

PAYS-BAS

Utilisation à des fins de discrimination de données sur  
le premier mouvement d'ondes de courte période

1. Introduction

Théoriquement, on peut utiliser les données sur le premier mouvement d'ondes longitudinales directes pour faire la discrimination entre les tremblements de terre, qui sont caractérisés par des compressions et des dilatations d'amplitude variable mais de volume égal, et les explosions, qui provoquent des compressions d'égale amplitude dans toutes les directions. Toutefois, l'étude de la source est souvent rendue plus difficile par une insuffisance qualitative ou quantitative des données. Il en est ainsi soit lorsqu'il y a un trop grand nombre de valeurs aberrantes fournies par des enregistrements sismologiques apparemment ambigus, soit lorsque les postes d'observation sont trop peu nombreux ou qu'ils sont mal répartis par rapport à la source. Ces deux aspects seront examinés séparément.

On ne peut tenter de réduire le nombre des données aberrantes que si l'on est suffisamment renseigné sur leur origine et leur répartition. La présence de ces données peut tenir aux causes suivantes :

- a) un rayonnement non uniforme de l'énergie à partir de la source en raison de discontinuités ou d'inhomogénéités à proximité de la région du foyer, ou de gradients de contraintes dans cette région;
- b) des irrégularités de propagation, telles que des différences dans l'atténuation tangentielle entre la zone régionale proche et le récepteur;
- c) une réponse à bande large ou étroite, à haute ou à faible fréquence, des appareils enregistreurs, ou des erreurs humaines dans l'interprétation des enregistrements et la transmission des communications.

Comme on le sait, le nombre de données aberrantes dans les études sur le mécanisme à la source peut être réduit si l'on utilise uniquement des enregistrements effectués personnellement, si l'on emploie des sismographes enregistreurs de type standard et si les aspects structurels de la région du foyer sont suffisamment bien

connus pour pouvoir servir de base détaillée pour un calcul spécifique de la fonction  $(i, \Delta)$  appropriée.

Le centre ou les centres de données proposés dans le document CCD/558 devront compter principalement sur les communications de routine de données de niveau I établies par des opérateurs de station travaillant avec des appareils qui, tout au moins au début de l'effort entrepris, ne seront pas tous du même modèle. Les erreurs normales présentes dans les communications adressées par les stations aux centres internationaux NEIS, CSEM et CSI existants se produiront également pour les futures données de niveau I. Par conséquent, en se servant des bulletins internationaux existants, on peut dès à présent déjà étudier l'utilité, pour l'interprétation du type de la source, des données sur le premier mouvement d'ondes de courte période qui seront obtenues dans le cadre du système de surveillance proposé.

## 2. Analyse des données sur le premier mouvement pour 108 événements du type explosion

La fiabilité des communications de données C/D ne peut être déterminée qu'en utilisant une source contrôlée telle qu'une explosion, dont le rayonnement se propage théoriquement d'une façon égale dans toutes les directions. On a donc étudié les données correspondant à cinq années d'explosions nucléaires souterraines effectives ou hypothétiques qui ont été publiées dans les bulletins du CSI, y compris les données obtenues en 1972-1976 pour 57 essais de  $m_b = 4,1-6,2$ , dans le sud du Nevada, de 42 événements de  $m_b = 4,4-6,1$  dans l'est du Kazakhstan et de 9 événements de  $m_b = 5,9-6,9$  à Novaya Zemlya.

### 2.1 Données relatives aux ondes P à des distances $\Delta = 0-110^\circ$

Sur un total de 6 045 données relatives à des ondes P à des distances comprises entre 0 et  $110^\circ$ , 849 (soit 14 %) ont été signalées comme correspondant à des dilata-tions et non à des compressions. Les pourcentages pour les différents polygones d'essais sont très similaires, à savoir 15,1 % pour le sud du Nevada, 14,9 % pour l'est du Kazakhstan et 11,0 % pour Novaya Zemlya. En moyenne, et s'agissant du premier mouvement d'ondes P, une observation sur sept est erronée. Théoriquement, cette proportion d'une sur sept, soit 14 %, n'empêcherait pas d'utiliser ces données comme moyen de diagnostic à des fins de discrimination. Mais il existe toutefois des diffé-rences importantes et parfois inexplicables entre certains événements. La magnitude et la distance sont des paramètres influents.

Une relation manifeste existe entre le pourcentage des anomalies et la magnitude  $m_b$  ou l'amplitude de l'onde. C'est ainsi qu'avec  $m_b \geq 6,0$ , le pourcentage moyen établi avec 18 événements est de 11 %; avec 55 événements pour lesquels  $5,0 \leq m_b < 6,0$ , il est de 16 %, et avec 10 événements de  $m_b < 5,0$  il est de 31 % ! Il est clair que plus la magnitude est élevée et plus les données communiquées sont fiables.

L'analyse de l'influence de la distance montre que dans les trois séries d'essais, de nombreux enregistrements aberrants se produisent lorsque  $\Delta \geq 80^\circ$  : jusqu'à 21 % du nombre total de données pour cette catégorie de distances (520 données pour le sud du Nevada, 360 pour l'est du Kazakhstan et 169 pour Novaya Zemlya). Ces anomalies présentent très probablement un caractère structural et mondial et sont en rapport avec des effets liés à la propagation dans les couches profondes du manteau au voisinage des limites du noyau terrestre.

