

CONSEIL INTERNATIONAL DE RECHERCHES

UNION GÉODÉSIQUE ET GÉOPHYSIQUE INTERNATIONALE

SECTION DE SÉISMOLOGIE

PUBLICATIONS DU BUREAU CENTRAL SÉISMOLOGIQUE INTERNATIONAL

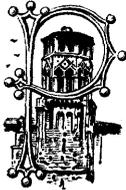
Sous la direction de E. ROTHÉ

SECRETARE DE LA SECTION DE SÉISMOLOGIE

SERIE B

MONOGRAPHIES

FASCICULE N° 2.



TOULOUSE

IMPRIMERIE ET LIBRAIRIE ÉDOUARD PRIVAT

14, RUE DES ARTS (SQUARE DU MUSÉE)

1925



LE TREMBLEMENT DE TERRE DU KAN-SOU

DU 16 DÉCEMBRE 1920

(suite)

PAR M^{lle} Y. DAMMANN,

Assistante à l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg.



ÉTUDE MICROSISMIQUE (suite).

DONNÉES COMPLÉMENTAIRES

Dairen ¹.

$\varphi \equiv 38^{\circ}54'N.$ $\lambda \equiv 121^{\circ}36'E.$ $h \equiv 97,8 \text{ m.}$
 sous-sol : quartzite.

Appareil.

Pendule horizontal Omori. (Masse 14 kg.)

Constantes.

	T_0	V_0
N....	22	20
E....	16	120

Hokoto ^{2,*}

$\Delta = 1934 \text{ km.}$

$\varphi = 23^{\circ}32'N.$ $\lambda = 119^{\circ}33'E.$ $h = 11 \text{ m.}$
 sous-sol : basalte.

Appareil.

Pendule horizontal Omori. (Composante E.)

Constantes.*

M.	T_0	V_0
6	12	6

Phases.

Ph.	t.
P.....	h m s
S.....	12 09 50
L.....	12 11 39
M.....	12 13,4
	12 16,0

1. Le séisme du 25 décembre a été seul inscrit à cette station. V. Chapitre IV.)
2. Les données relatives aux stations de : Hokoto, Nagoya, Colombo, Seychelles, Adelaïde, Sydney, Melbourne, Rio Tinto, Christchurch et Ann Arbor sont extraites de la publication : « The International Seismological Summary for 1920 », par H. H. Turner (Oxford 1925).

Calcutta* (Alipore)†.

$\Delta = 2232$ km.

$\varphi = 22^{\circ}32'N.$

$\lambda = 88^{\circ}20'E.$

$h = 6,4$ m.

sous-sol : alluvions.

Appareils.

Deux pendules horizontaux Omori-Ewing. (Composantes N. et E.)

Constantes.

	T_0	V_0
N....	18	29
E....	30	29

Phases.

Ph.	t.
P....	h m s 12 10 30
S....	12 14 12
F....	15 56 42

Nagoya.*

$\Delta = 2830$ km.

$\varphi = 35^{\circ}10'N.$

$\lambda = 136^{\circ}55'E.$

$h = 15,2$ m.

sous-sol : terre molle (quaternaire).

Appareils.

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

Constantes.*

	T_0	V_0
N. et E..	15	50

Phases.

Ph.	t.
P....	h m s 12 11 22

1. Government of India. Meteorological Department. Monthly Weather Review. December 1920. Calcutta 1923.

Bombay.*

$\Delta = 3717$ km.

$\varphi = 18^{\circ}53'36''$ N. $\lambda = 72^{\circ}48'56''$ E. $h = 11$ m.

sous-sol : grès (trias).

Appareil.

Pendule horizontal Omori-Ewing. (Composante E.)

Constantes.		Phases.									
T_0	V_0	Ph.	t.								
32	20	P	<table style="margin: auto; border: none;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center; font-size: small;">h</td> <td style="text-align: center; font-size: small;">m</td> <td style="text-align: center; font-size: small;">s</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: center;">29</td> <td></td> </tr> </table>		h	m	s	12	12	29	
	h	m	s								
12	12	29									
		S	<table style="margin: auto; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: center;">17</td> <td style="text-align: center;">39</td> <td></td> </tr> </table>	12	17	39					
12	17	39									

Colombo.*

$\Delta = 4154$ km.

$\varphi = 6^{\circ}54'18''$ N. $\lambda = 79^{\circ}52'18''$ E. $h = 7,3$ m.

sous-sol : le pilier repose sur une couche de sable compact,
pratiquement du grès,
et traverse un sol d'alluvions et de sable.

Appareil.

Sismographe Milne. (Composante E.)

Constantes* : $T_0 = 16$ s., 1 mm. amplitude = 0,5 à 0,6''.

Phases.

Ph.	t.								
P	<table style="margin: auto; border: none;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center; font-size: small;">h</td> <td style="text-align: center; font-size: small;">m</td> <td style="text-align: center; font-size: small;">s</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: center;">42</td> <td></td> </tr> </table>		h	m	s	12	12	42	
	h	m	s						
12	12	42							
S	<table style="margin: auto; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: center;">14</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td></td> </tr> </table>	12	14	30					
12	14	30							
L	<table style="margin: auto; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">12</td> <td style="text-align: center;">17,5</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	12	17,5						
12	17,5								

Königsberg¹*

$\Delta = 6514$ km.

$\varphi = 54^{\circ}50'N.$ $\lambda = 20^{\circ}30'E.$

sous-sol : quartzite.

Appareil.

Pendule astatique de Wiechert.

Constantes.

	M.	T ₀	v.	V ₀
N.....	985	9,2	4,6	257

Phases.

Ph.	t.	T.	A.
eP.....	^h 13 ^m 15 ^s 51	6	16
PR ₁	12 18 13	4	
S.....	12 23 51	8-16	
SR ₁	12 27 53	16	> 600
SR ₂	12 30 31		
L.....	12 32 30	> 20	> 1.300

Seychelles.*

$\Delta = 6872$ km.

$\varphi = 4^{\circ}05'S.$ $\lambda = 55^{\circ}05'E.$

Appareil.

Sismographe Milne. (Composante E.)

Phases.

Ph.	t.
P.....	^h 12 ^m 17 ^s 30
L.....	12 26,0

1. Les données des stations de Königsberg, Vienne, Potsdam, Hamburg, Iéna, Göttingen, Munich, Taunus, Bochum, Darmstadt-Jugenheim, Heidelberg, Hohenheim, Karlsruhe sont extraites de la Publication de la Station Centrale Sismologique de Iéna, mars 1921.

Vienne.*

$\Delta = 7057 \text{ km.}$

$\varphi = 48^{\circ}14'53''\text{N.}$

$\lambda = 16^{\circ}21'42''\text{E.}$

$h = \approx 200 \text{ m.}$

sous-sol : alluvions.

Appareils.

Sismographe vertical de Wiechert.

Pendule astatique de Wiechert.

Constantes.

	M.	T_0	v.	V_0	$\frac{r}{T_0^2}$
Z.....	1300	2,0	3,1	165	0,0010
N.....	1000	9,0	5,5	149	0,0008
E.....	1000	10,8	4,5	149	0,0004

Phases.

Ph.	t.	T.	A.
<i>e</i> P.....	^h 12 ^m 16 ^s 16		4
<i>i</i> P.....	12 16 20		
PR ₁	12 19 12		
PR ₂	12 20 07		
S.....	12 24 56	8,5	22
<i>i</i> S.....	12 24 59	22	380
<i>e</i> L.....	12 31,5	29	600
F.....	16		

Potsdam.*

$\Delta = 7071$ km.

$\varphi = 52^{\circ}22'51''$ N.

$\lambda = 13^{\circ}03'59''$ E.

$h = \approx 90$ m.

sous-sol : sable.

Appareil.

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

Correction de la pendule : ?

Constantes.

	M.	T.	v.	V_0
N.....	1000	5	4	220
E.....	1000	6	4	190

Phases.

Ph.	t.	T.	A.
e P.....	12 ^h 14 ^m 16 ^s	(2)	} N. 6 E. 22 80 > 500
i P.....	12 14 32	3-4	
i S.....	12 22,9	4	
(L).....	env. 30	20	
(M)....	40		

Hamburg.*

$\Delta = 7198$ km.

$\varphi = 53^{\circ}33'34''$ N.

$\lambda = 9^{\circ}58'52''$ E.

$h = 17$ m.

sous-sol : marne.

Appareil.

Sismographe vertical de Wiechert.

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

Constantes.

	M.	T.	v.	V_0	$\frac{r}{T_0^2}$
Z.....	1300	5,1	4,5	230	0,016
N.....	1200	9,6	4	220	0,0053
E.....	1200	9,8	4,5	230	0,0055

Phases.

Ph.	t.	T.	A.
	^h ^m ^s		
e P _Z ...	12 16 28		
i S _E ...	12 25 07		
i S _N ...	12 25 13		
i S _Z ...	12 25 18		
e SR ₁ ...	12 29 43		
e SR ₂ ...	12 32 29		
i z.....	12 35 22		
e L.....	12 37	Z 17 E 20	> 1800 > 660
F.....	16,7		

Iéna* (voir p. 73).

Phases (compléments).

Ph.	t.	T.	A.
	h m s		
<i>e</i> PR ₁ ...	12 19 00		
<i>i</i> PR ₂ ...	12 20 40		
<i>e</i> SR ₁ ...	12 29 34		
MSR ₁ ..	12 30 08	26	549
<i>e</i> SR ₂ ...	12 32		
MSR ₂ ..	12 32 26	20	552
<i>e</i> SR ₃ ...	12 34,2		
MSR ₃ ..	12 37 18	21	678
M ₁ ...	12 40 12	16	915
M ₂ ...	12 40,9	20	> 1350
	12 42,1	plumes sautées	

Göttingen.*

$\Delta = 7302$ km.

$\varphi = 51^{\circ}33'N$.

$\lambda = 9^{\circ}58'E$.

$h = 270$ m.

sous-sol : calcaire.

Appareils.

Sismographe vertical de Wiechert.

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

Constantes.

	M.	T ₀	v.	V ₀
Z.....	1300	5,1	4,6	180
N.....	1200	11,6	3,5	153
E.....	1200	12,2	4,3	162

Phases.

Ph.	t.	T.	A.
<i>e</i> P	12 ^h 16 ^m 32 ^s	Z 6 N 15 E 14	30 7 18
<i>e</i> PR ₁ . .	12 19 14		
<i>e</i> PR ₂ . .	12 20 40		
SE	12 25 04	20	187
SR ₁ . . .	12 29 34		
SR ₂ . . .	12 32 15		
SR ₃ . . .	12 33,5		
<i>e</i> L	12 34,5		
M _Z	12 45 59	16	> 3870
M _{N,E} . . .	12 39-57	11-30	> 2000
F	17 ³ / ₄		

Munich.*

$\Delta = 7377$ km.

$\varphi = 48^{\circ}08'46''$ N.

$\lambda = 11^{\circ}36'32''$ E.

$h = 528$ m.

sous-sol : débris glaciaires.

Appareil.

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

Constantes.

	M.	T ₀	v.	V ₀	$\frac{r}{T_0^2}$
N	1000	9,8	4,8	205	0,0072
E	1000	9,3	4,4	200	0,0052

Phases.

Ph.	t.	T.	A.
<i>i</i> P	12 ^h 16 ^m 44 ^s	5	1,5
<i>i</i> S _N	12 25 31	11	14,0
<i>i</i> S _E	12 25 35	11	16,8

Venise^{1,*}

$\Delta = 7403$ km.

$\varphi = 45^{\circ}25'44''$ N.

$\lambda = 13^{\circ}20'11''$ E.

sous-sol : roche argileuse.

Appareil.

Microsismographe Vicentini. (Composantes Z., N. et E.)

Constantes.*

	M.	T ₀	V ₀
Z.....	50	0,8	140
N.....	100	2,4	120
E.....	100	2,4	120

Phases.

Ph.	t.	T.	A _Z mm.	A _N mm.	A _E mm.
P _E	h m s	2,4			1,5
	12 16 07				1
	12 16 55				1,5
	12 17 31				4
	12 17 55				7
	12 18 31				3
	12 19 45				5
	12 20 37				5
M ₁	12 26 55	24			1
	12 39 55				9
M ₂	12 42 55	12	1	3	
M ₃	12 45 30			2	10
F _E	13 10				
F _Z	13 20				

1. Osservatorio Meteorologico e Geodinamico del Seminario Patriarcale di Venezia. Bollettino Mensile 1920. Venezia 1922.

Observatoire du Taunus.* $\Delta = 7467$ km

$\varphi = 50^{\circ}13'N.$ $\lambda = 8^{\circ}27'E.$ $h = 827$ m.

sous-sol : quartzite.

Appareils.

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

Constantes.

	M.	T_0	v.	V_0	$\frac{r}{T_0^2}$
N.....	450	8,1	3,5	120	0,0092
E.....	450	9,7	3,4	146	0,0096

Phases.

Ph.	t.	T.	A.
	h m s		
e P....	12 16 42		
i.....	12 16 57		
i PR...	12 19 23	7,5	12
i S....	12 25 47	11	N 130 E 30
M....	de 12 41	19	N 4000 E 1600
	à 13 01		
F....	16,5		

Bochum.*

$\Delta = 7472$ km.

$\varphi = 51^{\circ}29'28''$ N.

$\lambda = 7^{\circ}13'52''$ E.

$h = 118$ m.

sous-sol : 8 m. d'alluvions, sur des marnes calcaires (70 m.),
sur le carbonifère.

Appareil.

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

Constantes.

	M.	T_0	v.	V_0	$\frac{r}{T_0^2}$
N	200	7,5	6,7	64	0,04
E	200	6,8	5,0	67	0,03

Phases.

Ph.	t.	T.	A.
	h m s		
e P	12 16 44		
i P	12 16 57		
e S	12 25 43		
i S	12 25 51		
e L	12 37,5		
M ₁	12 41,5	18-20	N \approx 4000
M ₂	12 46,5		E \approx 6000
F	16		

* **Darmstadt-Jugenheim.** $\Delta = 7479$ km.

$\varphi = 49^{\circ}45'30''$ N. $\lambda = 8^{\circ}38,7'$ E. $h = 125$ m.

sous-sol : gravier.

Appareil.

Pendule astatique de Wiechert (masse : 1200 kg.). (Composantes N. et E.)

Phases.

Ph.	t.	T.	A.
	^h ^m ^s		
P.....	12 16 42		
i.....	12 21 01		
i.....	12 22 43		
i S.....	12 25 43	7	12
i.....	12 30 21		
i.....	12 32 48		
m.....	12 33,3	16	443
i.....	12 34 05		
M.....	12 40-53	?	?

* **Heidelberg.** $\Delta = 7495$ km.

$\varphi = 49^{\circ}23'55,7''$ N. $\lambda = 8^{\circ}43'15''$ E. $h = 558$ m.

sous-sol : trias. grès bigarré.

Appareil.

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

Constantes.

	M.	T_0	v.	V_0	$\frac{r}{T_0^2}$
N.....	1560	8,4	1,3	103	0,0044
E.....	1560	9,6	1,4	125	0,0084

Phases.

Ph.	t.
	h m s
i P.....	12 16 51
i S.....	12 25 46
L.....	12 41 14
F.....	18

Hohenheim.*

$\Delta = 7501$ km.

$\varphi = 48^{\circ}43'N.$

$\lambda = 90^{\circ}13'E.$

$h = 392$ m.

sous-sol : alluvions sur du grès.

Appareil.

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

Constantes.

	M.	T_0	v.	V_0	$\frac{r}{T_0^2}$
N.....	450	9,5	5	150	0,0055

Phases.

Ph.	t.	T.	A^t mm.
	h m s		
P.....	12 16 43	2	0,2
S.....	12 25 42	28	5,4
L.....	12 29 43	36	5,5
M.....	12 42 55	20	
F.....	12 17		

1. La notation A_{mm} indique l'amplitude mesurée en mm. sur le sismogramme.

Karlsruhe.*

$\Delta = 7532$ km.

$\varphi = 48^{\circ}59'46''$ N.

$\lambda = 8^{\circ}28'55''$ E.

Constantes.

	M.	T ₀	V ₀	$\frac{r}{T_0^2}$
N.....	140	7,8	100	0,12

Phases.

Ph.	t.	T.	A.
<i>i</i> P....	^h 12 ^m 16 ^s 56	3	4
<i>e</i> S....	12 26 05	5	9
L....	12 42	7	60
M....		6-8	> 110
F....	13 40		

Milan^{1,3}

$\Delta = 7683$ km.

$\varphi = 45^{\circ}27'59,3''$ N.

$\lambda = 9^{\circ}11'29,7''$ E.

$h = 124$ m.

sous-sol : alluvions.

Appareil.

Sismographe Agamennone. (Composantes N. et E.)

Constantes.

	M.	T ₀	V ₀
N. et E.	210	2,6	20

Phases.

Ph.	t.	A mm.
P...	^h 12 ^m 16 ^s 48	
	12 17 33	
S....	12 42 12	
M...	12 43 30	41

1. Osservazioni Meteorologiche et Geofisiche fatte nel R. Osservatorio Astronomico di Brera in Milano durante l'Anno 1920. Milano 1921.

Moncalieri.*

$\Delta = 7811 \text{ km.}$

$\varphi = 44^{\circ}59'52''\text{N.}$

$\lambda = 7^{\circ}41'43''\text{E.}$

$h = 238 \text{ m.}$

sous-sol : alluvions.

Appareils.

Pendule vertical.

Pendule horizontal "Stiattesi".

Constantes.

	M.	T_0	V_0
P. vertical.	650	3,2	50
N.....	260	19,4	25
E.....	260	20,3	25

Phases.

Ph.	t.	T.	A_N	A_E
P ..	12 ^h 17 ^m 05 ^s	35,0	> 195	> 165
i S ..	12 26 15			
L ..	12 31 25			
M _E ..	13 44			
M _N ..	13 43			
F ..	18			

Kew.

$\Delta = 7915 \text{ km.}$

$\varphi = 51^{\circ}28'06''\text{N.}$

$\lambda = 0^{\circ}18'47''\text{W.}$

$h = 5 \text{ m.}$

sous-sol : gravier de rivière reposant sur du calcaire.

Appareil.

Sismographe Milne. (Composante E.)

Constantes : $T_0 = 17 \text{ s.}$, 1 mm. (amplitude) = 0,51". (1 minute = 1 mm.; une interruption par heure).

Phases.

Ph.	t.	A. mm.
Début ..	12 ^h 16 ^m 12 ^h 43 ^m - 12 ^h 53 ^m	$> 17,0$
F.....	12 ^h 55 ^m après 16 30	$> 17,0$

Sitka^{1,*}

$\Delta = 8199$ km.

$\varphi = 57^{\circ}03'00''$ N. $\lambda = 135^{\circ}30'03''$ W. $h = 15,2$ m.

sous-sol : le pilier repose sur du granite et traverse un sol tourbeux.

Appareil.

Deux pendules horizontaux Bosch-Omori (masses : 10 et 12 kg.).
(Composantes N. et E.)

Constantes.			Phases ² .			
	T_0	V_0	Ph.	t.	T.	A_N mm.
N....	15	10		h m s		
			e_N	12 17 31		
			e_S	12 27 01		
			L_N	12 39 14	55	
			M_N	12 45 44		8,380
			F_N	13 33		

Tortosa^{3,*}

$\Delta = 8556$ km.

$\varphi = 40^{\circ}49'14''$ N. $\lambda = 0^{\text{h}}01^{\text{m}}58,4^{\text{s}}$ E. $h = 50$ m.

sous-sol : conglomérats (miocène).

Appareils.

- A) Pendules Vicentini (Composantes Z. et E.)
- B) Pendule vertical. (Composante N.)
- C) Pendule horizontal. (Composantes N. et E.)

Constantes.			Phases.		
		M.	T_0	Ph.	t.
A. {	Z.	50	0,85	P	h m s
	E.	100	2,3	S	12 17 40
B. {	N.	300	2,4	L	12 27 33
				M	12 39 41
C. {	N.	1500	15	F	12 50 00
	E.	150	7,5		15

1. Les données des stations de Sitka, Victoria, Saskatoon, Ottawa, Denver, Northfield, Toronto, Chicago, Tucson, Georgetown University, Washington, Cheltenham, Spring Hill sont extraites de la publication : Monthly Weather Review, vol. 48, 1920; p. 63 et p. 740-743. Washington 1921.

2. L'inscription manque entre 12^h45^m44^s et 12^h52^m22^s; cette partie comprend M. et probablement C. La composante E. n'était pas en fonctionnement.

3. Boletín Mensual del Observatorio del Ebro, vol. XI, p. 224, Tortosa.

Adélaïde.*

$\Delta = 8599$ km.

$\varphi = 34^{\circ}56'S.$

$\lambda = 138^{\circ}35'E.$

Phases.

Ph.	t.
	h ^h m ^m s ^s
<i>e</i>	12 16 00
<i>i P</i>	12 17 12
<i>i P</i> ²	12 19 48
<i>i PR</i> ₁	12 21 12
<i>e PR</i> ₂ ²	12 22 48
<i>PR</i> ₃	12 23 54
<i>i S</i>	12 27 48
<i>i SR</i> ₂	12 36 48
<i>e SR</i> ₃	12 38 30
<i>e L</i>	12 41,0
<i>M</i>	12 55,6

Cartuja* (Granada).

$\Delta = 9084$ km.

$\varphi = 37^{\circ}10'43''N.$

$\lambda = 3^{\circ}35'52''W.$

$h = 770$ m.

sous-sol : calcaire.

Appareil.

Pendule horizontal bifilaire.

Constantes.

	M.	T ₀	v.	V ₀
N.	340	10	4	60

Phases.

Ph.	t.
	h ^h m ^m s ^s
<i>e P</i> ...	12 18 20
<i>i P</i> ...	12 18 30
<i>i S</i> ...	12 28 32
<i>W</i> ₂	15 16 07

Sydney* (Government Observatory). $\Delta = 9101$ km.

$\varphi = 33^{\circ}51'41,1''$ S. $\lambda = 151^{\circ}12'25,1''$ E. $h = \simeq 42,7$ m.
 sous-sol : grès.

Appareil.

Sismographe Milne. (Composante E.)

Constantes : $T_0 = 20$ s., 1 mm. (amplitude) = 0,23''.

Phases.

Ph.	t.
P	12 18 12
S	12 28 30
SR ₁	12 33 54
SR ₂	12 38 30
L	12 48,0
M	12 51,4

Melbourne.* $\Delta = 9155$ km.

$\varphi = 37^{\circ}50'$ S. $\lambda = 144^{\circ}58'$ E. $h = \simeq 25,9$ m.
 sous-sol : roches stratifiées (pliocène) sur des roches anciennes.

Appareil.

Sismographe Milne. (Composante E.)

Constantes : $T_0 = 18$ s., 1 mm (amplitude) = 0,5'', 1 minute = 3 mm.

Phases.

Ph.	t.
P	12 18 42
S	12 23 48
SR ₁	12 26 12

Honolulu^{1,*}

$\Delta = 9180$ km.

$\varphi = 21^{\circ}19'12''$ N.

$\lambda = 158^{\circ}03'48''$ W.

$h = 15.2$ m.

sous-sol : alluvions.

Appareil.

Sismographe Milne. $T_0 = 18$ s. (Composante E.)

Phases².

Ph.	t.	A _E mm.
	h m s	
P.....	12 18 24	
i S.....	12 28 42	
i SR ₄	12 34 24	
M.....	13 00 00	26,000
C.....	15 03	
F.....	15 49	

Rio Tinto^{*}

$\Delta = 9237$ km.

$\varphi = 37^{\circ}46'$ N.

$\lambda = 6^{\circ}38'$ W.

$h = 427$ m.

sous-sol : schiste (carbonifère inférieur).

Appareil.

Sismographe Milne. (Composante N.)

Constantes : $T_0 = 18$ s., 1 mm. (amplitude) = $\approx 0,5''$.

Phases.

Ph.	t.
	h m
P.....	12 22
M.....	12 57

1. Monthly Weather Review, vol. 49, 1921, p. 51. Washington 1922.

2. P un peu incertains, par suite de la superposition d'autres inscriptions qui masquent également la fin. L mal définies.

Victoria.

$\Delta = 9459$ km.

$\varphi = 48^{\circ}24'00''N.$ $\lambda = 123^{\circ}19'00''W.$ $h = 567,7$ m.

sous-sol : roches volcaniques.

Appareils.

Sismographe vertical de Wiechert (masse : 80 kg.).

Sismographe Milne. (Composante E.)

Constantes.

	T_0	V_0
Z.....	5	70
E.....	18	

Phases.

E. ¹			Z. ²			
Ph.	t.	A. mm.	Ph.	t.	T.	A.
	h m s			h m s		
P ²	12 19 27		P.....	12 16 30	2,5	
S.....	12 25 06		S.....	12 23 30	6	
SR ₁ ³	12 26 44					
SR ₂	12 28 22					
SR ₃	12 29 10					
SR ₄	12 30 22					
i.....	12 34 04					
i L.....	12 36 50		L.....	12 33 00	30	
M.....	12 54 35 ²	35,000 ²	M.....	12 53 00	30	50
F.....	16 19 12					

1. Phase P non distincte et début des S douteux.

2. Temps de S et L difficiles à déterminer (inscription des minutes faibles).

Saskatoon.*

$\Delta = 9733$ km.

$\varphi = 52^{\circ}08'N.$

$\lambda = 106^{\circ}30'W.$

$h = \sim 515$ m.

sous-sol : argile et sable.

Appareil.

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

Constantes.*

	M.	T_0	v.
N.	139,3	9,1	5
E.	»	9,3	5

Phases.

Ph.	t.
P_N	12 ^h 18 ^m 39 ^s
S_N	12 29 29
SR_{1N}	12 35 25
$e L_N$	12 44
M_N	12 56
F.	~ 15

Ottawa.*

$\Delta = 10954$ km.

$\varphi = 45^{\circ}23'38''N.$

$\lambda = 75^{\circ}42'57''W.$

$h = 83$ m.

sous-sol : marnes sur du calcaire (cambro-silurien).

Appareils.

Deux pendules horizontaux Bosch à inscription photographique.

(Composantes N. et E.)

Un sismographe vertical Spindler et Hoyer.

Constantes.

	T_0	V_0
E.	26	120

Phases.

Ph.	t.	T.
$P_{N,z}$	(12 ^h 19 ^m 27 ^s)	
S.....	12 30 06	
e_N	12 37 13	
i_N	12 38 04	
$e L_N$	12 46	60
L_N	12 52	45
F.	16	

Denver.*

$\Delta = 11040 \text{ km.}$

$\varphi = 39^{\circ}40'36''\text{N.}$ $\lambda = 104^{\circ}56'54''\text{W.}$ $h = 1655 \text{ m.}$

sous-sol : conglomérats (bassin de Denver).

Appareil.

Pendule astatique de Wiechert (masse : 80 kg.).

Phases¹.

Ph.	t.	T.	Λ_N mm.	Λ_E mm.
	h m			
P.....	12 29			
L _N	12 55	31	3,000	
L _E	12 53	33		4,000
M _N	12 57	29	8,500	
M _E	12 58	27		13,000
C.....	13 26	22-25		
F.....	14 00			

Northfield.*

$\Delta = 11097 \text{ km.}$

$\varphi = 44^{\circ}10'00''\text{N}$ $\lambda = 72^{\circ}41'00''\text{W.}$ $h = 256 \text{ m.}$

sous-sol : argile sur une couche rocheuse.

Appareils.

Deux pendules horizontaux Bosch-Omori.

Constantes.

	T_0	V_0
N.....	16	10
E.....	15	10

Phases.

Ph.	t.	T.	Λ_E mm.
	h m s		
S _N	12 30 25		
e L.....	12 46	50	
L.....	12 55	30	
L.....	13 00	20	
M _E	13 06		48,000
F.....	14 30		

1. S non visibles.

Christchurch.*

$\Delta = 11139$ km.

$\varphi = 43^{\circ}31'50''$ S.

$\lambda = 172^{\circ}37'18''$ E.

sous-sol : alluvions.

Appareil.

Sismographe Milne. (Composante E.)

Phases.

Ph.	t.
	h m s
P.....	12 24 24
S.....	12 30 48
L.....	12 48,5
M.....	13 14,7

Toronto.*

$\Delta = 11148$ km.

$\varphi = 43^{\circ}40'01''$ N.

$\lambda = 79^{\circ}23'54''$ W.

$h = 113,7$ m.

sous-sol : sable et gravier, sur des marnes (environ 15 m.),
ensuite, schistes sur des roches cristallines (laurentien) jusqu'à une profondeur de 335,5 m.

Appareil.

Pendule horizontal Milne. (Composante E.). $T_0 = 18$ s.

Phases¹.

Ph.	t.
	h m s
PR ¹ ...	12 29 18
S.....	12 30 18
SR ₁	12 31 36
SR ₂	12 34 24
SR ₃	12 39 00
<i>i</i>	12 45 00
<i>i</i>	12 47 00
<i>i</i> P.....	12 48 00
<i>e</i> L.....	12 49 06
<i>i</i> L.....	12 56 12
F.....	16 57 00

1. Les ondes P directes ne sont pas inscrites. Le début des ondes L est difficile à interpréter.

Ann Arbor.*

$\Delta = 11260$ km.

$\varphi = 42^{\circ}16'48,7''$ N.

$\lambda = 83^{\circ}34'36,4''$ W.

$h = \sim 282$ m.

sous-sol : débris glaciaires.

Appareils.

Un sismographe vertical de Wiechert.

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

Un pendule astatique de Wiechert (masse : 100 kg.). (Composantes N. et E.)

Phases.

N.		E.	
Ph.	t.	Ph.	t.
P	h m s 12 19 54	P	h m s 12 20 00
S	12 30 18	S	12 30 12
L	12 51,8	L	12 51,4
M	13 07,9	M	13 07,9

Chicago.*

$\Delta = 11262$ km.

$\varphi = 41^{\circ}47'00''$ N.

$\lambda = 87^{\circ}37'00''$ W.

