



HAL
open science

Sismicité du Sud-Est de la France et une nouvelle méthode de zonage sismique

Julien Frechet

► **To cite this version:**

Julien Frechet. Sismicité du Sud-Est de la France et une nouvelle méthode de zonage sismique. Géologie appliquée. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1978. Français. NNT: . tel-00635869

HAL Id: tel-00635869

<https://theses.hal.science/tel-00635869>

Submitted on 26 Oct 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



INSTITUT DE RECHERCHES INTERDISCIPLINAIRES DE GEOLOGIE ET DE MECANIQUE

LABORATOIRE DE GEOPHYSIQUE INTERNE

THESE

présentée à

l'Université Scientifique et Médicale de Grenoble

pour obtenir le titre de Docteur de 3^{ème} Cycle

Spécialité: Physique

Mention : GEOPHYSIQUE

par

Julien FRECHET

UNIVERSITÉ DE GRENOBLE 1

INSTITUT DE GÉOLOGIE

DOCUMENTATION

15, RUE MAURICE GIGNOUX

F 38031 GRENOBLE CEDEX

TÉL. (33) 76 63 59 66

FAX. (33) 76 87 82 43

Sujet : SISMICITE DU SUD-EST DE LA FRANCE , ET UNE NOUVELLE METHODE DE ZONAGE SISMIQUE .

Soutenu le 29 juin 1978 devant la Commission d'Examen

MM. L. LLIBOUTRY	Président
G. PERRIER	Rapporteur
M. LEMOINE	Examineurs
G. PASCAL	
JM. VAGNERON	Invité

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
 MAISON DES GEOSCIENCES
 DOCUMENTATION
 B.P. 53
 F. 38041 GRENOBLE CEDEX
 Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
 Mail : ptalour@ujf-grenoble.fr

INSTITUT DE RECHERCHES INTERDISCIPLINAIRES DE GEOLOGIE ET DE MECANIQUE

LABORATOIRE DE GEOPHYSIQUE INTERNE

UNIVERSITÉ DE GRENOBLE 1

INSTITUT DE GÉOLOGIE

DOCUMENTATION

15, RUE MAURICE GIGNOUX

F 38031 GRENOBLE CEDEX

TÉL. (33) 76 63 59 66

FAX. (33) 76 87 82 43

THESE

présentée à

l'Université Scientifique et Médicale de Grenoble

pour obtenir le titre de Docteur de 3^{ème} Cycle

Spécialité: Physique

Mention : GEOPHYSIQUE

par

Julien FRECHET

Sujet : SISMICITE DU SUD-EST DE LA FRANCE , ET UNE NOUVELLE METHODE DE
ZONAGE SISMIQUE .

Soutenu le 29 juin 1978 devant la Commission d'Examen

MM. L. LLIBOUTRY	Président
G. PERRIER	Rapporteur
M. LEMOINE	Examineurs
G. PASCAL	
JM. VAGNERON	Invité

TABLE DES MATIERES

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail : ptalour@ujf-grenoble.fr

INTRODUCTION

P. 1

CHAPITRE I : LA SISMICITE DU SUD-EST DE LA FRANCE

1. INTRODUCTION	P. 5
2. FICHER DE SEISMES HISTORIQUES (1800-1970) ET L.D.G. (1972-1977)	P. 8
3. EXTENSION DU FICHER DE SEISMES A L'AIDE DES LOCALISATIONS I.S.C., B.C.I.S., ET S.E.D.	P. 15
4. PROBLEME DES PROFONDEURS DES FOYERS	P. 20
5. RELATION FREQUENCE-MAGNITUDE	P. 23
6. SITUATION DES RESEAUX ALPINS EN 1978	P. 24

CHAPITRE II : CALCUL DE MECANISMES AU FOYER

1. RAPPEL SUR LA NOTION DE MECANISME AU FOYER	P. 29
2. LE CAS DES SEISMES DES ALPES OCCIDENTALES	P. 29
3. LES SEISMES HISTORIQUES	P. 30
4. LES SEISMES RECENTS (1972-1976)	P. 31
5. RESULTATS	P. 34
6. INTERPRETATION	P. 34

CHAPITRE III : CAMPAGNE D'ENREGISTREMENTS SISMIOUES EN

UBAYE-QUEYRAS

1. CADRE SISMO-TECTONIQUE	P. 41
2. CAMPAGNE D'ENREGISTREMENT	P. 44
3. LA SISMICITE	P. 44
4. LOCALISATION DES SEISMES	P. 48
5. PRECISION DES LOCALISATIONS	P. 52

6.COMPARAISON AVEC LES LOCALISATIONS DU L.D.G. ET DU C.S.E.M.	P. 56
7.REPARTITION DES SEISMES, COMPARAISON AVEC LES DONNEES GEOLOGIQUES	P. 65
8.MECANISMES AU FOYER	P. 69
 <u>CHAPITRE IV : TENTATIVE DE SYNTHESE DES DONNEES SISMOLOGIQUES</u>	
1.REPARTITION DE LA SISMICITE	P. 79
2.RELATION ENTRE MECANISMES AU FOYER ET GEOLOGIE	P. 80
3.REPARTITION DES CONTRAINTES	P. 82
4.CONCLUSION	P. 86
 <u>CHAPITRE V : UNE NOUVELLE METHODE DE ZONATION SISMIQUE;</u> <u>APPLICATION AU SUD-EST DE LA FRANCE</u>	
1.INTRODUCTION	P. 91
2.ESTIMATION DE LA MAGNITUDE MAXIMALE POSSIBLE	P. 91
3.PROBABILITE OU VALEUR MAXIMUM ?	P. 94
4.LA ZONATION SISMIQUE	P. 95
5.THEORIE	P. 96
6.METHODE	P. 97
7.TEST DE LA METHODE DANS LE CAS DE LA REGION DU SHENSI EN CHINE	P. 100
8.CARTE DU RISQUE SISMIQUE DU S-E DE LA FRANCE	P. 105
9.CONCLUSION	P. 106
 <u>ANNEXE I : FICHER DE SEISMES</u>	 P. 109
<u>ANNEXE II : CARTES DE SISMICITE</u>	P. 131
<u>ANNEXE III : PROBABILITES ET LOI LOG(N)</u>	P. 145
 <u>BIBLIOGRAPHIE</u>	 P. 153

Tableau des sigles utilisés dans le texte

B.C.I.S.	:	Bureau Central International Séismologique (Strasbourg).
B.C.S.F.	:	Bureau Central Séismologique Français (Strasbourg).
B.R.G.M.	:	Bureau de Recherches Géologiques et Minières (Orléans).
C.I.C.G.	:	Centre Interuniversitaire de Calcul de Grenoble.
C.S.E.M.	:	Centre Séismologique Euro-Méditerranéen, anciennement B.C.I.S. (Strasbourg)
E.T.H.	:	Eidgenossische Technische Hochschule (Zürich).
I.G.G.	:	Istituto Geofisico e Geodetico (Gênes).
I.P.G.P.	:	Institut de Physique du Globe de Paris.
I.P.G.S.	:	Institut de Physique du Globe de Strasbourg.
I.S.C.	:	International Seismological Center , anciennement I.S.S. (Newbury).
I.S.S.	:	International Seismological Summary (Edimbourg).
L.D.G.	:	Laboratoire de Détection et de Géophysique (Montrouge).
L.G.I.	:	Laboratoire de Géophysique Interne (Grenoble).
S.E.D.	:	Schweizerischer Erdbeben Dienst (Zürich).
U.S.F.S.	:	United States Geological Survey (Boulder).
W.W.S.S.N.	:	World Wide Standard Seismographic Net.

I N T R O D U C T I O N

Nous étudions ici différents aspects de la sismicité du Sud-Est de la France, en nous aidant des données nouvelles disponibles aujourd'hui. L'apparition récente de nouveaux réseaux sismologiques (L.D.G., S.E.D., I.G.G.) dans les Alpes, et la multiplication d'études géophysiques (grands profils, aéromagnétisme, paléomagnétisme, photos satellites, nivellement) et géologiques devraient aboutir dans les prochaines années à une synthèse géodynamique des Alpes. Notre travail apporte certains éléments sismologiques pour cette future synthèse.

Nous présentons d'autre part une étude sur une nouvelle méthode de zonage sismique que nous appliquons en particulier au cas du S.E. de la France.

Les trois premiers chapitres concernent surtout l'acquisition ou le traitement de nouvelles données de sismologie. Dans le Chapitre I, on constitue un fichier de séismes historiques et récents, avec lequel on trace des cartes de sismicité et on étudie la loi magnitude-fréquence. Le Chapitre II livre des solutions focales nouvelles. Le Chapitre III donne les résultats d'une campagne d'enregistrement de petits séismes en Ubaye-Queyras en septembre-octobre 1977.

Le Chapitre IV est consacré à la synthèse des données acquises dans les trois premiers chapitres et à leur comparaison avec d'autres données (géophysiques et géologiques).

Enfin, le Chapitre V expose notre méthode de zonation sismique.

Nous présentons en annexe le fichier de séismes, les cartes de sismicité, ainsi qu'un exposé sur la loi magnitude-fréquence.

CHAPITRE I

LA SISMICITE DU SUD-EST DE LA FRANCE

1. INTRODUCTION

La tectonique des plaques a expliqué avec succès la sismicité du globe terrestre. Celle-ci se répartit en trois zones de types différents : la ceinture péri-pacifique, où la lithosphère océanique s'enfonce dans l'asthénosphère (c'est la subduction), les dorsales médio-océaniques où la lithosphère océanique est créée (rides des Océans Atlantique, Pacifique et Indien), et enfin la longue zone Téthysienne qui, des Alpes à l'Himalaya, constitue le lien de collision entre les continents africain et indien d'une part, et eurasiatique d'autre part. (Voir par exemple Isacks et al. 1968, Dewey et Bird 1970, Molnar et Tapponnier 1975, Tapponnier 1977).

C'est à un petit élément de cette zone Téthysienne qu'est consacré ce travail. Les Alpes occidentales sont considérées comme la limite de plaques entre l'Europe et l'Afrique. La convergence depuis le Jurassique supérieur, puis la collision de ces deux continents, sont à l'origine de la chaîne alpine (Argand 1922, Dewey et Bird 1970, Tapponnier 1977).

La sismicité de cette région a déjà fait l'objet de plusieurs études. Des catalogues de localisations instrumentales de séismes depuis 1900 environ ont été publiés par Gutenberg et Richter (1954), Duda (1965), Rothé (1969). Karnik (1969) a étudié plus spécialement la zone européenne. Pour les séismes les plus récents, les catalogues de l'International Seismological Center (I.S.C.) et de l'U.S. Geological Survey (U.S.G.S.) donnent les localisations des séismes mondiaux.

A l'aide de ces données, les résultats suivants ont été acquis: la sismicité des Alpes occidentales, sismicité moyenne avec une magnitude maximale de 6,2, suit grossièrement la ligne Appenins-Arc alpin (Fig. I-1). Rothé (1941) a publié un catalogue des séismes historiques des Alpes occidentales jusqu'en 1940, complété par quatre catalogues successifs pour les années 1940-1970 (Rothé 1946 et 1972a, Rothé et Dechevoy 1954 et 1967). A l'aide de ces données plus nombreuses et souvent plus précises que celles acquises par les réseaux mondiaux, Rothé (1941) a décrit deux arcs de sismicité : l'Arc piémontais et l'Arc briançonnais (Fig. I-2). Depuis cette étude, de nouvelles données sismologiques sont disponibles, en particulier celles du Laboratoire de Détection et de Géophysique du Commissariat à l'Energie Atomique (L.D.G.). Celui-ci détermine tous les séismes proches de France et des pays voisins, à l'aide d'un réseau propre implanté en France, avec un seuil de magnitude décelable inférieur à celui de l'I.S.C. ou de l'U.S.G.S.. Le L.D.G. publie un bulletin depuis le mois de mars 1976.

Le but de cette thèse était une mise au point de la sismicité du S.E. de la France grâce à ces nouvelles données et à celles acquises dans d'autres branches de la Géo-

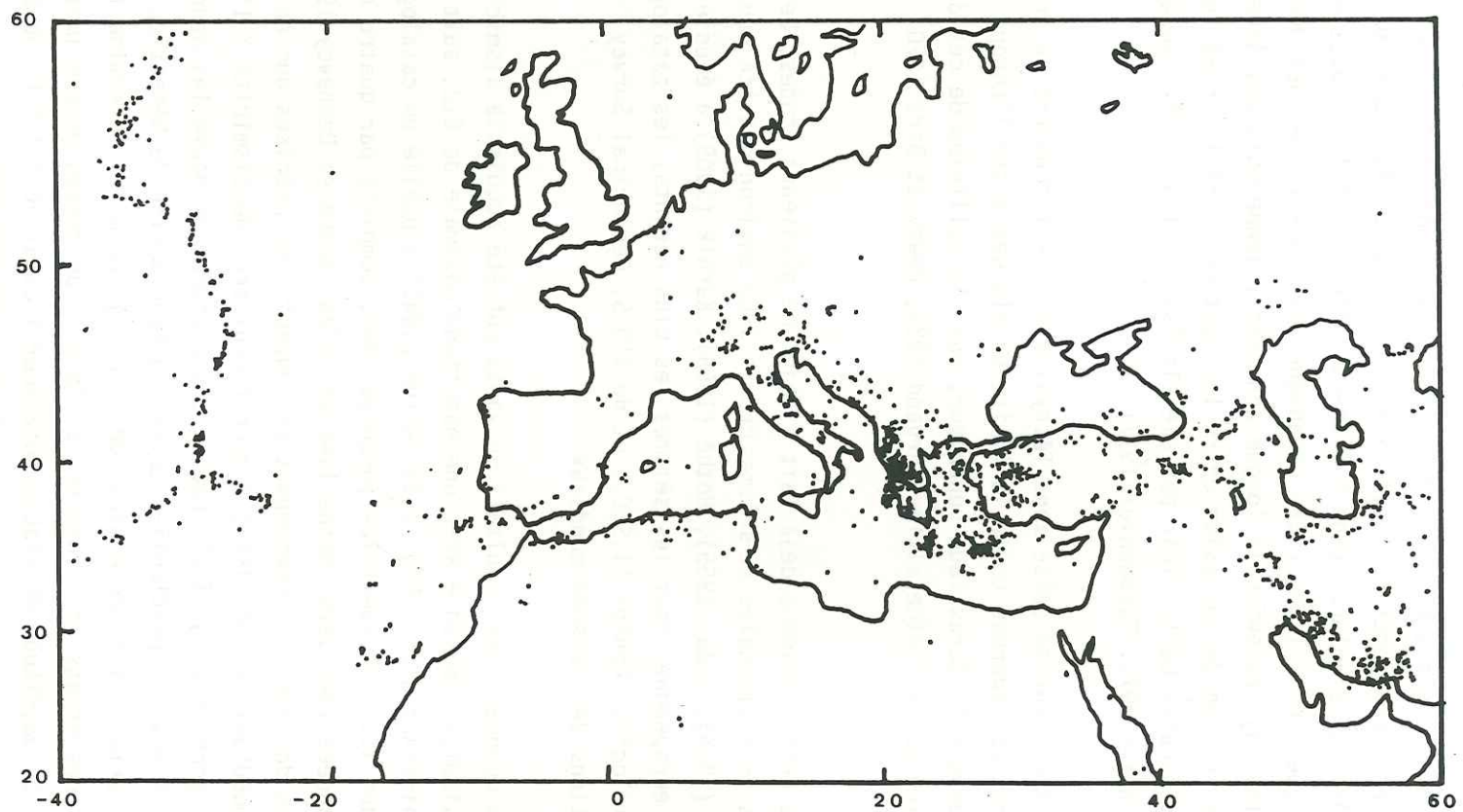


FIG.I-1 : Sismicité de la partie ouest de la zone Thétysienne de 1961 à 1970, localisée par l'U.S.G.S.
(d'après McKenzie, 1972).

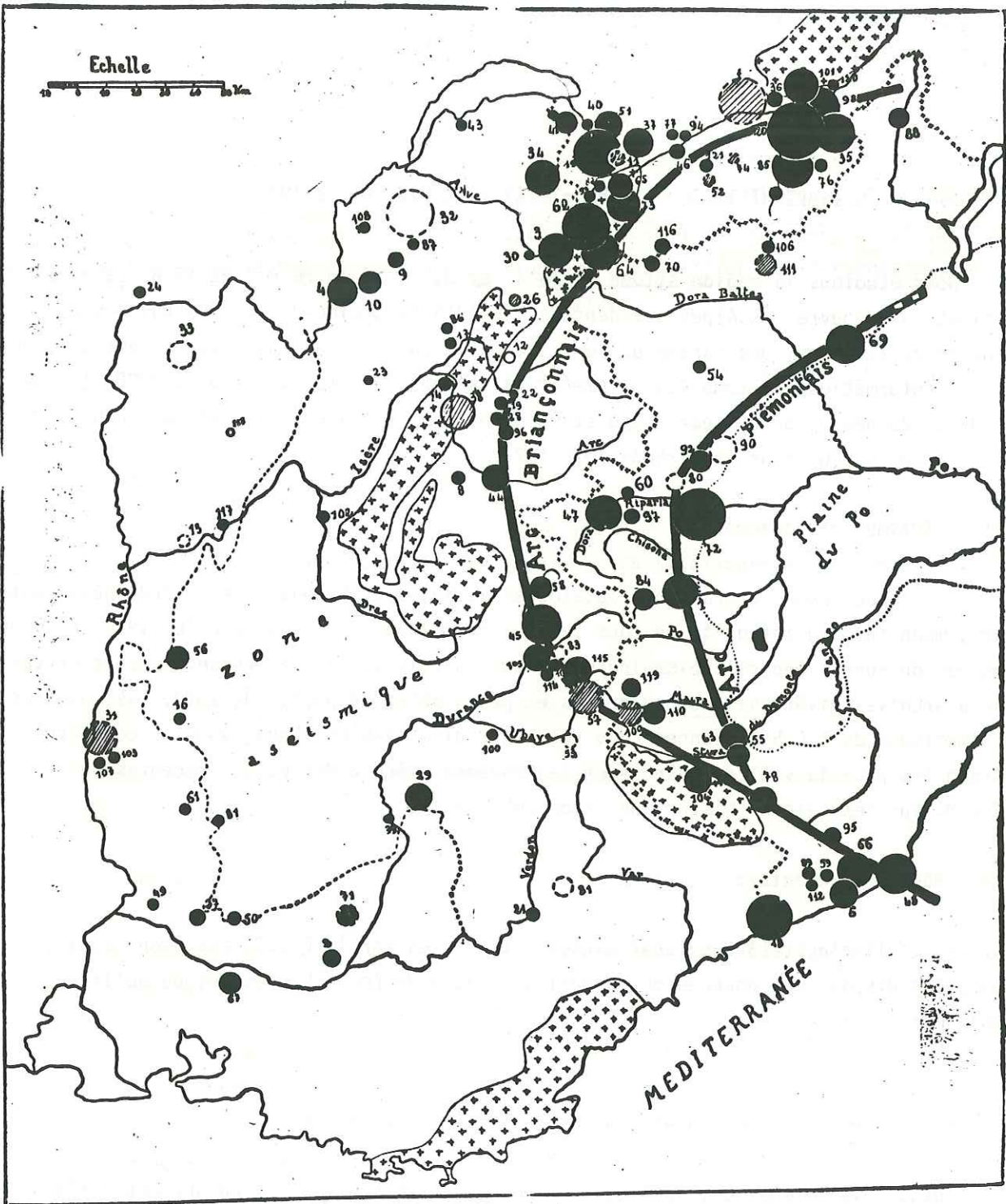


FIG.I-2 : Les arcs sismiques "Briançonnais" et "Piémontais", d'après Rothé (1941).

physique et en Géologie, notamment par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (B.R.G.M.).

2. FICHER DE SEISMES HISTORIQUES (1800-1970) ET L.D.G. (1972-1977)

Nous étudions la région située entre 4° et 8,1°E et entre 43° et 47°N. La zone ainsi définie couvre les Alpes occidentales jusqu'à la plaine du Pô, les vallées du Rhône et de la Saône, une partie du Jura, et enfin la Provence. Nous avons constitué un fichier informatique de tous les séismes localisés dans cette zone depuis 1800. Il comprend les données publiées par Rothé et Dechevoy (op. cit.) pour la période 1800-1970 et celles du L.D.G. pour la période 1972-1977.

. Séismes historiques :

Nous avons extrait des catalogues de Rothé et Dechevoy les coordonnées, date, heure, magnitude ou intensité de tous les séismes de 1800 à 1970. Jusqu'en 1919, date de création du Bureau Central Séismologique Français (B.C.S.F.), les renseignements provenant d'archives diverses sont peu précis et peu fiables. A partir de 1919, les enquêtes systématiques du B.C.S.F. donnent des résultats plus fiables. Nous avons pu compléter ces données pour la vallée du Rhône et la Provence grâce à des études récentes du B.R.G.M. sur les séismes historiques (non publiées).

. Séismes récents :

Il s'agit là des localisations effectuées par le L.D.G. avec son réseau. Nous avons disposé des données de la période 1971-1976 non publiées, et du bulletin depuis mars 1976.

2 - 1. Précision des localisations de séismes historiques

Jusqu'en 1920 environ, la localisation des séismes est faite uniquement à l'aide des données macrosismiques. Cette localisation consiste à calculer les intensités ressenties au cours du séisme et à tracer les lignes isoséistes (lignes délimitant les surfaces d'égale intensité). L'épicentre est alors défini comme le centre de l'isoséiste maximale.

Le calcul des intensités se fait à partir des documents qui décrivent les effets du séisme. Il s'agit donc de calculs très approximatifs. D'après les cartes isoséistes obtenues, on peut estimer que l'erreur possible sur la localisa-

tion de l'épicentre peut atteindre 10 ou 20 kilomètres.

Depuis 1920, les données instrumentales ont permis de plus en plus de calculer les épicentres à partir de tables théoriques de propagation des ondes. On a pu ainsi obtenir deux épicentres, l'un macrosismique à l'aide des intensités ressenties, l'autre instrumental à l'aide des enregistrements des stations sismologiques. Dans les meilleurs cas, la précision est alors sans doute meilleure que 5 Kilomètres. En particulier, l'augmentation du nombre de stations, et surtout l'apparition de l'ordinateur, permettent des localisations précises depuis 1960 environ.

En résumé, les erreurs possibles de localisation sont estimées comme suit :

1800 - 1920 : erreur possible = 20 km environ

1920 - 1960 : erreur possible = 10 km

1960 - 1970 : erreur possible = 5 km lorsque le séisme est suffisamment important pour pouvoir comparer les localisations macrosismique et instrumentale.

2 - 2. Précision de la localisation des séismes récents (L.D.G.)

Nous avons pu, par trois méthodes différentes, estimer les erreurs de localisation du L.D.G.

. Première méthode : Utilisation des temps S-P lus dans les stations de l'I.P.G.S.

Le sismogramme d'un séisme proche présente deux arrivées d'ondes successives : la Pg et la Sg.

Si les vitesses de ces ondes sont Vp et Vs, on peut calculer la distance Δ entre le séisme et la station de la façon suivante :

$$\text{On a } P - H_o = \Delta / V_p \quad \text{et} \quad S - H_o = \Delta / V_s$$

P et S étant les heures d'arrivées des ondes Pg et Sg et Ho étant l'heure origine du séisme.

$$\text{D'où} \quad \Delta = (S - P) \times V_p / \left(\frac{V_p}{V_s} - 1 \right)$$

Dans les Alpes, on a en moyenne dans la croûte $V_p = 6,2$ km/s (Thouvenot, 1975).

Le rapport V_p/V_s vaut 1,73 d'après Giese et al. (1976). Dans la région Ubaye-Queyras, il vaut 1,84 (Chapitre III de cette thèse). On a donc une relation intermédiaire entre $\Delta = 8,6 \times (S-P)$ et $\Delta = 7,4 \times (S-P)$.

Nous avons calculé cette formule dans le cas de deux séismes que nous avons localisés avec précision en Ubaye-Queyras à l'aide d'un réseau portable (Chapitre III). Ces séismes ont été enregistrés à la station de Lans-le-Villard. Nous avons alors obtenu la relation $\Delta / (S-P) = 8,2$.

Nous avons utilisé cette formule pour tester les localisations du L.D.G.. Pour cela nous avons lu les temps S-P de dix séismes localisés en 1972 par le L.D.G. dans les Alpes, dans les quatre stations suivantes de l'I.P.G.S. : Monteynard (MNY), Lans-le-Villard (LNS), Roselend (RSL), Vouglans (VOU). (Voir Fig. I-4). On en déduit les distances entre les séismes et ces stations par la formule $D_{obs} = 8,2 \times (S-P)$. On va alors comparer ces valeurs avec les distances D_{cal} entre les stations et les localisations L.D.G. de ces séismes.

Les valeurs que nous avons obtenues figurent dans le tableau I-1.

La moyenne des $|D_{cal} - D_{obs}|$ vaut 18,2 km avec un écart-type de 12,3 km. On en déduit que l'erreur moyenne de localisation du L.D.G. est de 20 kilomètres.

On peut remarquer que cinq valeurs sur six de $D_{cal} - D_{obs}$ sont positives à Monteynard. Comme cette station est à l'Ouest des séismes (Fig. I-4), cela montre que le L.D.G. a tendance à localiser les séismes alpins trop à l'est. Ceci s'explique aisément par l'absence de stations du L.D.G. à l'est des Alpes.

. Seconde méthode : Calcul des résidus des ondes Pg dans les stations de l'I.P.G.S.

Le bulletin de l'I.P.G.S. donne les heures d'arrivée des ondes Pg ou Pn des séismes proches dans ses stations. Quand le séisme est localisé par le L.D.G., on peut calculer l'heure d'arrivée théorique d'une onde Pg dans une station et la comparer avec l'heure réelle observée. Le temps théorique est calculé à l'aide des coordonnées de la station et du séisme, de l'heure origine du séisme (calculée par le L.D.G.), et d'un modèle de vitesse. Pour les calculs, nous avons pris une vitesse de 6,1 km/s dans la croûte.

De 1972 à 1974, 80 séismes localisés par le L.D.G. ont été enregistrés dans au moins une station de l'I.P.G.S. Nous avons alors systématiquement calculé les résidus des ondes Pg, c'est-à-dire la différence entre temps calculé selon la méthode exposée

Date et coordonnées du séismes	Station	D _{obs} (km)	D _{cal} (km)
02.01.1972 44,76N 6,84E	MNY	75	89
	LNS	79	56
	RSL	98	100
10.01.1972 44,30N 6,41E	MNY	115	92
	LNS	125	117
	RSL	172	156
10.01.1972 46,33N 7,79E	MNY	195	221
	RSL	89	113
17.01.1972 44,29N 7,47E	LNS	144	119
	RSL	194	169
18.01.1972 44,73N 7,86E	RSL	184	149
	MNY	106	143
	LNS	39	50
28.02.1972 45,06N 7,54E	RSL	80	95
	LNS	79	132
05.03.1972 44,23N 7,58E	RSL	172	182
	LNS	173	169
31.03.1972 46,57N 5,77E	VOU	30	26
	MNY	124	128
03.04.1972 44,37N 7,14E	LNS	88	100
	MNY	52	70
07.05.1972 44,70N 6,46E	LNS	53	73
	VOU	191	200

Tableau I-1 : Comparaison pour dix séismes des Alpes des distances séismes-stations; D_{obs} est calculée d'après la valeur de S-P dans la station; D_{cal} est la distance entre la localisation du L.D.G. et la station.

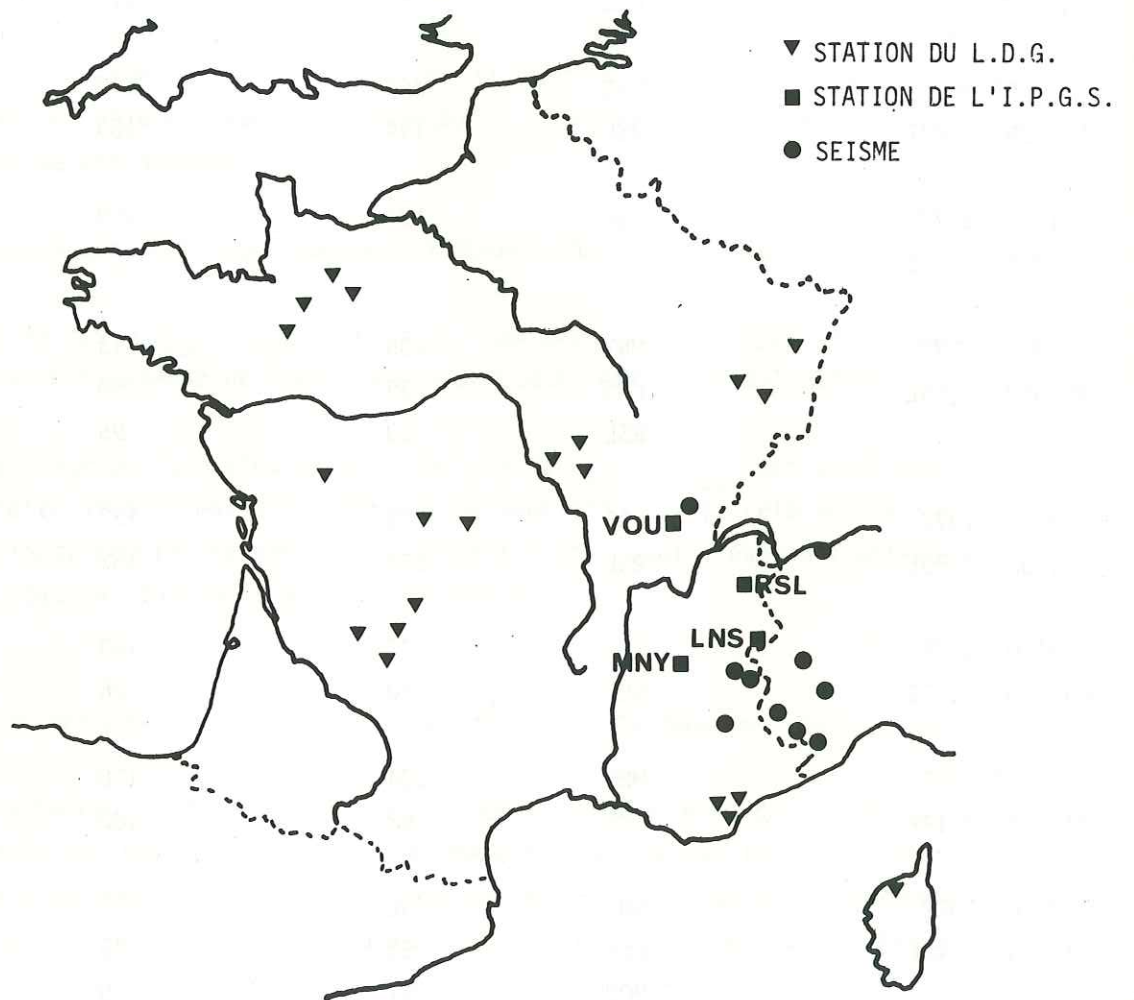


FIG.I-4 : Stations du L.D.G. et de l'I.P.G.S.. Séismes localisés par le L.D.G. dont on calcule la distance aux stations I.P.G.S..

ci-dessus et temps observé (donné dans le bulletin).

Un résidu dans une station peut être expliqué par une erreur sur l'heure origine (due en particulier à l'utilisation d'un modèle de vitesse différent de la réalité). Mais si pour un même séisme deux stations ont des résidus différents, alors on ne peut les expliquer que par une erreur de localisation du séisme. Nous avons donc calculé pour chaque séisme la valeur suivante :

résidu maximum de Pg - résidu minimum de Pg

entre les diverses stations ayant enregistré l'onde Pg.

Nous avons obtenu 60 valeurs. Leur moyenne vaut 2,8 s avec un écart-type de 1,76 s. En 2,8 s l'onde Pg parcourt 17 km (à la vitesse de 6,1 km/s). Nous obtenons ainsi une estimation de l'erreur moyenne de localisation du L.D.G. On retrouve le même ordre de grandeur (20 km) qu'avec la première méthode.

. Troisième méthode : Comparaison avec les localisations très précises obtenues en Ubaye-Queyras à l'aide d'un réseau sismologique portable.

Nous avons enregistré et localisé de nombreux séismes en Ubaye-Queyras à l'aide d'un réseau portable en automne 1977. La comparaison entre nos localisation et celles du L.D.G. pour une vingtaine de séismes montre que ce dernier localise les séismes au S.E. de leur position réelle, à des distances variant de 25 à 120 km. Les plus grosses erreurs se produisent pour les séismes que le L.D.G. localise uniquement à l'aide de ses trois stations de Provence. (Voir Chap.III).

Nous concluons ce paragraphe en constatant que le bulletin du L.D.G. ne donne les localisations qu'à un dixième de degré près, soit à 10 km près environ. Il serait meilleur de donner aussi la deuxième décimale ; en effet, cela éviterait de provoquer sur les cartes de sismicité des alignements horizontaux ou verticaux artificiels ou de superposer des séismes seulement voisins (voir Fig. I-6), et d'autre part on pourrait peut-être faire apparaître des positions relatives correctes entre séismes (alignements, essaims), malgré leur mauvaise localisation absolue.

2 - 3. Résumé sur les erreurs de localisation des séismes de notre fichier (historique + L.D.G.)

En conclusion des paragraphes 2-1 et 2-2, nous obtenons les valeurs suivantes des erreurs possibles de localisation :

. Séismes historiques :

Années	Type de localisation	Erreur possible
1800 - 1920	Macrosismique	20 km
1920 - 1960	Macrosismique + Instrumentale	10 km
1960 - 1970	Macrosismique + Instrumentale	5 km
	Instrumentale seule	10 ou 20 km ?

. Séismes L.D.G. (1971-1977) :

Erreur moyenne = 20 km

Erreur maximale possible = environ 120 km pour des séismes localisés avec 3 stations. (Certains ont profondeur > 30 km en Pg - Sg !!)

2 - 4. Cartes de sismicité réalisées avec le catalogue des séismes historiques et L.D.G.

Nous avons tracé à l'aide de l'ordinateur IBM 360/67 du C.I.C.G. des cartes de sismicité à partir de notre catalogue. Sur ces cartes, nous représentons les séismes par des symboles de diamètre proportionnel au carré de la magnitude. Pour les séismes historiques, la magnitude est calculée à partir de l'intensité par la formule $M = 0,5 I_0 + 1,2$ (voir paragraphe I-5). Les cartes figurent dans l'Annexe II. La carte de la figure I-5 comprend tous les séismes historiques. La carte de la figure I-6 représente tous les séismes L.D.G. de 1972 à 1977. Sur la figure I-7 ne figurent que les séismes du L.D.G. de magnitude supérieure ou égale à 3,3 ou les séismes du L.D.G. localisés avec sept stations au moins. On constate que les séismes du L.D.G., même après le tri, forment des nuages diffus, par opposition aux séismes historiques qui sont beaucoup plus groupés. C'est là une conséquence des erreurs de localisation trop grandes du L.D.G.

Il apparaît clairement sur la carte I-7 qu'il est assez vain d'essayer d'interpréter cette sismicité en termes de linéaments, ou de tenter directement une corrélation avec les structures connues de la région. Nous avons donc été conduits à compléter notre fichier avec des séismes localisés par d'autres organismes. C'est l'objet du paragraphe suivant.

3. EXTENSION DU FICHER DE SEISMES A L'AIDE DES LOCALISATIONS I.S.C., B.C.I.S. ET S.E.D.

Le S.E.D. localise les séismes de Suisse et des régions voisines à l'aide de ses stations situées en Suisse. Le B.C.I.S. (devenu C.S.E.M. depuis 1976) localise les séismes de toute la zone euro-méditerranéenne à l'aide d'un grand nombre de stations de cette zone. Enfin, l'I.S.C. réunit le plus grand nombre possible de données (stations du monde entier) pour ses localisations. On doit donc s'attendre à des meilleures localisations que celles du L.D.G.

Nous avons donc, à partir des bulletins de ces trois organismes, complété notre fichier pour la période 1971-1978. Les dates couvertes sont les suivantes :

I.S.C.	: Janvier 1971 à Février 1976
B.C.I.S./C.S.E.M.	: Janvier 1971 à Mars 1978
S.E.D.	: Janvier 1972 à Décembre 1976.

Rappelons que le L.D.G. couvre, lui, la période Janvier 1972 à Décembre 1977 dans notre fichier.

Ce fichier complet, de 1800 à 1978, est reproduit en Annexe I.

3 - 1. Différences de localisation entre les différents réseaux pour les séismes récents (1971 - 1978)

Nous avons comparé deux à deux les localisations L.D.G., I.S.C., B.C.I.S. et S.E.D. en traçant plusieurs cartes ; sur chaque carte, nous comparons deux organismes. Chaque séisme qui est localisé par ces deux organismes est représenté par les deux localisations et une flèche indiquant le déplacement de l'un à l'autre. Sur les figures I-8 à I-11, nous voyons que les déplacements de l'ordre de 50 km ne sont pas rares. Nous voyons que les localisations I.S.C. et B.C.I.S. sont souvent assez différentes. Nous n'avons pas pu montrer quelle localisation était la meilleure, et nous allons donc être conduits à prendre des localisations moyennes.

3 - 2. Cartes de sismicité des séismes récents (1971-1978) de notre fichier.

Notre but est d'obtenir la carte la plus exacte possible, mais aussi d'avoir suffisamment de séismes pour pouvoir définir des zones ou des alignements sismiques. Nous avons donc procédé à plusieurs tris, et pour chaque tri, nous avons tracé la carte cor-

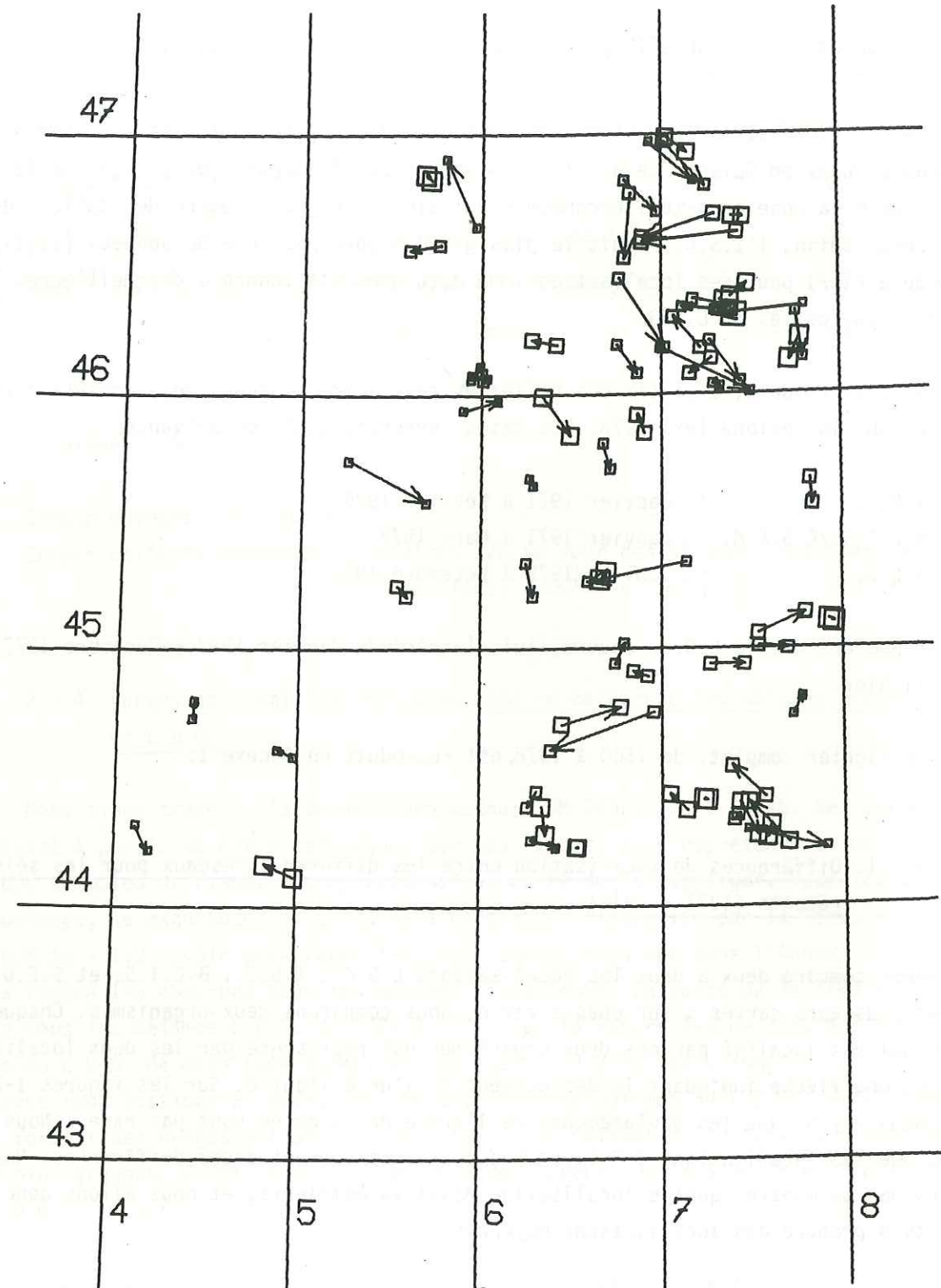


FIG.I-8 : Différences de localisation entre le L.D.G. et l'I.S.C.

L.D.G. —→ I.S.C.

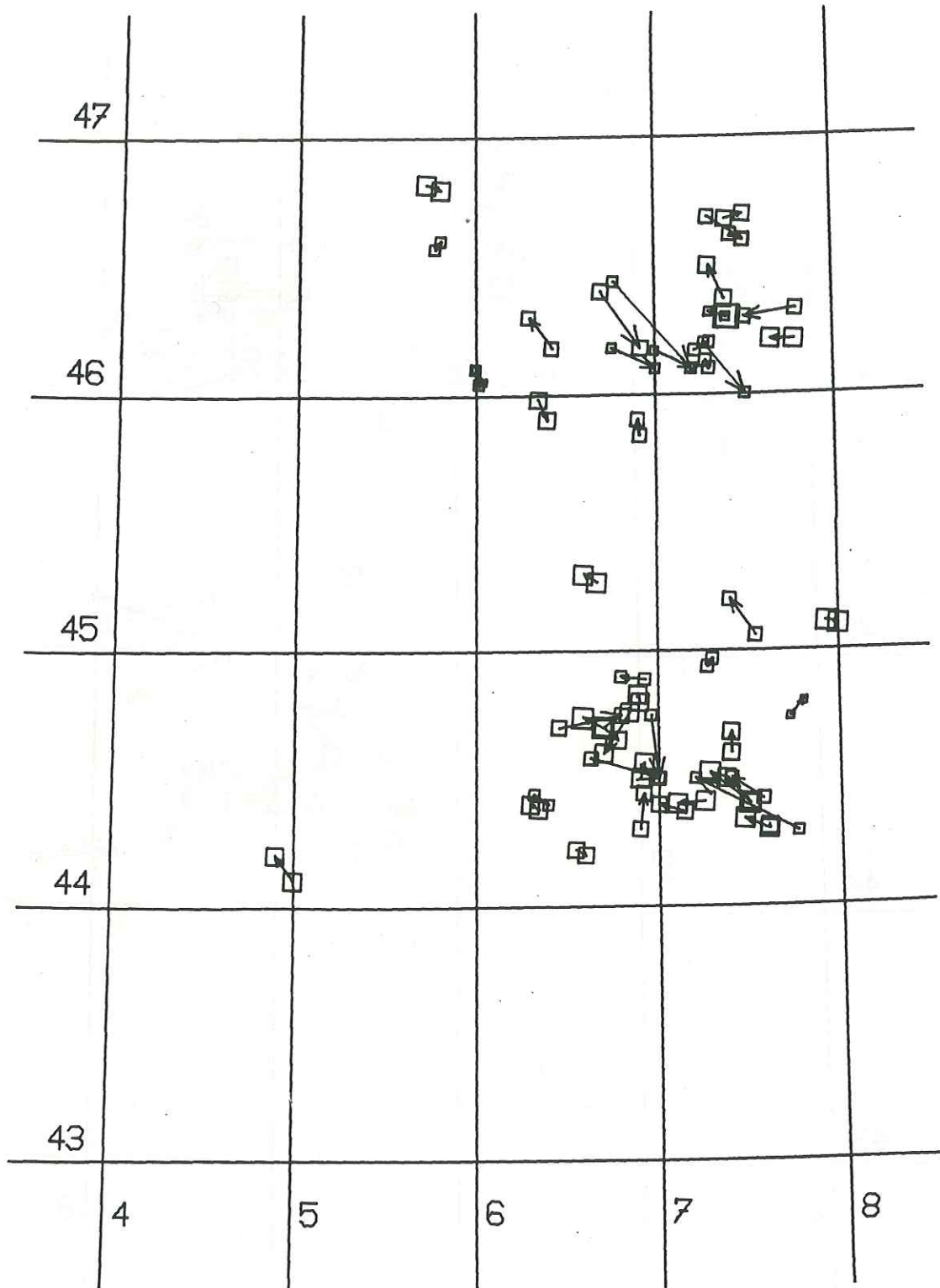


FIG.I-9 : Différences de localisation entre le L.D.G. et le B.C.I.S.
L.D.G. → B.C.I.S.

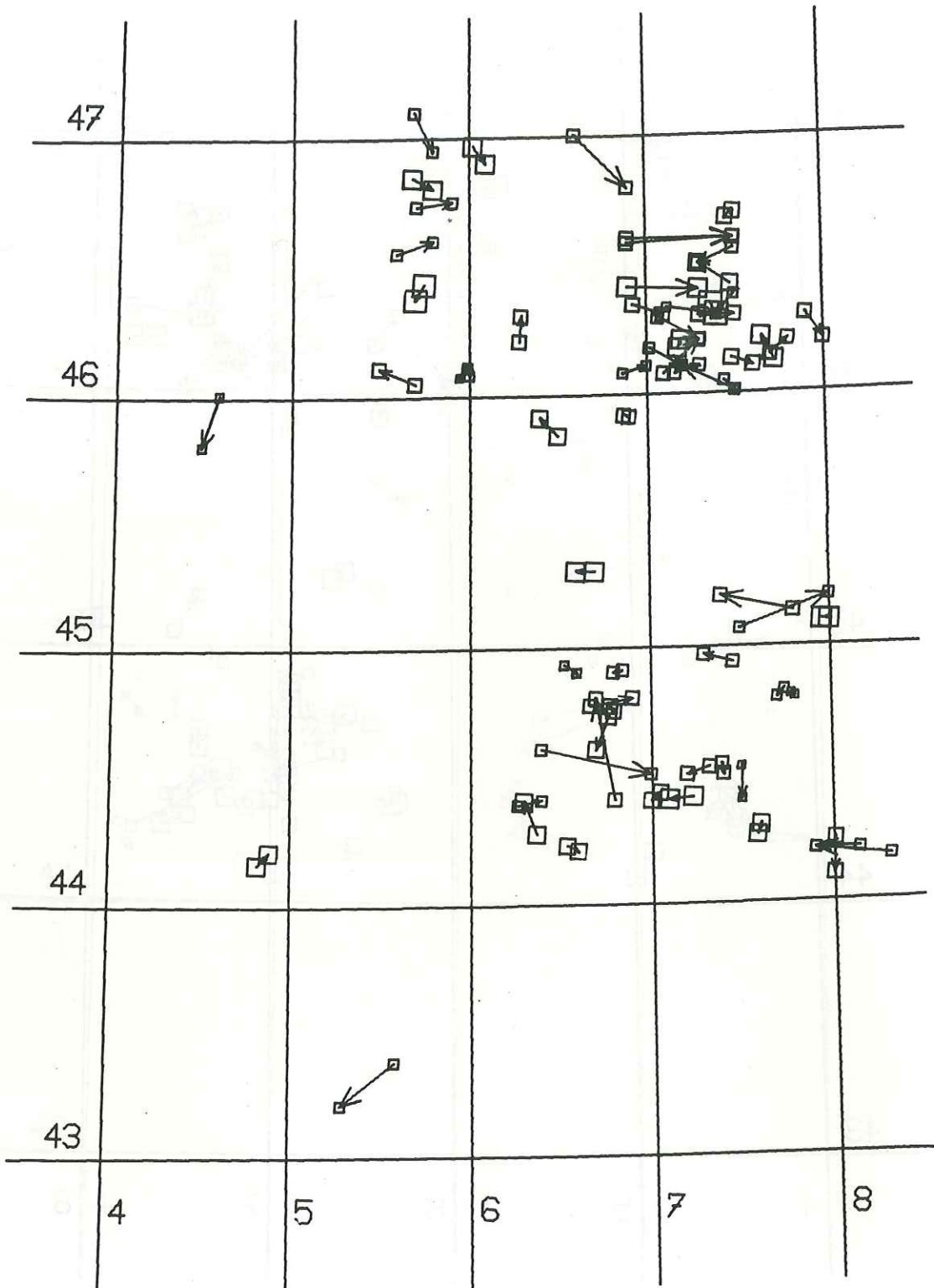


FIG.I-10 : Différences de localisation entre l'I.S.C. et le B.C.I.S.
I.S.C. → B.C.I.S.

