

## **ANALYSE DE QUELQUES PARAMÈTRES GÉOPHYSIQUES DANS UNE ZONE DE SUBDUCTION**

*par* Catherine GRELLET et Jacques DUBOIS

Le comportement géodynamique des zones de subduction est encore mal connu et pose de nombreux problèmes.

L'établissement de corrélations entre différents paramètres des zones de subduction constitue une méthode d'étude qui s'est souvent avérée très féconde : on peut ainsi corréler l'amplitude du bombement externe à l'épaisseur de la lithosphère.

L'application de cette méthode d'approche nous amènera à montrer l'importance des paramètres vitesse de subduction et âge de la lithosphère sur le comportement mécanique et thermique des zones de subduction.

- A) Rôle des paramètres vitesse de subduction et âge de la lithosphère sur le comportement mécanique des zones de subduction.

La fosse située en avant de la subduction constitue de par sa bathymétrie l'un des traits morphologiques caractéristiques des zones de subduction. Les variations de profondeur de celle-ci peuvent être corrélées aux deux paramètres vitesse de subduction et âge de la lithosphère. L'interprétation des relations mises en évidence est liée à la flexure de la lithosphère.

- B) Rôle des paramètres vitesse de subduction et âge de la lithosphère sur le comportement thermique des zones de subduction.

La sismicité des zones de subduction s'étend à plus ou moins grande profondeur. On verra que les variations de configuration de la zone sismique et des profondeurs maximales sont également liées aux paramètres vitesse et âge. L'interprétation de la relation mise en évidence fait ici appel à la distribution des températures dans la lithosphère plongeante.

Les arcs insulaires des Tonga-Kermadec et des Nouvelles-Hébrides vont nous fournir l'illustration des lois mises en évidence. Cette étude s'étendra ensuite à l'ensemble des zones de subduction du pourtour Pacifique.

## **A - RÔLE DES PARAMÈTRES VITESSE DE SUBDUCTION ET ÂGE DE LA LITHOSPHERE SUR LE COMPORTEMENT MÉCANIQUE DES ZONES DE SUBDUCTION**

### **CARACTÉRISTIQUES DES PARAMÈTRES**

Un examen comparatif de la bathymétrie des fosses océaniques qui bordent les zones de subduction montre des variations d'un arc à l'autre : la profondeur maximale est atteinte par la fosse des Mariannes - 11000 m. Mais un examen en détail des profondeurs d'une fosse le long d'un même arc fait apparaître également des variations. Notre étude portera précisément sur ce type de variations en prenant comme exemples l'arc des Nouvelles-Hébrides (Fig. VII-1) et l'arc des Tonga-Kermadec (Fig. VII-2).

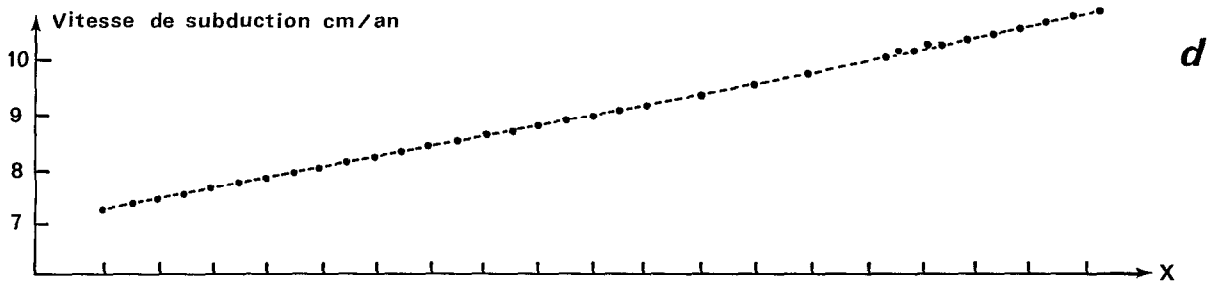
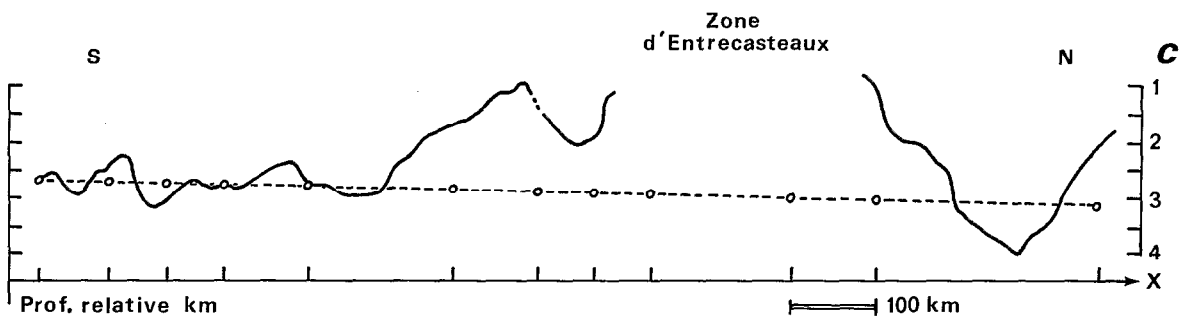
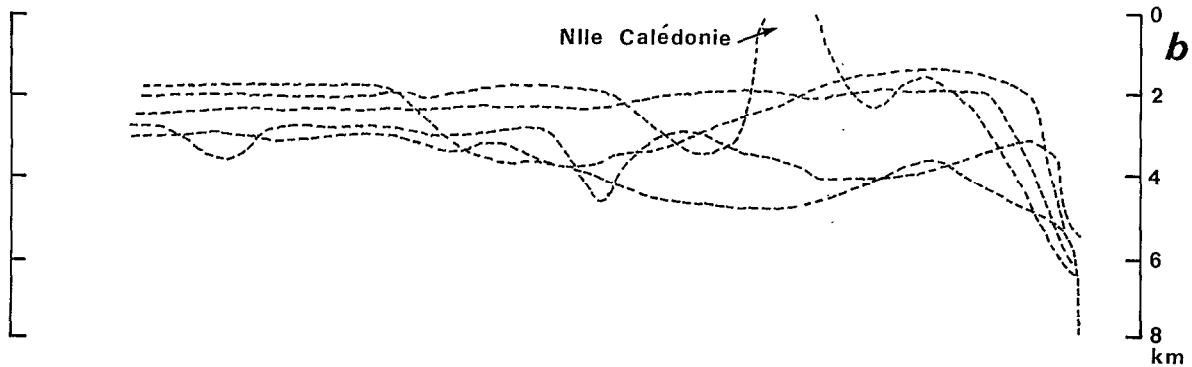
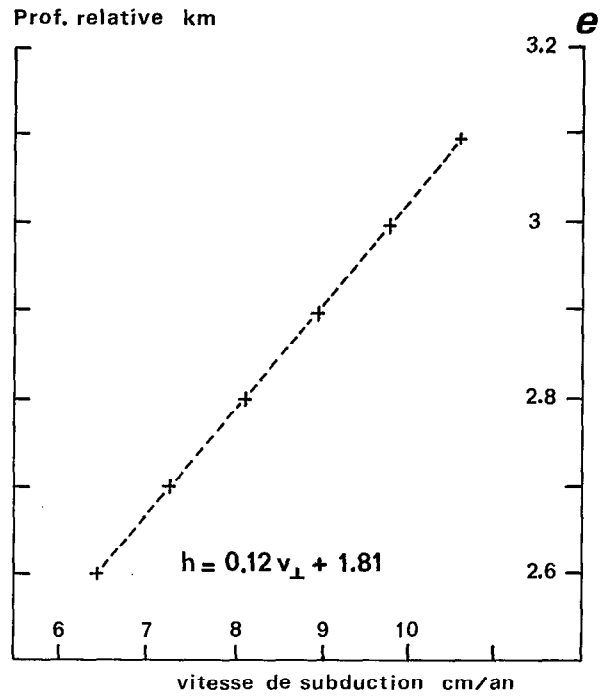
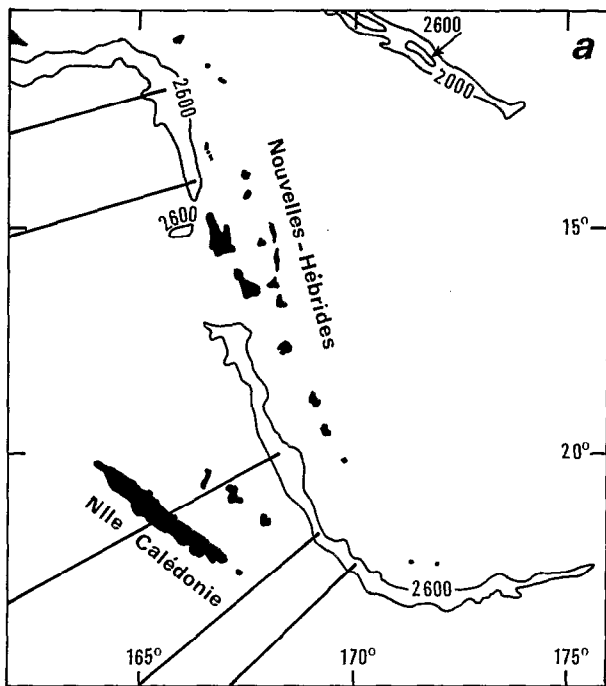
#### *Paramètre profondeur relative*

