

ORIGINE PROFONDE DES SÉISMES SUPERFICIELS ET DES ÉRUPTIONS VOLCANIQUES

par C. BLOT

Office de la Recherche scientifique et technique d'Outre-Mer,
Institut Français d'Océanie, Nouméa

RÉSUMÉ (1)

L'étude détaillée de la sismicité de la région des Nouvelles-Hébrides en particulier, et du Sud-Ouest Pacifique en général, a fait ressortir une corrélation entre les foyers profonds et intermédiaires, les séismes superficiels et les éruptions volcaniques.

Les délais entre « séismes » profonds et les phénomènes superficiels (tremblements de terre et éruptions des volcans) de l'ordre de plusieurs mois (et années) sont fonctions :

- de la profondeur des « séismes précurseurs »,
- de leur magnitude,
- de leur distance aux séismes superficiels et volcans.

Les lois trouvées pour la région du Sud-Ouest Pacifique, semblent vérifiées pour les autres régions du globe où existent des foyers profonds ou intermédiaires, Amérique, Japon, Indonésie, Indou-Koush,

Les séismes de très grande magnitude sont précédés par des séismes profonds de magnitude supérieure à 7, ou par plusieurs séismes profonds de magnitude moindre.

Signes utilisés dans les schémas

▼	h > 300 km.
▽	300 > h > 100
✱	100 > h > 40.
○	Superficiel

○ ✱ ▼	M < 6
○ ✱ ▼	6 < M < 7
○ ✱ ▼	M > 7

Introduction

L'étude de la sismicité et de l'activité volcanique dans l'Archipel des Nouvelles-Hébrides nous avait conduits à signaler une relation de temps entre des séismes intermédiaires se produisant au voisinage d'un volcan et les éruptions de celui-ci [*1] (voir liste des références).

(1) See the Abstract, p. 121.

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

4 JUIN 1965

n° *78* 15079ex1

geop.

Les conclusions de ce travail étaient les suivantes :

— tous les séismes intermédiaires de magnitude voisine de 7 ont été suivis d'éruptions violentes; les éruptions modérées ont été précédées de séismes de magnitude comprise entre $5\frac{1}{2}$ et $6\frac{3}{4}$.

— l'intervalle de temps séismes intermédiaires - éruptions dépend pour un même volcan de la profondeur du foyer séismique (120 à 250 km).

— la vitesse d'ascension du phénomène magmatique dépend du type du volcan et du caractère de ses éruptions. Elle varie de $1/2$ à 2 km par jour.

Les recherches poursuivies depuis m'ont permis de mettre en évidence les faits suivants :

— existence de ces séismes intermédiaires antérieurs à chacune des éruptions récentes de divers volcans.

— origine plus profonde encore de ces séismes intermédiaires et des éruption volcaniques.

— production de séismes superficiels à partir de cette même origine profonde.

Les quelques cas présentés (il n'est pas possible dans le cadre de cet exposé de parler de tous les très nombreux exemples trouvés) illustreront les divers aspects du phénomène :

— ascension linéaire avec la succession des foyers séismiques à 600, 250, 100, 50 (± 50) km de profondeur aboutissant à une éruption volcanique,

— répétition dans le temps

— à partir de même foyer avec production d'éruption volcanique et de séismes superficiels,

— à partir de foyers profonds dont la situation géographique est différente,

— diffusion dans l'espace

— suivant un plan de faille orogénique,

— avec une divergence conique,

— interférences des phénomènes ascendants avec convergence à partir de foyers différents donnant de violents séismes ou de grandes éruptions volcaniques.

Structure de la région des Nouvelles-Hébrides

Les Nouvelles-Hébrides sont dans le Sud-Ouest Pacifique un Archipel de quelques 80 îles et îlots, faisant partie du groupe des îles Mélanésiennes et formant avec les îles Santa-Cruz un tronçon de l'arc des Salomonides reliant les îles de la Sonde, de Nouvelle-

Guinée, des Salomons à la Nouvelle-Zélande en passant par les îles Fidji, Tonga et Kermadec.

Les îles des Santa-Cruz et Nouvelles-Hébrides sont réparties sur une bande étroite de direction nord-nord-ouest à sud-sud-est, entre la ligne andésitique circum-pacifique et le géosynclinal Papou dont les îles Loyauté et la Nouvelle-Calédonie sont les terres émergées.

Cette région a le caractère d'un arc étroit actif du type circum-pacifique tourné vers le sud-ouest, en direction opposée du bassin du Pacifique. Les fosses océaniques sont adjacentes aux îles de ce côté.

Presque tous les séismes sont localisés sur une étroite bande confondue avec la guirlande d'îles des Santa-Cruz et Nouvelles-Hébrides. L'axe de cette bande, et en particulier la ligne des volcans actifs, a une direction nord 22° ouest. Les foyers séismiques superficiels se répartissent sous les fosses océaniques profondes, les foyers intermédiaires ($h = 100 - 250$ km) sous les îles.

Les foyers séismiques profonds ($h = 550 \pm 100$ km), très rarement détectés avant 1959, plus fréquemment déterminés depuis la création de plusieurs stations sismologiques dans cette région, se groupent généralement au nord-est de l'archipel Néo-Hébridais (par $13^{\circ} 1/2$ S — $170^{\circ} 1/2$ E $\pm 1^{\circ} 1/2$).

Les séismes se répartissent ainsi sur un plan triangulaire incliné de 55° par rapport à la surface terrestre dont le sommet serait dans cet essaim de foyers profonds et la base l'axe des fosses océaniques à l'ouest de l'archipel.

Signalons l'existence d'un séisme profond extraordinaire, celui du 14 mars 1959 ($h = 500$ km) déterminé par 18° S et 166° E. Un tel foyer, situé en dehors des grandes structures orogéniques classiques n'est pas exceptionnel. En Nouvelle-Zélande, le 23 mars 1960, deux séismes à 610 km de profondeur ont été localisés par 39° S et 175° E, c'est-à-dire en dehors de la structure profonde normale de cette région.

Séismicité et volcanisme des Nouvelles-Hébrides

Le tableau I donne les caractéristiques des séismes précurseurs des éruptions du volcan Ambrym, de décembre 1950, septembre 1962 et avril 1963.