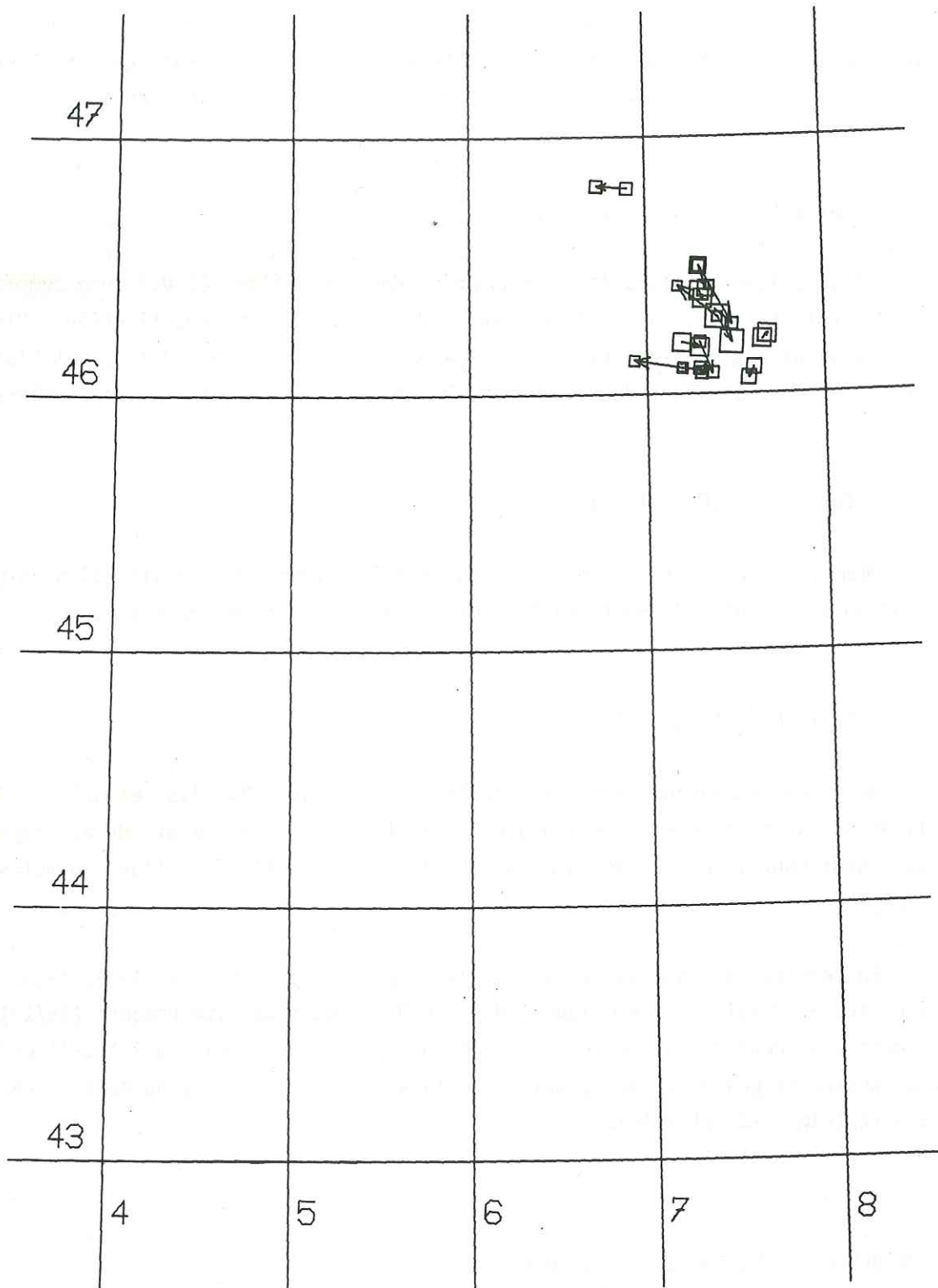


FIG.I-11 : Différences de localisation entre le B.C.I.S. et le S.E.D.
B.C.I.S. → S.E.D.

respondante. Pour chaque séisme, on prend comme magnitude la moyenne des magnitudes calculées par les différents organismes. Le séisme sera représenté avec un symbole proportionnel au carré de la magnitude. Les cartes sont présentées dans l'Annexe II.

. Carte N° 1 (Fig. I-12) :

Si le séisme est localisé par au moins deux organismes (L.D.G. non compris) avec plus de sept stations, on prend la moyenne de ces différentes localisations. Sinon on prend la localisation faite par un seul organisme, à condition qu'il y ait plus de 15 stations ou que la magnitude soit supérieure à 3,3. C'est le tri le plus sévère.

. Carte N° 2 (Fig. I-13) :

Même critère que la carte N° 1, sauf que l'on prend une localisation unique dans le cas où il y a plus de neuf stations ou une magnitude supérieure à 3.

. Carte N° 3 (Fig. I-14) :

On prend la moyenne entre les localisations I.S.C., B.C.I.S. et S.E.D.. Si la localisation est faite par un seul organisme on le garde si la magnitude est supérieure à 2,7, sauf pour le L.D.G. où on exige en plus qu'il y ait 15 stations au moins.

En conclusion, nous obtenons avec les figures I-5, I-6, I-7, I-12, I-13, I-14 des cartes de sismicité historique (1800- 1970) et de sismicité récente (1971-1978). Ces dernières contiennent selon les cas beaucoup de séismes, mais mal localisés (Fig. I-6) ou au contraire peu de séismes, mais bien localisés (Fig. I-12), ou sont un cas intermédiaire (Fig. I-13 et I-14).

4. PROBLEME DES PROFONDEURS DES FOYERS

4 - 1. Séismes historiques

Rothé (op. cit.) a étudié leur profondeur dans un certain nombre de cas. De 1920 à 1950, il se fonde sur l'étude de la différence $P_n - P_g$ sur les enregistrements des stations sismologiques. Mais l'emploi des tables de Mohorovicic (une croûte de 57 km

avec une vitesse de 5,6 km/s) qui ne correspondent pas à la structure des Alpes condamne cette méthode à de grossières surestimations. Les valeurs obtenues vont de 20 à 40 km de profondeur.

De 1950 à 1970, Rothé utilise la décroissance de l'intensité en fonction de la distance à l'épicentre, pour calculer la profondeur. Les valeurs obtenues valent alors de 0 à 25 km. Pour les dix dernières années, les valeurs sont même toutes inférieures à 7 kilomètres.

Nous donnons ci-dessous les profondeurs obtenues pour onze séismes de la région Ubaye-Queyras :

19/03/1935	:	20 km
4/05/1936	:	45 km
17/12/1936	:	38 km
15/02/1938	:	36 km
18/07/1938	:	30 km
4/05/1958	:	25 km
5/04/1959	:	8 km
28/01/1960	:	5 km
28/04/1961	:	21 km
13/03/1965	:	6 km
7/04/1976	:	7 km

Les valeurs obtenues lors de notre campagne d'enregistrement en Ubaye-Queyras en 1977 (Chapitre III) vont de 0 à 14 km. En particulier, à l'emplacement du séisme 5/04/1959 à St Paul sur Ubaye, nous obtenons des profondeurs de 0 à 8 km compatibles avec la profondeur de 8 km donnée par Rothé.

Nous pensons donc que les valeurs plus grandes que 15 ou 20 km doivent être fausses à cause de la mauvaise qualité des données ou une mauvaise méthode de calcul. Ahorner et al. (1972) ont étudié les profondeurs des foyers dans une large bande s'étendant de la Mer du Nord à l'Appenin. Les profondeurs dans cette bande sont de moins de 20 km ; dans la partie de cette bande qui contient les Alpes, les profondeurs vont de 0 à 10 km. Ceci est bien en accord avec notre conclusion que les profondeurs sont au maximum de 15 km environ sous les Alpes occidentales.

4 - 2. Séismes récents

En ce qui concerne les séismes récents de notre fichier (1971-1978), les profon-

deurs se répartissent entre 0 et 20 km. Cinq séismes sont localisés plus bas (de 28 à 85 km) par l'I.S.C.. Nous n'avons pas fait d'étude spéciale de ces séismes mais nous pensons qu'il s'agit d'erreurs de calcul. Dans ce qui précède nous n'avons pas tenu compte des profondeurs calculées par le L.D.G. car celui-ci ne dispose pas de station dans les Alpes, ni à l'Est, ce qui donne de grosses incertitudes sur la profondeur. Remarquons quand même que la majorité des profondeurs calculées est entre 0 et 20 km, et seulement sept à plus de 30 kilomètres. (**Erreur sur la profondeur due à une mauvaise vérification. Ex: Pg-Sg à 30km --- Cela nous aide de moins en moins.*)

Nous avons compté par tranches de 5 km, le nombre de profondeurs calculées par l'I.S.C., le B.C.I.S., ou le S.E.D. pour les séismes de 1971-1978. Sur la figure I-15, on voit que le nombre de séismes décroît avec la profondeur. Il y en a 70 % entre 0 et 10 km, et 90 % entre 0 et 15 km.

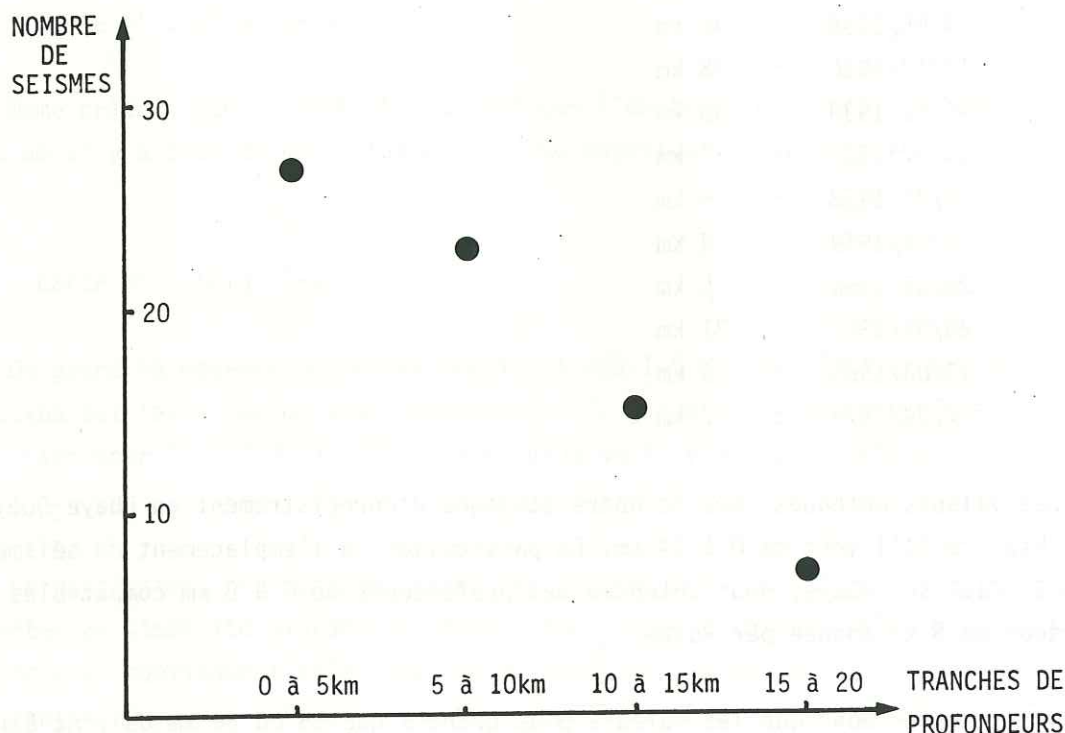


FIG.I-15 : Nombre de séismes dont on connaît la profondeur, par tranches de profondeurs (séismes de 1971 à 1978, profondeurs données par l'I.S.C., le B.C.I.S. ou le S.E.D.).

La conclusion de tout ce paragraphe est que la quasi totalité des séismes des Alpes occidentales se produisent dans les 15 premiers kilomètres de la croûte. Une étude complémentaire serait nécessaire pour vérifier les quelques valeurs plus grandes.

5. RELATION FREQUENCE - MAGNITUDE

Notre catalogue reflète sur le plan des magnitudes la complexité qui existe actuellement dans ce domaine. Les magnitudes qui sont données dans notre fichier sont les suivantes :

. Séismes historiques (1800-1970) : c'est la magnitude macrosismique MM calculée par Rothé (op. cit.). Il utilise la formule de Karnik : $MM = 0,5 I_0 + \log h + 0,35$ où I_0 et h sont l'intensité maximale et la profondeur du séisme.

. Séismes du L.D.G. : Magnitude locale M_L , calculée en fonction de l'amplitude des ondes P dans les stations proches, d'après les définitions de Richter (1935).

. Séismes de l'I.S.C. : Magnitude d'onde de volume m_b , calculée à partir de l'amplitude des ondes P dans les stations lointaines.

Dans le but d'étudier la répartition des valeurs de la magnitude, nous avons cherché une relation linéaire entre l'intensité et la magnitude pour les séismes historiques, afin d'avoir des estimations de la magnitude pour tous les gros séismes depuis 1900. Nous avons reporté sur un graphique les valeurs de MM et I_0 correspondantes et tracé la droite de pente 0,5 qui ajuste au mieux ces valeurs. Nous trouvons ainsi :

$MM = 0,5 I_0 + 1,2$, ce qui correspond à une valeur de la profondeur $h = 7$ km dans la formule de Karnik ci-dessus.

Si N est le nombre de séismes d'une région de magnitude comprise entre M et $M+\Delta M$, on sait qu'il existe en général une relation linéaire $\log_{10} N = a - bM$ (par exemple Gutenberg et Richter, 1954). Les aspects théoriques de cette loi sont développés dans l'Annexe II, ainsi que dans le chapitre V de cette thèse.

Nous avons construit le graphique des valeurs de $\log_{10} N$ en fonction de M pour tous les séismes de notre fichier de 1900 à 1976, en utilisant la magnitude L.D.G. pour les séismes 1972 à 1977. Pour construire ce graphique, on a compté les magnitudes par tranches de 0,5, d'une part pour les séismes historiques, d'autre part pour les séismes L.D.G. Nous avons divisé ces nombres par le nombre d'années concernées, soit 71 pour les séismes historiques, et 5 pour les séismes du L.D.G. La figure I-16 présente donc $\log_{10} N$, où N est le nombre annuel moyen de séismes dans des intervalles de 0,5 de magnitude autour des valeurs 0,5, 1, 1,5, etc...

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
 MAISON DES GEOSCIENCES
 DOCUMENTATION
 B.P. 53
 F. 38041 GRENOBLE CEDEX
 Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
 Mail : ptalour@ujf-grenoble.fr

On voit qu'au-dessus d'un certain seuil ($M = 2,5$ pour le L.D.G., $M = 3,5$ pour les séismes historiques), les points obtenus sont approximativement alignés. En outre, il y a un assez bon accord entre la sismicité historique (1900-1970) et récente (1972-1976), malgré l'hétérogénéité des données. Nous avons calculé par régression linéaire, la droite qui ajuste au mieux ces points.

On obtient ainsi

$$\log_{10} N = 3,4 - 0,9 M$$

avec un coefficient de détermination égal à 0,94.

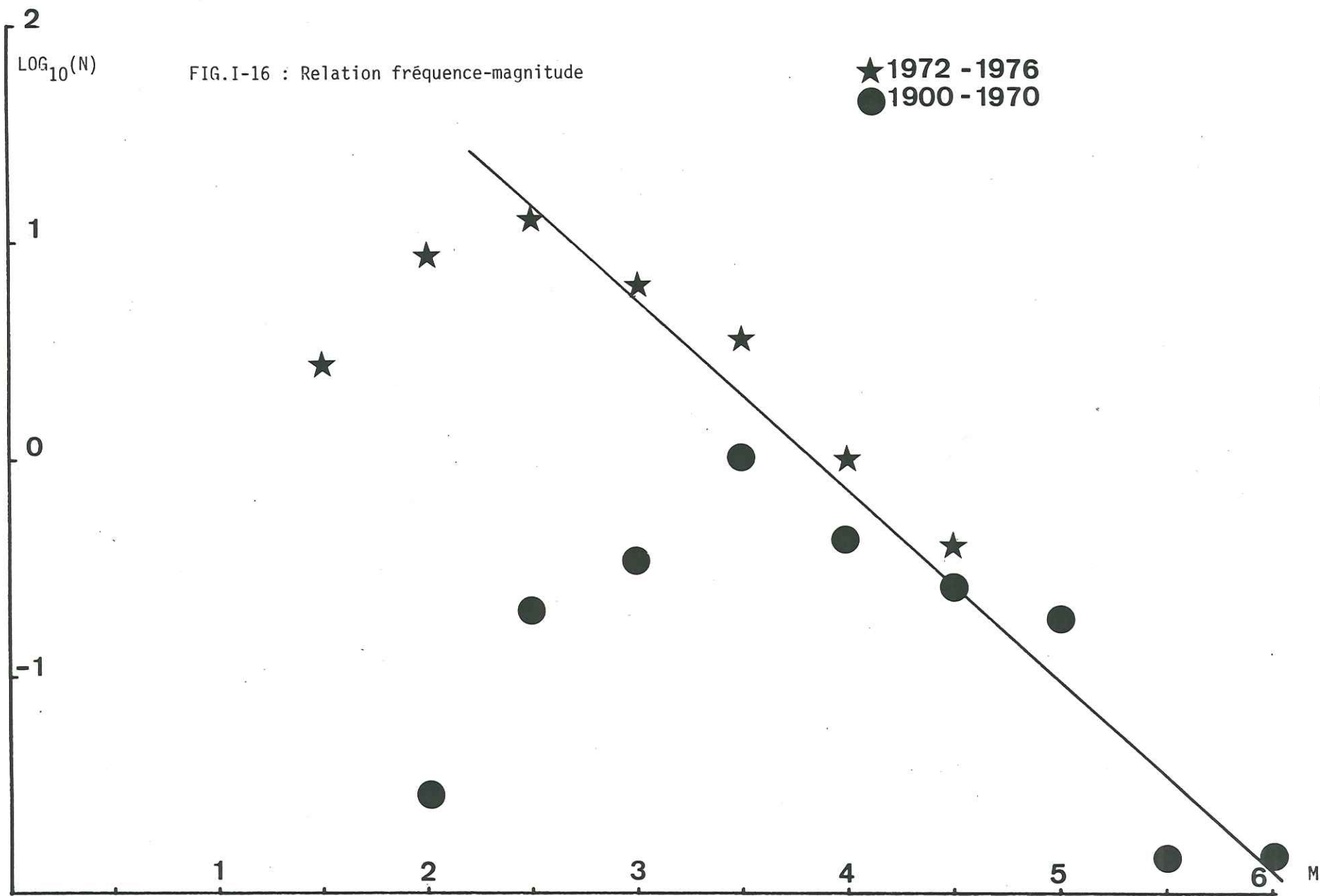
Dans cette formule, N est le nombre moyen annuel de séismes de magnitude comprise entre $M - 0,25$ et $M + 0,25$.

L'examen des figures I-5 et I-6 nous montre de façon qualitative que la Provence donne lieu à plus de gros séismes que de petits, alors que la zone alpine présente des magnitudes plutôt moins fortes, et beaucoup plus de petits séismes. La loi $\log_{10} N = a - bM$ doit donc être différente dans ces deux zones, avec une valeur de b plus grande en Provence que dans les Alpes. Scholtz (1968) a montré, en étudiant en laboratoire la fracturation, que plus l'échantillon de roche est fracturé, plus la valeur de b est petite (prépondérance de petits séismes). Ainsi le socle provençal pourrait être moins fracturé que la croûte des Alpes.

6. SITUATION DES RESEAUX ALPINS EN 1978

A l'heure actuelle, il existe dans la zone étudiée ici environ trente stations sismologiques permanentes, mais qui dépendent de dix organismes différents. Six organismes localisent actuellement les séismes dans les Alpes, chacun avec une partie seulement de ces données : l'I.S.C. (Newbury), l'U.S.G.S. (Boulder), le L.D.G. (Montrouge), le S.E.D. (Zürich), l'I.G.G. (Gênes).

La réunion de ces données permettrait d'augmenter considérablement notre compréhension de la sismicité des Alpes, grâce à des localisations plus précises et des mécanismes au foyer fiables et nombreux. Malgré nos efforts, nous n'avons pu accéder qu'à une partie de ces données, une part importante revenant au L.D.G., malheureusement dépourvu de stations dans les Alpes.



CHAPITRE II

CALCULS DE MECANISMES AU FOYER DANS LES ALPES OCCIDENTALES

1. RAPPELS SUR LA NOTION DE MECANISME AU FOYER

La théorie de la source a montré que le signal émis par un séisme dont le foyer n'est pas trop étendu est le même que celui que produirait à l'hypocentre l'apparition à l'instant origine d'un double couple orthogonal (Burridge et Knopoff, 1964 ; Kostrov, 1970). Les deux plans nodaux qui contiennent les deux couples sont, l'un le plan de faille, l'autre un plan normal au plan de faille (dit plan auxiliaire). On voit alors qu'ils divisent l'espace autour du foyer en quatre régions dans lesquelles les rais qui partent du foyer ont le même sens de premier mouvement (vers le foyer = dilatation, ou bien vers la station = compression). Si on peut lire ce sens pour un certain nombre de rais, on peut déterminer les plans nodaux (dont l'un est le plan de faille), et les axes de compression maximale et minimale.

La représentation usuelle est celle d'une sphère centrée sur l'hypocentre. On la dessine en projection stéréographique (projection de Schmidt, par exemple). Chaque rai pour lequel on connaît le sens de premier mouvement est représenté par un point avec son signe. Les plans nodaux sont deux grands cercles orthogonaux qui divisent la sphère en deux secteurs de compression et deux secteurs de dilatation.

Les plans nodaux, s'ils sont bien déterminés, sont le seul résultat sûr du mécanisme au foyer. La détermination du vrai plan de faille parmi les deux plans nodaux se fait par des considérations géologiques quand le séisme est superficiel, ou par l'étude des répliques s'il y en a. Quant à la détermination de l'axe de compression maximale, il convient de remarquer que ce n'est pas une compression absolue, mais seulement la variation de compression maximale. Si, après le séisme, le tenseur des contraintes devient isotrope, alors seulement la solution focale représente l'état de contraintes avant le séisme. Comme en général cette condition n'est pas remplie, nous n'obtenons qu'une indication sur cet état de contraintes avant le séisme.

2. LE CAS DES SEISMES DES ALPES OCCIDENTALES

La détermination des mécanismes au foyer est une technique simple et très fructueuse pour étudier la sismicité des limites de plaques. Simple, car la forte magnitude permet d'utiliser des enregistrements longue période (de lecture plus facile car absents de bruit de fond et avec des signaux plus clairs) dans toutes les parties du globe (par exemple dans le réseau mondial WWSSN), et fructueuse car les mouvements observés sont de grande amplitude et caractéristiques de toute une région (Sykes, 1967 ; Isacks et Molnar, 1971).

Dans la région des Alpes que nous étudions ici, la situation est très différente. Il s'agit d'une région intraplaque, sans structure tectonique simple et dont les déformations actuelles ne sont pas bien connues. D'autre part, les séismes ici sont de magnitudes beaucoup plus faibles. Si la magnitude 6,2 ou 6,3 a été atteinte, ce n'est qu'exceptionnellement, et on est obligé de recourir à des magnitudes inférieures à 5 ou même 4 dans le cas des séismes récents. On est alors limité aux seules stations régionales et à des enregistrements courte période. La lecture de ces sismogrammes est délicate car le rapport signal / bruit est faible. En outre, les phases observées sont mal connues et varient beaucoup en fonction des structures profondes de la croûte. Une telle étude est donc limitée par une mauvaise répartition des stations et des lectures peu fiables.

Dans la région étudiée ici, quelques mécanismes au foyer ont été déterminés précédemment par Scheidegger (1967), Bossolasco et al. (1972), Pavoni et Peterschmitt (1974) et Hoang Trong et al. (1977). Les résultats de Scheidegger sont assez contestables car il n'a pas relu les sismogrammes et il ne fait pas de projection de sphère focale. Afin de compléter le faible nombre de solutions fiables dans les Alpes françaises, nous avons réalisé un certain nombre de mécanismes au foyer. Leur comparaison avec les résultats d'autres auteurs dans la même zone et dans les régions voisines sera faite chapitre IV.

3. LES SEISMES HISTORIQUES

Nous nous sommes intéressés à des séismes de magnitude supérieure à 4, de 1950 à 1970 dans notre zone. Il y en a cinq :

19/05/1954	Sion (Suisse)
5/04/1959	Saint Paul sur Ubaye (Basses Alpes)
25/04/1962	Corrençon (Vercors)
25/04/1963	Monteynard (Vercors)
19/08/1968	Abondance (Haute Savoie).

Nous avons écrit à toutes les stations sismologiques qui avaient communiqué les temps d'arrivée pour au moins un de ces séismes à l'I.S.S./I.S.C. ou au B.C.I.S., en leur demandant des copies de leurs enregistrements, ou les lectures qu'ils en ont faites. Nous avons reçu environ 30 % de réponses. Parmi celles-ci, beaucoup n'ont pas été utilisables, soit parce que l'on ne connaît pas la relation entre le mouvement du sol et le signal enregistré sur le sismogramme (sens de déviation non étalonné), soit parce que les enregistrements ne sont pas lisibles (début noyé dans le bruit de fond,

voire même absence de phase correspondant à une onde de volume).

Beaucoup de sismogrammes nous ont été communiqués par M. Massinon (séismes de 1962, 1963 et 1968, réseau L.D.G.) et par M. Peterschmitt (séismes de 1959, 1962 et 1963, réseau de l'I.P.G.S. et autres).

Nous avons lu sur tous ces sismogrammes les sens de premier mouvement des phases P_g , P_n ou P , en les affectant de la mention sûre ou peu sûre, selon que la première arche est nette et d'amplitude importante ou, au contraire, difficile à voir et d'amplitude faible par rapport aux arches suivantes. En pratique, aucune lecture n'a été faite au-delà de 1 000 km de distance épacentrale. Même pour les stations proches, la mauvaise qualité de certains vieux sismogrammes empêche la lecture.

Pour chaque lecture, on calcule l'azimut entre le séisme et la station, et l'angle du rai avec la verticale au foyer du séisme. Cet angle est calculé de la façon suivante:

- . Onde P_g : la grande incertitude sur la profondeur des foyers nous a conduits à choisir $I_0 = 90^\circ$ (rai horizontal au départ).
- . Onde P_n : si l'on suppose que la croûte a une vitesse $V_p = 6,2$ km/s et le manteau supérieur une vitesse $V_p = 8,2$ km/s, ce qui correspond à un modèle de vitesse moyen pour les Alpes (Thouvenot, 1976), on obtient :
 $\sin I_0 = 6,2 / 8,2$, soit $I_0 = 49^\circ$.
- . Onde P : l'angle I_0 est donné par les tables de Hoang Trong (1972), utilisant le modèle de vitesse de Herrin (1968).

Les premiers points ainsi déterminés sont reportés sur une sphère focale (Projection de Schmidt, hémisphère inférieur). Pour les séismes de 1954 et 1962, il n'est pas possible de séparer les compressions et les dilatations en quatre secteurs. Les séismes de 1959, 1963 et 1968 donnent des solutions plus ou moins bonnes (la meilleure est celle de 1963). Voir Figure II-1 et Tableau II-1 pour les solutions.

4. LES SEISMES RECENTS (1972 - 1976)

Nous avons lu les sismogrammes de tous les séismes de magnitude $\geq 3,3$ dans les Alpes occidentales, enregistrés dans les réseaux du L.D.G., de l'I.P.G.S., du S.E.D., et enfin du L.G.I. (réseau qui dépendait de l'I.P.G.S. jusqu'en 1976). A cela, nous

N°	DATE	HEURE	MAGN.	LATITUDE	LONGITUDE
1	05/04/59	10h48mn00s	5,3	44,53° N	6,78° E
2	25/04/63	13h36mn11s	4,3	44,96° N	5,63° E
3	19/08/68	00h36mn41s	4,8	46,31° N	6,79° E
4	03/04/72	22h19mn16s	3,5	44,37° N	7,14° E
5	07/05/72	9h17mn20s	3,3	44,70° N	6,46° E
6	19/05/72	14h55mn23s	3,8	44,31° N	7,60° E
7	19/06/72	4h09mn51s	3,8	44,38° N	6,35° E
8	18/01/73	21h51mn55s	3,7	45,27° N	6,67° E
9	17/12/73	11h42mn04s	3,5	44,89° N	6,93° E
10	08/02/74	20h12mn18s	4,5	44,22° N	6,55° E
11	09/06/74	0h18mn09s	3,6	45,98° N	6,35° E
12	29/05/75	0h32mn39s	4,2	46,04° N	6,02° E
13	29/05/75	0h45mn09s	3,2	46,05° N	6,04° E
14	07/06/76	0h08mn48s	3,3	44,70° N	6,70° E
15	18/07/76	19h08mn32s	3,1	44,20° N	7,30° E
16	27/07/76	17h51mn56s	3,1	45,90° N	6,70° E
17	09/10/76	0h35mn10s	3,6	44,60° N	6,90° E

TABLEAU II-1a : Données relatives aux séismes dont on a calculé les solutions focales.

N° Séisme	DATE	PLAN 1		PLAN 2		AXE P		AXE T	
		Az	Pendage	Az	Pendage	Az	Pendage	Az	Pendage
1	05/04/59	66°	60° SE	162°	81° W-SW	28°	31°	290°	11°
2	25/04/63	50°	88° NW	140°	69° NE	183°	15°	278°	11°
3	19/08/68	141°	60° SW	143°	30° NE	49°	75°	229°	15°
4	03/04/72	34°	50° NW	121°	90°	173°	26°	68°	25°
5	07/05/72	0°	46° W	138°	52° NE	162°	67°	70°	3°
6	19/05/72	62°	90°	150°	69° NE	193°	13°	289°	13°
7	19/06/72	21°	62° NW	123°	71° NE	70°	5	162°	36°
8	18/01/73	96°	59° S-SW	165°	60° E-NE	222°	90°	313°	46°
9	17/12/73	4°	70° E	91°	80° N	225°	24°	318°	5°
10	08/02/74	15°	90°	106°	70° S-SW	329°	11°	62°	12°
11	09/06/74	52°	90°	142°	90°	276°	0°	6°	0°
12	29/05/75	62°	70° NW	153°	80° NE	106°	6°	199°	23°
13	29/05/75	16°	90°	106°	90°	61°	0°	331°	0°
14	07/06/76	18°	90°	108°	80° S-SW	65°	8°	332°	4°
15	18/07/76	173°	90°	83°	90°	308°	0	38°	0°
16	27/02/76	40°	90°	130°	90°	265°	0°	355°	0°
17	09/10/76	7°	90°	97°	90°	322°	0°	52°	0°

TABLEAU II-1b : Résultats numériques des solutions focales.

avons ajouté les lectures de bulletins des stations Isola et Garchy (seules stations proches qui communiquent les sens de déviation), en supposant que celles de la station Isola étaient sûres (car cette station est très proche des séismes et enregistre des ondes Pg très nettes). A l'aide de ces données, nous avons pu déterminer 14 solutions focales, avec plus ou moins de fiabilité. Voir Figure II-1 et Tableau II-1. Il apparaît donc que la détermination systématique des mécanismes au foyer pour les séismes de magnitude ≥ 3 par exemple apporterait chaque année de nouvelles informations très utiles. Le problème essentiel est de pouvoir lire les sismogrammes des différents réseaux français, suisse, allemand et italien. En particulier, les enregistrements de l'I.G.G. (Gênes) auxquels nous n'avons pas eu accès devraient donner des solutions mieux déterminées.

5. RESULTATS

La Figure II-2 et le Tableau II-1 donnent les sphères focales et les données numériques obtenues. Sur la Figure II-1 nous avons représenté toutes ces solutions. Nous avons distingué deux classes de solutions focales selon la cohérence des lectures et leur répartition sur la sphère focale ; certaines solutions sont fiables, les autres étant plus douteuses. Le séisme de 1963 est sans doute associé à la mise en eau du barrage de Monteynard (Rothé, 1972) ; son interprétation en tant que séisme tectonique est sujette à caution.

6. INTERPRETATION

Le mécanisme au foyer peut apporter deux sortes d'information : la première concerne l'orientation et le pendage du plan de faille et la relation avec les plans de failles déduits de la géologie ou de l'étude de la répartition des répliques. En ce qui concerne les séismes que nous avons étudiés, il existe une erreur importante sur la localisation (voir chapitre I), qui peut être de plusieurs dizaines de kilomètres, et aussi une incertitude importante sur la détermination des plans nodaux. La corrélation entre plans nodaux et failles connues est donc presque impossible.

La deuxième information est celle du régime de contraintes : axes de compression maximale et minimale. A l'heure actuelle, la question de la signification de ces axes n'est pas encore résolue dans le cas de petits séismes. Si l'on admet généralement qu'ils représentent effectivement l'état de contraintes permanent de toute une région,

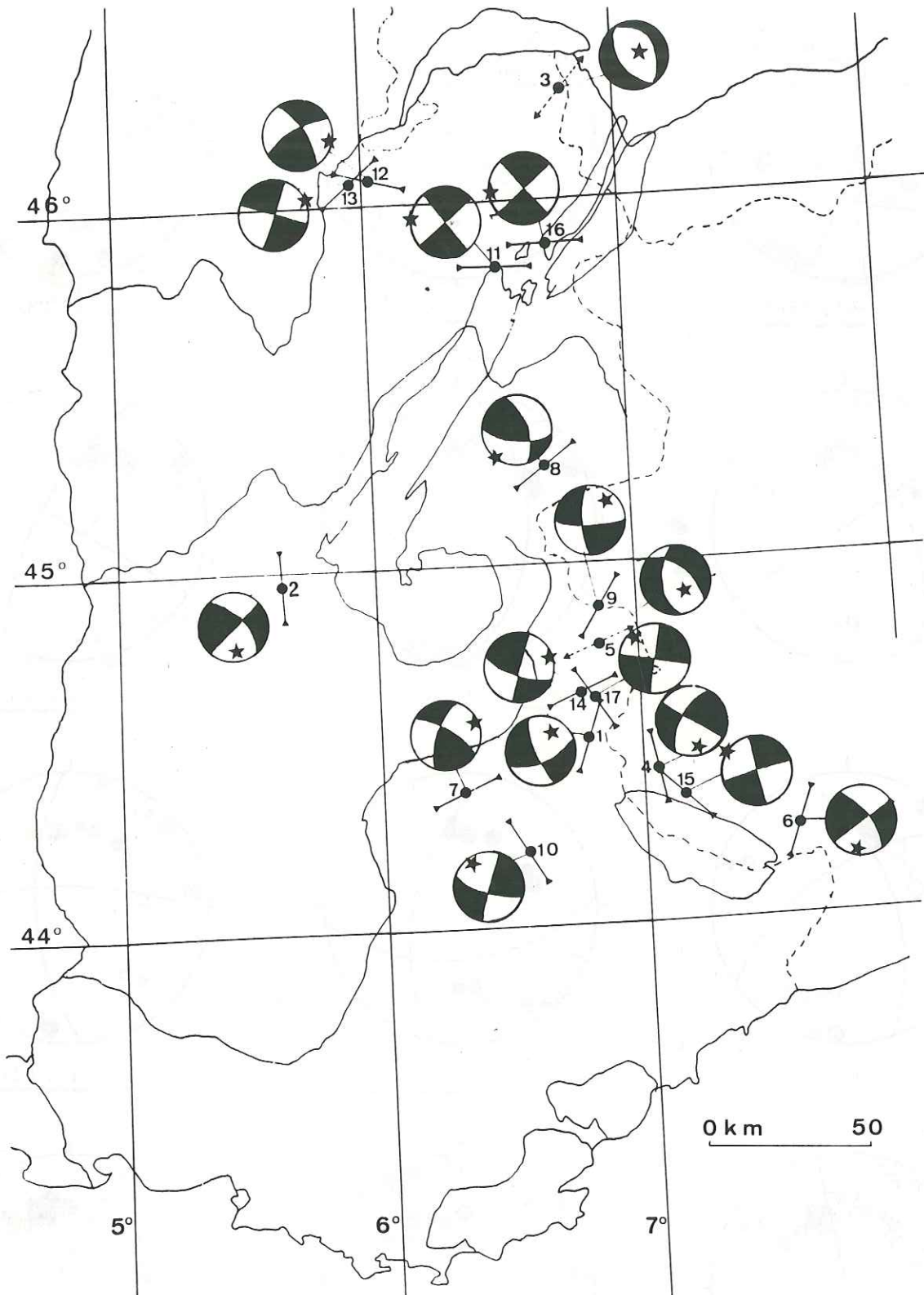
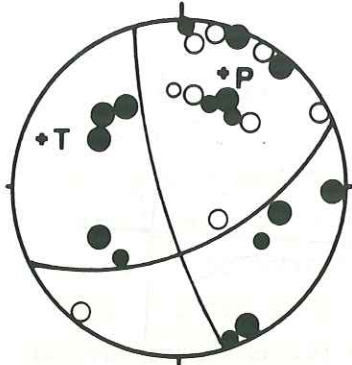
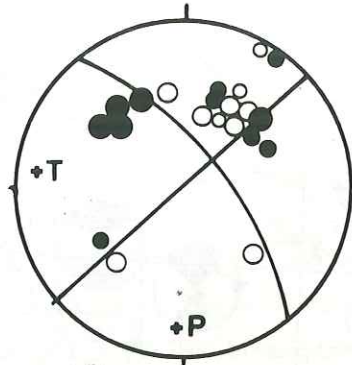


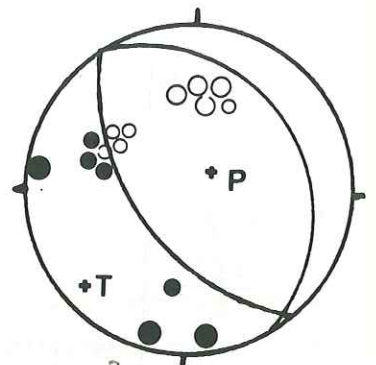
FIG.II-1 : Carte des solutions focales obtenues, avec indication de l'axe de compression maximale (trait plein), ou minimale (pointillé).



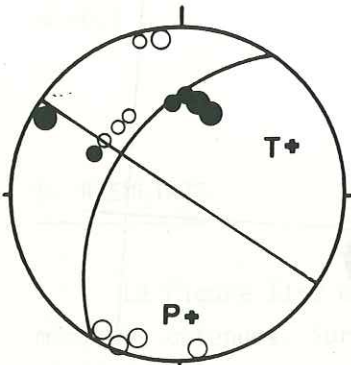
1 05/04/59



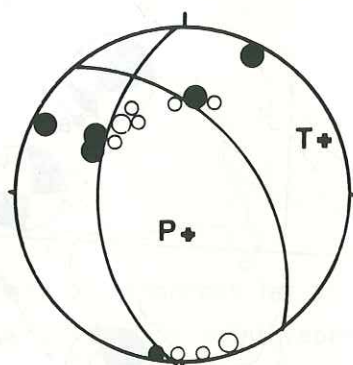
2 25/04/63



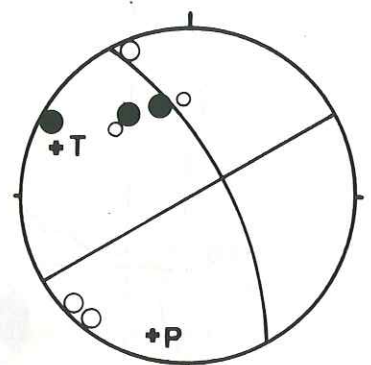
3 19/08/68



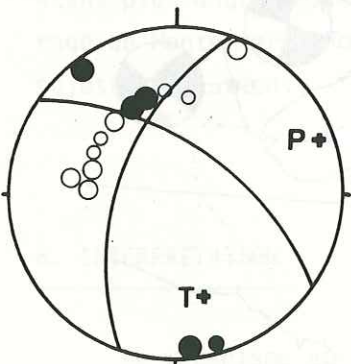
4 03/04/72



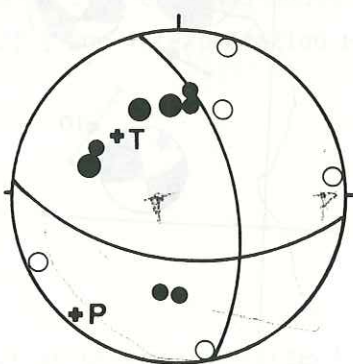
5 07/05/72



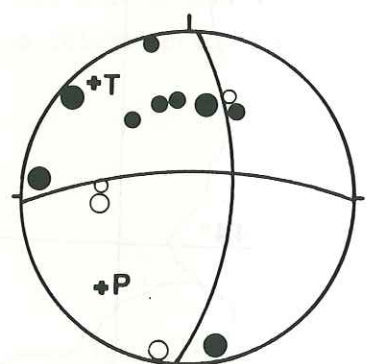
6 19/05/72



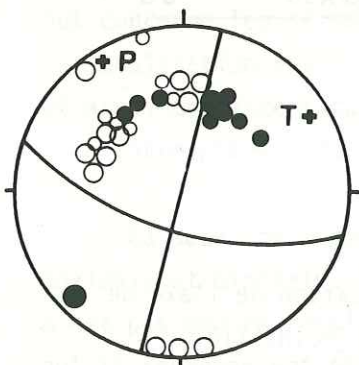
7 19/06/72



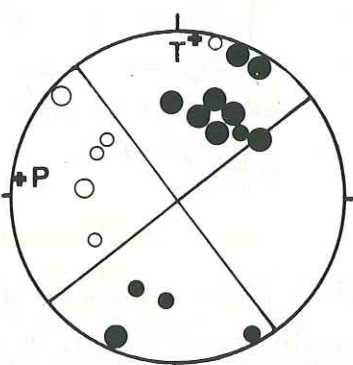
8 18/01/75



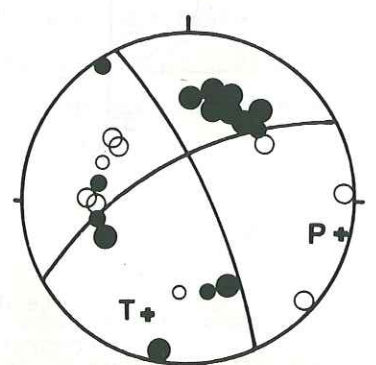
9 17/12/75



10 08/02/74



11 09/06/74



12 29/05/75 (1)

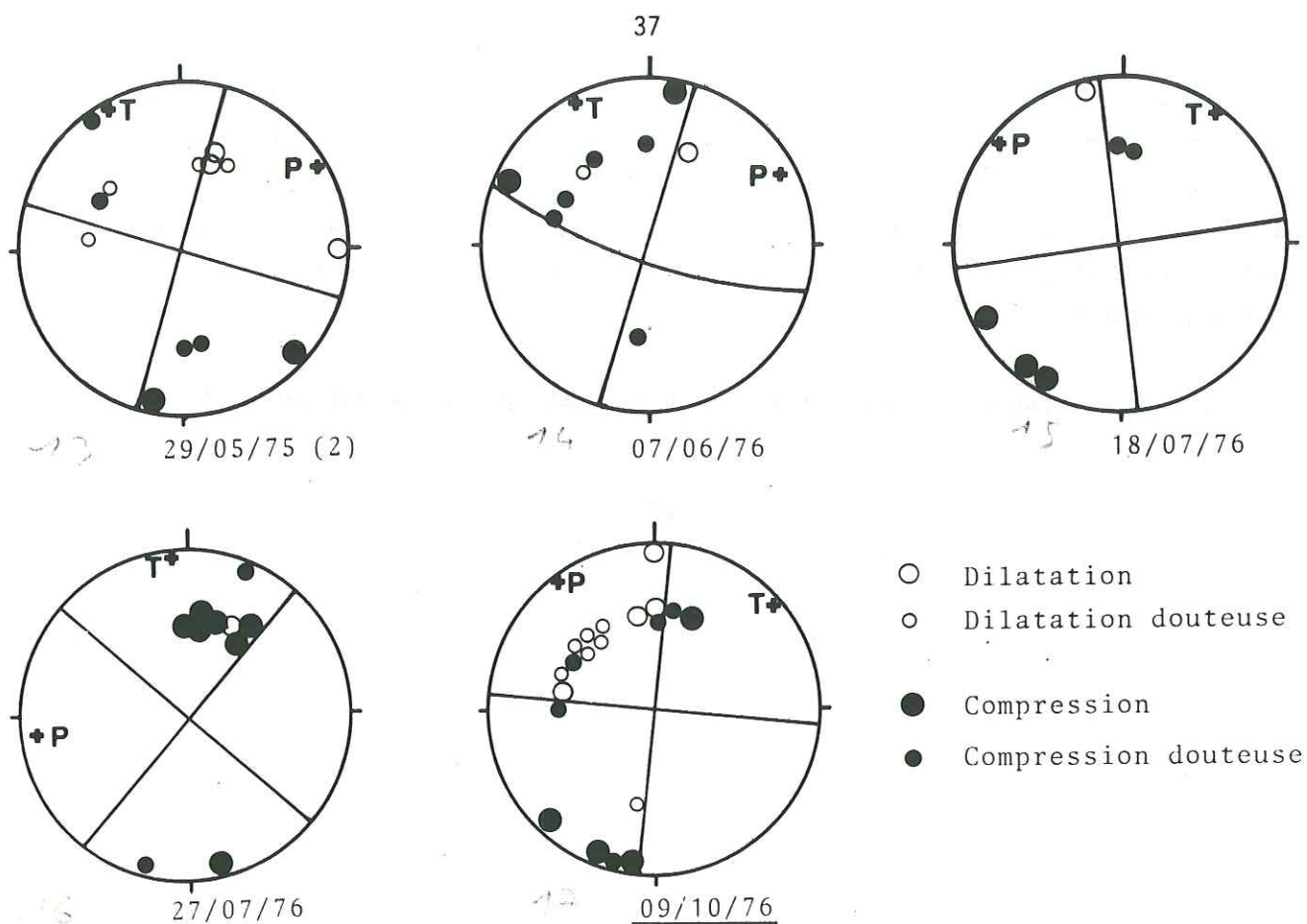


FIG.II-2 : Solutions focales de 17 sêismes des Alpes occidentales.
 Hémisphère inférieur, projection de Schmidt.
 Les dates soulignées indiquent les solutions les mieux déterminées. Les solutions soulignées deux fois sont considérées comme très sûres, à cause de la magnitude et de la cohérences des signes de premier mouvement.

il n'en reste pas moins vrai que des variations dans le temps pour un même lieu ont été observées (Sadovsky et al., 1972 ; cette thèse, chapitre III). Au cours d'une série de répliques d'un gros séisme, il arrive aussi que les mécanismes au foyer soient différents de celui du choc principal (Séisme du Frioul, 1976 : séisme de Tang-Shan, 1976 ; séismes du 29/05/1975 étudiés dans ce chapitre). Toute carte de directions de contraintes doit donc être considérée avec prudence.

L'interprétation de nos résultats selon ces deux points de vue sera faite chapitre IV.

CHAPITRE III

CAMPAGNE D'ENREGISTREMENTS SISMIQUES EN UBAYE-QUEYRAS

EN SEPTEMBRE - OCTOBRE 1977

1. CADRE SISMO-TECTONIQUE

La région de l'Ubaye-Queyras présente une sismicité importante qui se produit dans une large zone qui s'étend de Briançon à Menton. L'Ubaye-Queyras a été secouée historiquement par plusieurs séismes destructeurs. Les plus gros recensés sont donnés par le tableau suivant :

DATE	LAT.N	LON.E	INTENSITE MAXIMALE I _o
23.11.1884	44,70	6,70	7,5 à Château-Queyras
19.03.1935	44,65	6,61	8 à Guillestre
18.07.1938	44,62	6,78	8 dans le massif de la Font Sanete
05.04.1959	44,53	6,78	8 à St Paul s/Ubaye

Une vingtaine d'autres séismes au moins ont provoqué des dégâts plus légers dans cette région.

La détermination instrumentale de la position des séismes, effectuée depuis 1972 par le Laboratoire de Détection et de Géophysique du Commissariat à l'Energie Atomique (L.D.G.), montre que cette région est l'objet d'une activité sismique permanente avec des magnitudes locales atteignant 4,5 sur une période de cinq ans. Les épicentres se situent dans la zone des séismes historiques, mais aussi plus à l'Est. Il est probable que cette différence provient de mauvaises localisations du L.D.G. qui ne possède pas de stations dans les Alpes, les erreurs pouvant être importantes dans le cas où le séisme n'est localisé qu'avec les trois stations du réseau de Provence.

Géologiquement, la région Ubaye-Queyras comprend principalement la zone briançonnaise qui s'allonge suivant un axe NO-SE. Cette zone est en contact chevauchant au NE avec la zone piémontaise des schistes lustrés et en contact chevauchant vers le SO avec la zone sub-briançonnaise. En fait, cette zone sub-briançonnaise est presque entièrement recouverte, dans la zone qui nous concerne, par les nappes du Flysch à Helminthoïdes de l'Ubaye-Embrunais (Fig.3-1).