Afin de pouvoir comparer les différentes zones de subduction et s'affranchir des corrections bathymétriques dues à l'âge de la lithosphère et à la sédimentation, on définit une profondeur relative : elle correspond à la différence entre la profondeur de la fosse et une profondeur de référence choisie. La profondeur de la plaine abyssale située en avant de la zone de subduction constituera cette dernière.

En pratique, on effectue des coupes bathymétriques transversales (selon le même petit cercle) en différents points de la fosse : on mesure alors les profondeurs de la fosse et celle de la plaine abyssale. On réalise ainsi une coupe longitudinale de la fosse en profondeurs relatives. Les extrémités de la fosse se présentent toujours plus ou moins relevées car on assiste à la terminaison du phénomène de la subduction propre par interaction avec un continent, une dorsale ou une zone de fracture ; c'est ainsi que

---

Fig. VII-1 - Zone de subduction des Nouvelles-Hébrides. **a** : position des profils bathymétriques (bathymétrie en brasses). **b** : profils bathymétriques perpendiculaires à la fosse. **c** : coupe longitudinale de la fosse où le trait continu et le tireté représentent respectivement les profondeurs relatives observées et la droite de régression. **d** : variation de la vitesse de subduction le long de la fosse. **e** : relation vitesse-profondeur relative.



la terminaison sud de la fosse des Nouvelles-Hébrides montre le passage d'une zone de subduction à la zone de fracture de Hunter. Pour cette raison, on ne conserve que la zone où la subduction est franche. La variation des profondeurs relatives de la zone de subduction ainsi délimitée semble se répartir après lissage selon une droite : la fosse des Tonga-Kermadec présente une augmentation des profondeurs du sud vers le nord, de même que la fosse des Nouvelles-Hébrides.

Au cours du lissage, nous avons omis volontairement les points correspondants à l'interaction de la fosse avec des éléments topographiques tels que des chaînes de montagnes sous-marines ou d'anciennes dorsales, comme la dorsale de Louisville, qui viennent perturber l'aspect général de la fosse. Il nous a paru également peu important d'effectuer une correction sur l'épaisseur des sédiments que peut contenir la fosse : celle-ci est en général faible.

#### *Paramètre vitesse de subduction*

A partir d'un simple calcul de trigonométrie sphérique entre les coordonnées du pôle de rotation et des points considérés le long de la fosse, on calcule la vitesse relative entre les plaques mises en jeu puis, la composante de celle-ci normale à la direction de la fosse. On établit la variation de cette composante le long de la fosse.

Il suffit désormais de comparer la variation des profondeurs relatives de la fosse et celle de la vitesse de subduction pour chacune des zones de subduction.

## **DONNÉES**

Les mesures bathymétriques le long des fosses ont été réalisées à partir de cartes bathymétriques SCRIPPS du Pacifique Nord et Sud (1970-1974). Les mesures sur les arcs des Nouvelles-Hébrides et des Tonga-Kermadec ont été faites à partir des cartes bathymétriques AUSTRADÉC du Pacifique Sud-Ouest (1972).

Enfin, les mesures des profondeurs de la fosse Indonésienne ont été réalisées à partir de la carte bathymétrique SCRIPPS du Sud-Est asiatique de MAMMERICKX *et al.* (1976).