TABLEAU I
Séismes précurseurs des éruptions du Volcan AMBRYM

1				2				3						
Date	° S	° E	M	h	Date	° S	° E	M	h	Date	° S	° E	M	h
1949					1961					1961				
18/7	13,0	171,5	6,5	600	12/2	13,1	171,8	(6)	598	28/8	12,7	169,6	5,5	660
					5/12	16,4	168,0	6,5	205	1962				
										1/9	15,9	168,2		244
1950					1962					11/11	15,9	167,8		155
21/7	16,1	168,3	6,5	150	12/3	16,1	168,2		170	1963				
					18/3	16,5	168,2		150	20/1	15,4	167,7	5,5	107
10/9	15,5	167	7,1	100	28/9	16,7	167,5		50	12/3	15,5	168	4,5	
										15/4	16,6	167,8		
6/12	Éruption				28/9	Éruption				15/4	Éruption			
2/12	18,5	167,5	8,1	60	6/10	17,4	167,7	6,5	33	12/5	17,3	167,6		53
										1/7	17,4	167,6	5,5	33

La translation des foyers séismiques dans l'espace et le temps est illustrée par les graphiques de la figure 1.
Les 3 séismes profonds de juillet 1949, février 1961 et août 1961 localisés dans le même secteur ont précédé de 16 mois 1/2 dans le

NOUVELLES - HEBRIDES - Volcan AMBRYM

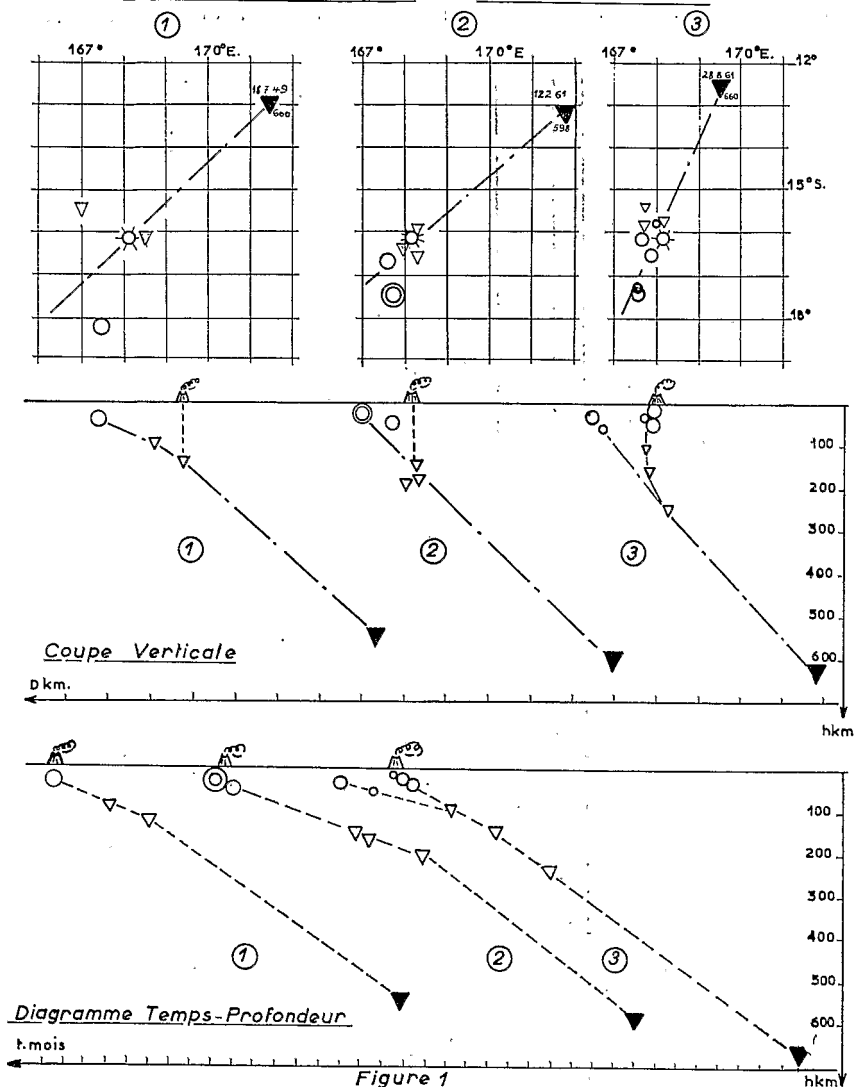


Figure 1

premier cas, de 19 mois 1/2 dans les deux autres cas, les éruptions du volcan.

Des séismes superficiels ont eu lieu en même temps ou peu après celles-ci. Les éruptions ont été modérées, les tremblements de terre ont été très violents dans le premier cas, moyens dans les deux autres. Le séisme profond de juillet 1949 est de magnitude supérieure à celle des séismes de février et août 1961, ce qui expliquerait le délai plus court d'ascension du phénomène.

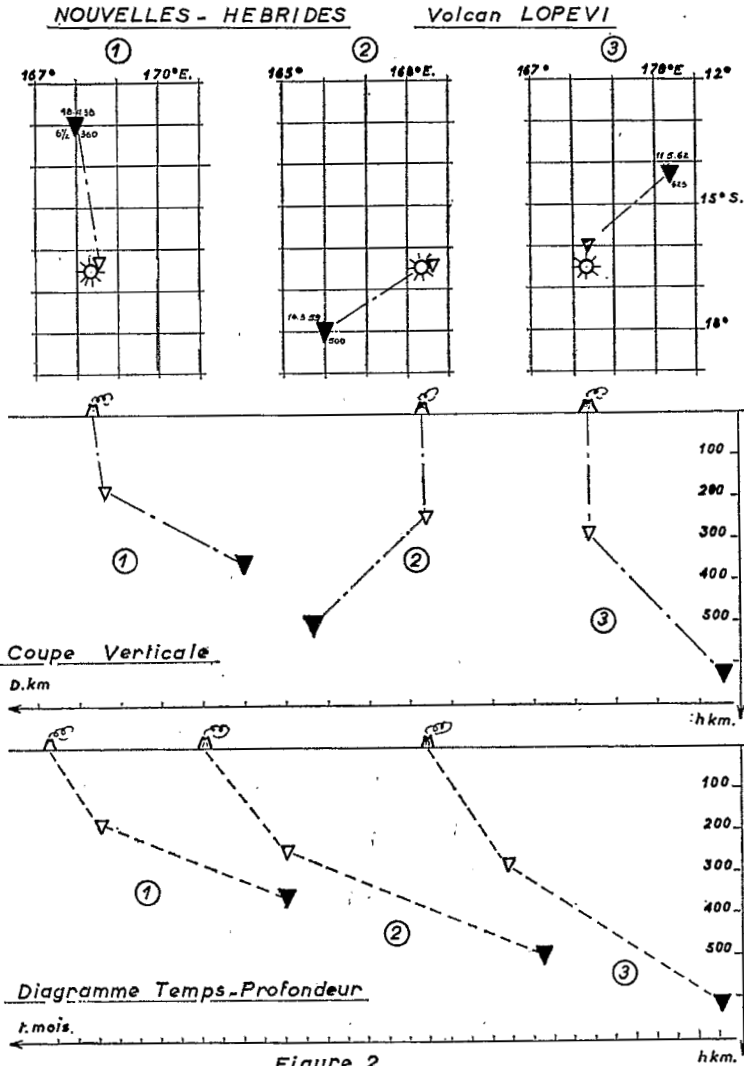
Le tableau II présente le cas des 3 éruptions du volcan Lopevi, observés depuis 40 ans : novembre 1939, juillet 1960 et juillet 1963.