$h = 180,1$ m.

sous-sol : le pilier repose sur la roche et traverse des matériaux meubles.

Appareils.

Deux pendules horizontaux Milne-Shaw.

Constantes.

	T_0	v.	V_0
N	8	20	150
E	12	20	150

Phases¹.

Ph.	t.
P	h m s 12 19 45
PR	12 23 45
S	12 30 00
F	hiv. 17 30

1. Les heures des phases ont été estimées, l'inscription des minutes ne fonctionnant pas. P inscrit sur les deux composantes.

Ithaca, New-York.*

$\Delta = 11288 \text{ km.}$

$\varphi = 42^{\circ}26'58''\text{N.}$

$\lambda = 76^{\circ}29'09''\text{W.}$

$h = 242,6 \text{ m.}$

Appareils.

Deux pendules horizontaux Bosch-Omori (masse : 25 kg.).
(Composantes N. et E.)

Constantes.

	T.	v.	V _o
N.....	25	4	14
E.....	22	4	13

Phases².

Ph.	t.	T.
<i>i</i> _N ...	h m s 12 24 18	4
L _E ...	12 48 30	60
F...	14 58	

Tucson.*

$\Delta = 11534 \text{ km.}$

$\varphi = 32^{\circ}14'48''\text{N.}$

$\lambda = 110^{\circ}50'06''\text{W.}$

$h = 769,6 \text{ m.}$

sous-sol : sable et gravier.

Appareils.

Deux pendules horizontaux Bosch-Omori (masses : 10 kg. et 12 kg.).
(Composantes N. et E.)

Constantes.

	T _o	V _o
N.....	18	10
E.....	17	10

Phases.

Ph.	t.	T.	A _N	A _E
<i>e</i> _N	h m s 12 24 16			
<i>e</i> _E	12 24 19			
<i>e</i> _E	12 31 48			
<i>i</i> _E	12 39 10			
<i>e</i> _N	12 39 40			
L _N ...	12 49 30	70		
L _E ...	12 49 30	75		
M _E ...	13 05 00	18		
M _N ...	13 11 11	22	440	2280
C _N ...	13 13	20		
C _E ...	13 16	17		
F _N ...	13 58			
F _E ...	14 50			

1. Monthly Weather Review, vol. 49, 1921, p. 114. Washington 1922.

2. Début de la phase P perdu dans l'agitation microsismique; phases intermédiaires indistinctes.

Washington* (Georgetown University). $\Delta = 11680$ km.

$\varphi = 38^{\circ}54'25''$ N. $\lambda = 77^{\circ}04'24''$ W. $h = 42.4$ m.

sous-sol : diorite désagrégée.

Appareils.

Sismographe vertical de Wiechert.

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

Constantes.

	M.	T_0	V_0
Z.	80	3,0	80
N.	200	5,2	143
E.	200	5,4	165

Phases¹.

Ph.	t.	T.	A_z mm.	A_N mm.	A_E mm.
	h m s				
e P _N	12 24 26				
e P _Z	12 24 29				
e P _E	12 24 32				
S _Z	12 30 24				
S _N	12 30 47				
e L _Z	12 39 30	22			
e L.....	12 39 36				
L.....	12 52	28			
M _E	13 05	24			14,100
M _N	13 12 21	24		13,700	
M _Z	13 13 21	19	6,200		
F.....	env. 16				

1. Forte agitation; S_E non discernable. Les ondes P sont peut-être arrivées plus tôt.

Washington* (U. S. Weather Bureau). $\Delta = 11681$ km.

$\varphi = 38^{\circ}54'12''$ N. $\lambda = 77^{\circ}03'03''$ W. $h = 21$ m.

sous-sol : argile (quelques mètres) sur de la roche granitique.

Appareil.

Pendule de Marvin, non amorti. (Composantes N. et E.)

Constantes.

	T_0	V_0
N....	6,4	110
E....	6,4	110

Phases¹.

Ph.	t.	T.
	h m s	
P....	12 20 07	
PR ₁ ..	12 24 29	
S....	12 30 41	
L....	12 49	50
L....	13 00	30
F....	15 20	

Cheltenham*.

$\Delta = 11700$ km.

$\varphi = 38^{\circ}44'00''$ N. $\lambda = 76^{\circ}50'30''$ W. $h = 71,6$ m.

sous-sol : 1 à 2 m. de sable et de gravier sur du sable fin et de l'argile.

Appareils.

Deux pendules horizontaux Bosch-Omori (masses : 10 et 12 kg.).

(Composantes N. et E.)

Constantes.

	T_0	V_0
N....	14	10
E....	14	10

Phases².

Ph.	t.	T.	A_N	A_E
	h m s			
PR _{1,N} .	12 24 14	4		
e PR _{1,E} .	12 25 00			
L _N ...	12 51 20	50		
L _E ...	13 02 28	26		
M _N ...	13 10 10	18	2150	
M _E ...	13 11 40	17		2100
C _N ...	13 22	16		
C _E ...	13 27	16		
F _N ...	14 08			
F _E ...	14 25			

1. P faible sur N, non visible sur E.

2. Interprétation adoptée après comparaison des inscriptions avec celles de Honolulu.

Spring Hill (Mobile).*

$\Delta = 12462 \text{ km.}$

$\varphi = 30^{\circ}41'44''\text{N.}$

$\lambda = 88^{\circ}08'46''\text{W.}$

$h = 60 \text{ m.}$

sous-sol : alluvions.

Appareil.

Pendule astatique de Wiechert (masse : 80 kg., non amorti).
(Composantes N. et E.)

Phases.

Ph.	t. ¹	T.	A _N mm.	A _E mm.
	h. m. s			
S _N	0 35 50			
L _E	0 57 20			
L _N	1 00 20			
M _E	1 06 00	25		9,000
M _N	1 14 30	20	12,000	
F.....	2 30 00			

Mazatlan.*

$\Delta = 12627 \text{ km.}$

$\varphi = 23^{\circ}11'17''\text{N.}$

$\lambda = 106^{\circ}24'22''\text{W.}$

$h = 65 \text{ m.}$

sous-sol : porphyre à andésite.

Appareils.

Sismographe vertical de Wiechert (masse : 80 kg.).

Pendule astatique de Wiechert (masse : 200 kg.). (Composantes N. et E.)

Constantes.

	T ₀	v.	V ₀
N.	5	4,5	81
E.	5	4,5	80

Phases.

Ph.	t _N	t _E	T.
	h. m. s	h. m. s	
S.....	12 38 11	12 38 11	
L.....	12 49 28	12 49 26	
M.....	13 04 50	13 04 56	60
C.....	13 15 40	13 15 56	
F.....	14 10 26	14 17 00	

1. Il faut vraisemblablement lire 12^h au lieu de 0^h.

Oaxaca.*

$\Delta = 13670$ km.

$\varphi = 17^{\circ}01'13'',50$ N.

$\lambda = 96^{\circ}45'46''$ W.

$h = 1570,85$ m.

sous-sol : tuf volcanique.

Appareil.

Sismographe vertical de Wiechert (masse : 80 kg.).

Pendule astatique de Wiechert (masse : 200 kg.). (Composantes N. et E.)

Constantes.

Z., N. et E. : $T_0 = 5$ s., $v. = 4,5$, $V_0 = 80$.

Phases.

Ph.	t_z	t_N	t_E	T.	A_z	A_N	A_E
	h m s	h m s	h m s				
P.....	12 27 26	12 27 29	12 27 29				
S.....	12 39 03	12 39 04	12 39 03				
L.....	13 00 38	13 00 40	13 00 35				
M.....	13 12 42	13 12 39	13 12 45	24	570	692	554
C.....	13 37 50	13 38 00	13 38 10				

Vieques (Porto Rico)^{1,2}

$\Delta = 13899$ km.

$\varphi = 18^{\circ}09'00''$ N.

$\lambda = 65^{\circ}27'00''$ W.

$h = 19,8$ m.

sous-sol : roche granitique recouverte de quelques pieds de lourde terre glaise.

Appareils.

Deux pendules Bosch-Omori. (Composantes N. et E.)

Constantes.

	T_0	V_0
N....	19	10
E....	17	10

Phases².

Ph.	t.	T.	A_N	A_E
	h m s			
e_E	12 36 50			
e_N	12 38 12			
e_E	12 43 11			
i_N	12 44 10			
e_N	12 49 10			
L _E	12 59 40			
L _N	13 03 30	35		
M _E	13 16 24	22		335
M _N	13 17 45	22	1165	
C _N	13 28	20		
C _E	13 33	20		
F _N	14 22	16		
F _E	14 32	16		

1. Monthly Weather Review, vol. 49, 1921, p. 52. Washington 1922.

2. Sur les deux composantes la première phase est faible et difficile à déterminer.

Port-au-Prince (Séminaire-College Saint-Martial)¹. $\Delta = 13943$ km.

$\varphi = 18^{\circ}33'20''N.$ $\lambda = 72^{\circ}20'15''W.$ $h = 26$ m.

sous-sol : tuffeau calcaire, lits de galets et bancs de marne argileuse.

Appareil.

Pendule horizontal Omori-Bosch. (Composante N. E. et N. W.)

Constantes.

M.	V ₀
71	40

Phases².

Ph.	t.	T.	A _{NE}	A _{NW}
	h m s			
L _{NW} ...	13 00 02	26		3
L _{NE} ...	13 17 30	22	3	
L _{NW} ...	13 19 00	16		2

La Quiaca.*

$\Delta = 18250$ km.

$\varphi = 22^{\circ}08'S.$ $\lambda = 65^{\circ}43'W.$ $h = 3462$ m.

sous-sol : roche volcanique.

Appareil.

Sismographe Milne. (Composantes N. et E.)

Constantes : T₀ = 15,0 s.; N., 1 mm. (amplitude) = 0''53.

E., 1 mm. (amplitude) = 0''59.

Phases.

N.		E.	
Ph.	t.	Ph.	t.
	h m		h m
L	13 17,3	L	13 05,5
M	13 57,6	M	14 05,8

1. Bulletin annuel de l'Observatoire Météorologique du Séminaire-College Saint-Martial. Port-au-Prince, Haïti, année 1920.

2. P et S illisibles.

Andalgala.*

$\Delta = 18801 \text{ km.}$

$\varphi = 27^{\circ}35'42''\text{S.}$

$\lambda = 66^{\circ}19'00''\text{W.}$

$h = 1070 \text{ m.}$

Appareil.

Sismographe Milne. (Composantes N. et E.)

Constantes : $T_0 = 17,5 \text{ s.}$; N., 1 mm. (amplitude) = $0''59$.

E., 1 mm. (amplitude) = $0''51$.

Phases.

N.		E.	
Ph.	t.	Ph.	t.
Début.	$12^{\text{h}} 30,8^{\text{m}}$	Début.	$12^{\text{h}} 31,6^{\text{m}}$
L.....	12 50,1	L.....	12 50,3
M.....	14 04,8	M.....	14 05,1
F.....	16 04,3	F.....	16 13,7

Pilar'.*

$\Delta = 18921 \text{ km.}$

$\varphi = 31^{\circ}40'13''\text{S.}$

$\lambda = 63^{\circ}53'00''\text{W.}$

$h = 330 \text{ m.}$

sous-sol : alluvions.

Appareil.

Sismographe Milne. (Composantes N. et E.)

Constantes : $T_0 = 16,5 \text{ s.}$, 1 mm. (amplitude) = $0''34$.

Phases.

N.		E.	
Ph.	t.	Ph.	t.
Début.	?	Début.	$12^{\text{h}} 44,3^{\text{m}}$
L.....	$13^{\text{h}} 09,8^{\text{m}}$	L.....	13 09,2
M.....	14 09,8	M.....	14 07,5
F.....	15 45,6	F.....	16 03,1

1. Les données des stations de Mendoza, Pilar, La Quiaca, Andalgala, Cipolletti sont extraites de la publication : « Boletín Mensual », año V, 1920. (República Argentina, Ministerio del Agricultura de la Nación, Oficina Meteorologica Nacional). Buenos Aires 1924.

Mendoza.*

$\Delta = 19349$ km.

$\varphi = 32^{\circ}53'06''$ S.

$\lambda = 68^{\circ}19'40''$ W.

$h = 785$ m.

sous-sol : alluvions.

Appareil.

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

Constantes.

	T_0	V_0
N.....	12	10,85
E.....	11	11,28

Phases.

Ph.	t.
M....	13 ^h 51 ^m ,2

Cipolletti.*

$\Delta = 19364$ km.

$\varphi = 38^{\circ}56'03''$ S.

$\lambda = 68^{\circ}08'$ W.

$h = 267$ m.

sous-sol : alluvions.

Appareil.

Sismographe Milne. (Composante E.)

Constantes : $T_0 = 18,5$ s.; 1 mm. (amplitude) = $0''41$.

Phases.

Ph.	t.
Début...	12 ^h 27,4 ^m
L.....	12 53,9
M.....	13 45,5
F.....	16 00,2

CHAPITRE IV

DÉTERMINATION DE L'ÉPICENTRE

Résultat de l'étude macrosismique.

L'étude macrosismique a permis de définir la région où les effets destructeurs du tremblement de terre du 16 décembre 1920 ont été les plus importants et, par conséquent, de fixer approximativement l'épicentre de ce séisme : on peut admettre, comme centre de la catastrophe, un point situé dans le massif de Lui-p'an-chan, non loin des sources du Hou-lou-ho, à environ 36° de latitude N. et 105,5° de longitude E. (v. chapitre II, p. 39 et suivantes).

H. H. Turner¹ a utilisé les courbes isoséistes (*fig. 6*) en vue d'une détermination plus précise de l'épicentre; ce calcul, effectué en admettant que l'épicentre soit un centre de similitude pour les isoséistes VIII, IX et X, conduit aux valeurs suivantes pour les coordonnées géographiques du point cherché :

$$\varphi_0 = 35^{\circ}, 61 \text{ N.}, \quad \lambda_0 = 105^{\circ}, 40 \text{ E.}$$

Toutefois, il semble que les dimensions notables de la région épacentrale ne permettent pas une détermination très précise : on a vu, en effet, que la propagation de l'ébranlement à partir de l'origine et l'intensité de ses manifestations sont modifiées par les conditions locales, en particulier par la constitution géologique de la région.

Détermination de l'Épicentre à l'aide des sismogrammes : Méthode « par déplacement de l'Épicentre ».

Les différentes méthodes généralement utilisées pour la détermination d'un épicentre à l'aide des heures d'arrivée des pha-

1. The International Seismological Summary for 1920. Oxford, 1925.

ses aux divers observatoires utilisent des données moyennes résultant de l'étude d'un ensemble de séismes et la précision en est limitée par le fait qu'on ignore la profondeur du foyer.

Le procédé décrit ci-dessous est indépendant de cette dernière donnée. La seule hypothèse faite ici, et qui se retrouve dans toutes les autres méthodes, consiste à admettre que les durées de propagation, à partir d'un centre d'ébranlement, sont indépendantes de la direction.

On admet comme épicentre un point de la région épacentrale et on construit la courbe des durées de propagation en portant, en abscisses, les temps d'arrivée des ondes longitudinales (P) aux observatoires et, en ordonnées, les distances respectives de ces derniers au point considéré. Les distances, mesurées sur les grands cercles de la sphère terrestre, ont été calculées par les formules de trigonométrie sphérique; l'origine des temps est choisie arbitrairement. On trace la courbe moyenne passant au mieux entre les points obtenus.

La méthode adoptée, qu'on pourrait appeler « méthode par déplacement de l'épicentre », consiste à effectuer divers essais en faisant varier les coordonnées géographiques du point choisi comme épicentre, de degré en degré, en longitude et en latitude, dans la région probable, jusqu'à ce que l'on trouve une courbe satisfaisante, c'est-à-dire une courbe passant au mieux par les points trouvés et pour laquelle l'écart moyen des points à la courbe soit minimum. Les écarts ε sont mesurés sur les normales à la courbe passant par les points et sont exprimés en mm.

Le début de la phase préliminaire P a été déterminé, pour la plupart des stations, sur les sismogrammes qu'elles nous ont communiqués, originaux ou reproductions : les sismogrammes présentant des débuts nets ont été seuls utilisés.

Une première détermination¹ a été faite en utilisant les heures d'arrivée des ondes longitudinales à 23 observatoires dont les distances à la région épacentrale sont comprises entre

¹ I. C. R. 1923, t. 176, p. 960. (Cette note comporte une erreur d'impression : il faut lire, à la première ligne, 12^h 05^m au lieu de 19^h 05^m).

1.500 et 10.500 km. (Ce sont : Zi-ka-wei, Manille, Tokio, Batavia, Malabar, Lemberg, Upsal, Athènes, Iéna, De Bilt, Strasbourg, Zurich, Rocca di Papa, Aberdeen, Uccle, Parc Saint-Maur, Oxford, Clermont-Ferrand, Barcelone, Alger, Sydney, Coimbra, Apia).

Voici le résultat des calculs :

On porte, dans un tableau à double entrée, la moyenne $e = \frac{\sum \epsilon}{n}$ des écarts des points construits aux courbes correspondantes (n étant le nombre de points utilisés) :

		Longitudes.				
		103	104	105	106	107
Latitudes.	38	1,86	1,72	1,73	1,70	1,70
	37	1,74	1,14	1,13	1,07	1,14
	36	1,52	1,16	0,90	0,93	1,19
	35	1,47	1,27	1,37	1,54	1,67

On voit que l'écart moyen est minimum pour la longitude 105°,5 E. et la latitude 36° N.; sa valeur pour ces coordonnées est : 0,88 mm.

Les mêmes opérations, effectuées avec les heures d'arrivée des ondes transversales S, ont conduit à un épicycle voisin du précédent ($\lambda_0 = 105°,5$ E., $\varphi_0 = 36°,5$ N.); mais les résultats sont moins nets parce que la détermination précise du début de cette phase est plus difficile.

Dans une nouvelle étude, j'ai ajouté, aux données indiquées ci-dessus, celles de certains observatoires, reçues ultérieurement (Taihoku, Nagasaki, Foukouoka, Osaka, Gifu, Tyosi.

Mizusawa, Mukaiyama, Otomari, Abisko, Vienne, Hamburg, Göttingen, Taunus, Darmstadt, Hohenheim); par contre, la station de Apia a été supprimée, ce qui porte à 38 le nombre des observations, réparties entre 1.500 et 9.200 km. de l'épicentre.

Je me proposais principalement, dans cette nouvelle détermination, de chercher si le calcul de l'écart quadratique moyen

$$E = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{n-1}}$$

conduisait bien au même résultat, pour la position de l'épicentre, que celui de l'écart moyen $e = \frac{\sum \varepsilon}{n}$, envisagé antérieurement. C'est bien ce que le calcul a montré; les tableaux ci-dessous confirment le résultat précédent :

		Longitudes.					
		103	104	105	106	107	108
Latitudes.	38	1,94	1,73	1,70	1,57	1,72	1,85
	37	1,26	1,22	1,21	1,26	1,34	1,57
	36	1,31	1,26	1,14	1,18	1,28	1,52
	35	1,71	1,48	1,59	1,65	1,74	1,89

ÉCART MOYEN

		Longitudes.					
		103	104	105	106	107	108
Latitudes.	38	3,41	2,68	2,50	2,27	2,51	2,71
	37	2,19	1,74	1,65	1,71	1,88	2,11
	36	1,84	1,70	1,53	1,56	1,71	2,03
	35	2,71	2,28	2,40	2,40	2,61	2,72

ÉCART QUADRATIQUE MOYEN

Enfin, on sait que Cornu¹ a indiqué un critérium très simple pour constater si des écarts suivent la loi de répartition des erreurs accidentelles. En effet, si la répartition est donnée par la courbe Laplace-Gauss, il existe, entre l'écart moyen et l'écart quadratique moyen, la relation :

$$\frac{E}{e} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} = 1,25\dots \quad (1)$$

1. Cornu, Vitesse de la lumière, 220 (Annales de l'Observatoire de Paris, XIII, 1876). Voir aussi J. Violle, Traité de Physique, 1^{re} partie, t. I, 1892.

Le tableau suivant donne les valeurs de ce rapport :

		Longitudes.					
		103	104	105	106	107	108
Latitudes.	38	1,8	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5
	37	1,7	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3
	36	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3
	35	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4

RAPPORT $\frac{E}{e}$.

Le rapport $\frac{E}{e}$ a sa valeur minimum 1,3 (très proche de la valeur 1,25 prévue par le théorème de Cornu) au voisinage du point adopté pour épïcentre; il augmente jusqu'à la valeur 1,8 pour les points les plus éloignés. Il semble donc bien que, au voisinage du point épïcentre ($\varphi = 36^\circ$ N., $\lambda = 105,5^\circ$ E.), les écarts se comportent essentiellement comme des erreurs accidentelles; tandis que, si l'on choisit pour origine un point un peu éloigné, des erreurs systématiques interviennent.

Ainsi, la valeur du rapport $\frac{E}{e}$ justifie la méthode adoptée.

On pourrait se proposer de fixer plus exactement la position de l'épïcentre, au moyen de l'un des tableaux précédents. Le procédé le plus simple consiste en une interpolation graphique suivant les latitudes et suivant les longitudes. On trouve, pour la latitude, en moyenne, $36,4^\circ$ par l'écart moyen et $36,2^\circ$ par l'écart quadratique moyen; le rapport $\frac{E}{e}$ donne une valeur encore plus voisine de 36° . Pour la longitude, une interpola-

tion au $\frac{1}{10}$ de degré ne semble pas permise. Ces résultats ne m'ont pas paru justifier une modification dans la position de l'épicentre précédemment admise¹.

Il y a lieu de remarquer que les observations ne sont pas uniformément réparties autour de la région épiscopentrale : on en possède une seule pour l'Asie, tandis que les plus nombreuses proviennent des stations européennes. Cette distribution explique la variation plus lente des écarts suivant les longitudes ; il est vraisemblable que l'on atteindrait une précision beaucoup plus grande si l'on disposait d'observations mieux réparties. De plus, certaines données horaires paraissent entachées d'erreurs dues soit à des déterminations inexactes du temps, soit à la sensibilité insuffisante des instruments qui n'enregistrent pas le début des ondes P (les inscriptions de la composante verticale qui, le plus souvent, présentent seules des débuts nets, sont en très petit nombre).

Enfin, les auteurs qui ont étudié les vitesses de propagation des ondes longitudinales et transversales ont admis jusqu'à présent, d'après leurs observations, que l'azimut n'avait pas d'influence sur les durées de propagation de ces ondes au moins à grande distance²; ce résultat paraît confirmé par la considération des écarts, qui suivent la loi des erreurs accidentelles. L'hypothèse faite au début de ce chapitre paraît donc justifiée car, s'il existe un effet de la direction sur les durées de propagation, cet effet est certainement négligeable par rapport à celui d'un déplacement de l'épicentre comparable aux dimensions de la zone épiscopentrale.

Épicentre du séisme du 25 décembre.

La même méthode a été utilisée pour déterminer l'épicentre du tremblement de terre du 25 décembre dont l'origine est aussi dans le Kan-sou.

1. H. H. Turner, par sa méthode des « Résidus », donne pour coordonnées de l'épicentre : $\varphi = 35^{\circ},79$ N., $\lambda = 105^{\circ},74$ E.

2. Voir, par exemple, A. Mohorovičić : Hodographen der longitudinalen und transversalen Wellen eines Bebens. I Hodografen (« Rad » Jugoslav. Akad. 226), 1922, p. 15.

L'écart moyen est minimum pour les coordonnées $104,5^{\circ}$ E. et $36,5^{\circ}$ N. ; sa valeur est alors $1,07$ mm. :

		Longitudes.				
		103	104	105	106	107
Latitudes.	38	1,80	1,70	1,63	1,63	1,48
	37	1,36	1,18	1,24	1,29	1,51
	36	1,41	1,24	1,13	1,36	1,63
	35	1,67	1,71	1,80	1,87	1,93

L'épicentre $\varphi = 36^{\circ}$ N., $\lambda = 105,5^{\circ}$ E. obtenu pour le grand tremblement de terre du 16 coïncide exactement avec le point déterminé par les considérations macrosismiques. Si les renseignements relatifs à la secousse du 25 permettent de localiser son centre dans le Kan-sou, ils sont pourtant trop peu nombreux pour permettre d'en fixer les coordonnées.

Le tableau I contient la liste des stations dont les données ont été utilisées dans la recherche de l'épicentre du séisme du 25, leurs distances respectives à l'épicentre trouvé ($\lambda = 104,5^{\circ}$ E., $\varphi = 36,5^{\circ}$ N.) et les heures d'arrivée des ondes longitudinales et transversales à ces divers observatoires. Dans le tableau II sont consignées les autres données.

TABLEAU I.

25 décembre 1920 (données utilisées).

Station.	Δ km.	P	S
Zi-ka-wei.....	1666	<i>i</i> P 11 36 ^h 50 ^m 50 ^s	<i>i</i> S 11 39 ^h 43 ^m 43 ^s
Taihoku.....	2058	<i>i</i> P 11 37 23	S 11 40 46 ^p
Nagasaki.....	2351	P 11 38 03	S 11 42 00
Foukouoka.....	2375	P 11 38 10	
Osaka.....	2793	P 11 38 39	
Manille.....	2935	<i>i</i> P 11 39 00	
Mito.....	3198	P 11 39 34	
Tyosi.....	3247	P 11 39 24	
Otomari.....	3339	P 11 39 17	
Batavia.....	4753	<i>i</i> P 11 41 19	<i>i</i> S 11 47 46
Lemberg.....	6374	<i>e</i> P 11 43 07	
Upsal.....	6401	<i>i</i> P 11 43 09	S 11 51 06
De Bilt.....	7459	P 11 44 16	S 11 53 13
Strasbourg.....	7499	P 11 44 15	
Zurich.....	7513	P 11 44 18	
Rocca di Papa.....	7542	P 11 44 22	S 11 53 21
Dyce-Aberdeen.....	7557	<i>e</i> P 11 44 19	
Uccle.....	7583	<i>i</i> P 11 44 21	S 11 53 17
Parc Saint-Maur.....	7804	<i>i</i> P 11 44 32	S 11 53 50
Clermont-Ferrand.....	7972	P 11 44 4(0)	S 11 54 14
Alger.....	8541	P 11 45 12	S 11 55 03
Coimbra.....	9082	P 11 45 39	
Sydney.....	9195	<i>e</i> P 11 45 40	<i>e</i> S 11 55 59

TABLEAU II.

25 décembre 1925 (autres données).

Station.	Δ km.	P.	S.
Dairen	1560	P 11 35 08 ^{h m s}	S 11 37 43 ^{h m s}
Calcutta	2198	P 11 38 06	S 11 41 54
Dehra Dun	2539	P 11 39 30	
Simla	2585	P 11 39 30	S 11 44 00
Kôbe	2769	P _E 12 08 37	S _E 12 13 54
Tokio	3151	P 11 38 39	S 11 43 33
Mizuzawa	3208	P 11 39 18	S 11 44 32
Bombay	3884	P 11 39 43	S 11 45 05
Kodaïkanal	3988	P 11 29 18	
Colombo	4132		S 11 46 00
Helwan	6685	P _E 11 43 48	
Seychelles	6822	P 11 41	
Vienne	6953	i P 11 43 43	S 11 52 18
Hamburg	7156	P _Z 11 43 53	e S _N 11 52 33
Padoue	7401	P 11 44 11	S 11 53 05
Florence	7543	P 11 44 24	S 11 53 00
Besançon	7688	P 11 44 29	S 11 51 01 [?]
Moncalieri	7707	P 11 44 23	S [?] 11 59 28
Kew	7815	P 12 01	
Barcelone	8301	P 11 45 00	
Tortosa	8452	P 11 45 07	S 11 54 52
Cartuja	8979	P 11 45 27	S 11 55 39
San Fernando	9208	P 11 45 42	S 11 56 30
Melbourne	9253		S 12 16 36
Victoria	9455		S 11 55 43
Chicago	11222	P 11 51 10	S 11 58 32
Washington	11628		S 11 59
Le Cap	11852	P 11 52 23	
La Paz	17665	i P 11 53 22	S 12 06 57

Remarque sur le calcul des distances. — Les distances Δ des observatoires à l'épicentre ont été calculées en considérant le globe terrestre comme une sphère dont le rayon a pour valeur 6.370 km. En posant :

$$\theta_0 = \frac{\pi}{2} - \varphi_0, \quad \theta = \frac{\pi}{2} - \varphi, \quad \delta = \lambda - \lambda_0$$

(φ_0 et φ sont les latitudes respectives de l'épicentre et de l'observatoire considéré; λ_0 et λ , leurs longitudes),

$$\cos \Delta = \cos \theta_0 \cos \theta + \sin \theta_0 \sin \theta \cos \delta. \quad (2)$$

L'introduction de l'angle auxiliaire ω tel que $\operatorname{tg} \omega = \cos \delta \operatorname{tg} \theta_0$ conduit à l'expression calculable par logarithmes :

$$\cos \Delta = \frac{\cos \theta_0 \cos (\theta - \omega)}{\cos \omega}. \quad (2')$$

On passe de la valeur en degrés de la distance Δ à sa valeur en kilomètres, en multipliant la première par la constante :

$$\frac{\pi}{180} 6370 = 111,18.$$

Les distances Δ pourraient être calculées plus exactement en tenant compte de l'aplatissement de la Terre aux pôles, à l'aide des formules de Puisant¹.

Il est possible d'indiquer les limites des erreurs commises dans l'usage des formules simples (2) ou (2'), en envisageant des trajectoires contenues soit dans le plan de l'équateur, soit dans un plan méridien.

J'ai admis, pour les axes a et b de l'ellipsoïde terrestre, les valeurs $a = 6378200$ m. (Helmert, 1907) et $b = 6356725$ m.

(aplatissement $c = \frac{1}{297,0}$ d'après Hayford², 1909).

Si l'épicentre et l'observatoire sont tous deux sur l'équateur, l'erreur est négative et varie proportionnellement à la distance, de 0 à $-22,62$ km quand la distance angulaire varie de 0 à 180° .

