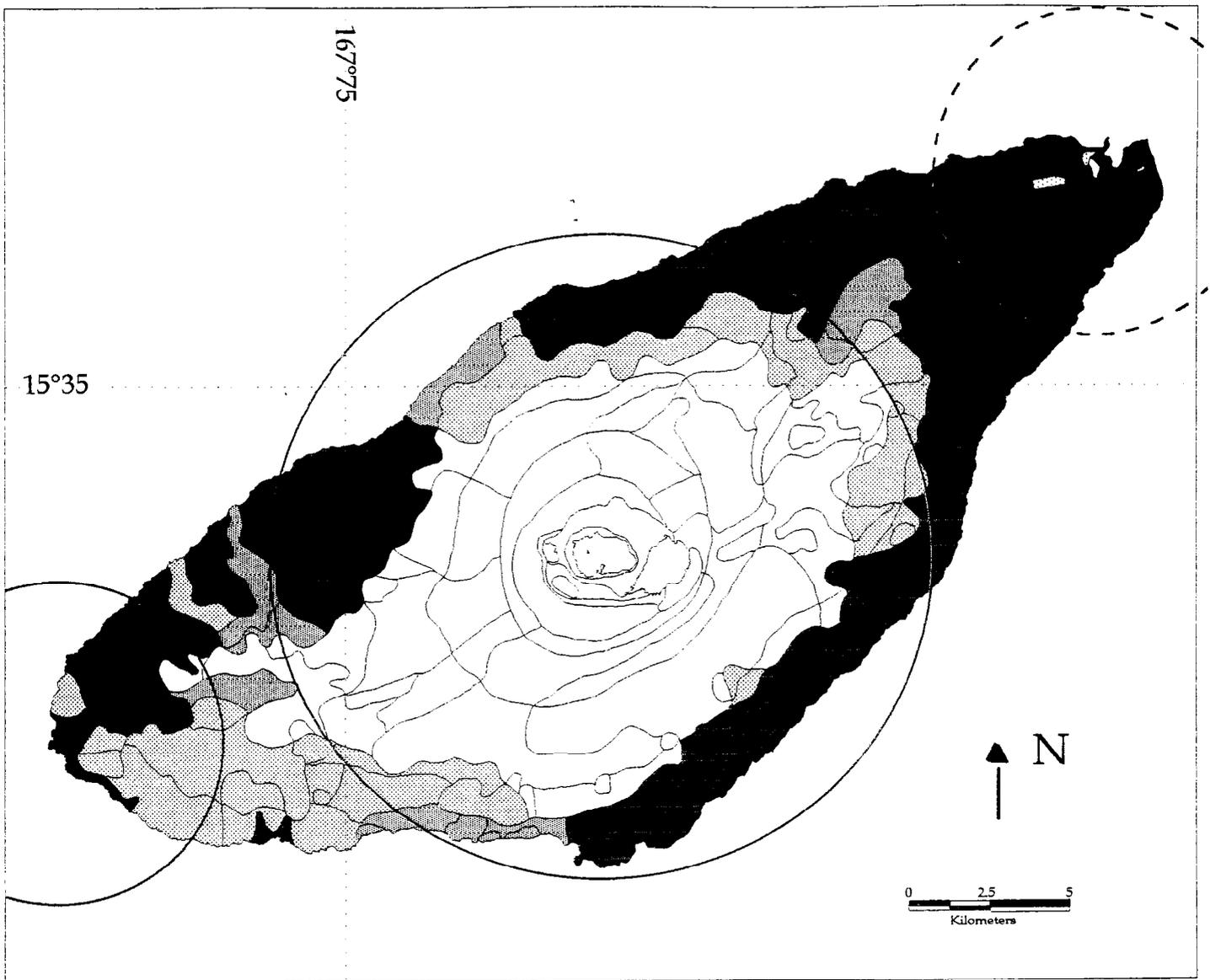
La population d'Aoba est principalement localisée sur les littoraux, aux extrémités NO et NE (voir Fig.II.8). Il s'ensuit une intensité d'utilisation du sol assez importante dans ces régions habitées (voir Fig.II.15).

Tab.II.31 : Intensité d'utilisation du sol pour Aoba (VANRIS)

intensité	superficie utilisée (ha)	% intensité / S.U
très élevée avec des cultures arbustives	6552	50
modérée	2571	19
faible	3044	23
très faible	381	3
extrêmement faible	645	5
non utilisée	0	0
non cultivée	40	0
total	13233	100

La moitié des terres cultivées, qui couvrent un tiers de l'île, le sont avec une intensité très élevée avec la présence de cultures arbustives (Tab.II.31). Ces régions sont surtout localisées le long des côtes entre Walaha et N'dui N'dui, entre Nangire et Lolowai et autour de Wailengi et Longana. Les cartes des utilisations du sol dominante,

secondaire et mineure sont présentes en annexe II.5a, 5b et 5c.



Zones à risques :

Cas d'activité forte :

— Zone 1

Cas d'éruptions phréato-magmatiques :

— Zone 2

- - Zone 3

intensité d'utilisation du sol
pour l'île d'Aoba :

- très élevée avec cultures arbustives
- modérée
- faible
- très faible
- extrêmement faible
- non cultivé
- non utilisé

Fig.II.15 : Carte de l'intensité d'utilisation du sol pour Aoba (VANRIS).

Tab.II.32 : Répartition des divers types culturaux
(VANRIS)

	superficie U. (ha) par type cultural	Rapport type/S.U
AR-JP	217	2
JP-P	12483	94
PUC	533	4
île	13233	100

Les pratiques culturelles les plus représentées sont ,à 94 %, les jardins permanents avec les plantations (cocoteraies). Ce type de plantations est associé avec l'élevage sur l'ensemble de l'île (Tab.II.32).

⇒ Pour les zones à risques :

Un récapitulatif des informations disponibles pour les trois zones à risques volcaniques de l'île d'Aoba est présenté dans le tableau II.33.

Tab.II.33 : Détails pour toutes les zones à risques pour l'île d'Aoba (VANRIS) :

ZONE	superficie (ha)	superficie utilisée (ha)	nbre de ménages	nbre de villages	population
total Z1	27077	5553	829	169	3832
%/île	67	42	46	45	45
total Z2	2704	1448	118	16	574
%/île	7	11	7	4	7
total Z3	2966	2097	246	54	1317
%/île	7	16	14	14	15
île	40566	13233	1806	376	8580

Tab.II.34 : Proportion de la surface utilisée par rapport à la surface totale en % (VANRIS)

	% S.U/S.T
île	33
Zone 1	21
Zone 2	54
Zone 3	71

Un tiers de l'île est utilisée ; la zone 1, qui est la zone autour du volcan est peu utilisée contrairement aux zones 2 et 3, qui correspondent aux extrémités de l'île et qui sont cultivées respectivement à 54 et 71 % (Tab.II.34).

⇒ ZONE 1 :

Tab.II.35 : Bilan Zone 1 Aoba :

	superficie U. par type cultural	Rapport type/S.U
AR-JP	149	3
JP-P	5241	94
PUC	163	3
Zone 1	5553	100

Elle correspond à la région de 10 km autour du lac Vouï et couvre 67 % de l'île dont seulement 21 % sont cultivés. L'intensité d'utilisation du sol est surtout très élevée avec des cultures arbustives

intensité	superficie utilisée (ha)	% intensité / S.U.
très élevée avec des cultures arborescentes	2320	42
modérée	1468	26
faible	1256	23
très faible	170	3
extrêmement faible	339	6
non utilisée	0	0
total	5553	100

sur, essentiellement la côte nord et dans une moindre mesure sur la côte sud. Et les pratiques culturelles surtout les jardins permanents avec les plantations (cocoteraies); ces dernières étant associées avec de l'élevage (Tab.II.35).

⇒ ZONE 2 :

Tab.II.36 : Bilan Zone 2 Aoba :

	superficie U. par type culturel	Rapport type/S.U.
J.P.	1277	88
PUC	171	12
total	1448	100

Cette zone correspond à la région la plus à l'ouest de l'île; elle couvre uniquement 7 % de l'île dont 54 % sont utilisés avec une intensité très élevée à modérée.

intensité	superficie utilisée (ha)	% intensité / S.U.
très élevée avec des cultures arborescentes	654	45
modérée	654	45
très faible	18	1
extrêmement faible	122	8
non utilisée	0	0
total	1448	100

Les types cultureux sont, essentiellement, à 88 %, les jardins permanents avec les plantations (cocoteraies). L'élevage est encore dans cette région présent sous les cocotiers (Tab.II.36).

⇒ ZONE 3 :

Tab.II.37 : Bilan Zone 3 Aoba :

	superficie U. par type culturel	Rapport type/S.U.
J.P.	2097	100
Zone 3	2097	100

Cette zone représente les régions les plus à l'est, densément habitées, qui couvrent aussi 7 % de l'île, qui sont utilisés à près de 71 %. Ceci montre une intensité d'utilisation du sol très élevée.

intensité	superficie utilisée (ha)	% intensité / S.U.
très élevée avec des cultures arborescentes	1173	56
modérée	25	1
faible	859	41
non utilisée	0	0
non cultivée	40	2
total	2097	100

Et, par ailleurs, les activités culturelles sont représentées uniquement par les jardins permanents avec les plantations (Tab.II.37).

3.2.1.4 - GAUA :

⇒ Pour l'île entière :

La population de Gaua est, essentiellement, localisée sur la côte ouest et quelques littoraux (Fig.II.10). Les données fournies par VANRIS, pour cette île, se limitent à l'intensité d'utilisation du sol (Fig.II.16). Les informations sur les pratiques culturales ne sont pas précisées. L'intensité d'utilisation du sol des zones côtières, qui sont les seules habitées, est toutefois assez faible étant donné la faible densité de population (~ 4,8 hab/km²) présente sur l'île.

Tab.II.38 : intensité d'utilisation du sol pour Gaua (VANRIS)

intensité	superficie utilisée (ha)	% intensité / S.U.
modérée	63	3
faible	587	31
très faible	435	23
extrêmement faible	806	42
non utilisée	0	0
non cultivée	27	1
île	1918	100

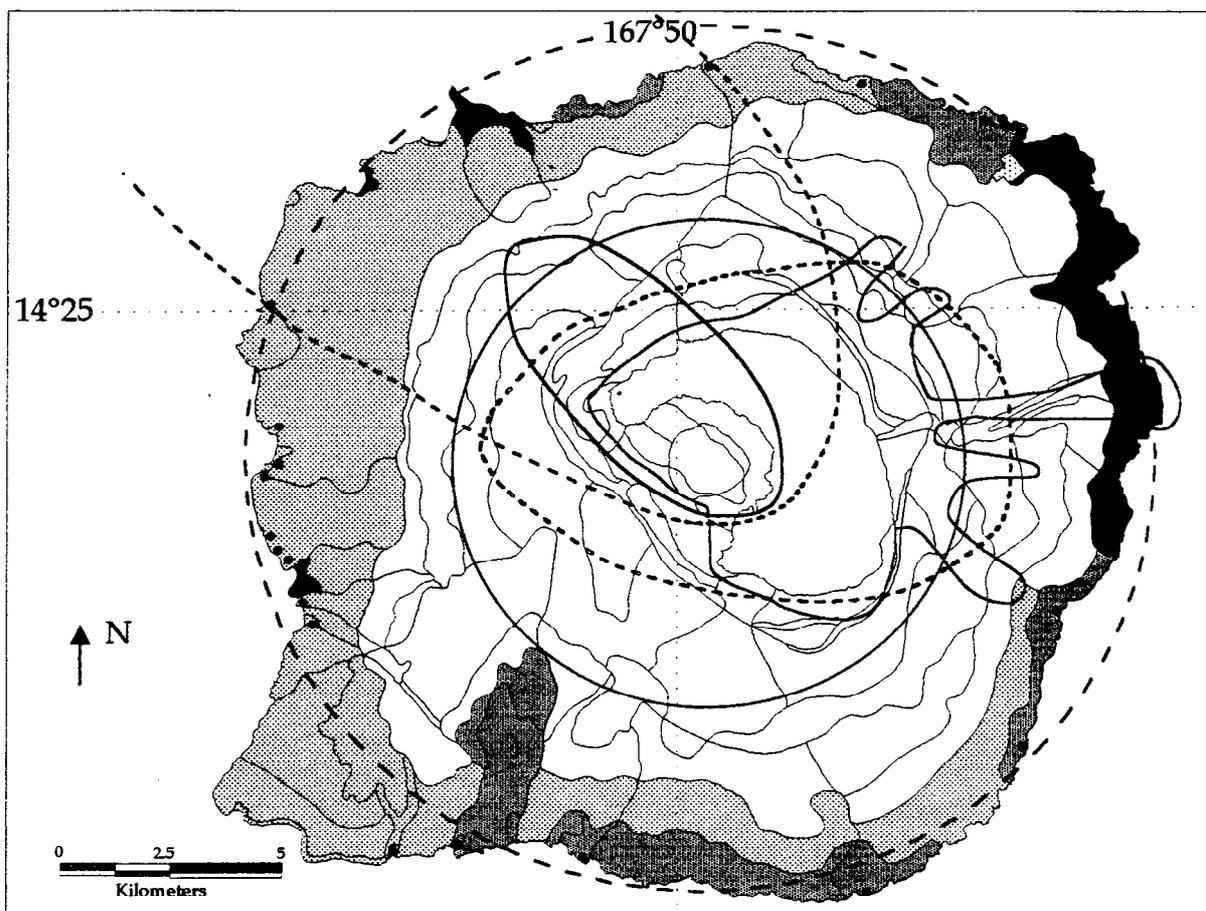
Seulement 6 % des terres sont cultivées sur Gaua. L'intensité d'utilisation du sol la plus étendue est celle extrêmement faible. Quelques 3 % de la surface utilisée est cultivée modérément, autour de Tolab et Mesabolo (Tab.II.38).

⇒ Pour les zones à risques :

Le tableau II.39 regroupe les informations sur les différentes zones à risques volcaniques déterminées sur l'île de Gaua.

Tab.II.39 : Détails pour toutes les zones à risques pour l'île de Gaua (VANRIS)

ZONE	superficie (ha)	superficie utilisée (ha)	nombre de ménages	nombre de villages	population
Total Z1	2714	0	0	0	0
% île	8	0	0	0	0
Total Z2	8982	248	5	4	25
% île	27	13	2	6	2
Total Z3	10252	0	0	0	0
% île	31	0	0	0	0
Total Z4	31670	1668	244	50	1260
% île	96	87	81	86	79
Total Z5	4636	43	3	2	20
% île	14	2	1	3	1
Total Z6	7060	0	0	0	0
% île	21	0	0	0	0
île	32996	1918	301	58	1594



Zones à risques :

- Zone 1
- - Zone 2
- Zone 3
- - Zone 4
- Zone 5
- - Zone 6

intensité d'utilisation du sol
pour l'île de Gaua :

- modérée
- faible
- très faible
- extrêmement faible
- non cultivé
- non utilisé

Fig.II.16 : Carte d'intensité d'utilisation du sol pour Gaua (VANRIS)

Tab.II.40 : Proportion de la surface utilisée par rapport à la surface totale en % (VANRIS)

	% S.U. / S.T.
Ile	6
Zone 1	0
Zone 2	3
Zone 3	0
Zone 4	5
Zone 5	1
Zone 6	0

L'utilisation du sol sur Gaua est très faible; uniquement les zones 2, 4 et 5 sont utilisées, mais de manière très diffuse avec un maximum de 5 % avec la zone 4. Les zones 1, 3 et 6 ne sont pas habitées, ce qui explique le fait que ces terres ne soient pas cultivées.

⇒ ZONE 2 :

Tab.II.41 : Bilan Zone 2 Gaua :

intensité	superficie utilisée (ha)	% intensité / S.U.
modérée	19	8
faible	51	21
très faible	19	8
extrêmement faible	159	64
non utilisée	0	0
ZONE 2	248	100

Cette zone qui représente 27 % de l'île n'est utilisée qu'à 3 %. Cette région, qui correspond à la zone de recouvrement des retombées de cendre, n'est cultivée qu'extrêmement faiblement sur la plus grande étendue (Tab.II.41).

⇒ ZONE 4 :

Tab.II.42 : Bilan Zone 4 Gaua :

intensité	superficie utilisée (ha)	% intensité / S.U.
modérée	63	4
faible	454	27
très faible	413	25
extrêmement faible	711	43
non utilisée	0	0
non cultivée	27	2
ZONE 4	1668	100

Cette la zone la plus étendue de l'île qui couvre quasiment la totalité (96 %). Mais elle est, toutefois, utilisée seulement à 5 %, avec une intensité extrêmement faible (Tab.II.42).

⇒ ZONE 5 :

Tab.II.43 : Bilan Zone 5 Gaua :

intensité	superficie utilisée (ha)	% intensité / S.U.
faible	43	100
non utilisée	0	0
ZONE 5	43	100

Cette zone représente 14 % de la surface totale de l'île dont seulement 1 % est utilisée avec une intensité d'utilisation du sol faible (Tab.II.43).

En regardant en détail ces quatre îles, il apparaît clairement que leur agriculture est essentiellement une agriculture de subsistance qui repose en majorité sur les jardins permanents. D'autre part, il existe une certaine constante dans la répartition de la

population, qui se trouve préférentiellement sur les côtes, qui sont les zones où les cocoteraies sont les mieux adaptées pour pousser.

3.2.2 - Les estimations de pertes pour l'agriculture :

Ces premières estimations tiennent compte de l'agriculture de subsistance et de l'agriculture commerciale. Le calcul de ces pertes, pour toutes les zones en considérant tous les types d'activité possibles (« normale », modérée à forte et cataclysmale), a été basé sur les estimations de revenus par hectare de divers types culturaux, proposées par le bureau de la planification de l'utilisation du sol avec l'agence AusAID (Australian Agency for International Development). Ces estimations sont présentées dans le tableau suivant :

Tab.II.44 : Revenus par type cultural par hectare en milliers de Vatus (L.U.P.O., 1998) :

	Revenus / ha (* 1000 VT)
Agri de subsistance	166
Coprah	13
Café	40
Elevage	3,4

de même pour « l'agriculture rotative et les jardins permanents » (AR-JP) et « les jardins permanents et l'agriculture rotative » (JP-AR). Les classes « pas d'utilisation courante » (PUC), « utilisation urbaine ou villageoise » (UVOU) et « aucunes données » (AD) n'ont pas été prises en compte dans les estimations des pertes pour l'agriculture, par manque de précisions sur les activités culturelles pratiquées dans ces zones.

Tab.II.45 : Revenus par hectare suivant les différents modes de culture en milliers de Vatus :

	revenus / ha (* 1000 VT)
JP-AR / AR-JP	166
JP-P(Co) ¹ / P(Co)-JP	89,5
JP-P(Ca+Co) ² / P(Ca+Co)-JP	96,25
JP-P(EI+Co) ³ / P(EI+Co)-JP	91,2
AR	166

¹ moyenne entre les revenus par ha de l'agriculture de subsistance et ceux du coprah.

² moyenne entre les revenus par ha de l'agriculture de subsistance et ceux du café + Coprah (50%, 25% Ca et 25% Co).

³ moyenne entre les revenus par ha de l'agriculture de subsistance et ceux de l'élevage associé aux plantations (50%, 50% Co + 50% EI).

différencier les différents types de cultures de manière exacte.

Pour chaque île une estimation des pertes est proposée en considérant les activités actuelle et cataclysmale (qui correspond à toutes les zones à risques volcaniques).

Pour les estimations les sous-classes « jardins permanents et plantations » (JP-P) et « plantations et jardins permanents » (P-JP) ont été regroupées dans la même catégorie ; il en est

Pour les divers types culturaux les estimations de revenus par hectare sont présentées dans le tableau II.45, ci-contre.

Etant donné que les proportions de chaque type ne sont pas précisées, pour chaque sous-classes, composées de deux types culturaux, les proportions de 50 %-50 % ont été utilisées. Pour l'élevage, l'estimation que 100 % du bétail se trouve sous les cocoteraies a été prise en compte.

La complexité de l'utilisation du sol, qui se traduit par une superposition de multiples cultures, au Vanuatu, ne permet pas de

3.2.2.1 - TANNA :

Pour cette île, les plantations de toutes les zones à risques volcaniques ont été considérées comme des plantations de cocotiers et de caféiers (P(Co+Ca)), en proportion égale, étant donné que le café est produit sur les régions du sud-est, de l'ouest, du Middle Bush et de Greenhill (*Statistic Office, 1994*).

⇒ Activité habituelle :

L'activité habituelle du Yasur limite les retombées de cendre à la zone 1 et parfois à la zone 2, quand une reprise d'activité se fait ressentir, comme cela a été souvent constaté à la saison humide.

Lors de l'activité « normale » du Yasur, la région qui est touchée est celle de Whitesands. Des estimations en pourcentage de destructions de la végétation n'ont pas encore été faites en fonction de l'épaisseur du dépôt et des retombées des pluies acides et restent, de plus, difficiles à chiffrer. Cependant, une étude des impacts des pluies acides, menée par D. Buisson (1994), a montré que les régions qui subissent le plus les effets néfastes des pluies acides sont celles de Whitesands et de Port-Résolution. Des dégâts importants ont été constatés sur les ignames, les taros, les maniocs, les bananiers, les papayers, les cocotiers et les *cumalas* (patates douces), créés par les pluies acides dues au « lessivage » des panaches éruptifs, chargés en éléments agressifs (notamment les sulfates et les chlorures).

⇒ Activité cataclysmale :

Lors d'une éruption cataclysmale, la zone 3 serait affectée par les retombées de cendre (cette zone englobe les zones 1 et 2) et la zone 5 (qui contient également la zone 4) serait fortement susceptible de subir les effets de nuées ardentes.

• ZONE 1, 2 et 3 :

Estimations des pertes en agriculture par les retombées de cendre :

- AR	= 676 ha × 166 000	⇒ 112 216 000 VT
- JP-AR + AR-JP	= 8805 ha × 166 000	⇒ 1 461 630 000 VT
- JP-P + P-JP	= 1575 ha × 96 250	⇒ 151 593 750 VT
	TOTAL	⇒ 1 725 439 750 VT ¹

¹ ~ 80 millions de FF (Taux de chancellerie au 1^{er} juillet 1998, 21.55 VT pour 1 FF).

Ces estimations de pertes (~ 1 milliard 750 millions de VT) correspondent à la destruction totale des cultures, ce qui se produit quand le dépôt des retombées de cendre excède les 20 cm (*Blong, 1984 - p.319*). En dessous de cette limite, les végétaux subissent des destructions plus ou moins importantes suivant les espèces.

• ZONE 4 et 5 :

Estimations des pertes en agriculture par recouvrement par des nuées ardentes :

- AR = 143 ha × 166 000 ⇒ 23 738 000 VT
- JP-AR + AR-JP = 2279 ha × 166 000 ⇒ 378 314 000 VT
- P-JP = 241 ha × 96 250 ⇒ 23 196 250 VT

TOTAL ⇒ 425 248 250 VT¹

Les destructions de la végétation par les nuées ardentes sont totales (leur température est largement au-dessus des points d'inflammation des végétaux !), par conséquent, ces estimations sont approximativement les pertes (~ 450 millions de VT) que pourrait subir cette région si le volcan venait à rentrer dans une phase d'activité cataclysmale.

En fin de compte les pertes totales en agriculture (c'est-à-dire, agriculture de subsistance et agriculture commerciale), pour l'île de Tanna, dans le cas d'une éruption cataclysmale, s'élèveraient à :

- Pertes Zones 1,2 et 3 ⇒ 1 725 439 750 VT

- Pertes (Zones 4 et 5) - partie Zone 3 :

⇒ AR-JP + JP-AR = 1472 ha × 166 000 ⇒ 244 352 000 VT

⇒ AR = 13 ha × 166 000 ⇒ 2 158 000 VT

TOTAL ⇒ 1 971 949 750 VT²

Ces chiffres sont les pertes totales (~ 1 milliard 971 millions de VT) en agriculture si l'île subissait une éruption cataclysmale, qui engendrerait un recouvrement de cendre de plus de 20 cm, pour les zones menacées, et une production de nuées ardentes qui dévasteraient la totalité des zones menacées par ces risques. Ces estimations sont donc les valeurs extrêmes que peuvent prendre les pertes en agriculture, dans ce cas précis d'activité volcanique, pour l'île de Tanna, soit près de 2 milliards de VT !

¹ ~ 20 millions FF.

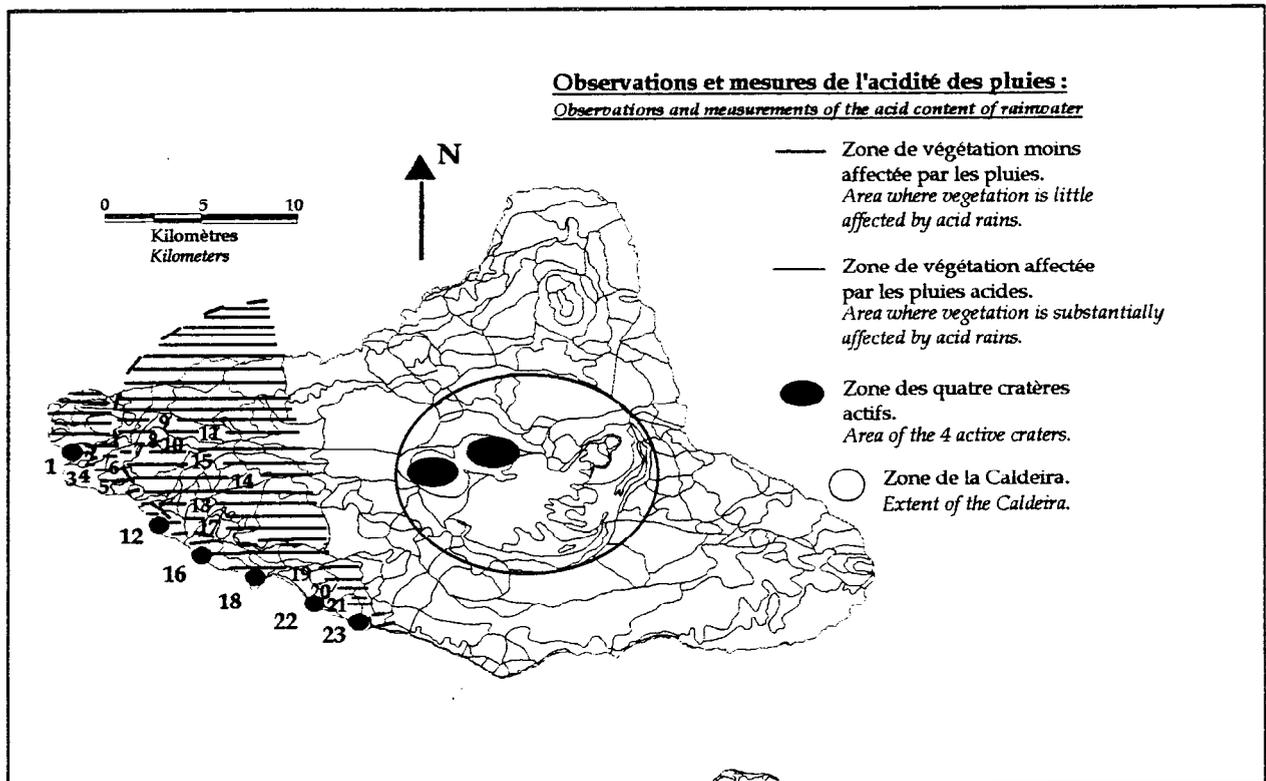
² ~ 91.5 millions FF.

3.2.2.2 - AMBRYM :

Pour l'île entière, les plantations ont été considérées comme des monocultures de cocotiers, bien que le cacao et l'élevage soient pratiqués, à très petite échelle, ainsi que le kava (*Statistic Office, 1994*).

⇒ Activité habituelle :

Les activités habituelles des volcans d'Ambrym, se limitent à des émissions de panaches éruptifs, qui, une fois poussés par les alizés, peuvent affecter les zones qu'ils survolent par les effets des pluies acides. Ces zones susceptibles de subir les effets des retombées de cendre et des pluies acides sont, d'après la carte de menaces, les zones 5 et 6. Mais une étude récente, faite à partir des études des pH des eaux récoltées dans les réservoirs sur l'ensemble de l'île, montre que les pluies acides affectent également les régions du sud-ouest de l'île (voir figure II.17 ci-dessous tiré de *Lardy et al., n°1, 1998* et *Saos, 1979*).



Comme pour l'île de Tanna, le manque de données sur les effets des pluies acides sur la végétation ne permet pas de préciser les pertes chiffrées de ce risque pour l'agriculture.

⇒ Activité cataclysmale :

Dans le cas d'une éruption cataclysmale des édifices volcaniques de l'île d'Ambrym, de l'ampleur de celles de 1913 et 1929, qui ont amené l'évacuation d'une partie de la population, ce serait toute l'île qui serait menacée. Les zones 1 et 2 correspondraient aux régions affectées par les retombées de cendre, pouvant atteindre 50 cm dans la zone 1 (soit une destruction totale de la végétation) et de quelques centimètres à quelques décimètres dans la zone 2 (soit une destruction partielle à totale de la végétation). Alors que les zones 3 et 4 correspondraient aux régions où des interactions phréato-magmatiques peuvent se produire et détruire totalement ces zones.

• ZONE 1 :

Estimations des pertes en agriculture par les retombées de cendre et les lahars :

$$\begin{aligned} - \text{AR-JP} &= 407 \text{ ha} \times 166\,000 \Rightarrow 67\,562\,000 \text{ VT} \\ - \text{JP-P} &= 2008 \text{ ha} \times 89\,500 \Rightarrow 179\,716\,000 \text{ VT} \\ \text{TOTAL} &\Rightarrow 247\,278\,000 \text{ VT}^1 \end{aligned}$$

Les pertes (~247 millions de VT) seraient totales dans ce cas précis, étant donné que le dépôt des retombées de cendre dépasserait les 20 cm d'épaisseur et que les lahars (coulées de boue) ont des effets très destructeurs.

• ZONE 2 :

Estimations des pertes en agriculture par les retombées de cendre :

$$\begin{aligned} - \text{JP-AR} + \text{AR-JP} &= 2361 \text{ ha} \times 166\,000 \Rightarrow 391\,926\,000 \text{ VT} \\ - \text{JP-P} + \text{P-JP} &= 7291 \text{ ha} \times 89\,500 \Rightarrow 652\,544\,500 \text{ VT} \\ \text{TOTAL} &\Rightarrow 1\,044\,470\,500 \text{ VT}^2 \end{aligned}$$

Ce chiffre (~1 milliard 44 millions de VT) représente la limite extrême des destructions de la végétation par les retombées de cendre.

¹ ~ 11.5 millions FF.

² ~ 48.5 millions FF.

• ZONE 3 :

Estimations des pertes en agriculture par les éruptions phréato-magmatiques :

$$\begin{aligned} - \text{AR-JP} &= 742 \text{ ha} \times 166\,000 \Rightarrow 123\,172\,000 \text{ VT} \\ - \text{JP-P} &= 555 \text{ ha} \times 89\,500 \Rightarrow 49\,672\,000 \text{ VT} \\ \text{TOTAL} &\Rightarrow 172\,844\,000 \text{ VT}^1 \end{aligned}$$

Etant donné le caractère très explosif des éruptions phréato-magmatiques, la destruction de la végétation serait totale (~173 millions de VT), si ce genre d'interaction eau-magma venait à se produire dans cette zone.

• ZONE 4 :

Estimations des pertes en agriculture par les éruptions phréato-magmatiques :

$$\begin{aligned} - \text{JP-AR} &= 384 \text{ ha} \times 166\,000 \Rightarrow 63\,744\,000 \text{ VT} \\ - \text{JP-P} + \text{P-JP} &= 1079 \text{ ha} \times 89\,500 \Rightarrow 96\,570\,500 \text{ VT} \\ \text{TOTAL} &\Rightarrow 160\,314\,000 \text{ VT}^2 \end{aligned}$$

Une destruction totale (~160 millions de VT) de la végétation s'ensuivrait avec ce type d'éruption, comme la zone 3.

En fin de compte, dans le cas d'une éruption à caractère cataclysmale, les pertes extrêmes en agriculture approcheraient près d'un milliard de Vatus, si les retombées de cendre sont suffisamment épaisses pour détruire toute la végétation. Mais en considérant, uniquement les destructions dans les zones 1, 3 et 4, qui auraient une grande probabilité d'occurrence, les pertes en agriculture s'élèveraient à :

$$\begin{aligned} - \text{Pertes Zone 1} &\Rightarrow 247\,278\,000 \text{ VT} \\ - \text{Pertes Zone 3} &\Rightarrow 172\,844\,000 \text{ VT} \\ - \text{Pertes Zone 4} &\Rightarrow 160\,314\,000 \text{ VT} \\ \text{TOTAL} &\Rightarrow 580\,436\,000 \text{ VT}^3 \end{aligned}$$

Ces valeurs (~580 millions de VT) correspondent aux destructions maximales que peuvent subir les cultures, dans le cas d'activité cataclysmale des volcans d'Ambrym.

¹ ~ 8 millions FF.

² ~ 7.5 millions FF.

³ ~ 27 millions FF.

3.2.2.3 - AOBA :

Pour l'île entière, l'élevage, qui est assez important, a été considéré comme étant pratiqué sous toutes les plantations. Les plantations de cacao et la culture du kava, qui sont aussi pratiqués sur cette île n'ont pas été pris en compte par manque d'informations sur leurs surfaces utilisées et leur localisation précise.

⇒ Activité actuelle :

L'activité du volcan d'Aoba, se limite au niveau du lac Vouï, dont la couleur vert turquoise traduit la présence d'une activité en profondeur. Les seules constatations de brûlure de la végétation sont les zones à proximité du lac. L'analyse d'une image Spot de la zone sommitale, prise en 1992, a montré la présence de zones fortement déforestées (couvrant une surface de 94 ha) et moyennement déforestées (159 ha) (*Lardy et al., 1995*). Par conséquent, au niveau de l'agriculture de cette île, l'activité du volcan ne pose pas de problèmes, étant donné que cette zone n'est pas cultivée.

⇒ Activité cataclysmale :

Si une éruption cataclysmale venait à se produire, les trois zones (1, 2 et 3) menacées seraient entièrement dévastées ; la zone 1, par les lahars (coulées de boue) et les déferlantes basales (écoulements pyroclastiques chargés en gaz et solides) et les zones 2 et 3, par les violentes interactions explosives phréato-magmatiques.

• ZONE 1 :

Estimations des pertes en agriculture par les lahars et les déferlantes basales :

- AR-JP = 149 ha × 166 000 ⇒	24 734 000 VT
- JP-P = 5241 ha × 91 200 ⇒	477 979 200 VT
TOTAL ⇒	502 713 200 VT ¹

Soit ~ 503 millions de VT.

¹ ~ 23 millions FF.

