

**IMPACT DES PLUIES ACIDES
CAUSEES PAR LE VOLCAN YASUR
SUR LA VEGETATION DE TANNA**

Damien BUISSON
Stagiaire ISTOM
82ème Promotion 1994



terre, océan, atmosphère

NOTES TECHNIQUES

N° 8
Août 1994

Document de travail

**INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION**

ORSTOM

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

A 44.2.3 ex 2

INSTITUT SUPERIEUR TECHNIQUE D'OUTRE MER

32, Boulevard du Port -95094 CERGY-PONTOISE Cedex

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

**IMPACT DES PLUIES ACIDES
CAUSEES PAR LE VOLCAN YASUR
SUR LA VEGETATION DE TANNA**

Damien BUISSON
82 ème promotion
stage effectué à l' ORSTOM
de Port-Vila (VANUATU)
du 19/04/1994 au 04/09/1994

22 MARS 1995

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 41.203 ex 2

Cote : A

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier Monsieur Lardy qui m'a accueilli dans le centre ORSTOM de Port Vila et qui a suivi mes activités tout au long de mon stage.

Je suis très reconnaissant à Sam Chanel pour son aide efficace lors des missions sur Tanna ainsi qu'à Annie Walter pour ses conseils en botanique.

Qu'il me soit permis d'exprimer à toute l'équipe de l'ORSTOM de Port Vila ma gratitude pour l'aide qu'elle m'a apportée tout au long de mon séjour.

Je tiens enfin à remercier toutes les personnes qui m'ont aidé pour l'élaboration de ce document. Merci aux gens de Tanna qui ont contribué avec gentillesse et patience aux enquêtes contenues dans ce mémoire.



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

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

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

Tel. (678) 22268
Fax (678) 23276

A T T E S T A T I O N

Je soussigné, Michel LARDY, Représentant de l'ORSTOM en République du VANUATU, certifie que Monsieur Damien BUISSON, élève de l'ISTOM a bien effectué son stage de fin d'études dans notre centre de PORT-VILA d'avril à Septembre 1994 .

Attestation établie pour valoir et servir ce que de droit.



Port-Vila, le 19 Août 1994



Michel LARDY
représentant de l'ORSTOM
République de VANUATU

RESUME/SUMMARY

L'île de Tanna possède un des volcans aériens actifs de l'archipel de Vanuatu: le Yasur. Celui-ci a une activité permanente dite "strombolienne" qui semble se maintenir depuis plusieurs siècles (l'île a été découverte par J.Cook en 1774). Les cendres et les pluies acides associées à l'activité du Yasur peuvent par leur action sur les cultures entraîner des difficultés alimentaires particulièrement dans la zone agricole proche du volcan. Les îles du Pacifique ne souffrent généralement pas de malnutrition, toutefois, des phénomènes naturels (cyclones, manifestations volcaniques..) peuvent être la cause de "petites famines".

L'activité du volcan et des pluies acides, au travers de données sismo-météorologiques recueillies sur l'île de Tanna, seront analysées dans ce mémoire; nous essaierons d'estimer leurs relations à la fois dans une histoire récente, et de manière plus approfondie depuis 1992. Les conséquences des pluies acides sont confirmées par une enquête de terrain (agriculture, végétation) réalisée entre Mai et Août 1994. L'augmentation démographique complique encore les problèmes d'alimentation sur Tanna.

Mots clef: Vanuatu-Volcanologie-Pluies acides-Météorologie-Environnement-Risques naturels.

Yasur, one of the active land volcanoes of the Vanuatu archipelago, is on the island of Tanna, where it has been in regular Strombolian activity since its discovery by J.Cook in 1774.

Pacific islanders in general don't suffer from malnutrition, but the resulting ashes and acid rain in the Yasur area can lead for problems in the local food supply over and above exceptional shortages caused by natural disasters such as cyclones and eruptions.

This paper will study recent volcanic activity and acid rain, paying particular attention to the post-1992 period, thanks to the analysis of seismological and meteorological data collected on Tanna. An agricultural and floral field survey carried out from May to August 1994 confirmed the impact of this rain acidity at a time when demographic pressure is further complicating the problems of adequate nutritional supplies on the island.

Key words : Vanuatu-Vulcanology-Acid rain-Meteorological-Environment-Natural risks.

SOMMAIRE

	page
INTRODUCTION.	1
1. PRESENTATION DU LIEU D'ETUDE.	2
1.1.L'archipel dans son ensemble.	2
1.2.Tanna.	6
2.VOLCANISME ET PHENOMENES METEOROLOGIQUES ASSOCIES SUR TANNA.	11
2.1.Le volcanisme.	12
2.2.Les phénomènes météorologiques associés.	19
2.3.Répercutions sur la composition de l'eau météorite et relation entre ces phénomènes.	24
3.IMPACT SUR LA VEGETATION.	31
3.1.Coutumes et traditions:les jardins magiques.	31
3.2.Les manifestations naturelles.	32
3.3.Observations et enquêtes.	33
4.SYNTHESE.	41
CONCLUSION.	44
ANNEXES.	45
LISTE DES CARTES.	81
LISTE DES FIGURES.	82
LISTE DES PHOTOS.	83
LISTE DES TABLEAUX.	84
BIBLIOGRAPHIE.	85
LISTE DES ANNEXES.	90
TABLE DES MATIERES.	91

*"Terre de cendres et de corail,
Terre de feu et de mort,
Terre de feu et de vie.*

*Vanuatu, tremblent tes murailles,
S'entr'ouvre ta terre au fleuve or,
La pluie à tes cendres s'allie.*

*Du Pacifique surgit le corail,
De ton sol la fougère, l'orchidée; quel décor !
Nouvelles-Hébrides, Vanuatu, alchimie !*

*Et le Kanak sort du naghamaï,
Et de ta mer dawas, perroquets bleu et or.
Erromango, Tanna, Anatom, nostalgie !"*

Paul Quantin.

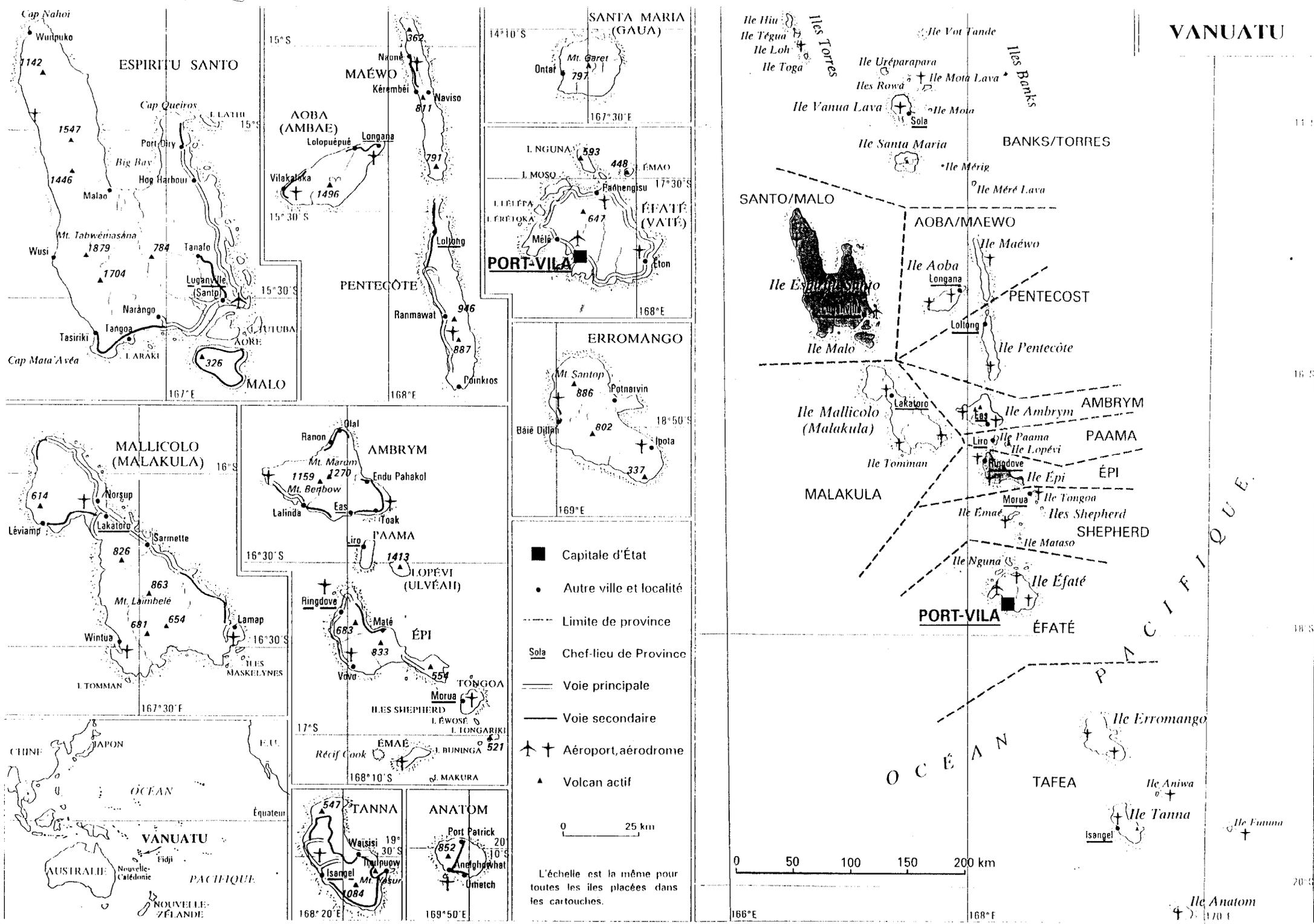
INTRODUCTION

La république de Vanuatu (prononcer " Vanooatoo") prend, suivant la population et le langage indigène, différentes significations: Cela peut être traduit par *notre terre* ou , bien *la terre qui vient de la mer*, ou encore *pays jailli de l'océan*. Elle est localisée dans le sud ouest de l'océan Pacifique (13°04'-20°16' sud et 166°32'-170°14' est), c'est à dire dans la partie méridionale de la zone intertropicale. Ses plus proches voisins sont les îles Fidji à l'est et la Nouvelle Calédonie au Sud-Ouest.

Cet ancien condominium Franco-Britannique (les Nouvelles Hébrides) a la particularité de se trouver sur" la ceinture de feu du Pacifique", ce qui fait que l'activité tectonique (et donc volcanique) y est assez intense. De par sa situation géographique, le Vanuatu possède donc tous les atouts pour avoir une terre très riche, propice à une végétation luxuriante.

Paradoxalement, depuis sans doute de très nombreuses années, l'île de Tanna (voir carte au sud de l'archipel) se trouve régulièrement affectée par l'activité de son volcan le Yasur (les derniers "gros" problèmes ont eu lieu en Septembre 1987, Juin 1993 et Mars 1994). Nous aborderons la description de ces problèmes après un survol succinct de l'archipel et de Tanna, et nous poursuivrons, afin de mieux le comprendre, par l'histoire de l'activité passée et récente du Yasur afin d'estimer son influence sur l'environnement de l'île. Enfin, nous tenterons une synthèse autour des deux dernières années (1992,1993 et début 1994) les plus riches en données (sismologie et météorologie).

L'étude bibliographique est complétée par les données recueillies à l'aide de stations météorologiques ou sismo-volcanologiques complétées de données de terrain récoltées au cours de trois missions sur Tanna;trois zones tests représentatives ont été choisies. Le but est de mettre en relation l'activité volcanique, climatologique, et les problèmes rencontrés par les habitants de Tanna dans leurs forêts et leurs jardins.



Carte 1.1. Carte de situation de l'archipel (source: M.A.E.)

1. PRESENTATION DU LIEU D'ETUDE.

1.1. L'ARCHIPEL DANS SON ENSEMBLE.

"...j'ai quand même pu visiter plusieurs îles, suffisamment en tout cas pour me rendre compte que chacune avait sa physionomie particulière: plus ou moins débroussaillée, plus ou moins cultivée, plus ou moins christianisée."

P. Diolé, 1976.

1.1.1. Géographie.

L'archipel de Vanuatu se situe dans l'ouest du Pacifique sud. Il a une superficie de 12.280 km² (son espace maritime couvre 680.000 km²). Le Vanuatu est formé d'environ 80 îles et îlots (dont 14 ont une superficie supérieure à 100 km²). C'est en fait un arc volcanique d'axe sensiblement nord-sud à trois branches:

- une branche occidentale (Torres, Santo, Malikolo).
- une branche centrale (Banks et Aoba).
- une branche orientale (Méré leva, Maewo, Pentecôte et ambrym).

Ces trois branches convergent vers Epi et les îles Sheperds, et s'étendent au sud (Vaté, Erromango, Tanna, Anatom).

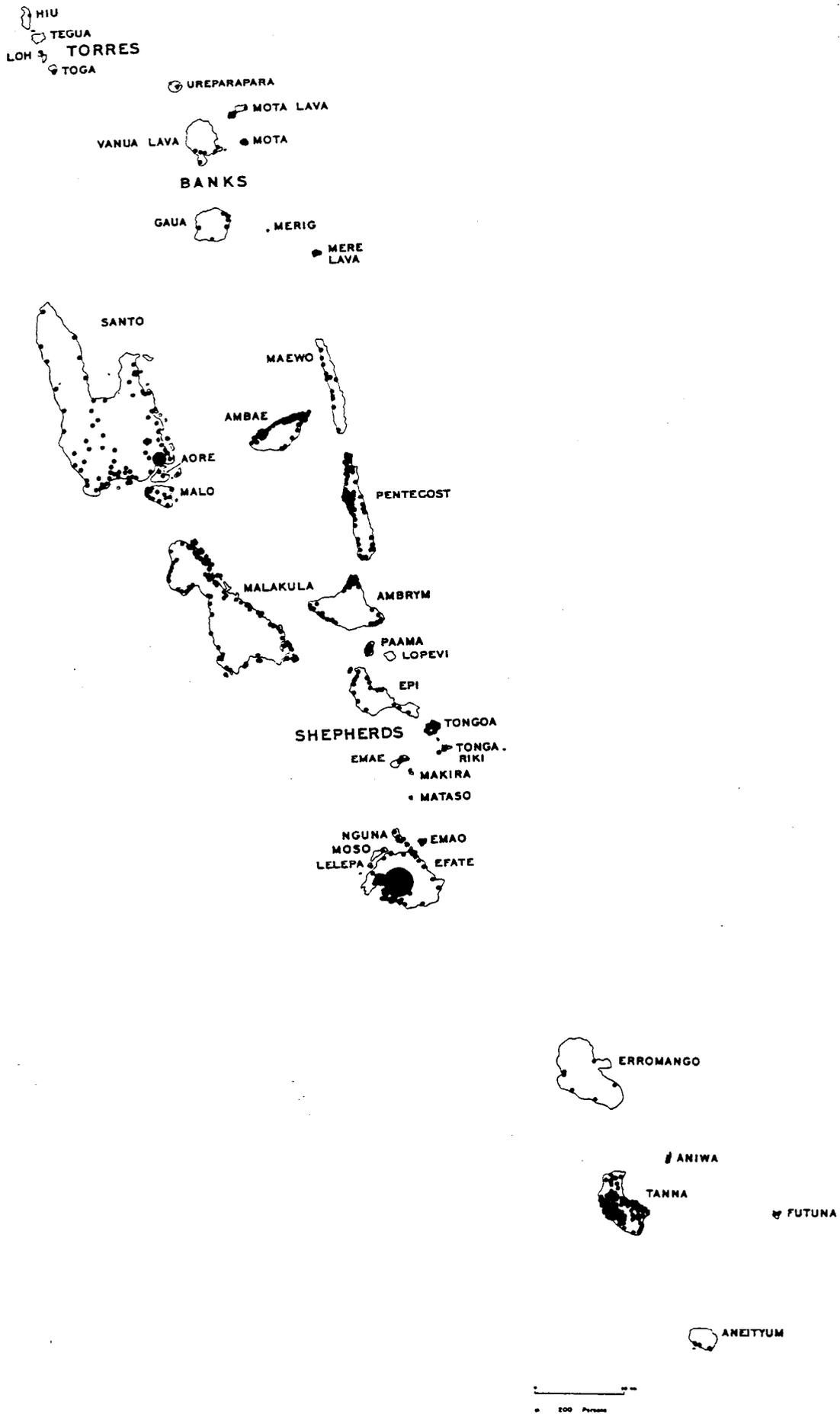
1.1.2. Histoire et population.

Les premiers hommes à avoir occupé le sol des "Nouvelles Hébrides" remontent à environ 3.500 ans et sont d'origine Mélanésienne. Ce n'est qu'en 1606 que les Européens découvrent ce petit paradis avec Queros (Torres, Banks, Esperitu Santo). Puis Bougainville, en 1768, passe entre Santo et Malikolo et découvre Pentecôte, Aoba et Maewo. Il donne alors à cette région du monde le nom de "Grandes Cyclades". Elle gardera ce nom jusqu'à la découverte du reste de l'archipel par le capitaine James Cook en 1774 qui renomme l'ensemble de ces îles les "Nouvelles Hébrides".

Les premiers vrais contacts avec l'occident se feront à partir de 1826, avec le commerce du bois de santal. C'est seulement au début du XX^{ème} siècle, en 1906, que s'installe le condominium Franco-Britannique. En effet, ces deux puissances ont préféré s'unir contre la menace Allemande plutôt que de se partager l'archipel. Ce condominium, unique au monde, est effectif jusqu'au 30 juillet 1980, jour où la république du Vanuatu est née.

Il existe 3 langues officielles au Vanuatu: le français, l'anglais et le bishlamar (pidgin anglais qui sert de langue véhiculaire). On peut quand même noter à titre indicatif l'existence de plus d'une centaine de langages encore parlés dans l'archipel.

Le nombre d'habitants est actuellement estimé à 159.800 (Juin 1993), ce qui fait une densité moyenne de 13 habitants par kilomètre carré. L'accroissement de la population est de 3.4% par an. Ces chiffres ne sont que des moyennes et ils sont très inégalement



Carte 1.2. Répartition de la population (source: National Population Census, 1989).

répartis suivant les différentes îles (Cf carte 1.2.ci-après). Les prévisions pour 2014 sont estimées à 286.000 personnes (recensement national de 1989).

Les religions recensées sont assez nombreuses, avec une majorité de presbytériens, de catholiques et d'anglicans.

Les deux villes principales du Vanuatu sont Port Vila la capitale (île de Vaté), et Luganville (île de Santo). Elles ont respectivement 26.100 et 8.800 habitants (estimation du bureau de la statistique de Port Vila, Juin 1993).

On trouvera en annexe, différentes données complémentaires sur la population du pays (Annexe 1.1).

1.1.3.Contexte géologique et tectonique.

Le Vanuatu fait partie des grandes provinces volcaniques; il appartient au plateau d' *ontongjava* (la plus grande des provinces avec près de 2 millions de km² de surface, soit les 2/3 de l'Australie !).

C'est un système d'arc insulaire qui s'étend sur 1500 km de long entre 10° et 22°30' sud. Le système s'étend aussi à l'est à travers Fidji et Tonga.

Cet arc est associé à une forte activité sismique et volcanique (les tremblements de terre ressentis sont généralement dus au phénomène de subduction (C.Cheney, 1987)).

A l'ouest, le pays est bordé par la fosse des Nouvelles Hébrides qui peut atteindre plus de 6.000m de profondeur par endroit. Il est situé exactement à la convergence de 2 plaques. A l'est la plaque Pacifique et à l'ouest la plaque Indo-Australienne. Cette dernière plonge sous la plaque Pacifique à une vitesse moyenne estimée à environ 15cm/an, ce qui représente une des vitesses de convergence les plus rapides au monde. Cela traduit aussi la jeunesse de l'arc; en effet, plus un arc est jeune, plus la vitesse est grande.

Le Vanuatu est en fait l'addition de 3 petits arcs:

- un arc occidental (Mallicolo, Santo, Tores).
- un arc central (Matthew, Hunter, Anatom, Tanna, Erromango, Vaté et Epi).
- un arc oriental (pentecote, Maewo).

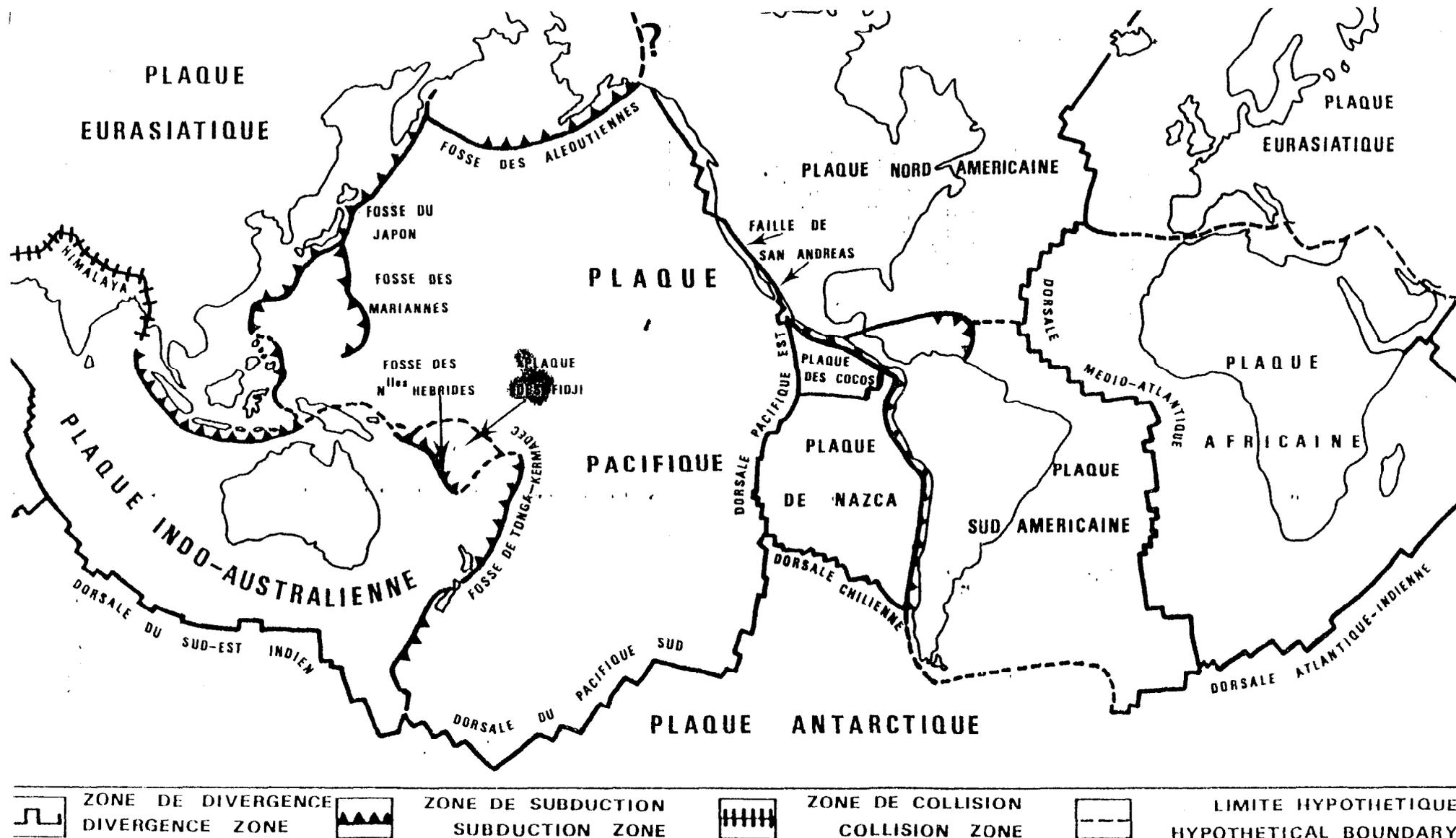
Regardons brièvement l'histoire géologique de chaque arc (figure 1.1 et 1.2.).

*Entre 25 et 14 millions d'années (oligocène supérieur et miocène moyen), la base de la chaîne ouest est formée par des éruptions sous marines basaltiques et andésitiques. Des dépôts volcaniques et sédimentaires se mettent aussi en place.

*Entre 11 et 4 millions d'années (miocène supérieur à pliocène inférieur), il y a émergence de la chaîne Ouest. Vient ensuite le déplacement de la chaîne active vers l'Est. On a alors de nombreux dépôts basaltiques et andésitiques sous marin.

*Entre 4 et 2 millions d'années (pliocène inférieur à supérieur), les chaînes Est et Ouest sont soulevées. L'activité volcanique cesse sur cette dernière, et les centres actifs se déplacent au nord et au sud lors de la mise en place de la chaîne centrale.

*Lors de la période la plus récente (pliocène supérieur pléistocène et holocène), on a une forte activité volcanique dans la chaîne centrale (dominance basaltique à andésitique).



Carte 1.3.: La tectonique du globe (source: Sismicité et risque sismique à Vanuatu. Prévot, Chatelain 1984).

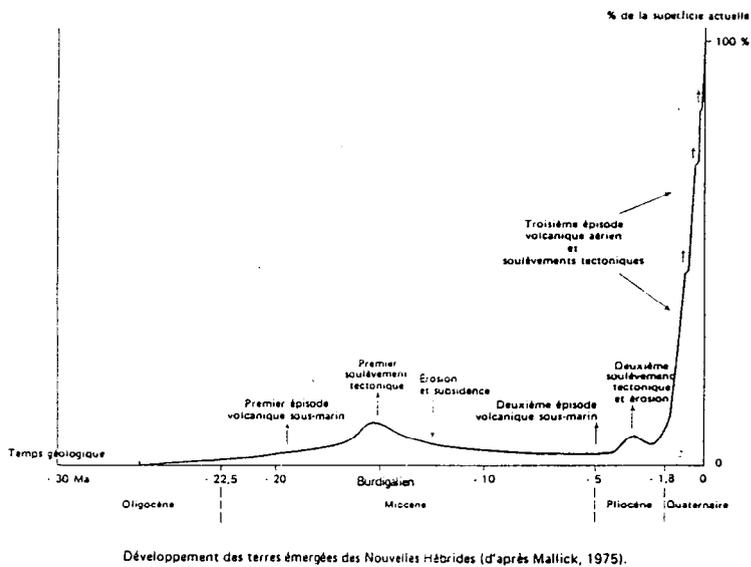


Figure 1.1.

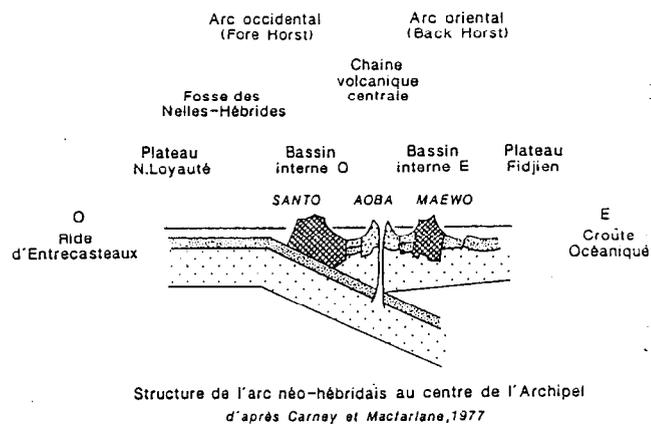


Figure 1.2.

1.1.4. Le climat.

Le climat global de l'archipel est chaud et humide sur la majeure partie des îles (la température moyenne est de 23° et la pluviométrie est supérieure à 2000mm). Les saisons sont peu contrastées (différences de températures inférieures à 5°C), malgré une période moins pluvieuse et plus fraîche de mai à octobre. L'ETP (l'évapotranspiration potentielle) annuelle a été estimée à 1.400 mm et l'humidité relative moyenne plus de 78 %. L'indice d'insolation varie de 1.800 à 2.300 h/an. Il y a tout de même 3 grandes tendances qui se dégagent selon l'altitude, la latitude (du sud au nord) et latéralement. (d'est en ouest).

- La variation en latitude se caractérise par les variations suivantes:
 - une augmentation de la température moyenne d'environ 0.5 °C par degré de latitude.
 - une baisse de la pluviosité du nord (4m) au sud (2m) avec un déficit hydrique pour toute la partie méridionale.
- La variation latérale distingue trois zones climatiques.
 - les zones au vent (climat équatorial, tropical humide)
 - les zones de montagnes (zone perhumide).
 - les zones sous le vent (climat tropical à courte saison sèche).
- Les zones d'altitudes sont quand à elles plus fraîches, l'humidité relative augmente jusqu'à saturation, et on enregistre aussi une baisse de l'insolation et de l'ETP.

1.1.5. Un peu d'économie.

A la suite de son indépendance, le Vanuatu a reçu de moins en moins d'aide de la part de ses deux tuteurs (Cf tableaux 1.1. et 1.2.). L'objectif du gouvernement de l'époque était la stabilité politique et l'unité nationale, et, à long terme, l'autosuffisance économique. Mais l'archipel a beaucoup de difficultés: manque de ressources naturelles, isolement par rapport aux marchés internationaux, et surtout sa vulnérabilité aux catastrophes naturelles (cyclones, séismes, éruptions volcaniques, tsunamis); ce problème sera plus amplement abordé dans la deuxième partie.

Aide budgétaire France et Grande-Bretagne
(en millions de Vatu)

Années	France	Gde-Bretagne	Total
1981	430	475	905
1982	347	396	743
1983	273	287	560
1984	191	246	437
1985	198	90	279
1986	-	133	133
1987	-	75	75
1988	-	20	20

Source : Estimations des autorités vanuataises.

tableau 1.1.

Aide au développement, France et Grande-Bretagne
(en millions de Vatu)

Années	France	Grande-Bretagne
1980	7	300
1981	130	307
1982	105	76
1983	55	161
1984	48	249
1985	61	242
1986	177	37
1987	1,9	129
1988	-	10

Source : Estimations des autorités vanuataises.

tableau 1.2.

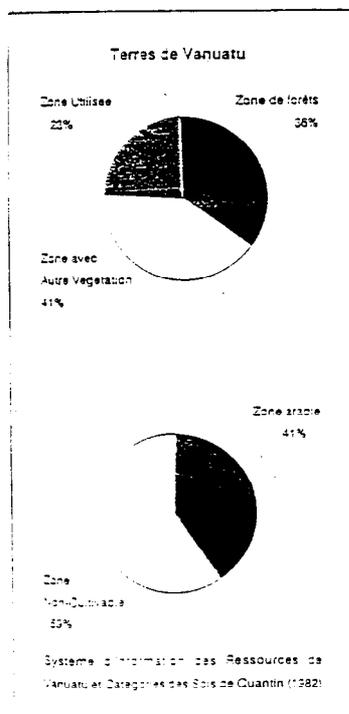


Figure 1.3.

En 1980, le Vanuatu reste très dépendant du coprah, qui représente 80% des exploitations du pays et 90% du PIB (Huffer, 1993). De ce fait, les variations du cours du coprah sont très fortement ressenties. Vanuatu est le premier producteur mondial de noix de coco par habitant.

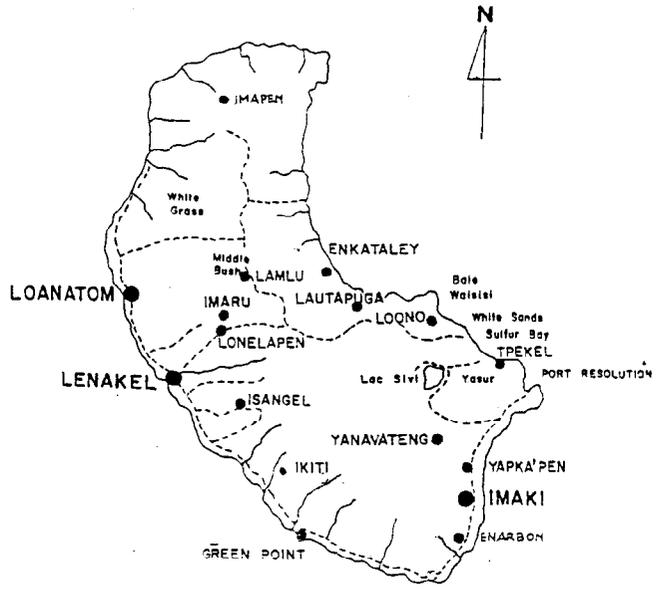
80% de la population est plongée dans une économie de culture vivrière, d'élevage et de pêche (38% du PIB) (Huffer, 1993).

Un des atouts économiques de l'archipel est sa richesse en terres arables (41% de la surface), mais seulement 30% sont exploitées à la fin des années 80.

Le Vanuatu est sur la liste des pays les moins développés recensés par les Nations Unis.

Rétrecissons un peu la zone géographique et intéressons nous maintenant plus particulièrement à l'île de Tanna.

ILE TANNA



Carte 1.4.

1.2.TANNA.

*"Et ce fut à nouveau le miracle des îles
et de la mer, les lagons aux eaux
d'émeraude et de topaze que les rouleaux
blancs de la longue houle brisant sur le
récif bordier séparent de l'immensité
outrageusement bleue de l'océan."*

H.Tazieff

Ce nom de Tanna viendrait d'une méprise du capitaine Cook qui, pour connaître le nom de l'endroit pointa son doigt en direction du sol et un indigène lui répondit "*Tanna*", ce qui signifiait "la terre" dans une des langues de Tanna.

1.2.1.Géographie.

L'île de Tanna est située au sud de l'archipel entre Erromango et Anatom, dans la région administrative de T.A.F.E.A. (Tanna, Anatom, Futuna, Erromango, Aniwa).

Sa superficie est de 572 km². Elle est orientée suivant un axe nord-ouest sud et s'étire sur 39 km. Sa largeur varie de 10km au nord et atteint 20 km au sud.

Deux grandes zones se dégagent du point de vue topographique:

-au nord, on trouve un plateau (400 à 500m d'altitude).

-au sud, la région est beaucoup plus montagneuse (complexe volcanique), avec les monts Mélen et Toukousmérrou qui dominent à 1047 et 1084 m.

La localisation exacte de l'île de Tanna est 19°19'-19°33'S; 169°12'-169°30'E.

1.2.2.Histoire et population.

Tanna a été découverte en août 1774 par le capitaine James Cook. Le seul fait d'être en contact avec les blancs régulièrement (arrivée des missionnaires en 1842) a provoqué ce que certains auteurs ont appelé le *choc microbien*. Les premiers vrais contacts avec les européens ne commencent effectivement qu'à partir de 1820, avec le commerce du bois de santal.

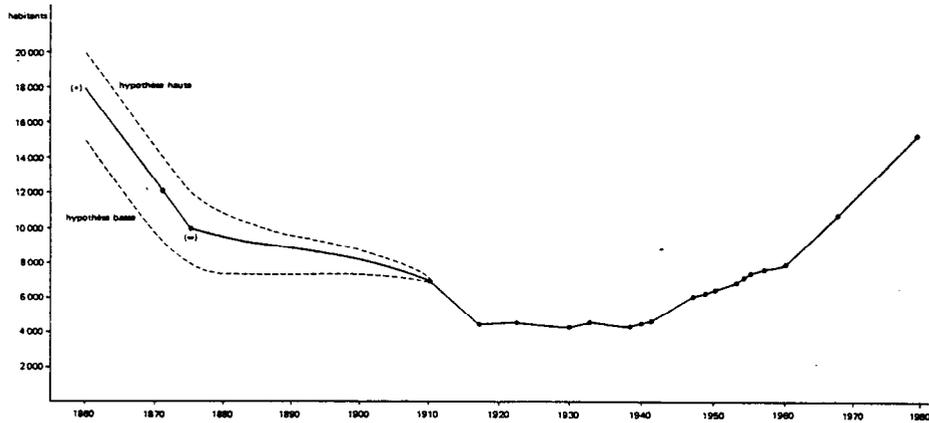
L'apparition de nouvelles maladies a provoqué une véritable hécatombe (en 1860, une épidémie de rougeole a provoqué la mort de 3560 personnes sur une population totale estimée à 11.000 habitants!).