La majorité des fosses présentent un remplissage sédimentaire faible ou nul. Nous ferons remarquer cependant que :

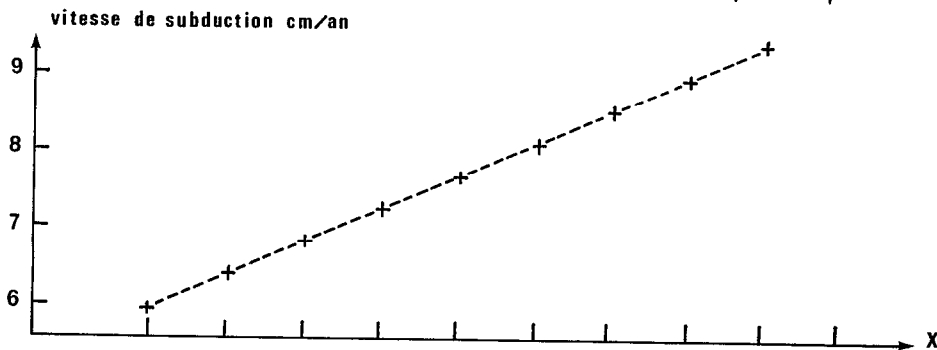
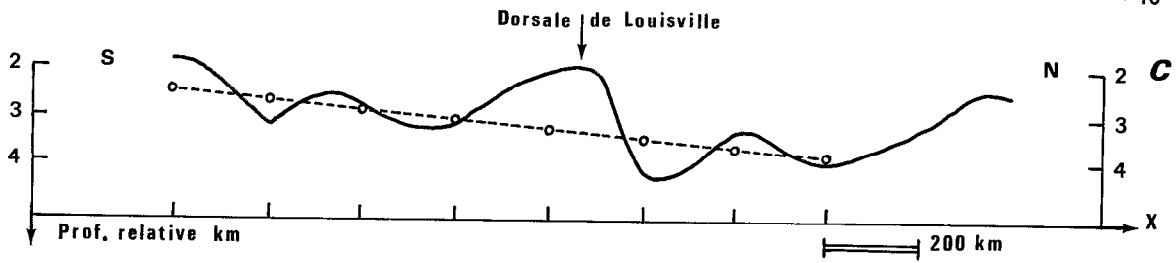
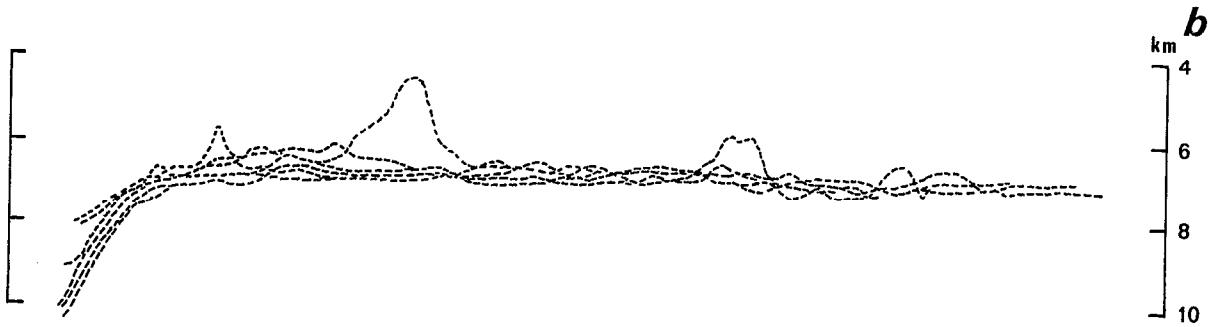
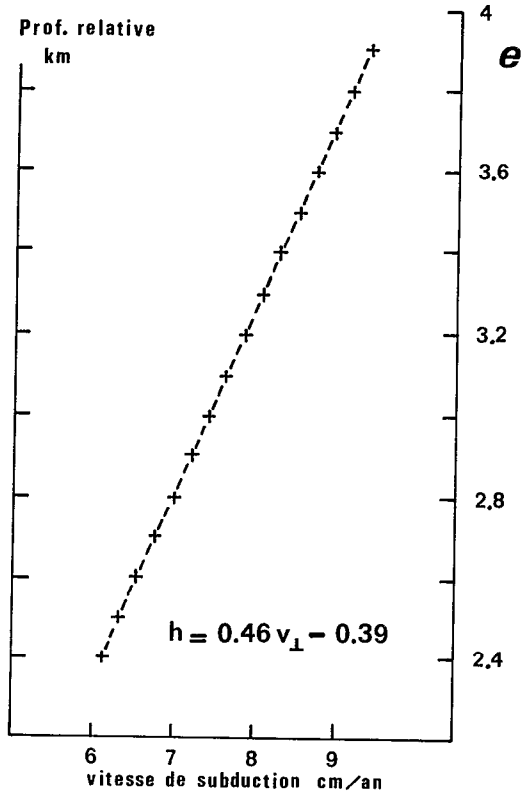
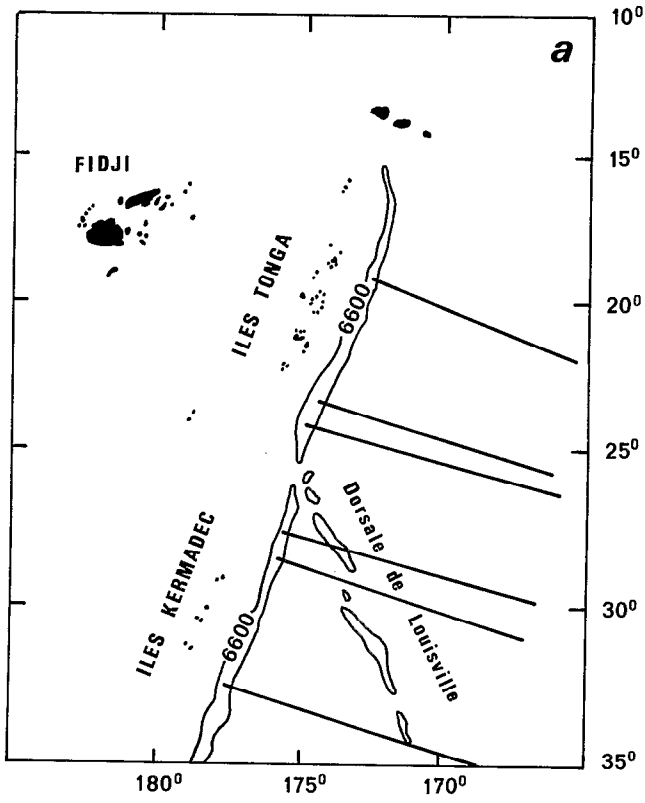
- les parties centrale et occidentale de la fosse des Aléoutiennes présentent une sédimentation pouvant atteindre 1000 à 2000 m,
- au-delà du 33°S, la fosse du Pérou-Chili donne lieu à un fort remplissage pouvant aller jusqu'à la disparition de la fosse (au-delà du 45° S).

L'âge de la lithosphère océanique a été obtenu à partir des cartes d'anomalies magnétiques publiées.

Lors du lissage de la variation longitudinale de la profondeur de la fosse on écarte les points hauts correspondant aux dorsales et aux "seamounts", considérés comme des accidents ; c'est le cas de la dorsale de Louisville pour l'arc des Tonga-Kermadec, de la chaîne de Magellan pour l'arc des Mariannes ou encore de la zone d'Entrecasteaux pour l'arc des Nouvelles-Hébrides.