• ZONE 2 et 3 :

Estimations des pertes en agriculture par des interactions phréato-magmatiques :

$$- \text{JP-P} = 3374 \text{ ha} \times 91\,200 \Rightarrow 307\,708\,800 \text{ VT}^1$$

Pour l'ensemble de l'île, toutes zones confondues, ces estimations s'élèveraient à :

$$\begin{array}{l} - \text{Pertes Zone 1} \quad \Rightarrow 502\,713\,000 \text{ VT} \\ - \text{Pertes Zones 2 et 3} \Rightarrow 307\,708\,800 \text{ VT} \\ \text{TOTAL} \quad \quad \quad \Rightarrow 810\,422\,000 \text{ VT}^2 \end{array}$$

Ces estimations (~810 millions de VT), qui restent approximatives, représentent toutefois des ordres de grandeur pour tenter une approche du coût des pertes économiques engendrées par une catastrophe.

3.2.2.4 - GAUA :

Pour l'île de Gaua les seules données VANRIS disponibles concernent l'intensité d'utilisation du sol. Toutefois, les pertes en agriculture resteraient faibles, si une éruption cataclysmale venait à se produire étant donné que pour les zones 2, 4 et 5 (qui sont les seules cultivées), les pourcentages des surfaces utilisées sont respectivement de 3%, 5% et 1% et correspondent à des surfaces de 248 ha, 1668 ha et 43 ha, alors que la surface totale de l'île s'élève à près de 33000 ha, soit 300 km².

3.2.3 - Les estimations de pertes pour l'agriculture commerciale :

Ces estimations se sont basées sur les revenus par famille (moyenne de 5 à 6 personnes) et par année que rapportent l'agriculture commerciale, c'est-à-dire près de 100 000 VT.

¹ ~14 millions FF.

² ~ 37.5 millions FF.

TANNA :

Une famille, sur l'île de Tanna, est sur une base de 5 personnes.

ZONE	nbre de ménages	population
total Z1	113	562
total Z2	1671	8348
total Z3	3339	16554
total Z4	315	1623
total Z5	931	4494
île	3943	19639

Estimation (en millions de Vatus) des pertes pour l'agriculture commerciale sur la base du revenu de 100000 Vatus par famille et par an:

Zone 1 = 11,3

Zone 2 = 167,1

Zone 3 = 333,9

Zone 4 = 31,5

Zone 5 = 93,1

île = 394,3

AMBRYM :

Une famille, sur l'île d'Ambrym, est sur une base de 5 personnes.

ZONE	nbre de ménages	population
total Z1	241	1255
total Z3	157	826
total Z4	166	763
total Z5	21	111
total Z6	22	102
île (total Z2)	1442	6977

Estimation (en millions de Vatus) des pertes pour l'agriculture commerciale sur la base du revenu de 100000 Vatus par famille et par an:

Zone 1 = 24,1

Zone 3 = 15,7

Zone 4 = 16,6

Zone 5 = 2,1

Zone 6 = 2,2

île = 144,2

AOBA :

Une famille, sur l'île d'Aoba, est sur une base de 5 personnes.

ZONE	nbre de ménages	population
total Z1	829	3832
total Z2	118	574
total Z3	246	1317
île	1806	8580

Estimation (en millions de Vatus) des pertes pour l'agriculture commerciale sur la base du revenu de 100000 Vatus par famille et par an:

Zone 1 = 82,9

Zone 2 = 11,8

Zone 3 = 24,6

île = 180,6

GAUA :

Une famille, sur l'île de Gaua, est sur une base de 5 personnes.

ZONE	nbre de ménages	population
Zone 2	5	25
Zone 4	244	1260
Zone 5	3	20
île	301	1594

Estimation (en millions de Vatus) des pertes pour l'agriculture commerciale sur la base du revenu de 100000 Vatus par famille et par an:

Zone 2 = 0,5

Zone 4 = 24,4

Zone 5 = 0,3

île = 30,1

⇒ Activité actuelle :

Les pertes en agriculture commerciale, en considérant les activités habituelles des édifices volcaniques actifs sur ces quatre îles, sont essentiellement représentatives pour Tanna et Ambrym, à cause des pluies acides créées par les dégazages et les émissions de cendre.

Pour Tanna, les zones concernées par les effets des pluies acides sont les zones 1, 2 et dans une moindre mesure la zone 3 (Régions de Whitesands (*Buisson, 1994*)). En considérant les pertes totales (c'est-à-dire la destruction complète des végétaux par les pluies acides) pour ces trois zones ; ces pertes s'élèvent à 333.9 millions de VT¹.

Pour Ambrym, les zones qui subissent les effets des pluies acides sont, principalement, les zones 5 et 6 (régions ouest et sud-ouest (*Lardy et al., 1998* et *Saos, 1979*)). Les pertes maximales de ces régions s'élèveraient à un peu plus de 2 millions de VT², si la destruction des végétaux était totale.

Mais ces estimations sont les valeurs extrêmes que peuvent prendre les pertes pour l'agriculture commerciale. Des études sur les comportements des végétaux, en fonction de la concentration des éléments agressifs transportés par les pluies, permettraient de connaître les réponses des différentes espèces végétales face à ces perturbations et, par conséquent, de mieux estimer les pertes au niveau de l'agriculture commerciale pour les pluies acides.

⇒ Activité cataclysmale :

pour ce type d'activité volcanique, à caractère exceptionnel, les estimations du nombre de la population menacée par les risques volcaniques sont présentés dans le tableau II.7. En s'appuyant sur la base qu'une famille est constituée de 5-6 personnes, les nombres approximatifs de familles menacées pour les quatre îles sont les suivants :

- TANNA → 17571 personnes → ~ 3500 familles menacées
- AMBRYM → 6977 personnes → ~ 1400 familles menacées
- AOBA → 5723 personnes → ~ 1150 familles menacées
- GAUA → 1260 personnes → ~ 250 familles menacées

Les estimations de pertes en agriculture commerciale, si les destructions des végétaux étaient totales, s'élèveraient, pour les quatre îles, à :

¹ - 15.5 millions FF.

² - 93 000 FF.

- TANNA ⇒ ~ 350 millions de VT¹
- AMBRYM ⇒ ~ 140 millions de VT²
- AOBA ⇒ ~ 115 millions de VT³
- GAUA ⇒ ~ 25 millions de VT⁴

Ces chiffres, qui sont encore une fois approximatifs, ne peuvent traduire la réalité ; ils fournissent un ordre de grandeur des pertes que peuvent subir ces îles, au niveau de leur production agricole commerciale, si elles venaient à subir les effets des risques volcaniques engendrés par une éruption cataclysmale.

D'autre part, ces estimations ne prennent pas en compte les effets à plus grande échelle ; en effet, une éruption cataclysmale entraînerait aussi des retombées de cendre, poussées par les vents dominants, sur les îles les plus proches, comme notamment sur Mallicolo (à proximité d'Ambrym) et Erromango et Aniwa (proches de Tanna).

3.2.4 - Les infrastructures :

Les pertes matérielles engendrées par les éruptions volcaniques éventuelles sont difficiles à estimer ; il existe beaucoup de constructions traditionnelles et de constructions érigées avec de la tôle, de l'aggloméré et du ciment. Toutefois, un récapitulatif des infrastructures menacées (disponibles dans le Système d'Information Géographique VANRIS), pour les quatre îles concernées et par zones, est présenté dans le tableau II.46 ci-dessous.

A ces infrastructures, doivent être rajoutés les bâtiments publics et privés et les constructions religieuses (églises, temples...), qui ne sont pas présents dans ce tableau (non disponibles dans VANRIS), mais qui subiraient les mêmes dégâts que les infrastructures mentionnées.

¹ ~ 16 millions FF.

² ~ 6.5 millions FF.

³ ~ 5 millions FF.

⁴ ~ 1 million FF.

Tab.II.46 : Récapitulatif des données sur les infrastructures au niveau de l'éducation, de la santé, du tourisme, des abris maritimes, des aérodromes, des routes et des communications (VANRIS) :

	EDUCATION	SANTÉ	TOURISME
TANNA	67 dont - 63 éc. Primaires - 3 éc. Secondaires - et 1 éc. Prof.	24 dont - 1 hôpital - 1 centre de santé - 4 dispensaires - et 18 postes d'aide	8 dont - Friendly Bungalows - Nikity Guesthouse - Port-Résolution (Nipikinamu) - Tanna Ocean view G/hse
Zone 1	3 éc. Primaires	RIEN	RIEN
Zone 2	27 éc. Primaires	9 dont - 1 dispensaire - un centre de santé - et 7 postes d'aide	2 dont - Friendly Bungalows - Nikity Guesthouse
Zone 3	45 dont - 42 éc. Primaires - 2 éc. Secondaires - et 1 éc. Prof.	18 dont - 1 hôpital - 1 centre de santé - 2 dispensaires - et 17 postes d'aide	5 dont - Friendly Bungalows - Nikity Guesthouse - Tanna ocean view G/hse -Tafea Province G/hse - et UMA G/hse
Zone 4	7 éc. Primaires	3 dont - 2 postes d'aide - et 1 centre de santé	4 dont - Friendly Bungalows - Port-Résolution (Nipikinamu) - Shark Bay G/hse - et Yasur G/hse
Zone 5	18 dont - 17 éc. Primaires - et 1 éc. Secondaire	8 dont 5 postes d'aide - 1 centre de santé - et 2 dispensaires	5 dont - Friendly Bungalows - Nikity Guesthouse - Port -Résolution (Nipikinamu) - Shark Bay G/hse - et Yasur G/hse
AMBRYM	24 dont - 22 éc. Primaires - et 2 éc. Secondaires	18 dont - 2 dispensaires - 5 centres de santé - et 11 postes d'aide	3 dont - Craig-Cove G/hse - Milee G/hse - et Solomon Douglas
Zone 1	4 éc. Primaires	1 centre de santé	1 Solomon Douglas
Zone 3	5 éc. Primaires	3 dont - 2 postes d'aide - et 1 centre de santé	1 Craig-Cove G/hse
Zone 4	2 éc. Primaires	3 dont - 2 postes d'aide - et 1 centre de santé	RIEN
Zone 5	1 éc. Primaire	RIEN	RIEN
Zone 6	RIEN	RIEN	RIEN

AOBA	31 dont - 24 éc. Primaires - 4 éc. Secondaires - et 3 éc. Prof.	23 dont - 1 hôpital - 1 centre de santé - 4 dispensaires - et 17 postes d'aide	3 dont - Halalulu G/hse - Nanako resthouse - et Tausala haus
Zone 1	10 dont - 9 éc. Primaires - et 1 éc. Prof.	10 dont - 2 dispensaires - et 8 postes d'aide	RIEN
Zone 2	3 dont - 2 éc. Primaires - et 1 éc. Secondaire	2 postes d'aide	1 Halalulu G/hse
Zone 3	4 dont - 2 éc. Primaires - 1 éc. Secondaire - et 1 éc. Prof.	2 dont - 1 hôpital - et 1 poste d'aide	1 Tausala haus
GAUA	5 éc. Primaires	4 dont - 3 postes d'aide - et 1 centre de santé	2 dont - Charles Bloe Bungalows - et Wongras Bungalows
Zone 1	RIEN	RIEN	RIEN
Zone 2	RIEN	RIEN	RIEN
Zone 3	RIEN	RIEN	RIEN
Zone 4	5 éc. Primaires	4 dont - 3 postes d'aide - et 1 centre de santé	2 dont - Charles Bloe Bungalows - et Wongras Bungalows
Zone 5	RIEN	RIEN	RIEN
Zone 6	RIEN	RIEN	RIEN

	Abris Maritimes	Aéroport/ Aérodrome	piste (km)	Lignes Téléphoniques
TANNA	3 dont - 1 (Zone 3) - 1 (Zone 5) - 1 (Zone 4)	1 (Z 3) remplacé par 1 international (Z3)	100	2
AMBRYM	3 dont - 2 (Zone 3) - 1 (Zone 2)	2 dont - 1 (Zone 3) - 1 (Zone 4)	3.50 km	5
AOBA	3 dont - 1 (Zone 1) - 1 (Zone 2) - 1 (Zone 3)	3 dont - 1 (Zone 1) - 1 (Zone 2) - 1 (Zone 3)	150	5
GAUA	4 (Zone 4)	1 (Zone 4)	2	1

En ce qui concerne les activités actuelles des divers édifices volcaniques, qui se limitent à des émissions de panaches, pour l'essentiel (Tanna, Ambrym et Gaua), les infrastructures ne souffrent pas de dégâts notables.

En cas d'éruption cataclysmale :

- **TANNA** : les destructions seraient quasi-totales dans les zones 1, 2, 4 et 5. Avec des effondrements de toits probables dans la zone 2 et quelques-uns dans la zone 3, en fonction de l'épaisseur de cendre des retombées.

- **AMBRYM** : les destructions seraient importantes dans les zones 1,3 et 4 (autour du volcan et les extrémités de l'île), comme notamment en 1913 et 1929. Avec aussi une grande probabilité d'effondrements des toits dans les zones 5 et 6 (zones survolées par les panaches poussées par les Alizés) et dans une moindre mesure dans

la zone 2 (c'est-à-dire toute l'île), toujours en fonction de la quantité de cendre émise (lors de l'éruption de 1913, les 2/3 de l'île ont été recouverts par les retombées de cendre et en 1929 ce fut l'île entière qui fut affectée par les retombées (Eissen et al., 1991).

- AOBA : les destructions seraient notables dans les trois zones menacées de l'île, avec des destructions quasi-totales, étant donné le caractère très explosif des interactions phréato-magmatiques, aux extrémités de l'île, et la production de lahars (coulées de boue) et de déferlantes basales (écoulements pyroclastiques dominés par les gaz et les solides) extrêmement destructeurs.

- GAUA : toutes les zones habitées, c'est-à-dire les zones 2, 4 et 5, seraient grandement dévastées par les lahars, les nuées ardentes et les déferlantes basales ayant un pouvoir très destructeurs.

3.3 - La surveillance et la prévision :

« Il est difficile d'anticiper avec précision un risque naturel. A la complexité de la modélisation, s'ajoute la difficulté des mesures et des expérimentations. Cependant, les risques se prêtent à des estimations probabilistes » (Jaupart C., article « prévoir les catastrophes » dans *Hors-Série Sciences et Avenir* - Mai 1996, p.80 - p.83).

On peut prédire le type d'éruption mais pas la durée, ni la quantité de fragments éjectés. La nature des produits, l'étude des dépôts permettent de reconstituer le dynamisme des éruptions passées et de concevoir des scénarios pour le futur. Ces précisions restent dans le long terme et aboutissent aux cartes de menaces, réalisées pour quatre édifices du Vanuatu par l'ORSTOM.

Ce sont, par exemple, les méthodes géophysiques et géochimiques qui peuvent, par une surveillance quotidienne, suivre les changements d'activité ou le réveil d'un volcan. L'utilisation de satellites (météorologiques, radars, thermiques..) devraient, de plus en plus, apporter une contribution importante à la surveillance des volcans.

Les différentes méthodes géophysiques et géochimiques de surveillance, utilisées actuellement pour la prédiction des éruptions volcaniques sont, pour l'essentiel :

- la sismologie : les variations de pression, à l'intérieur de la chambre magmatique d'un volcan, engendrent des ruptures dans les roches sus-jacentes, créant des secousses sismiques de faible magnitude, enregistrées par des sismomètres (ces signaux précurseurs (tremors) apparaissent une semaine à un mois avant une éruption (volcan d'activité fréquente) ou de plusieurs mois à plusieurs années (volcans avec une activité décennale ou séculaire). Cette méthode permet de localiser les épicentres et de suivre le déplacement des foyers sismiques successifs.

- la déformation du sol : due à l'augmentation de la pression dans la chambre magmatique qui entraîne un gonflement de l'édifice (de quelques dm à une centaine de m), qui est enregistré, en temps réel, par :

- des inclinomètres : (détection d'une variation de pente) ; les vecteurs de déformation permettent de localiser la déformation maximale et de suivre la migration du magma vers la surface, lors de son injection dans une fissure ;

- des distance-mètres : (mesures électro-optiques) ; ils permettent de suivre précisément les variations de distance entre deux points réflecteurs) ;

- des extensomètres : qui mesurent des modifications dans la géométrie des fissures, créées par le gonflement du volcan.

- et récemment par *étude de l'imagerie radar et satellitale*.

- le magnétisme : les variations temporelles du champ magnétique terrestre, à la surface d'un volcan, et les courants électriques intra-telluriques, modifiés par les variations de contraintes et la circulation des fluides et des réchauffements, créés par l'injection de magma et son dégazage dans la chambre magmatique, sont enregistrées par des magnétomètres.

-

- l'étude de la géochimie des gaz volcaniques : une variation de la composition chimique des fumerolles ou de l'émanation diffuse dans le sol s'observe en surface, lors de la remontée du magma, à cause de la baisse de pression, qui entraîne un dégazage du magma contenant des gaz dissous.

- l'étude de la chimie des eaux (hydrogéochimie) : par l'étude de la composition chimique des eaux, qui peuvent piéger les gaz d'origine magmatique.

- l'étude de la concentration en radon : gaz inerte (intervient pas dans les réactions chimiques) accompagnant les gaz, dont les variations importantes traduisent, quelques jours avant, l'arrivée d'éruption volcanique (*Cheminée, 1994*).

Au niveau de l'archipel du Vanuatu, la surveillance des volcans actifs est assurée par l'ORSTOM et le Département de la Géologie, des Mines et des Ressources en Eau de la République du Vanuatu, dans le cadre de son programme de « surveillance des volcans du Vanuatu », qui a débuté en 1990. Cette surveillance instrumentale repose sur quatre stations, équipées de balises ARGOS¹ et installées sur TANNA, AMBRYM, AOBA et GAUA, permettant une téléobservation de ces édifices actifs. Ces stations enregistrent les secousses sismiques, la température des sols et quelques données météorologiques (*Lardy et al., 1991*). Ces appareils simples et fiables

¹ Collecte et localisation de données satellitaires.

sont adaptés à ces sites difficiles d'accès (excepté Tanna). Ils fournissent en permanence des informations sur les changements d'activité.

La recherche de méthodologies adaptées à chaque édifice, avec la mise en place de mesures complémentaires, qui ne sont pas nécessairement des outils de surveillance, mais d'investigation pour parvenir à mieux comprendre et modéliser le fonctionnement d'un volcan, sont également utilisées.

C'est ainsi que sur Aoba (avec un lac de cratère), une surveillance acoustique (utilisation d'hydrophones) sera mise en place en octobre 1998 et sera complétée par des mesures de température de l'eau du lac (actuellement de 30°C). Des prélèvements réguliers des eaux sont réalisés depuis 1995, dont l'analyse des marqueurs chimiques permet de compléter et suivre l'activité du volcan Lombenben, par des méthodes géochimiques.

La surveillance permanente enrichit la recherche, elle prépare et oriente des opérations plus scientifiques qui, à leur tour, apportent un complément pour réadapter de nouveaux outils de surveillance.

Sur Ambrym et Tanna, des profils de mesures de température du sol sont disposés autour des zones actives et enregistrent, en permanence pendant plusieurs mois, les variations de flux de chaleur émis par les réservoirs magmatiques. Cette méthodologie expérimentale de recherche n'est pas un « outil » de surveillance, elle contribue à améliorer la connaissance d'un édifice (*Lardy M. et al., à paraître*).

Par l'analyse des paramètres géophysiques et géochimiques, en temps réel, on arrive, pour des volcans de points chauds, à prévoir le jour de l'éruption. Les délais, pour les volcans du Vanuatu à dominante andésitique et andésite-basaltique, restent imprécis. Il est difficile de trouver une réponse aux questions « où ?, quand ? et comment ? » ; c'est pourquoi, il est important de détecter le réveil (surveillance), d'en connaître les menaces (cartes) et les conséquences (risques). C'est la prévision de ces éruptions, à caractère souvent catastrophique, qui permettrait aux autorités civiles de prendre les bonnes décisions pour assurer la protection des populations.

La recherche doit conduire à une meilleure connaissance des phénomènes éruptifs et contribuer à l'amélioration de la surveillance et des prévisions ; il doit s'ensuivre une meilleure protection des populations.

3.4 - La prévention :

La prévention est une mesure essentielle. Elle s'associe à l'information, qui au terme de la Décennie Internationale sur la Réduction des Catastrophes Naturelles (INDNR, ONU) apparaît comme une composante primordiale pour diminuer l'impact d'une éruption volcanique et pour assurer sa gestion, qui relève d'une situation d'urgence.

La prévention est intégrée au cycle des actions proposé par J. Tomblin (Fig. III.18).

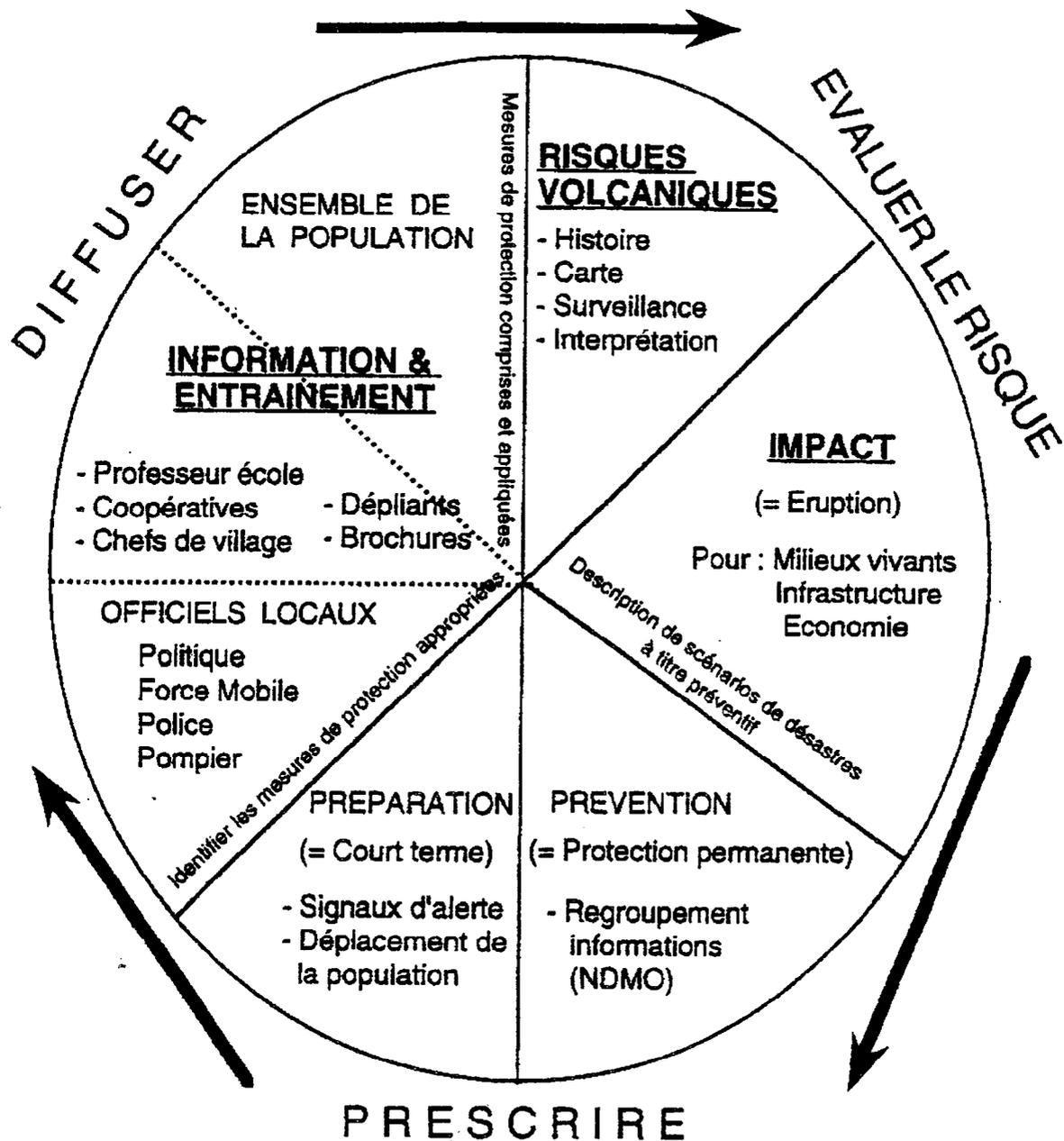


Fig.II.18 : Prévention des risques volcaniques. Cycles des actions (d'après J. Tomblin, UNDHA, 1992 et adapté pour le Vanuatu par Wiart P., 1995).

Au Vanuatu, l'information et la prévention sont sous la responsabilité du Bureau National de la Gestion des Catastrophes (National Disaster Management Office (NDMO)), rattaché au ministère de l'Intérieur, qui reçoit les informations à caractère scientifique de l'ORSTOM et du Département de la Géologie, des Mines et des Ressources en Eau du Vanuatu. Il appartient au Gouvernement de prendre les décisions concernant les déplacements ou les évacuations de la population. La

diffusion des informations se fait ensuite par le Bureau National de la Gestion des Catastrophes au niveau des gouvernements de Provinces, des chefferies et de la population locale concernée.

La prévention doit se faire à plusieurs niveaux ; aussi bien au niveau des politiciens et des hommes d'état, qui sont chargés de préparer les démarches à suivre, qu'au niveau des administrateurs, des enseignants et chefs de village, qui permettent la diffusion des informations. Cette prévention, appuyée par des prospectus et brochures, est essentielle, mais ne remplace jamais le dialogue, dans un pays de tradition orale. C'est pourquoi une série de « Tok-Tok » (dialogue en Bislamar) a été organisée par le NDMO, l'ORSTOM et le Département de la Géologie, des Mines et des Ressources en Eau, sur l'ensemble de l'île d'Aoba et la côte ouest d'Ambrym, où la diffusion de cartes des menaces volcaniques, la projection de films et la présentation des contextes géologiques ont été faits. Ce mode de prévention devrait se poursuivre avec la visite, dans les mois à venir, des villages du nord et de l'est d'Ambrym, ceux de Tanna et de Gaua, où sera présentée également l'évaluation des risques contenue dans ce mémoire.

3.5 - Conclusions :

Les éruptions volcaniques constituent, pour l'archipel du Vanuatu, une menace modérée à majeure. Les îles les plus concernées sont AOBA, AMBRYM, GAUA, TANNA, puis VANUA-LAVA et LOPEVI (non habitée actuellement).

Tab.III.47 : Les pertes en agriculture par rapport au budget du gouvernement de 1998, dans le cas d'une éruption cataclysmale :

Agriculture de subsistance et commerciale		
	Pertes en 10⁹	%/ Budget
	VI	
TANNA	1,972	17,5
AMBRYM	1,045	9,3
AOBA	0,81	7,2

Agriculture commerciale		
	Pertes en 10⁹	%/ Budget
	VI	
TANNA	0,35	3,1
AMBRYM	0,14	1,3
AOBA	0,115	1
GAUA	0,025	0,2

l'économie du pays (Tab.III.47).

¹Le MAE a, par ailleurs, apporté une grande contribution au programme « surveillance et étude des volcans actifs du Vanuatu », dans le cadre de l'aide bilatérale avec ce pays.

En se basant sur le budget du gouvernement, pour l'année 1998, s'élevant à 11,282 milliards de VT¹ (contre 6 milliards en 1997)², nous pouvons aisément comprendre la menace importante que représentent les quatre volcans actifs étudiés. En considérant le scénario d'une éruption cataclysmale, les pertes estimées, en agriculture (en tenant compte de celle de subsistance et commerciale), représenteraient près de 17.5 % du budget annuel (1998) pour Tanna, 9.3 % pour Ambrym et 7.2 % pour Aoba. Avec une participation de l'agriculture de subsistance à 82 % pour Tanna, 86.6 % pour Ambrym et 85.8 % pour Aoba, dans le secteur agricole. Ces pertes seraient bien plus élevées en prenant en compte les pertes au niveau des infrastructures (routes, écoles, hôpitaux, ports, aérodromes...) et des habitations (avec près de 1000 villages menacés).

Toutes ces estimations tentent de montrer que les risques volcaniques ne doivent pas être négligés dans les plans de Développement du pays. Une gestion de l'état d'urgence doit être mise en place pour minimiser les pertes, planifier des éventuels déplacements des populations menacées (voire des évacuations comme en 1914 et 1928, sur Ambrym, 1973, sur Gaua et celle permanente sur le Lopevi en 1960 (Grover, 1998)). Ceci est d'autant plus important que la vulnérabilité des communautés aux effets dévastateurs des éruptions volcaniques augmente à cause de l'accroissement de la population et des investissements plus importants dans les zones volcaniques, où, par exemple, la richesse des sols attire le développement agricole et le tourisme.

Il est vrai que le Vanuatu, à lui seul, ne peut soutenir une gestion complète des désastres volcaniques, c'est en partie pour cette raison que s'est créé en mars 1997 un projet (qui a été initialisé par l'Association internationale de la volcanologie et de la Chimie de l'Intérieur de la Terre (IAVCEP³) et sa commission affiliée l'Organisation Mondiale des Observatoires volcanologiques (WOVO⁴) et organisé par la Commission des Géosciences appliquées du Pacifique Sud (SOPAC⁵)) sur le renforcement de la surveillance des volcans, les estimations des menaces volcaniques et les capacités de gestion et d'état d'urgence dans les pays du Pacifique (Fidji, Papouasie Nouvelle-Guinée, les Iles Salomon, Tonga, le Vanuatu, Samoa occidentale, Australie et Nouvelle-Zélande). Un travail, à une échelle régionale, semble nécessaire pour la surveillance des volcans et réduire les impacts des catastrophes volcaniques (Howorth et Elaise, 1997).

¹ ~ 523 millions FF.

² Subvention de la Banque Asiatique de Développement dans le cadre du Programme Général de Réformes

³ International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior.

⁴ World Organisation of Volcano Observatories.

⁵ South Pacific Applied geo-sciences Commission.

PARTIE III :
RISQUES
CYCLONIQUES ET
TREMBLEMENTS
DE TERRE :

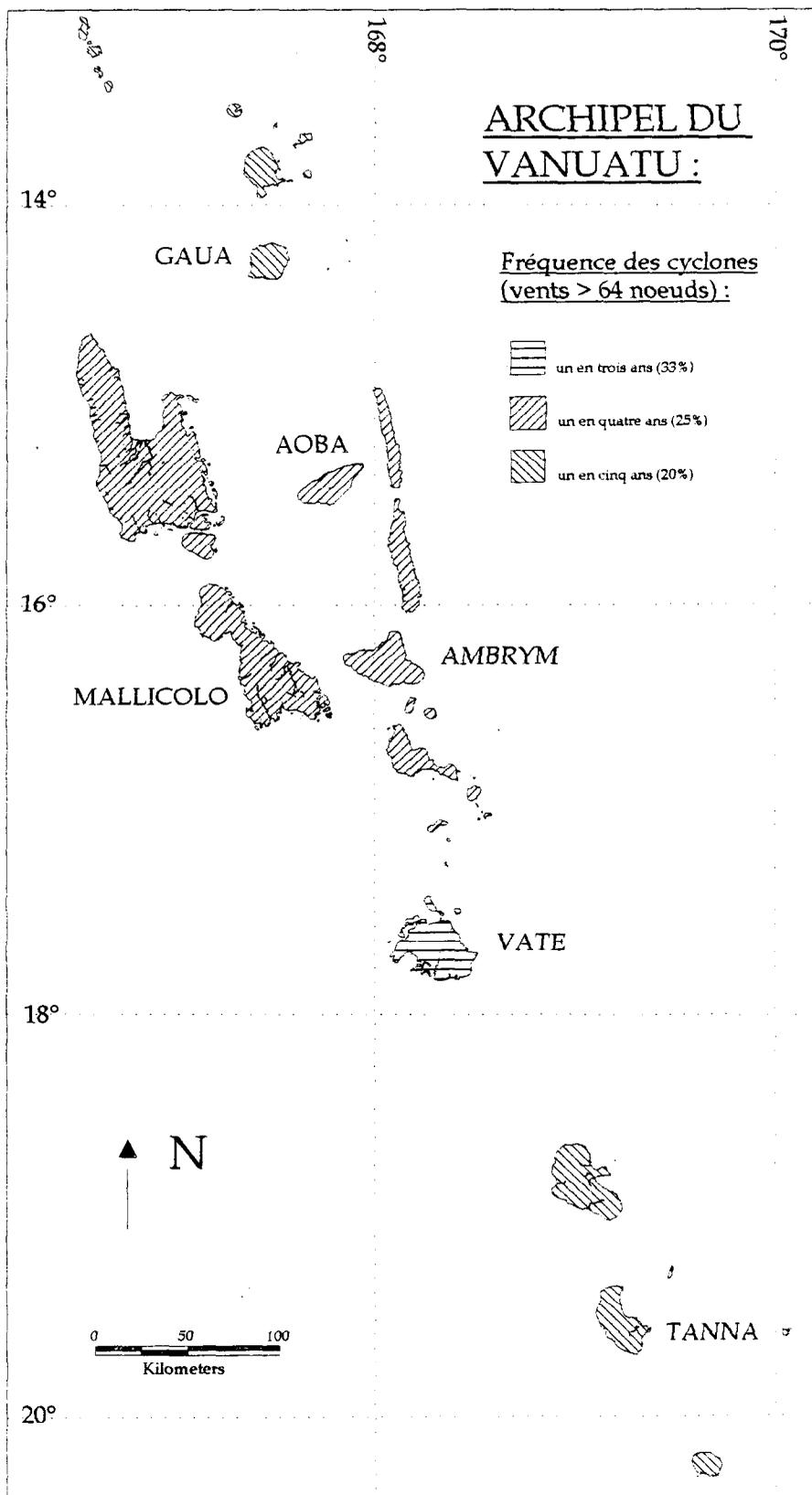


Fig.III.1 : Fréquence des cyclones (vents > 64 noeuds) pour l'archipel du Vanuatu (VANRIS)

I - Les risques cycloniques :

Les cyclones, qui sont les phénomènes les plus dangereux de l'atmosphère, constituent la menace la plus fréquente et la plus étendue pour l'archipel du Vanuatu (voir fig. III.1), qui est compris entre 40° N et 40° S, la zone de genèse de ce type de risques naturels. Leurs effets catastrophiques arrivent en seconde position derrière les effets des inondations par les dégâts qu'ils produisent sur les terres émergées. Ceci explique le déploiement mondial d'appareils de surveillance afin de déceler leur formation et de prévoir leurs zones d'action.

1.1 - Le Service Météorologique du Vanuatu :

L'archipel du Vanuatu appartient au domaine d'étude du centre météorologique spécialisé de la Région Nandi (Fidji) (Nadi Regional Specialized Meteorological Center (NRSMC)) qui s'étend entre 160° Est et 120° Ouest. A l'exception du Vanuatu, ce centre, spécialisé dans la surveillance des cyclones tropicaux, fournit toutes les informations météorologiques et donne les renseignements et les alertes sur les cyclones tropicaux pour tous les pays de cette région.