Dans une coupe le long d'un axe N 45° E, la zone présente ainsi une structure en éventail caractéristique (Fig.3-1). Barfety et al. (1968) ont attiré l'attention sur un certain nombre de failles longitudinales qui recoupent les structures de l'éventail précédent et qui constituent ainsi une indication sur la tectonique la plus récente de cette région. Ces failles, subverticales, de direction N 130 à N 160° E, sont mises en évidence par les décalages verticaux des couches. Mais diverses considérations géologi-

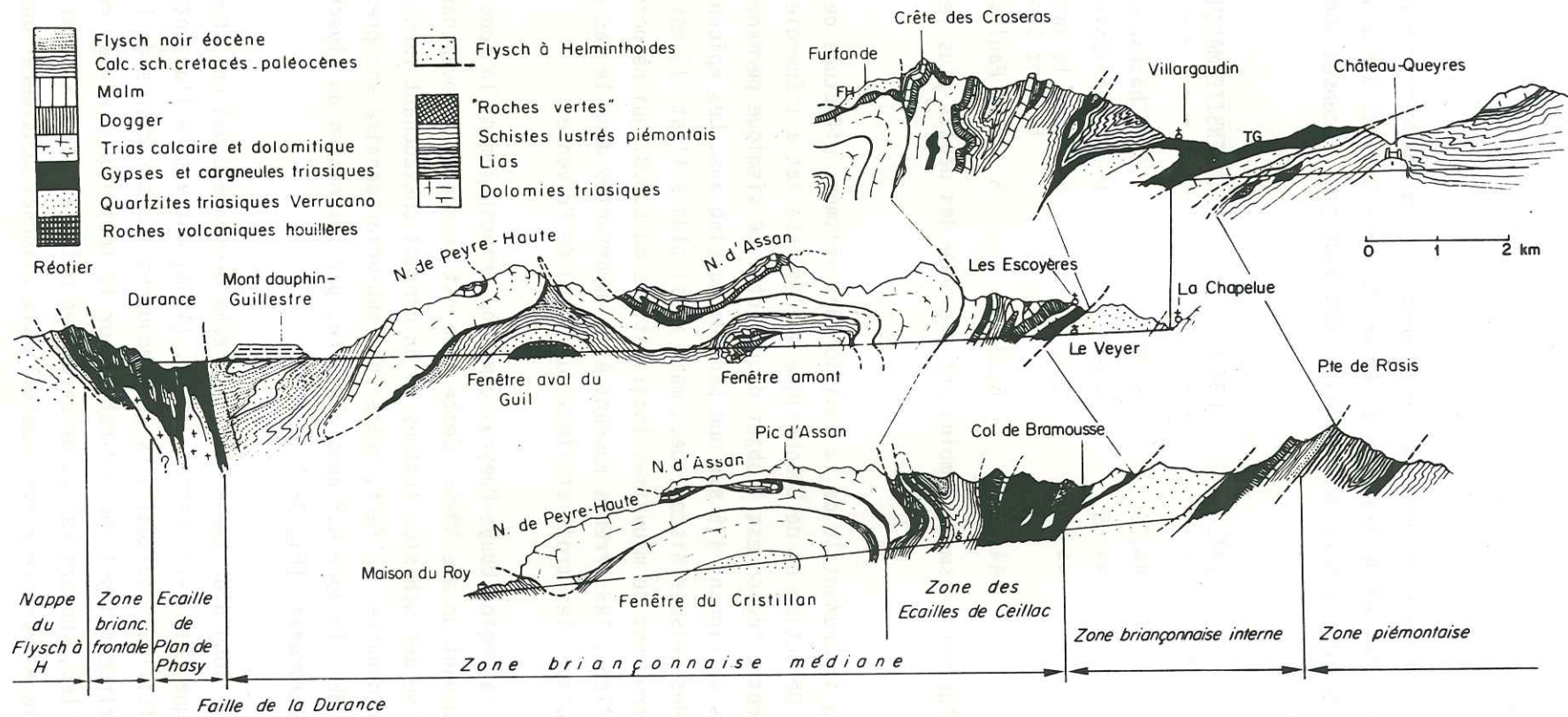


FIG.III-1 : Structure en éventail du Briançonnais, d'après Debelmas (1974),

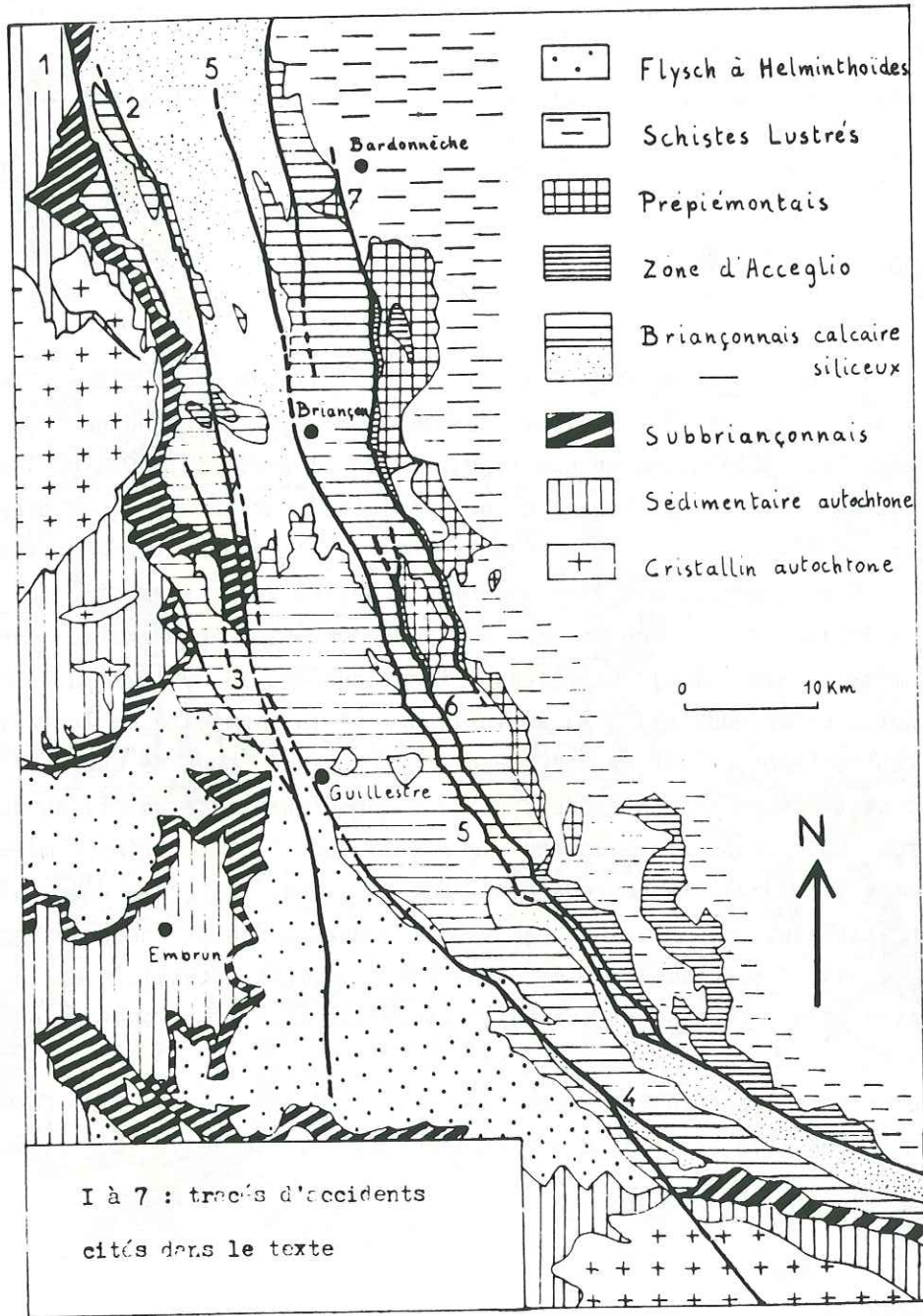


FIG.III-2 : Schéma structural englobant la zone étudiée ici.
(d'après Barfèty et al. 1968)

ques suggèrent en outre un jeu de coulissage (qui serait dextre, au moins dans le S.E. de la région). La plus remarquable de ces failles est celle de la Durance, mise en évidence par Debelmas (1953). Cette faille très bien marquée donne lieu à Guillestre aux célèbres sources thermominérales du Plan de Phazy et de Réotier. On lui attribue l'origine du séisme de 1935 à Guillestre. Elle est relayée au Sud de Guillestre par la faille de Serenne à laquelle on a attribué le séisme de 1959 à St Paul s/Ubaye (Fig.3-2).

2. CAMPAGNE D'ENREGISTREMENT

Durant le mois de février 1977, le Laboratoire de Géophysique Interne (L.G.I.) a installé deux stations sismologiques portables de type Sprengnether aux environs de Guillestre. Ces stations, bien que trop près de la ville (à cause de l'enneigement), ont permis de montrer l'existence d'une sismicité continue (environ deux séismes par jour). Le L.G.I. et l'Institut de Géophysique de l'Ecole Polytechnique de Zürich (E.T.H.) ont donc organisé l'enregistrement continu de la sismicité de la région Ubaye-Queyras à l'aide d'un réseau de onze stations portables Sprengnether (Période propre du sismomètre égale à 1 s). Le réseau a fonctionné du 13.09.1977 au 9.10.1977. L'objectif de notre expérience était la surveillance de la sismicité de la faille de la Durance entre Saint Crépin et Saint Paul sur Ubaye. Au bout de quelques jours, nous avons constaté qu'il existait une sismicité très importante au niveau du massif du Chambeyron. Nous avons alors agrandi le réseau vers le S.E. afin de mieux localiser ces séismes (Fig.3-3). Malheureusement, nous n'avions pas prévu d'installer des stations en Italie et nous n'avions pas les documents douaniers nécessaires. De toutes façons, le massif du Chambeyron est très difficilement accessible et la communication entre les versants italien et français obligerait à de très longs détours.

Aussi tous les résultats concernant la sismicité du massif du Chambeyron souffriront de l'absence de stations d'enregistrements à l'Est de la zone sismique.

3. LA SISMICITE

L'un des principaux résultats, et le plus surprenant, de cette campagne a été le nombre de séismes. En un mois, nous avons enregistré plus de 1 500 séismes, soit plus de 50 par jour ; les journées les plus actives ont donné une centaine de séismes, les moins actives une vingtaine (Fig.3-6).



FIG.III-3 : Emplacements des stations Ubaye-Queyras 1977.



FIG.III-4 : Le massif du Chambeyron sous lequel ont eu lieu la majorité des séismes, et la coupe géologique correspondante (d'après Gidon, 1962). Au premier plan, la haute vallée de l'Ubaye où étaient posées 4 stations.

46

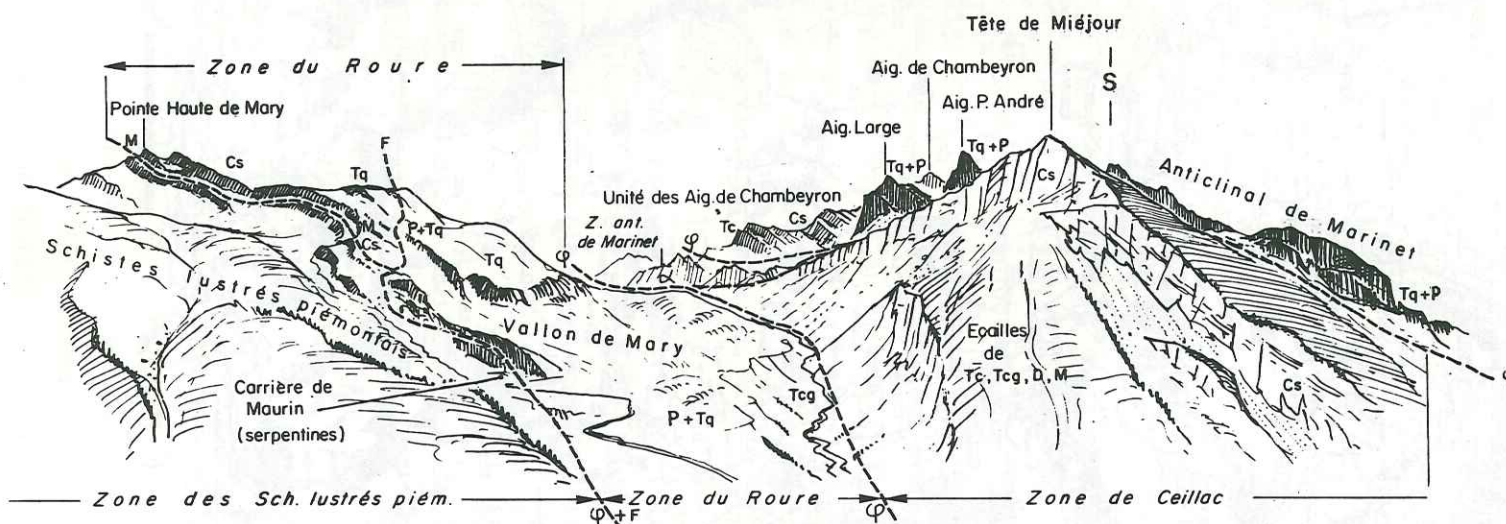


FIG. 118. - Rive gauche de la haute Ubaye, vue de Maurin (d'après M. GIDON)

Le nombre de séismes enregistrés dépend de plusieurs facteurs : la position de la station, l'amplification utilisée, ainsi que les filtres en fonction. On peut en effet filtrer le signal par des filtres passe-bas à 30 ou 10 Hz. Comme les séismes proches ont des fréquences voisines de 10 ou 15 Hz, le filtre passe-bas de 10 Hz élimine les séismes les plus faibles. Au cours de la campagne, nous avons changé ces facteurs pour toutes les stations, nous ne pouvons donc pas avoir un ensemble de données homogène sur la fréquence des séismes. Cependant, il est très visible que les séismes se produisent par essaims de quelques heures séparés par des périodes de calme. En particulier, les deux plus gros séismes, de magnitude L.D.G. 2,9 et 3,1, se sont produits la même nuit à quelques kilomètres de distance.

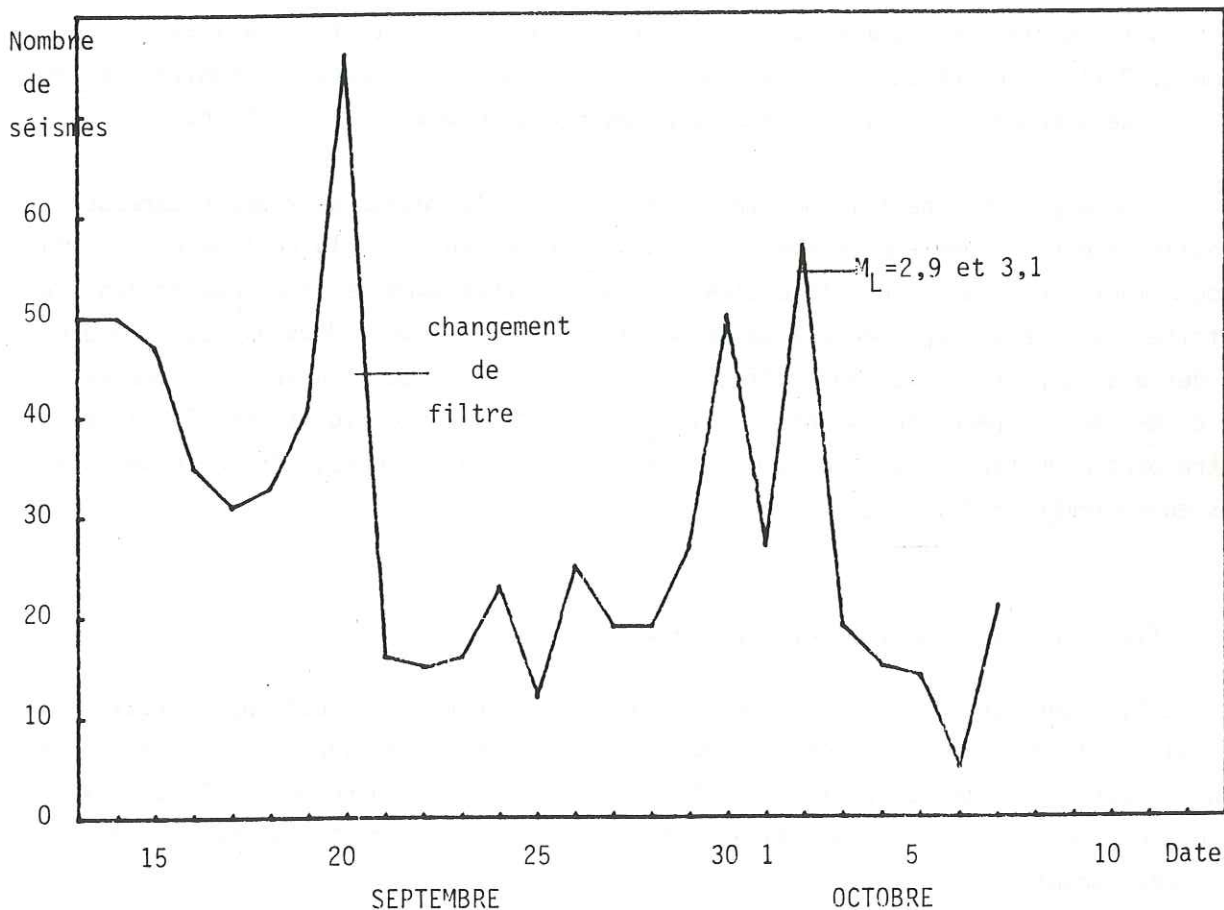


FIG.III-6 : Nombre de séismes enregistrés chaque jour à la station Ceillac.

Indication du pic correspondant aux deux plus gros séismes.

Ces deux séismes ont été ressentis par les habitants des vallées de l'Ubaye et de l'Ubayette (Col de Larche). Ces habitants ressentent souvent de tels séismes ; ils en ont ressenti une dizaine en août 1977 (dont un de magnitude 3,6), quatre en janvier 1978. Cela montre que l'activité de cette zone ne coïncide pas rigoureusement avec notre période d'enregistrement, mais couvre une période de plusieurs mois au minimum. La question de savoir si c'est une activité continue n'est pas résolue. Cependant, le L.D.G. localise des séismes dans cette zone depuis plusieurs années, mais avec un maximum net au cours des mois d'août à décembre 1977. Il est donc probable que notre présence a coïncidé, et c'est une chance, avec une crise sismique.

4. LOCALISATION DES SEISMES

Nous avons lu les temps d'arrivée des ondes P et S pour les séismes bien enregistrés dans trois stations au minimum. La localisation a alors été faite à l'aide du Programme HYPO 71 de Lee et Lahr (1972), sur l'I.B.M. 360/67 du Centre Interuniversitaire de Calcul de Grenoble (C.I.C.G.). Nous avons pu ainsi déterminer 192 épicentres.

Les données concernant le modèle de vitesse dans la région sont peu nombreuses. De toutes façons un modèle à couches horizontales représente mal la réalité puisque la géologie montre des variations latérales importantes (par exemple, présence de zones à quartzite, de vitesse supérieure à celle du calcaire triasique). Nous disposons d'une part des grands profils sismiques effectués en 1956 et 1958 qui traversent notre région du N-O au S-E (Recherches Séismologiques dans les Alpes Occidentales, 1963), et d'autre part d'un tir de carrière à Guillestre que nous avons enregistré avec nos stations en septembre 1977.

. Tir de Carrière du 29 septembre 1977 :

Ce tir, dont les coordonnées sont connues, a été enregistré dans neuf stations à des distances de 0 à 25 km. L'onde enregistrée en première arrivée présente une hodochrone linéaire de vitesse apparente 5,4 km/s (Fig.3-7). Elle correspond à l'onde directe propagée dans les couches superficielles. La vitesse est caractéristique de sédiments très consolidés.

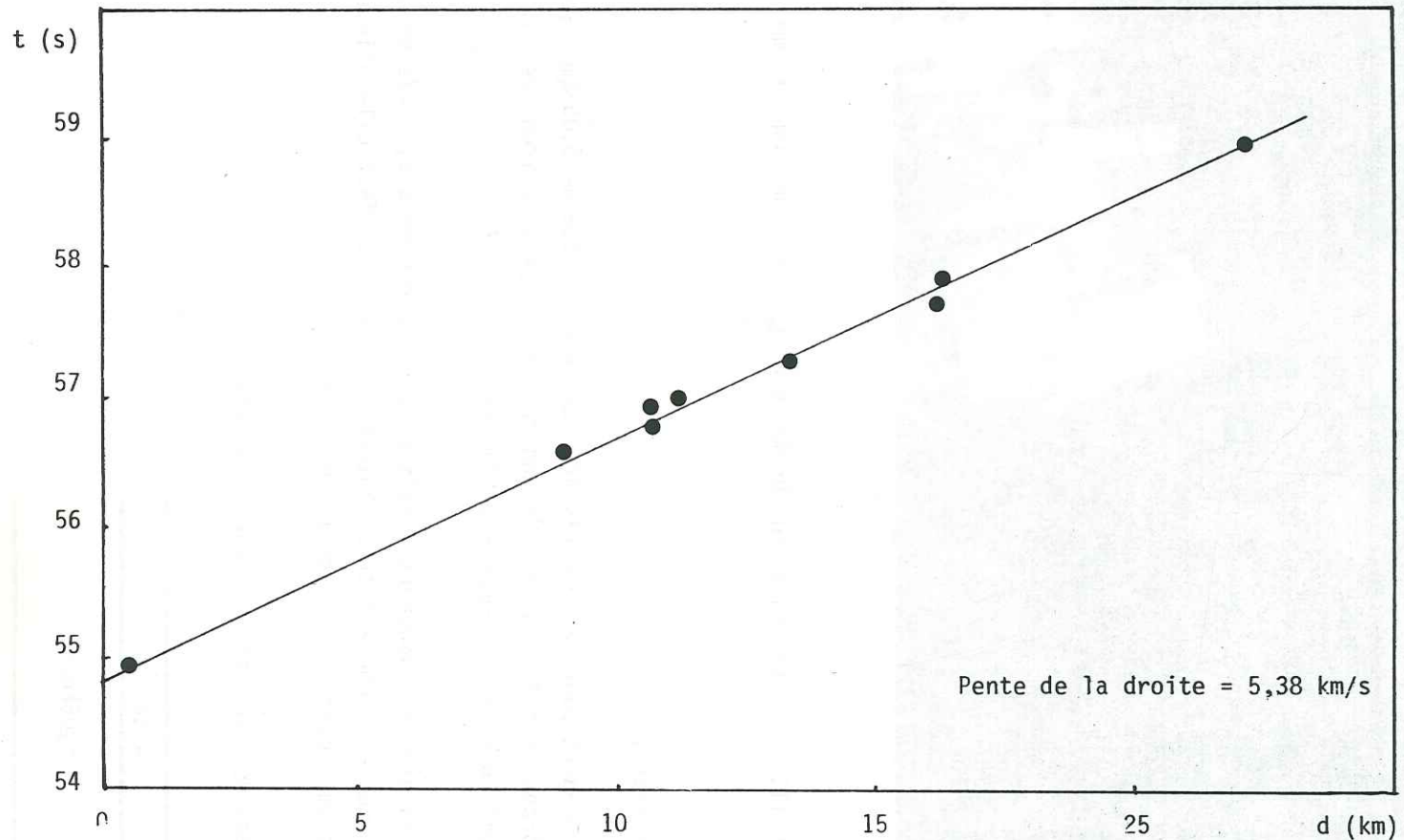


FIG.III-7 : Tir de carrière; hodochrone de l'onde en première arrivée.



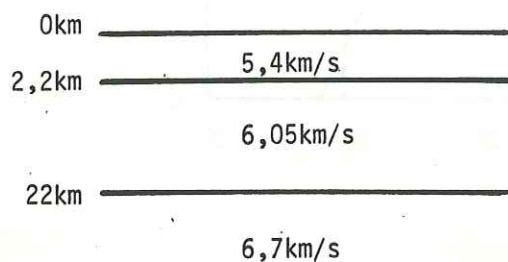
FIG.III-7,5 : Enregistreur de Montbardon, avec son sismogramme.

. Grands Profils :

Ceux-ci donnent pour la zone étudiée ici, une vitesse de 6,05 km/s pour l'onde Pg, avec une ordonnée à l'origine de l'hodochrone de 0,4 s environ, ce qui nous donne 2,2 km pour épaisseur de la couche superficielle à 5,4 km/s.

Enfin, les profils suggèrent l'existence d'une couche à 6,7 km/s en-dessous de 20 km environ. Cette couche est très controversée, mais en fait elle n'intervient pas ici car les séismes sont à moins de 15 km de profondeur.

Nous avons donc utilisé le modèle suivant :



. Vitesse des ondes S :

Pour chaque séisme, nous avons déterminé le rapport V_p/V_s à l'aide du diagramme de Wadati. On porte en abscisse de ce diagramme le temps T_p et en ordonnée le temps $T_s - T_p$, où T_p et T_s sont les heures d'arrivée des ondes P et S en chaque station. Une droite joignant ces points est calculée par moindres carrés, en éliminant les points trop aberrants. Un tel diagramme est présenté Fig.3-8.

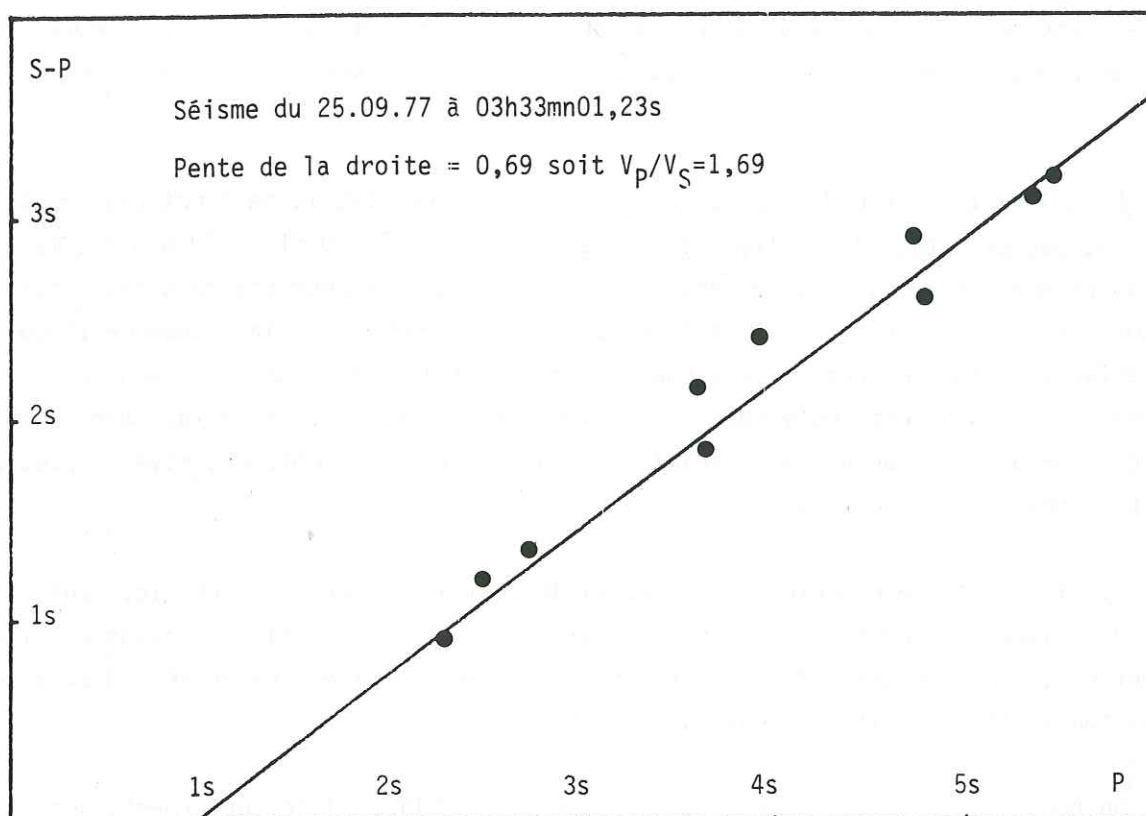


FIG.III-8 : Diagramme de Wadati pour un séisme.

Nous avons alors calculé la moyenne de tous les rapports V_p/V_s , en éliminant ceux qui étaient mal déterminés (trop peu de points, ou points trop dispersés). On obtient une moyenne de 1,84, soit un coefficient de Poisson $\sigma = 0,290$. Le rapport $V_p/V_s = 1,84$ détermine le modèle de vitesse utilisé pour les ondes S.

5. PRECISION DES LOCALISATIONS

La lecture des ondes P est faite à 2,5 centièmes de secondes près. Si l'on tient compte d'erreurs possibles sur la correction horaire, la dilatation du papier, etc..., on peut estimer l'erreur probable sur le temps d'arrivée de l'onde P à 0,05 s. Pour les ondes S, la lecture est beaucoup plus difficile et l'erreur peut certainement atteindre parfois 0,5 s.

Une deuxième source d'erreurs est due à la mauvaise connaissance du modèle de vitesse. Une variation de 10 % sur 10 km donne une erreur de 0,15 s sur les ondes P. Pour les ondes S, les variations du rapport V_P/V_S peuvent amener des erreurs supérieures.

La troisième source d'erreurs provient du fait que HYP0 71 ne tient pas compte de l'altitude des stations (celles-ci sont situées entre 1 050 et 2 100 m d'altitude). Nous avons donc introduit une correction d'altitude valable pour des rais traversant la couche superficielle selon un angle de 63° avec la verticale (incidence critique à l'interface). Cette correction sera bonne pour un séisme situé dans la couche à 6,05 km/s, sauf s'il est juste sous la station. Par contre, elle sera fautive pour un séisme situé dans la couche superficielle lorsque le rai en première arrivée correspond à l'onde superficielle directe.

Le tir de carrière permet de tester la détermination. En utilisant les neuf temps d'arrivée des ondes P, et sans correction d'altitude (l'explosion ayant eu lieu en surface), l'hypocentre calculé se trouve à 30 mètres de l'épicentre réel ; avec la correction d'altitude, il se trouve à 300 mètres.

On peut donc estimer, et les calculs d'erreurs d'HYP0 71 le confirment, que pour un séisme situé dans le réseau la détermination avec les ondes P donne une précision meilleure que 500 mètres sur l'épicentre, et peut être un kilomètre sur la profondeur. Si l'on utilise aussi les ondes S, le résultat change en général assez peu. Si beaucoup de stations ont enregistré le séisme (plus de sept par exemple), la détermination avec les ondes P seulement doit être la meilleure.

Lorsque les séismes sont en bordure du réseau, nous pensons que la détermination reste meilleure en n'utilisant que les ondes P (mais l'erreur peut alors atteindre sans doute un kilomètre). Ceci est suggéré par le fait suivant : une série de séismes groupés dans le temps (une dizaine d'heures) est localisée généralement en un amas très resserrée alors qu'ils forment un nuage diffus lorsqu'on utilise les ondes P et S.

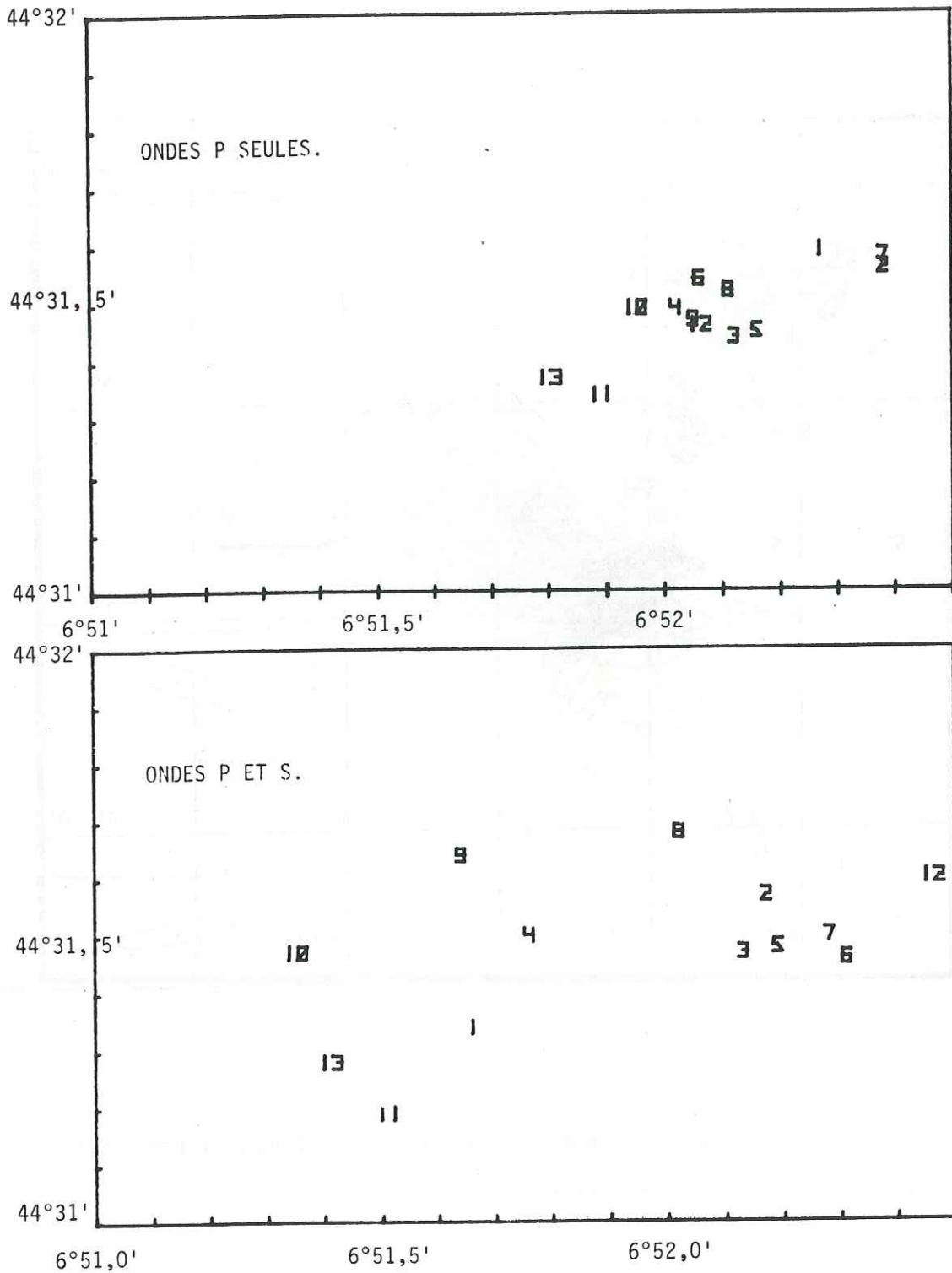


FIG.III-9 : Comparaison entre les localisations d'un essaim de séismes, d'une part avec les ondes P, d'autre part avec les ondes P et S. Séismes du 01.10 à 23h18mn au 03.10 à 15h28mn.

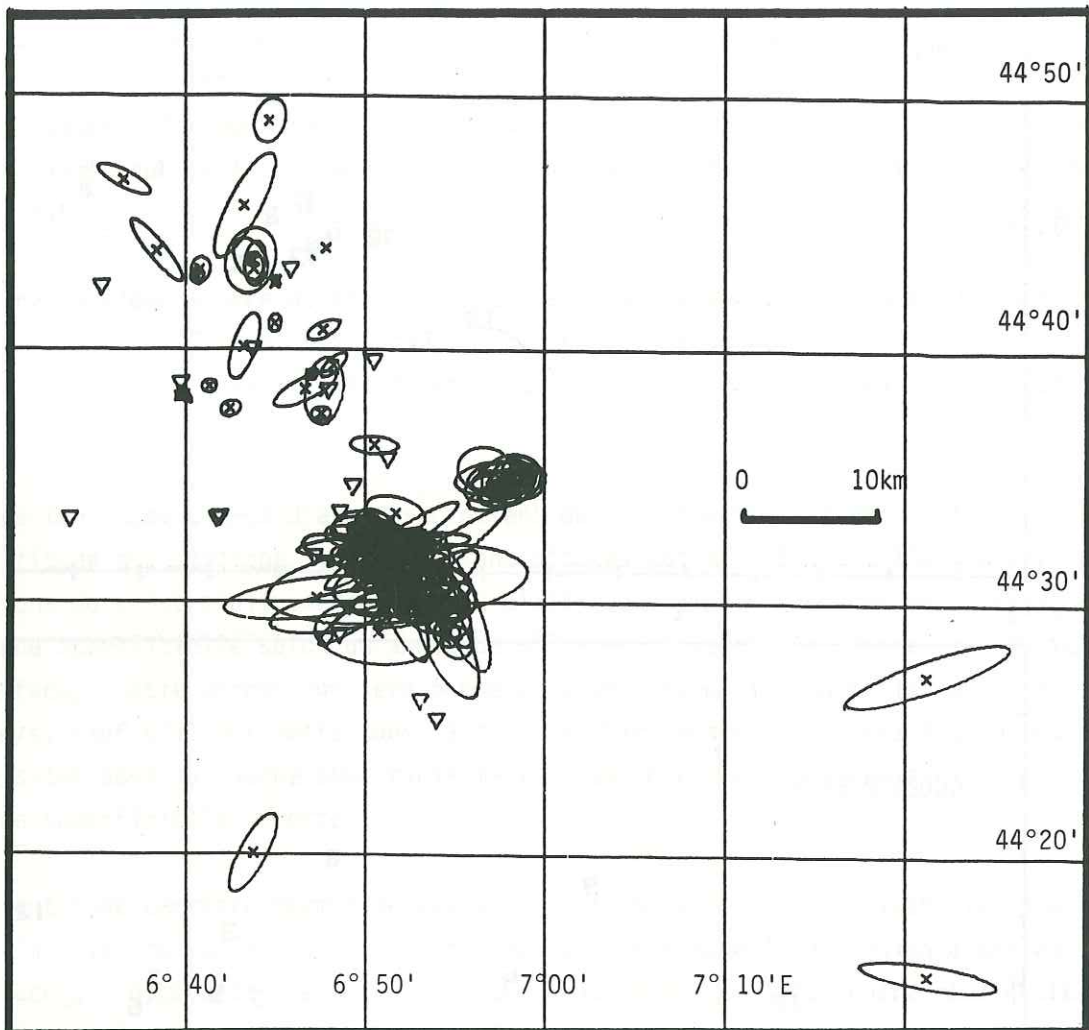


FIG.III-10a : Ellipses de confiance. Les triangles représentent les stations.

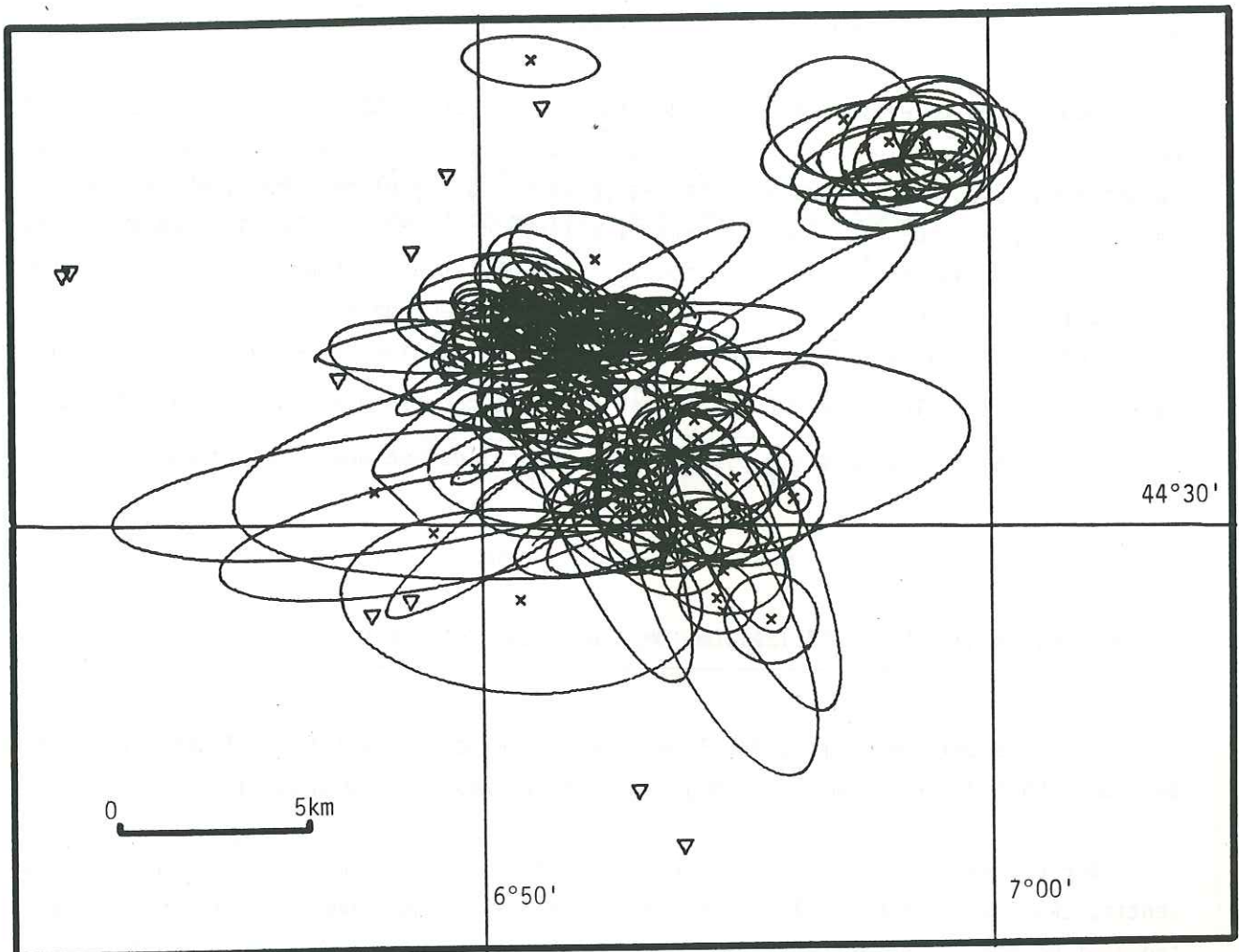


FIG.III-10b : Agrandissement de la figure III-10a . Ellipses de confiance pour les essais du Chambeyron et des Monts Pence et Gabel.

Pour les séismes nettement à l'extérieur du réseau, nous pensons que la détermination avec les ondes P et S est la meilleure car les ondes S apportent une contrainte importante sur la distance séisme \longleftrightarrow réseau, distance qui est mal déterminée avec les ondes P seules. L'erreur peut alors atteindre quelques kilomètres.

Nous avons déterminé, à l'aide du programme HYPOELLIPSE et de l'ordinateur C.D.C. de l'E.T.H. de Zürich, les ellipses de confiance de tous les séismes. Quelques séismes apparaissent avec des erreurs importantes (plus de 10 km) et ont été éliminés. Les autres sont présentés Fig. III - 10 avec l'ellipse de confiance dans le plan horizontal. Elles représentent la surface correspondant à la déviation standard, c'est-à-dire que l'épicentre a 68 % de chances de se trouver à l'intérieur de l'ellipse.

Les localisations à l'aide de HYPO 71 ayant été faites avec corrections d'altitude contrairement à celles de HYPOELLIPSE, les ellipses correspondant aux localisations de HYPO 71 doivent être en réalité plus petites que celles que nous présentons.

6. COMPARAISON AVEC LES LOCALISATIONS DU L.D.G. ET DU C.S.E.M.

Quelques séismes ont été localisés simultanément par le L.D.G., le Centre Sismologique Euro-Méditerranéen (C.S.E.M.) et par notre réseau (Tableau3-1).

Sur ces vingt séismes, deux d'entre eux ont été suffisamment forts pour être ressentis, ceux du 3 octobre à 1 h 26 mn et 1 h 43 mn, de magnitudes 3,1 et 2,9. Ils se trouvent en bordure de notre réseau, donc localisés avec une précision en tout cas meilleure que 5 kilomètres. Le L.D.G. les a localisés respectivement à 38 et 24 km vers l'E-SE, avec des erreurs sur la profondeur de 9,2 km vers le haut et 3,1 km vers le bas, respectivement. Les autres séismes, sauf deux, sont localisés par le L.D.G. avec seulement trois stations en Provence. Les erreurs sont toujours vers l'E-SE et atteignent 120 km.

La localisation du C.S.E.M. sur cette période pourrait être fautive dans la même direction d'une vingtaine de kilomètres. (Si notre localisation est juste).

Nous voyons donc l'apport considérable d'un tel réseau local : mise en évidence d'une activité sismique non connue, redéfinition de la sismicité qui est grossièrement fautive lorsqu'elle est étudiée avec des stations trop éloignées et trop mal réparties. Nous pensons que seule cette démarche peut permettre de corrélérer la sismicité avec des structures tectoniques observées.

TABLEAU III - 1 : Comparaison entre les localisations des séismes du Laboratoire de Détection et de Géophysique, du Centre Sismologique Euro-Méditerranéen, et de notre réseau provisoire Ubaye-Queyras 1977 (U.Q.77).

Format pour chaque séisme

Date , Heure

Latitude Nord , Longitude Est

Profondeur , Nombre de stations utilisées, Magnitude Locale (L.D.G.)

U . Q . 7 7	L . D . G .	C . S . E . M .
	21/09/77 01h20mn00,8s 44,1 7,7 Ind 3 2,8	
	21/09/77 01h20mn17,8s 44,1 7,8 Ind 10 2,9	
21/09/77 01h22mn08,20s 44,27 7,42 16,6 km 4	21/09/77 01h22mn08,0s 44,2 7,6 5 km 3 2,7	
	21/09/77 01h25mn23,2s 44,1 7,7 5 km 3 2,4	
23/09/77 00h41mn02,23s 44,53 6,87 2 km 11	23/09/77 00h41mn02,3s 44,6 7,1 Ind 3 2,3	
23/09/77 22h34mn12,83s 44,38 7,20 16,1 km 11	23/09/77 22h34mn11,5s 44,3 7,6 10 km 21 3,6	23/09/77 22h34mn11,0s 44,34 7,47 10 km
24/09/77 00h02mn03,14s 44,46 7,15 2,1 km 10	24/09/77 00h02mn02,6s 44,3 7,5 5 km 3 2,4	

U . Q . 7 7		L . D . G .		C . S . E . M .	
24/09/77	02h08mn58,59s	24/09/77	02h09mn02,3s		
44,53	6,87	44,0	7,7		→ 320 K.?
2,2 km	11	10 km	3	2,5	
25/09/77	21h12mn29,58s	25/09/77	21h12mn30,1s		
44,47	6,92	44,4	7,3		
2,2 km	11	Ind	3	2,3	
25/09/77	22h17mn43,62s	25/09/77	22h17mn41,2s		
44,33	6,73	44,3	7,3		
9,2 km	9	15 km	3	3,0	
		27/09/77	13h25mn58,8s		
		44,3	7,7		
		35 km	3	2,5	
28/09/77	01h11mn41,78s	28/09/77	01h11mn43,0s		
44,88	6,70	44,9	7,3		
3,5 km	11	Ind	3	2,7	
28/09/77	13h19mn01,36s	28/09/77	13h19mn01,9s		
44,43	7,16	44,2	7,5		
2,5 km	10	20 km	4	3,0	
02/10/77	23h32mn52,77s	02/10/77	23h32mn55,0s		
44,52	6,87	44,4	7,4		
4,0 km	11	10 km	3	2,4	
Signal identique au précédent, donc en :		02/10/77	23h47mn31,3s		
44,52 N et 6,87 E		44,3	7,4		
		10 km	3	2,6	
03/10/77	01h26mn38,52s	03/10/77	01h26mn38,1s		
44,57	7,00	44,5	7,4		
14,2 km	11	5 km	11	3,1	
03/10/77	01h43mn32,86s	03/10/77	01h43mn33,7s		
44,54	6,84	44,5	7,1		
1,9 km	9	5 km	9	2,9	

U . Q . 7 7	L . D . G .	C . S . E . M .
03/10/77 02h02mn22,82s 44,52 6,87 4,0 km 11	03/10/77 02h02mn26,5s 44,3 7,4 15 km 3 2,4	
Signal identique au précédent, donc en : 44,52 N et 6,87 E	03/10/77 02h17mn54,8s 44,4 7,2 10 km 3 2,7	
03/10/77 02h25mn40,02s 44,53 6,86 3,1 km 10	03/10/77 02h25mn43,2s 44,4 7,2 10 km 3 2,1	

N°	DATE	HEURE	LAT. N(°-')	LONG. E	PROF. (km)	N.ARRIVEES
1	13/09/77	19H51MN33.83S	44-31.47	6-49.21	6.13	4
2	13/09/77	19H52MN23.59S	44-31.81	6-48.50	0.04	4
3	13/09/77	20H37MN31.48S	44-31.65	6-48.42	2.13	4
4	14/09/77	8H17MN59.09S	44-37.64	6-42.60	3.54	7
5	15/09/77	0H16MN29.59S	44-32.11	6-51.42	3.84	9
6	15/09/77	2H37MN31.58S	44-46.11	6-43.49	3.05	8
7	15/09/77	3H 4MN35.30S	44-40.11	6-43.26	2.56	5
8	15/09/77	10H 1MN59.47S	44-29.58	6-49.97	6.58	8
9	15/09/77	13H48MN 7.03S	44-29.89	6-54.20	2.08	11
10	15/09/77	21H 8MN14.19S	44-30.99	6-51.73	1.92	20
11	15/09/77	23H35MN16.69S	44-30.43	6-53.68	1.20	16
12	16/09/77	1H34MN19.75S	44-28.80	6-54.99	2.27	18
13	16/09/77	4H 6MN51.78S	44-30.00	6-54.10	1.46	17
14	16/09/77	7H 3MN52.74S	44-29.80	6-54.50	0.96	8
15	16/09/77	8H33MN16.21S	44-38.42	6-39.72	2.95	10
16	16/09/77	9H51MN47.74S	44-49.32	6-45.16	0.29	15
17	16/09/77	13H 1MN23.55S	44-29.78	6-55.10	1.09	16
18	16/09/77	18H 5MN 5.32S	44-35.86	7-30.01	3.73	16
19	16/09/77	18H27MN20.11S	44-37.45	6-47.09	3.10	8
20	16/09/77	20H46MN 1.43S	44-32.50	6-51.27	1.18	9
21	16/09/77	22H 9MN 5.09S	44-32.99	6-50.06	0.80	14
22	16/09/77	23H19MN52.96S	44-38.19	6-40.21	1.86	5
23	17/09/77	2H 4MN31.04S	44-30.74	6-49.90	1.35	10
24	17/09/77	2H 7MN 9.13S	44-32.29	6-49.77	2.24	15
25	17/09/77	2H26MN39.61S	44-30.05	6-53.82	0.94	15
26	17/09/77	4H21MN31.33S	44-29.94	6-50.66	4.32	6
27	17/09/77	4H23MN 8.43S	44-31.95	6-51.21	1.78	6
28	17/09/77	6H17MN48.71S	44-43.65	6-44.10	3.52	17
29	17/09/77	6H21MN40.81S	44-43.51	6-43.61	4.15	18
30	17/09/77	9H10MN12.07S	44-30.87	6-53.76	0.40	15
31	17/09/77	11H 8MN15.55S	44-32.22	6-50.75	0.15	10
32	17/09/77	14H41MN12.03S	44-42.47	6-43.62	1.88	5
33	17/09/77	15H20MN57.97S	44-42.48	6-43.60	1.82	6
34	17/09/77	15H51MN 1.27S	44-30.35	6-52.79	1.13	19
35	17/09/77	15H58MN44.02S	44-32.47	6-50.86	0.50	7
36	17/09/77	20H41MN35.38S	44-28.41	6-54.22	2.70	16
37	17/09/77	22H10MN15.24S	44-30.40	6-53.04	0.04	9
38	17/09/77	23H20MN59.48S	44-29.57	6-50.97	5.15	8
39	18/09/77	7H21MN 4.72S	44-29.39	6-54.42	1.59	18
40	18/09/77	7H27MN 6.52S	44-32.39	6-49.87	1.02	17
41	18/09/77	16H18MN53.32S	44-29.82	6-53.19	1.29	14
42	18/09/77	21H 3MN13.27S	44-32.01	6-50.90	2.01	7
43	19/09/77	0H34MN56.64S	44-30.15	6-51.32	1.20	5
44	19/09/77	1H10MN16.85S	44-38.60	6-48.07	2.90	6
45	19/09/77	1H28MN13.47S	44-29.58	6-54.75	1.51	10
46	19/09/77	16H34MN19.33S	44-31.78	6-51.91	1.16	16
47	19/09/77	20H57MN20.41S	44-29.99	6-53.08	0.42	9
48	19/09/77	21H 8MN17.68S	44-36.57	6-46.37	5.20	5
49	19/09/77	21H45MN50.66S	44-28.73	6-54.94	0.39	15
50	19/09/77	21H53MN27.75S	44-27.39	7-22.15	17.88	18

TABLEAU III-2 : Séismes déterminés avec les ondes P et S.
(Heure d'été française = G.M.T.+ 2)

N°	DATE	HEURE	LAT. N	LONG. E	PROF.	N.ARRIVEES
51	19/09/77	22H49MN29.24S	44-30.49	6-52.50	0.72	18
52	20/09/77	1F23MN 6.97S	44-32.59	6-50.19	1.13	17
53	20/09/77	7F 5MN51.70S	44-31.86	6-51.60	0.25	17
54	20/09/77	9H49MN19.26S	44-30.91	6-49.91	2.86	13
55	20/09/77	17F58MN 6.26S	44-31.14	6-51.04	1.89	16
56	20/09/77	20F 9MN35.01S	44-29.90	6-52.40	1.70	11
57	20/09/77	21H49MN16.45S	44-31.23	6-51.15	3.66	14
58	20/09/77	21F58MN55.47S	44-31.21	6-51.40	1.98	18
59	21/09/77	2H14MN55.89S	44-30.49	6-52.60	1.53	19
60	21/09/77	2H35MN31.46S	44-40.99	6-45.02	5.39	12
61	21/09/77	3H22MN 8.20S	44-15.97	7-25.03	16.58	7
62	21/09/77	4H53MN 9.64S	44-31.86	6-51.61	0.27	17
63	21/09/77	6F27MN 2.12S	44-32.27	6-50.63	2.52	13
64	21/09/77	6F52MN39.12S	44-32.12	6-50.96	1.74	18
65	21/09/77	9H12MN27.68S	44-30.56	6-54.28	0.02	11
66	21/09/77	9F30MN28.07S	44-30.12	6-52.64	1.11	8
67	21/09/77	10H 4MN42.39S	44-31.44	6-51.05	2.71	11
68	21/09/77	10H35MN33.80S	44-31.54	6-50.67	5.26	9
69	21/09/77	12H31MN51.22S	44-31.23	6-51.21	3.34	9
70	21/09/77	18H11MN25.56S	44-30.87	6-51.22	2.63	10
71	21/09/77	18F39MN57.91S	44-31.30	6-48.25	2.44	6
72	21/09/77	21F24MN51.30S	44-33.27	6-47.38	6.14	8
73	21/09/77	23H CMN55.56S	44-29.68	6-51.98	4.28	10
74	21/09/77	23F 4MN12.87S	44-32.36	6-50.37	3.05	20
75	21/09/77	23F 8MN 0.41S	44-32.02	6-50.86	1.89	12
76	21/09/77	23H15MN44.95S	44-32.47	6-49.95	3.49	10
77	22/09/77	2H 8MN25.80S	44-31.95	6-49.92	2.52	12
78	22/09/77	2H 9MN44.30S	44-32.43	6-49.86	3.11	12
79	22/09/77	4H23MN15.78S	44-32.29	6-50.66	3.19	12
80	22/09/77	4H37MN44.46S	44-32.15	6-50.62	3.96	10
81	22/09/77	7H45MN43.79S	44-30.80	6-52.14	1.77	14
82	22/09/77	10F32MN 9.90S	44-31.94	6-50.27	5.31	6
83	22/09/77	10F57MN 9.61S	44-30.37	6-52.80	3.67	7
84	22/09/77	11F14MN 5.61S	44-29.96	6-52.90	1.41	8
85	22/09/77	21F28MN55.57S	44-33.05	6-51.78	3.23	9
86	22/09/77	21H33MN29.55S	44-30.18	6-51.48	1.27	12
87	22/09/77	22H17MN51.21S	44-31.41	6-50.00	6.70	6
88	22/09/77	23F13MN55.43S	44-29.99	6-51.02	0.95	10
89	22/09/77	23H37MN11.20S	44-40.55	6-48.13	6.17	6
90	23/09/77	0H CMN34.48S	44-30.03	6-53.16	0.89	8
91	23/09/77	2H33MN 7.24S	44-29.97	7- 3.28	3.08	12
92	23/09/77	2H41MN 2.23S	44-31.96	6-51.96	2.00	18
93	23/09/77	2F50MN27.92S	44-29.65	6-53.57	1.33	10
94	23/09/77	3F 2MN 8.00S	44-32.09	6-51.27	2.01	5
95	23/09/77	3H36MN29.14S	44-32.24	6-51.05	2.03	17
96	23/09/77	4H26MN10.15S	44-32.15	6-51.23	2.15	8
97	23/09/77	6H 7MN28.38S	44-32.24	6-51.19	2.09	20
98	23/09/77	6H16MN40.22S	44-29.73	6-48.76	7.17	6
99	23/09/77	22H 3MN56.23S	44-30.39	6-53.91	0.55	18
100	23/09/77	23H26MN 6.95S	44-38.49	6-46.80	2.40	13

TABLEAU III-2 : Suite.