Si l'épicentre se trouve sur l'équateur et la station sur le méridien passant par l'épicentre, l'erreur est positive : elle croît

1. *Puisant*, Traité de Géodésie, tome II.

2. (Valeur adoptée par le Congrès international des Éphémérides astronomiques). *Connaissance des temps*, 1924. Paris 1922.

de 0 jusqu'à un maximum égal à + 19,29 km (pour $\varphi = 49^\circ$), puis décroît jusqu'à + 6,11 km (pour $\varphi = 90^\circ$).

Enfin, si l'épicentre est au pôle, l'erreur croît, par valeurs négatives, de 0 à - 13,18 km (pour $\varphi = 59^\circ$) puis décroît en valeur absolue, s'annule (pour $\varphi = 80^\circ$ environ), devient positive et atteint + 6,11 km pour $\varphi = 0$.

La valeur $19,29 \times 2 = 38,58$ km représente le maximum de l'erreur possible (cas où l'épicentre et la station sont sur le même méridien, aux latitudes 49° N. et 49° S.).

Les distances de quelques stations au point de coordonnées $\varphi = 36^\circ$ N., $\lambda = 106^\circ$ E. ont été calculées par les deux méthodes (Δ : valeur obtenue par la formule simple, Δ' : valeur trouvée en tenant compte de l'aplatissement) :

TABLEAU III

Station.	Δ km.	Δ' km.	$\Delta - \Delta'$ km.
Zi-ka-wei	1525	1525	0
Manille	2810	2805	+ 5
Batavia	4690	4680	+10
Helwan	6830	6845	-15
De Bilt	7590	7610	-20
Strasbourg	7635	7650	-15
Uccle	7715	7730	-15
Parc Saint-Maur	7945	7965	-20
Clermont-Ferrand	8105	8125	-20
Coimbra	9215	9235	-20
Apia	10225	10225	0
Wellington	11080	11060	+20
Le Cap	11945	11930	+15
Panama-Canal	14985	14995	-10
La Paz	17770	17770	0

Le degré de précision dans la détermination de l'épicentre ne m'a pas paru justifier l'emploi des formules complètes qui nécessitent de longs calculs. Ce sont donc les nombres déduits de la formule simple qui ont été utilisés dans la suite de ce travail.

CHAPITRE V

PROPAGATION DES ONDES

I. — COURBES DES DURÉES DE PROPAGATION.

1° Courbes relatives au séisme du Kan-sou.

Les courbes des durées de propagation des ondes longitudinales et transversales et de leurs réflexions ont été construites en portant sur un graphique, en abscisses, les temps d'arrivée de ces ondes aux observatoires, en ordonnées, les distances des observatoires à l'épicentre.

Certaines données, résultant d'inscriptions faibles qui ne permettaient pas une interprétation certaine ou présentant des erreurs manifestes dans la détermination de l'heure, n'ont pas été utilisées (elles sont marquées d'un astérisque * dans les tableaux ci-dessous).

Ces courbes sont traduites dans les tableaux numériques IV, V, VI et VII.

Les tableaux IV et V contiennent : les temps d'arrivée des différentes phases aux observatoires, comptés à partir d'une heure origine arbitraire 12^h05^m00^s (points résultant des observations); les temps correspondants fournis par les courbes moyennes; les écarts, en secondes, entre les points et ces courbes.

Remarque. — Les observations proviennent de stations dont les distances à l'épicentre sont comprises entre 1.500 et 18.000 km. Les stations européennes ont fourni des données nombreuses pour la partie des courbes comprise entre 6.000 et 8.000 km.; les résultats présentent donc plus de certitude dans cet intervalle. Par contre, au delà de 11.000 km. les enregistrements de La Paz sont les seuls qui présentent des phases nettes; ils sont particulièrement importants puisque cet observatoire est situé à 17.758 km. de l'épicentre.

TABLEAU IV.

Station.	Δ km.	P. s.	P _c s.	P.-P _c s.	S. s.	S _c s.	S.-S _c s.
Zi-ka-wei.....	1567	254,5	254,5	0	413	413	0
Jinsen *.....	1888	241	290	-49	435	476	-41
Hokoto.....	1934	290	295	-5	399	485	-86
Taihoku.....	1950	308	297	+11	506	487,5	+18,5
Calcutta.....	2232	330	325,5	+4,5	552	540	+12
Nagasaki.....	2259	317	328,5	-11,5	541	545	-4
Foukouoka.....	2283	331	331	0	558	549	+9
Kôbe *.....	2685	310	369	-59	556	619,5	-63,5
Osaka.....	2709	373	371	+2	640	623,5	+16,5
Gifu.....	2811	376	380	-4	632	640,5	-8,5
Nagoya.....	2830	382	381,5	+0,5			
Manille.....	2837	386,5	382,5	+4	640	645	-5
Maebasi *.....	2997	425	396	+29	712	671	+41
Tokio.....	3071	401	403	-2	685	683	+2
Mukaiyama.....	3125	416	407,5	+8,5	711	691,5	+19,5
Mizusawa.....	3137	410	408,5	+1,5			
Tyosi.....	3167	407	411	-4	695	698	-3
Otomari.....	3293	414	421,5	-7,5	709	717,5	-8,5
Bombay.....	3717	449	455,5	-6,5	759	781	-22
Kodaikanal *.....	4026	(497)	479,5	+(17,5)			
Colombo *.....	4154	462	489,5	-27,5	570	842,5	-272,5
Batavia.....	4693	529	528,5	+0,5	921	913	+8
Malabar.....	4811	538	537	+1	930	927,5	+2,5
Abisko.....	6194	626	624,5	+1,5	1087	1090	-3
Lemberg.....	6476	642	641,5	+0,5	1116	1122,5	-6,5
Upsal.....	6499	640,5	643	-2,5	1118	1125	-7
Königsberg.....	6514	651	644	+7	1131	1126,5	+4,5
Helwan *.....	6788	(648)	660,5	-(12,5)			
Seychelles *.....	6872	750	665	+85			
Athènes.....	7014	672	674	-2	1187	1182,5	+4,5
Vienne.....	7057	676	676,5	-0,5	1196	1187	+9
Postdam.....	7071	676,5	677,5	-1,5	1194,5	1189	+5
Hamburg.....	7198	688	685	+3	1213	1203	+10
Iéna.....	7236	685	687	-2	1219	1207	+12
Göttingen.....	7302	692	691	+1	1204	1214,5	-10,5
Munich.....	7377	704	695,5	+8,5	1231	1223	+8
Venise *.....	7403	667	697	-30			
Taunus.....	7467	702	701	+1	1247	1233	+14
Bochum.....	7472	704	701,5	+2,5	1243	1233,5	+9,5
Jugenheim.....	7479	702	702	0	1243	1234	+9
Heidelberg.....	7495	711	703	+8	1246	1236	+10
Hohenheim.....	7501	703	703	0	1242	1236,5	+5,5
Padoue.....	7507	709	703,5	+5,5			
Karlsruhe *.....	7532	716	705	+11	1265	1240	+25
De Bilt.....	7560	712,5	706,5	+6	1244,5	1243	+1,5
Valle di Pompei *.....	7573	780	707,5	+72,5	1320	1244	+76
Coire.....	7584	715	708	+7	1252	1245,5	+6,5
Strasbourg.....	7601	709	709	0	1246	1247	-1
Zurich.....	7618	710	710	0	1250	1249	+1

TABLEAU IV (suite).

Station.	Δ km.	P. s.	P _c s.	P.-P _c s.	S. s.	S _c s.	S.-S _c s.
Florence.....	7636	720	711	+ 9	1260	1251	+ 9
Rocca di Papa....	7647	705	711,5	- 6,5	1240	1252	- 12
Aberdeen.....	7653	716	712	+ 4	1256	1253	+ 3
Uccle.....	7677	714	713,5	+ 0,5	1257	1255,5	+ 1,5
Milan.....	7683	708	713,5	- 5,5	2232	1256	+ 976
Besançon.....	7792	723	720	+ 3	1271	1268	+ 3
Neuchâtel.....	7804	726	720,5	+ 5,5			
Moncalieri.....	7811	725	721	+ 4	1275	1270	+ 5
Kew*.....	7915	660	727	- 67			
Parc Saint-Maur..	7916	729	727	+ 2	1263	1281	- 18
Oxford.....	7951	733	729	+ 4	1268	1285	- 17
Marseille*.....	8068	748,5	736	+ 12,5	1311	1297	+ 14
Clermont-Ferrand..	8075	743	736,5	+ 6,5	1298	1298	0
Sitka*.....	8199	(751)	743,5	+ 7,5			
Barcelone.....	8409	759	755,5	+ 3,5	1338	1333	+ 5
Tortosa.....	8556	760	763,5	- 3,5	1353	1348	+ 5
Adélaïde*.....	8599	732	766	- 34	1368	1352,5	+ 15,5
Alger.....	8646	766	769	- 3	1358	1357,5	+ 0,5
Cartuja.....	9084	800	792,5	+ 7,5	1412	1402	+ 10
Sydney.....	9101	792	793,5	- 1,5	1410	1403	+ 7
Riverview.....	9102	795	793,5	+ 1,5	1408	1403	+ 5
Melbourne*.....	9155	822	796,5	+ 25,5	1128	1408,5	- 280,5
Honolulu.....	9180	804	798	+ 6	1422	1411	+ 11
Coimbra.....	9184	792	798	- 6	1403	1411,5	- 8,5
Rio Tinto*.....	9237	1020	801	+ 219			
San Fernando.....	9314	807	805	+ 2	1416	1424	- 8
Victoria*.....	9459	867	812,5	+ 54,5	1206	1438,5	- 232,5
Saskatoon.....	9733	819	827	- 8	1469	1465	+ 4
Apia.....	10269	858	854,5	+ 3,5	1497	1515,5	- 18,5
Berkeley.....	10444	855	863,5	- 8,5	1484	1531,5	- 47,5
Ottawa*.....	10954	867	889	- 22	1506	1577	- 71
Denver*.....	11040	14(40)	892	+ (548)			
Northfield.....	11097				1525		
Wellington.....	11115	(900)	896	+ (4)	1530		
Christchurch*....	11139	1164	897	+ 267	1548		
Toronto.....	11148				1518		
Ann Arbor.....	11260	894			1512		
Chicago.....	11262	885			1500		
Tucson.....	11534	(1156)					
Georgetown.....	11680	1166			1524		
Washington.....	11681	907			1541		
Le Cap.....	11904				1550		
Spring Hill.....	12462				1850		
Mazatlan.....	12627				1991		
Tacubaya.....	13330				1869		
Oaxaca.....	13670	1349			2044		
Panama.....	14989				1724		
La Paz.....	17758	1258			2108		

TABLEAU V.

Station.	Δ km.	PR ₁ s.	PR _{1,c} s.	ϵ s.	PR ₂ s.	PR _{2,c} s.	ϵ s.	SR ₁ s.	SR _{1,c} s.	ϵ s.	SR ₂ s.	SR _{2,c} s.	ϵ s.
Zi-ka-wei	1567	289,5 ^p	(289,5)	0				458	458	0			
Tokio	3071	464	(464)	0	49(3)	(493)	0	772	772	0	813 ^p	(813)	0
Malabar	4811							1109	1090	+19			
Abisko	6194	740	752	-12				1354	1353	+1			
Lemberg	6476	775	775	0				1342	1357	-15	146(9)	1502	-33
Upsal	6499	780	777	+3	860	855	+5	1373	1359	+14	1531	1504	+27
Königsberg	6514	793	778	+15				1437	1432	+5	1600	1590	+10
Athènes	7014												
Vienne	7057	852	821	+31	907	906	+1						
Hamburg	7198							1483	1457	+26	1649	1622	+27
Iéna	7236	840	836	+4	940	921	+19	1474	1463	+11	1620	1628	-8
Göttingen	7302	854	840	+14	940	927	+13	1474	1471	+3	1635	1639	-4
Taunus	7467	863	853	+10									
De Bilt	7560	846	860	-14	950	950	0	1498	1506	-8	1703	1682	+21
Strasbourg	7601	874	863	+11	947	953	-6	1524	1511	+13	1689	1689	0
Zurich	7618				968	954	+14	1517	1513	+4	1701	1691	+10
Rocca di Papa	7647	867	867	0				1499	1518	-19	1702	1696	+6
Aberdeen	7653				964	958	+6	1521	1519	+2	1673	1697	-24
Uccle	7677	834	868	-34	959	959	0	1517	1521	-4	1671	1701	-30
Besançon	7792	891	877	+14	996	970	+26	1552	1537	+15	1728	1720	+8
Parc St-Maur..	7916	877	886	-9	963	981	-18	1551	1553	-2	1761	1740	+21

TABLEAU V (suite).

Station.	Δ km.	PR ₁ s.	PR _{1,c} s.	ϵ s.	PR ₂ s.	PR _{2,c} s.	ϵ s.	SR ₁ s.	SR _{1,c} s.	ϵ s.	SR ₂ s.	SR _{2,c} s.	ϵ s.
Oxford	7951	900	888	+12	1002	984	+18						
Marseille	8068	921,5	896,5	+25				1584	1572	+ 12	1795	1764	+31
Clermont-Ferrand	8075	917	897	+20				1574	1573	+ 1	1787	1766	+21
Barcelone	8409	936	922	+14	1063	1024	+39	1613	1617	- 4	1826	1818	+ 8
Adélaïde*	8599	972	935	+37	1068 ^p	1040	+28				1908	1848	+60
Alger	8646	922	938	-16				1658	1646	+ 12	1862	1855	+ 7
Sydney*	9101							1734	1703	+ 31	2010	1922	+88
Riverview	9102	992	970,5	+21,5				1700	1703	- 3			
Melbourne*	9155							1272	1710	-438			
Honolulu*	9180							1764	1713	+ 51			
Coimbra	9184	982	976,5	+ 5,5				1715	1714	+ 1	1939	1936	+ 3
Victoria*	9459							1304 ^p	1747	-443	1402	1975	-573
Saskatoon*	9733							1825	1781	+ 44			
Apia	10269	1036	1049	-13				1842	1844	- 2	2085	2086	- 1
Berkeley	10444							1866	1866	0	2111	2111	0
Wellington*	11115	115(6)	1104	+(52)									
Toronto*	11148							1596	2047	-451	1764		
Chicago	11262	1125	1114	+11									
Washington	11681	1169	1141	+28									
Cheltenham	11700	1154	1142	+12									
La Paz	17758	1506	(1506)	0	1679	(1679)	0	2669	2669	0	3072		

TABLEAU VI.

Δ	P.	S.	Δ	P.	S.
1500	246,5	400	6300	631	1102
1600	258	420	6400	637	1113,5
1700	269,5	439,5	6500	643	1125
1800	280,5	459	6600	649	1136
1900	291,5	478	6700	655	1147,5
2000	302	497	6800	661	1158,5
2100	312,5	515,5	6900	667	1170
2200	322,5	534	7000	673	1181
2300	332,5	552	7100	679	1192
2400	342,5	570	7200	685	1203
2500	352	587,5	7300	691	1214
2600	361	605	7400	697	1225
2700	370	622	7500	703	1236
2800	379	638,5	7600	709	1247
2900	388	655	7700	714,5	1258
3000	396,5	671,5	7800	720,5	1268,5
3100	405	687,5	7900	726,5	1279,5
3200	413,5	703,5	8000	732	1290
3300	422	719	8100	738	1300,5
3400	430	734	8200	743,5	1311
3500	438,5	749	8300	749,5	1321,5
3600	446,5	764	8400	755	1332
3700	454,5	778,5	8500	760,5	1342,5
3800	462	793	8600	766	1352,5
3900	470	807	8700	771,5	1363
4000	477,5	821	8800	777	1373
4100	485,5	835	8900	782,5	1383
4200	493	848,5	9000	788	1393
4300	500,5	862	9100	793,5	1403
4400	507,5	875	9200	799	1413
4500	515	888	9300	804	1423
4600	522	901	9400	809,5	1432,5
4700	529	913,5	9500	815	1442,5
4800	536	926	9600	820	1452
4900	543	938,5	9700	825,5	1462
5000	550	950,5	9800	830,5	1471,5
5100	556,5	963	9900	835,5	1481
5200	563	975	10000	841	1490,5
5300	569,5	986,5	10100	846	1499,5
5400	576	998,5	10200	851	1509
5500	582	1010	10300	856	1518
5600	588,5	1022	10400	861	1527,5
5700	594,5	1033,5	10500	866	1536,5
5800	601	1045	10600	871	1545,5
5900	607	1056,5	10700	876	1554,5
6000	613	1068	10800	881	1563
6100	619	1079,5	10900	886	1572
6200	625	1090,5	11000	891	1580,5

TABLEAU VII.

Δ	PR ₁	PR ₂	SR ₁	SR ₂
1500	282		445	
2000	343		554	
2500	401		658	
3000	456	(486)	758	(798)
3500	508,5	(543)	854	(910)
4000	558,5	(598)	947	(1018)
4500	606	(652)	1036	(1122)
5000	651	(705)	1122	(1222)
5500	694	(757)	1204	(1319)
6000	736,5	(807)	1282	(1412)
6500	777,5	855	1357	1502
7000	817	901	1429	1589
7500	855,5	945	1498	1673
8000	892,5	988,5	1564	1754
8500	928,5	1031	1628	1832
9000	963,5	1073	1691	1907
9500	998	(1114)	1752,5	1980
10000	1031,5	(1154)	1813	2050
10500	1064,5	(1193)	1872,5	2118
11000	1097	(1231,5)	1931	2183
12000	1160,5	(1306)	(2046)	
13000	(1222)	(1377)	(2158)	
14000	(1282,5)	(1444)	(2270)	
15000	(1342,5)	(1508,5)	(2378,5)	
16000	(1402)	(1571)	(2486)	
17000	(1461)	(1632)	(2591,5)	
18000	(1520)	(1692)	(2694)	

2° Partie historique.

Il est intéressant de comparer les courbes des durées de propagation relatives au séisme du Kan-sou aux courbes analogues déduites d'autres observations.

H. H. Turner¹ a utilisé, récemment, les données horaires de ce tremblement de terre dans une étude comparative des ta-

1. The International Seismological Summary for 1920. Oxford, 925.

bles de O. Klotz¹ et des tables utilisées à Oxford. J'ai étendu cette étude critique à différentes courbes choisies parmi les plus connues et les plus récentes; ce sont : les courbes de E. Wiechert et K. Zoeppritz², les premières qui aient été obtenues à l'aide d'observations précises, encore utilisées dans de nombreux observatoires; celles de L. Geiger et B. Gutenberg³; les courbes de S. W. Visser⁴ et de A. Mohorovičić⁵, déduites de l'étude de nombreux séismes; la table de H. H. Turner⁶, relative à la propagation des ondes au voisinage de l'anti-épicerentre.

Les tables publiées par O. Klotz comprennent : la table de A. Mohorovičić (1914 ou 1915) relative aux ondes P, la table des différences S — P interpolée par C. Zeissig⁷ d'après les courbes de E. Wiechert et K. Zoeppritz, une table relative aux ondes S déduite des deux précédentes.

Les courbes utilisées à Oxford et publiées par H. H. Turner⁸ sont, d'après les références indiquées dans les Publications de la « British Association »⁹, des interpolations des courbes de K. Zoeppritz.

Il est utile d'indiquer les données d'observation utilisées dans les différents cas et les solutions apportées par les auteurs

1. Publications of the Dominion Observatory, Ottawa. Vol. III, n° 2, 1916. « Seismological Tables » by *Otto Klotz*.

2. « Ueber Erdbebenwellen » II et III. (Aus den Nachrichten der K. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. Mathematischphysikalische Klasse). 1907, p. 529 et 1909, p. 400.

3. « Ueber Erdbebenwellen » V et VI (*Ibid.* 1912), VII A. (*Ibid.*, 1914).

4. Koninklijk Magnetisch en Meteorologisch Observatorium te Batavia. Verhandelingen, N° 7, 1921, p. 22-32 et 76-77.

5. Bulletin der Südsl. Akad. B. 4 Juli 1914 et 1915. — Hodographen der longitudinalen und transversalen Wellen eines Bebens. (Auszug aus der im « Rad », Bd 226 (1922), veröffentlichten Abhandlung.)

6 et 8. « Expanded Tables for P, S and S-P » Oxford, 1923.

7. K. Russ. Acad. d. Wiss. in St Petersburg, 1910; ou Fürst B. Galitzin « Vorlesungen über Seismometrie ». Herausgegeben von O. Hecker 1914, p. 108.

9. Seismological Investigations. Nineteenth Report of the Committee 1914, p. 6 et 23.

cités aux problèmes que suscite la construction des courbes : détermination de l'épicentre, de l'heure épicentrale du séisme. La profondeur du foyer a été négligée dans tous les travaux ci-dessus.

Courbes de E. Wiechert et K. Zoeppritz.

E. Wiechert et K. Zoeppritz ont utilisé les observations faites sur les tremblements de terre de l'Inde (4 avril 1905, 11 observations), de Calabre (8 septembre 1905, 13 observations), et de Californie (18 avril 1906, 13 observations).

L'étude directe de la région ébranlée a permis de fixer les épicentres des deux premiers. En Californie, le tremblement de terre s'étant produit suivant une ligne de faille d'une longueur de 100 km., on a choisi comme épicentre le point de cette faille tel que les ondes, se propageant avec une vitesse constante de 7 km. par seconde, arrivent aux stations les plus proches, Berkeley (35 km.) et Lick (80 km.), respectivement à $13^h 12^m 06^s$ et $13^h 12^m 12^s$.

Les heures origines des séismes de Calabre et de Californie ont été obtenues en admettant une vitesse des ondes P constante de 7 km./s entre l'épicentre et la station la plus proche; l'heure origine du tremblement de terre de l'Inde a été déduite de l'heure d'arrivée des ondes P à l'observatoire de Tiflis (à 2.980 km.) à l'aide des courbes des deux autres séismes.

Les observations, encore peu nombreuses à l'époque où ce travail a été fait, présentent une lacune assez importante dans l'intervalle compris entre 5.700 km. et 8.500 km., où il n'y a qu'un point correspondant à la phase P et deux correspondant à la phase S. Au-delà de 9.700 km., il n'existe qu'une observation à 11.110 km.

D'autre part, les données fournies par ces trois séismes ne concordent pas parfaitement : les écarts, comptés sur l'axe des temps, entre les points correspondant aux tremblements de terre de l'Inde et de Californie et la courbe moyenne adoptée¹

1. Voir tableau IX, p. 61.

pour la phase P sont, pour la plupart, positifs; les points relatifs au séisme de Calabre présentent des écarts positifs jusqu'à 270 km. et négatifs (sauf un) au-delà. Les points correspondant au tremblement de terre de Californie dans la courbe des S présentent aussi des écarts systématiques positifs¹.

Courbes de L. Geiger et B. Gutenberg.

L. Geiger et B. Gutenberg ont publié : 1) de nouvelles courbes des durées de propagation des phases P et S entre 0 et 11.000 km; 2) une étude de la propagation de ces ondes aux grandes distances.

1) Les corrections apportées par ces auteurs aux courbes de E. Wiechert et K. Zoeppritz résultent d'observations d'amplitudes faites sur les ondes P directes et réfléchies une fois et sur les ondes S, suivant la méthode de K. Zoeppritz :

On admet que l'énergie se propage uniformément dans toutes les directions à partir du foyer, que la réflexion à la surface se fait dans les mêmes conditions que sur la surface de séparation, supposée plane, de la Terre et du vide; on néglige l'absorption.

Grâce à ces hypothèses, il est possible de calculer les rapports $\frac{PR_{1v}}{P_v}$, $\frac{PR_{1h}}{P_h}$ entre les amplitudes verticales et horizontales des ondes PR₁ et les amplitudes correspondantes des ondes P, en un point quelconque de la terre, si l'on connaît la courbe des durées de propagation et celle de $\sin i_0$ en fonction de la distance (i_0 : angle d'incidence à la surface de la Terre).

L'emploi de la fonction $\sin i_0$ établie par L. Geiger d'après l'hypothèse de E. Wiechert² (existence d'une écorce dans la-

1. Voir : « Ueber Erdbebenwellen » V et VI. *Ibid.*, 1912, p. 191 (tableau 8) et p. 658 (tableau 12).

2. « Ueber Erdbebenwellen », V, tableau 2 et fig. 6 (Annahme 1) (*Ibid.*, p. 162 et 163).

quelle la vitesse des ondes croît avec la profondeur et d'un noyau où cette vitesse est constante) a conduit aux résultats suivants :

A toute discontinuité dans la structure de la Terre correspondent une discontinuité dans la fonction d'amplitude pour la distance Δ où émergent les ondes P qui atteignent la surface de séparation de deux couches différentes et, pour une distance double, une nouvelle variation brusque, en sens inverse, provenant des ondes P réfléchies une fois; le saut se fait vers des valeurs plus grandes ou vers des valeurs plus petites suivant que $\frac{di_0}{d\Delta}$ diminue ou augmente brusquement.

Les amplitudes ont été mesurées sur les inscriptions de 71 tremblements de terre obtenues à Göttingen entre 1904 et 1911.

De l'interprétation des graphiques obtenus¹, les auteurs concluent à l'existence de trois surfaces de discontinuité à des profondeurs respectives de 1.200, 1.700 et 2.450 km. environ.

La fonction $\sin i_0$ a donc été modifiée de manière à satisfaire au mieux à l'existence de ces trois surfaces critiques, aux observations de E. Wiechert et K. Zoepritz et à la fonction d'amplitude observée.

De la nouvelle fonction $\sin i_0^2$ a été déduite, par intégration, la courbe des durées de propagation² reproduite dans le tableau IX.

Une étude parallèle, faisant intervenir les rapports des amplitudes des ondes S et P, a conduit à une nouvelle fonction $\sin i_0^4$ voisine de la précédente et à une nouvelle courbe des durées de propagation des ondes transversales³ (tableau X).

2) L'étude des durées de propagation des ondes P et S aux grandes distances utilise les observations faites à Göttingen

1. « Ueber Erdbebenwellen », V, fig. 10, 11 et 12, p. 183, 184 et 186.

2. *Ibid.*, V, tableau 10 et fig. 14 (*Ibid.*, 1912, p. 193 et 194).

3. *Ibid.*, p. 193.

4. *Ibid.*, VI, tableau 14 et fig. 9 (*Ibid.*, p. 662 et 660).

5. *Ibid.*, VI, tableau 14 (*Ibid.*, p. 662).

sur 78 tremblements de terre, inscrits de 1904 à 1912, dont les épicentres se trouvent à des distances angulaires de Göttingen supérieures à 80°.

Ces épicentres ont été déterminés soit par les effets destructeurs des séismes, soit par les observations faites aux stations les plus proches, la distance de chacune d'elles à l'épicentre étant déduite de la différence entre les temps d'arrivée des ondes P et S (données empruntées au catalogue de la Station Centrale de Strasbourg). Les durées de propagation des ondes P données par la courbe de K. Zöppritz ont permis de déduire, des temps d'arrivée de ces ondes aux stations proches, l'heure origine de chaque tremblement de terre.

Le graphique obtenu¹ montre que les ondes P manquent entre 140° et 144°; à partir de 144°, où les observations sont nombreuses, elles présentent un retard important.

B. Gutenberg explique l'absence des ondes P entre 104° et 144°, ainsi que le retard dans la propagation des ondes aux distances supérieures, par l'existence d'une surface de discontinuité caractérisée par une brusque diminution de la vitesse des ondes, cette surface limitant un noyau central d'un rayon de 3.500 km. environ.

D'autre part, les rapports d'amplitudes $\frac{PR_1}{P}$ indiqueraient une autre discontinuité correspondant aussi à une diminution brusque de vitesse à une profondeur de 2.450 km., de sorte que les observations comprises entre 80° et 92° proviendraient seulement d'ondes réfractées.

Parmi 28 hypothèses différentes sur la variation de la vitesse en fonction de la profondeur, la loi suivante s'est montrée la plus conforme aux observations de durées de propagation et d'amplitudes² :

1. « Ueber Erdbebenwellen », VII A. fig. 2 (*Ibid.*, 1914, p. 143).
2. *Ibid.*, VII A, tableau 6 et fig. 4 (*Ibid.*, 1914, p. 152).

TABLEAU VIII.

Rayon. km.	V _P km/s	V _S km/s	Rayon. km.	V _P km/s	V _S km/s
0.....	11,10	6,16	3000.....	9,00	5,00
500.....	10,88	6,03	3480.....	{ 8,50	4,72
1000.....	10,60	5,89		{ 13,15	7,20
1500.....	10,25	5,70	3880.....	13,15	{ 7,20
2000.....	9,90	5,50			{ 7,30
2500.....	9,48	5,27	3930.....	{ 13,15	
				{ 13,30	

Le calcul des durées de propagation des ondes P et S qui traversent le noyau conduit à deux courbes pour chacune de ces phases; celles qui sont d'accord avec les observations ont été reproduites dans les tableaux IX et X.

Courbes de S. W. Visser.

L'étude de S. W. Visser utilise les observations relatives à 120 tremblements de terre qui se sont produits dans l'archipel des Indes néerlandaises, de 1909 à 1919. Ces données, dont beaucoup sont empruntées aux Publications de Shide¹, résultent principalement d'inscriptions de pendules de Galitzine ou de Wiechert; la station de La Paz a également fourni des données précieuses.

La courbe de L. Geiger et B. Gutenberg relative aux ondes longitudinales et les heures d'arrivée des ondes P à des distances inférieures à 50° ont permis de déterminer l'épicentre et l'heure origine de chaque séisme.

L'auteur compare les données d'observation aux courbes de L. Geiger et B. Gutenberg pour les distances comprises entre 0° et 83°, et entre 143-180° (144-180 pour S), aux courbes de

1. British Association for the Advancement of Science. Seismological Committee.

Milne¹ entre 83° et 143° (83 à 144 pour S). Ses conclusions sont les suivantes :

Les observations relatives aux ondes longitudinales sont en bon accord avec la courbe de L. Geiger et B. Gutenberg, mais suivent une courbe continue jusqu'à 106°. Entre 110° et 144°, les points sont disséminés et ne permettent pas le tracé d'une courbe. A partir de 144°, les observations coïncident de nouveau avec la courbe de ces auteurs.