Une autre gamme où le nombre d'enregistrements aberrants est exceptionnellement élevé, aussi bien pour les événements dans le sud du Nevada que dans l'est du Kazakhstan, est l'intervalle  $\Delta = 10 - 20^\circ$ , où ces enregistrements atteignent 33 % et 35 %, respectivement. Cette anomalie ne constitue pas un phénomène à l'échelle mondiale puisque, dans cette même gamme de distances, les 44 données relatives à Novaya Zemlya sont toutes cohérentes, mais il paraît évident qu'il existe un lien avec les faibles amplitudes imputables à la couche à faible vitesse de propagation dans la partie supérieure du manteau.

D'autres pourcentages fort élevés d'enregistrements aberrants d'ondes P sont constatés sur le plan local, à savoir pour  $\Delta = 70 - 75^\circ$  pour les essais au sud du Nevada, pour  $\Delta = 45 - 50^\circ$  pour les événements dans l'est du Kazakhstan et pour  $\Delta = 25 - 30^\circ$  pour les événements à Novaya Zemlya. Ces trois anomalies pourraient s'expliquer par les enregistrements apparemment peu fiables obtenus dans un même groupe de stations situées à l'intérieur d'une zone restreinte dans le nord du Royaume-Uni.

Si l'on exclut les données correspondant aux gammes de distances susmentionnées, le pourcentage des enregistrements aberrants descend à 9 % sur le total de 4 016 données, soit 9 % pour les événements du sud du Nevada, 11 % pour les événements de l'est du Kazakhstan et 6 % pour les événements de Novaya Zemlya. D'une manière générale, il ressort de la documentation que le pourcentage des enregistrements aberrants augmente progressivement depuis environ 6 % à de faibles distances jusqu'à 11 environ à une distance de  $80^\circ$ .

## 2.2 Données relatives aux ondes PKP à des distances $\Delta = 110-180^\circ$

La fiabilité des données relatives aux ondes PKP est manifestement inférieure à celle des données relatives aux ondes P. Sur un total de 340 observations, le pourcentage des enregistrements aberrants atteint 25 %. Ici également, il est clair que la magnitude joue un rôle : pour des événements de  $m_b \gg 6,0$  la proportion est de 23 %, alors que pour des événements de  $m_b = 5,0-5,9$  elle atteint 32 % :

### 3. Utilité du réseau proposé

Dans l'intérêt de la discrimination et certainement aussi pour les études sur le mécanisme à la source, il est indispensable d'avoir une bonne répartition des stations d'enregistrement autour de la source, aussi bien en azimuts qu'en distances.

Du point de vue des azimuts, la couverture de la sphère focale n'est pas toujours optimale en raison de la répartition des étendues terrestres et maritimes par rapport à la région de la source. Il faudra s'efforcer d'installer des stations supplémentaires dans des îles océaniques éloignées afin de couvrir certaines zones lacunaires de la sphère focale.

La distance  $\Delta$  détermine l'angle d'écartement par rapport au foyer. Cette relation ( $i, \Delta$ ) dépend beaucoup de la vitesse des ondes longitudinales dans la région du foyer (Ritsema, 1958, 1978). Plus la vitesse est grande dans le milieu source et plus les projections des stations d'enregistrement sur la sphère focale sont largement dispersées. Par conséquent, les tremblements de terre survenant à grande profondeur se prêtent à des solutions souvent plus fiables quant au mécanisme que les tremblements de terre peu profonds. Avec un foyer sub-crustal où  $V_p = 8,25$  km/s, la partie de la sphère focale pour laquelle on disposera vraisemblablement de données se situera entre  $i = 55^\circ$  pour  $\Delta = 20^\circ$  et  $22^\circ$  pour  $\Delta = 80^\circ$ , ce qui représente 14,1 % de la surface totale de la sphère focale.

Les événements artificiels ne peuvent évidemment se situer que dans la partie supérieure de la croûte terrestre. Les vitesses dans le milieu source sont, par conséquent, toujours relativement faibles. Normalement, une vitesse crustale de 6,25 km/s est probablement la plus élevée qu'il faille envisager pour les ondes P dans le cas d'explosions imputables au fait de l'homme. A cette vitesse, les valeurs de l'angle  $i$  sont  $37^\circ$  et  $18^\circ$ , respectivement, et la surface de la sphère focale est couverte dans une proportion de 7,5 %. Avec une vitesse de 5,6 km/s dans la couche granitique les valeurs sont de 33 %, 16 % et 6,1 %, respectivement. Dans des sédiments profonds et avec une vitesse de 4,35 km/s, elles sont de 26 %, 12 % et 4,0 %, respectivement, et dans des sédiments à plus faible profondeur et à une vitesse de 3,15 km/s, elles s'établissent à 18 %, 8,5 % et 2,9 %. Il y a lieu de noter que dans le cas de

l'"alluvion sec" où  $V_p$  ne dépasse pas 1500-1000 m/s, ces valeurs sont, respectivement, de 8,5-5,7 %, 4,1-2,7 % et de 0,43-0,19 % seulement (Ritsema, 1967).