N°	DATE	HEURE	LAT. N	LONG. E	PROF.	N.ARRIVEES
101	24/09/77	0H34MN12.83S	44-22.51	7-12.06	16.11	12
102	24/09/77	2H 2MN 3.14S	44-27.40	7- 9.25	2.08	19
103	24/09/77	4H 8MN58.59S	44-31.61	6-52.17	2.22	21
104	24/09/77	9H22MN12.86S	44-35.60	6-50.50	3.22	17
105	24/09/77	12H 1MN 7.25S	44-38.25	6-46.45	1.86	6
106	24/09/77	12H25MN 5.44S	44-33.11	7-10.96	2.08	13
107	24/09/77	13H 1MN11.48S	44-30.29	6-52.15	1.37	12
108	25/09/77	1H41MN 6.03S	44-31.95	6-51.34	5.25	18
109	25/09/77	3H33MN 1.23S	44-31.70	6-51.24	1.74	20
110	25/09/77	3H53MN50.79S	44-32.28	6-50.67	3.18	11
111	25/09/77	4H54MN49.96S	44-31.11	6-51.61	1.81	14
112	25/09/77	8H10MN11.85S	44-31.68	6-50.80	2.14	16
113	25/09/77	23H12MN29.58S	44-28.03	6 55.33	2.20	21
114	26/09/77	0H17MN43.62S	44-19.55	6-44.08	5.23	18
115	26/09/77	16H52MN54.02S	44-29.73	6-53.76	0.82	16
116	26/09/77	18H40MN19.29S	44-20.53	6-53.55	1.24	12
117	26/09/77	18H42MN49.40S	44-30.76	6-53.64	1.58	15
118	26/09/77	18H58MN 3.79S	44-31.66	6-50.13	4.86	12
119	26/09/77	20H 8MN23.46S	44-30.47	6-53.90	1.36	11
120	27/09/77	14H19MN12.54S	44-31.38	6-52.54	1.17	11
121	27/09/77	14H31MN49.98S	44-31.59	6-52.89	0.07	17
122	27/09/77	15H22MN28.53S	44-31.29	6-52.13	1.03	5
123	27/09/77	16H 2MN18.31S	44-45.90	6-37.77	1.63	8
124	27/09/77	17H30MN15.61S	44-31.48	6 50.41	2.12	6
125	27/09/77	18H17MN20.94S	44-31.56	6-51.74	0.47	6
126	27/09/77	22H19MN28.84S	44-31.49	6-52.43	1.07	10
127	28/09/77	2H41MN29.26S	44-30.52	6-52.62	1.21	15
128	28/09/77	3H11MN41.78S	44-32.53	6-42.17	3.48	15
129	28/09/77	14H 4MN35.51S	44-30.55	6-53.53	6.52	9
130	28/09/77	15H19MN 1.36S	44-26.02	7- 9.30	2.52	22
131	28/09/77	19H17MN43.80S	44-38.74	6-48.12	2.52	11
132	28/09/77	19H19MN30.03S	44-32.25	6-49.91	2.01	9
133	29/09/77	18H26MN44.86S	44-31.40	6-49.99	2.10	5
134	29/09/77	21H46MN11.92S	44-29.80	6-52.31	2.34	8
135	29/09/77	21H53MN10.37S	44-30.51	6-49.43	2.80	12
136	30/09/77	0H22MN34.49S	44-31.36	6-52.10	1.46	8
137	30/09/77	4H26MN 4.47S	44-31.07	6-48.38	2.05	17
138	30/09/77	14H16MN43.35S	44-34.06	6-57.34	10.57	10
139	30/09/77	14H21MN30.45S	44-34.05	6-57.61	11.42	18
140	30/09/77	19H50MN 9.54S	44-32.07	6 50.20	4.07	15
141	30/09/77	19H56MN10.24S	44-32.03	6-50.11	3.65	18
142	30/09/77	20H16MN43.83S	44-32.06	6-50.00	3.63	11
143	30/09/77	20H40MN20.33S	44-37.63	6-40.65	1.93	8
144	30/09/77	23H 9MN57.53S	44-31.56	6-52.31	1.61	11
145	01/10/77	1H 8MN52.15S	44-42.20	6-40.61	0.50	17
146	01/10/77	4H59MN25.05S	44-33.89	6-58.57	8.25	16
147	01/10/77	5H26MN 6.77S	44-31.73	6-51.39	2.62	9
148	01/10/77	7H14MN52.61S	44-42.08	6-40.38	1.16	16
149	01/10/77	7H27MN 6.37S	44-33.67	6-57.70	11.07	17
150	01/10/77	7H51MN21.22S	44-33.66	6-57.53	5.80	14

TABLEAU III-2 : Suite.

N ^o	DATE	HEURE	LAT. N	LONG. E	PROF.	N. ARRIVEES
151	01/10/77	7H51MN49.55S	44-33.42	6-57.22	10.36	16
152	01/10/77	9H 9MN25.72S	44-33.92	6-58.60	8.43	17
153	01/10/77	10H27MN44.86S	44-33.35	6-57.26	10.81	13
154	01/10/77	14H22MN25.01S	44-34.33	6-58.21	10.26	15
155	01/10/77	22H42MN41.24S	44-34.36	6-57.72	9.34	16
156	01/10/77	23H18MN27.21S	44-31.33	6-51.63	4.68	15
157	02/10/77	3H23MN37.13S	44-30.71	6-53.79	2.95	10
158	02/10/77	4H59MN23.27S	44-34.06	6-58.43	8.46	18
159	02/10/77	5H38MN39.80S	44-30.90	6-50.73	2.50	11
160	02/10/77	11H21MN 7.91S	44-34.05	6-58.09	11.11	19
161	03/10/77	0H 7MN46.21S	44-31.56	6-52.14	2.51	17
162	03/10/77	1H32MN52.77S	44-31.46	6-52.10	3.98	17
163	03/10/77	1H49MN37.65S	44-31.49	6-51.73	3.06	17
164	03/10/77	1H52MN15.63S	44-31.47	6-52.16	1.84	13
165	03/10/77	3H24MN29.98S	44-31.45	6-52.28	3.26	16
166	03/10/77	3H26MN33.52S	44-33.99	7- 0.17	14.19	11
167	03/10/77	3H43MN32.86S	44-32.10	6-50.10	1.93	9
168	03/10/77	4H 2MN22.82S	44-31.49	6-52.25	3.99	18
169	03/10/77	4H 4MN 1.10S	44-41.75	6-44.45	0.26	7
170	03/10/77	4H 8MN26.76S	44-31.67	6-51.99	3.15	19
171	03/10/77	4H25MN40.02S	44-31.63	6-51.61	3.07	18
172	03/10/77	4H53MN53.64S	44-31.46	6-51.31	4.60	18
173	03/10/77	8H16MN59.30S	44-31.18	6-51.47	4.87	14
174	03/10/77	15H 5MN 3.65S	44-31.59	6-52.42	4.00	11
175	03/10/77	15H28MN31.99S	44-31.27	6-51.37	4.96	9
176	03/10/77	16H36MN24.37S	44-33.77	6-58.01	8.42	18
177	03/10/77	19H32MN18.92S	44-43.05	6-47.62	9.45	8
178	03/10/77	21H24MN35.08S	44-30.34	6-53.24	0.73	11
179	04/10/77	9H54MN34.56S	44-23.43	6-57.56	11.31	15
180	04/10/77	11H20MN44.63S	44-23.51	6-58.52	9.95	15
181	04/10/77	15H21MN12.30S	44-29.61	6-52.30	7.18	6
182	04/10/77	16H31MN32.42S	44-28.82	6-54.78	1.89	6
183	04/10/77	20H49MN23.46S	44-32.17	6-50.29	3.23	11
184	04/10/77	23H26MN49.22S	44-31.34	6-51.77	2.18	11
185	05/10/77	0H20MN10.75S	44-21.22	6-51.47	3.56	13
186	05/10/77	9H11MN50.61S	44-29.75	6-52.10	0.95	11
187	05/10/77	9H59MN54.21S	44-30.15	6-52.72	0.36	5
188	05/10/77	10H46MN12.95S	44-23.98	6-51.26	7.42	7
189	05/10/77	19H56MN 5.67S	44-42.92	6-37.96	3.64	17
190	06/10/77	7H21MN26.55S	44-30.51	6-52.76	2.23	9
191	06/10/77	7H50MN23.83S	44-41.40	6-44.55	1.95	7

TABLEAU III-2 : Suite.

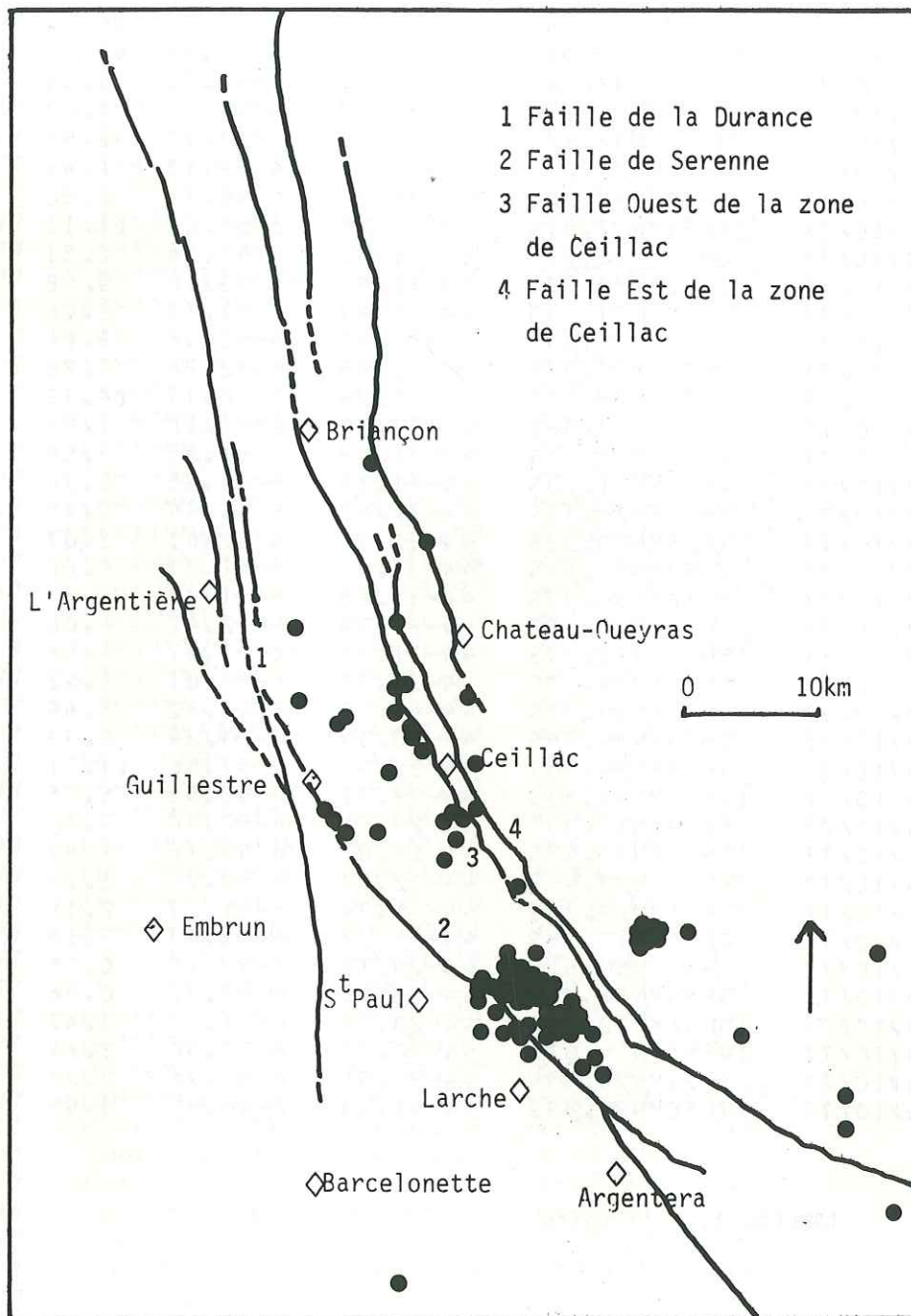


FIG.III-11 : Carte des séismes localisés avec les ondes P et S , superposés aux failles décrites dans Barfety et al. (1968).

7. REPARTITION DES SEISMES, COMPARAISON AVEC LES DONNEES GEOLOGIQUES

Environ 80 % des 192 séismes localisés se regroupent en trois essais : celui du Brec de Chambeyron (lui-même divisé en deux groupes) avec des profondeurs de 0 à 5 km (en dessous de l'altitude de référence égale à 1 500 mètres), celui de Rocca Blanca avec des profondeurs de 0 à 2 km, enfin celui des Monts Pence et Gabel à des profondeurs allant de 8 à 14 km. La plupart des trente séismes restant sont situés à l'intérieur du réseau et sont donc très bien localisés. Leurs profondeurs varient de 0 à 7 km. Environ vingt-deux de ces séismes sont bien situés sur les grandes failles longitudinales au Nord Ouest de la haute vallée de l'Ubaye. Au Sud Est de cette ligne, seuls quelques séismes peuvent être rattachés à la faille de Serenne.

Les trois essais précédents ne peuvent pas être reliés à une des grandes failles proches. L'essai des Monts Pence et Gabel est trop profond pour que cette corrélation soit possible. Les essais du Chambeyron et de Rocca Blanca se situent exactement entre les failles de Serenne et la faille Ouest de la zone de Ceillac.

Nous avons fait des coupes selon deux axes parallèle et perpendiculaire respectivement aux structures (azimut 145°). (Fig. III - 12).

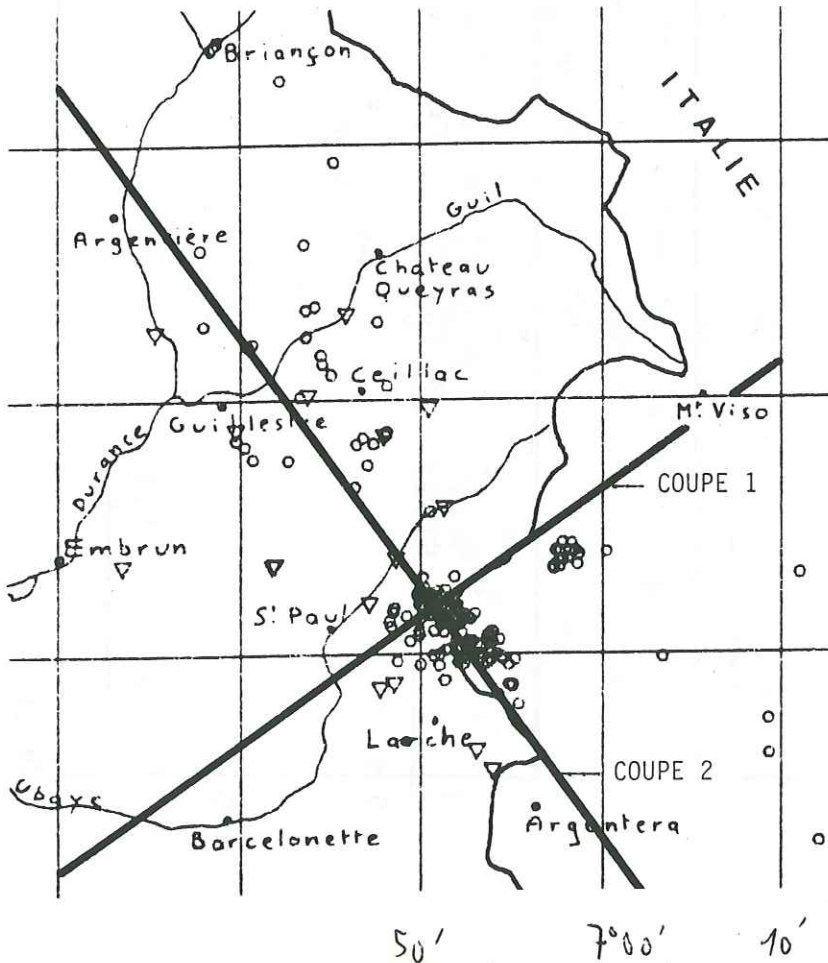


FIG. III-12a : Emplacement des coupes.

Coupe 1: Azimut 55°

Coupe 2: Azimut 145°
40'

$46^\circ 30'$

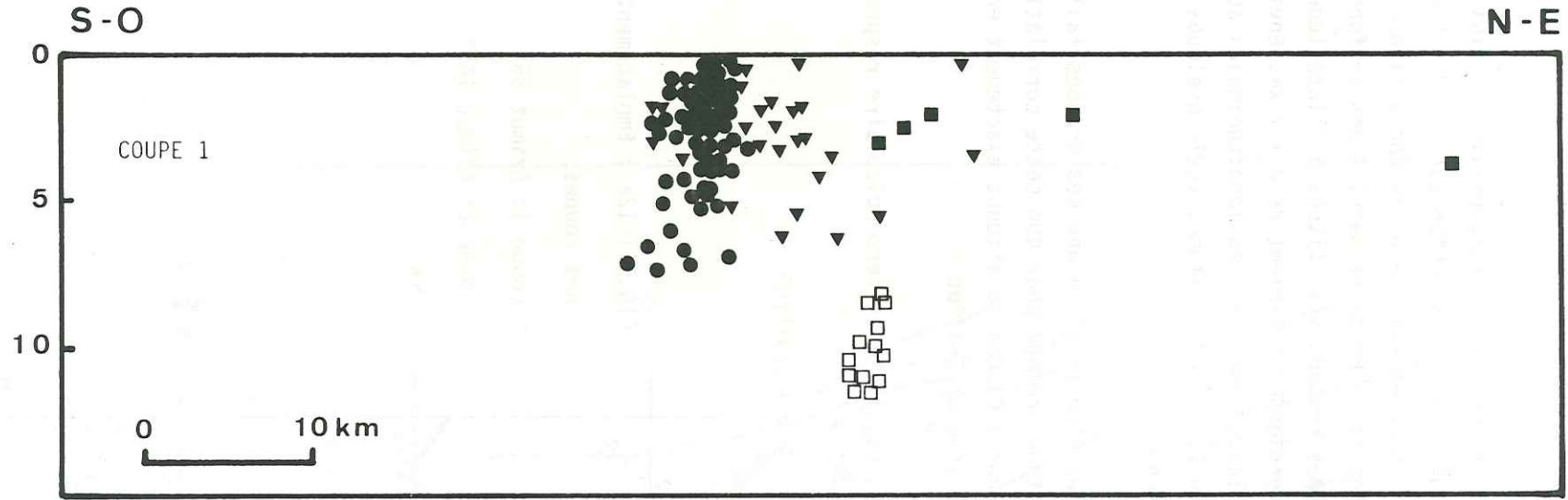


FIG.III-12b : Coupes de tous les séismes déterminés avec les ondes P et S. Triangles: séismes au nord de la vallée de l'Ubaye. Ronds: séismes des essaims du Chambeyron et de Rocca-Blanca. Carrés creux: essaim des M^{ts} Pence et Gabel. Carrés pleins: séismes du sud-est.

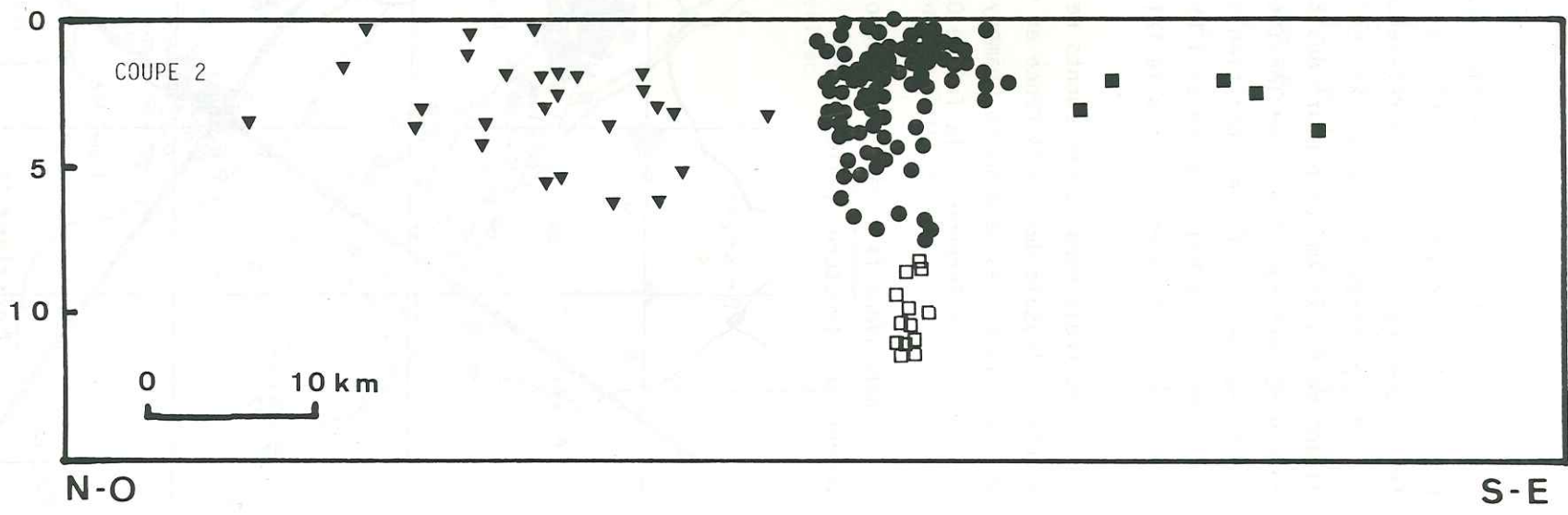
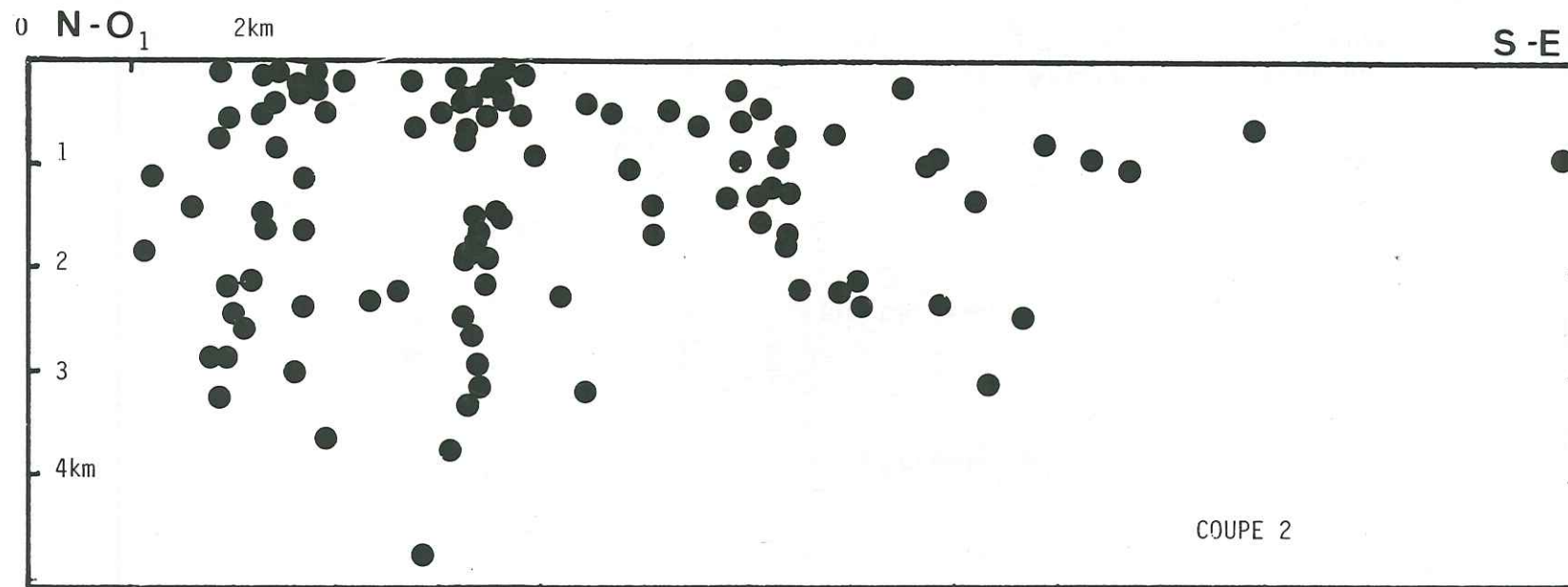


FIG. III-12c : Coupe des sêismes du Chambeyron et de Rocca-Blanca, déterminês avec les ondes P, dans un modêles de vitesse sans couche superficielle plus lente. Les alignements verticaux qui apparaissent au nord-ouest sont peut-être dus à l'incertitude sur la profondeur.



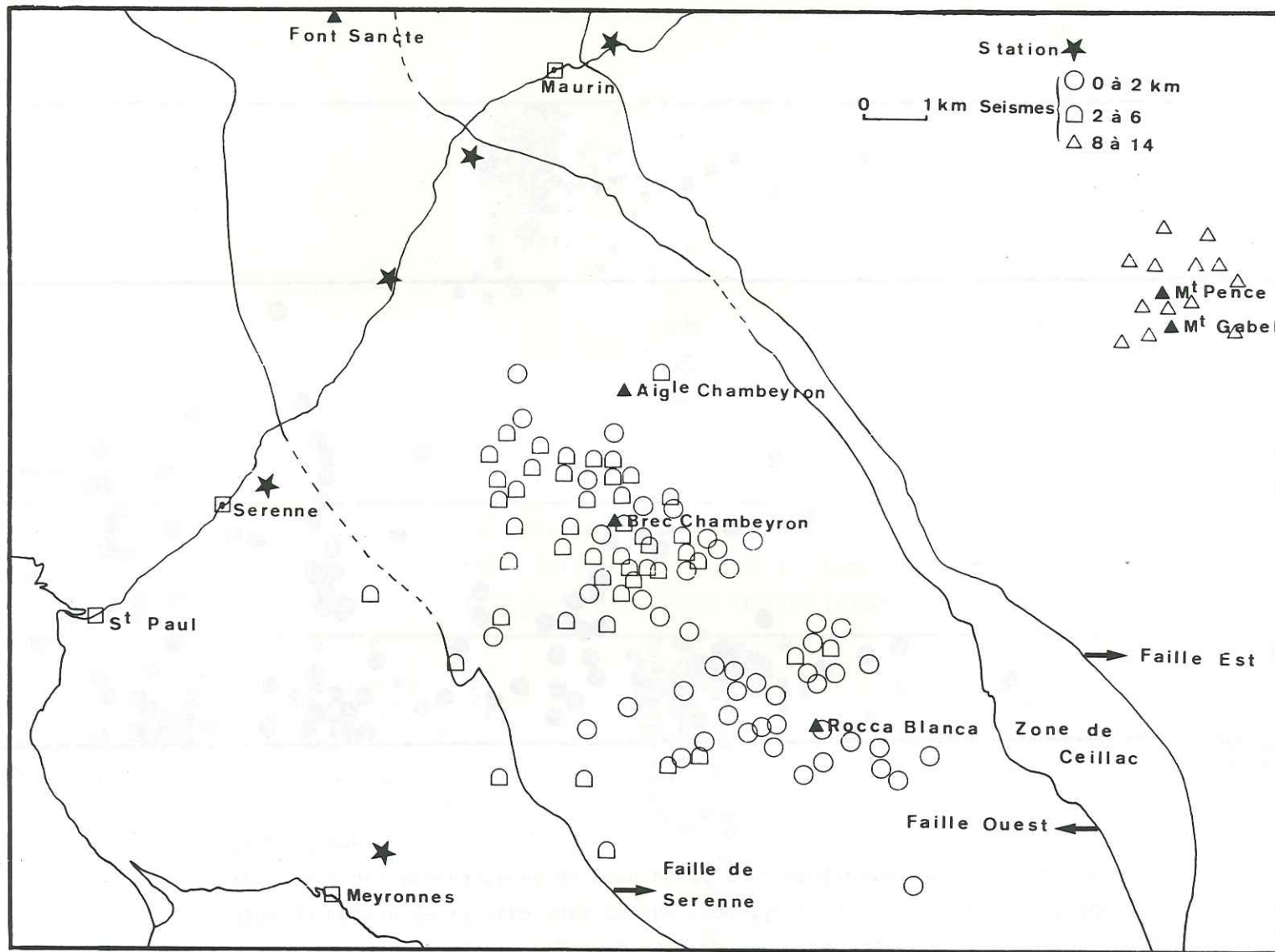


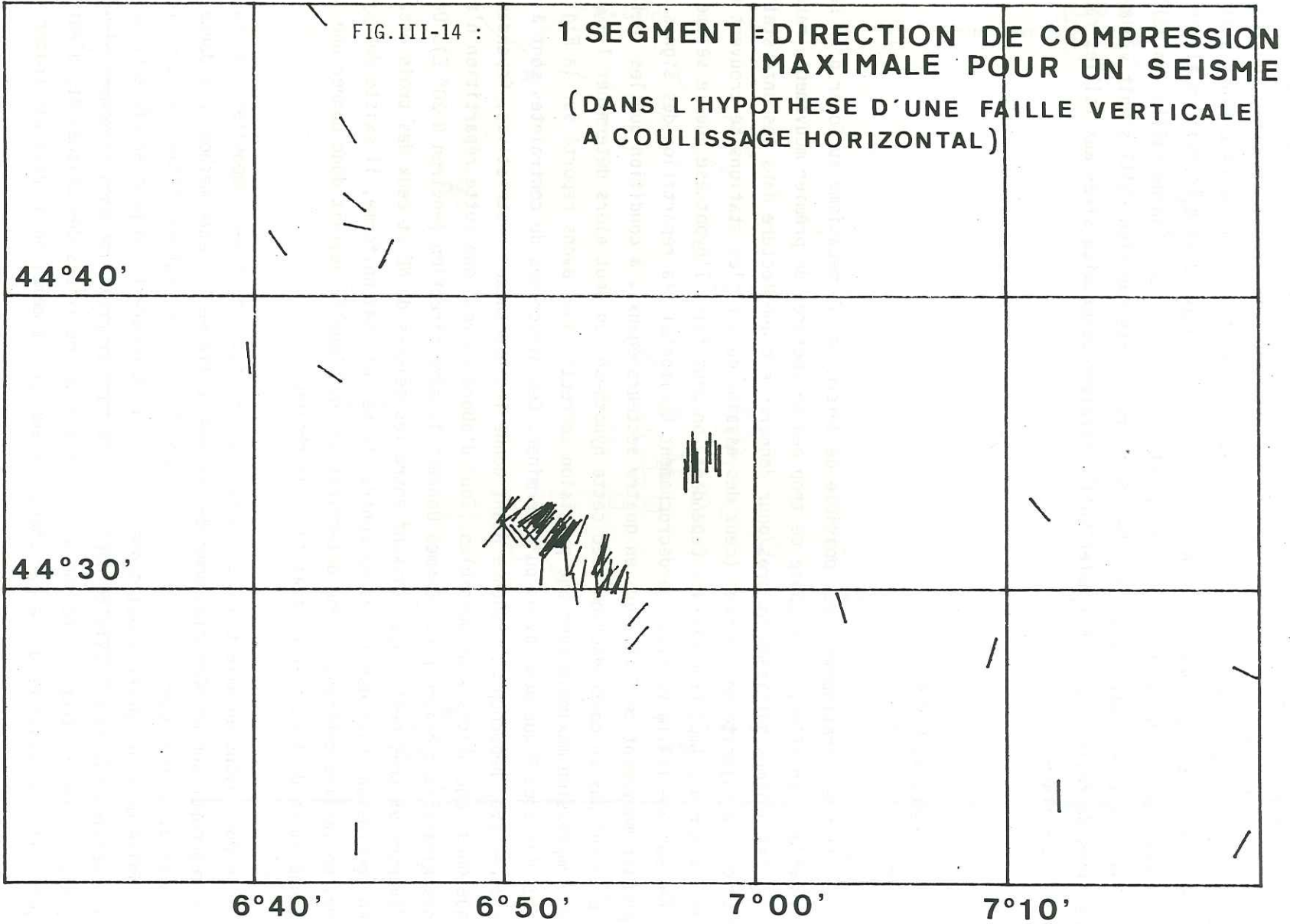
FIG.III-13 : Carte des essais du Chambeyron, de Rocca-Blanca et des M^{ts} Pence et Gabel. Symbole fonction de la profondeur. Indication des grandes failles longitudinales.

On vérifie sur ces coupes pour les séismes des trois essais, que ceux-ci ne s'alignent pas sur les deux failles subverticales de Serenne et de la zone de Ceillac. Si on fait une coupe avec les séismes déterminés seulement avec les ondes P, on voit apparaître des alignements verticaux très nets. Nous n'avons pas pu déterminer s'il s'agit de séismes groupés mais dont l'incertitude en profondeur donnerait un alignement vertical, ou bien s'il s'agit vraiment de la trace d'un plan de faille. Un meilleur réseau serait nécessaire pour trancher cette importante question. S'il s'agit vraiment de plans de failles, il est à noter qu'ils seraient perpendiculaires aux failles recon- nues en surface.

8. MECANISMES AU FOYER

Il n'est pratiquement pas possible de déterminer le mécanisme au foyer d'un séisme individuel. En effet, on dispose de trop peu de lectures de premier mouvement (rares sont les séismes suffisamment gros pour donner une bonne lecture dans les onze stations), et pour la majorité des séismes (ceux des essais du S-E) les stations se trouvent dans un secteur d'azimut trop étroit. Cependant, on peut faire l'hypothèse que le séisme a lieu sur une faille verticale à décrochement horizontal (la répartition des signes de premier mouvement se fait alors en quatre secteurs égaux), à condition que les lectures ne soient pas en contradiction avec cette hypothèse. On peut alors déterminer l'axe P de compression maximale avec une précision correcte. Nous avons reporté sur la Fig.3-14 tous les axes P que nous avons pu déterminer. Ces directions de contraintes sont à considérer avec beaucoup de prudence étant donné les hypothèses restrictives. Cependant, quelques conclusions sont possibles. Tout d'abord on voit que cette répartition n'est pas aléatoire ; beaucoup de séismes donnent la même direction (environ N 20° E). Des divergences très nettes apparaissent entre les séismes du NO et ceux des trois essais. En conclusion, bien que l'état de contrainte ne soit pas uniforme, il existe des systèmes de failles cohérentes. Une détermination individuelle devrait donc donner une très bonne image de l'état de contrainte de la région.

Nous avons ensuite tenté de faire des mécanismes au foyer composites. Il s'agit de regrouper sur un même diagramme des séismes différents. Cette méthode n'a donné un bon résultat que pour l'essai de Rocca Blanca. Pour les autres séismes, nous n'avons pu faire de regroupements qui donnent un résultat cohérent. On peut en effet grouper les séismes par leur proximité dans l'espace ou leur proximité dans le temps. Si l'on prend une région trop petite, on n'est pas sûr des positions des séismes et, d'autre part, l'information apportée par chaque séisme est la même, on ne peut pas tracer le



mécanisme. Si on prend une région plus grande, il y a alors en général plusieurs mécanismes différents superposés, que l'on ne peut pas résoudre. En ce qui concerne la proximité dans le temps, elle ne garantit pas toujours la similitude des mécanismes au foyer. Par exemple, les deux séismes du 01.10.1977 situés à 200 mètres de distance et à six heures d'intervalle, ont des signes de premier mouvement très différents (Fig.3-16). Nous avons pu, malgré ces difficultés, grouper un certain nombre de séismes de l'essai du Chambeyron qui donnent des signes cohérents. Nous présentons donc les sphères focales composites pour l'essai de Rocca Blanca au complet, et pour une partie de l'essai du Brec de Chambeyron. Les azimuts des axes P (compression maximale) sont respectivement 25° et 50° , les azimuts des axes T (extension maximale) sont 105° et 75° .

Le mécanisme de Rocca Blanca est suffisamment cohérent et clair pour pouvoir être considéré comme une donnée sûre. Il existe donc dans cette zone des failles à coulissage horizontal avec un axe de compression maximale de direction N 25° E. Parmi les deux plans nodaux, la géologie suggère que le plan d'azimut 155° est le véritable plan de faille, avec un coulissage dextre.

Par contre, le mécanisme du Brec de Chambeyron est beaucoup moins fiable. D'abord il ne concerne qu'une partie des séismes (une dizaine). Ensuite, des problèmes d'interprétation se posent : on sait que l'angle de départ du rai observé en première arrivée n'est pas bien déterminé, car on ne sait pas toujours si l'on a affaire à un rai direct ou à une onde réfractée en profondeur dans une couche plus rapide. Mais, en outre, l'azimut du rai peut être faux si l'onde en première arrivée s'est propagée dans une zone plus rapide d'un côté de la faille (Fig.3-17). Ceci a été constaté en Californie sur la faille de San Andreas (N. Pavoni, communication orale). Le résultat est qu'il peut exister des dilatations au milieu des compressions ou l'inverse. Cela pourrait se produire dans notre zone où des failles séparent des quartzites (vitesse élevée) de roches sédimentaires plus lentes. En ce qui concerne le mécanisme du Brec de Chambeyron, on peut donc dire : s'il s'agit d'un failage normal, les plans de faille sont mal déterminés, et s'il s'agit d'un coulissage horizontal, le mécanisme est semblable à celui de Rocca Blanca. Il faudrait un réseau plus dense et une meilleure connaissance des vitesses en profondeur pour répondre correctement à cette alternative.

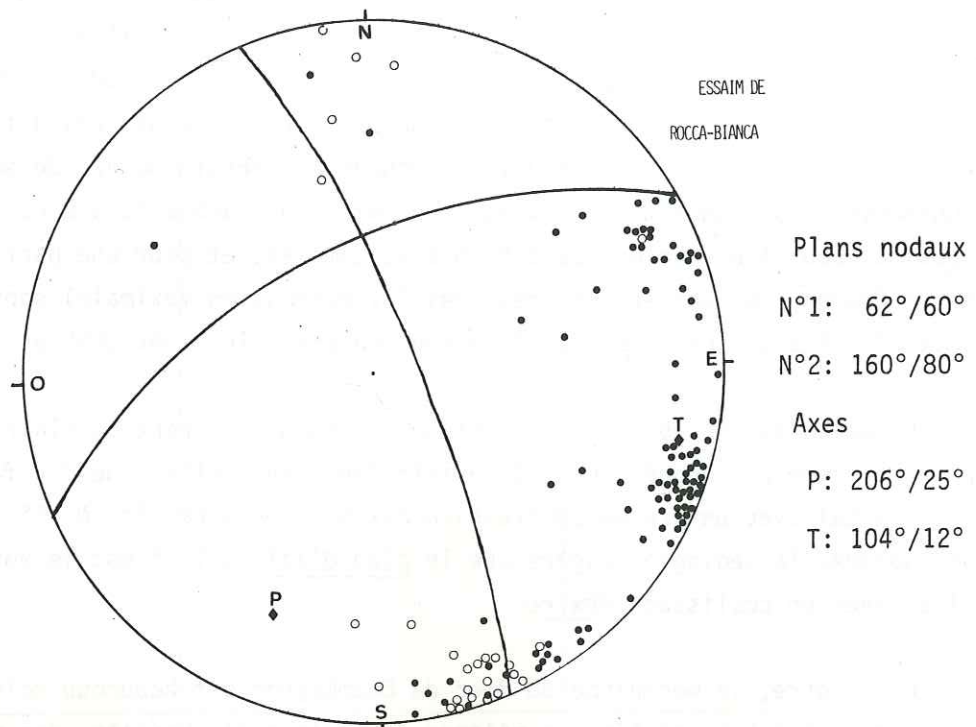
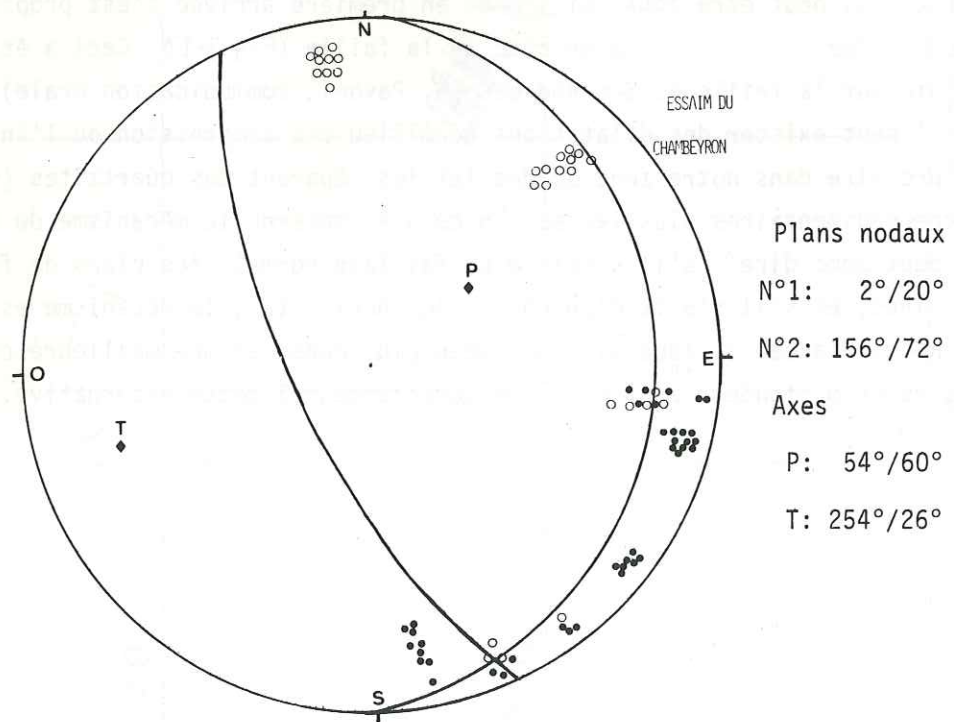


FIG.III-15 : Mécanismes au foyer composites pour les essaims de Rocca-Blanca (tous les séismes) et du Chambeyron (une partie des séismes). Azimuts et pendages des plans nodaux et des axes P et T .



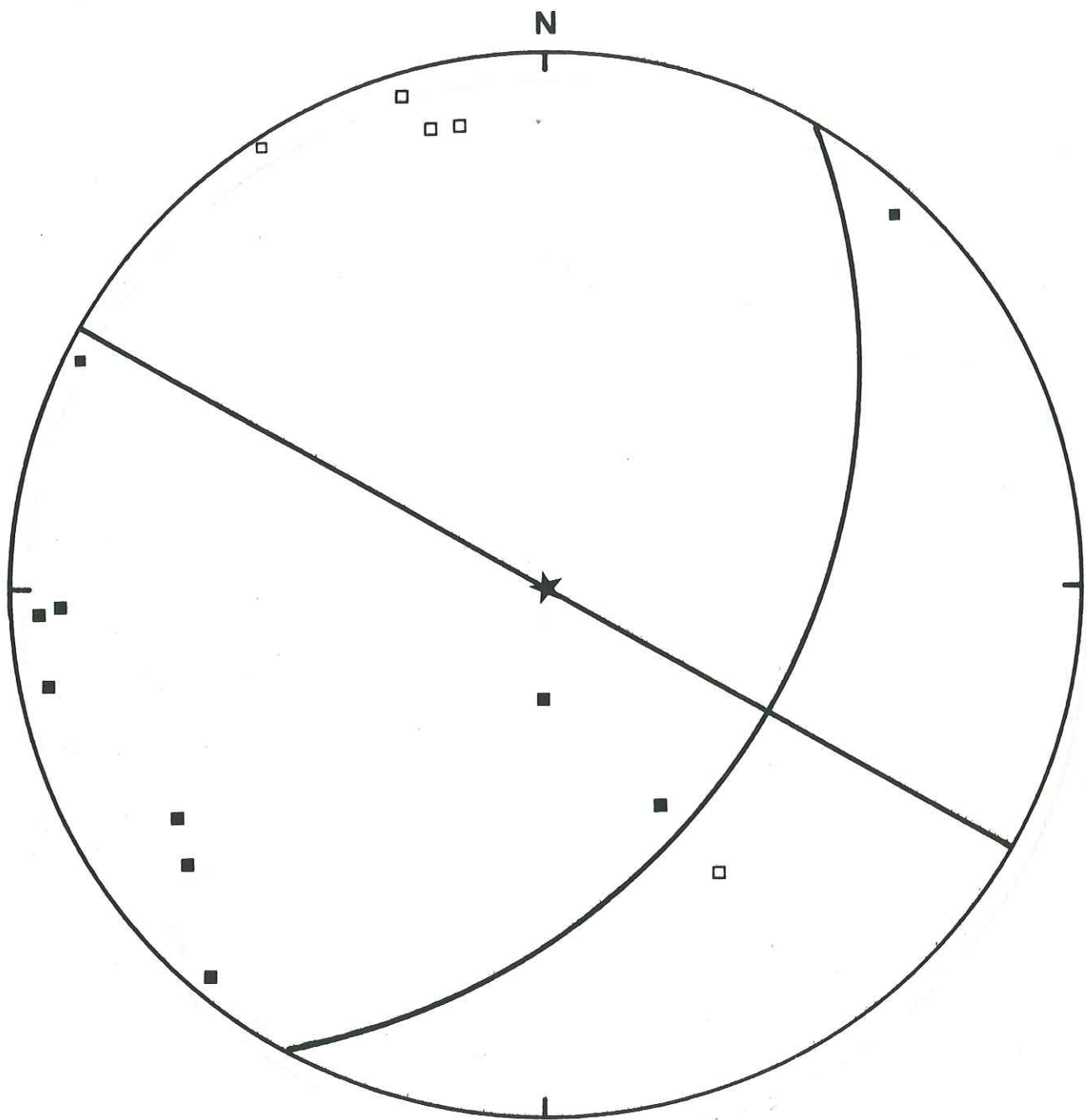


FIG.III-15b : Solution focale composite des séismes N^{os} 15,22 et 143.
Ces séismes, situés sur la faille de la Durance, juste au
SE de Guillestre, suggèrent un jeu dextre de cette faille.

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail: ptalour@ujf-grenoble.fr

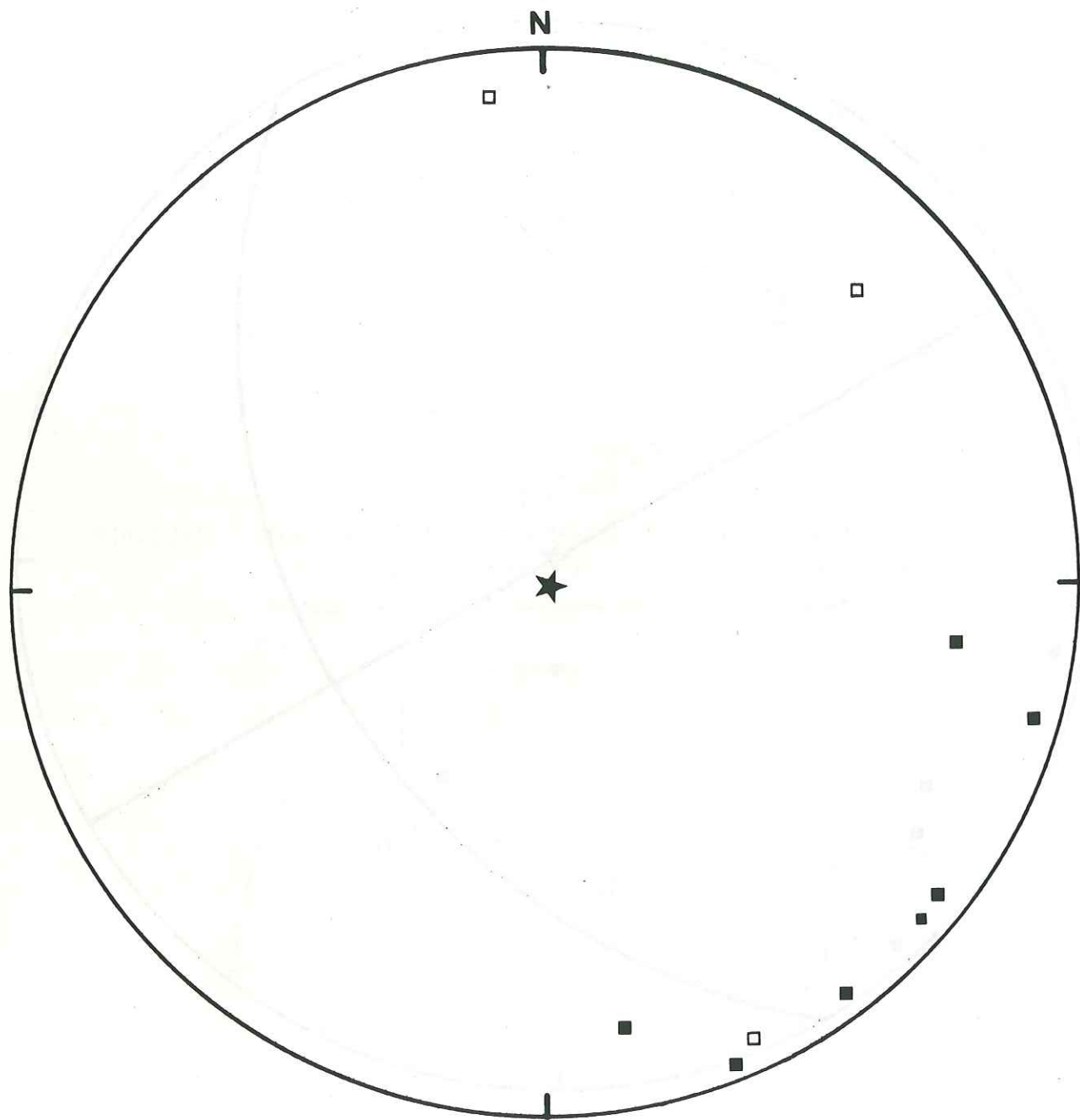


FIG. III-15c : Sphère focale du séisme N° 162. C'est le mécanisme
typique de l'essaim du Brez de Chambeyron, Deux solutions
sont possibles: faille normale, ou faille dextre (avec
une dilatation aberrante; voir texte),

Centre de Recherches
de Géophysique
et de Géochimie
BP 23
38001 Grenoble Cedex
IN MESSAY

LE 01/10/77

STATION	SEISME 1	SEISME 2
	44-42.13 N	44-42.14 N
	6-40.19 E	6-40.26 E
	0.48 KM	0.19 KM
	01H08'	07H14'
AVAL	D	C
GUIL	C	D
CHLB	C	D
MONT	D	D
CEIL	D	C
VAR2	D	D
CHAM		
MAUR		
CHAT	D	-
LAR2	D	
FRO2		-

4 SIGNES OPPOSES.

FIG.III-16 : Deux séismes distants de 300m, à 6 heures d'intervalle
donnent des sens de premier mouvement très différents.

