

CONSEIL INTERNATIONAL DE RECHERCHES

UNION GÉODÉSIQUE ET GÉOPHYSIQUE INTERNATIONALE

SECTION DE SISMOLOGIE

PUBLICATIONS DU BUREAU CENTRAL SISMOLOGIQUE INTERNATIONAL

Sous la direction de E. ROTHÉ

SECRÉTAIRE DE LA SECTION DE SISMOLOGIE

SÉRIE B

MONOGRAPHIES

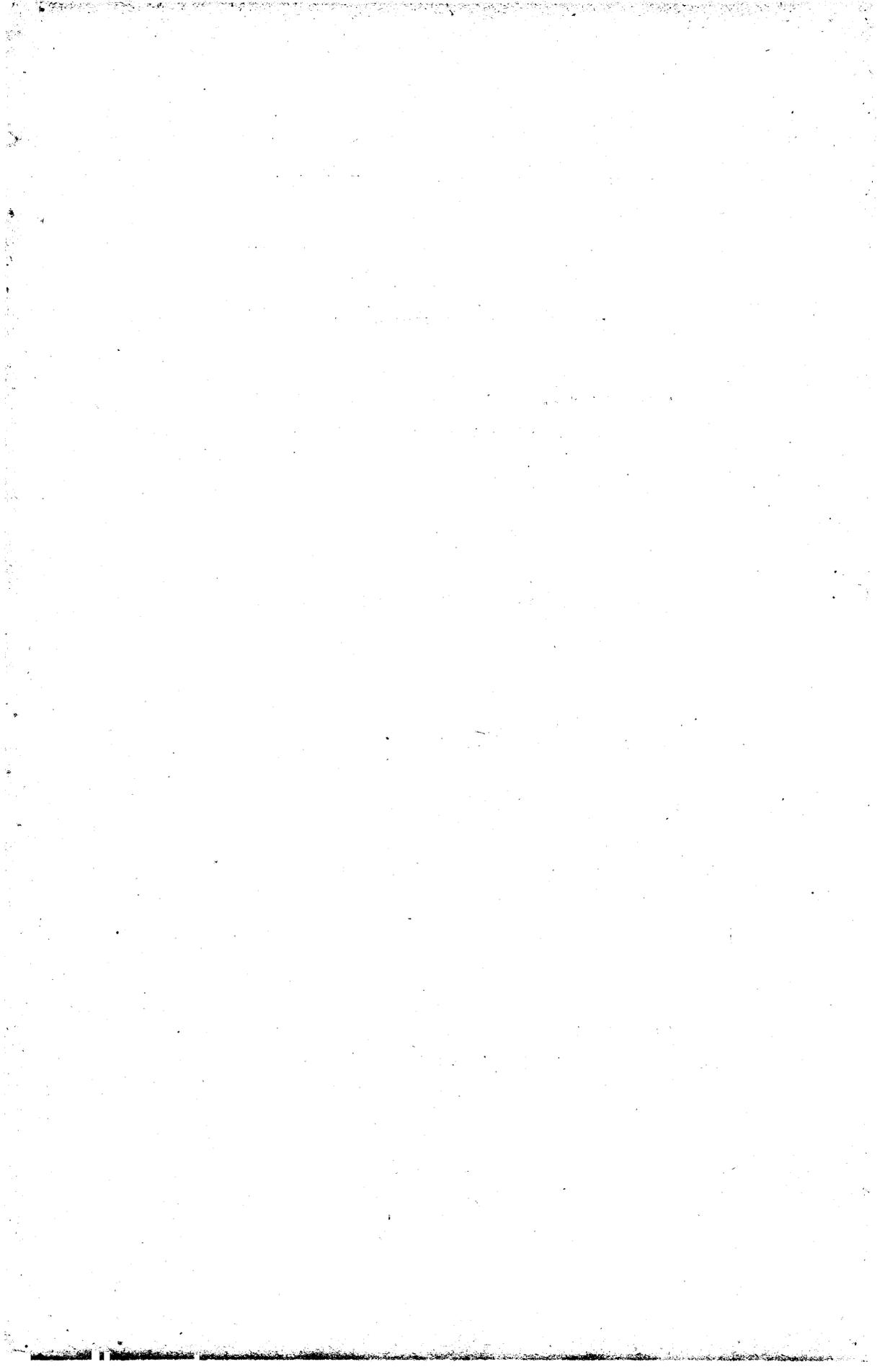


TOULOUSE

IMPRIMERIE ET LIBRAIRIE ÉDOUARD PRIVAT

14, RUE DES ARTS (SQUARE DU MUSÉE)

1924



AVERTISSEMENT

Ce fascicule ouvre la série des publications du Bureau central sismologique international (Série B) qui contiendra le plus souvent des monographies de tremblements de terre, études macrosismiques ou microsismiques, ou des catalogues relatifs à des régions particulières du globe.

Le premier tremblement de terre étudié dans cette publication est celui du Kan-sou du 16 décembre 1920. Son étude approfondie a été confiée à M^{lle} Y. Dammann, licenciée ès sciences, assistante à l'Institut de physique du globe de Strasbourg.

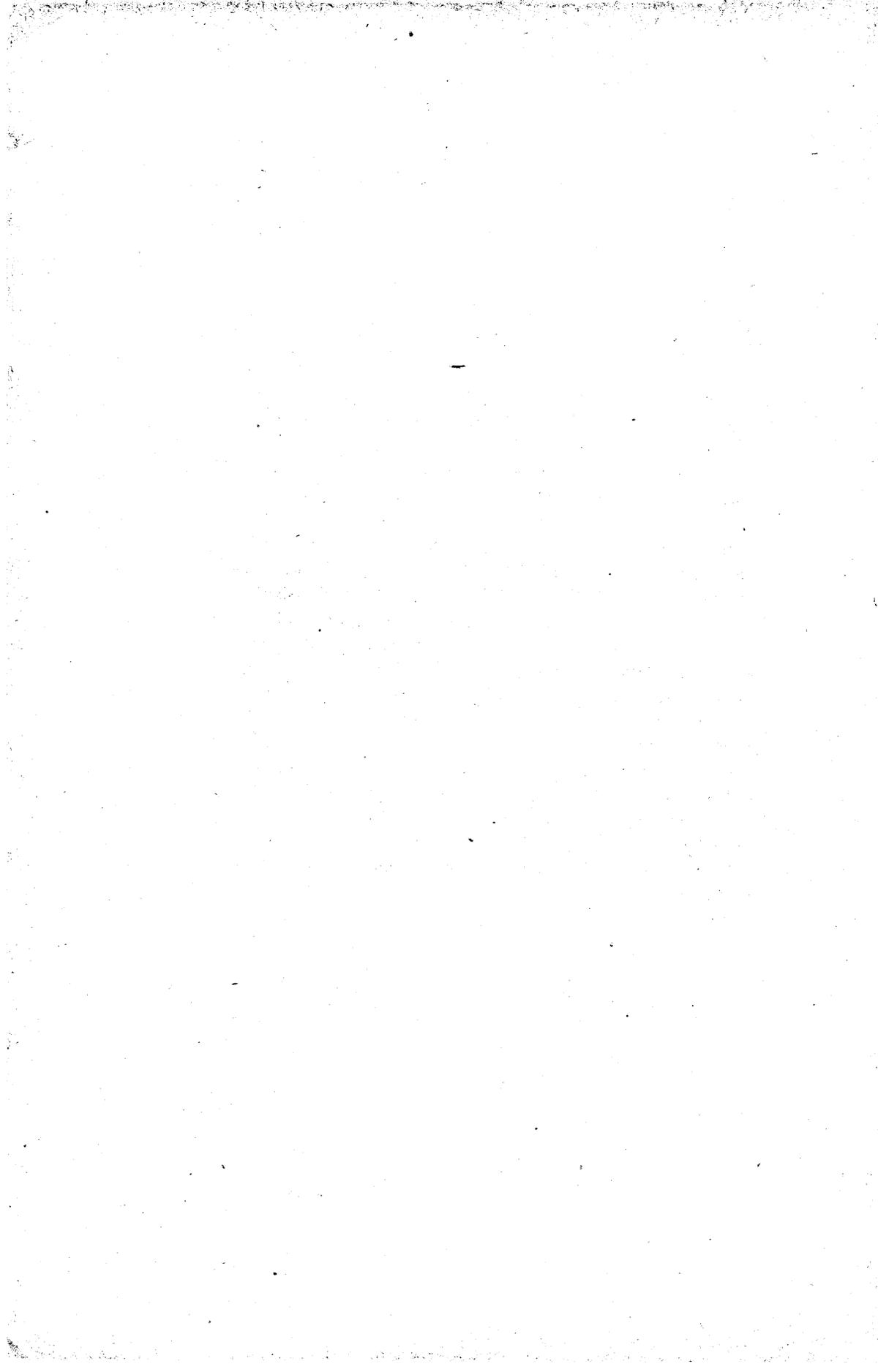
Je tiens à remercier tout d'abord tous nos collègues de l'Union et tous les Directeurs d'Observatoires qui ont bien voulu mettre avec le plus grand empressement leurs sismogrammes originaux ou des copies à la disposition du Bureau central, et aussi tous les correspondants qui nous ont documentés sur les faits macrosismiques.

En raison de l'importance extraordinaire de cet ébranlement et aussi du fait que la géologie et la tectonique de cette région sont encore peu connues, il nous a paru indispensable de donner relativement une grande place à l'étude de ces questions.

Le travail sera suivi d'un exposé historique de la séismicité du Kan-sou.

E. ROTHÉ,

Directeur du Bureau central sismologique international.



LE TREMBLEMENT DE TERRE DU KAN-SOU

DU 16 DÉCEMBRE 1920.

PAR M^{lle} Y. DAMMANN.

INTRODUCTION

Le 16 décembre 1920, un violent tremblement de terre qui causa de nombreuses morts s'est produit dans la partie orientale du Kan-sou, province de la Chine septentrionale.

Si aucune secousse désastreuse n'avait été constatée dans cette région au cours des dernières années, les catalogues relatant les tremblements de terre signalés en Chine depuis l'antiquité montrent que cette contrée se classe pourtant parmi les plus instables. D'ailleurs, le séisme du 16 décembre 1920 n'a pas été un phénomène isolé : à partir de cette date, toute une série de secousses, dont celle du 25 décembre fut encore désastreuse, se succédèrent pendant plusieurs mois.

La violence de cette catastrophe s'est manifestée, d'abord, par les désastres constatés sur une très vaste étendue autour de la région épicertrale, localisée le long des collines du Liu-p'an-chan ; d'autre part, les remarquables inscriptions fournies par les sismographes de la plupart des Observatoires, même les plus éloignés, témoignent de la quantité énorme d'énergie mise en jeu.

En raison de cette intensité exceptionnelle, ce séisme a paru mériter une étude détaillée, susceptible de conduire à des résultats intéressants.

De nombreux Observatoires ont bien voulu, en effet, adresser au Bureau central sismologique, des diagrammes qui présentent, pour la plupart, des débuts nets et d'une amplitude notable; les différentes phases du tremblement de terre y sont généralement faciles à discerner. Aussi l'étude de ces sismogrammes a-t-elle pu servir à la détermination des durées de propagation des différentes phases et à la construction de courbes représentant la variation de ces durées en fonction de la distance à l'épicentre.

Ce travail n'a cependant pas été exempt de difficultés provenant de circonstances défavorables: il n'existe aucun Observatoire sismologique à l'intérieur de la Chine; deux, seulement, sont situés sur la côte: Zi-ka-wei et Tsin-tao; celui de Zi-ka-wei, le seul dont je possède les documents, se trouve à plus de 1.500 kilomètres de la région épicertrale, de sorte que les données expérimentales font défaut pour les faibles distances; il en résultera forcément une lacune dans le tracé des courbes de durée de propagation.

Une difficulté du même ordre se présente dans l'étude macrosismique: le séisme considéré s'est produit dans une région encore mal connue et les observations faites dans la zone ébranlée sont relativement peu nombreuses. Ce travail ne pourra donc conduire qu'à des remarques générales, et ne permettra malheureusement pas une comparaison de la propagation de la secousse avec la nature du sous-sol aussi détaillée qu'il eût été désirable.

Il m'a paru néanmoins utile, avant d'aborder la monographie du séisme du 16 décembre, 1920, d'appeler l'attention sur les rapports étroits entre la constitution géologique des pays éprouvés et leur séismicité.

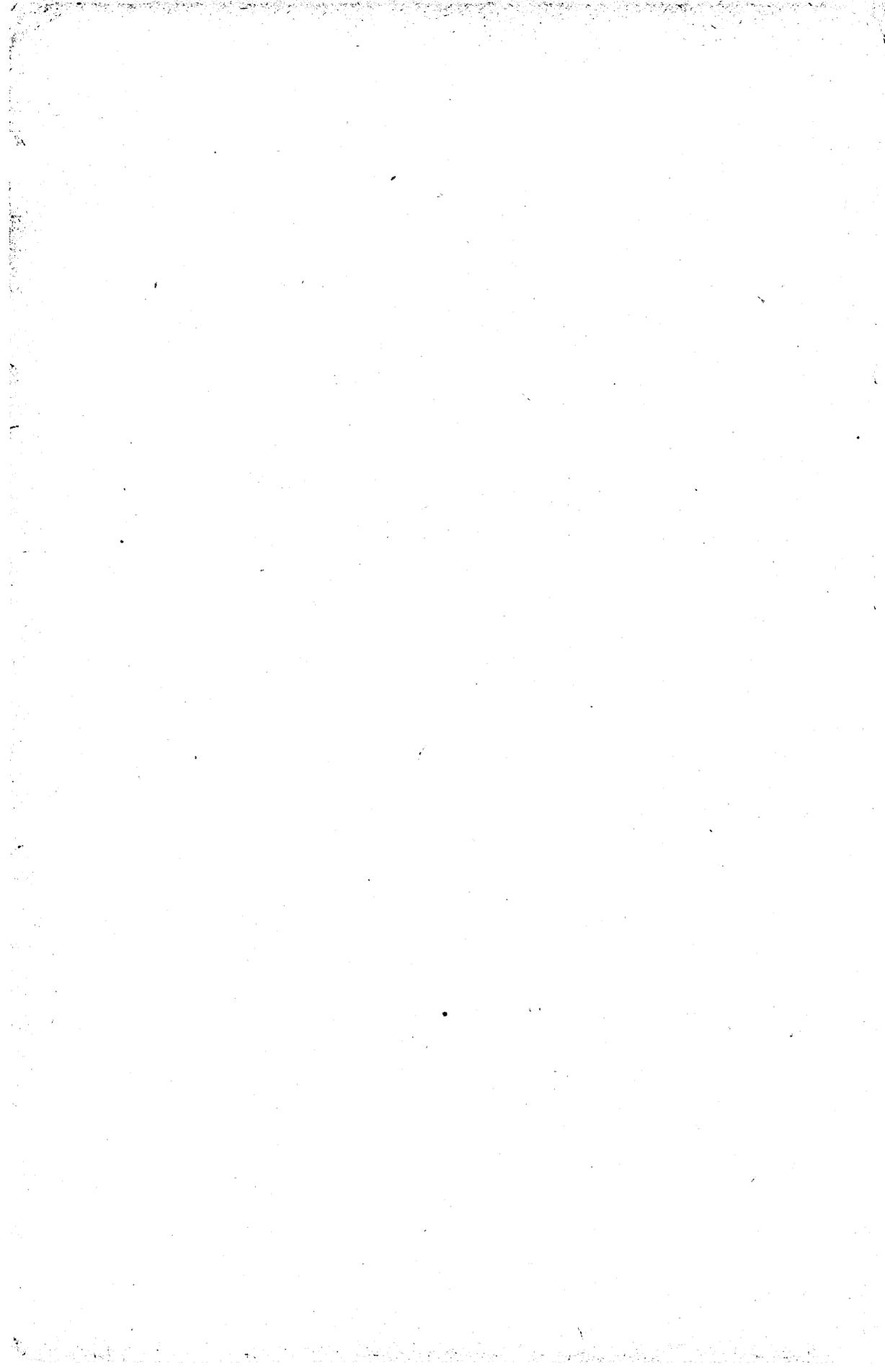
L'étude macrosismique, puis l'exposé de l'ensemble des données relatives aux diverses stations sismologiques et des résultats de l'étude que j'ai faite de leurs sismogrammes feront l'objet des chapitres suivants.

La suite du travail sera relative à la détermination, au moyen

des données précédentes, de l'épicentre du séisme et à l'étude des durées de propagation des ondes sismiques¹.

i. Explications des abréviations :

- Gh. R. P. E. Gherzi S. J.
 - O. F. Omori.
 - Z. Bulletin mensuel de l'Observatoire de Zi-ka-wei.
 - E. Est.
 - F. Fou, préfecture.
 - G. Greenwich.
 - H. Hien, sous-préfecture.
 - N. Nord.
 - P. Province.
 - S. Sud.
 - T*. Tche-li Tcheou, vice-préfecture indépendante.
 - T. Chou Tcheou, vice-préfecture dépendante.
 - t*. Tche-li ting, préfecture mineure indépendante.
 - t. Chou ting, préfecture mineure dépendante.
 - W. Ouest.
-



CHAPÎTRE PREMIER

LA GÉOLOGIE DE LA RÉGION

Le caractère le plus frappant dans la structure générale de l'Asie est la disposition harmonieuse de ses chaînes de montagnes : d'après E. Suess, l'ossature de ce continent est constituée par de longues chaînes courbes, s'étendant en général suivant les parallèles ; elles sont convexes vers le S. et leur remarquable ordonnance paraît régir par ce que E. Suess a appelé « le Faîte sibérien » : sur plus de 20° de latitude, elles embrassent, avec une disposition concentrique dans l'ensemble, la bordure méridionale de cet ancien horst¹.

Ces chaînes sont de plus en plus récentes à mesure que l'on s'avance vers le S. et marquent autant d'étapes dans la formation du continent asiatique autour du noyau ancien du Faîte : dans le large océan qui s'étendait au S., une série de plis se sont formés, aux dépens des sédiments accumulés au cours des âges ; la dernière crise orogénique a fait disparaître le bras de mer auquel il se réduisait au Tertiaire, en provoquant la soudure de ce continent avec l'ancienne « Terre de Gondwana » qui constitue au S. le pendant du « Faîte sibérien ».

Parmi les différents groupes de montagnes de l'Asie, deux sont particulièrement intéressants pour le sujet traité ici : le groupe de l'Altaï, ou Altaïdes de Suess qui couvre la Mongolie et la Chine septentrionale : ce sont les chaînes de l'Altaï et du Tien-chan qui, en partie recouvertes vers l'E. par les sables

1. Voir *Ed. Suess* : « La Face de la Terre » (*Das Andlitz der Erde*), traduit et annoté sous la direction de Emm. de Margerie, 3 vol. in-8°, index et tables, V^e tirage. Paris, 1921 ; en particulier : t. III, chap. II (Le Nord de la Sibérie), chap. III (Le Faîte primitif), chap. V (L'Altaï et les Altaïdes), chap. VII (Les faisceaux montagneux de l'Inde).

du Gobi, réapparaissent dans les monts Pommiers (Iablonowj) et s'étendent vers le Grand Khingan ; plus au S., le groupe du Kouen-lun, qui débute à l'E. du Pamir et se poursuit, avec une direction générale E. W., jusqu'à la mer orientale, si l'on admet que le Tsin-ling-chan se prolonge dans la région de Nan-king ; c'est le plus étendu de tous les systèmes montagneux de l'Asie.

La région intéressée par le séisme du 16 décembre 1920 se trouve dans la partie orientale de cette zone, au S. de la grande boucle du Fleuve jaune, entre ce fleuve et la puissante chaîne du Tsin-ling. Elle comprend le Kan-sou oriental et le Chen-si. Le phénomène paraît avoir eu pour épïcêtre les hauteurs du Liu-p'an-chan (ou Lo-pan-chan), rangée de collines qui s'étendent du N. W. au S. E. ; de là, l'ébranlement a rayonné principalement vers l'E. et le S. E.

C'est donc le grand plateau situé au S. de l'Ordos qui est particulièrement important pour ce sujet ; toutefois on sera amené à considérer aussi les régions environnantes : au N., les coulisses montagneuses traversées par le Hoang-ho (Fleuve jaune) ; à l'W., la terminaison des plis du Nan-chan et du moyen Kouen-lun contre le rebord du plateau ; au S., le Tsin-ling-chan qui constitue le prolongement vers l'E. des chaînes méridionales du moyen Kouen-lun.

Ce sont, en effet, surtout les relations réciproques de ces éléments qui importent ici ; elles apparaîtront immédiatement lorsqu'on aura passé en revue ces différentes régions, en les groupant, pour en faciliter l'étude : les pages qui suivent seront consacrées, d'abord, à l'examen de la constitution stratigraphique et tectonique des régions tabulaires et des chaînes du Hoang-ho ; puis on indiquera les caractères essentiels de la constitution du Kouen-lun moyen et oriental (Tsin-ling-chan). C'est ensuite seulement qu'on essaiera d'interpréter les grandes lignes tectoniques de ces régions et d'en déduire, d'une façon générale, les relations de leur constitution géologique avec la sismicité et, plus particulièrement, avec le séisme qui fait l'objet principal de ce travail.

I. — Région tabulaire au N. du Tsin-ling-chan et système de plis du Hoang-ho¹.

La région des plateaux siniens, qui présente une largeur maximum de sept degrés de latitude, sous le méridien de Si-ngan F., est une région haute de 600 à 800 mètres, assez accidentée; le sol s'élève au N. E., dans le Chan-si, jusqu'à 1.200 et même 1.500 mètres; à l'E., le plateau descend, par une série de marches dues à de longues failles dirigées en moyenne du N. N. E. au S. S. W., sur la grande plaine chinoise.

Au N. et à l'W. se dressent des montagnes plissées, en général suivant la « direction sinienne » N. E., et qui dominent les plateaux méridionaux par des escarpements hauts parfois de plusieurs centaines de mètres. Le cours du Hoang-ho suit ces montagnes, depuis Tchong-wei jusqu'aux environs de Koukoukhoto, près de son troisième coude : elles constituent la région de bordure d'une large zone montagneuse s'étendant au N. W. jusqu'à l'Altaï mongol. E. Suess les désigne sous le nom de système du Hoang-ho.

1. Les éléments de ce paragraphe ont été puisés principalement dans les ouvrages suivants :

Ed. Suess : op. cit. ; notamment t. III, chap. v et vi.

L. von Loczy : Beschreibung der geolog. Beobachtungen und deren Resultate; in « Wissenschaftliche Ergebnisse der Reise des Grafen Bela Széchenyi in Ostasien 1877-80 » Wien 1893.

F. von Richthofen : « China », Ergebnisse eigener Reisen und darauf gegründeter Studien, 5 vol. in-4°. Berlin, 1877-1912 ; t. II.

Obrouchev : « L'Asie centrale, la Chine du Nord et le Nan-chan », en russe, 2 vol. in-4°. Saint-Pétersbourg, 1900-1901.

Bailey Willis, Eliot Blackwelder a. R. Sargent : Descriptive Topography a Geology; in « Research in China », 3 vol. in-4°, avec un atlas; t. I, part. 1; sect. II : Provinces Chi-li and Shan-si; sect. III, chap. XIV : Geol. of central Shen-si.

K. Leuchs : « Zentralasien », Handbuch der Regionalen Geologie. Bd V. Abt. 7. Heidelberg, 1916.

Teilhard : « Sur une faune de Mammifères pontiens provenant de la Chine septentrionale. » C.R. Ac. Sc., t. 175, p. 979. Paris, 1922.

Au N. du Hoang-ho, deux lignes de hauteurs débutent, ou du moins semblent prendre de l'importance, au N. E. de Koukou-khoto.

La plus méridionale commence par la chaîne Chara-khada qui se poursuit dans l'In-chan, puis dans le Mouni-Oula, avec une direction W. S. W.; elle paraît se continuer, au delà du coude du Hoang-ho, par l'Arbis-oula, mais la direction change et devient S. ou S. S. W.; cette direction se remarque aussi plus au S. dans l'Ala-chan.