L'opportunité de tirer des conclusions quelles qu'elles soient sur le type de la source à partir de séries de données aussi limitées paraît donc être extrêmement douteuse. A titre d'exemple, une source où  $V_p = 7,1$  km/s et pour laquelle l'angle  $i$  est inférieur à  $45^\circ$  à une distance de  $20^\circ$  peut provoquer des compressions dans une proportion de 100 % et s'expliquer néanmoins comme étant un tremblement de terre du type à mouvement en faille inverse. En pareil cas, seules des compressions sont émises dans la partie inférieure (downward quadrangle) de la sphère focale. Cet aspect est encore plus nettement marqué dans tous les cas où la vitesse dans la région de la source est inférieure à 7,1 km/s.

#### 4. Références bibliographiques

Bulletins du CSI, Newbury (Royaume-Uni), pour les années 1972-1976

Ritsema, A.R. - ( $i, \Delta$ ) - curves for bodily seismic waves of any focal depth. Lembaga Meteor. dan Geof. Djakarta, Verhand. 54 (1958), integral reprint KMMI de Bilt (1978)

idem - Problematics of small shallow earthquake mechanisms. Proc. VESIAC Confer. La Jolla, VESIAC Rep. 7885-1-X p. 25-35 (1967).

FIGURES ET CONCLUSIONS

- a) Figure 1 : Rapports entre la magnitude  $m_p$ , le nombre de données communiquées sur le premier mouvement d'ondes P et le pourcentage de données aberrantes, d'après une étude portant sur 108 événements du type explosion survenus au cours des années 1972-1976. L'effet d'une exclusion des données manifestement peu fiables est indiqué en traits discontinus.  
Conclusion : On ne saurait utiliser à des fins d'identification des données concernant des événements de faible magnitude.
- b) Figure 2 : Le nombre total de données sur le premier mouvement et les pourcentages de données aberrantes en fonction de la distance épacentrale, pour des événements survenus dans les polygones d'essais du sud du Nevada, de l'est du Kazakhstan et à Novaya Zemlya. La figure indique les effets qu'aurait l'exclusion des données manifestement peu fiables. Cette figure ne fait pas état des données relatives aux ondes PKP car elles contiennent invariablement une proportion de données aberrantes atteignant 25 % ou plus. Il y a lieu de considérer comme normal un certain pourcentage d'anomalies dans les données communiquées, qui va en augmentant d'environ 6 % à de faibles distances jusqu'à 11 % environ pour  $\Delta = 80^\circ$ .  
Conclusion : En dehors des observations faites à proximité de la source, seules des données enregistrées à des distances de 20-80° devraient être utilisées pour identifier le type de la source d'après le premier mouvement. Les données relatives aux ondes PKP ne se prêtent guère à des fins de discrimination.
- c) Figure 3 : La répartition sur la sphère focale des stations du réseau III (CPZ) proposé dans le cas d'événements sismiques survenant en différents polygones d'essais. Dans les zones lacunaires en matière de données, on a indiqué quelques stations supplémentaires qui pourraient éventuellement être utilisées pour améliorer le réseau. Les cercles correspondant à  $\Delta = 20^\circ$  et  $80^\circ$  délimitent la partie de la sphère focale où la probabilité de recueillir des observations cohérentes est optimale et avoisine 9 %. La partie de la sphère focale couverte par l'anneau des observations à  $\Delta = 20-80^\circ$  ne représente que 7,5 % du total dans le cas d'une vitesse crustale normale de 6,25 km/s des ondes P dans le milieu source. Une réduction de cette vitesse jusqu'à 3,15 km/s, comme dans le cas de sédiments à faible profondeur, abaisse cette proportion à environ 3 %. Dans le cercle le plus intérieur se trouvent des stations situées à des distances de 110-180°, où les premières à arriver sont les ondes PKP.  
Conclusion : Le réseau III (CPZ) est plus efficace pour certains polygones d'essais que pour d'autres. Une certaine amélioration pourrait être réalisée en ajoutant telles ou telles stations au réseau. Toutefois, pour certains des

polygones d'essais, la configuration, par rapport à la source, des emplacements qui conviendraient le cas échéant pour y installer des postes d'observation est telle qu'une amélioration radicale est impossible. Il paraît extrêmement douteux que les données limitées provenant du réseau suffiraient pour justifier des conclusions quelles qu'elles soient quant au type de la source d'énergie.

En outre, dans le cas de premiers mouvements du type compressions, une explosion n'est pas la seule et unique source possible dans toute la gamme des azimuts et des distances. Des tremblements de terre du type en faille inverse peuvent produire le même rayonnement d'ondes P.

Note : Les emplacements indiqués dans la figure 3 sont les suivants :

India : 27°N 72°E; Lop Nor : 41°N 89°E; W. Kazakhstan : 48°N 48°E;  
E. Kazakhstan : 50°N 78°E; Amchitka : 52°N 179°E; Novaya Zemlya : 73°N 55°E;  
Mururoa : 20°S 140°W; S. Nevada : 37°N 116°W.