Il faut ajouter à cela les problèmes de rencontre des cultures; en effet, l'évangélisation de l'île n'a pas toujours été compatible avec la "custom":c'est l'époque de la "*Tanna Law*" (les coutumes locales, les traditions régissaient et organisaient toute la vie sociale et politique de l'île). A cette époque, Tanna a la réputation peu honorable d'île où règne la violence, le cannibalisme et la religiosité.

Les terres coutumières, si chères et si précieuses aux yeux des "hommes-lieux"

(Bonnemaison,1987), vont être accaparées et exploitées par des européens. La déportation des canaques (ou kanacks, termes très utilisés jusque dans les années 60 pour la Mélanésie; signifie "homme") à destination des plantations du Queensland (Australie) s'ajoute à tous ces méfaits (ce "black birding" comme on l'appelle (une vulgaire traite des noirs), s'échelonna de 1840 à 1895).

ÉVOLUTION DE LA POPULATION DE TANNA DE 1859 à 1979 SELON LES SOURCES HISTORIQUES



(*) Estimation de TANNA en 1859 : 15 ou 20 000 habitants

(**) Estimation de 1870 à 1880 : entre 8 et 12 000 habitants
(Buxton 1926, Steel 1880, Neilson 1870)

Figure 1.4. (source: Bonnemaïson, 1987).

Le refus de la société européenne se traduira à partir des années 1940 par le début du mythe de John Frum (le premier rapport de Nicol au sujet de John Frum a été fait le 3 janvier 1941 (J.Guiard, 1956)); ce mythe est toujours vivant en 1994, dans la région de White Sand (Ipeukel). John Frum est le sauveur "américain" qui doit revenir pour délivrer le peuple de Tanna de la présence blanche et redonner tous les pouvoirs (politiques et magiques) aux "man-Tanna" (Bonnemaison, 1986).

Un autre événement marquant de l'histoire de Tanna a été le mouvement Forcona, qui voulait l'indépendance de Tanna. La nation Tanna n'aura duré en tout et pour tout que du 24 Mars au 29 Juin 1974. Le leader et fondateur du mouvement, Antoine Fornelli, sera arrêté.

L'île de Tanna compte actuellement 19.825 habitants (recensement 1989), ce qui fait une densité de population de 35 ha/km². Le nombre d'habitants est en constante augmentation depuis 1940 (figure 1.4.). Si on prend un indice 100 en 1967, on obtient respectivement les indices 147 et 191 pour les années 1979 et 1989 (Cf annexe 1.1.).

Cette augmentation de la population se fait ressentir sur Tanna dans les zones les plus peuplées qui sont situées, d'après la carte 1.2. à l'est, juste après le volcan, à l'ouest et au nord. Si on regarde encore plus précisément, on peut voir que certaines régions atteignent des densités très importantes (393 pour le secteur de Loanatom, 158 pour le secteur de Lownow et seulement 35 pour le secteur du Tanna coffee). Les différentes densités de ces 3 régions sont détaillées dans l'annexe 1.3.

1.2.3. Quelques données du milieu naturel.

1.2.3.1. Géologie.

Nous avons vu précédemment que les îles de la chaîne centrale, dans leurs parties méridionales, sont constituées de roches éruptives volcaniques pliocènes (tertiaire, 5 à 1.7 M.a.). On les retrouve à l'affleurement au centre de l'île et au nord (Green Hill), ainsi que dans les ravines profondes de l'Est.

Ce socle est recouvert de calcaire sédimentaire (ancien) et récifal (récent), ainsi que des apports pyroclastiques récents (Quaternaire). Ils sont respectivement présents au nord (série du mont Moulou) et au nord-nord ouest (série de black beach). Pour ce qui est des cendres (andésitiques) dans la région du lac Siwi, leur émission récente forme des couches décroissantes à mesure que l'on s'éloigne du Yasur.

On retrouve d'ailleurs dans le sud de l'île un grand complexe volcanique: le *Toukousmerou* (strato-volcan du pleistocène). Dans la caldera du siwi, on trouve 2 édifices volcaniques dont un est encore actif: l'Ombus et le Yasur (cône strombolien actif).

1.2.3.2. Le climat.

Le sud de l'archipel supporte deux saisons, une sèche et une plus humide et plus chaude. La variation de température entre les mois extrêmes est très faible (5°C seulement) Les précipitations peuvent atteindre dans ces îles la hauteur de 4m. Les vents sont à dominante Sud-Sud Est tout au long de l'année; ceci pousse le panache du Yasur dans une direction préférentielle.

On peut différencier, comme pour l'archipel dans son ensemble, trois zones principales:

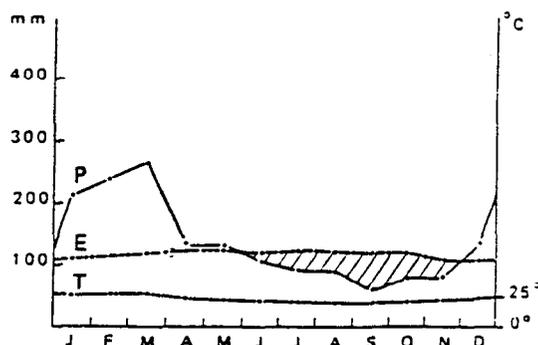
-les zones aux vents de basses altitudes, qui sont sous un régime équatorial chaud et humide, situé à une altitude inférieure à 500m sur les versants Sud et Est de l'île.

-les zones dites per-humides se localisent au dessus de 500 m. Le climat est caractérisé par une humidité constante et très forte, une pluviométrie plus élevée (supérieure à 4.000mm/an), et une température plus fraîche.

-Viennent ensuite les zones "sous le vent". C'est un régime tropical chaud à deux saisons; une saison plus chaude et très pluvieuse de Janvier à Mars, et une saison sèche et plus fraîche de Juillet à Novembre. Ceci caractérise le climat Ouest de l'île (station météorologique de Lenakel).

TROPICAL à SAISON SECHE

P = 1640mm
 E = 1320mm
 Excès P = 490mm
 Déficit P = 210 mm
 T = 24°C



- Climat de Lenakel, Tanna- Alt. 80m - Lat. 19°32 S

Figure 1.5.(Source Quantin, 1988).

1.2.3.3. Les réserves en eau.

Les rivières sont peu nombreuses malgré les précipitations importantes qui s'abattent sur l'île. On peut tout de même noter la présence d'un lac de retenue au Nord-Est du volcan: le lac Siwi, qui est alimenté par plusieurs rivières. Le niveau de ce lac varie en fonction de la saison et de la pluviométrie.

Il existe aussi plusieurs sources d'eau chaude dans la région du volcan, notamment à Port-Résolution et à Sulphur Bay. Les habitants d'Ipeukel utilisent certaines d'entre elles; en effet, ce sont les seuls points d'eau de la région. Ces sources sont souvent situées en bord de mer; l'étude hydrologique de Tanna n'est pas achevée.

Remarque: On associe quelquefois la variation du niveau du lac Siwi avec l'activité du Yasur; cette hypothèse est peu probable. Il apparaît plus vraisemblable que la quantité d'eau de celui-ci varie en fonction des précipitations, de l'ensoleillement, du vent et de l'évaporation.

1.2.3.4. Les sols.

Tanna est constituée en majorité par des andosols (65%) (Quantin, 1978). Ces andosols se répartissent en plusieurs classes (il existe en fait 2 grandes classes d'andosols: les andosols désaturés (peu fertiles) et les andosols saturés (très riches pour de nombreuses cultures):

-les andosols vitriques (17.5%) proches du volcan: ce sont des sols peu évolués. Ils occupent toute la caldera du siwi. Ils ont une fertilité potentielle moyenne à médiocre; La jachère sur ces terres se doit d'être respectée pour un bon renouvellement de la

matière organique. Il semble que cette règle de base soit de moins en moins prise en compte dans cette région compte tenu de la croissance démographique.

-les andosols saturés chromiques (17.5%). Ce sont des sols à profils bien différenciés. Ils sont localisés dans des conditions climatiques régulièrement humides (Centre Brousse, Sud Est). Ces sols sont très fertiles et très utilisés à Tanna. La partie superficielle a de très bonnes qualités tant physiques que chimiques. Ils sont très riches en sodium (Na), potassium (K), phosphore (P). Ils sont aptes à toutes les cultures tropicales.

-les andosols saturés mélaniques (12%) se situent sur la côte occidentale (Ouest) de Tanna. Ils sont très fertiles et de plus, possèdent une très bonne structure et une bonne texture; la rétention d'eau est suffisante pour la végétation. Ils sont aussi très riches en éléments fertilisants (Na, K, P). Les plantes à enracinement plus profond sont conseillées pour ces types de sols.

-les andosols désaturés (10%) apparaissent dans le sud de Tanna sur les hauts du mont Toukousmérôu et Meulen (altitude supérieure à 300m). Trois séries différentes ont été distinguées (Quantin, 1978).

Les sols fersialitiques (6%) sont caractéristiques de la zone climatique tropicale à saison sèche bien marquée. Ils sont représentés dans la partie nord de Tanna (sols fersialitiques sur calcaire rajeuni dans l'horizon humifère).

Viennent ensuite les sols peu différenciés sur la terrasse littoral, puis en minorité les sols minéraux bruts d'apport volcanique avec 1% de la surface de l'île (autour du cône éruptif) (Quantin, 1978).

En résumé on peut donc dire que l'île de Tanna est globalement très fertile. D'après les habitants de Tanna, "tout pousse sur leur île" (en temps normal bien évidemment).

Un inventaire de tous les types de sols est donné en annexe (annexe 1.4.).

Le climat, vu précédemment, et les types de sols sont les deux facteurs principaux qui influencent la végétation de l'île.

1.2.3.5. La végétation.

La flore de Tanna a été étudiée dès sa découverte par les botanistes qui accompagnaient J. Cook.

Elle paraît, d'après M. Schmid (1978), à l'exception du Toukousmérôu, pauvre et banale. C'est sans doute à cause de la jeunesse de cette île que les espèces n'ont pas eu le temps de se diversifier. L'île est en fait occupée par une majorité de formations secondaires (dues à la dégradation de l'homme). Ce sont les formations ligneuses et herbacées qui prédominent. Il y a aussi une présence importante de fourrés d'euphorbiacées et d'hibiscus.

Depuis le bord du volcan, sur le sol de cendre peu évolué, on peut voir quelques fougères arborescentes et quelques pandanus. On peut déjà remarquer une zone très affectée par le volcan, tout autour du lac Siwi; la végétation est presque inexistante. Ceci est dû d'une part au sol qui est composé de cendres non-altérées et, d'autre part, aux pluies acides dans de plus faibles proportions.

Les espèces caractérisant le mieux l'île sont les palmiers (veit chia), les fougères arborescentes (cyathea dicksonia) ainsi que le figuier banian.

1.2.4. Economie

L'île de Tanna a longtemps vécu en autarcie, jusqu'à l'arrivée des occidentaux qui ont instauré une économie de coprah. De nos jours la situation a changé; la seule grande exploitation de Tanna est le café (cofea arabica) qui s'exporte vers Port vila et Hawai (produit fini). Cette plantation n'est pas très rentable (cueillette des grains à la main) mais elle est de très bonne qualité. L'exportation du coprah n'est plus compétitive étant donné les mauvaises variétés de l'île.

L'autre grande rentrée d'argent pour Tanna est le tourisme (visite du volcan, "le plus accessible au monde", le dugong de Port Resolution, les chevaux sauvages, les villages traditionnels). Les touristes restent en fait 2 à 3 jours en moyenne pour voir toutes les attractions de l'île. Deux "Resorts" (hôtel) permettent d'accueillir les étrangers. Un effort est actuellement fait pour augmenter le tourisme de l'île (construction d'un aéroport et aménagement d'un hôtel à Port Résolution, construction de nouveaux gîtes).

Il y a une volonté des "man-Tanna" d'accroître la production vivrière en augmentant la surface de leurs exploitations et d'intensifier certaines cultures, mais le problème de trouver un marché reste posé.



2. VOLCANISME ET PHENOMENES METEOROLOGIQUES ASSOCIES

SUR TANNA .

"Ces terres, accablées de chaleur et de pluie, ou éprouvées par de longues sécheresses n'ont rien d'un nouvel Eden. La fraîcheur de l'alizé ne peut faire oublier le déchainement des cyclones et les lourds calmes tropicaux."

F. Doumenge, 1966.

Le nombre de victimes des catastrophes naturelles augmente régulièrement tous les ans de 6% dans le monde. Au cours des 20 dernières années, les catastrophes d'origine géologique (séismes, éruptions volcaniques, glissement de terrain et tsunamis) ont tué près de 3 millions de personnes et ont causé plus de 2 milliards de dégâts.

La décennie internationale de la prévention des catastrophes naturelles (de son sigle anglais I.D.N.D.R.) a été proclamée le 22 Décembre 1989 par l'Organisation des Nations Unies afin de réduire les pertes en vies humaines, les dégâts matériels et les perturbations sociales que causent ces catastrophes.

Les éruptions volcaniques sont à priori moins mortelles pour les hommes que les cyclones ou les séismes. L'UNESCO (Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture) a répertorié une centaine de volcans à hauts risques, et beaucoup sont situés sur le cercle de feu du Pacifique, dans les pays dits en voie de développement (Yasur n'en fait pas partie).

Tous les pays insulaires du Pacifique sont sous la menace de ce que l'on appelle les risques naturels majeurs, et le Vanuatu ne fait pas exception à la règle.

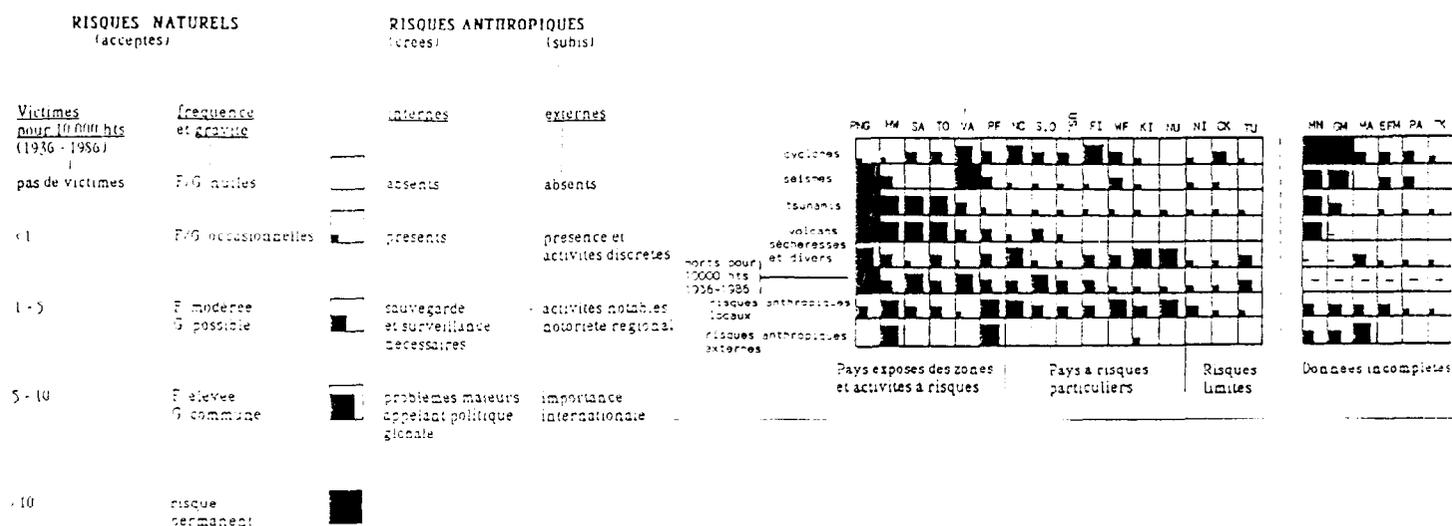


Figure 2.1. Les risques naturels dans le Pacifique Sud (Source: Atlas des îles et états du Pacifique Sud).

Le 12 Mai 1989, une délégation de Tanna est reçue par des scientifiques de l'ORSTOM en Nouvelle Calédonie:

-Aissac Wan (grand chef coutumier de Sulfur Bay, grand chef des John Frum, un des propriétaires terrien du Yasur), J.S.Kéassirai (député de Tanna) et Guytou Prévot (habitant de Tanna) étaient les membres de cette délégation (Mr Bonnemaïson, délégué dans le Pacifique à l'époque, les accompagnait).

Depuis le cyclone UMA en 1987, les cultures et les cocoteraies étaient très abimées et après de fortes pluies acides, des habitants de la région de White Sand en étaient réduits à consommer le coeur de jeunes fougères arborescentes.

Cette visite accélérerait la mise en place des propositions de l'ORSTOM pour un travail de surveillance du Yasur préparé en collaboration avec le gouvernement de Vanuatu de l'époque. Trente ans auparavant, H.Tazieff et les scientifiques qui l'accompagnaient n'avaient pu mener à bien leur mission.

2.1. LE VOLCANISME.

2.1.1. Les risques volcaniques.

Il existe en fait deux sortes de risques liés au volcanisme:

-les risques primaires liés directement au volcan.

-les risques secondaires qui sont la conjonction de plusieurs faits extérieurs (famine, incendie, coulées de boue, etc...).

D'après l'IAVCEI (International Association of Volcanologie and Chemistry of the Earth Interior), il existe 7 risques volcanologiques: les coulées de laves, les retombées de cendres et de blocs, les écoulements pyroclastiques (les 3 risques primaires), les gaz, les lahars (coulées de boue), les glissements de terrains et les tsunamis (les 4 risques secondaires).

Le risque volcanique peut se définir comme le produit de la fréquence des éruptions par l'intensité (Bardintzeff,1992). Cette intensité peut aller de l'éruption cataclysmale aux événements mineurs plus fréquents. Chaque édifice volcanique est unique: pour espérer le connaître un peu mieux, il faut retrouver son histoire et les événements majeurs de sa vie. La connaissance précise des dernières éruptions autorise une étude statistique qui peut alors permettre une extrapolation pour les années futures. Une carte des risques peut alors être mise en place pour chaque édifice avec plus ou moins de fiabilité.

Le Yasur est considéré comme un volcan "calme" et sans danger par les habitants de Tanna. De mémoire d'homme, il ne semble pas avoir tué. Seuls quelques touristes ont été légèrement blessés par des jets de pierres. Pourtant, on pourrait le comparer à une soupape de sécurité. La caldeira (ou caldera) du Siwi, moitié marine-moitié terrestre, est en fait assez dangereuse. Au cours de l'histoire (1878), il y a eu des soulèvements de plus de 10 m, ce qui est considérable. Le volcan en lui-même ne semble pas "dangereux". C'est le complexe de la caldeira dans son ensemble qui peut le devenir. En effet, une forte crise sismique ou un fort mouvement tectonique pourrait très bien provoquer, étant donnée la proximité de l'eau de mer et du magma, une explosion. La rencontre de ces deux éléments provoque la vaporisation de l'eau, le volume de gaz produit peut alors provoquer une éruption cataclysmale qui remodelerait le profil de l'île. Tout ceci reste hypothétique, mais il faut être conscient du danger qui est permanent et incontrôlable en l'état actuel.

2.1.1.1 Les gaz volcaniques.

C'est en 1951 que Rubey reconnaît l'origine volcanique de la majorité des gaz présents à la surface de la terre. Les gaz émis par les volcans aériens se composent essentiellement d'eau, (90 à 99%), de CO₂ (gaz carbonique), de SO₂ (dioxyde de soufre), d'HCL (acide chlorydrique), d'H₂ (dihydrogène) et d'H₂S (acide sulfurique). Le CO₂ est négligeable dans la plupart des éruptions. Le SO₂ quant à lui peut être présent parfois à un taux 1000 fois plus important que dans l'atmosphère (ses propriétés optiques permettent un suivi par télédétection).

Il est à noter que cela ne représente que quelques pourcents du SO₂ atmosphérique. Il s'oxyde en H₂SO₄ à haute température , pendant les premières étapes du mélange gaz-air. H₂SO₄ est alors très soluble dans toutes les phases liquides de l'air (pluie, brouillard).

Le SO₂, au même titre que le polonium et que l'hélium, est utile en tant que marqueurs. En effet, les magmas contiennent de nombreux éléments radioactifs (notamment l'uranium 238) et ses descendants (Cf annexe 2.1.). Il doit exister dans ceux-ci un équilibre radioactif (activité des éléments d'une même famille radioactive égale). Quand il y a un dégazage du magma, l'équilibre est rompu et la quasi totalité du polonium est émise (celui-ci est très volatile à la température du magma, à 1000°C environ).

Remarque: l'absence d'éléments radioactifs dans un panache indique que les gaz ne proviennent pas directement du magma (Gif sur Yvette, France, Centre des Faibles Radioactivités).

Un pompage de l'air va être mis en place à Lénakel, au sud-ouest de Tanna.

Remarque: il existe plusieurs méthodes pour l'échantillonnage des panaches. Deux de ces méthodes sont données en annexe 2.2.

Le flux de SO₂ en 1990 a été estimé à 1200 +/- 600 tonnes/jour (5 à 10ppm dans le panache par beau temps, alors que la dose acceptable par la WHO (World Health Organisation) est de 0.02ppm (Lardy M et Marty B, 1990). Ce serait apparemment la cause chimique de la mort des plantes. Regardons comment naissent les pluies acides.

2.1.1.2. Conséquence de ces gaz: les pluies acides.

L'eau de pluie n'est pas pure, et elle peut être parfois polluée. Cette eau contient des ions dissouts (en concentration plus faible que l'eau des rivières), leur poids variant de 10 à 20 mg/l: il s'agit du potassium, du sodium, du calcium, du magnésium, du sulfate et des chlorures.

PRINCIPAUX GROUPES DE SUBSTANCES
POLLUANT L'ATMOSPHÈRE

Polluant	Source
Gaz	Anhydride carbonique { Volcanisme Respiration des êtres vivants Combustibles fossiles
	Oxyde de carbone { Volcanisme Moteurs à explosion
	Hydrocarbures { Plantes-Bactéries Moteurs à explosion Accidents (incendies)
	Composés organiques { Industries chimiques Incinération d'ordures Combustions diverses
	Anhydride sulfureux et autres dérivés soufrés { Volcanisme Embruns marins Bactéries Combustibles fossiles
	Dérivés nitrés { Bactéries Combustions
	Radionucléides { Centrales atomiques Explosions nucléaires
Particules	Métaux lourds { Volcanisme - Météorites Érosion éolienne - Embruns
	Composés minéraux { Industries diverses Moteurs à explosion
Particules	Composés organiques naturels ou de synthèse { Incendies de forêt Industries chimiques Combustions diverses Incinération d'ordures Agriculture (pesticides)
	Radionucléides { Explosions nucléaires Accidents nucléaires

Figure 2.2.

Mais la composition chimique de l'eau est déterminée principalement par ce qu'on appelle les aérosols (petites particules solides de l'ordre du micron (millième de millimètre) transportées par l'atmosphère). Ils peuvent être formés de sels marins, des poussières du sol ou bien de particules biologiques (bois mort, cendres) et de particules émises par les éruptions volcaniques.

Dans un nuage, l'eau est présente sous les formes solides, liquides et gazeuses, avec de multiples changements de phases à l'intérieur même du nuage. La pluie se déclenche alors grâce à "un phénomène de nucléarisation" autour des particules d'aérosols qui catalysent la réaction. Les microgouttes s'agglomèrent les unes aux autres et la goutte tombe: c'est la pluie. La durée de vie d'une goutte est d'environ une heure.

Ce n'est que pendant sa phase liquide que l'eau acquiert ses propriétés chimiques: la pluie nettoie le nuage en entraînant les aérosols et les poussières. Certains aérosols sont plus nocifs que d'autres, notamment ceux qui sont constitués de composés soufrés, de nitrates ou de phosphates. Les oxydes de soufre par exemple réagissent avec l'eau pour donner de l'acide sulfurique (les nitrates et phosphates donnent respectivement des acides nitriques et phosphoriques). Ce sont ces acides qui rendent l'eau de pluie acide.

Remarque: L'Etna est un des volcans dans le monde qui semble produire le plus de SO₂. La production mondiale d'origine anthropique (centrales,...) est en constante augmentation depuis 1960 et est estimée à 90.000 tonnes par an. Ceci représente environ 70% de la production totale, le reste étant du aux phénomènes naturels.

Les pluies acides sont un danger pour l'homme et son environnement: elles attaquent tous les tissus vivants, elles acidifient les champs, les forêts, les lacs, les rivières, et elles dégradent les constructions (10 à 20 fois plus vite qu'à la normale).

Dans le cas de Tanna, c'est une pollution "naturelle", mais dans les régions industrialisées, les deux principales causes des pluies acides sont les oxydes de soufre et d'azote (traitement des minerais sulfurés, combustion des charbons, combustion de l'essence). La durée de vie des oxydes de soufre et d'azote dans l'atmosphère est de quelques jours, ce qui leur permet de franchir des distances allant de 200 à 2.000 km.

Les dégâts occasionnés par les pluies acides sont en fait dus à plusieurs facteurs; les pluies sont corrélées aux précipitations qui traversent le panache d'une part, et de la vitesse et la direction du vent d'autre part. La force du vent et l'intensité de la pluie détermineront le degré de pollution (la concentration de l'acide étant plus ou moins élevée). Sur Tanna, la région la plus touchée est située sous le vent et à proximité du cône actif.

2.1.2.Le Yasur.

"Autrefois, il n'y avait pas de volcan. Le volcan était dans une autre île. Un jour, il est arrivé sur l'île de Tanna pour pouvoir exercer son travail. Il chercha alors un endroit idéal. Il arriva alors à white Sand comme un vieil homme et rencontra deux femmes en train de mettre un lap-lap dans un four en le recouvrant de cailloux et de terre. Il leur dit: "Eh vous deux, j'ai très froid". Tout de suite, il creusa un trou dans le four où la terre est encore chaude. Il se plaça dans le trou et se recouvrit à nouveau de terre. Il mit ensuite un bambou dans le fond du four qui éclata brusquement. Il attrapa les deux femmes et les mit dans le trou. C'est depuis cette histoire que l'on sait qu'il y a deux femmes dans le volcan: l'une s'appelle Sapai et l'autre Naunga"

(Recueillie en bichlamar auprès du chef Aisaac Waan. Traduction de Sam Chanel).

2.1.2.1.Historique de l'activité du Yasur.

"...une colonne de fumée sortait de là par coup régulier, comme si elle était lachée par un fumeur de pipe."

P.Diolé,1966.

Pour essayer de comprendre le mécanisme d'un volcan, il est nécessaire de bien connaître son histoire. C'est en fait les cycles et les dynamismes des éruptions passées qu'il est intéressant de retrouver.

Le Yasur est un petit strato-volcan basaltique très actif d'une hauteur de 365m. Son diamètre à la base est d'environ 3km et, à ses pieds, s'étend le lac Siwi (lac de retenue). Le cône pyroclastique est asymétrique. Au nord, on trouve une plaine de cendre à l'aspect lunaire.

Il semble que le début de l'activité du Yasur (d'après des datations au carbone 14) se situe autour de 800/1.400 ans avant J.C (Quantin, 1978).

Mais avant cela, toute la zone de la caldeira devait être active (la présence d'anciens cône actifs comme l'Ombus en sont la preuve). Dans l'environnement proche du cône, on a pu trouver jusqu'à 8m d'épaisseur de cendres qui forment des andosols plus ou moins différenciés (Quantin, 1978).

+ De 1774 à 1840.

Le 5 août 1774, James Cook et son équipage découvrent Tanna, attirés par "une grande lumière" qu'ils apercevaient sur cette terre (Cook, 1774). Il débarque à Port-Résolution. L'activité du volcan semble à cette époque assez intense avec des explosions " toutes les 5 mn" et de fortes éjections de cendre. Cook remarque aussi qu' "une pluie abondante semble lui donner encore plus d'activité" (transformation de l'eau liquide en vapeur d'eau).

La première grosse éruption est répertoriée en 1840 (environ), d'après le témoignage d'un habitant d'Anatom (Eissen, Louat, 1991).

+ De 1840 à 1900.

A partir de 1842, les missionnaires arrivent sur Tanna. C'est aussi l'époque du commerce du Santal et du "black birding". On a alors un peu plus de témoignages écrits avec cette présence "blanche".

En 1854, une forte éruption a détruit des huttes et des jardins. Les années 1862, 1863 et 1864 semblent être beaucoup plus calmes (Eissen, Louat, 1991).

En 1865, Brenchy note que l'activité du Yasur est beaucoup plus forte en Janvier, Février et Mars, ou quand la pluie tombe (encore la vapeur d'eau) (Campbell, 1889).

Mars 1875, le Yasur paraît plus actif, ceci semble en relation avec une crise sismique (Inglis, 1887, p193).

Au cours de l'année 1878, Tanna fut secoué par de forts tremblements de terre et une coulée de lave est sortie du flanc. Un glissement de terrain provoqué par un fort soulèvement obstru partiellement Port Résolution (au sud, Cf carte 2.1.).

De fortes éruptions sont enregistrées entre Janvier et Mars 1887 par Gray (Gray, 1895), avec une activité particulièrement forte le 28 Mars.

L'année suivante, en Avril, une forte éruption est enregistrée. Le mois de Décembre est aussi très actif. Les années 1889, 1890 et 1891 enregistrent une activité assez intense, toujours supérieure en Janvier, Février et Mars. L'année 1892 semble plus calme.

Aucun évènement majeur n'a été répertorié ensuite jusqu'en 1919.

+ De 1900 à 1956

C'est le début de la période du condominium Franco-Britannique (qui se poursuivra jusqu'en 1980).

Seul un glissement de terrain sur le flanc Nord Ouest (1919) et le témoignage de Taylor en 1951 ont été répertoriés (30 explosions par heure).

En 1934, 1935 et 1936, les Nouvelles Hébrides furent visitées par Aubert de la Rüe. Celui ci donna une excellente description du Yasur et de son activité. En voici un extrait: "L'activité du Iahue (autre nom du Yasur) est caractérisée par des phénomènes explosifs se produisant dans le cratère (...). Ces violentes explosions donnant lieu à d'abondantes émissions de cendre, produisent une vive lueur et une forte déflagration(...). Le volcan de Tanna passe par des phases de plus ou moins grande activité, mais ces paroxysmes ne sont jamais dangereux et on n'a pas le souvenir qu'il ait fait la moindre victime" (*Iles de cendre et de corail*, 1956).

+ De 1956 à 1980.

C'est en 1956 qu'est créé le "New Hebrides Geological Survey". De 1956 à 1964, l'activité paraît normale, on enregistre une variation du nombre d'événements actifs (13 en 1959 pour 5 en 1960 et 1 en 1963). En raison de fortes pluies, le flanc Nord-ouest fait l'objet d'un glissement de terrain (50.000 m³) (N.H.G.S. Ann. Rep. for 1975; Bull. Volc. Erupt., 1977).

On note une augmentation de l'activité en Avril 1964. De 1965 à 1974, l'activité varie; 1968 est une année de forte activité (dépôts de cendres importants, et des dégâts dans les jardins sont constatés). Il est rapporté que les mois de Janvier à Avril sont toujours plus actifs. La structure interne du cratère évolue de manière permanente (nombre d'événements, apparition d'un petit lac de lave, éboulements...).

Hemming (1976) signale 1975 comme très active. 1976 est calme, 1977 en forte activité: cendres, projections de bombes hors du cratère (N.H.G.S. Ann.Rep.for 1977; Bull. Volc. Erupt., 1979).

+ De 1980 à 1992.

A partir du 30 Juillet 1980, les Nouvelles Hébrides deviennent indépendantes, et le "New Hebrides Geological Survey" devient le "Geology, Mines and Rural Water Supply Department".

On ne note pas d'observation faisant état d'une forte activité jusqu'en 1987 (année du cyclone UMA); année où l'on observe de fortes émissions de cendres accompagnées de pluies acides.

En 1988, une expertise est conduite par une équipe Néozélandaise, suite aux problèmes causés par le volcan sur la végétation.

En 1989, on peut parler de retour "à la normale" (Lardy et Willy, 1989).

En 1990 l'activité est toujours soutenue, de fortes émissions de gaz sont constatées en Septembre. (Lardy et Marty, 1990)

2.1.2.2. L'expertise Néozélandaise et leurs conclusions.

En 1988, le gouvernement de Vanuatu sollicite une expertise du Yasur auprès de la Nouvelle Zélande. Une équipe du DSIR (**D**ept of **S**cientific and **I**ndustrial **R**esearch) réalise une mission du 6 au 14 Septembre 1988. Les effets de la forte activité de 1987, complétés par les perturbations causés par UMA, auxquelles s'ajoutent celles du cyclone BOLA en 1988 rendent la situation agricole particulièrement critique dans la région de White Sand. L'étude fait ressortir l'importance des facteurs climatiques associés à l'activité volcanique.

De ce rapport ont été tirés plusieurs conclusions.

-Le panache au cours de la mission semblait être supérieur à la normale

-Les dommages causés à la végétation sont dus d'une part aux cyclones, et d'autre part aux pluies acides. Une intrusion de nouveau magma dans la chambre magmatique pourrait être à l'origine de cette nouvelle manifestation. Ceci aurait alors provoqué un dégazage massif de SO₂. Cette conclusion a été faite en comparaison avec le Masaya (Nicaragua), qui provoquait les mêmes dégâts avec les mêmes symptômes. Le dégazage de ce dernier a été estimé à une durée de 25 ans avec une baisse du taux de SO₂ de 9% par an (pour le Masaya). Cela est-il applicable au Yasur ?

Les chercheurs Néo-Zélandais ont conseillé une surveillance permanente du Yasur en réalisant si possible:

(1) une mesure du SO₂ dans le panache.

(2) des mesures sismiques permanentes (à corrélérer avec (1)).

(3) des mesures météorologiques (à corrélérer avec (1)).

La visite d'une délégation de Tanna en 1989 à Nouméa allait confirmer l'importance du problème.