La ligne septentrionale commence avec la Souma-khada, dirigée parallèlement à la Chara-khada et se continue par le Khara-narin-oula; l'Argalintaï, qui lui fait suite vers l'W., montre une tendance à se recourber au S.; mais, après une brusque torsion, elle se dirige vers l'W., vers le Loun-chan, en délimitant, avec la chaîne de l'Ala-chan à l'E., la région du désert de l'Ala-chan.

En arrière de ces lignes de plissements s'étend, jusqu'à l'Altaï mongol, une large zone montagneuse, dont le relief est en partie masqué par les sables du Gobi.

Stratigraphie. — 1) *Région tabulaire au N. du Tsin-ling-chan.*
Voici sa constitution :

A la base, le « complexe de T'ai-chan » de B. Willis, est fait de gneiss et de schistes micacés, à intrusions granitiques, dioritiques, etc.; ce sont des roches très plissées, écrasées, à schistosité universelle; elles affleurent particulièrement au N. E. de la région et se cachent à l'W. et au S. sous des formations plus récentes.

Sur ce socle se trouvent des couches qui ont mieux gardé leur cachet de roches sédimentaires, quoiqu'elles soient encore très métamorphosées; ce sont des schistes, des quartzites très épais, associés à des marbres et des schistes verts. Cet ensemble (« série de Wu-t'ai » de Willis et Blackewelder) est épais, par endroits, de 5.000 mètres; il surmonte en discordance le complexe de T'ai-chan et une autre discordance le sépare des couches supérieures.

Celles-ci appartiennent à l'Algonkien (schistes argileux et

calcaires à la base, supportant en discordance des argiles rouges peu épaisses).

Suivent en concordance, dans le Chan-si, environ 900 mètres de couches essentiellement calcaires, parfois oolithiques ou même conglomératiques à la base, puis des calcaires gris, compacts et massifs, devenant de nouveau conglomératiques à la partie supérieure. C'est la « Ki-chou Formation » de B. Willis (ou « sinische Formation » de Richthofen), d'âge cambro-ordovicien. Elle est fossilifère en plusieurs endroits, d'après les travaux de Richthofen et de la Mission américaine; parmi les fossiles, *Obolus obscurus* est très caractéristique du Cambrien moyen du Chan-tong.

Dans le Chan-si, ces couches sont surmontées par des grès et des argiles grises, brunes ou noires, contenant des intercalations très importantes de charbon; c'est la « Chan-si formation » d'âge carbonifère, épaisse de 200 mètres environ; elle est recouverte de loess, peu épais dans le Chan-si (jusqu'à 70 m.), contenant des lits fréquents de sable et de cailloutis (« Hoang-t'ou formation » de B. Willis).

Plus à l'W., dans le Chen-si et Kan-sou, la série se complète par l'apparition, à la base, de calcaires d'origine marine avec quelques rares intercalations de charbon; ce calcaire n'est fossilifère que dans le Kan-sou occidental (*Productus elegans*, *P. semi-reticulatus*, etc.)

La formation de Chan-si est très développée dans le Kan-sou occidental où elle atteint, d'après Richthofen, des milliers de mètres de puissance; nulle part, Loczy ne l'a vue aussi épaisse; ce dernier auteur a trouvé dans le Kan-sou oriental, sous la formation de Chan-si, des calcaires gris du Carbonifère inférieur qui sont séparés ici par une discordance des couches supérieures; d'autre part, il semble résulter des découvertes ultérieures que les couches d'Angara ne sont pas représentées dans le plateau: toutes les formations gréseuses surmontant le calcaire carbonifère appartiendraient à la formation de Chan-si et seraient exclusivement carbonifères.

Sur le Carbonifère s'appuient directement des formations très récentes, principalement argileuses, à lits de grès et de

conglomérats; elles sont en général de couleur rouge et contiennent souvent des intercalations de gypse et de sel impur : c'est, en partie, le « Seeloess » de Richthofen, épais par endroits de plusieurs centaines de mètres; Loczy y avait trouvé des restes de *Vertébrés* (*Stegodon* [*Elephas*] *insignis*) et l'attribuait au pliocène; dans bien des endroits, ces couches se montrent disloquées; dans la région du Liu-p'an-chan, elles viennent en contact par failles avec le Carbonifère. C'est à cette série qu'appartiennent les couches miocènes récemment étudiées par Anderson et Zdansky¹, dans le Chan-si. Ces auteurs en font deux ensembles : à la base des couches de marnes et de sables, à ossements de *Poissons* et de grands *Mammifères*; elles sont épaisses de 25 à 30 mètres et ont une répartition assez restreinte : c'est la « Lou-tzou-kou formation » de Zdansky; son âge, au plus miocène, est donné indirectement par les « terres rouges » supérieures, essentiellement argileuses, ayant fourni une riche faune de *Vertébrés* dont beaucoup d'espèces rappellent celles de la faune de Pikerni de Grèce, d'âge miocène supérieur. (*Hipparion*, *Rhinoceros*, etc.) Enfin, par-dessus tout cet ensemble, s'étend un manteau de loess qui, dans le Kan-sou et le Chen-si, atteint des épaisseurs considérables, jusqu'à 600 mètres et plus; Obroutchev en a donné des vues saisissantes.

C'est dans de telles régions que les effets destructeurs du séisme du 16 décembre 1920 ont été particulièrement violents et leur étude est étroitement liée à celle de la constitution du loess; il est donc utile d'indiquer brièvement, ici, les propriétés essentielles de cette formation et les principales théories émises sur son origine.

Le loess. — Le loess existe dans la vallée du Rhin, dans celle du Danube et dans d'autres régions européennes, mais c'est en Chine surtout qu'il atteint un développement extraordinaire : il s'élève sur le flanc des montagnes jusqu'à 2.400 mètres et plus, d'après certains auteurs.

1. O. Zdansky : Fundorte der Hipparion-Fauna, etc.; Bull. Géol. surv. of China, n° 5. — *Id.* : Uber ein Sauger Knochenlager, etc.; *ibid.*

Propriétés. — Sa consistance est si tenue qu'il est facile de le réduire en poussière impalpable, mais il possède cependant assez de cohésion pour former des parois verticales ou surplombantes. Il est constitué par de fines particules de silicate d'alumine, avec de menus grains de quartz, toujours anguleux, et de petites paillettes de mica : une matière colorante de nature ferrugineuse, d'un brun jaunâtre, ne fait jamais défaut, ainsi que le carbonate de chaux et des sels alcalins.

C'est un terrain poreux; on n'y trouve jamais de sources, tandis qu'elles jaillissent en abondance à la surface de séparation avec les roches sous-jacentes. Quand il est lavé, l'argile est entraîné d'abord, la silice ensuite : les fleuves coulant dans ces régions ont leurs eaux colorées en jaune parce qu'elles contiennent en suspension de fines particules d'argile (Fleuve jaune). Le loess n'est pas stratifié; il contient de petits canaux verticaux, ramifiés vers le bas, à parois de carbonate de chaux, analogues par leur forme aux racines et radicelles des plantes. On y constate aussi la présence de fissures verticales, d'où résulte la tendance à former des parois verticales (sous l'action de l'eau de pluie) ou surplombantes (quand il est soumis à l'érosion d'un fleuve).

Des concrétions marneuses, de formes bizarres, souvent étiées, appelées *poupées du loess* peuvent y constituer des bancs; des lits de cailloutis, généralement inclinés, sont fréquents, surtout à la base de la formation; le loess contient de nombreuses coquilles terrestres, appartenant en partie à des espèces connues en Europe.

Certains auteurs, en particulier F. von Richthofen et B. Willis ont décrit une autre formation, le loess stratifié (*Seeloess* de Richthofen), qui se distingue nettement de la précédente : elle présente une stratification, est imperméable, souvent chargée de sel, peu propre à la culture; on n'y distingue pas de canaux verticaux.

Origine. — Les premières théories émises pour expliquer la formation du loess, qui lui attribuaient une origine glaciaire, marine, ou fluviale, sont complètement abandonnées.

Les théories plus modernes s'accordent à admettre une forma-

tion à l'air libre : la théorie de Richthofen¹, appelée « théorie éolienne », reprise par Obrouchev², attribue un rôle prédominant à l'action du vent ; tandis que, d'après B. Willis³, le ruissellement serait un agent plus important.

F. von Richthofen admet que le loess se serait formé sur un sol de steppes analogues aux steppes actuelles de Mongolie où il a vu les dépressions sans écoulement qui, selon lui, sont caractéristiques des régions où se forme le loess.

Les éléments de ce dépôt seraient des poussières soulevées par les vents sur les anciens fonds de lacs desséchés et arrêtées au passage par la végétation des steppes voisines qui se seraient élevées peu à peu ; les herbes étouffées laissant comme trace de leur existence de nombreux canaux ramifiés.

De semblables dépôts s'observent encore de nos jours dans ces régions : on voit, en hiver, des mélanges de neige et de poussière qui indiquent bien l'action du vent. Ce fait a été constaté par A. Tafel⁴ : à un moment donné, on voit arriver un nuage brun et épais ; on s'attend à un ouragan, mais il n'y a pas un souffle de vent ; les premières gouttes de pluie tombent : elles forment des taches jaunes là où elles tombent ; les Chinois disent qu'il pleut de la terre jaune ; des poussières impalpables se déposent partout.

D'après Obrouchev, qui reprend la théorie éolienne en la développant et en la rectifiant en certains points, le loess ne se forme pas seulement dans les dépressions fermées. De plus, les matériaux du loess n'ont pu être empruntés au voisinage de ces dépressions, car les roches des bords des cuvettes sont souvent constituées par des grès, granites, gneiss, etc., dont la composition chimique n'est pas du tout celle du loess ;

1. *F. von Richthofen* : op. cit., t. II.

2. *Obrouchev* : « Sur la question de la formation du loess » en russe. Tomsk, 1911, et analyses de cet ouvrage dans : « Dr A. Petermanns Mitteilungen aus Justus Perthes Geographischer Anstalt » t. 58, 1912 II, p. 161 et t. 59, 1913 I, p. 16 et 69.

3. *B. Willis* : op. cit., t. I.

4. *Dr Albert Tafel* : « Meine Tibetreise », t. II, Stuttgart, Berlin, Leipzig, 1914.

d'autre part, on ne s'expliquerait pas la présence du loess sur les sommets. Il semble donc plutôt que les dépôts ont été formés sur les hauteurs et, de là, ont coulé dans les vallées ; ils se sont formés sur toutes sortes de terrains, leur importance dépendant à la fois de la direction du vent dominant et de la configuration géographique.

Contrairement à ces deux auteurs, Willis admet un soulèvement du sol depuis la formation du loess (ce qui aurait provoqué une érosion intense) et des modifications successives de climat : alternances de périodes sèches et pluvieuses ; le transport par le vent aurait eu lieu pendant une ère plus sèche que l'ère actuelle ; mais le loess purement éolien serait peu important : le transport et le remaniement par les eaux auraient joué un rôle considérable.

La théorie éolienne paraît être encore la plus généralement admise ; je n'entrerai pas davantage dans la discussion de ces théories.

2) *Système des plis du Hoang-ho.* — La stratigraphie des chaînes du Hoang-ho est assez semblable à celle des Altaïdes : des gneiss associés à des granites, avec des roches éruptives récentes et des calcaires divers dans la Souma-khada et la Charakhada ; dans l'In-chan, des calcaires et des grès à charbon, carbonifères ; la chaîne Khara-narin-oula montre surtout des formations anciennes (gneiss et schistes cristallins, avec des intercalations de marbres) traversées par des intrusions granitiques puissantes.

Il y a une distinction nette avec les pays tabulaires qui s'étendent au S. du Hoang-ho : c'est le grand développement des formations « supracarbonifères » de Richthofen, représentées surtout par des grès, formations exclusivement continentales, contenant fréquemment des intercalations de combustibles ; elles appartiennent à cette série d'Angara, si développée sur toute l'Asie septentrionale et moyenne.

Tectonique. — Le terme de plateau, appliqué à la région tabulaire au S. du Hoang-ho, demande à être précisé.

Plusieurs auteurs ont parlé, en effet, des « plaines déserti-

ques » de l'Ordos, s'étendant au N. de la grande Muraille; d'autre part, sur certains atlas, on attribue plusieurs milliers de mètres de hauteur à quelques lignes de relief, comme le Liu-p'an-chan et le Tchan-fan-chan. Ce que l'on peut affirmer avec certitude, c'est que ce plateau est très accidenté. Cette topographie n'a pourtant pas l'importance qu'on lui attribue : d'après Obrouchev, certaines montagnes qui figurent sur nos cartes (Lou-gouan-lin, par ex.) n'existent même pas; d'autre part, il paraît exagéré d'attribuer au Liu-p'an-chan 3.500 mètres : en effet, Loczy dit que ces collines se dressent à 300 ou 400 mètres au-dessus du loess, qui n'atteint pas 900 mètres d'altitude absolue¹.

Plus intéressant est le fait que ces reliefs soulignent des traits tectoniques et plus précisément des plis : Loczy a montré que les terrains constituant le Liu-p'an-chan sont plissés; ces plissements sont orientés N. N. E., contrairement à la direction topographique de cette chaîne qui est S. E.; mais, d'après Loczy, celle-ci correspond à un plissement secondaire, prenant en diagonale le plissement principal N. N. E. On remarque, suivant cette dernière direction, un synclinal oblique, plongeant vers l'W., de grès carbonifères et des pointements anticlinaux de calcaire gris, sans fossiles, présentant le facies habituel du calcaire carbonifère; mais, ainsi qu'il a été dit, ce calcaire a été plissé antérieurement : il est séparé par une discordance des couches supérieures.

Un autre accident, de même direction, mais plus accentué, a été étudié, dans le Chan-si, par B. Willis; Blackenwelder a donné un profil, pris dans la même région, près de Han-yang, qui montre un léger charriage du granite du support par-dessus le Cambrien.

1. Toutefois, *Robert Sterling Clark* et *Arthur de C. Sowerby* attribuent au Liu-p'an-chan une hauteur de 8.000 à 10.000 pieds. (« Throug-Shê-kan. The account of the Clark Expedition in North China », 1908-1909 (p. 125), London, 1912). « Times Atlas » indique plus de 3.000 mètres, l'« Atlas Andrees », 3.500 mètres; tandis que l'« Atlas Vivien de Saint-Martin et Schrader » porte 1.860 mètres seulement.

D'autre part, les mêmes auteurs ont apporté des précisions sur l'allure des grandes failles de l'E. : en dehors des failles marginales qui provoquent la descente graduelle du plateau sous la plaine orientale, il y a tout un groupe qui suit le cours du Fen-ho; or, pour ces failles, le regard est dirigé, le plus souvent, vers l'W. ; le regard vers l'E. de l'O-chan est une exception ; le Ta-hua-chan, le Ho-chan ont leur regard tourné vers l'W. et prolongent, avec une disposition nette en coulisse, le grand abrupt du N. du Tsin-ling-chan.

Il est à rappeler aussi que ces failles sont orientées suivant la direction de larges ondulations qui affectent les terrains de ce grand plateau, mais qu'elles sont nettement postérieures, car elles coupent ces ondulations en maints endroits.

Enfin, il y a lieu de considérer toute la région envisagée ici comme une région d'affaissement non seulement par rapport à la zone plissée du N., mais aussi par rapport aux contrées plus orientales, en particulier la région de Péking. Comme Richthofen l'a montré, bien que le Carbonifère surmonte en concordance apparente le Cambrien, celui-ci, tout en restant horizontal, se montre vers l'E. à un niveau plus élevé; Suess a mis en valeur ce fait, qui démontre la présence d'un champ d'effondrement et l'a généralisé pour toute la région; or une coupe récente, que Zdansky¹ a donnée d'une partie du Chan-si voisine du Hoang-ho, confirme cette interprétation.

Grâce à cette circonstance, le Gobi se trouve partout à un niveau plus élevé que l'Ordos; la descente est jalonnée par une série de chaînons rocheux, tournant souvent de véritables falaises vers l'Ordos.

Tout le Gobi appartient aux Altaïdes : c'est une région plissée en marche vers le S. Dans plus d'un endroit, Obroutchev a noté des renversements : notamment dans l'Ala-chan, il a pu étudier un pli anticlinal, de calcaire carbonifère, de grès houillers productifs et de grès supra-houillers, qui est nettement renversé vers l'E. dans la direction de Ning-hia F.; d'autre part, les plongements des couches, constamment à l'W. ou au

1. O. Zdansky : Op. cit., p. 81, fig. 4 et 5.

N. W., montrent nettement des pressions venant de ces directions. Pour ces motifs, E. Suess considère le plateau tabulaire de l'Ordos comme « l'avant-pays » des Altaïdes, qui se montrent partout poussées vers le S. et renversées par endroits sur ce plateau.

Suivant Suess encore, une autre circonstance milite pour cette idée : c'est la disposition régulière en coulisses des chaînes du Hoang-ho, telle que l'extrémité occidentale de chacun des chaînons déborde sur l'extrémité orientale du suivant, situé plus au S. : ainsi que la carte de H. Fischer¹ le montre bien, cette disposition est particulièrement nette dans le Kharnarin-oula qui paraît consister en chaînons très courts, avec une disposition nette en écharpe sur la direction orographique générale, de la montagne.

Or, une pareille disposition suppose un mouvement oblique venant du N. W. et, dans l'avant-pays, un rebord rigide qui décompose le mouvement. L'interprétation de E. Suess explique le phénomène de la manière la plus satisfaisante.

Dans l'état actuel des connaissances, on peut rattacher à la même poussée, ou du moins à une poussée s'exerçant suivant la même direction, le plissement N. E. du Liu-p'an-chan, ainsi que les accidents du Chan-si mis en évidence par la Mission américaine; mais ce sont là sans doute des accidents locaux, des retentissements dans la masse de l'avant-pays, des poussées au S. E. des Altaïdes.

Par contre, on doit faire intervenir une pression s'exerçant suivant une direction à angle droit avec celle-ci et, sans doute, à un moment différent, pour expliquer le plissement secondaire E. S. E. de la même région. Ce plissement pourrait être attribué aux mouvements du Kouen-loun, croisant, à titre encore d'accident local, la direction sinienne de la région du Liu-p'an-chan.

1. *Ed. Suess* : Op. cit., t. III, 1.

II. — Kouen-lun.

On ne parlera pas du Kouen-lun occidental, chaîne étroite en arc de cercle, embrassant dans sa concavité, tournée au N., la plaine de Tarim et qui s'étend vers l'E. jusqu'à « la Vallée des Vents » (Tchertchen Darya); d'autres auteurs englobent sous cette dénomination l'Altyn-tagh, attribué par K. Leuchs au Kouen-lun central.

Pour cette étude, ce sont le Kouen-lun central et le Kouen-lun oriental (Tsin-ling-chan) qui sont plus intéressants, et spécialement la région qui, située à leur jonction, est voisine des contrées affectées par le séisme du 16 décembre 1920¹.

Kouen-lun central. — A l'encontre du Kouen-lun occidental, chaîne unique, adossée au S. aux chaînes thibétaines, le Kouen-lun central comprend un large ensemble de chaînes s'étendant sur 3 à 4 degrés de latitude.

En laissant de côté l'Altyn-tagh, le système se réduit à deux groupes de chaînes orientés en général E. S. E. : l'un septentrional, le Nan-chan, qui s'arrête brusquement au Hoang-ho; l'autre méridional, l'Arka-tagh, prolongé vers l'E. par plusieurs chaînes : Chougan-oula, Tsi-chi-chan, etc.; le contact avec le Tsin-ling-chan se fait par une espèce de rebroussement, au S. du premier coude du Hoang-ho.

Entre ces deux groupes, atteignant de grandes hauteurs (au N., le Nan-chan avec des sommets de 6.000 mètres; au S., l'Ouloug-moustagh, dans l'Arka-tagh, atteignant 7.360 mètres) se trouve comprise, à l'W., la steppe du Tsaidam, à 2.700 mètres de hauteur; vers l'E., l'intervalle des deux groupes montagneux est occupé par plusieurs chaînes : chaînes Humboldt, Ritter,

1. Les principales sources sont :

F. von Richthofen : op. cit.

L. von Loczy : op. cit.

Bailey Willis, Eliot Blackwelder a. R. Sargent : op. cit.,
principalement vol. I, part 1.

K. Leuchs : op. cit.

Mouchketov, etc., et, plus à l'E., chaînes Potanin, Séménov, etc. Ces chaînes sont séparées par des dépressions, également sans écoulement, dont le fond se trouve à plusieurs milliers de mètres au-dessus de la mer : la plus étendue, celle de Koukou-nor, occupée par le lac du même nom, se trouve à plus de 3.000 mètres. Seule, la partie orientale de cette étendue bénéficie, grâce au Hoang-ho, d'un drainage vers la mer.

Stratigraphie. — Les formations les plus anciennes consistent en schistes argileux épais, parfois plus ou moins calcaires ou siliceux, présentant de fréquentes intercalations de calcaires, grès, conglomérats, etc.; ces sédiments sont peu modifiés dans la partie orientale du Kouen-lun ; ailleurs, ils sont profondément métamorphisés. De rares découvertes de fossiles ont permis de distinguer dans cet ensemble deux séries : l'une plus récente, silurienne et dévonienne, l'autre plus ancienne, présilurienne ; mais elles présentent souvent le même facies et sont, toutes deux, métamorphisées ; il en résulte qu'aucun critérium précis ne permet d'attribuer avec certitude à l'Archéen l'une quelconque des formations anciennes de ces régions.

Le « grès du Nan-chan » de Loczy (schistes, grès, conglomérats, etc., métamorphisés par places), connu surtout dans les chaînes septentrionales, est une formation très plissée, fréquemment traversée de veines ou de dyks de quartz ; son âge, d'après Loczy, serait principalement cambrien. La découverte par Obroutchev, dans la chaîne Richthofen, de fossiles du Dévonien moyen dans des couches appartenant à cette série permet d'attribuer au Silurien les formations inférieures de cet ensemble ; le Dévonien est souvent transgressif (« transgression du Kouen-lun »).

Le Carbonifère est constitué par une épaisse série de sédiments où dominent les calcaires. La mer du Carbonifère inférieur était parsemée d'îles étendues ; cette circonstance explique que les couches plus récentes du Carbonifère supérieur (« transgression du Tien-chan ») arrivent parfois au contact direct des grès du Nan-chan, sans interposition de Carbonifère inférieur.

Des couches plus récentes, permienes, grès schisteux ou grossiers, à pistes de vers et traces de plantes, ont été notés par

L. von Loczy à l'W. de Lan-tcheou F.; dans la chaîne Séménov, on trouve des schistes argileux ou chloriteux, des calcaires gris à Fusulines, du même âge.

Les dernières couches marines de la région appartiennent déjà au Trias.

Tout le reste de la série, séparé par une discordance de son substratum, est représenté exclusivement par des sédiments d'origine continentale.

Le « Ueberkohlen-Sandstein » de Richthofen (grès, marnes, quartzites, schistes argileux) atteint jusqu'à 1.000 mètres de puissance au N. du Nan-chan. Ces couches seraient principalement jurassiques, mais leur dépôt aurait commencé, par endroits, dès le Permien; c'est un équivalent de la « série d'Angara ». Généralement horizontale ou simplement fracturée et dénivelée, cette formation est nettement plissée quand elle occupe les intervalles entre les différentes chaînes (chaîne Alexandre III par ex.).

La série de « Han-haï » (« couches du Gobi » des autres auteurs; sables généralement consolidés en grès tendres, marnes, conglomérats et argiles) est plus récente: on l'attribue au Pliocène. Elle n'est jamais plissée, mais est fréquemment disloquée et séparée par une discordance du loess supérieur, qui n'atteint jamais une épaisseur notable.

Tectonique. — La tectonique est assez complexe: les chaînes septentrionales sont formées de Cambro-Silurien, Dévonien, Carbonifère, en couches redressées jusqu'à la verticale, plissées en plis aigus; ces plis sont déjetés vers le N.; plus au S., apparaissent de grandes fractures, transformées parfois en surfaces de chevauchement par les pressions, qui ont agi toujours dans la direction du S.