- d) Figure 4 : Emplacements des polygones d'essais étudiés (cercles pleins) et quelques emplacements de source hypothétiques (croix).
- e) Figures 5 et 6 : Répartition des stations du réseau III (CPZ) sur la sphère focale pour un certain nombre d'événements hypothétiques indiqués dans la figure 4, répartis d'une façon assez régulière sur toutes les étendues terrestres du monde.

Conclusion : La figure montre les lacunes du réseau de stations III (CPZ). Il apparaît aussi avec évidence que le réseau proposé n'a pas partout la même efficacité. Voir également les observations concernant la figure 3.

Note : Emplacements de source admis par hypothèses : Europe : 52°N 5°E;  
Africa N : 20°N 10°E; Africa S : 20°S 25°E; Africa E : 20°N 45°E; Asia NE : 60°N 120°E; Asia E : 35°N 140°E; Asia SE : 0°S 115°E; Australia : 25°S 135°E;  
N. America N : 65°N 120°W; N. America NE : 55°N 70°W; C. Pacific : 20°N 155°W;  
C. America : 20°N 90°W; S. America S : 45°S 70°W; S. America N : 10°S 60°W;  
Antarctica : 90°S.

- f) Aucun événement ne doit et ne peut être identifié comme étant une explosion en se fondant uniquement sur les premiers mouvements d'ondes P de courte période, même dans la gamme de distances optimales 20-80°. Une étude des amplitudes pourrait être utile, mais elle n'est pas encore devenue à l'heure actuelle un outil opérationnel.
- g) Bien que cela ne soit pas absolument indispensable, il est conseillé de conserver, dans les communications de données du niveau I, les données C/D relatives aux ondes de courte période. Surtout pour des événements de  $m_b \geq 5$ , ces données peuvent être utiles en tant qu'éléments supplémentaires dans le processus d'identification. Il n'est pas non plus à exclure que le réseau de

surveillance, lorsqu'il aura été équipé d'appareils identiques à l'échelle du monde entier, obtiendra des résultats meilleurs à ceux qui ont été constatés jusqu'à présent dans les réseaux existants.

- h) Les données relatives aux ondes P de longue période ne sont intéressantes qu'à titre confirmatif pour des événements de magnitude élevée. Pour l'interprétation d'événements de faible intensité ou douteux, les données C/D relatives aux ondes de longue période ne présentent pas d'intérêt.