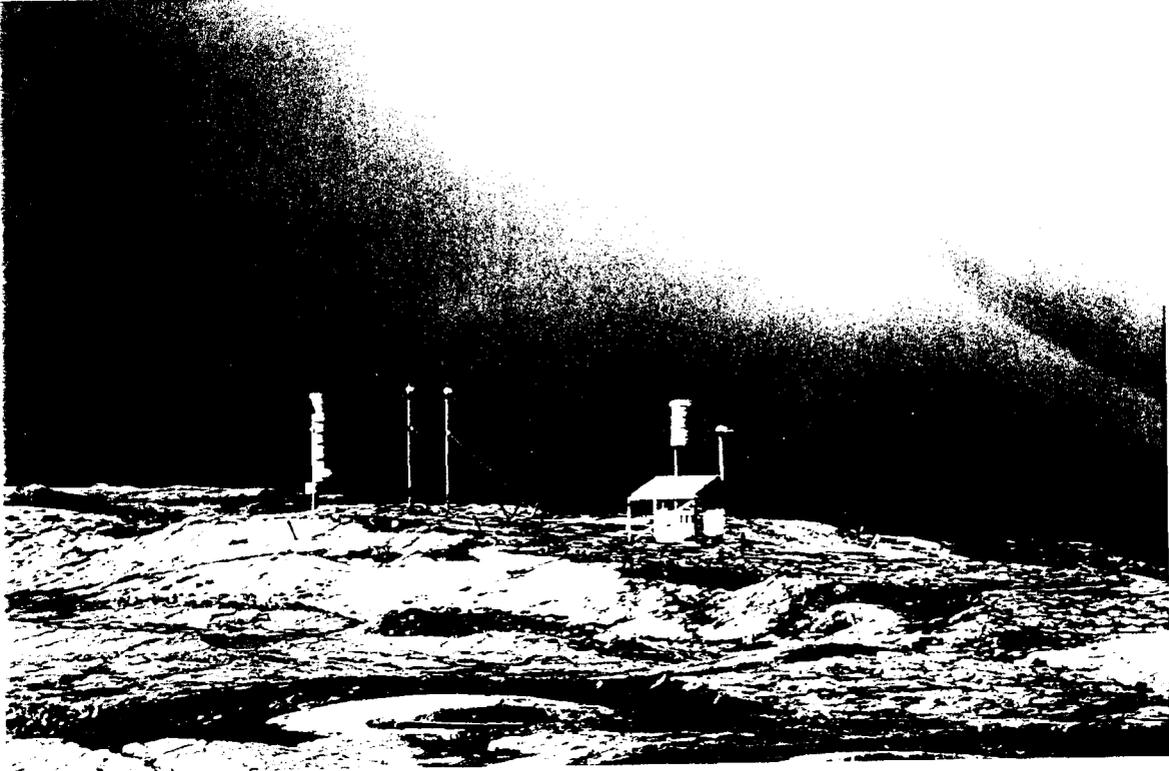


Photo n°1. Station de Nayanamakel.

2.1.2.3. Etude et surveillance du Yasur-Activité récente.

+ Un système d'étude et de surveillance.

Après les premières mesures de sismicité de 1958 (Tazieff, Blot), la campagne d'expertise des Néozélandais en 1988, un système de surveillance volcano-sismo-météorologique est mis en place à la fin de 1992 par l'ORSTOM.

Des données météorologiques (températures, direction et force du vent...), sismologiques et de flux thermiques sont enregistrées et transmises six fois par jour par le satellite ARGOS vers Port-Vila et vers Toulouse (centre de distribution des données). L'annexe 2.3. donne le cheminement des données.

Deux stations ont été initialement installées: une dans la zone sommitale, une à 2 km du cratère dans la plaine de cendres. Trois stations de mesures pluviométrique complètent ce dispositif et assurent également la collecte des eaux de pluies pour analyses.

+ Activité récente

Depuis Octobre 1993, on enregistre une augmentation de la sismicité. Un fort séisme régional (29/12/93) est enregistré. En Janvier, le Yasur émet d'importantes quantités de cendres (4cm environ, à quelques km du cône) et des bombes (plus de 100 kg parfois) sont éjectées du cratère. L'activité est toujours très soutenue tout au long des premiers mois de 1994.

2.1.3. Synthèse.

On considère d'une façon générale que l'activité du Yasur perdure depuis J.Cook, qu'elle passe cycliquement par des phases plus nerveuses, avec de fortes émissions de gaz, de cendres et de bombes éjectées du cratère.

Beaucoup d'observations font ressortir un accroissement de l'activité entre Janvier et Avril, vraisemblablement en rapport avec la saison des dépressions. Un régime de 10 à 20 explosions par heure semble "normal".

Un suivi permanent devrait permettre une mise en évidence de phénomènes cycliques.

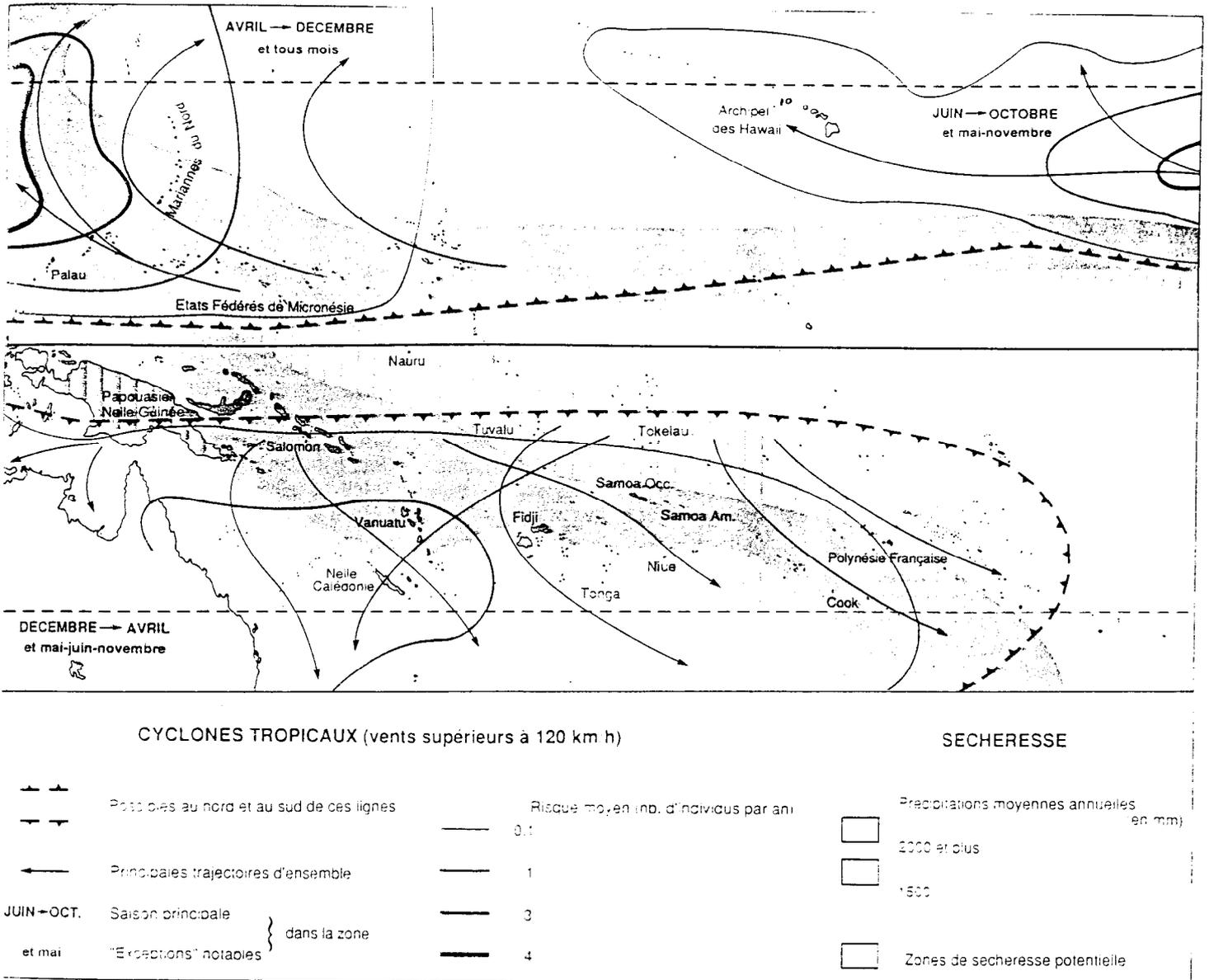
Certains "man-Tanna" parlent d'un vieux volcan fatigué dont il ne faut rien craindre.

Les problèmes agricoles sont vraisemblablement la conjonction de l'activité volcanique associée aux pluies, propagées par le vents et aggravés par les cyclones.

2.2. LES PHENOMENES METEOROLOGIQUES ASSOCIES.

La météorologie est la science des phénomènes atmosphériques qui déterminent le temps. Il semble que la pluie et le vent aient un rôle plus ou moins direct en relation avec l'activité du Yasur et ses conséquences.

Nous allons donc essayer d'analyser successivement à travers les données météorologiques du VMS (Vanuatu Meteorological Service), les problèmes liés aux cyclones, aux pluies, au vent, voire à la sécheresse qui affectent Tanna.



Carte 2.1.: Risques naturels dans le pacifique Sud (source: Atlas des îles et états du Pacifique Sud).

2.2.1. L'activité cyclonique.

C'est surtout dans l'ouest de l'océan Pacifique que l'on voit se développer saisonnièrement les dépressions mobiles pouvant devenir des cyclones tropicaux dévastateurs. Ils apparaissent surtout en été, du fait des contrastes de températures, ce qui fournit l'énergie nécessaire à la naissance de ceux-ci (de la mi-Novembre à la mi-Avril). Les cyclones décrivent des trajectoires variées, mais la tendance les conduit vers les latitudes moyennes (du Nord Ouest au Sud Ouest). Il existe 3 grands foyers entre les 5^{ème} et 15^{ème} parallèles sud: au Nord Ouest de la mer de corail (sud de la Papouasie), au sud des îles Salomon, et au nord des îles Fidji (entre le sud des Ellices et Rotuma)(Cf carte 2.1.).

Les cyclones tropicaux sont en fait des dépressions où la vitesse du vent moyenne est égale ou supérieure à 64 noeuds (1 noeud= 1 mille marin par heure soit 1km 609 par heure). Les dégâts sont principalement liés à l'action du vent, aux fortes précipitations, aux marées (augmentation de la hauteur d'eau à cause de la baisse de la pression atmosphérique) et aux tempêtes résultant des forts vents. Les régions les plus montagneuses sont exposées à des crues rapides accompagnées parfois de glissements de terrain et d'une érosion des sols. La figure 2.2. résume les différents dommages causés par un cyclone.

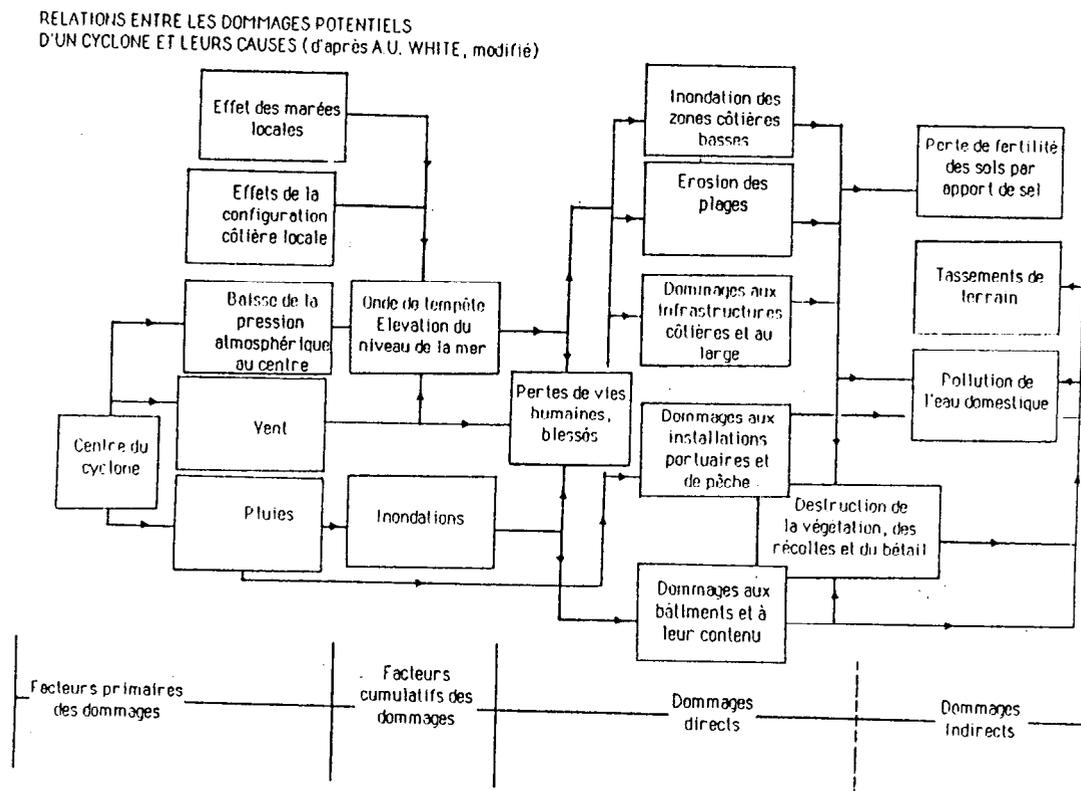


Figure 2.3. (Source: C.T.R.C.P., 1988).

C'est la mer qui a les effets les plus meurtriers: la submersion des zones côtières est, dans certains atolls du Pacifique, une vraie calamité.

Les plus gros cyclones tropicaux ayant affecté Tanna ces dernières années sont UMA et BOLA respectivement en 1987 et 1988. (C'est depuis la deuxième guerre mondiale

CYCLONES AYANT AFFECTES TANNA.

1942	(25 Fév-8Mars)	:Entre Anatom et Tanna.
1947	(11-14 Janv)	:Juste à l'ouest de Tanna.
*		
1975	(13-21 Janv)	:Entre Erromango et Tanna.
1976	(16-19 Avril)	:IAN passe à l'Ouest de Tanna.
1977	(12-21 Janv)	:MARION passe à l'ouest de Tanna.
	(9-24 Mars)	:NORMAN passe entre Erromango et Tanna.
1979	(29 Janv-5 Fev)	:HENRY passe à l'Est de Tanna.
1985	(16-21 Janv)	:ODETTE passe sur la partie Sud de Tanna.
1986	(8-14 Fev)	:KELI passe sur la partie Nord de Tanna.
	(2-11 Mars)	:LUSI passe entre Anatom et Tanna.
1987	(4-11 Fev)	:UMA ravage Tanna en passant sur toute la côte Est.
1988	(24-25 Déc)	:ESETA passe au Sud de Tanna.
1991	(10-13 Mai)	:LISA passe au Sud de Tanna.
1993	(26-30 Avril)	:PREMA passe à l'Ouest de Tanna.
1994	(Janvier)	:SARAH passe au Nord Ouest de Tanna.
1994	(25-27 Mars)	:USHA passe juste au Nord Est de Tanna.

*La liste des cyclones ayant affecté la région de 1947 à 1975 n'ont pas été pris en compte.

Figure 2.3.bis

que les cyclones portent un nom:). UMA est une "référence" sur Tanna car il a été d'une rare violence (une soixantaine de morts sur l'ensemble de l'archipel).

Les cyclones sont les catastrophes naturelles les plus meurtrières au Vanuatu (23 Décembre 1951: mort de 50 personnes sur Epi et de 49 sur Ambrym).

Le Vanuatu a conçu un plan d'urgence en cas de catastrophes à la suite du passage de ERIC et NIGEL en 1985, se dotant à la même date d'un comité de secours et de reconstruction.

Une chronologie détaillée (figure 2.2.bis) résume les cyclones qui ont affecté Tanna depuis quelques années (quelques trajectoires sont données en annexe 2.4.).

2.2.2. La pluviométrie.

L'eau est l'élément indispensable à toutes activités biologiques, elle véhicule les matières dissoutes indispensables à la croissance des plantes, et intervient dans les tissus végétaux, dans les échanges énergétiques. La pluie est un facteur écologique primordial en zone tropicale car elle régit le type de végétation et son dynamisme par l'alimentation directe. Elle régit aussi les genèses pédologiques et les faciès d'érosions.

2.2.2.1. Méthodologie.

La pluviométrie sur Tanna est mesurée à trois endroits différents:

-A l'ouest, la station de Lénakel enregistre les données depuis 1958.

-Au nord, la station "d'Imnakayip Coffe development" enregistre les données depuis 1984.

-Autour du Yasur (région de White Sand), 5 stations enregistrent les données et récupèrent la pluie depuis 1991 (4 depuis Novembre 1991, et une supplémentaire depuis Avril 1992).

Ce sont ces trois mêmes régions qui sont retenues dans la troisième partie de ce mémoire, pour l'analyse des perturbations sur la végétation. On s'attardera dans les trois sites sur les dernières années, beaucoup plus riches en données, et sur l'évolution depuis 1959 (station de Lénakel ou Burtonfield). Ceci nous permettra de faire également ressortir les périodes de sécheresse.

2.2.2.2. Résultats.

Quand on regarde les données récoltées depuis 1959 à la station de Lénakel (aéroport), on s'aperçoit qu'il y a eu, au cours du temps de fortes variations de quantité de pluies.(Cf annexe 2.5. pour tous les tableaux des précipitations).

De 1959 à 1963, la pluviométrie annuelle est comprise entre 1.810 mm et 2.080 mm, ce qui est relativement fort. On a ensuite une période de pluviométrie moyenne jusqu'en 1973 (entre 1.300 et 1.600 mm) avec toutefois un maximum en 1971 (2.200 mm). La pluviométrie restera moyenne à faible jusque dans les années 1987 avec deux maxima en 1974 et 1975 (1.909 et 1.916 m).

1988 et 1989 seront les deux dernières années de pluviométries fortes. En effet, les années qui suivent ont été particulièrement sèches avec notamment un minimum en 1993 (598.3 mm soit la moitié par rapport à la moyenne entre 1973 et 1994 !).

Affinons maintenant sur les trois dernières années 1992, 1993 et 1994.

La première de ces trois années, avec des précipitations annuelles de 789.5 mm est bien au dessous de la moyenne de ces dernières années (1196.7 mm). Un début d'année dans la moyenne (Mars Avril) se transforme en année plus sèche jusqu'en Décembre avec de très faibles pluies d'août à Novembre (on plante les ignames en Juillet-Août.). La pluviométrie de ces deux dernières années est complétée par les enregistrements des 5 stations de la région du Yasur donnés dans le tableaux ci-dessous.

PLUVIOMETRIE : REGION DU YASUR (TANNA) EN Cm

LIEU /Altitude	PORT-RESOL	YASUR	NAYANAMAKEL	LOONIEL	LONVIALU
DATE	40m	300m	100m	200m	550m
11/11/91	ON	ON		ON	ON
31/12/91	9,5	15,8		12,5	15,5
4/04/92	40	76,2	74	73,5	36,5
10/04/92			ON		
23/05/92	14,4	38,8	8,7	21,7	15,6
1/10/92	/	56,2	48,1	38,4	44,2
12/11/92	0	0	0	0	0
31/12/92	5	0	11	10	11
Somme1992	59,4	171,2	141,8	143,6	107,3
27/04/93	29,5	/ *	* 81,5	79,8	68,3
10/06/93	15,9	21,2	21,8	21,8	19,2
7/10/93	22	37,4	34,9	32,8	26
31/12/93	20	20	21	20	20
Somme1993	87,4	78,6	159,2	154,4	133,5
12/01/94	29,5	65,1	32,8	43,1	0
9/03/94	* 40,8	/	* 37,7	* 31,7	18,1
4/05/94	17	/ *	73,4	51	26
7/07/94	13	12	16,4	15,9	10,8
Somme1994	100,3	/	160,3	141,7	54,9

Légende : / : Problème de fonctionnement

0 : Pas de pluie

* : Cendre, débouchage

ON : Mise en service

Tableau 2.1.

A Port Résolution, au Sud on enregistre respectivement 694 et 874 mm pour les années 1993 et 1994, ce qui paraît être du même ordre de grandeur que les données de la station météorologique de Lénakel.

A proximité du Yasur, on enregistre des pluies plus importantes:(1418, 1592 mm en 1992 et 1993 .

Les stations de Looniel et de Lonvialou enregistrent aussi des précipitations importantes

1436 et 1544 mm pour Looniel en 1992 et 1993.

1073 et 1335 mm pour Lonvialou en 1992 et 1993.

Le "lessivage" du panache est fait par la pluie, mais il est difficile d'en apprécier directement l'impact. Nous avons calculé les durées des pluies en 1993 et début 1994, vérifié la direction des vents le tout associé à une estimation de l'activité du volcan. C'est du croisement de ces données qu'il semble possible de dégager une estimation de la pollution causée par les pluies acides. Toutefois, l'évolution de la composition des gaz contenus dans le panache n'est pas connue.

Ci-dessous sont présentés les résultats de l'analyse sous forme de graphique.

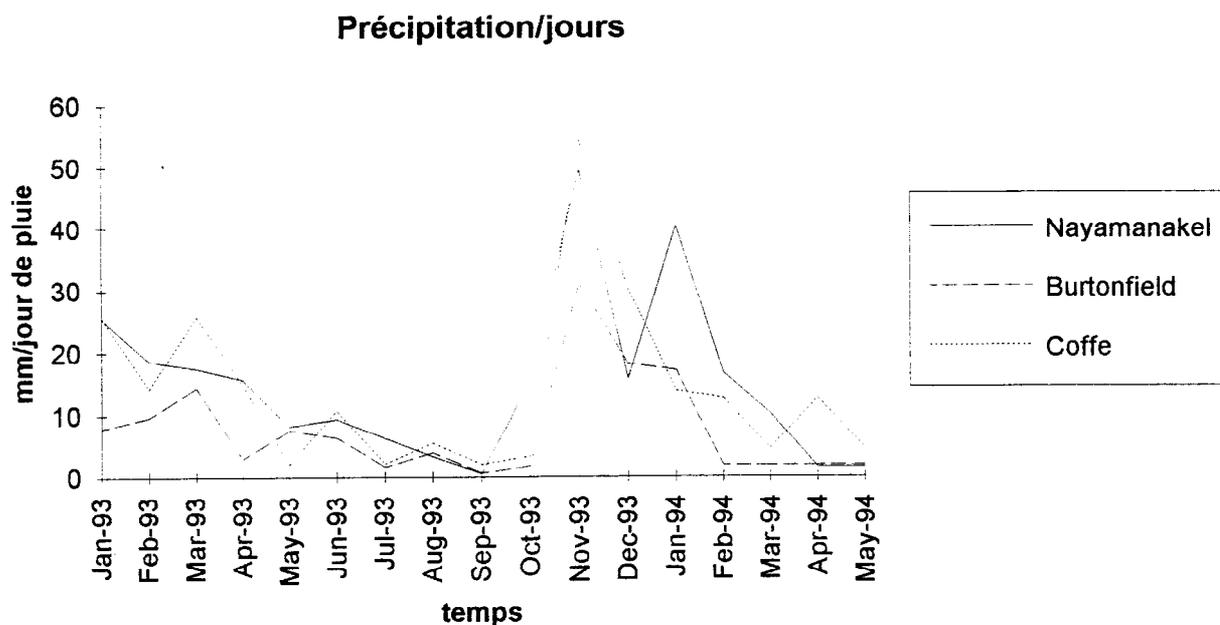


Figure 2.4.: Précipitation par jour de pluie sur Tanna.

Prenons par exemple la station de Nayanamakel.

En 1993, les précipitations par jour de pluie ont été assez faibles (inférieures à la moyenne 1.7 mm/jour de pluie) en Mars et Avril (1.8 et 1.6 mm/jour de pluie), la pluviométrie en début d'année étant beaucoup plus intense. L'intensité sera faible à très faible (relativement à la moyenne) tout le long de l'année, avec une hausse à la saison humide (Décembre, 2.2 mm/j). Le début 1994 apparaît nettement plus pluvieux avec des intensités moins fortes en Avril et Mai (1.4 mm/jour de pluie), dates où les problèmes ont commencé à se faire ressentir.

Sur le graphique ci-dessus apparaît nettement la faible pluviosité de Burtonfield par rapport aux deux autres stations.

La station "coffee development" a enregistré, sur une période de 9 ans (1975-1993) une moyenne annuelle de 2729.9 mm., ce qui est très largement supérieur à la station de Burtonfield (ou Lénakel) avec 1196.7 mm (de 1973 à 1994).

On remarque des années très pluvieuses en 1985 et 1988 avec des précipitations de 4107.8 et 4253.2 mm.

On constate depuis deux ans une pluviométrie annuelle en baisse.

2.2.2.3. Synthèse. Discussion.

On constate donc la très inégale répartition de la pluie sur Tanna: les plus faibles précipitations se font sentir à l'ouest et voire au Sud de l'île alors que la région du Yasur est moyennement arrosée (Sud-Est) .

La station du Nord (côte Est) bat tous les records avec des maximums à plus de 4.000 mm.

Dans tous les cas, les précipitations sont maximums en fin et en début d'année, ce qui correspond à la "saison des cyclones" (exemple: en Février 1987, 574 mm sont tombés au Nord et 511.6 à l'Ouest avec le passage du cyclone UMA).

Depuis l'année dernière, Tanna subit donc une petite sécheresse qui semble, nous le verrons dans la partie suivante, gêner ses habitants, surtout à l'ouest (site ③). La partie sud de l'île, malgré une moindre pluviosité n'a aucun problème du même genre (hors panache), le panache n'étant dirigé qu'exceptionnellement dans cette direction.

Les données enregistrées (durées des précipitations à proximité du volcan laisse supposer une possible corrélation entre l'intensité des pluies et la pollution apportée par celles-ci.

Pour une surveillance encore plus fine, une série de pluviomètres va être installé dans d'autres endroits de l'île (Sulfur Bay, Isangel, Ouest de White Sand).

Un des autres facteurs important est également le vent qui intervient dans la direction et la vitesse de déplacement du panache.

2.2.3. Le vent.

2.2.3.1. Méthodologie.

Le vent modifie le régime normale des pluies par apport d'air sec ou humide. Il s'ajoute parfois à l'effet des embruns, en affectant légèrement la végétation en bordure des côtes.

Le volcan dégage presque continuellement des gaz qui s'échappent dans l'atmosphère. Une fois en dehors du cône, ils prennent la direction donnée par le vent. Il est donc important d'enregistrer les directions du vent.

Nous avons à notre disposition deux stations qui mesure les directions des vents: la station de Burtonfield (V.M.S) et la station de Nayamanakel (ORSTOM).

Nous avons vu dans la première partie que les vents dominants étaient surtout orientés Sud-Sud Ouest. Voyons plus en détail les directions privilégiées.

D'après les renseignements collectés sur le terrain, des problèmes sur les récoltes ont été ressentis en Mai et en Juin 1993 (cumalas, ignames), ainsi qu'au début de l'année 1994 (Février-Mars). Il semblait donc judicieux d'établir une carte des vents axée sur 1993 et 1994, et en particulier sur les mois concernés.

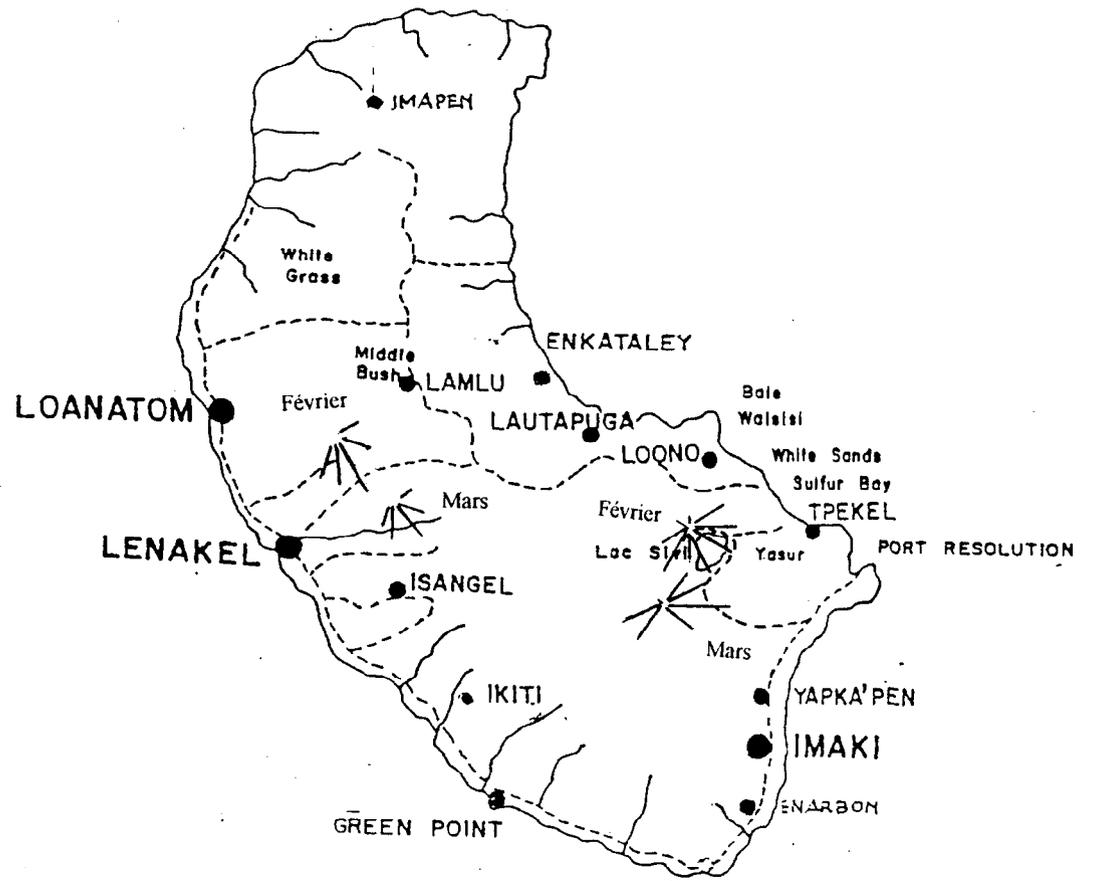
2.2.3.2. Résultats.

D'après les données récoltés depuis 1985 (station de Burtonfield, annexe 2.6.), on peut dire que la direction du vent varie de Nord-Est à Sud-Est, avec une récurrence pour la tranche 110°-130°.

Les vents de direction Sud (180°) sont moins importants, à l'exception de l'année 1987. La direction Est (90°) est aussi parfois dominante sur les années 1985 et 1986.



Carte 2.2.: Carte des vents pour 1993.



Carte 2.3.: Carte des vents pour 1994.

*1993.

On peut voir cette année 4 grandes directions privilégiées (Cf carte des vents). En degrés centigrades, on a pour le mois de Mai un maximum entre 80° et 100° (27%) et un fort pourcentage pour les vents venant d'un peu plus au sud (18% pour la tranche 110-130). On atteint presque les 15% pour les valeurs comprises entre 170 et 220 degrés. Le mois de Juin a quand à lui un maximum pour la tranche 200-220 (20%). Viennent ensuite les vent d'est (80-100, puis les tranches 110-130 (16%) et 170-190° (16%).

La vitesse du vent, pour cette période reste assez stable avec des maximums les 12, 22, et 27 Mai ainsi que les 15, 23 et 24 Juin (station Nayanamakel).

*1994.

Les problèmes agricoles se sont faits ressentir dès le début de l'année. Regardons comme pour l'année précédente la direction privilégié des vents pour les mois de Février et Mars. On a des maximums dans la tranche 80-100 degré (17.3%) alors que les tranches 50-70, 200-220, et 220-250 sont environ à 14%.

La vitesse du vent au cours de ces deux mois a plutôt été stable avec des maximums les 12 Février et entre le 24 et 25 Mars (Cyclone USHA).

2.2.3.3. Synthèse.

Les vents dominants qui représentent en moyenne 60% pour les deux périodes considérées poussent le panache dans des directions majoritairement comprises entre 90° et 180° ce qui place les trois sites tests sous le panache. Les dépôts de cendres et pluies acides affecteront particulièrement ces régions; on observe d'une façon générale une décroissance de la pollution avec l'éloignement.

2.3. REPERCUTIONS SUR LA COMPOSITION DE L'EAU METEORITE ET RELATION ENTRE CES PHENOMENES.

Les cinq stations de mesures de pluviométrie sont des totalisateurs répartis autour du Yasur; un au vent dominant en dehors du panache (sauf vent du secteur Nord) et 3 autres sous le panache. Une dernière se trouve à proximité du sommet à l'abri des vents dominants (Cf carte 2.4.).

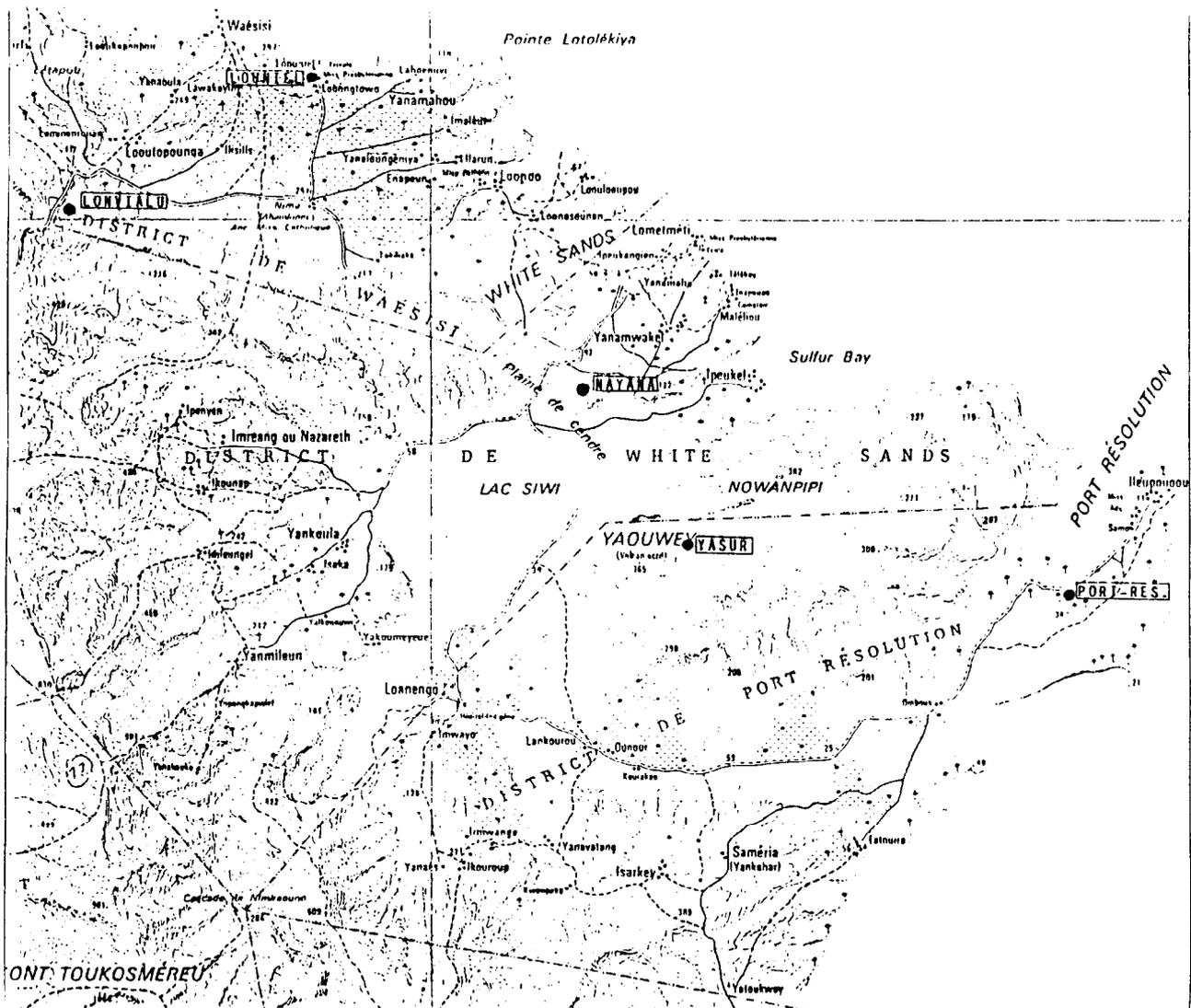
La répartition est faite de la manière suivante:

-Port Résolution se trouve à 6 km à l'est du volcan (au vent).

-Yasur se situe juste à coté du volcan sur le flan Est.