Dans les chaînes Alexandre III et Suess, s'ajoutent à ces formations les couches continentales de la série d'Angara, plissées, comme le substratum, en énormes plis indécis.

Dans la chaîne Séménov, les sédiments marins carbonifères, permien et triasiques se présentent d'après Futterer¹, en cou-

1. Futterer: « Durch Asien », 3 vol., 1902-1911.

ches très redressées, entourées de roches éruptives, qui les métamorphisent au contact.

Dans les chaînes plus méridionales, le Tolaï-chan par exemple, on voit réapparaître la tectonique en plis aigus de la chaîne Richthofen et des chevauchements notables¹.

Ce grand ensemble de chaînes a été formé par des poussées tangentielles; mais la disposition générale qui en est résultée n'est ni symétrique, ni unilatérale : les chaînes septentrionales sont seules poussées vers le N., tandis que toute la partie moyenne et méridionale montre des pressions venant du N. Les principales époques de plissement se placent l'une à la fin du Dévonien, l'autre à la fin du Carbonifère.

Kouen-lun oriental ou Tsin-ling-chan. — On peut considérer cette chaîne, plissée suivant la direction générale E. S. E. du Kouen-lun central, comme le prolongement des plis méridionaux de celui-ci, bordant au sud le grand plateau sinien; leur union a lieu dans une région à topographie quelque peu brouillée, suivant un vague rebroussement.

Loczy envisage le prolongement du Tsin-ling-chan à travers le Fou-niou-chan, dans la région de Nan-king après un ennoyage dans la grande plaine chinoise, mais c'est une opinion encore controversée.

Le Tsin-ling-chan est une chaîne double : elle comprend, au N. des plis E. S. E. intéressant une série de couches presque exclusivement d'âge primaire; au S., des plis orientés N. E., intéressant une série en partie d'âge mésozoïque, qui buttent contre les précédents; leur limite est constituée par la traînée granitique du Liou-pa-ting.

Cette chaîne dresse une muraille, haute en moyenne de 2.500 à 3.000 mètres (avec des sommets dépassant 3.300 mètres), qui marque une limite importante : celle des régions tabulaires, relativement basses, du N., couvertes d'un épais dépôt de loess, et des régions plissées du S. où les dépôts superficiels sont

1. De nombreux profils tirés principalement de l'ouvrage d'Obroutchev sur l'Asie centrale ont été rassemblés par K. Leuchs, dans le recueil déjà cité.

représentés par de la latérite et où la série stratigraphique, bien plus complète, est comparable à celle du Kouen-lun central.

Stratigraphie. — Les terrains qui constituent cette chaîne sont, en général, assez métamorphisés; ce qui s'explique par leur plissement intense et par de grandes intrusions de roches granitoïdes.

Voici la constitution de cette chaîne, d'après les données de L. von Loczy, complétées par les recherches de la Mission américaine.

Le socle de toutes les formations sédimentaires de la région est constitué par un ensemble ancien, très épais, de schistes cristallins qui affleurent surtout au N. de la chaîne. On n'y observe pas de plis : le plongement des couches est constamment au N. Vient ensuite un complexe de formations moins métamorphisées auxquelles L. von Loczy attribue une épaisseur de 6.000 mètres.

C'est probablement une partie de cette série que B. Willis attribue à l'Algonkien : ce sont des schistes verts chloriteux par lesquels débute la série supérieure, reposant en discordance sur la tranche arasée des formations métamorphiques.

Des calcaires compacts très recristallisés, parfois dolomitiques, alternant avec des phyllites, représentent probablement le Cambro-Ordovicien (« Sinische Formation » de Richthofen ou « Ki-sin-ling limestone » de Willis). On doit à L. von Loczy la découverte de fossiles dévoniens sur plus d'un point, dans un ensemble de schistes argileux alternant avec des calcaires en bancs.

Le Carbonifère (« Wu-shan formation » de Willis) est représenté principalement par des calcaires souvent bitumineux; à la partie supérieure, se trouvent des grès entremêlés de conglomérats et de schistes argileux, contenant des intercalations d'antracite; ces couches atteignent 600 mètres de puissance, suivant Richthofen, sous le méridien de Fou-niou-chan; elles ne sont pas fossilifères, mais représentent sans doute le Carbonifère supérieur.

Sur ce Carbonifère. repose en discordance, l'« Ueberkohlenstein » de Richthofen (ou K'ui-chou-schistes de B. Willis),

parfois métamorphisé. Cette série, qui a fourni, sur plusieurs points, des empreintes de plantes d'âge rhétien, comprend aussi, suivant L. von Loczy, des couches plus récentes.

On ne trouve des sédiments marins triasiques que plus au S.

Ces formations continentales d'âge mésozoïque sont encore peu connues; suivant les données de B. Willis, elles comportent une subdivision supérieure (« Shi-ts'üan Sandstone » de B. Willis), séparée par une discordance de l'ensemble : ce sont vraisemblablement ces couches, représentées principalement par des grès rouges, qui ont fourni les empreintes de plantes que des recherches récentes attribuent à la base du Crétacé.

Tectonique. — La limite N. du Tsin-ling-chan est très nette : il est précédé, à l'W., par la petite chaîne du Tchan-fan-chan, considérée en général comme un simple contrefort septentrional; à l'E., la limite est plus brusque : il y a là un abrupt, visiblement causé par une faille ou un système de failles, qui a déterminé le cours du Wei-ho; cette faille sépare deux régions entièrement distinctes : au N. s'étendent les couches horizontales argileuses et sableuses, mio-pliocènes, recouvertes d'un loess épais; au S., dans Tsin-ling-chan, affleure brusquement l'Archéen, très redressé, dans lequel sont découpés des pics dépassant 3.000 mètres. Cet Archéen est limité à la partie septentrionale de la chaîne, où tous les plongements sont au N, et où il n'y a pas de plis; plus au S., on remarque des traînées de Cambrien, une large zone silurienne et du Dévonien; sur la tranche de ces couches très redressées, repose le Carbonifère; de larges plis apparaissent ensuite, coupés de failles assez serrées, qui deviennent, par endroits, des plans de chevauchement. Au delà de l'intrusion granitique du Liou-pa-ting, les plis d'une série analogue dans l'ensemble, mais dirigés N. E., buttent contre ceux dirigés vers l'E. S. E. du Tsin-ling-chan.

D'après Richthofen, la chaîne serait coupée, à l'E. de Si-ngan F., par un décrochement dirigé à peu près N. W.-S. E., le long duquel le segment oriental se montre déplacé vers le N. par rapport à la partie occidentale.

Cette étude du Kouen-lun met en évidence l'existence, sur son emplacement, d'une grande fosse tectonique, d'un large

géosynclinal; cette fosse a été rétrécie par des mouvements faisant naître des plis de plus en plus récents, à mesure que l'on s'avance vers le S., et la déplaçant peu à peu dans la même direction; c'est au S. de la chaîne, en effet, que se trouvent les dépôts marins les plus récents (triasiques); cette conclusion, due à L. von Loczy, a été étendue récemment, par K. Leuchs, au Kouen-lun central. Mais cette fosse s'arrêterait vers l'E., dans le Kan-sou, où le Dévonien et le Permo-Trias ne sont pas représentés; on remarque sur la carte de L. von Loczy, dans l'W. du Kan-sou, des affleurements d'Archéen qui constituent une sorte de barrière entre les deux régions.

Les mouvements qui ont plissé cette chaîne se groupent en deux ensembles : des mouvements post-dévonien, amenant la discordance du Carbonifère inférieur, et des mouvements post-carbonifères, qui se manifestent dans la discordance des grès suprahouillers; ces mouvements se répètent pendant et particulièrement à la fin du Jurassique. Il n'y a pas de mouvement net pendant le Carbonifère : la transgression du Houiller est visible dans le Kouen-lun central, mais on ne peut l'attribuer à une phase orogénique ayant son siège dans ces régions. Ce fait établit une différence notable avec les régions étudiées précédemment.

III. — Vue d'ensemble des directrices de la région.

Malgré les lacunes de nos connaissances sur ces régions qui n'ont pas encore fait l'objet de levés détaillés, on est déjà en possession de plusieurs essais de systématisation : ce sont sans doute des interprétations provisoires, mais qu'on ne saurait négliger en raison de la compétence de ceux qui les ont données.

L'essai de synthèse de Suess a été particulièrement suivi ici : mais, auparavant, Loczy avait eu son idée propre sur les lignes directrices de la région; Suess en a gardé les principaux linéaments, mais en passant sous silence quelques points qui paraissent intéressants. D'autre part, K. Leuch a donné une nou-

A l'W., les plis puissants, également poussés vers le S., du Kouen-lun central. Une partie de ces plis s'arrête vers l'E., dans le Kan-sou (c'est un point particulièrement intéressant, sur lequel je reviendrai); seuls, les plus méridionaux s'échappent vers l'E. pour constituer le Tsin-ling-chan. On a vu, plus haut, la composition complexe de cette montagne : série continue de dépôts allant jusqu'au Trias, formée dans des géosynclinaux, atteignant de grandes épaisseurs et plissée en énormes plis.

Vers l'E., par contre, le cadre de bordure reste ouvert ; le plateau, après avoir atteint des hauteurs considérables, jusqu'à 1.500 mètres dans le Chan-si, s'abîme, grâce à une série de fractures, sous la plaine orientale.

Dans cette interprétation, le Liu-p'an-chan, de même que les autres accidents du horst sinien mis en évidence par la Mission américaine, et le Tchan-fan-chan, au S., ne sont que des manifestations locales des mouvements plus intenses dont témoigne la tectonique beaucoup plus complexe du cadre de bordure.

D'après le texte de E. Suess, ces accidents tectoniques assez fragmentaires et localisés du horst sinien ne seraient pas seulement la manifestation des mêmes poussées, mais ils seraient susceptibles d'être reliés directement aux plis du cadre.

Il y aurait lieu de faire deux catégories : le Liu-p'an-chan, à direction sinienne, au N. E.; le Tchan-fan-chan, au S., contre le Tsin-ling-chan, ayant la même direction que lui.

Voici comment le raccord aurait lieu :

La direction S. E. du Kouen-lun central change déjà à l'W. du méridien de Si-ning F., pour faire place à une direction E. W. Cette inflexion est particulièrement nette dans la chaîne Potanin, qui, sous le nom de montagnes d'Ama-sourgou, atteint le Hoang-ho. Mais cette ligne franchirait le fleuve : elle paraît se prolonger, ainsi que Fischer le montre sur sa carte, dressée suivant le texte de Suess, par une suite assez continue de collines dont le Liu-p'an-chan fait partie.

Le même changement se remarque dans la chaîne Richthofen, qui, par le Momo-chan, se prolonge vers l'E. et, de là, par la chaîne de Da-tso-bey, se relie aux montagnes de l'Ala-chan.

Dans toutes ces chaînes, le Pliocène est très développé; il est horizontal entre celles-ci, mais monte très haut sur leurs flancs

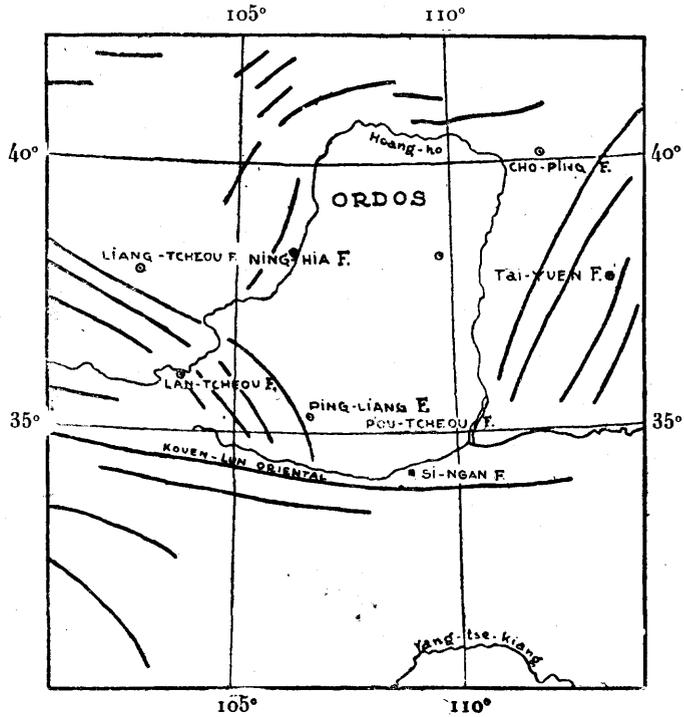


FIG. 2. — Les lignes directrices d'après K. Leuchs.

et y présente des pendages assez forts, montrant clairement qu'il a été intéressé par les plissements.

Mais ces mouvements ne dépassent pas, vers le S., la ville de Ti-tao. Au sud de cette ville s'étend, sur environ 60 kilomètres de latitude, un plateau haut de 2.000 mètres en moyenne, constitué par du Pliocène resté horizontal (couches du Gobi). C'est au S. de ce plateau que les mouvements réapparaissent dans le Tchan-fan-chan, formé par un énorme pli de Carbonifère et de Permo-mésozoïque, déjeté au S., où se remarque la direction E. S. E. du Tsin-ling-chan.

Ainsi le plateau de Ti-tao s'intercale comme un coin entre les deux systèmes de plis; il serait comme une réplique de la dépression, plus occidentale, du Tsaidam.

Cette hypothèse ne paraît pas tenir compte suffisamment des faits établis : elle tend à relier directement et d'une manière erronée les accidents tectoniques sporadiques et relativement insignifiants du horst aux énormes plis de géosynclinal du Kouen-lun, s'éteignant en quelque sorte dans la masse du plateau; on ne saurait pourtant relier directement le pli N. E. du Liu-p'an-chan, dont l'âge est intracarbonifère, à ceux du Kouen-lun, formés, comme je l'ai dit, principalement au début du carbonifère et replissés à la fin de cette époque. D'autre part, cette hypothèse néglige le plissement E. S. E. du Liu-p'an-chan, remarqué par Loczy et qui ne peut être aussi peu accentué, puisqu'il influence la topographie de cette chaîne.

L'essai plus récent de K. Leuchs (*fig. 2*) offre la contre-partie de cette interprétation : les chaînes orientales du Kouen-lun, le Nan-chan compris, se prolongeraient directement vers le S. E. dans les collines du Kan-sou; de son côté, l'arc du Hoang-ho se détache au N. E. comme dans le schéma de Suess. Dans cette hypothèse, c'est le plissement principal du Liu-p'an-chan qui est laissé de côté.

Il semble qu'il y aurait lieu de tenir compte des remarques antérieures de Loczy. Sur l'esquisse présentée par cet auteur, dont j'ai reproduit sur la figure 3 les parties intéressantes pour mon sujet, la direction des plis du Hoang-ho, à laquelle le plissement N. E. du Liu-p'an-chan se rattache, apparaît également dans les intervalles des chaînes principales du Kouen-lun : ainsi, dans la région du Koukou-nor, on remarque de courts tronçons de chaînes présentant la direction sinienne; cette direction paraît appartenir à un autre système de plissement, différent des plissements principaux du Kouen-lun qui le croisent et tendent à l'effacer; il y aurait donc là deux systèmes de plis orthogonaux couvrant toute l'étendue de la région : des plis présentant la direction sinienne ou N. E., et des plis S. E. ou mieux E. S. E. présentant la direction du Kouen-lun et du Tsin-ling-chan. Les deux directions sont présentes dans

le Liu-p'an-chan, tandis que la première seule se remarque dans le Chan-si; le Tchan-fan-chan, par contre, appartient à la

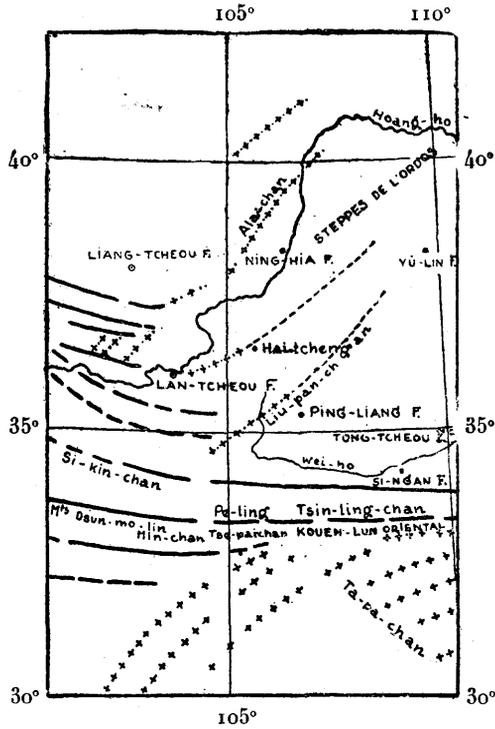
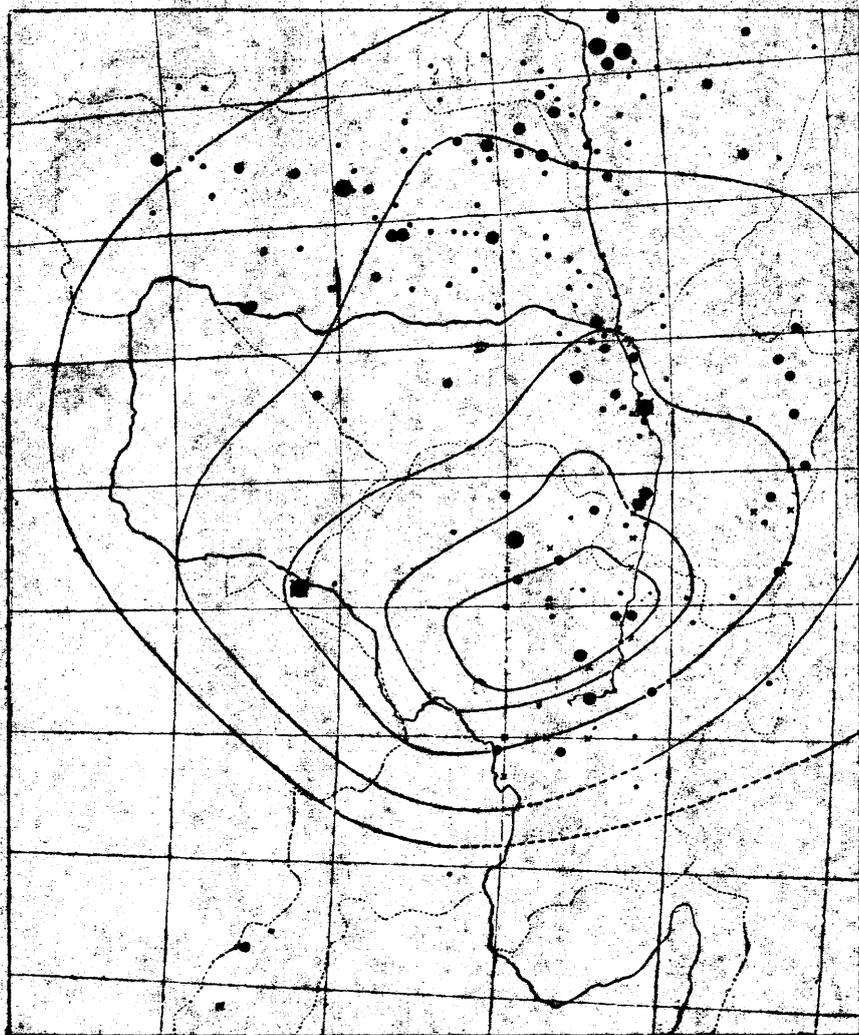
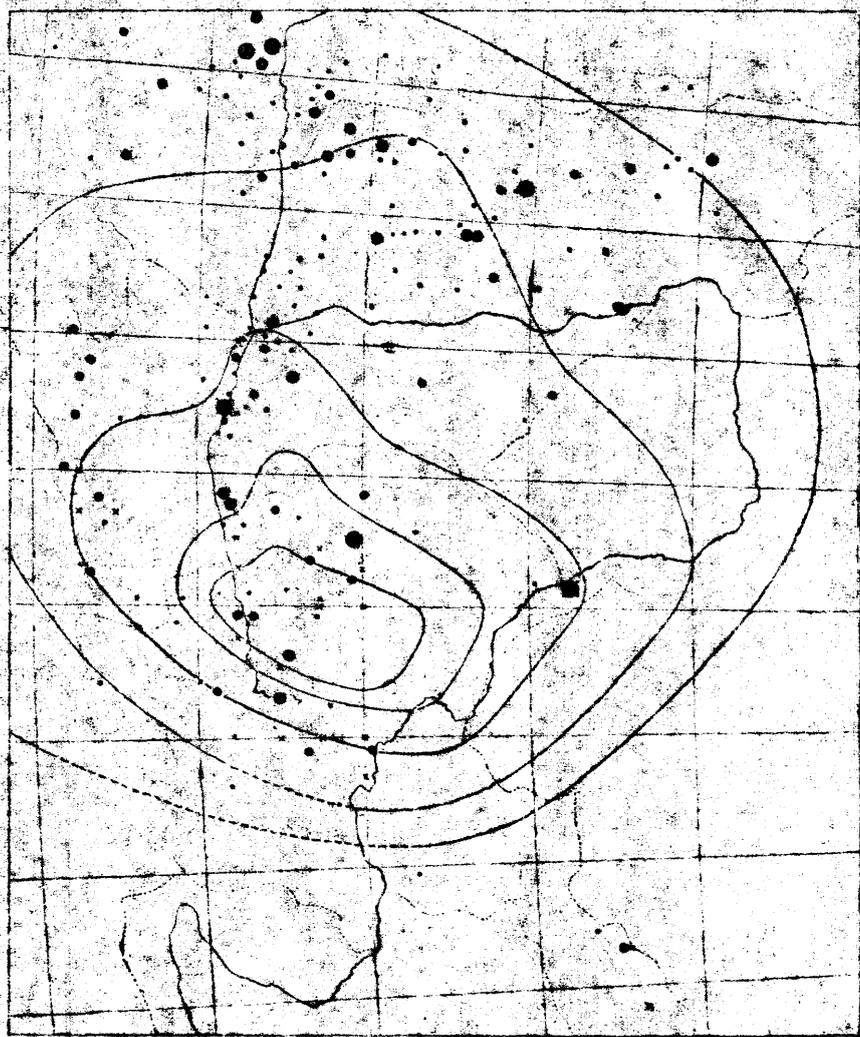


FIG. 3. — Les lignes directrices d'après L. von Loczy.

direction du Kouen-lun. Il s'agit donc de plissements conservant leur direction sur de très grandes surfaces et ne faisant que traverser la région; d'autre part, leurs âges sont différents: la discordance du Carbonifère supérieur se remarque seulement dans la partie orientale de la région, tandis que les deux mouvements encadrant le Carbonifère sont communs à tout le Kouen-lun.