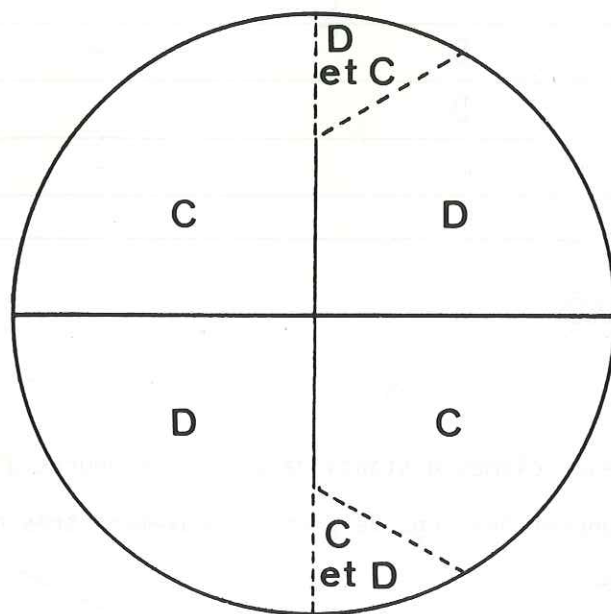
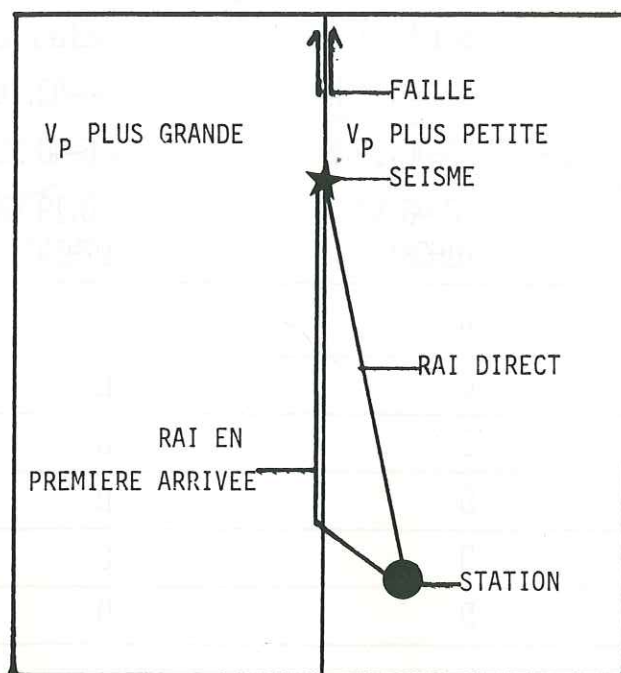


FIG.III-17 : Schéma d'une faille verticale séparant deux milieux de vitesses différentes, et sphère focale correspondante pour un séisme situé sur la faille et une station proche de la faille. (Explication possible des sphères focales de l'essaim du Brec de Chambeyron).

CHAPITRE IV

TENTATIVE DE SYNTHÈSE DES DONNÉES SISMOLOGIQUES DANS

LES ALPES OCCIDENTALES

1. Répartition de la sismicité:

L'étude des cartes de sismicité obtenues ici (Annexe II: Fig. I-5 à I-12), montre que la sismicité affecte l'ensemble des Alpes et de la Provence. Il ne s'agit donc pas d'une limite de plaque au sens classique, mais d'une zone sismique intracontinentale non continue. La sismicité historique se répartit en groupements plus ou moins allongés. Si l'on tient compte de l'imprécision des localisations, du faible peuplement des zones montagneuses (ce qui empêche de bien définir les lignes isoséistes), de la tendance à placer les épicentres près des villes ou des vallées, ou près de plus gros séismes ayant affecté la région, il est clair que les alignements obtenus ne correspondent pas automatiquement à des alignements réels de failles. A fortiori, la corrélation entre groupements séparés par des trous de sismicité risque de conduire à de fausses interprétations.

Aussi il ne nous semble pas que l'existence des arcs séismiques briançonnais et piémontais définis par Rothé (1941) puisse être considérée comme acquise (voir Fig. I-2). En particulier les séismes de Porto -Maurizio (Séisme de 1887, par exemple) sur la côte ligure forment un groupe isolé et ne doivent pas être rattachés aux arcs précédents. En effet la sismicité récente montre clairement que la zone active briançonnaise se continue par une ligne sensiblement horizontale à la latitude $44,2^{\circ}\text{N}$ et ne passe donc pas par le foyer ligure.

La comparaison entre la sismicité historique et récente montre que cette dernière ne correspond pas avec la sismicité historique. La différence principale est celle de la Provence, presque asismique aujourd'hui, alors qu'elle a donné lieu à de très importants séismes historiques. Une seule zone semble bien définie à la fois par les séismes historiques et récents. Il s'agit de la ligne qui de Briançon à Imperia jalonne la zone briançonnaise. Cette ligne marque une interruption en arrivant au massif du Mercantour, pour reprendre en zone briançonnaise 25 km plus à l'est. La sismicité récente montre une structure géométrique compliquée de raccord entre les deux branches au niveau de Cuneo, mais une meilleure précision sur les épicentres serait nécessaire pour préciser cette zone. Cette ligne active Briançon-Imperia concorde avec une longue lanière de cisaillement reconnue sur le terrain. Cette lanière comprend une série de failles longitudinales parallèles, jalonnées de sources thermo-minérales, signes d'une activité actuelle (Barféty et al. 1968, par exemple).

Il s'agit là d'un grand linéament sismo-tectonique très clair pour lequel les mécanismes au foyer montrent un jeu dextre (voir paragraphe suivant).

Il n'est pas possible de mettre en évidence d'autres linéaments semblables dans les Alpes occidentales. En Provence par contre un tel linéament existe dans la vallée de la Durance (Philipp et Tapponnier, 1976), mais il n'existe pas de mécanismes au foyer car il n'y a pas eu de séisme récent.

Il n'existe pas dans les Alpes de schéma cohérent de failles actives reconnues par la Géologie ou par la Géophysique. Seules des connaissances partielles existent quant aux mouvements néotectoniques. Etant donné que la sismicité ne permet pas de définir des linéaments, et que le nombre de mécanismes au foyer est encore trop faible, nous ne pouvons que donner une interprétation de quelques séismes, sans les intégrer dans un système d'ensemble.

2. Relations entre les mécanismes au foyer et la géologie:

2-1 : Séismes du Jura et du Genevois.

La sismicité suit grossièrement l'arc jurassique depuis le nord jusqu'à Nantua où elle s'oriente vers le sud-est en direction d'Annecy. Nous avons calculé deux mécanismes au foyer dans cette zone (Chap. II, N° 12 et 13). Le premier séisme donne une solution focale très fiable; le deuxième, réplique du premier, a un mécanisme un peu différent mais moins bien déterminé. Ces deux séismes se situent sur la faille du Vuache et confirment son déplacement sénestre, reconnu sur le terrain. On peut attribuer la même origine à plusieurs séismes historiques ($I_0 = 6$ en 1877, par exemple).

2-2 : Séismes de Megève.

Les solutions focales N° 11 et 16 donnent des mécanismes identiques. Le premier est assez fiable. Ils pourraient correspondre au jeu dextre des failles N50°E qui traversent cette zone.

2-3 : Région Queyras-Ubaye-Alpes ligures.

Sur la ligne sismique Briançon-Imperia, neuf solutions focales ont été calculées dans cette thèse, et six autres par Bossolasco et al. (1972). Deux des mécanismes calculés par ces auteurs ont été recalculés dans notre travail; il y a bonne concordance entre les solutions obtenues. Si l'on met à part les séismes N° 5, 14, 15 et 17 de notre travail, qui du reste ne sont pas très fiables, les solutions donnent toutes une direction de faille qui est en accord avec celle des failles longitudinales décrites dans cette zone (Barfety et al., 1968). Le mouvement est donc dextre tout le long de cette zone briançonnaise.

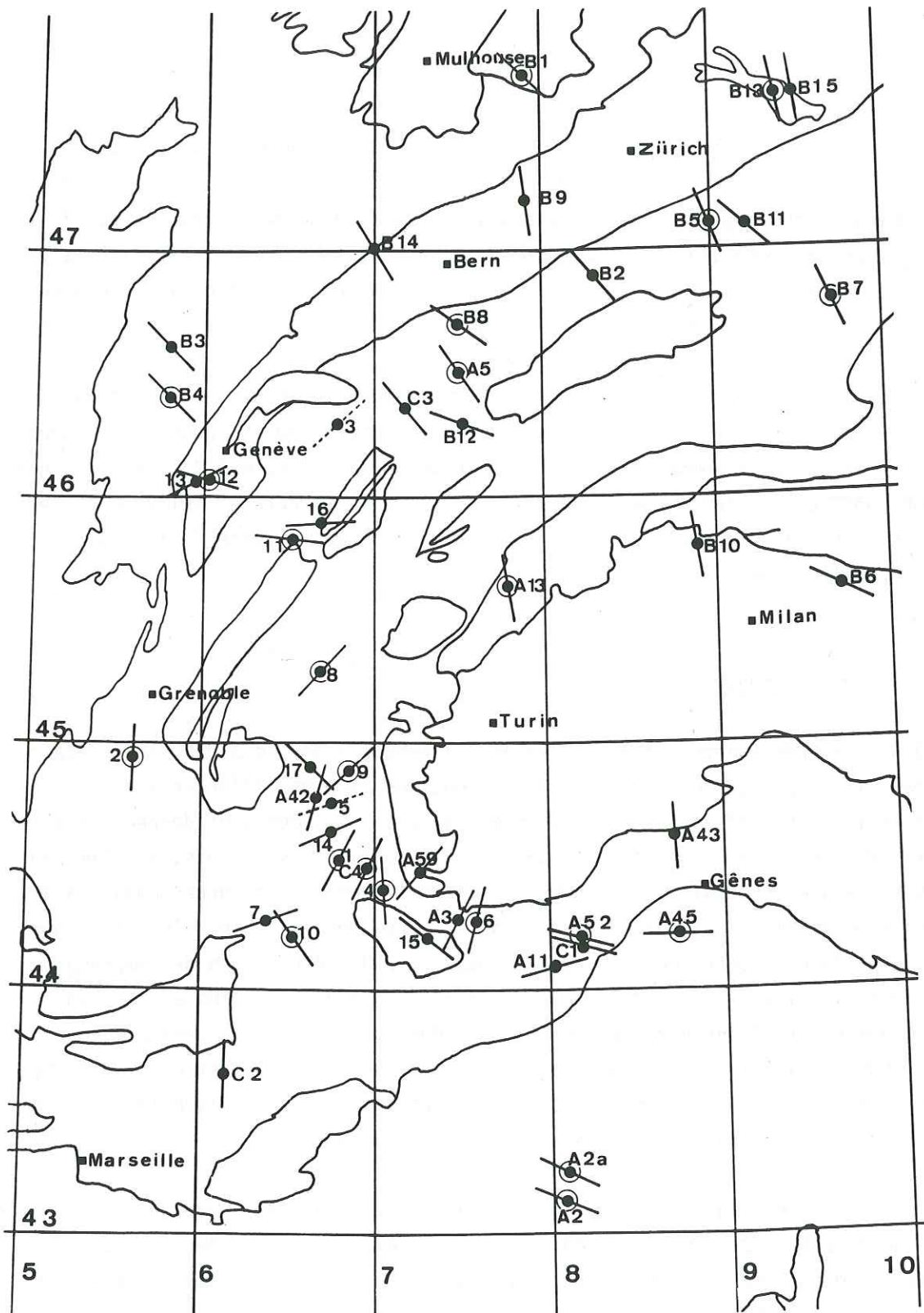


FIG.IV-1 : Axes de compression maximale des solutions focales calculées dans les Alpes occidentales. La numérotation renvoie au tableau IV-1.

2-4 : Autres séismes.

Notre séisme N° 10 donne une solution focale très bien définie grâce à sa magnitude assez forte (4,5). La solution de coulissage obtenue ne correspond pas aux directions de failles sur le terrain. Le séisme se situe en effet au front de la nappe de l'Autapie, sous le sommet de l'Autapie. Il semble que les failles aient un azimut de l'ordre de 150° . Une explication probable à ce désaccord est que le séisme a eu lieu en profondeur sous la nappe de l'Autapie et affecte une faille cachée. Il pourrait correspondre à un accident important du socle, d'azimut 10° , reconnue d'après les anomalies magnétiques par Debeglia (1977); le jeu serait alors sénestre.

Le séisme N° 2, sans doute associé à la mise en eau du barrage de Monteynard, donne une solution focale qui n'est pas très bien déterminée. On peut l'interpréter de façon conjecturale comme le jeu sénestre d'une faille d'azimut 45° , liée au grand accident N 50° qui venant du Massif Central traverse le Vercors et Belledonne. Cette hypothèse conduit à donner un sens de mouvement différent à cette faille au nord et au sud de Belledonne.

3. Répartition des contraintes:

Nous avons représenté sur la figure IV-1 l'ensemble des solutions focales calculées dans les Alpes occidentales et les régions voisines par différents auteurs, et ceux calculés dans cette thèse. Les références de ces séismes sont données dans le tableau IV-1. Dans cet ensemble nous avons fait un tri des solutions, en éliminant celles qui étaient calculées avec trop peu de points ou celles correspondant à des séismes trop faibles pour donner de bonnes lectures. Nous obtenons alors la figure IV-2. Cette figure montre une cohérence assez bonne des directions de compression maximale régionales. Au Nord de la carte, la direction N135 prédomine, avec une tendance à une rotation antihoraire de l'Est à l'Ouest. Dans la zone centrale, une direction N30 est assez bien définie, avec là encore une rotation antihoraire du Nord au Sud. Enfin au Sud-Est, la direction N100, bien établie en mer avec le séisme de 1963, existe probablement aussi sur la côte ligure.

Il a été rappelé au chapitre II qu'il faut faire preuve de prudence dans l'interprétation de ces axes de compression. Il est probable que des erreurs de quelques dizaines de degrés par rapport à la direction réelle de compression maximale sont possibles. Cependant la relative cohérence des directions obtenues nous a poussé à tenter de relier toutes les données par des lignes de direction de compression maximale (Fig. IV-3 et IV-4). La figure IV-4 conduit à supposer un changement brusque de la contrainte maximale à l'Est du Mercantour. Ce changement peut s'expliquer

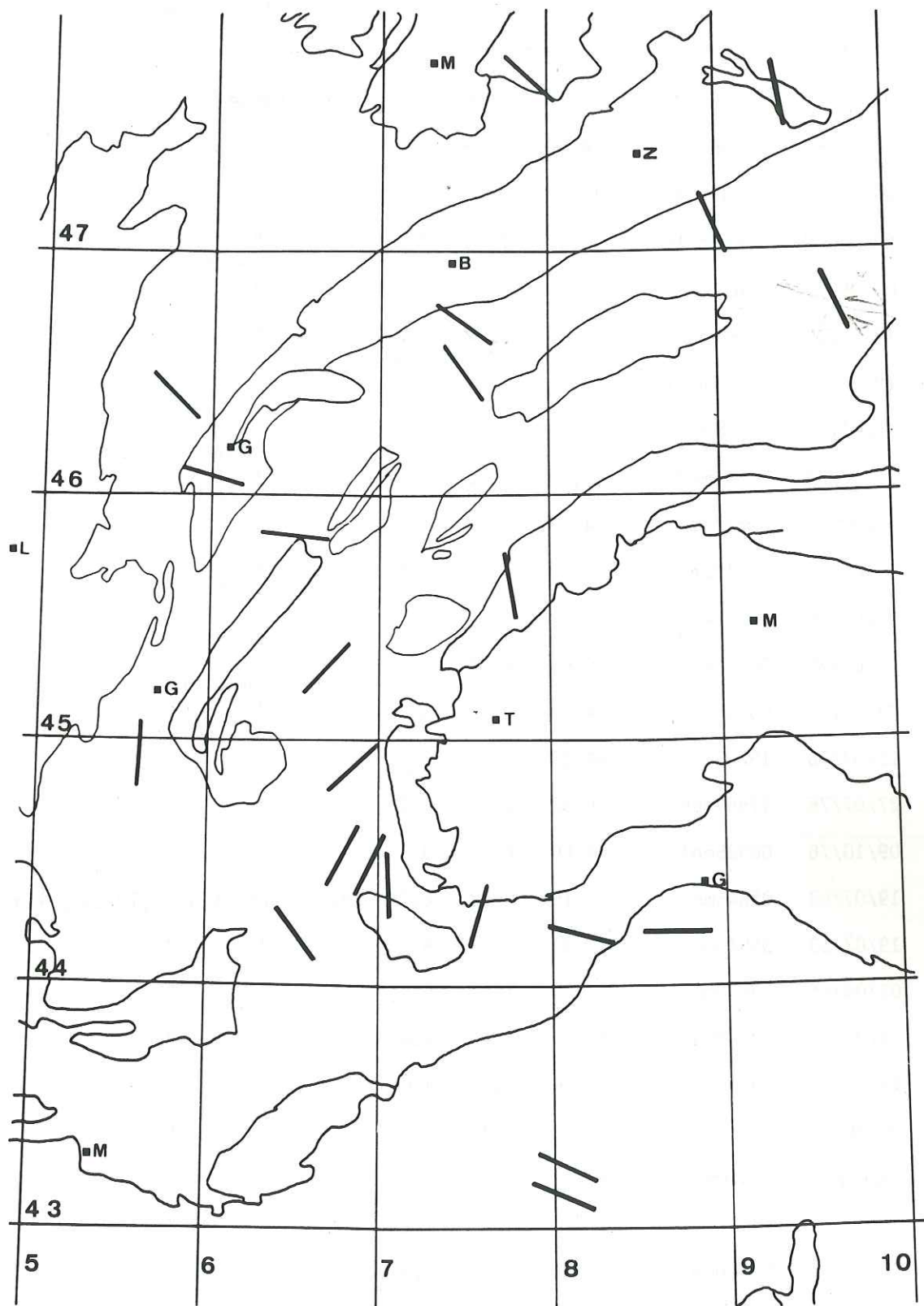


FIG.IV-2 : Axes de compression maximale les plus fiables.

Tableau IV-1 : Séismes ayant servi à tracer les cartes de contraintes.

N°	DATE	HEURE	LAT N	LON E	MAG	REFERENCE
1	05/04/59	10h48mn00	44,53	6,78	5,3	Cette thèse.
2	25/04/63	13h36mn11	44,96	5,63	4,3	" "
3	19/08/68	00h36mn41	46,31	6,79	4,8	" "
4	03/04/72	22h19mn16	44,37	7,14	3,5	" "
5	07/05/72	09h17mn20	44,70	6,46	3,3	" "
6	19/05/72	14h55mn23	44,31	7,60	3,8	" "
7	19/06/72	04h09mn51	44,38	6,35	3,8	" "
8	18/01/73	21h51mn55	45,27	6,67	3,7	" "
9	17/12/73	11h42mn04	44,89	6,93	3,5	" "
10	08/02/74	20h12mn18	44,22	6,55	4,5	" "
11	09/06/74	00h18mn09	45,98	6,35	3,6	" "
12	29/05/75	00h32mn39	46,04	6,02	4,2	" "
13	29/05/75	00h45mn09	46,05	6,04	3,2	" "
14	07/06/76	00h08mn48	44,70	6,70	3,3	" "
15	18/07/76	19h08mn32	44,20	7,30	3,1	" "
16	27/07/76	17h51mn56	45,90	6,70	3,1	" "
17	09/10/76	00h35mn10	44,60	6,90	3,6	" "
A 2	19/07/63	05h45mn28	43,15	8,08	6,2	Bossolasco et al. (1972) + <i>N. Kentic</i>
A 2a	19/07/63	05h46mn05	43,30	8,10	6,2	" " "
A 3	07/04/66	19h38mn58	44,25	7,42	4,4	" " "
A 5	24/03/67	17h38mn15	46,50	7,45	4,8	" " "
A11	18/04/68	19h38mn18	44,08	8,02	4,0	" " "
A13	18/06/68	05h27mn33	45,73	7,97	4,7	" " "
A42	15/08/71	00h36mn45	44,83	6,80	3,4	" " "
A45	25/09/71	10h34mn05	44,23	8,68	4,2	" " "
A52	17/01/72	12h11mn07	44,23	8,22	4,0	" " "
A59	20/09/72	00h10mn38	44,45	7,25	3,0	" " "
B 1	28/04/61	20h48mn49	47,7	7,9	4,9	Ahorner et Schneider (1974).
B 2	14/03/64	20h44mn44	46,9	8,3	5,2	Ahorner et al. (1972).

B 3	05/02/68	02h28mn49	46,6	5,8	3,5	Pavoni et Peterschmitt (1974).
B 4	21/06/71	07h25mn29	46,4	5,8	4,4	" " "
B 5	29/09/71	07h18mn52	47,1	9,0	4,8	Mayer-Rosa et Pavoni (1977).
B 6	08/05/73	19h08mn24	45,6	9,7	3,7	Pavoni et al. (1977).
B 7	09/07/73	00h27mn06	46,8	9,7	3,8	Mayer-Rosa et Pavoni (1977).
B 8	19/01/74	02h49mn52	46,7	7,5	3,8	" " "
B 9	26/04/74	07h21mn07	47,2	7,9	3,0	" " "
B10	21/05/75	04h10mn47	45,8	8,9	4,0	Pavoni et al. (1977).
B11	29/12/75	05h25mn17	47,1	9,2	3,1	" " "
B12	29/01/76	11h39mn08	46,3	7,5	3,6	Mayer-Rosa et Pavoni (1977).
B13	02/03/76	08h27mn57	47,6	9,4	3,7	" " "
B14	22/03/76	14h44mn23	47,0	7,0	2,7	Pavoni (1977a).
B15	26/03/76	22h28mn31	47,6	9,5	4,1	Pavoni et al. (1977).
C 1	/01/72	essaim	44,22	8,20		Pasquale (1977).
C 2	74 - 75	essaim	43,7	6,1		Hoang et al. (1977).
C 3	75 - 76	essaim	46,3	7,2		Pavoni (1977b).
C 4	/10/77	essaim	44,9	6,5		Cette thèse.

en admettant que les contraintes σ_1 et σ_2 sont égales le long d'une ligne de séparation grossièrement Nord-Sud, et que leurs rôles sont inversés de part et d'autre. Pour trancher entre cette solution et celle de la figure IV-3, de nouvelles solutions focales seraient nécessaires.

Les figures obtenues qui montrent une vaste rotation du champ de contraintes peuvent être comparées à des résultats précédents. Pavoni (1975) obtenait une disposition en éventail, perpendiculaire à l'arc alpin. Nous obtenons la même répartition que lui pour les zones internes, mais nous émettons l'hypothèse des lignes en spirales pour les zones externes. Gidon (1974) compare l'arc alpin à un système dépressionnaire météorologique; notre figure IV-3 est assez en accord avec une telle hypothèse tourbillonnaire, cependant l'absence de forces de Coriolis en tectonique conduit à chercher une explication à cette rotation. Tapponnier (1977) explique la tectonique méditerranéenne dans le cadre du modèle du poinçonnement rigide-plastique. Le champ de contraintes obtenu ici pourrait alors correspondre à un ou plusieurs tels poinçonnements.

4. Conclusion:

Nous venons de voir que la répartition de la sismicité et des axes de contraintes présentaient quelques structures claires et une certaine cohérence. Cependant les conclusions ne peuvent être que très limitées et prudentes du fait de la pauvreté des données sismologiques.

Une compréhension générale de la sismo-tectonique alpine nécessitera encore de gros progrès en sismologie et en néotectonique. En sismologie il convient d'améliorer les réseaux et d'optimiser l'utilisation des stations existantes pour les localisations. Une tentative est faite actuellement par le L.D.G. pour relocaliser la sismicité des quinze dernières années à l'aide des stations voisines des Alpes. Le B.R.G.M. travaille à améliorer la localisation des séismes historiques. Un grand nombre de nouveaux mécanismes au foyer peuvent encore être calculés si les données de tous les organismes sismologiques deviennent disponibles. Les études à l'aide de réseaux portables devraient aussi apporter des éléments très importants. Parallèlement il est souhaitable que les études de néotectonique alpine se développent.

Nous espérons avoir montré ici que l'étude de la sismicité intracontinentale est une étude multiple et délicate, mais que des résultats importants et définitifs peuvent être acquis si l'on possède des données complètes et soignées.

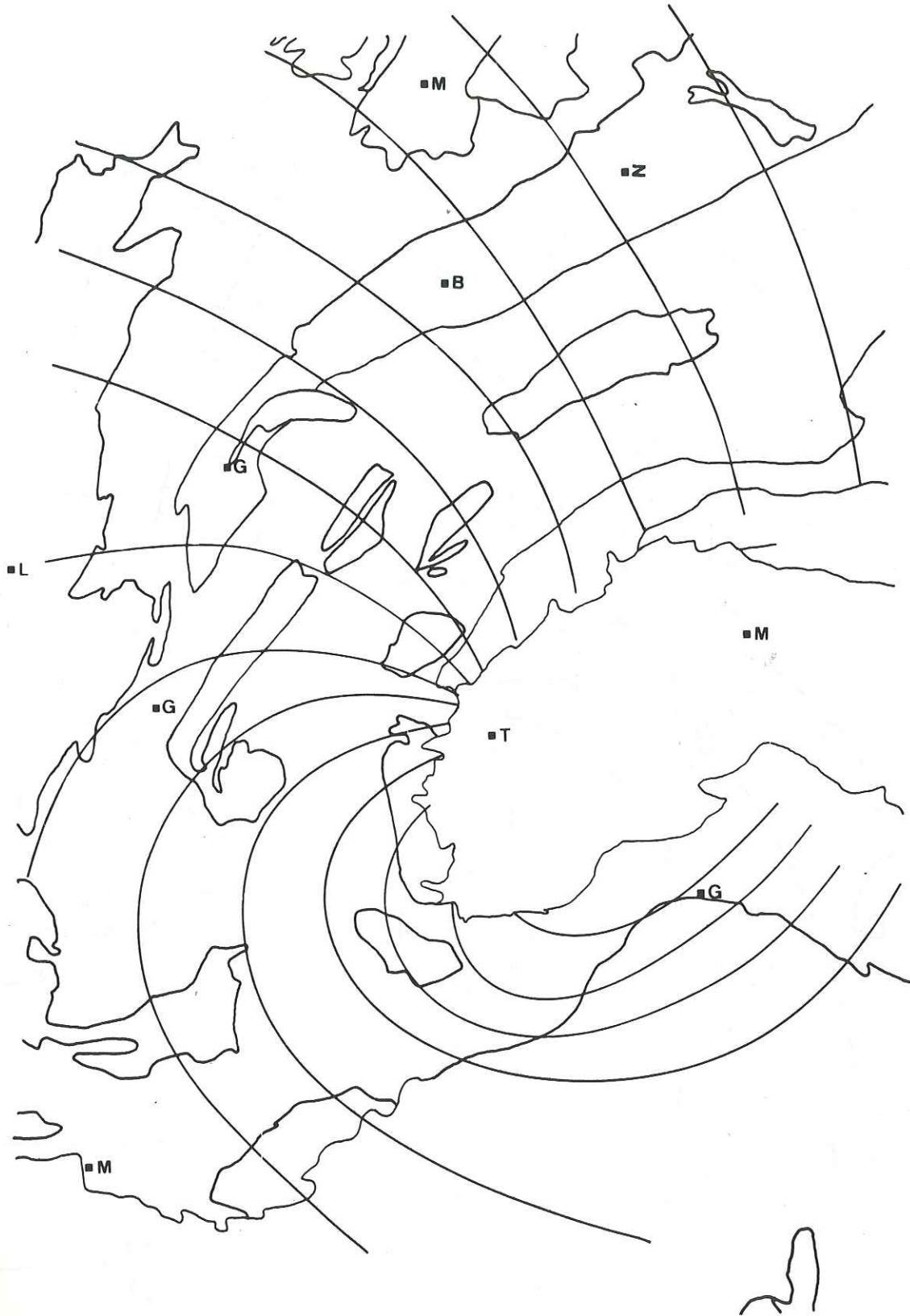


FIG.IV-3 : Interprétation 1; lignes de direction de compression maximale.

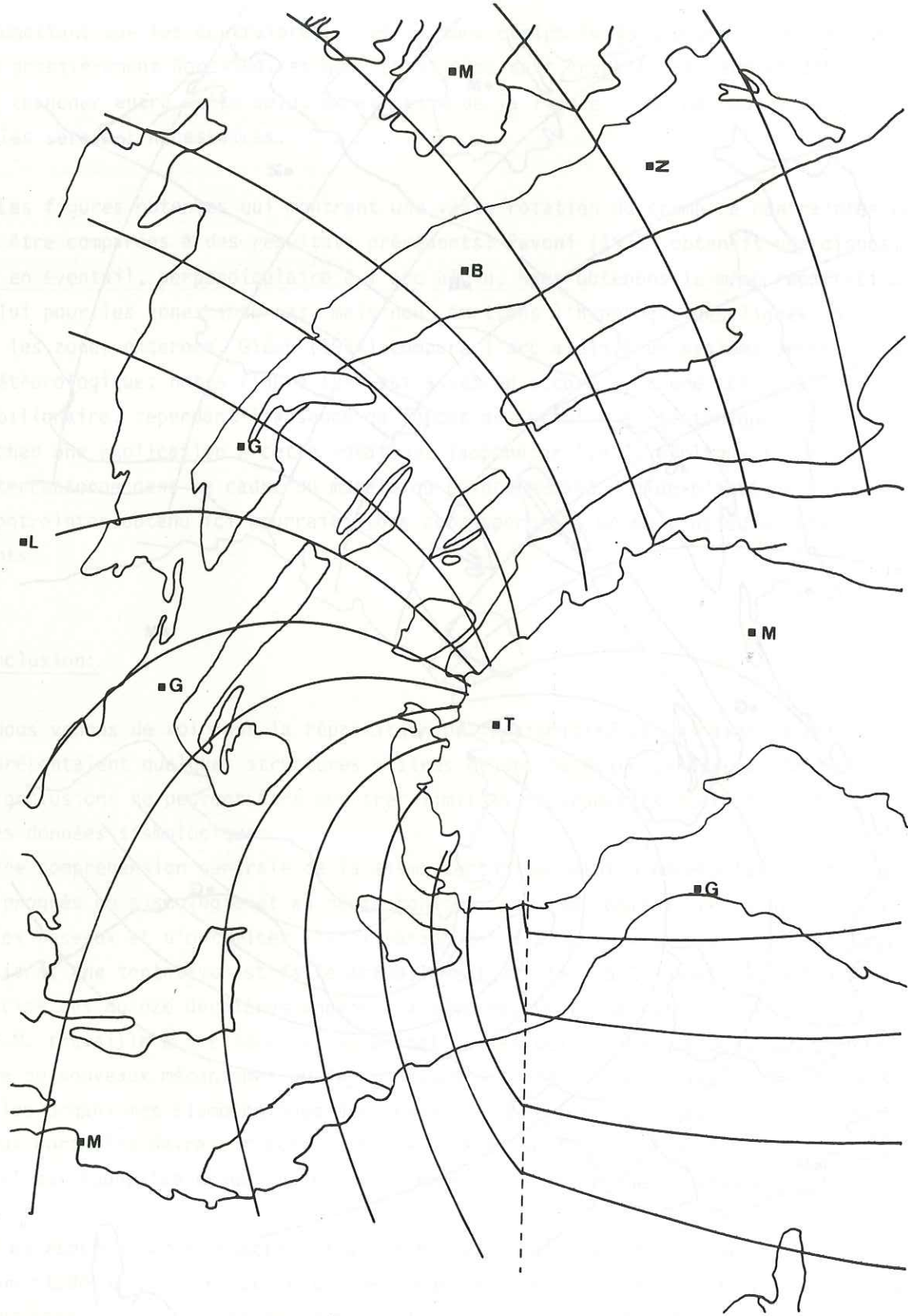


FIG.IV-4 : Interprétation 2; lignes de direction de compression maximale.

CHAPITRE V

UNE NOUVELLE METHODE DE ZONATION SISMIQUE :

APPLICATION AU SUD EST DE LA FRANCE

1. INTRODUCTION

Si les séismes sont une source irremplaçable d'information sur la constitution du globe, nous ne devons pas oublier qu'il s'agit pour la majorité des gens d'une catastrophe naturelle. Dans la région que nous étudions, outre de très nombreux dégâts, les séismes ont provoqué la mort d'un certain nombre de personnes. Les chiffres avancés sont de 5 000 victimes en 1227 en Provence, 9 000 victimes en 1248 en Maurienne, 150 à la Bollène en 1556, 500 morts à la Bollène en 1564, 46 morts en Provence en 1909.

L'estimation du risque sismique, et éventuellement la prédiction des séismes, est donc essentielle dans une région comme celle des Alpes - Provence. Les études sur cette région sont celle^s des règles parasismiques pour la France (PS 69), et celle des services de sûreté nucléaire du C.E.A. (non publiées). La première (PS 69) étudie l'intensité maximale probable en chaque lieu, la seconde (C.E.A.) étudie la probabilité d'occurrence de chaque intensité et définit ainsi un séisme de référence de probabilité donnée, séisme maximum auquel devra résister la construction envisagée.

2. ESTIMATION DE LA MAGNITUDE MAXIMALE POSSIBLE

Différentes méthodes ont été proposées pour calculer la magnitude maximale possible dans une région. Elles utilisent généralement la loi fréquence - magnitude dans cette région. Shenkoya et Karnik (1973) ont comparé ces différentes méthodes et ont conclu à leur faible cohérence. D'autres données sont nécessaires pour calculer avec certitude cette magnitude maximale, par exemple l'état de contraintes, la structure du terrain, la vitesse d'accumulation d'énergie.

En ce qui concerne les Alpes occidentales, la plus forte magnitude observée est de 6,2 ou 6,3. On peut faire une estimation de la valeur maximale possible à partir du diagramme de Benioff : ce diagramme représente la quantité de déformation cumulée au cours du temps. Pour cela, on admet que cette déformation est proportionnelle à la racine carrée de l'énergie du séisme. On porte donc en abscisse le temps et en ordonnée l'énergie cumulée de tous les séismes $\sum E^{1/2}$. En général, la déformation se fait de façon uniforme et les valeurs précédentes sont situées entre deux droites parallèles. La différence d'ordonnée entre ces deux droites détermine alors l'énergie maximale au cours d'un séisme. L'énergie est liée à la magnitude par la formule de Gutenberg et Richter (1956) $\log E_{\text{joules}} = 4,8 + 1,5 M$. L'application au cas des Alpes occidentales donne $M_{\text{max}} = 6,3$ et 6,7 selon que l'on trace le diagramme depuis 1900 ou 1800 (Fig. V-1 et V-2).

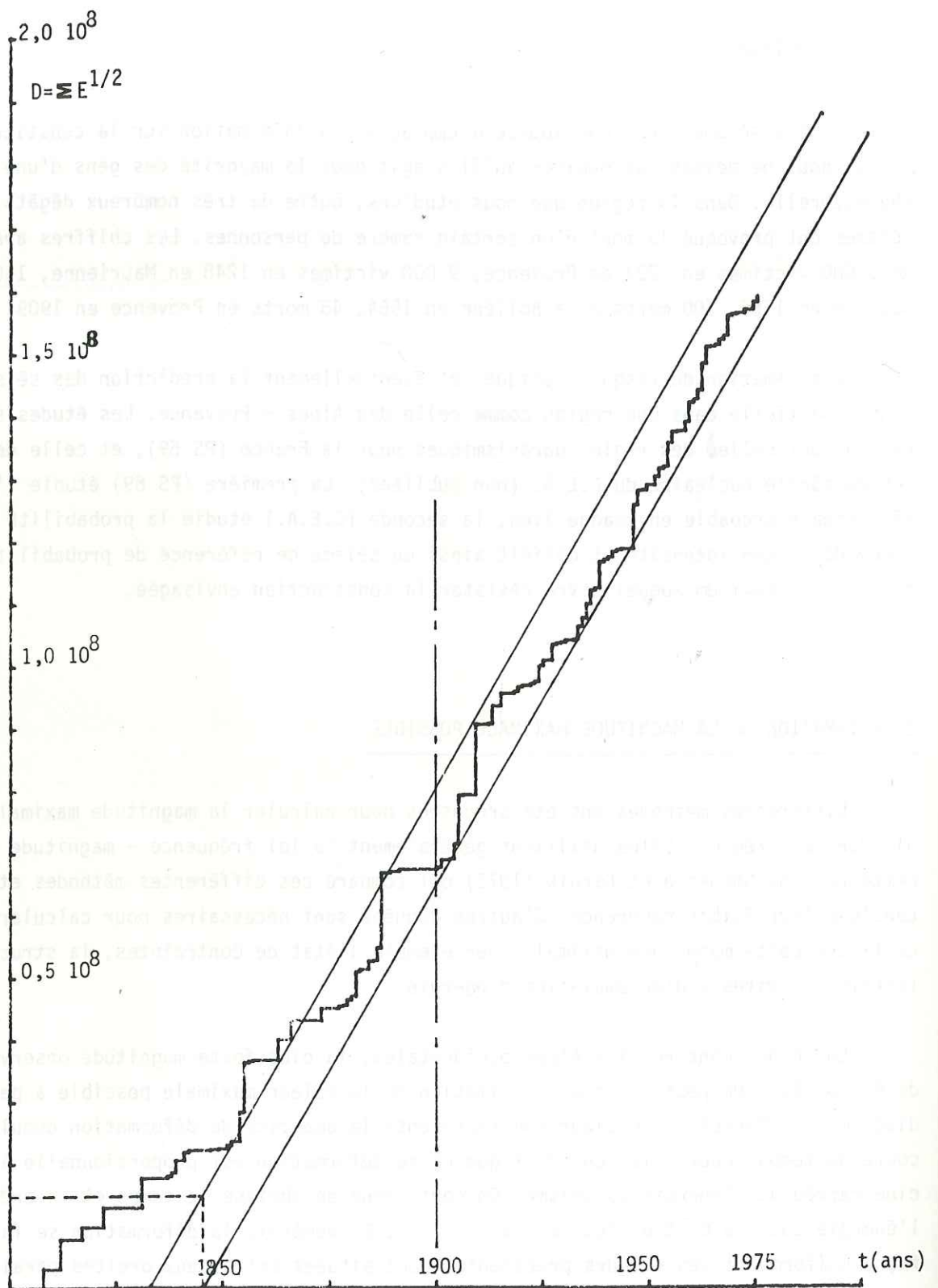


Figure V-1: Diagramme de Benioff. Détermination de la magnitude maximale possible. (Avec les séismes depuis 1900 seulement)

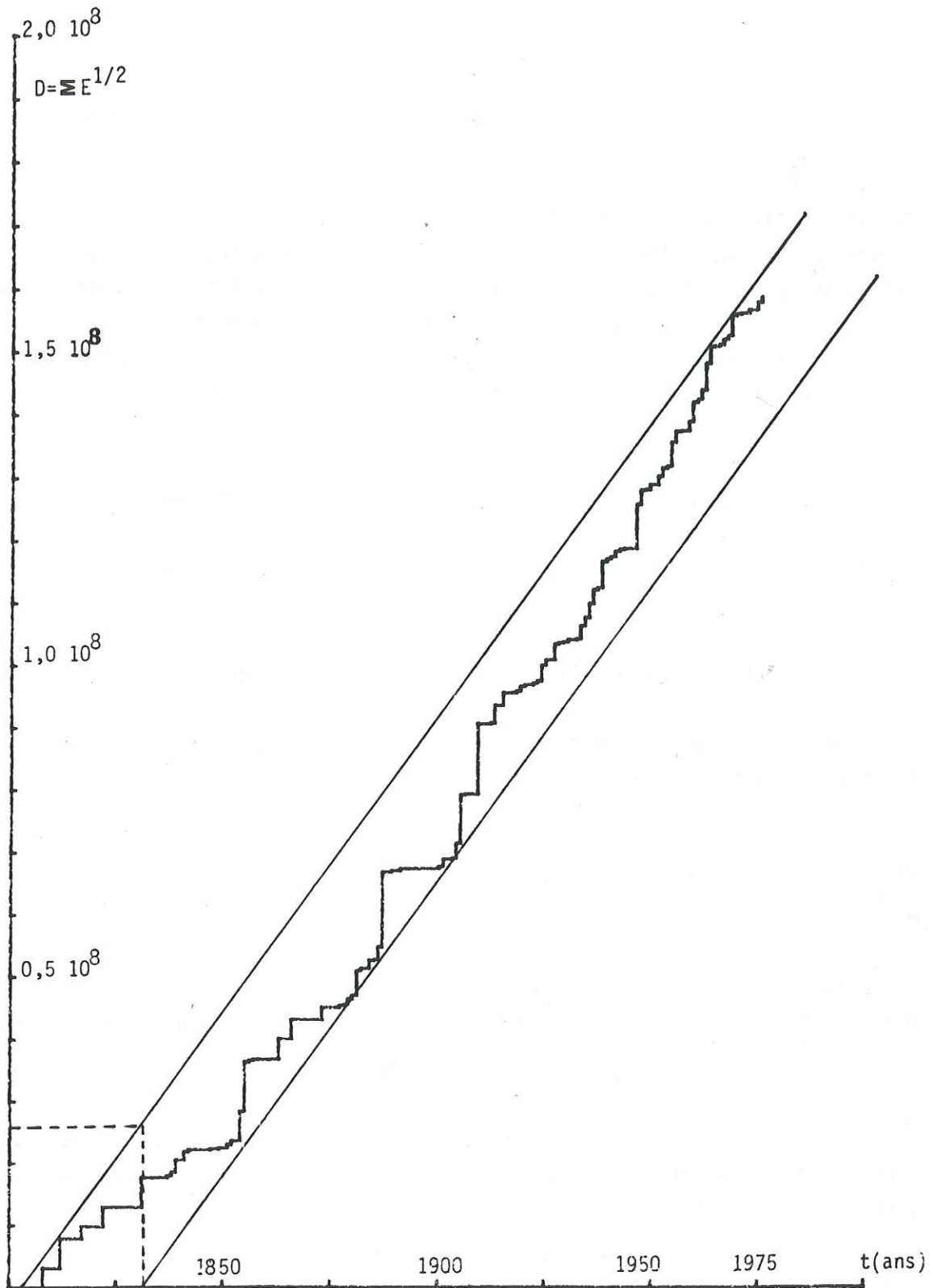


Figure V-2: Diagramme de Benioff. Détermination de la magnitude maximale possible. (Avec les séismes depuis 1800)

3. PROBABILITE OU VALEUR MAXIMUM ?

Le risque sismique c'est l'étude des valeurs éventuelles de l'accélération du sol en un lieu donné. En général, le sismologue n'a pas de méthodes pour calculer cette accélération, mais seulement pour calculer l'intensité au cours d'un séisme. L'accélération maximale du sol se déduit alors de l'intensité par une relation d'approximation linéaire. Deux types d'études existent pour l'intensité : le premier consiste à calculer la probabilité de chaque valeur de l'intensité pour une période donnée (Lomnitz 1969, Lomnitz 1974, Sägeser et Mayer-Rosa 1978) ; la deuxième consiste à estimer la valeur maximale possible de l'intensité (Carte de zonation sismique de l'U.R.S.S. 1958, Richter 1959, Rothé 1972b). Chacune de ces deux approches a ses propres applications.

Le calcul d'une probabilité se fonde sur l'étude statistique de la sismicité historique d'une région. Le modèle couramment utilisé est le suivant : la probabilité pour que la magnitude d'un séisme donné soit supérieure ou égale à M vaut :

$$F(M) = (\lambda \Delta T)^N (1/N!) \exp(-\lambda \Delta T)$$

où λ est le nombre moyen de séismes pendant l'unité de temps.

Il s'ensuit que le nombre moyen \bar{n} de séismes de magnitude supérieure ou égale à M pendant la durée T vaut

$$\bar{n} = 10^{a-bM}$$

avec $a = \log_{10}(\lambda T)$

et $b = \beta \log_{10}(e)$

Une autre conséquence est que la magnitude maximum M_m pendant la durée T suit une fonction de répartition de Gumbel type I (Gumbel 1958, Epstein et Lomnitz 1966) :

$$G(M_m) = \exp(-\lambda \Delta T \exp(-\beta M_m))$$

Pour K années, il y a K valeurs extrêmes M_m de la magnitude. Le nombre moyen $\bar{N}(M)$ de séismes extrêmes de magnitude supérieure ou égale à M est donné par la formule :

$$\text{Log}(-\text{Log}(\bar{N}/K)) = \text{Log} \lambda - \beta M$$

Nous pouvons donc calculer les coefficients régionaux λ et β à l'aide d'une régression linéaire, soit sur tous les séismes, soit sur les séismes extrêmes seulement. Cependant cette méthode conduit à des erreurs d'un ordre de grandeur inacceptable (Knopoff et Kagan, 1977).

Pour les larges magnitudes, l'échantillonnage est très réduit, et en outre la loi $\log_{10} N = a - bM$ n'est plus exacte, en particulier parce que les très grandes magnitudes (supérieures à 9, par exemple) sont probablement physiquement impossibles. Aussi toute extrapolation des lois $F(M)$ ou $G(M_m)$ ainsi calculées, conduirait à des valeurs grossièrement fausses. De toutes façons, on peut se poser la question de savoir si cela a un sens de parler de probabilité pour les très gros séismes, exceptionnels, sans faire appel à des caractéristiques physiques de la région, telles que la structure géologique, les failles, l'état de contraintes, etc... Quelle peut être la signification statistique d'un événement dont on n'a qu'une réalisation ?

Il nous semble que l'utilisation de la notion de probabilité ne peut se justifier que pour des constructions non vitales, conjointement avec des méthodes d'optimisation économique comme dans Caputo et al. (1974). Pour des constructions plus importantes (ponts, grands immeubles, constructions industrielles de grande taille ou de caractère dangereux, etc...), il est plus correct de calculer la plus grande valeur possible de l'intensité, sans intervention de la notion de probabilité. Pour préciser cette valeur en fonction du temps, on doit tenir compte de propriétés physiques des sols, c'est-à-dire faire de la prédiction sismique.

4. LA ZONATION SISMIQUE

Gelfand et al. (1972) ont présenté une méthode originale de zonation sismique. Ils ont observé dans certaines régions d'Asie et des Balkans que les séismes de magnitude supérieure ou égale à 6,5 se produisent seulement aux intersections des grands accidents de la croûte mis en évidence par la géologie et la géophysique. Ces intersections, appelées noeuds disjonctifs, sont répertoriées et on suppose que les forts séismes ne peuvent se produire qu'à ces noeuds. Ils montrent alors, à l'aide de méthodes de reconnaissance des formes, que seuls certains de ces noeuds présentent un risque, car ils ont des propriétés communes avec les noeuds où ont déjà eu lieu des séismes. On détermine ainsi quelques zones où des séismes de magnitude supérieure à 6,5 risquent de se produire.

Cette méthode, dont la fiabilité n'est pas démontrée, ne s'applique qu'aux régions très sismiques, ce qui n'est pas le cas des Alpes françaises. Aussi, la méthode couramment utilisée pour estimer l'intensité maximale possible se fonde sur la carte des intensités maximales ressenties historiquement. La valeur maximale possible est obtenue en ajoutant +1 à l'intensité, et généralement en lissant la carte ainsi calculée (voir références paragraphe 3). Mais à plusieurs reprises, des séismes récents des-

destructeurs ont dépassé la valeur ainsi calculée. La faillite de cette méthode apparaît clairement sur une carte comportant toutes les isoséistes observées : si on enlève le plus gros séisme (et ses répliques), l'intensité maximale décroît généralement de plus de 1 sur une grande étendue. Comme ce plus gros séisme n'a eu lieu qu'une fois pendant la période connue, il aurait pu ne se produire que dans les prochaines années. Nous présentons ici une méthode de zonation sismique qui prévoit la bonne intensité quand on enlève n'importe lequel des séismes.

5. THEORIE

Considérons une région sismique assez homogène, avec son catalogue de N séismes historiques, et traçons les lignes isoséistes correspondantes. On enlève alors successivement chaque séisme et on calcule le changement maximum obtenu entre la carte à N séismes et les N à $N-1$ séismes. Nous cherchons une méthode simple qui restitue la carte à N séismes à partir de l'une quelconque des cartes à $N-1$ séismes. Cela revient à dire que s'il existe en un point une différence ΔI entre les deux plus fortes intensités, cette différence peut avoir lieu n'importe où ailleurs.