-Nayamanakel est situé à proximité du cône (2 km) dans la plaine de cendre (sous le panache).

-Looniel et Lonvialou sont placées un peu plus loin sous le panache (respectivement 6. et 7 km).



Carte 2.4.: Situation des différentes stations de récupérations d'eau à Tanna.

2.3.1.Méthodologie.

Les échantillons ne sont pas prélevés régulièrement. Une dizaine de prélèvements s'échelonnent au cours de ces deux dernières années.

L'eau de pluie est donc récupérée dans des bidons étanches (pas d'évaporation). La quantité d'eau est mesurée à chaque visite;des échantillons sont également prélevés pour les analyses des concentrations en chlorure, sulfate et nitrates ainsi que le PH.

Compte tenu de la fréquence des vidanges (3 à 4 par an), il faut s'attendre à une certaine intégration des données sur les périodes concernées. Il est prévu de mettre en place à partir d'août 1994, trois pluviomètres;un prélèvement après chaque forte pluie sera récolté par des observateurs et la valeur du compteur sera notée (les résultats ne pourront figurer dans ce rapport).

Il sera aussi possible de mieux suivre les effets des pluies acides en fonction de la direction des vents et de l'intensité des pluies.

Le lac siwi, sans un large échantillonnage sur une grande partie de sa surface, ne peut donner lieu à des mesures significatives.

Les analyses d'eau sont effectuées par le laboratoire du département environnement du Centre National d'étude des télécommunications (CNET) de Lannion en France.

En 1992 et 1993, les analyses ont été effectuées par le laboratoire de chimie du centre ORSTOM de Nouméa en Nouvelle Calédonie.

Nous avons réalisé, depuis 1994, des mesures de PH in situ sans pouvoir observer de différences notables avec les analyses ultérieures.

Toutes les concentrations mesurées ont été ramenées à une unité commune:le mg/l. On a également les mesures de PH. Toutes les données ont été mises en tableau et transformées en graphique pour une interprétation plus simple (les tableaux sont donnés dans l'annexe 2.7., et les graphiques sont insérés dans le texte pour illustrer les commentaires).

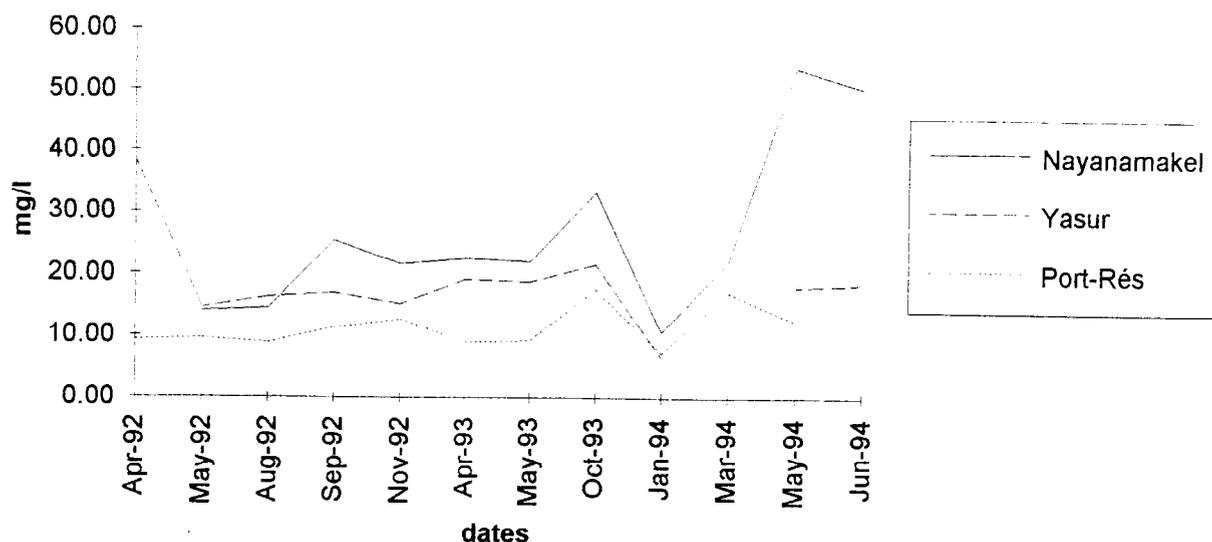
2.3.2.Résultats.

2.3.2.1.Les chlorures.

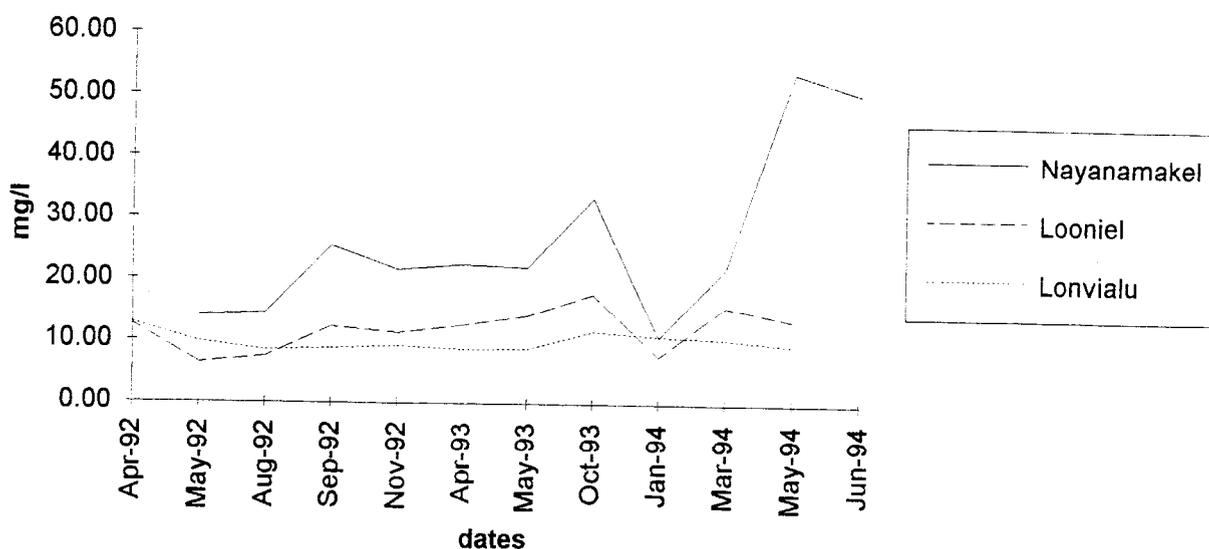
Une des sources possibles pour les chlorures est l'apport d'eau de mer. Une forte teneur est du généralement dû aux cyclones tropicaux ou bien au panache du volcan.

En effet, les cyclones tropicaux se chargent en eau de mer, et les pluies qui y sont associées doivent être chargées en chlorures. La faible surface de Tanna (572 km²) et la proximité de la mer ne peut que favoriser ce phénomène.

Chlorures 1



Chlorures 2



Figures 2.5. et 2.6.: Evolution des chlorures dans les eaux météorites de Tanna.

On observe sur les figures 2.5. et 2.6. un taux de chlorure plus élevé à proximité des deux stations proches du volcan. Les mesures de la station Nayanamakel sont particulièrement bien marquées.

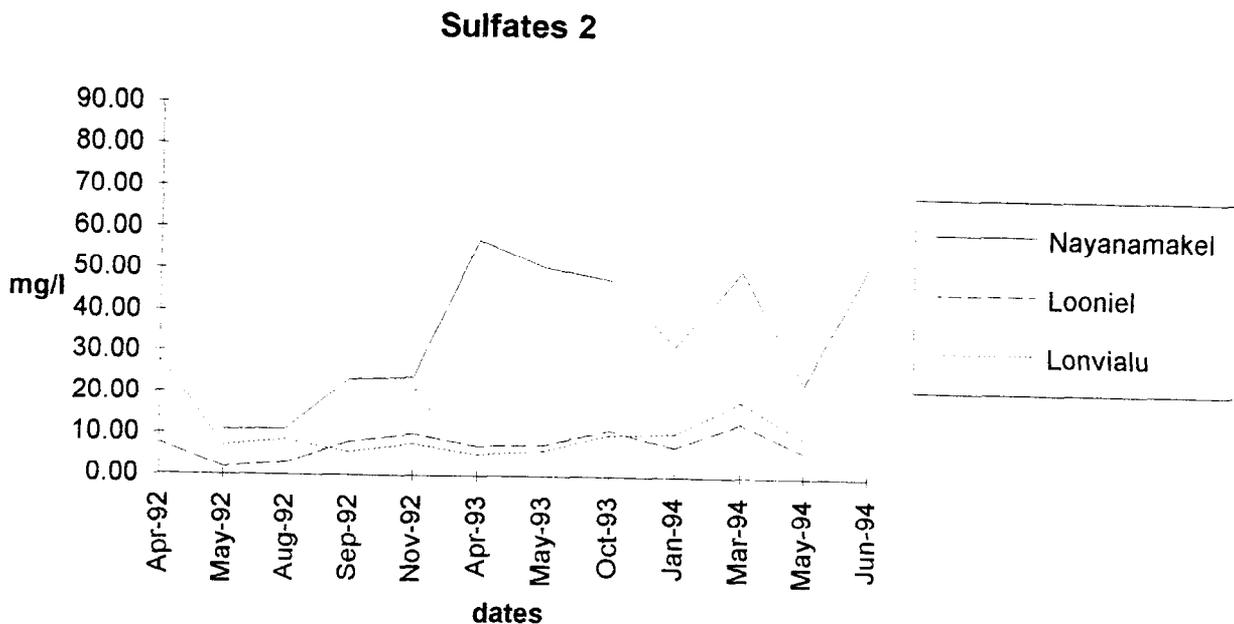
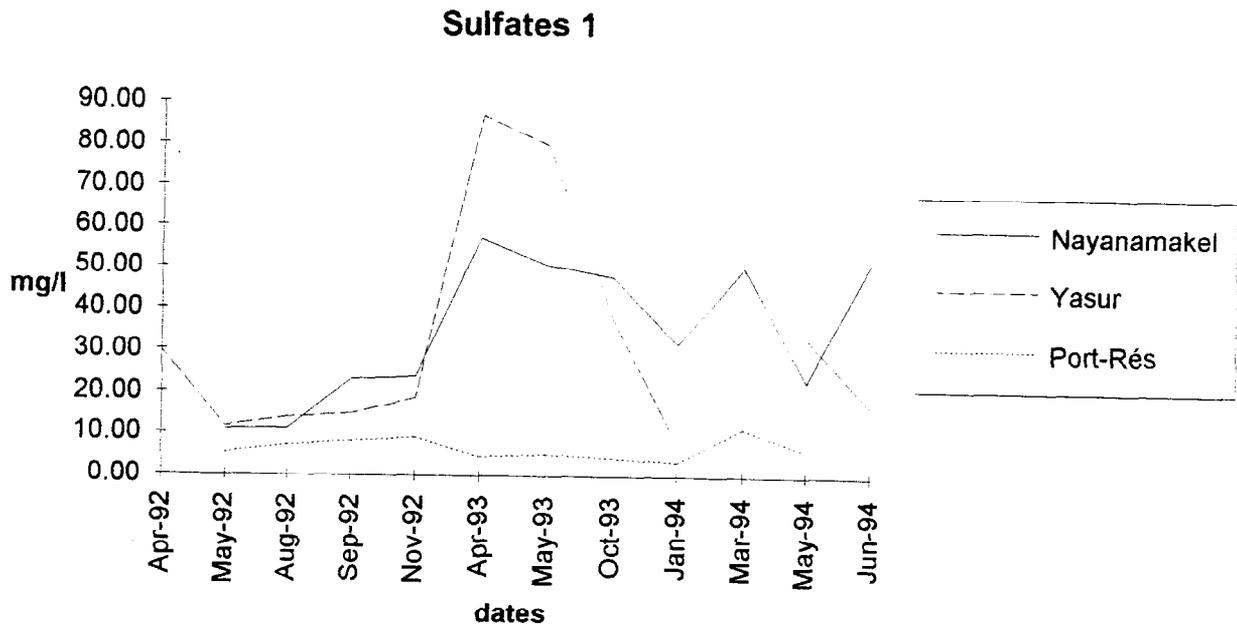
Les analyses indiquent une dispersion des taux de chlorure entre les stations. On observe une bonne corrélation entre les résultats de Nayanamakel et de Looniel (de Mai 1992 à Mai 1994); la proximité du volcan de la station de Nayanamakel est mise en évidence par l'écart de niveaux mesurés, par ailleurs bien corrélés entre Mai 1993 et Mai 1994 par exemple.

On observe en Avril 1992 une teneur élevée sur la seule station du Yasur (Nayanamakel n'étant pas encore en service) qui pourrait être associée au cyclone FRAN (Mars 1992). La mesure de Mai 1994 sur Nayanamakel paraît aussi corrélable au cyclone USHA (Mars 1994).

2.3.2.2. Les sulfates.

La concentration en ions sulfates des eaux naturelles peut être très variable. La présence de sulfates en quantité supérieure à 300 mg/l peut entraîner une attaque du béton et accélérer la corrosion du fer. Une teneur supérieure à 480 mg/l rend l'eau impropre à l'agriculture (abreuvement, irrigation).

Les teneurs rencontrées ici sont nettement moins élevées, mais elles sont tout de même présentes dans des proportions significatives.



Figures 2.7. et 2.8.: Evolution des sulfates dans les eaux météorites de Tanna.

Sur la figure 2.7., on remarque la forte concentration de sulfates sur Nayanamakel et Yasur; ceci est en partie dû à la proximité du cône, la signature du Yasur est ici évidente.

La quantité de sulfates à Port Résolution (hors panache) est inférieure à celle de Looniel et de Lonvialou (sous le panache). Une partie du panache est toujours "lessivé" dans la direction des vents dominants et on observe des taux généralement supérieurs sur Looniel et Lonvialou par rapport à Port Résolution. La signature du volcan est bien mise en évidence sur Nayanamakel et Yasur.

On constate également en 1994 après le passage du Cyclone Sarah et la forte activité du Yasur en Janvier et Février une signature résultant d'un changement complet de la direction des vents (25/26 Janvier). Le panache est alors entraîné en direction de Port Résolution (des dépôts de cendre sur Port-Résolution ont été enregistrés).

Les taux de sulfates analysés sont plus importants sur Yasur et Nayanamakel pendant toute l'année 1993 (rapport de 1 à 2 si on compare à 1992)

D'après l'enquête effectuée sur le terrain, l'année 1993 a été marquée par des problèmes agricoles résultant vraisemblablement des pluies acides sur l'ensemble de l'île.

D'importants problèmes se sont aussi apparus pour les 6 premiers mois de 1994. La forte activité du Yasur semble en être la principale raison: cendres, panache associé à la pluie et au vent se complètent pour polluer différentes régions de l'île de Tanna.

Le taux maximum de sulfates est enregistré dans les eaux récupérées à proximité du Yasur (2 km). Bien que les taux décroissent avec la distance, des signatures subsistent à Looniel et Lonvialou.

2.3.2.3. Les nitrates.

Les teneurs en nitrates sont généralement faibles. Les eaux de pluies peuvent en contenir, en provenance des oxydes d'azote, et de l'ammoniac présent dans l'atmosphère. Les nitrates ont ici une importance secondaire. En effet, le taux de nitrates, depuis le début des prélèvements est faible et varie peu. Il n'y a aucun lien entre les taux relevés et le panache.

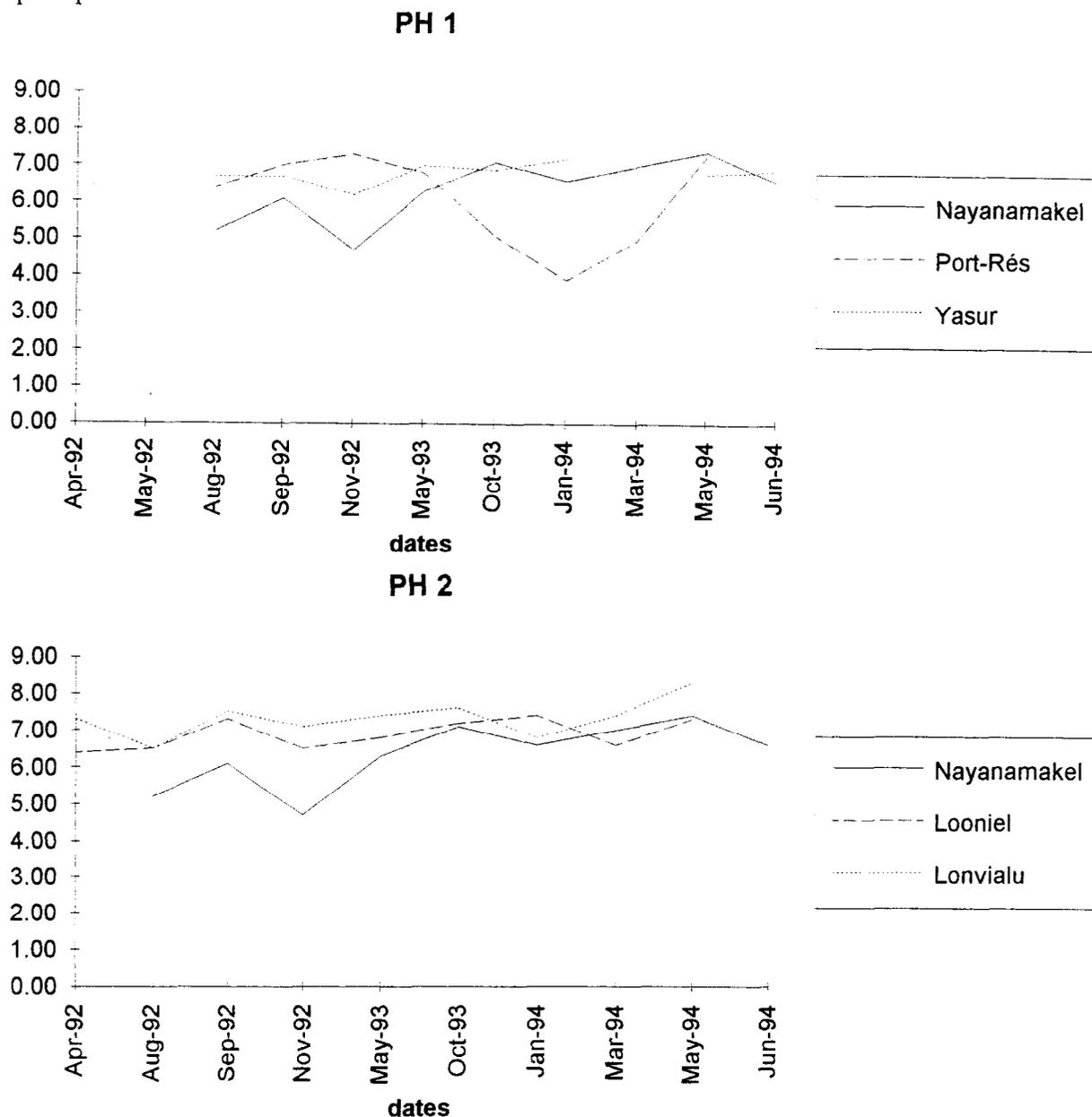
Remarque: Une présence de 50 mg/l a été enregistrée en début d'année 1994 dans les eaux de pluie. Présence de bovins à proximité du capteur ?.. Mais absence d'engrais... les travaux de construction du nouvel aéroport à quelques centaines de mètres sembleraient à l'origine de cette pollution

L'eau de la source de Port Résolution prélevée depuis quelques temps a mis en évidence un fort taux de nitrates. Ceci s'explique par la présence d'un élevage bovin autour de la source.

2.3.2.4. Le PH.

Le PH (ou potentiel hydrogène) de l'eau représente son acidité ou son alcalinité. Le PH des eaux naturelles varie en général entre 7.2 et 7.6. Les eaux de certaines régions volcaniques peuvent être acidifiées, comme c'est le cas ici, par de l'acide sulfurique. A titre indicatif, on peut ajouter que la valeur du PH compatible avec la vie des poissons est comprise entre 5 et 9. On rapporte la présence de poissons dans le lac Siwi; depuis UMA, leur présence semble avoir disparue.

Les moyennes des PH récoltés entre les différentes stations varient entre 5.7 et 8.1., ce qui représente une faible acidité.



Figures 2.9. et 2.10.: Evolution du pH dans les eaux météorites de Tanna.

Il semble que les variations de PH entre la station de Nayanamakel et celle du Yasur soit bien corrélées, avec une pointe très marquée entre Mars et Mai 1994. La courbe pour Port Résolution paraît avoir une progression différente des deux autres.

Les trois stations situées sous le panache sont quand à elles très bien corrélées.

La direction du panache et l'éloignement par rapport au volcan sont, on le remarque bien sur ces deux derniers graphes (figure 2.9. et 2.10.), les facteurs de corrélation.

2.3.3.Synthèse-Discussion.

A priori, on peut établir une relation entre les variations des taux de chlorures et sulfates et les périodes de perturbations enregistrées sur la végétation.

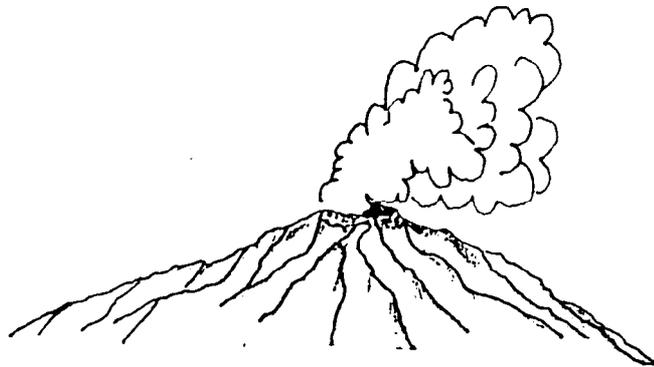
On enregistre une certaine constante (sauf perturbations cycloniques biens signées) des rapports chlorures Sulfates dans la région de Port Résolution.

Un excès de sulfate est bien mis en évidence à proximité du volcan et semble s'atténuer avec la distance (en Mai 1994, 23.1 mg/l à Nayanamakel, 6.4 à Looniel et 9.7 à Lonvialou). Nous ne disposons malheureusement pas d'un suivi sur le Centre Brousse (installation en cours), et les prélèvements trop espacés (3 à 4 par an en moyenne) intègrent un ensemble de pluies et de périodes d'activités variables de l'édifice. On va s'efforcer de recueillir plus régulièrement à l'aide de nouveaux pluviomètres les eaux de pluies.

L'analyse chimique de l'eau nous apporte quelques éléments d'information. Si nous prenons une station très affectée (Yasur par exemple) on peut voir qu'il existe une certaine corrélation entre les concentrations de chlorures et de sulfates. Il en est de même pour les quatre autres stations: une augmentation de la teneur en chlorures est accompagnée en générale d'une augmentation de teneur en sulfates.

Le problème regroupe en fait un grand nombre de paramètres: l'activité du volcan, la pluviométrie et le vent. Ces paramètres sont indissociables et une surveillance permanente et plus fine de ceux-ci pourrait permettre d'estimer plus précisément le degré de pollution.

Voyons maintenant l'importance des dégâts provoquée par cette association de phénomènes naturels.



3.IMPACT DU YASUR SUR LA VEGETATION.

"Vanuatu a de la chance. Nous n'avons pas encore trop d'habitants. Le sol est bon, mais si nous ne regardons pas vers l'avenir, les choses pourraient changer.."

F.Tari, 1993.

Le but de ce rapport est d'estimer les dégâts provoqués sur la végétation de Tanna par l'activité du volcan et les phénomènes météorologiques associés. Nous avons effectué une première mission de reconnaissance et de prise de contact (Mai 1994) qui a été suivie par une seconde mission d'investigation (Juin 1994).

On rappellera tout d'abord le cadre dans lequel se situe l'étude pour ensuite exposer et traiter les données récoltées au cours des différentes missions.

3.1.COUTUMES ET TRADITIONS:LES JARDINS MAGIQUES.

La société mélanésienne est encore aujourd'hui essentiellement agricole. Malgré la proximité de la mer, la plus grande partie de la nourriture vient de la culture des sols (voire de la cueillette). Il existe une étroite association entre ces produits de la nature (en particulier l'igname) et la coutume.

La coutume, à différents moments de l'année, consiste à faire des dons ou des "*niel*" pour des grandes fêtes (le "*Toka*", au mois de juillet tous les 4 ans est la plus grande fête de Tanna). On sacrifie alors de grandes quantités de cochons qui ont été engraisés tout au long de l'année (le cochon est un animal "sacré" dans toute la Mélanésie), et des amoncellements de légumes (ignames, taros, maniocs...) sont offerts. Pour cela, il est nécessaire que la population produise, pendant cette période de fête, beaucoup plus que les besoins courants. Les jardins de Tanna sont encore très traditionnels, et "*la fierté du peuple de Tanna est la production d'ignames*" (Bonnemaison, 1987). Déjà les premiers navigateurs avaient été surpris par la beauté des jardins et la fertilité des sols.

Les rites magiques et les magies agraires sont très importants; il existe sur Tanna des "*kapiel*", qui sont des pierres magiques dont sont issus les hommes et les pouvoirs sacrés de Tanna. Certaines pierres permettent la reproduction biologique et une bonne croissance des cultures (Bonnemaison, 1987). Il existe aussi des magies climatiques liées aux magies agraires. Les "*naoputumus*" sont les magiciens agraires. Leur magie repose sur l'union de trois éléments: le minéral (la pierre magique), le végétal (feuilles et écorces qui entourent la pierre), et l'eau (à titre indicatif, le rituel est le suivant: on lave les "*kapiels*" avec de l'eau sacrée, et on les frotte avec des écorces et des feuilles d'arbres connus du magiciens lui seul).

A l'origine, il existait des magies particulières pour chaque culture: les taros, les kavas, les bananes, les ignames, etc...Il existait même des magies complémentaires (à White Sand) qui peuvent, d'après les "man-Tanna", arrêter les pluies de cendres sur les jardins.

Pour plus de détails sur les jardins, une description des plantes cultivées les plus communes à Tanna a été effectuée en annexe (annexe 3.1.).

Il existe en fait un jardin magique cultivé par le magicien, et les jardins profanes qui suivent la progression du "némayasim" (jardin magique). Chaque jardin peut avoir sa "spécialité"; il existe des jardins d'ignames, des jardins de taros, des jardins de manioc... Dans tous les cas, les plantes secondaires sont plantées à la périphérie (cannes à sucre, bananiers). Les jardins sont peu étendus et en général cultivés après qu'un lieu ait été défriché. Cette organisation a comme conséquence une baisse de l'ETP (évapotranspiration potentielle) et minimise les dégâts qui peuvent être occasionnés par des cyclones.

3.2.LES MANIFESTATIONS NATURELLES.

Les manifestations naturelles dans le Pacifique sont traitées dans la deuxième partie. Examinons leurs impacts sur la végétation et les cultures.

Les dégâts causés par les vents forts ou les cyclones tropicaux sont très importants; alors que le cocotier résiste en général et que les tubercules et les racines peuvent être consommées, les bananiers et les arbres à pain sont des victimes faciles. Des pertes généralement totales sont enregistrées pour toutes les cultures maraîchères, fruitières et céréalières.

En plus des effets mécaniques (bris, torsion, arrachement, ébranlement), il faut aussi prendre en compte les embruns salés que "transporte" le cyclone et qui peuvent "brûler" la végétation.

Pour le manioc par exemple, le mieux est de couper les tiges afin d'éviter l'ébranlement et, par conséquent, la perte des tubercules. Ceci est possible lorsque la population a été avertie à temps.

Pour ce qui est de la sécheresse, on s'aperçoit, d'après la carte 2.1., que Tanna se situe dans une zone de sécheresse potentielle. Au dessous d'une certaine pluviométrie, la plante se trouve en stress hydrique et les rendements sont moins bons. Les besoins en eau des plantes sont variables et dépendent de l'environnement de celles-ci.

-La pluviométrie apporte l'eau nécessaire à la croissance des plantes.

-La nature du sol est aussi très importante. En effet, les caractéristiques physiques du sol conditionnent la présence et la dynamique de l'eau nécessaire à la plante.

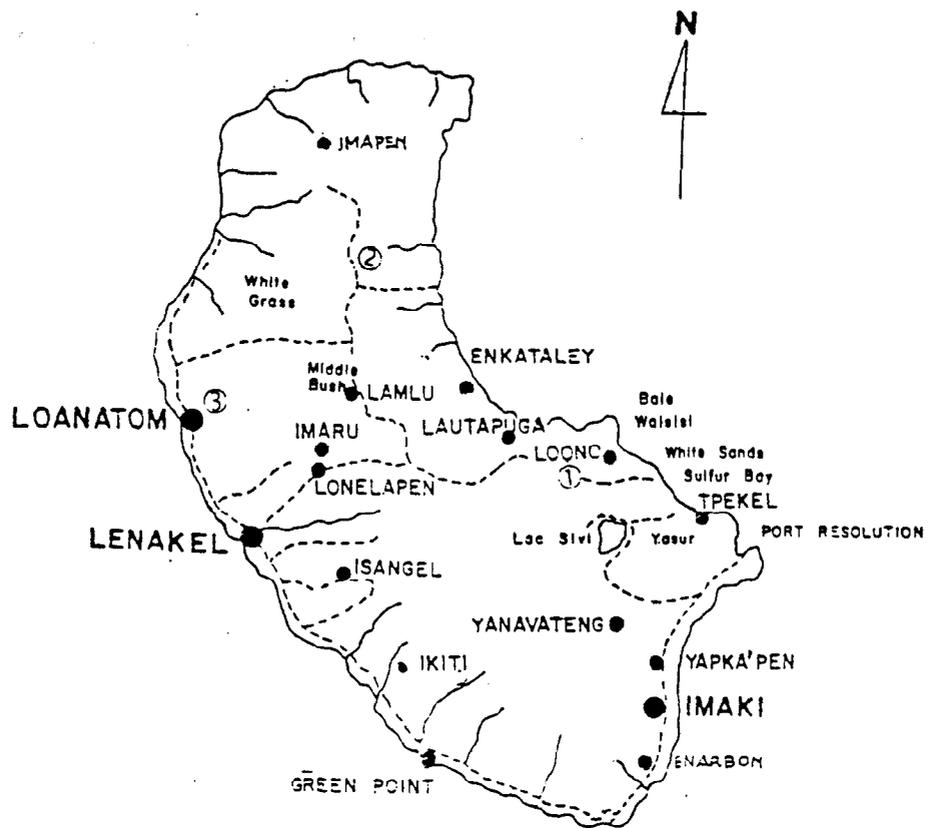
-L'évapotranspiration potentielle, c'est à dire la quantité d'eau évaporée par le sol et la végétation quand ils sont bien pourvus en eau.

La rareté des sources dans certaines parties de l'île fait que les villageois ne sont pas habitués à arroser leurs plantes. Ils laissent en général faire la nature.

Les dégâts causés par le volcan ont été abordés dans la partie précédente avec un chapitre sur les pluies acides. Celles-ci brûlent ou perforent les feuilles et provoquent, dans le pire des cas, la mort de la végétation.

Les pluies acides ont aussi comme conséquence l'acidification des sols (pollution acide présente dans le panache et lessivée par la pluie). Une série d'analyses de sols avait été effectuée au cours de la mission NéoZélandaise en 1988 que nous avons évoquée dans la deuxième partie. Les taux en anions (SO₄ -et CL -) diminuent à mesure que l'on s'éloigne du volcan, et varient en fonction de la direction dans laquelle est poussé le panache.

Comme nous l'avons dit, l'origine des anions SO₄ --est double: ils peuvent soit venir de l'eau de mer, soit du panache du volcan. L'interaction des acides volcaniques, HCL et



Carte 3.1.: Situation des différents sites test:

H₂SO₄, avec le sol provoque la libération de cation comme Na⁺. Il existe un lessivage du sol, et beaucoup de neutralisation.

Des échantillons ont été prélevés au cours de la mission dans les jardins de chaque site considéré. Les résultats sont donnés en annexe 3.2.)

Les dépôts de cendres volcaniques "étouffent" la végétation (la photosynthèse est perturbée)

Les tremblements de terre ne semblent pas avoir d'impact direct sur la végétation

3.3.OBSERVATIONS ET ENQUETES

3.3.1.Méthodologie.

Nous avons retenu trois sites tests sur lesquels nous avons effectué nos constats et nos enquêtes.

Le premier site est situé à proximité du volcan, près de Dip Point (site ① sur la carte 3.1.). Le deuxième est beaucoup plus au nord, près de la plantation de café de l'île (site ② sur la carte 3.1.). Le troisième site est sur la côte Ouest de l'île (proche de Loanatom, site ③ sur la carte 3.1.).

Ces choix permettent d'espérer pouvoir obtenir sur ces trois sites, des données représentatives de l'ensemble de la pollution de l'île de Tanna: une zone proche du volcan sous le panache, et les deux autres plus éloignées toujours sous le panache porté par les vents dominants.

Sur ces trois sites ont été effectués d'une part, des transects de 100 m sur 20 m (rectangulaire), en divisant la surface en 5 plots de 20*20 m et, d'autre part, des enquêtes auprès des villageois sur les problèmes rencontrés dans leurs jardins.

3.3.2.Résultats.

3.3.2.1.Dip Point.

Dip Point se situe dans la région de White Sand à proximité de King Cross et de Lownow, et donc proche du volcan. Cette région est aussi située sous les vents dominants.

+ Le transect.

C'est un site de forêt secondaire à proximité des jardins. Les résultats obtenus sont les suivants (les résultats plot par plot sont repris en annexe 3.3.):

NOMS	REMARQUES
<i>pipturus argenteus</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Macaranga dioica</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Cyathea lunulata</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Acalypha grandis</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Impérata cylindrica</i>	tous les spécimens sont touchés
Aspidiacea	tous les spécimens sont touchés
<i>Stenotarphum dimidiatum</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Lantana camara</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Ipomoea acuminata</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Mikania micrantha</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>casuarina equisetifolia</i>	1 spécimen non touché
<i>Trema orientalis</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Halviscus pseuduliflorus</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Homalanthus nutans</i>	seules les jeunes plantes sont intactes
<i>Phynatosoms grossus</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Dicranopteris</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Mélastoma malabathicum</i>	1 spécimen non abimé
<i>Ficus oblica</i>	4 spécimens sur 5 abimés
<i>Ficus scabra</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Ficus septica</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Vigna lablab</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Panicum maximum</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Glochidion namilo</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Hibiscus tiliaceus</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Cocos nucifera</i>	tous les spécimens sont touchés
Gramineace	tous les spécimens sont touchés
<i>Dioscorea bulbifera</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Macropiper latifolium</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Evodia latifolia</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Pueraria lobata</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Miscanthus</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Cordiline fruticosa</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Eleusine indica</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Synedrella nodiflora</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Sida rhombifolia</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Ficus adenosperma</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Fluggea flexuosa</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Epipremnum sp</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Géniostoma sp</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Mimosa pudica</i>	tous les spécimens sont touchés

tableau 3.1 : résultats du site 1.

Sur ce premier site, il semble que la presque totalité de la végétation soit affectée par les cendres et des pluies acides: les feuilles sont brûlées, boursoufflées, et parfois même perforées. Seul le filao ("l'arbre de fer" ou *casuarina equisetifolia*) semble bien résister aux agressions provoquées par le Yasur. Cela est peut-être en partie dû à la forme bien particulière de son feuillage. Que ce soit les arbres, les arbustes, les lianes ou les herbacées, rien ne semble épargné. Les arbres de cueillettes sont également affectés.