---

Fig. VII-2 - Zone de subduction des Tonga-Kermadec. **a** : position des profils bathymétriques (bathymétrie en mètres). **b** : profils bathymétriques perpendiculaires à la fosse. **c** : coupe longitudinale de la fosse où le trait continu et le tireté représentent respectivement les profondeurs relatives observées et la droite de régression. **d** : variation de la vitesse de subduction le long de la fosse. **e** : relation vitesse-profondeur relative.



## RÉSULTATS

Les relations établies entre les paramètres profondeur relative, vitesse de subduction puis âge de la lithosphère se font à deux niveaux :

- à l'échelle de l'arc : relation entre la profondeur relative et la vitesse de subduction ;
- pour l'ensemble des zones étudiées : relation entre la profondeur relative et la vitesse de subduction et relation entre le taux d'approfondissement et l'âge de la lithosphère plongeante.

### *A l'échelle de l'arc*

La comparaison des variations respectives de la vitesse et de la profondeur de la fosse montre que les deux paramètres varient dans le même sens : l'augmentation de la vitesse s'accompagne d'un approfondissement semblable de la fosse. Cette observation avait été signalée dans une étude sur la flexure de la lithosphère (DUBOIS *et al.*, 1977a). L'approfondissement des fosses des Tonga-Kermadec et des Nouvelles-Hébrides vers le nord s'accompagne également d'une augmentation des vitesses de subduction de ces deux arcs (Fig. VII- 1 et 2). Une telle relation peut ainsi être établie pour chacune des zones de subduction du pourtour Pacifique. La composante normale de la vitesse s'étant avérée inutilisable pour les zones de subduction Aléoutiennes, Indonésie et Mariannes nous avons dans ce cas, considéré la vitesse relative.

Si l'ensemble des zones de subduction répond bien à la loi, trois régions présentent cependant certaines particularités :

#### 1) Les arcs des Bonin et du Japon

Il est difficile d'attribuer un approfondissement significatif pour les fosses des Bonin et du Japon. On peut simplement faire remarquer que la fosse du Japon présente une faible variation des profondeurs liée à une faible variation de la vitesse.

L'arc des Bonin montre une augmentation de la vitesse du sud vers le nord tandis que la faible variation des profondeurs ne permet pas d'affirmer un approfondissement dans le même sens.

#### 2) L'arc des Mariannes

L'approfondissement de la fosse est ici très important et maximum vers le sud tandis que les variations de la vitesse relative montrent une augmentation vers le nord : on observerait donc le phénomène inverse. Cependant, les valeurs de la composante normale de la vitesse bien que très irrégulières, sont maximales au sud de l'arc et minimales sinon nulles au nord. Dans ce cas, la relation s'observerait aussi.

Par conséquent, quel que soit le type de subduction - arc insulaire ou cordillère - l'approfondissement des fosses océaniques le long d'une même zone semble lié à une augmentation de la vitesse de subduction.

### *A l'échelle globale*

La mise en évidence d'une relation vitesse-profondeur relative nous amène à comparer cette relation à l'échelle de l'ensemble des zones de subduction. L'examen comparatif des différentes droites ne permet pas d'obtenir pour une vitesse donnée une profondeur semblable d'une fosse à l'autre : l'approfondissement ne dépend donc pas directement de la vitesse.

Cependant, on peut établir une relation entre la valeur maximum de la profondeur relative pour chacune des zones et leur vitesse de subduction correspondante (Fig. VII-3). La profondeur relative

maximum prend des valeurs plus grandes lorsque la vitesse augmente. L'ensemble des zones de subduction répond bien à la relation. Pour des valeurs élevées de la vitesse, les Nouvelles-Hébrides et la zone Pérou-Chili présentent des valeurs un peu faibles de la profondeur. Or les deux exemples sont liées à des lithosphères plongeantes jeunes.

Les zones de subduction dont la lithosphère plongeante est âgée de moins de 80 M.A. montrent ainsi une variation de vitesse de 3.5 cm/an pour une variation correspondante des profondeurs de 1600 m. Par contre, pour des lithosphères d'un âge supérieur à 80 M.A., une variation de vitesse de 2.5 cm/an est équivalente à une variation de profondeur de 2900 m. Autrement dit, pour une variation égale de vitesse, les lithosphères âgées conduisent à un approfondissement plus grand. Cette observation apparaît lorsqu'on calcule le taux d'approfondissement pour 100 km le long de chacun des arcs (Fig. VII-4). On observe ainsi que le taux d'approfondissement est plus élevé le long d'un arc dont la lithosphère plongeante est âgée.

Les Nouvelles-Hébrides présentent un taux d'approfondissement de 23 m pour 100 km seulement. Au contraire, la lithosphère des Tonga-Kermadec âgée de 100 M.A. conduit à un taux d'approfondissement de 62 m pour 100 km. Seules deux des zones de subduction étudiées ne semblent pas répondre à la loi : les Philippines et la cordillère de l'Amérique Centrale. Malgré une lithosphère jeune, le taux d'approfondissement observé reste très élevé.

La variation des profondeurs relatives de la fosse à l'échelle d'un arc et à l'échelle globale semble donc gouvernée par deux paramètres : la vitesse de subduction et l'âge de la lithosphère. Les différences observées à l'échelle globale sont, peut-être, dues à l'imprécision de certaines données mais aussi à l'intervention dans cette relation d'autres paramètres.

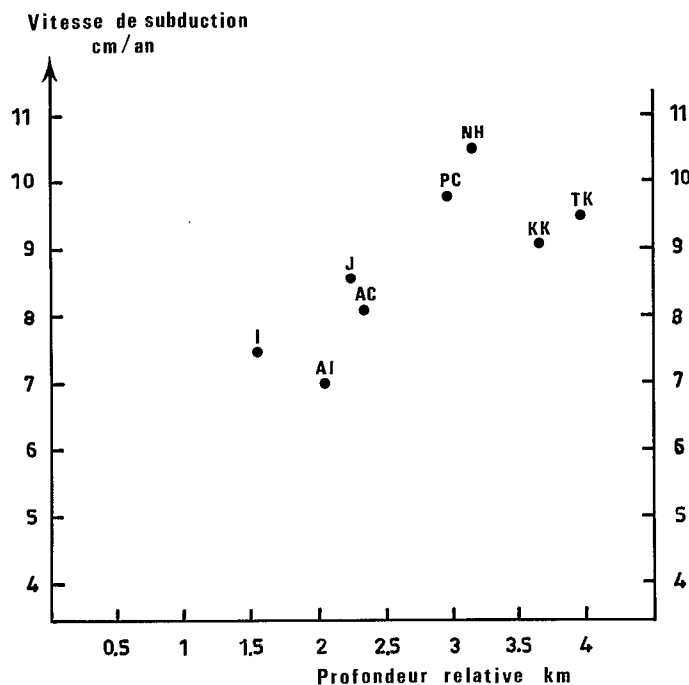


Fig. VII-3 - Relation vitesse de subduction-profondeur relative pour diverses zones de subduction : I = Indonésie ; AI = Aléoutienne ; AC = Amérique centrale ; J = Japon ; PC = Pérou-Chili ; NH = Nouvelles-Hébrides ; KK = Kouriles ; TK = Tonga-Kermadec.