Au Vanuatu, les renseignements et les états d'alerte sont fournis par les services météorologiques du Vanuatu (Vanuatu Meteorological Services (VMS)), qui obtiennent leurs informations du NRSMC, complétées par les six stations synoptiques localisées à Sola aux îles Banks, Pekoà à Santo, Lamap à Mallicolo, à l'aéroport Bauefield de Vate, Burtonfield à Tanna et Analohat à Anatom.

Ces services transmettent ensuite les informations au bureau de la gestion des désastres (National Disaster Management office) qui est chargée de l'information au public. Des mesures de sécurité en cas de cyclones ont été mises en place par ce bureau (voir annexe III.1).

La saison des cyclones, au Vanuatu, débute, en général, le 1^{er} novembre et se poursuit jusqu'au 30 avril de l'année suivante, la période correspondante à l'été austral.

1.2 - Les perturbations météorologiques :

Les régions tropicales et sub-tropicales sont caractérisées par des perturbations météorologiques avec des intensités du vent et des précipitations pouvant être importantes. L'Organisation Météorologique Mondiale¹ (OMM) désigne par « cyclone tropical », traduit de l'anglais « tropical cyclone », tout phénomène tourbillonnaire tropical, quelque soit son intensité. Leur définition de ce terme est la suivante :
« C'est une perturbation d'échelle synoptique (c'est-à-dire de plusieurs kilomètres de diamètre) non accompagnée d'un système frontal (c'est-à-dire pas de front froid ou

¹ Organisation Météorologique Mondiale (World Meteorological Organization) a son siège à Genève (Suisse) et fut créée en 1951 ; en 1996, 173 Etats et territoires étaient membres.

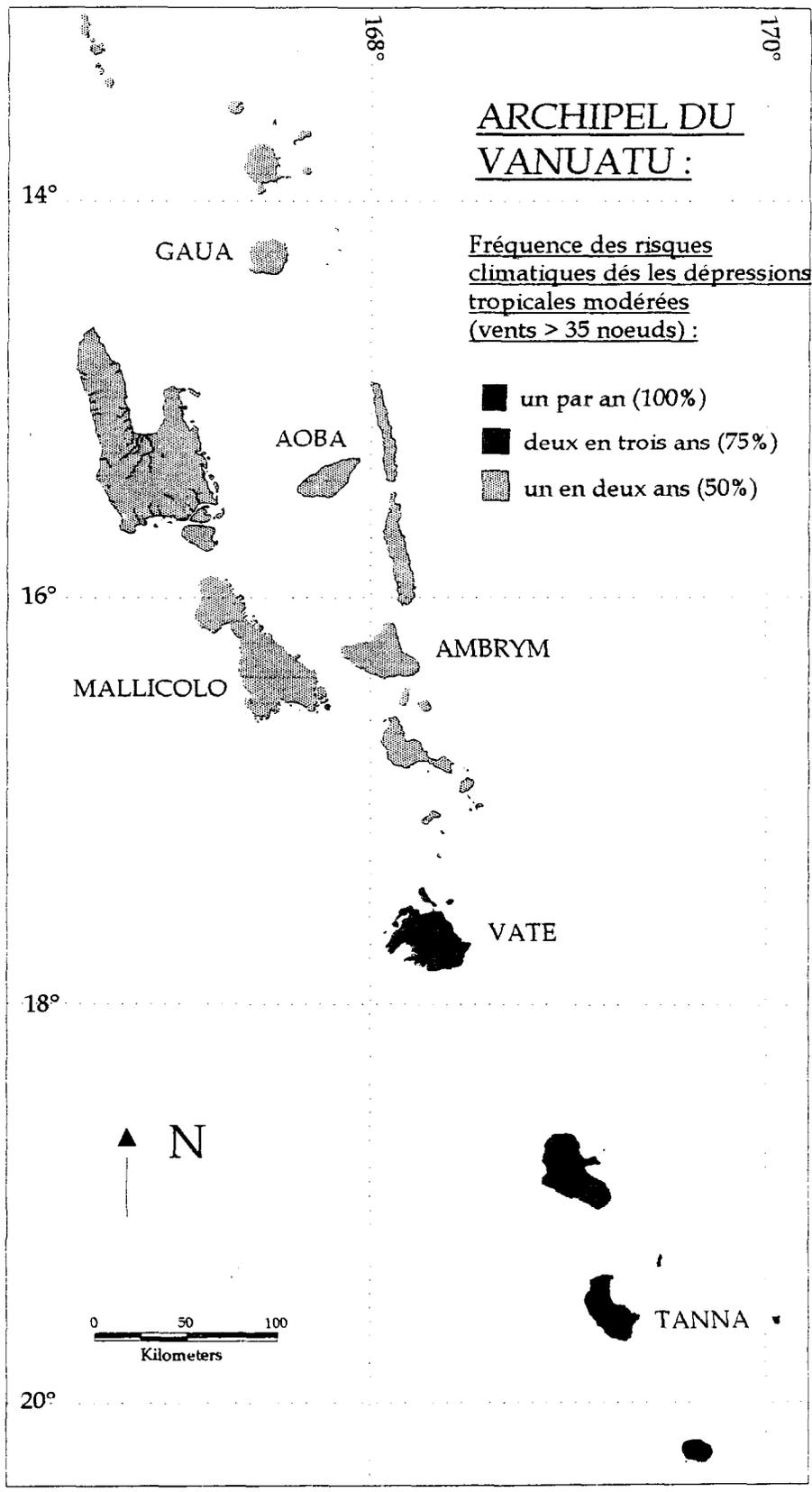


Fig.III.2 : Fréquence des risques climatiques associés aux dépressions tropicales modérées (vents > 35 nœuds), pour l'archipel du vanuatu (VANRIS)

chaud), prenant naissance au-dessus des eaux tropicales ou sub-tropicales et présentant une activité convective organisée (c'est-à-dire la présence de nombreux cumulo-nimbus) et une circulation cyclonique plus intense en surface qu'en altitude » (Hontarrede et Galli, 1998).

Cette terminologie peut entraîner une confusion car en français et dans l'océan indien, un cyclone correspond au phénomène le plus violent (Tab. III.1).

Tab. III.1 : Classification en fonction de l'intensité du vent, selon l'OMM (Organisation Météorologique Mondiale), dans le monde (Hontarrede M. et Galli F.L., 1998).

	DEPRESSION TROPICALE	TEMPÊTE TROPICALE		OURAGAN CLASSE 1	OURAGAN CLASSE 2	OURAGAN CLASSE 3	OURAGAN CLASSE 4	OURAGAN CLASSE 5
	Zone perturbée	TEMPÊTE TROPICALE	VIOLENTE TEMPÊTE TROPICALE	TYPHON			SUPERTYPHON (Joint Typhon Warning Center) vent > 130 nd	
	DEPRESSION TROPICALE FAIBLE	TEMPÊTE TROPICALE MODEREE	FORTE TEMPÊTE TROPICALE	CYCLONE TROPICAL vent < 90 nd	CYCLONE TROPICAL INTENSE		CYCLONE TROPICAL TRES INTENSE vent > 115 nd	
	DEPRESSION TROPICALE	TEMPÊTE TROPICALE MODEREE	FORTE TEMPÊTE TROPICALE	OURAGAN FORTE TEMPÊTE TROPICALE AVEC L'INTENSITE DE L'OURAGAN, CYCLONE, TYPHON OU CYCLONE TROPICAL INTENSE				
Pacifique Sud-est Océan Indien Vannuatu	DEPRESSION TROPICALE FAIBLE Tropical depression (Dépression tropicale)	DEPRESSION TROPICALE MODEREE Cale Force Wind (coups de vent)	DEPRESSION TROPICALE FORTE Sikou Force Wind (Coups de tempête)	OURAGAN OU CYCLONE TROPICAL INTENSE (Australie et Port-Moresby) Hurricane Force Wind (Cyclone)				

En fonction de la vitesse moyenne du vent, à proximité du centre, quatre stades cycloniques ont été définis par l'OMM, au nombre de trois pour la région Atlantique nord et Pacifique nord-est (Tab. III.1).

Les forces du vent varient de 0 à 12 selon l'échelle de Beauford qui traduit l'état de la mer, de « calme » à « ouragan » (Tab. III.2).

Tab. III.2 : Echelle de Beauford :

0. La fumée s'élève à la verticale,	7. Les arbres entiers se balancent,
1. La fumée dérive doucement,	8. Il devient difficile de marcher contre le vent,
2. Bruissement des feuilles,	9. Les tuiles s'envolent, les branches se cassent,
3. Les drapeaux flottent,	10. Maisons endommagées, arbres abattus,
4. Les branches s'agitent,	11. Bâtiments sérieusement endommagés,
5. Les petits arbres se balancent,	12. Importants dégâts.
6. Les grosses branches bougent,	

Encadré N°11 : La genèse des cyclones :

Pour obtenir un cyclone, la présence préalable d'une dépression est nécessaire. Ces dépressions traduisent une instabilité de l'air, qui est le résultat d'un échange air-océan. La couche superficielle des océans, aux basses latitudes, accumule de la chaleur pendant l'été, surtout à l'ouest, où les eaux chaudes sont poussées par les courants équatoriaux. L'évaporation de l'eau crée un mouvement ascendant d'air chaud qui se charge en humidité et qui devient instable. Cet air chaud ensuite commence à monter, laissant la place à un air froid, qui s'engouffre à plus de 250 km/h sous cette couche d'air chaud. Par la suite, cet air froid se réchauffe et le même phénomène se produit. Plus ces mouvements verticaux sont importants, plus la dépression se creuse et dégénère alors en cyclone. Le mouvement tourbillonnaire de ces perturbations tropicales est alors généré par la force de pression, qui attire l'air vers les basses pressions, et une force naturelle, la force de Coriolis¹ due à la vitesse de rotation de la terre, qui imprime aux vents un mouvement de rotation (dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère sud et inversement dans le nord).

En fin de compte cinq conditions sont nécessaires à la genèse d'un cyclone (Alibert P. et al., 1996) :

- une température de l'océan atteignant 26°C ou 27°C sur une profondeur de 60 à 100 mètres,
- l'existence d'une dépression qui favorise les déplacements ascendants de l'air,
- l'action de la force de Coriolis,
- le renforcement des vents aux abords de la dépression qui accélère le mouvement tourbillonnaire,
- et la présence, au-delà de 8000 mètres, d'un anticyclone qui favorise la convection de l'air chaud en freinant les mouvements ascendants et en accentuant les mouvements descendants.

La naissance d'un cyclone peut se faire en quatre à huit jours ou être très rapide en quelques heures. Il correspond à une énorme masse nuageuse de 500 à 1500 km de diamètre, organisée en bandes spiralées convergeant en un anneau central compact et étroit, le mur. Celui-ci, constitué de nuages à fort développement vertical, les cumulo-nimbus, s'élevant jusqu'à 12-15 km, correspond à une zone très dangereuse ayant jusqu'à 400 km de diamètre où les vents sont les plus violents et les précipitations torrentielles. A l'intérieur de ce mur se trouve l'œil de 20 à 40 km de diamètre où règnent la pression minimale, inférieure à 970 hPa, et la température la plus élevée. Il correspond à une zone de calme relatif où les vents sont faibles et les pluies quasiment nulles. (Hontarrede M. et Galli F.L., 1998).

Sept zones de cyclogenèse existent dans le monde :

- l'Atlantique nord,
- le Pacifique nord-est,
- le Pacifique nord-ouest,
- le Pacifique-Sud/ Australie, qui est celle concernant le Vanuatu,
- l'océan Indien-nord,
- l'océan Indien sud-ouest,
- et l'océan Indien sud-est/ Australie.

Afin de surveiller les perturbations tropicales, prévoir le comportement des tempêtes et diffuser les avis de danger pour toutes les zones menacées l'Organisation Météorologique Mondiale a créé cinq organismes régionaux, les Centres Météorologiques Régionaux Spécialisés (CMRS) dans la détection et l'observation des cyclones tropicaux : à Miami (USA) pour la zone Caraïbe et Atlantique nord, à la Réunion (France) pour le sud-ouest de l'océan Indien, à Tokyo (Japon) pour la zone Pacifique nord, à Nandi (Fidji) pour la zone Pacifique-sud et à New-Delhi (Inde) pour le golfe du Bengale et la mer d'Oman. Ils sont chargés, à partir des données des sites d'observations terrestres, maritimes et aériennes (avions, radars et satellites), de suivre la trajectoire et de définir l'intensité des cyclones.

¹ Cette force est nulle au niveau de l'équateur d'où l'absence de cyclone à cette latitude ; les cyclones prennent naissance au-delà de 2,5° de latitude, nord ou sud, puis remontent vers les latitudes tempérées suivant des trajectoires quasi-paraboliques en contournant les anticyclones sub-tropicaux.

L'Archipel du Vanuatu, situé dans la zone intertropicale, est familiarisé avec le passage fréquent de violentes perturbations tropicales dont les trajectoires principales suivent les directions nord-est, sud-ouest et nord-ouest, sud-est et qui prennent naissance au nord de l'archipel et des îles Fidji (figure III.3).

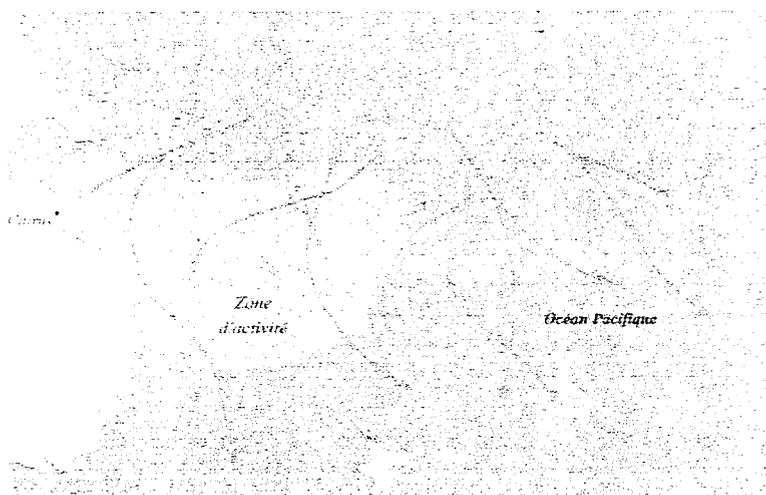


Figure III.3 : Principaux trajets des cyclones tropicaux dans le Pacifique sud (tiré de Alibert P. et al, 1996).

D'après l'étude des cyclones apparus depuis 1959, dont la liste est en annexe III.2, nous constatons que l'archipel du Vanuatu a été affecté d'au moins un cyclone (vents > 118 km/h, 64 nd) par an (voir Tab. III.3) et que 75% se produisent pendant le premier trimestre avec un maximum aux mois de Janvier et Mars, qui couvrent un peu moins des deux tiers.

Tab.III.3 : Nombre de cas de cyclones sur 40 ans (1959-1998) au Vanuatu par saison, par mois et nombre moyen annuel :

	Janvier Mars	Avril Juin	Juillet Sept.	Octobre Déc.	Total s/40 ans	Nombre moy/an
nb. S/40 ans	33	4	0	7	44	1,1
% par saison	75	9	0	16	100	
	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril
nb. S/40 ans	2	5	16	7	10	4
% par mois	5	11	36	16	23	9

Durant cette même période, l'archipel du Vanuatu a été frappé par 24 tempêtes (88 km/h, 48 nd < vents < 117 km/h, 63 nd) et 18 orages avec des rafales (63 km/h, 34 nd < vents < 87 km/h, 47 nd) (Tab. III.4). Pour ces deux types de perturbations le maximum d'occurrence se produit aussi durant le premier trimestre.

Ces perturbations ne doivent pas être négligées car il a été largement démontré (Simpson R. H. et Riehl H., 1981) que les orages tropicaux, de plus faible intensité, produisent autant de pluies ou même plus qu'un cyclone.

En somme sur ces dernières quarante années, 86 perturbations, « tropical cyclone », ont frappé l'archipel du Vanuatu, essentiellement les îles du sud (voir Fig. III.1), avec une fréquence d'un peu plus de deux par an (Tab. III.5).

Tab.III.4 : Nombre de cas de tempêtes (force 10-11) et coups de vent (Force 8-9) sur 40 ans (1959-1998) au Vanuatu par saison, par mois et nombre moyen annuel :

Force 10-11	Janvier Mars	Avril Juin	Juillet Sept.	Octobre Déc.	Total s/40 ans	Nombre moy/an
nb. S/40 ans	15	4	0	5	24	0,6
% par saison	62	17	0	21	100	
	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril
nb. S/40 ans	2	3	6	5	4	3
% par mois	8	12	25	21	17	12
Force 8-9	Janvier Mars	Avril Juin	Juillet Sept.	Octobre Déc.	Total s/40 ans	Nombre moy/an
nb. S/40 ans	14	3	0	1	18	0,45
% par saison	78	17	0	5	100	
	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril
nb. S/40 ans	1	0	4	4	6	3
% par mois	5	0	22	22	34	17

Tab.III.5 : Nombre de cas de perturbations sur 40 ans (1959-1998) au Vanuatu par saison, par mois et nombre moyen annuel :

	Janvier Mars	Avril Juin	Juillet Sept.	Octobre Déc.	Total s/40 ans	Nombre moy/an
nb. S/40 ans	62	11	0	13	86	2,15
% par saison	72	13	0	15	100	
	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril
nb. S/40 ans	5	8	26	16	20	10
% par mois	6	9	30	19	23	12

Les différents types de risques provoqués par ces phénomènes vont maintenant être développés.

1.3 - Les risques directs :

Les effets les plus dévastateurs d'un cyclone se produisent, en général, dans un diamètre de 100 à 150 km, en vue des terres, quand le centre des basses pressions croise les côtes. Ce sont, essentiellement, les vents, les pluies diluviennes et les effets de la mer sur le littoral, avec la houle cyclonique et la marée de tempête, qui ont le plus important pouvoir destructeur.

1.3.1 - Les vents :

En présence d'un cyclone, les vents, à la périphérie de l'œil, atteignent 118 km/h, voire plus (des vitesses de 337km/h ont été enregistrées pour le plus violent cyclone du siècle survenu en 1948 à l'île de la Réunion, dans l'océan Indien). Les dégâts engendrés par la force du vent et les changements de direction sont proportionnels

au carré de la vitesse du vent, c'est-à-dire qu'un vent de 200 km/h peut être quatre fois plus destructeur qu'un vent de 100 km/h. Ces vitesses considérables correspondent à des poussées élevées, jusqu'à 600 kg/cm² pour un vent de 240 km/h, entraînant des dégâts importants sur la végétation et les constructions, par l'effet de percussion des rafales et les impacts de projectiles divers (branches, tôles, voitures...). Dès 70 km/h, les premiers dommages sur la végétation se font ressentir (*Centre Territorial de Recherche et de documentation Pédagogiques, 1988*).

D'autre part, suivant la position du cyclone, par rapport aux côtes des îles, la force des vents, par conséquent les dégâts qu'ils engendrent, sera variable. Pour toutes les îles se situant dans l'hémisphère sud, comme l'archipel du Vanuatu, les forces des vents sont les moins importantes quand le cyclone passe au sud de l'île car la vitesse de déplacement du cyclone, qui varie entre 5 et 25 km/h, se soustrait de celle des vents, qui s'orientent du sud au nord-ouest. En passant au nord de l'île, la vitesse des vents s'ajoute à celle du déplacement du cyclone, engendrant des vents plus violents. Toutefois, le passage d'un cyclone sur une île entraîne le maximum de dégâts avec les effets des vents les plus violents, à l'approche de l'œil du cyclone (*Alibert P. et al., 1996*). De plus, le mouvement tourbillonnaire des vents crée, aux abords du cyclone, deux zones distinctes (voir figure III.4, ci-

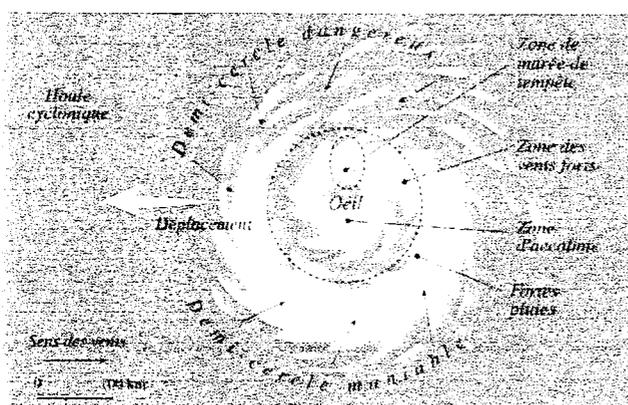


Figure III.4 : Vents dans un cyclone tropical de l'hémisphère nord (tiré de *Alibert P. et al., 1996*).

contre) :

- le demi-cercle dangereux à la navigation, à gauche de la trajectoire du cyclone dans l'hémisphère sud (à droite dans le nord), où les vents ramènent tout bateau ou débris vers le centre, en avant de la trajectoire,

- et le demi-cercle maniable, à droite de la trajectoire dans l'hémisphère sud (à gauche dans le nord), où tout objet ou bateau est repoussé par les vents.

Sur l'archipel du Vanuatu, le vent a déjà montré sa puissance destructrice sur les plantations. Le cyclone AMANDA de 1959, qui s'est abattu sur la partie sud de Vaté et les îles du sud, a détruit une bonne proportion des cocoteraies faisant ainsi baisser la production de coprah à 24000 tonnes en 1960 contre 35000 tonnes en 1959 (*Vanuatu Meteorological Service, 1994*). De nombreux dégâts depuis ont été rapportés à cause des effets dévastateurs des vents violents.

1.3.2 - Les précipitations :

L'intensité des précipitations, à l'approche d'un cyclone, augmente. L'action de ces pluies est intimement liée à la topographie des régions affectées ainsi qu'aux caractéristiques propres du cyclone que sont son intensité et sa vitesse de déplacement.

La quantité d'eau libérée est d'autant plus élevée que le cyclone se déplace lentement. Pour un cyclone modéré, les précipitations peuvent atteindre une hauteur moyenne de 350 mm (ce qui représente, en une seule fois, environ 14% des précipitations annuelles reçues par les îles du sud de l'archipel du Vanuatu !)(Simpson R.H. et Riehl H., 1981). Des exemples de chutes de pluies importantes ont été constatées sur les îles de Tanna et d'Ambrym, lors des passages des cyclones SARAH, TOMAS et USHA en 1994 (SARAH est passé sur Ambrym et à l'ouest de Tanna, TOMAS est passé à l'est de

Tab. III.6 : Précipitations relevées lors de passages de cyclones sur Ambrym et Tanna :

SARAH (01/1994)		TOMAS et USHA (03/94)	
	Pluies		Pluies
Ambrym 18 au 27/01 790 m alt.	455 mm	Ambrym 21 au 27/03	550 mm
Tanna 24 au 27/01 100 m alt.	120 mm	Tanna 21 au 27/03	140 mm

Tanna et d'Ambrym, alors que USHA est passé sur ces deux îles) (Tab. III.6). Ces valeurs nous montrent aussi que les précipitations sont plus importantes au Nord qu'au Sud de l'archipel.

Et c'est lors de la phase de comblement du cyclone que les pluies sont les plus importantes.

Ces apports considérables d'eau peuvent engendrer des crues des rivières, en amont, qui créent une érosion importante, parfois des glissements de terrains et des inondations, en aval, dans les plaines.

Les dommages des pluies torrentielles ne sont plus à démontrer, sur les îles de l'archipel du Vanuatu, de nombreux dégâts ont été provoqués lors des passages des cyclones les plus destructeurs tel qu'UMA en 1987, sur Port-Vila (Vaté) et Tanna pour les zones les plus touchées, qui détruisit considérablement les infrastructures routières, touristiques, maritimes et les cultures ou ANNE, en janvier 1988 sur les îles Torres, Banks et Santo, dont les pluies diluviennes générèrent des coulées de boue et des glissements de terrains, ou encore BOLA, en février 1988 sur les îles Shepherds, Epi, Paama, Ambrym, où les glissements de terrains et les pluies torrentielles endommagèrent les cultures. Encore cette année avec SUSAN, YALI et ZUMAN, survenus en janvier et mars, les précipitations abondantes ont provoqué des inondations au nord de l'archipel (les provinces Torba et Sanma) et sur la province de Tafea pour YALI (données du service météorologique du Vanuatu).

1.3.3 - La houle cyclonique et la marée de tempête :

La houle cyclonique, qui prend naissance à l'avant du cyclone (voir figure III.4) et qui correspond à un empilement de l'eau par le vent, se déplace sur des distances considérables de l'ordre de 1000 km et se fait ressentir sur les côtes, bien avant l'arrivée du cyclone, par l'apparition de vagues de grandes amplitudes. Accompagnant ce phénomène, la marée de tempête correspond à la conjonction de l'élévation du niveau de la mer, dans la partie centrale du cyclone, du fait de la baisse de pression et des

effets des vents, et de la marée astronomique. La chute de pression d'un hectopascal (hPa) entraîne l'élévation du niveau de la mer d'un centimètre.

En pleine mer, l'amplitude des vagues, créées par ces phénomènes, reste assez faible, de l'ordre de quelques centimètres, mais peut atteindre jusqu'à une dizaine de mètres aux abords des côtes suivant la bathymétrie locale, la forme et l'orientation du littoral. Une surélévation du niveau de la mer dans les baies et les estuaires peut dépasser d'un facteur de 50%, voire plus, celui d'une côte ouverte, lors du déplacement lent du cyclone.

Ces dangers provoquent des dommages matériels très importants, parfois sur de grandes distances à l'intérieur des terres, sur les installations côtières, sur les bateaux et la végétation.

Lors du passage d'une tempête, en novembre 1963, sur la côte est de Vaté, l'action de ces phénomènes se sont fait ressentir sur la mine de manganèse en endommageant les ports et les remorqueurs représentant un coût estimé à 150000 \$. Plus récemment, avec le passage du cyclone BETSY en janvier 1992, des énormes vagues de 2-3 mètres ont été générées sur la côte nord-est de Vaté détruisant presque complètement des tronçons de routes. Ou encore avec le cyclone SARAH en janvier 1994 qui détruisit le port de Lenakel à Tanna, qui n'est toujours pas réparé, dont les coûts des dommages se sont élevés à 500 000 \$ (*Vanuatu Meteorological Service, 1994*).

1.4 - Les risques indirects :

Les effets indirects sont les conséquences de l'action des pluies et des vents, essentiellement représentés par les glissements de terrains et les brûlures, par l'action des aérosols marins chargés en sel, de la végétation par l'action des embruns.

1.4.1 - Les glissements de terrain :

Les actions conjuguées des rafales de vents violents et des pluies torrentielles peuvent parfois provoquer des glissements de terrain, sur les terres à faible recouvrement végétal ou sur des zones de fortes pentes, entrecoupées de systèmes de failles. La capacité de production de coulées de boues par les fortes précipitations accompagnant un cyclone ne doit pas non plus être négligée. Ce sont surtout les sols meubles ou ayant une couverture végétale dispersée qui sont les plus exposés à ce type de risque. Ces terrains sont, essentiellement, présents sur les pentes des volcans des îles volcaniques du Vanuatu ; des précipitations importantes sur ce genre de terrain sont susceptibles de produire, en amont, des coulées de boue qui canalisées dans les lits des rivières ou les talwegs peuvent atteindre les plaines habitées et cultivées.

Le cyclone du début d'année 1952, qui passa sur les îles centrales de l'archipel (Ambrym, Epi, Mallicolo..), fut un des plus meurtriers en entraînant la mort de plus de cent personnes, dont environ la moitié fut tuée par un glissement de terrain sur l'île

d'Epi (la plupart de ces personnes avaient évacué l'île d'Ambrym qui subissait en même temps les impacts d'éruptions volcaniques ! (cette reprise d'activité volcanique s'étant traduite par des émissions importantes de cendre) (*Vanuatu Meteorological Service, 1994*).

1.4.2 - Brûlures de la végétation et pluies acides :

Aux effets mécaniques du vent (torsion, ébranlements, arrachements..), s'ajoutent celui des embruns qui pénètrent, sous forme d'aérosols, parfois profondément à l'intérieur des terres et brûlent la végétation. Ce risque est d'autant plus complexe à estimer quand se superpose à ce phénomène l'action des pluies acides sur la végétation. Ceci est bien mis en évidence sur les îles volcaniques d'Ambrym et de Tanna où le « lessivage » des panaches éruptifs par les précipitations produit ces pluies acides qui ont des effets néfastes reconnus sur la végétation (*Lardy M. et al., 1998*, *Buisson D., 1994* et *Nairn A. et al., 1988*).

1.4.3 - Action sur l'activité volcanique :

En corrélant l'intensité des précipitations et l'activité du volcan actif de Tanna, le Yasur, quelques constats intéressants ont été faits. Des experts néo-zélandais, qui avaient été sollicités par le gouvernement du Vanuatu s'inquiétant de l'activité accrue du Yasur, ont remarqué une reprise d'activité du Yasur, peu de temps après le passage des cyclones UMA (février 1987), BOLA (mars 1988) et DOVI (avril 1988), accompagnés de pluies torrentielles (les deux tiers des précipitations de l'année 1988 sont tombées les six premiers mois !) (*Nairn A. et al., 1988*). La grande quantité d'eau précipitée s'est infiltrée dans le cratère et son contact avec le magma a provoqué des « mini » explosions phréato-magmatiques, dues à l'interaction du magma et de l'eau. Ceci peut s'avérer être le cas d'autant plus que dans la littérature volcanologique de telles situations ont été étudiées. La présence, depuis 1992, de la station de surveillance du Yasur, qui enregistre en continu les secousses sismiques volcanogéniques, et les données pluviométriques, enregistrées par les stations installées sur l'île, permettent maintenant de vérifier ces observations.

L'archipel du Vanuatu, par sa position dans une zone de cyclogenèse, a toujours connu la menace du passage de cyclones, qui ont plus ou moins laissé des traces dans l'Environnement et la mémoire humaine (Tab. III.7).

La proportion du cortège de dégâts, associés à ces phénomènes, est intimement liée à l'intensité du cyclone et à sa trajectoire. Le coût de ces pertes peut atteindre des sommes importantes en tenant compte de tous les effets ; toutefois ces estimations sont souvent bien en dessous de la réalité vu les zones considérables affectées et les dommages subis par les écosystèmes (destruction des cultures, des jardins de

Tab. III.7 : Les cyclones les plus meurtriers et destructeurs, depuis 1952, ayant affecté l'archipel du Vanuatu:

LES CYCLONES LES PLUS MEURTRIERS :		
NOMS	Nombre de victimes	Régions les plus affectées
19/12-01/01/1952	Plus de 100	Ambrym, Epi, Mallicolo
CARLOTTA (7-26/01/72)	4	Tanna, Anatom
UMA (03-08/02/87)	50	Vate, Tanna
BETSY (07-11/01/92)	1	Ambrym, Epi, Mallicolo, Vate
PREMA* (29-30/03/93)	~5	nord-ouest Vate, Tongoa
LES CYCLONES LES PLUS DESTRUCTEURS :		
NOMS	Coûts des pertes estimés en \$AU ou \$US	Régions affectées
AMANDA (20-31/12/1959)	1000000 \$AU (pour Port-Vila)	sud de Vate, Epi, Anatom
UMA (03-08/02/87)	150 millions de \$US (pour le pays)	Vate (Port-Vila), Tanna
ANNE (07-14/01/1988)	1,2 à 1,5 millions de \$US	Iles Torres, Ureparapara, nord-ouest Santo
BOLA (25/02-04/03/1988)	0,5 millions de \$US + 4 millions de \$AU (perte de marchandises)	Iles Shepherds, Epi, Paama, sud Mallicolo, sud Ambrym
BETSY (7-11/01/1992)	NON DISPONIBLE	Ambrym, Epi, Shepherds, sud Mallicolo, parties de Vate
FRAN (8-10/03/1992)	NON DISPONIBLE	Vate-Tafea
PREMA (29-30/03/1993)	NON DISPONIBLE	Tongoa, nord et ouest Vate
SARAH (25-28/01/1994)	500000 \$US (port de Lenakel à Tanna)	sud-ouest Vate, Tanna, Anatom

(sources : données du Service Météorologique du Vanuatu et West S., 1993*)

subsistance, érosion des zones littorales..) qui ne sont pas chiffrés, dans la majeure partie des cas.

Bien que ces phénomènes naturels soient, essentiellement, synonymes de catastrophes pour les humains, à l'échelle planétaire, ils ont un rôle bénéfique important dans la répartition de l'énergie à la surface du globe. Ils participent à l'équilibre thermique entre les tropiques, source de chaleur la plus exposée à l'ensoleillement, et les pôles, dont le bilan thermique est négatif. Les cyclones se produisent lorsque les anticyclones, qui sont chargés de restituer la chaleur emmagasinée dans la couche superficielle des océans vers les pôles, ne suffisent plus pour évacuer cette considérable énergie, d'où leur désignation courante sous le terme de « soupapes de sécurité » (Hontarrede M. et Galli F.L., 1998 et Alibert P., 1996). Ils sont également bienfaiteurs, avec les importantes précipitations qui les accompagnent, pour les cultures, plus largement la végétation, en permettant la reconstitution des réserves d'eau des zones qu'ils affectent, évitant ainsi les effets néfastes de la sécheresse (Danloux J., 1985).

Encadré N°12 : Les habitats traditionnels :

Autrefois, la société mélanésienne, qui était familiarisée avec ces risques, avait appris à vivre avec, en instaurant un ensemble de stratégies dans les types de cultures plantées, comme les taro dièrés irrigués des bas de pentes qui sont bien adaptés aux risques, dans les techniques de construction et l'exposition. Les habitats traditionnels avaient intégrés des dispositifs améliorant leur résistance au vent, comme l'absence de décrochements pour limiter la prise au vent et la réduction des ouvertures ; tandis que leur structure souple, avec les toits ligaturés, permettait de supporter la pression. Pour se parer contre la gravité d'une famine, des réserves de nourriture étaient faites. Toutes ces techniques de survie se sont petit à petit effacées dans les mémoires, avec la colonisation européenne. L'introduction des cultures commerciales, qui a réduit les surfaces de récolte des aliments coutumiers moins vulnérables comme le manioc et l'igname, et la distribution, lors de catastrophes de produits comme le riz, la farine, les conserves et le sucre, en sont les causes principales (Dupon J.F., 1989).

Toutefois, ces aspects positifs ne compensent pas les coûts des dommages matériels sur les infrastructures, les constructions et les installations.

Des stratégies de défense ont été élaborées pour limiter les impacts destructeurs des cyclones, que sont la préparation, avec la prévision, la prévention et la protection. L'organisation de la prévention, un bon système d'alerte et de protection permettent d'éviter beaucoup de pertes humaines. Les dommages à l'habitat (voir encadré n°12) peuvent être limités contrairement à ceux causés aux cultures, à la plupart des infrastructures et à la végétation.