Les points résultant des observations faites sur les ondes S présentent des écarts négatifs par rapport aux courbes de comparaison entre 18° et 52° et au-delà de 80°. Les nouvelles courbes tracées (tableau X) comportent des durées de propagation plus courtes que celles de Geiger-Gutenberg et de Milne. Pour les distances supérieures à 144°, les résultats de cette étude ne confirment pas la courbe théorique de L. Geiger et B. Gutenberg.

Courbes de A. Mohorovičić.

Tandis que le mémoire de A. Mohorovičić sur le tremblement de terre de Zagreb du 8 octobre 1909 était une étude de la propagation des ondes P et S à de faibles distances de l'épicentre (de 0 à 2.000 km.), les trois suivants, de 1914, 1915 et 1922, sont relatifs aux durées de propagation de ces ondes aux grandes distances.

37 grands tremblements de terre, inscrits entre 1909 et 1916, ont fourni les données du dernier travail : l'auteur a emprunté ces observations soit aux bulletins des observatoires, soit aux publications de H. H. Turner sur les grands tremblements de terre de 1913 et 1916.

L'épicentre et l'heure origine de chaque séisme ont été trouvés à l'aide des observations d'au moins trois bonnes stations situées, autant que possible, entre 200 et 1.400 km., et en utilisant la courbe des ondes P obtenue antérieurement.

Cette étude a conduit aux résultats suivants :

1. British Association for the Advancement of Science. Seventh Report on Seismological Investigations, 1902.

Les durées de propagation des ondes longitudinales et transversales sont représentées par deux faisceaux de courbes correspondant à des phases distinctes que l'auteur désigne par les symboles : P_n, P_1, P_2, \dots et S_n, S_1, S_2, \dots .

La courbe des ondes P_n , publiée en 1914 pour les distances comprises entre 200 et 12.000 km., a été confirmée et prolongée jusqu'à 16.000 km. A 1.700 km. apparaît la phase P_1 dont les durées de propagation sont plus courtes que celles de la phase P_n ; elle se poursuit jusqu'à 13.500 km.; la phase P_2 , distincte entre 140 et 14.500 km., se propage plus vite que la précédente. A une distance d'environ 8.500 km. commencent de nouvelles phases P_3, P_4 , dont les durées de propagation sont encore plus courtes. Enfin, il existe probablement une nouvelle phase P_5 à partir de 11.000 km.

L'étude des ondes transversales a conduit à une conclusion analogue : à chaque phase P correspond une phase S.

Courbe de H. H. Turner.

H. H. Turner propose, pour le calcul des durées de propagation au voisinage de l'anti-épicerne, la formule empirique suivante :

$$[P] = 20^m 17^s - (180 - \Delta)^2 \times 0^s,0235.$$

Les durées de propagation déduites de cette loi et indiquées dans le tableau IX, ont été vérifiées par l'auteur au moyen de nombreuses observations, pour les distances comprises entre 130° et 180°.

Comparaison entre ces différentes courbes et les observations du 16 décembre 1920.

Les tableaux IX et X résument les résultats des différents travaux ci-dessus : les durées de propagation des ondes longitudinales et transversales, données pour des distances variant de 500 en 500 km., reproduisent les valeurs publiées par les auteurs (W-Z., M., Kl.) ou résultent d'interpolations graphiques (G-Gu., V., T.).

TABLEAU IX.

Durées de propagation des ondes P en fonction de la distance, d'après E. Wiechert et K. Zoeppritz (W-Z), L. Geiger et B. Gutenberg (G-Gu.), S. W. Visser (V.), H. H. Turner (T.) et A. Mohorovičić (M.).

Δ km.	W-Z	G.-Gu.	V.	T.	M.	M.	M.	M.	M.	M.
	1907 s.	1912-14 s.	1921 s.	s.	1914 s.	1922 P _n s.	1922 P ₁ s.	1922 P ₂ s.	1922 P ₃ s.	1922 P ₄ s.
0	0	0	0							
500	69	69	69		68,5	68,7				
1000	136	136	136		131,9	131,9				
1500	199	199	199		193,7	193,7				
2000	257	257	257		252,4	252,4			187,5	
2500	310	310	310		307,2	307,2	247,8	245,6		
3000	358	358	358		356,7	356,7	300,4	295,1		
3500	402	402	402		400,3	400,3	348,8	340,0		
4000	442	442	442		438,1	438,1	391,7	381,5		
4500	478	477	477		474,0	474,0	429,1	420,2		
5000	512	512	511		508,0	508,0	464,0	456,3		
5500	542	545	545		540,0	540,0	498,0	490,4		
6000	572	579	579		570,7	570,7	530,7	522,5		
6500	601	611	611		570,7	570,7	561,7	553,3		
7000	631	643	643		599,7	599,7	599,7	582,5		
7500	660	672	671		627,6	627,6	618,4	610,5		
8000	688	702	698		654,6	654,6	645,4	637,7		
8500	716	728	726		681,1	681,1	672,4	664,4		
9000	743	750	751		707,1	707,1	698,9	690,7		
9500	769	773	775		732,6	732,6	724,5	716,3	708,3	
10000	795	797	800		757,6	757,6	749,6	741,6	733,6	
10500	820		822		782,1	782,1	774,6	766,6	758,6	
11000	844		845		806,1	806,2	799,1	791,2	783,2	
11500	867		867		829,5	829,5	823,0	815,0	807,0	798,0
12000	888		888		852,5	852,0	846,2	838,0	830,0	821,0
12500	909				875,2	873,7	868,5	860,2	852,2	843,2
13000						894,5	890,0	881,6	873,6	864,6
13500	929					914,5	910,7	902,1	894,1	885,1
14000						933,7	930,6	921,8	913,8	904,8
14500				1160		952,0		940,6	932,6	923,6
15000				1169		969,5		958,8	950,6	
15500				1178		986,2				
16000		1188	1188	1186		1002,0				
16500		1199	1203	1193		1017,0				
17000		1206	1211	1200						
17500		1213	1219	1205						
18000		1218		1209						
18500		1222		1213						
19000		1224		1215						
19500		1225		1216						
20000		1225		1217						

Jusqu'à 5.000 km., la courbe des ondes P de Wiechert-Zoeppritz, dont dérivent celles de Geiger-Gutenberg et de Visser, s'accorde assez bien avec la courbe P_n de A. Mohorovičić.

A partir de 5.000 km., les écarts augmentent et atteignent, à 8.000 km., 14 s. entre les courbes de Wiechert-Zoeppritz et de Geiger-Gutenberg, 21 s. entre cette dernière et celle de Mohorovičić (P_n).

Dans l'intervalle de 11.000 à 16.000 km., le désaccord est considérable entre les nombres de S. W. Visser, A. Mohorovičić et H. H. Turner.

Au contraire, aux très grandes distances, les courbes obtenues par L. Geiger et B. Gutenberg et par H. H. Turner présentent un accord remarquable, étant donné la difficulté des observations à de telles distances (écart maximum : 9 s.).

Les courbes des ondes S présentent des divergences assez grandes, déjà à 3.000 km. Aux distances supérieures à 13.000 km., il n'existe aucune donnée certaine : le travail de S. W. Visser ne confirme pas la courbe calculée par L. Geiger et B. Gutenberg.

Les observations fournies par un tremblement de terre permettent-elles de faire une étude critique de ces courbes?

La comparaison des tableaux VI, IX et X montre immédiatement qu'aucune d'entre elles ne peut être amenée en coïncidence avec celle du séisme du Kan-sou, que l'on considère les ondes P ou les ondes S.

Toutefois, il m'a paru préférable de comparer directement les différentes courbes aux données d'observation.

L'heure origine épiscoptrale du tremblement de terre du Kan-sou n'étant pas connue par une observation directe, les données que ce séisme a fournies permettent seulement d'étudier la variation des durées de propagation en fonction de la distance, dans l'intervalle où les observations paraissent suffisamment certaines. On compare successivement chacune des courbes publiées par les différents auteurs aux observations obtenues par le séisme du Kan-sou et, chaque fois, on fait choix d'une heure origine qui conduise au meilleur accord possible entre la courbe et les points observés : le critérium adopté ici consiste à calculer un écart moyen entre les points et la courbe

et à choisir pour heure origine t_0 celle qui rend cet écart minimum; l'écart moyen est obtenu de la manière suivante : les observations, réparties entre 1.500 km. et 9.500 km., sont divisées d'après la distance à l'épicentre en sept groupes dont chacun correspond à un intervalle de 1.000 km. (les observations présentent une lacune de 3.500 à 4.500 km.); on calcule, pour chaque groupe, d'une part la moyenne e des valeurs absolues des écarts $|\varepsilon|$, d'autre part la moyenne e' de leurs valeurs algébriques ε ; des nombres obtenus, on déduit, pour l'ensemble de la courbe, un écart moyen résultant des valeurs

absolues $e_m = \frac{\Sigma e}{7}$ et un écart moyen résultant des valeurs

algébriques $e'_m = \frac{\Sigma e'}{7}$; ces deux quantités ont, le plus sou-

vent, leur valeur minimum pour la même heure origine et dans aucun cas la différence entre les deux heures obtenues n'est supérieure à une seconde.

Les tableaux ci-après montrent les résultats des calculs effectués séparément pour les courbes des ondes P et des ondes S.

TABLEAU XI.

Comparaison entre les courbes des durées de propagation des ondes P d'après E. Wiechert et K. Zoeppritz, H. H. Turner, L. Geiger et B. Gutenberg, S. W. Visser, A. Mohorovičić et les observations du 16. XII. 1920.

Station.	Δ km.	W-Z s.	ε	G-Gu. s.	ε	V. s.	ε	M. P _n s.	ε	M. s.	ε
			t_0 : 12 ^h 05 ^m 42,5 ^s s.		t_0 : 12 ^h 05 ^m 37 ^s s.		t_0 : 12 ^h 05 ^m 37 ^s s.		t_0 : 12 ^h 05 ^m 48 ^s s.		t_0 : 12 ^h 05 ^m 53 ^s s.
Zi-ka-wei	1567	207	+ 5	207	+10,5	207	+10,5	201	+ 5,5	P _n 201	+ 0,5
Hokoto	1934	249	- 1,5	249	+ 4	249	+ 4	245	- 3	P ₁ 240,5	- 3,5
Taihoku	1950	251	+14,5	251	+ 20	251	+ 20	247	+13	P _n 247	+ 8
Calcutta	2232	282	+ 5,5	282	+11	282	+11	278	+ 4	P _n 278	- 1
Nagasaki	2259	284,5	-10	284,5	- 4,5	284,5	- 4,5	280	-11	P ₂ 272	- 8
Foukouoka	2283	287	+ 1,5	287	+ 7	287	+ 7	283	0	P ₁ 278	0
Osaka	2709	331	- 0,5	331	+ 5	331	+ 5	328	- 3	P ₁ 321	- 1
Gifu	2811	340,5	- 7	340,5	- 1,5	340,5	- 1,5	339	-11	P _n 339	-16
Nagoya	2830	342,5	- 3	342,5	+ 2,5	342,5	+ 2,5	340	- 6	P ₁ 332,5	- 3,5
Manille	2837	343	+ 1	343	+ 6,5	343	+ 6,5	340,5	- 2	P ₁ 333	+ 0,5
Tokio	3071	365	- 6,5	365	- 1	365	- 1	362	- 9	P ₂ 346	+ 2
Mukaiyama	3125	370	+ 3,5	370	+ 9	370	+ 9	367	+ 1	P ₁ 360	+ 3
Mizuzawa	3137	371	- 3,5	371	+ 2	371	+ 2	368	- 6	P ₁ 361	- 4
Tyosi	3167	373	- 8,5	373	- 3	373	- 3	370,5	-11,5	P ₂ 354	0
Otomari	3293	384,5	-13	384,5	- 7,5	384,5	- 7,5	382	-16	P ₂ 365	- 4
Batavia	4693	492	- 5,5	491	+ 1	491	+ 1	486,5	- 5,5	P ₁ 477	- 1
Malabar	4811	499	- 3,5	498	+ 3	498	+ 3	494,5	- 4,5	P ₁ 485	0
Abisko	6194	584	- 0,5	592	- 3	592	- 3	582	- 4	P ₁ 573	0
Lemberg	6476	600	- 0,5	609,5	- 4,5	609,5	- 4,5	598	- 4	P ₁ 589	0
Upsal	6499	601	- 3	611	- 7,5	611	- 7,5	599,5	- 7	P ₁ 591	- 3,5
Königsberg	6514	602	+ 6,5	612	+ 2	612	+ 2	600,5	+ 2,5	P _n 600,5	- 2,5
Athènes	7014	632	- 2,5	643,5	- 8,5	643,5	- 8,5	628,5	- 4,5	P ₁ 619	0
Vienne	7057	634,5	- 1	646	- 7	646	- 7	630,5	- 2,5	P ₁ 622	+ 1
Potsdam	7071	635,5	- 2	647	- 8	647	- 8	631,5	- 3,5	P ₁ 622	+ 1
Hamburg	7198	643	+ 2,5	654,5	- 3,5	654	- 3	638	+ 2	P _n 638	- 3
Iéna	7236	645	- 2,5	656,5	- 8,5	656	- 8	640,5	- 3,5	P ₁ 631	+ 1
Göttingen	7302	649	+ 0,5	660,5	- 5,5	660	- 5	644	0	P ₁ 635	+ 4

TABLEAU XI (suite).

Station.	Δ km.	W-Z s.	ε t_0 : $12^h05^m42,5^s$ s.		G-Gu. s.	ε t_0 : $12^h05^m37^s$ s.		V. s.	ε t_0 : $12^h05^m37^s$ s.		M. P_n s.	ε t_0 : $12^h05^m48^s$ s.		M. s.	ε t_0 : $12^h05^m53^s$ s.	
Munich.....	7377	653	+ 8,5	665	+ 2	664	+ 3	648	+ 8	P_n 648	+ 3					
Taunus.....	7467	658	+ 1,5	670	- 5	669	- 4	653	+ 1	P_n 653	- 4					
Bochum.....	7472	658,5	+ 3	670,5	- 3,5	669	- 2	653,5	+ 2,5	P_n 653,5	- 2,5					
Jugenheim...	7479	658,5	+ 1	671	- 6	669,5	- 4,5	654	0	P_n 654	- 5					
Heidelberg...	7495	659,5	+ 9	672	+ 2	670	+ 4	654,5	+ 8,5	P_n 654,5	+ 3,5					
Hohenheim...	7501	660	+ 0,5	672,5	- 6,5	670,5	- 4,5	655	0	P_n 646	+ 4					
Padoue.....	7507	660,5	+ 6	673	- 1	671	+ 1	655,5	+ 5,5	P_n 655,5	+ 0,5					
De Bilt.....	7560	663	+ 7	676	- 0,5	674	+ 1,5	658	+ 6,5	P_n 658	+ 1,5					
Coire.....	7584	664	+ 8,5	677	+ 1	675	+ 3	659	+ 8	P_n 659	+ 3					
Strasbourg...	7601	665,5	+ 1	678	- 6	676	- 4	660	+ 1	P_n 660	- 4					
Zurich.....	7618	666	+ 1,5	679	- 6	677	- 4	661	+ 1	P_n 661	- 4					
Florence.....	7636	667,5	+ 10	680	+ 3	678	+ 5	662	+ 10	P_n 662	+ 5					
Rocca di Papa.	7647	668	- 5,5	681	- 13	679	- 11	662,5	- 5,5	P_n 653	- 1					
Aberdeen.....	7653	668	+ 5,5	681	- 2	679	0	662,5	+ 5,5	P_n 662,5	+ 0,5					
Uccle.....	7677	670	+ 1,5	682,5	- 5,5	680,5	- 3,5	664	+ 2	P_n 664	- 3					
Milan.....	7683	670,5	- 5	683	- 12	681	- 10	664,5	- 4,5	P_n 650	+ 5					
Besançon.....	7792	676	+ 4,5	689,5	- 3,5	687	- 1	670	+ 5	P_n 670	0					
Neuchâtel.....	7804	677	+ 6,5	690	- 1	687,5	+ 1,5	670,5	+ 7,5	P_n 670,5	+ 2,5					
Moncalieri...	7811	677,5	+ 5	690,5	- 2,5	688	0	671	+ 6	P_n 671	+ 1					
Parc St-Maur...	7916	683	+ 3,5	696,5	- 4,5	694	- 2	676	+ 5	P_n 676	+ 0					
Oxford.....	7951	685	+ 5,5	698,5	- 2,5	696	0	678	+ 7	P_n 678	+ 2					
Clermont-Ferrand...	8075	692	+ 8,5	706	0	703	+ 3	684,5	+ 10,5	P_n 684,5	+ 5,5					
Barcelone.....	8409	711	+ 5,5	724	- 2	721	+ 1	701,5	+ 9,5	P_n 701,5	+ 4,5					
Tortosa.....	8556	719,5	- 2	731	- 8	729	- 6	710	+ 2	P_n 710	- 3					
Alger.....	8646	724	- 0,5	735	- 6	733	- 4	714	+ 4	P_n 714	- 1					
Riverview.....	9102	748	+ 4,5	754,5	+ 3,5	756	+ 2	738	+ 9	P_n 738	+ 4					
Coimbra.....	9184	752,5	- 3	758,5	- 3,5	760	- 5	741,5	+ 2,5	P_n 741,5	- 2,5					
San-Fernando.	9314	759	+ 5,5	764,5	+ 5,5	766	+ 4	748	+ 11	P_n 748	+ (6)					
		T.														
La Paz.....	17758	1207,5	+ 8	1216	+ 5	1222,5	- 1,5									

TABLEAU XII
Écarts moyens (Phase P).

Δ km.	K s.	W-Z s.	G-Gu. s.	V. s.	M (P _n) s.
1500-2500	-0,2	+2,5	+8,0	+7,9	+1,4
2500-3500	-0,1	-4,2	+1,3	+1,3	-7,0
4500-5500	+0,7	-4,5	+2,0	+2,0	-5,0
5500-6500	-0,2	-1,3	-5,0	-5,0	-5,0
6500-7500	+2,1	+2,0	-4,2	-3,4	+0,9
7500-8500	+2,7	+3,9	-3,5	-1,3	+4,4
8500-9500	-1,9	+0,9	-1,7	-1,8	+5,7
$e'm$	+0,4	-0,1	-0,4	0	-0,7
em	3,1	4,1	5,1	4,7	5,4

TABLEAU XIII.

Comparaison entre les durées de propagation des ondes S d'après E. Wiechert et K. Zoeppritz, L. Geiger et B. Gutenberg, S. W. Visser, A. Mohorovičić, O. Klotz et les observations du 16. XII. 1920.

Station.	W-Z	t_0^E :	G-Gu.	t_0^E :	V.	t_0^E :	Kl.	t_0^E :	M.	t_0^E :	M.	t_0^E :
	s.	$12^h05^m40^s$ s.	s.	$12^h05^m37^s$ s.	s.	$12^h05^m39^s$ s.	s.	$12^h05^m45^s$ s.	S_n s.	$12^h05^m43^s$ s.	s.	$12^h05^m53^s$ s.
Zi-ka-wei	370	+ 3	370	+ 6	367,5	+ 6,5	365	+ 3	364	+ 3,5	S_n 364	- 4
Taihoku	449	+17	449	+20	446	+21	445	+16	444	+16,5	S_n 444	+ 9
Nagasaki	510,5	- 9,5	510,5	- 6,5	504,5	- 2,5	505	- 9	501,5	- 6	S_2 488,5	- 0,5
Foukouoka	515	+ 3	515	+ 6	509	+10	510	+ 3	506	+ 6,5	S_n 506	- 1
Osaka	592	+ 8	592	+11	584	+17	589	+ 6	580	+14,5	S_n 580	+ 7
Gifu	609	-17	609	-14	601,5	- 8,5	607	-20	597	-10,5	S_n 597	-18
Manille	614	-14	614	-11	606	- 5	612	-17	602	- 7,5	S_2 588	- 1
Tokio	652	- 7	652	- 4	643	+ 3	651	-11	640	- 0,5	S_1 631	+ 1
Mukaiyama	661	+10	661	+13	651,5	+20,5	660	+ 6	648	+17,5	S_n 648	+10
Tyosi	668	-13	668	-10	658	- 2	666	-16	655	- 5,5	S_2 641	+ 1
Otomari	687	-18	687	-15	677,5	- 7,5	686	-22	674	-10,5	S_2 661	- 5
Batavia	877	+ 4	877	+ 7	870	+12	873	+ 3	866	+ 9,5	S_n 866	+ 2
Malabar	891	- 1	891	+ 2	885,5	+ 5,5	887	- 2	880	+ 4,5	S_n 880	- 3
Abisko	1050	- 3	1056,5	- 6,5	1056,5	- 8,5	1049	- 7	1047	- 5,5	S_2 1032,5	+ 1,5
Lemberg	1081	- 5	1089	-10	1089	-12	1080	- 9	1079	- 8,5	S_2 1065	- 2
Upsal	1084	- 6	1092	-11	1092	-13	1083	-10	1082,5	- 9,5	S_2 1068	- 3
Königsberg	1086	+ 5	1094	0	1092	- 4	1084	+ 2	1084	+ 1,5	S_1 1077,5	+ 0,5
Athènes	1141	+ 6	1150,5	- 0,5	1150,5	- 2,5	1139	+ 3	1141	+ 0,5	S_1 1135	- 1
Vienne	1146	+10	1155	+ 4	1155	+ 2	1143	+ 8	1146	+ 4,5	S_n 1146	- 3
Potsdam	1148	+ 6	1156,5	+ 0,5	1156,5	- 1,5	1144,5	+ 4,5	1148	+ 0,5	S_1 1141,5	- 0,5
Hamburg	1161	+12	1170	+ 6	1170	+ 4	1158	+10	1162	+ 5,5	S_n 1162	- 2
Iéna	1165	+14	1174	+ 8	1174	+ 6	1162	+12	1166,5	+ 7	S_n 1166,5	- 0,5

TABLEAU XIII (suite).

Station.	W-Z	ε $t_0 :$ $12^h05^m40^s$	G-Gu.	ε $t_0 :$ $12^h05^m37^s$	V.	ε $t_0 :$ $12^h05^m39^s$	Kl.	ε $t_0 :$ $12^h05^m45^s$	M. S_n	ε $t_0 :$ $12^h05^m45,5^s$	M.	ε $t_0 :$ $12^h05^m53^s$
	s.	s.	s.	s.	s.	s.	s.	s.	s.	s.	s.	s.
Göttingen	1172	— 8	1181	—14	1181	—16	1169	—10	1174	—15,5	S_2 1160	— 9
Munich	1180	+11	1189	+ 5	1189	+ 3	1177	+ 9	1182	+ 3,5	S_1 1176,5	+ 1,5
Taunus	1190	+17	1199	+11	1199	+ 9	1186	+16	1192	+ 9,5	S_n 1192	+ 2
Bochum	1191	+12	1199,5	+ 6,5	1199,5	+ 4,5	1187	+11	1193	+ 4,5	S_n 1193	— 3
Jugenheim	1192	+11	1200	+ 6	1200	+ 4	1187	+11	1194	+ 3,5	S_1 1188	+ 2
Heidelberg	1194	+12	1202	+ 7	1202	+ 5	1190	+11	1196	+ 4,5	S_n 1196	— 3
Hohenheim	1194	+ 8	1202,5	+ 2,5	1202,5	+ 0,5	1190	+ 7	1196	+ 0,5	S_1 1190	— 1
De Bilt	1201	+ 3,5	1209	— 1,5	1209	— 3,5	1196	+ 3,5	1203	— 4	S_1 1197	— 3
Coire	1204	+ 8	1211,5	+ 3,5	1211,5	+ 1,5	1199	+ 8	1206	+ 0,5	S_1 1200	— 1
Strasbourg	1205	+ 1	1213,5	— 4,5	1213,5	— 6,5	1200	+ 1	1207	— 6,5	S_2 1193	0
Zurich	1207	+ 3	1215	— 2	1215	— 4	1201,5	+ 3,5	1209	— 4,5	S_2 1196	+ 1
Florence	1209	+11	1217	+ 6	1217	+ 4	1204	+11	1211	+ 3,5	S_1 1205	+ 2
Rocca di Papa	1210	—10	1218	—15	1218	—17	1205	—10	1212	—17,5	S_2 1198	— 6
Aberdeen	1210,5	+ 5,5	1218,5	+ 0,5	1218,5	— 1,5	1205,5	+ 5,5	1213	— 2,5	S_1 1207	— 1
Uccle	1213,5	+ 3,5	1221	— 1	1221	— 3	1208	+ 4	1215,5	— 4	S_1 1202	+ 2
Besançon	1226	+ 5	1233	+ 1	1233	— 1	1219	+ 7	1228	— 2,5	S_1 1222	+ 1
Moncalieri	1228	+ 7	1235	+ 3	1235	+ 1	1221	+ 9	1230	— 0,5	S_1 1224	— 2
Parc St-Maur	1239	—16	1246	—20	1246	—22	1232	—14	1241	—23,5	S_3 1211	— 1
Oxford	1243	—15	1249,5	—18,5	1249,5	—20,5	1236	—13	1245	—22,5	S_3 1215	0
Clermont-Ferrand	1256,5	+ 1,5	1262	— 1	1262	— 3	1248,5	+ 4,5	1258	— 5,5	S_2 1244	+ 1
Barcelone	1292	+ 6	1295,5	+ 5,5	1295,5	+ 3,5	1283	+10	1292,5	0	S_1 1286	— 1
Alger	1317	+ 1	1319	+ 2	1319,5	+ 0,5	1306,5	+ 6,5	1315	— 2,5	S_1 1309	— 4
Riverview	1364	+ 4	1361	+10	1364	+ 5	1353	+10	1358	+ 4,5	S_n 1358	— 3
Coimbra	1372,5	— 9,5	1368	— 2	1372,5	— 8,5	1361,5	— 3,5	1366	— 8,5	S_2 1352	— 2
San Fernando	1385	— 9	1378	+ 1	1383,5	— 6,5	1374	— 3	1378	— 7,5	S_2 1364	— 1

TABLEAU XIV.

Écart moyens (Phase S).

Δ km.	K ⁽¹⁾ s.	W-Z. s.	G-Gu. s.	V. s.	M (S _n) s.	Kl. s.
1500-2500	+5,9	+3,4	+6,4	+8,7	+5,1	+3,2
2500-3500	-1,9	-7,3	-4,3	+2,5	-0,4	-10,6
4500-5500	+5,2	+1,5	+4,5	+8,7	+7,0	+0,5
5500-6500	-5,5	-4,7	-9,2	-11,2	-7,8	-8,7
6500-7500	+7,1	+9,0	+3,3	+1,3	+2,5	+7,3
7500-8500	-0,5	+1,5	-2,8	-4,8	-5,9	+2,6
8500-9500	-2,7	-3,4	+2,7	-2,6	-3,5	+2,5
e'_m	+1,1	0	+0,1	+0,4	-0,4	-0,4
e_m	6,8	7,3	7,1	7,9	7,1	7,9

(1) Les valeurs minima des écarts moyens ($e'_m=0$, $e_m=6,8$) seraient obtenues par une translation de +1 s de la courbe des S.

L'examen du tableau XII montre que les écarts moyens e' entre les observations relatives aux ondes P et la courbe K adoptée pour le tremblement de terre du Kan-sou sont tous inférieurs à 1 s. jusqu'à 6.500 km. Entre 6.500 km. et 8.500 km., les écarts positifs proviennent des données fournies par des appareils insuffisamment sensibles; les valeurs minima des écarts moyens ($e_m' = + 0,1$, $e_m = 3,1$) sont obtenues par une translation de + 0,5 s. de la courbe.

Aux courbes de E. Wiechert et K. Zoeppritz et de A. Mohorovičić, correspondent des écarts systématiques négatifs entre 2.500 et 6.500 km. et positifs entre 6.500 et 9.500 km. Au contraire, celles de L. Geiger et B. Gutenberg et de S. W. Visser conduisent à des écarts positifs de 1.500 à 5.500 km., puis négatifs.

Dans le cas des ondes transversales, les valeurs des écarts, déjà grandes pour la courbe K par suite de la précision moindre des déterminations, rendent les résultats beaucoup moins nets : on peut seulement indiquer un écart systématique positif entre 1.500 et 5.500 km., négatif entre 5.500 et 9.500 km. pour la courbe de S. W. Visser et, pour la courbe de Klotz, un écart positif entre 6.500 et 9.500 km. correspondant à un écart de même signe pour la courbe des ondes longitudinales de A. Mohorovičić.

Les heures origines obtenues par les ondes longitudinales et par les ondes transversales ne coïncident que pour les courbes de L. Geiger et B. Gutenberg et présentent des écarts de 2 à 3 s. pour les autres courbes.

Conclusion.

Cette comparaison met en évidence des divergences notables entre les différentes courbes.

Elle fournit un résultat important en confirmant les durées de propagation des ondes P au voisinage de l'anti-épiceentre et montre la nécessité d'observations précises, faites à l'aide de sismographes très sensibles, qui permettront de reconnaître avec certitude si des ondes longitudinales directes émergent

entre 11.000 km. et 16.000 km. et si les ondes transversales se propagent au-delà de 12.000 km.

Il résulte également de cette étude qu'aucune des courbes considérées ne représente d'une manière satisfaisante les observations relatives au séisme de Kan-sou; on ne pourrait guère, en effet, expliquer par des erreurs d'observation les écarts systématiques qui apparaissent très nettement dans le tableau XII; la même conclusion s'applique probablement aux ondes transversales, mais les erreurs accidentelles, très importantes dans ce cas, rendent difficile la discussion des écarts.

Ce résultat admet plusieurs interprétations : si les durées de propagation des ondes longitudinales et transversales n'étaient fonctions que de la distance, chaque phase devant être représentée par une courbe unique, commune à tous les tremblements de terre, les courbes obtenues jusqu'à présent seraient inexactes.