TABLEAU II
Séismes précurseurs des éruptions du Volcan LOPEVI

1				2				3						
Date	° S	° E	M	h	Date	° S	° E	M	h	Date	° S	° E	M	h
1938					1959					1962				
18/11	13	168	6,5	360	14/3	18	166	?	500	11/5	14,3	170,4	(6)	623
1939					1960					1963				
12/8	16,5	168,5	7,2	180	8/3	16,5	168,5	7,5	250	10/3	16,0	168,4	5,5	283
1/11	<i>Éruption</i>				10/7	<i>Éruption</i>				7/7	<i>Éruption</i>			

La figure 2 donne les représentations graphiques de ces cas.

Nous avons indiqué la différence entre le dynamisme et les types d'éruptions de ce volcan et de son voisin Ambrym, ainsi que la vitesse plus grande d'ascension du phénomène magmatique à partir du foyer sismique intermédiaire précurseur [*1].



Les foyers des séismes profonds précurseurs sont dans des positions différentes pour chacun des 3 cas et par rapport à ceux précédant les éruptions d'Ambrym.

La très violente et très particulière éruption du 10 juillet 1960 [*2 et *3] aurait été précédée par le séisme du 14 mars 1959 (h = 500 km) situé par 18° S et 166° E, c'est-à-dire à l'inverse des foyers profonds habituels. Lors de cette éruption une fracture avec plusieurs cratères s'est ouverte sur le flanc sud-ouest du Lopévi