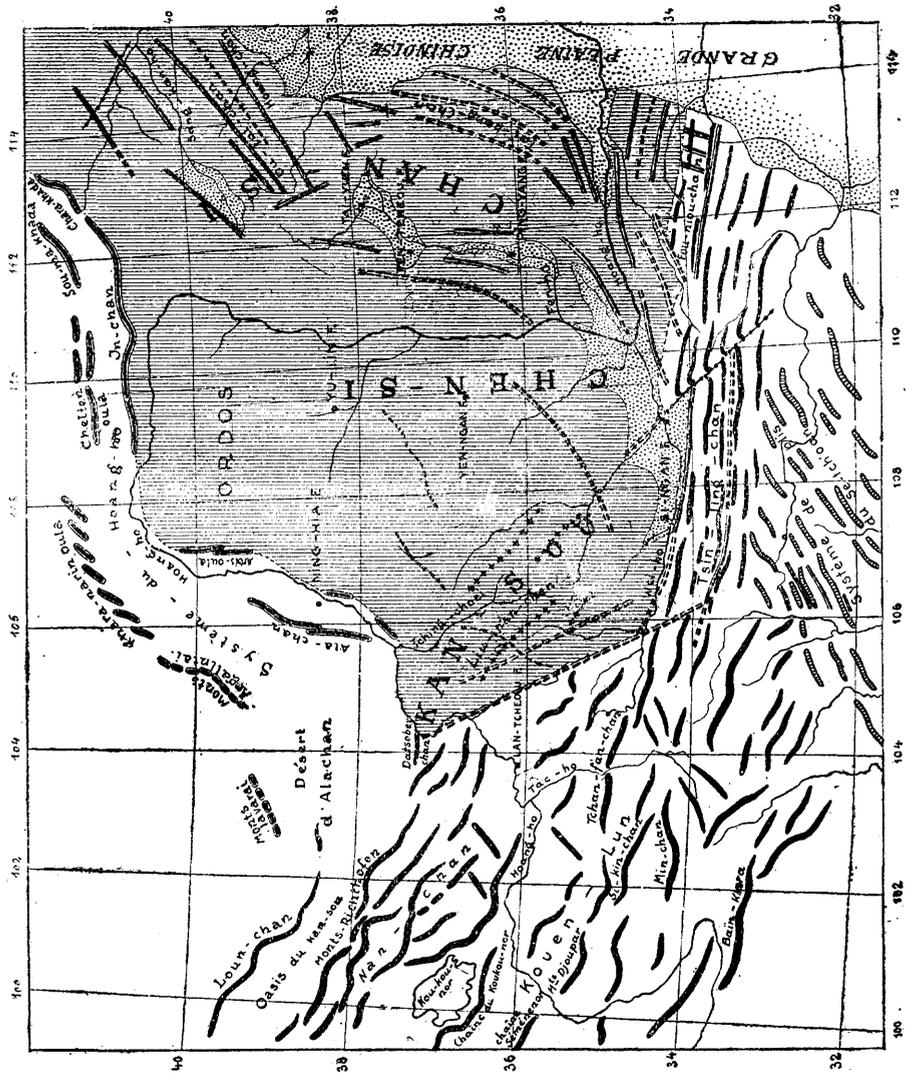


FIG. 4.

IV. — Relations entre la séismicité et la géologie de la région; étude spéciale du tremblement de terre du 16 décembre 1920.

La relation étroite entre la séismicité et la tectonique si complexe de la région est évidente (Voir le schéma ci-joint¹).

1. Fig. 4. Lignes tectoniques dans la région du Hoang-ho; interprétation d'après les données actuelles :

LÉGENDE

-  Haut plateau de Kan-sou, Chen-si.
-  Effondrements et plaines alluvionnaires.
-  Système du Kouen-lun.
-  Système du Hoang-ho.
-  Chaînes du Se-tch'oan.
-  Faibles plis dans le plateau de Kan-sou, Chen-si.
-  Failles et flexures.
-  Décrochements.

Centres séismiques dans la région du Hoang-ho, d'après la liste des tremblements de terre signalés, de l'an 1000 à l'an 1899, d'après les auteurs chinois, et courbes isoséistes du tremblement de terre du 16 décembre 1920 :

LÉGENDE

- Localités où le nombre des séismes signalés est compris entre..... 1 et 5
- Localités où le nombre des séismes signalés est compris entre..... 5 et 10
- Localités où le nombre des séismes signalés est compris entre..... 10 et 20
- Localités où le nombre des séismes signalés est supérieur à..... 20
- × Épicentres approximatifs des grands tremblements de terre (de l'an 1 à l'an 1899).

(L'étude historique qui a permis de construire ce schéma sera publiée à la fin du travail.)

Courbes isoséistes relatives au tremblement de terre du 16 décembre 1920 (voir plus loin, p. 39).

Dans le Kan-sou, les centres séismiques se répartissent suivant une direction générale S. E. et peuvent être attribués à une accentuation des plis du Kouen-lun et de leur continuation amoindrie dans la masse du plateau du Kan-sou.

D'autres centres se trouvent suivant la faille qui limite au N. le Tsin-ling-chan, faille longée sur une grande distance par le cours du Wei-ho. Plus au S., plusieurs centres paraissent jalonner la ligne de contact des plis E. S. E. du Tsin-ling-chan proprement dit et des plis E. N. E. constitués en partie par des sédiments mésozoïques du Se-tch'oan.

Vers l'E., dans le Chen-si oriental et le Chan-si, on trouve plusieurs régions ayant joué comme aires épacentrales; leur coïncidence est remarquable avec de larges plaines alluviales découpées comme à l'emporte-pièce dans la surface du plateau et dont l'origine tectonique ne peut être mise en doute: ce sont celle du Wei-ho inférieur; au-delà du Hoang-ho, celle du Fen-ho supérieur; au N., la plaine du San-kang-ho, située au S. des champs de lavé de la région de Ta-toung F. Ces plaines sont disposées suivant une courbe parallèle au rebord oriental du plateau.

Enfin, à l'E., plusieurs centres importants s'alignent avec une direction N. N. E. le long des failles qui déterminent l'effondrement graduel du plateau sous la grande plaine orientale, et, au S. du Hoang-ho, le long de celles qui occasionnent l'ennoyage du Fou-niou-chan, entre le Hoang-ho et le Yang-tsé-kiang.

Ce sont donc les directions des grandes fractures qui sont particulièrement intéressantes au point de vue séismique.

En effet, lors du tremblement de terre du 16 décembre 1920, ce n'est ni l'une ni l'autre des deux directions de plissement du Kan-sou qui paraît avoir joué un rôle, mais plutôt une troisième, la direction Tsing-yuen H. — Tsing T*.

J'ai déjà indiqué l'existence d'une barrière de roches anciennes suivant cette direction; il est possible de préciser davantage maintenant, ayant présenté dans cette esquisse sommaire les traits les plus saillants de la géologie de la région:

Les affleurements étendus d'Archéen que Loczy avait noté au

S. E. de Lan-tcheou F. ne peuvent s'expliquer qu'en admettant une dislocation le long de laquelle les plis du Kouen-lun viennent butter contre le rebord du plateau; mais il y a plus: tout de suite, à l'E. de cette dislocation, le Tertiaire récent et le loess se présentent avec des épaisseurs considérables, que ces terrains n'ont pu atteindre, je suppose, qu'à la faveur d'un affaissement du support.

De tels caractères communiquent à cet accident une grande analogie avec la « ligne des Thermes » qui, en Autriche, au S. de Vienne, met en contact latéral la tranche des Alpes orientales avec le Tertiaire récent de la dépression hongroise.

Cette ligne tectonique paraît faire partie d'un ensemble de dislocations comprenant le décrochement signalé par Richthofen, dans la partie orientale du Tsin-ling-chan, ainsi que celui découvert par le même auteur au N. W. de Péking; d'autre part, plusieurs failles du Chan-si ont la même direction; ces dislocations n'ont pas été l'objet d'études approfondies; mais le fait seul qu'elles ont été signalées par des auteurs qui ont eux-mêmes exploré la région oblige à en tenir compte.

On est donc en droit de conclure, d'une manière provisoire, jusqu'à ce que des levés détaillés aient fait connaître davantage la région, que le séisme du 16 décembre 1920 s'est produit le long d'un accident de ce genre (faille ou décrochement), parallèle à la faille notée. On verra, en effet, dans l'étude macrosismique que la région épiscopentrale a la forme d'une ellipse dont le grand axe, orienté S. S. E., longe à l'W. l'axe orographique des collines du Liu-pan-chan.

Les courbes isoséistes montrent au S. E. une inflexion en golfe, correspondant au décrochement noté au Tsin-ling-chan, ainsi qu'on le voit sur le schéma.

On remarque aussi, vers l'E. et le S. E., une dilatation nette des courbes, explicable peut-être par la constitution homogène du plateau; à l'W., par contre, un resserrement de ces courbes contre les plis du Kouen-lun ayant fait écran dans cette direction. Ces circonstances soulignent encore la relation entre la propagation de l'ébranlement et la tectonique du pays.

On peut donc sans hésitation rattacher le grand séisme du

16 décembre 1920 à la succession d'événements géologiques se traduisant par un soulèvement général, mais inégal, des différents éléments tectoniques qui constituent la région¹.

1. Je suis heureuse de pouvoir remercier ici Monsieur Arabu dont les connaissances géologiques m'ont beaucoup facilité la rédaction de ce Chapitre.

CHAPITRE II

ÉTUDE MACROSISMIQUE

Le tremblement de terre du 16 décembre 1920, particulièrement violent au Kan-sou et au Chen-si, a également éprouvé les provinces de Chan-si, Hou-pé, Se-tchoan, Tché-li, la Mongolie méridionale et paraît avoir été ressenti dans toute la Chine.

Ces provinces du Kan-sou et du Chen-si et surtout la région très accidentée du Liu-p'an-chan sont peu accessibles et sont séparées par une distance considérable des grandes villes de la côte; aussi les observations recueillies sur les effets du séisme sont-elles relativement peu nombreuses étant donnée la grande étendue intéressée.

La plupart sont dues à des missionnaires qui se trouvaient dans les régions éprouvées au moment du tremblement de terre ou qui les ont parcourues peu de temps après.

Le plus grand nombre de ces documents ont été résumés dans la publication de l'Observatoire de Zi-ka-wei : « Note de Sismologie. Le tremblement de terre du Kan-sou (Chine), 16 décembre 1920 », par le R. P. E. Gherzi, S. J.¹, étude détaillée de l'aire macrosismique à laquelle on aura souvent recours dans ce Chapitre. Certains récits, que le R. P. E. Gherzi avait communiqués au Bureau central sismologique français, ont été publiés dans l'annuaire de l'Institut de Physique du globe de Strasbourg², ainsi que les renseignements dus aux Consulats français.

Il y a lieu de citer également la note de F. Omori³, à Tokio;

1. Imprimerie de la Mission catholique, Zi-ka-wei-Chang-hai, 1921.
2. « Annuaire de l'Institut de Physique du globe », 1920. Deuxième partie : Sismologie. Strasbourg, 1922, p. 50.
3. « Observations faites à Tokio sur le Tremblement de Terre du 16 décembre 1920. » Impérial Earthquakes Investigation Committee. Tokio, novembre 1921.

la relation de M. Josef W. Hale, qui a exploré la province du Kan-sou trois mois après la catastrophe, relation qui a été analysée par M. V. Forbin dans le journal « La Nature »¹; et les communiqués de la presse chinoise.

La reproduction de quelques-uns de ces récits suffit à faire comprendre l'importance de cette catastrophe tant par le nombre des morts que par les dégâts matériels qu'elle a causés, et à montrer l'intensité de ses effets sur la configuration de la région : formation de crevasses, glissements de terrains, déplacements des cours d'eau. On indiquera aussi, à titre de renseignement, les circonstances météorologiques et les perturbations magnétiques constatées lors du tremblement de terre.

Malgré le nombre relativement faible des observations recueillies, il a été possible de localiser assez exactement la zone d'intensité maxima du phénomène (surface pléistoséiste) et de représenter, par des courbes isoséistes, la variation de l'intensité autour de cette zone; ces documents ont en outre fourni certains renseignements sur la nature de la secousse (direction, durée...).

Description des dégâts. — La description suivante de la ville de *T'ong-wei H.* et de ses environs, extraite d'une lettre de M^{sr} Daems, Préfet apostolique du Kan-sou méridional, montre de la façon la plus saisissante l'horreur de la catastrophe :

« ... J'ai parcouru en deux sens le territoire de *T'ong-wei H.*; c'est absolument épouvantable, et rien, tant en ville qu'à la campagne, n'est resté debout. *Ma-ing* n'est plus qu'un monceau de ruines. C'est une destruction radicale au ras du sol. Ainsi, de *T'ong-wei H.*, de toute la ville et du faubourg, il n'est resté qu'un pan de pagode; les bâtiments ne se sont pas effondrés, ils ont été renversés, et quand j'y passais, on ne pouvait plus même distinguer la forme des cours et l'emplacement des maisons. Même des murs de clôture de 2 ou 3 mètres de haut, au bord des champs, ont été renversés. J'ai vu des *tcha-pi* (enclos²)

1. « La Nature ». Paris, 20 janvier 1923.

en terre battue, épais de 1 mètre et parfaitement conservés, renversés et mis en pièces.

« Partout le sol est crevassé sur des lis et des lis de distance (1 li = \approx 500 m.). Sur les montagnes, l'effet a été plus terrible encore; des parties immenses de montagnes ont été comme labourées par une charrue gigantesque et toute la croûte a été déchiquetée en sillons presque réguliers. Et puis des affaissements! Il y en a eu des centaines, mais deux surtout que j'ai visités sont d'un terrible et d'un grandiose qu'on ne saurait décrire. Sur une longueur de plusieurs lis, la croûte de la montagne, d'une épaisseur de plusieurs pieds, s'est mise en marche depuis la base jusqu'au sommet et, comme une vague immense, a déferlé dans la vallée, passé la rivière, remonté jusqu'à une certaine hauteur sur la montagne de l'autre côté, constituant un solide barrage de plusieurs tchang d'épaisseur (1 tchang = 3 m. 50) et de 2 ou 3 lis de longueur. Un beau lac d'un vert magnifique et aux formes les plus fantastiques s'est formé au-dessus du barrage. Quand je passais, il avait déjà une profondeur de plusieurs tchang. Des barrages moindres existent un peu partout; mais ils passent inaperçus dans des vallons solitaires.

« Un vieux me disait que du temps de T'ong-tché (de 1862 à 1874) un affaissement de montagne s'était produit au même endroit absolument... »

Le récit suivant du R. P. G. Buyck¹, qui se trouvait, lors de la catastrophe, dans la ville de Ts'ing-choei H., c'est-à-dire dans la zone de plus grande destruction, est particulièrement intéressant :

« ... Ici surtout (Kansou sud), il y a des milliers de morts et de personnes sans abri. Bien que les communications télégraphiques soient rompues (poteaux arrachés, fils partout rompus), il paraît quasi certain que l'origine de la secousse s'est produite sur le haut plateau (2.000 m.), entre les villes de Hai-tch'eng, Tsin-ning T., Kou-yuen T*, et P'ing-liang F. Sa force venue de

1. Lettre du 8 janvier 1921 communiquée par l'Observatoire météorologique central du Japon.

ces endroits, va vers le sud; aussi, plus au nord, vers Lan et Luang-chow (Lan-tcheou F. et Liang-tcheou F.), fort peu de dégâts et de morts. T'ong-wei H. n'existe plus. A Tsin-ning T., sol fendu, la moitié de la ville engloutie, etc....., pour tout le sud du Kansou, par veines; parfois à plus courte distance les dégâts sont moindres.

« ... Bien que sans connaissances spéciales sur ces phénomènes, je vous communique mes impressions; les voici en quelques mots: le 16 décembre 1920, à 7 h. 1/2 du soir, tout d'un coup, j'entendis un bruit sourd venant du nord, comme de quelques camions lourdement chargés, lancés au grand galop sur un très mauvais pavé. Soupçonnant un tremblement de terre (car j'avais déjà observé ce bruit avant-coureur), vite, je souffle ma lampe et saute à l'extérieur. Mais à peine dehors, c'était comme si je recevais une formidable poussée dans le dos (je courais vers le sud) et quasi en même temps une forte secousse nord-ouest, et puis, jambes entr'ouvertes comme un ivrogne pour ne pas tomber, je sentais de forts soulèvements tournoyants; ainsi toutes les statues (fort peu) qui ne sont pas tombées du socle se trouvaient le lendemain face contre le mur.

« Cette première et la plus forte secousse a duré deux minutes et fut si rapidement suivie de cinq ou six autres qu'il n'y avait presque pas moyen de les distinguer. Donc rien d'étonnant à ce que des confrères prétendent qu'il y ait eu une seule et même secousse, d'une durée de six à huit minutes; non, rien d'étonnant, car ces secousses n'étaient interrompues que de quelques secondes, et mêlées au bruit effroyable des effondrements des maisons, cris des hommes et hurlements des bêtes sous les décombres, etc..., oh! terrible à entendre, inoubliable. Jusqu'à minuit, une fois la formidable secousse passée, toujours, d'abord à des intervalles de dix à quinze minutes, puis de quinze à vingt, puis de vingt à vingt-cinq, des secousses et de forts grondements souterrains (mais toujours diminuant). Après minuit, nouvelles secousses diminuant encore d'intensité et distantes de trente à quarante minutes.

« Le 17 décembre, vers 3 à 4 heures du matin, vent très violent, suivant les veines où il y avait eu le plus de destruction;

et le lendemain, on ne voyait plus les montagnes d'en face. Ce n'était pas la poussière qui les cachait, comme après un grand « houang fong », mais un puant brouillard gris bleu... »

Voici encore un tableau des dommages subis à Ts'ing-choei H., qui donne une idée de la densité des ruines dans la région macrosismique : « On m'a affirmé que le chiffre des morts que j'ai donné, c'est-à-dire 40.000, est sûrement inférieur à la réalité; 100.000 serait assez près de la vérité. Eu tous cas, les pertes en animaux furent aussi très grandes. Par exemple, à Ts'ing-choei H., près du bord méridional de mon isoséiste X, dans un seul district, il y eut 1.481 victimes humaines et 6.863 bêtes tuées. Donc, avec une densité de population plus grande, les victimes eussent été extrêmement nombreuses. » (Lettre du R. P. E. Gherzi, 10 mai 1921.)

Le nombre de traverses écroulées est une bonne indication, car les maisons sont presque toutes formées d'un rez-de-chaussée de deux pièces avec trois traverses. Il est fort rare que les maisons aient plus d'un étage.

Liste des dommages à Ts'ing-choei H.

<i>District n° 1.</i>	Personnes tuées.	Bêtes tuées.	Traverses de maisons écroulées.
Ville : rue du Nord	26	65	210
— rue du Sud	13	52	672
— rue de l'Est	31	33	230
— rue de l'Ouest	8	38	170
— rue du Milieu	27	101	323
Hoang-mei-tch'oan	62	260	1.120
Mi-yang-tch'oan	83	351	1.301
Long-chan-mias	35	236	2.020
Yang-yu-pou	24	160	1.610
Yoo-tchoang	13	171	182
Ou-kia-tchoang	8	67	220
Ma-kia-tchoang	4	75	232
	334	1.609	8.290

<i>District n° 2.</i>	Personnes tuées.	Bêtes tuées.	Traverses de maisons écroulées.
Kong-moi-tchen.....	13	320	822
Yen-kia-tien.....	8	270	710
K'i-ma-ing.....	7	121	350
Kieou-t'chang-tchen.....	6	208	421
Kou-che-pouo.....	7	332	310
K'ang-kia-tchoang.....	8	291	230
Ta-miao-ho-yu.....	6	128	390
Fou-kia-tch'oan.....	9	145	210
	5	203	164
Ma-kia-tchoang.....	3	215	204
Cho-chon-tchoang.....	4	223	200
	76	2.456	4.011
<i>District n° 3.</i>			
Po-t'ouo-che.....	33	102	510
Hou-guen-ho.....	18	80	220
Song-chon-tchen.....	13	60	206
T'ai-guen-tch'eng.....	4	51	315
Siao-k'iuen-hia.....	7	45	541
Chon-kia-tchoang.....	7	66	413
Ye-fang-tchoang.....	9	79	331
K'i-chao-hia.....	16	12	292
Hoa-sin-se.....	14	154	160
Tcheen-kia-tchoang.....	11	213	122
Tchou-kia-tchoang.....	19	306	177
	151	1.277	3.287
<i>District n° 4.</i>			
Pe-sa-tchen.....	3	51	230
Chan-mei-tchen.....	2	20	201
Pe-kia-tchen.....	4	33	363
Yu-yang-p'ou.....	2	45	250
Tcho-choei-tchen.....	5	107	321
Yang-kia-tchoang.....	1	52	210
<i>A reporter.....</i>	17	308	1.575

	Personnes tuées.	Bêtes tuées.	Traverses de maisons écroulées.
<i>Report.</i>	17	308	1.575
T'ang-keen-tchoang.....	1	79	245
Sang-guen-tchoang.....	2	28	296
Tch'ao-kia-tchoang.....	1	21	242
Kin-kia-tchoang.....	2	19	219
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	23	455	2.577
 <i>District n° 5.</i>			
Tchang-kia-tch'oan.....	261	120	725
Ma-ho-yu.....	223	83	510
Wan-k'inen-keon.....	102	85	506
To-miao-tch'oan.....	84	97	510
Kan-ki-tch'oan.....	61	94	345
Tch'ang-k'ien-tch'oan.....	22	112	363
Mon-ho-keon.....	53	105	364
P'an-tsoei-p'ou.....	26	120	491
Hia-ma-kia.....	35	123	479
K'en-tse-li.....	30	127	533
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	897	1.066	4.826
 District n° 1.....	 334	 1.609	 8.290
District n° 2.....	76	2.456	4.011
District n° 3.....	151	1.277	3.287
District n° 4.....	23	455	2.577
District n° 5.....	897	1.066	4.826
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
Total.....	1.481	6.863	22.991

Dans une note complémentaire du 1^{er} juin 1921, le R. P. E. Gherzi signale que « le nombre des victimes serait plus grand qu'on ne le croyait tout d'abord. On peut admettre 100.000 morts comme limite inférieure. Les journaux chinois ont parlé même de 250.000 morts. »

Plusieurs raisons expliquent ce grand nombre de victimes : la nature du sol, constitué par d'épaisses couches de loess qui,

lors de la secousse, a glissé le long des pentes; le genre d'habitations qui consistent souvent en des sortes de caves ou « iao » creusées dans le loess sur le flanc des collines, et le manque complet de moyens convenables pour un déblayage rapide des ruines.

« Il va de soi que, sur le massif même du Liu-p'an-chan, composé de roches cristallines, les dégâts furent moindres que sur ses bords et sur les collines plates et allongées recouvertes de loess autour de ce massif.

« Le loess a coulé comme de la cire et il a chevauché à plusieurs reprises, avec des croupes de 20 à 30 mètres, comme de formidables taupinières, dans la direction S. S. E. Il y a près de Tsing-ning T. plusieurs rangées parallèles de ces minuscules et nouvelles collines...

« D'après le R. P. Geisler, des missions belges de Scheut, le loess, dans beaucoup d'endroits où le tremblement de terre a causé de grands glissements, serait posé horizontalement ou avec une légère pente sur des couches de cailloux ou galets d'anciennes alluvions, épaisses d'environ 2 mètres. Parfois, entre ce conglomérat sans adhérence et la couche proprement dite du loess, il y a une petite couche de terre noire très gluante. Il est possible que ce facies géologique ait facilité les grands glissements des couches superficielles¹. »

« Kou-yuen T². est placé dans un immense bassin de loess, limité au N., à l'E. et au S. par des collines d'origine sédimentaire, et à l'W. et au S. W. par le Liu-p'an-chan... A l'W. de Tsing-ning T., les dépôts de loess croissent énormément en épaisseur. De hautes montagnes en sont couvertes et des ravins abrupts s'y sont formés². »

Il s'agit donc de villes et de villages situés souvent au fond de vallées resserrées et dominées par de hauts plateaux couverts d'épaisses couches de loess qui descendent verticalement presque jusqu'aux bords des rivières.

C'est dans ces couches de loess que des centaines de familles

1. Lettre du R. P. E. Gherzi, du 10 mai 1921.

2. Robert Sterling Clark et Arthur de C. Sowerby : op. cit., p. 125.

ont mis leurs demeures. On comprend dès lors qu'un glissement de la couche superficielle du loess, causé par un effondrement ou un chevauchement de strates souterraines, ait pu provoquer des désastres et des ruines multiples dans ces localités.

Circonstances météorologiques. — L'observatoire de Zi-kawei a envoyé au Bureau central sismologique les copies de ses cartes du temps, publiées chaque jour pour le service du port de Chang-hai et de toute la côte de Chine. Les observations des missionnaires du Kan-sou et du Chen-si, reçues ultérieurement, confirment l'état barométrique représenté par ces isobares, aux dates correspondantes.

« L'état thermométrique et pluviométrique dans le Kan-sou n'eut rien de remarquable. La température moyenne resta assez basse et le ciel était presque sans nuages avant comme après le tremblement de terre. La même chose eut lieu dans le Chen-si central, à *Si-ngan F.*

« Le seul événement météorologique qui suivit la grande secousse du 16 fut un grand vent de sable, comme on en a souvenant dans ces régions limitrophes de la Mongolie :

« A *Liang-tcheou F.* cela commença le 17 au matin. A *Santaoho*, à la limite de l'Ordos et de la Mongolie méridionale, le grand vent jaune commença dans la nuit du 16 au 17 et battait son plein dans la soirée du 17, venant de l'W. Le même phénomène s'était déjà produit le 9, dans l'après-midi, le même mois.