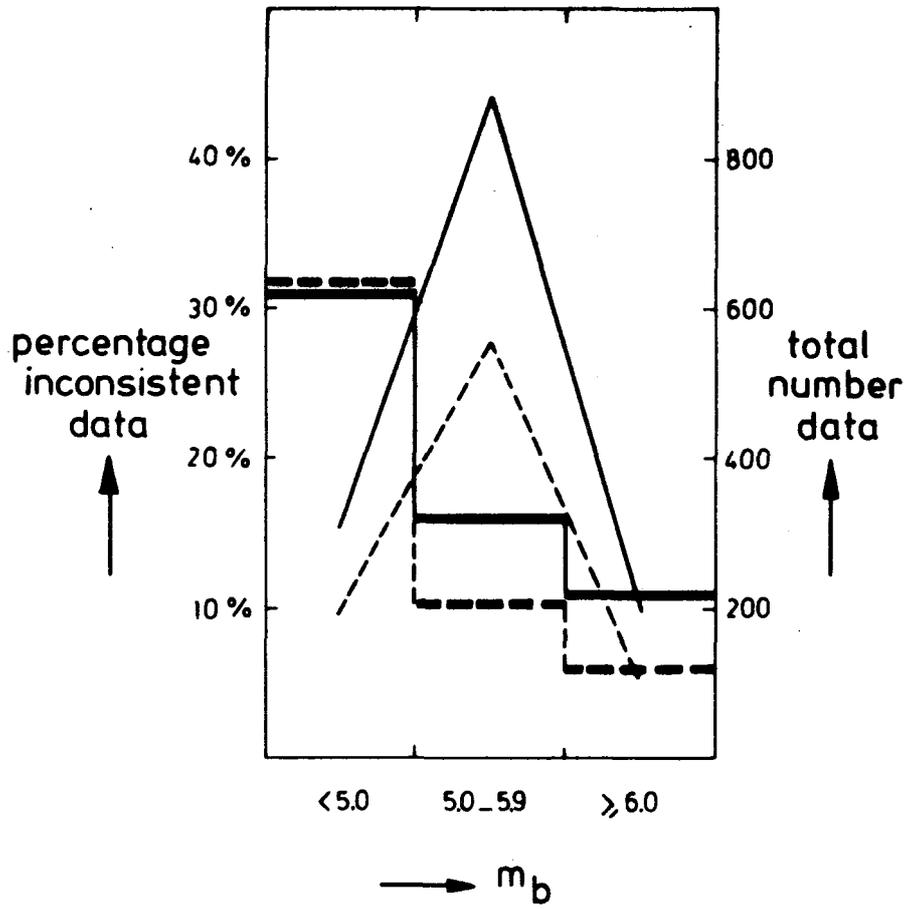


Figure 1

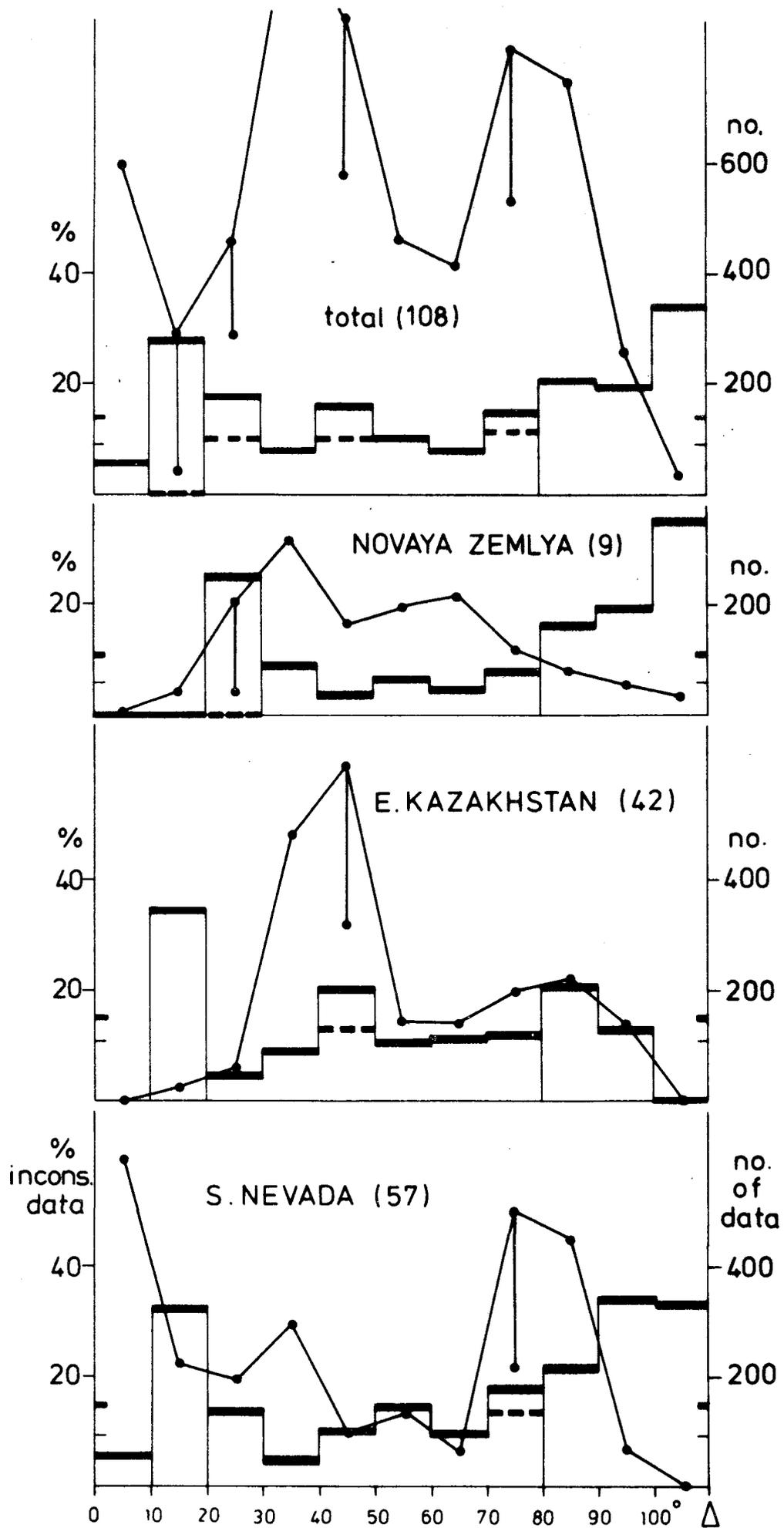