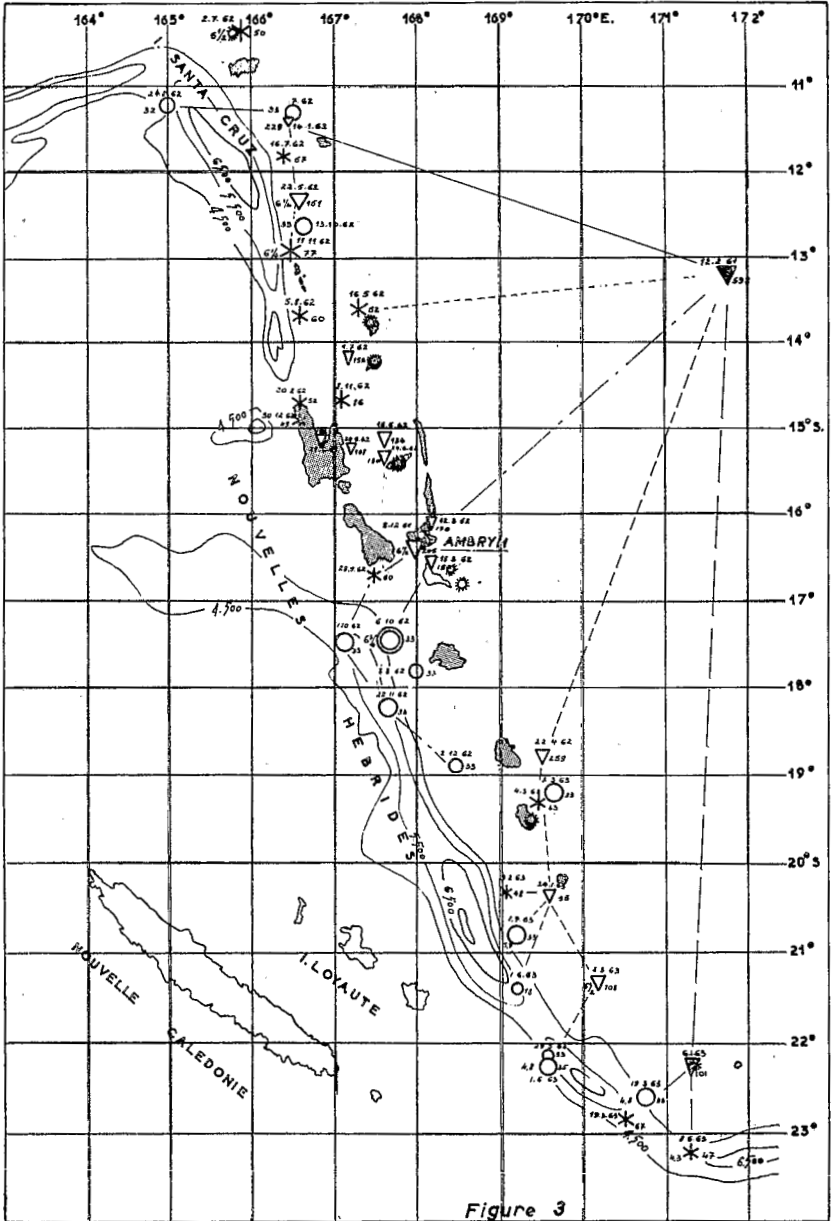


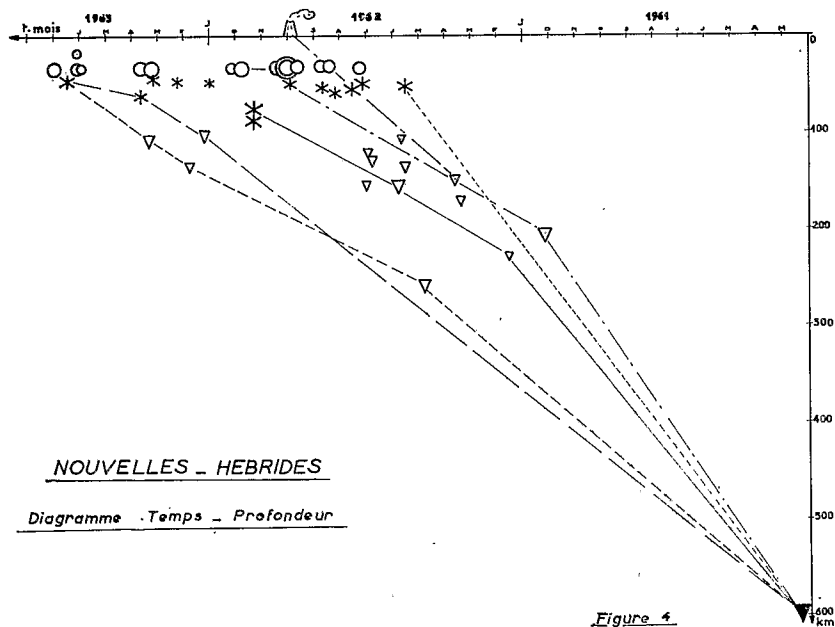
Figure 3

(dans la direction du foyer profond) alors que pour les autres cas les phénomènes éruptifs se sont produits au sommet et sur le flanc nord-est. D'autre part cette éruption avait précédée quelques jours et heures auparavant par des séismes superficiels au voisinage de l'île Lopévi.

La progression des séismes ne se fait pas uniquement dans une seule direction mais en éventail. La figure 3 illustre un cas où des séismes intermédiaires et superficiels survenus en 1962 et 1963 dans l'archipel des Nouvelles-Hébrides, ont eu pour origine le foyer profond du 12 février 1961.

Le diagramme de la figure 4 montre la répartition dans le temps des séismes pointés sur la carte précédente en fonction de leur profondeur. Des traits différents relient les principales séquences. On voit que les délais de progression des séismes dépendent de leurs distances au séisme profond initial, les séismes dans le nord puis le sud de l'archipel arrivant après les séismes du centre.

Tous les principaux séismes survenus aux Nouvelles-Hébrides durant ces dernières années ont pu être ainsi rattachés dans les mêmes conditions aux quelques séismes profonds survenus dans cette région.



Séismicité de la région des Fidji - Tonga - Kermadec

Cette région est bien connue pour sa très grande activité sismique en profondeur. Il a pu être constaté que, 18 mois à 2 ans après les séismes profonds de forte magnitude situés à l'ouest des Tonga, avaient toujours eu lieu des séismes superficiels importants aux Fidji, Samoa, Tonga, Kermadec.

La carte de la figure 5 montre un exemple, parmi les autres cas, de l'importante séismicité de cette région durant les années 1949-50-

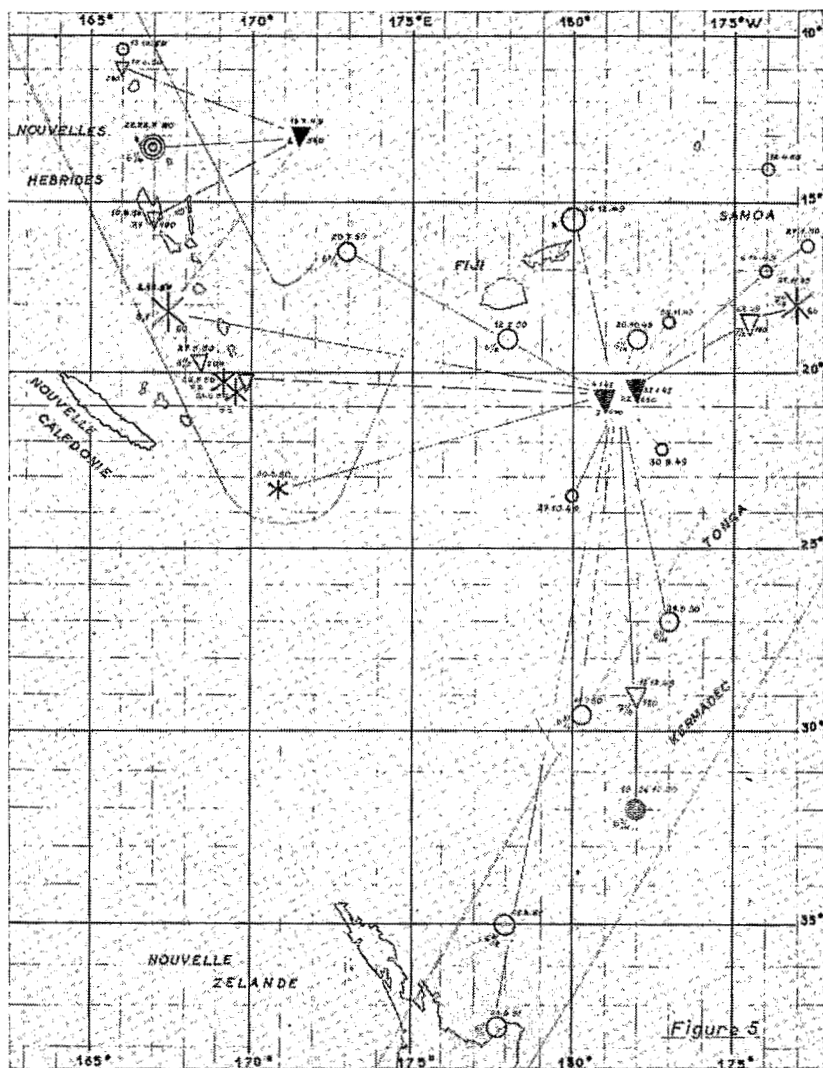
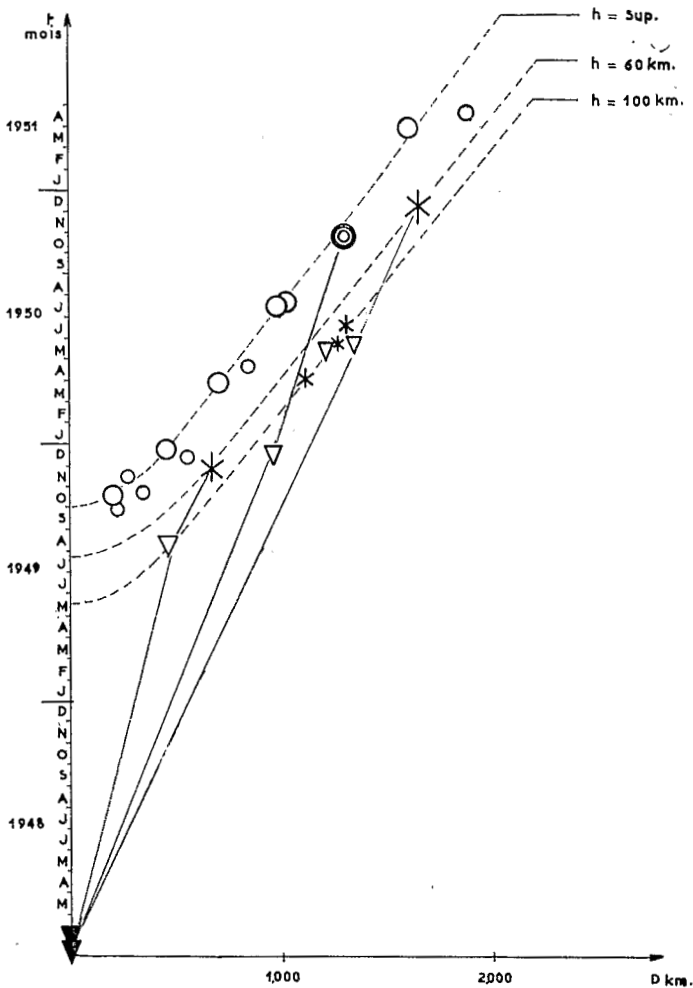