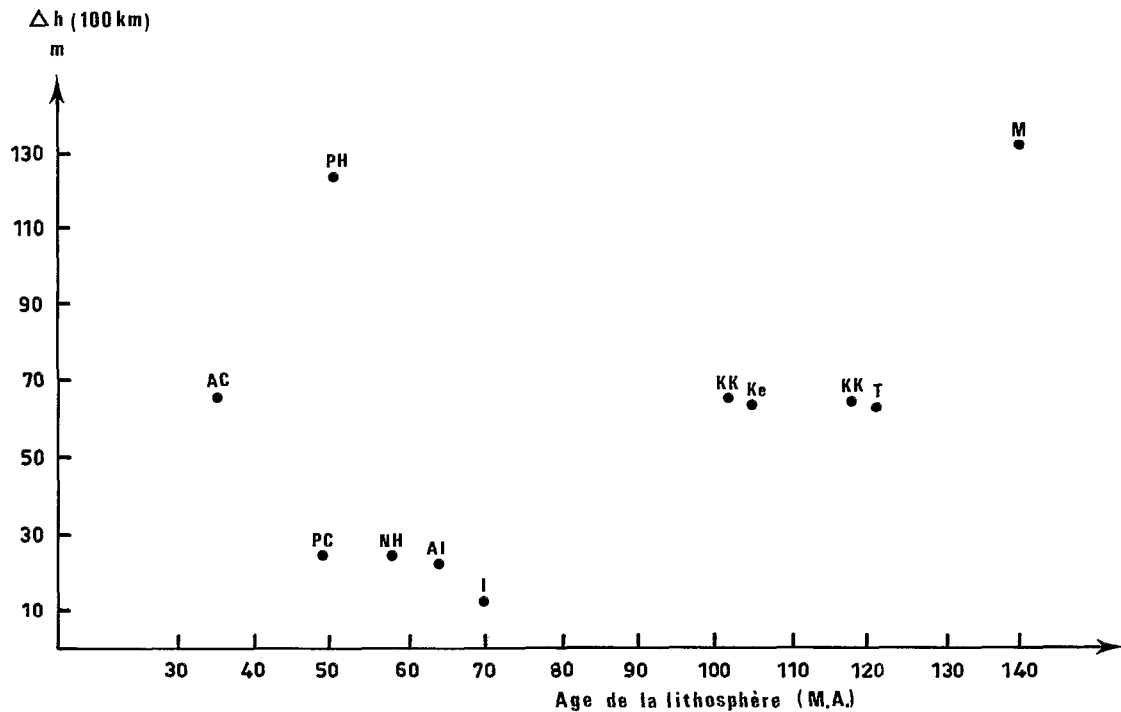


Fig. VII-4 - Relation approfondissement de la fosse-âge de la lithosphère pour diverses zones de subduction. PH = Philippines ; T = Tonga ; Ke = Kermadec ; M = Mariannes. (voir aussi figure VII-3).

## INTERPRÉTATION

La topographie du système fosse - bombement externe et les caractères géophysiques qui lui sont associés (sismicité, magnétisme, gravimétrie) ne reflètent que la flexure de la lithosphère. Les anomalies gravimétriques illustrent ainsi le déséquilibre isostatique permanent de ce système, qui tire son origine de l'application de contraintes maintenant la courbure de la plaque. L'étude du bombement externe et les modèles de flexure ont permis de montrer l'influence du paramètre âge de la lithosphère sur la longueur d'onde du bombement. L'épaisseur de la lithosphère variant avec son âge, les déformations se feront plus facilement lorsque son épaisseur sera plus mince.

D'après les résultats obtenus, les lithosphères minces, c'est-à-dire jeunes, présentent un taux d'approfondissement moindre que les lithosphères épaisses. Une lithosphère mince et donc plus plastique peut se déformer plus facilement et donner lieu à un grand nombre de ruptures : le pliage de cette lithosphère sera important. La courbure de la plaque étant maintenue par l'application de contraintes, un grand nombre de ruptures provoquera un réajustement isostatique plus facile. Quelle que soit la vitesse de subduction, lente ou rapide l'approfondissement le long d'un arc restera faible. Dans le cas d'une lithosphère épaisse, les déformations sont plus difficiles et on observera un retard à la rupture : le réajustement isostatique se fera plus difficilement. Le temps nécessaire à des déformations importantes et à la rupture étant plus long, l'effet de la vitesse pourra accentuer le phénomène : avec une vitesse rapide, la lithosphère plongeante aura moins le temps de se déformer et donc de se rompre. L'approfondissement observé sera plus grand.

Cette interprétation s'accorde bien avec les résultats observés : à une lithosphère telle que celle des Nouvelles-Hébrides correspond un taux d'approfondissement faible — 23 m pour 100 km, à une



lithosphère âgée comme celle des Tonga-Kermadec (100 M.A.?) correspond un taux d'approfondissement de — 62 m pour 100 km. Les différences observées pour certaines zones de subduction font peut-être intervenir d'autres paramètres : l'effet du prisme d'accrétion et des contraintes qui s'exercent sur la plaque plongeante.

Cette interprétation reste avant tout qualitative. Afin de la quantifier, il faudrait tenir compte de la rhéologie du milieu au niveau de la fosse, illustrant le passage du domaine élastique ou élasto-plastique au domaine plastique pur.

## **B - ROLE DES PARAMÈTRES VITESSE DE SUBDUCTION ET AGE DE LA LITHOSPHERE DANS LA SISMICITÉ PROFONDE DES ZONES DE SUBDUCTION**

### **CARACTÉRISTIQUES DES PARAMÈTRES**

On choisit le même type d'approche que précédemment. L'étude comparative des zones sismiques liées aux zones de subduction permet d'observer des configurations différentes au-delà du point de changement de courbure : les pendages et les profondeurs maximales de la zone sismique varient d'un arc à l'autre. Il est donc intéressant de chercher à comprendre ces différences qui reflètent des comportements thermiques distincts de la plaque plongeante.

ISACKS *et al.* (1968) établissent une relation entre la longueur de la zone sismique et la vitesse de subduction. Cette relation leur permet de montrer que 10 M.A. représentent la durée moyenne de vie de la lithosphère au-delà de laquelle le matériau atteint une certaine température T interdisant toute rupture. Utilisant ce résultat, MORGAN (1972) souligne sans le démontrer, l'importance probable du paramètre épaisseur de la lithosphère qui modifie le temps nécessaire au réchauffement de la plaque.