1.5 - La prévision :

A ce stade, la responsabilité des centres météorologiques spécialisés dans les cyclones tropicaux est engagée pour la détection de la formation des dépressions et l'émission d'avis précisant sa position, son

intensité et sa trajectoire. Au Vanuatu, c'est le rôle attribué au Service Météorologique national.

La détection de ces phénomènes est, essentiellement, basée sur l'imagerie satellitale fournie par des satellites d'observations météorologiques géostationnaires, ayant une orbite circulaire voisine du plan équatoriale à 36000 km d'altitude. L'observation des basses latitudes, qui correspondent aux zones intertropicales, dans le Pacifique Sud, est faite par les satellites GMS, lancé en 1977 et situé par 140° Est de longitude, et GOES 3, lancé en 1978 et situé par 135° Ouest de longitude. Les informations fournies en permanence par ces observations satellitales renseignent sur l'évolution et le déplacement des cyclones, la pression au niveau de la mer, la vitesse des vents (encadré N° 13) ainsi que sur la température de l'océan et de l'air. Parallèlement à ces informations, les radars terrestres avec l'appui des reconnaissances aériennes (le Pacifique Sud ne bénéficie pas de ces vols météorologiques) fournissent des données sur les vitesses des vents, la pluviométrie, la pression atmosphérique et la vitesse de déplacement du cyclone ; le mouvement du centre est contrôlé permettant d'ajuster la position d'impact et l'étendue des inondations de marées en accord avec les changements heure par heure, à l'approche d'un cyclone près des côtes.

Les prévisions élaborées n'excèdent pas 72 heures étant donné les difficultés de prévoir les trajectoires hasardeuses de ces phénomènes. Douze heures avant l'impact,

Encadré N° 13 : Les essais de réduction des impacts des cyclones :

Les scientifiques se sont penchés sur les moyens de réduire les impacts des risques des cyclones, en agissant sur le cyclone lui-même, en connaissant les caractéristiques de formation. Les premières expériences américaines ont porté, sur le cyclone ESTHER (1961), en tentant de réduire la vitesse des vents, au niveau du mur, en ensemençant la masse nuageuse de cristaux d'iodure d'argent. Ce projet, nommé STORMFURY, reçu le soutien du Bureau météorologique et de la marine des Etats-Unis (United-States Weather Bureau and United-States Navy). Un projet similaire, le projet TYMOD, vu le jour aux Philippines, quelques années plus tard. Ces expériences ont montré qu'une réduction de 15% de la vitesse maximale des vents abaissait leurs pouvoirs destructeurs d'au moins 30%. Toutefois les résultats encore inégaux de ces études ne permettent leur utilisation.

D'autres expériences, moins poussées, ont étudié les moyens de refroidir la surface de l'océan (> 26°C) en utilisant, par exemple, la méthode de la création d'une remontée des eaux froides, en pompant. Des tentatives de réduction de l'évaporation de l'océan ont aussi été faites en dispersant un film chimique d'hexadéanol (Simpson R.H. et Riehl H., 1981).

A l'heure actuelle, des études se poursuivent pour maîtriser la première technique et enfin pouvoir limiter considérablement les coûts des dommages, importants dans les pays industrialisés.

l'incertitude sur sa prévision de position est déjà de 80 km ; 160 km à 24 heures d'échéance, 320 km à 48 heures et de 480 km à 72 heures !

Dès qu'une perturbation dépasse le stade de « tropical cyclone », que les vents sont supérieurs ou égaux à 34 nœuds, le centre météorologique spécialisé régional lui attribue un nom. Dans le Pacifique Sud, l'attribution des noms commença en 1964 (le premier nommé qui toucha l'archipel du Vanuatu fut EDITH (du 19 au 25/02/1964)). La nomination des perturbations tropicales dans le Pacifique nord-ouest et nord-est débuta respectivement en 1959 et 1960 ; ceci explique le fait que les cyclones AMANDA (du 20 au 31/12/1959) et BRIGITTE (du 28/12 au 04/01/1960), qui devaient être originaires de ces régions sont représentés dans la liste des cyclones qui ont affectés le Vanuatu. Dans le Pacifique Sud, la liste des prénoms établies (les prénoms masculins sont apparus à la suite des pressions des mouvements féministes à la fin des années 1970 !) est en rotation continue. Une nouvelle liste est utilisée quand la précédente est complètement épuisée.

1.6 - La prévention et la protection :

A cause de la quasi continue rythmicité de l'occurrence de ces phénomènes, qui est saisonnière (novembre à avril), et grâce aux moyens de prédiction acceptables, des mesures de sécurité ont pu être étudiées et mises en application, avant, pendant et après le passage d'un cyclone.

Pour le Vanuatu, le « National Disaster Plan » a été créé, en 1994 (*National Disaster Management Office, 1994*), afin de présenter les mesures de prévention et de protection à prendre pour atténuer les effets des cyclones. Les principaux acteurs, formant le sous-comité du plan de soutien aux cyclones (Cyclone Support Plan Sub Committee), responsable du Comité Exécutif des Désastres National (National Disaster

Executive Committee) pour le développement, la préparation et la mise en place de ce plan sont :

- le directeur du Bureau de la Gestion des Catastrophes (National Disaster Management Office NDMO), le président du comité,
- le directeur du Service Météorologique du Vanuatu (Vanuatu Meteorological Service VMS),
- deux représentants des forces mobiles du Vanuatu (Vanuatu Mobile Force),
- l'officier commandant la police du district sud,
- le directeur des services des médias,
- et le directeur du département de l'éducation.

La mise en application du plan débute par l'alerte du Service Météorologique du Vanuatu, qui avec le système d'alerte national (National Community Alerting System) fournissent la base de l'organisation de la gestion des catastrophes (*National Disaster Management Office, 1994*). Ensuite ce sont les autorités de la gestion des catastrophes qui sont chargées d'informer la population sur les mesures à prendre en fonction du niveau d'alerte (voir annexe III.1). Les trois niveaux d'alerte, pour le public, utilisés au Vanuatu sont :

- l'alerte bleue, quand un cyclone est susceptible de toucher la zone dans les prochains 24 heures,
- l'alerte jaune, quand les effets destructeurs des vents de la tempête ou du cyclone vont représenter un risque dans les 6 à 12 prochaines heures,
- et l'alerte rouge, quand l'impact du cyclone est imminent.

Les forces de police et les forces mobiles sont chargées, s'il y a des dégâts, d'estimer ces pertes, de s'assurer qu'une assistance immédiate est fournie et de vérifier tout ce qui pourrait mettre la population en danger. Dans les zones où elles ne peuvent pas intervenir rapidement ces responsabilités reviennent aux chefs et aux dirigeants locaux.

L'annulation des alertes est formulée ensuite par le Comité Exécutif des Désastres après consultation avec le Service Météorologique.

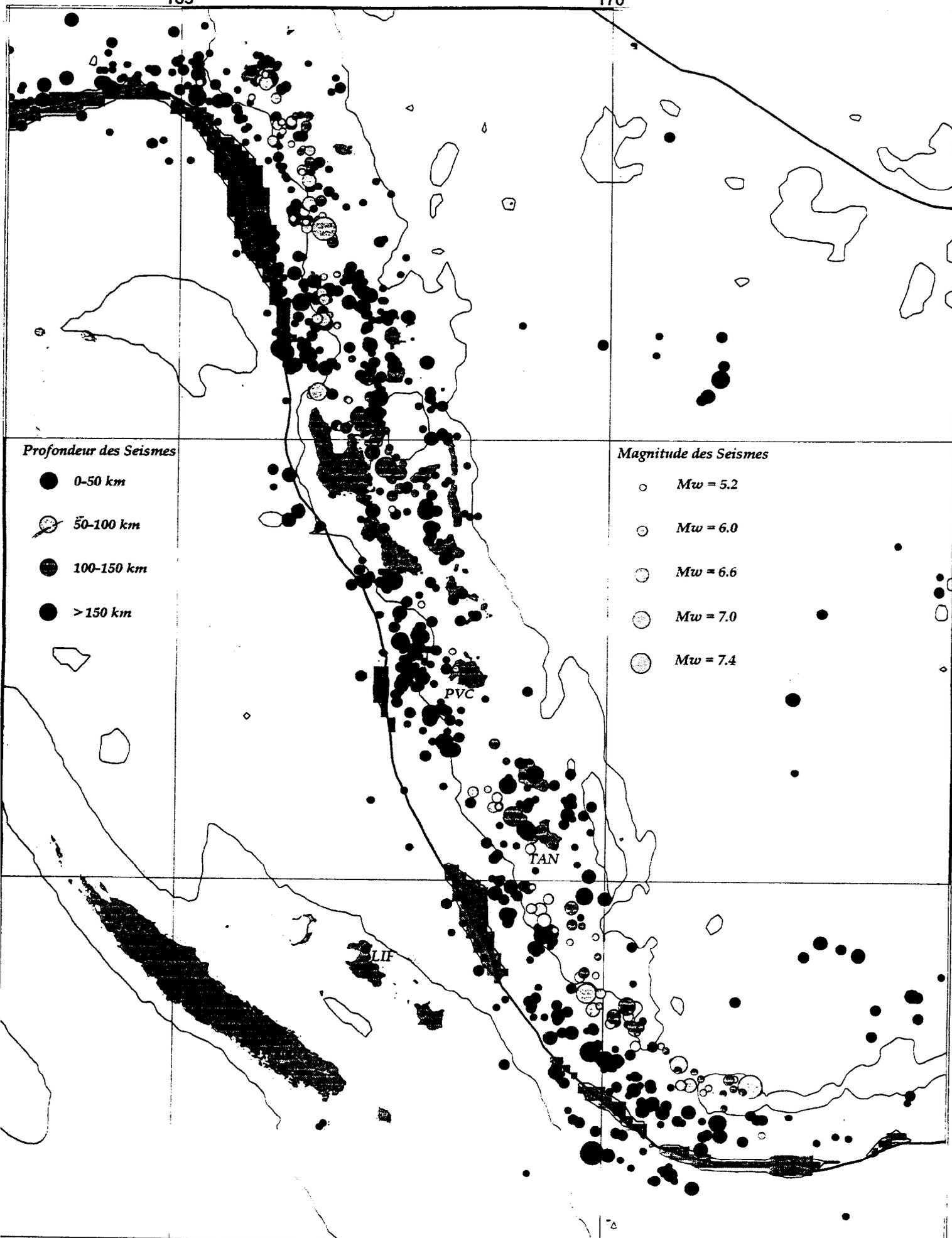
La mise en place d'une telle organisation au Vanuatu a déjà fait ses preuves, mais la meilleure protection reste encore une bonne prévention qui passe par l'éducation de la population.

1.7 - Conclusions :

Dans le monde, les cyclones passent pour la plus importante catastrophe naturelle, 35% des événements, se produisant à la surface de la planète, correspondent à des tempêtes et cyclones (*Courrier de l'UNESCO, oct. 1997*). Au niveau de l'archipel du Vanuatu, ces phénomènes représentent aussi les menaces naturelles les plus importantes. Toutes les îles de l'archipel ont déjà subi leurs impacts plus ou moins dévastateurs, mais les fréquences de passages des cyclones sont les plus élevées pour le centre et les extrémités nord et sud de l'archipel (Fig. III.1 et III.2).

Ces phénomènes saisonniers, qui résultent des échanges océan-atmosphère, sont de nos jours de mieux en mieux connus au niveau de leur genèse, mais la prévision de leur trajectoire n'est encore possible qu'à court-terme. Toutefois, l'impact d'un cyclone sur la terre ou un bateau, en mer, dépend, en partie, de la conscience, de la préparation et des réponses humaines face à l'alerte. Pour minimiser ces effets néfastes, en superposition à l'éducation de la population, des mesures doivent aussi être prises pour la construction des bâtiments, des infrastructures et des habitations individuelles plus adéquates aux atteintes des cyclones. Malheureusement, au Vanuatu, comme dans beaucoup d'autres pays, les raisons esthétiques combinées aux raisons économiques entraînent une utilisation toujours plus intensive des terres côtières, devenant, par conséquent, de plus en plus vulnérables. L'isolement de groupes de personnes (absence de communications, manque d'accès..) sur de nombreuses îles de l'archipel font des cyclones des dangers encore considérables.

Cependant, des efforts d'organisation de la prévention ont été faits pour informer la population sur les divers dangers qu'elle encourt, lors de passage de cyclone, et des documents sur les mesures de protection ont été distribués, ce qui a réduit considérablement les pertes en vie humaine.



Institut Français
de Recherche Scientifique
pour le Développement
en Coopération



Département des Mines
de la Géologie et
des Ressources en Eau
de la République du Vanuatu

II - Les tremblements de terre :

Les séismes, ou plus communément appelés « tremblements de terre », sont la résultante des déformations terrestres et sont de simples vibrations du sol, représentées par les ondes sismiques. La source du séisme, qui correspond au point de rupture des roches, est le foyer ou hypocentre, qui peut atteindre 700 km de profondeur, mais le terme d'épicentre, qui est le point à la surface situé à la verticale du foyer, est le souvent utilisé. Ces phénomènes ne sont pas répartis uniformément au niveau du globe, mais sont principalement localisés dans quatre types de zones sismiques, dont leur activité est reliée à la théorie de la tectonique des plaques :

- le long des dorsales médio-océaniques (zone de divergence), avec des séismes peu profonds,
- dans les zones de glissements horizontaux de deux plaques (les failles transformantes), avec des séismes peu profonds,
- dans les zones de subduction (zone de convergence), passage d'une plaque l'une sous l'autre, plus précisément au niveau des zones sismiques inclinées appelées « les zones Benioff », avec des séismes peu profonds, intermédiaires et profonds,
- et les zones de convergence entre deux continents (collision continentale), avec des séismes peu profonds à intermédiaires.

L'archipel du Vanuatu, localisé sur la « ceinture de feu » du Pacifique, appartient à l'arc insulaire des Nouvelles-Hébrides qui se situe aux abords d'une zone de subduction représentant le passage de la plaque indo-australienne sous la plaque Pacifique, à des vitesses variables, du Nord au Sud de la zone de subduction :

- de l'ordre de 3,5 cm/ an à la hauteur de Santo,
- de l'ordre de 9,5 cm/ an à la hauteur de Vaté,
- et de l'ordre de 12,8 cm/an à la hauteur de Tanna (Données ORSTOM, taux de dérive mesuré par GPS).

Ceci explique la présence d'activités sismique et volcanique non négligeables dans ce pays (voir Fig. III.5, ci-contre).

2.1 - les séismes :

Les séismes sont généralement classés en trois catégories, en fonction de la profondeur du foyer :

- les séismes superficiels : 0-70 km de profondeur,
- les séismes intermédiaires : 70-150 km de profondeur,
- et les séismes profonds : au-delà de 150 km.

Les ondes sismiques sont représentées par des ondes de volume, les ondes P (ondes premières) et les ondes S (ondes secondes), qui traversent la Terre et des ondes de surface, les ondes de Rayleigh et de Love (voir encadré N°14). Ces ondes perdent

leur énergie en se propageant, avec une décroissance plus rapide pour les ondes P et S que les ondes de surface, d'où leur affaiblissement avec la distance.

Les séismes sont aussi caractérisés par trois grandeurs que sont la magnitude, l'intensité et l'énergie.

2.1.1 - La magnitude (M):

Encadré N°14 : Les ondes sismiques (Bolt, 1982) :

- Ondes de volume :

- Onde P (a): onde de compression-dilatation, se déplace aussi bien dans les solides que les liquides et sa vitesse varie en fonction des matériaux rencontrés.

- Onde S (b): onde de cisaillement, se déplace uniquement dans les solides et est moins rapide que les ondes P. c'est l'onde qui cause le plus de dégâts.

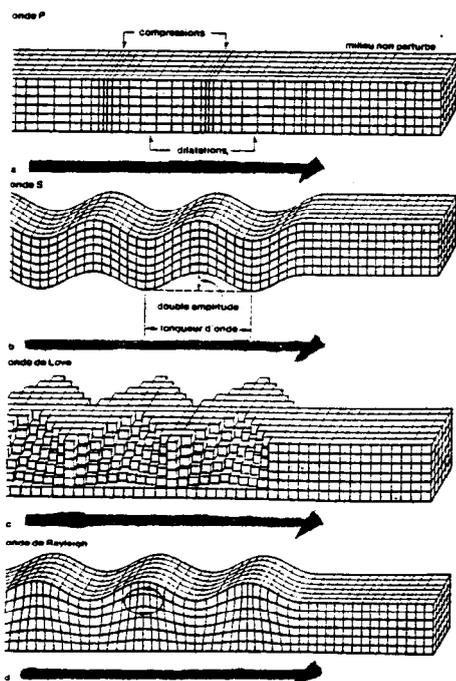
Ces deux types d'ondes ont des vitesses de propagation qui varient de 5,5 km/s à 13 km/s, en fonction de la densité et des propriétés élastiques des roches traversées.

- Ondes de surface :

- Onde de Love (c): son mouvement est similaire à celui d'une onde S dans un plan horizontal, perpendiculairement à sa direction de propagation.

- Onde de Rayleigh (d): son déplacement est à la fois horizontal et vertical dans un plan vertical, parallèlement à sa direction de propagation.

Les ondes de Love sont plus rapides que les autres et se déplacent à une vitesse de l'ordre de 4 km/s.



Cette grandeur traduit l'importance, la puissance d'un séisme et a été définie, expérimentalement, par Richter, qui a établi, en 1935, une échelle de magnitude (qui est maintenant assimilée à l'échelle M_s), comme le logarithme de la plus grande amplitude mesurée en microns (10^{-6} m) enregistrée par un sismographe à torsion de type standard Wood-Anderson situé à 100 km de l'épicentre du séisme. La magnitude est une fonction continue qui peut aussi bien avoir une valeur négative comme positive dépassant neuf (cette échelle n'a pas de limites !); la magnitude zéro est définie pour un séisme dont l'amplitude maximale de la trace enregistrée, par un sismographe de torsion de type Wood-Anderson de période 0,8s et d'amplification de 2800, à 100 km de distance, est d'un micron. D'autre part, l'augmentation d'une unité, dans la valeur de la magnitude, multiplie par trente l'énergie libérée; par exemple, l'énergie libérée par un séisme de magnitude 7 est 30 fois supérieure à celle libérée par un séisme de magnitude 6.

L'utilisation actuelle de sismographes de plus en plus perfectionnés, nécessite des corrections en tenant compte de l'éloignement du foyer du séisme, de sa profondeur, de la nature du sous-sol jusqu'à la station d'enregistrement.

Différents genres de magnitudes peuvent être calculées comme la magnitude locale, utilisée pour les petits séismes non perçus à grande distance (M_L), la magnitude des ondes de surface, déduite des ondes de Rayleigh, à une période voisine de 20 sec. (M_S), la magnitude des ondes de volume, déduite des ondes P, à une période voisine de 1 sec. (M_B), la magnitude de durée (M_D , pour les séismes de magnitude inférieure à 4-4,5), la magnitude du Manteau, utilisant les ondes longues (du Manteau) de Rayleigh et de Love, à une période de 50 à 1000 sec. (M_M) et la magnitude d'énergie, la plus communément utilisée, déduite du Moment Sismique (ou de Kanamori, M_W) (Madariaga R. et Perrier G., 1991 et Talandier, 1992). En fin de compte, pour un même séisme, la précision sur la valeur moyenne des magnitudes, calculées à partir de plusieurs stations, est de l'ordre de 0,1 à 0,2.

2.1.2 - l'intensité (I) :

Cette grandeur reflète les effets produits par un tremblement de terre et n'est pas enregistrée par des sismographes. Elle se mesure d'après des échelles arbitrairement établies, en fonction des effets ressentis par la population, de l'importance des dégâts matériels et de toutes déformations à la surface de la terre. Actuellement la plus utilisée est l'échelle macrosismique d'intensité, MSK 1964 (échelle de Mercalli modifiée), du nom des trois sismologues européens Medvedev, Sponheuer et Karnik, qui varie de 1 à 12 (annexe III.3). L'intensité d'un séisme dépend de la distance et de la profondeur du foyer par rapport au lieu d'observation. Et elle ne doit pas être confondue avec la magnitude car pour deux séismes de même magnitude, leur intensité respective peut être totalement différente.

2.1.3 - l'énergie :

L'énergie d'un séisme est la somme de deux énergies :

- l'énergie libérée dans la région du foyer, sous forme thermique et par la déformation permanente dans la zone de rupture, qui ne peut être mesurée,
- et l'énergie émise sous forme d'ondes élastiques enregistrée par les sismographes.

Toutefois avec la magnitude, il est possible de déterminer l'énergie libérée sous formes d'ondes élastiques et avec le moment sismique M_0 ($M_0 = \mu.S.D$, avec μ , la rigidité du milieu, S, la surface de la faille qui a joué et D, le déplacement moyen), d'évaluer l'énergie totale d'un séisme.

2.2 - L'origine et la localisation des séismes au Vanuatu :

La population de l'archipel du Vanuatu est familiarisée avec les tremblements de terre. De 1975 à 1997, près de 900 séismes de magnitude supérieure à 5, ce sont produits (voir Tab. III.8). Depuis le début de l'année 1998, déjà 16 séismes de magnitude supérieure à 5 se sont produits. Ils sont, à peu près au deux tiers, représentés par des magnitudes comprises entre 5 et 6 pour la période entre 1975 et 1997. Pour les séismes de plus grande magnitude, une décroissance numérique est observée en même temps que la magnitude augmente.

Tab. III.8 : Nombre de séismes et moyenne annuelle au Vanuatu (1975-1989 et 1975-1997) et dans le monde (1965-1989) :

Pour le Vanuatu ¹ 1975-1989 et 1975-1997:								
M	5-5.4	5.5-5.9	6-6.4	6.5-6.9	7-7.4	7.5-7.9	>8	Total
Total (1975-1997)	322	366	152	67	20	7	0	934
Moyenne par an	14,0	15,9	6,6	2,9	0,9	0,3	0,0	40,6
Total (1975-1989)			100	45	10	4	0	159
Moyenne par an			6,7	3,0	0,7	0,3	0,0	10,6
Dans le monde ² 1975-1989 :								
Total (1975-1989)			970	278	89	36	4	1377
Moyenne par an			65	19	6	2,4	0,3	92
Comparaison Vanuatu/Monde, 1975-1989 :								
% Vanuatu/Monde Moyenne par an			10,3	15,8	11,1	12,5	0,0	11,5
% Vanuatu/Monde Total (1975-1989)			10,3	16,2	11,2	11,1	0,0	11,5

Source : ¹ Données ORSTOM

source : ² Madariaga R. et Perrier G, 1991

A l'échelle mondiale, la zone de l'arc insulaire des Nouvelles-Hébrides (entre 10°S - 25°S et 160°E-175°E) totalise un peu plus d'un dixième des séismes se produisant dans le monde entier¹, ce qui est très important pour une zone sismique de si petite superficie (avec 12189 km² de terres et 680000 km² d'océan) par rapport à celle du Pacifique (569 489 km² de terres et 172 450 000 km² d'océan). cet arc représente, en superficie, environ 0,4% de la région Pacifique, en comptant les terres et l'océan, et un peu plus de 2% des terres émergées du Pacifique !

En terme d'énergie sismique libérée par les séismes ($\text{Log } E_s = 1,5 M_s + 4,8$, la relation de Gutenberg et Richter (1956) (Madariaga R. et Perrier G., 1991), nous retrouvons aussi que celle-ci, pour la zone de l'arc des Nouvelles-Hébrides, correspond à environ un dixième de l'énergie libérée par les séismes, au niveau mondial (Tab. III.9). Pour cette seule zone, cette énergie représente sur la période entre 1975 et 1997, l'équivalent de 15000 fois l'énergie libérée par la bombe d'Hiroshima, lancée en 1945, correspondant à une production d'énergie de $1,4.10^{14}$ Joules !

¹ L'arc insulaire des Nouvelles-Hébrides, où se trouve le Vanuatu, est situé dans une des régions sismiques les plus actives du monde.

Tab. III.9 : Energie libérée Vanuatu/Monde (1975-1989) :

M	6-6.4	6.5-6.9	7-7.4	7.5-7.9	>8	
Energie libérée moyenne/Séisme en J	1,57E+15	8,84E+15	4,76E+16	2,79E+17	6,31E+17	
Pour le monde ² (1975-1989) :						Total
Energie libérée en Joules	1,52E+18	2,46E+18	4,24E+18	1,01E+19	2,52E+18	2,08E+19
Pour le Vanuatu ¹ (1975-1989) :						Total
Energie libérée en Joules	1,57E+17	3,98E+17	4,76E+17	1,12E+18	0	2,15E+18
Comparaison Vanuatu/Monde (1975-1989) :						Total
% Vanuatu/Monde	10,3	16,2	11,2	11,1	0,0	10,3

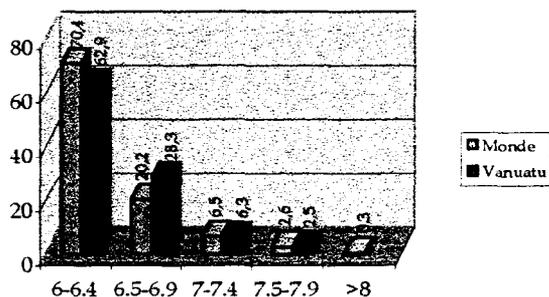
Source : ¹ Données ORSTOM

source : ² Madariaga R. et Perrier G, 1991

Graphes III.1 et 2: Répartition du nombre de séismes totaux et de leurs énergies pour le Monde et le Vanuatu, en fonction de la magnitude (1975-1989) :

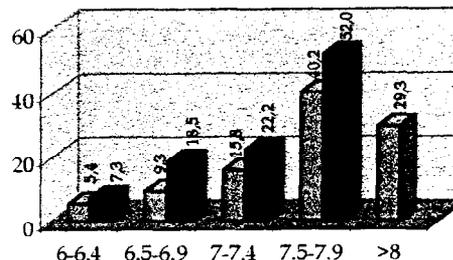
Graphe III.1

Nombre %=f(Magnitude) :



Graphe III.2

Energie %=f(Magnitude) :



En regardant la répartition des séismes, en fonction de leur magnitude (Graphe III.1), dans le monde et au Vanuatu sur la période de 1975 à 1989, il est facile de constater que les séismes de magnitude comprise entre 6 et 7 sont les plus nombreux, bien que ce soit ceux dont la magnitude est supérieure à 7,5 qui représentent la plus grande part dans la production d'énergie (environ la moitié, 52%, de l'énergie produite par les séismes, entre 1975 et 1989 au Vanuatu, est

fournie par des séismes de magnitude supérieure à 7,5, qui ne représentent que 2,5% du nombre total des tremblements de terre).

Si la profondeur du foyer est prise en compte, pour tous les séismes qui se sont produits sur l'arc insulaire des Nouvelles-Hébrides entre 1976 et 1997, nous nous rendons compte que près de 75% des séismes sont superficiels (Voir Tab. III.10).

Tab. III.10 : Répartition des séismes avec la profondeur (1976-1997):

Profondeur	Nombre de séismes	%
0-70 km	673	74,4
70-150 km	119	13,1
> 150 km	113	12,5
Total	905	100

Tab. III.11 : Distribution des séismes en fonction de la magnitude pour une profondeur inférieure à 70 km (1976-1997) :

Magnitude	Nombre de séismes	%	%/Nbre Total
5-5,4	208	30,9	67,8
5,5-5,9	276	41,0	78,0
6-6,4	119	17,7	79,3
6,5-6,9	50	7,4	74,6
7-7,4	13	1,9	65,0
7,5-7,9	7	1,0	100,0
Total	673	100	74,4

Encadré N°15 : Les séismes et les volcans :

Les études faites par Blot C. et Priam R. (1963) ont montré que des corrélations existent entre le volcanisme et les séismes. Blot C. a démontré que :

- pour l'arc insulaire typique des Nouvelles-Hébrides, tous les séismes intermédiaires de grandes magnitudes (7 et plus) situés sous un volcan ont été suivis d'éruptions violentes (les éruptions modérées ont été précédées de séismes de magnitude plus faible.),

- l'intervalle de temps séismes intermédiaires - éruptions, qui est de quelques mois, dépend pour un même volcan de la profondeur du séisme précurseur (120-250 km),

- et les rapports distance (foyer sismique à volcan) - intervalle de temps (D/t) dépendent du type de volcan et du caractère de ses éruptions. Ils varient de 0,5 à 2 km/jour.

Il considère que dans les environs des volcans, les éruptions sont directement ou indirectement liées à des migrations de séismes. Mais ces crises sismo-volcaniques internes d'un volcan ne se traduisent pas toujours par une extrusion du magma ; dans ce cas, un ou deux ans après un séisme intermédiaire, un violent séisme tectonique se produit, comme si l'énergie n'ayant pu se libérer par le volcan poursuivait son cheminement vers la surface, le long du plan de Benioff, et se relaxait dans les ruptures de la croûte terrestre (Blot C., 1976).

Le tableau III.11 (ci-dessus), montre la distribution des séismes en fonction de la magnitude, pour les séismes superficiels. Nous constatons que la répartition des séismes, en fonction de leur magnitude, est assez uniforme et que la totalité des séismes de magnitude comprise entre 7,5 et 7,9 sont à moins de 70 km de profondeur. Ces tremblements de terre superficiels, qui ont une origine principalement tectonique, sont essentiellement localisés le long de la zone de subduction des Nouvelles-Hébrides qui suit l'archipel du Vanuatu à l'ouest (Fig. II.1). Les séismes les plus profonds d'origines tectoniques ou volcaniques (voir encadré N°15), sont plus décalés vers l'est, parallèlement à cette même zone et matérialisent le plan de Benioff (plan de génération des séismes), qui à un fort pendage au niveau du Vanuatu, avec une inclinaison de près de 70% contre 30-50%, en général. L'explication de ce phénomène est liée à la grande puissance des

courants de convection mantellique, circulant d'est en ouest sous la plaque Pacifique, qui maintiennent la lithosphère océanique dans une position sub-verticale. La conséquence de ce fort pendage est le positionnement anormal des volcans du Vanuatu, qui sont à 200-250 km au dessus de ce plan, contrairement à l'ensemble des arcs insulaires où les volcans sont seulement à 110 km à l'aplomb du plan de Benioff (Programme ORSTOM-CORNELL, 1978-1988).

Ces constatations mettent bien en évidence que l'arc insulaire des Nouvelles-Hébrides est une zone à forte activité sismique qui demande une attention particulière en ce qui concerne la détermination des zones considérées à risques (production de tsunamis, glissements de terrains, reprise d'activité volcanique..) pour éviter des catastrophes ; comme notamment celle, qui eut lieu au nord-ouest de la Papouasie Nouvelle-Guinée, le 20 juillet 1998, région qui fut entièrement dévasté, sur 30 km de littoral, par un tsunami d'origine sismique de magnitude 7, avec des vagues de plus de 10 mètres d'amplitude et qui ont causé la mort de plusieurs milliers de personnes.

2.3 - Les risques sismiques :

Les principaux dangers des tremblements de terre sont d'après B.A. Bolt (1979, p. 128) :

- 1- Les secousses du sol, le tassement différentiel du sol, les glissements de terrain et coulées de boue, la liquéfaction du sol et les avalanches,
- 2- le déplacement du sol le long des failles,
- 3- les tsunamis, les seiches¹ et les inondations créées par la rupture des canalisations, des barrages et des digues,
- 4- et les incendies.

Au niveau de l'archipel du Vanuatu, des séismes qui ont déjà engendré de tels dégâts, plus ou moins importants, se sont déjà produits. Les infrastructures, les habitations et les bâtiments ont été touchés. Au niveau des dommages sur les personnes, il semble, au regard du peu de données sur l'archipel en terme d'estimation des dégâts des phénomènes naturels, que peu de personnes aient trouvé la mort ou subi des blessures des effets des dangers des tremblements de terre. Deux séismes, pourtant, ont entraîné de tels conséquences ; celui en 1914 (12 morts) et celui du 27 octobre 1971 (3 morts et quelques blessés) (Prévoit R. et Chatelain J.L., 1983).

En considérant le bref historique sur les dégâts de grands séismes, proposé par Prévoit et Chatelain (1983, p.34-p.40), il apparaît que l'archipel du Vanuatu ne souffre peu des dégâts occasionnés sur les constructions, par rapport au nombre importants des séismes (estimés à environ 2000-4500 par an, toutes magnitudes confondues), qui se produisent au niveau de l'archipel. En fait, près de 97% des tremblements de terre de cette région sont de faible magnitude (> 5) et ne sont pas ressentis par la population (Prévoit et Chatelain, 1983). D'autre part, les séismes superficiels de magnitude supérieure à 5, se produisent en moyenne 1 à 2 fois par

¹ Oscillations à la surface d'un lac.

mois ; ils sont la plupart situés en mer, essentiellement au niveau de la faille des Nouvelles-Hébrides, et n'ont pas trop de conséquences. Toutefois, ils pourraient entraîner un rejet de faille sur une île, toujours à même de provoquer davantage de dégâts.

Toutefois quelques dommages notables, sur quelques îles de l'archipel, ont été générés par des séismes comme, par exemple, celui du 23 juillet 1961, qui se produisit à 44 km de profondeur (magnitude 6), localisé au Sud de Port-Vila ; il produisit un tsunami, de faible amplitude (environ un mètre), dans la baie de Port-Vila (ruptures d'amarres de bateaux) et de nombreux dégâts sur les constructions (murs lézardés, vaisselle brisée..). Les séismes des 11, 12 et 13 août 1965, localisés au Nord de l'archipel entre Santo et Mallicolo, avec des magnitudes voisines de 6,3, engendrèrent des dommages similaires sur les constructions et infrastructures de ces deux îles (affaissement d'une partie du port de Santo, canalisations d'eau et lignes téléphoniques rompues, ponts et radiers endommagés, glissements de falaises et affaissements de terrain sur Mallicolo... ; ces dégâts se sont élevés à 35 millions de Vatus, soit un peu plus de 1,5 millions de FF) (Prévoit R. et chatelain J.L.,1983). Plus récemment, le séisme superficiel du 11 octobre 1992, d'origine tectonique, situé à l'ouest d'Erromango, avec une magnitude de 7.4, a engendré des dommages assez importants dans la province de Tafea ; les îles d'Erromango et de Tanna ont subi des dégâts d'une intensité voisine de VIII, sur l'échelle de Mercalli modifiée (26 maisons écroulées, glissements de terrain, ouverture d'une faille visible en surface (crevasses de 10 cm et soulèvements de terrain). Les dégâts ont été estimés à plus de 10 millions de Vatus, (environ 500 000 FF). Ou encore celui superficiel du 13 juillet 1994, situé au sud de Mallicolo de magnitude 7,3 ; son intensité est allée de VI, pour Port-Vila située à plus de 150 km, jusqu'à VII, VIII dans les régions nord Mallicolo et sud Santo, où des glissements de terrain se sont produits, des dégâts aux bâtiments et infrastructures (routes, ponts..), ainsi que des dommages sur le réseau électrique de Luganville (données ORSTOM et département des Mines).