Photo n°2: Patates douce de Lownow.

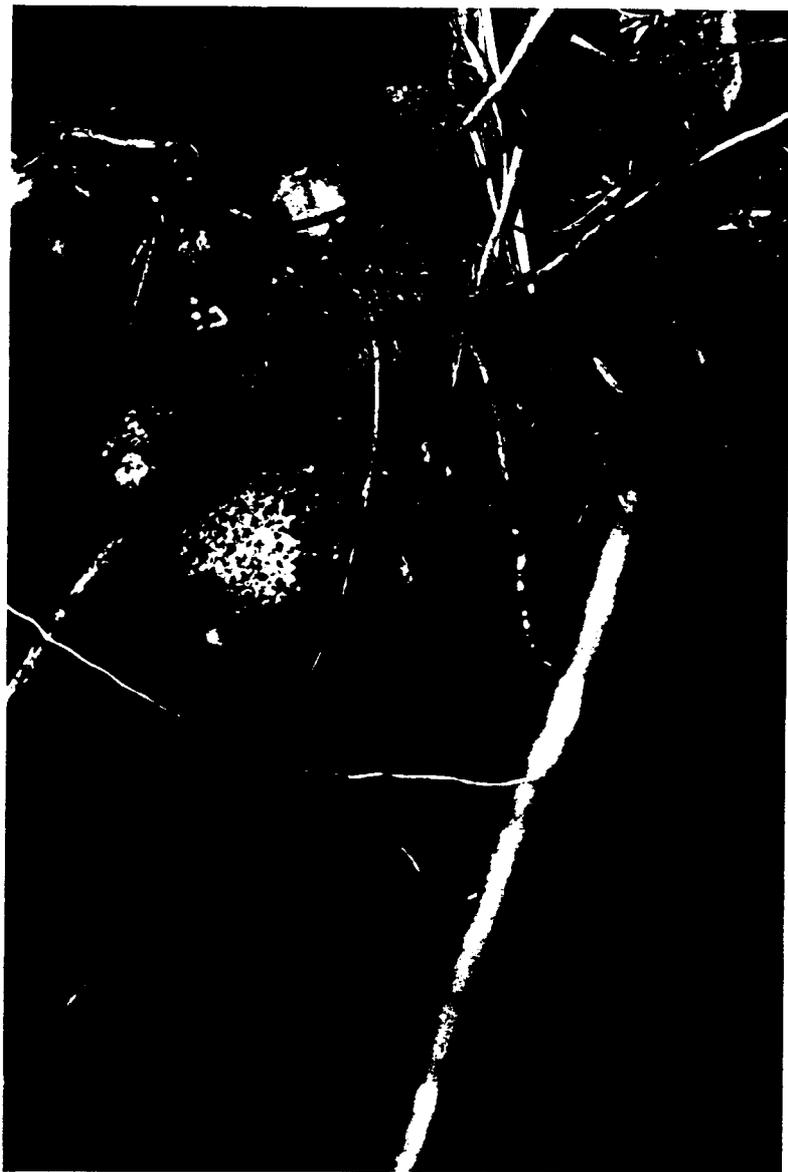


Photo n°3: Igname de Lownow (période de la récolte).

+ Les jardins

Cette région semble, à première vue, la zone la plus touchée et surtout la plus exposée aux dégâts: le vent pousse le panache presque toute l'année dans cette direction. Toutes les plantes semblent affectées. Cette région subit en permanence les manifestations plus ou moins importantes du volcan. La première prise de conscience s'est faite nous l'avons évoqué, en 1987, juste après le cyclone UMA, dépression d'une rare violence. Celui ci semble être resté une référence, le "point de départ" des problèmes. L'activité volcanique s'est accrue juste après le passage d'UMA, provoquant des pluies acides sur toute la région. Le problème des pluies acides semble se maintenir et leurs manifestation importantes pour 1993 et en début d'année 1994. On nous a rapporté qu'à la mission de Lownow (4 km du volcan), des enfants mals nourris tombent d'inanition en périodes de disète. Il arrive que les feuilles de ficus se mangent en période de famine. En 1993, les problèmes ce sont faits sentir au mois de Juin, où toutes les cultures ont brûlés. Cette année, les problèmes se sont plutôt manifestés en début d'année (Janvier, Février, Mars).

Les ignames sont pratiquement inexistantes, les tarros sont vraiment très peu feuillus et les bananiers ne donnent aucun fruit. Même les patates douces qui sont très résistantes ont les feuilles complètement perforées (Cf Photo n° 2). Les jardins sont parfois abandonnés par leur propriétaire. Les rendements sont alors plus que médiocres et les familles ont du mal à couvrir leur besoins en nourriture dans les seuls jardins.

Pour le manioc, c'est la même chose: les tubercules sont soit inexistantes, soit beaucoup plus petits que la normale.

Les cocotiers ont les feuilles jaunies, et les papayers ne donnent pas de fruits saints (les papayes sont blanches à l'intérieur).

Les dégâts semblent être plus importants lorsque la pluie est mélangée à la cendre et lorsqu'il pleut peu; l'acide est alors bien concentré et brûle les feuilles. Un peu de soleil séchant le tout amplifie le phénomène. Une chute de cendres au moment de la levée des jeunes plantes leur est fatale. Si la cendre tombe après la maturation des tubercules, le bilan est moins grave. En effet, ces derniers sont gênés dans leur croissance, mais la récolte ne sera pas nulle.

Malgré les aides reçues par le comité de soutien du volcan ou du département de l'Agriculture (sac de riz, graines de haricots...), les situations restent parfois très alarmantes.

Remarque: La région de White Sand que l'on peut séparer en 2 zones semble être plus touchée à l'Est qu'à l'Ouest.

Une période de sécheresse peut encore accentuer le problème qui se trouve également accru par une augmentation de la population dans la région du Yasur (la population a parfois doublé en 10 ans dans certains villages), diminuant du même coup les temps de jachère. Ceci conduit alors à un épuisement des sols plus rapides (Cf annexe 1.2.).

3.3.2.2. Le site du Nord

Ce deuxième site est toujours placé sous le panache, à environ 20 km du volcan

+ Le transect.

Le transect s'est effectué à proximité de la plantation de café, pour des commodités d'accès. Il s'agit d'une forêt moyenne ouverte d'arbres à larges cimes (Ficus). Les résultats obtenus sont les suivants:

NOMS	REMARQUES
<i>Elaeocarpus persicifolius</i>	tous les spécimens sont affectés
<i>Myristica fatoua</i>	tous les spécimens sont affectés
<i>Dysoxylum</i> sp	Quelques spécimens affectés(2 sites sur 3)
<i>Semecarpus vitiensis</i>	tous les spécimens sont affectés
<i>Elatostachy falcata</i>	non touchés
<i>Glochidion namilo</i>	tous les spécimens sont affectés
<i>Casuarina equisetifolia</i>	non touchés
<i>Homalanthus nutans</i>	non touchés a peu touchés
<i>Ficus septica</i>	non touchés a peu touchés
<i>Claoxylon falax</i>	tous les spécimens sont affectés
<i>Ficus wassa</i>	tous les spécimens sont affectés
<i>Pipturus argenteus</i>	tous les spécimens sont affectés
<i>Ficus adenosperma</i>	tous les spécimens sont affectés
<i>Lantana camara</i>	tous les spécimens sont affectés
<i>Pteris conans</i>	non touchés a peu touchés
<i>Macropiper latifolium</i>	non touchés a peu touchés
<i>Epipremnum pinnatum</i>	non touchés a peu touchés
<i>Evodia</i> sp	tous les spécimens sont affectés
<i>Sphaerostephanos invisus</i>	non touchés
<i>Mikania micrantha</i>	tous les spécimens sont affectés
<i>Ipomoea acuminata</i>	tous les spécimens sont affectés
<i>Leucocyke australis</i>	tous les spécimens sont affectés
<i>Macaranga dioica</i>	tous les spécimens sont affectés
<i>Cyathéa lunulata</i>	non touchés a peu touchés
<i>Dendrocide latifolia</i>	affectés a peu touchés
<i>Paspalum conjugatum</i>	non touchés
<i>Desmonium canum</i>	tous les spécimens sont affectés
<i>Syzygium</i> sp	non touchés
<i>Hémigraphis reptans</i>	non touchés
<i>Sterculia odorata</i>	non touchés
<i>Bischoffia javanica</i>	tous les spécimens sont affectés
<i>Cofea arabica</i>	non touchés
<i>Acalypha grandis</i>	non touchés
<i>Ficus adenosperma</i>	tous les spécimens sont affectés
<i>Erytrina variegata</i>	tous les spécimens sont affectés
<i>Imperata cylindrica</i>	peu touchés
<i>Melochia odorata</i>	non touchés
<i>Ficus scabra</i>	peu touchés
Cypéraceae	non touchés
<i>Vigna lablab</i>	peu touchés
<i>Dioscorea platyphylla</i>	peu touchés
<i>Cordyline fruticosa</i>	non touchés
<i>Cryptocarya tannaensis</i>	non défini
<i>Ficus prolixa</i>	non touchés
<i>Entada phaseoloides</i>	tous les spécimens sont affectés
<i>Sida rhombifolia</i>	non touchés
<i>Bidens pilosa</i>	peu touchés

NOMS	REMARQUES
<i>Synedrella nodiflora</i>	peu touchés
<i>Ficus obliqua</i>	non touchés
<i>Maesa sp</i>	non touchés
<i>Achyranthes aspera</i>	non touchés
<i>Barringtonia édulis</i>	tous les spécimens sont affectés
<i>Davalia solida</i>	non touchés
<i>Panicum maximum</i>	non touchés
<i>Pisonia umbellifera</i>	non touchés
Taro fidji	non touchés

tableau 3.2.:résultats du site 2.

Cette région semble moins affectée que la précédente, bien que l'on retrouve des dépôts de cendres sur les feuilles. On remarque la même résistance pour le filao et pour les espèces tels que les ficus, le cofea arabica, le maccropiper latifolium, les fougères Environ un tiers des espèces répertoriées sont touchées.

Les toutes jeunes plantes ne semblent pas directement touchées, ce qui traduit une situation normale dans cette région depuis les manifestations du volcan au début de l'année 1994.

+ Les jardins.

Les villages *Ehnaola* et *Lamenatu* (proximité de la plantation) ont été visités. Il semblerait que dans cette partie de l'île, les problèmes ne soient ressentis que depuis Juin 1993. Cela s'est manifesté, entre autre, par la perte des maïs et des patates douces. Autrefois, les chutes de cendres, sans doute moins importantes ne semblaient provoquer aucun dégât.

Il ne reste aujourd'hui à la population de ces villages que le manioc ("*manioc no more*"), et les jeunes feuilles de tarro d'eau pour seule nourriture. Les symptômes sont les mêmes que précédemment pour cette année.(Février-Mars 1994):les tubercules d'ignames et de *cumalas* sont beaucoup plus petites que la normale. Il semblerait que ce début d'année soit pire que l'an dernier: les villageois ont du mal à nourrir leur famille. Les deux villages concernés se trouvent à proximité de la plantation de café, les habitants qui y travaillent disposent d'un revenu supplémentaire qui leur permet d'acheter de la nourriture complémentaire.

On ressent quand même une inquiétude générale quant aux nouvelles récoltes.

Le problème démographique est ici aussi très important (23 hab/km², moins que dans la zone① ou la densité est de 72 hab/km² en moyenne). De nouveaux jardins pourraient être créés

Nous avons pu constater que les plants de café de la plantation n'étaient pas affecté à cette période par le Yasur (les rendements ne varient pas d'après le responsable M Rasselgau S.(en 1993 et 1994)).

Remarque: Il semble qu'après le cyclone UMA, il n'y ai pas eu de brûlures dues aux pluies acides dans cette région.

3.3.2.3. Loanatom.

Le troisième endroit choisi, à l'extrême ouest de l'île, se situe au nord de l'aéroport de Lenakel.

+ Le transect

Le transect a été fait dans une forêt secondaire, à proximité des jardins. Les résultats obtenus sont les suivants:

NOMS	REMARQUES
<i>Erratamia obuscuscula</i>	non touchés
<i>Rivina humilis</i>	non touchés
<i>Lantana Camara</i>	non touchés
<i>Gyrocarpus américainus</i>	non touchés
<i>Barringtonia edulis</i>	non touchés
<i>cocos nucifera</i>	non touchés
<i>Pometra pinnata</i>	non touchés
<i>Leucaena forsteri</i>	non touchés
<i>Morinda cytrifolia</i>	non touchés
<i>Macaranga dioica</i>	non touchés
<i>Theobroma cocoa</i>	non touchés
<i>Ficus septica</i>	non touchés
<i>Ficus prolixa</i>	non touchés
<i>Artocarpus altilis</i>	non touchés
<i>Grewia crenata</i>	non touchés
<i>Hibiscus tiliaceus</i>	non touchés
<i>Alchomea sp</i>	non touchés
<i>Murraya sp</i>	non touchés
<i>Cryptocarya tannaensis</i>	non touchés
<i>Cordyline fruticosa</i>	non touchés
<i>Achyranthes aspera</i>	non touchés
<i>Cordyline fruticosa</i>	non touchés
<i>Achyranthes aspera</i>	non touchés
<i>Cofea arabica</i>	non touchés
<i>Sterculia tannaensis</i>	non touchés
<i>Inocarpus fagifère</i>	non touchés
<i>Solanum nigrum</i>	non touchés
<i>Epipremnum pinnatum</i>	non touchés
<i>Casia major</i>	non touchés
<i>Dracontomelon vitiense</i>	non touchés
<i>Pyenarrhena ozantha</i>	non touchés
<i>Mangifera indica</i>	Quelques pieds sont touchés
<i>Sphaeros stéphanos invisus</i>	non touchés
<i>Passiflora suberosa</i>	non touchés
<i>Dendrochnide latifolia</i>	non touchés

Ficus scabra	non touchés
Stephania sp	non touchés
Glochidion namilo	non touchés
Citrus	non touchés
Ammona muricata	non touchés
Triumffeta lombata	non touchés
Leucaena forsteri	non touchés
Sida acuta	non touchés
Achyranthes aspera	non touchés
Synedrella nodiflora	non touchés
Ricinus communis	non touchés
Annona sp	non touchés

tableau 3.3.:résultats du site 3.

Très peu d'espèces sont touchées (4 sur les 60 recensés, soit 6% seulement. Parmi celles ci, on peut noter le namenite, le manguier, le ficus cabra et le nandao). Il semble que cette zone soit la moins touchée des trois zones. Elle est éloignée du panache et des vents dominants.

+ Les jardins.

Dans les jardins qui sont situés à proximité de la mission de Loanatom, des perturbations sur les récoltes sont enregistrées depuis Juin 1993, avec une amplification au début de l'année 1994.

Le manioc apparait comme la plante la plus résistante et on observe comme pour les zones ① et ② des rendements plus faibles pour les *cumalas* (ou patates douces) et les ignames.

En cas de nécessité, on achète aux habitants du Centre Brousse ou du Sud de l'île (Port-Résolution) les compléments alimentaires nécessaires.

Cette année, les récoltes sont trop mauvaises pour nourrir suffisamment tout le monde; cependant, les plus beaux ignames, les plus beaux fruits sont vendus au marché pour disposer d'un minimum "d'argent frais". Le peu de produit qui reste est consommé par les villageois, et l'expression qui revient à chaque fois sur les lèvres des man-Tanna est "*manioc no more*" (d'après certains témoignages, les tubercules de maniocs seraient moins denses que les années précédentes. Ceci traduit une plus mauvaise qualité des produits récoltés).

Cette région sèche, qui enregistre toujours des pluviosités inférieures aux sites ① et ② (1196.7 mm en moyenne ces 20 dernières années contre une moyenne de 2729.9 mm pour le Nord de l'île) subit plus facilement chaque année les feux de forêt.



Photo n°4: Ignames d'Imaki (Sud de Tanna)

3.3.3. Synthèse

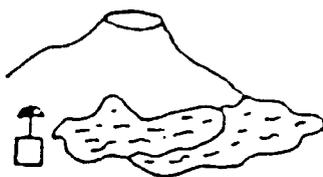
L'émission de cendres et de pluies acides générés par le volcan est permanente, mais les effets associés à l'activité et aux conditions d'environnement (pluie, vent) varient dans le temps.

Les effets des pluies acides et des cendres du Yasur qui sont particulièrement récentes dans la zone ① et dans toute la région de White Sand, s'étendent également dans l'Ouest (zone ③) et au Nord de l'île (zone ②) particulièrement depuis Juin 1993.

On constate une atténuation des effets avec l'éloignement, la région proche du volcan étant la plus touchée. La zone de Port Résolution est rarement soumise aux retombées de cendres et de gaz. Il en est de même pour la zone Sud Sud-Est, directement sous les vents dominants qui produit régulièrement de magnifiques ignames (Cf photo n° 4) Les témoignages recueillis font état d'une baisse de la production du manioc en quantité et qualité ("*Manioc no more*") depuis deux années.

On peut supposer que des phénomènes similaires de fortes éruptions de cendres et de gaz (1854...1968, 1977 par exemple et sans doute à d'autres dates, mais peu de référence) se sont déjà produits. Des effets semblables sur les cultures ont vraisemblablement été déjà constatés. Il nous semble que les populations proches du volcan ont essayé de s'adapter en choisissant des cultures plus résistantes. (les cumalas sont de plus en plus cultivés à la place des ignames).

Il se trouve également que depuis 1960, on observe un accroissement important de la population sur toute l'île de Tanna, ce qui entraîne une augmentation des zones cultivées d'où une diminution des temps de jachère. Il semble également évident que les fortes émissions de cendres perturbent la végétation et les productions agricoles; en supposant qu'elles sont généralement complétées par de plus fortes émissions de gaz qui, en association avec la pluie produisent des acides et brûlent la végétation et les cultures. Les vents agissent comme simple moteur de transport du panache de Yasur au travers des deux tiers de l'île (zone située au Nord du Volcan).



4.ESSAI DE SYNTHÈSE.

L'activité du Yasur, nous l'avons vu, n'est donc pas le seul paramètre à prendre en compte dans les problèmes des habitants de Tanna. Il s'agit en fait d'un environnement complexe où interviennent beaucoup de données.

L'activité du volcan reste une source permanente de problèmes. En libérant des gaz (riches en sulfates et en chlorures), elle provoque la pollution de l'eau météorite. On enregistre alors des pluies acides. Les résultats obtenus ont montré que les pH n'étaient pas excessivement acides, mais un échantillonnage plus régulier permettra d'avoir des données plus précises

Le dégazage du Yasur est accompagné depuis au moins 800 ans d'émissions de cendres dans l'atmosphère (P.Quantin).

Ces cendres ont enrichi les sols de Tanna qui sont connus et décrits comme des sols de hautes fertilités (P.Quantin); l'apport d'engrais et de composte n'est donc pas nécessaire jusqu'à maintenant. L'émission excessive de cendres en période de forte activité perturbe la végétation; des dépôts sur les feuilles gênent la fonction chlorophyllienne et l'on peut supposer que leur nettoyage par les pluies ne doit pas se faire sans une réaction chimique (il ne nous a malheureusement pas été possible d'en étudier les effets). Dans le cas de faibles pluies auxquelles succède un fort ensoleillement, il s'en suivra un mauvais nettoyage des végétaux qui perturbera encore davantage la photosynthèse.

Des variations sont également possibles en fonction du taux d'acidité des cendres. Nous avons effectué des prélèvements de sols dans les zones tests, les résultats sont en attente.

L'activité du Yasur, depuis le passage de J.Cook en 1774, est permanente et dite "stombolienne". Les rapports écrits depuis cette période, bien que produits très irrégulièrement, font mention de variations cycliques de l'activité du volcan (voir figure 4.1.). On a enregistré par exemple une montée de l'activité depuis octobre 1993 (Bulletin volcanologique en cours).

Des compléments de mesures sont prévus: par exemple le pompage de radio-nuclides qui devrait permettre de compléter l'étude des mécanismes éruptifs et peut-être de mieux appréhender les cycles de fortes activités. Une meilleure compréhension de la dynamique des magmas en est attendue.

Les vents dominants (Sud Sud-Ouest) poussent les nuages dans les mêmes directions (voir cartes des vents). On peut donc considérer que les deux tiers de l'île peuvent être affectés par les pluies acides compte tenu des directions privilégiées du panache.

Les pluies acides sont directement associées à la variation de pluviométrie. On observe depuis 1990 une baisse de la pluviométrie (924 mm en 1990 et 598 en 1993 sur la côte Ouest par exemple). Cette faible pluviosité est un facteur de sécheresse qui a nécessairement des conséquences sur l'agriculture.

Ne trouve-t-on pas en 1993 une conjonction entre la sécheresse, l'activité normale mais acide du volcan, la direction privilégiée des vents et les dégâts mentionnés par les populations ?

La forte activité du volcan enregistrée depuis le début de l'année 1994 (6 cm de cendre en 2 mois sur White Sand) ne peut que perturber la végétation.

Ces perturbations se prolongent au delà de White Sand. Ceci semble normal en regard de l'accroissement de l'activité du volcan pour la période considérée.

De plus, on ne peut faire totalement abstraction des cyclones (bien que périodiques) tant pour les perturbations dues aux effets directs du vent sur la végétation que celles

d'ordre "chimique" occasionnées par le transport des pluies chargées en chlorures. L'augmentation du volume du panache, conséquence des fortes pluies, contribue également à augmenter les effets du volcan.

CHRONOLOGIE SYNTHETIQUE

	<u>station</u> Burtonfield	✦ problèmes recencés sur les culture	☒ cyclones non répertoriés de 1947 à 1975 1..nombre de cyclones ayant affecté l'île.
1959	Période relativement pluvieuse (~2 m)		☒ ☒
1963	Période moins		✦ ☒ ☒
1968	pluvieuse (~1.5 m)	<i>Forte activité du Yasur relevé.</i>	✦ ☒ ☒
1973			☒
1975	Période de pluviosité		—
1977		<i>Forte activité toute l'année.</i>	3
1978	moyenne à		1
1979	faible (1-1.5 m)	<u>station</u> <u>Imnakayip</u>	1
1984		1.8 m	1
1985			1
1986		4.1 m	3
1987			1✦
	<i>Augmentation de l'activité.</i>	4.2 m	
1988	Pluviosité forte (1.8 m)		3✦
1989			1
1990		2.5 m	
1991		2.2 m	<u>Station</u> <u>Nayanamakel</u> 2
1992	Période sèche	2.3m	1.4 m 2
1993	(moins de 1 m)	2.3 m	1.6 m ✦
1994	<i>Forte activité du Yasur depuis le début de l'année 1994</i> <i>Début d'année beaucoup plus pluvieuse que 1993 et 1992</i>		1 ✦ 3
	Calculs de valeurs moyennes		
	sur 2 ans	0.6	1.8 m
	sur 9 ans	1.1 m	2.7 m
			1.5m

Figure 4.1.

Le taux d'accroissement de la population de Vanuatu est important (3.4% par an). Sur Tanna, on observe depuis 1987 un quasi doublement de la population (10.367 habitants en 1967 pour 19789 en 1989).

Les cultures vivrières doivent répondre à l'évolution démographique; Il s'ensuit une sensibilité accrue des zones de productions aux perturbations d'origine naturelle.

L'accroissement des problèmes sur les trois sites montre que:

Site ①: situé à proximité du cône (White Sand) est sans aucune ambiguïté le plus touché. Les effets conjugués des gaz, des pluies, du vent sont très présents. Des problèmes sur les récoltes ont été observés depuis 1993 et le début 1994 (années particulièrement difficiles)

Site ②: plus au Nord, il est moins touché. On compte une densité moyenne de 23 hab/km², ce qui n'est pas excessif, les pluies acides et la cendre ont des effets largement atténués

Site ③: souffre lui aussi parfois de mauvaises récoltes. Les causes sont à la fois démographiques (on compte des variations de densité de 77 à 353 hab/km²) et météorologiques puisque c'est une des régions la plus sèche de l'île (il pleut plus de deux fois moins qu'au Nord)

Les sociétés de Tanna sont encore très traditionnelles. Les hommes de la coutume obtiennent avec leurs méthodes culturales traditionnelles, de très bons rendements sur des surfaces minimums (culture de l'igname en butte).

Les plantes d'importance secondaires sont cultivées avec moins d'attention. Aujourd'hui, la coutume semble se perdre et les "jardins magiques" laissent de plus en plus la place aux cultures secondaires (production maraichère, fruitière) qui demandent alors une organisation différente et des ouvertures de marché.

L'organigramme de la figure 4.2. synthétise l'ensemble des relations entre phénomènes naturels, végétation et population.

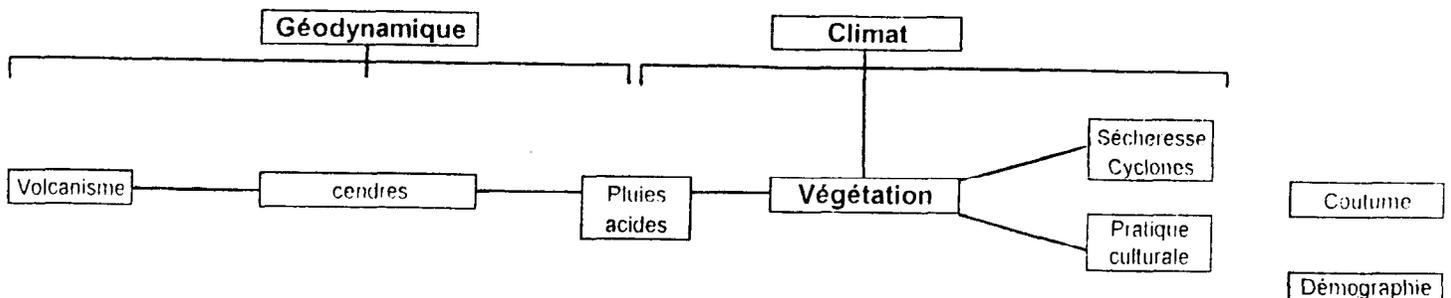


Figure 4.2. Organigramme synthétique.

CONCLUSION

Les problèmes liés aux pluies acides de Tanna semblent apparaître avec acuité en 1987 après le passage du cyclone UMA.

A l'activité explosive du volcan sont liés les gaz (panache) et les cendres, qui perturbent la végétation de l'île, le maximum de dégâts étant enregistré à proximité de l'édifice (région de White Sand). Les dégâts s'atténuent avec la distance.

La prévision des phénomènes géodynamiques associée à celle des phénomènes climatiques est nécessairement complexe.

Quelle que soit l'importance des pluies (minima 0.6 m, maxima 4 m selon les zones), elles seront corrélées avec les variations d'activité de l'édifice. La direction des vents oriente à plus de 60% le panache dans les directions Nord Nord-Ouest Nord-Est. ce qui conduit à soumettre les trois quarts de la surface de l'île à la pollution.

Le cyclones complètent le tableau en accentuant nécessairement les problèmes (environ un cyclone affecte Tanna chaque année en moyenne)

Enfin la production vivrière est liée à l'augmentation démographique (+3.4% /an). Ce facteur s'ajoute encore à tous les autres et en accentue les effets néfastes.

On ne peut malheureusement que subir et s'adapter, surveiller et constater pour comprendre et si possible essayer de prévoir ces événements.

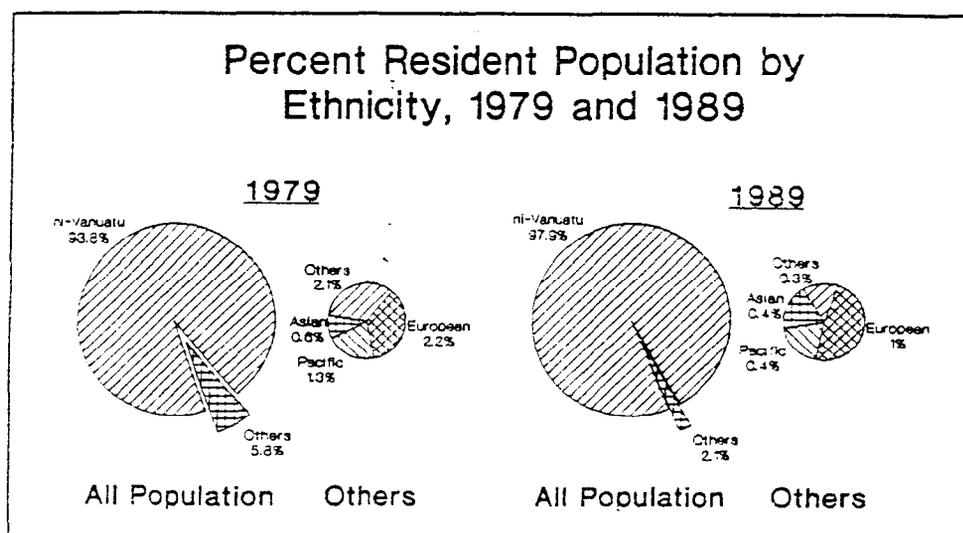
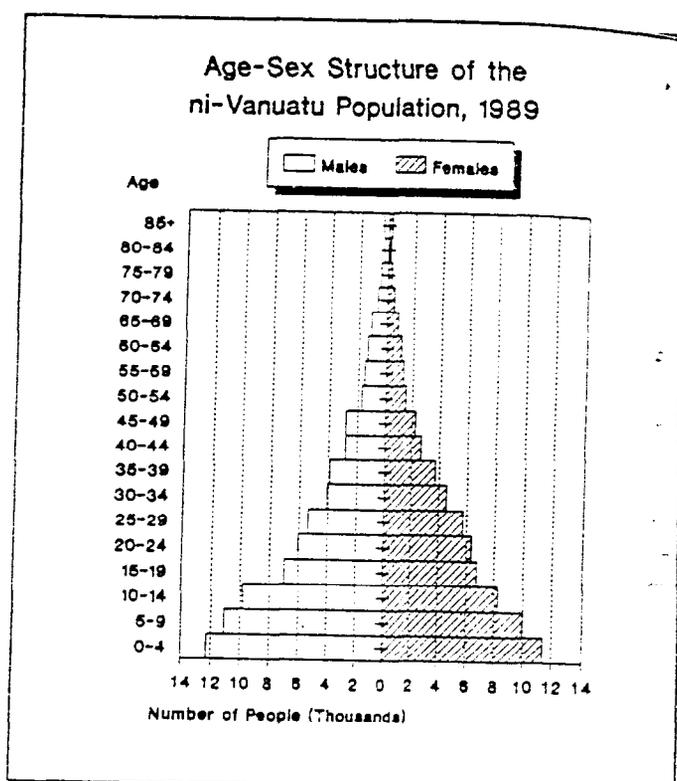
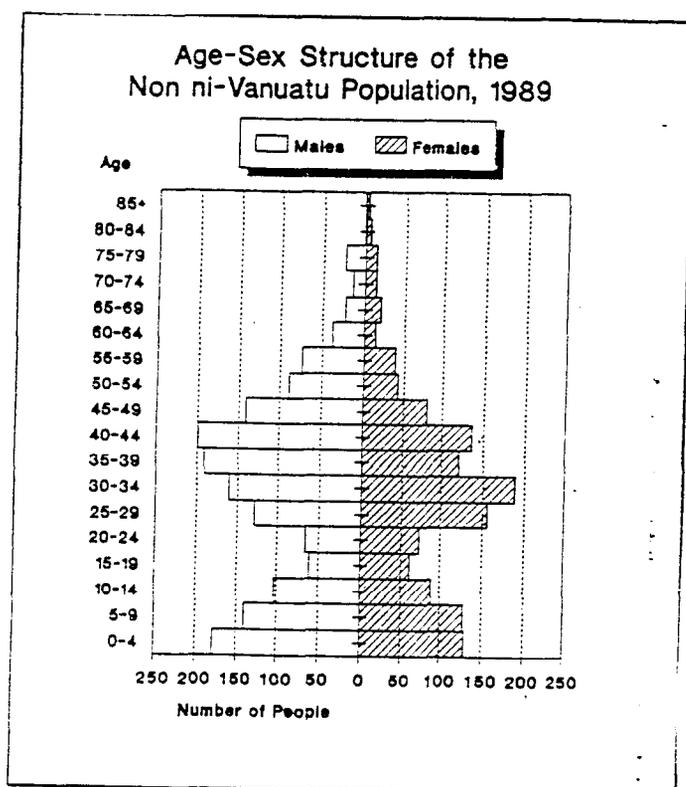
ANNEXES

ANNEXE 1.1.

A propos de la population. (source:statistic office).

Ethnic Origin	Number		Change 1979-1989	Annual Growth Rate %
	1979	1989		
ni-Vanuatu	104,371	139,475	+35,104	+ 2.8
European	2,409	1,474	- 935	- 4.6
Other Pacific	1,431	521	- 910	- 9.3
Asian	724	597	- 118	- 1.7
Other/Not Stated	2,316	352	- 1,964	-16.7
Total	111,251	142,419	+31,168	+ 2.4

Ethnic Origin	1979		1989	
	Number	%	Number	%
ni-Vanuatu	104,371	93.8	139,475	97.9
European	2,409	2.2	1,474	1.0
Other Pacific	1,431	1.3	521	0.4
Asian	724	0.6	597	0.4
Other/Not Stated	2,316	2.1	352	0.3
Total	111,251	100.0	142,419	100.0



ANNEXE 1.2.

Population du Vanuatu. (source: statistic office)

Local Government Region and Island	Area ¹ (km2)	Population (Residents) 1989			Population Density (persons /km2)	ni-Vanuatu Population		
		Male	Female	Total		1967	1979	1989
BANKS/TORRES	882	3035	2950	5,985	6.8	3,457	4,881	5,959
Hiu	51	63	66	129	2	48	83	129
Metoma	2.9	2	3	5	2	0	2	5
Tegua	31	22	11	33	1	11	7	33
Loh, Linua	17	59	70	129	8	64	84	123
Toga	19	89	79	168	9	77	127	167
Torres Is.	121	235	229	464	3.8	200	303	457
Ureparapara	39	143	134	277	7	149	237	277
Mota Lava	30	537	510	1,047	35	684	1,000	1,044
Rah	0.5	69	73	142	284	124	171	142
Vanua Lava	343	717	626	1,343	4	688	926	1,336
Kwakea	1.2	13	10	23	19	51	59	22
Mota	14	294	278	572	41	269	422	571
Gaua	315	658	627	1,285	4	426	763	1,279
Merig	0.3	7	10	17	57	56	44	17
Mere Lava	14	362	453	815	58	812	956	814
Banks Is.	761	2800	2721	5,521	7.2	3,259	4,578	5,502
SANTO/MALO	4,248	13,517	12,025	25,542	6.0	9,925	17,591	25,144
Santo	4,010	11,160	9,957	21,117	5	7,215	14,069	20,754
Lataro	3.1	0	0	0	-	50	34	0
Lataroa	1.4	0	0	0	-	0	7	0
Mavea	4.7	62	64	126	27	50	98	124
Aese	7.5	34	24	58	8	89	75	58
Tutuba	13	170	145	315	24	158	229	315
Bokissa	0.7	15	11	26	37	0	0	24
Aore	58	296	206	502	9	461	281	478
Malo	185	1,505	1,362	2,867	15	1,515	2,242	2,862
Malokilikili	1.0	6	6	12	12	16	7	12
Venui	0.07	6	4	10	143	n/a	n/a	10
Tangisi	0.14	2	2	4	29	n/a	7	4
Urelapa	0.6	3	0	3	5	12	0	3
Tangoa	0.6	199	191	390	650	289	465	390
Araki	2.5	59	53	112	45	70	84	112
AMBAE/MAEWO	699	5,714	5,231	10,945	15.7	7,047	9,509	10,902
Ambae	399	4,457	4,126	8,583	22	5,869	7,696	8,548
Maewo	300	1,257	1,105	2,362	8	1,178	1,813	2,354
PENTECOST	499	5,629	5,707	11,336	22.7	6,756	9,341	11,298

¹ The total areas for some Local Government Regions, and for the Banks and Torres groups, exceed those the sum of island areas. This is because the total figures include uninhabited islands.