VLAAR et WORTEL (1976) illustrent de façon beaucoup plus nette la relation existant entre la profondeur maximale de pénétration de la zone sismique et l'âge de la lithosphère : une lithosphère âgée donne lieu à une zone sismique pénétrant à une plus grande profondeur. Cependant, la relation établie reste très qualitative et ne tient pas compte de la vitesse de subduction.

Il s'agira donc dans cette étude de définir plus précisément la relation existant entre les paramètres longueur de la zone sismique et âge de la lithosphère. Puis, à partir d'un modèle thermique approprié de calculer les températures régnant dans la plaque plongeante à la profondeur maximale de rupture.

Avant d'exposer les résultats de cette étude, nous nous devons de préciser qu'en janvier 1979, alors que notre étude était déjà très avancée, MOLNAR *et al.* ont fait paraître un article intitulé "Lengths of intermediate and deep seismic zones and temperatures in downgoing slabs of lithosphere".

On considère les trois paramètres suivants :

- l'âge de la lithosphère,
- la longueur de la zone sismique,
- la vitesse de subduction.

Puis on définit deux paramètres dérivés :

- l'âge maximal de l'extrémité de la zone sismique,
- l'épaisseur de la lithosphère.

*Age maximal de l'extrémité de la zone sismique*

On désigne désormais ce paramètre par la lettre P : il est égal au rapport longueur de la zone sismique sur vitesse de subduction, il s'exprime en millions d'années. Pour chacune des zones de

subduction étudiées, on choisit la coupe sismique qui présente les foyers sismiques les plus profonds. La longueur de la zone sismique est mesurée sur une coupe verticale perpendiculaire aux axes de la fosse et de la ligne volcanique. On considère, comme dans la première étude, la composante normale de la vitesse. On ne tient pas compte de l'expansion actuelle faible et mal connue des bassins marginaux associés à certains arcs insulaires tels que l'arc des Tonga, des Nouvelles-Hébrides ou des Mariannes. Nous avons supposé que la vitesse de subduction restait constante au cours du temps. L'intervalle de temps considéré étant inférieur à 10 M.A., cette approximation nous a paru suffisante, le calcul des mouvements relatifs entre plaques portant sur des intervalles plus grands.

#### *Épaisseur de la lithosphère*

Il s'agit de l'épaisseur de la lithosphère située en avant de la fosse. Les études de modèles thermiques ont montré que l'épaisseur de la lithosphère augmente avec son âge. On utilise ici le modèle de SCHUBERT et FROIDEVAUX (1976). La courbe qui permet de calculer l'épaisseur de la lithosphère à partir de la racine de l'âge a les caractéristiques suivantes :

- rhéologie sèche non newtonienne,
- volume d'activation  $V = 11 \text{ cm}^3 / \text{mol}$ ,
- $u_0 = 10 \text{ cm/an}$ . Vitesse correspondant à celle de la plaque Pacifique.

## DONNÉES

L'étude porte sur l'ensemble des zones de subduction Pacifique à l'exception des arcs des Philippines, de Ryu Kyu et des Salomon, pour lesquels les observations s'avèrent trop imprécises (Tabl. VII-1).

Zone de subduction	Vitesse de subduction cm/an	Longueur de la zone sismique km	P M.A.	Age de la lithosphère M.A.	Epaisseur km
Aléoutiennes	7,5	353	6,7	64	102
Nouvelles-Hébrides	8,5	354	4,1	58	97
Kouriles	8,7	866	9,8	102-118	118
Tonga	8,7	950	10,8	121	127
	8,3	933	11,7	121	127
Kermadec	7,3	916	12,4	105	120
Mariannes	4,0	809	20,2	140	135
Amérique Centrale	9,4	297	3,1	13 - 35	83
Pérou - Chili	9,1	720	7,8	49	88
	9,6	696	7,2	49	88
	9,9	736	7,4	49	88
Izu - Bonin	6,0	740	13,0	147	136
Japon	8,5	1 000	11,7	100	120
Indonésie	5,7	867	15,1	147	136
	5,6	1 100	13,6	147	136

Tabl. VII-1 - Caractéristiques géologiques et géophysiques de certaines zones de subduction.

Les coupes sismiques utilisées ont été choisies dans les publications. Elles présentent les caractéristiques décrites dans la première partie.

Il a été tenu compte pour les coupes sismiques Sud-Américaines des séismes profonds mais isolés situés au-delà de 500 km.

L'âge des fonds océaniques a été déduit à partir des cartes des anomalies magnétiques publiées. Pour l'ensemble des zones de subduction étudiées, l'âge du fond océanique ne varie pas beaucoup le long du même arc. Cependant, pour l'arc Indonésien, il s'est avéré important de distinguer deux parties : zone de Sumatra, zone de Java. En effet, la variation d'âge du fond océanique entre les deux est importante : les linéations magnétiques indiquent un âge de 70 M.A. en avant de la fosse de Sumatra, tandis que l'on peut observer des âges de 140 M.A. à l'extrémité orientale de la fosse de Java. D'autre part, pour la plupart des zones de subduction, l'âge de la lithosphère située en avant de la fosse est plus jeune que celui de la lithosphère déjà subductée. Néanmoins, il n'en est pas ainsi pour la zone de Sumatra, les Aléoutiennes et les Kouriles. Il en résulte que le paramètre  $p$  sera entâché d'une plus grande imprécision.

Enfin, au niveau de l'arc des Tonga-Kermadec les données sur les anomalies magnétiques restent très imprécises. Aussi avons-nous déduit l'âge de la lithosphère à l'aide de la relation empirique de PARSONS et SCLATER (1977) entre la profondeur du fond océanique et la racine de l'âge.

## RÉSULTATS

Un examen comparatif du paramètre  $P$  et de l'épaisseur de la lithosphère permet d'établir une relation entre les deux paramètres : l'augmentation de l'épaisseur  $E$  s'accompagne d'une augmentation semblable du paramètre  $P$  (Fig. VII-5). Si l'ensemble des zones de subduction répond bien à la loi, on observe une certaine dispersion pour les arcs des Nouvelles-Hébrides, des Mariannes et du Japon. L'erreur commise sur la vitesse de subduction qui ne tient pas compte de l'expansion arrière-arc dans le cas des Nouvelles-Hébrides et des Mariannes n'est peut-être pas étrangère à cette dispersion.

La faible valeur de  $P$  pour les Nouvelles-Hébrides peut avoir une seconde origine : à épaisseur de lithosphère égale, l'Amérique du sud témoigne d'une valeur de  $P$  beaucoup plus grande. Or, la différence de pendage entre les deux zones est très grande :

30° en moyenne pour l'Amérique du sud,  
65° en moyenne pour les Nouvelles-Hébrides.