Des causes d'erreurs multiples interviennent, en effet, dans la construction des courbes : les erreurs d'observation proviennent soit d'une mauvaise détermination de l'heure ou d'irrégularités dans la vitesse du cylindre enregistreur, soit de la sensibilité insuffisante des appareils, soit encore d'interprétations inexactes des phases.

D'autre part, la détermination de l'épicentre par les effets destructeurs du tremblement de terre devient peu précise si la région éprouvée est très étendue. L'emploi des méthodes qui utilisent les heures d'arrivée des ondes aux observatoires et empruntent des données à des courbes obtenues antérieurement subordonne l'exactitude du calcul d'épicentre à celle des courbes utilisées. Enfin, les courbes citées étant toutes *des courbes moyennes*, résultant de l'étude de plusieurs séismes, cette dernière cause d'erreur intervient dans le calcul de l'heure origine de chaque tremblement de terre.

Ces considérations peuvent expliquer l'imprécision des courbes obtenues à partir de ces éléments; mais on peut aussi attribuer d'autres causes aux divergences constatées entre ces courbes. La principale est l'existence probable de foyers situés à des profondeurs variables d'où il résulterait que les courbes

correspondant à plusieurs tremblements de terre ne seraient pas superposables.

Ces courbes déduites des observations fournies par un grand nombre de tremblements de terre ne représenteraient donc que des durées de propagation moyennes et ne pourraient être comparées aux observations relatives à un seul tremblement de terre. Leur exactitude ne pourrait être appréciée qu'en les comparant aux données fournies par un ensemble de séismes. Par contre, une étude précise de la propagation des ondes exigerait la détermination de l'épicentre, des courbes de durées de propagation, de la profondeur du foyer et de l'heure origine de chaque tremblement de terre, indépendamment de toute donnée déduite d'autres séismes. La comparaison des courbes ainsi obtenues fournirait probablement des résultats intéressants sur les profondeurs de foyers et sur les propriétés élastiques des couches traversées par les ondes.

Enfin, on pourrait encore expliquer l'éparpillement des points d'observation par l'hétérogénéité du sous-sol. On pourrait mettre en évidence le rôle de ce facteur en substituant à la construction des courbes de durées de propagation, pour chaque tremblement de terre, celle des courbes *coséistes* (lieux des points atteints en même temps par les ondes).

II. — TRAJECTOIRES DES ONDES LONGITUDINALES.

VITESSE DE CES ONDES A L'INTÉRIEUR DE LA TERRE.

ANGLE D'ÉMERGENCE.

Je me propose, dans ce paragraphe, de déterminer la vitesse des ondes longitudinales à l'intérieur de la Terre et la forme de leur trajectoire, en utilisant la courbe des durées de propagation résultant des observations faites à la surface de la Terre.

Ce problème peut être résolu si l'on admet l'hypothèse déjà faite, que la vitesse des ondes n'est fonction que de la profondeur. Il revient alors à déterminer la loi de variation de la vitesse des ondes en fonction de la profondeur.

La méthode utilisée consiste à diviser le globe terrestre en un

certain nombre de couches concentriques telles qu'à chacune d'elles corresponde une loi simple de variation de la vitesse satisfaisant aux données d'observation : on commencera par chercher la loi qui régit la vitesse dans la couche superficielle, puis on modifiera cette loi pour l'adapter aux couches plus profondes, conformément aux observations.

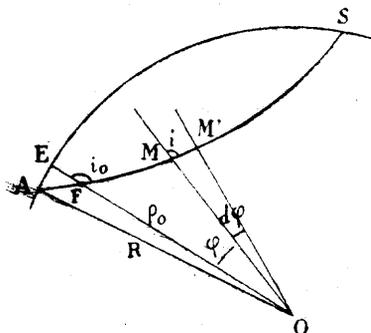


FIG. 7.

Soit F un foyer de tremblement de terre, S un observatoire, M un point de la trajectoire FS. Désignons respectivement par ρ_0 et i_0 , ρ et i les valeurs des rayons vecteurs et des angles d'incidence (angles de la trajectoire avec les rayons terrestres, vers l'extérieur) aux points F et M.

D'après la loi générale de la réfraction

$$\frac{\rho}{v} \sin i = \frac{\rho_0}{v_0} \sin i_0 = a \quad (3)$$

(v_0 : vitesse au point origine, à la distance ρ_0 du centre de la Terre; v : vitesse en M, à la distance ρ du centre; a : constante), le temps t de propagation suivant l'arc FM et l'angle φ correspondant ($\varphi = \widehat{FOM}$) s'expriment en fonction de ρ par les relations connues :

$$d\varphi = \pm \frac{av}{\rho} \frac{d\rho}{\sqrt{\rho^2 - a^2 v^2}} \quad (4)$$

$$dt = \pm \frac{\rho}{v} \frac{d\rho}{\sqrt{\rho^2 - a^2 v^2}}. \quad (5)$$

Pour pouvoir intégrer ces équations, il faut connaître une expression de la vitesse v en fonction du rayon vecteur ρ . Les deux lois suivantes ont été successivement essayées.

$$\text{1re loi (A. Mohorovičić) : } v = v_0 \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)^k.$$

La loi

$$v = v_0 \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)^k, \quad (6)$$

où le coefficient numérique k est déterminé par les observations et caractérise la couche considérée, a déjà été justifiée, dans le cas d'une propagation à de faibles distances de l'épicentre, par A. Mohorovičić, dans son mémoire sur le tremblement de terre de Zagreb du 8 octobre 1909¹.

En admettant cette loi, les équations précédentes deviennent, après intégration :

$$\begin{aligned} \varphi + c^{10} &= \pm \frac{1}{k+1} \arcsin (r^{k+1} \sin i_0), \\ t + c^{10} &= \pm \frac{\rho}{v_0(k+1)} \frac{1}{r^k} \sqrt{1 - r^{2(k+1)} \sin^2 i_0}, \end{aligned}$$

en posant : $\frac{\rho_0}{\rho} = r$;

ou, d'après les conditions initiales (pour $r = 1$, $\varphi = 0$ et $t = 0$) :

1. Jahrbuch des Meteorologischen Observatoriums in Zagreb für das Jahr 1909. Jahrgang IX. IV Teil. Abschnitt 1. Das Beben vom 8. X. 1909, von Dr A. Mohorovičić. — Voir aussi : E. Rothé, Sur la Propagation des Ondes séismiques au voisinage de l'Épicentre. Publications du Bureau central sismologique international, série A, Toulouse, 1924.

$$\varphi = \pm \frac{1}{k+1} [i_0 - \text{arc sin } (r^{k+1} \sin i_0)]. \quad (7)$$

$$l = \pm \frac{\rho}{(k+1)v_0 r^k} (\sqrt{1 - r^{2(k+1)} \sin^2 i_0} - r^{k+1} \cos i_0). \quad (8)$$

Ces équations peuvent encore être écrites sous la forme suivante :

$$\varphi = \pm \frac{1}{k+1} (i_0 - i), \quad (7')$$

$$l = \pm \frac{\rho}{(k+1)v} (\cos i - r^{k+1} \cos i_0), \quad (8')$$

car

$$\sin i = r^{k+1} \sin i_0, \quad (9)$$

d'après la loi générale de la réfraction et l'équation (6).

Je désigne les couches successives par les indices 1, 2, 3 ... n, l'écorce superficielle étant notée 1 : k_1, k_2, \dots, k_n sont les valeurs correspondantes du coefficient k ; $R, \rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ les rayons successifs des sphères limites; $h_1 = R - \rho_1, h_2 = R - \rho_2, \dots$

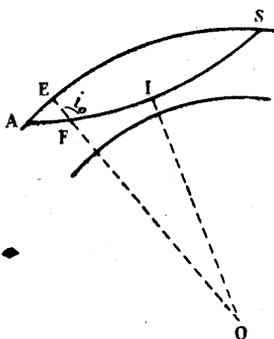


FIG. 8.

$h_n = R - \rho_n$ les distances entre ces sphères et la surface de la Terre; v'_1 et v_1, v'_2 et v_2, \dots, v'_n les vitesses aux limites.

Admettons, par exemple, que le foyer se trouve dans la cou-

che superficielle 1. Si la trajectoire est contenue tout entière dans cette couche, il y a lieu de distinguer trois cas :

1) Quand l'angle d'incidence au foyer i_0 est inférieur à $\frac{\pi}{2}$, les valeurs de φ et de t sont :

$$\varphi = \frac{1}{k_1 + 1} (i_0 - i'_1), \quad (10)$$

$$t = \frac{R}{(k_1 + 1) v_0 \left(\frac{\rho_0}{R}\right)^{k_1}} \left[\cos i'_1 - \left(\frac{\rho_0}{R}\right)^{k_1+1} \cos i_0 \right] \quad (11)$$

avec :

$$\sin i'_1 = \left(\frac{\rho_0}{R}\right)^{k_1+1} \sin i_0.$$

2) Lorsque $i_0 > \frac{\pi}{2}$:

$$\varphi = \frac{1}{k_1 + 1} (\pi - i_0 - i'_1), \quad (12)$$

$$t = \frac{\rho_0}{(k_1 + 1) v_0} \left[\cos i_0 + \left(\frac{R}{\rho_0}\right)^{k_1+1} \cos i'_1 \right]. \quad (13)$$

3) Enfin, si $i_0 = \frac{\pi}{2}$:

$$\varphi = \frac{1}{k_1 + 1} \left(\frac{\pi}{2} - i'_1 \right), \quad (14)$$

$$t = \frac{R}{(k_1 + 1) v_0 \left(\frac{\rho_0}{R}\right)^{k_1}} \cos i'_1. \quad (15)$$

Considérons maintenant le cas général où les ondes traversent plusieurs couches.

Soit, par exemple, une trajectoire qui pénètre dans trois couches.

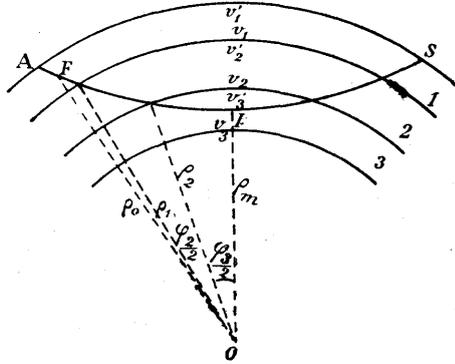


FIG. 9.

ρ_m étant la distance au centre de la Terre du point le plus bas de la trajectoire, la distance angulaire $\widehat{FOS} = \varphi$ peut être décomposée de la manière suivante :

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3$$

où :

$$\varphi_1 = (\varphi)_{\rho_1}^{\rho_0} + (\varphi)_{\rho_1}^R, \quad \varphi_2 = 2(\varphi)_{\rho_2}^{\rho_1}, \quad \varphi_3 = 2(\varphi)_{\rho_m}^{\rho_2}$$

Le temps de propagation correspondant est :

$$t = t_1 + t_2 + t_3$$

où :

$$t_1 = (t)_{\rho_1}^{\rho_0} + (t)_{\rho_1}^R, \quad t_2 = 2(t)_{\rho_2}^{\rho_1}, \quad t_3 = 2(t)_{\rho_m}^{\rho_2}$$

Les valeurs de φ_1 , φ_2 et φ_3 sont données par des équations analogues à (10) et (14) :

$$\varphi_3 = \frac{2}{k_3 + 1} \left(\frac{\pi}{2} - i'_3 \right), \tag{16}$$

$$\varphi_2 = \frac{2}{k_2 + 1} (i_2 - i'_2), \quad (17)$$

$$\varphi_1 = \frac{2}{k_1 + 1} \left(i_1 - \frac{1}{2} i_0 - \frac{1}{2} i'_1 \right), \quad (18)$$

d'où :

$$\begin{aligned} \varphi = \frac{2}{k_3 + 1} \left(\frac{\pi}{2} - i'_3 \right) + \frac{2}{k_2 + 1} (i_2 - i'_2) \\ + \frac{2}{k_1 + 1} \left(i_1 - \frac{1}{2} i_0 - \frac{1}{2} i'_1 \right) \end{aligned} \quad (19)$$

avec :

$$\sin i'_3 = \left(\frac{\rho_m}{\rho_2} \right)^{k_3+1}, \quad \sin i'_2 = \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^{k_2+1} \sin i_2, \quad (20)$$

$$\sin i'_1 = \left(\frac{\rho_1}{R} \right)^{k_1+1} \sin i_1, \quad \sin i_0 = \left(\frac{\rho_1}{\rho_0} \right)^{k_1+1} \sin i_1.$$

Les valeurs correspondantes de t_1 , t_2 et t_3 sont, d'après (11) et (15) :

$$t_3 = \frac{2\rho_2}{(k_3 + 1)v'_3} \cos i'_3, \quad (21)$$

$$t_2 = \frac{2\rho_1}{(k_2 + 1)v'_2} \left[\cos i'_2 - \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^{k_2+1} \cos i_2 \right], \quad (22)$$

$$t_1 = \frac{R}{(k_1 + 1)v'_1} \left[\cos i'_1 - \left(\frac{\rho_1}{R} \right)^{k_1+1} \cos i_1 \right] \quad (23)$$

$$+ \frac{\rho_0}{(k_1 + 1)v_0} \left[\cos i_0 - \left(\frac{\rho_1}{\rho_0} \right)^{k_1+1} \cos i_1 \right],$$

d'où :

$$t = \frac{2\rho_2}{(k_2 + 1)v'_2} \cos i'_2 + \frac{2\rho_1}{(k_2 + 1)v'_2} \left[\cos i'_2 \right. \quad (24)$$

$$\left. - \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^{k_2+1} \cos i_2 \right] + \frac{R}{(k_1 + 1)v'_1} \left[\cos i'_1 - \left(\frac{\rho_1}{R} \right)^{k_1+1} \cos i_1 \right]$$

$$+ \frac{\rho_0}{(k_1 + 1)v_0} \left[\cos i_0 - \left(\frac{\rho_1}{\rho_0} \right)^{k_1+1} \cos i_1 \right].$$

Méthode de calcul.

1) *Détermination de k_1 et de v_0 .* — On choisit, par exemple, quatre valeurs de l'angle d'incidence i_0 au foyer, voisines de $\frac{\pi}{2}$ afin que les trajectoires correspondantes soient contenues tout entières dans l'écorce superficielle; soit : $i_{0,a} = 65^\circ$, $i_{0,b} = 90^\circ$, $i_{0,c} = 97^\circ$, $i_{0,d} = 100^\circ$.

On attribue au coefficient k_1 une valeur arbitraire; les équations (8), (10) et (12) permettent de calculer les valeurs de φ : $\varphi_a, \varphi_b, \varphi_c, \varphi_d$. Les durées de propagation correspondantes sont déduites des courbes; les temps d'arrivée des ondes ayant été comptés à partir d'une heure-origine arbitraire, la courbe obtenue ne donne pas les durées réelles de propagation; mais leurs différences $\tau = t_b - t_a$, $\tau' = t_d - t_c$ sont connues.

La substitution à t_a, t_b, t_c, t_d de leurs expressions tirées des équations (10), (12) et (14) conduit à deux équations distinctes en v_0 :

$$v_0 = \frac{R}{(k_1 + 1) \left(\frac{\rho_0}{R} \right)^{k_1} \tau} \left(\cos i'_{1,b} - \cos i'_{1,a} + \left(\frac{\rho_0}{R} \right)^{k_1+1} \cos i_{0,a} \right) \quad (25)$$

et

$$v_0 = \frac{\rho_0}{(k_1 + 1) \tau'} \left[\cos i_{0,d} - \cos i_{0,c} + \left(\frac{R}{\rho_0} \right)^{k_1+1} (\cos i'_{1,d} - \cos i'_{1,c}) \right]. \quad (26)$$

En attribuant à k_1 différentes valeurs (1, 2, 3, 4 ...), on détermine la valeur de ce coefficient pour laquelle les équations (25) et (26) conduisent à la même valeur pour la vitesse au foyer v_0 . Les quantités k_1 et v_0 étant connues, il est possible de calculer les valeurs exactes des distances et des durées de propagation; la différence entre les heures lues sur la courbe et ces durées t_a, t_b, t_c, t_d doit être constante: c'est l'heure-origine au foyer. On considérera dorénavant la courbe construite avec cette nouvelle origine des temps.

Le calcul des durées de propagation à de plus grandes distances permet de déterminer l'épaisseur approximative de l'écorce superficielle: lorsqu'une durée calculée à l'aide de la constante k_1 ne concorde plus avec la courbe, on doit admettre que la trajectoire pénètre dans la deuxième couche, où le coefficient k a une autre valeur. La profondeur du point le plus bas de la dernière trajectoire qui satisfasse aux données d'observation fournit une valeur de l'épaisseur h_1 de l'écorce.

$$\text{Or, d'après (9): } \left(\frac{\rho_m}{R}\right)^{k_1+1} = \sin i'_1$$

d'où :

$$R - h_1 = \rho_m = R (\sin i'_1)^{\frac{1}{k_1+1}} \quad (27)$$

2) Détermination de k_2 et v'_2 . — Le coefficient k_2 est calculé par approximations successives.

Pour deux trajectoires voisines φ_a et φ_b , les trajets dans l'écorce sont peu différents. On peut, en première approximation, admettre qu'ils sont égaux, de sorte que :

$$\tau = t_b - t_a = \frac{2\rho_1}{(k_2 + 1)v'_2} (\cos i'_{2,b} - \cos i'_{2,a}) \quad (28)$$

où, d'après (14) :

$$\left. \begin{aligned} i'_{2,a} &= \frac{\pi}{2} - (k_2 + 1) \frac{\varphi_{2,a}}{2} \\ i'_{2,b} &= \frac{\pi}{2} - (k_2 + 1) \frac{\varphi_{2,b}}{2} \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

Si l'on utilise la formule complète

$$\begin{aligned} \tau = & \frac{2\rho_1}{(k_2 + 1)v'_2} (\cos i'_{2,b} - \cos i'_{2,a}) \quad (30) \\ + & \frac{R}{(k_1 + 1)v'_1} \left[\cos i'_{1,b} - \cos i'_{1,a} - \left(\frac{\rho_1}{R}\right)^{k_1+1} (\cos i_{1,b} - \cos i_{1,a}) \right] \\ & + \frac{\rho_0}{(k_1 + 1)v_0} \left[\cos i_{0,b} - \cos i_{0,a} - \left(\frac{\rho_1}{\rho_0}\right)^{k_1+1} (\cos i_{1,b} - \cos i_{1,a}) \right], \end{aligned}$$

les deux derniers termes sont petits par rapport au premier.

On peut écrire :

$$\tau = \frac{2\rho_1}{(k_2 + 1)v'_2} (\cos i'_{2,b} - \cos i'_{2,a}) + \tau_1;$$

d'où, en posant $\tau_2 = \tau - \tau_1$,

$$v'_2 = \frac{2\rho_1}{(k_2 + 1)\tau_2} (\cos i'_{2,b} - \cos i'_{2,a}). \quad (31)$$

Comme précédemment, on attribue à k_2 différentes valeurs. Les équations (29) permettent de calculer, pour chaque valeur de k_2 , les valeurs de $i'_{2,a}$ et $i'_{2,b}$ correspondant à des valeurs données de $\varphi_{2,a}$ et $\varphi_{2,b}$; d'autre part, en admettant que $v'_2 = v_1$, on obtient des valeurs approchées de τ_1 et de φ_1 ; φ_a et φ_b étant calculés, la courbe donne τ et l'équation (31) permet de calculer v'_2 .

On construit un graphique représentant les valeurs de v'_2 en fonction de k_2 ; en répétant le même calcul pour trois paires de valeurs de φ_2 , par exemple 7° et 8° , 10° et 11° , 13° et 14° , on obtient trois courbes dont le point d'intersection donne une première valeur approchée de k_2 et de v'_2 .

A l'aide de ces quantités, on calcule, d'une part, au moyen des équations (18) et (20), les valeurs de $\varphi_{1,a}$, $\varphi_{1,b}$ et par conséquent de φ_a et φ_b ; d'autre part, d'après les équations (23) et (30), les durées de propagation dans l'écorce $t_{1,a}$ et $t_{1,b}$ et leur différence τ_1 ; τ étant donné par la courbe des durées de pro-

pagation, on en déduit τ_2 . L'équation (31) fournit, par le même procédé que ci-dessus, de nouvelles valeurs de k_2 et v'_2 .

Les valeurs obtenues sont convenables si les durées de propagation sont égales à celles que donne la courbe; dans le cas contraire, il y a lieu de corriger les valeurs de k_2 et v'_2 .

Enfin, on détermine, comme précédemment, la limite inférieure de la couche caractérisée par ces coefficients.

Les calculs relatifs aux couches suivantes se font, de proche en proche, suivant la même méthode. Toutefois, si la vitesse ne présente pas de variation discontinue (c'est-à-dire si $v'_3 = v_3$, $v'_4 = v_3$, ...), comme on l'a observé à partir de la deuxième couche, le coefficient k reste seul inconnu; d'ailleurs, sa valeur dans la couche précédente constitue une première approximation: il suffit de corriger cette valeur dans le sens indiqué par les écarts avec les données d'observation, jusqu'à ce qu'on obtienne une concordance satisfaisante entre les durées calculées et les durées observées.

Application au tremblement de terre du Kan-sou.

Résultats numériques.

Lors du tremblement de terre du Kan-sou, aucune observation précise n'a été obtenue à moins de 1.500 km. Il est donc impossible de calculer les constantes relatives à l'écorce; leurs valeurs sont empruntées au mémoire de A. Mohorovičić :

$$k_1 = 3,049,$$

$$v'_1 = 5,55 \text{ km/s.}$$

La valeur adoptée pour la vitesse des ondes longitudinales au voisinage de la surface est conforme aux résultats des observations et expériences récentes: les vitesses déterminées à l'aide des inscriptions obtenues, lors de l'explosion d'Oppau, aux stations de Göttingen, Zurich, Ravensburg, Heidelberg, Feldberg, Hohenheim, Strasbourg sont comprises entre 5,6

et 5,8 (la valeur moyenne, d'après l'étude de O. Hecker, est : $5,75 \pm 0,04$)¹.

Les expériences d'explosions faites au camp de la Courtine, en mai 1924, ont fourni les valeurs suivantes : 5,5 d'après les inscriptions obtenues à Aubusson ; 5,52, *valeur moyenne* d'après les stations de La Courtine, Felletin et Ussel².

A. Mohorovičić attribue à l'écorce superficielle une épaisseur de 50 km. Les calculs suivants ont été effectués dans les mêmes conditions et pour deux valeurs distinctes de la profondeur du foyer.

Voici, à titre d'exemple, les calculs faits pour trouver le coefficient k_1 et la vitesse v'_1 , dans le cas d'un foyer superficiel.

$$k_1 = 3,049, \quad v_1 = 5,68 \text{ km/s}, \quad v'_1 = 5,55 \text{ km/s}, \quad \log \left(\frac{\rho_1}{R} \right)^{k_1+1} = 9.98615.$$

($\Delta, \Delta_1, \Delta_2 \dots$ sont les distances mesurées à la surface de la Terre qui correspondent aux angles $\varphi, \varphi_1, \varphi_2 \dots$).

1. O. Hecker. Die Explosionskatastrophe von Oppau. Iena, 1922. (Publication de la station sismologique centrale.) — MM. Rothé, Lacoste, Bois, M^{lle} Dammann et M^{me} Hée « Comparaison entre l'explosion d'Oppau et celle du 23 mai à la Courtine ». C. R. 1924, t. 179, p. 507.

2. MM. Maurain, Eblé, Labrouste, Mouronval et Escher-Desrivières « Sur la propagation des ondes sismiques au voisinage de l'origine ». C. R. 1924, t. 178, p. 2262 et Ch. Maurain, L. Eblé et H. Labrouste « Sur les ondes sismiques des explosions de la Courtine ». Journal de Physique, tome VI, série VI, n^o 3. Paris, mars 1925. — MM. Rothé, Lacoste, Bois, M^{lle} Dammann et M^{me} Hée « Étude de la propagation de l'ébranlement des explosions de la Courtine ». C. R. 1924, t. 179, p. 339.

1^{re} approximation : $v'_2 = v_1, i'_2 = i_1.$

$k_2 = 1$

φ_2	13°	14°	16°	17°	19°	20°
i_1	77°	76°	74°	73°	71°	70°
i'_1	70°41'45"	70°01'24"	68°36'12"	67°51'50"	66°19'30"	65°32'00"
$\Delta_1 km$	346,2	328,2	296,4	282,1	256,7	245,3
Δkm	1791	1885	2075	2172	2369	2469
$t_1 s$	63,9	60,8	55,5	53,1	48,9	47,0
$\tau_1 s$	— 3,1		— 2,4		— 1,9	
τs	+10,2		+ 9,8		+ 9,5	
$\tau_2 s$	+13,3		+12,2		+11,4	

$k_2 = 2$

φ_2	13°	14°	16°	17°	19°	20°
i_1	70°30'	69°	66°	64°30'	61°30'	60°
i'_1	65°56'00"	64°43'30"	62°14'09"	60°57'36"	58°20'45"	57°01'07"
$\Delta_1 km$	250,8	234,8	206,7	194,6	173,2	163,7
Δkm	1696	1791	1986	2085	2286	2387
$t_1 s$	47,9	45,3	40,8	38,9	35,6	34,1
$\tau_1 s$	— 2,6		— 1,9		— 1,5	
τs	+10,6		+10,3		+ 9,9	
$\tau_2 s$	+13,2		+12,2		+11,4	

$k_2 = 3$

φ_2	13°	14°	16°	17°	19°	20°
i_1	64°	62°	58°	56°	52°	50°
i'_1	60°31'34"	58°47'07"	55°13'40"	53°25'07"	49°45'12"	47°54'05"
$\Delta_1 km$	190,8	176,5	152,2	141,8	123,4	115,2
Δkm	1636	1733	1931	2032	2236	2339
$t_1 s$	38,2	36,0	32,3	30,8	28,2	27,1
$\tau_1 s$	— 2,2		— 1,5		— 1,1	
τs	+11,0		+10,8		+10,4	
$\tau_2 s$	+13,2		+12,3		+11,5	

$$k_2 = 4$$

φ_2	13°	14°	16°	17°	19°	20°
i_1	57°30'	55°	50°	47°30'	42°30'	40°
i_1'	54°46'40"	52°30'27"	47°54'05"	45°34'20"	40°52'21"	38°30'26"
Δ_1 km.....	149,5	136,9	115,2	105,9	89,4	82,0
Δ km.....	1595	1693	1894	1996	2202	2306
t_1 s.....	31,9	30,1	27,1	25,9	23,9	23,0
τ_1 s.....	— 1,8		— 1,2		— 0,9	
τ s.....	+11,3		+10,9		+10,5	
τ_2 s.....	+13,1		+12,1		+11,4	

Le tableau ci-dessous contient les valeurs de v'_2 obtenues par la formule (31), pour les trois groupes de valeurs de φ_2 : 13°-14°, 16°-17° et 19°-20°.

$\varphi_2 \backslash k_2$	1	2	3	4
	km/s	km/s	km/s	km/s
13°-14°	8,06	7,84	7,45	7,00
16°-17°	8,67	8,21	7,52	6,85
19°-20°	9,12	8,44	7,45	6,38

L'interpolation graphique conduit à adopter, pour k_2 et v'_2 , les valeurs :

$$k_2 = 3,0, \quad v'_2 = 7,5 \text{ km/s.}$$

2° approximation.

$$v'_2 = 7,5 \text{ km/s}, \quad \log \frac{v'_2}{v_1} = 0,12071.$$

$k_2 = 1$

φ_2	13°	14°	16°	17°	19°	20°
i'_2	77°	76°	74°	73°	71°	70°
i_1	47°33'16''	47°17'35''	46°43'10''	46°24'25''	45°43'55''	45°22'15''
i'_1	45 37 25	47 22 45	44 50 28	44 32 55	43 54 55	43 34 39
$\Delta_1 \text{ km}$	106,0	105,1	103,2	102,1	99,8	98,5
$\Delta \text{ km}$	1551	1662	1882	1992	2212	2322
$l_1 \text{ s}$	25,9	25,8	25,5	25,4	25,1	24,9
$\tau_1 \text{ s}$	— 0,1		— 0,1		— 0,2	
$\tau \text{ s}$	+12,7		+11,7		+11,0	
$\tau_2 \text{ s}$	+12,8		+11,8		+11,2	

$k_2 = 2$

φ_2	13°	14°	16°	17°	19°	20°
i'_2	70°30'	69°	66°	64°30'	61°30'	60°
i_1	45°33'14''	44°59'37''	43°46'41''	43°07'23''	41°43'32''	40°59'08''
i'_1	43 44 56	43 13 23	42 04 43	41 27 39	40 08 28	39 26 28
$\Delta_1 \text{ km}$	99,1	97,2	93,3	91,3	87,0	84,8
$\Delta \text{ km}$	1544	1654	1872	1981	2199	2308
$l_1 \text{ s}$	25,0	24,8	24,3	24,1	23,5	23,3
$\tau_1 \text{ s}$	— 0,2		— 0,2		— 0,2	
$\tau \text{ s}$	+12,4		+11,7		+10,8	
$\tau_2 \text{ s}$	+12,6		+11,9		+11,0	

$k_2 = 3$

φ_2	13°	14°	16°	17°	19°	20°
i'_2	64°	62°	58°	56°	52°	50°
i_1	42°53'51''	41°57'55''	39°57'36''	38°53'32''	36°38'25''	35°27'40''
i'_4	41 14 56	40 22 04	38 28 11	37 27 21	35 18 50	34 11 25
$\Delta_1 km$	90,5	87,7	81,8	78,9	72,8	69,8
Δkm	1536	1644	1861	1969	2185	2293
$l_1 s$	24,0	23,6	23,0	22,7	22,0	21,7
$\tau_1 s$	— 0,4		— 0,3		— 0,3	
τs	+12,3		+11,6		+10,8	
$\tau_2 s$	+12,7		+11,9		+11,1	

$k_2 = 4$

φ_2	13°	14°	16°	17°	19°	20°
i'_2	57°30'	55°	50°	47°30'	42°30'	40°
i_1	39°41'52''	38°20'34''	35°27'40''	33°56'35''	30°46'26''	29°07'52''
i'_4	38 13 11	36 56 04	34 11 25	32 44 27	29 42 30	28 08 02
$\Delta_1 km$	81,2	77,3	69,8	66,0	58,5	54,8
Δkm	1526	1634	1849	1956	2171	2278
$l_1 s$	22,9	22,5	21,7	21,3	20,6	20,3
$\tau_1 s$	— 0,4		— 0,4		— 0,3	
τs	+12,4		+11,6		+10,7	
$\tau_2 s$	+12,8		+12,0		+11,0	

Les valeurs de v'_2 sont :

$\varphi_2 \backslash k_2$	1	2	3	4
	km/s	km/s	km/s	km/s
13°-14°	8,37	8,21	7,74	7,16
16-17	8,96	8,42	7,77	6,91
19-20	9,71	8,75	7,72	6,61

On trouve par interpolation :

$$k_2 = 2,96, \quad v'_2 = 7,79 \text{ km/s.}$$

Les valeurs adoptées sont :

$$k_2 = 2,95, \quad v'_2 = 7,75 \text{ km/s} \left(\log \frac{v'_2}{v_1} = 0,13495 \right).$$

$$k_2 = 2,95$$

φ_2	13°	14°	16°	17°	19°	20°	22°
$i'_2 \dots$	64°19'30''	62°21'00''	58°24'00''	56°25'30''	52°28'30''	50°30'00''	46°33'00''
$i_1 \dots$	41 20 28	40 28 56	38 37 33	37 38 07	35 32 21	34 26 22	32 08 45
$i'_1 \dots$	39 46 40	38 57 52	37 12 11	36 15 40	34 15 53	33 12 54	31 01 20
$\Delta_2 \text{ km}$	85,8	83,4	78,2	75,4	70,0	67,2	61,8
$\Delta \text{ km}$	1531	1640	1857	1965	2182	2291	2508
$l_1 s \dots$	23,4	23,2	22,6	22,3	21,7	21,4	20,9
$l_2 s \dots$	178,9	191,6	216,4	228,2	251,5	262,7	284,0
$l_3 s \dots$	202,3	214,8	239,0	250,5	273,2	284,1	304,9
$l_6 s \dots$	250,1	262,7	286,8	298,4	320,7	331,7	352,6
$\delta s \dots$	47,8	47,9	47,8	47,9	47,5	47,6	47,7

L'écart δ entre les durées de propagation calculées t et les temps lus sur la courbe t_c est sensiblement constant jusqu'à la valeur 22° de φ_2 ; il croit ensuite de 48,0, pour $\varphi_2 = 24^\circ$, à 51,2, pour $\varphi_2 = 28^\circ$. La distance au centre de la Terre du point le plus bas de la trajectoire $\varphi_2 = 22^\circ$ a fourni la valeur du rayon ρ_2 de la sphère limite. D'après l'équation (27), on trouve, pour $\varphi_2 = 22^\circ$, $\rho_m = 5.828 \text{ km}$.