Local Government Region and Island	Area ² (km ²)	Population (Residents) 1989			Population Density (persons /km ²)	ni-Vanuatu Population		
		Male	Female	Total		1967	1979	1989
MALAKULA	2,053	9,940	9,349	19,289	9.4	10,859	14,832	19,222
Malakula	2,024	7,830	7,255	15,085	7	7,528	10,727	15,035
Vao	1.3	389	388	777	598	815	981	777
Atchin	0.74	381	435	816	1,103	724	913	815
Wala	0.8	108	77	185	231	265	204	185
Rano	1.4	133	129	262	187	232	183	262
Norsup	0.25	44	42	86	344	50	62	83
Uripiv	1.0	183	142	325	325	279	330	325
Uri	1.4	26	19	45	32	34	43	36
Maskeleynes: Sakao	4.2	0	0	0	-	10	2	0
Uliveo	2.3	392	442	834	363	543	709	834
Avokh	0.1	90	94	184	1,840	63	137	184
Faru (Arseo)	0.3	25	13	38	127	14	20	38
Akhamb	0.7	243	219	462	660	168	386	462
Toroman	2.6	96	94	190	73	134	135	186
AMBRYM	666	3,686	3,503	7,189	10.8	4,231	6,146	7,170
PAAMA	60	799	897	1,696	28.3	1,960	2,222	1,695
Paama	32	785	892	1,677	52	1,938	2,222	1,676
Lopevi	28	14	5	19	1	22	0	19
EPI	446	1,897	1,729	3,626	8.1	1,952	2,511	3,611
Epi	444	1,702	1,534	3,236	7	1,645	2,164	3,223
Lamen	1.0	195	195	390	390	307	347	388
SHEPHERDS	86	1,914	2,061	3,975	46.2	3,551	4,407	3,965
Tongoa	42	1,205	1,303	2,508	60	2,228	2,846	2,501
Tongariki	6	158	189	347	58	353	344	346
Falea	0.3	0	0	0	-	0	3	0
Buninga	1.4	67	73	140	100	140	144	140
Emae	33	401	385	786	24	533	717	784
Makira (Makura)	1.8	39	51	90	50	161	239	90
Mataso	1.8	44	60	104	58	136	114	104
EFATE	923	15,990	14,432	30,422	33.0	9,059	15,615	28,133
Efate	887	14,521	12,934	27,455	31	6,678	12,592	25,173
Emao	8	266	541	541	68	654	965	541
Pele	4.5	109	111	220	49	204	206	220
Nguna	25	484	499	983	39	787	842	983
Moso	25	99	79	178	7	135	143	178
Lelepa	8	160	137	297	37	217	333	297
Eretoka (Hat)	0.8	0	0	0	-	0	3	0
Imere (Mele)	0.02	2	1	3	15	0	n/a	2
Ifira	0.5	348	396	744	1,488	384	531	739
Erakor	0.05	1	0	1	20	0	0	0
TAFEA	1,627	11,252	11,162	22,414	13.8	11,805	17,316	22,376
Erromango	887	664	590	1,254	1	595	910	1,253
Tanna	561	9,904	9,921	19,825	35	10,367	15,243	19,789
Aniwa	8	182	179	361	45	227	320	361
Futuna	11	219	212	431	39	303	343	430
Anatom(Aneityum)	160	283	260	543	3	313	500	543
Matthew		0	0	0	-	0	0	0
Hunter		0	0	0	-	0	0	0
VANUATU	12,190	73,384	69,035	142,419	11.7	72,243³	104,371	139,475

² The total areas for some Local Government Regions, and for the Banks and Torres groups, exceed those for the sum of island areas. This is because the total figures include uninhabited islands.

³ The total ni-Vanuatu population for 1967 includes the estimated 1,406 persons who refused to be counted on Santo and Tanna

ANNEXE 1.3.

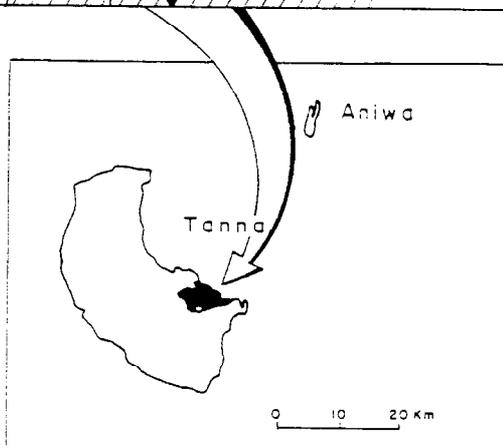
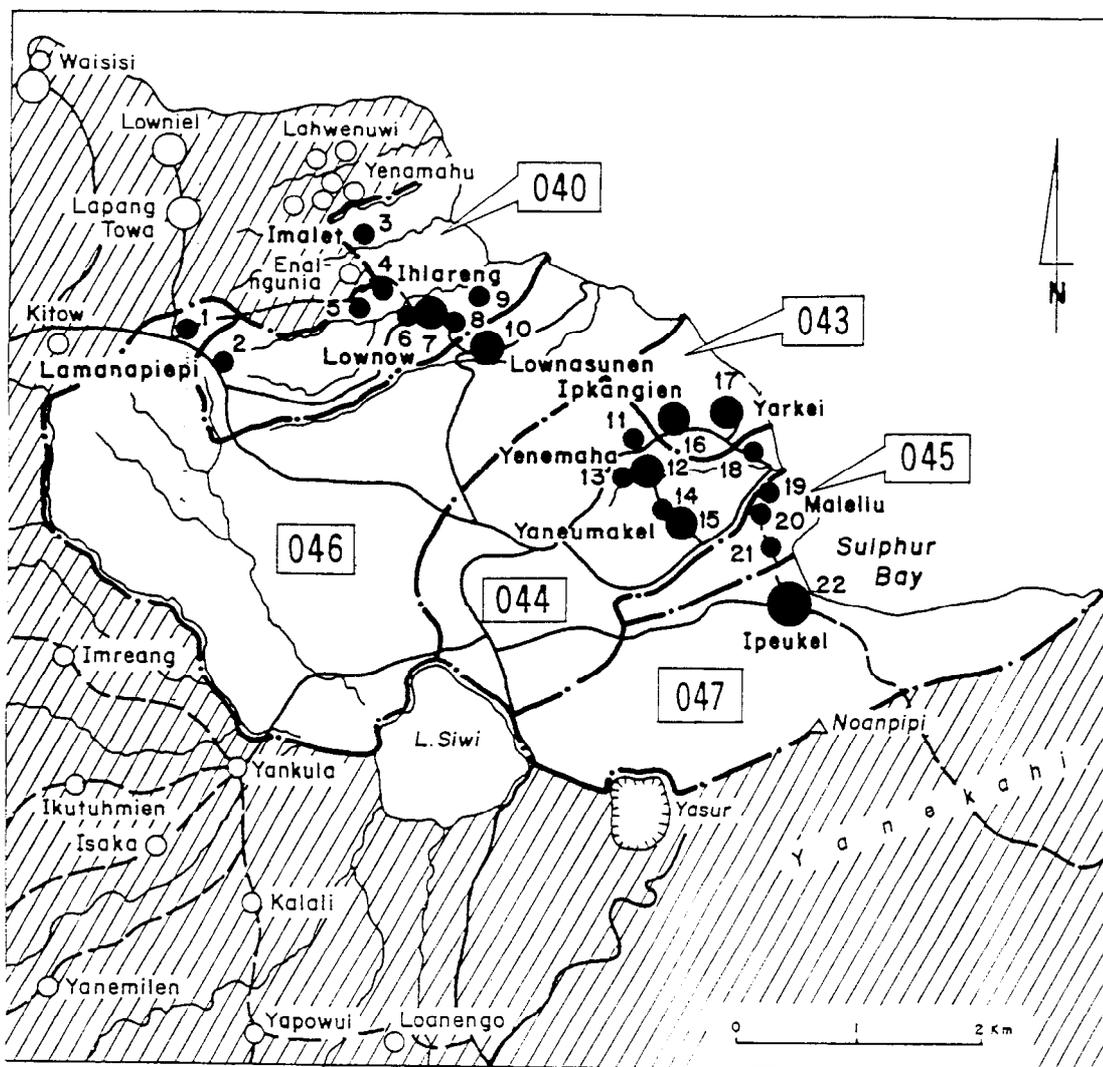
Densité locale.

(source: statistic office).

TANNA

Area Council Conseil Départemental	115
--	-----

Enumeration Areas Secteurs de dénombrement	040, 043, 044, 045, 046, 047
--	------------------------------------



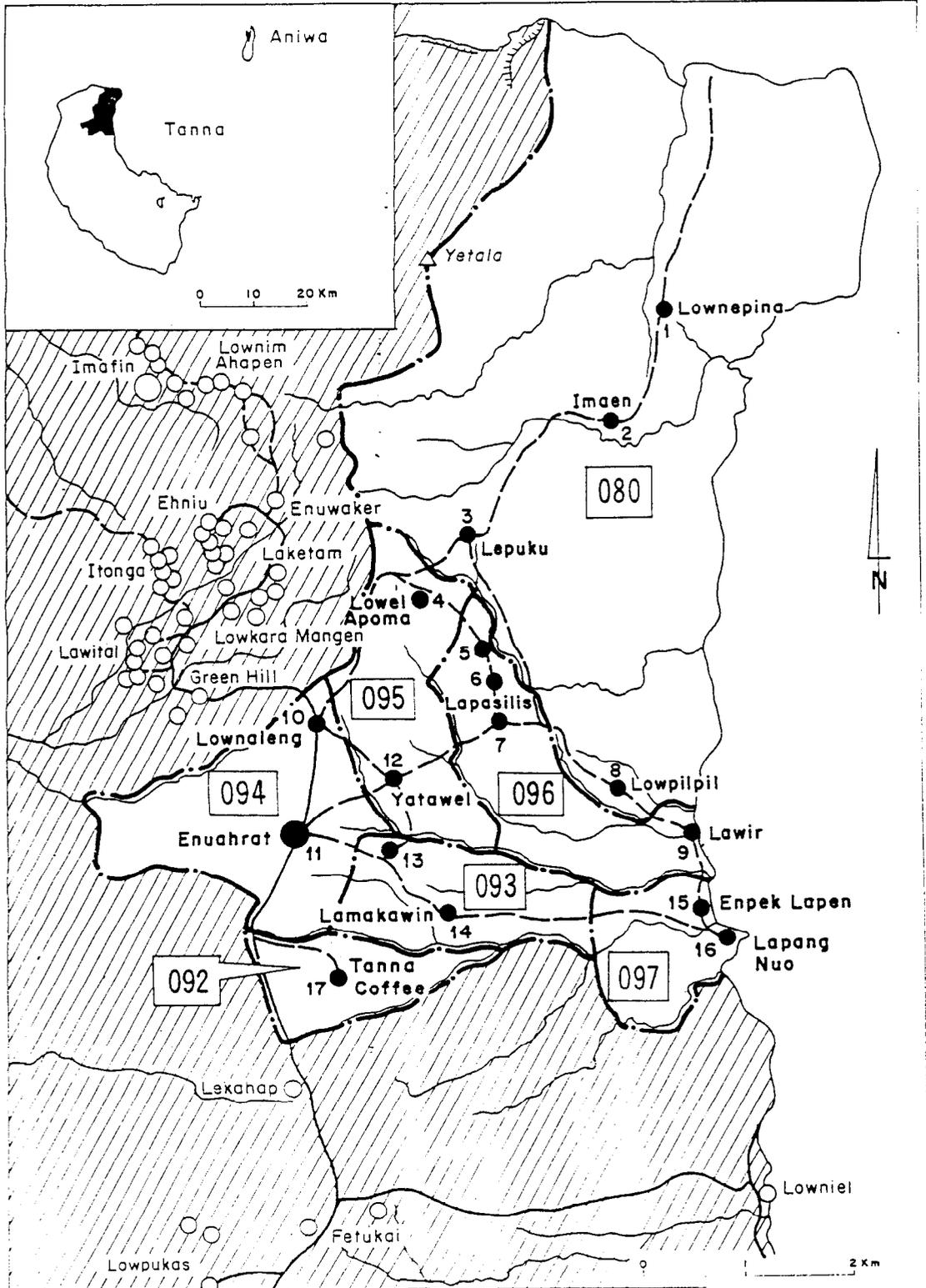
Village area Secteur de village	Place Localité	Households Ménages	Population Population		
			M	F	T
LAMANAPIEPI	1 ENIMA	2	8	7	15
	2 LAMANAPIEPI	6	9	15	24
		8	17	22	39
IMALET	3 IMALET	11	33	36	69
IHLARENG	4 ETULAKI	15	38	34	72
	5 ENAPIL	6	17	14	31
		21	55	48	103
LOWNOW	6 ECOLE DE LOWKAWIL	2	6	7	13
	7 LOWNOW	27	55	66	121
	8 LOWPALI SCHOOL	12	26	29	55
	9 LOWKAWAN	2	5	4	9
		43	92	106	198
LOWNASUNEN	10 LOWNASUNEN	35	78	68	146
YENEMAHA	11 ECOLE DE LOWIEPENG	4	10	7	17
	12 YENEMAHA	18	53	57	110
	13 YENAOLA SCHOOL	2	5	3	8
		24	68	67	135
YANEUMAKEL	14 LOWTAPUNGA	6	13	10	23
	15 YANEUMAKEL	31	84	97	181
		37	97	107	204
IPKANGIEN	16 IPKANGIEN	21	46	65	111
YARKEI (LOWMETIMETI)	17 YARKEI (LOWMETIMETI)	23	59	63	122
	18 ETELEKEI	5	9	10	19
		28	68	73	141
MALELIU	19 YENAPUAS	9	19	17	36
	20 MALELIU	14	26	34	60
	21 IMALE	6	5	12	17
		29	50	63	113
IPEUKEL (SULPHUR BAY)	22 IPEUKEL (SULPHUR BAY)	48	119	152	271

SUMMARY / SOMMAIRE							
E.A. Secteur de dénomin- brement	House- holds Mén- ages	Population				Area Super- ficie km2	Density Densité pop/km2
		Aged/Agée de			Total		
		0-14	15-59	60 +			
040	81	207	170	17	394	2.5	158
043	44	129	91	13	233	0.8	291
044	66	187	149	22	358	4.2	85
045	29	63	44	6	113	0.8	141
046	37	87	65	9	161	8.7	18
047	48	135	121	15	271	4.2	64
TOTAL	305	808	640	82	1,530	21.2	72

TANNA

Area Council
Conseil 114
Départemental

Enumeration Areas 080, 092, 093,
Secteurs de 094, 095,
dénombrement 096, 097



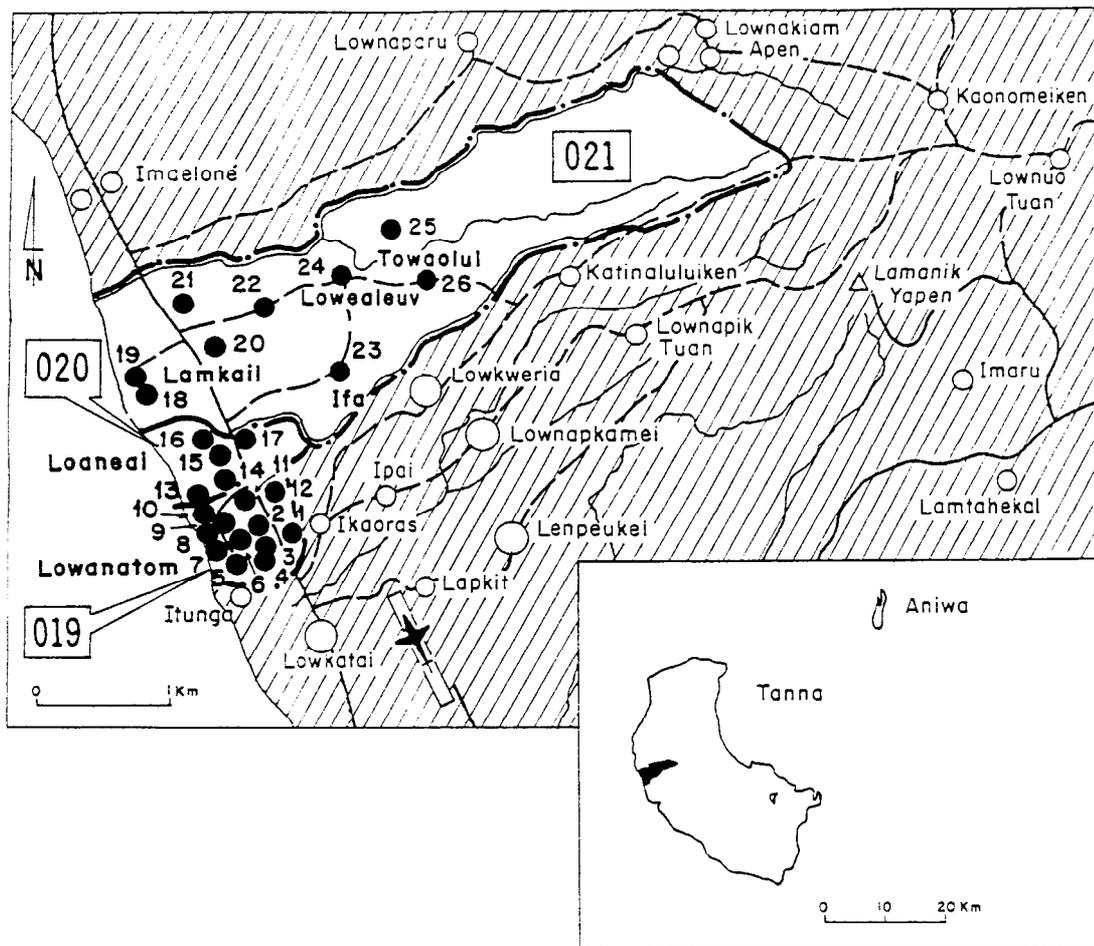
Village area Secteur de village	Place Localité	Households Ménages	Population Population		
			M	F	T
LOWNEPINA	1 LOWNEPINA	16	50	44	94
IMAEN	2 IMAEN	5	15	14	29
LEPUKU	3 LEPUKU	8	19	17	36
LOWEL APOMA	4 LOWEL APOMA	10	25	19	44
LAPASILIS	5 LOWIOAN RUP	1	1	1	2
	6 LAPASILIS	12	22	24	46
	7 LAMANAPIEP	2	7	6	13
		15	30	31	61
LOWPILPIL	8 LOWPILPIL	19	42	33	75
LAWIR	9 LAWIR	7	21	17	38
LOWNALENG	10 LOWNALENG	9	22	25	47
ENUAHRAT	11 ENUAHRAT	26	68	67	135
YATAWEL	12 YATAWEL	16	31	27	58
LAMAKAWIN	13 LOWNAPIK RUP	7	18	22	40
	14 LAMAKAWIN	11	28	20	48
		18	46	42	88
ENPEK LAPEN	15 ENPEK LAPEN	8	24	15	39
LAPANG NUO	16 LAPANG NUO	7	22	19	41
TANNA COFFEE	17 IMNAKAYIP	15	28	21	49

SUMMARY / SOMMAIRE							
E.A. Secteur de dénom- brement	House- holds Mén- ages	Population				Area Super- ficie km2	Density Densité pop/km2
		Aged/Agée de			Total		
		0-14	15-59	60 +			
080	48	126	98	10	234	22.0	11
092	15	24	23	2	49	1.4	35
093	18	41	44	3	88	2.2	40
094	35	90	85	7	182	3.5	52
095	26	45	48	9	102	2.9	35
096	22	47	52	0	99	3.0	33
097	15	35	44	1	80	1.6	50
TOTAL	179	408	394	32	834	36.6	23

TANNA

Area Council
Conseil
Départemental 117

Enumeration Areas 019,
Secteurs de 020,
dénombrement 021



SUMMARY / SOMMAIRE							
E.A. Secteur de dénom- brement	House- holds Mén- ages	Population				Area Super- ficie km2	Density Densité pop/km2
		Aged/Agée de			Total		
		0-14	15-59	60 +			
019	53	106	113	17	236	6.2	33
020	28	59	58	8	125	0.6	208
021	45	95	104	13	212	0.6	353
TOTAL	126	260	275	38	573	7.4	77

Village area Secteur de village	Place Localité	Households Ménages	Population Population		
			M	F	T
LOWANATOM	1 KATIK NIERIKEN	1	1	2	3
	2 LESWERIKOW (LOWKAWIK)	4	8	8	16
	3 LOWKOWTUAN	5	14	11	25
	4 LOWNESUA	3	6	9	15
	5 LATANMARIKARIK	3	9	11	20
	6 ISIA	5	9	10	19
	7 LOWKAS	10	18	24	42
	8 LOWANIUIU	2	9	5	14
	9 LOWNAWANASIS	5	12	11	23
	10 MISSION	8	18	14	32
	11 LOWANULKASIK	2	3	5	8
	12 LOWNIPAKAO	5	10	9	19
		53	117	119	236
LOANEAI	13 LOANEAI	16	40	29	69
	14 LOWNALEUV	3	3	6	9
	15 LELUAT	2	6	7	13
	16 LENISIKAPO	5	11	15	26
	17 LOWTEUTEU	2	3	5	8
			28	63	62
LAMKAIL	18 LENUS	2	5	7	12
	19 LOWTALHTUAN	6	13	10	23
	20 LAMKAIL	13	27	31	58
	21 LOWNIKAWIK AFIL	7	15	17	32
	22 LOWNALWILU	1	0	2	2
			29	60	67
IFA	23 IFA	2	6	8	14
LOWEALEUV	24 LOWEALEUV	7	15	15	30
	25 LAMANAMILANG	2	5	2	7
			9	20	17
TOWAOLUL	26 TOWAOLUL	5	18	16	34

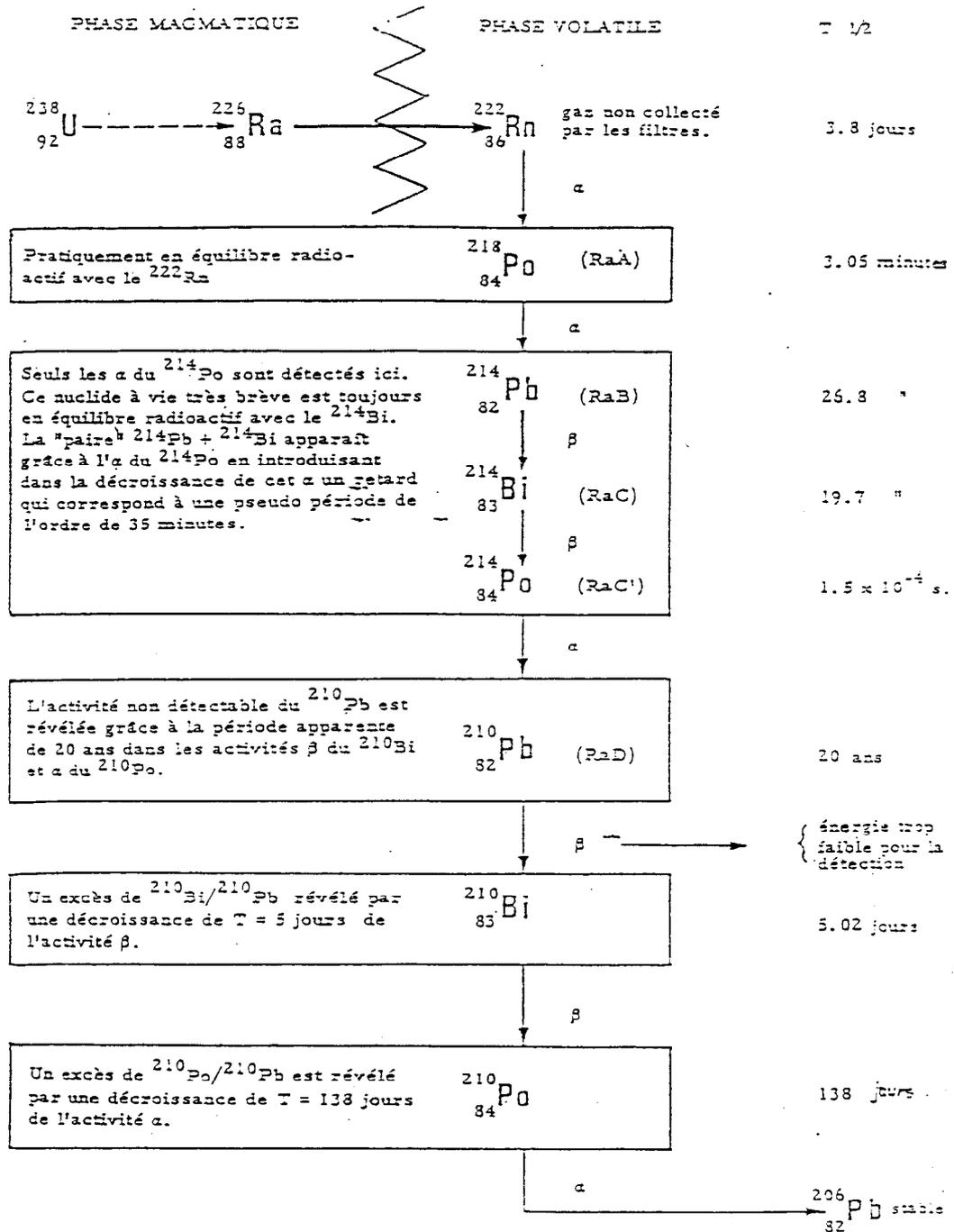
ANNEXE 1.4.

Les sols de Tanna. (source: Paul Quantin)

SOLS	S km ²	% de S total
Sols minéraux bruts d'apport volcanique (Yasour)	4,45	0,78
Sols peu évolués d'érosion		
• sur roches volcaniques dominantes et falaises calcaires	141,50	24,74
Sols peu évolués d'apport alluvial (à dominante andique)		
• sur terrasse littorale récente, à dominante volcanique	14,50	2,53
Rendzines dominantes, sols de mangrove et sols alluviaux		
• sur terrasse calcaire récente	5,30	0,93
Andosols vitriques		
• sur cendres andésitiques récentes		
- a. modaux, à horizon A saturé	64,55	11,28
- b. complexes, à horizon A désaturé	35,55	6,22
Andosols saturés mélaniques		
• sur cendres andésitiques récentes		
- sols modaux profonds de 0,6 à 1 m sur paléosol	69,05	12,07
- sols avec érosion superficielle, des collines		
Andosols saturés chromiques		
• sur cendres andésitiques récentes		
- a. profonds de 1 à 2 m sur paléosol, Centre Brousse	85,50	14,95
- b. profonds de 0,6 à 1 m sur paléosol, Lonamico	34,80	6,08
- c. profonds de 0,6 à 1 m sur paléosol, Ymaki	6,35	1,11
- d. profonds de 0,5 à 1 m sur paléosol, Yékéti	19,80	3,46
Andosols désaturés en (B), à horizon A faiblement désaturé		
• sur cendres andésitiques récentes		
- sol profond de 0,5 à 0,7 m sur sol ferrallitique	23,80	4,16
Andosols désaturés et perhydratés		
- a. intergrade ferrallitique, Yanarbon	29,20	5,10
- b. intergrade vitrique, Yatoukwey	3,50	0,61
Sols ferrallitiques faiblement désaturés, rubéfiés rajeunis		
• sur calcaires, faiblement couverts de cendres (30 à 50 cm)	8,50	1,49
Sols ferrallitiques désaturés rubéfiés, rajeunis		
• sur tufs basaltiques, faiblement couverts de cendres (20 à 30 cm)	25,70	4,49
Total	572,00	100,00

ANNEXE 2.1.

Famille radioactive de U-238. (source: C.F.R.)



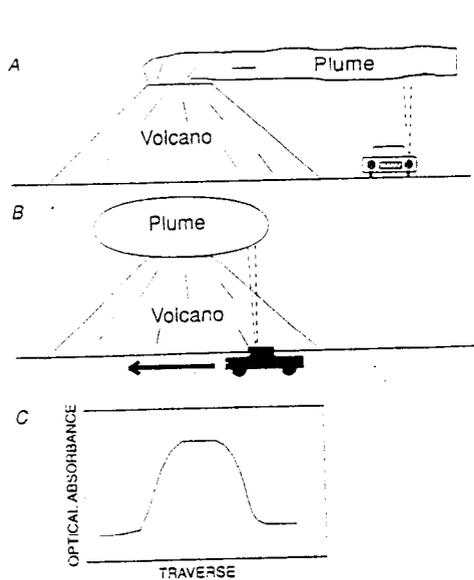
ANNEXE 2.2.

Technique d'étude fondamentale des gaz (source: Ewerd, 1966)

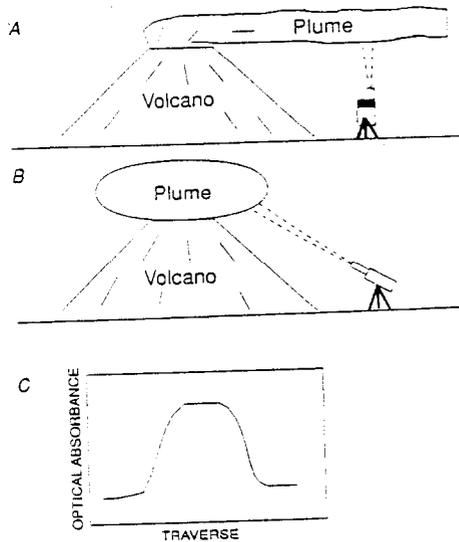
Les gaz dissous dans le magma représentent une force importante pour l'activité éruptive. La solubilité du gaz est fonction de la température, de la pression et de la densité magmatique. Le taux de SO₂ dans le panache est en général mesuré en utilisant un spectromètre (COSPEC). La disparition de l'énergie des rayons solaires ultraviolet de certaines ondes est absorbée en proportion de la concentration de SO₂ et de l'épaisseur du panache.

Le profil du panache (absorption de la lumière) et la vitesse du vent représentent le taux de SO₂ émis.

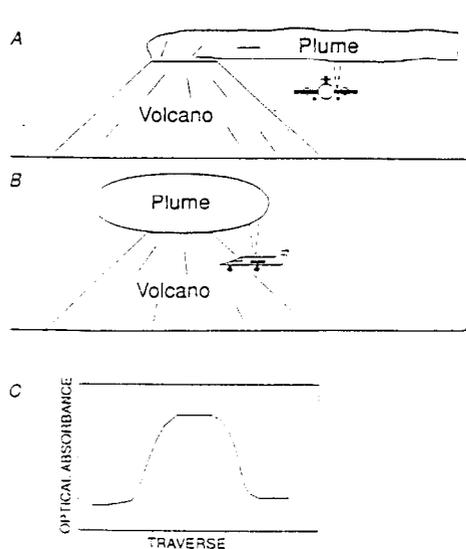
Les mesures peuvent se faire à partir du sol (sur véhicule ou fixe) ou bien à partir d'un avion. L'avantage de cette méthode est qu'elle permet une estimation du taux de CO₂ (et SO₂). Ses inconvénients sont qu'elle ne prend que deux gaz en compte, et qu'elle requière un travail intensif. Le coût est important.



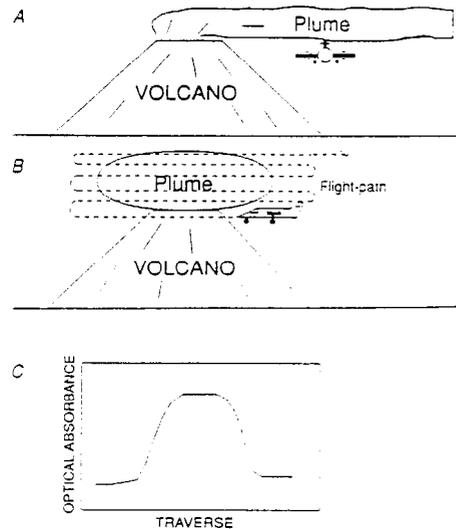
Ground-based (vehicle-mounted) COSPEC measurement of sulfur dioxide. A, Side view. B, Front view. C, Typical data.



Ground-based (tripod-mounted) COSPEC measurement of sulfur dioxide. Dotted lines represent field of view for fixed angle of COSPEC. A, Side view. B, Front view. C, Typical data.



Airborne COSPEC measurement of sulfur dioxide. A, Side view. B, front view. C, Typical data.



Airborne operation of Miran instrument for measurement of carbon dioxide. A, Side view. B, front view. C, Typical data.

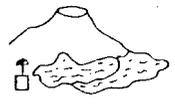
ANNEXE 2.3.