« La poussière atmosphérique arrivait le 18 à *Chabernoor*, en Mongolie, à *Wei-hoei F.* dans le Ho-nan, à *Si-ngan F.* dans le Chen-si central et dans la soirée du même jour dans d'autres localités de Chine plus éloignées, comme *Ta-ming F.* L'arrivée de cette poussière coïncide avec une petite hausse de température de 2° à 4°. »

« Le 17, vers 3 à 4 heures du matin, un vent très violent s'élevait dans la région de *Ts'ing-choei H.*, suivant les veines où il y avait eu le plus de destruction¹. »

1. Lettre du R. P. E. Gherzi, 10 mai 1921.

2. Lettre du R. P. G. Buyck.

A *Nien-pé*, on signale qu'à la suite de la secousse, il y avait partout beaucoup de poussière. (Gh.)

Signalons encore, à titre de renseignement, le passage d'un aérolithe au moment du tremblement de terre, en Mongolie méridionale :

A la frontière méridionale de l'Ordos et du Chen-si, près de *Tsing-pien* (Chen-si), un confrère du R. P. Léon de Wilde, Missionnaire belge de Scheut, a très bien vu, « au moment de la secousse, des flammes qui ressemblaient à des éclairs; en même temps, de fortes détonations se faisaient entendre ». Plus au N., au même moment, des chrétiens mongols de *Toro Balgasson* ont vu (de suite après la première secousse), un aérolithe qui filait de l'E. vers l'W. rasant les sommets des « Montagnes du Sud ». Ils ont aussi très bien entendu le bourdonnement de son vol, et c'est quand il s'approchait du sol qu'ils ont entendu des coups semblables à des détonations d'armes à feu ». C'est probablement ce phénomène d'un ordre tout différent qui avait fait dire par les gens du Kan-sou septentrional que des flammes étaient sorties du sol, lors de la grande secousse. (Gh.)

Troubles du biflaire Adié à l'Observatoire magnétique de Lu-kia-pang. — Le 16 décembre, on remarqua les effets suivants :

La courbe s'épaissit à 20 h. 09 m. (heure de la côte de Chine : 120° E. G.); à 20 h. 10 m., variation magnétique de 5 γ .; la trace disparaît de 20 h. 13 m. à 20 h. 16 m.; à 20 h. 18 m., 66 γ . (?); à 20 h. 22 m., 15 γ .; à 20 h. 27 m., 14 γ .; à 20 h. 32 m., 8 γ .; à 20 h. 35 m., 4 γ .; à 20 h. 38 m., 4 γ .; à 20 h. 41 m., 4 γ .; à 20 h. 45 m., 4 γ .; à 20 h. 47 m., 4 γ .; à 20 h. 50 m., 5 γ .; à 20 h. 53 m., 4 γ .; à 20 h. 57 m., 3 γ .; et ainsi de suite en diminuant.

(La courbe de cet enregistreur n'est lisible que toutes les trois minutes à cause de la lenteur de développement du papier qui se déroule. Période propre du biflaire 9, 4 s.; période du déclinomètre 4, 7 s.)

On voit que les perturbations magnétiques ont été très marquées, d'après les analyses de ces courbes qui ont été exécutées sous la direction du P. R. de Moidrey S. J., directeur de l'Obser-

vatoire magnétique de Lu-kia-pang (Kiang-sou), à 40 km. de Zi-ka-wei.

Courbes isoséistes. — L'étude des effets destructeurs du tremblement de terre permet d'affirmer que son origine était dans la région du Kan-sou oriental, comprise entre les villes de Hai-tch'eng, Kou-yuen T*, Tsing-ning T., Hoei-ning H., T'ong-wei H., et Ts'ing-choei H.

Le R. P. E. Gherzi a tracé les courbes isoséistes à l'aide des observations qu'il avait pu recueillir lors de la publication de sa note (une soixantaine). Il a utilisé, pour l'évaluation de l'intensité, l'échelle de Mercalli à dix degrés, dont la description est reproduite à la fin de ce chapitre (p. 57); on a indiqué approximativement la correspondance de ces degrés à ceux de l'échelle de Rossi-Forel et de l'échelle Forel-Mercalli à douze degrés, adoptée par l'Association internationale de sismologie¹, (l'emploi général de cette dernière serait préférable). Le degré X de l'échelle de Mercalli correspond au degré XII de l'échelle Forel-Mercalli.

Les renseignements complémentaires reçus plus tard ont, dans l'ensemble, confirmé ces isoséistes.

« Un Père hollandais, le R. P. Popelier de la congrégation belge de Scheut, qui est venu me voir en revenant du Kan-sou, de la ville de Ts'in T*. (dans ma carte isoséiste IX) et qui a parcouru le terrain dévasté pour me renseigner à son passage ici, m'a confirmé l'exactitude de mes isoséistes; peut-être les dégâts produits feraient rapprocher un peu plus du méridien 105° E. G. l'isoséiste X, malgré les calculs japonais qui me firent déplacer un peu tout vers l'E. D'ailleurs, il ne s'agirait que de quelques dizaines de kilomètres et les dégâts sont relatifs aux maisons, etc. De manière que je crois que les courbes sont suffisantes. Ajoutez qu'un autre Père belge de la même congrégation, qui fit le voyage de Liang-tcheou F. à Si-ngan F. à travers le Liup'an-chan, avec ma carte à la main, m'affirma en avoir constaté la justesse » (Gh.).

1. Deuxième Conférence internationale de Sismologie, 1903.

Toutefois, les récits des dégâts dans la région de T'ong-wei H. et Ts'ing-choei H., cités plus haut, conduisent aussi à déplacer un peu vers l'W. la partie occidentale de l'isoséiste X, pour y englober ces villes; ce qui est d'ailleurs confirmé par le R. P. E. Gherzi dans sa note du 1^{er} juin 1921 : « La ville de Ts'in T*. doit être englobée dans l'isoséiste X, tandis que la ville de P'ing-liang F. doit être mise sous l'isoséiste IX. »

On a tenu compte de ces remarques pour établir le tableau suivant qui résume les principales observations relatives à l'intensité de la secousse sismique dans les différentes localités, classées suivant les degrés de l'échelle Mercalli.

1. Région centrale de la catastrophe : intensité X.

P. Kan-sou :

Hai-tch'eng (36° 50' N., 105° 25' E.) : Dégâts énormes; certains petits bourgs des environs, ceux surtout qui étaient sur les bords des grands plateaux de loess, ont disparu dans les décombres. Et toujours, dans ces relations, on dit qu'à l'W. l'hécatombe a été plus grande. (Gh.)

Tsing-ning T. (35° 35' N., 105° 45' E.) : A *Kou-yuen T**. et à *Tsing-ning T.*, les dégâts furent un véritable désastre. Là, au dire des journaux et des lettres reçues, tout aurait été détruit. » Les grandes routes elles-mêmes sont toutes entrecoupées par des ravins et encombrées par des avalanches de terre et de rochers descendues du bord des plateaux... Dans la seule ville de *Tsing-ning T.*, il y aurait eu 1.000 victimes. Les rues se seraient entr'ouvertes, en engloutissant les maisons, ou du moins en les faisant tomber les unes sur les autres. La route provinciale aurait, elle aussi, été engloutie sur une longueur de dix lis, là où elle longe la rivière. (Gh.)

*Kou-yuen T**. (36° 04' N., 106° 21' E.) : A *Kou-yuen T**., mêmes ruines amoncelées, et des sources d'eau noirâtre auraient été produites par la secousse sismique. La grand'route aurait été transformée en un ravin et « toute une caravane de chameaux aurait disparu dans une crevasse » (p). Toujours est-il que tout

trafic est interrompu depuis près d'une semaine (lettre du 29 déc.) (Gh.).

T'ong-wei H. (35° 06' N., 105° 13' E.), *Hoei-ning H.* (42° 40' N., 129° 20' E.), *Ma-ing* (35° 13' N., 104° 55' E.) : Dans le S. ou Cischoan-chan (S. W. du Liu-p'an-chan), c'est T'ong-wei H. qui a souffert le plus, avec 17.000 morts... T'ong-wei H. est situé encore dans le centre de la catastrophe, avec Tsing-ning T., Hoei-ning H., Kouyuen T* et Hai-tch'eng.

Voir la lettre de M^{sr} Daems, p. 30.

Ts'in-ngan H. (34° 52' N., 105° 50' E.) : 2.000 morts (lettre de M^{sr} Daems).

Ts'ing-choei H. (34° 42' N., 106° 12' E.) : un millier de morts (lettre de M^{sr} Daaems). A Ts'in-choei H., il y eut dans un seul district 1.481 victimes humaines et 6.863 bêtes tuées (voir p. 33).

(Voir aussi le récit du R. P. G. Buyeck, p. 31.) (Gh.)

*Ts'in T**. (34° 36' N., 105° 46' E.). La ville de Ts'in T* doit être englobée dans l'isoséiste X. (Gh.)

II. Intensité IX.

P. Kan-sou :

P'ing-liang F. (35° 35' N., 106° 41' E.). On annonçait, en date du 21, de grands plissements de terrain qui avaient enseveli des centaines de « iao » ou caves creusées dans le loess. En date du 29, on ajoutait que ces avalanches avaient aussi entraîné dans la ruine les maisons construites en briques et qui se trouvaient aux pieds des plateaux. On osait donner 2.000 comme le chiffre probable des morts. Cependant les dégâts seraient moindres au centre de la ville que sur les bords des plateaux qui l'entourent : le territoire le plus dévasté serait encore plus à l'W. et au N. W... Les chemins ont été très endommagés.

Le 6 janvier 1921, le même journal ajoutait, d'après une lettre de P'ing-liang F., que le chiffre des morts dans cette seule ville était réellement de 2.000; des collines entières étaient tombées.

(Gh.)

2.000 tués; les murs de la ville ont été renversés et plusieurs maisons démolies. (O.)

La ville de P'ing-liang F. doit être mise sous l'isoséiste IX.

(Note du 1^{er} juin 1921, Gh.)

*King T**. (35° 22' N., 107° 20' E.). « La secousse me surprit dans ma chambre et le bruit produit ressemblait au tonnerre. Tout de suite un fort tangage se fit sentir pendant une bonne minute. L'église ne fut que lézardée et quelques murs s'écroulèrent. Le grand nombre des victimes fut causé dans la ville haute par l'effondrement des « iao ». Des pagodes, situées surtout sur des hauteurs, furent détruites et les routes ont disparu en plusieurs endroits. Ailleurs, elles ont été recouvertes par les énormes éboulis des montagnes qui les surplombent.

« Sur les bords des plateaux (couverts de couches sédimentaires horizontales), d'après les dires des gens, on voyait les maisons soulevées et abaissées. Les arbres ployaient jusqu'à terre et se relevaient. Les animaux effrayés s'enfuyaient. Chevaux et mules dressaient le cou et se sauvaient. Pigeons, petits oiseaux, milans, etc., épouvantés, volaient partout. » (Gh.)

Si-tch'a-tcheng (36° 02' N., 106° 41' E.) (?) ne serait plus qu'un monceau de ruines. (Gh.)

P. Chen-si :

Ping T. (35° 04' N., 108° 06' E.). Des glissements de collines et un nombre assez grand de victimes. Les routes sont, ou coupées de failles, ou recouvertes par d'énormes avalanches de loess. (Gh.)

Sia-hi-li-pou. Même accumulation de ruines. (Gh.)

Intensité VIII.

P. Kan-sou :

Ngan-ting H. (37° 15' N., 109° 29' E.). A l'W., la limite des désastres est Ngan-ting, qui n'a presque plus souffert. (Lettre de M^{sr} Daems.)

Lan-tcheou F. (36° 08' N., 103° 55' E.). Les dégâts sont supérieurs à ceux constatés à Si-ngan F. (Gh.)

Ning-hia F. (38° 33' N., 106° 08' E.). A la frontière de la Mongolie, près de Ning-hia F., beaucoup de maisons se sont effondrées; une vingtaine de victimes... Dans une vallée des « Montagnes de l'Est », près de Ning-hia F., plusieurs agglomérations de fermes auraient disparu, ou sous les avalanches de loess, ou dans des crevasses; le plus grand nombre des habitants aurait péri. (Gh.)

K'ing-yang F. (36° 03' N., 107° 43' E.). A K'ing-yang F., les dégâts furent aussi considérables (qu'à P'ing-liang F.): près de 500 morts dans un rayon d'environ 30 kilomètres et dans une région peu peuplée. Là encore, le grand nombre fut tué dans les « iao » creusés dans le loess. (Gh.)

Kin-tch'eng (36° 19' N., 107° 19' E.). Un homme venant de 70 lis plus au N. de cette vallée du Hoan-ho (ne pas confondre avec le Hoang-ho), dans les environs de Kin-tch'eng, me raconte que là, il était difficile de rester debout. Lui-même s'était jeté par terre. La secousse y avait été plus forte qu'à K'ing-yang F., et le nombre des victimes montait à 200 environ, presque tous là aussi ensevelis dans leurs caves. Lui-même avait eu juste le temps de sauter dehors d'un de ces « iao » qui s'écroulait derrière lui. (Gh.)

Hoan H. (36° 39' N., 107° 07' E.), à 50 lis au N. de Kin-tch'eng.

Hoa-tche (35° 50' N., 107° 49' E.), à 70 lis au S. de K'in-yang F.

En tout, dans ces différents endroits, on compterait plusieurs centaines de victimes. (Gh.)

A *I-ma-koan* (35° 52' N., 107° 25' E.), à *Si-fang-tch'eng* (35° 41' N., 107° 26' E.), et en général à l'E. de K'ing-yang F., les dégâts seraient moindres. (Gh.)

Tchao-kia-tch'a (35° 36' N., 109° 19' E.) (?). Photographie d'une ferme détruite (voir *Annuaire de l'Institut de Physique du globe de Strasbourg*).

San-cheu-li-pou (36° 10' N., 107° 35' E.). L'église, très endommagée, est représentée dans la même publication.

Mongolie méridionale :

A *Si-tsai-t'ong-koei* (dans les environs de Ning-hia F.), la terre s'est fendue et la fente aurait quelques mètres de longueur et

une largeur de 60 centimètres. Il en serait sorti de la boue noire. (Gh.)

P. Chen-si :

Fong-siang F. (34° 35' N., 107° 50' E.). Les ruines et les victimes furent très nombreuses. L'eau des puits jaillit en l'air à la manière des geysers. (Gh.)

Tong-yuen-fang (34° 25' N., 109° 24' E.). La secousse fut assez forte : des murs et des façades s'écroulèrent.

« Une lampe du réfectoire suspendue à 2 mètres du plafond, après 5 minutes de durée de la secousse, avait encore une amplitude d'oscillation de 1 mètre. » (Gh.)

A *Si-ngan F.* (34° 17' N., 108° 58' E.), *Hing-p'ing H.* (34° 18' N., 108° 25' E.), *San-yuen H.* (34° 37' N., 108° 53' E.), l'intensité fut la même. Des maisons détruites et quelques victimes. (Gh.)

Hien-yang H. (34° 20' N., 108° 39' E.). En marchant vers l'W. et en nous rapprochant du Kan-sou, le long du Wei-ho et des deux côtés du Tsin-Ling-chan, les dégâts accusés sont plus grands, preuve que vraiment la ligne épacentrale est de ce côté-là. De Hien-yang, on rapporte que des maisons ont été englouties. (Gh.)

Koan T. (35° 06' N., 109° 03' E.). Dans les mines de charbon, une augmentation subite et très appréciable de la température dans les galeries souterraines mit la panique parmi les mineurs, tous Chinois. Croyant à un coup de grisou, ils se précipitèrent vers les sorties des puits, mais la secousse arriva violente et enterra plus de 400 de ces infortunés au moment même où ils allaient arriver en plein air. (Gh.)

T'ong-tcheou F. (34° 50' N., 109° 51' E.)... L'autre province où le tremblement de terre fit le plus de dégâts est le Chen-si, surtout le Chen-si central, la partie qui enveloppe le coude du Fleuve Jaune, près de T'ong-tcheou F. Dans cette localité, une rue entière longue d'environ 500 mètres aurait été engloutie dans une crevasse produite par la secousse sismique. On ne précise pas le nombre des victimes. (Gh.)

Han-tchong F. (32° 56' N., 107° 12' E.). La cloche du campanile de Han-tchong F. sonna d'elle-même pendant plusieurs minu-

tes, mais le clocher n'eut que quelques lézardes. Dans la cathédrale, deux colonnes se courbèrent. (Gh.)

Tchen-kou H. (33° N., 107° 37' E.). La secousse a été très violente... Beaucoup de maisons démolies, fendues, privées de leurs frontons et de leurs cheminées... Certaines des crevasses produites dans le sol étaient larges d'un bon centimètre. (Gh.)

Intensité VII.

P. Chen-si :

Tsing-pien (37° 20' N., 108° 02' E.). (Gh.)

P. Chan-si :

A *Hong-tong* (36° 17' N., 111° 42' E.), le tremblement de terre ne produisit pas de victimes, mais seulement une certaine panique et peut-être quelques lézardes aux maisons. Bien entendu, lampes et lustres oscillèrent longuement. (Gh.)

A *Tché-tcheou F.* (35° 30' N., 112° 50' E.), les fenêtres elles-mêmes furent secouées avec bruit, mais on ne put relever aucune direction bien nette. (Gh.)

A *Ou-hiang H.* (36° 50' N., 112° 50' E.), le choc fut plus fort ; une grosse fente se produisit dans une des écoles de la Mission catholique. (Gh.)

A *P'ing-yang F.* (36° 06' N., 111° 33' E.), les dégâts furent un peu plus grands : le sommet d'une tour de pagode fut renversé. (Gh.)

P. Se-tch'oan :

A *Koang-yuen H.* (32° 20' N., 108° 17' E.), les crevasses produites furent énormes. Un témoin oculaire, qui venait de cette localité, affirmait au Père qu'un millier de personnes avaient été englouties et enterrées vivantes dans leurs maisons. Un petit lac noirâtre se serait formé sur l'emplacement. Le Père ajoute que le sous-sol de cette localité est très instable, à cause d'une exploitation assez active des gisements de houille et de soufre. Cela explique tant de ruines dans un endroit où nous ne croyons pas qu'il faille placer la ligne de l'épicentre. (Gh.)

Intensité VI.

P. Kan-sou :

Liang-tcheou F. (37° 59' N., 102° 48' E.). Des objets non fixés tombèrent (pierres placées sur un mur); les maisons craquèrent, mais on en fut quitte pour une panique. (Gh.)

Nien-pé (36° 29' N., 102° 15' E.). La vague ressentie fut très forte. Les dégâts furent cependant assez légers, aussi notre isoséiste VI à l'W. de l'épicentre nous paraît exacte. La panique fut grande; les horloges et les réveils furent arrêtés; un tas de charbon amassé près de la cuisine s'écroula; une pile de soucoupes et d'assiettes a été renversée et réduite en miettes. (Gh.)

Mongolie méridionale :

A *San-tao-ho* (40° 19' N., 109° 05' E.), la secousse fut très forte : il y eut des crevasses qui se produisirent dans le sol et on remarqua très nettement les ondes granitiques.

« Violent tremblement de terre pendant 2 ou 3 minutes. Les portes craquèrent, les bâtiments oscillaient du S. au N. par un dansement à oscillations dans toutes les directions, tout à fait comme un navire ballotté par les flots. Vertiges. » (Gh.)

Sia-k'iao-pan (38° 31' N., 109° 47' E.) (près de l'extrémité N. de la frontière du Chen-si et de la Mongolie). La lampe qui pend au réfectoire, à 1 m. 80 du plafond, déviait dans son balancement de plus d'un demi-mètre. Bâtiments (résidence et église) étaient fortement secoués. Le toit de la résidence s'est fendu et s'est affaissé de plusieurs centimètres. Un mur extérieur latéral a été dévié de plusieurs centimètres; tous les autres murs intérieurs ou extérieurs ont été fendillés.

Quant aux murs chinois, beaucoup tombèrent; les cheminées en firent autant et, là aussi, il était impossible de marcher pendant le tremblement de terre. (Gh.)

Enl-che-se-k'ing-ti.

Il y eut quelques murs lézardés et quelques vieilles maisons renversées. Les lampes oscillèrent violemment : ainsi, une lampe suspendue par un fil de fer de 2 mètres faisait des oscil-

lations de 1 mètre d'amplitudes qui n'avaient pas cessé un quart d'heure après. Les horloges à pendules s'arrêtèrent; les portes entr'ouvertes battaient. Les cadres des images frappaient les parois; une sonnette tinta. Mais aucun objet fixe, quoique tables et poutres oscillassent amplement, ne fut projeté, parce que les oscillations étaient sans heurt. La glace du Fleuve Jaune se rompit en plusieurs endroits. (Gh.)

Mongolie :

Chabernoor (près de 41° N., 111° E.). « Les personnes bougeaient sur place et éprouvaient comme un commencement de mal de mer. » (Gh.)

P. Hou-pé :

*King-men T**. (31°05' N., 112°05' E.). A près de 70 kilomètres au sud de King-men T*, « les secousses étaient peu violentes et faisaient l'impression d'un rehaussement de terre plutôt que d'un tremblement.. Sur ma table se trouvait une tasse de thé remplie. La tasse déborda à un quart ». Les murs furent fendus, mais il n'y eut en somme aucun dégât sérieux. Beaucoup de peur, cela va sans dire. (Gh.)

Hoang-tcheou F. (30°26' N., 114°54' E.). Tout se borna à quelques vieux murs démolis : la panique fut grande, car les maisons, surtout celles à plafonds assez élevés, oscillèrent d'une manière inquiétante et occasionnèrent quelques chutes de plâtre et quelques blessures légères. (Gh.)

Intensités V et IV.

P. Se-tch'oan :

Tcheng-tou F. (30°41' N., 103°11' E.). Une forte secousse du S. au N. a été ressentie pendant une ou deux minutes... Une lampe suspendue à un fil de fer de 4 m. 50 balançait avec une amplitude de 4 à 5°. Une pendule dont le balancier se meut dans le plan N.-S. s'arrêta net à 7 h. 04 m. On peut évaluer à

VI le degré d'intensité (échelle Forel-Mercalli). (Consulat de France.)

A *Kia-ting F.* (29°28' N., 103°55' E.), l'observateur, assis dans une chambre du rez-de-chaussée, a ressenti l'ébranlement des planchers, des cloisons, mais pas de bruit, ni des vitres, ni des tuiles sur les toits. Il y eut oscillation des lampes suspendues et les habitants disent avoir été pris de vertige. (Consulat de France.)

A *Han-yung-pé* (au N. de *Kia-ting F.*), où se tenait un marché, des témoins chinois ont ressenti les mêmes effets. (Consulat de France.)

A *Tch'ong-k'ing F.* (29°42' N., 106°42' E.), la secousse fut très faible et probablement peu de gens s'en aperçurent. (Gh.)

P. Ho-nan :

Wei-hoei F. (35°28' N., 114°16' E.). Les lampes oscillèrent fortement, un peu de frayeur, mais les secousses ne furent pas ressenties par tout le monde; il y en eut quatre ou cinq et chacune ne dura que quatre ou cinq secondes. (Gh.)

P. Tché-li :

K'ai T. (35°46' N., 115°16' E.). Secousse précédée d'un grand bruit, comme celui d'un char qui roule, suivie de craquements assez forts du toit de la Chapelle. Le mobilier et les portes furent violemment secoués; les lampes oscillèrent. (Gh.)

Ta-ming F. (36°21' N., 115°22' E.). On ne remarqua qu'une secousse. Elle ne fit qu'arrêter une horloge et les lampes oscillèrent fortement du N. au S. Il n'y eut pas d'objets renversés. (Gh.)

Koang-p'ing F. (36°45' N., 114°54' E.). Le choc fut précédé par un bruit comme d'une rafale de vent. La secousse ne dura qu'une seconde environ et ressemblait au tangage d'un navire. (Gh.)