Une des caractéristiques de cette région est la fréquence inhabituelle à laquelle se manifestent ces séismes importants, bien que non majeurs (i. e., magnitude <8), dont la période de retour est de l'ordre d'une dizaine d'années plutôt que d'une centaine d'années, observées ailleurs dans le monde (Prévoit et al., 1990). Et cette intense activité sismique, qui règne le long de l'arc insulaire, est confinée dans une étroite bande géographique, orientée NNO-SSE et large de 150 km environ (Fig. III.5).

Dans les études de risques sismiques, c'est la sismicité superficielle qui est prise en compte car ces séismes surviennent à faible distance des îles et génèrent des ondes de surface de forte amplitude qui sont une des causes principales des effets destructeurs des tremblements de terre. Inversement, les séismes intermédiaires génèrent peu d'ondes de surface et leur plus grand éloignement font qu'ils ont généralement peu d'impacts en surface.

L'évaluation des risques sismiques consiste à déterminer la probabilité d'avoir un séisme d'une magnitude donnée dans un intervalle de temps donné (à partir des données sismologiques) et à définir avec quelle intensité sera ressenti ce

séisme dans un site donné (à partir des données sur la nature des roches, la topographie et le régime hydrographique).

A partir des études de la localisation et de la magnitude des séismes, Prévot et Chatelain (1983) ont précisé, pour l'archipel du Vanuatu, les zones à plus fort risque sismique, en élaborant des cartes des intensités. Ces zones sont les îles Torrès, Santo, Aoba, Nord Mallicolo, Maewo et Pentecôte où les forts séismes superficiels se produisent plus fréquemment (les intensités varient entre VII et IX). Le reste de l'archipel est soumis aussi à des risques sismiques (intensités comprises entre VI et VIII). Plus récemment, un microzonage a été réalisé, sur la ville de Port-Vila, en 1997, dans le cadre d'un programme international auquel l'ORSTOM et le département de la Géologie, des Mines et des Ressources en Eau du Vanuatu sont associés, pour définir les zones à risques ; des cartes précisant ces différentes zones sont en cours d'élaboration (un programme identique sera conduit sur Luganville (Santo)).

La faible densité de population et la subsistance de l'habitat traditionnel, encore très répandu dans les îles de l'archipel, contribuent à une atténuation des dommages et les coûts causés par les séismes. Mais si l'ampleur des dégâts ne classe pas le Vanuatu parmi les régions à très haut risque sismique, ils sont suffisamment importants pour que des mesures soient prises pour la protection des biens et des personnes.

2.4 - L'observation des séismes et des déplacements :

Actuellement, il n'est pas possible de prévoir un séisme (heure, jour, endroit exact, intensité, magnitude..), par contre, à partir des études historiques et géologiques d'une zone donnée, les zones susceptibles de subir des séismes importants peuvent être déterminées. Afin de mieux connaître ces zones, des stations sismiques ont été installées, au Vanuatu, dès le milieu des années 1960 par l'ORSTOM, à Port-Vila, Luganville et Tanna. L'université de Cornell (U.S.A) a ensuite coopéré avec l'ORSTOM dans le cadre du programme de l'étude de la microsismicité (Programme ORSTOM-CORNELL), qui a démarré en 1978 ; 22 stations télémétrées ont été déployées, sur l'ensemble de l'arc insulaire des Nouvelles-Hébrides. Cette opération a fonctionné sur dix ans.

Parallèlement, cinq accélérographes avaient été installés, par l'ORSTOM et CORNELL, sur Vaté (2), Mallicolo (2) et Santo (1). Ces instruments, qui ne sont plus utilisés, aujourd'hui, ont complété l'étude de la sismicité de la région. Ces accélérographes enregistraient les accélérations du sol à l'endroit particulier où un séisme était suffisamment fort pour déclencher l'instrument ; ils ont fourni une base pour la prédiction du mouvement du sol local induit par de forts séismes au Vanuatu.

Aujourd'hui, toutes les stations télémétrées transmettent, par voie hertzienne, des signaux sismologiques courtes périodes (de 0.1 à 12 Hz) vers les observatoires de Port-Vila (observatoire central) et de Luganville (observatoire secondaire), équipées de stations large bande (« broad-band »), dont une est intégrée au réseau français

Géoscope¹. Les observatoires du Vanuatu et ceux de Nouvelle-Calédonie forment un réseau régional. D'autre part, pour les forts séismes, ces observatoires (Port-Vila et Nouméa) délivrent leurs informations au « US National Earthquake Information Center » (NEIC/USGS) ; ces données leur permettent d'affiner la localisation des épicentres de ces tremblements de terre.

De plus, l'évolution des mouvements de convergence et de soulèvement, corrélée à l'activité sismique, au niveau de l'arc du Vanuatu, est étudiée, dans le cadre du programme de géodésie, qui utilise le système G.P.S., avec des réoccupations régulières des sites de mesures et également deux sites permanents (un à Port-Vila, un à Santo), combiné au site DORIS², permanent à Tanna.

Le but de ces programmes est de comprendre la complexité structurale de cette région et de délimiter, en dehors de l'aspect scientifique, les zones qui sont exposées aux risques sismiques, pour fournir aux autorités du pays, des informations en vue de la prévention et d'une prise en compte dans les programmes de Développement.

2.5 - La prévention :

Etant donné que les tremblements de terre sont encore difficiles à prévoir à court-terme, les mesures de protection restent encore celles de la prévention. Au Vanuatu, le bureau national de la gestion des catastrophes (National Disaster Management Office) et le département de la Géologie, des Mines et des Ressources en eau (Department of Geology, mines and Water Ressources) sont chargés de communiquer et de faire appliquer ces mesures. Bien que les tremblements de terre soient considérés comme une menace permanente pour l'archipel, peu de mesures préventives sont appliquées par la population. Les normes de construction parasismique sont faiblement prises en compte, par les particuliers. Par contre, dans les pôles urbains de Port-Vila et Luganville, la fréquence des séismes a imposé des constructions solides ne dépassant pas les quatre étages (ces normes sont maintenues au niveau d'importantes constructions), mais des lacunes persistent au niveau de l'inventaire des dégâts matériels et des mesures de prévention à mettre en œuvre pendant la phase de reconstruction. C'est essentiellement dû au fait que les gros séismes n'ont, jusqu'à maintenant, pas engendré de dégâts importants.

Le peu d'informations transmises sur ces phénomènes entraîne un manque de sensibilisation des populations de l'archipel ; l'absence de réglementations laisse se développer un habitat individuel (petite maçonnerie et tôles), autour des deux villes, sans intégration de réelles mesures préventives de protection.

L'étude d'évaluation des risques sismiques au Vanuatu, faites par une équipe franco-américaine de chercheurs (*Kruger-Knuepfer J.L. et al., 1986*), a précisé les cinq priorités pour réduire les risques sismiques :

- la mise en place d'un programme d'éducation sur les séismes,

¹ Ce programme, qui étudie la structure interne du globe, a été initié par les Universités de Paris, de Strasbourg et l'INSU (Institut des Sciences de l'Univers) et a débuté en 1983-1984.

² Détermination d'Orbite et Radio-positionnement Intégrés par Satellite : utilisé pour la détermination fine des orbites et la localisation précise de points à la surface du globe.

- la mise en place d'un programme d'éducation sur les séismes,
- l'adoption de codes de construction,
- la mise en place de plans de secours,
- des observations de la sismicité à long-terme,
- et une coopération internationale entre tous les pays du Pacifique Sud et les compagnies étrangères (U.S. Geological Survey, ORSTOM..).

Toutes ces mesures pourraient être traitées dans un programme de préparation et de sensibilisation aux risques sismiques, en s'appuyant sur ceux déjà existants de la Papouasie Nouvelle-Guinée, de Fidji ou de la Nouvelle-Zélande, qui possède, dans ce domaine, une certaine avance.

2.6 - Conclusions :

Les tremblements de terre représentent des menaces permanentes pour l'archipel du Vanuatu, qui avec ses voisins l'archipel Tonga, les îles Salomon et le nord de la Papouasie Nouvelle-Guinée, apparaissent les plus menacés du Pacifique sud. Par le passé, ces séismes ont engendré des dégâts de faibles ampleurs comparés à ceux générés par les cyclones. Ceci est en partie dû à une population dispersée et à la prédominance des habitats traditionnels dans la plupart des îles, mais l'urbanisation « sauvage » croissante de cette dernière décennie, surtout autour des centres urbains de Port-Vila et Luganville, qui connaissent un accroissement annuel de la population de 7,5% (*Bureau National du Plan*), laisse présager des conséquences plus néfastes pour l'avenir. L'accroissement de la population et de l'industrialisation augmente la vulnérabilité de cet archipel vis-à-vis des risques de dégâts créés par les séismes.

Une étude préliminaire publiée par Trémor (1990) montre que les périodes de retour, pour les séismes ressentis avec une intensité M_M7 et M_M8 , sont respectivement de 12 et 65 ans, sur le flanc est de l'archipel, avec une zone dans la partie centrale (Santo, Malo et Mallicolo), où les périodes sont respectivement de 2-3 ans et 13 ans (ces résultats sont essentiellement indicatifs, à cause du peu de données historiques disponibles).

Ces risques naturels sont souvent trop sous-estimés ; ils sont faiblement pris en compte dans les décisions en matière de développement. En 1983, des codes de construction, donnés aux Travaux Publics par la Nouvelle-Zélande, à la demande du Gouvernement du Vanuatu, n'ont été mis en vigueur que par les grandes entreprises.

D'autre part, les stratégies d'atténuation des catastrophes sont malheureusement considérées, trop souvent, comme des mesures onéreuses visant à protéger la population de phénomènes improbables. Pourtant, intégrer la gestion des risques et la planification du développement présentent de multiples avantages. Les responsables doivent tenir compte des risques dans l'évaluation des projets de développement, pour réduire les coûts des pertes. Pour cela, une évaluation actuelle du risque sismique, pour une région particulière, inclue une étude de la sismicité passée, dans la région en question. Une première évaluation des risques sismiques a été faite en 1986 (*Kruger-Knuepfer J.L. et al., 1986*), suivie d'une étude de microzonages sur Port-Vila (Luganville, à l'avenir), qui a été conduite par

l'ORSTOM (Régnier M.), en 1997, pour définir les zones à risques (les cartes sont en cours d'élaboration). Mais jusqu'à ce jour, il ne semble pas qu'il y ait eu une réelle volonté de tenir compte de ces risques dans le développement du pays. Il manque également un programme national d'éducation sur les tremblements de terre, au niveau de l'archipel.

Encadré N°16 : Les tsunamis ayant frappé le Vanuatu :

Les premiers récits sur les tsunamis remontent au XIX^{ème} s. et jusqu'au milieu du XX^{ème} s. seulement les tsunamis ayant créé des dégâts ont été rapportés. Les zones de genèse des tsunamis les plus destructeurs ont été reportées dans la figure III.6, ci-contre.

- **1492** : Eruptions volcaniques majeures qui détruisirent l'île de Kuwae et engendrèrent sans doute un tsunami important (*Aubert de la Rüe, 1937*).
- **nov. 1845** : témoignage d'un tremblement de terre ressenti à Anatom et d'un tsunami ayant fait échouer un bateau sur les rochers (*Louat et Baldassari, 1989*)
- **17 août 1863** : un tremblement de terre secoua Erromango et fut accompagné d'un mouvement de l'océan inhabituel (pas de rapport) (*Soloviev et Go, 1974*).
- **28 mars 1875** : un tremblement de terre localisé sur l'île de Lifou (îles Loyauté -Nouvelle Calédonie) engendra des vagues de 4 m sur Anatom (*Soloviev et Go, 1974*) et toucha Aniwa (*Louat et Baldassari, 1989*).
- **29 mars 1875** : 21h, séisme ressenti à Erromango avec un tsunami (*Louat et Baldassari, 1989*).
- **30 mars 1875** : 20h30, fort séisme au sud du Vanuatu ressenti, avec un raz de marée, à Erromango et Aniwa (*Louat et Baldassari, 1989*).
- **10 mai 1875** : Suite à un tremblement de terre, formation d'un tsunami sur les côtes d'Erromango (charriage des pierres) (*Soloviev et Go, 1974*).
- **10 janvier 1878** : à 10h00, fort tremblement de terre ressenti à Tanna et activité importante du Yasur, qui engendrèrent un glissement de terrain créant un tsunami, sur la côte ouest de Port-Résolution, avec des vagues de 12 mètres (jusqu'à 15 - 17 m) : destructions de bateaux et de plantations (*Chen et al., 1995*).
- **11 février 1878** : tremblement de terre volcanogénique qui créa, sur Tanna, un tsunami avec des vagues atteignant 12 m (*Soloviev et Go, 1974*).
- **oct. 1883** : séisme, raz de marée et glissement de terrain sur la côte SO de Mallicolo (*Louat et Baldassari, 1989*).
- **? août 1892** : 0h20, un tremblement de terre important engendra un tsunami sur Luganville (Santo) (*Soloviev et Go, 1974*).
- **27 août 1893** : petit tsunami affectant la baie de Port-Vila (ou peut-être seiches d'un fort tremblement de terre lointain) (*Soloviev et Go, 1974*).
- **21 septembre 1920** : Un séisme de magnitude 8, à l'aplomb de la zone de subduction (20°S et 168°E), engendra des vagues de 2 à 5.9 m sur l'île de Tanna (*Lockridge et Smith, 1984*).
- **? 1927** : témoignage d'un fort tremblement de terre ayant engendré un « retrait de la mer à plus d'un km » (signe précurseur d'un tsunami) (*données ORSTOM*).
- **19-20 nov. 1933** : séisme, situé par 16.5°S et 167.5°E, de magnitude 6.25, ressenti à Mallicolo, créant un affaissement de 30 à 40 cm du sud de l'île et un tsunami de faible ampleur (*Louat et Baldassari, 1989*).
- **19 juillet 1934** : tsunami, avec des vagues de moins de 2 m, créé par un séisme de magnitude 8, situé au nord des îles Banks (11.7°S et 165.7°E) ; pas d'autres informations (*Lockridge et Smith, 1984*).
- **29 août 1945 ?** : séisme (?), situé par 15°S et 168°E, ayant engendré dans le village de Marino, au nord de Maewo, un tsunami, avec des vagues de 2-3 m (destructions de cases..) (*Louat et Baldassari, 1989*).
- **7 Octobre 1958** : Sur Epi, les résidents ont noté des vagues inhabituelles dans le sud-est de l'île, dont l'origine semblait être une éruption volcanique (*Soloviev et Go, 1974*).
- **13 mars 1959** : tsunami (origine ?) ayant détruit la mission catholique de Loanatom à Tanna (*Rapport Eglise Catholique au Vanuatu*).
- **24 juillet 1961** : séisme de magnitude 7, situé au sud de Vaté (18.6°S et 168.3°E) à 45 km de profondeur, engendra un tsunami avec des vagues de 1 à 1.5 m dans la baie de Port-Vila ; des dommages mineurs ont été notés (*Soloviev et Go, 1974 et Lockridge et Smith, 1984*).
- **12 août 1965** : trois tremblements de terre de magnitude 7, 6.5 et 7.25, situé entre 15.4°S et 167.2°E, à une profondeur inférieure à 35 km, causèrent des effondrements de terrain et ouverture du sol sur Mallicolo et Santo (dégâts matériels) et un tsunami avec des vagues de 2.5 m sur Tongoa et 1.2 m à Port-Vila (*Soloviev et Go, 1974, Lockridge et Smith, 1984 et Louat et Baldassari, 1989*). Une légende, rapportée par les anciens, retrace l'arrivée d'un tsunami sur l'île, peut-être qu'il s'agit de celui de l'année 1965, qui est le seul qui causa des dommages notables sur l'île de Mallicolo.
- **13 août 1965** : un tsunami se produisit, avec des vagues de 2 m sur côte ouest de Santo, créée par un tremblement de terre de magnitude 7, situé au sud de Mallicolo (15.9°S et 167.6°E). Destructions de bateaux et de structures (*Soloviev et Go, 1974, Lockridge et Smith, 1984 et Louat et Baldassari, 1989*).
- **01 janvier 1967** : séisme de magnitude 8.1, situé aux îles Santa Cruz (11.8°S et 166.8°E), ayant engendré un tsunami avec des vagues entre 2 et 5.9 m (aucune information sur les impacts sur le Vanuatu)

(*Lockridge et Smith, 1984*)

III - Quelques précisions sur les tsunamis affectant le Vanuatu :

3.1 - Introduction :

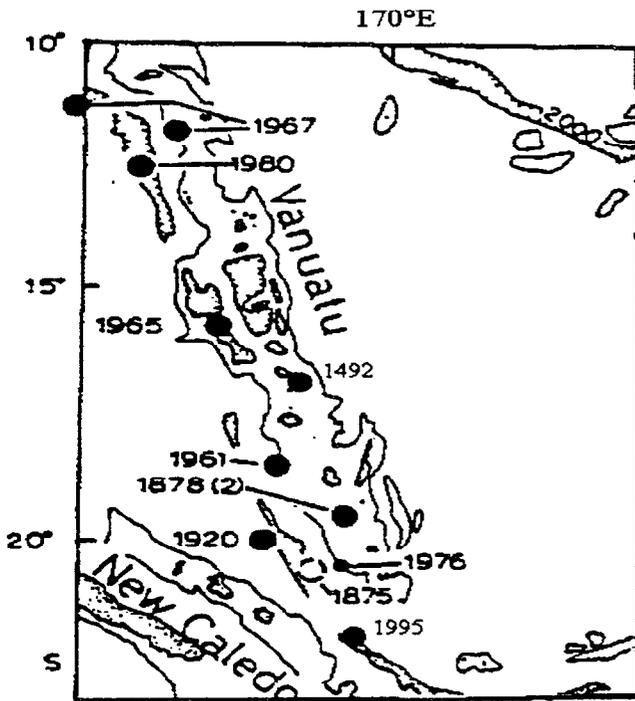
Comme nous avons pu le constater, dans les chapitres précédents, les tsunamis sont causés par des déplacements dans la topographie sous-marine qui sont induits par des séismes, des éruptions volcaniques ou encore des glissements de terrain (sous-marins ou aériens). Ces déplacements du sol en profondeur vont entraîner un mouvement de l'eau, qui se répercute à la surface de l'océan. C'est cette intumescence, qui, par gravité, se déplace à plus de 800 - 850 km/h et crée les tsunamis (aussi appelés « seismic sea waves »).

En plein océan, en eaux profondes, ces ondes sont quasiment imperceptibles, se confondant avec la houle, étant donné leur longueur d'onde très importante (la distance séparant deux crêtes varie entre 50 à 100 km) et l'amplitude des vagues ne dépassant pas les quelques dizaines de centimètres. Cependant, aux abords des côtes, en eaux peu profondes, elles s'amplifient, par phénomène de conservation de la matière, et peuvent alors représenter une menace importante. Leur vitesse, qui étaient de 800 - 850 km/h, en pleine mer, diminue progressivement jusqu'à 80 km/h. L'amplitude des vagues passe alors de quelques dizaines de centimètres à plusieurs mètres.

L'archipel du Vanuatu, par sa position dans une zone de sismicité élevée et volcanique active, est familiarisé avec ces phénomènes (voir encadré N°16).

- • • - 17 juillet 1980 : séisme de magnitude 7.9, situé aux îles Santa Cruz (12.5°S et 165.9°E), ayant engendré un tsunami avec des vagues de moins de 2 m (pas d'informations sur les impacts sur le Vanuatu) (*Lockridge et Smith, 1984*).
- 10 juillet 1993 : mini tsunami affectant la zone sud de l'île de Vaté, dans la région de Whitesands, dont l'origine est peut-être due à un glissement de terrain près des côtes (*témoignage recueilli par l'ORSTOM*).
- 13 juillet 1994 : séisme de magnitude 7.2, situé par 16.6°S et 167.5°E, ayant engendré un tsunami de faible amplitude ressenti par un voilier naviguant par mer calme (*témoignage recueilli par l'ORSTOM*).
- 5 octobre 1994 : une alerte au tsunami a été formulée, suite au tremblement de terre de magnitude 8.2 situé près de la côte nord-est de l'île d'Hokkaido (Japon), mais seulement quelques effets sur Santo ont été observés (*données ORSTOM*).
- 17 mai 1995 : tremblement de terre de magnitude 7.7, à l'est de la région des loyautés (22.9°S et 169.7°E) qui a engendré un tsunami (annoncé par le centre d'alerte aux tsunamis d'Hawaï), qui s'est traduit par une remontée des eaux de 8 m à Anatom (communication Vanuatu Meteorological Service) ; à l'entrée du 1^{er} lagon, à Port-Vila, les bungalows de l'îlot Erakor ont été retrouvés les « pieds dans l'eau ». Une remontée de la mer a été estimée à 1m, 1.5 m dans le lagon (*données ORSTOM*).
- 10 juin 1996 : un tremblement de magnitude 7.7, près de l'Alaska (51.7°N et 178.7°W), semble être à l'origine du léger tsunami d'une amplitude d'une dizaine de centimètres enregistré au Vanuatu (aucun dommage a été rapporté) (*données ORSTOM*).
- 21 mai 1997 : séisme de magnitude 7.7, situé par 12.5°S et 166.7°E, ayant engendré un faible tsunami ressenti dans les îles Torres (*Rapport NDMO*).

Fig.III.6 : Localisation des événements tsunamigéniques (Kruger – Knuepfer et al., 1986), (modifié et complété par Wallez, 1998).



En regardant la figure ci-contre, nous nous rendons compte que la majorité des tsunamis, s'étant produits sur l'archipel du Vanuatu, ont pour origine des tremblements de terre se produisant en champ proche et qui sont liés, essentiellement, à la subduction de la plaque indo-australienne sous la plaque Pacifique. Nous pouvons aussi noter que ces séismes se produisent, par conséquent, à l'ouest de l'archipel exposant, de ce fait, les côtes occidentales aux plus grands risques des effets dévastateurs des tsunamis. En fin de compte, l'archipel n'est pas victime des tsunamis dont l'origine est lointaine. Ceci s'explique, en partie, grâce à la bathymétrie des fonds sous-marins entourant les îles de l'archipel. Ces îles ne possèdent pas de plateaux continentaux, les eaux profondes sont très rapidement atteintes, ne permettant pas aux

tsunamis de prendre de l'amplitude et de déployer leurs effets dévastateurs.

Par contre, la production d'un tsunami, en champ proche, peut représenter un réel danger étant donné que les ondes n'ont pas traversé suffisamment de distance pour s'atténuer et d'autre part leurs impacts sont très rapides, vu leurs vitesses de déplacement élevées. Les seules mesures à prendre, quand un fort tremblement de terre est ressenti, sont de s'éloigner des côtes pour éviter de subir un éventuel tsunami. Toutefois, un tsunami est souvent (mais pas toujours) annoncé par un retrait graduel des eaux côtières, quand c'est un creux qui frappe en premier les côtes (le niveau peut descendre en-dessous des marées les plus basses) ou par une élévation du niveau des eaux d'environ la moitié de l'amplitude de la vague suivante. Ceci indique que des vagues plus sévères de tsunami arrivent.

Cependant, exceptée la topographie locale, les facteurs affectant la taille d'un tsunami incluent la source (tremblement de terre, éruption volcanique, avalanche sous-marine ou glissement de terrain), la magnitude, la profondeur (plus la profondeur du séisme est importante, moins un tsunami a la probabilité de se produire) et la quantité du mouvement vertical à la source. Généralement, les tremblements de terre de magnitude inférieure à 6.5 ne génèrent pas de tsunamis car les tsunamis majeurs nécessitent, pour leur formation, des tremblements de terre de magnitude égale ou supérieure à 7.5 (Iida, 1970).

3.2 - La prévision :

Après le passage d'un tsunami sur Hawaï, avec des vagues de plusieurs mètres de haut (une vague de 17 m a été enregistrée dans la vallée de Pololu), le 1^{er} avril 1946, qui tua 159 morts, les autorités du 50^e état de l'Union se décidèrent à implanter à Honolulu un système d'alerte relié à toutes les régions du Pacifique, le « Pacific Tsunami Warning Center ». Un réseau de sismographes est réparti dans le Pacifique et enregistré tous les séismes. Quand une secousse d'épicentre proche de l'océan et de magnitude supérieure à 6.5 se produit, un avis de recherche (« tsunami watch ») est déclenché. Les sismogrammes sont immédiatement analysés et envoyés dans les observatoires concernés. Un second réseau, qui enregistre le niveau des vagues, est alors déclenché, dont les stations proches de l'épicentre sont les premières capables à indiquer s'il y a ou non risque de tsunami. Suite au tremblement de terre majeur de 1964 en Alaska, le laboratoire de Géophysique a été chargé de l'alerte aux tsunamis. Ce laboratoire a développé un système automatique intégré, le système TREMORS¹, basé sur les données de stations sismiques à large bande à trois composantes, pour estimer les paramètres à la source de la secousse en temps réel (localisation, magnitude du manteau M_m^2 et le moment sismique) et fournir une estimation quantitative du risque de tsunami (*Laboratoire de Géophysique, 1991*). Car il existe une relation directe linéaire entre l'amplitude d'un tsunami et le moment sismique du tremblement de terre qui l'a généré. Cette méthode, qui a été vérifiée expérimentalement en Polynésie Française depuis 1958, est basée sur l'estimation en temps réel du moment sismique, à partir de la magnitude (M_m), qui est ensuite utilisé pour estimer l'amplitude du tsunami créé. La magnitude est estimée à plusieurs fréquences, à partir des amplitudes spectrales des ondes de Rayleigh et de Love (ondes de surface), avec la plus importante valeur relevée. Alors que la distance à l'épicentre est obtenue par les ondes de volume, P et S.

Ce système a été entièrement opérationnel en 1987 au Centre Polynésien de Prévention des Tsunamis (CPPT), installé à Tahiti. Les moments sismiques, obtenus en temps réels par le système TREMORS, sont envoyés, de manière continue, au « US National Earthquake Information Center » (NEIC/USGS) à Golden, dans le Colorado. Dès que les valeurs des moments sismiques excèdent 5×10^{26} dyn.cm, elles sont immédiatement expédiées, par télex à toutes les autres organisations, comme le « Pacific Tsunami Warning Center » d'Hawaï, et le « Alaska Tsunami Warning Center, à Palmer. Le centre d'Hawaï communique les estimations TREMORS des moments sismiques des forts tremblements de terre à 34 pays étrangers (le Vanuatu en bénéficie) recevant leurs bulletins d'alerte.

¹ Tsunami Risk Evaluation through seismic Moment from Real time System.

² Les instruments à large bande permettent des mesures dans la large série des périodes du manteau, de 50 à 300 s, qui fournissent, pour tous les tremblements de terre, la magnitude (M_m), qui croît avec le moment sismique. Cette magnitude est une échelle de magnitude universelle, parfaitement adaptée à la mesure des faibles et forts séismes et à l'estimation du risque de tsunami.

3.3 - La prévention :

Au niveau de la prévention, les seules mesures de protections sont une bonne information du public des risques encourus et des consignes à suivre, lors d'une arrivée, éventuelle ou certaine, d'un tsunami. Lors d'une alerte au tsunami, après une forte secousse, les zones côtières de faible altitude (inférieure à 16m d'altitude) doivent être évitées. Et l'approche des côtes ne doit pas se faire avant la levée de l'alerte par les autorités compétentes.

En fin de compte, l'archipel du Vanuatu, étant donné la topographie et la bathymétrie des fonds sous-marins environnants, n'est pas sujet aux impacts des tsunamis d'origine lointaine, d'autant plus que les tsunamis les plus importants du Pacifique sont générés le long des bordures de plaques sud-américaine ou d'Alaska). Cependant, ces caractéristiques n'excluent pas les risques de tsunamis locaux importants, générés par de forts séismes superficiels se produisant dans la région de la zone de subduction. De plus une éruption majeure ou un effondrement de caldeira, dans les régions Tonga-Kermadec ou du Vanuatu, pourrait engendrer un tsunami important qui affecterait grandement les îles de l'archipel (*Singh, 1991*).

Synthèse Générale :

En 1990, a débuté la « Décennie Internationale de la Prévention des Catastrophes Naturelles » (DIPCN), décrétée par l'Organisation des Nations Unies (O.N.U.), dont l'archipel du Vanuatu est membre. Son objectif est de canaliser la volonté politique, l'expérience et les connaissances techniques de chaque pays pour diminuer les pertes en vies humaines, les souffrances et les pertes économiques dues aux risques naturels.

Le Vanuatu subit les conséquences de trois types principaux de catastrophes :

- Cyclones et vents violents : qui restent la menace majeure saisonnière (de novembre à mai) de l'archipel, avec une fréquence moyenne de 2 par an, et qui totalisent le plus lourd bilan de pertes en vies humaines et matérielles. Les îles du nord-ouest du Pacifique appartiennent à la zone cyclogène la plus féconde du globe¹.

- Tremblements de terre : représentant la plus élevée fréquence d'occurrence, avec un minimum de 2000 à un maximum de 4500 séismes par an, toutes magnitudes confondues) ; mais ils ne représentent pas nécessairement le plus grand danger, à cause de leurs conséquences limitées. La faible densité de population (14 hab./km²) et la faible urbanisation (seulement deux pôles urbains, Port-Vila et Luganville, regroupant un total de 40000 personnes) expliquent le peu de victimes. D'autre part, 75% des forts séismes (de magnitude >5 et qui représentent 1 à 2% de la totalité des séismes qui affectent le Vanuatu) sont superficiels (0 - 70 km). Ils se produisent majoritairement à l'ouest de l'archipel (à l'aplomb de l'amorce de la subduction) ; leur localisation en mer, assez loin des îles, limite les dommages de ces forts tremblements de terre.

- Eruptions volcaniques : manifestations exceptionnelles, à l'échelle humaine, au niveau des éruptions cataclysmales. Les menaces volcaniques affectent plus de 18 % de la population de l'archipel avec les îles de Tanna, Ambrym, Aoba et Gaua. Les déplacements de population (3 fois pour Ambrym, 1 fois pour le Lopevi, 1 fois pour Gaua et une alerte pour Aoba, en moins d'un siècle), auxquels s'ajoutent les destructions de constructions et les pertes en vie humaine traduisent les menaces de ces édifices actifs, dans le cas de paroxysmes importants.

Actuellement, ce sont les pluies acides et les retombées de cendre, liées aux activités permanentes du Yasur (Tanna) et du Marum et Benbow (Ambrym), qui ont des

¹ Près d'un tiers des dépressions tropicales, susceptibles de devenir des cyclones (vents > 64 nœuds), se produisent dans cette région avec des fréquences moyennes d'occurrence les plus fortes entre Fidji et la côte du Queensland (Australie).

répercussions sur l'Environnement (plus particulièrement l'agriculture vivrière) et sur la population (problèmes de santé).

Enfin, associés aux deux dernières catastrophes, les tsunamis, en champ proche, qui sont générés par des tremblements de terre, des éruptions volcaniques, ou des glissements de terrain (aériens ou sous-marins) représentent une menace supplémentaire.

Pour chacune de ces manifestations naturelles des méthodologies précises ont été mises en place (imageries satellitales, observatoires sismologiques, stations d'observation des volcans reliées à des stations télémétrées,..) pour étudier et prévoir ces phénomènes (cyclones, tremblements de terre, éruptions volcaniques..) afin de mieux appréhender les menaces qu'ils représentent.

Des systèmes de prévention et de protection ont été instaurés pour informer et sensibiliser la population, pour essayer de réduire les pertes en vies humaines et matérielles. Le bilan actuel sur les méthodes de prévention utilisées montre que celles-ci sont encore insuffisantes, excepté pour les cyclones, bien qu'il subsiste des problèmes dans la diffusion des informations dans les îles (c'est la radio, sur les ondes moyennes et les ondes courtes, diffusent les messages du service de la météorologie et du NDMO¹).

De telles menaces peuvent porter préjudice à l'économie de ce petit archipel. La prise en compte des catastrophes naturelles devrait être intégrée aux plans de Développement.

L'important taux de croissance démographique (près de 3 %/an²) conduit à des pressions sur l'agriculture qui est le secteur le plus développé, dans les zones rurales, et emploi près de 80% de la population. Cet accroissement démographique risque d'entraîner l'utilisation de nouvelles terres dans les zones les plus menacées avec pour conséquence l'augmentation des pertes de productivité.

En tenant compte du taux de croissance de la population actuel, des estimations (*bureau du plan*) montrent que l'épuisement des bonnes terres devrait se produire, dans la majorité de l'archipel, d'ici 20 à 30 ans (en 2019 pour Tanna, 2024 pour Ambrym, 2029 pour Aoba).

Cependant aux catastrophes naturelles, qui compromettent périodiquement les activités humaines, se superposent, pour ce pays en voie de développement, les risques anthropiques locaux, qui présentent des situations préoccupantes et qui nécessitent l'application de mesures conservatoires dans plusieurs domaines. Des problèmes locaux sévères commencent à apparaître, bien que ceux-ci semblent mineurs, à une échelle globale ; des problèmes tels que la pollution de la baie de Port-Vila et des lagons qui l'entourent, la détérioration des conditions de santé (en particulier dans les zones urbaines) et le risque de contamination de l'eau potable peuvent potentiellement constituer une menace sérieuse pour la santé de la

¹ National Disaster Management Office, Bureau National de la Gestion des Catastrophes.

² Ce qui place le Vanuatu au 4^e rang du Pacifique juste derrière les îles Marshall (4.2%), les îles Salomon (3.5%) et la Fédération des Etats de la Micronésie (3.4%).

population du Vanuatu et avoir également un impact négatif sur les industries, notamment le tourisme. De plus la pollution de l'eau causée par les déchets organiques et le traitement inadéquat des ordures ménagères devient un problème croissant, en particulier sur Port-Vila et Luganville. Des problèmes potentiels apparaissent également avec les déchets chimiques produits par les petites industries, qui ne sont pas ramassés de façon appropriée, mais traités avec les autres déchets liquides et l'eau. Et aussi l'exploitation des forêts (« logging »), sur les îles de Santo, Mallicolo, Vaté et Erromango), conduit à une érosion du sol, associée à une pression démographique croissante et à divers aménagements agricoles ; l'érosion du sol prend des proportions importantes sur cet archipel constitué, majoritairement, d'îles hautes (Dupon, 1988).

Toutes ces difficultés auxquelles est confronté l'archipel du Vanuatu, mettent bien en évidence :

- Un manque de personnels qualifiés et des contraintes financières, qui n'aident pas à une gestion efficace¹,
- Une prise de conscience² insuffisante de la population face aux changements négatifs de l'Environnement,
- et une insuffisance de crédits³ ainsi qu'un manque certain d'une législation sur l'Environnement (en cours).

Pour une meilleure gestion de l'Environnement, il appartient donc aux politiques et aux multiples organismes non gouvernementaux d'utiliser les outils d'aide au Développement, tout en respectant les coutumes et les traditions des différentes îles de l'archipel, pour consolider les bases d'un Développement durable pour le République du Vanuatu.