GAUA

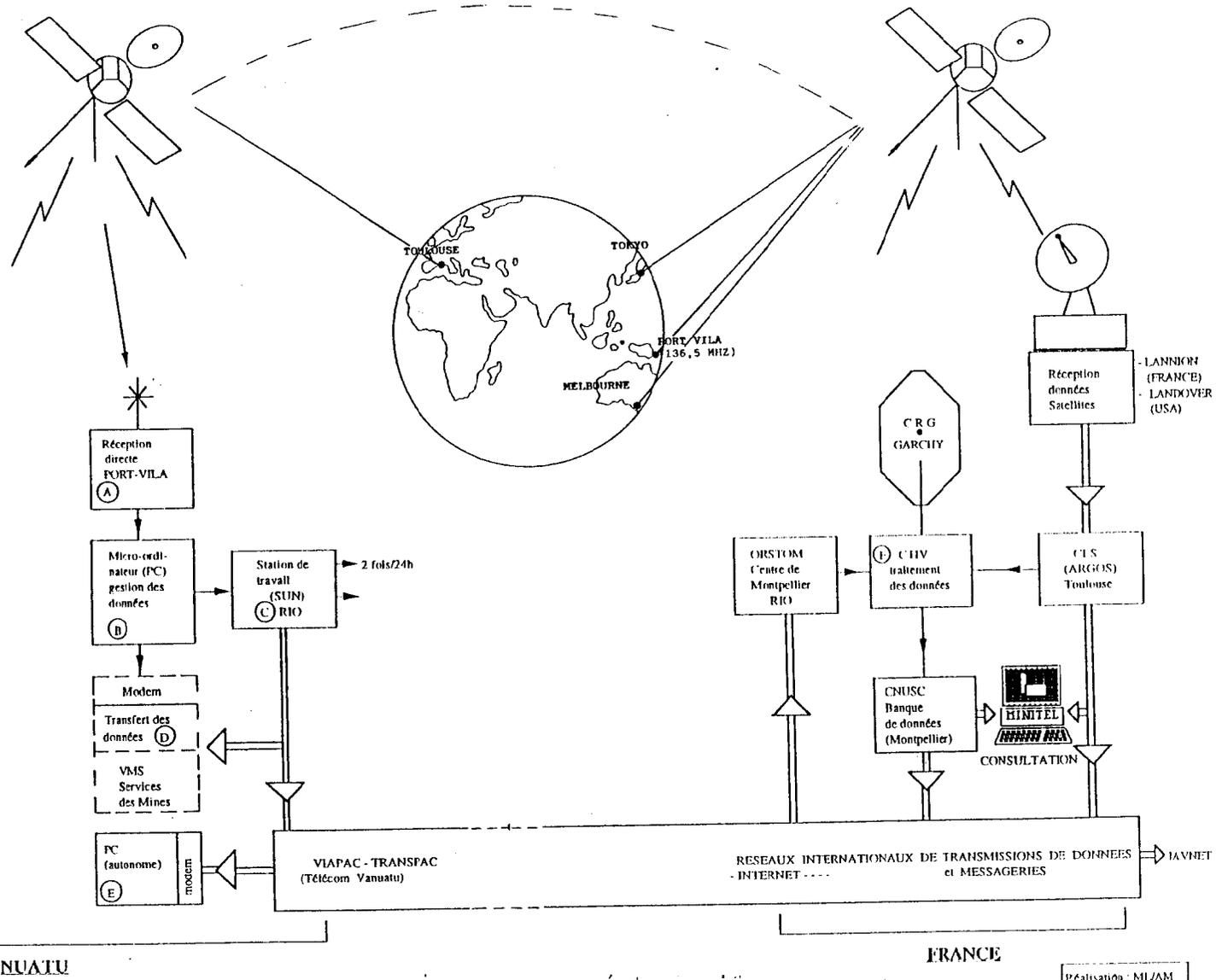


AMIRYM



TANNA

En projet : AMBAE SAVO (Salomon)



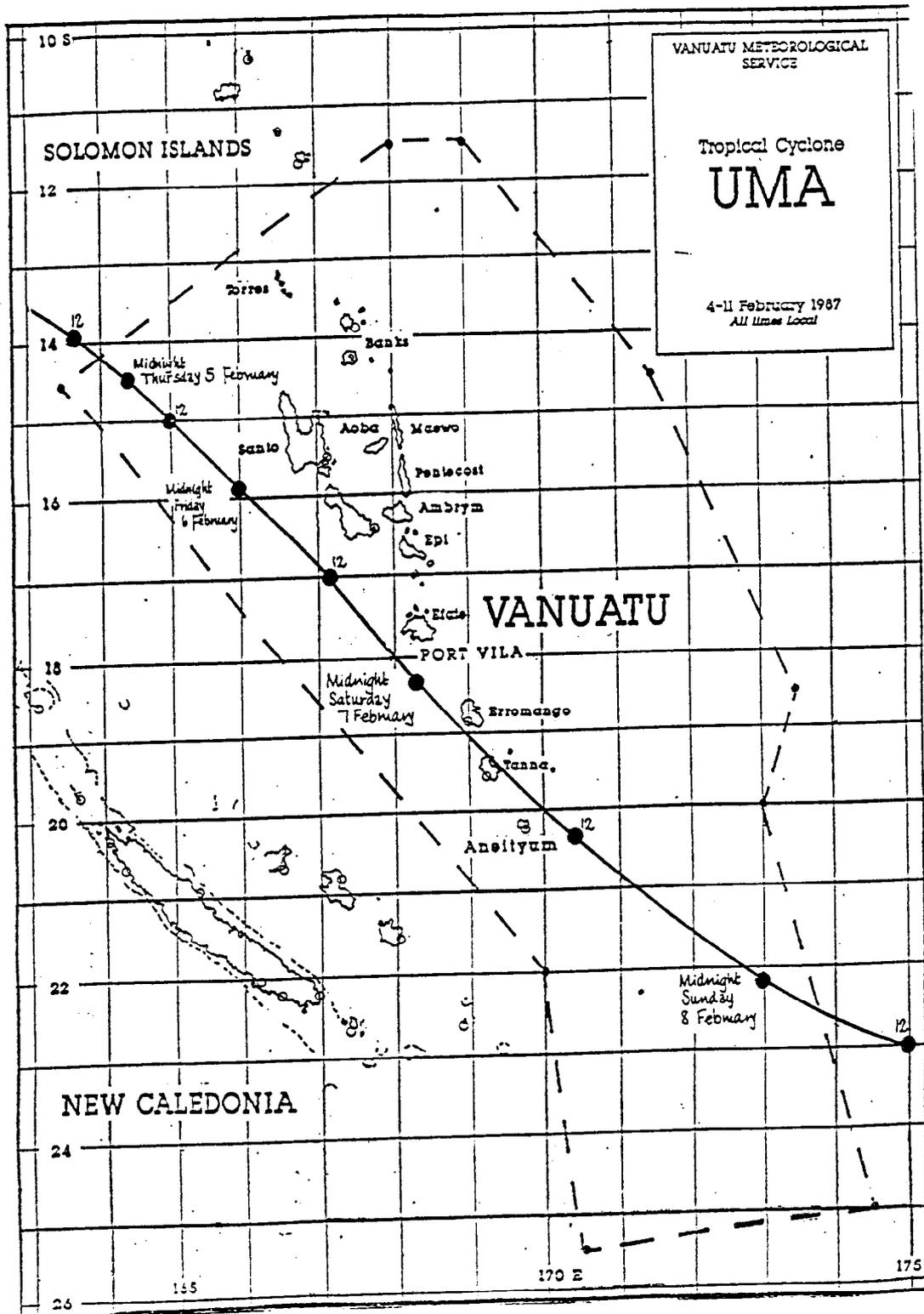
VANUATU

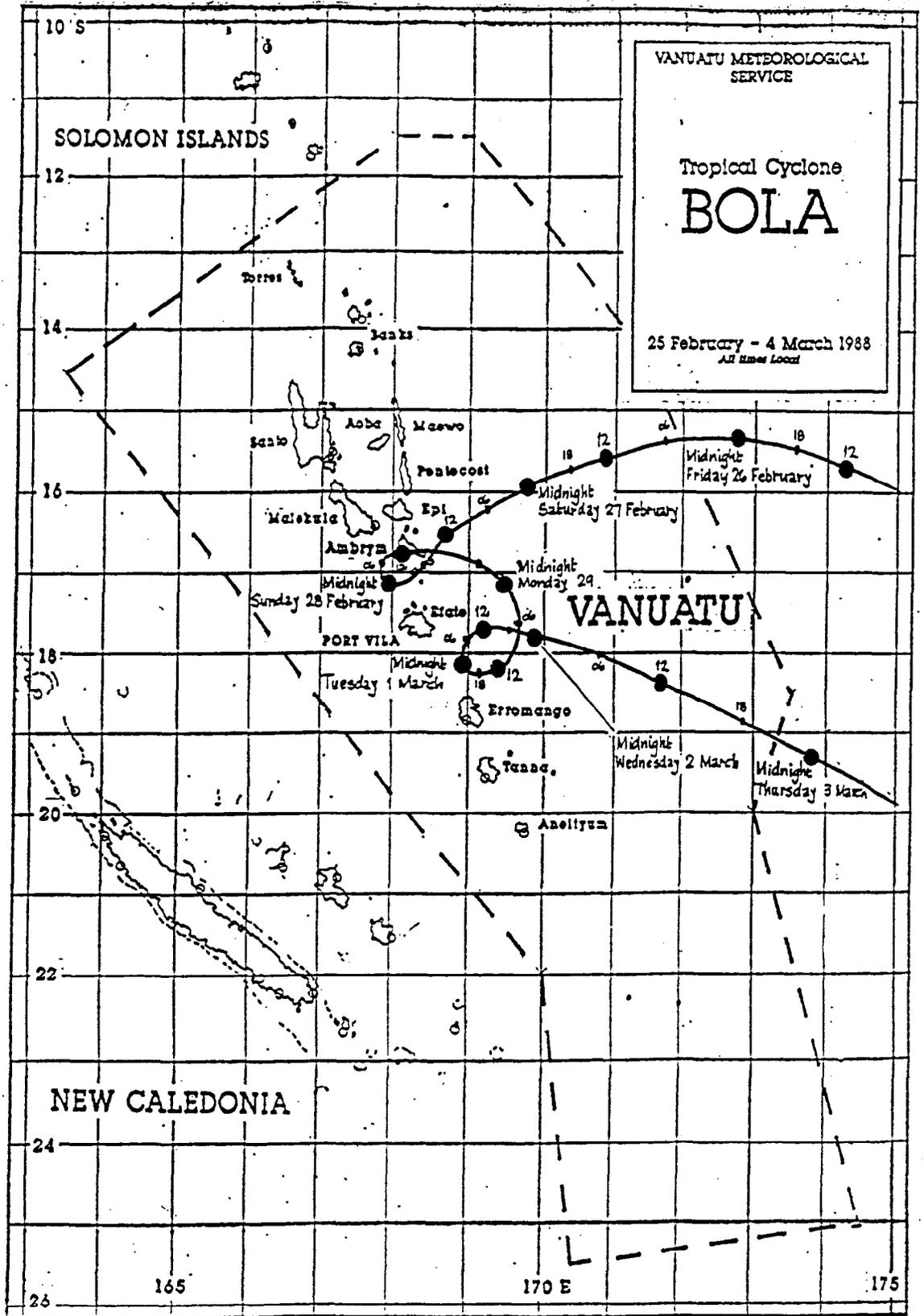
FRANCE

Réalisation : MIJAM

ANNEXE 2.4.

Quelques trajectoires de cyclones.





TROPICAL CYCLONE TRACKING MAP

Vanuatu Meteorological Service
and
QBE Insurance
(Vanuatu) Limited

Yu mas listen gut long ol mesej aboat Tropical Saeklon taem oli stap talem aot long Radio Vanuatu. Long taem blong Saeklon sison yu mas traem oltaem blong lisen long Nius Bulletin wan taem long wan dei.

Radio Vanuatu emi stap brodkas long olgeta frikwensi ia.

Sotwef sevis :

5.45 am - 10.00 am 3945 kHz

9.00 am - 6.00 pm 7260 kHz

5.00 pm - 10.15 pm 3945 kHz

Midiam wef sevis :

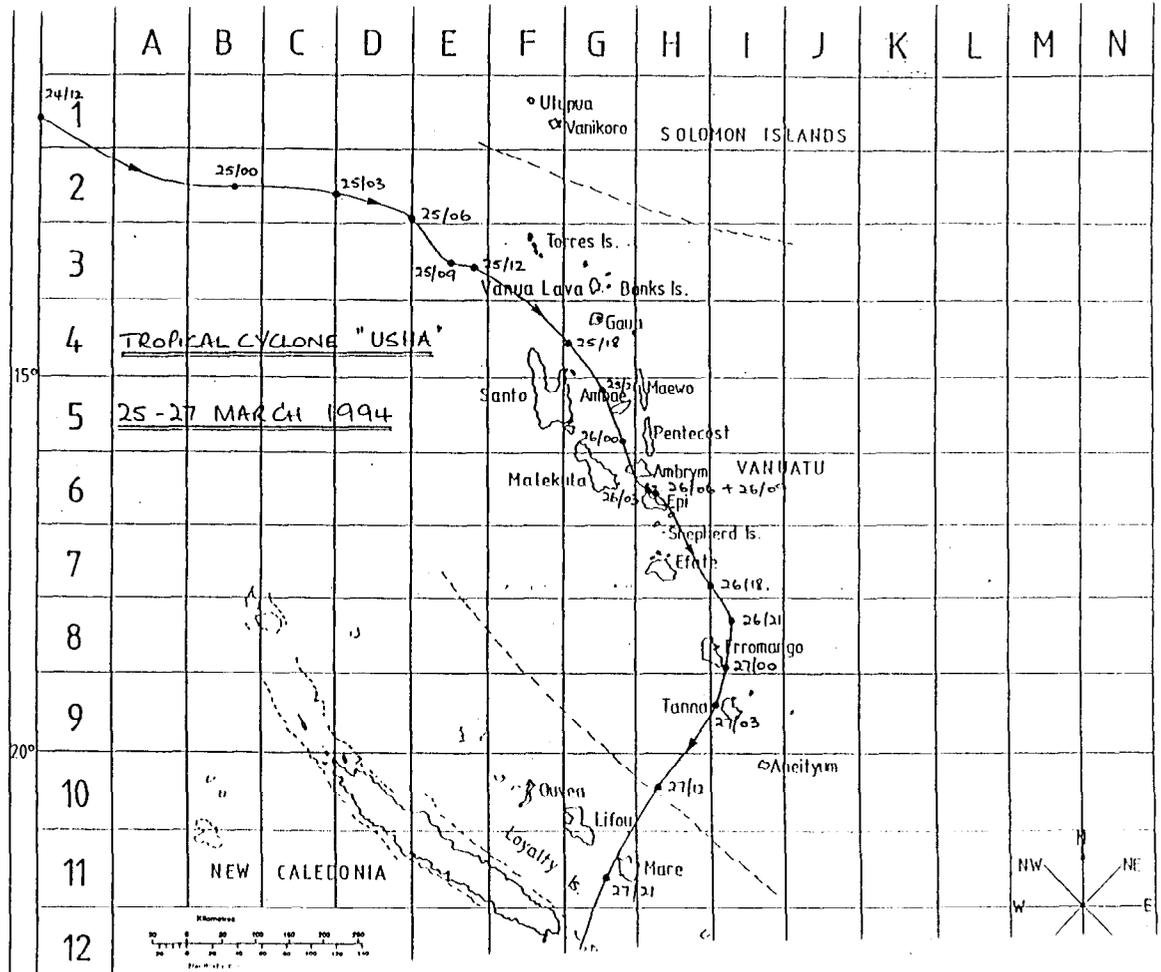
Ol dei 1125 kHz

Wan wan mesej long Saeklon bac i talem yu wea nao Saeklon emi stap mo ples we bambae emi muv iko long hem.

Sipos yu lisen gut bae yu save plotem ol posison long Saeklon stret long Map ia we oli kolek "Map blong Traking".

Ol posison bae oli stap kivim nomo long ol leta mo namba, olsem B2 mo D10 we yu save folem olgeta sipos yu luk long map blong yu.

Olsem exampol, Efate Aelan emi stap stret insaed long skuea H7.



ANNEXE 2.5.

Quelques données pluviométriques.

VANUATU METEOROLOGICAL SERVICE

Monthly Rainfall (in millimetres)

Island:	TANNA												(Sep 1972 -
Station:	BURTONFIELD												191°032'S 1691°015'E
													74 metres above msl
Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
1972									151.6	46.0	15.0	73.9	716.2
1973	62.2	68.2	143.5	32.4	111.4	62.3	361.1	198.3	48.4	19.1	180.3	123.8	1411.5
1974	261.6	311.5	93.6	35.6	332.5	146.4	35.5	13.8	32.1	400.2	105.2	91.0	1909.0
1975	148.3	118.3	228.6	372.4	191.7	74.7	24.0	122.1	48.3	168.5	139.6	279.7	1916.2
1976	379.5	138.4	216.5	208.9	20.9	67.3	56.6	155.5	110.1	82.7	41.8	7.5	1485.8
1977	346.6	173.2	188.0	110.3	29.6	55.9	16.2	187.4	60.9	5.4	53.9	47.9	1275.3
1978	119.1	25.8	150.2	54.9	144.5	74.3	63.8	91.1	24.9	35.2	85.3	110.7	979.8
1979	510.6	165.5	143.7	78.0	67.5	102.7	36.9	1.3	48.2	34.1	0.7	18.7	1208.4
1980	257.8	426.3	195.1	162.4	39.5	138.0	87.3	31.1	75.9	44.3	15.5	46.6	1519.8
1981	169.6	265.0	242.2	25.0	86.6	59.7	12.4	42.7	21.2	65.8	30.2	229.8	1250.2
1982	174.3	156.3	167.9	48.3	18.3	142.6		35.7		2.4	41.1	37.9	896.4
1983	44.9	284.6	285.0	17.1	9.9	21.6	5.3	18.2	0.5	30.4	88.3	65.6	871.4
1984	94.1	158.4	55.5	37.8	96.6	100.9	26.8	12.3	16.7	19.5	78.5	54.7	752.3
1985	189.4	63.4	122.8	120.2	153.6	158.5	51.3	9.4	110.7	37.5	342.4	56.3	1415.5
1986	64.1	235.6	134.7	88.2	52.1	24.5	5.3	54.3	21.3	0.6	23.4	91.0	795.6
1987	51.3	511.6	193.2	16.3	5.2	24.8	17.1	10.0	17.9	32.3	46.1	37.9	963.7
1988	373.1	181.1	276.4	143.9	60.6	120.1	55.0	67.3	4.4	91.0	207.6	220.8	1801.8
1989	154.7	604.4	227.5	122.2	180.1	40.4	56.1	83.0	129.7	34.1	92.0	96.1	1820.3
1990	161.2	240.4	140.2	51.7	5.2	26.5	2.1	60.3	28.1	57.2	68.4	82.7	924.0
1991	111.4	309.6	209.1	57.3	88.5	87.8	57.6	19.0	9.2	14.1	17.9	44.3	1025.8
1992	72.9	90.8	133.2	164.0	22.8	160.5	37.4	29.1	8.1	8.3	15.9	46.5	789.5
1993	52.1	49.3	111.5	106.6	115.2	26.0	59.8	38.5	8.7	18.9	0.6	11.1	598.3
1994	371.8	108.5	254.8	21.3	12.5								

BURTONFIELD : LONG-TERM MEANS AND EXTREMES

1972-80 (8yrs)	260.7	178.4	169.9	131.9	117.2	90.2	85.2	100.2	72.3	92.8	70.8	88.9	1463.2
1981-90 (10yrs)	147.7	270.1	184.5	67.1	66.8	72.0	25.7	39.5	38.9	37.1	101.8	97.3	1149.2
1973-94 (21yrs)	189.6	213.0	177.9	94.3	83.9	81.7	53.4	61.1	48.9	56.7	76.8	85.2	1196.7
MAXIMUM	510.6	604.4	285.0	372.4	332.5	160.5	361.1	198.3	151.6	400.2	342.4	279.7	1916.2
MINIMUM	44.9	25.8	55.5	16.3	5.2	21.6	2.1	1.3	0.5	0.6	0.6	7.5	598.3

Note: No readings for July and September 1982 - records lost.

VANUATU METEOROLOGICAL SERVICE

Monthly Rainfall (in millimetres)

Island: TANNA (Jan 1953 - Aug 1972)
 Station: ISANGEL 191°33'S 1691°016'E
 97 metres above msl

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
1958							68.0	31.0	68.0	75.0	23.0	11.0	
1959	367.3	226.0	110.0	93.2	54.4	99.6	40.9	115.3	24.9	135.7	125.0	368.6	1811.7
1960	283.5	120.1	615.2	157.2	290.3	37.4	32.3	115.3	33.3	43.4	13.7	35.3	1928.0
1961	353.6	143.0	203.5	124.5	212.6	90.9	74.9	231.4	46.2	43.7	90.4	123.7	1888.4

1962	339.6	232.0	369.3	98.3	131.8	65.3	148.1	73.9	10.4	118.4	108.7	173.3	1880.1
1963	332.0	177.0	324.1	324.6	209.0	157.0	215.6	133.3	28.4	51.8	111.0	10.2	2085.2
1964	26.2	179.6	213.7	332.0	29.5	30.0	14.7	190.2	34.1	62.7	69.1	74.4	1361.2
1965	163.3	253.1	224.3	64.5	95.3	30.3	65.0	103.1	77.7	24.1	53.2	104.4	1314.0
1966	254.0	302.8	36.9	63.8	84.6	38.9	46.0	16.3	2.5	37.3	72.1	295.9	1303.1
1967	150.3	282.4	339.9	161.0	74.4	94.5	43.7	112.3	35.1	38.4	30.0	163.3	1635.2
1968	111.5	289.6	190.2	52.1	111.0	166.6	132.6	23.2	17.5	25.7	14.7	135.4	1270.3
1969	37.1	236.0	174.0	38.1	154.9	22.1	64.3	89.9	78.7	21.1	135.9	35.3	1237.9
1970	99.3	353.2	155.7	166.4	101.9	125.2	44.5	55.9	70.6	72.4	61.7	97.0	1409.3
1971	267.5	325.9	724.7	163.6	45.3	128.4	136.1	25.4	52.3	62.5	99.1	160.3	2191.6
1972	141.0	260.9	214.4	186.7	32.0	331.0	28.7	27.4					

ISANGEL : LONG-TERM MEANS AND EXTREMES

1958-60 (3 yrs)	325.4	173.2	362.6	125.2	172.6	93.5	63.7	37.4	53.7	101.4	53.9	133.5	1369.9
1961-70 (10 yrs)	192.7	251.7	238.7	142.5	120.5	92.1	35.0	103.2	51.1	59.6	79.7	121.3	1538.7
1953-72 (14 yrs)	210.3	146.4	239.4	144.7	119.3	112.0	30.4	89.3	52.3	68.3	75.6	123.1	1639.9
MAXIMUM	367.3	179.2	724.7	332.0	290.3	331.0	215.6	231.4	35.1	135.7	135.9	368.6	2191.6
MINIMUM	26.2	101.1	36.9	38.1	29.5	22.1	14.7	16.3	2.5	31.1	13.7	10.2	1237.9

VANUATU METEOROLOGICAL SERVICE

Monthly Rainfall Data for PANNA
in millimetres.

Station: Inakayip Coffee Development 19 24'S 169 19'E
274 metres above msl
(Mar 1984-

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
1984			193.5	31.5	307.0	435.5	156.0	38.0	32.0	110.0	313.0	212.0	1833.5
1985	281.0	255.5	313.4	351.3	561.3	496.0	136.0	37.0	35.0	15.3	1305.0	219.0	4107.3
1986	320.5	395.5	283.0	223.5	129.0	37.0	11.0	52.5	112.5	22.5	41.0	316.5	1995.5
1987	101.5	574.0	120.5	192.5	72.5	51.0	195.7	62.5	60.0	66.3	78.3	77.3	1662.4
1988	389.3	356.1	565.5	264.6	144.0	447.3	111.0	375.0	41.7	176.0	252.7	619.0	4253.2
1989	403.5	344.5	455.5	523.0	375.0	153.0	34.0	182.0	131.0	71.0	125.0	270.0	3683.5
1990	529.5	417.5	375.0	255.0	34.5	149.0	108.0	38.0	94.0	107.5	246.5	197.0	2510.5
1991	151.5	522.5	397.0	77.5	154.0	315.5	31.5	30.5	28.5	123.0	12.0	85.0	2179.5
1992	321.0	284.3	410.5	577.0	111.0	302.5	75.5	41.0	53.5	23.5	45.5	178.0	2343.0
1993	108.0	115.0	153.5	156.5	195.5	134.0	15.5	63.0	16.0	27.0	11.0	10.2	1053.7
1994	555.5	331.0	306.0	150.5	31.2								

=====

INAKAYIP: LONG-TERM MEAN AND EXTREMES

1984-1993 (10 yrs)	168.0	432.3	345.2	266.3	209.4	157.5	96.5	101.0	70.0	79.5	269.0	241.5	2729.9
MAXIMUM	399.3	344.5	565.5	577.0	561.3	496.0	136.0	376.0	131.0	176.0	1305.0	619.0	4253.2
MINIMUM	101.5	115.0	120.5	31.5	34.5	51.0	11.0	30.5	28.5	15.3	12.7	77.3	1662.4

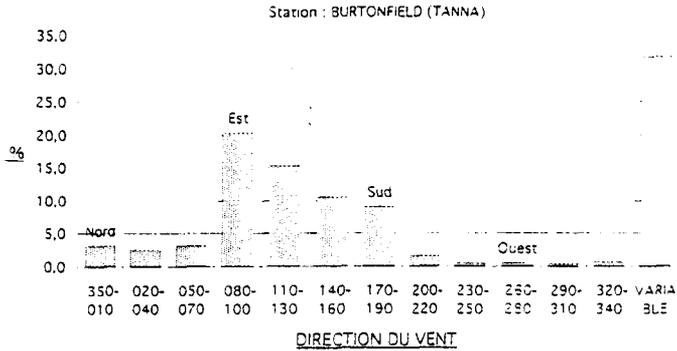
Notes: Monthly means and extremes include all values where available.

=====

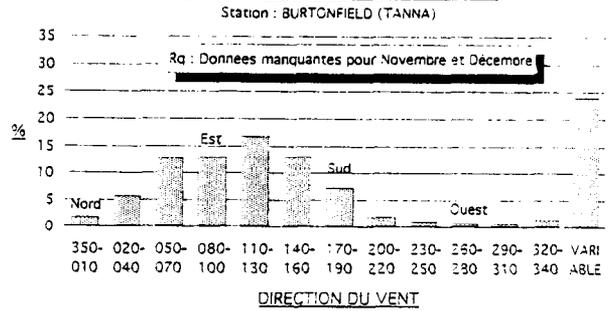
ANNEXE 2.6.

Directions des vents de 1985 à 1989. (source: ORSTOM)

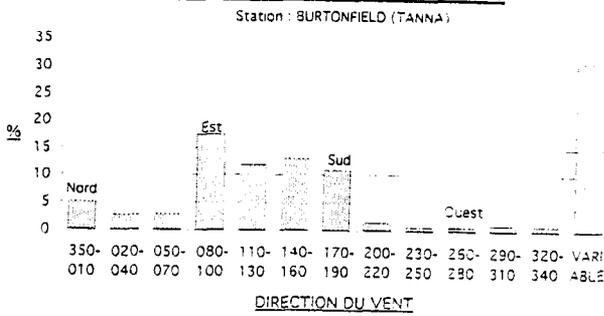
DIRECTION DES VENTS POUR 1985



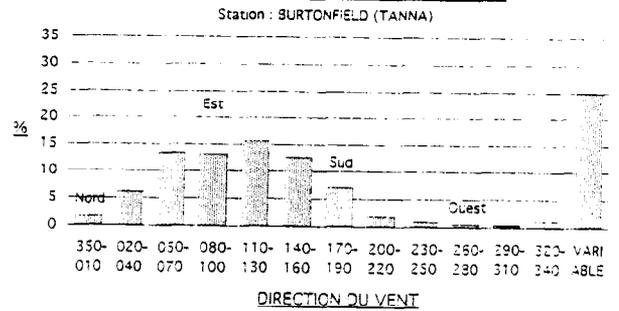
DIRECTION DES VENT POUR 1988



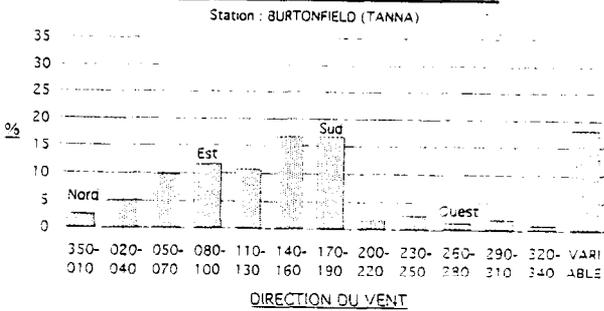
DIRECTION DES VENTS POUR 1986



DIRECTION DES VENTS POUR 1989



DIRECTION DES VENTS POUR 1987



ANNEXE 2.7.

Teneurs en chlorures, sulfates, et nitrates des différentes stations.

Port-Résolution

Dates	Chlorures	Sulfates	Nitrates	Ph
Apr-92	9.25		0.40	2.76
May-92	9.60	5.20	0.10	
Aug-92	8.87	7.20		6.40
Sep-92	11.40	8.30		7.00
Nov-92	12.78	9.12		7.30
Apr-93	9.00	4.60	1.16	
May-93	9.23	5.28		6.80
Oct-93	17.60	4.50	3.10	5.10
Jan-94	7.30	3.50	54.70	3.90
Mar-94	17.10	11.60	6.15	5.00
May-94	12.50	6.40	1.40	7.30

Yasur

Dates	Chlorures	Sulfates	Nitrates	Ph
Apr-92	38.35	29.60	0.30	6.90
May-92	14.60	11.50	0.20	
Aug-92	16.33	13.92		6.70
Sep-92	16.90	14.80	0.23	6.70
Nov-92	15.26	18.72		6.20
Apr-93	19.10	87.10		
May-93	18.81	80.16		7.00
Oct-93	21.60	38.20	0.30	6.90
Jan-94	6.70	8.10	0.00	7.20
Mar-94				
May-94	18.00	33.40	0.23	6.80
Jun-94	18.60	17.00	1.20	6.90

Lonvialou

Dates	Chlorures	Sulfates	Nitrates	Ph
Apr-92	12.75	27.70	5.70	7.30
May-92	9.80	7.10	2.00	
Aug-92	8.52	8.64		6.50
Sep-92	8.90	5.80	1.68	7.50
Nov-92	9.23	7.80		7.10
Apr-93	8.70	5.20	7.00	
May-93	8.88	6.24		7.40
Oct-93	11.70	10.10	2.80	7.60
Jan-94	10.90	10.60	8.30	6.80
Mar-94	10.55	18.35	1.95	7.40
May-94	9.60	9.70	1.30	8.30
Jun-94				

Looniel

Dates	Chlorures	Sulfates	Nitrates	Ph
Apr-92	12.55	7.60	1.10	6.40
May-92	6.50	1.80	0.20	
Aug-92	7.50	2.88		6.50
Sep-92	12.30	8.20	0.30	7.30
Nov-92	11.36	10.08		6.50
Apr-93	12.60	7.40	0.13	
May-93	14.20	7.68		6.30
Oct-93	17.70	11.20	0.10	7.10
Jan-94	7.70	7.30	0.10	7.40
Mar-94	15.80	13.10	0.15	7.00
May-94	13.60	6.40	0.13	7.40
Jun-94				6.60

Nayanamanakel

Dates	Chlorures	Sulfates	Nitrates	Ph
May-92	14.10	10.90		
Aug-92	14.55	11.04		5.20
Sep-92	25.40	23.30		6.10
Nov-92	21.60	24.00		4.70
Apr-93	22.50	57.40		
May-93	22.01	50.88		6.30
Oct-93	33.30	47.90	0.10	7.10
Jan-94	10.70	31.90	0.10	6.60
Mar-94	22.00	50.35	0.00	7.00
May-94	53.90	23.10	0.04	7.40
Jun-94	50.60	51.80	0.00	6.60

ANNEXE 3.1

Description des différentes cultures au Vanuatu (source: Weightman, 1989)

1. Les jardins d'ignames.

L'igname est la plante coutumière par excellence. Elle existe en grand nombre d'espèces cultivées et appartient à la famille des *Dioscoreacea*. (plantes tropicales grimpantes originaire de l'Est Asiatique). La plante développe à la base de la tige un tubercule qui sert d'organe d'accumulation (annuel) pour passer la saison sèche en dormance; s'il n'est pas récolté, il produit de nouvelles pousses à la saison humide. Le tubercule ancien laisse alors la place aux nouveaux venus. La forme du tubercule est fonction de l'espèce.

Au Vanuatu, les ignames sont généralement cultivés par enfouissement (entier ou coupé). La technique de l'agriculture de butte consiste à n'utiliser que la partie superficielle du sol, la plus riche en général.

L'espèce la plus représenté est le *soft yam* (*Dioscorea Alata*). Elle a été introduite dans l'archipel il y a environ 200 ans. Sa tige est sans épine et ses feuilles sont étroites et en forme de coeur. Un pied développe en général un tubercule principal et quelques petits. Il est planté d'août à septembre et récolté de Mars à Avril, c'est à dire 8 à 9 mois après sa plantation; les feuilles à ce moment jaunissent sur la tige qui elle même noircit, meurt, puis repart.

La récolte demande une attention particulière car la moindre égratignure aux tubercules fait perdre de la qualité aux ignames. Une fois sortie de terre, les ignames sont alors stockés. La période creuse est alors comblée soit par le manioc, soit par la patate douce.

D'après les observations du Ministère de l'Agriculture de Vanuatu, il semble très résistant aux cyclones.

Pour les ignames, un bon environnement se résume à:

- une température aux alentours de 30°C.
- une saison sèche de deux à quatre mois.
- Pas moins de 1500 mm d'eau distribuée tout le long de l'année.
- Des sols très riches permettant un bon enfouissement de l'igname.

Un des dangers à retenir pour cette plante est le problème des nématodes (*Pratylenchus Coffea*). Il fait son apparition quand les périodes de rotation se raccourcissent (au bout de 7 années de jachère, il n'y a pas de problème. mais au bout de 3 ?..)

2. Les jardins de tarro

Le tarro est l'une des plantes vivrière les plus importantes au Vanuatu. Il en existe ici 3 types de la famille *Anacea* :

Colocasia esculenta, *Xanthozona chamissosis* (tarro fidji) et *Alocasia macrorhiza* (tarro sauvage consommé en plante de secours).

-*Colocasia esculenta* est l'espèce la plus cultivée au Vanuatu. C'est un herbacé tubéreux très vivace avec une tige courte qui produit à son sommet de larges feuilles comestibles. Sous terre est développé un tubercule plus ou moins long. *Colocasia*

s'adapte très bien à des conditions difficiles. Il peut être cultivé par irrigation. Certaines variétés acceptent un haut taux de salinité dans le sol ou dans l'eau d'irrigation. Au Vanuatu, c'est l'aliment complémentaire de l'igname. *Colocasia* peut être planté à n'importe quelle époque de l'année et la plupart des variétés sont matures en 8 ou 9 mois. Il est parfois planté entre les ignames. Après la récolte, le tubercule se garde peu de temps (1 semaine).

Un des problèmes rencontrés pour les cultures de Tanna est un coléoptère (l'espèce Papouana) qui fore le tubercule. Il s'attaque aussi à la banane, à l'igname, à la patate douce, au cocotier et au palmier.

Il existe beaucoup d'autres prédateurs du tarro mais en général, les jardins sont isolés et très rarement menacés.

-Le tarro Fidji a lui été introduit au XIX^{ème}. Il a une préférence pour les climats humides, mais il résiste bien à la sécheresse. Il donne un tubercule principal et plusieurs secondaires. La plante peut atteindre 2.5 m de haut. Il se situe dans une grande variété de sol, avec une préférence pour les sols profonds bien drainés et fertiles, et un PH compris entre 5.5 et 6.5. Il peut être planté toute l'année.

La récolte se fait entre 9 et 12 mois après la plantation.

Pour ce qui est du tarro sauvage, il est utilisé comme plante de secours. Il est normalement donné aux cochons.

3. Le manioc (*manihot esculenta*)

Le manioc, ou tapioca, est un petit arbuste qui est une assurance pour les moments difficiles. Quand il est cultivé, il peut atteindre 2 à 3 m de haut. Il fournit un tubercule d'environ un mètre. On le replante par coupe (les graines mettent trop de temps pour pousser)

C'est une plante qui préfère les taux d'humidité élevés et une pluie abondante bien distribuée; Malgré cela, elle peut endurer des périodes de sécheresse (sauf en début de cycle). On est susceptible de le faire pousser sur un large éventail de sols, même assez pauvre, le tout étant que le pied du manioc ne soit pas dans l'eau.

Il peut être planté toute l'année soit en jardins, soit mélanger à d'autres cultures. On le récolte 6 à 8 mois après la plantation.

Le manioc est très sensible aux cyclones: pour éviter les pertes et avant les grands coups de vents, les agriculteurs, quand il sont prévenus, coupent les plants pour protéger les tubercules. C'est une nourriture de secours très importante qui pousse quasiment partout. On la donne parfois à manger aux cochons.

Pour l'alimentation humaine, on le mange bouilli, rôti ou en lap-lap, le plat traditionnel du Vanuatu.

4. La patate douce (*Iponoea batatas*).

C'est une plante vivace grimpante. Les tubercules sont formés par un second épaississement des racines (environ 10 par pied) dans les 20 premiers centimètres du sol. La récolte se fait assez rapidement (3 mois dans les meilleurs cas), ce qui fait de ce tubercule une sécurité non négligeable. Elle est parfois plantée pour remplacer l'igname, juste après la récolte de celui-ci. La patate douce (*cumala* en bishlamar) s'adapte vraiment partout au Vanuatu étant donné ses exigences écologiques larges.