FIG. 5.

51 qui aurait eu pour origine les deux séismes profonds ($h = 600$ et 630 km) de magnitude 7 et 7,2 survenus en janvier 1948.

On remarquera la répartition conique des foyers séismiques dans l'espace et le temps conforme à la structure particulière de cette région.

Sur le diagramme de la figure 6 ont été pointés les différents séismes figurant sur la carte précédente en fonction de leurs dates et de leurs distances à l'épicentre des deux séismes profonds de janvier 1948.



SUD - OUEST PACIFIQUE 1948 - 1951

Diagramme Temps Distances

Figure 6

Ces séismes se répartissent sur des hodochrones différentes suivant les profondeurs des foyers.

On remarque ainsi que le séisme du 2 décembre 1950 situé à l'ouest de l'archipel des Nouvelles-Hébrides (séisme de magnitude 8,1 suivi durant tout le mois de décembre d'une multitude de répliques) est aligné avec les séismes des régions Fidji, Tonga, Kermadec de la même époque et issus des foyers profonds de janvier 1948.

L'importance de ce séisme peut être expliqué par la convergence des effets du séisme profond du 18 juillet 1949 (dont il a été question précédemment) au nord-est de l'archipel Néo-Hébridais et de ceux des séismes profonds de la région des Tonga en janvier 1948.

On a vu que le délai entre les séismes de juillet 1949 et décembre 1950 était de 16 mois 1/2, la distance entre les épïcêtres étant de 800 km. Le délai moyen entre les séismes de janvier 1948 et ce même séisme de décembre 1950 est de 34 mois 1/2 pour une distance entre les épïcêtres de 1 600 km. Dans ces deux cas la vitesse de propagation du phénomène ascendant est du même ordre de grandeur, ce qui justifierait l'hypothèse avancée.

On remarquera d'autre part que les séismes survenus en 1951 dans le nord de la Nouvelle-Zélande peuvent être rattachés aux séismes profonds de janvier 1948 au large des Tonga. Des analogies semblables ont été également observées entre les séismes de Nouvelle-Zélande et la sismicité des Tonga - Kermadec, antérieurement et postérieurement au cas présenté.

Autres exemples

J'ai pu retrouver pour les autres régions sismiques du globe et en particulier pour les zones circum-pacifiques de même structure de nombreux cas identiques.

Au Japon

Les 3 séismes de magnitude supérieure à 6 1/2 survenus en 1962 sur les côtes est du Honshu et d'Hokkaido :

	^h ^m ^s	[°] /	[°] /			
12 avril	00 52 39	37 58 N	142 49 E	h = 40	M = 6,8	
23 avril	05 58 12	42 12	143 55	60	7	
30 avri'	02 26 21	38 44	141 08	0	6,5	

et les 2 violentes éruptions des volcans Tokachidake (29 juin) et Miyakejima (24 août) de cette même année, ont eu pour origine, en 1960, le foyer profond situé sous la mer du Japon.

	^h ^m ^s	[°]	[°]		
8 octobre	05 53 04	40 N	130 E	h = 610	M = 6 1/2

Les figures 7 et 8 montrent la similitude de cet exemple avec le cas présenté pour les Nouvelles-Hébrides (fig. 3 et 4).

Le très violent séisme (Magnitude 8,5) survenu le 2 mars 1933 au large de la côte nord-est du Honshu peut être interprété comme