¹ L'ORSTOM accompagne la formation de trois Ni-Vanuatus dans le cadre des programmes des Sciences de la Terre.

² D'où la nécessité et l'importance des missions d'information, organisées par le NDMO, l'ORSTOM et le département de la Géologie, des Mines et des Ressources en Eau sur les risques naturels.

³ Le Vanuatu dépend considérablement des aides extérieures.

ANNEXES :

ANNEXE I.2 : Quelques données sur l'économie pour l'année 1995 :

Produit Intérieur Brut par type d'activité économique, en millions de Vatus, 1995 :			
	A	B	C
AGRICULTURE	3300	6051	22,72
Coprah	619	738	2,771
Bétail	561	874	3,282
Cacao	110	114	0,428
Café	2	2	0,008
Autres activité agricoles commerciales	194	210	0,789
Productions de subsistance	1304	2035	7,641
Sylviculture	510	2078	7,803
INDUSTRIE	2013	3569	13,4
Industries manufacturières	926	1386	5,204
Electricité	222	462	1,735
Bâtiment et travaux publics	865	1721	6,462
SERVICES	9448	17011	63,88
Commerce de gros et de détail	4256	7510	28,2
Hôtels et restaurants	618	1246	4,679
Transports, entrepôts et communications	966	2006	7,533
Banques et assurances	1040	1918	7,202
Affaires immobilières et autres services	867	1790	6,721
Services publics	1701	3089	11,6
Moins: Production imputée des services bancaires	294	548	2,058
PIB, prix sortie d'usine	14761	26631	100

N.B.: A = en prix constants de 1983
 B = en prix courants
 C = contribution au PIB, en %, en prix courants

Principales exportations, 1995:		
	A	B
Coprah	1100	28520
Viande bovine	427	1035
Cacao	126	1502
Coquillages	101	3257
Bois débité	252	383
Cuirs et peaux	56	32
Kava	48	52
Café	7	36
autres produits (1):	434	3255
Total	2551	38020

N.B.: (1) inclut les effets personnels
 A = en millions de Vatus
 B = en tonnes

Principales importations, par produit selon la classification type, en millions de Vatus, 1995 :	
Produits alimentaires et animaux vivants	1614
Boissons et tabacs	374
Matières brutes non combustibles	109
Energie fossile	864
Huiles et graisses animales & végétales	39
Produits chimiques	704
Produits manufacturés	2091
Machines, matériels de transport	3028
Produits manufacturés divers	1233
Produits non classés (1)	217
Total	10273



TARIFICATION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE

Pour le 1er Trimestre 1998, soit du 1er Janvier au 31 Mars 1998

PRIX DE BASE P= 32.63 Vatu/kWh

A - CLIENTS BASSE TENSION "DOMESTIQUE"

Correspond aux clients Basse Tension 5, 10 ou 15 Ampères maximum pour une consommation maximum de 120 kWh par mois

a) Tarification	1ère tranche	jusqu'à 60 kWh	$0,65 \times P =$	21.21	Vatu/kWh
	2ème tranche	de 61 à 120 kWh	$1,00 \times P =$	32.63	Vatu/kWh
	3ème tranche	au-delà de 120 kWh	$1,70 \times P =$	55.47	Vatu/kWh

b) Prime fixe NEANT

c) Avance sur consommation valeur unique : $70 \times P =$ **2284 VATU**

B - CLIENTS BASSE TENSION "PATENTES" ET "AUTRES USAGES"

a) Tarification	Patentés	Tarif unique	$0,90 \times P =$	29.37	Vatu/kWh
	Autres usages	Tarif unique	$1,00 \times P =$	32.63	Vatu/kWh

b) Prime fixe	Patentés	20xP par kVA souscrit	$652.60 \times \text{kVA}$
	Autres usages	19xP par kVA souscrit	$619.97 \times \text{kVA}$

c) Avance sur consommation **150xP par kVA souscrit 4895 x kVA**

AVANCES SUR CONSOMMATION POUR CLIENTS BASSE TENSION

CONTRATS MONOPHASES					CONTRATS TRIPHASES				
Calibre en Ampères	Puissance souscrite en kVA	Avance sur consommation en VATU	Prime fixe patentes	Prime fixe autres usages	Calibre en Ampères	Puissance souscrite en kVA	Avance sur consommation en VATU	Prime fixe patentes	Prime fixe autres usages
5	1.1	5 384	718	682	10	6.6	32 304	4307	4092
10	2.2	10 768	1436	1364	15	9.9	48 456	6461	6138
15	3.3	16 152	2154	2046	20	13.2	64 607	8614	8184
20	4.4	21 536	2871	2728	25	16.5	80 759	10768	10230
25	5.5	26 920	3589	3410	30	19.8	96 911	12921	12275
30	6.6	32 304	4307	4092	40	26.4	129 215	17229	16367
					50	33.0	161 519	21536	20459
					60	39.6	193 822	25843	24551
40 (*)	8.8	43 072	5743	5456	70 (*)	46.2	226 126	30150	28643
					80 (*)	52.8	258 430	34457	32734
					90 (*)	59.4	290 733	38764	36826

(*) Avec accord de la Direction

C - CLIENTS MOYENNE TENSION

a) Tarification **Tarif unique $0,70 \times P =$ 22.84 Vatu/kWh**

b) Prime fixe **25xP par kVA souscrit 815.75 x kVA**

c) Avance sur consommation **150xP par kVA souscrit 4895 x kVA**

D - ECLAIRAGE PUBLIC

a) Tarification **Tarif unique $0,50 \times P =$ 16.32 Vatu/kWh**

b) Prime fixe NEANT

c) Avance sur consommation NEANT

ANNEXE I.4 : Tarification des communications locales et nationales :

Vanuatu est divisé en 4 zones de tarification.

Les communications entre deux abonnés d'une même zone sont tarifées à raison d'une unité toutes les 3 minutes ou toutes les 6 minutes selon l'heure d'appel. Les communications entre deux abonnés de deux zones adjacentes sont tarifées à raison d'une unité toutes les minutes ou toutes les 6 minutes selon l'heure d'appel. Les communications entre deux abonnés de deux zones non-adjacentes sont tarifées à raison d'une unité toutes les 30 secondes ou toutes les 6 minutes selon l'heure d'appel.

Les tarifs réduits sont appliqués tous les jours de 18 h à 6 h ainsi que le samedi, le dimanche et les jours fériés.

Le prix de l'unité téléphonique est de 17 Vatus.

Résumé tarification locale :

	A l'intérieur d'une même zone	Entre deux zones adjacentes	Entre deux zones non-adjacentes
Tarif normal	3 minutes30	1 minute10	35 secondes
Tarif réduit	6 minutes	3 minute	3 minutes

Les communications internationales obtenues par voie automatique sont facturées à la durée réelle avec une impulsion (unité) minimum.

Les communications établies par l'intermédiaire d'une opératrice sont facturées avec un minimum de 3 minutes et par minute indivisible ensuite.

Un tarif réduit existe pour toutes les zones de 20h00 à 6h00 du lundi au samedi et toute la journée du dimanche et des jours fériés (source : *annuaire 1997-98*)

Résumé tarification internationale :

Région	Zone	Tarif normal par minute approx.(Vt)	seconde par unité	tarif réduit par minute approx.(Vt)	seconde par unité
Australie, Fidji, Nelle Calédonie, NZ	1	160	6,75	120	9
Papouasie N G, Salomon, et autres pays du pacifique Sud	2	244	4,43	183	5,9
Europe, reste du pacifique, Hong-kong, Japon, Taïwan	3	296	3,65	222	4,86
Afrique, Amérique du Nord et du Sud, autres pays d'Asie	4	342	3,16	257	4,2

(AIR FARE AND AIR CARGO TARIFF : - EFFECTIVE : 01st NOVEMBER, 1995)

FROM	TO	FARE	TAX	TOTAL	FREIGHT	FROM	TO	FARE	TAX	TOTAL	FREIGHT	FROM	TO	FARE	TAX	TOTAL	FREIGHT	FROM	TO	FARE	TAX	TOTAL	FREIGHT	
ANETYUM - AUY																								
DILLONS BAY		8950	250	7100	80	LONORORE		3950	250	4200	50	VLA		5850	250	6100	80	LAMENBAY		3050	250	3300	50	
FUTUNA		4450	250	4700	60	NORSUP		3250	250	3500	50	QUOIN HILL - UIC						SANTO		5850	250	6100	100	
SANTO		16550	250	16800	140	REDCLIFF		4850	250	5100	60	VLA		2050	250	2300	50	VALESOR		2850	250	3100	50	
TANNA		4250	250	4500	60	SANTO		5050	250	5300	60							VLA		4550	250	4800	60	
VLA		11050	250	11300	120	SIR W BAY		2850	250	3100	50	REDCLIFF - RCL												
ANWA - AWD																								
FUTUNA		3450	250	3700	50	WALALA		5250	250	5500	60	GAAU		5950	250	6200	60	TORRES - TOR						
IPOTA		3250	250	3500	50	LAMEN BAY - LNB						LAMAP		4850	250	5100	60	SANTO		10050	250	10300	100	
SANTO		13550	250	13800	120	CRAIG COVE		2850	250	2900	50	LONGANA		2150	250	2400	50	SOLA		4850	250	5100	50	
TANNA		2850	250	3100	50	EMAE		2350	250	2500	50	LONGORORE		3250	250	3500	50	VLA		16550	250	16800	140	
VLA		8250	250	8500	90	GAAU		9750	250	10000	130	NORSUP		4050	250	4300	50	WEST C SANTO		7050	250	7300	80	
CRAIG COVE - CCV																								
GAAU		8850	250	8900	100	LAMAP		2850	250	2900	50	SANTO		3250	250	3500	50	GAAU		5750	250	6000	60	
LAMAP		2250	250	2500	50	NORSUP		4250	250	4500	60	VLA		9050	250	9300	100	ULEI - ULE						
LAMENBAY		2850	250	2900	50	SANTO		5450	250	5700	60							CRAIG COVE		2750	250	3000	50	
LONGANA		4750	250	5000	90	TONGGA		3050	250	3200	50	SANTO - SON						GAAU		9250	250	9500	100	
LONORORE		3050	250	3200	50	ULEI		2250	250	2500	50	ANETYUM		16550	250	16800	140	LAMEN BAY		2250	250	2500	50	
NORSUP		3250	250	3500	50	VALESOR		2250	250	2500	50	CRAIG COVE		4850	250	5100	60	LONGANA		5050	250	5300	60	
ULEI		2750	250	3000	50	VLA		5450	250	5700	60	LONGORORE		3250	250	3500	50	LONORORE		3250	250	3500	50	
VLA		6450	250	6700	80	LONGANA - LOQ						MAEW0		4550	250	4800	50	NORSUP		4850	250	5100	60	
DILLONS BAY - DLY																								
ANETYUM		8850	250	7100	80	CRAIG COVE		4750	250	5000	60	SANTO		12550	250	12800	120	SANTO		5850	250	6100	80	
FUTUNA		5850	250	6100	60	GAAU		5650	250	5900	60	CRAIG COVE		13550	250	13800	120	VALESOR		6450	250	6700	80	
IPOTA		2150	250	2400	50	LAMAP		5650	250	5900	60	EMAE		5850	250	6100	60	VLA		6050	250	6300	80	
SANTO		12350	250	12600	120	LONORORE		3450	250	3700	60	FUTUNA		16050	250	16300	140							
TANNA		4250	250	4500	50	MAEW0		2450	250	2700	50	GAAU		5750	250	6000	60	VALESOR - VLS						
VLA		5850	250	6100	80	NORSUP		4750	250	5000	60	IPOTA		12550	250	12800	120	EMAE		2550	250	2800	30	
EMAE - EAE																								
GAAU		10050	250	10300	140	SANTO		3950	250	4200	50	LAMAP		5050	250	5300	60	LAMEN BAY		2250	250	2500	50	
LAMEN BAY		2350	250	2600	50	SARA		2250	250	2500	50	LAMENBAY		5450	250	5700	60	MAEW0		11050	250	11300	80	
SANTO		6850	250	6900	100	ULEI		5050	250	5300	60	LONGANA		3950	250	4200	50	SANTO		6450	250	6700	80	
TONGGA		2450	250	2700	50	VLA		9550	250	9800	100	LONORORE		4850	250	5100	60	TONGGA		2850	250	3100	50	
VALESOR		2550	250	2800	50	WALALA		2250	250	2500	50	MAEW0		4550	250	4800	50	VLA		4550	250	4800	60	
VLA		3450	250	3700	50	LONORORE - LNE						NORSUP		3450	250	3700	50							
FUTUNA - FTA																								
ANETYUM		4450	250	4700	60	CRAIG COVE		3050	250	3300	50	SANTO - SON						EMAE		2550	250	2800	30	
ANWA		3450	250	3700	50	GAAU		7250	250	7500	100	ANETYUM		16550	250	16800	140	LAMEN BAY		2250	250	2500	50	
DILLONS BAY		5850	250	6100	60	LAMAP		3950	250	4200	50	CRAIG COVE		4850	250	5100	60	MAEW0		11050	250	11300	80	
SANTO		16050	250	16300	140	LONGANA		3450	250	3700	50	LONORORE		3250	250	3500	50	FUTUNA		3250	250	3500	50	
TANNA		4250	250	4500	60	NORSUP		4250	250	4500	50	ULEI		5850	250	6100	60	IPOTA		8450	250	8700	80	
VLA		9250	250	9500	80	REDCLIFF		3250	250	3500	50	VALESOR		6450	250	6700	80	LAMAP		5950	250	6200	60	
GAAU - ZGU																								
CRAIG COVE		8850	250	8900	100	SANTO		4850	250	4900	60	VLA		9550	250	9800	100	LAMEN BAY		5450	250	5700	60	
EMAE		10050	250	10300	140	SARA		2850	250	3100	50	WALALA		2850	250	3100	50	LONGANA		3550	250	3800	100	
LAMAP		9250	250	9500	100	ULEI		3250	250	3500	50	WEST C SANTO		4550	250	4800	50	LONORORE		3050	250	3300	50	
LAMENBAY		9750	250	10000	130	VLA		8050	250	8300	80							MAEW0		11050	250	11300	100	
LONGANA		5650	250	5900	60	WALALA		3850	250	3900	50	SARA - SSR						MOTA LAVA		14050	250	14300	140	
LONORORE		7250	250	7500	100	MARW0 - MWF						GAAU		5250	250	5500	100	NORSUP		7850	250	7900	80	
MAEW0		4850	250	5100	80	GAAU		4850	250	5100	80	LONGANA		2250	250	2500	50	PAAMA		5850	250	6100	60	
MOTALAVA		1250	250	1500	50	LONGANA		2450	250	2700	50	LONORORE		2850	250	3100	50	QUOIN HILL		2050	250	2300	50	
NORSUP		7050	250	7300	100	SANTO		4550	250	4800	60	MAEW0		3250	250	3500	50	REDCLIFF		9050	250	9300	100	
REDCLIFF		5950	250	6200	80	SARA		3250	250	3500	50	REDCLIFF		2250	250	2500	50	SANTO		3550	250	3800	100	
SANTO		5750	250	6000	80	VLA		11050	250	11300	100	SANTO		4550	250	4800	60	SARA		3050	250	3300	100	
SARA		6250	250	6500	100	WALALA		3250	250	3500	50	VLA		9050	250	9300	100	SOLA		13050	250	13300	120	
SOLA		2650	250	2900	50	MOTALAVA - MTLV						GAAU		3250	250	3500	50	SOUTH W BAY		8450	250	8700	80	
SIR W BAY		9250	250	9500	100	GAAU		6850	250	7100	80	MOTALAVA		2150	250	2400	50	TANNA		8450	250	8700	80	
TONGGA		11850	250	11900	140	SANTO		2150	250	2400	50	SANTO		8650	250	8900	60	TONGGA		4550	250	4800	60	
ULEI		9250	250	9500	100	TORRES		5250	250	5500	80	VLA		2350	250	2600	50	VALESOR		4550	250	4800	60	
VALESOR		11050	250	11300	130	VLA		14050	250	14300	140	W. C. SANTO		8050	250	8300	80	WALALA		9450	250	9700	100	
VLA		12550	250	12800	140	NORSUP - NUS						SOLA - SLH						WEST C SANTO		12050	250	12300	120	
WALALA		5850	250	6100	60	CRAIG COVE		3250	250	3500	50	GAAU		2850	250	3100	50	WALALA - WLH						
TORRES		5750	250	6000	60	GAAU		7050	250	7300	100	MOTALAVA		2150	250	2400	50	GAAU		5850	250	6100	60	
IPOTA - IPA																								
ANWA		3250	250	3500	50	LAMAP		3250	250	3500	50	SANTO		3550	250	3800	100	LAMAP		5250	250	5500	60	
DILLONS BAY		2150	250	2400	50	LONGANA		4750	250	5000	60	VLA		5450	250	5700	60	LONGANA		2250	250	2500	50	
SANTO		12550	250	12800	120	LONORORE		4250	250	4500	50	TANNA - TAN						LONORORE		3850	250	390		

Annexe II.1 : Questionnaire posé lors des enquêtes sur Ambrym et Tanna :

- De quelle(s) éruption(s) vous souvenez-vous ?
- Quel(s) danger(s) représente le volcan pour vous, s'il y en a un ?
- Comment vous protégez-vous ?
- Qui écoutez-vous dans le village lors d'une activité volcanique ?
- Que représente le volcan pour vous ?
- Êtes-vous prêt à quitter votre endroit si la zone est dangereuse ?
- Êtes-vous prêt à quitter l'île s'il faut une évacuation et reviendrez-vous ensuite même si la zone est considérée dangereuse ?

TANNA Island
République du VANUATU (Océanie)
19°52S ; 169°43E, altitude 361 mètres

L'aspect du cratère du Yasur observé le 7 novembre a peu évolué depuis le mois de février 1997 (dessin d'artiste fig.n°1 d'après photographies) ; seuls les cratères B et C sont actifs. Aucune activité sur A, rares explosions sur B avec émissions de panaches de cendres de petits volumes accompagnés parfois d'émissions de bombes (quelques dizaines de centimètres de diamètre) jusqu'à la lèvre du cratère.

L'enregistrement permanent de la sismicité montre depuis mars 1997 (fig.n°2) une décroissance générale de l'activité strombolienne du volcan. On a pu enregistrer quelques fortes explosions (GVN volume 22, n°8, août 1997), mais leur périodicité est restée limitée à quelques unités par jour, sur les histogrammes du niveau 4 (supérieur à des déplacements de 60 µm). Ce qui confirme une baisse de l'activité générale.

L'ensemble des signaux sismiques enregistrés est situé dans une gamme de fréquences comprise entre 1 et 7Hz (article sous presse¹) ils sont en relation avec les explosions stromboliennes et corrélés aux manifestations de surface ; l'ensemble des signaux est enregistré à 2 kilomètres du cratère et retransmis par une balise ARGOS (GVN volume 20, n°8, août 1995, LAVE n°57). La sismicité régionale d'origine tectonique ne représente qu'un faible pourcentage des comptages, et reste négligeable au regard de l'activité liée au Yasur.

L'enregistrement permanent de la sismicité depuis quatre ans (fig.n°3) semble mettre en évidence des périodicités de forte et faible activités de plusieurs mois.

Informations et Contacts :

M. LARDY, D. CHARLEY, P. GINESTE - Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM) et Département des Mines et de la Géologie du VANUATU ; B.P. 76 - PORT-VILA - VANUATU (OCEANIE) ; J. TABBAGH, Centre de Téléoobservation informatisé des volcans CNRS-CRG, GARCHY FRANCE ; A. NABYL, J. DOREL OPG, Centre de recherches volcaniques CRV - Clermont Ferrand - FRANCE ; MF. LE CLOAREC, Centre des faibles radioactivités CFR - GIF sur YVETTE - FRANCE.

¹ A. NABYL, J. DOREL, and M. LARDY ; *A comparative study of low frequency seismic signals recorded at Stromboli (Italy) and Yasur (Vanuatu)*. *New Zealand Journal of geology and Geophysics*. Parution décembre 1997.

Figure n°1

Intérieur du cratère du Yasur d'après clichés (dessin d'Alfreda MABONLALA -ORSTOM) photographiques pris le 28 février 1997.

Figure n°2

Enregistrement des histogrammes de sismicité des seuils 3 et 4 enregistrés à 2 km du cratère et télétransmis par ARGOS, de mars au 13 octobre 1997.

Figure n°3

Les moyennes mobiles lissées sur 25 périodes et représentées par les lignes continues sur la figure n°3 correspondent à des déplacements verticaux supérieurs à 12 μm . Les histogrammes représentent des mouvements verticaux supérieurs à 60 μm .

L'ensemble des séismes volcaniques est enregistré à partir d'un même géophone situé à 2 km du cratère et dont les données sont transmises par balise ARGOS. Les échelles sont logarithmiques.

L'observation de ces mesures montrent que les périodes de forte activité depuis quatre ans se sont situées entre décembre 1993 et mars 1995, et de mai 1996 à avril 1997 avec une activité légèrement marquée pendant une période "calme" d'août à octobre 1995.

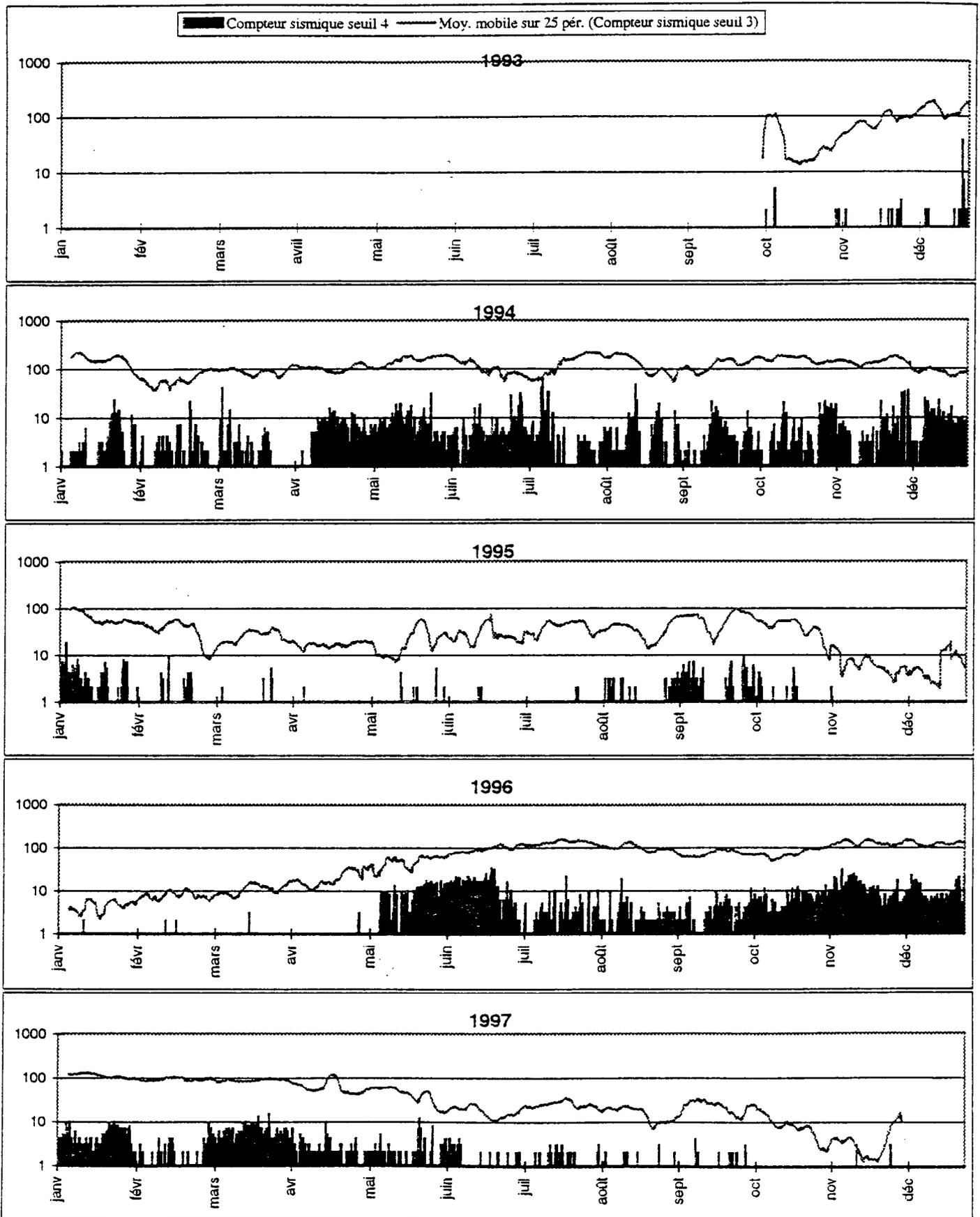
Nous avons pu constater à partir d'analyses de radionuclides une réinjection de magma frais en mai 1996.

Photographie

Panache de cendres dans l'évent B du Yasur le 28 février 1997.

YASUR (Tanna - République du Vanuatu)

Sismicité quotidienne enregistrée à 2Km du sommet du Yasur, d'octobre 1993 à octobre 1997
Daily seismicity recorded 2Km from top of Yasur, from oct.1993 to oct.1997



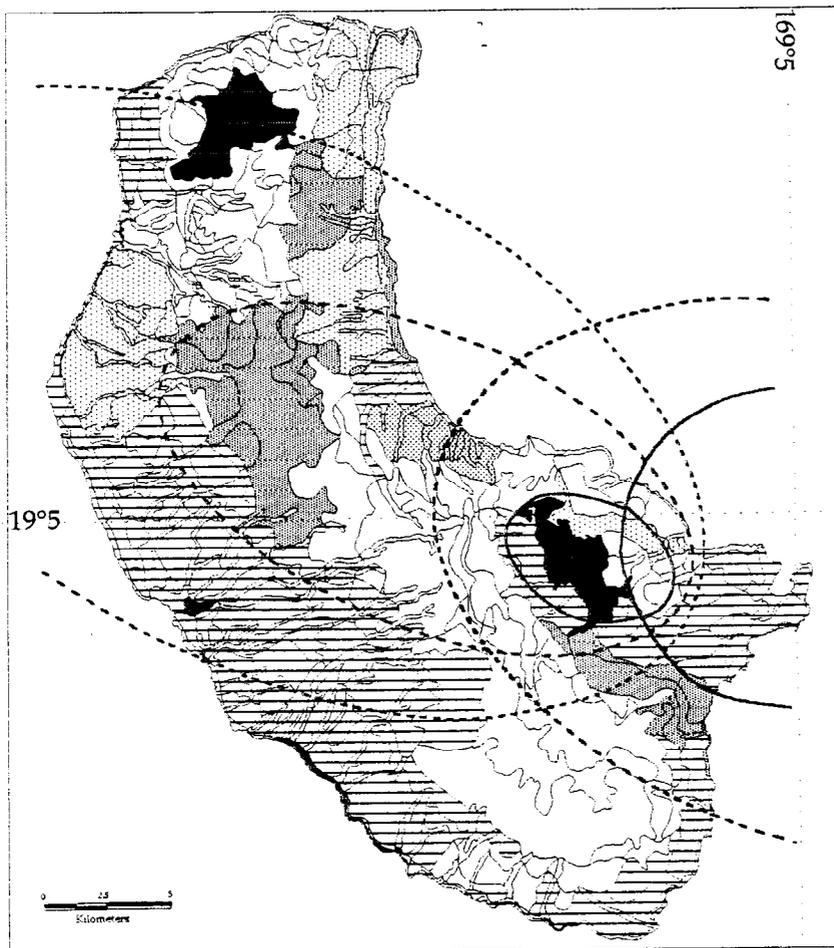
(c) ORSTOM, Port-Vila (VANUATU), 04/12/97

Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération

French Scientific Research Institute for development in Cooperation

CTIV - Garchy (FRANCE)

Annexe II.3a : Utilisation du sol dominante (Tanna) (VANRIS) :



Zones à risques :

Retombées de cendre :

- Zone 1
- - Zone 2
- - - Zone 3

Cas d'une éruption cataclysmale :

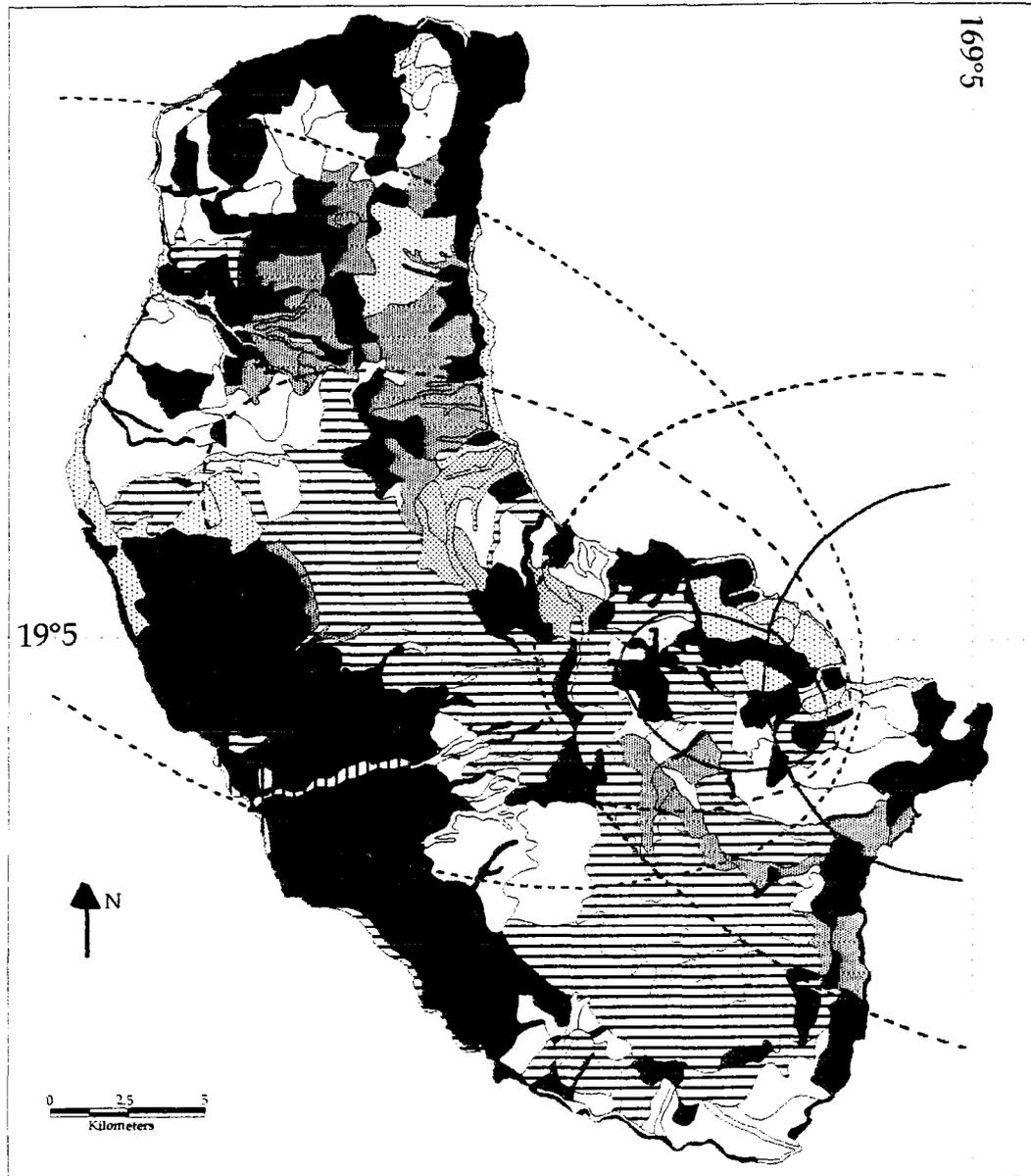
- Zone 4
- - Zone 5

Utilisation du sol dominante :

Pour l'île de Tanna :

- pas de renseignements
- pas d'utilisation courante
- jardins permanents avec plantations
- jardins permanents avec agriculture rotative
- plantations avec jardins permanents
- agriculture rotative
- agriculture rotative avec jardins permanents
- utilisation urbaine ou village
- aucunes données disponibles

Annexe II.3b : Utilisation du sol secondaire (Tanna) (VANRIS) :



Zones à risques :

Retombées de cendre :

- Zone 1
- - Zone 2
- - - Zone 3

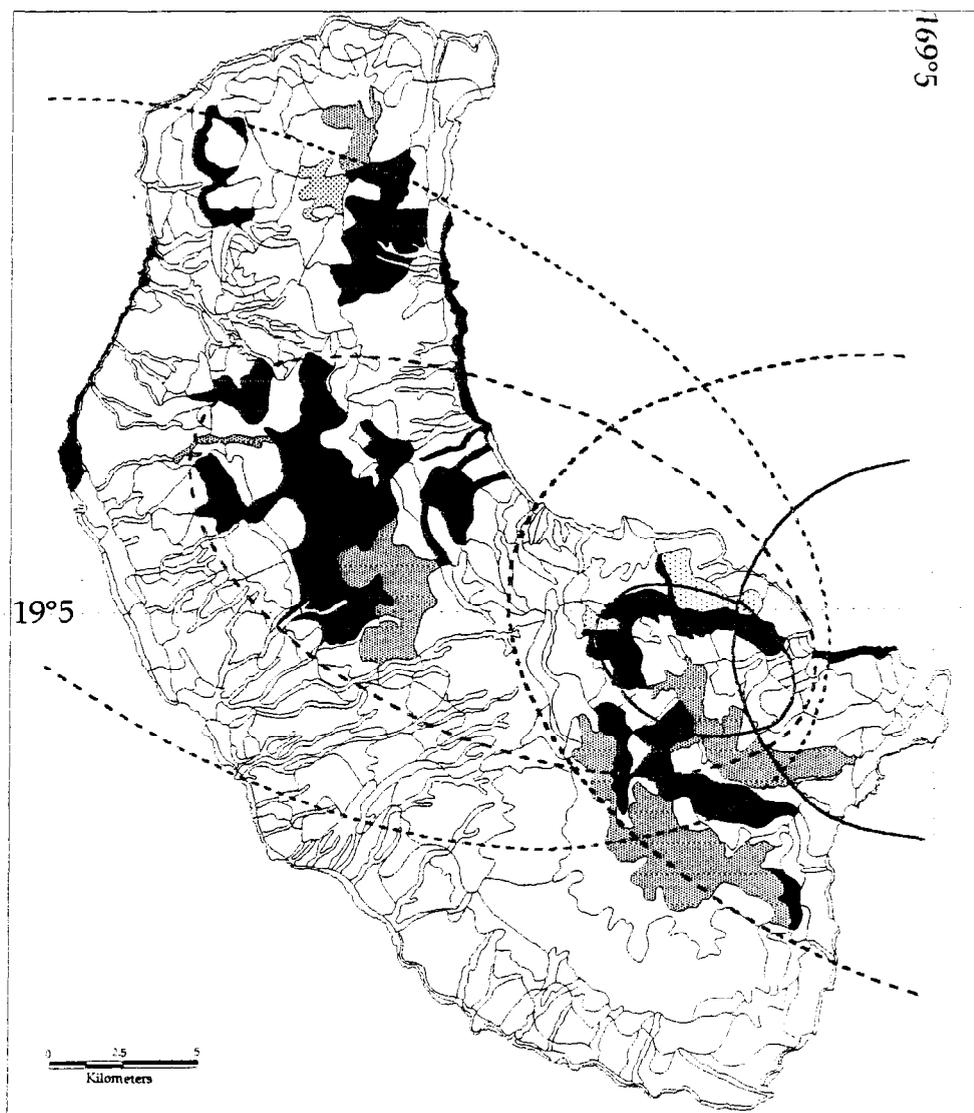
Cas d'une éruption cataclysmale :