Pour traiter le problème mathématiquement, nous sommes conduits à faire les hypothèses suivantes :

a. Tous les séismes ont lieu à une même profondeur H (fonction du régime sismotectonique de la région).

b. Les isoséistes réelles sont remplacées par des cercles centrés à l'épicentre de rayon R_I :

$$R_I = f(I_m - I, H)$$

où I_m est l'intensité à l'épicentre et I l'intensité de la ligne isoséiste considérée. La fonction $f(i, H)$ est déduite de la décroissance moyenne de l'intensité en fonction de la distance à l'hypocentre. Nous avons utilisé les courbes de Sponheuer (1960), qui a calculé cette décroissance moyenne pour plusieurs séismes européens. Nous prenons la valeur $H = 15$ km, comme profondeur maximale des séismes destructeurs dans les régions que nous étudions ici. Nous obtenons les valeurs suivantes de l'intensité en fonction de la distance :

Intensité	Rayon de l'Isoséiste
I_m	6 km
$I_m - 1$	32 km
$I_m - 2$	60 km
$I_m - 3$	130 km
$I_m - 4$	500 km

6. METHODE

a. Nous exposons d'abord la méthode dans le cas le plus simple (situation hypothétique), c'est-à-dire quand le catalogue ne contient que deux séismes. Leurs épicentres sont S_1 et S_2 , leurs intensités maximales sont I_1 et I_2 . Le séisme 1 produit l'intensité J_2 en S_2 . Si $I_2 \leq J_2$, les isoséistes du séisme 1 recouvrent les isoséistes du séisme 2, et peuvent donc être considérées comme une carte du risque. Si $I_2 > J_2$, nous pouvons prévoir l'intensité correcte J_2 en S_2 , en augmentant la valeur des isoséistes du séisme 1 de ΔI et en augmentant leurs rayons de ρ_1 km. Nous obtenons ainsi plusieurs couples $(\Delta I = 0, \rho_1)$, $(\Delta I = +1, \rho_1')$, $(\Delta I = +2, \rho_1'')$, etc..., avec $0 \leq \dots \leq \rho_1'' \leq \rho_1' \leq \rho_1$. Chaque couple permet de tracer une carte de risque à l'aide du seul séisme 1, carte qui recouvre les isoséistes du séisme 2. De la même façon, nous calculons les coupes $(0, \rho_2)$, $(+1, \rho_2')$, $(+2, \rho_2'')$, etc..., en inversant le rôle des deux séismes.

La carte finale de risque sera tracée à l'aide des deux séismes, corrigés de l'un des couples $(\Delta I, \sup\{\rho_1, \rho_2\})$ (voir Fig. V-3).

b. La méthode générale est déduite de l'exemple précédent. Soit une région avec N séismes. Les épicentres sont

$$S_\alpha, \quad \alpha = 1, N$$

et les intensités maximales sont

$$I_\alpha, \quad \alpha = 1, N.$$

Nous appelons $d_{\alpha\beta} = d(S_\alpha, S_\beta)$ la distance entre deux épicentres. Puis nous ajoutons ΔI à l'intensité de tous les séismes comme dans a. Les nouvelles valeurs sont alors :

$$I'_\alpha(\Delta I) = I_\alpha + \Delta I$$

avec $\Delta I \in \{0, 1, 2, \text{etc...}\}$ et $I'_\alpha \leq 12$.

Considérons l'isoséiste I du séisme β ($I \leq I'_\beta$). Son rayon vaut

$$R_I^\beta(\Delta I) = f(I'_\beta(\Delta I) - I, H).$$

Nous voulons que les isoséistes du séisme β prévoient la bonne intensité I_α en S_α (ce ne sera possible que si $I_\alpha \leq I'_\beta$). Pour cela, nous devons augmenter le rayon des isoséistes du séisme β de la valeur $\rho_{\alpha\beta}$ km :

$$\rho_{\alpha\beta} = \sup\{0, d_{\alpha\beta} - R_{I_\alpha}^\beta(\Delta I)\}$$

de façon que S_α soit à l'intérieur de l'isoséiste I_α du séisme β .

Comme nous voulons prédire l'intensité I_α en S_α avec au moins l'un des N-1 autres séismes, nous devons ajouter aux rayons des isoséistes de ces N-1 séismes la valeur

$$\rho_\alpha \text{ km : } \rho_\alpha = \inf_{\substack{\beta = 1, N \\ \beta \neq \alpha}} \{ \rho_{\alpha\beta} \} = \inf_{\substack{\beta = 1, N \\ \beta \neq \alpha}} \{ \sup \{ 0, d_{\alpha\beta} - R_{I_\alpha}^\beta (\Delta I) \} \}$$

Finalement, pour prédire n'importe lequel des N séismes α au moyen des N-1 autres, nous devons ajouter aux rayons des isoséistes de tous les séismes la valeur ρ km :

$$(1) \quad \rho = \sup_{\alpha = 1, N} \{ \rho_\alpha \} = \sup_{\alpha = 1, N} \{ \inf_{\substack{\beta = 1, N \\ \beta \neq \alpha}} \{ \sup \{ 0, d_{\alpha\beta} - R_{I_\alpha}^\beta (\Delta I) \} \} \}$$

Nous obtenons ainsi des couples $(\Delta I, \rho)$ où $\Delta I \in \{0, 1, 2, \text{etc...}\}$ et ρ est une fonction positive décroissante de ΔI . Le but de ce calcul est le suivant :

Si on ajoute ρ aux rayons de toutes les isoséistes et ΔI à la valeur de ces isoséistes, toutes les cartes tracées avec N-1 séismes recouvrent les isoséistes du séisme supprimé.

La carte de risque résultante sera dessinée avec tous les N séismes corrigés de l'un des couples $(\Delta I, \rho)$.

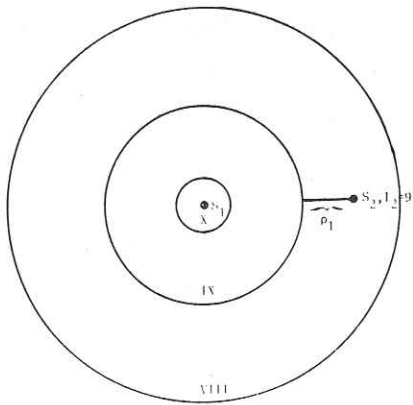
Pour améliorer la méthode, nous avons en fait introduit un détail supplémentaire. Au lieu d'ajouter la même valeur ΔI à tous les séismes, nous ajoutons des valeurs différentes ΔI selon l'intensité I_α du séisme. ΔI devient une fonction de I . Nous avons donc

$$I'_\alpha = I_\alpha + \Delta I (I_\alpha)$$

Cette modification ne change pas la formule (1), mais améliore la méthode en minimisant la valeur de ρ , et en permettant de fixer une limite supérieure aux intensités de la région, limite inférieure à 12. Nous avons écrit un programme FORTRAN pour effectuer le calcul des couples $(\Delta I(I), \rho)$. Le choix entre les différentes valeurs obtenues se fera sur la base de données géologiques ou géophysiques complémentaires, essentiellement la taille des zones d'accidents actifs.

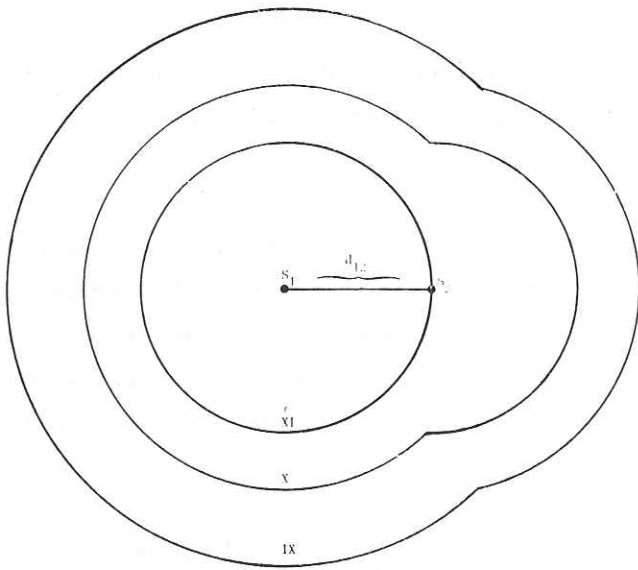
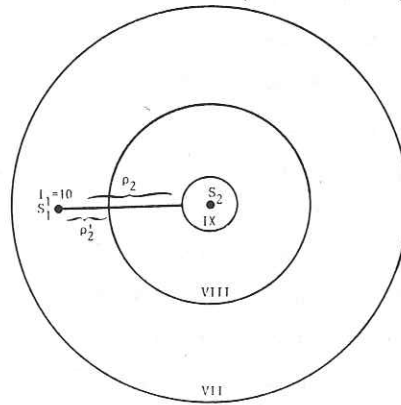
Épicentre et isoséistes du séisme 1,
 épicentre du séisme 2.

Solutions: $(\Delta I = 0, \rho_1)$
 $(\Delta I = +1, 0)$



Épicentre et isoséistes du séisme 2,
 épicentre du séisme 1.

Solutions: $(\Delta I = +1, \rho_2)$
 $(\Delta I = +2, \rho_2')$
 $(\Delta I = +3, 0)$



Carte de risque obtenue; intensité
 maximale possible avec la solution
 $(\Delta I = +1, \rho = \rho_2)$.

FIG.V-3 : Cas théorique de deux séismes.

7. TEST DE LA METHODE DANS LE CAS DE LA REGION DU SHENSI EN CHINE

Le catalogue chinois de séismes historiques est le plus complet dans le monde. Nous avons utilisé la version de Lee et al. (1976), qui couvre la période 1177 av.J.C. à 1900 ap.J.C., et directement le catalogue de l'Academia Sinica (1970), pour la période 1901 à 1949 après J.C.. Aucun séisme important n'a eu lieu dans cette région depuis 1950 après J.C.. La liste des séismes est probablement complète pour les gros séismes depuis 1000 après J.C.. Pour chaque tremblement de terre, nous avons ainsi une estimation de l'épicentre et de l'intensité maximum. La région de Shensi est une région très active avec une sismicité superficielle. Les plus grandes intensités valent 11 et 12. En outre, Shih et al. (1974), ont montré que pour cette région il existait un cycle de 350 ans. Aussi nous avons utilisé la période 1500 à 1900 ap. J.C. pour calculer les couples $(\Delta I, \rho)$. Nous avons dessiné ensuite les cartes de risque, pour les intensités maximales possibles respectivement égales à 12, 11, 10 et 9 (Fig. V-4 à V-7). Nous avons indiqué sur chacune de ces cartes les événements antérieurs à 1500 ap. J.C. ou postérieurs à 1900 ap. J.C. qui ont une intensité supérieure ou égale à celle de la carte. Les six séismes d'intensité 9, les deux séismes d'intensité 10 et l'évènement d'intensité 11 sont correctement prédits.

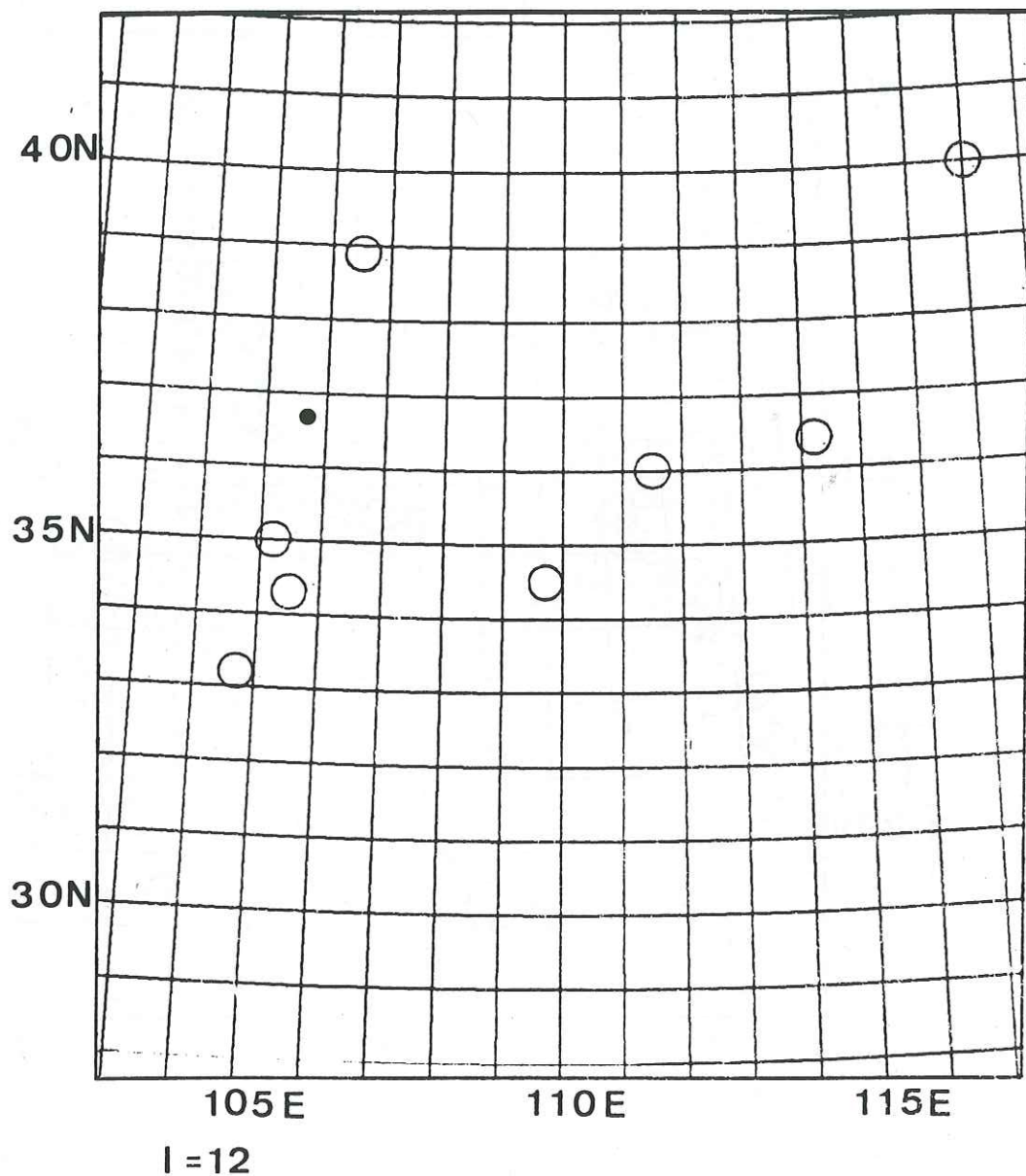
Seul un séisme est faux : le séisme du 16 décembre 1920 en $36^{\circ}5' N$ et $105^{\circ}7' E$, d'intensité 12, est prédit sur notre carte avec l'intensité 11, soit une erreur de une unité.

Nous insistons sur le fait que ces dix séismes ne sont absolument pas intervenus dans le tracé de la carte. Ils constituent donc une vérification de la valeur de la méthode. En ce qui concerne le séisme de 1920, remarquons que le plus gros évènement dans un rayon de 150 km a une intensité de 9 seulement. Une carte de risque tracée selon la méthode classique aurait donc commis en l'occurrence une erreur plus grande que notre méthode.

La région que nous avons étudiée est située entre 105° et $115^{\circ} E$, et entre 30° et $40^{\circ} N$. En outre, nous avons utilisé les séismes dans une bande de deux degrés de large autour de la région afin d'éliminer les "effets de bord". La méthode est la suivante : soient N_1 séismes d'épicentres S_{α} ($\alpha = 1, N_1$) dans la région, et N_2 séismes d'épicentres S_{α} ($\alpha = N_1 + 1, N_1 + N_2$) dans la marge. Nous calculons maintenant

$$\rho = \sup_{\alpha = 1, N_1} \{ \rho_{\alpha} \}$$

$$\text{avec } \rho_{\alpha} = \inf_{\substack{\beta = 1, N_1 + N_2 \\ \beta \neq \alpha}} \{ \rho_{\alpha\beta} \}$$



I = 12

FIG.V-4 : Carte du risque sismique en Chine (régions du Shensi et du Shansi). Intensité maximum possible égale à 12 à l'intérieur des cercles, et moins de 12 en dehors.

Les points noirs sont les épicentres des séismes d'intensité 12 datant d'avant 1500 av.J.C. ou d'après 1900 ap.J.C..

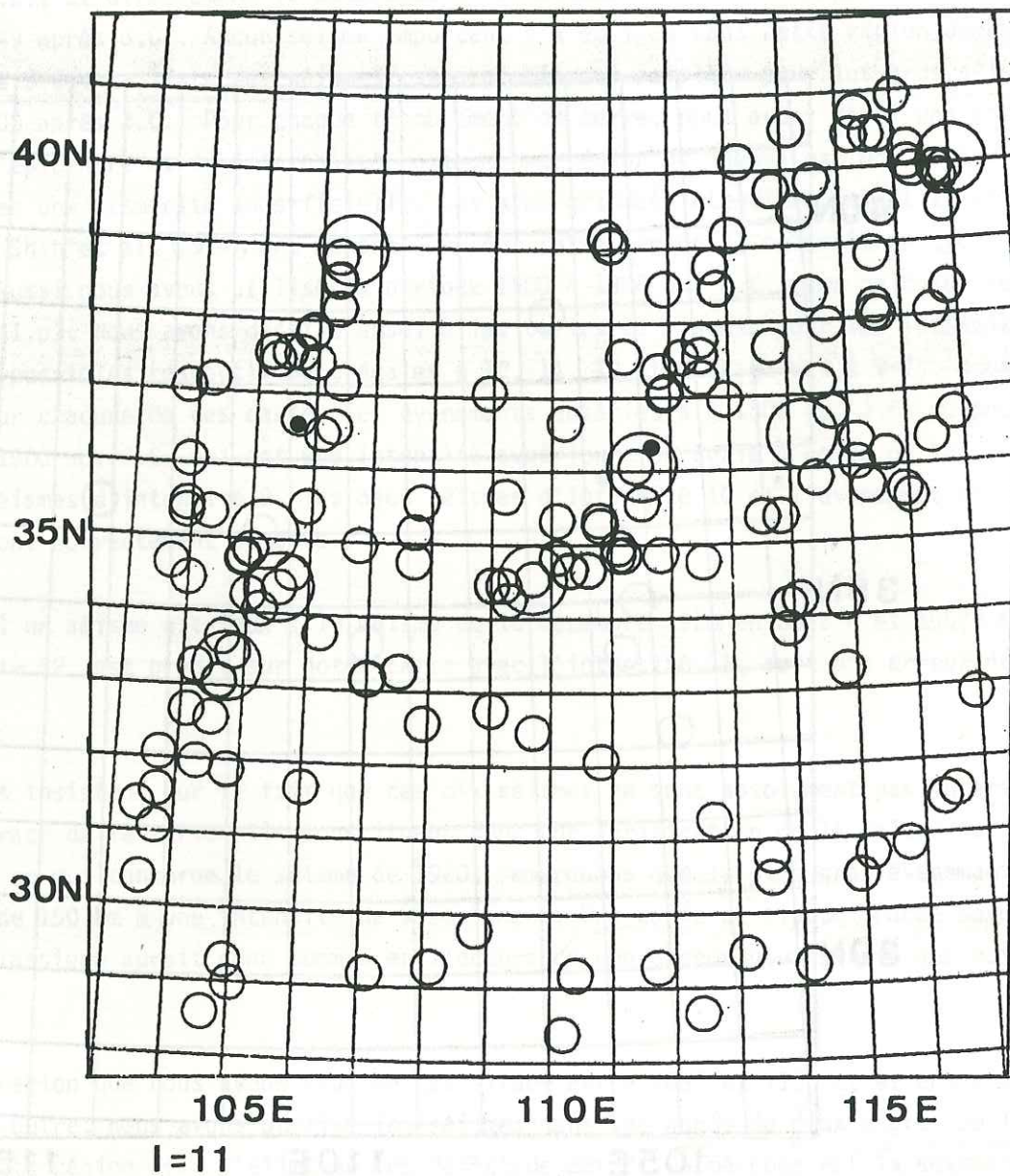


FIG.V-5 : Même légende que figure V-4, avec intensité maximum possible égale à 11.

Les points noirs correspondent aux séismes d'intensité supérieure ou égale à 11 avant 1500 ou après 1900 ap.J.C..

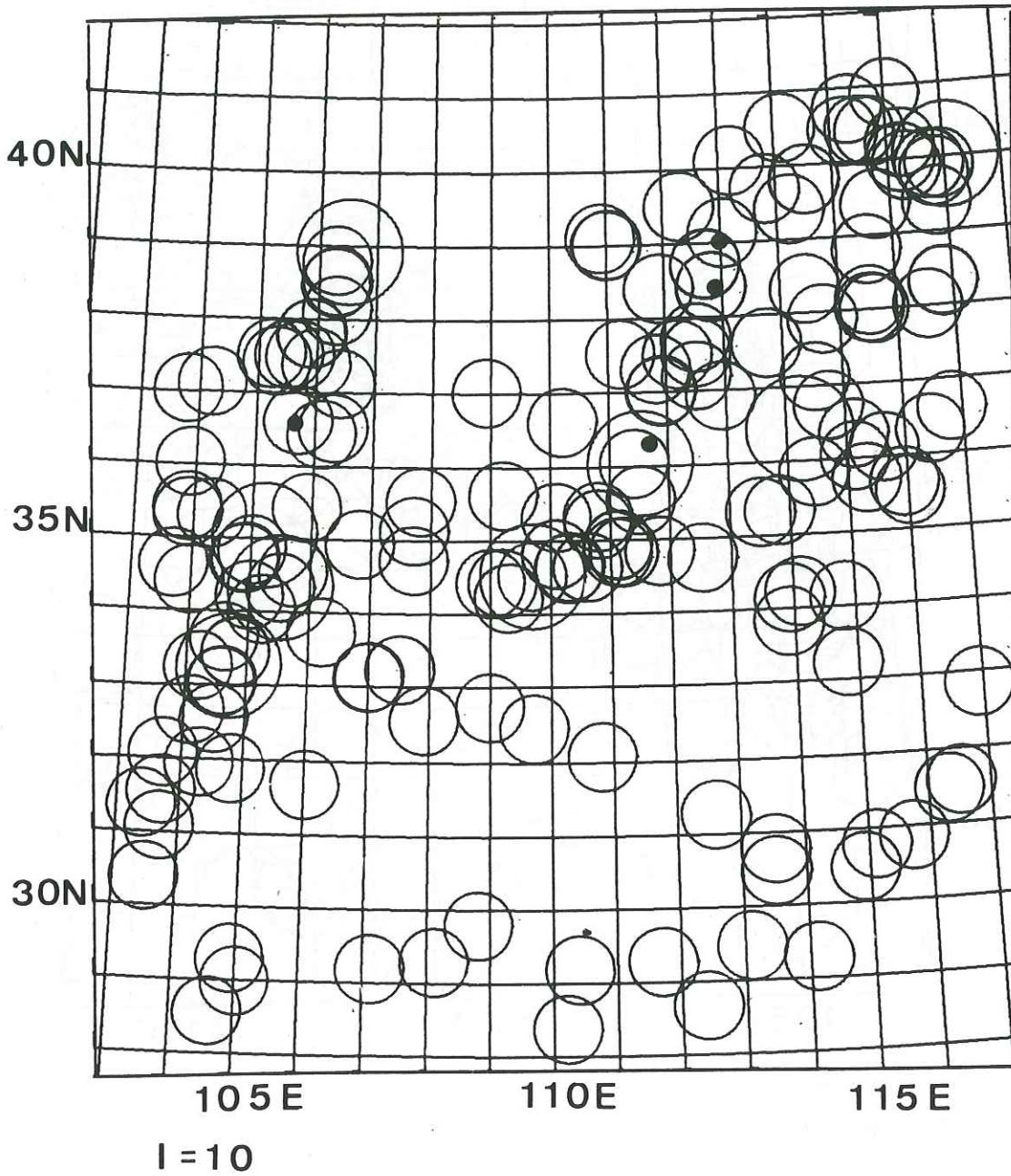


FIG.V-6 : Même légende que figure V-5, avec intensité égale à 10.

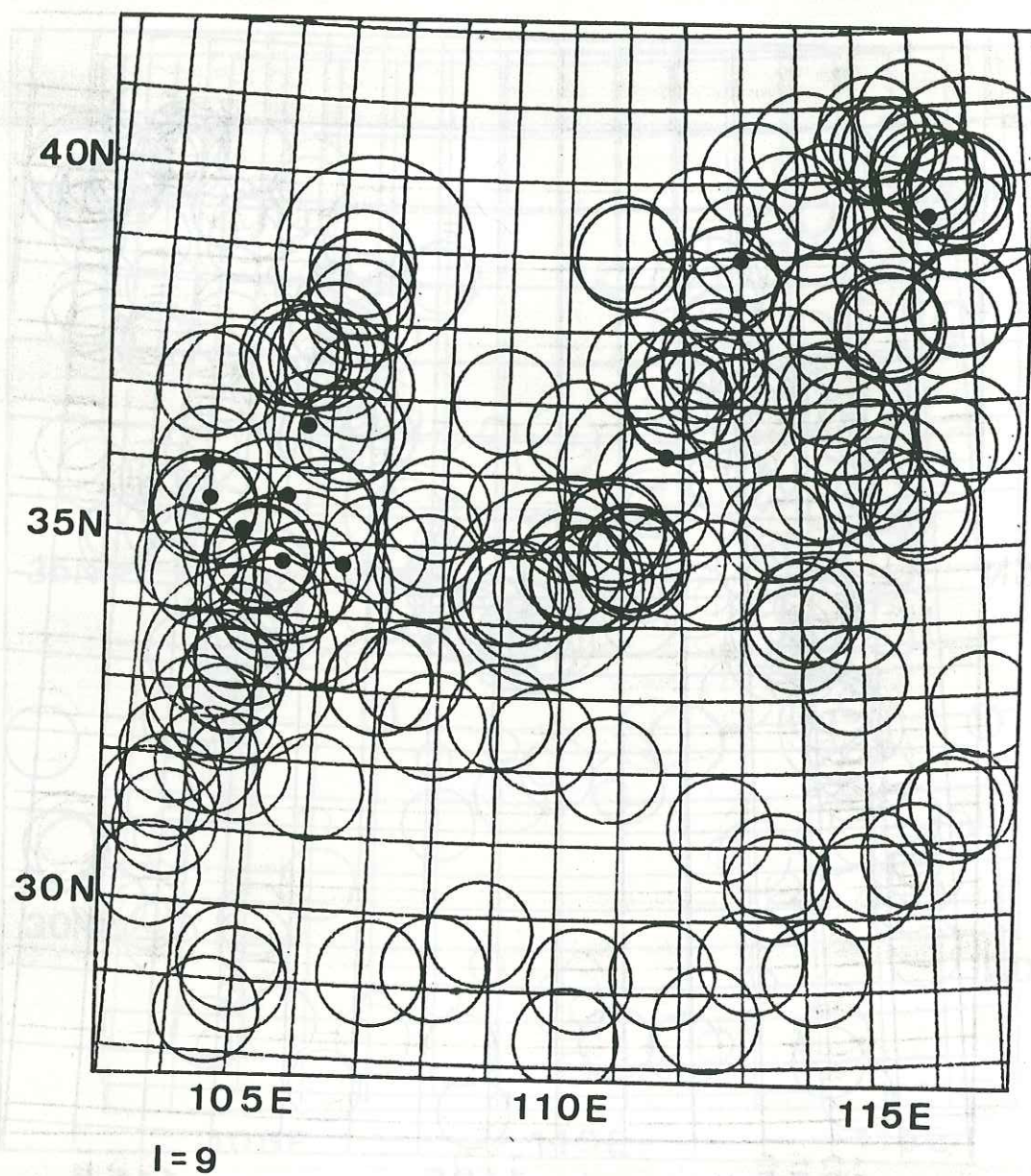


FIG.V-7 : Même légende que figure V-5, avec intensité égale à 9.

Le calcul a été mené avec les 185 séismes du catalogue d'intensités 6 à 11. Les valeurs obtenues sont :

$\rho = 10 \text{ km}$	$\Delta I = + 4$ pour $I = 6$ ou 7
	$\Delta I = + 3$ pour $I = 8$
	$\Delta I = + 2$ pour $I \geq 9$

La solution $\rho = 0 \text{ km}$, $\Delta I' = \Delta I + 1$ a été éliminée car elle aurait supposé que les épicentres soient parfaitement bien déterminés en position. La solution ($\rho = 200 \text{ km}$, $\Delta I'' = \Delta I - 1$) a été éliminée en considérant qu'il existe dans cette région des zones actives étroites et allongées le long de grandes failles, fait qui a été observé par Tapponnier et Molnar (1977), et par York et al. (1976), essentiellement par l'observation des mosaïques de photos satellites LANDSAT-1.

8. CARTE DU RISQUE SISMIQUE DU SUD-EST DE LA FRANCE

Nous avons utilisé un catalogue de séismes couvrant la période 1800 ap. J.C. à 1970 ap. J.C., entre 4°E et 8°E , et entre 43°N et 47°N (d'après Rothé 1941, Rothé 1946, Rothé et Dechevoy 1954, Rothé et Dechevoy 1967, Rothé 1972a). Les intensités vont de 6 à 10. Nous avons obtenu la solution suivante :

$\rho = 20 \text{ km}$	$\Delta I = + 1$ pour $I \leq 9$
	$\Delta I = 0$ pour $I = 10$

Les autres solutions ont été éliminées en considérant que 10 est la limite supérieure des intensités (11 correspondrait à une magnitude 6,7 probablement impossible dans cette région), et que 20 km est une bonne estimation de la largeur des régions actives (et de l'erreur maximum sur la localisation des séismes). Les valeurs obtenues sur les bords de la carte sont moins fiables que celles du centre car nous n'avons pas de données pour la périphérie de notre région. Pour améliorer le résultat, il serait nécessaire d'utiliser un catalogue plus complet, comme celui que prépare actuellement le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (B.R.G.M.).

9. CONCLUSION

Un traitement numérique des données de sismicité historique montre que les séismes ne sont pas distribués aléatoirement, et nous avons utilisé leur dépendance pour tracer une carte d'intensité maximale possible. La grossièreté de notre méthode permet de penser que les intensités sont plus surestimées que sousestimées, comme elles le sont trop souvent dans les méthodes courantes.

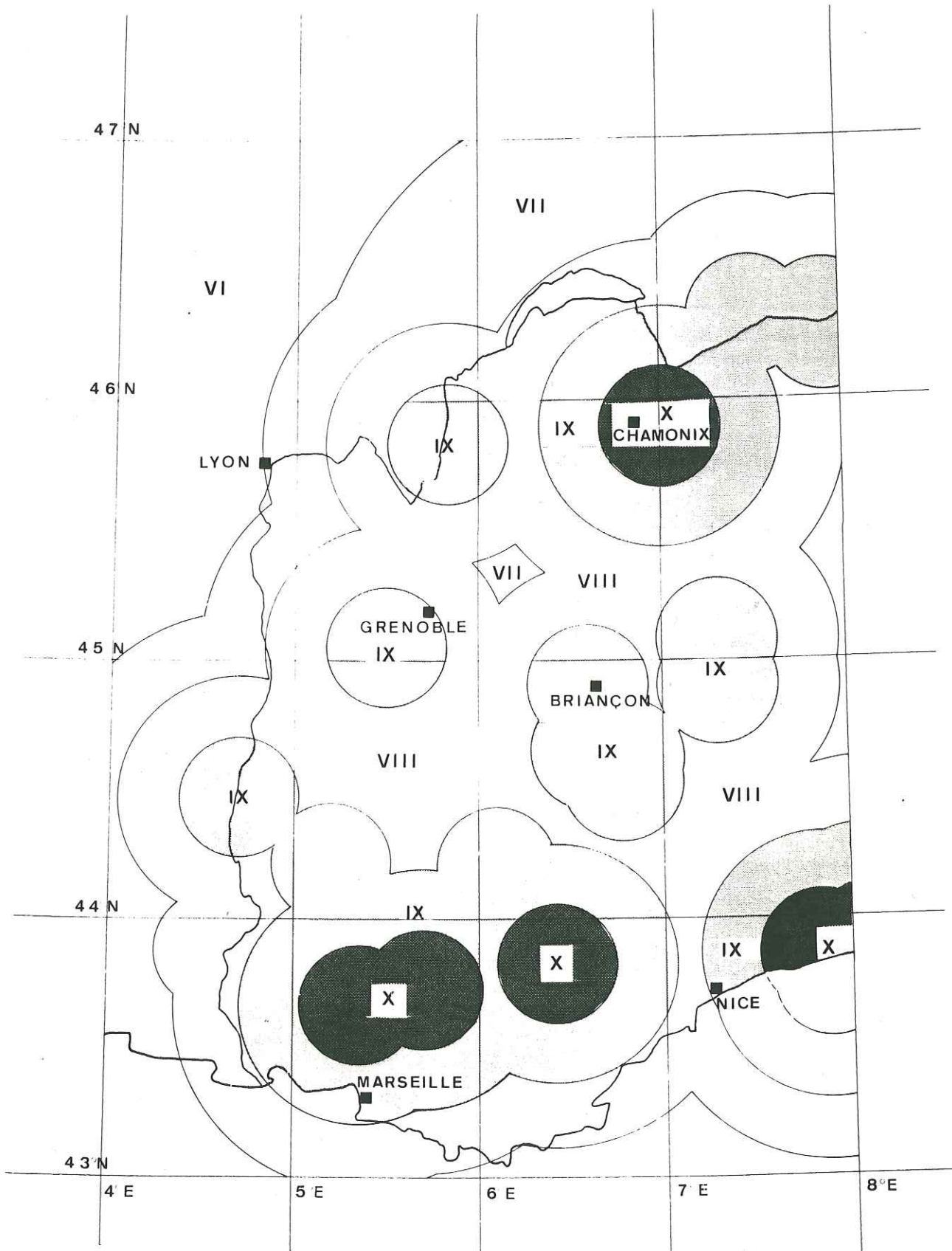


FIG.V-8 : Carte de l'intensité maximale possible dans le Sud-Est de la France.

ANNEXE I :FICHER DE SEISMES DE 1800 à MARS 1978, DANS LE SUD-EST DE
LA FRANCE

Légende:

Colonne 1 : Code de l'organisme qui a localisé le séisme;

1 = séisme historique (Rothé et al., B.R.G.M.)

2 = L.D.G.

3 = I.S.C.

4 = B.C.I.S./C.S.E.M.

5 = S.E.D.

Colonne 2 : Date

Colonne 3 : Heure

Colonne 4 : Latitude Nord (degrés)

Colonne 5 : Longitude Est (degrés)

Colonne 6 : Profondeur (kilomètres)

Colonne 7 : Magnitude

Colonne 8 : Nombre de stations utilisées pour la localisation

Colonne 9 : Intensité maximale

O	DATE	HEURE	LAT	LONG	PR	MAG	NP	INT
1	2/4/1808	17:45:0	44.90	7.30	0	0.0	0	8.5
1	20/3/1812	23:50:0	43.73	5.70	0	0.0	0	9.0
1	11/3/1817	21:10:0	45.90	6.80	0	0.0	0	9.0
1	19/2/1822	8:55:0	45.83	5.83	0	0.0	0	9.5
1	26/5/1831	11:25:0	43.87	7.83	0	0.0	0	9.0
1	24/1/1837	1:58:0	0.0	0.0	0	0.0	0	6.0
1	19/12/1838	0:0:0	45.22	6.33	0	0.0	0	6.5
1	11/8/1839	20:0:0	0.0	0.0	0	0.0	0	8.0
1	2/12/1841	19:53:0	0.0	0.0	0	0.0	0	7.5
1	30/3/1842	1:30:0	0.0	0.0	0	0.0	0	6.0
1	22/9/1847	9:35:0	0.0	0.0	0	0.0	0	5.0
1	1/10/1849	0:30:0	45.53	6.33	0	0.0	0	5.0
1	24/8/1851	2:0:0	46.25	7.00	0	0.0	0	6.5
1	20/11/1852	3:0:0	44.50	5.05	0	0.0	0	6.5
1	13/12/1852	21:0:0	0.0	0.0	0	0.0	0	4.0
1	29/12/1854	2:45:0	43.77	7.90	0	0.0	0	9.0
1	13/2/1855	10:27:0	45.43	6.50	0	0.0	0	5.0
1	25/7/1855	13:0:0	46.30	7.90	0	0.0	0	8.5
1	23/11/1855	15:15:0	43.83	6.42	0	0.0	0	9.0
1	13/5/1856	21:30:0	0.0	0.0	0	0.0	0	5.0
1	17/5/1856	4:25:0	45.55	5.95	0	0.0	0	5.0
1	6/8/1856	14:45:0	46.30	7.80	0	0.0	0	0.0

O	DATE	HEURE	LAT	LONG	PR	MAG	NP	INT
1	25/1/1857	9:15:0	45.90	5.00	0	0.0	0	5.0
1	9/6/1863	21:58:0	44.00	6.20	0	0.0	0	9.0
1	28/8/1863	2:25:0	0.0	0.0	0	0.0	0	4.0
1	7/12/1863	23:0:0	43.88	5.17	0	0.0	0	7.5
1	27/3/1865	1:0:0	45.38	6.50	0	0.0	0	4.0
1	19/5/1866	9:12:0	44.20	6.10	0	0.0	0	8.5
1	19/10/1868	0:30:0	0.0	0.0	0	0.0	0	4.0
1	12/9/1871	7:45:0	46.67	4.45	0	0.0	0	0.0
1	14/7/1873	2:55:0	44.47	4.70	0	0.0	0	9.0
1	8/10/1877	5:12:0	46.00	6.00	0	0.0	0	6.0
1	24/6/1878	9:12:0	0.0	0.0	0	0.0	0	5.0
1	30/12/1879	12:27:0	46.10	6.80	0	0.0	0	7.0
1	4/7/1880	9:20:0	46.28	7.88	0	0.0	0	6.5
1	3/3/1881	3:25:0	46.30	7.90	0	0.0	0	6.0
1	9/6/1881	0:38:0	0.0	0.0	0	0.0	0	4.0
1	22/7/1881	0:5:0	0.0	0.0	0	0.0	0	8.0
1	25/11/1881	18:25:0	46.30	6.97	0	0.0	0	7.5
1	17/12/1881	6:14:0	46.30	6.90	0	0.0	0	6.0
1	12/10/1882	2:0:0	0.0	0.0	0	0.0	0	4.0
1	10/12/1882	17:40:0	45.30	6.40	0	0.0	0	6.0
1	23/11/1884	0:0:0	44.70	6.70	0	0.0	0	7.5
1	26/9/1885	0:58:0	0.0	0.0	0	0.0	0	5.0
1	5/9/1886	19:41:0	45.08	7.30	0	0.0	0	8.0

O	DATE	HEURE	LAT	LONG	PR	MAG	NP	INT
1	23/2/1887	6:23:0	43.90	8.10	0	0.0	0	0.0
1	14/11/1887	9:0:0	43.90	4.90	0	0.0	0	7.0
1	29/6/1889	21:0:0	43.80	5.20	0	0.0	0	5.0
1	20/1/1891	4:16:0	0.0	0.0	0	0.0	0	6.0
1	16/8/1900	22:0:0	45.40	7.50	0	0.0	0	6.0
1	20/4/1901	10:35:0	44.33	7.50	0	0.0	0	6.0
1	13/5/1901	8:21:20	44.70	5.00	0	0.0	0	7.0
1	3/9/1903	7:25:0	0.0	0.0	0	0.0	0	5.0
1	12/7/1904	5:31:0	44.90	6.60	0	0.0	0	8.0
1	15/11/1904	19:15:0	43.90	7.80	0	0.0	0	5.5
1	23/11/1904	20:54:0	0.0	0.0	0	0.0	0	5.0
1	10/4/1905	10:5:0	0.0	0.0	0	0.0	0	8.0
1	20/4/1905	1:46:0	45.90	7.00	0	0.0	0	9.0
1	30/5/1905	4:54:0	44.33	7.42	0	0.0	3	6.0
1	13/8/1905	10:21:0	45.90	7.00	0	0.0	0	6.5
1	7/12/1905	0:8:0	46.10	7.00	0	0.0	1	5.0
1	7/6/1906	10:30:0	46.10	4.50	0	0.0	0	5.0
1	11/8/1906	10:0:0	0.0	0.0	0	0.0	0	4.5
1	26/12/1907	0:0:0	44.40	4.80	0	0.0	0	0.0
1	11/6/1909	21:7:0	43.67	5.35	0	0.0	25	10.0
1	27/9/1911	14:53:0	44.67	6.55	0	0.0	6	0.0
1	14/12/1911	0:0:0	44.27	4.90	0	0.0	0	0.0
1	31/5/1912	20:39:0	45.50	8.10	0	0.0	0	5.0

O	DATE	HEURE	LAT	LONG	PR	MAG	NP	INT
1	9/2/1913	16:49:0	0.0	0.0	0	0.0	0	4.0
1	14/5/1913	7:17:0	43.87	5.83	0	0.0	0	9.0
1	26/10/1913	3:44:0	45.08	7.33	0	0.0	3	7.0
1	25/8/1915	2:12:0	46.03	7.03	0	0.0	3	8.0
1	2/2/1918	23:44:0	0.0	0.0	0	0.0	0	5.0
1	13/11/1918	20:19:0	0.0	0.0	0	0.0	0	5.0
1	16/8/1919	21:25:0	0.0	0.0	0	0.0	0	5.0
1	16/11/1919	4:25:0	46.20	7.20	0	0.0	1	6.0
1	28/11/1919	21:38:0	0.0	0.0	0	0.0	7	5.5
1	29/3/1920	9:59:0	46.30	7.50	0	0.0	0	5.5
1	3/5/1921	8:25:0	44.90	6.80	0	0.0	5	0.0
1	14/1/1922	17:7:0	0.0	0.0	0	0.0	3	5.0
1	5/4/1922	16:28:0	0.0	0.0	0	0.0	1	5.0
1	25/7/1922	17:30:0	45.90	5.10	0	0.0	0	4.0
1	10/9/1923	4:23:0	0.0	0.0	0	0.0	2	6.0
1	4/1/1924	3:18:0	44.80	7.20	0	0.0	0	5.0
1	15/4/1924	12:49:0	46.25	7.92	9	0.0	0	8.0
1	14/8/1924	2:18:0	45.70	6.30	0	0.0	1	6.0
1	24/9/1924	12:0:0	44.10	4.72	0	0.0	0	6.0
1	21/7/1925	12:2:0	45.97	6.20	0	0.0	4	7.0
1	5/12/1926	3:25:0	0.0	0.0	0	0.0	0	4.0
1	21/6/1927	15:13:0	0.0	0.0	0	0.0	4	4.0
1	24/7/1927	21:21:0	44.22	5.20	0	0.0	6	8.0

Faint, illegible text in the left column, possibly bleed-through from the reverse side of the page.

Faint, illegible text in the right column, possibly bleed-through from the reverse side of the page.

0	DATE	HEURE	LAT	LON	PR	MAG	NP	INT
5	6/10/1972	4:34:36	46.18	7.30	10	3.5	0	0.0
2	6/10/1972	5:35:18	43.54	6.44	15	0.0	0	0.0
2	6/10/1972	5:42:18	46.73	4.59	0	1.8	0	0.0
3	9/10/1972	13: 0: 1	46.73	5.71	0	0.0	10	0.0
4	9/10/1972	13: 0: 1	46.75	5.91	0	0.0	0	0.0
3	27/10/1972	17:34:20	45.07	7.50	0	0.0	14	0.0
4	27/10/1972	17:34:24	45.20	8.00	0	0.0	0	0.0
2	21/11/1972	2:42:38	44.73	6.90	5	0.0	0	0.0
2	28/11/1972	4:30:30	45.75	5.49	15	2.1	0	0.0
2	9/12/1972	5:36:31	44.10	5.00	0	3.4	0	0.0
3	9/12/1972	5:36:29	44.15	4.84	0	0.0	10	0.0
4	9/12/1972	5:36:32	44.20	4.90	0	0.0	0	0.0
2	17/12/1972	22:51:26	44.36	7.36	5	0.0	0	0.0
3	19/12/1972	6:58:54	46.97	6.03	0	0.0	12	0.0
4	19/12/1972	6:58:56	46.90	6.10	0	0.0	0	0.0
2	22/12/1972	15: 8: 2	45.77	5.38	15	2.4	0	0.0
2	29/12/1972	0:14:20	44.41	7.25	0	3.6	10	0.0
3	29/12/1972	0:14:17	44.41	7.23	1	0.0	16	0.0
4	29/12/1972	0:14:20	44.40	7.10	0	0.0	0	0.0
2	13/ 1/1973	1:53:13	44.60	7.58	10	0.0	0	0.0
2	18/ 1/1973	21:51:55	45.27	6.67	0	3.7	0	0.0
3	18/ 1/1973	21:51:56	45.30	6.70	33	0.0	24	0.0
4	18/ 1/1973	21:51:55	45.30	6.60	0	0.0	0	0.0
2	20/ 1/1973	10:28:53	45.14	6.08	0	2.8	0	0.0
2	22/ 1/1973	3:19:52	46.99	4.92	10	2.8	9	0.0
2	6/ 3/1973	0:41:50	43.96	5.61	0	2.4	0	0.0
5	6/ 3/1973	23:37:14	45.99	7.66	18	2.7	0	0.0

0	DATE	HEURE	LAT	LON	PR	MAG	NP	INT
2	14/ 3/1973	16: 0:45	43.39	6.85	10	0.0	0	0.0
2	16/ 3/1973	6: 9:41	44.77	6.98	10	0.0	0	0.0
2	20/ 3/1973	1:55:55	43.77	7.30	5	0.0	0	0.0
2	31/ 3/1973	10:10: 4	44.26	7.76	10	0.0	0	0.0
2	1/ 4/1973	1:45:45	46.77	5.43	0	2.1	6	0.0
2	5/ 4/1973	2:18:52	44.37	7.41	5	0.0	0	0.0
2	12/ 4/1973	1:56:51	46.19	7.19	5	2.4	9	0.0
5	12/ 4/1973	1:56:48	46.00	7.34	8	2.6	0	0.0
2	13/ 4/1973	14:31:16	43.42	6.87	15	0.0	0	0.0
2	17/ 4/1973	7: 0:47	44.41	6.29	10	0.0	0	0.0
2	17/ 4/1973	18:27:31	44.15	7.69	10	0.0	0	0.0
2	20/ 4/1973	16:45:16	44.71	7.77	0	0.0	0	0.0
2	25/ 4/1973	8:38: 7	46.72	7.10	5	2.8	9	0.0
5	25/ 4/1973	8:38: 0	46.40	7.36	10	2.7	0	0.0
2	26/ 4/1973	15:10:54	44.55	7.03	5	0.0	0	0.0
2	28/ 4/1973	13:20:29	46.63	7.16	10	3.0	10	0.0
5	28/ 4/1973	9:45:22	46.24	6.92	13	2.0	0	0.0
5	28/ 4/1973	13:20:24	46.39	7.56	14	2.5	0	0.0
2	2/ 5/1973	15: 2:12	43.41	6.91	10	0.0	0	0.0
2	4/ 5/1973	18:33:50	44.31	7.53	10	0.0	0	0.0
2	9/ 5/1973	22: 9:10	44.23	6.32	5	0.0	0	0.0
2	12/ 5/1973	13:56:36	44.04	7.80	10	0.0	0	0.0
2	27/ 5/1973	2:22:56	43.98	7.25	5	0.0	0	0.0
2	27/ 5/1973	22:39: 5	43.81	7.89	5	0.0	0	0.0

0	DATE	HEURE	LAT	LON	PR	MAG	NP	INT
2	28/ 5/1973	21:17:56	46.38	6.44	10	2.5	0	0.0
5	28/ 5/1973	21:17:56	46.23	6.47	4	2.1	0	0.0
5	13/ 6/1973	17:21:33	45.92	6.99	10	2.5	0	0.0
2	14/ 6/1973	20:50: 7	46.88	7.86	20	2.8	6	0.0
2	16/ 6/1973	15:46:42	44.53	6.98	0	0.0	0	0.0
2	2/ 7/1973	11: 1:25	46.77	6.83	0	2.8	10	0.0
3	2/ 7/1973	11: 1:24	46.52	6.80	33	0.0	19	0.0
5	2/ 7/1973	11: 1:23	46.24	6.70	21	2.8	0	0.0
2	17/ 8/1973	3:53:32	43.54	4.70	10	2.3	0	0.0
2	17/ 8/1973	14:48:31	43.50	4.24	10	2.4	0	0.0
2	18/ 8/1973	1:42:34	43.25	4.66	10	2.2	0	0.0
5	23/ 8/1973	10:42:58	45.87	7.14	15	2.3	0	0.0
2	24/ 8/1973	9:50: 9	44.81	6.77	20	0.0	0	0.0
2	28/ 8/1973	9:28:49	45.13	6.47	5	2.9	0	0.0
2	1/ 9/1973	21:34:47	46.33	6.67	0	2.9	15	0.0
5	1/ 9/1973	21:34:49	46.24	6.66	13	2.5	0	0.0
2	19/ 9/1973	12:50:36	44.69	4.78	0	2.9	9	0.0
2	7/10/1973	15:30: 2	44.42	7.57	0	3.4	0	0.0
3	7/10/1973	15:30: 1	44.54	7.39	0	0.0	19	0.0
4	7/10/1973	15:30: 3	44.50	7.40	0	0.0	0	0.0
2	14/10/1973	6:16:46	46.50	7.24	0	2.8	0	0.0
3	14/10/1973	8:16:44	46.38	7.50	33	0.0	12	0.0
4	14/10/1973	8:16:41	46.30	7.40	0	0.0	0	0.0
5	14/10/1973	8:16:41	46.42	7.18	2	2.4	0	0.0
3	31/10/1973	18:10: 8	43.37	5.59	61	0.0	21	0.0
4	31/10/1973	18:10: 8	43.20	5.30	0	0.0	0	0.0
3	16/11/1973	20:49:26	44.43	7.74	0	0.0	25	0.0
4	16/11/1973	20:49:26	44.80	7.70	0	0.0	0	0.0

0	DATE	HEURE	LAT	LON	PR	MAG	NP	INT
5	17/11/1973	7:49:16	46.09	7.29	2	2.0	0	0.0
5	30/11/1973	20: 7:55	46.05	7.07	2	2.1	0	0.0
2	17/12/1973	11:42: 4	44.89	6.93	0	3.5	12	0.0
3	17/12/1973	11:42: 5	44.91	6.85	33	0.0	25	0.0
4	17/12/1973	11:42: 4	44.90	6.80	0	0.0	0	0.0
2	22/12/1973	12:30:23	46.46	7.42	5	2.7	0	0.0
5	22/12/1973	12:30:20	46.33	7.47	6	2.1	0	0.0
2	15/ 1/1974	12:17:29	46.36	7.52	15	2.7	7	0.0
2	15/ 1/1974	20:11: 9	46.62	7.43	0	3.9	20	0.0
3	15/ 1/1974	20:11: 9	46.58	6.90	4	0.0	39	0.0
4	15/ 1/1974	20:11: 5	46.60	7.50	4	0.0	0	0.0
2	19/ 1/1974	2:49:51	46.68	7.40	0	4.3	21	0.0
3	19/ 1/1974	2:49:50	46.68	7.46	83	0.0	48	0.0
4	19/ 1/1974	2:49:52	46.70	7.50	60	0.0	0	0.0
2	19/ 1/1974	3: 2:37	46.74	7.22	5	2.9	12	0.0
2	19/ 1/1974	7:55:33	46.74	7.23	5	2.1	9	0.0
2	8/ 2/1974	20:12:18	44.22	6.55	0	4.5	23	0.0
3	8/ 2/1974	20:12:17	44.22	6.54	33	0.0	43	0.0
4	8/ 2/1974	20:12:17	44.20	6.60	0	0.0	0	0.0
2	10/ 2/1974	22:34: 2	46.69	7.30	0	4.0	19	0.0
3	10/ 2/1974	22:34: 2	46.60	6.90	0	0.0	42	0.0
4	10/ 2/1974	22:34: 0	46.60	7.50	0	0.0	0	0.0
3	11/ 2/1974	13:44:32	46.14	7.70	33	0.0	16	0.0
4	11/ 2/1974	13:44:30	46.20	7.80	0	0.0	0	0.0
2	12/ 2/1974	12:35:44	46.31	7.76	0	2.8	9	0.0
3	12/ 2/1974	12:35:44	46.13	7.80	33	0.0	14	0.0
3	22/ 2/1974	12:39:25	44.93	6.53	0	0.0	18	0.0
4	22/ 2/1974	12:39:27	44.90	6.60	0	0.0	0	0.0
2	13/ 3/1974	3:17:33	43.89	4.78	20	2.9	12	0.0
2	26/ 3/1974	13:48:54	44.74	6.72	5	0.0	0	0.0