Figure 2

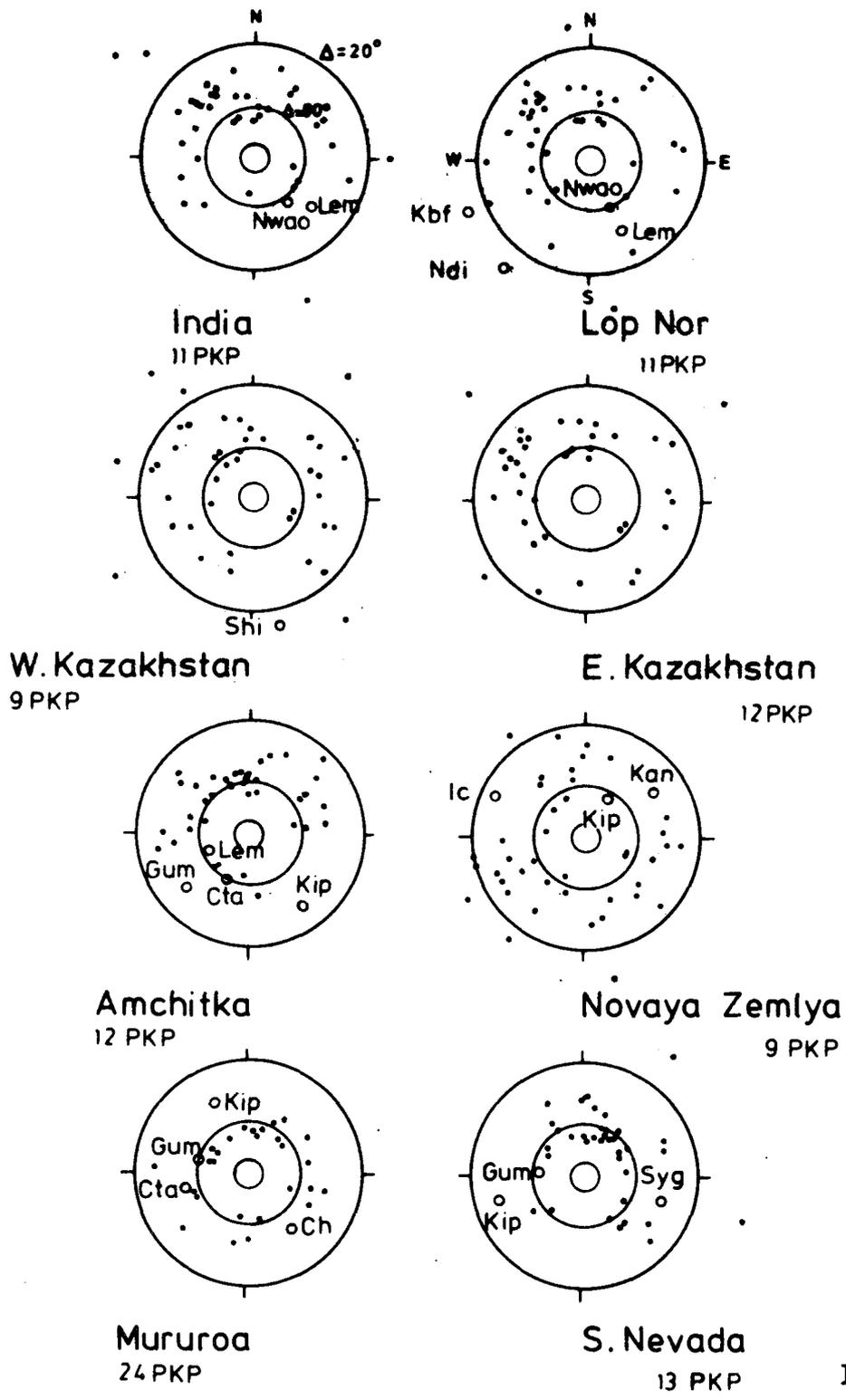


Figure 3

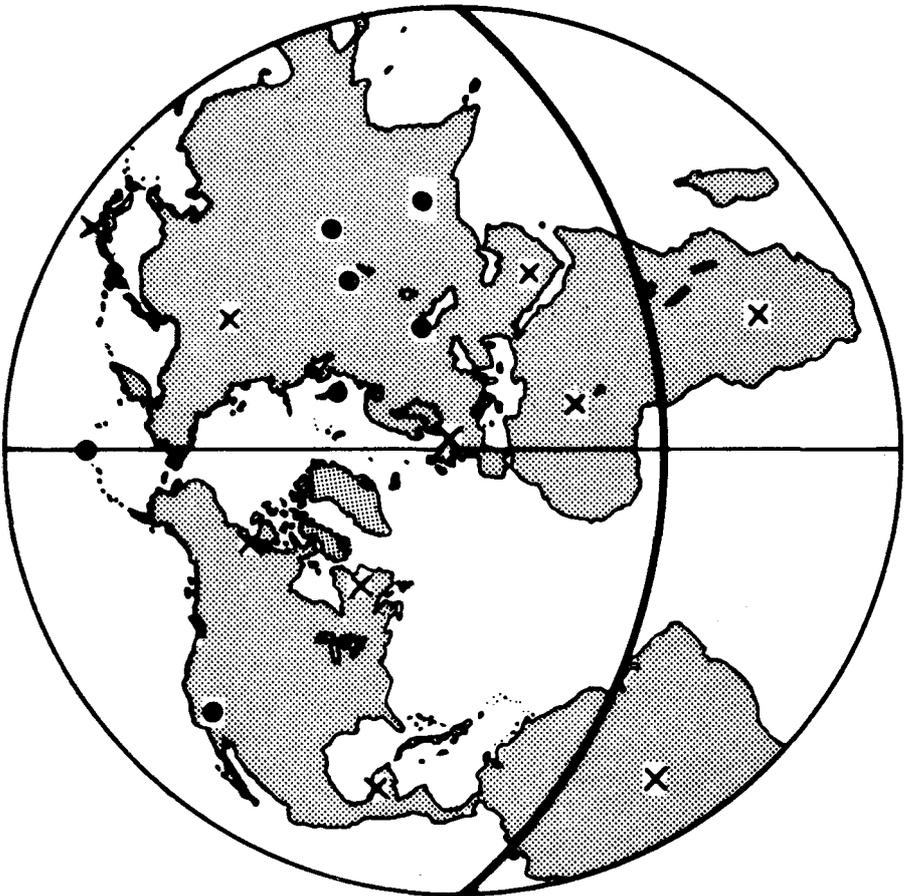