On a adopté pour ρ_2 une valeur voisine :

$$\rho_2 = 5.820 \text{ km}.$$

La vitesse à la profondeur $h_2 = 550 \text{ km}$. est :

$$v'_2 = 9,88 \text{ km/s}.$$

Les calculs ont conduit à considérer cinq couches, entre les profondeurs de 50 et 1.500 km. (désignées par 2, 3, 4, 5 et 6 dans le tableau XV); et, à partir de 1.500 km., une dernière (7) dont la limite inférieure ne peut être fixée par suite du manque d'observations.

Les tableaux ci-dessous résument les résultats obtenus pour un foyer superficiel ($h_0 = 0$) et pour un foyer situé à une profondeur de 100 km. ($h_0 = 100$).

Le tableau XV contient les valeurs des quantités ρ , h , k , v et v' correspondant aux sept couches envisagées.

TABLEAU XV.

Couches.	$h_0 = 0$					$h_0 = 100$				
	ρ km.	h km.	k	v' km/s	v km/s	ρ km.	h km.	k	v' km/s	v km/s
1	6320	50	3,049	5,55	5,68	6320	50	3,049	5,55	5,68
2	5820	550	2,95	7,75	9,88	5920	450	3,05	7,55	9,22
3	5720	650	2,5	9,88	10,32	5720	650	2,7	9,22	10,11
4	5520	850	1,8	10,32	11,00	5520	850	1,9	10,11	10,82
5	5120	1250	1,2	11,00	12,04	5270	1100	1,3	10,82	11,49
6	4870	1500	1,0	12,04	12,66	4870	1500	1,1	11,49	12,53
7			0,0	12,66				0,0	12,53	

Dans les tableaux XVI et XVI *bis* sont réunis les angles φ_2 , φ_3 , ... φ_7 , considérés dans les calculs et les valeurs correspondantes des distances Δ , des temps de propagation calculés t , des temps donnés par la courbe t_e , de la différence $\delta = t_e - t$, des angles d'incidence i_0 et i_1 .

TABLEAU XVI.

$h_0 = 0$						
	Δ km.	t s.	t_c s.	δ s.	i_0	
φ_2	13.....	1531	202,3	250,1	47,8	39°47'
	14.....	1640	214,8	262,7	47,9	38 58
	16.....	1857	239,0	286,8	47,8	37 12
	17.....	1965	250,5	298,4	47,9	36 16
	19.....	2182	273,2	320,7	47,5	34 16
	20.....	2291	284,1	331,7	47,6	33 13
	22.....	2508	304,9	352,6	47,7	31 01
φ_3	8.....	2716	323,9	371,5	47,6	29 54
	12.....	2888	339,1	386,8	47,7	28 35
φ_4	8.....	3109	358,2	405,9	47,7	28 15
	12.....	3288	373,3	421,1	47,8	27 30
	16.....	3495	390,3	438,0	47,7	26 29
φ_5	8.....	3857	418,7	466,6	47,9	25 34
	12.....	4023	431,5	479,5	48,0	25 10
	16.....	4214	446,1	494,0	47,9	24 36
	20.....	4427	461,9	509,7	47,8	23 53
	24.....	4661	478,5	526,4	47,9	23 02
φ_6	28.....	4909	495,7	543,6	47,9	22 02
	8.....	5117	509,6	557,5	47,9	21 30
	12.....	5223	516,5	564,4	47,9	21 13
	16.....	5350	524,8	572,6	47,8	20 50
	20.....	5500	534,3	582,2	47,9	20 21
φ_7	24.....	5671	545,0	592,8	47,8	19 46
	8.....	6185	575,9	624,1	48,2	19 31
	12.....	6425	590,3	638,4	48,1	19 27
	16.....	6670	605,1	653,2	48,1	19 22
	20.....	6925	620,1	668,4	48,3	19 15
	28.....	7445	651,4	699,7	48,3	18 57
	36.....	7995	682,7	731,8	49,1	18 34
	44.....	8560	715,1	763,9	48,8	18 05
	52.....	9150	747,5	796,1	48,6	17 31
	60.....	9755	779,8	828,2	48,4	16 51
	80.....	11340	857,9	907,5	49,6	14 52
	100.....	12995	928,5			
	120.....	14705	987,7			
	140.....	16455	1032,0			
	160.....	18230	1059,9			
180.....	20010	1069,2				

TABLEAU XVI bis.

h ₀ = 100							
	Δ km.	l s.	l _c s.	δ s.	i ₀	i ₁	
φ ₂	14.....	1498	193,4	246,5	53,1	65° 21'	39° 53'
	15.....	1617	207,0	260,0	53,0	62 59	38 57
	16.....	1734	220,2	273,3	53,1	60 41	37 58
	17.....	1851	232,9	286,1	53,2	58 25	36 57
	19.....	2082	257,3	310,6	53,3	53 57	34 47
	20.....	2196	268,9	322,1	53,2	51 45	33 39
φ ₃	8.....	2364	285,6	338,8	53,2	50 00	32 43
	10.....	2450	293,9	347,1	53,2	48 43	32 01
	12.....	2549	303,3	356,4	53,1	47 12	31 11
	14.....	2659	313,4	366,4	53,0	45 28	30 12
	16.....	2779	324,1	377,2	53,1	43 33	29 05
φ ₄	8.....	2998	343,3	396,3	53,0	43 07	28 50
	12.....	3179	358,9	411,9	53,0	41 45	28 02
	16.....	3389	376,4	429,4	53,0	39 54	26 55
	18.....	3503	385,7	438,7	53,0	38 48	26 15
φ ₅	8.....	3728	403,5	456,6	53,1	38 24	26 00
	12.....	3895	416,6	469,7	53,1	37 40	25 33
	16.....	4086	431,3	484,3	53,0	36 40	24 55
	20.....	4301	447,4	500,4	53,0	35 24	24 08
φ ₆	8.....	4592	468,4	521,5	53,1	34 02	23 16
	12.....	4709	476,7	529,8	53,1	33 31	22 56
	16.....	4853	486,7	539,9	53,2	32 48	22 28
	20.....	5022	498,2	551,3	53,1	31 53	21 53
	24.....	5211	510,8	563,8	53,0	30 47	21 10
	28.....	5422	524,2	577,2	53,0	29 32	20 21
φ ₇	8.....	6043	562,2	615,5	53,3	28 34	19 43
	12.....	6291	577,3	630,4	53,1	28 28	19 39
	16.....	6545	592,6	645,7	53,1	28 20	19 34
	20.....	6804	608,3	661,3	53,0	28 10	19 27
	28.....	7341	640,3	693,5	53,2	27 43	19 09
	36.....	7898	673,0	726,0	53,0	27 07	18 46
	44.....	8477	706,1	759,2	53,1	26 23	18 17
	52.....	9075	739,3	792,0	52,7	25 31	17 42
	60.....	9686	772,3	824,6	52,3	24 32	17 02
	80.....	11283	852,0	904,2	52,2	21 32	15 01
	100.....	12952	923,8				
	120.....	14675	984,0				
	140.....	16435	1029,3				
	160.....	18218	1057,4				
180.....	20010	1066,9					

Le tableau XVII contient les valeurs des angles d'incidence i_0 et i'_1 et des profondeurs maxima h_m des trajectoires pour des distances variant de 500 en 500 km.; les courbes correspondantes ont été tracées à l'aide des valeurs du tableau précédent.

TABLEAU XVII.

Δ km.	$h_0 = 0$		$h_0 = 100^4$	
	i'_1	h_m km.	i_0	h_m km.
1500	40° 05'	200	65° 20'	250
2000	35 40	360	55 23	390
2500	31 13	520	47 33	550
3000	28 27	670	42 45	700
3500	26 45	800	39 35	840
4000	25 10	920	36 53	950
4500	24 32	1070	34 35	1100
5000	21 54	1240	31 53	1260
5500	20 20	1410	29 15	1470
6000	19 34	1500	28 34	1510
6500	19 24	1530	28 22	1540
7000	19 12	1580	28 05	1600
7500	18 55	1660	27 33	1670
8000	18 33	1740	27 00	1760
8500	18 10	1840	26 19	1860
9000	17 40	1960	25 37	1980
9500	17 10	2080	24 47	2100
10000	16 33	2220	23 58	2240
10500	15 55	2370	23 01	2390
11000	15 19	2530	22 03	2540

1. La courbe représentant l'angle i'_1 en fonction de la distance coïncide sensiblement avec celle qui est obtenue en admettant un foyer superficiel.

Le tableau XVIII donne les valeurs de la vitesse pour des profondeurs variant de 100 en 100 km.

TABLEAU XVIII.

h km.	v km/s		h km.	v km/s	
	($h_0 = 0$)	($h_0 = 100$)		($h_0 = 0$)	($h_0 = 100$)
0	5,55	5,55	700	10,48	10,28
50	5,68	5,68	800	10,82	10,64
50	7,75	7,55	900	11,12	10,95
100	7,93	7,74	1000	11,37	11,21
200	8,32	8,12	1100	11,63	11,49
300	8,73	8,54	1200	11,90	11,74
400	9,17	8,98	1300	12,15	11,99
500	9,64	9,43	1400	12,40	12,26
600	10,10	9,88	1500	12,66	12,53

$$2^{\text{e}} \text{ loi : } v = V \left[1 - \alpha \left(\frac{\rho}{R} \right)^2 \right].$$

J'ai trouvé qu'une fonction du second degré du rayon vecteur représente, mieux que la loi précédente, la variation de la vitesse en fonction de la profondeur. Dans la formule :

$$v = V \left[1 - \alpha \left(\frac{\rho}{R} \right)^2 \right], \quad (32)$$

V et α sont des coefficients constants pour une couche donnée : V serait la vitesse au centre de la Terre si cette loi s'appliquait à l'ensemble du globe avec la même valeur de α .

On peut introduire, dans l'expression de la vitesse, sa valeur v_0 .

au point pris pour origine; si l'on pose $\frac{\rho}{\rho_0} = r^2$, $\frac{\rho_0}{R} = r_0$, on obtient :

$$\begin{aligned} v &= V(1 - \alpha r_0^2 r^2), \\ v_0 &= V(1 - \alpha r_0^2); \end{aligned}$$

d'où :

$$v = v_0 \frac{1 - \alpha r_0^2 r^2}{1 - \alpha r_0^2}. \quad (33)$$

Substituons cette expression à v dans les équations (4) et (5).
Si l'on remarque, d'après la loi de la réfraction, que

$$\frac{av_0}{\rho_0} = \sin i_0,$$

la première de ces équations devient :

$$d\varphi = \sin i_0 (1 - \alpha r_0^2 r^2) \frac{dr}{r \sqrt{r^2 (1 - \alpha r_0^2)^2 - \sin^2 i_0 (1 - \alpha r_0^2 r^2)^2}},$$

ou :

$$\begin{aligned} d\varphi &= \sin i_0 (1 - \alpha r_0^2 r^2) \quad (34) \\ &\times \frac{dr}{r \sqrt{-\sin^2 i_0 \alpha^2 r_0^4 r^4 + [(1 - \alpha r_0^2)^2 + 2\alpha r_0^2 \sin^2 i_0] r^2 - \sin^2 i_0}}. \end{aligned}$$

De même, l'équation (5) prend la forme :

$$\begin{aligned} dt &= \frac{\rho_0 (1 - \alpha r_0^2 r^2)^2}{v_0} \frac{1}{(1 - \alpha r_0^2 r^2)} \quad (35) \\ &\times \frac{r dr}{\sqrt{-\sin^2 i_0 \alpha^2 r_0^4 r^4 + [(1 - \alpha r_0^2)^2 + 2\alpha r_0^2 \sin^2 i_0] r^2 - \sin^2 i_0}}. \end{aligned}$$

Dans l'exposé de la première loi, le symbole r désigne le rapport $\frac{\rho_0}{\rho}$ tandis qu'ici la lettre r représente le rapport inverse $\frac{\rho}{\rho_0}$.

Ces deux équations peuvent être intégrées. On pose

$$r^2 = Z, \quad (2r dr = dZ);$$

d'où :

$$d\varphi = \frac{1}{2} \sin i_0 (1 - \alpha r_0^2 Z) \times \frac{dZ}{Z \sqrt{-\sin^2 i_0 \alpha^2 r_0^4 Z^2 + [(1 - \alpha r_0^2)^2 + 2\alpha r_0^2 \sin^2 i_0] Z - \sin^2 i_0}},$$

$$dt = \frac{\rho_0 (1 - \alpha r_0^2)^2}{2v_0} \frac{1}{(1 - \alpha r_0^2 Z)} \times \frac{dZ}{\sqrt{-\sin^2 i_0 \alpha^2 r_0^4 Z^2 + [(1 - \alpha r_0^2)^2 + 2\alpha r_0^2 \sin^2 i_0] Z - \sin^2 i_0}}.$$

Dans la deuxième équation, on fait le changement de variable :

$$1 - \alpha r_0^2 Z = x, \quad \left(dZ = -\frac{dx}{\alpha r_0^2}, \quad Z = \frac{1-x}{\alpha r_0^2} \right).$$

On obtient :

$$dt = -\frac{\rho_0 (1 - \alpha r_0^2)^2}{2v_0} \times \frac{dx}{x \sqrt{-\sin^2 i_0 \alpha^2 r_0^4 x^2 - (1 - \alpha r_0^2)^2 \alpha r_0^2 x + (1 - \alpha r_0^2)^2 \alpha r_0^2}}.$$

Si l'on pose, pour abrégier,

$$\begin{aligned} -\sin^2 i_0 \alpha^2 r_0^4 &= A, \quad (1 - \alpha r_0^2)^2 + 2\alpha r_0^2 \sin^2 i_0 = B, \\ &-\sin^2 i_0 = C; \\ &-(1 - \alpha r_0^2)^2 \alpha r_0^2 = B', \quad (1 - \alpha r_0^2)^2 \alpha r_0^2 = C', \end{aligned}$$

on a :

$$d\varphi = \frac{1}{2} \sin i_0 (1 - \alpha r_0^2 Z) \frac{dZ}{Z \sqrt{AZ^2 + BZ + C}},$$

ou :

$$d\varphi = \frac{1}{2} \sin i_0 \frac{dZ}{Z \sqrt{AZ^2 + BZ + C}} - \frac{1}{2} \sin i_0 \alpha r_0^2 \frac{dZ}{\sqrt{AZ^2 + BZ + C}}$$

et :

$$dt = - \frac{\varphi_0(1 - \alpha r_0^2)^2}{2v_0} \frac{dx}{x\sqrt{Ax^2 + B'x + C'}}.$$

Le terme constant C étant négatif, tandis que C' est positif, les intégrales $\int \frac{dZ}{Z\sqrt{AZ^2 + BZ + C}}$ et $\int \frac{dx}{x\sqrt{Ax^2 + B'x + C'}}$

ont pour valeurs respectives :

$$\int \frac{dZ}{Z\sqrt{AZ^2 + BZ + C}} = \frac{1}{\sqrt{-C}} \operatorname{arc\,tg} \frac{2\sqrt{-C}\sqrt{AZ^2 + BZ + C}}{2C + BZ} + C''.$$

$$\int \frac{dx}{x\sqrt{Ax^2 + B'x + C'}} = - \frac{1}{2\sqrt{C'}} \operatorname{L} \frac{2C' + B'x + 2\sqrt{C'}\sqrt{Ax^2 + B'x + C'}}{2C' + B'x - 2\sqrt{C'}\sqrt{Ax^2 + B'x + C'}} + C''.$$

D'autre part, le coefficient A étant négatif, on a :

$$\int \frac{dZ}{\sqrt{AZ^2 + BZ + C}} = - \frac{1}{\sqrt{-A}} \operatorname{arc\,sin} \frac{2AZ + B}{\sqrt{B^2 - 4AC}} + C''.$$

On en déduit les valeurs de φ et de t en remplaçant les coefficients par leurs valeurs :

$$\begin{aligned} \varphi = & \frac{1}{2} \operatorname{arc\,tg} \left[2 \sin i_0 \right. \\ & \times \frac{\sqrt{-\sin^2 i_0 \alpha^2 r_0^4 r^4 + [(1 - \alpha r_0^2)^2 + 2\alpha r_0^2 \sin^2 i_0] r^2 - \sin^2 i_0}}{2 \sin^2 i_0 - [(1 - \alpha r_0^2)^2 + 2\alpha r_0^2 \sin^2 i_0] r^2} \left. \right] \\ & + \frac{1}{2} \operatorname{arc\,sin} \frac{-2 \sin^2 i_0 \alpha^2 r_0^4 r^2 + (1 - \alpha r_0^2)^2 + 2\alpha r_0^2 \sin^2 i_0}{(1 - \alpha r_0^2) \sqrt{(1 - \alpha r_0^2)^2 + 4\alpha r_0^2 \sin^2 i_0}} + C''. \end{aligned}$$

$$t = \frac{R(1 - \alpha r_0^2)}{4\sqrt{\alpha} v_0} L \frac{(1 - \alpha r_0^2)(1 + \alpha r_0^2 r^2) + \dots}{(1 - \alpha r_0^2)(1 + \alpha r_0^2 r^2) - \dots} \\ \dots \frac{+ 2r_0 \sqrt{\alpha} \sqrt{-\sin^2 i_0 \alpha^2 r_0^4 r^4 + [(1 - \alpha r_0^2)^2 + 2\alpha r_0^2 \sin^2 i_0] r^2 - \sin^2 i_0}}{-2r_0 \sqrt{\alpha} \sqrt{-\sin^2 i_0 \alpha^2 r_0^4 r^4 + [(1 - \alpha r_0^2)^2 + 2\alpha r_0^2 \sin^2 i_0] r^2 - \sin^2 i_0}}$$

ou, d'après les conditions initiales (pour $r = 1$, $\varphi = 0$, $t = 0$, $i = i_0$) :

$$\varphi = \frac{1}{2} \text{arc tg} \left[2 \sin i_0 \right. \tag{36} \\ \times \frac{\sqrt{-\sin^2 i_0 \alpha^2 r_0^4 r^4 + [(1 - \alpha r_0^2)^2 + 2\alpha r_0^2 \sin^2 i_0] r^2 - \sin^2 i_0}}{2 \sin^2 i_0 - [(1 - \alpha r_0^2)^2 + 2\alpha r_0^2 \sin^2 i_0] r^2} \\ \left. - \frac{1}{2} \text{arc tg} \frac{2 \sin i_0 \cos i_0}{2 \sin^2 i_0 - 1 + \alpha r_0^2} \right] \\ + \frac{1}{2} \text{arc sin} \frac{-2 \sin^2 i_0 \alpha^2 r_0^4 r^4 + (1 - \alpha r_0^2)^2 + 2\alpha r_0^2 \sin^2 i_0}{(1 - \alpha r_0^2) \sqrt{(1 - \alpha r_0^2)^2 + 4\alpha r_0^2 \sin^2 i_0}} \\ - \frac{1}{2} \text{arc sin} \frac{1 - \alpha r_0^2 + 2\alpha r_0^2 \sin^2 i_0}{\sqrt{(1 - 2\alpha r_0^2) + 4\alpha r_0^2 \sin^2 i_0}}$$

et

$$t = \frac{R(1 - \alpha r_0^2)}{4\sqrt{\alpha} v_0} \left[L \frac{(1 - \alpha r_0^2)(1 + \alpha r_0^2 r^2) + \dots}{(1 - \alpha r_0^2)(1 + \alpha r_0^2 r^2) - \dots} \right. \tag{37} \\ \dots \frac{+ 2r_0 \sqrt{\alpha} \sqrt{-\sin^2 i_0 \alpha^2 r_0^4 r^4 + [(1 - \alpha r_0^2)^2 + 2\alpha r_0^2 \sin^2 i_0] r^2 - \sin^2 i_0}}{-2r_0 \sqrt{\alpha} \sqrt{-\sin^2 i_0 \alpha^2 r_0^4 r^4 + [(1 - \alpha r_0^2)^2 + 2\alpha r_0^2 \sin^2 i_0] r^2 - \sin^2 i_0}} \\ \left. - L \frac{1 + \alpha r_0^2 + 2r_0 \sqrt{\alpha} \cos i_0}{1 + \alpha r_0^2 - 2r_0 \sqrt{\alpha} \cos i_0} \right]$$

Ces équations se simplifient dans le cas où le point pris pour origine est le point le plus bas de la trajectoire ($i_0 = \frac{\pi}{2}$) :

$$\varphi = \frac{1}{2} \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{2\sqrt{-\alpha^2 r_0^4 r^4 + (1 + \alpha^2 r_0^4) r^2 - 1}}{2 - (1 + \alpha^2 r_0^4) r^2} \quad (38)$$

$$- \frac{1}{2} \operatorname{arc} \operatorname{cos} \frac{-2\alpha^2 r_0^4 r^2 + 1 + \alpha^2 r_0^4}{1 - \alpha^2 r_0^4},$$

$$t = \frac{R(1 - \alpha r_0^2)}{4\sqrt{\alpha} v_0} \quad (39)$$

$$\times L \frac{(1 - \alpha r_0^2)(1 + \alpha r_0^2 r^2) + 2r_0 \sqrt{\alpha} \sqrt{-\alpha^2 r_0^4 r^4 + (1 + \alpha^2 r_0^4) r^2 - 1}}{(1 - \alpha r_0^2)(1 + \alpha r_0^2 r^2) - 2r_0 \sqrt{\alpha} \sqrt{-\alpha^2 r_0^4 r^4 + (1 + \alpha^2 r_0^4) r^2 - 1}}$$

ou, d'après (33) :

$$t = \frac{R(1 - \alpha r_0^2 r^2)}{4\sqrt{\alpha} v} \quad (39')$$

$$\times L \frac{(1 - \alpha r_0^2)(1 + \alpha r_0^2 r^2) + 2r_0 \sqrt{\alpha} \sqrt{-\alpha^2 r_0^4 r^4 + (1 + \alpha^2 r_0^4) r^2 - 1}}{(1 - \alpha r_0^2)(1 + \alpha r_0^2 r^2) - 2r_0 \sqrt{\alpha} \sqrt{-\alpha^2 r_0^4 r^4 + (1 + \alpha^2 r_0^4) r^2 - 1}}$$

Si le foyer du tremblement de terre étudié est situé dans la couche superficielle, les valeurs du coefficient α_1 (valeur de α pour la couche 1) et de la vitesse à la surface v'_1 peuvent être calculées par une méthode analogue à celle qui a été indiquée dans le cas de la première loi : étant donné quatre valeurs convenables de ρ_m , on en déduit, par les équations (38) et (39'), les valeurs de φ_1 ($\varphi_{1,a}$, $\varphi_{1,b}$, $\varphi_{1,c}$, $\varphi_{1,d}$) et de $t_1 v'_1$ ($t_1 v'_{1,a}$, $t_1 v'_{1,b}$, $t_1 v'_{1,c}$, $t_1 v'_{1,d}$) correspondant à des valeurs arbitraires de α_1 ; on détermine la valeur de α pour laquelle les expressions

$$\frac{t_{1,b} v'_1 - t_{1,a} v'_1}{\tau}, \quad \frac{t_{1,d} v'_1 - t_{1,c} v'_1}{\tau'}$$

fournissent la même valeur pour v'_1 (τ et τ' sont donnés par la courbe).

Les valeurs de α_2 et v'_2 (valeurs de α et v' pour la couche 2) sont obtenues par approximations successives. On considère, par exemple, trois paires de valeurs de ρ_m ; pour chacune d'elles,

on calcule φ_2 et $t_2 v_2$ par les équations (38) et (39') où la valeur de α_2 est choisie arbitrairement; i'_2 est donné par l'équation :

$$\sin i_2 = \frac{1 - \alpha r_0^2 r^2}{1 - \alpha r_0^2} \frac{1}{r},$$

et des valeurs approchées de φ_1 et t_1 sont fournies par les équations (36) et (37), en admettant tout d'abord pour v'_2 une valeur approchée, par exemple $v'_2 = v_1$. Les différences τ_2 entre les durées de propagation, dans la deuxième couche, des ondes qui décrivent deux trajectoires voisines sont obtenues par les différences $\tau - \tau_1$ ($\tau_1 = t_{1,b} - t_{1,a}$, τ est donné par la courbe); les valeurs de α_2 et v'_2 se déduisent immédiatement de ces quantités.

Une nouvelle détermination de α_2 et v'_2 est faite en utilisant, pour le calcul de φ_1 et t_1 , la valeur de v'_2 obtenue ci-dessus.

Inversement, si les coefficients sont connus, on obtient une trajectoire et la durée de propagation le long de cette trajectoire en appliquant les équations (38) et (39') pour le calcul de φ_2 et t_2 et les équations (36) et (37) pour celui de φ_1 et t_1 .

Application au tremblement de terre du Kan-sou. Résultats numériques.

Les déterminations de A. Mohorovičić relatives à l'écorce superficielle (valeur de la vitesse à la surface $v_1 = 5,55$ km/s, courbe de propagation des ondes P relative au tremblement de terre de Zagreb, profondeur du foyer de ce séisme) conduisent à adopter, pour le coefficient α_1 , la valeur 0,60; le tableau ci-dessous indique les écarts entre les durées de propagation calculées (t_1) et celles (t_2) que fournit la courbe :

TABLEAU XIX.

φ_m km.	Δ km.	t_c s.	t_1 s.	$t_1 - t_c$ s.
6335	152	27,0	27,9	+ 0,9
6345	278	50,3	50,4	+ 0,1
6335	506	91,9	91,1	- 0,8
6325	638	113,4	113,4	0

La valeur de la vitesse à la profondeur de 50 km

$$v_1 = \frac{1 - \alpha_1 \left(\frac{\varphi_0}{R} \right)^2}{1 - \alpha_1} v'_1 = 5,68$$

est égale à la valeur obtenue par A. Mohorovičić en admettant la loi $v = v_0 \left(\frac{\varphi_0}{\rho} \right)^k$. D'ailleurs, les deux lois envisagées, appliquées au calcul d'une même portion de trajectoire, conduisent à des résultats identiques, en calculant les distances à 0,1 km près et les temps à 0,1 s. près : par exemple, pour $i_1 = 36^\circ$, on trouve $\varphi = 35,6$ km et $t = 10,9$ s. par les deux méthodes. On pourra donc, dans les calculs relatifs à l'écorce, utiliser indifféremment l'une ou l'autre; la loi $v = v_0 \left(\frac{\varphi_0}{\rho} \right)^k$ présente l'avantage de conduire à des formules plus simples.

Voici les résultats du calcul de k_1 et v'_1 effectué avec les données relatives au séisme du Kan-sou, pour un foyer superficiel et pour un foyer situé à une profondeur de 100 km.

Foyer superficiel. — (On a admis, comme première valeur approchée de v'_1 , la valeur trouvée par la méthode précédente : 7,75 km/s).