La plaque des Nouvelles-Hébrides se réchaufferait plus vite que celle du Pérou-Chili. La forte valeur de  $P$  des Mariannes est due à une vitesse de subduction très lente (4 cm/an) mais peut-être aussi à sa grande imprécision.

Les observations directes permettent donc de montrer que le comportement de la plaque plongeante est étroitement lié à l'âge de la lithosphère et que celui-ci semble déterminer le seuil limite de rupture à l'intérieur de la plaque.

## INTERPRÉTATION

La zone sismique nous fournit une des rares images de la lithosphère plongeante. La comparaison des modèles de température et de la distribution des séismes montre que les séismes intermédiaires et profonds se situent dans la zone la plus froide de la plaque plongeante. Ces séismes sont donc fortement liés aux conditions de température régnant dans la plaque plongeante. Quelle que soit la nature des séismes intermédiaires et profonds, au-delà d'une certaine température, les propriétés mécaniques de la lithosphère sont devenues telles qu'elles interdisent toute rupture : la limite inférieure de la zone sismique matérialise ce seuil. Cependant, ce seuil varie selon les zones de subduction.

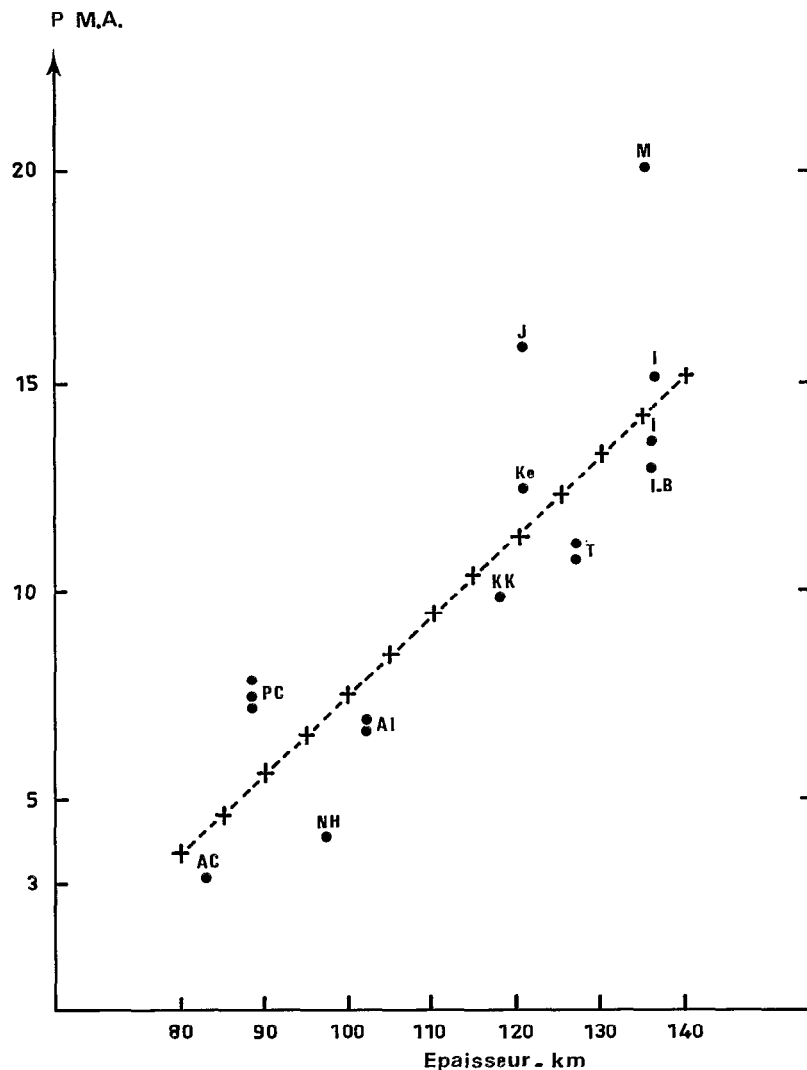


Fig. VII-5 - Relation entre l'épaisseur de la lithosphère et le paramètre P. I.B. = Izu-Bonin. (voir aussi légendes des figures VII-3 et 4).

La lithosphère océanique froide va subir au cours de sa descente un réchauffement progressif par l'intermédiaire de plusieurs sources de chaleur. Ces dernières vont modifier la distribution des températures à l'intérieur de la plaque. On peut y ajouter l'effet d'une vitesse plus ou moins rapide : une plaque se déplaçant à faible vitesse aura tendance à se réchauffer plus vite, car la conduction du manteau se trouve accrue.

L'épaisseur de la lithosphère constitue le dernier paramètre qui modifie la limite inférieure de la zone sismique. Les séismes se situent dans la partie la plus froide, leur disparition est fortement liée à un seuil de température. Il faut donc que cette température atteigne le centre de la plaque. Aussi dans le cas d'une lithosphère âgée et donc épaisse le temps mis pour atteindre cette température sera plus grand. A vitesse égale, une lithosphère épaisse gardera son individualité plus longtemps et sa zone sismique pénétrera plus profondément qu'une lithosphère jeune. L'association d'une lithosphère âgée (100 M.A.) et d'une vitesse de subduction élevée (8.5 cm/an) confère aux Tonga-Kermadec une zone sismique profonde, pénétrant jusqu'à 700 km.

Cette interprétation permettrait d'expliquer l'existence de séismes profonds dans les zones de subduction fossiles connues comme celle du Vityaz. La série de séismes isolés à 600 km de profondeur appartiendrait à une ancienne zone de subduction dont la lithosphère plongeante, celle de l'océan Pacifique âgée de plus de 100 M.A. n'aurait pas atteint l'équilibre thermique. La partie profonde de cette subduction, a gardé son individualité malgré l'absence actuelle de subduction.

La relation que nous avons mise en évidence fait apparaître l'importance des paramètres épaisseur de la lithosphère et vitesse de subduction dans l'évolution des températures de la plaque plongeante. Elle permet aussi de définir un seuil de température : le choix d'un modèle thermique approprié va nous permettre de calculer ces températures limites.

## CALCUL DES TEMPÉRATURES

Le calcul des températures à l'intérieur de la plaque plongeante utilise un modèle thermique de type MCKENZIE (1969, 1970) légèrement modifié. En raison de sa simplicité, ce modèle ne tient pas compte de toutes les sources de chaleur ni de l'effet de convection secondaire qu'entraîne la descente de la plaque dans le manteau. En effet, on peut supposer que lorsqu'une plaque lithosphérique pénètre dans l'asthénosphère, elle entraîne avec elle une certaine quantité de matière. Cette quantité de matière d'épaisseur inconnue  $e_z$  va se refroidir au contact de la plaque et augmentera l'épaisseur initiale de celle-ci. Cette couche tampon va isoler la plaque plongeante du reste du manteau chaud et le réchauffement dans la lithosphère plongeante se fera moins vite. Cependant, on ne connaît pas l'épaisseur de cette couche tampon. Dans le modèle de MCKENZIE la convection dans le manteau est renouvelée constamment et par conséquent les deux bords de la plaque plongeante sont toujours à la température du manteau. Dans le cas présent, on suppose qu'une certaine partie de la matière du manteau est entraînée avec la plaque : en effet, au contact de la plaque plongeante froide le manteau se refroidit, devient plus rigide et reste alors collé à la plaque et entraîné avec elle. Il y a donc échange de chaleur entre les deux milieux :

- la plaque plongeante reçoit de la chaleur du manteau chaud,

- le manteau est refroidi par la plaque,

à la différence du modèle de MCKENZIE où seule la plaque reçoit de la chaleur (Fig. VII-6).