0	DATE	HEURE	LAT	LON	PR	MAG	NP	INT
2	1/ 4/1974	2:37:23	44.23	7.23	5	0.0	6	0.0
2	1/ 4/1974	20:24:38	45.73	5.27	0	2.5	8	0.0
3	1/ 4/1974	20:24:31	45.57	5.70	0	0.0	8	0.0
2	6/ 4/1974	6:22:31	43.47	7.78	20	0.0	7	0.0
2	6/ 4/1974	19:31:22	46.32	7.30	0	2.8	9	0.0
3	6/ 4/1974	19:31:19	46.33	7.12	10	0.0	20	0.0
4	6/ 4/1974	19:31:20	46.30	7.40	0	0.0	0	0.0
5	5/ 5/1974	15:49:24	46.32	7.31	0	2.5	0	0.0
2	26/ 5/1974	14:11:36	46.13	7.28	15	2.7	0	0.0
3	26/ 5/1974	14:11:36	46.07	7.16	0	0.0	15	0.0
4	26/ 5/1974	14:11:36	46.10	7.30	0	0.0	0	0.0
5	26/ 5/1974	14:11:38	46.08	7.31	0	3.1	0	0.0
2	28/ 5/1974	19:28:36	43.64	5.26	15	3.5	7	0.0
3	29/ 5/1974	12: 2:16	46.90	4.91	0	0.0	6	0.0
3	29/ 5/1974	16:17:38	45.17	4.15	0	0.0	7	0.0
2	7/ 6/1974	1:55:28	46.18	6.43	0	3.0	9	0.0
3	7/ 6/1974	1:55:25	46.20	6.29	0	0.0	20	0.0
4	7/ 6/1974	1:55:29	46.30	6.30	0	0.0	0	0.0
2	9/ 6/1974	0:18: 5	45.98	6.35	5	3.6	24	0.0
3	9/ 6/1974	0:18: 5	45.83	6.50	5	0.0	29	0.0
4	9/ 6/1974	0:18: 5	45.90	6.40	0	0.0	0	0.0
2	15/ 6/1974	17:41:38	45.84	6.91	0	3.0	12	0.0
3	15/ 6/1974	17:41:36	45.91	6.87	0	0.0	24	0.0
4	15/ 6/1974	17:41:35	45.90	6.90	0	0.0	0	0.0
2	16/ 6/1974	6:10:59	43.95	7.79	5	0.0	0	0.0
3	16/ 6/1974	10:59:13	46.50	7.33	0	0.0	6	0.0
5	16/ 6/1974	10:59:17	46.59	7.39	0	2.4	0	0.0
2	17/ 6/1974	13:42:38	44.65	4.46	20	2.7	6	0.0
2	22/ 6/1974	13:32: 8	44.17	7.88	0	3.2	0	0.0
0	DATE	HEURE	LAT	LON	PR	MAG	NP	INT
3	25/ 6/1974	12: 9:32	46.60	7.50	0	0.0	10	0.0
5	25/ 6/1974	12: 9:35	46.88	6.92	0	2.4	0	0.0
2	2/ 7/1974	23:40:12	45.24	5.55	0	3.2	11	0.0
3	2/ 7/1974	23:40: 5	45.27	5.51	0	0.0	20	0.0
3	2/ 7/1974	23:40:11	45.20	5.60	0	0.0	0	0.0
5	5/ 7/1974	19: 6:22	46.15	7.82	0	2.3	0	0.0
2	10/ 7/1974	4: 4:30	45.80	6.68	0	2.7	11	0.0
3	10/ 7/1974	4: 4:25	45.70	6.72	0	0.0	11	0.0
3	18/ 7/1974	16:55:38	44.80	7.90	33	0.0	18	0.0
5	19/ 7/1974	0:56: C	46.78	6.96	0	2.3	0	0.0
2	24/ 7/1974	9: 0:28	46.83	5.89	5	2.3	9	0.0
3	26/ 7/1974	16:12:24	44.90	6.10	0	0.0	7	0.0
5	29/ 7/1974	4:31: 2	46.22	7.57	0	2.3	0	0.0
5	5/ 8/1974	17:37:53	46.59	7.56	0	2.3	0	0.0
3	5/ 8/1974	18:37:45	44.53	7.50	9	0.0	40	0.0
4	5/ 8/1974	18:37:46	44.40	7.50	0	0.0	0	0.0
2	7/ 8/1974	20:38:31	44.44	6.32	0	3.1	12	0.0
3	7/ 8/1974	20:38:28	44.38	6.27	3	0.0	14	0.0
4	7/ 8/1974	20:38:30	44.40	6.40	0	0.0	0	0.0
2	15/ 8/1974	17:16:20	46.37	7.39	0	3.7	20	0.0
3	15/ 8/1974	17:16:16	46.42	7.48	0	0.0	33	0.0
5	15/ 8/1974	17:16:16	46.41	7.34	0	3.0	0	0.0
4	15/ 8/1974	17:16:20	46.50	7.30	0	0.0	0	0.0
3	21/ 8/1974	17:49:47	45.90	8.00	33	0.0	13	0.0
2	28/ 8/1974	11:16:43	44.67	4.64	20	2.7	10	0.0
2	6/ 9/1974	3:59:11	46.80	7.22	10	0.0	0	0.0
2	6/ 9/1974	4: 2:50	46.99	7.03	10	0.0	0	0.0
3	6/ 9/1974	4: 2:47	46.93	7.15	0	0.0	17	0.0
5	6/ 9/1974	4: 2:47	46.87	7.15	0	3.3	0	0.0

0	DATE	HEURE	LAT	LON	PR	MAG	NP	INT
3	8/ 9/1974	12:57:30	43.49	7.41	28	0.0	17	0.0
2	7/10/1974	12:17:33	44.24	7.70	10	3.3	8	0.0
3	7/10/1974	12:17:31	44.40	7.48	0	0.0	12	0.0
3	31/10/1974	16:33: 1	45.76	4.50	0	0.0	9	0.0
5	5/11/1974	22:59:52	46.12	7.00	0	2.3	0	0.0
2	7/11/1974	0:29:40	43.32	5.50	0	3.6	10	0.0
5	13/11/1974	1:14: 7	46.45	7.42	0	2.6	0	0.0
3	15/11/1974	17:47:20	45.24	4.29	0	0.0	7	0.0
2	18/11/1974	6:12:25	44.34	7.61	10	2.5	7	0.0
2	29/11/1974	15:42:11	45.01	7.54	0	3.1	9	0.0
3	29/11/1974	15:42:10	45.00	7.70	0	0.0	5	0.0
2	1/12/1974	20: 4:37	45.66	7.83	0	3.2	17	0.0
3	1/12/1974	20: 4:34	45.56	7.84	0	0.0	6	0.0
2	4/12/1974	1:10:23	44.53	6.51	15	2.8	11	0.0
3	7/12/1974	14:48:42	45.90	5.30	0	0.0	6	0.0
3	7/12/1974	17:16:14	46.39	7.47	0	2.4	0	0.0
2	8/12/1974	15:36:14	46.63	7.22	10	3.0	0	0.0
2	20/12/1974	16:37: 1	46.97	7.02	20	2.6	10	0.0
3	20/12/1974	16:36:56	46.80	7.25	0	0.0	8	0.0
5	20/12/1974	16:36:59	46.88	7.21	0	2.7	0	0.0
2	22/12/1974	3:24:20	46.82	6.80	5	2.3	8	0.0
3	22/12/1974	3:24:14	46.70	6.98	0	0.0	6	0.0
5	22/12/1974	3:24:15	46.75	6.96	0	2.7	0	0.0
5	28/12/1974	9:22:57	46.30	7.54	0	2.3	0	0.0
5	5/ 1/1975	10:33:52	46.08	6.08	0	0.0	0	0.0
3	7/ 1/1975	9:12:32	46.10	6.30	0	0.0	8	0.0
0	DATE	HEURE	LAT	LON	PR	MAG	NP	INT
2	8/ 1/1975	9:12:45	46.82	5.72	0	3.5	19	0.0
3	8/ 1/1975	9:12:42	46.84	5.69	0	0.0	18	0.0
4	8/ 1/1975	9:12:44	46.80	5.80	0	0.0	0	0.0
2	29/ 1/1975	4:33:50	46.40	7.09	5	2.4	6	0.0
5	29/ 1/1975	4:33:48	46.35	7.28	18	2.1	0	0.0
5	7/ 2/1975	8:57:50	46.32	7.80	2	2.4	0	0.0
2	8/ 2/1975	4:44:53	43.28	5.13	0	2.4	0	0.0
2	19/ 2/1975	16:49:19	44.37	4.69	0	3.1	0	0.0
5	19/ 2/1975	9:30: 4	46.29	7.31	11	0.0	0	0.0
5	4/ 3/1975	3: 7:47	45.87	6.97	1	0.0	0	0.0
2	27/ 3/1975	2:58:50	43.59	6.68	5	1.2	0	0.0
5	28/ 3/1975	13: 5:54	46.12	7.17	2	0.0	0	0.0
2	29/ 3/1975	1:34:32	44.94	6.75	0	2.5	10	0.0
3	29/ 3/1975	1:34:29	45.02	6.80	0	0.0	9	0.0
2	31/ 3/1975	3: 6:48	45.00	5.47	0	2.6	8	0.0
3	2/ 4/1975	7:19:11	46.87	5.79	0	0.0	6	0.0
2	4/ 4/1975	9:11:25	45.95	5.07	5	0.0	0	0.0
2	8/ 4/1975	4: 6:43	46.56	4.40	20	2.0	6	0.0
2	12/ 4/1975	19:52:30	45.11	7.93	20	3.7	25	0.0
3	12/ 4/1975	19:52:22	45.10	7.96	0	0.0	31	0.0
4	12/ 4/1975	19:52:24	45.10	8.00	0	0.0	0	0.0
2	13/ 4/1975	2:28:51	43.59	7.85	10	2.6	6	0.0
2	20/ 4/1975	9:23:27	45.42	5.51	20	2.3	0	0.0
5	20/ 4/1975	7:47: 3	46.17	7.43	4	1.5	0	0.0
2	22/ 4/1975	12:42:25	44.57	4.99	25	2.8	10	0.0
3	22/ 4/1975	12:42:24	44.60	4.90	0	0.0	6	0.0

ID	DATE	HEURE	LAT	LCN	PR	MAG	NP	INT
5 26/	4/1975	13: 6:32	46.87	7.18	10	1.1	0	0.0
5 27/	4/1975	6:13:38	46.80	6.78	3	1.4	0	0.0
2 6/	5/1975	10: 8:21	46.64	5.97	5	2.5	10	0.0
3 6/	5/1975	10: 8:22	46.90	5.80	0	0.0	5	0.0
2 9/	5/1975	12:42: 6	43.02	5.78	25	4.0	0	0.0
5 11/	5/1975	14:55:55	46.38	8.03	5	1.0	0	0.0
2 15/	5/1975	21: 5:55	44.74	7.73	10	3.5	0	0.0
3 15/	5/1975	21: 5:55	44.81	7.78	39	0.0	20	0.0
4 15/	5/1975	21: 5:57	44.80	7.80	0	0.0	0	0.0
2 23/	5/1975	6:23:34	45.37	6.23	0	2.8	10	0.0
2 29/	5/1975	0:32:35	46.04	6.02	0	4.2	29	0.0
3 29/	5/1975	0:32:36	46.07	6.01	0	0.0	27	0.0
4 29/	5/1975	0:32:35	46.10	6.00	0	0.0	0	0.0
2 29/	5/1975	0:45: 9	46.05	6.04	0	3.2	18	0.0
3 29/	5/1975	0:45: 8	46.06	5.95	6	0.0	22	0.0
4 29/	5/1975	0:45: 9	46.10	6.00	0	0.0	0	0.0
3 4/	6/1975	10:42:22	44.63	4.90	33	0.0	5	0.0
2 5/	6/1975	16:57:46	43.89	7.40	5	2.1	6	0.0
2 6/	6/1975	18:39:25	44.38	7.33	5	2.1	6	0.0
2 6/	6/1975	22: 8:31	44.25	6.96	5	1.9	6	0.0
3 11/	6/1975	10:48:26	44.60	7.40	0	0.0	8	0.0
2 28/	6/1975	23:57: 3	47.00	6.60	10	0.0	0	0.0
2 29/	6/1975	13: 6:42	43.72	7.01	15	1.8	6	0.0
3 1/	7/1975	22: 0:29	44.08	6.24	0	0.0	7	0.0
2 5/	7/1975	21:21:57	44.40	7.49	5	2.3	6	0.0
2 11/	7/1975	1:13:19	44.06	7.15	10	2.4	6	0.0
2 14/	7/1975	3:48:35	44.18	7.33	10	2.0	6	0.0
2 19/	7/1975	2:36:37	44.18	6.67	10	1.9	6	0.0
5 21/	7/1975	19:52:45	46.91	6.56	0	1.5	0	0.0
5 25/	7/1975	5:43:11	45.95	7.10	1	1.4	0	0.0
5 25/	7/1975	9:41:50	46.09	7.36	3	1.2	0	0.0
3 15/	8/1975	9:44:29	46.18	5.01	0	0.0	6	0.0
2 16/	8/1975	0:33:12	45.65	7.57	0	3.1	0	0.0
2 17/	8/1975	6: 7:26	46.97	6.93	5	2.5	7	0.0
3 17/	8/1975	6: 7:15	46.82	7.18	0	0.0	9	0.0
5 17/	8/1975	6: 7:20	46.83	7.20	0	1.4	0	0.0
2 29/	8/1975	4:37:26	43.54	6.56	0	0.6	0	0.0
2 29/	8/1975	20:11:27	43.67	7.90	5	1.7	6	0.0
2 31/	8/1975	3:54:46	43.99	7.47	5	2.1	0	0.0
2 1/	9/1975	9:23:44	44.72	4.43	5	3.2	0	0.0
3 1/	9/1975	9:23:41	44.79	4.44	0	0.0	20	0.0
2 5/	9/1975	11:10:15	45.22	6.50	0	2.7	0	0.0
5 6/	9/1975	19:16: 6	46.20	7.30	10	1.9	0	0.0
2 8/	9/1975	6:58:32	43.53	7.81	10	2.4	0	0.0
5 16/	9/1975	20:44:58	45.90	7.58	5	2.2	0	0.0
2 25/	9/1975	18:44:45	46.05	5.95	25	2.3	0	0.0
3 25/	9/1975	18:44:54	46.10	6.00	15	0.0	9	0.0
5 25/	9/1975	19: 2:37	46.72	8.96	2	2.2	0	0.0
2 29/	9/1975	1: 0:48	46.03	7.29	0	2.5	0	0.0
3 29/	9/1975	1: 0:44	46.02	7.33	0	0.0	12	0.0
5 29/	9/1975	23:37: 9	46.43	7.42	2	2.2	0	0.0

ID	DATE	HEURE	LAT	LCN	PR	MAG	NP	INT
5 29/	9/1975	23:40:18	46.38	7.52	8	2.0	0	0.0
5 29/	9/1975	23:41:52	46.37	7.48	10	1.8	0	0.0
2 3/10/1975	5:29:43	44.67	7.07	5	2.1	0	0.0	
3 8/10/1975	17: 2:54	45.19	4.09	0	0.0	11	0.0	
2 9/10/1975	16: 5: 3	45.92	5.91	5	2.3	0	0.0	
3 9/10/1975	16: 4:59	45.96	6.10	10	0.0	6	0.0	
2 12/10/1975	6:27:47	46.17	7.22	0	2.8	0	0.0	
3 12/10/1975	6:27:47	46.29	7.07	13	0.0	16	0.0	
5 12/10/1975	6:27:44	46.08	7.37	3	2.8	0	0.0	
4 12/10/1975	6:27:46	46.20	7.30	0	0.0	0	0.0	
2 13/10/1975	1:41:13	45.33	6.26	5	2.2	0	0.0	
3 13/10/1975	1:41: 7	45.20	6.30	5	0.0	6	0.0	
5 19/10/1975	18:52:55	46.36	7.60	3	2.1	0	0.0	
2 21/10/1975	1:32:56	44.33	7.45	10	1.7	0	0.0	
5 21/10/1975	4:19:21	46.38	7.46	12	2.2	0	0.0	
5 21/10/1975	5:34:12	46.38	7.42	13	2.2	0	0.0	
2 21/10/1975	23:15:20	46.36	7.18	0	2.6	0	0.0	
3 21/10/1975	23:15:16	46.33	7.39	6	0.0	18	0.0	
5 21/10/1975	23:15:15	46.18	7.45	6	2.8	0	0.0	
2 22/10/1975	2:50:16	44.90	7.19	0	2.5	0	0.0	
5 22/10/1975	6:14:49	46.16	8.13	7	1.4	0	0.0	
2 26/10/1975	14:53: 9	45.63	6.30	0	3.0	0	0.0	
3 26/10/1975	14:53: 7	45.66	6.28	0	0.0	10	0.0	
2 27/10/1975	23:10:12	44.30	4.13	25	2.2	0	0.0	
3 27/10/1975	23:10:18	44.20	4.20	20	0.0	8	9.0	
2 28/10/1975	11:32:45	45.53	6.52	5	2.5	0	0.0	
2 1/11/1975	1:29:26	44.25	6.29	5	3.2	0	0.0	
3 1/11/1975	1:29:22	44.22	6.43	2	0.0	14	0.0	
3 2/11/1975	3:34:37	44.84	7.73	0	0.0	14	0.0	
5 6/11/1975	11:28:47	46.07	7.42	2	2.4	0	0.0	
5 7/11/1975	3:27:33	46.13	7.25	3	2.4	0	0.0	
2 14/11/1975	11: 7:31	45.34	7.14	5	2.6	0	0.0	
3 14/11/1975	11: 7:21	45.26	6.60	5	0.0	9	0.0	
2 16/11/1975	8: 4:33	43.37	6.56	25	0.0	0	0.0	
5 19/11/1975	15: 4:37	46.16	7.57	2	2.0	0	0.0	
2 25/11/1975	6:17:38	46.30	7.41	0	4.0	0	0.0	
3 25/11/1975	6:16:37	46.34	7.37	13	0.0	42	0.0	
5 25/11/1975	6:16:35	46.20	7.48	13	4.0	0	0.0	
4 25/11/1975	6:16:38	46.30	7.40	0	0.0	0	0.0	
2 26/11/1975	7:26:29	46.83	6.68	20	2.5	0	0.0	
2 26/11/1975	19:57:43	44.40	7.43	5	2.6	0	0.0	
3 26/11/1975	19:57:43	44.27	7.53	2	0.0	6	0.0	
5 7/12/1975	20:21: 6	46.15	7.09	14	1.6	0	0.0	
3 8/12/1975	15:36: 9	46.56	7.50	10	0.0	20	0.0	
5 8/12/1975	15:36: 6	46.27	7.48	10	3.2	0	0.0	
4 8/12/1975	15:36:10	46.50	7.30	0	0.0	0	0.0	
2 8/ 1/1976	3:48:30	44.94	7.27	0	2.6	0	0.0	
4 8/ 1/1976	3:48:25	44.97	7.30	10	0.0	0	0.0	
3 8/ 1/1976	3:48:26	44.94	7.46	10	0.0	11	0.0	
2 8/ 1/1976	12:18:27	44.18	7.86	10	1.8	0	0.0	
2 10/ 1/1976	18:17:33	44.33	7.40	5	2.6	0	0.0	
3 10/ 1/1976	18:17:31	44.35	7.42	13	0.0	7	0.0	
2 29/ 1/1976	11:39: 8	<u>46.21</u>	7.78	<u>0</u>	<u>3.5</u>	0	0.0	
5 29/ 1/1976	11:39: 7	<u>46.23</u>	7.68	<u>10</u>	<u>3.5</u>	0	0.0	
4 29/ 1/1976	11:39: 8	46.21	7.65	10	0.0	0	0.0	
3 29/ 1/1976	11:39: 6	46.12	7.72	10	0.0	28	0.0	
2 1/ 3/1976	14:16:22	43.84	7.69	5	2.3	0	0.0	

Faint, mirrored text from the reverse side of the page, likely bleed-through from the back of the document.

A second set of faint, mirrored text from the reverse side of the page, continuing the bleed-through from the back of the document.

Faint, mirrored text from the reverse side of the page, continuing the bleed-through from the back of the document.

A third set of faint, mirrored text from the reverse side of the page, continuing the bleed-through from the back of the document.

0	DATE	HEURE	LAT	LON	PR	MAG	NP	INT
2	5/ 3/1976	10:26:13	43.43	6.88	5	1.3	0	0.0
2	10/ 3/1976	19:23:50	44.26	6.19	10	2.1	0	0.0
2	16/ 3/1976	9:26: 4	45.78	5.37	10	2.3	0	0.0
2	19/ 3/1976	10:19:17	44.75	7.02	5	0.0	5	0.0
2	30/ 3/1976	8:19:52	45.77	5.40	20	2.3	7	0.0
2	31/ 3/1976	23:42:50	44.48	7.07	10	1.5	5	0.0
2	5/ 4/1976	15:31:44	44.22	7.53	20	2.4	8	0.0
2	7/ 4/1976	5: 3:22	44.36	7.61	5	2.8	13	0.0
2	13/ 4/1976	10:55:26	44.50	8.00	10	2.2	6	0.0
2	13/ 4/1976	11: 0: 2	43.70	7.80	5	2.2	6	0.0
2	13/ 4/1976	14:18:32	44.00	7.30	5	1.6	6	0.0
2	14/ 4/1976	11:54:25	<u>44.10</u>	<u>7.60</u>	<u>5</u>	<u>3.4</u>	14	0.0
2	3/ 5/1976	18:19:48	43.60	7.90	10	1.4	6	0.0
2	10/ 5/1976	21:59: 8	45.70	6.30	0	2.4	12	0.0
2	13/ 5/1976	0: 8:32	44.50	6.40	10	1.7	6	0.0
2	14/ 5/1976	21:35:59	44.20	7.30	5	2.2	6	0.0
2	27/ 5/1976	20:52:45	46.90	7.90	0	2.9	14	0.0
2	4/ 6/1976	21:31:14	44.40	7.50	5	1.8	5	0.0
2	7/ 6/1976	0: 8:48	44.70	6.70	0	3.3	25	0.0
4	7/ 6/1976	0: 8:48	44.65	6.78	0	0.0	0	0.0
2	20/ 6/1976	4:37:55	44.10	7.10	10	2.1	6	0.0
2	21/ 6/1976	0:19: 2	44.10	7.50	5	1.6	6	0.0
2	23/ 6/1976	16:12:55	44.10	7.40	0	2.5	7	0.0

0	DATE	HEURE	LAT	LON	PR	MAG	NP	INT
2	29/ 6/1976	0:31:41	46.60	5.90	0	2.2	9	0.0
2	18/ 7/1976	19: 8:32	<u>44.20</u>	<u>7.30</u>	<u>10</u>	<u>3.1</u>	13	0.0
2	27/ 7/1976	17:51:56	<u>45.90</u>	<u>6.70</u>	<u>0</u>	<u>3.1</u>	26	0.0
2	5/ 8/1976	4: 8:58	46.50	7.20	10	2.5	9	0.0
2	16/ 8/1976	19:38:18	43.90	8.00	5	1.9	6	0.0
2	16/ 8/1976	21: 0:12	44.30	7.30	10	2.2	6	0.0
2	4/10/1976	0:12:31	<u>44.50</u>	<u>6.10</u>	<u>0</u>	<u>3.0</u>	3	0.0
2	8/10/1976	21:19: 6	<u>44.50</u>	<u>6.50</u>	<u>0</u>	<u>3.0</u>	3	0.0
2	9/10/1976	0:35:10	<u>44.60</u>	<u>6.90</u>	<u>0</u>	<u>3.6</u>	20	0.0
2	18/10/1976	11:56:16	44.40	6.50	40	2.9	8	0.0
2	20/10/1976	3:55:51	45.90	7.10	0	2.7	5	0.0
2	9/11/1976	18:34:37	44.30	7.40	0	2.8	3	0.0
2	14/11/1976	15:14: 0	<u>47.00</u>	<u>5.60</u>	<u>10</u>	<u>3.5</u>	4	0.0
2	15/11/1976	22:36: 3	43.90	7.40	0	2.0	3	0.0
2	19/11/1976	3:35:25	<u>43.90</u>	<u>7.40</u>	<u>0</u>	<u>3.1</u>	3	0.0
2	30/11/1976	1:23:56	<u>42.30</u>	<u>7.50</u>	<u>0</u>	<u>3.1</u>	4	0.0
2	1/12/1976	1:46:44	44.40	7.30	0	2.4	3	0.0
2	6/12/1976	11:35:15	46.40	7.80	15	2.7	4	0.0
2	10/12/1976	9:35: 8	45.70	5.50	0	2.8	4	0.0
2	14/12/1976	15:57: 4	43.40	6.90	5	1.7	3	0.0
2	20/12/1976	22:19:41	46.40	8.00	0	2.7	6	0.0
2	26/12/1976	22:19:30	44.50	7.20	0	2.5	3	0.0
2	27/12/1976	10: 8:32	<u>44.80</u>	<u>6.90</u>	<u>0</u>	<u>3.2</u>	10	0.0

0	DATE	HEURE	LAT	LON	PR	MAG	NP	INT
2	27/12/1976	10:12:15	44.90	7.30	40	3.0	5	0.0
2	27/12/1976	11:41: 3	44.80	7.00	0	2.7	3	0.0
2	27/12/1976	15:39:31	<u>44.80</u>	<u>6.90</u>	<u>0</u>	<u>3.4</u>	15	0.0
4	27/12/1976	15:39:31	44.83	6.89	10	0.0	22	0.0
2	27/12/1976	17:32: 6	44.80	6.90	0	2.9	3	0.0
2	10/ 1/1977	1: 3:37	<u>44.50</u>	<u>6.90</u>	<u>0</u>	<u>3.0</u>	5	0.0
2	15/ 1/1977	8:58:54	<u>46.30</u>	<u>6.80</u>	<u>10</u>	<u>3.0</u>	5	0.0
2	1/ 2/1977	1:26:51	45.00	6.30	0	2.5	3	0.0
2	1/ 2/1977	11:57:34	<u>46.60</u>	<u>5.90</u>	<u>0</u>	<u>3.1</u>	8	0.0
2	3/ 2/1977	8:52:50	46.40	6.90	5	2.8	7	0.0
2	4/ 2/1977	9:36:24	46.40	6.70	10	2.9	10	0.0
4	4/ 2/1977	9:36:19	46.18	6.92	0	0.0	16	0.0
2	4/ 2/1977	21:43:55	44.40	7.50	0	3.4	17	0.0
4	4/ 2/1977	21:43:56	<u>44.50</u>	<u>7.37</u>	<u>8</u>	<u>0.0</u>	34	0.0
2	6/ 2/1977	16: 1:33	<u>44.40</u>	<u>7.50</u>	<u>15</u>	<u>4.0</u>	20	0.0
4	6/ 2/1977	16: 1:32	<u>44.52</u>	<u>7.28</u>	<u>3</u>	<u>0.0</u>	45	0.0
2	7/ 2/1977	10:14:58	<u>44.40</u>	<u>7.60</u>	<u>0</u>	<u>3.1</u>	3	0.0
2	14/ 2/1977	15:33:24	44.40	7.20	0	2.9	3	0.0
2	15/ 2/1977	0:57:52	44.60	5.90	0	2.7	3	0.0
2	22/ 2/1977	16:48:20	<u>46.60</u>	<u>7.60</u>	<u>0</u>	<u>3.1</u>	6	0.0
2	25/ 2/1977	16:56:51	<u>46.70</u>	<u>6.80</u>	<u>0</u>	<u>3.0</u>	6	0.0
4	5/ 3/1977	13:31:23	46.50	7.40	0	0.0	39	0.0
2	11/ 3/1977	10:19:58	<u>46.40</u>	<u>7.20</u>	<u>0</u>	<u>3.3</u>	8	0.0
2	11/ 3/1977	11: 0:25	<u>45.60</u>	<u>4.40</u>	<u>0</u>	<u>3.0</u>	3	0.0
2	13/ 3/1977	0:28: 2	44.00	6.90	0	1.9	3	0.0

0	DATE	HEURE	LAT	LON	PR	MAG	NP	INT
2	29/ 3/1977	0:32:58	46.50	7.30	0	2.4	5	0.0
2	31/ 3/1977	9:40:39	<u>46.40</u>	<u>7.30</u>	<u>0</u>	<u>3.4</u>	7	0.0
2	31/ 3/1977	22:21:56	44.70	6.70	0	2.9	5	0.0
2	1/ 4/1977	3:20:33	44.50	7.40	0	3.0	5	0.0
2	6/ 4/1977	20:48:51	43.80	6.80	0	1.5	3	0.0
2	16/ 4/1977	8:10:31	<u>44.60</u>	<u>7.40</u>	<u>5</u>	<u>3.2</u>	11	0.0
4	16/ 4/1977	8:10:30	44.68	7.40	0	0.0	17	0.0
2	18/ 4/1977	19:46: 4	44.40	7.60	0	2.5	3	0.0
2	18/ 4/1977	21: 9:55	44.30	7.40	30	2.9	9	0.0
2	20/ 4/1977	10:49:17	43.50	7.50	0	2.5	3	0.0
2	23/ 4/1977	8:50:41	43.70	7.00	0	1.6	3	0.0
2	23/ 4/1977	15:59:23	43.00	6.30	25	2.3	3	0.0
2	25/ 4/1977	16:29:58	<u>46.30</u>	<u>7.90</u>	<u>0</u>	<u>3.1</u>	5	0.0
2	26/ 4/1977	14: 7:38	<u>44.60</u>	<u>6.10</u>	<u>0</u>	<u>3.0</u>	3	0.0
2	26/ 4/1977	17:54: 6	44.50	6.30	10	2.5	4	0.0
2	28/ 4/1977	20: 3:16	43.60	4.40	20	2.8	5	0.0
2	28/ 4/1977	23:26:34	44.30	7.40	0	2.6	3	0.0
2	30/ 4/1977	19:34:37	44.20	7.80	0	2.6	3	0.0
2	7/ 5/1977	11:34:43	43.40	7.70	5	2.7	4	0.0
2	12/ 5/1977	8:43:36	47.30	5.20	15	2.9	7	0.0
2	12/ 5/1977	14: 5:25	44.30	7.60	0	2.8	3	0.0
2	20/ 5/1977	20:25: 7	<u>43.90</u>	<u>7.90</u>	<u>0</u>	<u>3.0</u>	4	0.0
2	21/ 5/1977	3:52:18	<u>43.90</u>	<u>7.90</u>	<u>5</u>	<u>3.1</u>	8	0.0

1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0
11.0 12.0 13.0 14.0 15.0 16.0 17.0 18.0 19.0 20.0
21.0 22.0 23.0 24.0 25.0 26.0 27.0 28.0 29.0 30.0
31.0 32.0 33.0 34.0 35.0 36.0 37.0 38.0 39.0 40.0
41.0 42.0 43.0 44.0 45.0 46.0 47.0 48.0 49.0 50.0
51.0 52.0 53.0 54.0 55.0 56.0 57.0 58.0 59.0 60.0
61.0 62.0 63.0 64.0 65.0 66.0 67.0 68.0 69.0 70.0
71.0 72.0 73.0 74.0 75.0 76.0 77.0 78.0 79.0 80.0
81.0 82.0 83.0 84.0 85.0 86.0 87.0 88.0 89.0 90.0
91.0 92.0 93.0 94.0 95.0 96.0 97.0 98.0 99.0 100.0

101.0 102.0 103.0 104.0 105.0 106.0 107.0 108.0 109.0 110.0
111.0 112.0 113.0 114.0 115.0 116.0 117.0 118.0 119.0 120.0
121.0 122.0 123.0 124.0 125.0 126.0 127.0 128.0 129.0 130.0
131.0 132.0 133.0 134.0 135.0 136.0 137.0 138.0 139.0 140.0
141.0 142.0 143.0 144.0 145.0 146.0 147.0 148.0 149.0 150.0
151.0 152.0 153.0 154.0 155.0 156.0 157.0 158.0 159.0 160.0
161.0 162.0 163.0 164.0 165.0 166.0 167.0 168.0 169.0 170.0
171.0 172.0 173.0 174.0 175.0 176.0 177.0 178.0 179.0 180.0
181.0 182.0 183.0 184.0 185.0 186.0 187.0 188.0 189.0 190.0
191.0 192.0 193.0 194.0 195.0 196.0 197.0 198.0 199.0 200.0

1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0
11.0 12.0 13.0 14.0 15.0 16.0 17.0 18.0 19.0 20.0
21.0 22.0 23.0 24.0 25.0 26.0 27.0 28.0 29.0 30.0
31.0 32.0 33.0 34.0 35.0 36.0 37.0 38.0 39.0 40.0
41.0 42.0 43.0 44.0 45.0 46.0 47.0 48.0 49.0 50.0
51.0 52.0 53.0 54.0 55.0 56.0 57.0 58.0 59.0 60.0
61.0 62.0 63.0 64.0 65.0 66.0 67.0 68.0 69.0 70.0
71.0 72.0 73.0 74.0 75.0 76.0 77.0 78.0 79.0 80.0
81.0 82.0 83.0 84.0 85.0 86.0 87.0 88.0 89.0 90.0
91.0 92.0 93.0 94.0 95.0 96.0 97.0 98.0 99.0 100.0

101.0 102.0 103.0 104.0 105.0 106.0 107.0 108.0 109.0 110.0
111.0 112.0 113.0 114.0 115.0 116.0 117.0 118.0 119.0 120.0
121.0 122.0 123.0 124.0 125.0 126.0 127.0 128.0 129.0 130.0
131.0 132.0 133.0 134.0 135.0 136.0 137.0 138.0 139.0 140.0
141.0 142.0 143.0 144.0 145.0 146.0 147.0 148.0 149.0 150.0
151.0 152.0 153.0 154.0 155.0 156.0 157.0 158.0 159.0 160.0
161.0 162.0 163.0 164.0 165.0 166.0 167.0 168.0 169.0 170.0
171.0 172.0 173.0 174.0 175.0 176.0 177.0 178.0 179.0 180.0
181.0 182.0 183.0 184.0 185.0 186.0 187.0 188.0 189.0 190.0
191.0 192.0 193.0 194.0 195.0 196.0 197.0 198.0 199.0 200.0

0	DATE	HEURE	LAT	LON	PR	MAG	NP	INT
2 21/	5/1977	7:14:12	44.10	7.90	0	2.7	3	0.0
2 23/	5/1977	0:22:32	43.80	8.00	0	2.6	3	0.0
2 27/	5/1977	10:23:5	44.60	6.70	40	2.9	7	0.0
2 31/	5/1977	16:6:34	44.50	7.90	0	2.7	3	0.0
2 4/	6/1977	14:42:2	44.20	7.70	0	3.1	3	0.0
2 4/	6/1977	16:48:12	44.10	7.60	0	3.1	3	0.0
2 9/	6/1977	1:8:58	44.60	6.80	0	3.1	3	0.0
2 17/	6/1977	4:21:54	45.00	6.70	0	2.6	8	0.0
2 24/	6/1977	5:51:48	44.40	7.70	15	3.6	10	0.0
2 24/	6/1977	5:56:12	44.20	8.00	0	3.2	3	0.0
4 24/	6/1977	5:51:48	44.53	7.49	8	0.0	31	0.0
2 27/	6/1977	15:43:44	43.20	8.10	0	2.6	4	0.0
2 29/	6/1977	11:16:40	45.70	7.80	0	2.9	8	0.0
2 29/	6/1977	18:50:25	45.90	5.90	5	2.5	5	0.0
2 2/	7/1977	6:47:17	44.30	7.20	10	2.7	5	0.0
2 3/	7/1977	8:10:7	44.40	7.40	0	2.4	3	0.0
2 3/	7/1977	12:13:26	44.70	6.70	0	4.0	13	0.0
4 3/	7/1977	12:13:26	44.74	6.59	0	0.0	40	0.0
2 3/	7/1977	16:9:14	43.40	8.10	30	3.6	8	0.0
2 3/	7/1977	16:11:3	43.20	7.80	0	2.5	3	0.0
2 3/	7/1977	16:19:22	43.40	7.90	0	2.5	3	0.0
2 3/	7/1977	16:28:8	43.60	7.90	0	3.0	3	0.0
2 3/	7/1977	17:26:36	43.30	7.90	0	2.4	3	0.0

0	DATE	HEURE	LAT	LON	PR	MAG	NP	INT
2 4/	7/1977	20:13:51	44.50	6.70	15	2.9	3	0.0
2 14/	7/1977	12:49:29	45.20	6.40	0	2.4	7	0.0
2 15/	7/1977	21:32:3	43.90	7.90	0	2.9	3	0.0
2 15/	7/1977	22:22:59	43.90	7.90	30	2.8	5	0.0
2 18/	7/1977	22:46:10	44.10	7.10	25	2.8	4	0.0
2 23/	7/1977	1:52:36	45.70	5.80	0	2.4	5	0.0
2 23/	7/1977	16:15:55	46.40	7.30	0	3.0	8	0.0
2 27/	7/1977	7:50:20	46.50	7.20	0	3.7	22	0.0
2 5/	8/1977	19:16:4	45.30	6.90	0	3.1	11	0.0
2 9/	8/1977	15:31:26	44.50	6.90	0	3.6	21	0.0
4 9/	8/1977	15:31:26	44.56	6.92	17	0.0	36	0.0
2 11/	8/1977	11:21:3	44.10	8.00	0	2.5	3	0.0
2 11/	8/1977	11:34:30	44.50	6.90	0	3.2	16	0.0
2 11/	8/1977	20:46:17	47.00	5.30	0	2.9	9	0.0
2 18/	8/1977	17:1:33	45.70	6.80	0	2.8	6	0.0
2 20/	8/1977	10:51:57	44.30	7.40	0	3.1	4	0.0
2 24/	8/1977	6:12:51	46.40	7.70	0	3.0	5	0.0
2 26/	8/1977	2:18:50	44.40	7.40	0	2.5	3	0.0
2 29/	8/1977	0:19:36	45.80	5.70	0	2.2	4	0.0
2 29/	8/1977	21:9:48	44.30	7.40	0	2.8	3	0.0
2 29/	8/1977	23:58:19	44.00	7.30	0	2.5	3	0.0
2 7/	9/1977	21:37:19	44.10	7.60	0	2.3	3	0.0
2 8/	9/1977	4:38:42	46.30	7.80	0	3.0	6	0.0

U. Q. 77

0	DATE	HEURE	LAT	LON	PR	MAG	NP	INT
2 14/	9/1977	0:3:26	46.30	6.70	0	2.4	5	0.0
2 19/	9/1977	23:31:55	43.90	7.00	0	2.0	3	0.0
2 21/	9/1977	0:15:26	44.00	7.90	0	2.5	3	0.0
2 21/	9/1977	1:20:0	44.10	7.70	0	2.8	3	0.0
2 21/	9/1977	1:20:17	44.10	7.80	0	2.9	8	0.0
2 21/	9/1977	1:22:8	44.20	7.60	5	2.7	3	0.0
2 21/	9/1977	1:25:23	44.10	7.70	5	2.4	3	0.0
2 23/	9/1977	0:41:2	44.60	7.10	0	2.3	3	0.0
2 23/	9/1977	22:34:11	44.30	7.60	10	3.6	21	0.0
4 23/	9/1977	22:34:11	44.34	7.47	0	0.0	38	0.0
2 24/	9/1977	0:2:2	44.30	7.50	5	2.4	3	0.0
2 24/	9/1977	2:9:2	44.00	7.70	10	2.5	3	0.0
2 24/	9/1977	21:15:22	46.70	7.30	0	2.5	3	0.0
2 25/	9/1977	21:12:30	44.40	7.30	0	2.3	3	0.0
2 25/	9/1977	22:17:41	44.30	7.30	15	3.0	3	0.0
2 27/	9/1977	13:25:58	44.30	7.70	35	2.5	3	0.0
2 28/	9/1977	1:11:43	44.90	7.30	0	2.7	3	0.0
2 28/	9/1977	13:19:1	44.20	7.50	20	3.0	4	0.0
2 29/	9/1977	4:43:33	43.80	7.80	10	2.9	3	0.0
2 2/10/1977	23:32:55	44.40	7.40	10	2.4	3	0.0	
2 2/10/1977	23:47:31	44.30	7.40	10	2.6	3	0.0	
2 3/10/1977	1:26:38	44.50	7.40	5	3.1	11	0.0	
2 3/10/1977	1:43:33	44.50	7.10	5	2.9	9	0.0	
2 3/10/1977	2:2:26	44.30	7.40	15	2.4	3	0.0	

0	DATE	HEURE	LAT	LON	PR	MAG	NP	INT
2 3/10/1977	2:17:54	44.40	7.20	10	2.7	3	0.0	
2 3/10/1977	2:15:43	44.40	7.20	10	2.1	3	0.0	
2 10/10/1977	3:16:30	44.30	7.60	0	3.0	3	0.0	
2 10/10/1977	8:52:17	46.20	6.90	0	2.8	4	0.0	
2 16/10/1977	22:28:52	44.20	7.50	0	2.3	3	0.0	
2 19/10/1977	19:29:5	44.70	6.70	0	3.1	3	0.0	
2 23/10/1977	5:7:51	44.50	7.30	0	3.0	3	0.0	
2 24/10/1977	1:55:15	44.50	6.80	0	2.6	3	0.0	
2 29/10/1977	16:54:45	44.30	6.90	0	2.8	10	0.0	
4 29/10/1977	16:54:44	44.44	6.92	0	0.0	13	0.0	
2 1/11/1977	4:56:29	45.90	6.30	0	3.0	7	0.0	
2 4/11/1977	1:9:22	46.70	7.10	0	2.5	5	0.0	
2 14/11/1977	10:13:27	44.60	7.20	0	3.1	3	0.0	
2 14/11/1977	11:29:18	44.50	7.50	0	2.8	3	0.0	
2 15/11/1977	7:31:7	44.10	7.20	0	3.0	3	0.0	
2 22/11/1977	6:28:34	44.40	8.00	0	3.1	3	0.0	
2 22/11/1977	16:58:10	46.10	6.80	0	2.6	3	0.0	
2 22/11/1977	20:9:20	46.10	6.90	0	3.0	9	0.0	
2 22/11/1977	22:59:43	44.70	7.00	5	2.9	3	0.0	
2 24/11/1977	12:0:33	44.20	7.70	0	2.3	3	0.0	
2 25/11/1977	19:15:12	44.60	6.80	15	2.9	3	0.0	
2 25/11/1977	23:21:16	44.50	7.00	15	2.4	3	0.0	
2 4/12/1977	19:50:45	43.80	7.30	0	1.7	3	0.0	

1. The first part of the document is a list of names and addresses. The names are written in a cursive hand, and the addresses are in a more formal, printed style. The list is organized into columns, with names in the first column and addresses in the second. The text is somewhat faded and difficult to read in many places.

100

2. The second part of the document is a list of names and addresses, similar to the first part. The names are written in a cursive hand, and the addresses are in a more formal, printed style. The list is organized into columns, with names in the first column and addresses in the second. The text is somewhat faded and difficult to read in many places.

0	DATE	HEURE	LAT	LON	PR	MAG	NP	INT
2	7/12/1977	7:11:5	45.20	6.60	0	3.1	3	0.0
2	7/12/1977	14:29:27	45.30	6.90	0	3.4	17	0.0
2	7/12/1977	15:41:10	45.30	7.00	0	3.3	11	0.0
2	9/12/1977	20:40:18	44.50	7.60	20	3.0	7	0.0
2	13/12/1977	0:45:20	44.60	7.00	0	2.7	3	0.0
2	13/12/1977	4:29:44	46.30	7.30	0	2.7	5	0.0
2	13/12/1977	20:1:41	43.90	7.40	0	2.1	3	0.0
2	31/12/1977	12:39:44	43.50	7.60	0	2.5	3	0.0
4	10/ 1/1978	22:38:40	44.34	7.24	0	0.0	11	0.0
4	24/ 1/1978	3:10: 7	44.63	6.86	0	0.0	14	0.0
4	28/ 1/1978	17:54:52	45.36	7.08	0	0.0	9	0.0
4	28/ 2/1978	5:35: 9	44.37	7.44	19	0.0	19	0.0

1. The first part of the document is a list of names and addresses. The names are listed in the first column, and the addresses are listed in the second column. The names are: [Illegible names]. The addresses are: [Illegible addresses].

2. The second part of the document is a list of names and addresses. The names are listed in the first column, and the addresses are listed in the second column. The names are: [Illegible names]. The addresses are: [Illegible addresses].

3. The third part of the document is a list of names and addresses. The names are listed in the first column, and the addresses are listed in the second column. The names are: [Illegible names]. The addresses are: [Illegible addresses].

4. The fourth part of the document is a list of names and addresses. The names are listed in the first column, and the addresses are listed in the second column. The names are: [Illegible names]. The addresses are: [Illegible addresses].

5. The fifth part of the document is a list of names and addresses. The names are listed in the first column, and the addresses are listed in the second column. The names are: [Illegible names]. The addresses are: [Illegible addresses].

ANNEXE IICARTES DE SISMICITE HISTORIQUE ET RECENTE DU SUD-EST DE LA FRANCE

Echelle : 1 / 2 500 000



Magnitude : diamètre du symbole proportionnel à la magnitude.

M = 0 3 4 5 6
A legend showing five vertical bars of increasing height, corresponding to magnitudes 0, 3, 4, 5, and 6.

ANNEXE II

COMPTES DE STATISTIQUE HISTORIQUE ET RECENTE DU SUD-EST DE LA FRANCE



Les données de cette annexe sont destinées à servir de base à l'étude de la répartition géographique de la population.



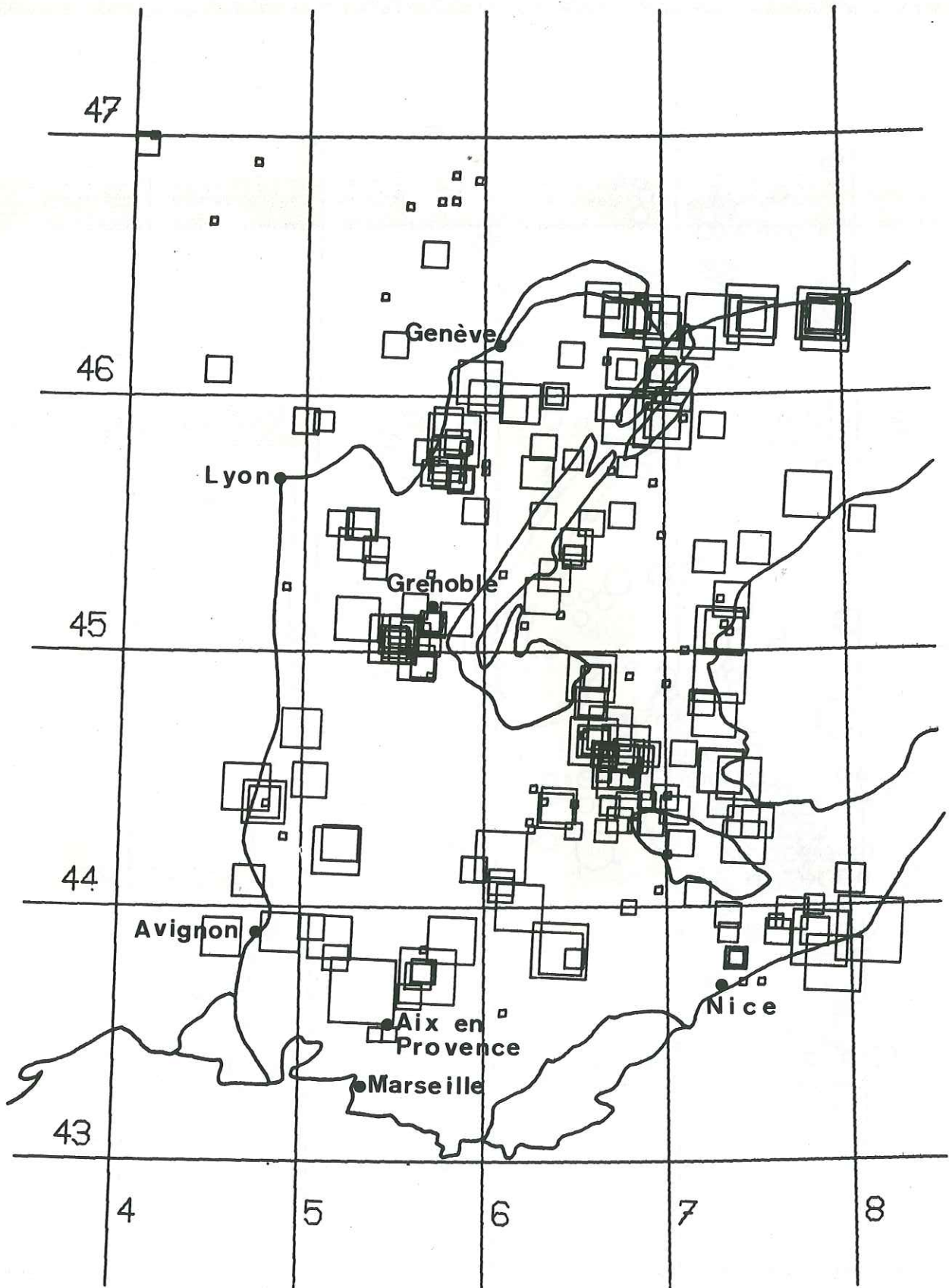
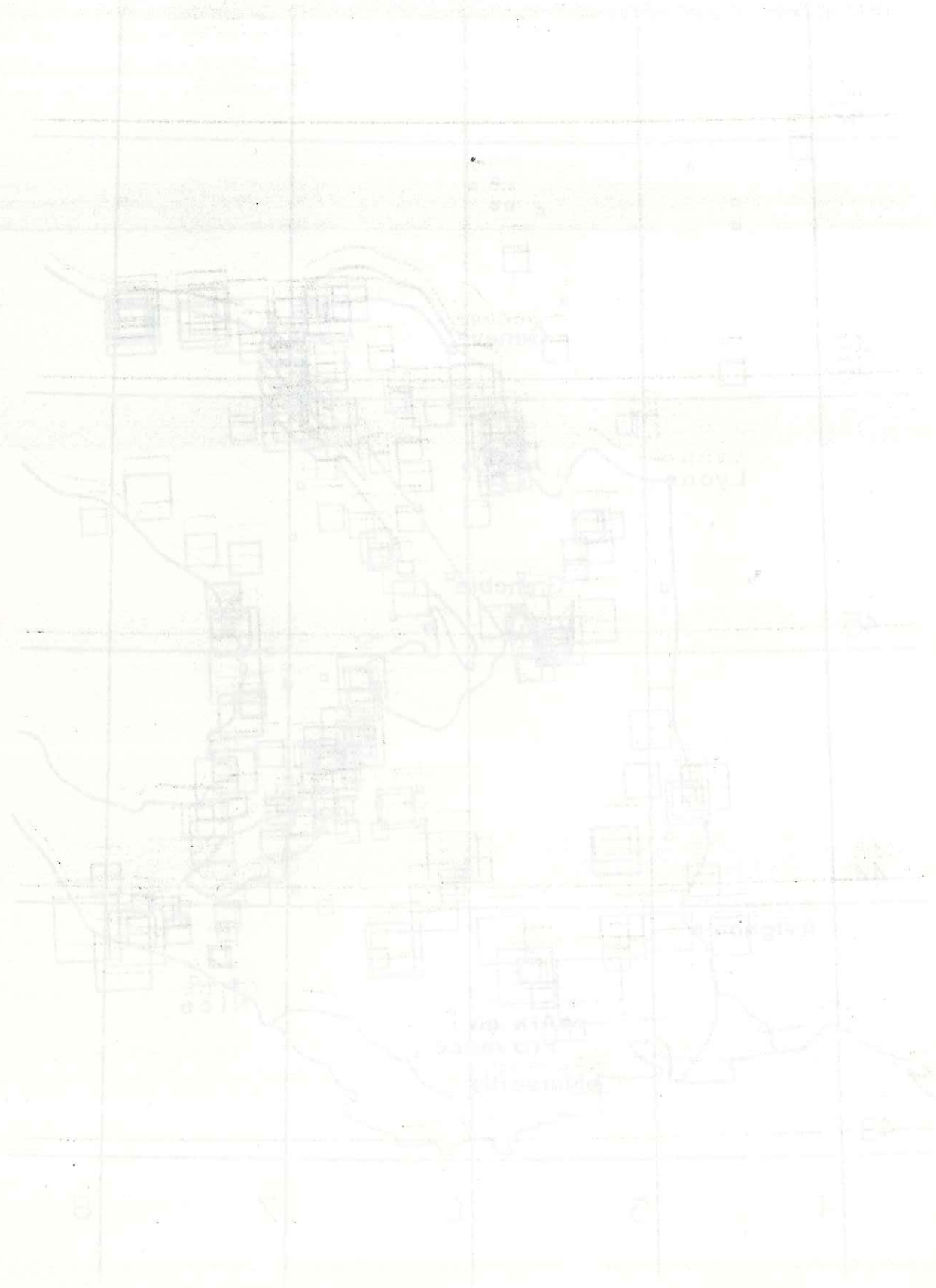


FIG.I-5 : Séismes historiques (1800-1970).