- Zone 4
- - Zone 5

Utilisation du sol secondaire
pour l'île de tanna :

- Aucune donnée
- Pas d'utilisation courante
- Jardins permanents avec plantations
- Jardins permanents avec agriculture rotative
- Plantations avec jardins permanents
- Agriculture rotative
- Agriculture rotative avec jardins permanents
- Utilisation urbaine ou de village
- Pas de données disponibles

Annexe II.3c : Utilisation du sol mineure (Tanna) (VANRIS) :



Zones à risques :

Retombées de cendre :

- Zone 1
- - Zone 2
- - - Zone 3

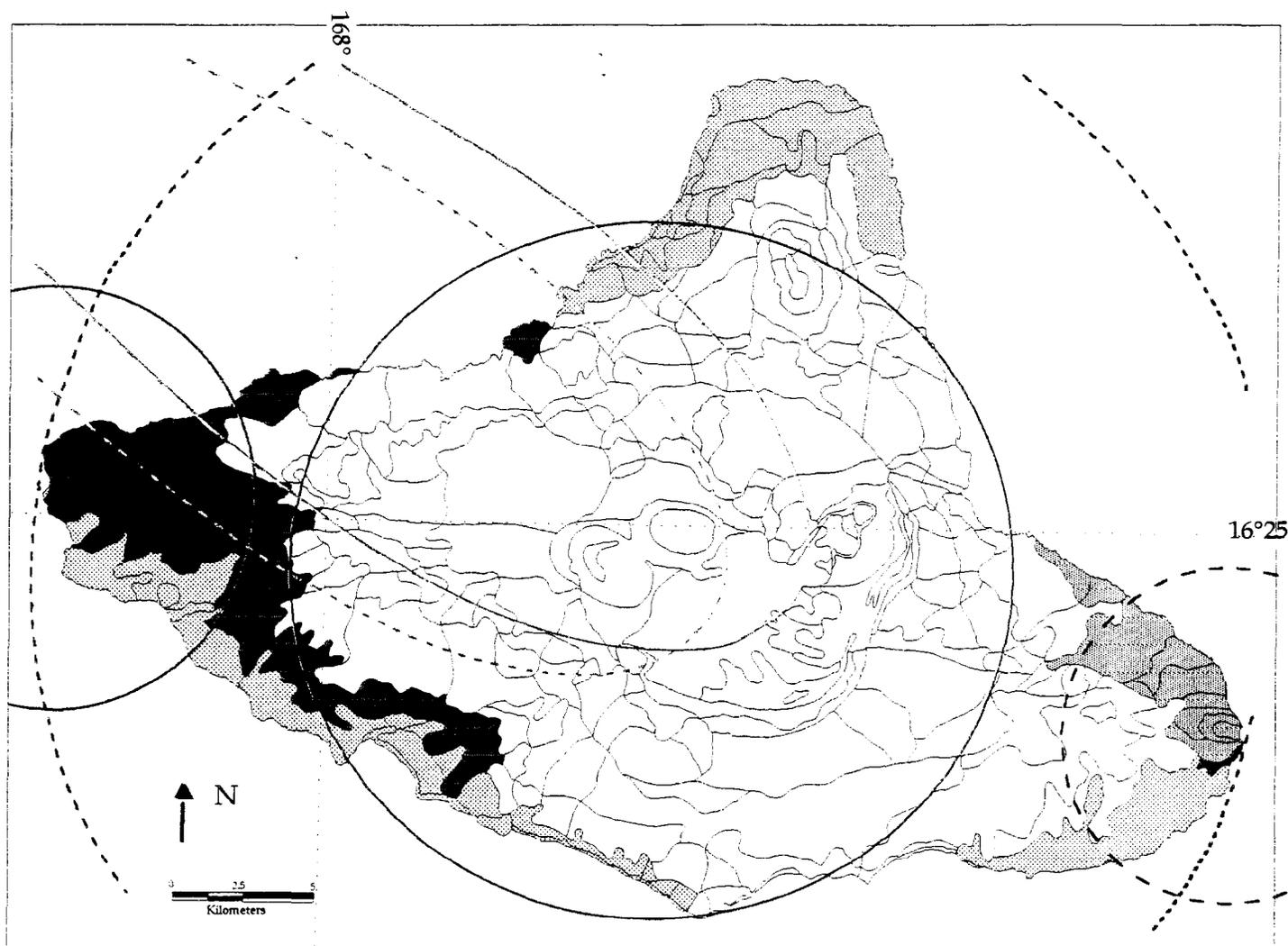
Cas d'une éruption cataclysmale :

- Zone 4
- - Zone 5

Utilisation du sol mineure
pour l'île de Tanna :

- pas de renseignements
- pas d'utilisation courante
- ▨ jardins permanents avec plantations
- ▨ jardins permanents avec agriculture rotative
- agriculture rotative
- agriculture rotative avec jardins permanents
- pas de données disponibles

Annexe II.4a : Utilisation du sol dominante (Ambrym) (VANRIS) :



Zones à risques :

Cas de forte activité :

- Zone 1
- - Zone 2

Activités phréato-magmatiques :

- Zone 3
- - Zone 4

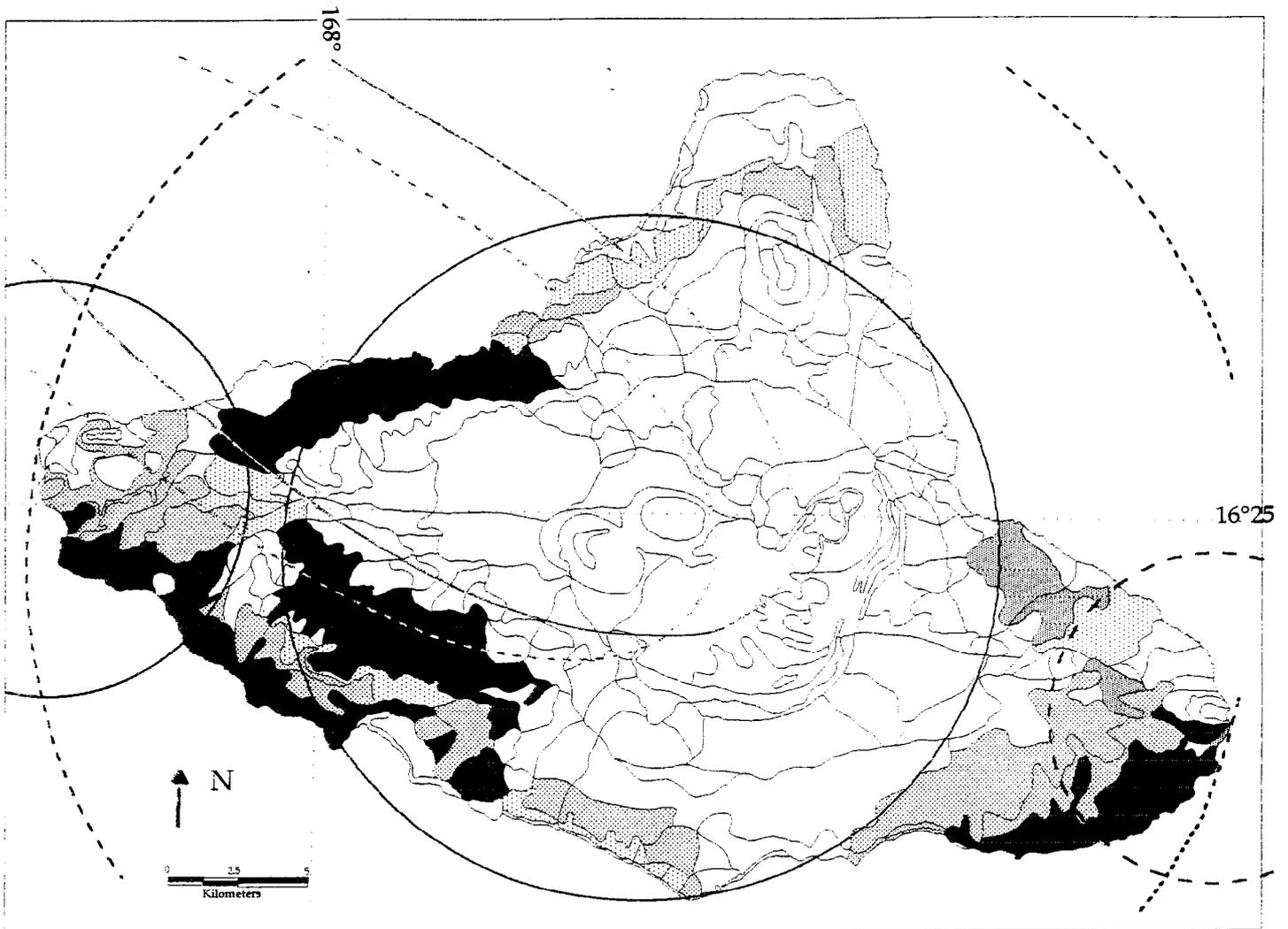
Cas d'activité moyenne :

- - Zone 5
- Zone 6

Utilisation du sol dominante
pour l'île d'Ambrym :

- Pas d'utilisation courante
- ▨ Jardins permanents avec plantations
- ▩ Jardins permanents avec agriculture rotative
- Plantations avec jardins permanents
- Agriculture rotative avec jardins permanents

Annexe II.4b : Utilisation du sol secondaire (Ambrym) (VANRIS) :



Zones à risques :

Cas de forte activité :

- Zone 1
- - Zone 2

Activités phréato-magmatiques :

- Zone 3
- - Zone 4

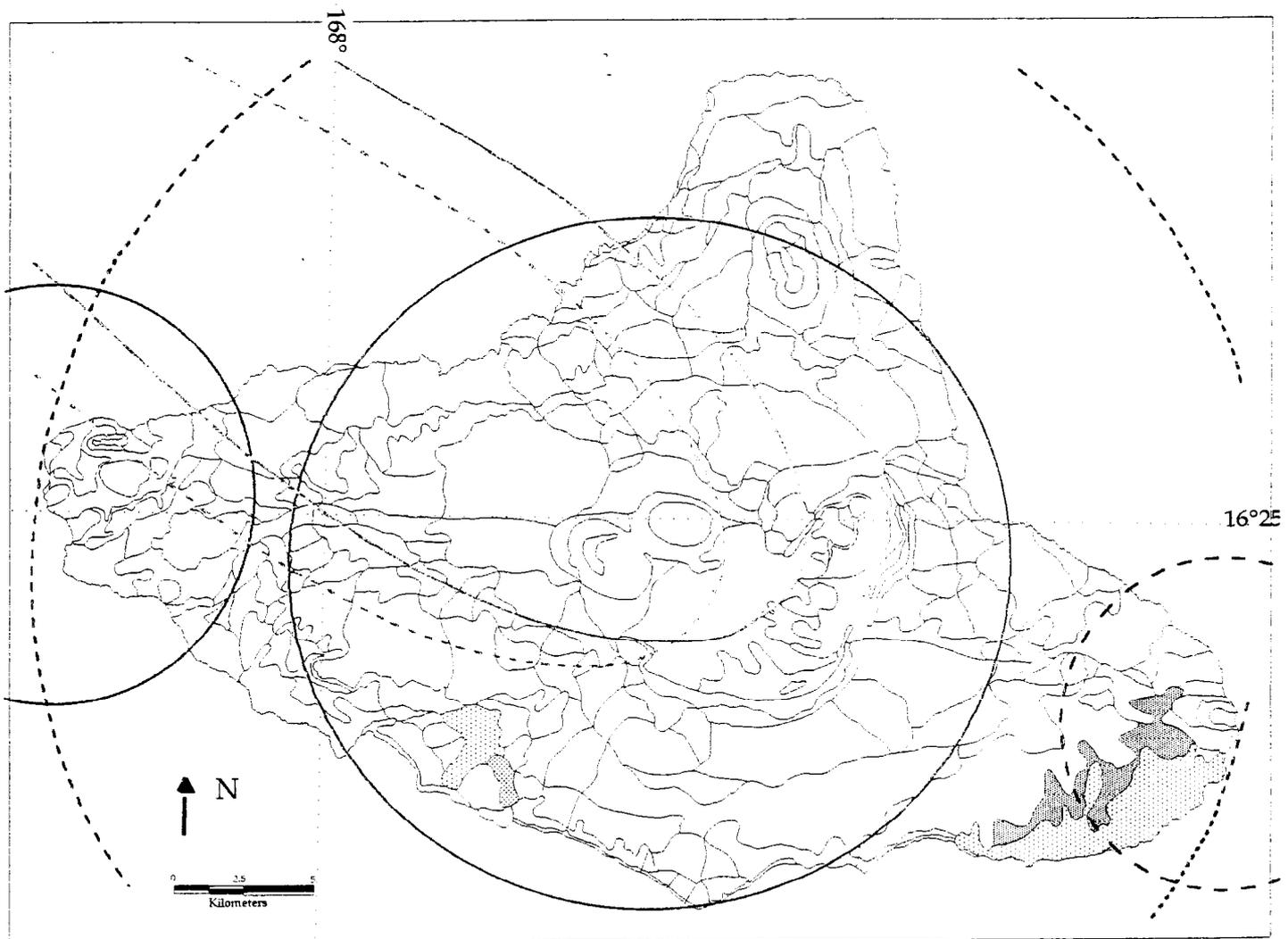
Cas d'activité moyenne :

- - Zone 5
- Zone 6

Utilisation du sol secondaire
pour l'île d'Ambrym :

- Aucuns renseignements
- ▨ Pas d'utilisation courante
- ▩ Jardins permanents avec plantations
- ▧ Jardins permanents avec agriculture rotative
- Plantations avec jardins permanents
- Agriculture rotative avec jardins permanents

Annexe II.4c : Utilisation du sol mineure (Ambrym) (VANRIS) :



Zones à risques :

Cas de forte activité :

- Zone 1
- - Zone 2

Activités phréato-magmatiques :

- Zone 3
- - Zone 4

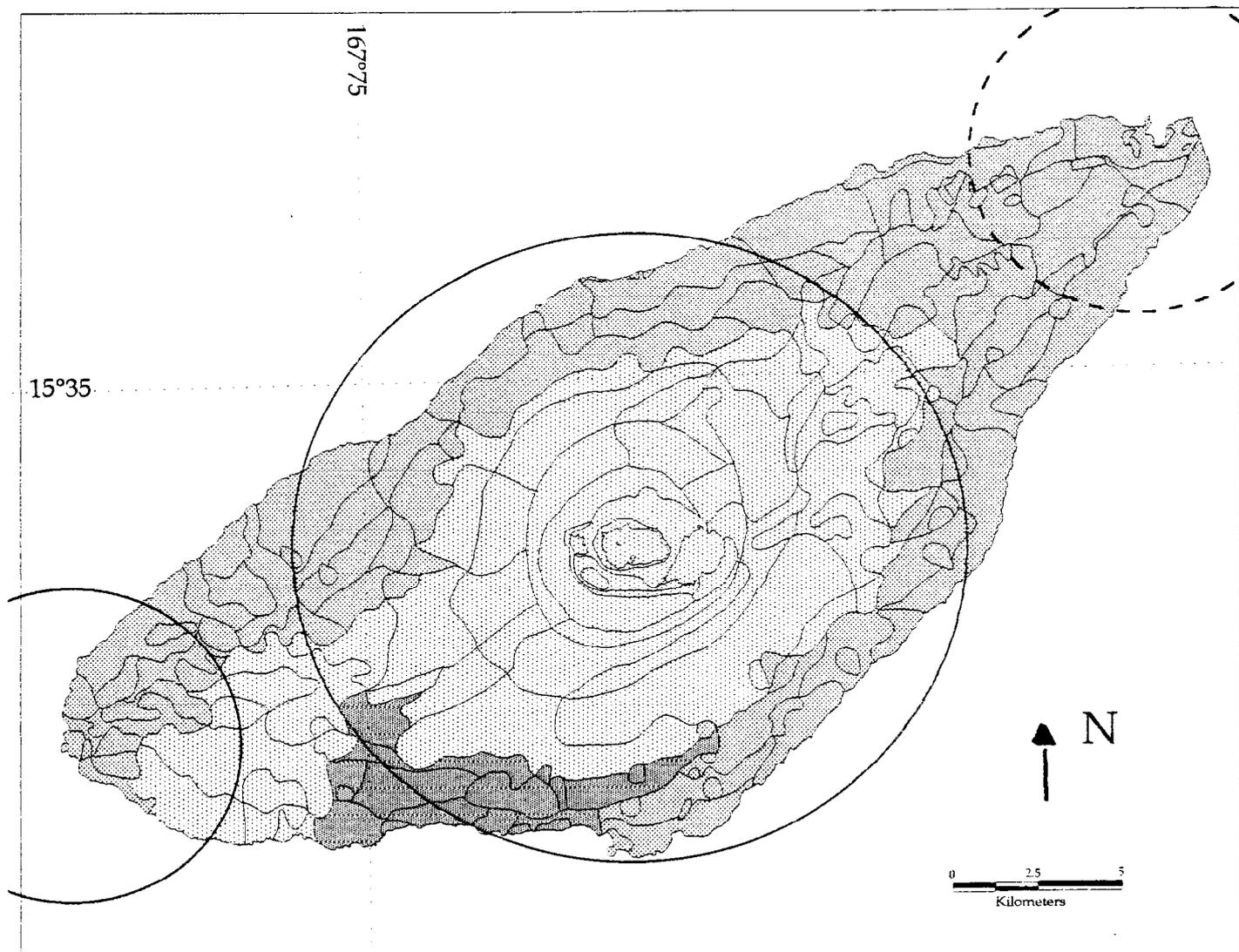
Cas d'activité moyenne :

- - Zone 5
- Zone 6

Utilisation du sol mineure
pour l'île d'Ambrym :

- Aucuns renseignements
- ▨ Pas d'utilisation courante
- ▩ Jardins permanents avec plantations
- Plantations avec jardins permanents

Annexe II.5a : Utilisation du sol dominante (Aoba) (VANRIS) :



Zones à risques :

Cas d'activité forte :

— Zone 1

Cas d'éruptions phréato-magmatiques :

— Zone 2

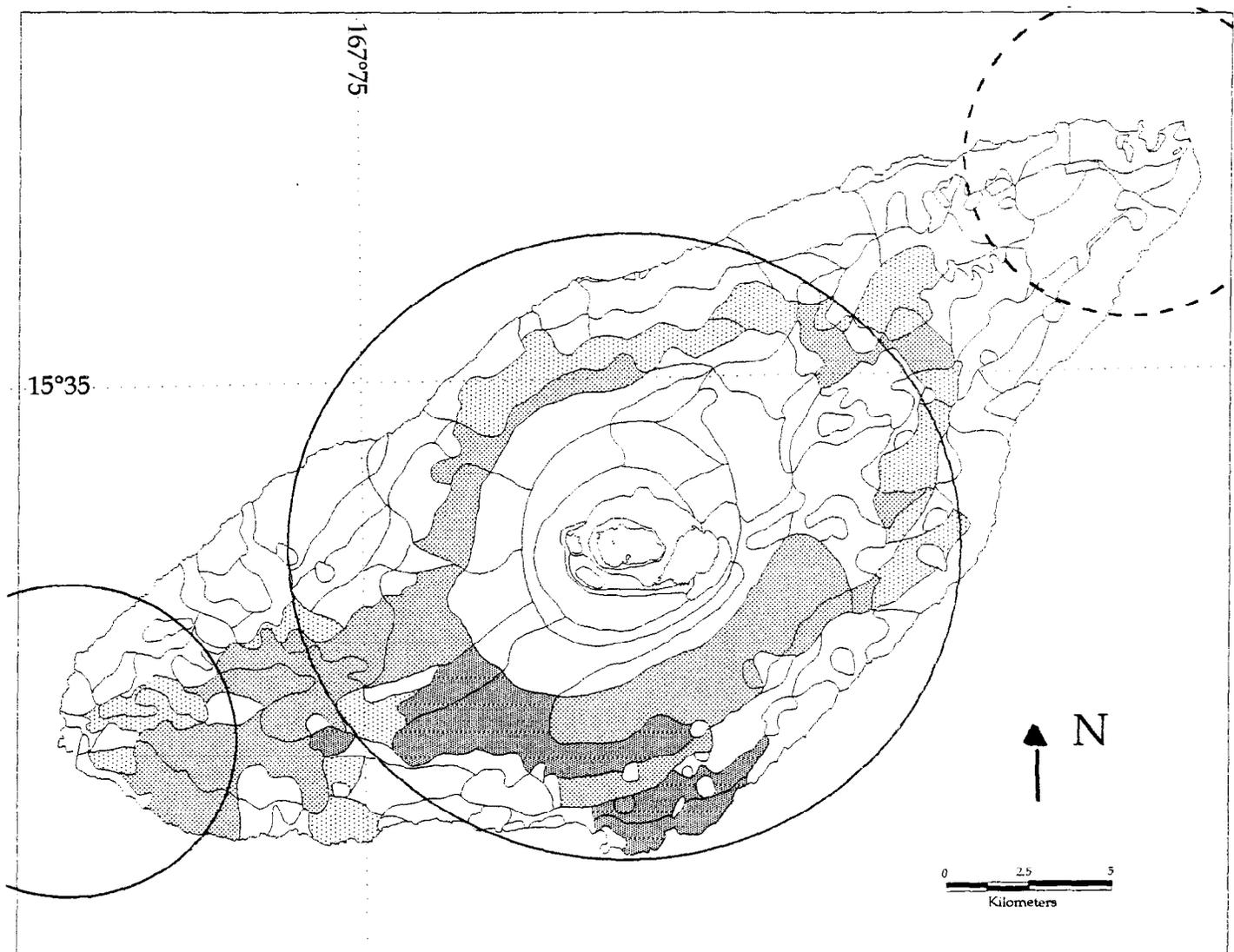
- - Zone 3

Utilisation du sol dominante

pour l'île d'Aoba :

- Aucuns renseignements
- Pas d'utilisation courante
- ▨ Jardins permanents avec plantations
- ▩ Agriculture rotative avec jardins permanents

Annexe II.5b : Utilisation du sol secondaire (Aoba) (VANRIS) :



Zones à risques :

Cas d'activité forte :

— Zone 1

Cas d'éruptions phréato-magmatiques :

--- Zone 2

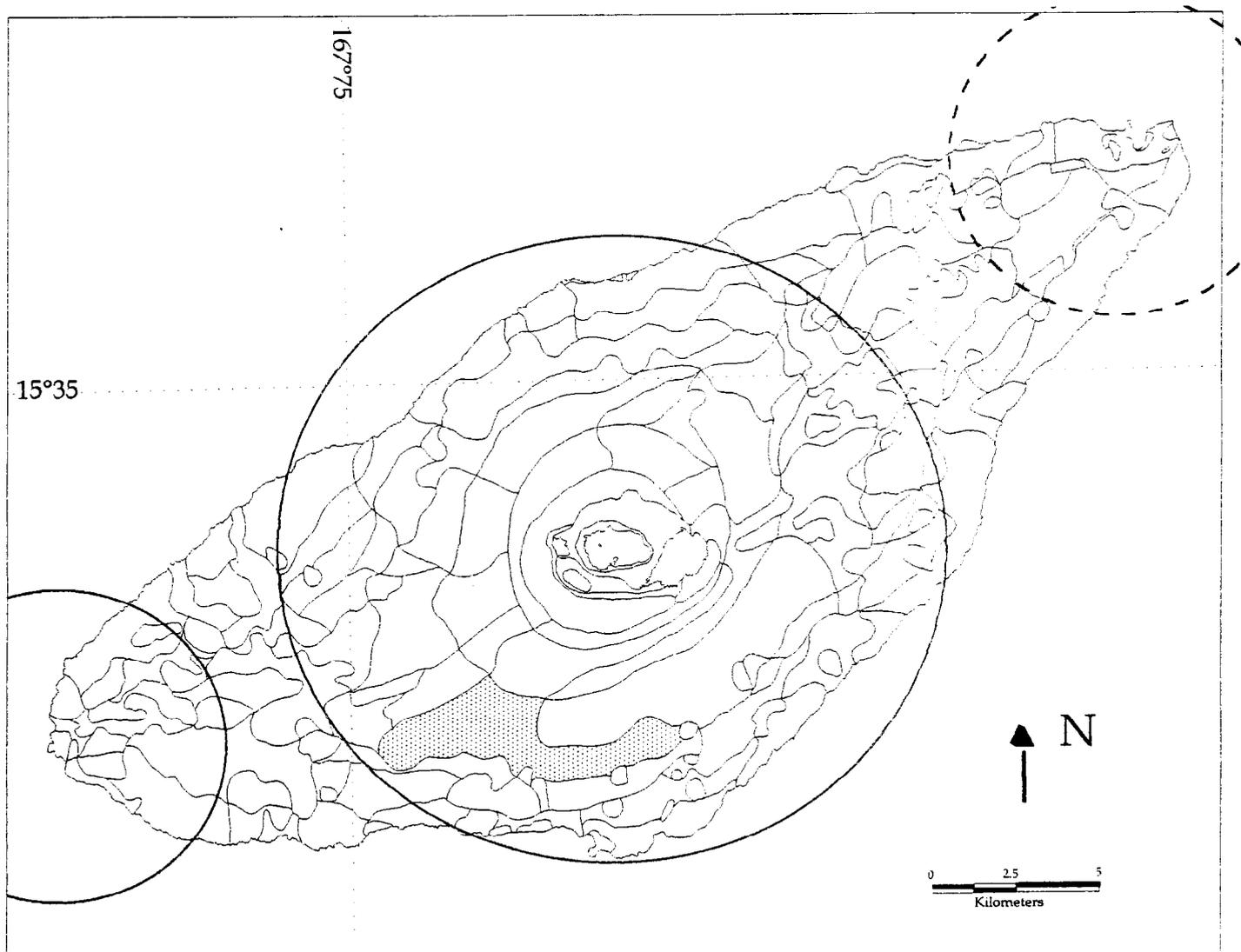
... Zone 3

Utilisation du sol secondaire

pour l'île d'Aoba :

- Aucuns renseignements
- ▨ Pas d'utilisation courante
- ▩ Jardins permanents avec plantations
- Agriculture rotative avec jardins permanents

Annexe II.5c : Utilisation du sol mineure (Aoba) (VANRIS) :



Zones à risques :

Cas d'activité forte :

— Zone 1

Cas d'éruptions phréato-magmatiques :

— Zone 2

- - Zone 3

Utilisation du sol mineure

pour l'île d'Aoba :

- Aucuns renseignements
- Jardins permanents avec plantations

MESURES DE SECURITE EN CAS DE CYCLONE

Ces mesures ont été mises en place par le Bureau des Désastres Naturels pour aider les familles et les particuliers à se préparer contre les risques de cyclones. Des informations sur les cyclones et les alertes à la population seront transmises par Radio Vanuatu, FM 98, Radio Australie et Radio Nouvelle-Zélande.

Preparations Pendant La Saison Pre-Cyclonique

La saison des cyclones commence le 1er novembre chaque année et se poursuit jusqu'au 30 avril de l'année suivante. Des cyclones se sont produits et peuvent se produire hors de cette période. Avant le début de chaque saison, les mesures suivantes doivent être prises:

- Débarrassez votre lieu de résidence ou de travail de tous matériaux inutiles et de tous débris.
- Taillez arbres et arbustes, surtout ceux qui se trouvent près des lignes électriques et des gouttières.
- Vérifiez que vos volets anti-cycloniques sont en bon état.
- Vérifiez que vos radios et vos torches fonctionnent bien.
- Repérez les fréquences des stations d'ondes courtes.
- Procurez-vous une carte de positionnement des cyclones de Vanuatu et mettez-la en évidence afin de suivre le mouvement des cyclones.
- Si vous partez en vacances pendant la saison des cyclones, assurez-vous que vos locaux sont protégés au maximum, ou qu'un ami ou voisin a la responsabilité de poser vos volets anti-cycloniques.
- Familiarisez-vous avec les phases d'alertes suivantes :

Alerte Bleue

Signification: La menace de cyclone s'intensifie et peut affecter le secteur dans les prochaines 24 heures. A ce stade il est impossible de savoir si le cyclone a réellement touché votre zone. Cependant des mesures de préparations doivent être prises car de fortes pluies peuvent se produire bien avant que les effets du cyclone se fassent sentir.

Action: Dès que l'alerte bleue est instaurée dans la région, les habitants doivent prendre les mesures suivantes:

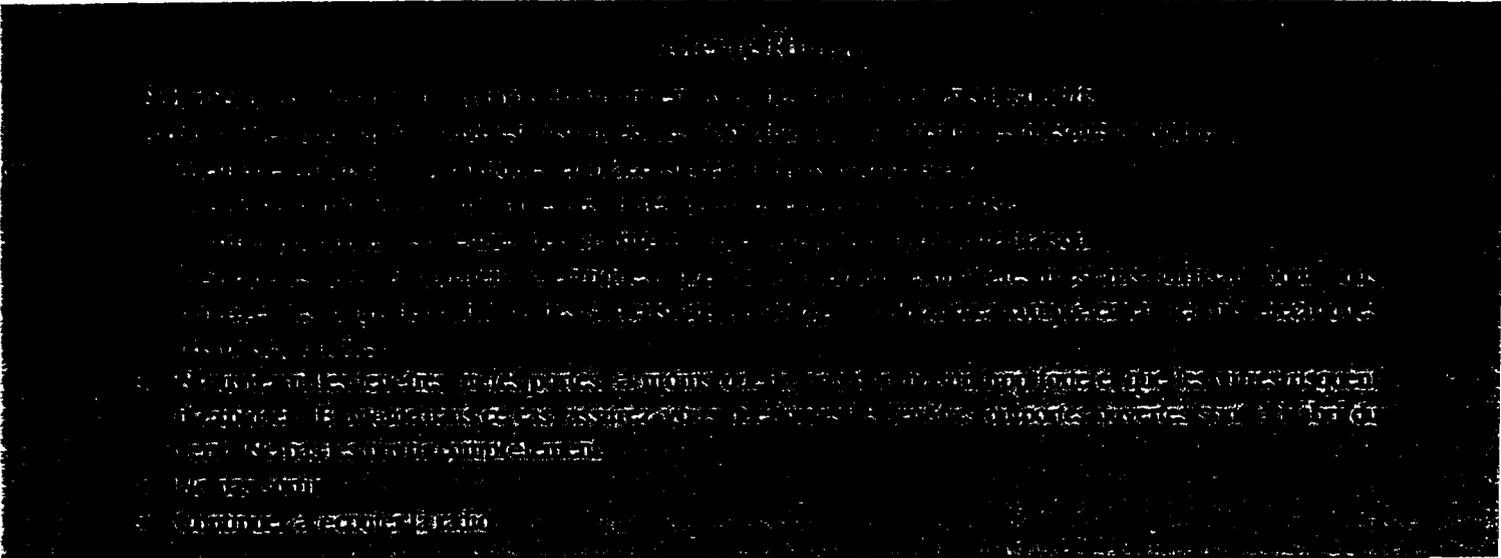
- c. Assurez-vous que les mesures de saison pré-cyclonique ont toutes été prises.
- c. Rangez ou évacuez les meubles de jardin, les bateaux, les remorques, etc.
- c. Faites une réserve suffisante de piles électriques pour vos torches et vos radios.
- c. Ayez une lampe torche et des bougies disponibles. Assurez-vous que vos voisins sont conscients de la situation et aidez-les dans la mesure du possible.
- c. Disposez vos volets anti-cycloniques à côté des fenêtres, prêts à être posés.
- c. Restez à l'écoute de la radio.

Alerte Jaune

Signification: La menace cyclonique a augmenté et des bourrasques et des vents destructifs risquent de se produire dans les 12 prochaines heures.

Action: Dès que l'alerte jaune est instaurée, prendre les mesures suivantes:

- Allez retirer vos enfants des écoles et des jardins d'enfants ou, si c'est en dehors des heures de classe, faites-les rentrer dans la maison.
- Faites des réserves d'eau car elle devra être coupée, pour protéger les réservoirs, ainsi que l'électricité, ce qui empêchera les pompes de fonctionner.
- Mettez vos objets de valeur et vos documents importants dans des récipients hermétiques.
- Préparez-vous à vous mettre dans un abri si votre maison n'est pas sûre. Surveillez vos animaux domestiques.
- Faites le plein d'essence de votre voiture car les coupures d'électricité empêcheront les pompes à essence de fonctionner.
- Si le temps se détériore, ou pour vous sentir plus en sécurité, posez vos volets anti-cycloniques.
- Continuez à écouter la radio.



Pendant Le Cyclone

- Restez calme et jouez avec vos enfants pour leur faire oublier ce qui se passe à l'extérieur.
- Se méfier de l'oeil du cyclone qui peut laisser croire que le cyclone est termine.
- Ecouter la radio et suivre les instructions données.

AVIS SPECIAL - RUMEURS

Les rumeurs et les fausses informations deviennent plus fréquentes pendant la phase qui précède les cyclones. Par conséquent, si vous entendez des informations inquiétantes que vous n'avez pas entendues à la radio, appelez le Bureau des Désastres Naturels (22801 ou 22802) ou le Service de la Météorologie Nationale (22331) pour Vérifier.

NUMEROS D'URGENCE

- | | |
|----------------------------------|-------------------|
| • Bureau des Désastres Naturels | 23745 |
| • Centre National Des Opérations | 22801/22802/22803 |
| • Service Météorologique | 22331 |
| • Police | 22222 |
| • Pompiers | 22333 |
| • Ambulance | 22100 |

Rédigé par le Bureau des Sinistres Naturels de Vanatu et la Direction de l'Aide d'Urgence australienne dans le cadre de la Décennie Internationale de la Réduction des Catastrophes Naturelles.