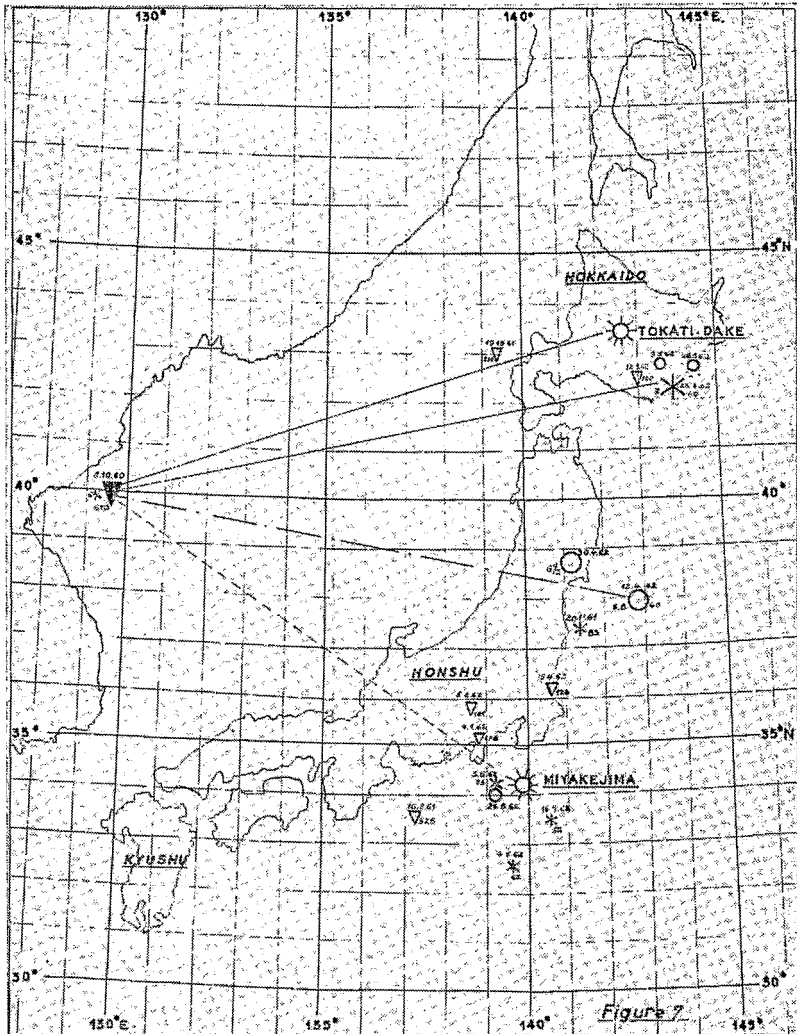
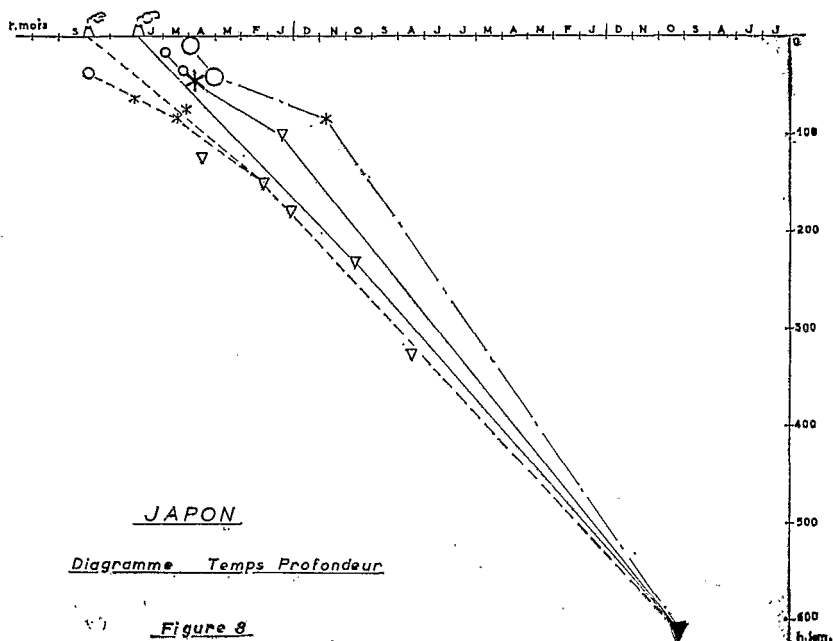


FIG. 7.



la résultante de plusieurs séismes profonds répartis en 1931 et 32 de part et d'autre de la région ébranlée (voir la fig. 9).

Un diagramme temps-profondeur-distance montre que tous ces foyers s'alignent sur une même courbe analogue à celles précédemment décrites.

En Indonésie

L'éruption du volcan Gamalama dans l'archipel d'Halmahera du 25 décembre 1962 (la dernière éruption datant du 8 septembre 1938), serait due à l'existence de plusieurs séismes profonds survenus de janvier à juillet 1961 et qui auraient d'autre part provoqué un séisme de magnitude 7 en avril 1963 à quelque distance de ce volcan.

L'éruption du volcan Agung ($8^{\circ}3\text{ S} - 115^{\circ}5\text{ E}$) dans l'île de Bali a été précédée le 15 juillet 1961 par un séisme profond ($h = 565\text{ km}$) situé à proximité ($6^{\circ}8\text{ S} - 116^{\circ}9\text{ E}$) soit 20 mois auparavant, c'est-à-dire dans les mêmes délais trouvés. (Il n'y a pas d'autres séismes profonds dans cette région pendant les années précédant l'éruption).

En Europe

E. Peterschmitt avait signalé en 1956 [*4] « que la sismicité de la Mer Tyrrhénienne et de ses environs peut être rapprochée de