P'ing-chan H. (38°17' N., 113°10' E.). Trois fortes secousses, quelques maisons effondrées et quelques victimes. (Gh.)

Ho-kien F. (38°33' N., 116° E.). Deux secousses, de quelques

secondes chacune et toujours précédées de bruit. Les gens assis ou debout remarquèrent le mouvement et les lampes oscillèrent du N. E. au S. W. (Gh.)

Pé-kin (39°57' N., 116°29' E.), *T'ien-tsin F* (39°07' N., 117°11' E.).
Mêmes effets légers à T'ien-tsin F. et à Pé-kin.

A 20 h. 10 m., pendant cinq minutes, secousse dont l'intensité maxima s'est manifestée de 20 h. 12 m. à 20 h. 13 m. Ce fut une oscillation horizontale à grande amplitude avec mouvement circulaire. Quelques personnes assises ont éprouvé un étourdissement cérébral prononcé. Intensité V (échelle de Forel-Mercalli). (Consulat de France.)

P. Chan-tong :

Wei H. (37°05' N., 115°25' E.). Trois Pères étaient assis « lorsque, soudain, ils furent pris d'un malaise, comme d'un mal au cœur, avec l'impression d'être portés avec le plancher du N. E. au S. W. Cela dura deux ou trois minutes, peut-être davantage. Les objets suspendus oscillèrent et battirent le mur ». (Gh.)

P. Kiang-sou :

Zi-ka-wei (31°12' N., 121°26' E.), *Chang-hai* (31°15' N., 121°27' E.).
A Zi-ka-wei et à Chang-hai, tout se borna à des arrêts de pendules et à des balancements assez prononcés des objets suspendus aux plafonds. A l'observatoire magnétique de Lu-kia-pang, les trois appareils enregistreurs furent aussi arrêtés. Par contre, à l'observatoire astronomique de Zô-ce, on ne remarqua rien. (Gh.)

L'horloge du Consulat britannique, celle du sémaphore et celle du service de l'heure de l'observatoire de Zi-ka-wei ont été arrêtées, cette dernière à 20 h. 13 m. 37 s., heure de la côte de Chine.

P. Koang-tong :

A *Hong-kong* (22°16' N., 114°08' E.), l'intensité fut peut-être un peu plus grande qu'à Zi-ka-wei. La secousse fut ressentie par beaucoup de monde. « Un de nos amis, qui se trouvait à cette époque couché à l'hôpital de Causeway-Bay, ressentit très

bien le choc qui secoua son lit et agita les bords de la moustiquaire. » (Gh.)

Swatow (23°23' N., 116°40' E.). « Le paquebot anglais « *Devanha* », qui allait de Chang-hai à Hong-kong, ressentit en passant au large de Swatow comme un choc assez violent. Le Commandant crut qu'on avait touché une épave submergée et à son arrivée au port de Hong-kong, il fit inspecter la coque du navire. Ce fut pour lui une agréable surprise de savoir que tout était en bon état et qu'il ne s'agissait que d'une secousse sismique ! Le journal ne donne pas l'heure où cela arriva, mais on peut probablement croire que c'était un écho assez puissant du séisme du 16 décembre qui, vers 20 h. 09 m. 16 s. (h. 120° E. G.), avait bouleversé la province du Kan-sou, à près de 1.600 kilomètres de Swatow. » (Gh.)

Ton-kin :

A *Phu-lien*, près de *Hai-phong* (20°53' N., 106°41' E.), à l'Observatoire central de l'Indo-Chine, une pendule astronomique fut arrêtée dans sa marche. La secousse, très faible d'ailleurs, « fut suivie d'une série d'oscillations microsismiques ». (Gh.)

Yerkalo (29°02' N., 98°42' E.). Le fait que, d'après une lettre du R. P. Goré écrite de Yerkalo à l'Observatoire de Zi-ka-wei, le tremblement de terre du 16 décembre n'ait pas été ressenti dans cette ville, à la limite orientale du Thibet, est particulièrement important.

Le tracé des courbes isoséistes est reproduit dans les planches (5) et (6).

La surface épacentrale a, approximativement, la forme d'une ellipse allongée suivant la direction N. N. W.-S. S. E., dont les dimensions des axes sont environ 200 et 150 km. Les courbes ont été tracées en pointillés dans la partie située à l'W. de l'épicentre, où les observations sont peu nombreuses.

A la fin du chapitre précédent, j'ai essayé d'expliquer, par la constitution tectonique de la région, les principaux caractères de ces courbes : direction S. S. E. de l'aire épacentrale, dilatation en golfe des courbes IX et VIII au S. E. vers le coude du

Hoang-ho, et extension de l'ensemble des isoséistes principalement vers l'E. et le S. E. ; cette dernière observation est confirmée par le fait que le tremblement de terre n'a pas été signalé à Yerkalo, tandis qu'il était ressenti, à des distances beaucoup plus grandes, au Ton-kin et sur toute la côte de Chine.

Il y a lieu de remarquer encore que les courbes obtenues ne sont que des interpolations assez grossières, obtenues à l'aide d'un petit nombre d'observations : elles sont suffisantes pour mettre en évidence les lois générales de la propagation de l'ébranlement, mais elles négligent la répartition irrégulière de l'énergie dans chaque région, suivant sa constitution ; voici comment s'exprime à ce sujet le R. P. G. Buych : « Les dégâts se manifestent par veines ; parfois ils sont moindres à plus courte distance de l'origine. »

Direction de la secousse. — On a également résumé dans un tableau les directions notées par les observateurs au moment du tremblement de terre. Elles sont indiquées sur la carte par des flèches :

P. Kan-sou :

Ts'ing-choei H. : Forte secousse N.-S. et, presque en même temps N. W.-S. E. ; puis soulèvements tournoyants.

(Voir la lettre du R. P. Buych, p. 31.)

*King T** : « Le mouvement était, semble-t-il, N. W. vers S. E. ... Dehors, j'ai senti la même direction. »

*Ts'in T** : « Les Pères affirment avoir réellement senti ou, mieux, éprouvé les mouvements de rotation sur place. Une statue du Sacré-Cœur, de 1 m. 20 de haut, en plâtre creux, de leur église de Tsin T*, a été retournée sur son piédestal (hauteur 1 m. 50). Au même endroit, un tableau, suspendu au mur par une corde à un clou, fut complètement retourné : ce tableau est de forme rectangulaire et est attaché par un de ses petits côtés. » (Lettre du R. P. E. Gherzi, 10 mai 1921.)

K'ing-yang F. : C'était comme si une ondulation de 10 cm. venant du N. E. se continuait vers le S. W.

Nien-pé : La secousse parut venir du N. W. (Gh.)

P. Chen-si :

Tchen-kou H. : La secousse a été très violente et de direction N. W.-S. E.

Tong-yuen-fang : La direction que le R. P. F. Tessidore a pu constater, d'après les oscillations des arbres et des lampes, aurait été du N. E. au S. W. (Gh.)

T'ong-tcheou F. : La direction observée fut du S. vers le N. (Gh.)

P. Chan-si :

Tché-tcheou F. : On ne put relever aucune direction nette. (Gh.)

Mongolie méridionale et Mongolie :

San-tao-ho : Les bâtiments oscillaient du S. au N. E. (Gh.)

Sia-k'iao-pan : Le mouvement parut venir du S. E. vers le N. W. (Gh.)

Eul-che-se-k'ing-ti : C'étaient comme des oscillations lentes de l'W. S. W., sans redressement bien sensible, comme une succession de vagues venant mourir sur la grève. (Gh.)

Chabernoor : La direction qu'on put noter était plutôt du N. E. au S. W., avec variations; des Chinois disent qu'il venait du S. (Gh.)

P. Se-tch'oan :

Tcheng-tou F. : « Forte secousse du S. au N. pendant une ou deux secondes, ensuite le mouvement parut giratoire pendant trois ou quatre secondes, pour finir par un balancement doux, comme celui d'un bateau; le tout a duré 15 à 20 secondes.

(Consulat de France.)

P. Ho-nan :

Wei-hoei F. : La direction semblait être du S. E. au N. W.

P. Tchéli :

K'ai T. : Les lampes oscillèrent longuement en traçant une ellipse dont le grand axe était orienté N. S. Un enfant affirma qu'il s'était senti projeté du N. au S., puis sur le côté. (Gh.)

Ta-ming F. : Les lampes oscillèrent fortement du N. au S. (Gh.)

Ho-kien F. : Les lampes oscillèrent du N. E. au S. W. (Gh.)

Pé-kin : Ce fut une oscillation horizontale à grande amplitude avec mouvement circulaire. La direction notée est S. E.-N. W.
(Consulat de France.)

P. Chan-tong :

Wei H. : Direction N. E. au S. W.

Ton-kin :

Phu-lien : La direction parut être de l'E. N. E. à l'W. S. W.
(Gh.)

En résumé, beaucoup d'observateurs disent avoir constaté des secousses suivant la direction N.-S. ou N. W.-S. E., quelle que soit d'ailleurs la position de la localité considérée par rapport à l'épicentre. On pourrait rapprocher ce fait de l'orientation N. N. W.-S. S. E. de l'aire épacentrale et en déduire que le choc, à l'origine, a été particulièrement intense suivant cette direction.

Il y a lieu de remarquer aussi l'existence de mouvements giratoires, signalée en plusieurs endroits, en particulier à *Ts'ing-choei H.*, *Ts'in T**, *Tcheng-tou F.*, *K'ai T.* Ces effets de rotations ont été souvent constatés, en particulier sur les pierres tombales des cimetières. L'accélération de rotation, prévue par le calcul, étant très petite par rapport à l'accélération de translation, tandis que les rotations constatées sont considérables, on admet plutôt l'explication suivante : en général, les deux surfaces qui reposent l'une sur l'autre n'adhèrent pas en tous les points de la même manière; si la région de contact est dissymétrique par rapport à la verticale au centre de gravité, l'accélération qui passe par le centre de gravité produit un couple autour du point de plus forte adhérence, ce qui serait l'origine des rotations.

Cette interprétation, qui explique bien le cas de statues retournées sur leurs socles, est plus difficile à admettre lorsque les observateurs affirment avoir ressenti eux-mêmes des mouvements giratoires. Ces effets ne résulteraient-ils pas de la su-

perposition d'ondes superficielles, périodiques, longitudinales et transversales ?

Autres renseignements sur la nature des phénomènes observés. — Les rapports de témoins ayant ressenti le tremblement de terre sont peu nombreux pour la région épacentrale; ceux qui concernent *Ts'ing-choei H.* et *Ping-liang F.* fournissent des renseignements assez précis sur la succession des phénomènes. Dans ces deux villes, le premier choc a été précédé de bruits souterrains; à *Ts'ing-choei H.*, « un bruit sourd venant du N., comme de quelques camions lourdement chargés, lancés au galop sur un très mauvais pavé »; à *P'ing-liang F.*, « la secousse fatale avait été précédée par des oscillations bien longues et par des bruits forts comme des coups de tonnerre...; avant la grande secousse, on avait senti 25 fois (!) des tremblements souterrains... ». (Gh.)

A *Ts'ing-choei H.*, le R. P. G. Buyck a ressenti plusieurs secousses successives: « La première et la plus forte secousse a duré 2 minutes et a été si rapidement suivie de cinq à six autres qu'il n'y avait presque pas moyen de les distinguer. »

Ce grand tremblement de terre fut suivi, dans toutes les localités peu éloignées du centre, de nombreuses secousses, se succédant pendant des heures et même plusieurs jours, par exemple à *Ts'ing-choei H.*, *P'ing-liang F.*, *Tchen-kou H.*

Les bruits souterrains observés avant ou pendant la secousse sont signalés dans plusieurs localités: *King T.*, *K'ai T.*, *Koang-p'ing F.*, *Ho-kien*; toujours on les compare au tonnerre, à une rafale de vent ou au bruit d'un char qui roule.

Dans beaucoup d'autres localités situées loin de la région épacentrale, les ondes gravitiques sont seules observées, la durée du phénomène étant de quelques minutes. Voici quelques récits relatifs au passage de ces ondes superficielles, signalées également à *Ts'ing-choei H.*¹, *King T.*, *Nien-pé*, *Tong-yuen-fang*, *P'ing-yang F.*, *San-tao-ho*, *Chabernoor*, *Tcheng-tou F.*, *Kiating F.*, *K'ai T.*, *Koang-p'ing F.*, *Pé-kin* et *Wei H.*

1. Voir plus haut, p. 31.

A *K'ing-yang F.*, « la grande secousse aurait bien duré quelques minutes... et la terre tremblait et nous secouait comme si elle avait été élastique. C'était comme si une ondulation d'une hauteur d'environ 10 centimètres, venant du N.-E., se continuait vers le S.-W. La force de cette secousse principale était, pendant toute sa durée (certainement 3 minutes, que j'ai pu contrôler sur ma montre), assez uniforme, quoique au milieu elle sembla plus forte. On était balancé comme un homme qui a trop bu ».

A *Tchen-kou H.*, l'observateur « estime à 5 minutes la durée de la convulsion et, pendant ce temps, le tangage éprouvé fut très fort. On pouvait à peine se tenir debout. Il fallait écarter les jambes et se mettre parallèlement aux vagues sismiques, c'est-à-dire un pied vers le N.-W. et l'autre vers le S.-E., et cela en plein air, dans une cour bien unie. Ces vagues se succédaient à la vitesse d'à peu près deux par seconde, et le résultat de ce balancement extraordinaire était un fort malaise, un véritable mal de mer sur terre ». (Gh.)

A *Si-ngan F.*, « les oscillations du terrain étaient si marquées que les animaux, après quelques instants de panique, se couchaient par terre. M^r Massi m'affirma qu'il avait éprouvé le vertige et presque le mal de mer avant de ressentir la vague superficielle du sol ». (Gh.)

A *Eul-che-se-k'ing-ti*, « aucun signe avant-coureur, aucun choc, au commencement, ni aucun bruit. Ce fut une série continue de mouvements oscillatoires, dont les premiers étaient particulièrement lents et prononcés. Les mouvements oscillatoires, en se succédant plus vite, s'affaiblirent proportionnellement. C'étaient comme des oscillations lentes de l'W. S. W., sans redressement bien sensible, comme une succession de vagues venant mourir sur la grève. Tout le monde ressentit comme un petit vertige ou un malaise subit, comme sur un navire qui tangue. La première commotion était la plus forte. Étant debout, je me suis senti poussé sans violence, mais irrésistiblement, jusqu'à devoir me retenir à la table. Les mouvements oscillatoires s'affaiblirent graduellement durant les 3 minutes de la durée et cessèrent sans aucun choc en retour ».

Il y a lieu de remarquer que ces ondes superficielles se sont

propagées avec une grande amplitude à des distances considérables, puisque Eul-che-se-k'ing-ti est à près de 700 kilomètres, Wei H. et Pé-kin à 900 kilomètres environ de l'épicentre probable.

Répliques du séisme du 16 décembre 1920. — « Comme on pouvait s'y attendre, à la première secousse du 16 décembre d'autres secousses succédèrent assez nombreuses. »

25 décembre 1920 : « La plus forte de toutes fut celle du 25 décembre, à 19 h. 36 m. 50 s. (h. 120° E. G.). Elle eut lieu plus loin que celle du 16 et nous ne connaissons pas les dégâts qu'elle aurait faits. On l'a ressentie dans beaucoup d'endroits et même très loin : v. g. en Mongolie méridionale, à l'extrémité nord du Chan-si (*Siao-k'iao-pan*), à *Pé-king* et aussi à *Hong-kong*. Ici, à *Chang-hai*, personne ne s'en aperçut, à l'exception du Rév. P. L. Froc, S. J., directeur de l'Observatoire, qui fut mis sur le qui-vive d'une manière assez extraordinaire. Le Rév. Père examinait, vers 19 h. 40 m. (h. 120° E. G.), le niveau de la lunette méridienne avant de commencer des observations d'étoiles pour le service de l'heure, lorsqu'il remarqua que la bulle d'air du niveau paraissait affolée. Elle se déplaçait brusquement d'une division, tantôt à droite, tantôt à gauche (une division de ce niveau correspond à deux secondes d'arc), et était en proie à un frémissement continu. Moi-même, averti du fait, je pus constater peu après des mouvements d'une demi-division. » (Gh., p. 8.)

On peut encore citer les secousses suivantes :

7 janvier 1921 : à 1.600 kilomètres de Zi-ka-wei. (Z.)

9, 13, 14 janvier 1921. (Z.)

12 avril 1921 : ressentie à Liang-tcheou F. Force V (Rossi-Forel). Épicentre dans la direction N. W. de cette ville; à 1.950 kilomètres de Zi-ka-wei. (Z.)

4 mai 1921 : ressentie à Liang-tcheou F. Force IV (Rossi-Forel); à 1.900 kilomètres de Zi-ka-wei. (Z.)

15 août 1921 : Kan-sou. Ressentie dans la ville de K'ing-yang F. Force VI (Rossi-Forel), (Z.)

31 août 1921 : Kan-sou. Ressentie au Kan-sou. (Z.)

Échelle Mercalli¹.

1. (I) (1) Secousse instrumentale — signalée seulement par les instruments sismiques.
2. (II) (2) Secousse très légère — ressentie seulement par quelques personnes en parfait état de repos, particulièrement aux étages supérieurs des habitations ou par des personnes nerveuses et très sensibles.
3. (III) (3) Secousse légère — ressentie par plusieurs personnes, mais en petit nombre par rapport à la population d'un pays donné; d'après les rapports, elle est à peine sentie et sans crainte et en général sans qu'on ait acquis la conviction qu'il s'agissait réellement d'un tremblement de terre avant de savoir que d'autres personnes ont ressenti le phénomène.
4. (IV et V) (4) Secousse sensible ou moyenne, non ressentie d'une manière générale, mais par beaucoup de personnes à l'intérieur des habitations; par contre, par peu d'observateurs en terrain découvert, sans effroi, mais avec vibration des vitres, de la vaisselle, craquement des planchers, légère oscillation des objets suspendus.
5. (VI) (5 et 6) Secousse forte — ressentie d'une manière générale à l'intérieur des habi-

1. Les chiffres romains entre parenthèses donnent la correspondance avec les degrés de l'échelle De Rossi-Forel. Les chiffres arabes entre parenthèses, celle avec les degrés de l'échelle internationale.

tations et par un assez grand nombre de personnes dans la rue, avec réveil des personnes endormies; quelques-unes effrayées se précipitent dehors; tintement des sonnettes, oscillation notable des objets suspendus; arrêt des horloges.

6. (VII) (7) Secousse très forte — ressentie par tout le monde dans les maisons et par un grand nombre de personnes dans la rue; chute des plâtres et crépis; quelques dommages à des édifices mal construits.
 7. (VIII) (8) Secousse extrêmement forte. — Les cloches sonnent, chute des cheminées et des tuiles. Légers dommages à de nombreux édifices.
 8. (IX) (9) Secousse ruineuse. — Ruine partielle de quelques habitations; dégâts considérables aux autres; pas de victimes, on constate seulement quelques blessés isolés.
 9. (X) (10 et 11) Secousse désastreuse. — Ruine totale ou presque totale de quelques habitations; de graves dégâts dans beaucoup d'autres, devenues inhabitables; victimes, sinon très nombreuses, du moins en certains points des lieux habités.
 10. (12) Secousse très désastreuse — avec la ruine de nombreux édifices et beaucoup de victimes humaines; crevasses du sol et éboulements dans les montagnes.
-

CHAPITRE III

ÉTUDE MICROSISMIQUE

RÉSULTATS DE L'INTERPRÉTATION DES SISMOGRAMMES RELATIVE AUX PHASES PRÉLIMINAIRES DU SÉISME

Les nombreux documents adressés au Bureau central sismologique par les différentes stations comprennent le plus souvent, d'une part, les sismogrammes originaux ou des reproductions de ces derniers, et, d'autre part, les résultats des analyses qui en ont été faites par les observatoires.

L'étude des sismogrammes dont les résultats sont résumés dans les tableaux ci-dessous est relative aux phases préliminaires du tremblement de terre : les heures des débuts des phases primaires P. et secondaire S. et de leurs réflexions ont été déterminées pour chaque composante du mouvement du sol (N. : Nord-Sud, E. : Est-Ouest, Z : Verticale). Lorsque la station considérée comprend plusieurs genres d'appareils, leurs noms sont indiqués dans la dernière colonne du tableau.

Les interprétations des sismogrammes dont je disposais concordent généralement bien avec celles des différents observatoires; les écarts que l'on pourrait constater se rapportent souvent à des inscriptions dont toutes les phases ne sont pas discernables, ce qui conduit à des erreurs lorsqu'on est livré à ses propres moyens et qu'on ne possède pas d'autres documents permettant des comparaisons.

Pour les stations dont on ne possédait pas les inscriptions, mais seulement les résultats des analyses, ce sont ces dernières données qui ont été transcrites dans les tableaux (marqués alors d'un astérisque *).

Le tableau résultant de l'étude des sismogrammes de chacune des stations est précédé d'un résumé des données relatives à ces stations : coordonnées géographiques φ et λ (les longitudes

sont comptées à partir du méridien de Greenwich), altitude h , nature du sous-sol, valeur de la correction de la pendule, les différents appareils en fonctionnement lors du tremblement de terre et leurs constantes¹.

Les constantes relatives aux appareils à enregistrement direct, mécanique ou optique, sont : la période propre T_0 , le rapport d'amortissement v et le grandissement normal V_0 ; pour les appareils à enregistrement galvanométrique, ce sont : la longueur réduite du pendule l ; les périodes propres du galvanomètre et du pendule, sans amortissement, T_1 et T ; la constante d'amortissement du pendule μ^2 qui est reliée au rapport v par la formule : $\mu^2 = \frac{\pi^2}{\pi^2 + (\log v)^2}$; le facteur d'amplification h , et la distance A_1 du miroir du galvanomètre au cylindre enregistreur.

Enfin, on a indiqué, dans la dernière colonne (O), le sens d'une impulsion sur le sismogramme qui correspond à un mouvement du sol vers le N., l'E. ou le zénith (signe +), ou vers le S., l'W. ou le nadir (signe -); les flèches indiquent le sens des temps croissants.

Les distances Δ des stations à l'épicentre (distances mesurées suivant les grands cercles de la sphère terrestre) ont été calculées par les formules de la trigonométrie sphérique, à partir de l'épicentre 36° N., 105,5° E. dont le choix sera justifié dans la suite de cette étude.

1. Lorsque les valeurs des constantes n'ont pas été données par les observatoires, on les a empruntées à l'ouvrage de Harry O. Wood : « Bulletin of the National Research Council. A List of Seismologie Stations of the World ». Washington, 1921; (ce qui est indiqué par un astérisque*).

2. On sait que, entre les grandeurs v , ε et μ , existent les relations :

$$v = e \frac{\pi \sqrt{1 - \mu^2}}{\mu}, \quad h = \frac{\varepsilon}{n}, \quad \mu^2 = 1 - h^2.$$

ε et n sont les coefficients de l'équation du mouvement du pendule.

(1) **Zi-ka-wei, Chang-hai.** $\Delta = 1567 \text{ km.}$

$\varphi = 31^{\circ}11'32''\text{N.}$ $\lambda = 121^{\circ}25'48''\text{E.}$ $h = 7 \text{ m.}$

sous-sol : alluvions épaisses de quelques mètres.

Appareil.

Pendule astatique de Wiechert. (Composantes N. et E.)

Correction de la pendule : $- 1^{\text{m}}15^{\text{s}}$.

Constantes.

	M.	T_0	v.	V_0	O.
N...	1200	8	2,8	166	— ↓ + → +
E...	1200	9	2,3	169	↓ + → -

Phases.

N.		E.	
Ph.	t.	Ph.	t.
<i>i</i> P...	^h 12 ^m 09 ^s 14,5	<i>i</i> P...	^h 12 ^m 09 ^s 1(7)
PR ₁ ?	12 09 49,5	S...	12 11 56
<i>i</i> S...	12 11 53	<i>e</i> SR ₁	12 12 40
<i>e</i> SR ₁	12 12 38		

(2) **Jinsen,* Corée.** $\Delta = 1888 \text{ km.}$

$\varphi = 37^{\circ}29'\text{N.}$ $\lambda = 126^{\circ}37'\text{E.}$ $h = 69 \text{ m.}$

sous-sol : granite.