$\alpha_2 = 0,60$

h_m km.	225	250	300	325	375	400
ρ_m	6145	6120	6070	6045	5995	5970
Δ_2 km.....	1568,5	1683,1	1898,4	1999,6	2192,1	2284,7
Δ_1 km.....	85,9	83,8	79,9	78,1	74,9	73,3
Δ km.....	1654	1767	1978	2078	2267	2358
$l_2 v'_2$ km.....	1501,5	1604,0	1791,0	1876,7	2037,5	2113,2
l_1 s.....	23,4	23,2	22,8	22,6	22,2	22,0
τ_1 s.....	- 0,2		- 0,2		- 0,2	
τ_s	+13,8		+10,4		+ 9,1	
τ_2 s.....	+14,0		+10,6		+ 9,3	

$\alpha_2 = 0,65$

h_m km.	225	250	300	325	375	400
Δ_2 km.....	1455,8	1564,0	1766,2	1860,7	2042,7	2130,8
Δ_1 km.....	83,5	81,2	77,0	75,1	71,6	70,0
Δ km.....	1539	1645	1843	1936	2114	2201
$l_2 v'_2$ km.....	1385,6	1480,0	1651,9	1730,8	1878,7	1948,1
l_1 s.....	23,2	22,9	22,4	22,2	21,9	21,7
τ_1 s.....	- 0,3		- 0,2		- 0,2	
τ_s	+12,2		+ 9,9		+ 8,8	
τ_2 s.....	+12,5		+10,1		+ 9,0	

$\alpha_2 = 0,70$

h_m km.	225	250	300	325	375	400
Δ_2 km.....	1341,2	1441,6	1630,6	1719,6	1890,4	1973,8
Δ_1 km.....	80,5	78,0	73,6	71,5	67,9	66,1
Δ km.....	1422	1520	1704	1791	1958	2040
$l_2 v'_2$ km.....	1265,7	1352,8	1509,3	1581,2	1715,2	1778,5
l_1 s.....	22,8	22,6	22,1	21,9	21,5	21,3
τ_1 s.....	- 0,2		- 0,2		- 0,2	
τ_s	+11,3		+ 9,7		+ 9,6	
τ_2 s.....	+11,5		+ 9,9		+ 9,8	

Les valeurs correspondantes de v'_2 sont :

α h_m	0,60	0,65	0,70
km.	km/s.	km/s.	km/s.
225-250	7,32	7,55	7,57
300-325	8,08	7,81	7,27
375-400	8,14	7,71	6,46

L'interpolation conduit à adopter pour k_2 et v'_2 les valeurs :

$$k_2 = 0,65, \quad v'_2 = 7,75 \text{ km/s.}$$

Cette valeur de la vitesse est celle qui a été admise au début du calcul; les résultats obtenus peuvent donc être considérés comme exacts; les durées de propagation qui en sont déduites concordent bien avec les observations, ce que montre le tableau suivant :

TABLEAU XX.

$\alpha_2 = 0,65$

h km.	225	250	300	325	375	400
t_2 s.....	178,8	191,0	213,1	223,3	242,4	251,4
t_s	201,9	213,9	235,6	245,6	264,3	273,1
l_e s.....	251,3	263,3	285,3	295,2	313,9	322,7
δ s.....	49,4	49,4	49,7	49,6	49,6	49,6
i'_1	39° 00'	38° 14'	36° 49'	36° 09'	34° 52'	34° 15'

h km.	500	600	700	800	900
Δ_2 km.....	2462,2	2773,8	3071,4	3359,3	3641,4
Δ_1 km.....	64,1	59,2	55,0	51,3	48,1
Δ km.....	2526	2833	2126	2411	3689
t_2 s.....	284,1	312,9	339,1	363,0	385,2
t_s	21,1	20,7	20,3	20,0	19,7
l_s	305,2	333,6	359,4	383,0	404,9
l_e s.....	354,3	381,9	407,5	431,2	453,6
δ s.....	49,1	48,3	48,1	48,2	48,7
i'_1	32° 01'	30° 01'	28° 14'	26° 37'	25° 09'

Si l'on considère des trajectoires plus profondes, l'écart δ augmente : les valeurs de δ correspondant à $h = 1000, 1100, 1200, 1300, 1400$ et 1500 km sont 49,5, 50,8, 53,2, 58,3, 56,0 et 57,7; il y a donc lieu de considérer une troisième couche caractérisée par une valeur plus faible du coefficient α , soit $\alpha_3 = 0,51$.

TABLEAU XXI.

$\alpha_3 = 0,51$.

h km.	1000	1100	1200	1300	1400	1500
φ_3	15° 55' 09"	21° 20' 40"	26° 25' 22"	30° 50' 43"	34° 51' 33"	38° 34' 47"
φ_2	23 03 11	19 59 56	17 55 32	16 20 32	15 04 07	14 00 01
Δ_1 km.....	45,8	43,6	41,7	39,8	38,1	36,5
Δ km.....	4271	4640	4972	5286	5589	5882
t_3 s.....	125,4	177,0	216,3	249,1	277,8	303,5
t_2 s.....	303,8	278,9	262,9	251,1	242,0	234,7
t_1 s.....	19,6	19,4	19,3	19,2	19,1	19,0
t s.....	448,8	475,3	498,5	519,4	538,9	557,2
t_0 s.....	498,2	525,0	547,9	568,7	587,7	605,9
δ s.....	49,4	49,7	49,4	49,3	48,8	48,7
i_1'	24° 06'	23° 07'	22° 10'	21° 17'	20° 27'	19° 39'

Enfin, l'hypothèse d'une vitesse constante entre les profondeurs de 1500 à 2500 km fournit des valeurs de t qui satisfont aux observations; les valeurs de φ_4 et t_4 sont obtenues par les équations :

$$\varphi_4 = 2 \operatorname{arc} \cos \frac{1}{r},$$

$$t_4 = \frac{2}{v} \sqrt{r^2 - r_0^2}.$$

TABLEAU XXII.

$\alpha_4 = 0,00$

<i>h</i> km.	1600	1700	1800	1900	2000
φ_4	23° 16' 00"	32° 57' 00"	40° 25' 36"	46° 46' 00"	52° 23' 00"
φ_3	27 51 40	24 19 58	21 57 35	20 07 01	18 37 37
φ_2	13 28 18	12 59 08	12 31 04	12 04 33	11 38 51
Δ_1 km.....	35,6	34,8	34,0	33,1	32,3
Δ km.....	7218	7847	8362	8812	9222
l_4 s.....	155,8	219,2	267,1	306,7	341,1
l_3 s.....	231,6	208,6	193,2	181,7	172,6
l_2 s.....	231,2	228,0	225,0	222,3	219,6
l_1 s.....	18,9	18,8	18,8	18,8	18,7
l s.....	637,5	674,6	704,1	729,5	752,0
lc s.....	686,1	723,2	752,8	777,9	800,0
δ s.....	48,6	48,6	48,7	48,4	48,0
i_1	19° 14'	18° 49'	18° 24'	17° 59'	17° 34'

<i>h</i> km.	2500	3000	4000	5000	6370
φ_4	74° 45' 12"	92° 25' 26"	121° 45' 28"	147° 19' 20"	180° 00' 00"
φ_3	13 42 30	10 34 20	6 27 05	3 28 06	0 00 00
φ_2	9 44 33	8 07 01	5 21 57	2 59 11	0 00 00
Δ_1 km.....	28,3	24,4	16,9	9,7	0,0
Δ km.....	10947	12378	14868	17107	20012
l_4 s.....	469,1	557,9	675,1	741,6	772,8
l_3 s.....	144,1	128,5	112,0	104,2	100,8
l_2 s.....	208,7	200,7	189,6	183,4	180,4
l_1 s.....	18,5	18,3	18,1	17,9	17,8
l s.....	840,4	905,4	994,8	1047,1	1071,8
lc s.....	888,5				
δ s.....	48,1				
i_1	15° 30'				

Foyer à une profondeur de 100 km. — Le tableau XXIII résume les résultats obtenus en admettant que le foyer du tremblement de terre soit situé à une profondeur de 100 km.

TABLEAU XXIII.

$h_0 = 100$

	h_m km.	Δ km.	l s.	t_c s.	δ s.	i_0	i'_1
$\alpha_2 = 0,66$	250..	1485	190,3	244,9	54,6	64° 14'	39° 14'
	300..	1695	213,8	268,9	55,1	60 35	37 43
	350..	1887	234,6	290,0	55,4	57 29	36 19
	400..	2067	253,6	309,0	55,4	54 46	35 01
	500..	2402	287,2	342,5	55,3	50 10	32 39
	600..	2715	316,8	371,4	54,6	46 22	30 33
	700..	3013	343,4	397,7	54,3	43 07	28 41
	800..	3302	367,6	422,3	54,7	40 17	27 01
	900..	3584	390,1	445,2	55,1	37 47	25 30
$\alpha_3 = 0,52$	1000..	4154	434,6	489,4	54,8	36 02	24 24
	1100..	4536	462,6	517,5	54,9	34 25	23 23
	1200..	4868	485,1	540,8	55,7	32 54	22 26
	1300..	5185	506,3	562,0	55,7	31 29	21 31
	1400..	5489	526,1	581,5	55,4	30 09	20 39
	1500..	5788	545,4	600,1	54,7	28 54	19 50
$\alpha_4 = 0,00$	1600..	7136	626,7	681,2	54,5	28 15	19 25
	1700..	7775	664,5	719,0	54,5	27 36	19 00
	1800..	8292	694,5	749,0	54,5	26 58	18 34
	1900..	8745	720,3	774,2	53,9	26 20	18 09
	2000..	9159	743,3	796,8	53,5	25 42	17 44
	2500..	10897	833,1	886,0	52,9	22 35	15 39
	3000..	12336	899,0				
	4000..	14841	989,5				
	5000..	17091	1042,7				
6370..	20012	1068,0					

Les valeurs des angles d'incidence au foyer et à la surface et des profondeurs maxima des trajectoires en fonction de la distance ainsi que celles de la vitesse en fonction de la profondeur h sont portées dans les tableaux ci-dessous :

TABLEAU XXIV.

Δ km.	$h_0 = 0$		$h_0 = 100$	
	i'_1	h_m km.	i_0	h_m km.
1500	39 ⁰ 05'	220	63 ⁰ 55'	250
2000	35 30	350	55 30	380
2500	32 05	500	49 00	530
3000	29 05	670	43 15	700
3500	26 15	850	38 35	870
4000	24 45	960	36 30	980
4500	23 35	1060	34 32	1090
5000	22 05	1210	32 17	1240
5500	20 40	1370	30 05	1400
6000	19 35	1500	28 50	1510
6500	19 30	1530	28 38	1540
7000	19 20	1580	28 20	1590
7500	19 02	1650	27 52	1660
8000	18 45	1730	27 18	1750
8500	18 20	1830	26 40	1850
9000	17 50	1950	25 54	1960
9500	17 20	2070	25 05	2080
10000	16 40	2210	24 12	2220
10500	16 05	2360	23 15	2370
11000	15 25	2530	22 17	2540

TABLEAU XXV.

h km.	v km/s		h km.	v km/s	
	$(h_0 = 0)$	$(h_0 = 100)$		$(h_0 = 0)$	$(h_0 = 100)$
0	5,55	5,55	700	10,44	10,28
50	5,68	5,68	800	10,82	10,68
50	7,75	7,55	900	11,20	11,06
100	7,97	7,77	1000	11,45	11,38
200	8,40	8,21	1100	11,69	11,63
300	8,82	8,64	1200	11,92	11,86
400	9,23	9,06	1300	12,15	12,10
500	9,64	9,47	1400	12,38	12,33
600	10,04	9,88	1500	12,60	12,55

Conclusion.

Les deux lois étudiées conduisent à des résultats très voisins pour le calcul des durées de propagation dans l'écorce superficielle; aussi les observations utilisées ne permettent-elles pas d'en adopter une de préférence à l'autre pour représenter la variation de la vitesse jusqu'à la profondeur de 50 km. Entre 50 et 1500 km., la loi du second degré convient mieux que la première, car elle permet d'exprimer les durées de propagation en considérant seulement deux couches au lieu des

cinq envisagées dans l'application de la loi $v = v_0 \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)^k$. De 1500 à 2500 km., avec l'hypothèse d'une vitesse constante, l'accord obtenu entre les heures calculées et les données d'observation est satisfaisant, surtout si l'on tient compte de l'imprécision de ces dernières aux distances supérieures à 9000 km.

Les deux méthodes ont fourni des valeurs concordantes pour la vitesse des ondes, les profondeurs maxima des trajectoires, les angles d'incidence i_0 et i'_1 , ainsi que pour l'heure origine au foyer (12^h05^m48-49^s en supposant le foyer superficiel, 12^h05^m53-55^s pour un foyer profond).

D'autre part, les résultats obtenus montrent que les valeurs de la vitesse et la forme des trajectoires varient assez peu pour une différence de 100 km. dans la profondeur du foyer si les calculs n'utilisent pas d'observations faites au voisinage de l'épicentre, tandis que la détermination de l'heure origine (au foyer ou à l'épicentre) et des durées de propagation des ondes exigerait la connaissance de cette profondeur.

En comparant les courbes déduites du séisme du Kan-sou aux graphiques publiés par Zoeppritz-Geiger et Geiger-Gutenberg, on est amené à faire les constatations suivantes :

A partir d'une profondeur de 50 km., les courbes du Kan-sou qui représentent la vitesse en fonction de la profondeur sont très voisines de la courbe Zoeppritz-Geiger. Comme celle-ci, elles présentent un changement d'allure pour une pro-

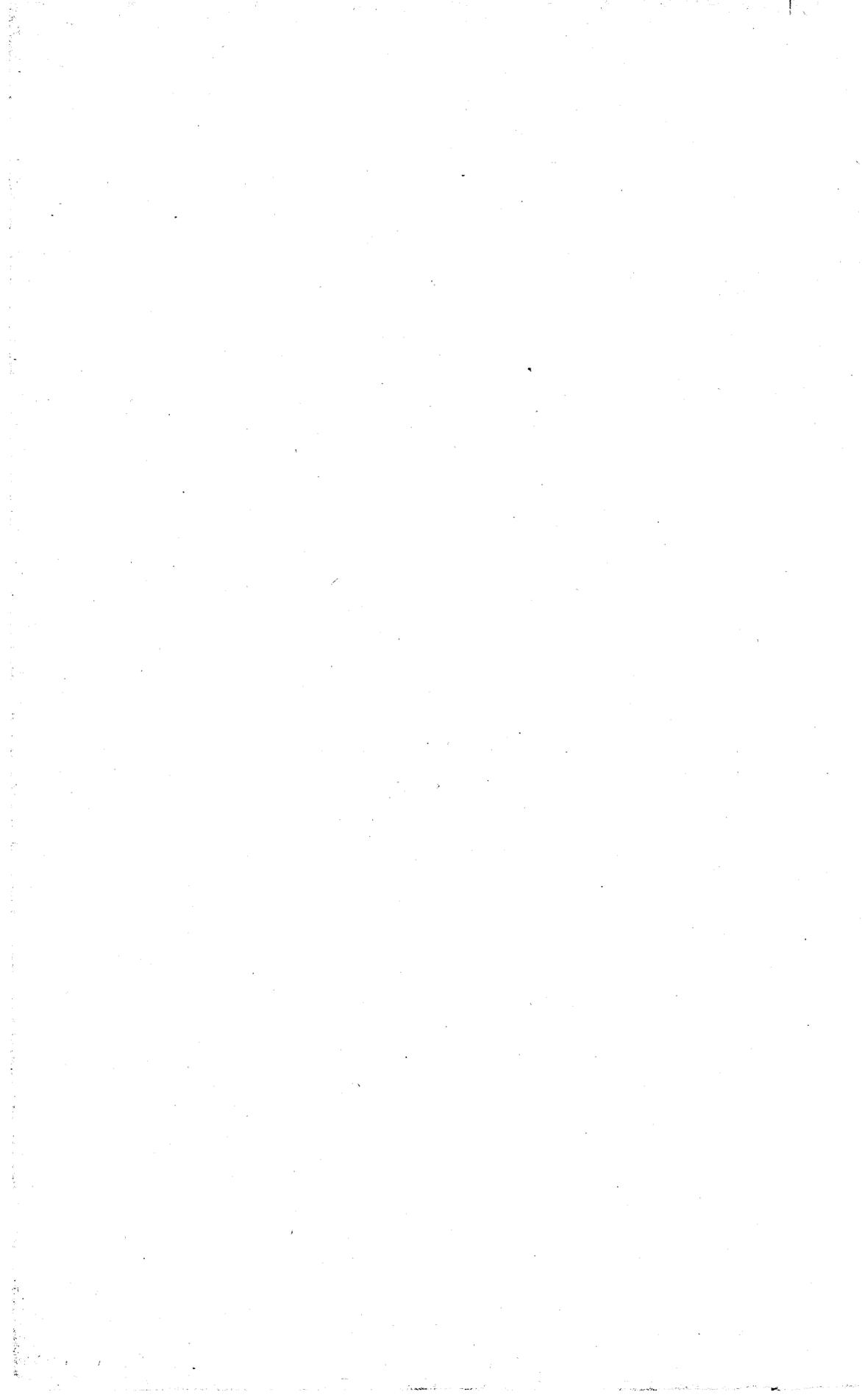
fondeur d'environ 1500 km. ; elles donnent, il est vrai, des valeurs de vitesse un peu plus grandes entre 50 et 1500 km., mais l'écart reste partout inférieur à 0,5 km/s. La même concordance existe entre les courbes respectives se rapportant aux profondeurs maxima des trajectoires en fonction de la distance.

Les graphiques de L. Geiger et B. Gutenberg présentent, au contraire, des différences importantes avec ceux du Kan-sou, aussi bien les courbes de vitesse que celles des profondeurs.

Quant aux valeurs obtenues pour les angles d'incidence à la surface, elles s'écartent beaucoup de celles des auteurs cités en raison des vitesses différentes adoptées entre la surface et la profondeur de 50 km.

Aux très grandes distances, le sismogramme de La Paz est le seul qui présente un début net (à $12^h25^m58^s$) ; la durée de propagation correspondante est supérieure de plus de deux minutes à celle que ferait prévoir le calcul en admettant une vitesse constante jusqu'au centre de la Terre¹ ; elle s'accorde bien, au contraire, avec les courbes de Geiger-Gutenberg et de H. H. Turner (voir chapitre V, pp. 56 et 60). Cette observation paraît donc confirmer l'existence d'un noyau central dans lequel la vitesse des ondes longitudinales serait moindre que dans les couches supérieures.

1. Voir tableaux XVI, XVI bis, XXII et XXIII.



LA FRÉQUENCE DES TREMBLEMENTS DE TERRE EN ALGÉRIE

(1911-1924)

PAR M^{me} A. HÉE.

Assistante à l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg.

L'Algérie offre au point de vue séismique un réel intérêt, parce que ses séismes, en général de faible intensité, sont particulièrement fréquents. Il n'est donc pas étonnant que les séismologues aient été attirés par son étude dès le siècle dernier.

En 1845, Perrey, dans les *Annales* de l'Académie de Dijon, a entrepris de constituer un catalogue historique des séismes algériens et l'a ensuite complété par les renseignements de correspondants le plus souvent officiers de l'armée d'occupation. Chesneau, en 1892, dans les *Annales des Mines*, a complété ce catalogue et a cherché dans une étude de géographie physique une explication des phénomènes séismiques et de leur répartition. Montessus de Ballore, dans *La Géographie séismologique*, s'est livré à une étude plus approfondie des différents foyers séismiques de l'Algérie et, guidé par des études géologiques comme celles de Suess, a indiqué des causes d'instabilité de cette région africaine.

La sismicité de l'Algérie est donc déjà en partie connue, bien que Montessus de Ballore n'eût pas encore à sa disposition de séries d'observations systématiques sur lesquelles il pût se baser. Ne serait-il pas utile de comparer les résultats des observations antérieures à ceux que fournirait une statistique nouvelle depuis que l'Observatoire d'Alger-Bouzaréah relève régu-

lièrement toutes les observations macroséismiques provenant tant du Service Météorologique, que de la Presse? D'autre part, il semblait intéressant de rechercher s'il serait possible d'appliquer à l'Algérie la méthode japonaise de prévision des séismes intenses, qui consiste à étudier la fréquence des chocs prémonitoires.

C'est dans ce but que j'ai établi la liste des séismes ressentis en Algérie dans l'intervalle de 1911 à 1924. Cette liste renferme : 1° les tremblements inscrits par les séismographes et pour lesquels on possède des renseignements macroséismiques; 2° les séismes uniquement ressentis par l'homme; 3° les séismes enregistrés à Alger-Bouzaréah dont les phases accusent une distance épacentrale inférieure à 340 km. et dont l'épicentre, probablement en Algérie, ne peut cependant être situé avec précision avec les données de cette seule station.

[La distance maximum de 340 km. de l'Observatoire a été choisie pour éliminer les tremblements de terre espagnols, quoique ceux-ci soient en général bien connus. Comme d'autre part les séismes en pleine mer dans le bassin occidental de la Méditerranée sont très rares¹, on peut admettre que les tremblements relevés, en tenant compte de cette distance, appartiennent tous à l'Algérie. Les tremblements d'origine tunisienne ou marocaine se trouvent éliminés par le choix même de cette distance.]

Si nous traçons, en nous basant sur cette liste, la courbe de fréquence annuelle, nous constatons depuis 1921 une croissance rapide de l'activité séismique. Nous relevons pour 1917, 1920 et 1921, 40, 44 et 45 séismes, et pour les trois dernières années nous en comptons 70, 91 et 148². Cette croissance si marquée serait-elle due à l'attention plus grande que l'on apporte à l'observation des phénomènes séismiques? Il ne semble pas qu'il

1. Montessus de Ballore, *Géographie séismologique*, p. 335.

2. Dans ce nombre si élevé entrent 72 répliques du séisme du 5 novembre, répliques enregistrées par les appareils de Bouzaréah, mais non perçues par l'homme; elles ont probablement existé en aussi grand nombre après le séisme de Cavaignac, en 1922, sans être relevées, car l'épicentre était alors trop éloigné de l'Observatoire.

en soit ainsi, je crois plutôt que ces dernières années doivent

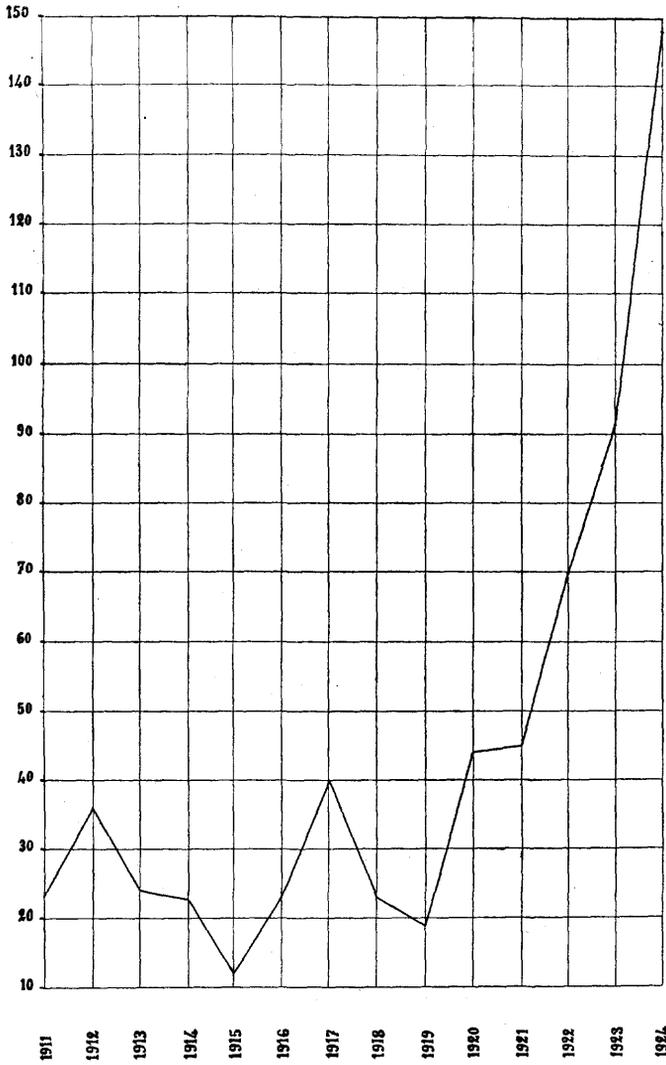


FIG. 1. — Courbe de fréquence annuelle.

véritablement correspondre à une période séismique particulièrement intense en Algérie. Par contre, 1915 présente, avec

le nombre 12, un minimum très marqué et l'on pouvait se demander si à cette époque, qui coïncide avec les débuts de la guerre, les observations avaient été suffisamment régulières. Le Service Météorologique d'Algérie, consulté à ce sujet, a répondu affirmativement.

Il n'est pas possible, et l'on devait s'y attendre, par le tracé des courbes de fréquence mensuelle de déterminer des époques de l'année de plus grande ou de moindre séismicité. Aucun mois ne présente le maximum ou le minimum d'une façon régulière, et même il est impossible d'apercevoir une variation régulière du maximum dans un sens déterminé.

L'intensité des séismes est le plus souvent inférieure au degré V de l'échelle internationale. En effet, depuis 1911, sur 621 séismes relevés, on ne compte que 20 secousses de degré V, 9 de degré VI, 4 de degré VII, 1 de degré VIII, 3 de degré IX à X.

Si nous examinons la carte des principaux centres séismiques pendant la période étudiée, nous voyons que ceux-ci se trouvent en grande partie localisés dans la zone délimitée par le littoral et une ligne parallèle à celui-ci située à environ 160 km. de la Méditerranée. On peut y distinguer cinq régions fondamentales : le littoral, l'Atlas Tellien, les Hauts Plateaux, la région du Chott Hodna et les monts de Batna.

L'instabilité du littoral est expliquée¹ par sa situation entre une zone maritime d'affaissement (l'isobathe 2.500^m se trouve seulement à 75 km. environ de la côte) et une zone continentale de surrection consécutive à l'ancien géosynclinal, dont les dépôts secondaires et tertiaires forment l'Atlas Tellien. Pendant les périodes géologiques récentes, la région littorale a d'ailleurs été affectée par des mouvements importants. Les travaux de Pommel, de Delage, de Ficheur, du général de Lamothe ont mis en évidence l'existence d'anciennes lignes de rivage assez élevées datant du Pliocène supérieur et du Pléistocène. En dehors des mouvements qui ont provoqué les déplacements de la ligne de rivage, le général de Lamothe attribue à une cause

1. Montessus de Ballore, *loc. cit.*, p. 335.

tectonique la formation de la plaine de la Mitidja¹. D'après lui, et cette idée a été reprise par E.-F. Gautier², ce serait le résultat de l'effondrement dans le sens vertical d'un compartiment de l'écorce terrestre datant de la fin du Pliocène ou du début du Quaternaire. On peut penser que les tremblements de terre qui affectent le voisinage de cette région ne sont peut-être que la répercussion des mouvements orogéniques antérieurs. En tout cas, il serait intéressant de faire, après les principaux séismes, surtout dans la région littorale, des mesures de nivellement, comme cela a été proposé au Congrès récent de Madrid.

L'Atlas Tellien renferme encore, comme dans les périodes précédemment étudiées, des régions très instables. Ce massif, qui fait partie du système montagneux formant la bordure du massif occidental de la Méditerranée, partage l'instabilité des montagnes récentes. Ses plissements ne sont pas homogènes, les uns sont pyrénéens, les autres sont alpins; Gautier voit dans ce manque d'homogénéité une des causes des séismes. Ainsi, d'après lui, le tremblement de terre qui, en 1910, détruisit le village de Masqueray, dans la région d'Aumale, serait dû à la soudure incomplète entre les Bibans (pyrénéens) et les monts Hodna (alpins)³.

L'étude que j'ai faite confirme l'aséismicité des Hauts Plateaux signalée dans les travaux antérieurs. Montessus de Ballore pensait qu'elle était due à leurs plissements à peine ébauchés. En fait, dans la période étudiée, nous relevons seulement en 1924 un séisme à Reibel, au pied du Djebel ben Hammade, qui est précisément un des accidents les plus importants de cette région élevée. Un séisme à Bourlier a été également signalé en 1923, dans une région voisine de la précédente et située sur le Plateau du Sersou.

La région du chott Hodna, indiquée parmi les régions séis-

1. Général de Lamothe, *Les anciennes lignes du rivage du Sahel d'Alger et d'une partie de la côte algérienne*, Mémoire de la Société géologique de France, 4^e série, t. I, mémoire n° 6, pp. 250-251.

2. E.-F. Gautier, *Structure de l'Algérie*, Société de Géographie, 1923, pp. 156-157.

3. E.-F. Gautier, *loc. cit.*, p. 167.

miques de l'Algérie, ne s'est montrée instable qu'en 1924.

Les monts de Batna, au contraire, ont montré une fréquente instabilité; en outre l'une des secousses a été très violente, comme nous le verrons plus loin.

J'ai mis à part l'Atlas Saharien; on l'attribue tout entier à l'époque pyrénéenne; sa stabilité est remarquable, il ne compte qu'un seul séisme en 1921, à Biskra, au pied du Djebel Aurès.