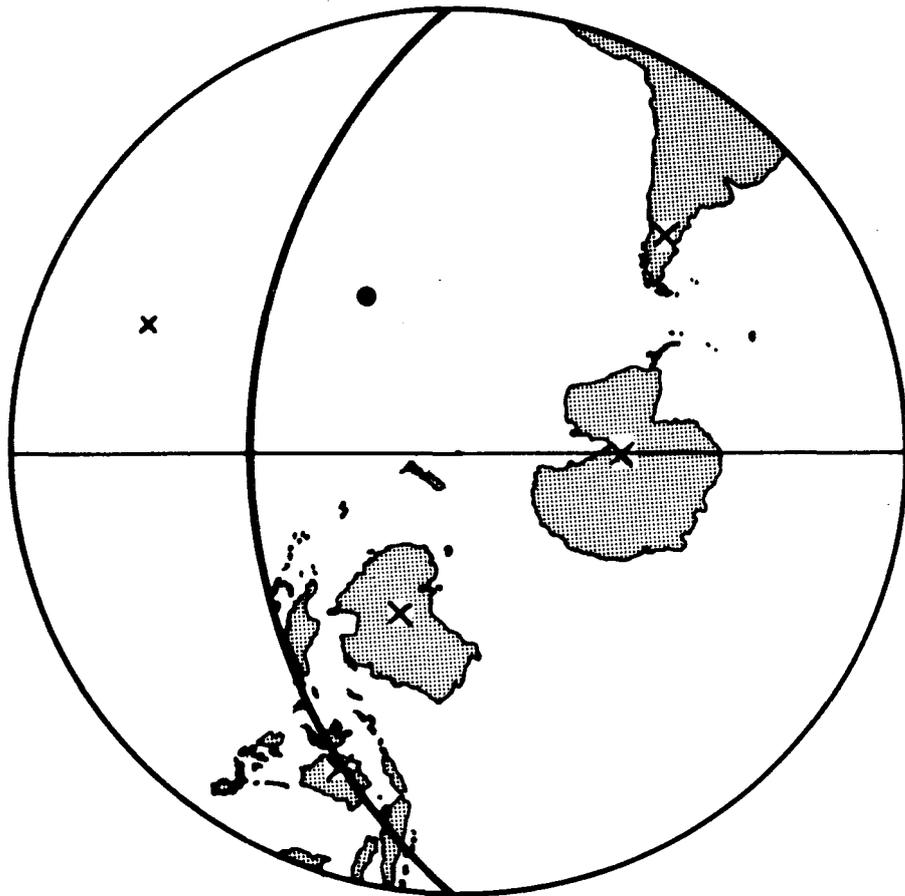
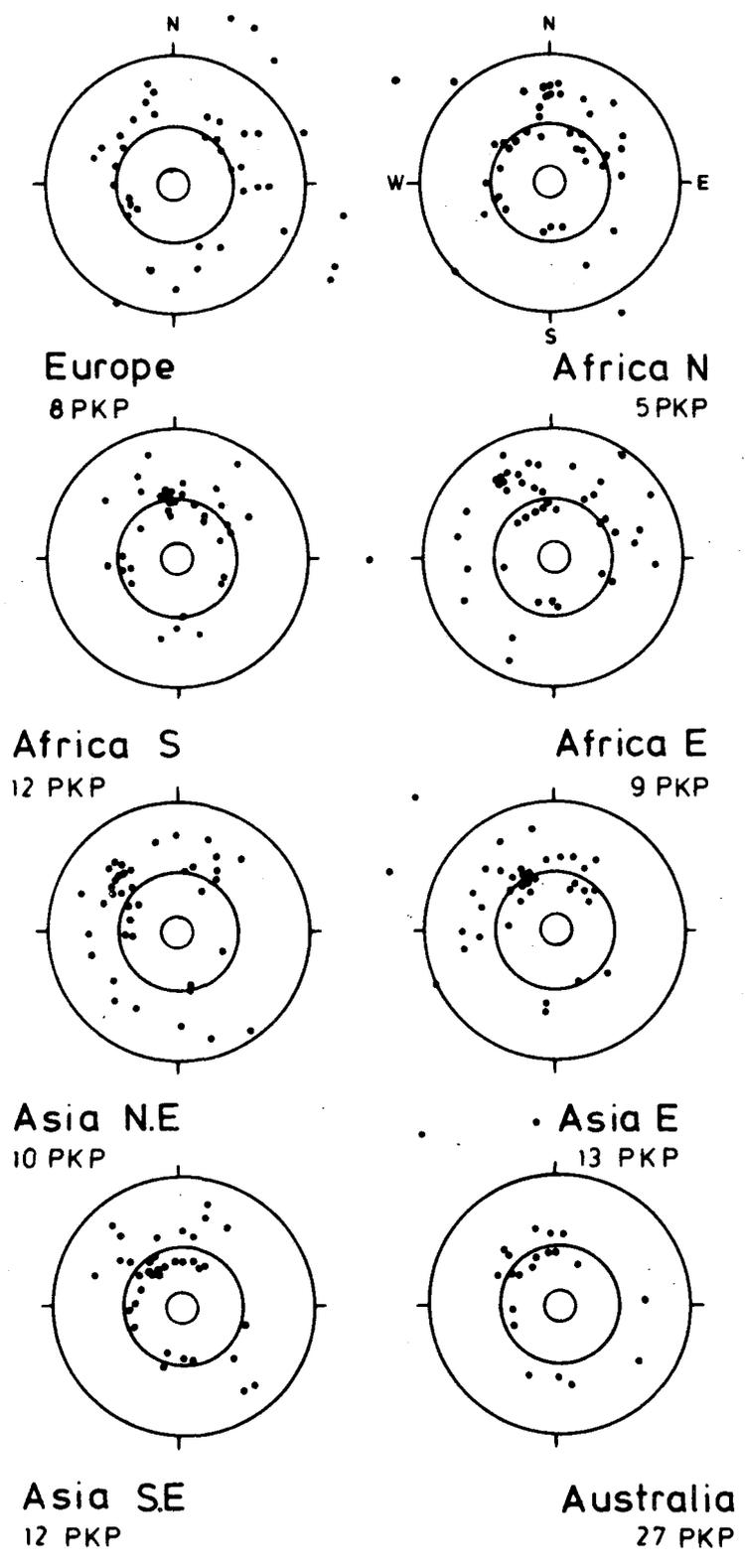