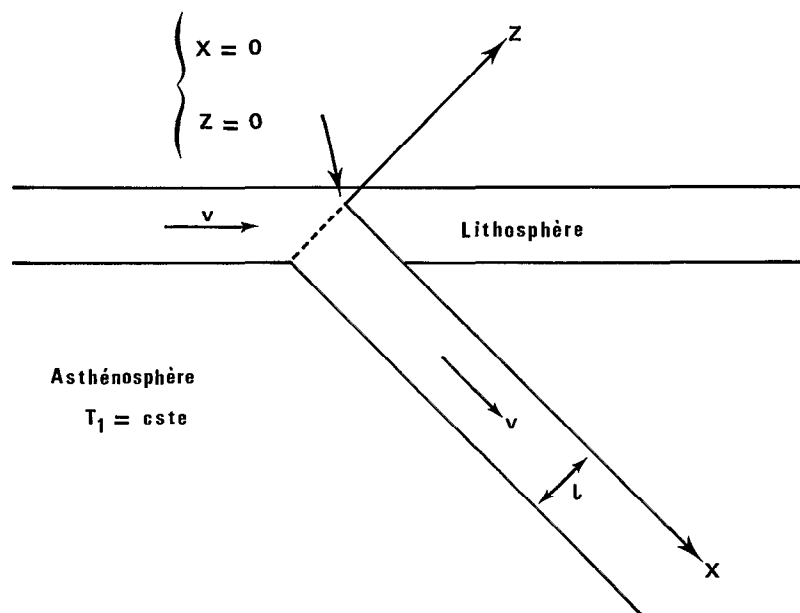


Fig. VII-6 - Modèle de MCKENZIE (1969-1970). Système des coordonnées.

Dans le modèle que nous présentons, le manteau est entraîné avec la plaque, et il n'y a pas de mouvement relatif entre la plaque plongeante et le manteau : dans le modèle de MCKENZIE la plaque s'enfonce seule. Le problème revient donc à calculer la température dans une plaque entraînant avec elle un manteau uniforme, de température T, au gradient adiabatique près. De même que MCKENZIE, on ne tient pas compte des 100 premiers kilomètres ni des changements de phase. Soit l'équation de la chaleur :

$$\frac{\delta^2 T}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 T}{\delta z^2} = \rho \frac{C_p v}{K} \cdot \frac{\delta T}{\delta x}$$

La théorie de notre modèle (CARSLAW et JAEGER) conduit à une solution du type :

$$T' p = \int_0^\infty \theta(k, x') \sin k z' dK + \int_0^\infty \psi(k, x') \cos k z' dK$$

La solution des équations  $\theta(k, x')$  et  $\psi(k, x')$  sera de la forme :

$$\theta(k, x') = \theta(k, 0) \exp \left[ \left( \frac{Pe - \sqrt{Pe^2 + 4k^2}}{2} \right) x' \right]$$

$$\psi(k, x') = \psi(k, 0) \exp \left[ \left( \frac{Pe - \sqrt{Pe^2 + 4k^2}}{2} \right) x' \right]$$

On calcule alors les valeurs de ces fonctions puis la valeur de  $T' p$  pour un  $z'$  et  $x'$  donnés.

On pose :  $Pe = 400$  ;  $v = 10$  cm/an ;  $l = 100$  km.

$x'$	$z'_1$	$z'_2$	$T'_{P_1}$ °C	$T'_{P_2}$ °C	$\Delta T'_P$
1	-0.2	-0.15	243	221	22
2	-0.2	-0.2	268	295	27
3	-0.2	-0.25	305	350	45
4	-0.2	-0.25	340	393	53
5	-0.2	-0.3	372	429	57
6	-0.2	-0.3	401	460	59
7	-0.2	-0.3	427	490	63
8	-0.3	-0.35	446	516	70
9	-0.3	-0.35	463	539	76
10	-0.3	-0.35	478	561	83

Tabl. VII-2 - Températures potentielles minimales.

Le tableau VII-2 indique pour chaque valeur de  $x'$  la valeur de  $z'$  où se situe la température potentielle minimale ou encore l'isotherme la plus basse au coeur de la plaque plongeante pour une longueur de plaque  $x$ . Ce tableau comprend deux séries de valeurs ;

- valeurs indicées 1 : celles du modèle présenté,
- valeurs indicées 2 : celles du modèle de MCKENZIE.

Application au cas des Tonga-Kermadec :

$$x = 900 \text{ km} ; l = 100 \text{ km} ; \text{ donc } x' = 9.$$

La température potentielle minimale est de 463°C contre 539°C pour le modèle de MCKENZIE. Les différences s'accroissent au fur et à mesure que  $x'$  augmente. De plus, la distribution des températures montre que le bord supérieur de la plaque (en  $z' = 0$ ) n'est pas à la température du manteau comme dans le modèle de MCKENZIE. Celle-ci ne sera atteinte que pour  $x' = \pm 0.9$ . Tout se passe comme si la plaque avait doublé son épaisseur, le bord supérieur de la plaque reste froid. Pour obtenir les températures vraies régnant à l'intérieur de la plaque, il faut tenir compte de la compression adiabatique et du changement de phase olivine-spinelle. Ainsi la température vraie minimale de la plaque des Tonga-Kermadec sera de  $T'_v = 539^\circ \text{C}$ . L'application de ce calcul au cas des Nouvelles-Hébrides donnerait :  $T'_n = 372^\circ \text{C}$  soit  $T_v = 539^\circ \text{C}$ .

Le modèle présenté permet donc d'obtenir des températures moins élevées et plus raisonnables que celles de MCKENZIE mais qui restent néanmoins fortes. Elles ne peuvent être le seul paramètre qui contribue à l'existence de séismes à grande profondeur. Il faut tenir compte de la pression de confinement qui atteint à ces profondeurs entre 400 km et 700 km des valeurs importantes et joue un rôle important dans la formation des séismes intermédiaires et profonds.

*Manuscrit remis en janvier 1981*  
*Manuscrit révisé en avril 1981*