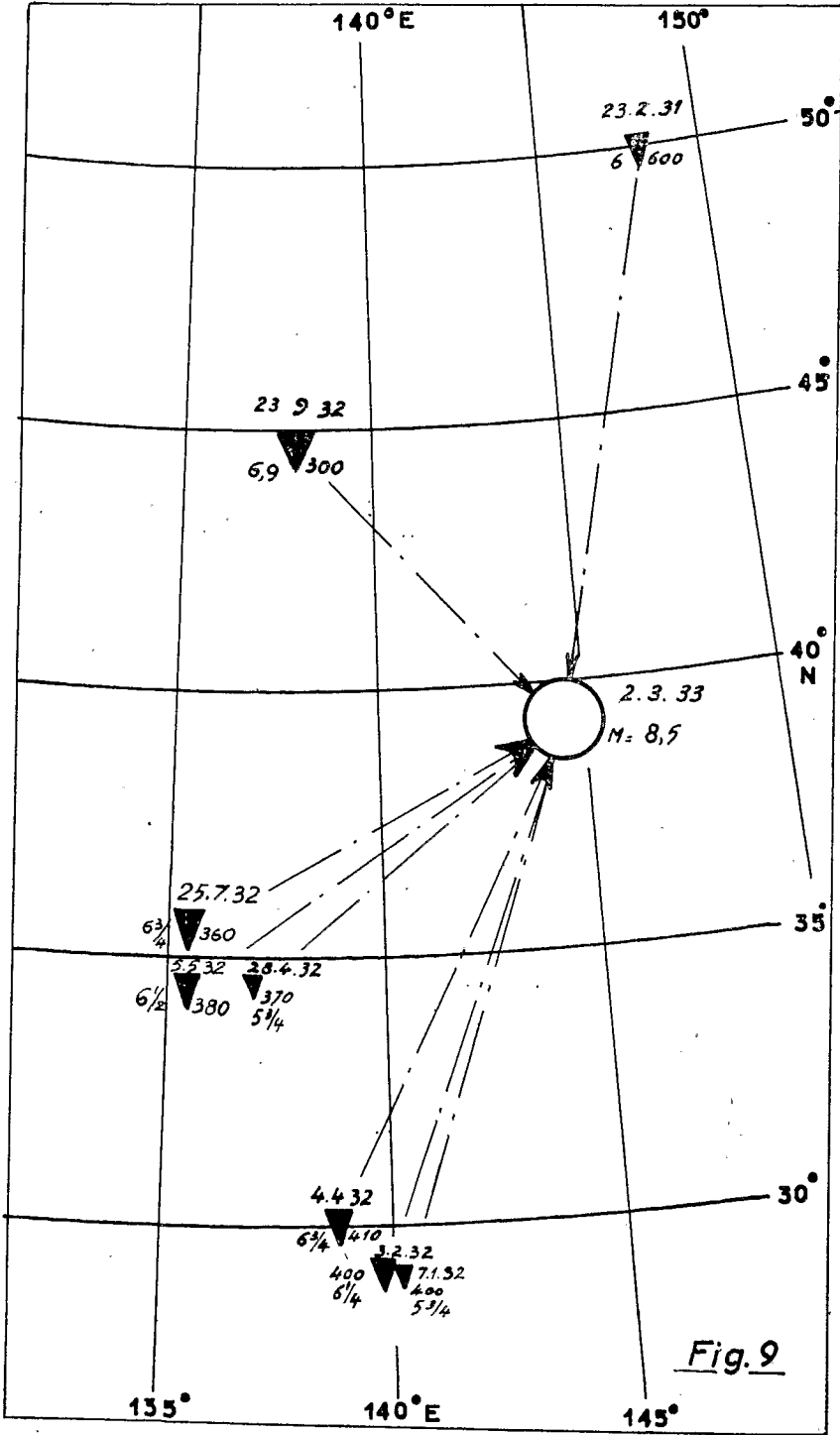


Fig. 9

celle d'un arc circum-pacifique à caractère océanique, tel que celui des Tonga. Les foyers se répartissent au voisinage d'une surface S conique dont le sommet pourrait être situé vers 40° N, 12° E à

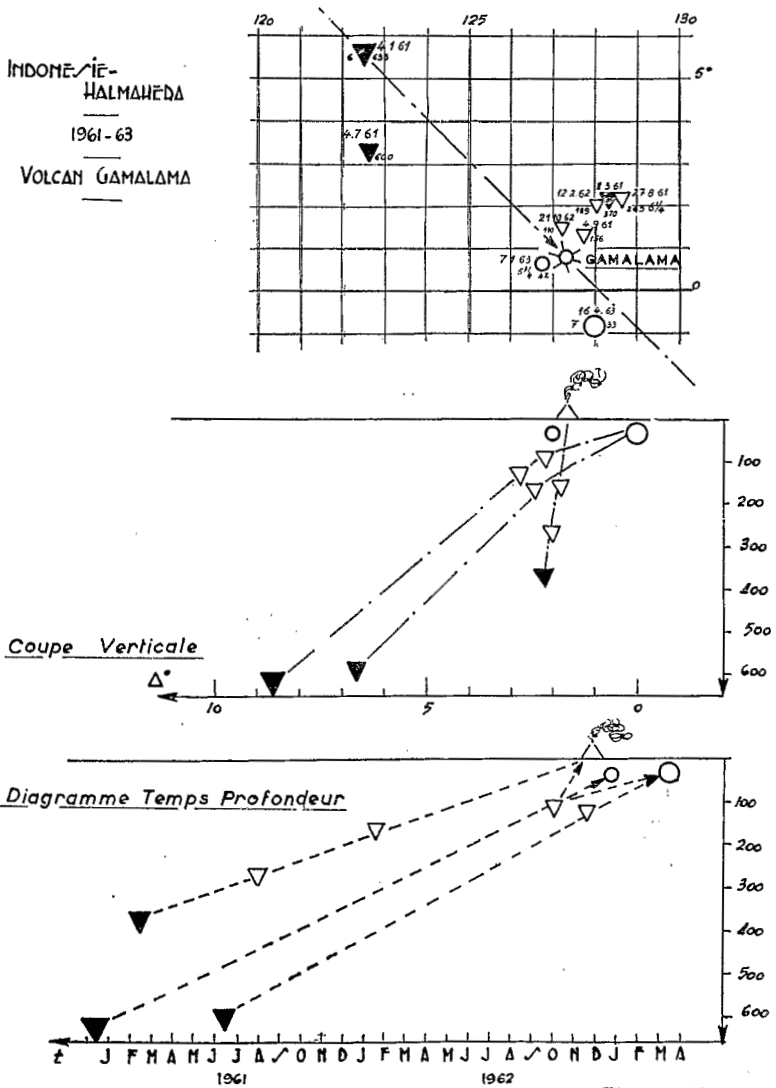


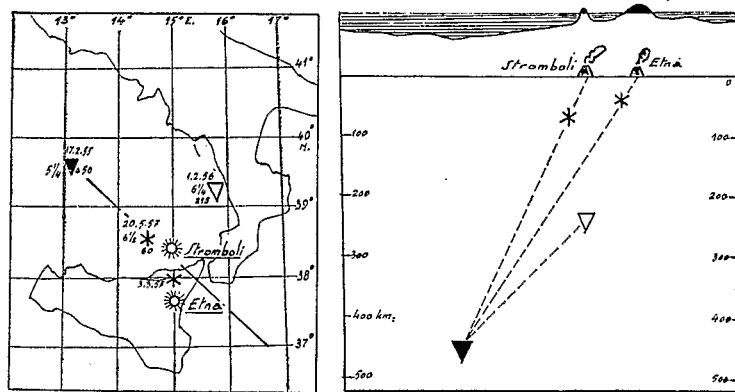
Figure 10

700 km de profondeur et dont la base serait constituée par l'arc calabrais des séismes normaux..... La surface S pourrait être une vraie surface de discontinuité ».

Il a été trouvé quelques cas de relations entre séismes intermédiaires et éruptions des volcans : Vésuve, Stromboli [*1]. Si la

séismicité de cette région est faible (en comparaison de celle des Tonga) et les séismes profonds rares (du moins ceux assez forts pour être déterminés avec certitude) il est cependant remarquable que le séisme le plus profond détecté sous la mer Tyrrhénienne le 17 février 1955 ($h = 450$ km $M 5 \frac{1}{4}$) ait été suivi 2 ans après des grandes éruptions de l'Etna (mai 1957) et du Stromboli (août 1957). Chacune de ces éruptions avait été précédée 2 mois $\frac{1}{2}$ auparavant de séismes situés sous la croûte ($h = 60$ km).