Les trois grands atouts de la patate douce sont:

-sa partie comestible située sous terre peut résister aux cyclones.

-Elle est très résistante à la sécheresse et peut tout de même produire en période de manque d'eau.

-Son cycle court permet un apport rapide en nourriture dans le cas d'une catastrophe.

En plus, du point de vu nutritionnel, cette plante est très bien pourvu en sels minéraux

et en vitamines. Les restes des patates sont données comme nourriture aux cochons.

Cette culture tend à devenir de plus en plus répandue, remplaçant l'igname dans certaines régions (White Sand par exemple).

Ses plus grands prédateurs sont les rats et un charançon (Euscepe post-fascitus).

ANNEXE 3.2.

Résultats d'analyse de sols.

Résultats du 5.09.94 obtenus par P.QUANTIN.
Laboratoire LFS - ORSTOM Bondy (France).

I. Analyse du pH et des anions en solution

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

Echantillon	pH e.a.	CO ₃ mg/l	Cl mg/l	NO ₃ mg/l	SO ₄ * mg/l
1. Jardin de Manioc	5,27	24,41	31,80	46,05	64,70
2. Site 2	5,34	21,36	40,65	108,40	49,55
3. Site 3 jardin	6,41	295,95	46,50	62,35	54,45
4. Navanamakel	4,39	0,00	25,60		118,90

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

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

II. Analyse de N, C et S

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

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

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

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

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

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

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

ANNEXE 3.3.

Résultats détaillés des 3 sites étudiés.

SITE 1	PLOT 1
NOMS	REMARQUES
<i>pipturus argenteus</i>	3 spécimens abimés
<i>Macaranga dioica</i>	2 spécimens abimés
<i>Cyathea lunulata</i>	4 spécimens abimés
<i>Acalypha grandis</i>	1 fourré abimé
<i>Impérata cylindrica</i>	couverture du sol; les feuilles sont jaunes
Aspidiacea	Tous les spécimens sont touchés
<i>Stenotaphrum dimidiatum</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Lantana camara</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Ipomoea acuminata</i>	Tous les spécimens sont fortement touchés
<i>Mikania micrantha</i>	Les feuilles sont brûlées, boursoufflées et couvertes de cendre
<i>casuarina equisetifolia</i>	1 spécimen non abimé
<i>Trema orientalis</i>	1 spécimen abimé
<i>Halviscus peuduliflorus</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Homalanthus nutans</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Phynatosoms grossus</i>	Tous les spécimens sont fortement touchés
<i>Dicranopteris</i>	Tous les spécimens sont fortement touchés
<i>Mélastoma malabathicum</i>	1 spécimen non abimé
<i>Ficus oblica</i>	2 spécimens dont 1 abimé
<i>Ficus scabra</i>	1 spécimen abimé
<i>Ficus septica</i>	1 spécimen peu abimé
<i>Vigna lablab</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Panicum maximum</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Glochidion namilo</i>	4 spécimens abimés

SITE 1	PLOT 2
NOMS	REMARQUES
<i>pipturus argenteus</i>	9 spécimens aux feuilles jaunes
<i>Macaranga dioica</i>	2 spécimens dont 1 abimé
<i>Acalypha grandis</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Impérata cylindrica</i>	Tous les spécimens sont touchés
Aspidiacea	Tous les spécimens sont touchés
<i>Lantana camara</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Ipomoea acuminata</i>	Tous les spécimens sont fortement touchés
<i>Trema orientalis</i>	4 spécimens abimés
<i>Halviscus peuduliflorus</i>	1 spécimen abimé
<i>Dicranopteris</i>	1 spécimen abimé
<i>Ficus oblica</i>	1 spécimen abimé
<i>Ficus septica</i>	1 spécimen abimé
<i>Vigna lablab</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Panicum maximum</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Glochidion namilo</i>	3 spécimens abimés
<i>Hibiscus tiliaceus</i>	1 spécimen abimé
<i>Cocos nucifera</i>	1 spécimen abimé
Gramineace	Tous les spécimens sont touchés

SITE 1	PLOT 3
NOMS	REMARQUES
<i>pipturus argenteus</i>	8 spécimens abimés
<i>Macaranga dioica</i>	2 spécimens abimés
<i>Cyathea lunulata</i>	4 spécimens abimés
<i>Acalypha grandis</i>	1 spécimen abimé

<i>Ipomoea acuminata</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Mikania micrantha</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Dicranopteris</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Ficus oblica</i>	1 spécimen abimé
<i>Vigna lablab</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Glochidion namilo</i>	3 spécimens abimés
<i>Dioscorea bulbifera</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Macropiper latifolium</i>	10 spécimens abimés
<i>Evodia latifolia</i>	1 spécimen abimé
<i>Pueraria lobata</i>	Tous les spécimens sont touchés

SITE 1

PLOT 4

NOMS	REMARQUES
<i>ipturus argenteus</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Cyathea lunulata</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Acalypha grandis</i>	4 spécimens abimés
<i>Impérata cylindrica</i>	Tous les spécimens sont touchés
Aspidiaceae	Tous les spécimens sont touchés
<i>Ipomoea acuminata</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Mikania micrantha</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Trema orientalis</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Halviscus peuduliflorus</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Homalanthus nutans</i>	Les jeunes plantes ne sont pas touchés
<i>Phynatosoms grossus</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Vigna lablab</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Panicum maximum</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Glochidion namilo</i>	3 spécimens abimés
<i>Hibscus tiliaceus</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Miscanthus</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Macropiper latifolium</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Cordiline fruticosa</i>	3 spécimens abimés
<i>Eleusine indica</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Synedrella nodiflora</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Sida rhombifolia</i>	Tous les spécimens sont touchés

SITE 1

PLOT 5

NOMS	REMARQUES
<i>ipturus argenteus</i>	5 spécimens abimés
<i>Macaranga dioica</i>	3 spécimens abimés
<i>Acalypha grandis</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Impérata cylindrica</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Mikania micrantha</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Trema orientalis</i>	1 spécimen abimé
<i>Halviscus peuduliflorus</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Homalanthus nutans</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Phynatosoms grossus</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Panicum maximum</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Glochidion namilo</i>	5 spécimens abimés
<i>Ficus adenosperma</i>	1 spécimen abimé
Gramineace	spécimens jaunis
<i>Fluggea flexuosa</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Epipremnum sp</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Macropiper latifolium</i>	Tous les spécimens sont touchés(perforés)
<i>Geniostoma sp</i>	Tous les spécimens sont touchés(perforés)

<i>Synedrella nodiflora</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Sida rhombifolia</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Mimosa pudica</i>	Tous les spécimens sont touchés
<i>Eleusine indica</i>	Tous les spécimens sont touchés

SITE2 NOMS	PLOT 1 REMARQUES
<i>Elaeocarpus persicifolius</i>	3 spécimens perforés, jaunis
<i>Myristica fatoua</i>	2 spécimens aux feuilles jaunies
<i>Dysoxylum</i> sp	2 spécimens aux feuilles jaunies
<i>Semecarpus vitiensis</i>	1 spécimens sans feuilles
<i>Elattostachy falcata</i>	1 spécimen touché
<i>Glochidion namilo</i>	2 spécimens avec les feuilles trouées
<i>Casuarina equisetifolia</i>	2 spécimens non abimés
<i>Homalanthus nutans</i>	3 spécimens peu touchés
<i>Ficus septica</i>	1 spécimen peu touché
<i>Claoxylon falax</i>	2 spécimens peu touchés
<i>Ficus wassa</i>	3 spécimens peu touchés
<i>Pipturus argenteus</i>	2 spécimens touchés
<i>Ficus adenosperma</i>	10 spécimens touchés
<i>Lantana camara</i>	Non touché
<i>Pteris conans</i>	tous les spécimens sont peu touchés
<i>Macropiper latifolium</i>	tous les spécimens sont peu touchés
<i>Epipremnum pinnatum</i>	tous les spécimens sont peu touchés
<i>Evodia</i> sp	tous les spécimens sont touchés
<i>Sphaerostephanos invisus</i>	tous les spécimens sont peu touchés
<i>Mikania micrantha</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Ipomoea acuminata</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Leucocyke australis</i>	tous les spécimens sont peu touchés
<i>Macaranga dioica</i>	3 spécimens sont touchés
<i>Cyathéa lunulata</i>	tous les spécimens sont peu touchés
<i>Dendrocnide latifolia</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Paspalum conjugatum</i>	non touchés
<i>Desmonium canum</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Syzygium</i> sp	1 spécimen non touché
<i>Hémigraphis reptans</i>	non touchés
<i>Sterculia odorata</i>	non touchés
<i>Bischoffia javanica</i>	tous les spécimens sont touchés

SITE 2 NOMS	PLOT 2 REMARQUES
<i>Casuarina equisetifolia</i>	1 spécimen non touché
<i>Homalanthus nutans</i>	spécimens nons- affectés
<i>Ficus septica</i>	spécimens peu touchés
<i>Pipturus argenteus</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Lantana camara</i>	spécimens non touchés
<i>Macropiper latifolium</i>	10 spécimens non touchés
<i>Mikania micrantha</i>	spécimens non touchés
<i>Ipomoea acuminata</i>	tous les spécimens sont fortement touchés
<i>Leucocyke australis</i>	tous les spécimens sont fortement touchés
<i>Macaranga dioica</i>	tous les spécimens sont touchés
<i>Cyathéa lunulata</i>	Tous les spécimens sont un peu touchés
<i>Paspalum conjugatum</i>	5 spécimens non touchés

Hémigraphis reptans	spécimens non touchés
Cofea arabica	spécimens nons- affectés
Acalypha grandis	aucun spécimen affecté
Ficus adenosperma	spécimens peu touchés
Erytrina variegata	tous les spécimens sont fortement touchés

SITE2

PLOT 3

NOMS	REMARQUES
Myristica fatoua	spécimens non affectés
Dysoxylum sp	
Homalanthus nutans	spécimens non affectés
Pipturus argenteus	tous les spécimens sont affectés
Lantana camara	Tous les spécimens sont peu touchés
Macropiper latifolium	spécimens non affectés
Mikania micrantha	spécimens non affectés
Ipomoea acuminata	tous les spécimens sont affectés
Macaranga dioica	6 spécimens affectés
Cyathéa lunulata	spécimens non affectés
Paspalum conjugatum	spécimens non affectés
Desmonium canum	spécimens non affectés
Hémigraphis reptans	spécimens non affectés
Bischoffia javanica	tous les spécimens sont affectés
Acalypha grandis	spécimens nons- affectés
Imperata cylindrica	peu affecté
Melochia odorata	spécimens non affectés
Ficus adenosperma	tous les spécimens sont affectés
Ficus scabra	Tous les spécimens sont peu touchés
Erythrina variegata	tous les spécimens sont affectés
Cypéraceae	spécimens non affectés
Vigna lablab	Tous les spécimens sont peu touchés
Dioscorea platyphylla	Tous les spécimens sont peu touchés
Cordyline fruticosa	spécimens non- affectés
Cofea arabica	spécimens non- affectés
Désoxylum sp	spécimens non- affectés
Cryptocarya tannaensis	spécimens non- affectés
Elaeocarpus persicifolius	tous les spécimens sont affectés
Ficus prolixa	spécimens non affectés

SITE2

PLOT 4

NOMS	REMARQUES
Dysoxylum sp	non affectés
Glochidion namilo	tous les spécimens sont affectés
Homalanthus nutans	non affectés
Ficus wassa	tous les spécimens sont affectés
Pipturus argenteus	tous les spécimens sont affectés
Ficus adenosperma	tous les spécimens sont affectés
Lantana camara	tous les spécimens sont affectés
Pteris conans	non affectés
Macropiper latifolium	non affectés
Epipremnum pinnatum	non affectés
Sphaerostephanos invisus	non affectés
Ipomoea acuminata	tous les spécimens sont affectés
Leucocyke australis	tous les spécimens sont affectés
Macaranga dioica	tous les spécimens sont affectés

Cyathéa lunulata	non affectés
Dendrocide latifolia	1 spécimen affecté
Paspalum conjugatum	non affectés
Hémigraphis reptans	tous les spécimens sont affectés faiblement
Bischoffia javanica	4 spécimens affectés
Entada phaseoloides	tous les spécimens sont affectés
Sida rhombifolia	non affectés
Bidens pilosa	tous les spécimens sont peu affectés
Synedrella nodiflora	tous les spécimens sont peu affectés
Ficus obliqua	non affectés
Cofea arabica	non affectés
Maesa sp	non affectés
Achyranthes aspera	non affectés
Barringtonia édulis	tous les spécimens sont affectés
Davalia solida	non affectés
Cryptocaria tannaensis	tous les spécimens sont affectés

SITE2

PLOT 5

NOMS	REMARQUES
Elaeocarpus persicifolius	tous les spécimens sont affectés
Dysoxylum sp	non touchés
Glochidion namilo	tous les spécimens sont affectés
Casuarina equisetifolia	non touchés
Homalanthus nutans	non touchés
Ficus septica	3 spécimens affectés
Claoxylon falax	tous les spécimens sont affectés
Ficus wassa	tous les spécimens sont affectés
Pipturus argenteus	tous les spécimens sont affectés
Ficus adenosperma	tous les spécimens sont affectés
Lantana camara	tous les spécimens sont affectés
Pteris conans	non touchés
Macropiper latifolium	tous les spécimens sont affectés
Epipremnum pinnatum	tous les spécimens sont affectés
Sphaerostephanos invisus	non touchés
Mikania micrantha	tous les spécimens sont affectés
Ipomoea acuminata	tous les spécimens sont affectés
Leucocyke australis	tous les spécimens sont affectés
Macaranga dioica	10 spécimens sont affectés
Cyathéa lunulata	tous les spécimens sont peu affectés
Dendrocide latifolia	2 spécimens affectés
Hémigraphis reptans	non touchés
Bischoffia javanica	4 spécimens sont affectés
Cordyline fruticosa	tous les spécimens sont affectés
Erythina variegata	tous les spécimens sont affectés
Panicum maximum	non touchés
Sida rhombifolia	non touchés
Pisonia umbellifera	non touchés
Coffea arabica	non touchés
Bidens pilosa	non touchés
Taro fidji	non touchés
Entada phaseoloïde	tous les spécimens sont peu affectés
Vigna sp	tous les spécimens sont affectés
Davallia solida	non touchés

<i>Elatostachys falcata</i>	non touchés
SITE 3	PLOT 1
NOMS	REMARQUES
<i>Erratamia obusciuscula</i>	non touchés
<i>Rivina humilis</i>	non touchés
<i>Lantana Camara</i>	non touchés
<i>Gyrocarpus américainus</i>	non touchés
<i>Barringtonia edulis</i>	4 spécimens non touchés
<i>cocos nucifera</i>	3 spécimens non touchés
<i>Pometra pinnata</i>	9 spécimens non touchés
<i>Leucaena forsteri</i>	non touchés
<i>Morinda cytrifolia</i>	non touchés
<i>Macaranga dioïca</i>	non touchés
<i>Théobroma cocoa</i>	1 spécimen non touché
<i>Ficus septica</i>	non touchés
<i>Ficus prolixa</i>	non touchés
<i>Artocarpus atilis</i>	2 spécimens non touchés
<i>Grewia crenata</i>	non touchés
<i>Hibiscus tiliaceus</i>	non touchés
<i>Alchornea sp</i>	non touchés
<i>Murraya sp</i>	non touchés
<i>Cryptocarya tannaensis</i>	non touchés
<i>Cordyline fruticosa</i>	non touchés
<i>Achyranthes aspera</i>	non touchés
SITE 3	PLOT 2
NOMS	REMARQUES
<i>Erratamia obusciuscula</i>	non touchés
<i>Rivina humilis</i>	non touchés
<i>Lantana Camara</i>	non touchés
<i>Gyrocarpus américainus</i>	non touchés
<i>Barringtonia edulis</i>	7 spécimens non touchés
<i>Pometra pinnata</i>	non touchés
<i>Morinda cytrifolia</i>	non touchés
<i>Théobroma cocoa</i>	non touchés
<i>Grewia crenata</i>	non touchés
<i>Cryptocarya tannaensis</i>	non touchés
<i>Cofea arabica</i>	non touchés
<i>Sterculia tannaensis</i>	non touchés
<i>Inocarpus fagifère</i>	non touchés
<i>Solanum nigrum</i>	non touchés
<i>Epipremnum pinnatum</i>	non touchés
<i>Casia major</i>	non touchés
<i>Dracontomelon vitiense</i>	non touchés
<i>Pyenarrhena ozantha</i>	non touchés
<i>Mangifera indica</i>	2 spécimens sont affectés
<i>Sphaeros stéphanos invisus</i>	5 spécimens non touchés
<i>Passiflora suberosa</i>	non touchés
SITE 3	PLOT 3
NOMS	REMARQUES
<i>Erratamia obusciuscula</i>	non touchés
<i>Rivina humilis</i>	non touchés
<i>Lantana Camara</i>	non touchés

<i>Gyrocarpus americanus</i>	non touchés
<i>Barringtonia edulis</i>	non touchés
<i>Morinda cytrifolia</i>	non touchés
<i>Artocarpus altilis</i>	non touchés
<i>Dendrochne latifolia</i>	non touchés
<i>Dracontomelon vitiense</i>	non touchés
<i>Ficus scabra</i>	1 spécimen non touché
<i>Passiflora</i> sp	non touchés
<i>Solanum nigrum</i>	non touchés
<i>Inocarpus fagifère</i>	1 spécimen non touché
<i>Cofea arabica</i>	1 spécimen non touché
<i>Stephania</i> sp	non touchés
<i>Glochidion namilo</i>	non touchés
Citrus	1 spécimen non touché
<i>Ammona muricata</i>	non touchés
<i>Triumffeta lombata</i>	non touchés
<i>Leucaena forsteri</i>	non touchés
<i>Sida acuta</i>	non touchés
<i>Achyranthes aspera</i>	non touchés
<i>Rivina humilis</i>	non touchés

SITE 3

PLOT 4

NOMS	REMARQUES
<i>Erratamia obuscuscula</i>	non touchés
<i>Rivina humilis</i>	non touchés
<i>Lantana Camara</i>	non touchés
<i>Gyrocarpus americanus</i>	non touchés
<i>Barringtonia edulis</i>	non touchés
<i>Cocos nucifera</i>	non touchés
<i>Pometra pinnata</i>	non touchés
<i>Morinda cytrifolia</i>	non touchés
<i>Théobroma cocoa</i>	non touchés
<i>Artocarpus altilis</i>	non touchés
<i>Cryptocarya tannaensis</i>	non touchés
<i>Achyranthes aspera</i>	non touchés
<i>Triumpheta lombata</i>	non touchés
<i>Sida acuta</i>	non touchés
<i>Solanum nigrum</i>	non touchés
<i>Synedrella nodiflora</i>	non touchés
<i>Ricinus communis</i>	non touchés
<i>Annona</i> sp	non touchés
<i>Melia azedarach</i>	non touchés
<i>Stephania</i> sp	non touchés
<i>Ficus scabra</i>	non touchés
Citrus sp	non touchés
<i>Adenanthera pavonina</i>	non touchés
<i>Pycnarrhena ozantha</i>	non touchés
Cucurbitaceae	non touchés

SITE 3

PLOT 5

NOMS	REMARQUES
<i>Erratamia obuscuscula</i>	non touchés
<i>Rivina humilis</i>	non touchés
<i>Gyrocarpus americanus</i>	non touchés

<i>Barringtonia edulis</i>	non touchés
<i>Cocos nucifera</i>	non touchés
<i>Pometra pinnata</i>	non touchés
<i>Morinda cytrifolia</i>	non touchés
<i>Macaranga dioïca</i>	non touchés
<i>Cryptocarya tannaensis</i>	non touchés
<i>Achyranthes aspera</i>	non touchés
<i>Mangifera indica</i>	non touchés
<i>Dracontomelon vitiensis</i>	non touchés
<i>Inocarpus fagifer</i>	non touchés
<i>Melia azedarach</i>	non touchés
<i>Phyllanthus ciccoides</i>	non touchés
<i>Solanum ningrum</i>	non touchés
<i>Triumphetta lobata</i>	non touchés
<i>Sida acuta</i>	non touchés
<i>Synedrella nodiflora</i>	non touchés
<i>Planchonella liggensis</i>	non touchés
<i>Bambusa sp</i>	non touchés
<i>Bidens pilosa</i>	non touchés
<i>Pipturus argenteus</i>	non touchés
<i>Panicum maximum</i>	non touchés
<i>Bischoflia javanica</i>	non touchés
<i>Pycnarrhena ozantha</i>	non touchés
<i>Acalifa grandis</i>	non touchés

☒ ***Liste des cartes.***

	page
Carte 1.1. Carte de situation de l'archipel.	2
Carte 1.2. Répartition de la population de l'archipel.	3
Carte 1.3. La tectonique du globe.	4
Carte 1.4. Ile de Tanna.	6
Carte 2.1. Risques naturels dans le Pacifique Sud.	19
Carte 2.2. Direction des vents pour 1993.	24
Carte 2.3. Direction des vents pour 1994.	24
Carte 2.4. Situation des différentes stations de récupération d'eau à Tanna.	25
Carte 3.1. Situation des 3 sites tests.	33

☞ Liste des figures.

	page
Figure 1.1. Développement des terres émergées des Nouvelles Hébrides.	4
Figure 1.2. Structure de l'arc Néo-hébridais au centre de l'archipel.	4
Figure 1.3. Terres de Vanuatu	5
Figure 1.4. Evolution de la population de Tanna de 1859 à 1979.	7
Figure 1.5. Données météorologiques de Lenakel.	8
Figure 2.1. Les risques naturels dans le Pacifique Sud.	11
Figure 2.2. Principaux groupes de substances polluant l'atmosphère	14
Figure 2.3. Relation entre les dommages potentiels d'un cyclone et leurs causes.	19
Figure 2.3 bis Chronologie des cyclones ayant affecté Tanna	20
Figure 2.4. Précipitation par jour de pluie sur Tanna	22
Figure 2.5 et 2.6. Evolution des chlorures dans les eaux météorites de Tanna.	26
Figure 2.7. et 2.8. Evolutions des sulfates dans les eaux météorites de Tanna.	27
Figure 2.9. et 2.10. Evolution du PH dans les eaux météorites de Tanna.	29
Figure 4.1. Chronologie synthétique.	42
Figure 4.2.	43

☞ Liste des photographies.

	page
Photo n°1: Station de Nayanamakel.	18
Photo n°2: Patates douces de Lownow.	35
Photo n°3: Igname de Lownow	35
Photo n°4: Ignames d'Imaki	40

☞ Liste des tableaux.

	page
Tableau 1.1.Aides budgétaires France et Grande Bretagne	5.
Tableau 1.2.Aide au développement France et Grande-Bretagne	5
Tableau 2.1.Pluviométrie:région du Yasur (Tanna) en cm.	21
Tableau 3.1.Résultat du transect sur le site n°1.	33
Tableau 3.2.Résultat du transect sur le site n°2.	36
Tableau 3.3.Résultat du transect sur le site n°3.	38

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages et thèses.

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

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

BONNEMAISON (Joël). Les fondements d'une identité. Territoire, histoire et société dans l'archipel de Vanuatu (Mélanésie): L'arbre et la pirogue (Tome 1). 540 f. dactil. Thèse pour doctorat ès lettres et sciences humaines : Université de Paris IV : Soutenue le 18 Mars 1985 : Edition de l'ORSTOM (collection travaux et documentation n°201).

BONNEMAISON (Joël). Les fondements d'une identité. Territoire, histoire et société dans l'archipel de Vanuatu (Mélanésie): Tanna : les hommes lieux (Tome 2). 680 f. dactil. Thèse pour doctorat ès lettres et sciences humaines : Université de Paris IV : Soutenue le 18 Mars 1985 : Edition de l'ORSTOM (collection travaux et documentation n°201).

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

BONNEMAISON (Joël). Le développement rural en question: Les jardins magiques: géosystème de l'horticulture vivrière dans une île Mélanésienne du Pacifique sud. Mémoire n°106. Paris: 1984. p.461-482.

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

Philippe DIOLE Les oubliés du Pacifique. Paris: Flammarion, 1976. p.131-170.

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

Jean GUIARD. Un siècle et demi de contacts naturels à Tanna (Nouvelles Hébrides). Paris: la société des océaniste n°5 (Musé de l'homme), 1956.

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

LIMIER (Frantz). Le profil: une approche graphique et quantifiée de l'architecture et de l'écologie en forêts et agroforêts tropicales. DEA de botanique tropicale appliquées: 11 octobre 1988: Université des sciences et techniques du Languedoc (Académie de Montpellier).

Paul MONNIER. L'église catholique du Vanuatu (Tanna, Anatom et Tikopia). Port Vila :1er Avril 1992. p69-70.

MINISTERE DE LA COOPERATION ET DU DEVELOPPEMENT. Mémento de l'agronome. Quatrième éditions. Paris, techniques rurales en Afrique, 1991.

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

QUANTIN (Paul). Archipel des Nouvelles Hébrides. Sols et quelques données du milieu naturel. Erromango, Tanna, Aniwa, Anatom, Foutouna. ORSTOM Paris; Notice 56 f. dactil.(34*46) et une carte pédologique au 1/100.000; une carte géologique et de la végétation au 1/200.000.

Barry WEIGHTMAN.Agriculture in Vanuatu.Porsmouth, 1989.

J.I.WHEATLEY. A guide to the common trees of Vanuatu with list of their traditional uses and ni-Vanuatu names. Département of forestry-Républic of Vanuatu, 1992.

☞ Articles.

CHENEAU (Jean)._"Le Pacifique sud rongé par une modernité destructrice". Le monde diplomatique, Juillet 1990.

GILET (Philippe)._"L'eau dans le manteau terrestre". La recherche , n°255, Juin 1993, p.676-685.

LECLOAREC (M.F.) et MARTY (Bernard)._"Volatile flux from volcanoes". Terra Review, 3 XXX, p.204-214.

MILLARD (Coffin) et OLAV (Eldhom)._"Les provinces volcaniques". Pour la science, n°194, Décembre 1993, p.76-83.

PINTOPEIXOTO (José) et HOORT (Abraham). "Le cycle de l'eau et le climat". La recherche, n°221, vol 21, Mai 1990, p.570-579.

"Globale volcanisme Network report: November 1990". EOS Transaction, American Géophysical Union, Vol 72, n°3, January 15, 1991.

Journaux cités:
Le monde diplomatique.
La recherche.
Pour la science.
Terra Review.
EOS

Documents divers.

S.BIGOT. "La géochimie des eaux volcaniques; un moyen d'étude et de surveillance des volcans actifs". Société de volcanologie. Genève, SVG Information, n°4, 1988. 10 f.dact..

C.BLOT et H.TAZIEFF. "Quelques résultats de seismologie volcanique au volcan Yahue, dans l'île de Tanna (Nouvelles Hébrides)". Bruxelles, 1987. Bulletin de l'académie royale des sciences DOM. p.270-279.

M.CHAMBER et E.BANI. "Vanuatu-Ressources développement environnement. **Proceedings of a conférence held in Port-Vila, Vanuatu, 24-25 September 1987**". Port Vila, 1988.

Jean François DUPON. "Les cyclones". Centre territorial de recherche et de documentation pédagogiques-Nouvelle Calédonie, Juin 1988.

J.P.EISSEN et al. "Rapport des missions volcanologiques sur les îles d'Ambrym et de Tanna (Vanuatu) du 2 au 25 Septembre 1990." Rapport de mission, sciences de la terre. Géologie, géophysique n°22-1990. Document de travail. Centre ORSTOM de Nouméa (Nouvelle Calédonie). 22 f. dactil..

J.P.EISSEN et Rémy.LOUAT. "Chronologie de l'activité volcanique historique de l'arc insulaire des nouvelles Hébrides de 1595 à 1991." Rapport scientifiques et techniques. Sciences de la terre. Géologie-Géophysique n°2, 1991. Centre ORSTOM de Nouméa (Nouvelle Calédonie). 69 f. dactyl.

EWERD, SWANSON, eds. "Monitoring volcanoes: techniques and stratégies used by the staff of the cascades volcanoes observatory, 1980-90". U.S. géological survey bulletin, 1966. p.181-188.

Michel.LARDY et J.P. EISSEN. "Compte rendu interne: visite d'une délégation de Tanna (12 Mai 1989) à l'ORSTOM de Nouméa". 2f. dactil..

Michel LARDY et Bernard MARTY. "**Rapport de fin de mission sur les volcans Yasur (Tanna) et Marum (Ambrym), Vanuatu, du 5 au 18 Septembre 1990**". Rapport de mission de sciences de la terre géologie-géophysique n°21, 1990. Document de travail. Centre ORSTOM de Nouméa (Nouvelle Calédonie). 17 f.dact..

Michel LARDY et Jean Claude WILLY. "**Mission à Vanuatu sur le Yasur, île de Tanna, les 6 et 7 Septembre 1989**". Rapport de missions de sciences de la terre géologie-géophysique n°11, 1989. Centre ORSTOM de Nouméa (Nouvelle Calédonie). 26 f.dact..

Michel LARDY et al. "**Mise en oeuvre d'un système d'étude et de surveillance sur le volcan Yasur (île de Tanna, Vanuatu)**". Notes techniques. Sciences de la terre, géologie-géophysique n°5, 1991. Document de travail du centre ORSTOM de Nouméa (Nouvelle Calédonie). 8 f.dact..

Rémy LOUAT, Catherine BALDASSART. "**Chronologie des séismes et des tsunamis ressentis dans la région Vanuatu-Nouvelle Calédonie (1729-1989)**". Rapports scientifiques et techniques. Sciences de la terre, géophysique n°1. ORSTOM, 1989.

M.F.LECLOAREC et G.POLIAN. "**Utilisation des techniques de la radioactivité en volcanologie**". Centre des faibles radioactivités. Laboratoire mixte CNRS/CEA. 4 f.dacti..

MARTY et al. "**Flux gazeux et interactions eau-gaz-magma pour le volcanisme actif de l'arc du Vanuatu**". Appel d'offre DBT, 1991. Non publié. p.1-4.

A.MELCHIOR. "**Observation sur le cratère du volcan Yasour à Tanna (Vanuatu), le 14 Mai 1988**". 1 f.dacti..

I.A.NAIRN, B.J.SCOTE, W.F.GIGENBACH. "**Yasur volcano investigation, Vanuatu**". Interim summary report, October 10, 1988. 8 f.dact..

I.A.NAIRN, B.J.SCOTE, W.F.GIGENBACH. "**Yasur volcano investigation, Vanuatu, September, 1988**". Geological survey report G134 New Zealand geological survey, lower hutt. Département of scientific and industrial research. 71 f.dact..

Patrick O'REILLY. "**Bibliographie des Nouvelles Hébrides**". Paris, la société des océanistes n°8 (musée de l'homme), 1958.

R.PREVOT et J.C. CHATELAIN. "**Seismicity and seismic hazard in Vanuatu**". Rapport n°5-83 Gh. ORSTOM, January 1984.

INDICATEUR STATISTIQUE troisième trimestre. Juillet-Septembre, Vanuatu. Bureau de la statistique, 8 Novembre 1993.

DOSSIER UNESCO. "**L'environnement et le développement: bref aperçu**". Novembre 1993.

STATISTIC OFFICE. "**Resencement National de la population de Vanuatu. Mai 1989**". Atlas de la population, VI, Tafea, Septembre 1991.

STATISTIC OFFICE. "**Vanuatu national population census. May 1989**". Main report, July 1991.

SERVICE DE L'ENVIRONNEMENT. "**Vanuatu, plan national pour l'environnement-Projet**". Février 1993.

Liste des annexes.

	page
Annexe 1.1. A propos de la population.	46
Annexe 1.2. Population de Vanuatu.	47
Annexe 1.3. Densités locales.	49
Annexe 1.4. Les sols de Tanna.	55
Annexe 2.1. Famille radioactive U-238.	56
Annexe 2.2. Technique d'étude fondamentale des gaz.	57
Annexe 2.3. Transmission des données enregistrées.	58
Annexe 2.4. Quelques trajectoires de cyclones.	59
Annexe 2.5. Quelques données pluviométriques.	63
Annexe 2.6. Direction des vents de 1985 à 1989.	66
Annexe 2.7. Teneurs en chlorures, sulfates et nitrates des différentes stations.	67
Annexe 3.1. Description des différentes cultures au Vanuatu.	69
Annexe 3.2. Résultats d'analyse de sols.	72
Annexe 3.3. Résultats détaillés des 3 sites étudiés	73

TABLE DES MATIERES

	page
REMERCIEMENTS	
RESUME/SUMMARY	
SOMMAIRE.	
INTRODUCTION.	1
1.PRESENTATION DU LIEU D'ETUDE.	2
1.1.L'archipel dans son ensemble.	2
1.1.1.Géographie.	2
1.1.2.Histoire et population.	2
1.1.3.Contexte géologique et tectonique.	3
1.1.4.Le climat.	4
1.1.5.Un peu d'économie.	5
1.2.Tanna.	6
1.2.1.Géographie.	6
1.2.2.Histoire et population.	6
1.2.3.Quelques données du milieu naturel.	7
1.2.3.1.Géologie.	7
1.2.3.2.Le climat.	7
1.2.3.3.Les réserves en eau.	8
1.2.3.4.Les sols.	8
1.2.3.5.La végétation.	9
1.2.4.Economie.	10
2.VOLCANISME ET PHENOMENES METEOROLOGIQUES ASSOCIES SUR TANNA.	11
2.1.Le volcanisme.	12
2.1.1.Les risques volcaniques.	12
2.1.1.1.Les gaz volcaniques.	13
2.1.1.2.Conséquence de ces gaz:les pluies acides.	13
2.1.2.Le Yasur.	15
2.1.2.1.Historique de l'activité du Yasur.	15
	91

2.1.2.2.L'expertise Néozélandaise et leurs conclusions.	17
2.1.2.3.Etude et surveillance du Yasur-Activité-recente.	18
2.1.3.Synthèse.	18
2.2.Les phénomènes météorologiques associés.	18
2.2.1.L'activité cyclonique.	19
2.2.2.La pluviométrie.	20
2.2.2.1.Méthodologie.	20
2.2.2.2.Résultats.	20
2.2.2.3.Synthèse-Discussion.	23
2.2.3.Le vent.	23
2.2.3.1.Méthodologie.	23
2.2.3.2.Résultats.	23
2.2.3.3.Synthèse.	24
2.3.Répercussions sur la composition de l'eau météorite et relation entre ces phénomènes.	24
2.3.1. Méthodologie.	25
2.3.2.Résultats.	25
2.3.2.1.Les chlorures.	25
2.3.2.2.Les sulfates.	27
2.3.2.3.Les nitrates.	28
2.3.2.4.Le PH.	28
2.3.3.Synthèse-Discussion.	30
3.IMPACT SUR LA VEGETATION.	31
3.1.Coutumes et traditions:les jardins magiques.	31
3.2.Les manifestations naturelles.	32
3.3.Observations et enquêtes.	33
3.3.1.Méthodologie.	33
3.3.2.Résultats.	33
3.3.2.1.Dip Point.	33
3.3.2.2.Le site du Nord.	35
3.3.2.3.Loanatom.	38
3.3.3.Synthèse.	40

4.SYNTHESE.	41
CONCLUSION.	44
ANNEXES.	45
LISTE DES CARTES.	81
LISTE DES FIGURES.	82
LISTE DES PHOTOS.	83
LISTE DES TABLEAUX.	84
BIBLIOGRAPHIE.	85
LISTE DES ANNEXES.	90
TABLE DES MATIERES.	91