Appareil.

Pendule horizontal Omori. (Composantes N. et E.)

Constantes*.

	M.	T_0	V_0
N....	50	30	20
N....	50	12	150
E....	50	28	150

Phases.

Ph.	t.
P.....	^h 12 ^m 09 ^s 01
S.....	12 12 15

(3) **Taihoku*, Formose.** $\Delta = 1950$ km.

$\varphi = 25^{\circ}02,3'N.$ $\lambda = 121^{\circ}30,8'E.$ $h = 8,0$ m.
 sous-sol : alluvions.

Appareil.

Pendule horizontal Omori. (Composantes N., E. et Z.)

Constantes.			Phases.		
	M.	T_0	V_0	Ph.	t.
N...	16	16	120	<i>i</i> P...	^h ^m ^s 12 10 08
E...	16	30	20	S...	12 13 26

(4) **Nagasaki.*** $\Delta = 2259$ km.

$\varphi = 32^{\circ}44'03''N.$ $\lambda = 120^{\circ}52'31''E.$ $h = 130,6$ m.
 sous-sol : agglomérat volcanique.

Appareil.

Pendule horizontal Omori. (Composantes N. et E.)

Constantes.			Phases.		
	T_0	v.	V_0	Ph.	t.
N...	20	—	20	P....	^h ^m ^s 12 10 17
E...	26	—	120	L....	12 14 01
				F....	15 08 18

(5) **Foukouoka.*** $\Delta = 2283$ km.

$\varphi = 33^{\circ}34,8'N.$ $\lambda = 130^{\circ}25,4'E.$ $h = 4,3$ m.
 sous-sol : terre molle.

Appareil.

Pendule horizontal Omori. (Composantes N. et E.)

Constantes.*		Phases.		
	T_0	V_0	Ph.	t.
N....	18	120	P....	^h ^m ^s 12 10 31
E....	26	20	S....	12 14 18

(6)

Kôbe.*

$\Delta = 2685 \text{ km.}$

$\varphi = 34^{\circ}41'10''\text{N.}$ $\lambda = 135^{\circ}10'51''\text{E.}$ $h = 58,2 \text{ m.}$

sous-sol : glaise (diluvium).

Appareil:

Pendule horizontal Omori. (Composantes N. et E.)

Constantes*.

	M.	V ₀	T ₀
N...	18,5	20	19
E...	17,5	20	19

Phases.

Ph.	t.
P....	h m s 12 10 10
S....	12 14 16

(7)

Osaka.*

$\Delta = 2709 \text{ km.}$

$\varphi = 34^{\circ}39'\text{N.}$ $\lambda = 135^{\circ}26'\text{E.}$ $h = 1,5 \text{ m.}$

sous-sol : terre molle.

Appareils.

Pendules horizontaux Omori. (Composantes N. et E.)

Sismographe vertical Omori.

Constantes.

	T ₀	V ₀	O
E...	30	20	+ —
N..:	30	20	— +
Z...	5	20	+ —

Phases.

Ph.	t.
P....	h m s 12 11 13
S....	12 15 40

(8) **Siomisaki.** $\Delta = 2769$ km.

$\varphi = 33^{\circ}27'N.$ $\lambda = 135^{\circ}46'E.$ $h = 72,9$ m.

sous-sol : roche.

Appareil.

Pendule horizontal Omori. (Composantes N. et E.)

Correction de la pendule. ?

Constantes.

	V_0	O.
N....	120	+ → ↓
E....	120	- → ↓

Phases.

Ph. ¹	t.
S - P.	4 ^m 2(5) ^s

(9) **Gifu.*** $\Delta = 2811$ km.

$\varphi = 35^{\circ}24'N.$ $\lambda = 136^{\circ}46'E.$ $h = 12,8$ m.

Appareil.

Pendule horizontal Omori. (Composantes N. et E.)

Constantes*.

	T_0	V_0
N....	4,0	50
E....	3,4	50

Phases.

Ph.	t.
P....	h m s 12 11 16
S....	12 15 32

1. Ne connaissant pas la valeur de la correction de la pendule, on n'a pu déterminer les heures d'arrivée des phases P et S, mais seulement la durée de la première phase.

(10)

Manille.

$\Delta = 2837 \text{ km.}$

$\varphi = 14^{\circ}34'41''\text{N.}$

$\lambda = 120^{\circ}58'33''\text{E.}$

$h = 2,4 \text{ m.}$

sous-sol : alluvions.

Appareil.

Pendule astatique de Wiechert (masse : 1.000 kg.). (Composantes N. et E.)

Correction de la pendule : — 2 s.

Constantes*.

	T_0	v.	V_0	O.
N...	6,25	2,906	—	+ ↓ → —
E...	6,18	2,393	—	+ ↓ → —

Phases.

N.		E.	
Ph.	t.	Ph.	t.
e P...	h m s 12 11 26,5	e P....	h m s 12 11 29
		e S....	h m s 12 15 40
		vers 12 16 (20) plume sautée.	

(11)

Maebasi.

$\Delta = 2997 \text{ km.}$

$\varphi = 36^{\circ}24'\text{N.}$

$\lambda = 139^{\circ}04'\text{E.}$

$h = 111,7 \text{ m.}$

sous-sol : terre molle.

Appareil.

Pendule horizontal Omori. (Composantes N. et E.)

Correction de la pendule : + 10 s (?).

Constantes.

	T_0	V_0	O.
N...	4,1	100	+ ↓ → —
E...	4,1	100	+ ↓ → —

Phases

Ph.	t.	Ph.	t.
e P...	h m s 12 12 06	e P....	h m s 12 12 05
i S...	12 16 51	i S....	12 16 52

(12) **Tokio** (Institut sismologique). $\Delta = 3071$ km.

$\varphi = 35^{\circ}42'40''$ N. $\lambda = 139^{\circ}45'59''$ E. $h = 18,9$ m.

sous-sol : argile (diluvium).

Appareils.

Pendules horizontaux Omori. (Composantes N. et E.)

Sismographe vertical Omori.

Pendule Omori. (Résultante du mouvement horizontal.)

Constantes.

Phases.

	T_0	V_0	O.
E...	61,5	10,3	
N...	32	10	
E...	28	11,6	
N...	48,5	15,6	
E...	40*	30*	
Z...	16	15,2	
H...	19	18	

Ph.	t.
	h m s
P....	12 11 41
PR ₁ ...	12 12 44
PR ₂ ...	12 13 (13)
S....	12 16 25
SR ₁ ...	12 17 52
SR ₂ ...	12 18 33

(13)

Tyosi.*

$\Delta = 3167$ km.

$\varphi = 35^{\circ}44'$ N.

$\lambda = 140^{\circ}51'$ E.

$h = 18,2$ m.

sous-sol : glaise (tertiaire).

Appareils.

Pendules horizontaux Omori.

Sismographe vertical Omori.

Ph.	t.
	h m s
P....	12 11 47
S....	12 16 35

(14) **Mizusawa.** $\Delta = 3184 \text{ km.}$

$\varphi = 39^{\circ}08'03,6''$ $\lambda = 141^{\circ}07'41''\text{E.}$ $h = 61,0 \text{ m.}$
 sous-sol : (quaternaire).

Appareils.

Deux pendules horizontaux Omori. (Composantes N. et E.)¹

Correction de la pendule : + 29 s.

Constantes.

	M.	T ₀	V ₀	O.
N..	17,6	37	20	↑ - → +
E..	45,0	16	100	↑ - → +

Phases.

N.		E.	
Ph.	t.	Ph.	t.
e P.	12 ^h 11 ^m 50 ^s	e P.	12 ^h 12 ^m 05 ^s

(15) **Mukaiyama** (Tohoku Impérial University, Sendai).^{*} $\Delta = 3286 \text{ km.}$

$\varphi = 38^{\circ}14'38''\text{N.}$ $\lambda = 140^{\circ}51'56''\text{E.}$ $h = 88 \text{ m.}$
 sous-sol : glaise.

Appareils.

Pendule horizontal Omori. (Composantes N. et E.)

Sismographe vertical Omori.

Pendule inversé de Wiechert. (Composantes N. et E.)

Sismographe vertical Wiechert.

Constantes.

Omori... { N..... V = 100
 { E..... 20
 { Z..... 10

Wiechert. { N. et E. V = 120
 { Z..... 280

Phases.

Ph.	t.
i P...	12 ^h 11 ^m 56 ^s
S...	12 16 51

¹. Type décrit dans la « Publication of the Earthquake Investigation Committee in Foreign language », n° 5, p. 8.

(16)

Otomari.*

$\Delta = 3293$ km.

$\varphi = 46^{\circ}39'N.$

$\lambda = 142^{\circ}46'E.$

$h = 35,7$ m.

soul-sol : tuf (tertiaire).

Appareil.

Pendule horizontal Omori. (Composantes N. et E.)

Constantes*.

	T_0	V_0
N ...	28-31	20
E ...	27-30	60

Phases.

Ph.	t.
P	$\begin{matrix} h & m & s \\ 12 & 11 & 54 \end{matrix}$
S.....	$\begin{matrix} h & m & s \\ 12 & 16 & 49 \end{matrix}$

(17)

Kodaikanal.

$\Delta = 4026$ km.

$\varphi = 10^{\circ}13'50''N.$

$\lambda = 77^{\circ}28'00''E.$

$h = 2343$ m.

sous-sol : roche.

Appareil.

Sismographe Milne. (Composante E.) 1 heure = \sim 58 mm.

Constantes*.

T_0	V_0
—	9,76

Phases.

Ph.	t.
e P...	$\begin{matrix} h & m & s \\ 12 & 13 & (17) \end{matrix}$

(18)

Batavia.

$\Delta = 4693$ km.

$\varphi = 6^{\circ}11'00''$ S.

$\lambda = 7^{\text{h}}07^{\text{m}}19^{\text{s}}$ E.

$h = 8$ m.

sous-sol : quaternaire de rivièrè.

Appareil.

Pendule horizontal de Wiechert (masse : 1.000 kg.). (Composantes N. et E.)

Correction de la pendule : — $5^{\text{m}}50^{\text{s}},5$: temps moyen de Batavia,
 $7^{\text{h}}13^{\text{m}}09,3^{\text{s}}$: temps moyen de Greenwich.

Constantes.

	T_0	v.	V_0	O.
N.....	7,9	4,0	209	$\begin{array}{c} + \\ \downarrow - \end{array}$
E.....	7,8	4,4	218	$\begin{array}{c} - \\ \downarrow + \end{array}$

Phases.

	N.		E.	
Ph.	t.		Ph.	t.
<i>i</i> P....	$\begin{array}{c} \text{h} \quad \text{m} \quad \text{s} \\ 12 \quad 13 \quad 49 \end{array}$		<i>i</i> P....	$\begin{array}{c} \text{h} \quad \text{m} \quad \text{s} \\ 12 \quad 13 \quad 49 \end{array}$
S....	$\begin{array}{c} 12 \quad 20 \quad 21^{\text{t}} \end{array}$		S....	$\begin{array}{c} 12 \quad 20 \quad 21 \end{array}$

(19)

Malabar.

$\Delta = 4811$ km.

$\varphi = 7^{\circ}13'$ S.

$\lambda = 107^{\circ}37'$ E.

Appareil.

Pendule de Wiechert (masse : 100 kg.). (Composantes N. et E.)

Correction de la pendule² : — 3s. : temps moyen de Java Central. — $7^{\text{h}}19^{\text{m}}17,5^{\text{s}}$: temps moyen de Greenwich.

Phases.

	N.		E.	
Ph.	t.		Ph.	t.
P....	$\begin{array}{c} \text{h} \quad \text{m} \quad \text{s} \\ 12 \quad 13 \quad 58 \end{array}$		P.....	$\begin{array}{c} \text{h} \quad \text{m} \quad \text{s} \\ 12 \quad 13 \quad 58 \end{array}$
<i>e</i> S....	$\begin{array}{c} 12 \quad 20 \quad 30 \end{array}$		S.....	$\begin{array}{c} 12 \quad 20 \quad 30 \end{array}$
			SR ₁	$\begin{array}{c} 12 \quad 23 \quad 29 \end{array}$

1. Interprétation faite par l'Observatoire de Batavia ; cette partie de l'inscription n'est pas visible sur la reproduction reçue.

2. Pendule peu exacte.

(20)

Abisko.

$\Delta = 6194 \text{ km.}$

$\varphi = 68^{\circ}20,5'N.$

$\lambda = 18^{\circ}49,3'E.$

$h = 385 \text{ m.}$

sous-sol : couche de 5 m. d'épaisseur d'ardoises ou schistes
(schistes d'Abisko).

Appareils.

Pendule de Wiechert 130 kg. (Composante N.)

Deux pendules horizontaux à enregistrement galvanométrique de Galitzine.
(Composantes N. et E.) 24 mm. = 1 minute.

Correction de la pendule : + 42^s,6.

Constantes*.

	A_1^{mm}	T_1	$T.$	μ^2	F.	O.
Galitzine N. et E.	1274	11,9	11,9	$\approx + 0,06$	1100	

$$F = \frac{k A_1 T}{4 \pi l}$$

	T_0	v.	V_0
Wiechert, N..	9	5	80

Phases.

N.			E.		
Ph.	t.	App.	Ph.	t.	App.
P...	$12^h 15^m 27^s$	G.	iP...	$12^h 15^m 26^s$	G.
iS...	12 23 07	»	ePR ₁ .	12 17 20	»

(21) **Lemberg.** $\Delta = 6476$ km.

$\varphi = 49^{\circ}50'11''$ N. $\lambda = 24^{\circ}01'$ E. $h = 312$ m.

sous-sol : 5 m. sable et grès (diluvien et tertiaire), reposant sur de la marne compacte (crétacé).

Appareil.

Pendule horizontal Bosch-Omori. (Composantes N. et E.)¹

Correction de la pendule : $+ 1^m45^s$.

Constantes.

	T_0	v.	V_0	O.
E..	30	3,1	10	$\begin{array}{c} - \\ \rightarrow \\ + \\ \downarrow \end{array}$

Phases.

E.	
Ph.	t.
	$\begin{array}{ccc} h & m & s \\ \hline & & \end{array}$
P...	12 15 42
e PR ₁ .	12 17 55
S...	12 23 36
e SR ₁ .	12 27 34

(22) **Upsal.** $\Delta = 6499$ km.

$\varphi = 59^{\circ}51'29''$ N. $\lambda = 17^{\circ}37'37''$ E. $h = 14$ m.

sous-sol : pilier de granite reposant directement sur la roche cristalline.

Appareil.

Pendule astatique de Wiechert (masse : 1.000 kg.). (Composantes N. et E.)

Correction de la pendule : $+ 35$ s.

Constantes.

	T_0	v.	V_0	O.
N..	10,1	3,7	194	$\begin{array}{c} \uparrow - \\ \rightarrow \\ + \\ \downarrow \end{array}$
E..	9,6	3,8	194	$\begin{array}{c} \uparrow + \\ \rightarrow \\ - \\ \downarrow \end{array}$

1. La composante N. n'a pas fonctionné.

Phases.

N.		E.	
Ph.	t.	Ph.	t.
	h m s		h m s
<i>e P</i> ...	12 15 43	<i>P</i> ...	12 15 40,5
<i>PR</i> ₁ ..	12 18 00	<i>PR</i> ₁ ..	12 18 05
<i>PR</i> ₂ ..	12 19 20	<i>PR</i> ₂ ..	12 19 20
<i>i S</i> ...	12 23 38	<i>i S</i> ...	12 23 38
<i>SR</i> ₁ ..	12 27 2(4)	<i>i SR</i> ₁ ..	12 27 22
		<i>e SR</i> ₂ ..	12 29 2(9)

(23)

Helwan.

$\Delta = 6788$ km.

$\varphi = 29^{\circ}51'34''$ N.

$\lambda = 31^{\circ}20'30''$ E.

$h = 116$ m.

sous-sol : limon.

Appareil.

Sismographe Milne. (Composantes N. et E.) 25 cm. = 1 heure.

Phases.

Ph.	t.
Début...	h m s 12 15,8

(24)

Athènes.*

$\Delta = 7014$ km.

$\varphi = 37^{\circ}58'20''$ N.

$\lambda = 23^{\circ}43'00''$ E

$h = 95$ m.

sous-sol : calcaire.

Appareil.

Pendule biflaire Mainka. (Composantes N. et E.)

Constantes.

	M.	T ₀	v.	V ₀
N..	136	5,9	3,9	77
E..	136	6,5	4,0	64

Phases.

Ph.	t.	T.	A _N	A _E
	h m s			
<i>e P</i> ...	12 16 12			
<i>S</i> ...	24 47	7,5	+ 23	+ 11
<i>i</i> ...	24 54	8		+ 57
<i>i</i> ...	24 58	8	- 133	
<i>SR</i> ₁ ..	28 57			
<i>SR</i> ₂ ..	31 40			

(25)

Iéna.

$\Delta = 7236$ km.

$\varphi = 50^{\circ}55'36''$ N.

$\lambda = 11^{\circ}35'03''$ E.

$h = 154,2$ m.

sous-sol : limon.

Appareils.

Pendule de Wiechert (masse: 1.200 kg.). (Composantes N. et E.) V. = 200.

Sismographe vertical Straübel. V. = 2.000.

Phases.

Ph.	t.
	h m s
i P ...	12 16 25
i S ...	12 25 19

(26)

Padoue.*

$\Delta = 7507$ km.

$\varphi = 45^{\circ}24'02,5''$ N.

$\lambda = 11^{\circ}52'18''$ E.

$h = 20$ m.

sous-sol : alluvions.

Appareils.

A. Microséismographe Vicentini apériodique. (Composantes N. et E.)

B. Microséismographe Vicentini. (Composantes N., E. et Z.)

Constantes.

	M.	T_0	V.
A. N. et E..	400	6,7	95-104
B. { Z.	100	1,2	136-151
{ N. et E..	100	2,3	114-118

Phases.

Z.			N. et E.			
Ph.	t.	A mm	Ph.	t.	A mm	App.
P.	12 16 49	3,8	P.	12 16 49	38,4	B
m.	12 18 06		m.	12 18 49		B

(27)

De Bilt.

$\Delta = 7560$ km.

$\varphi = 52^{\circ}06'N.$

$\lambda = 5^{\circ}11'E.$

$h = 3$ m.

sous-sol : sable.

Appareils.

Deux sismographes horizontaux à enregistrement galvanométrique de Galitzine. (Composantes N. et E.)

Un pendule astatique de Wiechert. (Composantes N. et E.)

Deux pendules horizontaux de Bosch. (Composantes N. et E.)

Correction de la pendule : $-4,5$ s.

Constantes.

	l mm	A_1 mm	T_1	$T.$	μ^2	k	O.
Galitzine	N. 123,1	1380	24,4	24,6	+ 0,01	10,9	
	E. 122,6	1380	25,0	24,7	+ 0,06	10,7	

	M.	T_0	v.	V_0	O.
Wiechert	N. 200	5	4	170	
	E. 200	5	4	200	
Bosch...	N. 25	18	4	20	
	E. 25	18	4	20	

Phases.

N.			E.		
Ph.	t.	App.	Ph.	t.	App.
P	^h 12 ^m 16 ^s 52,5	G.	P	^h 12 ^m 16 ^s 52,5	G.
PR ₁ . . .	12 19 06	G.	PR ₁ . . .	12 19 06	G.
PR ₂ . . .	12 20 50,5	G.	PR ₂ . . .	12 20 50	G.
S	12 25 44,5	G.	S	12 25 47	G.
			SR ₁ . . .	12 29 58	W.
SR ₂ . . .	12 33 (17)	W.	SR ₂ . . .	12 33 23	W.

(28) **Valle di Pompei (Naples)*** $\Delta = 7573$ km.

$\varphi = 40^{\circ}44'50''N$ $\lambda = 14^{\circ}30'06,9''E$. $h = 12,1$ m.

sous-sol : cendres et tufs du Vésuve.

Appareils*.

Tronométopraphe Omori-Alfani. (Composantes N. et E.)

Microsismographe Vesuvio. (Composante N. W.)

Pendule Navarro-Neumann. (Composante E.)

Pendule Mercalli. (Composante N.)

Ortosismographe Alfani. (Composante Z.)

Constantes*.

		M.	T ₀	V ₀	mm par s.
O.-A.	N	225	10	80	0,26
	E	225	10	80	0,26
Ve . .	N. W..	500	2,5	270	1,50
N.-N.	E	850	1,9	320	0,30
M . . .	N	500	2,0	270	1,80
A . . .	Z	200	1,9	200	0,26

Phases.

Ph.	t.	T.	A _E
P	^h 12 ^m 18 ^s 00	3,5	60
S	12 27 00	6,0	120

(29) **Coire (Chur).*** $\Delta = 7584$ km.

$\varphi = 46^{\circ}50'55''$ N. $\lambda = 9^{\circ}32'20''$ E. $h = 630$ m.

sous-sol : roche découverte (schiste des Grisons).

Appareil.

Pendule horizontal Bosch. (Composante E.) 1,5 cm = 1 minute.

Constantes. *

M.	T_0	V.
100	—	96

Phases.

Ph.	t.
e P...	12 ^h 16 ^m 55 ^s
S...	12 25 52

(30) **Strasbourg.** $\Delta = 7601$ km.

$\varphi = 48^{\circ}35'05''$ N. $\lambda = 7^{\circ}45'57''$ E. $h = 135$ m.

sous-sol : gravier.

Appareils.

Pendule vertical de Wiechert.

Pendule astatique de Wiechert. (Composantes N. et E.)

Pendules Mainka. (Composantes N. et E.)

Correction de la pendule : -13° .

Constantes.

		M.	T_0	v.	V_0	O.
Wiechert...	Z.....	1200	3,4	9,7	356	$\begin{array}{c} - \\ \rightarrow \\ + \end{array}$
	N.....	1000	10,1	3,2	222	$\begin{array}{c} - \\ \rightarrow \\ + \end{array}$
	E.....	1000	10,9	3,5	177	$\begin{array}{c} + \\ \rightarrow \\ - \end{array}$
Mainka	N.....	450	5,0	3,2	114	$\begin{array}{c} - \\ \rightarrow \\ + \end{array}$
	E.....	450	8,2	3,2	118	$\begin{array}{c} - \\ \rightarrow \\ + \end{array}$

Phases.

Z.		N.			E.		
Ph.	t.	Ph.	t.	App.	Ph.	t.	App.
<i>i P...</i>	12 ^h 16 ^m 49 ^s	<i>e P...</i>	12 ^h 16 ^m 57,5 ^s	W.	<i>e P...</i>	12 ^h 16 ^m 53 ^s	W.
		<i>e PR₁</i>	12 19 41	»	<i>PR₁</i>	12 19 34	»
		<i>i S...</i>	12 25 46	»	<i>PR₂</i>	12 20 47	»
		<i>e SR₁</i>	12 30 29	»	<i>SR₁</i>	12 30 24	»
		<i>SR₂</i>	12 33 09	»	<i>SR₂</i>	12 33 12	»

(34)

Zurich.

$\Delta = 7618 \text{ km.}$

$\varphi = 47^{\circ}22'07,2''N.$

$\lambda = 8^{\circ}34'49,5''E.$

$h = 604,2 \text{ m.}$

sous-sol : grès et marne (sarmatien, miocène).

Appareils.

Pendule vertical Spindler et Hoyer-Wiechert.

Pendules Bosch-Mainka. (Composantes N. et E.)

Correction de la pendule : + 55,0°.

Constantes.

	M.	T ₀	v.	V ₀	O.
Z.....	80	3,1	3,0	111	$\begin{array}{c} - \\ \downarrow \\ + \end{array}$
N....	450	5,0	4,0	226	$\begin{array}{c} - \\ \downarrow \\ + \end{array}$
E.....	450	4,9	8	237	$\begin{array}{c} - \\ \uparrow \\ + \end{array}$

Phases.