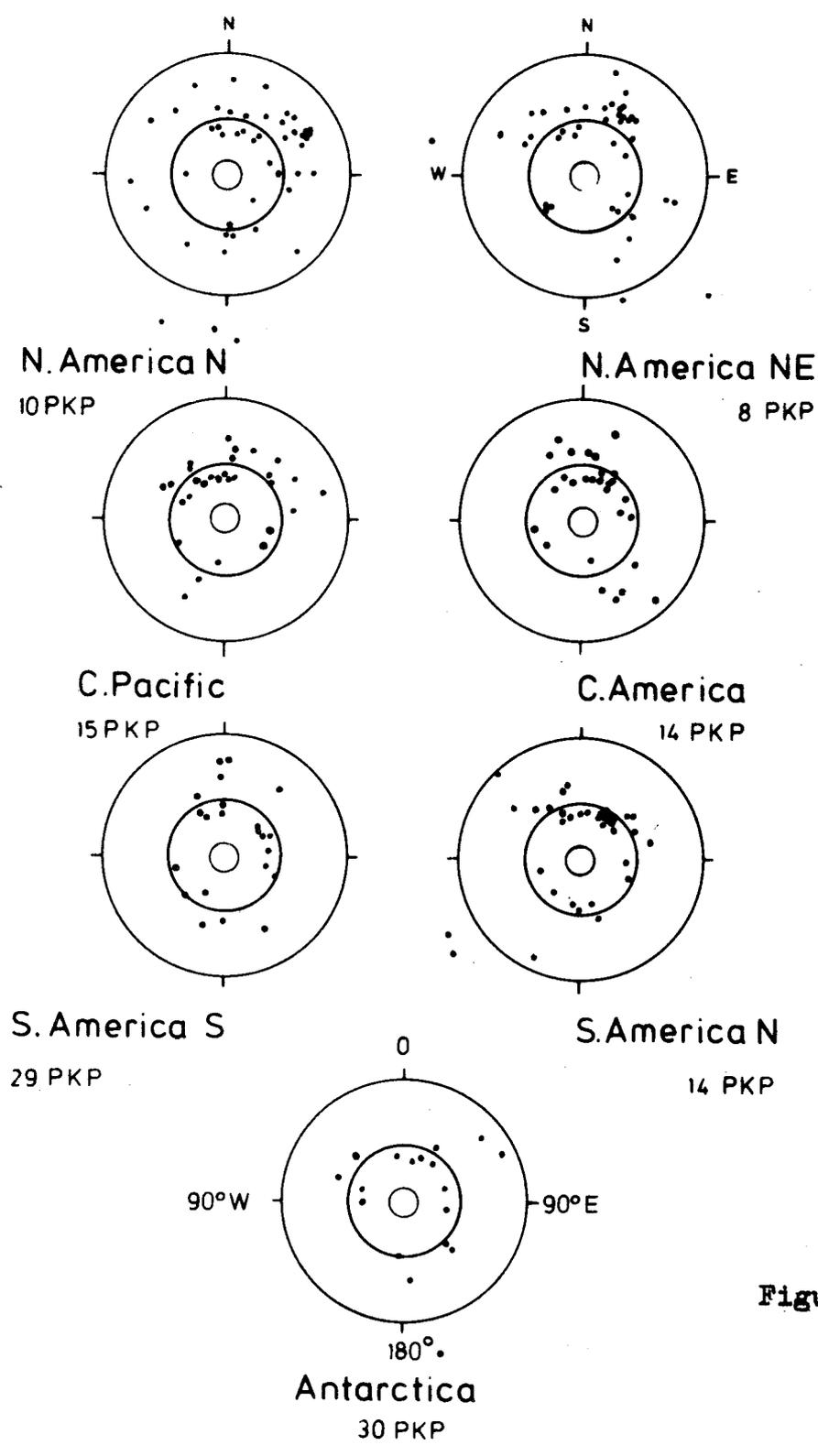


Figure 4.



**Figure 5**



**Figure 6**