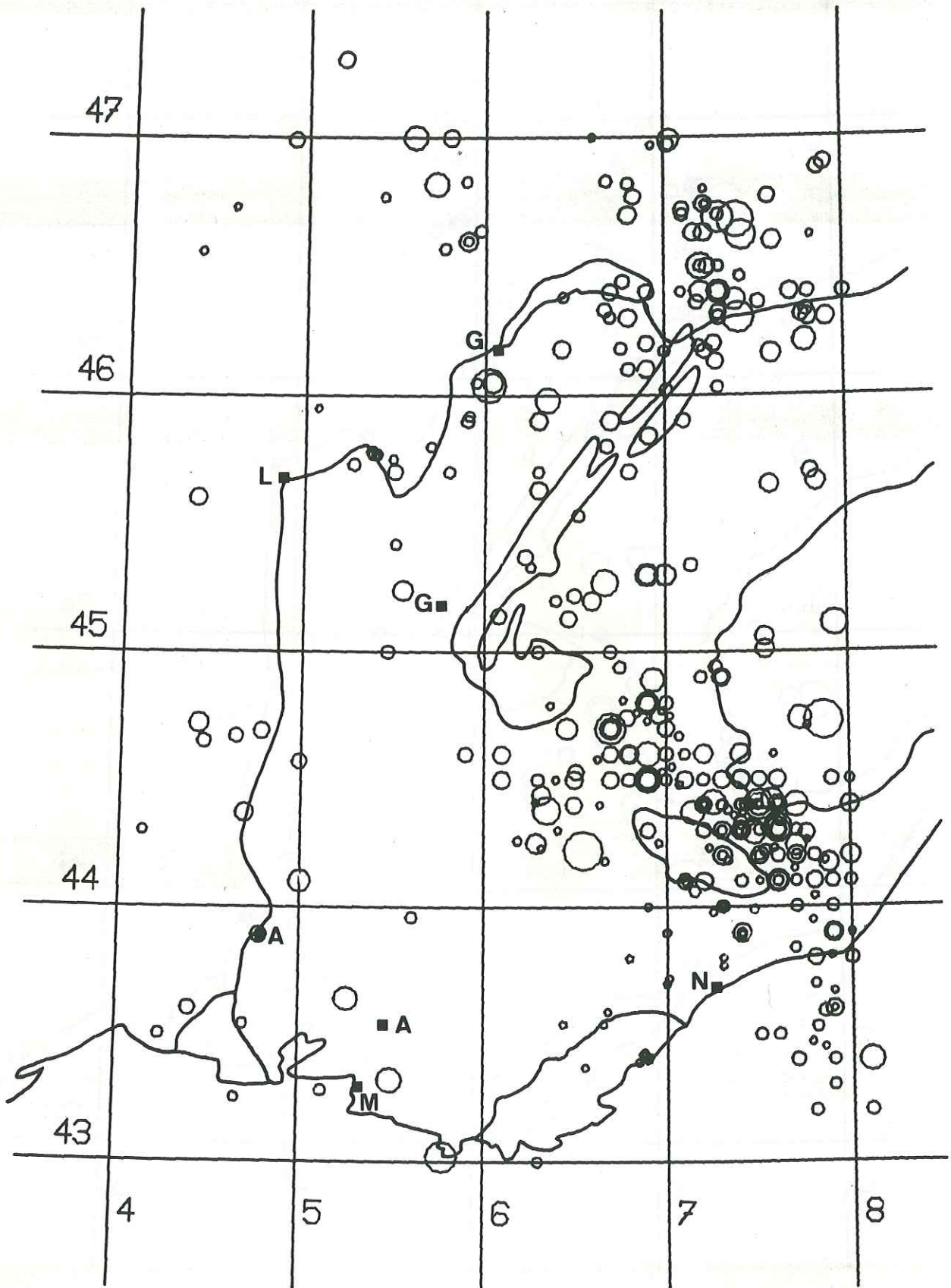


FIG.I-6 : Séismes du L.D.G. (1972-1977).



Hand-drawn map showing a shaded area and various points marked with letters and numbers.

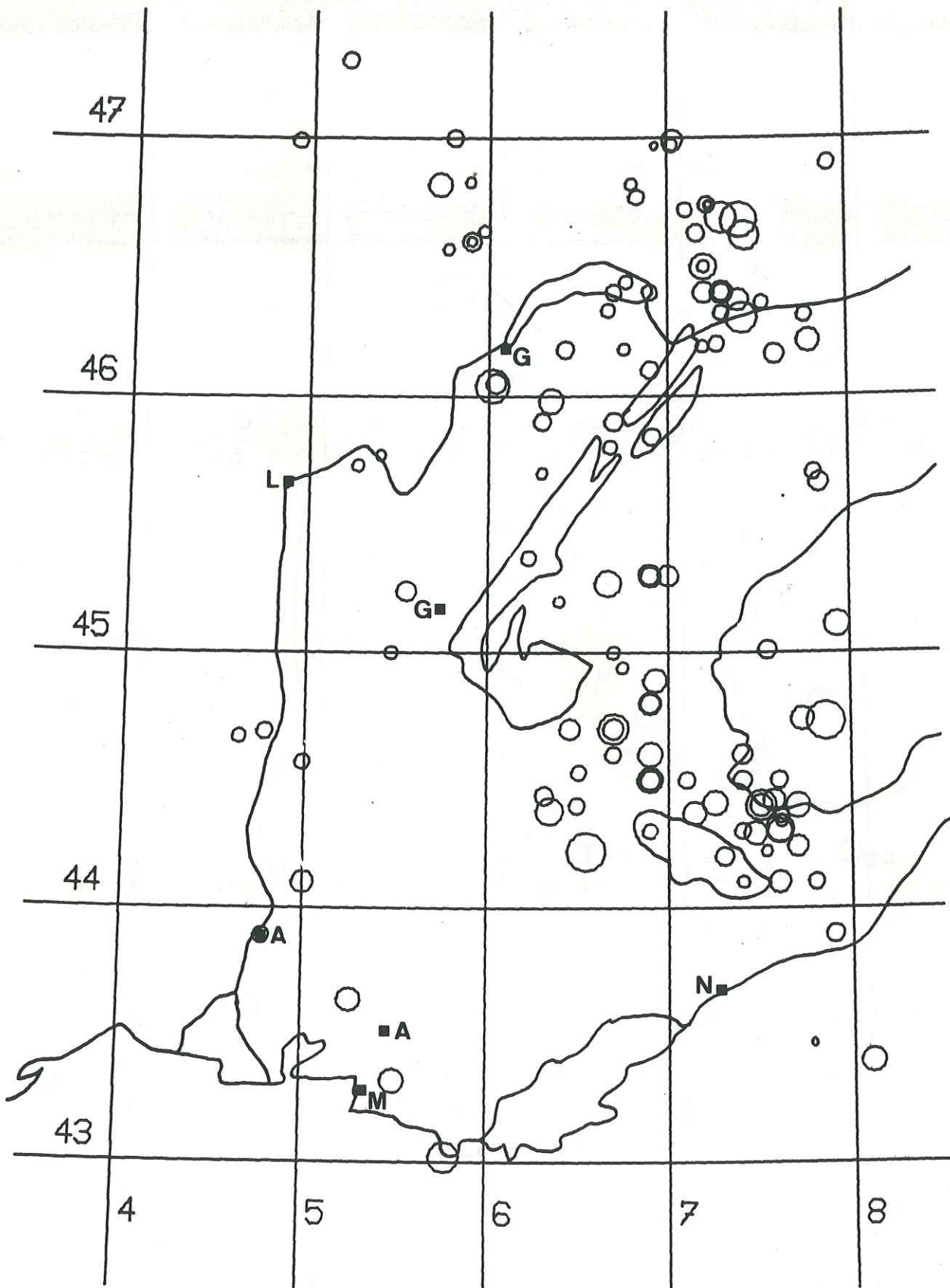


FIG.I-7 : Séismes du L.D.G. triés (1972-1977).



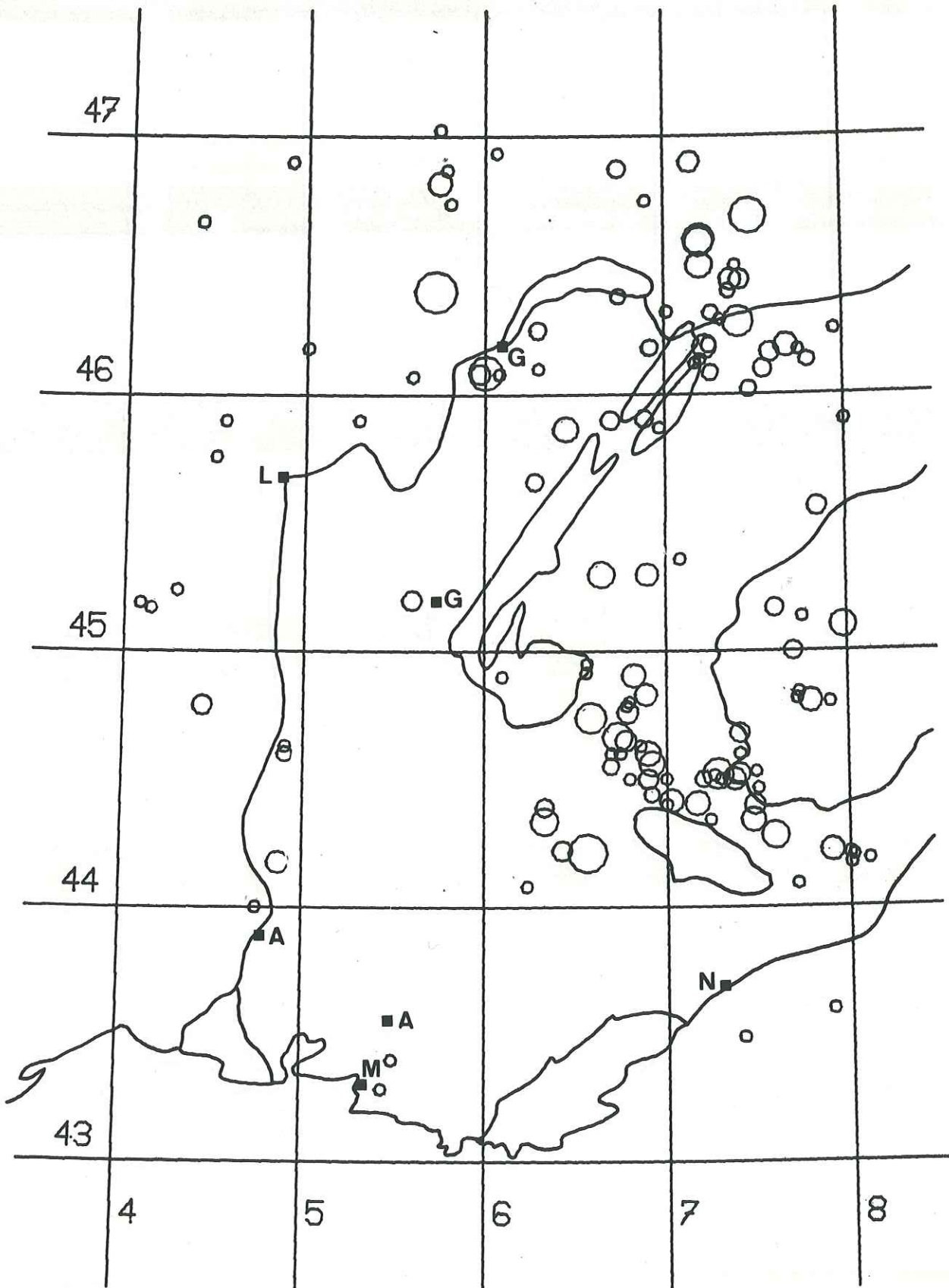


FIG. I-12 : Séismes I.S.C.+C.S.E.M./B.C.I.S.+S.E.D., tri 1.
(1971-mars 1978).



1971-72 - KARNATAKA STATE UNIVERSITY
 DEPARTMENT OF GEOGRAPHY
 BANGALORE

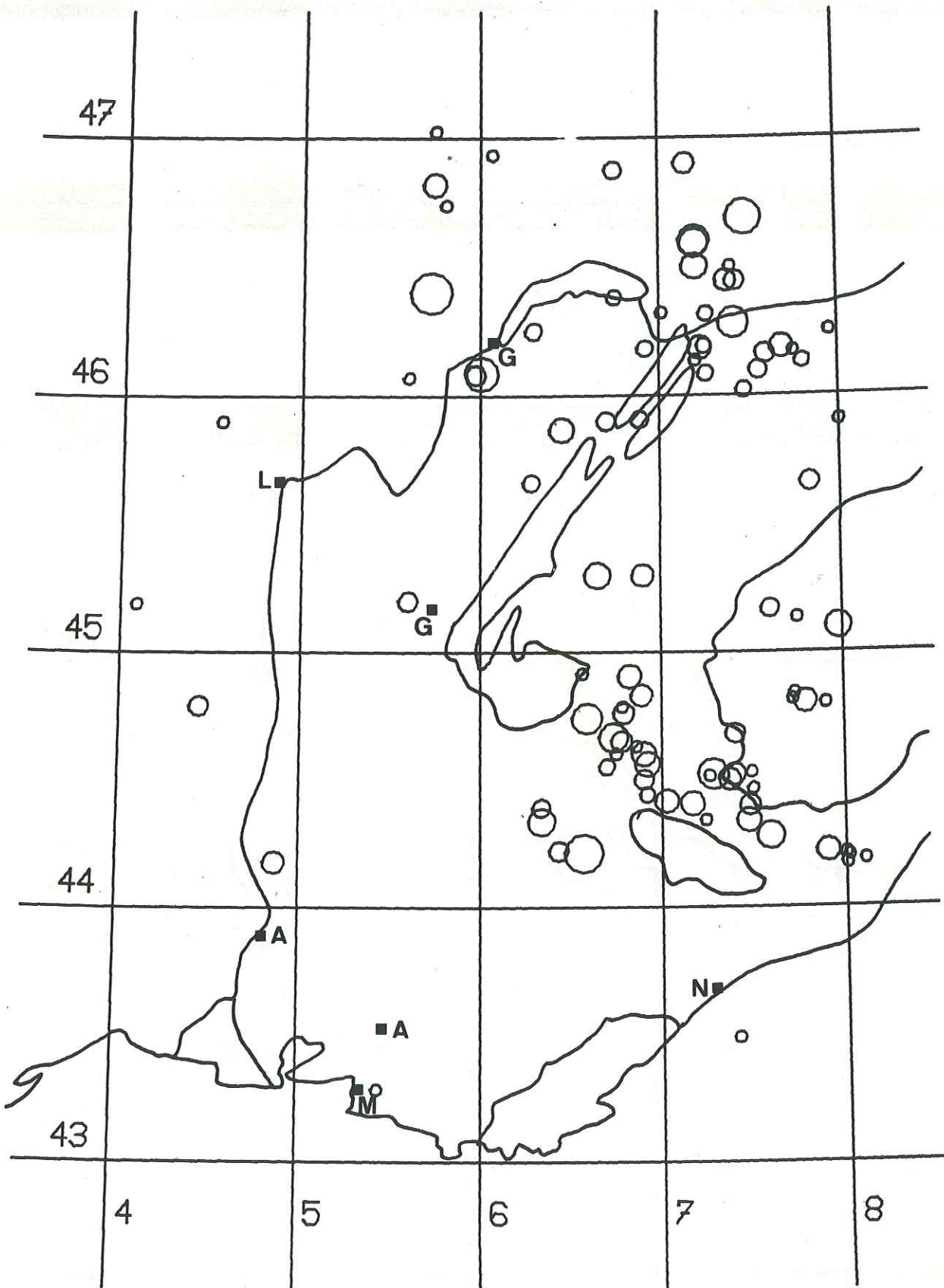


FIG. I-13 : Séismes I.S.C.+C.S.E.M./B.C.I.S.+S.E.D., tri 2.

(1971-mars 1978).



Hand-drawn map showing a geographical region with a boundary and numerous circular markers.

Map of the region of the ...

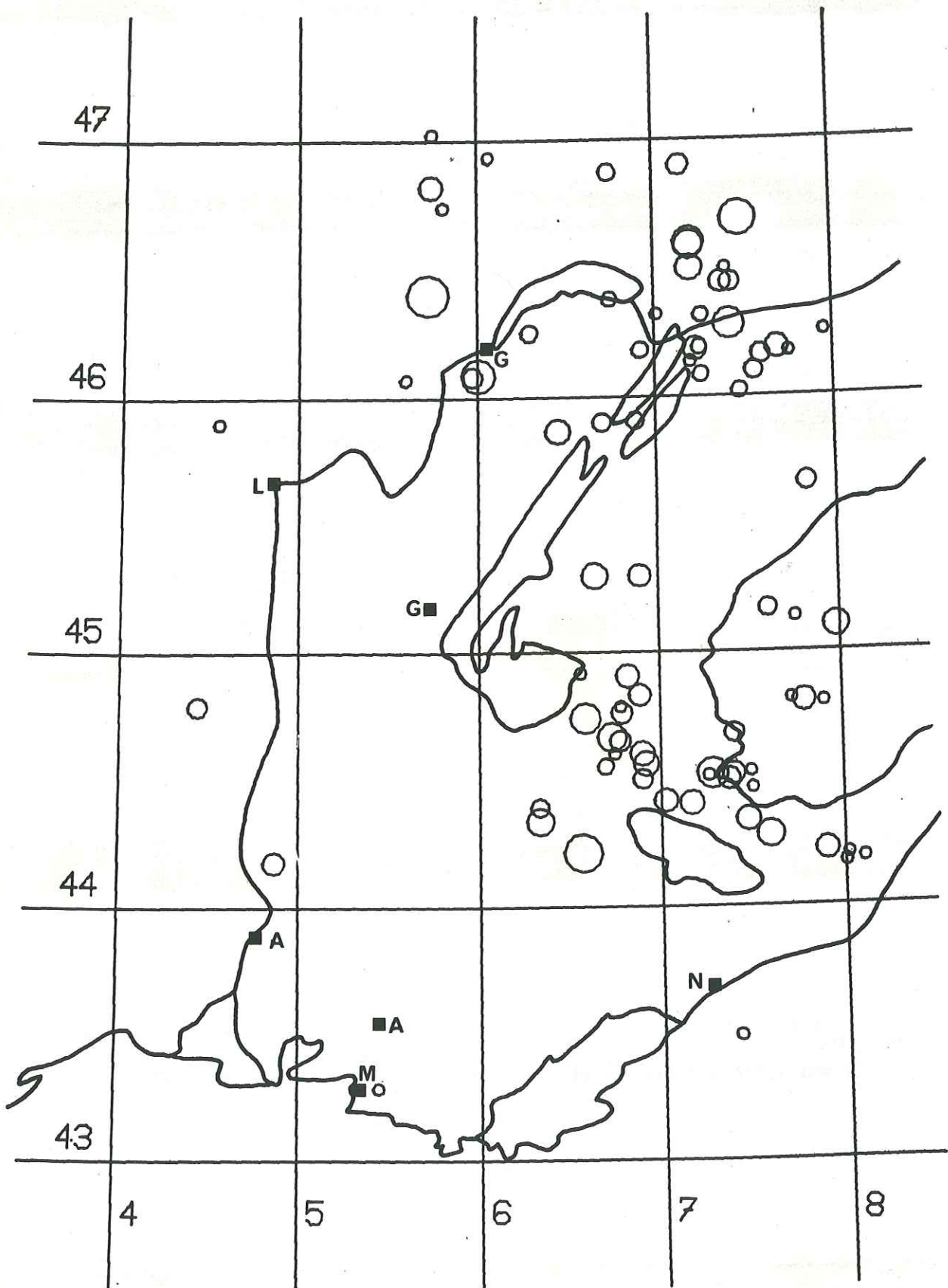


FIG. I-14 : Séismes I.S.C.+C.S.E.M./B.C.I.S.+S.E.D., tri 3.

(1971-mars 1978).



Hand-drawn map showing a coastline and numerous circular markers (possibly representing data points or locations) plotted on a grid. The grid lines are labeled with numbers 8, 12, 16, 20, 24, 28 and 21, 24, 27, 30.

ANNEXE IIIPROBABILITES ET LOI LOG(N)

Note : Dans cette annexe $P\{A\}$ désignera la probabilité de l'évènement A ,
et $E(X)$ désigne l'espérance mathématique de la variable aléatoire X .

Page 11

Page 11 (1207 1111)

... ..
... ..

1. LOI CUMULATIVE.

On a vu (Chap. V) que le nombre des séismes et la répartition des magnitudes au cours d'une période ΔT peuvent être considérées comme des variables aléatoires. On admet généralement les lois suivantes: le nombre N de séismes pendant le temps ΔT suit une loi de Poisson, avec la fonction de distribution

$$f(N) = \frac{(\lambda_0 \Delta T)^N}{N!} e^{-\lambda_0 \Delta T}$$

où λ_0 est le nombre moyen de séismes par an; la magnitude m d'un séisme suit la fonction de répartition

$$F(m) = P\{\text{magnitude} \geq m\} = e^{-\beta m}$$

(Epstein et Lomnitz, 1966).

A l'aide de ce modèle on peut calculer la répartition théorique des magnitudes. Calculons la probabilité pour que le nombre de séismes de magnitude $\geq m$ vaille n . Pour cela il faut qu'il y ait au total N séismes ($N \geq n$), et que n d'entre eux aient une magnitude $\geq m$ alors que les $N-n$ restant aient une magnitude $< m$. D'où :

$$P(n) = P\{(\text{nombre de séismes de magn.} \geq m) = n\} = \sum_{N=n}^{+\infty} f(N) C_N^n F(m)^n (1-F(m))^{N-n}$$

La valeur moyenne \bar{n} de n vaut alors:

$$P(n) = \frac{(\lambda F)^n}{n!} e^{-\lambda F}$$

$$\bar{n} = E(n) = \sum_{n=0}^{+\infty} n P(n) = \sum_{n=1}^{+\infty} \sum_{N=n}^{+\infty} n \frac{\lambda^N e^{-\lambda}}{N!} C_N^n F^n (1-F)^{N-n}$$

$$= \sum_{N=1}^{+\infty} \frac{e^{-\lambda} \lambda^N}{(N-1)!} F \sum_{n=1}^N C_{N-1}^{n-1} F^{n-1} (1-F)^{(N-1)-(n-1)}$$

$$= \sum_{n=1}^{+\infty} e^{-\lambda} \frac{\lambda^n F}{(N-1)!} = \lambda F$$

soit : $\bar{n} = \lambda F(m) = \lambda_0 \Delta T e^{-\beta m}$

ou $\log_{10} \bar{n} = \log_{10} \lambda - (\log_{10} e) \beta m$

On a donc démontré la loi $\log_{10} n = a - b m$ avec
 $a = \log_{10} \lambda$ et $b = \beta \log_{10} e$

En pratique on estime la valeur \bar{n} par une seule de ses réalisations \hat{n} . On commet ainsi une erreur que l'on peut estimer égale à l'écart quadratique moyen de la variable aléatoire n . Calculons cet écart $\sigma(n)$:

$$\begin{aligned} \sigma^2(n) &= E((n-\bar{n})^2) = \sum_{n=0}^{+\infty} (n-\bar{n})^2 P(n) \\ &= \sum_n (n^2 P - 2n \bar{n} P + \bar{n}^2 P) \\ &= \sum n(n-1) P - 2\bar{n} \sum n P + \bar{n}^2 \sum P \\ &= \bar{n} - \bar{n}^2 + \sum_{N=1}^{+\infty} \frac{e^{-\lambda} \lambda^N}{(N-2)!} F^2 \sum_{n=1}^N C_{N-2}^{n-2} F^{n-2} (1-F)^{(N-2)-(n-2)} \\ &= \bar{n} - \bar{n}^2 + \lambda^2 F^2 = \bar{n} \end{aligned}$$

D'où: $\sigma(n) = \sqrt{\bar{n}}$

L'erreur relative $\sigma/\bar{n} = 1/\sqrt{\bar{n}}$ décroît quand \bar{n} croît. Elle devient importante pour les petites valeurs de \bar{n} . On peut estimer l'écart correspondant de $\log_{10} \bar{n}$:

$$\sigma(\log) = \log_{10} \left(n \pm \frac{1\sqrt{\bar{n}}}{\sqrt{n}} \right) - \log_{10} n = \log_{10} \left(1 \pm \frac{1}{\sqrt{n}} \right)$$

$\sigma(\log) = \pm 1/\sqrt{n}$ si n est grand

$\sigma(\log) = 0,23$ et $-0,53$ si $n = 2$

$\sigma(\log) = 0,20$ et $-0,37$ si $n = 3$

etc..

On peut ainsi estimer l'erreur sur les valeurs calculées de a et b et sur les prédictions sur les valeurs de n que l'on en déduit.

Il est clair que les valeurs \hat{n} utilisées pour estimer les coefficients a et b

doivent être indépendantes. Or cette condition n'est jamais réalisée dans la pratique. En effet les valeurs \hat{n} utilisées dans le diagramme dit "cumulatif" décrit dans ce paragraphe 1, sont extraites d'une seule réalisation, alors que chaque valeur de \hat{n} devrait être calculée avec sa propre réalisation. Dans le diagramme où les points ne sont pas indépendants, les points obtenus sont très régulièrement alignés, d'où le succès de cette méthode. Mais il n'est alors pas possible d'estimer l'erreur commise. Il nous semble donc indispensable d'utiliser un diagramme non cumulatif.

2. LOI NON CUMULATIVE.

On définit maintenant n comme le nombre de séismes de magnitude comprise entre m et $m+\Delta m$. Les calculs du paragraphe 1 restent valables, mais avec

$$F'(m) = P\{m < \text{magn.} < m+\Delta m\} = \beta e^{-\beta m} \Delta m$$

D'où le résultat:

$$\bar{n} = \lambda F'(m) = \lambda_0 \Delta T \Delta m \beta e^{-\beta m}$$

$$\text{Soit } \log_{10} \bar{n} = a' - b' m$$

$$\text{avec } a' = \log_{10}(\lambda \Delta m \beta) = a + \log_{10}(\Delta m \beta) = a + \log_{10}(1 - 10^{-b \Delta m})$$

$$\text{et } b' = \beta \log_{10} e = b$$

La pente de la droite est donc la même que pour la loi cumulative. Mais cette fois-ci les valeurs \hat{n} obtenues pour une réalisation (c'est-à-dire un catalogue de séismes) sont indépendantes.

Les calculs d'erreurs sont les mêmes, d'où

$$\sigma(n) = \sqrt{\bar{n}}$$

3. EXACTITUDE DU MODELE ET EXTRAPOLATION.

En pratique, les dispersions obtenues sont bien supérieures à celles calculées ci-dessus. Ceci montre que le modèle est loin d'être rigoureusement exact.

Cela signifie qu'il est indispensable de calculer les coefficients a et b dans le cas non cumulatif et d'estimer leur incertitude à partir de la dispersion des points.

Une extrapolation vers les hautes magnitudes conduit à de grosses incertitudes, même si l'on admet que la loi $\log(N)$ reste la même. En réalité il est certain qu'elle change de forme, puisque en particulier les valeurs de magnitude supérieures à 10 environ sont physiquement impossibles. Nous avons même émis l'hypothèse au chapitre V que la notion de probabilité perdait son sens pour les grandes magnitudes. On voit ainsi les fortes limitations de cette loi $\log(N)$ et les précautions qu'il faut prendre.

4. VALEURS EXTREMES.

Admettons le modèle du paragraphe 1. On s'intéresse maintenant à la valeur maximale de la magnitude au cours de la durée ΔT . Soit M cette valeur, dite valeur extrême. Epstein et Lomnitz (1966) ont calculé la fonction de répartition de M:

$$G(M) = P\{\text{magn. maximale} \leq M\} = P\{\text{nombre de séismes de magnitude} > M = 0\}$$

$$G(M) = \sum_{N=0}^{+\infty} \frac{\lambda^N}{N!} e^{-\lambda} (1-F)^N = e^{-\lambda F}$$

soit $G(M) = \exp(-\lambda e^{-\beta M})$

Supposons que l'on ait K réalisations de M, c'est-à-dire K catalogues d'une durée de ΔT chacun. On cherche alors la répartition de ces valeurs \hat{M} , c'est-à-dire le nombre de valeurs de \hat{M} obtenues, inférieures ou égales à une valeur M donnée.

$$\text{On a: } P(n) = P\{\text{nombre de valeurs extrêmes} < M\} = n = C_K^n G^n (1-G)^{K-n}$$

$$\text{d'où } \bar{n} = E(n) = \sum_{n=0}^K n P(n) = K G \sum_{n=1}^K C_{K-1}^{n-1} G^{n-1} (1-G)^{K-1-(n-1)} = K G$$

Soit $\bar{n} = K \exp(-\lambda e^{-\beta M})$

Ou $\text{Log}(-\text{Log}(\bar{n}/K)) = \text{Log} \lambda - \beta M$

En pratique, on obtient des valeurs \hat{n} et on cherche à calculer les coefficients λ et β par régression linéaire sur les valeurs $\text{Log}(-\text{Log}(\hat{n}/K))$.

Calculons l'erreur quadratique sur n .

$$\begin{aligned}\sigma(n)^2 &= E((n-\bar{n})^2) = \sum_{n=0}^K (n^2 - 2 K G n + K^2 G^2) P(n) \\ &= -2 K^2 G^2 + K^2 G^2 + \sum_{n=0}^K n (n-1+1) P(n) \\ &= -K^2 G^2 + K G + \sum_{n=2}^K n (n-1) C_K^n G^n (1-G)^{K-n} \\ &= -K^2 G^2 + K G + K(K-1) G^2 \sum_{n=2}^K C_{K-2}^{n-2} G^{n-2} (1-G)^{K-2-(n-2)} \\ &= K G (1-G)\end{aligned}$$

D'où: $\sigma(n) = \sqrt{\bar{n} \sqrt{K-\bar{n}} \cdot 1/\sqrt{K}}$

Cette erreur quadratique vaut 0 pour $\bar{n} = 0$, passe par un maximum égal à $\sqrt{K}/2$ pour $\bar{n} = K/2$, et vaut 0 pour $\bar{n} = K$.

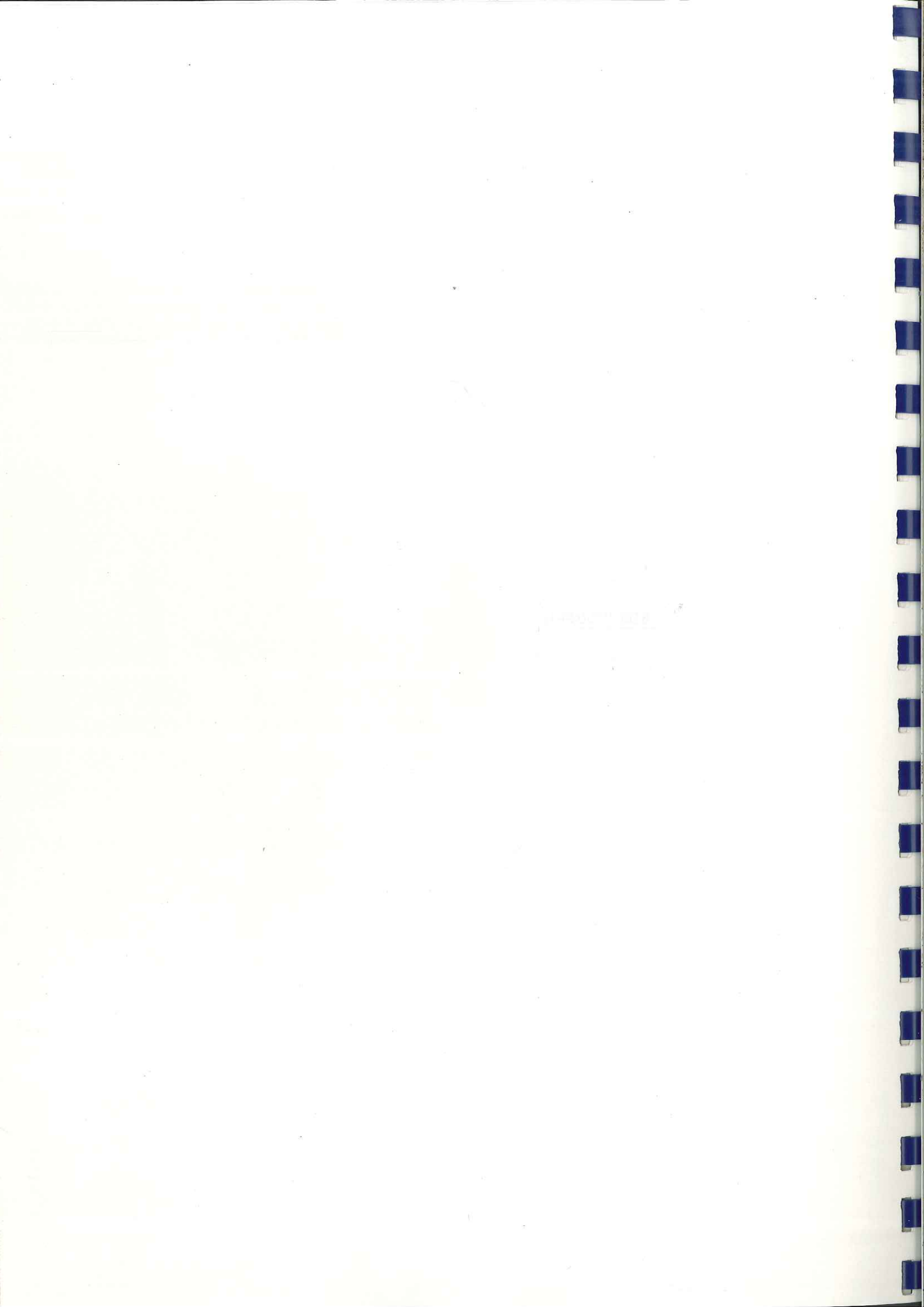
Une nouvelle fois ce calcul n'est valable que pour des variables \hat{n} indépendantes, ce qui n'est pas le cas en pratique puisque on déduit ces valeurs \hat{n} à partir d'un catalogue unique. Aussi n'est-il pas possible d'estimer alors l'erreur commise. Nous pensons utile de pousser ces calculs plus loin afin de montrer quelle est la meilleure méthode d'estimation de λ et β , et de leurs incertitudes. La théorie des valeurs extrêmes n'est pas au bout de ses développements, et cela se ressent ici.

L'ensemble des points \$x\$ tels que \$f(x) \in I\$ est noté \$f^{-1}(I)\$.
 Si \$I\$ est un intervalle, \$f^{-1}(I)\$ est une réunion d'intervalles.
 Si \$f\$ est continue sur \$[a, b]\$ et si \$I\$ est un intervalle, alors \$f^{-1}(I)\$ est un intervalle.
 Si \$f\$ est continue sur \$[a, b]\$ et si \$I\$ est un intervalle, alors \$f^{-1}(I)\$ est un intervalle.

4. Valeurs extrêmes

Admettons que \$f\$ soit continue sur \$[a, b]\$ et que \$f\$ soit dérivable sur \$(a, b)\$.
 Soit \$M\$ le maximum de \$f\$ sur \$[a, b]\$.
 Soit \$m\$ le minimum de \$f\$ sur \$[a, b]\$.
 Soit \$c\$ un point de \$(a, b)\$ tel que \$f(c) = M\$.
 Soit \$d\$ un point de \$(a, b)\$ tel que \$f(d) = m\$.
 Soit \$e\$ un point de \$(a, b)\$ tel que \$f(e) = M\$.
 Soit \$f\$ continue sur \$[a, b]\$ et dérivable sur \$(a, b)\$.
 Soit \$M\$ le maximum de \$f\$ sur \$[a, b]\$.
 Soit \$m\$ le minimum de \$f\$ sur \$[a, b]\$.
 Soit \$c\$ un point de \$(a, b)\$ tel que \$f(c) = M\$.
 Soit \$d\$ un point de \$(a, b)\$ tel que \$f(d) = m\$.
 Soit \$e\$ un point de \$(a, b)\$ tel que \$f(e) = M\$.

BIBLIOGRAPHIE



- Academia Sinica, Institute of Geophysics (1970): Catalog of chinese earthquakes. Academia Sinica.
- Ahorner, L., Murawski, H. et Schneider, G. (1972): Seismotektonische Traverse von der Nordsee bis zum Apennin. Geol. Rdsch. 61, pp 915-942.
- Ahorner, L. et Schneider, G. (1974): Herdmechanismen von Erdbeben im Oberrhein-Graben und in seinen Randgebieten. Dans Illies, H. et Fuchs, K. (Ed.); Approaches to Taphrogenesis, pp 104-117, Schweizerbart, Stuttgart.
- Argand, E. (1922): La tectonique de l'Asie. XXIII^e Congrès géol. internat., Bruxelles, 372 pp.
- Barfety, J.C., Gidon, M. et Kerckhove, C. (1968): Sur l'importance des failles longitudinales dans le secteur durancien des Alpes internes françaises. C. R. Acad. Sc. Paris, t.267, Série D, pp 394-397.
- Bossolasco, M., Cicconi, G., Eva, C. et Pasquale, V. (1972): La rete sismica dell'Istituto di Genova e primi risultati sulla sismotettonica delle Alpi Marittime ed Occidentali e del Mar Ligure. Riv. Ital. Geofisica, vol. XXI, pp 229-247.
- Burridge, R. et Knopoff, L. (1964): Body force equivalents for seismic dislocations. Bull. Seism. Soc. Am., vol. 54, N°6, pp 1875-1888.
- Caputo, M., Keilis-Borok, V.I., Kronrod, T.L., Molchan, G.M., Panza, G.F., Piva, A., Podgaetskja, V.M. et Postpischl, D. (1974): The estimation of seismic risk for central Italy. Annali di Geofisica, vol. XXVII, N°1-2, pp 349-365.
- Debeglia, N. (1977): Interprétation des données aéromagnétiques disponibles sur les cartes à 1/250 000 de Nice et Gap. B.R.G.M., à paraître.
- Debelmas, J. (1953): Bull. Soc. Géol. Fr., 6^e série, 3, p 123.
- Debelmas, J. (1974): Géologie de la France. Vol. II, 530 pp, Doin, Paris.
- Dewey, J. et Bird, J. (1970): Mountain belts and the new global tectonics. J. Geophys. R., vol. 75, pp 2625-2647.
- Duda, S.J. (1965): Secular seismic energy release in the circum-pacific belt. Tectonophys. 2(5), pp 409-452.
- Carte de zonation sismique de l'U.R.S.S. (1958): Normy i pravila stroitelstva seismicheskikh raionakh SN8-57. Stoiizdat.

- Epstein, B. et Lomnitz, C. (1966): A model for the occurrence of large earthquakes. *Nature*, 211, pp 954-956.
- Gidon, M. (1962): La zone Briançonnaise en Haute Ubaye et son prolongement au S.E.. *Mem. Carte Géol. Fr.*
- Gidon, M. (1974): L'arc alpin a-t-il une origine tourbillonnaire ?. *C.R. Acad. Sc. Paris*, t.278, série D, pp 21-24.
- Giese, P., Prodehl, C. et Stein, A. (Ed.) (1976): *Explosion Seismology in Central Europe*. 429 pp, Springer-Verlag.
- Gumbel, E.J. (1958): *Statistics of extremes*. Columbia Univ. Press., New-York.
- Gutenberg, B. et Richter, C.F. (1954): *Seismicity of the earth and associated phenomena*. 310 pp, Princeton Univ. Press, Princeton, New-Jersey.
- Gutenberg, B. et Richter, C.F. (1956): Magnitudes and energy of earthquakes. *Annali di Geofisica*, 9, pp 1-15.
- Herrin, E. (Chairman) (1968): Seismological tables for P phases. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 58, pp 1193-1219.
- Hoang-Trong, P. et Behe, L. (1972): Extended distances and angles of incidence of P waves. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 62, pp 885-902.
- Hoang-Trong, P., Wittlinger, G. et Haessler, H. (1977): Etude de la sismicité par un réseau sismologique local: application à l'arrière-pays niçois (Alpes-Maritimes). *Rapport I.N.A.G.* 1977.
- Isacks, B., Oliver, J. et Sykes, L.R. (1968): Seismology and the new global tectonics. *J. Geophys. R.*, 73, pp 5855-5899.
- Isacks, B. et Molnar, P. (1971): Distribution of stresses in the descending lithosphere from a global survey of focal-mechanism solutions of mantle earthquakes. *Rev. Geophys. Space Phys.*, v.9, pp 103-174.
- Karnik, V. (1969): *Seismicity of the European Area. Part 1*, 364 pp, Reidel.
- Knopoff, L. et Kagan, Y. (1977): Analysis of the theory of extremes as applied to earthquake problems. *J. Geophys. R.*, 82, pp 5647-5657.
- Kostov, B.V. (1970): The theory of the focus for tectonic earthquakes. *Izv., Earth Physics*, N°4, pp 84-101.

- Lee, W.H.K. et Lahr, J.C. (1972): HYPO 71: A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes. U.S. Geological Survey, Open File Report.
- Lee, W.H.K., Wu, F.T. et Jacobsen, C. (1976): A catalog of historical earthquakes in China compiled from recent Chinese publications. Bull. Seism. Soc. Am., 66, pp 2003-2016.
- Lomnitz, C. (1969): An earthquake risk map of Chile. Proc. World Congr. Earthquake Eng., 4th, Santiago, 1, A-1, pp 161-171.
- Lomnitz, C. (1974): Global tectonics and earthquake risk. Elsevier, Amsterdam.
- Mayer-Rosa, D. et Pavoni, N. (1977): Fault plane solutions of earthquakes (1971-1976) in Switzerland. Proc. 15th E.S.C. gen. Assem. Krakow 1976.
- Molnar, P. et Tapponnier, P. (1975): Cenozoic tectonics of Asia: effects of a continental collision. Science, 189, pp 419-426.
- Pasquale, V. (1977): Maritime Alps: stress concentration in the savonese swarm area. A paraître.
- Pavoni, N. (1975): Zur Seismotektonik des Westalpenbogens. Fachbl. Vermess. Photogramm. Kulturtech. III/IV-75, pp 185-187.
- Pavoni, N. (1977a): Erdbeben im Gebiet der Schweiz. Eclogae Geologicae Helveticae, vol. 70, N°2, pp 351-370.
- Pavoni, N. (1977b): An investigation of microearthquake activity in the central Valais (Swiss Alps). A paraître.
- Pavoni, N., Losito, G. et Mayer-Rosa, D. (1977): A study of focal mechanisms of 1971-1976 earthquakes in Switzerland and Northern Italy. Pure and appl. Geophys. (en prép.).
- Pavoni, N. et Peterschmitt, E. (1974): Das Erdbeben von Jeurre vom 21. Juni 1971 und seine Beziehungen zur Tektonik des Faltenjura. Dans Illies, J.H. et Fuchs, K. (Ed.) ; Approaches to Taphrogenesis, pp 322-329, Schweizerbart, Stuttgart.
- Philip, H. et Tapponnier, P. (1976): Tectonique actuelle et sismicité en Provence: essai d'interprétation cinématique. Colloque final de l'A.T.P. Géodynamique de la Méditerranée occidentale et de ses abords (1972-1975), I.N.A.G..
- PS 69 : Règles parasismiques 1969 et annexes. Société de diffusion du bâtiment et des travaux publics, Paris, 1970.

- Recherches Séismologiques dans les Alpes occidentales au moyen de grandes explosions en 1956, 1958 et 1960. Année Géophysique Internationale, Participation Française, série XII, fasc.2, 1963, 241 pp.
- Richter, C.F. (1935): An instrumental earthquake magnitude scale. Bull. Seism. Soc. Am., 25, pp 1-32.
- Richter, C.F. (1959): Seismic regionalization. Bull. Seism. Soc. Am., 49, pp 123-162.
- Rothé, J.P. (1941): Les séismes des Alpes françaises en 1938 et la séismicité des Alpes occidentales. Ann. Inst. Phys. Globe Strasbourg, t.III, 3^e partie, pp 1-105.
- Rothé, J.P. (1946): La séismicité des Alpes occidentales (Compléments). Ann. Inst. Phys. Globe Strasbourg, t.IV, 3^e partie, pp 89-105.
- Rothé, J.P. et Dechevoy, N. (1954): La séismicité de la France de 1940 à 1950. Ann. Inst. Phys. Globe Strasbourg, t.VII, 3^e partie, pp 1-39.
- Rothé, J.P. et Dechevoy, N. (1967): La séismicité de la France de 1951 à 1960. Ann. Inst. Phys. Globe Strasbourg, t.VIII, 3^e partie, pp 19-84.
- Rothé, J.P. (1969): La séismicité du globe 1953-1965. UNESCO, Sciences de la terre, 336 pp.
- Rothé, J.P. (1972a): La séismicité de la France de 1961 à 1970. Ann. Inst. Phys. Globe Strasbourg, t.IX, 3^e partie, pp 3-134.
- Rothé, J.P. (1972b): L'étude macrosismique; la sismicité (Séismes et séismologie). Encyclopaedia Universalis, pp 842-845.
- Sadovsky, M.A., Nersesov, I.L., Nigmatullaev, S.K., Latynina, L.A., Lukk, A.A., Semenov, A.N., Simbireva, I.G. et Ulomov, V.I. (1972): The processes preceding strong earthquakes in some regions of middle Asia. Tectonophysics, 14, pp 295-307.
- Sägesser, R. et Mayer-Rosa, D. (1978): Erdbebengefährdung in der Schweiz. Schweizerische Bauzeitung, 96-7, pp 107-123.
- Scheidegger, A.E. (1967): The tectonic stress in the vicinity of the Alps. Zschr. f. Geophys., vol.33, pp 167-181.
- Scholtz, C.H. (1968): The frequency-magnitude relation of microfracturing and its relation to earthquakes. Bull. Seism. Soc. Am., 58, pp 399-417.
- Shenkova, Z. et Karnik, V. (1973): Comparison of methods of determining the largest possible earthquake. Izv., Earth Physics, N°11, pp 118-125.

- Shih,C.L.,Huan,W.L.,Tsao,H.L.,Liu,Y.P. et Wang,W.K. (1974): Some characteristics of seismic activity in China. *Acta Geophysica Sinica* 17, pp 1-13.
- Sponheuer,W. (1960): Methoden zur Herdtiefenbestimmung in der Makroseismik. *Freiberger Forschungshefte*, C88, Akademie-Verlag, Berlin.
- Sykes,L.R. (1967): Mechanism of earthquakes and nature of faulting on the mid-oceanic ridges. *J. Geophys. R.*, 72, pp 2131-2153.
- Tapponnier,P. (1977): Evolution tectonique du système alpin en Méditerranée: poinçonnement et écrasement rigide-plastique. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (7), t.XIX, N°3, pp 437-460.
- Tapponnier,P. et Molnar,P. (1977): Active faulting and tectonics in China. *J. Geophys. R.*, 82, pp 2905-2930.
- Thouvenot,F. (1976): Sondages sismiques profonds Alpes 75. *Dipl. Ing. Géophys.*, 59 pp, Inst. Phys. Globe, Strasbourg.
- York,J.E.,Cardwell,R. et Ni,J. (1976): Seismicity and quaternary faulting in China. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 66, pp 1983-2002.

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page. The text is mirrored and difficult to decipher.

Dernière page d'une thèse

VU

Grenoble, le 30 Mai 1978

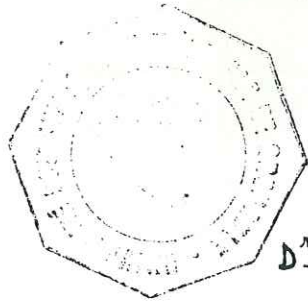
Le Président de la thèse



Vu, et permis d'imprimer,

Grenoble, le 30 mai 1978

Le Président de l'Université
Scientifique et Médicale



Handwritten signature
D^r G. CAU