Z.		N.		E.	
Ph.	t.	Ph.	t.	Ph.	t.
<i>e P...</i>	12 16 50	<i>e P...</i>	12 ^h 16 ^m 50,5 ^s	<i>e P...</i>	12 ^h 16 ^m 50,5 ^s
		<i>e S...</i>	12 25 50,5	<i>e PR₂</i>	12 21 08
		<i>SR₁</i>	12 30 17	<i>S...</i>	12 25 50
		<i>e SR₂</i>	12 33 21	<i>SR₁</i>	12 30 17
				<i>SR₂</i>	12 33 28

(32)

Florence.*

$\Delta = 7636 \text{ km.}$

$\varphi = 43^{\circ}46'40''\text{N.}$

$\lambda = 11^{\circ}15'24''\text{E.}$

$h = 48 \text{ m.}$

sous-sol : alluvions.

Appareils.

Tromométrographe Omori (masse : 250 kg.).
(Composantes NE-SW et NW-SE.)

Instrument apériodique Alfani. (Composantes N, et E.)

Ortosismomètre Alfani. (Une composante.)

Phases.

Ph.	t.
P	h m s 12 17 00
S	12 26 00

(33)

Rocca di Papa.

$\Delta = 7647 \text{ km.}$

$\varphi = 41^{\circ}45,5'\text{N.}$

$\lambda = 12^{\circ}43'\text{E}$

$h = 760 \text{ m.}$

sous-sol : lave.

Appareils.

Microsismométrographe universel Agamennone.

(Trois composantes Z, N, E.)

Microsismométrographe Agamennone (masse : 2.000 kg.).

(Deux composantes N, E.)

Pendule horizontal Agamennone (masse : 3.000 kg.). (Composante N.)

Correction de la pendule : $+ 3^m40^s$.

Constantes.

	M.	T_0	V_0	O.	
Microsismométrographe universel. Trois composantes.	Z . . .	250	4	100	+ —
	N . . .	500	8	100	+ —
	E . . .	450	8	100	— +
Microsismométrographe. Deux composantes.	N . . .	2000	2,3	400	— +
	E . . .	2000	2,3	400	— +
Pendule horizontal	N . . .	3000	15	110	— +

Phases.

Z.		N.			E.		
Ph.	t.	Ph.	t.	App.	Ph.	t.	App.
P....	12 ^h 16 ^m 45 ^s	P...	12 ^h 16 ^m 47 ^s	<i>Un Ag.</i>	P...	12 ^h 16 ^m 47 ^s	<i>Un Ag.</i>
		<i>i S...</i>	12 25 40	<i>Pend. hor.</i>	<i>e PR₁</i>	12 19 27	»
		S...	12 25 45	<i>Un Ag. et Ag.</i>	S...	12 25 45	»
		SR ₁ ..	12 29 59	<i>Ag.</i>			
			12 30 03	<i>Un Ag.</i>			
		<i>i SR₂</i> ..	12 33 22	<i>Un Ag.</i>			
		SR ₂ ..	12 33 26	<i>Ag.</i>			

(34)

Dyce, Aberdeen.

$\Delta = 7653$ km.

$\varphi = 57^{\circ}13'N.$

$\lambda = 2^{\circ}10'W.$

$h = 53,3$ m.

sous-sol : gravier.

Appareil.

Sismographe horizontal Mainka (masse : 450 kg.). (Composantes N. et E.)

Correction de la pendule : + 8°.

Constantes.

	T ₀	v.	V ₀
N.....	10	—	150
E.....	10	—	150

Phases.

N.		E.	
Ph.	t.	Ph.	t.
<i>e P</i>	12 ^h 16 ^m 57 ^s	P...	12 ^h 16 ^m 56 ^s
<i>e PR₂</i> ..	12 21 04	<i>e PR₂</i> ..	12 21 04
S....	12 25 56	S...	12 25 59
SR ₁ ..	12 30 23	SR ₁ ..	12 30 21
<i>e SR₂</i> ..	12 32 53	<i>i SR₂</i> ..	12 33 40
<i>i SR₂</i> ..	12 33 20		

(35)

Uccle.

$\Delta = 7677 \text{ km.}$

$\varphi = 50^{\circ}47'55''\text{N.}$

$\lambda = 4^{\circ}21'31''\text{E.}$

$h = 100 \text{ m.}$

sous-sol : sable.

Appareils.

Un pendule vertical Wiechert (masse : 1.300 kg.).

Un pendule astatique de Wiechert.

Deux pendules horizontaux à enregistrement galvanométrique de Galitzine.

(Composantes N. et E.)

Correction de la pendule : $- 1,2^{\circ}$.

Constantes.

		l mm.	A_1 mm.	T_1	T	μ^*	k	O.
Galitzine .	N....	124,8	1030	24,5	25,6	-0,12	45,8	$\begin{array}{c} - \\ \rightarrow \\ + \\ \downarrow \end{array}$
	E....	124	1030	24,5	24,7	-0,10	43,9	$\begin{array}{c} + \\ \rightarrow \\ - \\ \downarrow \end{array}$

		T_0	v.	V_0	O.
Wiechert..	Z....	4,8	3,0	159	$\begin{array}{c} - \\ \rightarrow \\ + \\ \downarrow \end{array}$
	N....	11,2	4,1	149	$\begin{array}{c} - \\ \rightarrow \\ + \\ \downarrow \end{array}$
	E....	10,2	3,7	163	$\begin{array}{c} + \\ \rightarrow \\ - \\ \downarrow \end{array}$

Phases.

Z.		N.			E.		
Ph.	t.	Ph.	t.	App.	Ph.	t.	App.
$i P \dots$	$12^{\text{h}} 16^{\text{m}} 54^{\text{s}}$	P...	$12^{\text{h}} 16^{\text{m}} 56^{\text{s}}$	G.	P....	$12^{\text{h}} 16^{\text{m}} 54,5^{\text{s}}$	G.
		$e PR_1$	$12 19 01,5$	G.	PR_1 ...	$12 18 54$	G.
		$e PR_2$	$12 21 14,0$	G.	PR_2 ...	$12 20 59$	G.
		$i S \dots$	$12 25 57$	G.	S.	$12 25 57$	G.
		SR_2	$12 32 51$	W.	SR_1 ...	$12 30 17$	W.

(36) **Besançon.** $\Delta = 779^2$ km.

$\varphi = 47^{\circ}14'59''$ N. $\lambda = 5^{\circ}59'02''$ E. $h = 311$ m.

sous-sol : mince couche d'argile reposant sur des marnes et des calcaires.

Appareils.

Pendule bifilaire Mainka (masse : 130 kg.). (Composantes N. et E.)

Correction de la pendule : + 51,5^s.

Phases.

Ph.	N.			Ph.	E.		
	t.				t.		
<i>e</i> P. . . .	h	m	s	<i>e</i> P. . . .	h	m	s
<i>e</i> PR ₁ . .	12	17	03	<i>e</i> PR ₁ . .	12	17	03,5
<i>e</i> PR ₂ . .	12	19	51	<i>e</i> PR ₂ . .	12	19	51
<i>e</i> S. . . .	12	21	36	S	12	26	11
SR ₁ . . .	12	26	16	<i>e</i> SR ₁ . .	12	30	52
SR ₂ . . .	12	30	52	<i>e</i> SR ₂ . .	12	33	52
	12	33	48				

(37) **Neuchâtel.*** $\Delta = 7804$ km.

$\varphi = 46^{\circ}59'51''$ N. $\lambda = 6^{\circ}55'48,5''$ E. $h = 488$ m.

sous-sol : roche compacte.

Appareil.

Pendule horizontal bifilaire Mainka. (Composantes N. et E.)

(1 minute = 30mm.).

Constantes.*

	M.	T ₀	V ₀
N. . . .	146	7,2	46
E. . . .	146	6,1	65

Phases.

Ph.	t.
Début.	h m s
	12 17 06

(38) **Parc Saint-Maur.** $\Delta = 7916$ km.

$\varphi = 48^{\circ}48'34''N$ $\lambda = 2^{\circ}29'37''E$. $h = 47$ m.

sous-sol : calcaire du bassin de Paris.

Appareil.

Pendule astatique de Wiechert (masse : 1.000 kg.). (Composantes N. et E.)

Correction de la pendule : $- 1^{\text{m}}09^{\text{s}}$.

Constantes.

	T_0	v.	V_0	O.
N..	10,3	4,2	227	$\begin{array}{c} - \\ \rightarrow \\ + \\ \downarrow \end{array}$
E..	10,9	4,5	240	$\begin{array}{c} - \\ \rightarrow \\ + \\ \downarrow \end{array}$

Phases.

N.		E.	
Ph.	t.	Ph.	t.
	h m s		h m s
P.....	12 17 09	P...	12 17 09
PR ₁	12 19 37	e PR ₁ ..	12 19 37
PR ₂	12 21 03	e PR ₂ ..	12 21 (04)
S.....	12 26 03	i S.....	12 26 03
SR ₁	12 30 51	SR ₁ ..	12 30 51
SR ₂	12 34 21	SR ₂ ..	12 34 21

(39) **Oxford.** $\Delta = 7951$ km.

$\varphi = 51^{\circ}45'34,2''N$. $\lambda = 1^{\circ}15'06''W$. $h = 64$ m.

sous-sol : non déterminé.

Appareil.

Sismographe Milne-Shaw. Composante E.

Correction de la pendule : $+ 18^{\text{s}}$.

Constantes.

T_0	V.
12	260

Phases.

Ph.	t.
	h m s
P...	12 17 13
PR ₁ .	12 20 00
PR ₂ .	12 21 42
i S...	12 26 08

(40)

Marseille.

$\Delta = 8068$ km.

$\varphi = 43^{\circ}18'17''$ N.

$\lambda = 5^{\circ}23'38''$ E.

$h = 75$ m.

sous-sol : calcaire.

Appareil.

Pendule horizontale Mainka (masse : 133 kg.). (Composantes N. et E.)

Correction de la pendule : le 15 à 7^h52^m : 0^s; le 18 à 12^h57^m : — 10^s.

Phases.

N.		E.	
Ph.	t.	Ph.	t.
	h m s		h m s
e P....	12 17 28,5	e P...	12 17 28,5
S....	12 26 51	e PR ₁ .	12 20 21,5
SR ₁ ..	12 31 24	e S...	12 26 54
SR ₂ ..	12 34 55	SR ₁ .	12 31 28
		SR ₂ .	12 35 02

(44)

Clermont-Ferrand.

$\Delta = 8075$ km.

$\varphi = 45^{\circ}46'28''$ N.

$\lambda = 2^{\circ}58'01''$ E.

$h = 400$ m.

sous-sol : basalte (quaternaire).

Appareil.

Pendule Bosch-Mainka (masse : 130 kg.). (Composantes N. et E.)

Correction de la pendule : $- 13^{\circ}$.

Constantes.

	T_0	$v.$	V_0	O.
N.....	9,3	2,8	91	
E.....	9,0	3,1	90	

Phases.

N.		E.	
Ph.	t.	Ph.	t.
<i>e</i> P....	h m s 12 17 25 ^s	P...	h m s 12 17 23 ^s
<i>e</i> PR ₁ ..	12 20 1(7)	PR ₁ ..	12 20 17
S....	12 26 38	<i>e</i> S....	12 26 3(5)
SR ₁ ..	12 31 14	SR ₁ ..	12 31 17
SR ₂ ..	12 34 47	SR ₂ ..	12 34 47

(42)

Barcelone.

$\Delta = 8409$ km.

$\varphi = 41^{\circ}25'06''$ N.

$\lambda = 2^{\circ}08'$ E.

$h = 405$ m.

sous-sol : Schiste (paléozoïque).

Appareil.

Pendule bifilaire Mainka. (Composantes N. et E.)

Correction de la Pendule : $- 3^{\circ}$.

Constantes.

	M.	T_0	v.	V_0	O.
N	141,2	9,1	3,5	78	$\begin{array}{c} - \\ \downarrow \\ + \end{array}$
E	141,1	8,6	4,5	65	$\begin{array}{c} - \\ \downarrow \\ + \end{array}$

Phases.

N.		E.	
Ph.	t.	Ph.	t.
	$\begin{array}{c} h \\ m \\ s \end{array}$		$\begin{array}{c} h \\ m \\ s \end{array}$
e	12 17 48	e P	12 17 39
e PR ₁	12 20 38	e PR ₁	12 20 36
e PR ₂	12 22 5(2)	e PR ₂	12 22 43
S	12 27 18	S	12 27 18
e SR ₁	12 32 06	SR ₁	12 31 53
SR ₂	12 35 26	e SR ₂	12 35 26

(43)

Alger.

$\Delta = 8646$ km.

$\varphi = 38^{\circ}48'04''$ N.

$\lambda = 3^{\circ}02'$ E.

$h = 332$ m.

sous-sol : massif azoïque : schistes cristallins et calcaires métamorphiques.

Appareil.

Pendule horizontale Bosch-Mainka (masse : 400 kg.). (Composantes N. et E.)

Correction de la pendule : $+ 2^{\circ}$.

Constantes.

	T_0	v.	V_0	O.
N	8,0	—	145	$\begin{array}{c} + \\ \downarrow \\ - \end{array}$
E	8,0	—	145	$\begin{array}{c} + \\ \downarrow \\ - \end{array}$

Phases.

N.		E.	
Ph.	t.	Ph.	t.
	h m s		h m s
<i>e</i> P....	12 17 47	P...	12 17 46
<i>e</i> PR ₁ ..	12 20 22	<i>e</i> PR ₁ ..	12 20 22
<i>i</i> S....	12 27 38	S....	12 27 39
<i>e</i> SR ₁ ..	12 32 38	SR ₁ ..	12 32 42
<i>e</i> SR ₂ ..	12 36 02	SR ₂ ..	12 36 02

(44) **Sydney*, N. S. W.** $\Delta = 9102$ km.

$\varphi = 33^{\circ}49'49''$ S. $\lambda = 151^{\circ}09'30''$ E. $h = \simeq 41,9$ m.

sous-sol : grès triasique.

Appareils.

Pendule astatique de Wiechert. (Composantes N. et E.)

Pendule vertical de Wiechert.

Pendules horizontaux de Mainka. (Composantes N. et E.)

Pendules Galitzine à enregistrement galvanométrique.

(Composantes N., E. et Z.)

Constantes.

		M.	T ₀	v.	V ₀
Wiechert...	N....	1000	8,7	6,8	151
	E ...	1000	8,7	5,8	164
Mainka	N ...	450	9,0	4,0	121
	E ...	450	10,5	2,3	151
Wiechert...	Z....	80	5,3	4,6	80

Phases.

Ph.	t.	T.	A _Z	A _N	A _E
	h m s				
<i>e</i> P....	12 18 15	3,6			
<i>i</i> P....	18 21	3	+3,5		
	18 36	3	9		
PR ₁ ..	21 32	4		5	2,5
<i>i</i> S....	28 28	8			- 18
<i>i</i>	28 35	8		-2,9	
<i>i</i>	28 42	8			+130
	28 43	8		70	15
PS..	29 17	8		22	40
<i>e</i> SR ₁ ..	33 20	30			
	34 30	32		560	370

(45) **Coimbra.** $\Delta = 9184$ km.

$\varphi = 40^{\circ}12'25''N.$ $\lambda = 8^{\circ}25'30''W.$ $h = 140$ m.

sous-sol : grès triasique.*

Appareil.

Pendule astatique de Wiechert (masse : 1.000 kg.). (Composantes N. et E.)

Correction de la pendule : $+ 1^m54^s$.

Constantes.

	T_0	v.	V_0	O.
N...	13,8	6,6	138,0	$\begin{array}{c} + \\ \rightarrow \\ \downarrow - \end{array}$
E...	12,9	7,0	130,5	$\begin{array}{c} - \\ \rightarrow \\ \downarrow + \end{array}$

Phases.

Ph.	N ¹ .		
	t.		
	h	m	s
P...	12	18	12
PR ₁ ...	12	21	22
PR ₃ ...	12	24	31
i S...	12	28	23
SR ₁ ...	12	33	35
SR ₂ ...	12	37	19

(46) **San Fernando.** $\Delta = 9314$ km.

$\varphi = 36^{\circ}27'42''N.$ $\lambda = 6^{\circ}12'19,5''W.$ $h = 28,5$ m.

sous-sol : roche calcaire.

Appareils.

Sismographes Milne. (Composantes N. et E.)

Correction de la pendule : $+ 7^s$ (N. : 1 minute = 4^m ; E. : 1 minute = 1^m ; une interruption par heure).

Constantes.

	M.	T_0	V_0
N...	1	20	7
E...	1	19	7

Phases.

Ph.	N.		
	t.		
	h	m	s
e P...	12	18	2(7) ^s
e S...	12	28	3(6)

1. L'enregistrement de la composante N. a été seul utilisé pour l'analyse, la composante E. étant déréglée.

(47)

Apia, Samoa.

$\Delta = 10269 \text{ km.}$

$\varphi = 13^{\circ}48'26''\text{S.}$

$\lambda = 171^{\circ}45'\text{W.}$

$h = 2 \text{ m.}$

sous-sol : couche de sable de corail, d'une épaisseur de 50 m.
reposant sur des roches volcaniques.

Appareil.

Pendule astatique de Wiechert (masse : 1.000 kg.). (Composantes N. et E.)

Correction de la Pendule : $- 1^{\text{m}}44^{\text{s}}$.

Constantes.

	T_0	v.	V_0
N.....	8,5	4,1	121
E.....	9,1	4,8	110
Z.....	2,6	2,3	64

Phases.

N.		E.		Z.	
Ph.	t.	Ph.	t.	Ph.	t.
	h m s		h m s		h m s
e P. . .	12 19 1(8)	e PR ₁ .	12 22 58	P ...	12 19 18
e PR ₁ .	12 22 16				
e PR ₃ .	12 26 16				
e S. . .	12 30 16	e S. . .	12 29 57		
e SR ₁ .	12 35 48	SR ₁ .	12 35 42		
e SR ₂ .	12 39 47	SR ₂ .	12 39 45		

(48)

Berkeley.

$\Delta = 10444 \text{ km.}$

$\varphi = 37^{\circ}52'15,9''\text{N.}$

$\lambda = 122^{\circ}15'36,6''\text{W.}$

$h = 85,4 \text{ m.}$

sous-sol : piliers de béton sur du grès dur (Franciscan).

Appareils.

Sismographe vertical de Wiechert.

Sismographe horizontal Bosch-Omori. (Composantes N. et E.)

Correction de la pendule : $+ 7^{\text{h}}56^{\text{m}}56^{\text{s}}$; temps moyen de Greenwich.

Constantes.

	M.	T ₀	v.	V ₀	O.
Z.	80	6	8	80	
N.	100	15	8	80	
E.	100	15	8	80	

Phases.

Z.		E.		N.	
Ph.	t.	Ph.	t.	Ph.	t.
P.	$\begin{matrix} \text{h} & \text{m} & \text{s} \\ 12 & 19 & 15 \end{matrix}$	S.	$\begin{matrix} \text{h} & \text{m} & \text{s} \\ 12 & 29 & 44 \end{matrix}$	e S. ...	$\begin{matrix} \text{h} & \text{m} & \text{s} \\ 12 & 29 & 48 \end{matrix}$
		SR ₁ ...	$\begin{matrix} 12 & 36 & 06 \end{matrix}$	e SR ₁ .	$\begin{matrix} 12 & 36 & 09 \end{matrix}$
		SR ₂ ...	$\begin{matrix} 12 & 40 & 11 \end{matrix}$		
		SR ₃ ...	$\begin{matrix} 12 & 43 & 27 \end{matrix}$	SR ₃ .	$\begin{matrix} 12 & 43 & 26 \end{matrix}$

(49)

Wellington.

$\Delta = 11115 \text{ km.}$

$\varphi = 41^{\circ}17'03,8''\text{S.}$ $\lambda = 174^{\circ}46'04''\text{E.}$ $h = \sim 121,9 \text{ m.}$

sous-sol : grauwacke et argillite (trias-jurassique).

Appareil.

Sismographe Milne. (Composante E.)

Correction de la pendule : $+ 0,4^{\text{m}}$ ($i^{\text{h}} = \sim 245^{\text{mm}}$, les interruptions commencent à 00^{s} et durent 10^{s}).

Constantes.

Phases.

	M.	T ₀	v.	V ₀	O.
E	0,222	15-19	$\sim 0,1$	6,1	$\begin{array}{c} + \\ \rightarrow \\ \sqrt{-} \end{array}$

Ph.	t.
(e P) . .	$\begin{array}{c} \text{h} \quad \text{m} \quad \text{s} \\ 12 \quad 20 \quad (00)^{\text{t}} \end{array}$
e PR ₁ . .	$\begin{array}{c} \text{h} \quad \text{m} \quad \text{s} \\ 12 \quad 24 \quad 1(6) \end{array}$
e S	$\begin{array}{c} \text{h} \quad \text{m} \quad \text{s} \\ 12 \quad 30 \quad 3(0) \end{array}$

(50)

Le Cap.

$\Delta = 11904 \text{ km.}$

$\varphi = 33^{\circ}56'03,5''\text{S.}$ $\lambda = 18^{\circ}28'41,4''\text{E.}$ $h = 13 \text{ m.}$

sous-sol : ardoise (Malmesbury).

Appareil.

Sismographe Milne. (Une composante.)

Correction de la pendule : $- 2^{\text{m}}06^{\text{s}}$; $i^{\text{h}} = \sim 117^{\text{mm}}$.

Phases.

Ph.	t.
(e)	$\begin{array}{c} \text{h} \quad \text{m} \quad \text{s} \\ 12 \quad 2(0,0) \end{array}$
e S	$\begin{array}{c} \text{h} \quad \text{m} \quad \text{s} \\ 12 \quad 30 \quad 50 \end{array}$

1. Début très faible.

(51) **Tacubaya, Mexico.** $\Delta = 13330$ km.

$\varphi = 19^{\circ}24'18''N.$ $\lambda = 99^{\circ}11'37''W.$ $h = 2320$ m.

sous-sol : série volcanique.

Appareils.

Pendules astatiques de Wiechert. (Composantes N. et E.)

Correction de la pendule : -8^s .

Constantes*.

	M.	T ₀	v.	V ₀
N. et E.	17.000	1,5	2,5	2.000
N. et E.	1.200	8,0	1,6	200

Phases.

Ph.	t.
	h m s
e.....	12 24 49
e.....	12 25 23
e S...	12 36 0(9)

(52) **Panama.** $\Delta = 14989$ km.

$\varphi = 8^{\circ}57'39''N.$ $\lambda = 79^{\circ}33'29''W.$ $h = 90,5$ m.

sous-sol : basalte.

Appareil.

Sismographe Bosch-Omori (masse : 100 kg.). (Composantes N. et E.)

Correction de la pendule : ?

Constantes*.

T ₀	V ₀
20	35

Phases.

Ph.	t ¹ .
	h m s
Début ² ..	12 25 38
S.....	12 33 44

1. Interprétation faite par l'observatoire; il n'a pas été possible de faire de nouvelles déterminations, la correction de la pendule n'étant pas connue.

2. Très faible, le début de la phase P n'est pas inscrit.

(53)

La Paz.

$\Delta = 17758 \text{ km.}$

$\varphi = 16^{\circ}29'43''\text{S.}$

$\lambda = 68^{\circ}09'10''\text{W.}$

$h = 3658 \text{ m.}$

sous-sol : alluvions anciennes.

Appareils.

Pendules horizontaux bifilaires. (Composantes N. et E.)

Correction de la pendule : + 6^s.

Constantes.

	M.	T ₀	v.	V ₀	O.
N	2.000	14	3,8	180	$\begin{array}{c} + \\ \rightarrow \\ \downarrow - \end{array}$
E	450	16	4,0	82	$\begin{array}{c} - \\ \rightarrow \\ \downarrow + \end{array}$

Phases.

N.		E.	
Ph.	t.	Ph.	t.
<i>e</i> P.	12 ^h 25 ^m 58 ^s		
PR ₁	12 30 06		
<i>e</i> PR ₂	12 32 59		
PR ₃	12 37 02		
<i>e</i> S.	12 40 40	S.	12 ^h 40 ^m 08 ^s
		SR ₁	12 49 29
SR ₂	12 56 0(0)	SR ₂	12 56 12