Traduction en francais effectuée par l'Ambassade de France à Port-Vila



ANNEXE III.2 : Liste des perturbations tropicales ayant touché l'archipel du Vanuatu (1959-1998) :

(Source: Services Météorologiques du Vanuatu)

Coups de vents Gale Force Winds (34-47 nd)	Tempêtes Storm Force Winds (48-63 nd)	Cyclones Hurricane Force Winds (> 64 nd)
	- BRIGITTE 28/12/59-04/01/60	- AMANDA 20-31/12/59
- 16-18/1/63 - 01-06/03/63		
	- 15-25/11/63 - EDITH 19-25/02/64 - HENRIETTA 28/03-07/04/64	
- AGNES (?) 01-08/02/67		
- FLORENCE (?) 01-07/03/68		
- HORTENSE (??) 17-21/02/69		- BECKY 11-15/12/68
		- DOLLY 12-24/02/70
	- ROSIE 30/12/70-04/01/71	
	- URSULA 03-15/12/71	- CARLOTTA 07-26/01/72 - WENDY 29/01-09/02/72 - GAIL 11-20/04/72
		- DIANA 08-18/12/72
- MONICA 17-20/01/74		- PAM 31/01-08/02/74
	- FLORA 13-21/01/75	- ALISON 03-12/03/75 - BETTY 31/03-12/04/75
- HOPE 10-19/03/76 - IAN (JAN) 16-19/04/76	- ELSA 20-26/01/76	- DAVID 10-21/01/76
	- NORMAN 09-24/03/77	- MARION 12-21/01/77 - JUNE 17-25/01/77 - BOB 31/12/77-12/01/78
- NINA 31/03-03/04/79	- HENRY 29/01-05/02/79 - JUDITH 03-06/02/79	- GORDON 03-12/01/79
- RAE 02-05/02/80		
		- CLIFF 08-15/02/81 - GYAN 18-29/12/81
- KINA 06-12/11/82		
		- BETTY 01-06/02/84
	- GAVIN 02-08/03/85	- ERIC 13-20/01/85 - NIGEL 14-28/01/85 - ODETTE 16-21/01/85 - HINA 10-20/03/85
- LUSI 02-11/03/86	- KELI 08-14/02/86 - ALFRED 03-11/03/86	
- VELI 06-11/02/87	- OSEA 21-25/11/86 - PATSY 12-20/12/86	- UMA 03-08/02/87 - YALI 08-11/03/87
	- DOVI 08-15/04/88	- ANNE 07-14/01/88 - BOLA 25/02-04/03/88
	- ESETA 16-25/12/88 - DELILAH 01-04/01/89	- HARRY 07-19/02/89 - IVY 23/02-02/03/89 - LILI 06-12/04/89
	- LISA 10-13/05/91	
	- DAMAN 15-16/02/92	- TIA 16-19/11/91 - BETSY 07-11/01/92

		- ESAU 25-27/02 et 02-03/03/92 - FRAN 08-11/03/92
	- INNES 29-04-01/05/93	- PREMA 29-30/03/93
	- REWA 05-08/01/94 - USHA 25-27/03/94	- SARAH 25-28/01/94 - THEODORE 26-27/02/94 - TOMAS 22-25/03/94
		- VANIA (?)/11/94
- ZAKA 09-10/03/96 - ATU 10-14/03/96		- BETI 23-29/03/96
- DRENA 02-09/01/97 - IAN 16-20/04/97		- FERGUS 20-30/12/96 - FRED A 24-29/01/97
	- KATRINA 08-11/01/98	- SUSAN 04-07/01/98 - YALI 18-23/03/98 - ZUMAN 30/03-02/04/98

TOTAL 18

TOTAL 24

TOTAL 44

Annexe III.3 : échelle macrosismique d'intensité, MSK 1964 :

Terminologie et classification des termes utilisés dans l'échelle :

Classification des constructions (constructions non antisismiques)

- Type A : maisons en argile, pisé, briques crues ; maisons rurales ; constructions en pierres tout venant.
- Type B : constructions en briques ordinaires ou en blocs de béton ; constructions mixtes maçonnerie-bois ; constructions en pierres taillées.
- Type C : constructions armées ; constructions de qualité en bois.

Définition des termes de qualités :

- Quelques : 5% environ,
- Beaucoup : 50%,
- La plupart : 75%.

Degrés d'endommagement des constructions :

- 1^{er} degré - dommages légers : fissurations des plâtres ; chutes de petits débris de plâtre.
- 2^e degré - dommages modérés : fissurations des murs ; chutes d'assez gros blocs de plâtre ; chute de tuiles ; fissurations de cheminées ou de parties de cheminées.
- 3^e degré - sérieux dommages : lézardes larges et profondes dans les murs ; chutes de cheminées.
- 4^e degré - destruction : brèches dans les murs ; effondrements partiels éventuels ; destruction de la solidarité entre parties différentes d'une construction ; destruction de remplissages ou de cloisons intérieures.
- 5^e degré - dommage total : effondrement total de la construction.

Effets considérés dans l'échelle :

- a) effets sur les personnes et leur environnement ;
- b) effets sur les structures de toute nature,
- c) effets sur les sites naturels.

Degrés de l'échelle d'intensité :

Degré I - Secousse non perceptible :

- a)- L'intensité de la vibration se situe en dessous du seuil de perception humaine ; la secousse est détectée et enregistrée seulement par les sismographes.
- b)- et c) -

Degré II - Secousse à peine perceptible (très faible) :

- a)- La secousse est ressentie par quelques individus au repos dans leur habitation, plus particulièrement dans les étages supérieurs des bâtiments.
- b)- et c) -

Degré III – Secousse faible ressentie seulement de façon partielle :

a)- La secousse est ressentie par quelques personnes à l'intérieur des constructions et n'est ressentie à l'extérieur qu'en cas de circonstances favorables. La vibration est comparable à celle qui est causée par le passage d'un camion léger. Des observateurs attentifs notent un léger balancement des objets suspendus, accentué dans les étages supérieurs.

b)- et c) -

Degré IV – Secousse largement ressentie :

a)- Le séisme est senti à l'intérieur des constructions par de nombreuses personnes et par quelques personnes à l'extérieur. Des dormeurs isolés sont réveillés mais personne n'est effrayé. La vibration est comparable à celle due au passage d'un camion lourdement chargé. Les fenêtres, les portes et les assiettes tremblent. Les planchers et les murs font entendre des craquements. Le mobilier commence à être secoué. Les liquides contenus dans des récipients ouverts s'agitent légèrement. Les objets suspendus se balancent légèrement.

b)- et c) -

Degré V – Réveil des dormeurs :

a)- Le séisme est senti à l'intérieur par tout le monde et à l'extérieur par de nombreuses personnes. De nombreux dormeurs s'éveillent, quelques-uns sortent en courant. Les animaux sont nerveux. Les constructions sont agitées d'un tremblement général. Les objets suspendus sont animés d'un large balancement. Les tableaux cognent sur les murs ou sont projetés hors de leur emplacement. En certains cas, les pendules à balancier s'arrêtent. Les objets peu stables peuvent être renversés ou déplacés. Les portes ou les fenêtres ouvertes battent avec violence. Les liquides contenus dans des récipients bien remplis se répandent en petite quantité. La vibration est ressentie comme celle due à un objet lourd dégringolant dans le bâtiment.

b)- De légers dommages du 1^{er} degré sont possibles dans les bâtiments de type A.

c)- Modification en certains cas du débit des sources.

Degré VI – Frayeur :

a)- Le séisme est senti par la plupart des personnes, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur des bâtiments. De nombreuses personnes sont effrayées et se précipitent vers l'extérieur. Quelques personnes perdent l'équilibre. Les animaux domestiques s'échappent de leur stalle. Dans quelques cas, les assiettes et les verres peuvent se briser ; les livres tombent. Le mobilier lourd peut se déplacer et dans les clochers les petites cloches peuvent tinter spontanément.

b)- Dommages du 1^{er} degré dans quelques constructions de type B et dans de nombreuses constructions du type A. Dans quelques bâtiments du type A. Dans quelques bâtiments de type A, dommages du 2^e degré.

c)- En certains cas, des crevasses de l'ordre du centimètre peuvent se produire dans les sols détremés, des glissements de terrain peuvent se produire en montagne ; on peut observer des changements dans le débit des sources et le niveau des puits.

Degré VII – Dommages aux constructions :

a)- La plupart des personnes sont effrayées et se précipitent au dehors. Beaucoup ont des difficultés à rester debout. La vibration est ressentie par des personnes conduisant des voitures automobiles. De grosses cloches se mettent à sonner.

b)- Dans de nombreux bâtiments du type C, dommages du 1^{er} degré ; dans de nombreux bâtiments de type B, dommages du 2^e degré. De nombreux bâtiments de type A sont endommagés au 3^e degré et quelques-uns au 4^e degré. Dans quelques cas, glissement des routes le long des pentes raides ; fissures en travers des routes ; joints de canalisation endommagés ; fissures dans les murs de pierres.

c)- Des vagues se forment sur l'eau et celle-ci est troublée par la boue mise en mouvement. Les niveaux d'eau dans les puits et le débit des sources changent. Dans quelques cas, des sources taries se remettent à couler et des sources existantes se tarissent. Dans des cas isolés, des talus de sable ou de gravier s'effondrent partiellement.

Degré VIII – Destruction de bâtiments :

a)- Frayeur et panique ; les personnes conduisant des voitures automobiles sont effrayées. Dans quelques cas, des branches d'arbres cassent. Le mobilier, même lourd, se déplace ou se renverse. Les lampes suspendues sont endommagées en partie.

b)- De nombreux bâtiments du type C subissent des dommages du 2^e degré et quelques-uns du 3^e degré ; quelques bâtiments de type B sont endommagés au 3^e degré et quelques-uns au 4^e degré. De nombreux bâtiments du type A sont endommagés au 4^e degré et quelques-uns au 5^e degré. Ruptures occasionnelles de joints de canalisations. Les monuments et les statues se déplacent ou tournent sur elles-mêmes. Les stèles funéraires se renversent. Les murs de pierres s'effondrent.

c)- De petits glissements de terrain peuvent se produire dans les ravins et le long des routes en talus sur de fortes pentes. Les crevasses dans le sol atteignent plusieurs centimètres de largeur. L'eau des lacs devient trouble. De nouvelles retenues d'eau se créent dans les vallées. Des puits asséchés se remplissent et des puits existants se tarissent. Dans de nombreux cas, changement dans le débit et le niveau de l'eau.

Degré IX : Dommages généralisés aux constructions :

a)- Panique générale ; dégâts considérables au mobilier. Les animaux affolés courent dans toutes les directions et poussent des cris.

b)- De nombreux bâtiments du type C subissent des dommages du 3^e degré, quelques-uns du 4^e degré. De nombreux bâtiments du type B subissent des

dommages du 4^e degré et quelques-uns du 5^e degré. De nombreux bâtiments du type A sont endommagés au 5^e degré. Les monuments et les colonnes tombent. Dommages considérables aux réservoirs au sol ; rupture partielle des canalisations souterraines. Dans quelques cas, des rails de chemin de fer sont pliés, des routes endommagées.

c)- Des projections d'eau, de sable et de boue sur les plages sont souvent observées. Les crevasses dans le sol atteignent 10 cm ; elles dépassent 10 cm sur les pentes et les berges des rivières. En outre, un grand nombre de petites crevasses s'observent dans le sol ; chutes de rochers ; nombreux glissements de terrain ; grandes vagues sur l'eau ; des puits asséchés peuvent retrouver leur débit et des puits existants peuvent s'assécher.

Degré X - Destruction générale des bâtiments :

b)- De nombreux bâtiments de type C subissent des dommages du 4^e degré et quelques-uns du 5^e degré. De nombreux bâtiments du type B subissent des dommages du 5^e degré ; la plupart des bâtiments du type A subissent des destructions du 5^e degré. Dommages dangereux aux barrages et aux digues ; dommages sévères aux ponts. Les lignes de chemin de fer sont légèrement tordues. Les canalisations souterraines sont tordues ou rompues. Le pavage des rues et l'asphalte forment de grandes ondulations.

c)- Les crevasses du sol présentent des largeurs de plusieurs centimètres et peuvent atteindre un mètre. Il se produit de larges crevasses parallèlement aux cours d'eau. Les terres meubles s'éboulent le long des pentes raides. De considérables glissements de terrain peuvent se produire dans les berges des rivières et le long des rivages escarpés. Dans les zones littorales, déplacements de sable et de boue : changement du niveau dans les puits ; l'eau des canaux, des lacs, des rivières est projetée à terre. De nouveaux lacs se créent.

Degré XI - Catastrophe :

b)- Dommages sévères même aux bâtiments bien construits, aux ponts, aux barrages et aux lignes de chemin de fer ; les grandes routes deviennent inutilisables ; les canalisations souterraines sont détruites.

c)- Le terrain est considérablement déformé aussi bien par des mouvements dans les directions horizontales et verticales que par des larges crevasses, de nombreux glissements de terrain et de chutes des rochers. La détermination de l'intensité de la secousse nécessite des investigations spéciales.

Degré XII - Changement du paysage :

b)- Pratiquement toutes les structures au-dessus et au-dessous du sol sont gravement endommagées ou détruites.

c)- La topographie est bouleversée. D'énormes crevasses accompagnées d'importants déplacements horizontaux et verticaux sont observés. Des chutes de rochers et des affaissements des berges de rivières s'observent sur de vastes étendues. Des vallées sont barrées et transformées en lacs ; des

cascades apparaissent et des rivières sont déviées ; la détermination de l'intensité nécessite des investigations spéciales.

Bibliographie

- Adams R., 1984, « *In the land of strangers. A century of European contact with Tanna, 1774-1874.* », Aust. Nat. Univ., Pacif. Res. Monogr., 9, 201 p.
- Alibert P., Bué F.R. et Pierrot S., 1996, « *Le grand livre des cyclones et ouragans* », Editions ORPHIE, 153 p.
- Atkins Rev. J., 1868, « *on the volcanoes in the New Hebrides and Banks's Islands.* », Proc. Geol. Soc., London, 24 : p. 305 - p. 307.
- Aubert de la Rüe E., 1937, « *Les manifestations actuelles de l'activité volcanique aux Nouvelles-Hébrides.* », C. R. somm. Soc. Géol. France, 2, p.149 - p.150.
- Aubert de la Rüe E., 1956, « *La Géologie des Nouvelles-Hébrides.* », J. Soc. Océanistes, 12 : p.63-p.98.
- Australian Agency for International Development, avril 1998, « *The vanuatu Land Use Planning Project (Project long Kraon)* », Land Use Planning Office , Senior ressource economist's final report.
- Bardintzeff J.M., 1993, « *Les volcans* », ARMAND COLIN, Paris, 153 p.
- Baxter J. P., 1990, « *Medical effects of volcanic eruptions* », Bull. Volcanol., Vol. 52, N°7 septembre 1990, Springer International, p. 532 - p. 544.
- Blong R. et McKee C., 1995, « *The Rabaul eruption, 1994, destruction of a town* », Natural Hazards Research Center, Macquarie University, Australia, 52 p.
- Blong R. J. and McKee C., 1995, « *Destruction of a town, the Rabaul eruption, 1994* », Natural Hazards Research Centre, Macquarie University, Australia, 52 p.
- Blong R.J., 1984, « *Volcanic Hazards- a source book on the effects of eruptions* », Sydney. Academic press, Australia, 388 p.
- Blot C. et Priam R., 1962, « *Volcanisme et séismicité dans l'archipel des Nouvelles-Hébrides.* », ORSTOM, Nouméa, Port-Vila, 20 p.
- Blot C., 1974, « *Rapport sur le volcan de l'île Gaua (Iles Banks - Nouvelles-Hébrides).* », Serv. Mines Hydrol., Port-Vila, 7 p.
- Blot C., 1976, « *Volcanisme et sismicité dans les arcs insulaires : prévision de ces phénomènes.* », ORSTOM, Géophysique, 13, Paris, 206 p.
- Bolt B.A., 1979, « *Les tremblements de terre* », Belin, « Bibliothèque pour la science », Paris, 191 p.
- Bonnemaïson J., 1986, « *Gens de pirogue et gens de la terre* », Essai de Géographie culturelle- Livre 1, ORSTOM Editions, Paris, 450 p.
- Buisson D., 1994, « *Impacts des pluies acides causées par le volca Yasur sur la végétation de Tanna.* », ORSTOM, N° 8, 93 p.
- Bureau National du Plan, « *troisième plan national de développement 1992-1996* », bureau national du plan, République du Vanuatu, Port-Vila, 206 p.
- Campbell F. A., 1889, « *The active volcano on Tanna, New Hebrides, with some remarks on the cause of volcanic action.* », Proc. R. Soc., Victoria, Melbourne, 1 : p.73-p.83.
- Carney J. N. et Macfarlane A., 1982, « *Geological evidence bearing on the Miocène to recent textural evolution of the New-Hebrides arc* », Tectonophysics, 87, p.147-p.175.
- Carney J.N. et Macfarlane A., 1979, « *Geology of Tanna, Anneytum, Futuna and Aniwa* », New Hebrides Geol. Surv. Reg. Rep., Port-Vila, 71 p.
- Centre Territorial de Recherche et de Documentation Pédagogiques, 1988, « *Les cyclones* », GEO 25, Nouméa, 83 p.
- Cheminée J.L., 1994 ; « *les Volcans* », Collection Explora, Cité des Sciences et de l'Industrie », Paris, p.116 - p.123.
- Chen J.K., Taylor F.W., Edwards R.L., Cheng H. and Burr G.S., 1995, « *Recent Emerged Reef Terraces of the Yenkahe Resurgent Block, Tanna, Vanuatu : Implications for Volcanic, Landslide and Tsunami Hazards.* », The journal of Geology, Vol. 103, p.577 - p.590.

- Cillauren E., David G. et Grandperrin R., « Pêche et Développement à Vanuatu », ORSTOM, à paraître.
- Cook J., 1778, « Voyage dans l'hémisphère austral et autour du monde fait sur les vaisseaux du Roi, l'Aventure et la Résolution, en 1772, 1773, 1774 & 1775. », traduit de l'anglais, Paris : Panckoucke, Tome 3, 247 p.
- Danloux J., 1985, « Observations sur les sécheresses récentes dans le sud-ouest Pacifique (Nouvelle-Calédonie et Vanuatu) », Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol. XXI, n°1, p.21-p.28.
- Dessier A., 1985, « Conséquences écologiques de l'El Niño 1982-1983 », dans « Climat et Développement », Séminaire des 15 et 16 Octobre 1985, Editions de l'ORSTOM, p.59-p.63.
- Dupon J.F., 1988, « Des îles à risque, Risques naturels et risques anthropiques », dans Antheaume B. et Bonnemaïson J. « Atlas des îles et Etats du Pacifique Sud . », GIP RECLUS/ PUBLISUD, Paris, p.18 - p.23.
- Dupon J.F., 1989, « Risque cyclonique et agriculture dans les territoires français du Pacifique », in « Le risque en agriculture », Editions de l'ORSTOM, p.101-p.114.
- Duvé R. N., 1981, « Gas-liquid chromatographic determination of major constituents of *Piper methysticum* », Analyst, 106 : p.160-p.165.
- Eissen J.P., Blot C., Louat R., 1991, « Chronologie de l'activité volcanique historique de l'arc insulaire des Nouvelles-Hébrides de 1595 à 1991 », ORSTOM, Notes Techniques Géologie-Géophysique N° 2, 69 p.
- Fallon Dr J., septembre 1994, « L'économie du Vanuatu- comment créer les conditions d'un développement qui soit durable et à assise large », Australian International Development Assistance Bureau- AIDAB, Canberra, International Development Issues N° 32 F, 96 p.
- Fisher N.H., 1957, « Catalogue of the active volcanoes of the world including solfatara fields, Part V, Melanesia. », Naples : Inst. Volcan. Ass., 106 p.
- Foster T., 1976, « Bushfire-history, prevention, control », A.M. and A.W. Reed, Sydney.
- Gautier Y., 1995, « Catastrophes naturelles », Explora, Cité des Sciences et de l'Industrie, 127 p.
- Greene H.G., Mac Farlane A., Johnson D.P. and Crawford A.J., 1988, « Structure and tectonics of the central New Hebrides arc » In : Greene H.G. and Wong F.L. eds. Geology and offshore resources of Pacific islands arc- Vanuatu region, Circum-Pacific Council for Energy Mineral Resources Earth Sciences Series, 8, Houston, Texas : p.377-p.412.
- Gregory J.W., 1917, « The Ambrym eruption of 1913-1914 . », Geol. Magaz., London, 4 : 529-540.
- Grover J.C., 1998, « Volcanic Eruptions and Great Earthquakes. », CopyRight Publishing Company Pty Ltd, Brisbane, Australie, 272 p.
- Hontarrede M. et Galli F.L., Mars 1998, « Tempêtes tropicales et Ouragans », Revue du Palais de la découverte n° 256, p.29-p.42.
- Howorth R. and Elaise A., 1997, « Workshop on volcanic hazards and emergency management in the South Pacific. », South Pacific Applied Geoscience Commission, 26 p.
- Iida K., 1970, « The generation of tsunamis and the focal mechanism of earthquakes. », in W.M. Adams (Editor), Tsunamis in the Pacific Ocean East-West Center Press, Honolulu, Hawaï, p.3 - p.18.
- Jaupart C., mai 1996, « Prévoir les catastrophes », Hors-Série Sciences et Avenir, Paris, p.80 - p.83.
- Jezek P. A., Bryan W. B., Haggerty S. E. and Johnson H. P., 1977, « Petrography, petrology and tectonic implications of Mitre Island, northern Fiji Plateau. », Marine Geol. 24 : p.133-p.148.
- Johnson R.W., Blong R.J. and Ryan C.J., 1995, « Natural hazards : their potential in the Pacific South-West », Australian Geological Survey Organisation- AGSO and Australian Coordination Committee for the International Decade for Natural Disaster Reduction, Australian Government Publishing Service, Canberra, 60 p.
- Johnston-Lavis H.J., 1914, « On the effects of volcanic action in the production of hurricanes and abnormal atmospheric vicissitudes », John Bale, Sons and Danielsson, London.
- King A.R., 1962, « the efficiency of rural fire fighters », CSIRO, Melbourne, Chemical Research Laboratory Technical Paper, N°4.
- Kruger - Knuepfer J.L., Chatelain J.L., Hamburger M.W., Isacks B.L., Barazangi M., Hade G., Prévot R. et Kelleher J., 1986, « Evaluation of seismic risk in the Tonga - Fiji - Vanuatu Region of the Southern Pacific, a country report : Republic of Vanuatu. », report submitted to Office of U.S. Foreign Disaster Assistance ; Grant N° PDC - 0000 - G - SS - 2134 - 00, 118 p.
- Laboratoire de Géophysique, 1991, « TREMORS, Tsunami Risk Evaluation through seismic Moment from Real time System. », Laboratoire de Géophysique, 10 p.

- Lardy M. et Marty B., 1990, « Rapport de fin de mission sur les volcans Yasur (Tanna) et Marum (Ambrym), Vanuatu, du 5 au 18 septembre 1990. », ORSTOM UR 1F1, 17 p.
- Lardy M., Charley D. et Thery L., 1995, « Installation d'une station de surveillance sur l'île de Gaua (Santa Maria) Banks (Vanuatu), 27 octobre au 19 novembre 1994. », Document de travail, Sciences de la Terre, Géologie - Géophysique, N° 12 - 1995, ORSTOM, Port-Vila, 20 p.
- Lardy M., Charley D., Gineste P. et Bore J. M., 1998, « Rapport sur l'examen de quelques pluies sur l'île d'Ambrym (Février et juin 1998) et Mission du 16 mars 1998 », ORSTOM, N°1/98, Port-Vila, 8 p.
- Lardy M., Charley D., Gineste P. et Bore J.M., 1998, « Rapports sur l'examen de quelques pluies sur l'île d'Ambrym - (février et juin 1998) et mission du 16 mars 1998. », Document de travail N°1 - 98, ORSTOM, Port-Vila, 8 p.
- Lardy M., Charley D., Tabbagh J., Eissen J.P., Robin C. et Monzier M., 1995, « Yasur (Vanuatu) : frequent bomb ejections continue; increased activity during 1994. », Bull. of the Global Volcanism Network, Vol. 20, N°8, août 1995, p.11 - p.12.
- Lardy M., Charley D., Wiart P., Kalkaua K., Regnier M., Temakon S., Tahy N., Robin C., Monzier M., Eissen J.P. et 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, p.10 - p.11.
- Lardy M., Juillet 1998, « Surveillance des volcans du Vanuatu », note sur 01/07/98, ORSTOM, Port-Vila, 4 p.
- Lardy M., Tabbagh J. et Pambrun C., 1991, « Une méthodologie pour la tétéobservation des volcans actifs. », in « Cahiers du Centre Européen de Geodynamique et de Séismologie », Vol. 4, p.255 - p.267.
- Lebot V. et Cabalion P., 1986, « les kavas de Vanuatu, cultivars de Piper methysticum Forst. », éditions de l'ORSTOM, n°205, Paris, 234 p.
- Lockridge P.A. and Smith R.H., 1984, « Tsunamis in the Pacific Basin, 1900 - 1983. », National Geophysical Data Center, Boulder, Colorado.
- Louat R. and Pelletier B., 1989, « Seismotectonics and present day relative plate motions in the New-Hebrides-North Fiji Basin region. », Tectonophysics 167 : p.41-p.55.
- Louat R. et Baldassari C., 1989, « Chronologie des séismes et des tsunamis ressentis dans la région Vanuatu-Nouvelle Calédonie (1729-1989) », Document de travail N°2-89, ORSTOM, Nouméa (N^{elle} Calédonie), 48 p.
- Macfarlane A., Carney J.N., Crawford A.J. and Greene H.G., 1988, « Vanuatu- a review of onshore geology. » In : Greene H.G. and Wong F.L. eds., Geology and offshore ressources of Pacific islands arcs-Vanuatu region, Circum-Pacific council for Energy and Mineral Ressources Earth Science Series, 8, Houston, Texas : p.45-p.91.
- Madariaga R. et Perrier G., 1991, « Les tremblements de terre », Presses du CNRS, Paris, 205 p.
- Malahoff A, Feden R. H. and Fleming H. S., 1982, « Magnetic anomalies and tectonic fabric of marginal basins north of New Zealand. », J. Geophy. Res. 87 : p.4109-p.4125.
- Mallick D.I.J. et Ash R.P., 1975, « Geology of the Southern Banks Islands. », New Hebrides Geol. Surv. Reg. Rep., Port-Vila, 33 p.
- Marshall P., 1915, « the recent (December 7, 1913) volcanic eruptions on Ambrym island. », Trans. Proc. New Zealand Inst., Wellington, 47 : p.287 - p.391.
- Matera M., Lardy M. et Charley D., 1997, « Rapports des missions sur le volcan Yasur pendant l'année 1996. », Document de travail, Sciences de la Terre, Géologie - Géophysique, N°1 - 1997, ORSTOM, Port-Vila, p.1 - p.18.
- Melchior, 1988, « Rapport de mission de reconnaissance volcanologique à Ambrym (25 - 29 mai 1988) et à Tanna (14 mai 1988). », ORSTOM, Nouméa, 10 p.
- Metaxian J. P., Régnier M., Lardy M., 1995, « Rapport sur la crise du mois de mars 1995 du volcan d'Aoba. », Document de travail, Sciences de la Terre, Géologie - Géophysique, N° 15 - 1996, ORSTOM, Port-Vila, p.1 - p.23.
- Monzier M., Robin C. et Eissen J.P., 1994, « Kuwae (~ 1425 A.D.) : the forgotten caldera », Journal of Volcanology and Goethermal Research, 59, p.207-p.218.
- Nabyl A., Dorel J. et Lardy M., 1997, « A comparative study of low- frequency seismic signals recorded at Stromboli volcano, Italy, and at Yasur volcano, Vanuatu. », New Zealand Journal of Geology and Geophysics, Vol. 40, The Royal Society of New Zealand, p. 549 - p. 558.
- National Disaster Management Office, Janvier 1994, « National Disaster and Emergency Plans 1994 », Port-Vila, Vanuatu, 23 p.

- National Disaster Management Office, Janvier 1994, « National Support Plan Cyclones », Port-Vila, Vanuatu, 7 p.
- National Statistics Office, 1983, « National Agricultural Census ».
- National Statistics Office, 1993, « National Agricultural Census ».
- New Hebrides Geological Survey Department, Ann. Rep. for 1964, 1966, ??? ed..
- New Hebrides Geological Survey Department, Ann. Rep. for 1968, 1970, Mallick ed.
- New Hebrides Geological Survey Department, Ann. Rep. for 1971, 1973, Mallick ed.
- New Hebrides Geological Survey Department, Ann. Rep. for 1975, 1977, Macfarlane ed.
- New Hebrides Geological Survey Department, Ann. Rep. for 1976, non publié.
- New Hebrides Geological Survey Department, Ann. Rep. for 1980, non publié.
- O'Reilly P., 1956, « Chronologie des Nouvelles-Hébrides. », J. Soc. Océanistes, Cinquantenaire du Condominium des Nouvelles-Hébrides, 12, 12 : p.6-p.61.
- Organisation Météorologique Mondiale- TOGA, « Programme d'étude des Océans Tropicaux et de l'Atmosphère du Globe », Joint Climat Projects/ Planning Office de l'University Corporation for atmospheric Research (UCAR), Genève, 14 p.
- Picaut J., Juillet-Aout 1997, « Une nouvelle théorie pour mieux comprendre les mécanismes complexes d'El Niño », Fiche d'actualité scientifique N° 45, ORSTOM, Paris.
- Plan directeur de développement du tourisme et renforcement institutionnel des organismes gouvernementaux de tourisme, avril 1995, « Projet du Gouvernement de la république du Vanuatu », rapport final, plan directeur du tourisme, République du Vanuatu, 229 p.
- Prévot R. et Chatelain J.L., juin 1983, « Sismicité et risque sismique à Vanuatu », Editions ORSTOM, Rapport N°5-83, Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 53 p.
- Prévot R., Bondoux F. et Reichenfeld C., 1990, « Proposition pour une rénovation du réseau sismologique à Vanuatu. », ORSTOM, Nouméa, 9 p.
- Robin C, Monzier M., Lardy M., Regnier 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; évacuation preparations. », Bull. of the Global Volcanism Network, Vol. 20, N° 2, février 1995, p.6 - p.8.
- Robin C, Monzier M., Crawford A.J., and Eggins S.M., septembre 1993, « The geology, volcanology, petrology-geochemistry and tectonic evolution of the New-Hebrides island arc, Vanuatu », Record 1993/59, Australian Geological Survey Organisation, Canberra Australia, 79 p.
- Simkin T., Siebert L., Mc Clelland L., Bridge D., Newhall C. and Latter J. H., 1981, « Volcanoes of the world. », Smithsonian Inst., Hutchinson Ross Publ. Co., 233 p.
- Simpson R. H. et Riehl H., 1981, « The hurricane and its impact », Basil Blackwell Publisher, Oxford, Great Britain, 398 p.
- Singh R., 1991, « Tsunamis in Fiji and their effects. », in : Workshop on coastal Processes in the South Pacific Island Nations, Lae, Papua New Guinea, 1 - 8 october 1987, SOPAC, Technical Bulletin, p.107 - p. 120.
- Skully T.M., July 1997, « The South Pacific: Finance, Development and the private sector », International Development Issues N° 48, Australian Agency for International Development, Canberra, p.103-p.129.
- Soloviev S.L. and Go CH.N., 1974, « Catalogue of Tsunamis on the Western Shore of the Pacific Ocean. », Moscow, p.290 - p.314.
- Sterly J., 1970, « Heilpflanzen der Einwohner Melanesiens. Beiträge zur Ethnobotanik des Südwestlichen Pacifik. », Hamburger Reihe zur kultur und Sprachwissenschaft 6. Hamburg. München.
- Talandier J., « Etude et prévision des stunamis en polynésie française », Laboratoire de physique de l'école normale supérieure, Thèse de doctorat d'Université, université de Paris VI, 122 p.
- Talandier J., 1992, « Note sur les échelles de magnitude les plus utilisées en sismologie : Ms, Mb, Mw, Mw. », Laboratoire de Géophysique, Tahiti, 4 p.
- Taylor G. A., 1956, « Review of volcanic activity in the territories of Papua New Guinea, the Solomon and New Hebrides Islands (1951-1953). », Bull. Volc., 18 : p.25-p.37.
- Thery L., Charley D., Lardy M. et Tari J., 1995, « Bathymétrie du lac Létas, île de Gaua (Banks) Vanuatu. », Document de travail, Sciences de la Terre, Géologie- Géophysique, N° 10-1995, ORSTOM, Port-Vila, p.1-p.17.

- **Thorarinsson S.**, 1979, « *on the damage caused by volcanic eruptions with special reference to tephra and gases* », in sheets, P.D. and Grayson, D.K. (eds) *Volcanic activity and human ecology*, Academic Press, New-York, p.125-p.159.
- **Trevor J.**, 1990, « *Earthquake strong motion hazard in Vanuatu.* », Mineral Ressources Department, Suva, Fidji.
- **UNESCO**, 1979, « *Final report of the meeting of the experts on volcanic hazard zoning* », Bandung 26-28 November, 1979.
- **Vanuatu Meteorological Service**, Mai 1994, « *Tropical Cyclones in Vanuatu 1847 à 1994* », Vanuatu Meteorological Service Publication N° VMS/C/01/93, Port-Vila, Vanuatu, 23 p.
- **Vialard J et Quenouille B.**, novembre 1997, « *El Niño, le courant fou qui détraque le climat* », Science et vie, N° 962, p.89-p.96.
- **Voituriez B.**, 1992, « *les climats de la terre* », Presse pocket, cité des sciences et de l'industrie, p.7-p.11 ; p.108-p.111.
- **Wallez S.**, 1998, « *Rapport de mission sur Tanna, du 28 au 24 août 1998, (participation au Workshop de VANGO et enquêtes).* », Document de travail N°3/98, ORSTOM, Port-Vila, 12 p.
- **Wallez S. et Garaebiti E.**, 1998, « *Rapport de mission sur Ambrym du 16 juin au 23 juin 1998, (Prélèvements d'échantillons et enquêtes).* », ORSTOM, Document de travail N°2/98, Port-Vila, 12 P.
- **Warden A.J.**, 1968, « *Annual Report for the year 1966* » ; Ambrym, by Stephenson, PP. 9-15. New Hebrides Condominium, Port-Vila.
- **Warden A.J.**, 1970, « *Evolution of Aoba caldera volcano, New Hebrides.* », Bull. Volcan., 34 : 107-134.
- **Weightman B.**, 1989, « *Agriculture in Vanuatu. British Friends of Vanuatu.* », Portsmouth, Great Britain, 307 p.
- **West S.**, 1993, « *Report on Cyclone Prema* », in NAIKA, N° 42, Vanuatu Natural Science Society, Port-Vila, p.9-p.12.
- **Wiert P.**, 1995, « *Impact et gestion des risques volcaniques au Vanuatu.* », Mémoire de fin d'études ISTOM, 82^{ème} promotion, du 09/06/94 au 01/09/95, Document de travail N° 13 - 1995, ORSTOM, Port-Vila, 83 p.
- **Williams C.E.F. et Wardens A.J.**, 1964, « *Progress Report of the Geological Survey for 1959-1962.* », New Hebrides Geol. Surv. Rep., Port-Vila, 75 p.