Région de la mer TYRRHENIENNE - 1955-1957



PLAN

COUPE

d'après F. PETERSCHMITT (x 4)

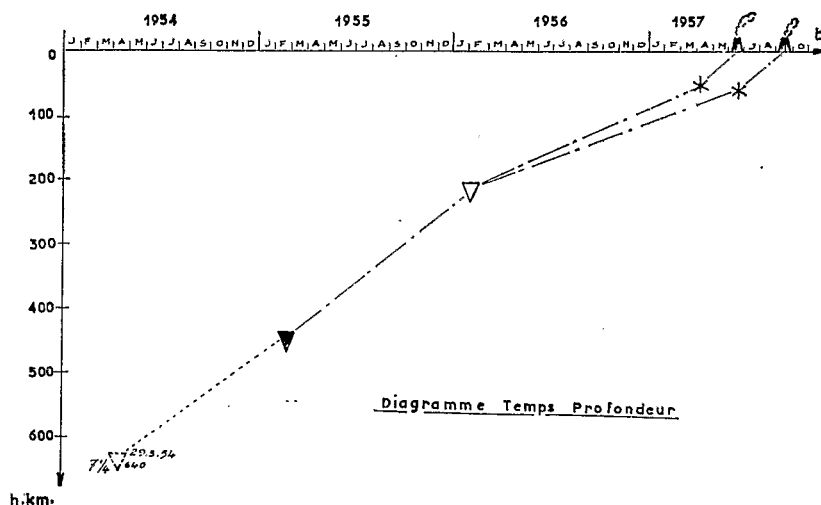


Diagramme Temps Profondeur

Figure 11

La faible magnitude du séisme profond ($M = 5 \frac{1}{4}$) ainsi que l'activité réduite de ce secteur pourraient expliquer le délai un peu plus long que ceux trouvés dans les cas précédents.

En poursuivant ces analogies on peut formuler l'hypothèse que le séisme extraordinaire d'Espagne du 29 mars 1954 ($M = 7 \frac{1}{2}$ h = 630 km, $36^{\circ}9$ N et $3^{\circ}5$ W) a été à l'origine de la succession des séismes et éruptions précédemment décrits.

En effet sur le diagramme temps-profondeur de la figure 11, le pointage de ce séisme extrapole la courbe ascendante indiquée.

Par analogie également on peut avancer que la fameuse éruption sous-marine de Faïal aux Açores du 27 septembre 1957 ($38^{\circ}58$ N $28^{\circ}75$ W) qui a eu lieu peu après les éruptions de l'Etna et du Stromboli a eu pour origine ce même séisme profond d'Espagne, centré entre les Açores et la Sicile.

Conclusion

Les quelques exemples présentés dans ce bref exposé confirment l'existence de la montée d'un phénomène énergétique (à la vitesse moyenne de l'ordre de 1,5 km/jour) et qui déclencherait, dans les zones favorables, des séismes à des profondeurs successivement moindres.

L'aspect rayonnant de la diffusion de cette énergie à partir d'un « séisme » profond, rayonnement qui se retrouve également pour des séismes intermédiaires, la production de « séismes » très profonds dans des zones hors de toute structure orogénique classique posent des problèmes sur l'origine de ces « séismes » profonds et le phénomène énergétique qui en résulte.

R. D. Adams (Seismological Observatory, Wellington) termine son étude comparative des séismes profonds anormaux de 1960 en Nouvelle-Zélande et du séisme d'Espagne de 1954 en formulant l'hypothèse suivante [*5].

« Ces faits suggèrent que le mécanisme des séismes à foyers profonds est davantage expliqué par les conditions au foyer, telles que température et pression, que par une quelconque tension structurale associée aux phénomènes superficiels ».

Si la réalité de ce phénomène est entièrement confirmée par les études en cours, la prévision des séismes pourrait devenir une science exacte, comme la prévision météorologique dont le principe est identique : suivre à partir d'un réseau de stations la progression des perturbations et, compte tenu des lois de la Physique du Globe, en prévoir les trajectoires et les effets.

RÉFÉRENCES

- [*1] BLOT (C.) et PRIAM (R.). Volcanisme et séismicité dans l'Archipel des Nouvelles-Hébrides. (Bulletin Volcanologique, T. XXVI, pp. 167-180. Napoli, 1963.)
- [*2] REMY (J.-M.) et REICHENFELD (C.). Rapport préliminaire concernant l'éruption du volcan Lopévi (Nouvelles-Hébrides). Juillet 1960 (inéd. arch. Service des Mines — Port-Vila).
- [*3] WILLIAMS (C. E.). Preliminary report on the Lopevi eruption, 10th July 1960 (impublished geological Survey records, Port-Vila).
- [*4] PETERSCHMITT (E.). Quelques données nouvelles sur les séismes profonds de la mer Tyrrhénienne. (Annali di Geofisica, Vol. IX, n° 3. 1956, pp. 305-334, Roma.)
- [*5] ADAMS (R. D.). Source Characteristics of some deep New-Zealand Earthquakes (N. Z. Journal of Geology and Geophysics, Vol. 6, n° 2, May 1963, pp. 209-220, Wellington).
- GUTENBERG and RICHTER (F.). Seismicity of the Earth. (Princeton University Press, 1954.)
- International Seismological Summary. (University Observatory Oxford.
- Bulletins du Bureau Central International de Séismologie (Strasbourg).
- Bulletins de l'U. S. Coast and Geodetic Survey (Washington D. C.).

ABSTRACT

The detailed study of seismicity in the region of the New-Hebrides in particular, and in the Southwestern Pacific in general, has shown a correlation between deep, intermediate, shallow earthquakes, and volcanic eruptions.

The intervals between deep earthquakes and shallow phenomena (earthquakes and volcanic eruptions), on the order of several months (and years), are functions :

- of the depth of the foreshocks,
- of their magnitude,
- of their distance in relation to shallow earthquakes and volcanoes.

The laws for the Southwestern Pacific seem verified for other regions of the globe where intermediate and deep foci exist : America, Japan, Indonesia, Indo-Koush, ...

The earthquakes of very great magnitude are preceded by deep earthquakes of a magnitude superior to 7, or by several deep earthquakes of a lesser magnitude.

EXTRAIT DES
PUBLICATIONS
DU
BUREAU CENTRAL SÉISMOLOGIQUE INTERNATIONAL
Série A, Travaux Scientifiques
Fascicule 23

B 15079