Il aurait été intéressant de pouvoir grouper les principaux centres séismiques suivant des régions bien caractérisées. Chesneau, dans le même ordre d'idées, avait relevé deux zones distinctes par la direction de leurs plissements et délimitées par une ligne allant du Djebel Aurès à Ténès. Il avait remarqué une complète indépendance de ces deux régions au point de vue séismique. Les séismes ne se propageraient pas, d'après lui, de l'une à l'autre, et il cite de nombreux cas où des tremblements de terre ressentis fortement dans la province d'Oran sont passés inaperçus dans les provinces d'Alger et de Constantine. Il trouve une confirmation de l'indépendance de ces deux zones dans le fait que les séismes de la Sierra Nevada de 1884 et 1885 ont été ressentis seulement à l'est de Ténès et que celui de Lisbonne de 1755¹ n'a eu un retentissement qu'au Maroc, région appartenant à la même zone de plissements que l'Oranaïs. Montessus de Ballore signale aussi la vallée moyenne du Chélif comme limite de deux régions dont les séismes seraient indépendants. Je n'ai pu vérifier nettement cette indépendance pour les séismes récents. Il est vrai que Cavaignac se trouve près de la limite des deux régions et le séisme important du 25 août 1922 qui l'a éprouvé s'est étendu d'une part jusqu'à Alger (II) et, d'autre part, jusqu'à Relizane (II et III). Alger est à environ 160 km. de l'épicentre, Relizane à 105 km.; la propagation a été plus restreinte à l'ouest qu'à l'est, mais elle a dépassé la vallée du Chélif. Quant au séisme du 5 novembre 1924, dans la région Douéra-Boufarik, il ne semble pas s'étendre à l'ouest au-delà de Miliana, c'est-à-dire approximati-

1. Fait signalé également par MM. Gentil et Pereira de Sousa, C. R. A. S., Paris, t. CLVII, 1913, pp. 805-808.

vement à 70 km. de la région épacentrale, tandis qu'à l'est les isoséistes ont un peu plus d'ampleur : l'isoséiste III qui passe à Miliana atteint à l'est Fort-National, à 115 km. environ de l'épicentre. Ce fait ne semble pas suffisant pour confirmer la séparation de l'Algérie en deux régions bien distinctes au point de vue séismique et pour considérer la vallée du Chélif comme limite de ces deux régions. Les autres tremblements de terre n'ont pas été assez intenses, ou la surface affectée a été trop limitée, pour qu'ils puissent fournir des vérifications. Quoi qu'il en soit, cette hypothèse ne doit pas être écartée; elle paraît être en rapport avec l'idée émise par Gautier de l'existence d'une faille Laghouat-Médéa qui couperait transversalement l'Algérie.

Cependant actuellement il semble qu'on doive renoncer à une classification rationnelle des principaux centres séismiques. J'ai relevé sur une carte la fréquence des séismes en figurant autour de chaque point affecté une circonférence de rayon proportionnel au nombre des tremblements de terre ressentis en ce point et j'ai considéré, entre 35° et 37° de latitude N, 4° W. et 7° E. longitude de Paris, les quadrilatères sphériques compris entre des méridiens distants d'un degré et des parallèles dont la latitude diffère d'un degré. La partie de l'Algérie de grande instabilité est ainsi divisée en 19 quadrilatères. J'ai relevé dans un tableau les secousses produites dans les 19 portions considérées en notant l'intensité, au moins toutes les fois que cela était possible. Ce tableau met en valeur les régions les plus séismiques et il permet de tenter l'application de la méthode japonaise indiquée ci-dessus.

Il apparaît nettement que le quadrilatère n° 4 est la région où la fréquence atteint son maximum. Il est vrai que sur les 346 séismes relevés pour cette portion, il y en a 105 dont les épicentres ne sont pas déterminés d'une façon précise et dont peut-être un certain nombre n'affectent pas la région considérée; 73 sont des secousses locales qui, avec les 72 répliques du 5 novembre, n'ont été décelées que par les séismographes de Bouzaréah. Déduction faite de ces divers phénomènes, il reste pourtant encore 99 tremblements ressentis par l'homme, chiffre

relativement important par rapport à ceux des autres parties. La séismicité est grande pour toutes les années, sauf pour 1915, 1916, 1919. Une des secousses, celle du 5 novembre 1924, a atteint les degrés IX et X¹, deux répliques ont été au moins de degré VII et une autre de degré VI; enfin en 1911 un tremble-

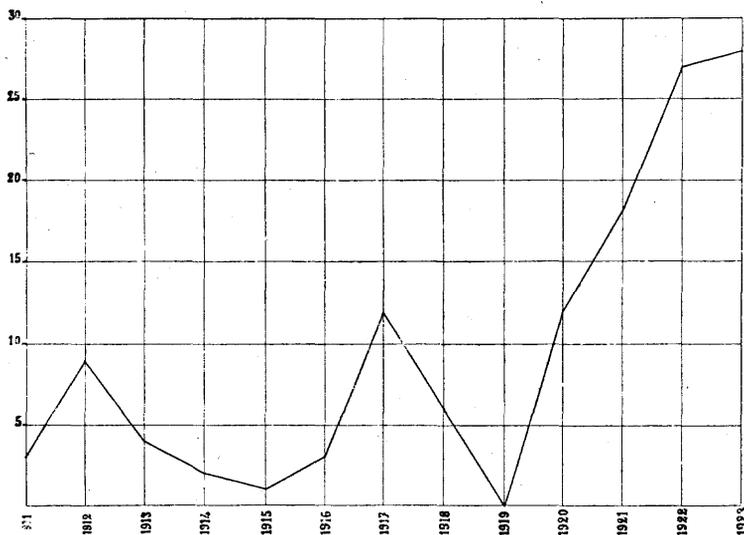


FIG. 2. — Fréquence des séismes dont les foyers se trouvent à moins de 25 km. de Bouzaréah.

ment a atteint également le degré VI à Blida. Dans ce quadrilatère on constate que, pendant quelques années précédant la catastrophe du 5 novembre, il y a bien croissance de la fréquence des phénomènes séismiques. Pour plus de précision, j'ai relevé tous les séismes dont les foyers se trouvent à moins de 25 km. de Bouzaréah et j'ai ainsi obtenu la courbe ci-jointe. Il y a croissance rapide de la fréquence depuis 1919; mais comme la courbe contient des maximums secondaires ne correspondant pas à des phénomènes destructeurs, il me paraît

1. Voir l'étude dans l'Annuaire de l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg, Séismologie, 1924, pp. 95-100.

difficile d'en déduire le moment où la croissance devient une menace. Le centre le plus important de la portion considérée est Bouzaréah. La fréquence y est plus grande qu'à Alger. On ne saurait attribuer cette fréquence au fait que les observateurs y sont plus attentifs qu'ailleurs aux phénomènes séismiques. Il est clair que dans cette comparaison je n'ai pas tenu compte des phénomènes uniquement inscrits par les appareils. L'instabilité de Bouzaréah et d'Alger est attribuée à leur situation dans un des golfes lobés qui caractérisent la côte algérienne. Ces golfes sont particulièrement soumis à de fréquents mouvements séismiques peut-être en rapport avec leur formation; d'ailleurs leur forme a donné lieu à différentes hypothèses sur leur origine. Pour Ficheur et le général de Lamothe, cette forme est due à la simple abrasion de la mer; Suess donne, au contraire, une explication orogénique. Il est à remarquer qu'au cap Matifou on n'a ressenti qu'une seule secousse (en 1920) au cours de toute la période considérée.

El Affroun, et surtout Blida, situés sur le flanc septentrional de l'Atlas Tellien, à la limite des terres alluviales de la Mitidja, du Cartennien et du Gault des hauteurs voisines, ressentent plus aisément et plus fortement les phénomènes séismiques qui sont atténués ou nuls au centre de la plaine¹. Remarquons aussi que pour El Affroun les secousses sont assez régulièrement réparties dans toute la période considérée, tandis que pour Blida elles sont plutôt groupées. Il ne faut pas oublier que ce dernier point est très tourmenté au point de vue géologique et que la présence du pli renversé de Blida a probablement un rôle dans la séismicité de la région². Dans l'Atlas Tellien se trouvent de nombreux points dont la légère instabilité avait déjà été signalée : ce sont Médéa, Loverdo, Berrouaghia — dans cette dernière localité un séisme en 1911 a atteint le degré V, VI — Lavigerie, Voltaire, Ben Chicao, etc.

Le quadrilatère n° 5 vient après le n° 4 au point de vue de la

1. Voir Chesneau : « Note sur les tremblements de terre en Algérie ». Ann. des Mines, 1892, I, Paris.

2. Montessus de Ballore : « La géographie séismique. » Les pays Barbaresques, p. 333.

fréquence des tremblements de terre. Il compte 65 séismes ressentis dans ces quatorze années. L'un d'eux, en 1911, a été de degré V à Masqueray, et un autre à Aumale, point voisin du précédent, a provoqué en 1923 des lézardes aux murs de quelques maisons (VI). D'ailleurs, la région d'Aumale, y compris Bir Rabalou et Aïn Bessem qui sont à une quinzaine de kilomètres de cette ville, est presque constamment agitée; il est peu d'années où l'on n'y ait pas perçu une ou plusieurs secousses. Nous avons vu que sa situation au voisinage de la rencontre des Monts Hodna et des Bibans pouvait être la cause de sa grande séismicité¹. Au nord, dans le Djurdjura et surtout dans la grande Kabylie nous retrouvons la caractéristique des terrains anciens au point de vue séismique, c'est-à-dire que les secousses y sont peu intenses, mais les centres sont très nombreux, les principaux sont : Maillot, Michelet, Haus-souvillers, Tizi-Ouzou, Fort-National.

Dans le quadrilatère n° 2 nous relevons 47 séismes, ce nombre important est dû aux répliques du séisme intense de 1922. Les principaux centres sont Tenès, Orléansville, Fromentin. L'instabilité paraît résulter de la nature du sol, terrain tertiaire, très crevassé. La plupart des séismes dans cette région et dans celle du quadrilatère voisin (n° 3) seraient dus au jeu de failles, comme dans le cas du séisme de Cavaignac, 25 août 1922². J'ai encore tracé pour ce quadrilatère la courbe de fréquence des séismes pendant la période étudiée. Cette courbe présente un maximum de 9 en 1914, les premiers tremblements sont de degré III, le dernier un peu plus intense a le degré IV; mais en réalité la différence d'intensité est trop peu importante pour qu'on puisse en tenir compte. En 1916, on relève six secousses, la plus intense est de degré V, deux secousses plus faibles la précédent, elle est suivie de trois autres également plus faibles. Ensuite, pendant trois ans, la séismi-

1. Montessus de Ballore donne une autre raison que nous verrons plus loin.

2. MM. A. Brives et Dalloni : « Le tremblement de terre du 25 août 1922 et la structure géologique de la région de Tenès-Cavaignac (Algérie) », C. R. Ac. Sc., Paris, t. CLXXV, pp. 527-529.

cité est nulle. Puis, en 1921, il y a trois tremblements. En 1922, le deuxième est désastreux, il provoque alors toute une série de mouvements : quatorze à la fin de 1922, sept en 1923 ; d s 1924, la région redevient stable. L'accalmie manifestée pendant les années 1918, 1919, 1920 ne semblait pas faire pré-

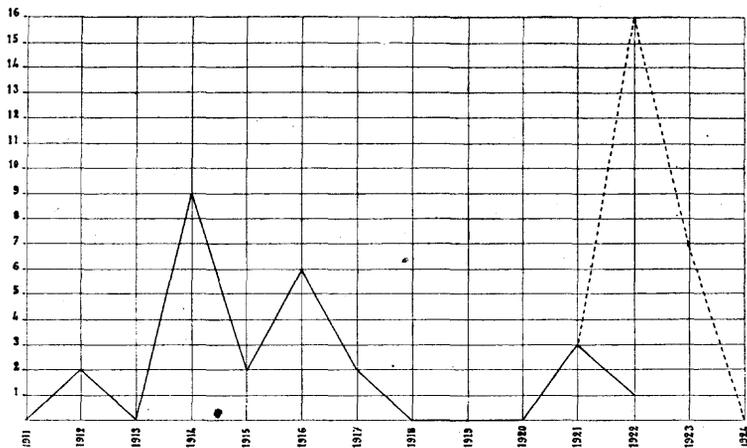


FIG. 3. — Fréquence des tremblements de terre dans la région de Ten s.

voir la catastrophe de 1922, cependant il est à remarquer que pendant l'année 1921 il y a trois séismes qui semblent être l'indice d'une nouvelle période instable. Si la période étudiée était plus longue il serait peut-être possible de tirer des remarques plus nettes au sujet de la répartition des phénomènes séismiques dans cette région.

Bien que le quadrilatère n  3 ne compte que 26 séismes, je cite tout de suite ses principaux centres séismiques afin de ne pas les séparer de la région n 2, dont il partage la constitution géologique : Cherchel, situé sur un des golfes lobés est un des foyers principaux. En 1920, un séisme qui fut ressenti jusqu'à Duperré, dans la vallée moyenne du Chélif, y a atteint le degré VI. Sur la côte nous relevons encore Gouraya connu par le désastre de 1891¹. Vers le sud, nous trouvons Marengo, Hano-

1. 15 et 16 janvier 1891, Gouraya et Villebourg.

teau, Carnot, Miliana et, sur l'autre rive du Chélif, Oued Fodda pour lequel nous comptons dix secousses en 1914 qui furent d'ailleurs ressenties également à Orléansville, mais ne se propagèrent pas sur l'autre rive d'après les renseignements recueillis.

Les quadrilatères n° 6 et n° 7 comptent l'un 39 séismes perçus, l'autre 37. Dans l'un et l'autre nous relevons sur le littoral comme points instables Port Gueydon, Oued Marsa et surtout Bougie et Djidjelli qui se trouvent sur des golfes ayant la forme lobée caractéristique, dont j'ai déjà parlé. A Bougie, en 1912, se produisit un tremblement de degré VI. Ensuite nous remarquons un centre actif commun aux deux régions formé par Kerrata, Amoucha, Coligny, Tizi N' Béchar et Takitount. Kerrata et Tizi N' Béchar sont des points très voisins (9 km. environ de distance), situés tous les deux sur l'Oued Agrioun, ce sont les centres les plus instables. Signalons que leurs secousses sont le plus souvent indépendantes les unes des autres. Ainsi de 1911 à 1922, Kerrata est constamment agité, Tizi N' Béchar n'est pas relevé, tandis qu'à partir de 1922 pour cinq secousses à Kerrata nous en relevons vingt et une à Tizi N' Béchar et, alors qu'une seule secousse est signalée assez violente à Kerrata en 1924, les secousses de Tizi N' Béchar dans cette même année ont presque toutes été accompagnées de la mention forte ou violente. Parmi les autres principaux centres d'activité séismique de ces deux régions nous relevons Mansoura, Bordj-bou-Arréridj, Tixter et Sétif. Dans cette dernière localité un séisme a été de degré VI en 1913. Montessus de Ballore considère ces points situés sur le flanc sud de l'Atlas Tellien comme appartenant à une ligne allant de Boghar à Guelma correspondant à un géosynclinal relevé, encore instable. Aumale ferait précisément partie de cette région séismique.

Le quadrilatère n° 8 fournit pour la période étudiée 23 séismes, l'instabilité y a été assez grande, les principaux centres sont : El Arrouch, Jemmapes, Condé-Smendou, Constantine. Un seul séisme a été de degré V en 1913 à Aïn-Smara, près de Constantine.

Dans le quadrilatère n° 9 nous relevons particulièrement Bône et Guelma ; en 1913, à Bône, l'intensité a été VI.

La région instable d'Oran, comprenant les quadrilatères n° 10 et n° 11, vient ensuite. Elle compte 7 séismes pour l'un, 32 pour l'autre. Sur le littoral les principaux points affectés sont : Oran, Arzew, Mostaganem. Entre Oran et Arzew, vers le sud, nous relevons de nombreux centres séismiques très rapprochés : Kléber, Saint-Cloud, Fleurus, etc. En 1913, une forte secousse de degré V à VII a été ressentie à Oran, Fleurus, Tlélat, Perrégaux, des murs ont été lézardés et des bâtiments se sont effondrés. Le degré VII a été aussi constaté en 1912 à Arzew. En 1915, à Tlélat-Saint-Lucien des murs ont été abîmés (V). Pour cette région Montessus de Ballore croit que les mouvements séismiques sont probablement dus à l'existence de la Sebka de Misserghin et, d'autre part, aux dislocations et bouleversements géologiques de la région.

Le quadrilatère n° 12 ne compte que 12 séismes ; le point le plus important est Relizane, son instabilité a surtout été notable en 1913, 1919 et 1924, l'intensité n'a pas dépassé IV ; à Zemmora, centre voisin, on relève le degré V en 1919, et à Prévost-Paradol et Tagdempt des murs ont été lézardés. D'ailleurs ce séisme s'est propagé plus au sud jusqu'à Saïda. Une secousse est signalée en 1924 à Aïn el Hadjar, près de Saïda, ce sont les points séismiques les plus éloignés de la côte, ils appartiennent du reste encore au flanc méridional de l'Atlas Tellien.

Le quadrilatère n° 13 contient Bourbaki et Taza et le quadrilatère n° 14 Bôghari, situé entre les Monts de Boghar et le Titteri ; le n° 15 renferme Bou Saâda signalé par Montessus de Ballore comme susceptible de secousses assez violentes ; mais cette ville n'a pas été mentionnée de 1911 à 1924. Nous n'avons qu'un séisme en 1924 à Sidi Aïssa, point situé plus au nord. La région du Chott Hodna, n° 16, reconnue instable, n'a bougé qu'en 1924 où l'on relève quatre secousses à M' Sila, dont l'intensité n'est pas indiquée, et cinq faibles secousses consécutives à Cérez, région de M' Sila.

Dans le quadrilatère n° 17 le principal centre est Batna, un séisme important de degré IV s'y est produit en 1924. Dans ce

cas les secousses sont groupées, mais la plus forte est suivie de répliques sans qu'il y ait eu de phénomènes prémonitoires nets.

Enfin les quadrilatères n° 18 et n° 19 sont de très faible sismicité, les centres indiqués sont Khenchela, sur la pente septentrionale de l'Aurès, Clairfontaine, auprès de l'oued Mel-lègue, et l'Ouenza.

De cette étude nous pouvons conclure que les principales régions qui furent signalées comme instables dans les travaux précédents sont encore parmi les plus sismiques pour la période 1911-1924, on peut peut-être faire exception de la région du Hodna, dont l'activité ne s'est manifestée qu'en 1924. Il ne semble pas aisé d'établir un lien plus étroit entre la géologie de l'Algérie et ses phénomènes sismiques par le fait que les renseignements macrosismiques ne sont ni nombreux, ni assez précis. Déjà pour le séisme du 5 novembre 1924, les observations du service météorologique ont été complétées par celles de nombreux instituteurs et il est devenu possible de tracer les isoséistes. Quand ce tracé pourra être exécuté pour les principaux séismes, il deviendra intéressant de comparer la propagation du mouvement à la constitution géologique de la région affectée.

Il ne semble pas d'après les résultats publiés ci-dessus que l'on ait pu à l'avance prévoir le séisme de Cavaignac d'une façon certaine ou même probable bien que des signes précurseurs aient été constatés (3 séismes en 1921, après trois ans d'accalmie). Pour le séisme du 5 novembre, la sismicité a nettement crû pendant les années précédant le désastre, la méthode de prévision proposée semble s'appliquer davantage, remarquons que dans ce cas les appareils de Bouzaréah ont fait connaître des secousses faibles, imperceptibles aux sens. Des mouvements analogues très faibles ont pu précéder les autres séismes importants et ils sont restés inaperçus, faute d'appareils. Peut-être obtiendrait-on des indices plus certains si on disposait d'une part d'inscriptions de sismographes plus nombreuses, et si, d'autre part, la période d'observation était de plus longue durée.

Il faut bien reconnaître que les séismes d'Algérie n'ont pas l'importance des séismes japonais, leurs origines et leurs phénomènes préliminaires peuvent ne pas être comparables et il n'est pas étonnant qu'une méthode qui a donné au Japon des résultats encourageants ne conduise dans le cas de l'Algérie qu'à des résultats douteux. D'ailleurs elle conviendrait peut-être mieux si on pouvait l'appliquer à des régions bien définies au point de vue séismique, c'est-à-dire à des régions dont l'instabilité est due à une même cause géologique (les tremblements algériens sont très probablement d'origine tectonique), plutôt qu'à des régions dont les limites sont purement géographiques.

Je tiens à exprimer ma vive gratitude à M. Gonnessiat, directeur de l'Observatoire d'Alger-Bouzaréah; cette étude n'a été en effet possible que grâce aux *Bulletins mensuels* de cet Observatoire. J'adresse aussi mes remerciements à M. Lasserre, directeur du Service Météorologique d'Algérie, dont le service a fourni la plupart des renseignements macroséismiques, ainsi qu'à M. le Recteur de l'Académie d'Alger qui a bien voulu assurer au Bureau Central le concours des instituteurs.

REMARQUES

Lorsqu'un séisme s'est étendu sur plusieurs quadrilatères, un chiffre en indice du numéro d'ordre de l'année indique les autres quadrilatères affectés.

Lorsque P, eP ou iP accompagne l'indication d'heure, il s'agit de l'heure donnée par les appareils d'Alger.

Dans le quadrilatère n° 4, j'ai reporté les séismes inscrits par les appareils de Bouzaréah à épicycle non déterminé; les distances entre parenthèses accompagnées de l'heure des L ont été déterminées approximativement en comparant aux séismes dont les distances ont été déterminées à l'Observatoire.

« Bouzaréah inscrit » correspond aux séismes désignés le plus souvent dans le bulletin d'Alger-Bouzaréah par « secousse locale ».

La carte a été copiée sur celle de l'Algérie-Tunisie de l'Atlas universel de géographie de Vivien de Saint-Martin et Schrader; mais l'orthographe adoptée est celle de la carte de l'Algérie du Nord 1905, dressée par le Gouvernement Général de l'Algérie, quelques noms cependant n'y figurent pas, dans ce cas on a pris l'orthographe donnée par l'Observatoire; l'on a conservé *h* à Bouzaréah.

La carte est incomplète pour le quadrilatère n° 4, tous les points affectés le 5 novembre 1924 n'ont pas été indiqués pour éviter la confusion. Une carte complète accompagne l'étude de ce séisme dans l'annuaire de l'Institut de Physique du Globe 1924.

Tous les points affectés par le séisme du 5 novembre 1924 ne sont pas relevés dans les tableaux. Voir étude spéciale dans l'annuaire de l'Institut de Physique du Globe 1924.

Les lettres (SM) signifient Service Météorologique.

La distance de l'épicentre à l'Observatoire de Bouzaréah est exprimée en Km. Elle est indiquée par d = nombre de Km. quand la secousse est accompagnée de renseignements macroséismiques; elle figure au commencement de la ligne lorsqu'il n'y a pas de renseignements macroséismiques.

LISTE DES SÉISMES DES DIFFÉRENTS QUADRILATÈRES

POUR LA PÉRIODE 1911-1924

Quadrilatère n° 1.

1919

1 Cap Ivi (SM) 9 août P 23 43 02 $d = 300$

1921

1 Cap Ivi (SM), NS 21 avril vers 1 45

Quadrilatère n° 2.

1912

1 Ténès V, vibratoire 28 févr. *iP* 4 52 04 $d = 150$
 2 Ténès III 28 févr. 5 02

1914

1₃ Orléansville III 16 févr. *iP* 23 06 24
 2₃ Orléansville 16-17 févr. dans la nuit.
 3₃ Orléansville 16-17 févr. dans la nuit.
 4₃ Orléansville III 18 févr. 0 40
 5 Orléansville III 19 févr. 4 5
 6 Orléansville III » 4 45
 7 Orléansville III » *eP* 6 3 26
 8 Orléansville III » 7
 9 Orléansville IV 23 févr. 1 15

1915

1₃ Ténès 4 août *eP* 3 20 30
 2₃ Ténès 4 août *eP* 3 33

1916

1 Ténès III.....	21 févr.	18 45
2 ₃ Ténès III.....	5 mars	12 30
3 Ténès V.....	15 mars	12 00
4 Ténès III.....	18 mars	23 30
5 Ténès IV.....	13 mai	2 10
6 Orléansville III.....	5 août vers	1

1917

1 Fromentin.....	3 avril	16 28
2 Fromentin.....	3 avril	22 55

1921

1 Ténès (SM).....	24 sept. vers	2 15
2 Ténès (SM).....	8 oct. vers	2 40
3 Ténès (SM).....	8 oct. vers	7 45

1922

1 Ténès, 6 s.. NW-SE (SM).....	7 févr. vers	23 25
2 Cavaignac détruit IX à X, Chasseriau, Ténès VIII, Khalloul, Talassa, Montenotte ⁽¹⁾ , etc. Fromentin, se- cousse violente NW-SE, dégâts matériels. Orléansville, deux se- cusses, durée 5 s. chacune à 1 s. d'intervalle, la première WE lente, la deuxième, N-S plus brusque, l'horloge de la ville s'est arrêtée. Ténès, fortes secousses, durée 15 s. environ, direction NE-SW, beau- coup de maisons lézardées.....	25 août iP	11 47 49 d = 180
3 Cavaignac (presse).....	27 août vers	10 00
4 Cavaignac (presse).....	28 août vers	10 40
5 Chasseriau, forte secousse précédée d'un grondement souterrain, quel- ques dégâts matériels.....	29 août dans la matinée.	
6 Fromentin, région Ténès (SM).....	15 oct. vers	14
7 Fromentin (SM).....	18 oct. vers	18 20
8 Fromentin VIII, Cavaignac, Ténès, Orléansville.....	19 nov. P	19 04 56 d = 230

(1) Étude dans l'annuaire de l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg, deuxième partie, Séismologie 1922, pp. 65-67.

9, 10, 11, 12, 13, 14, 15. Fromentin, 7 répliques.....	19 nov. pendant la nuit.
16 Fromentin (SM).....	15 déc. vers 8 10

1923

1 Fromentin (SM).....	25 janv. vers 22 10
2 Fromentin (SM).....	13 févr. vers 4 10
3 Fromentin.....	19 févr. vers 17 00
4 Ténès, 3 s. (SM).....	4 avril vers 14 30
5 Chasseriau, région Ténès.....	15 mai eP 3 38 58 $d = 150$
6 Ténès, 5 s. (SM).....	18 juin vers 9
7 Chasseriau (SM).....	19 juin vers 20

Quadrilatère n° 3.

1911

1 _{3,4} Cherchel III.....	7 janv. V ₄ (¹) 1 32 52
2 Cherchel IV.....	10 janv. 5 35

1914

1 ₂ Oued Fodda IV, avec grondements souterrains.....	16 févr. iP 23 06 24
2 ₂ et 3 ₂ Oued Fodda.....	16-17 févr. dans la nuit.
4 ₂ Oued Fodda, trois secousses.....	18 févr. 0 40
5 Oued Fodda IV.....	18 févr. eP 12 04 02
6 ₂ , 7 ₂ , 8 ₂ , 9 ₂ , 10 Oued Fodda, cinq se- cousses faibles (quatre correspon- dent probablement aux secousses d'Orléansville).....	19 févr. (heure non indiquée).
11 ₄ Miliana, V à III.....	3 févr. 7 15

1915

1 ₂ Hanoteau IV.....	4 août eP 3 20 30
2 ₂ Hanoteau V, vieilles maisons lézar- dées, population sur pied.....	4 août eP 3 33 00

1916

1 ₂ Bou-Bara III.....	5 mars 12 30
2 _{4,5,6} Cherchel.....	18 oct. P 3 15 35

(1) Les ondes P sont appelées V₁, dans ce bulletin.

1917

1 Carnot (SM)..... 10 mars P 17 12 13 $d = 100$

1920

1, Cherchel VI, Duperré..... 7 oct. P 7 12 38 $d = 110$

1921

1 Cherchel..... 18 mai vers 0 10
 2 Cherchel, forte secousse..... 18 mai P 0 40 11 $d = 80$
 3 Cherchel (Dépêche algérienne)..... 18 mai vers 1 10

1922

1, Cherchel, Hanoteau, Flatters..... 25 août iP 11 47 49 $d = 180$

1923

1 Gouraya IV (presse)..... 30 janv. eP 6 30 25 $d = 70$
 2 Cherchel (presse)..... 20 févr. vers 3 30

1924

1, Cherchel, Miliana, Marceau..... 5 nov. P 18 54 34

Quadrilatère n° 4.

1911

1, 2, 3 Alger IV, Blida, Berrouaghia..... 7 janv. V₄ 1 33 52
 2 Bouzaréah III, secousse brusque..... 5 mars V₄ 10 21 12
 3 Bouzaréah III..... 20 mars V₄ 18 12 20
 $d = (150) \quad L 6^h 53^m 31^s$ 24 févr. P 6 53 13
 4 Ressenti pendant 10 s. dans la région d'Alger,
 Blida, El Affroun, ligne de Berrouaghia
 V à VI..... 11 juillet P 1 22 0
 $d = (30) \quad M 1 25 27$ 11 juillet P 1 25 23
 5 Blidah III, vibratoire..... 27 août P 9 52 02
 6 Meurad, près de Blida III, trépidatoire..... 25 oct. P 15 25 18

1912

1 Blida, El Affroun IV, vibratoire..... $d = 50$ 1 janv. iP 6 16 06
 2 Blida III (changement de feuille)..... 1 janv. 8 07
 3 Blida III..... 1 janv. iP 15 22 11
 Bouzaréah, vibratoire inscrit-seulement..... 3 févr. iP 6 08 10
 Bouzaréah, inscrit..... 15 févr. iP 20 48 35
 4 Bouzaréah IV..... 19 févr. iP 17 38 26

5	Bouzaréah III.....	3 mars	iP	18 45 19
6	Bouzaréah, Alger III.....	16 avril	iP	23 45 35
	Bouzaréah, vibratoire, inscrit.....	25 juin	iP	18 43 06
7	Bouzaréah. trépidatoire III enregistré par le barographe à poids.....	8 août	i	18 11 01
	Bouzaréah, inscrit.....	25 août.	eP	21 08 45
	$d = (100)$ iL 20 52 34, vibratoire.....	8 oct.	P	20 52 22
	Bouzaréah, inscrit.....	17 oct.	eP	8 47 30
	$d = (175)$ iL 4 37 58, vibratoire.....	24 oct.	iP	4 37 37
	$d = (100)$ iL M 17 09 30.....	1 ^{er} nov.	iP	17 09 18
	Bouzaréah, inscrit.....	16 nov.	iP	12 22 00
	$d = (60)$ L 23 22 42.....	14 déc.	iP	23 22 35

1913

	Bouzaréah, inscrit.....	10 janv.	iP	13 10 12
1	Bouzaréah III, secousse marquée par le barographe à poids.....	18 janv.	iP	23 08 05
2	Bouzaréah III.....	14 févr.	iP	18 44 26
	Epicentre peu éloigné (pas d'indication de phase).....	1 ^{er} mai	iP	7 22 37
	$d = (180)$ iL 6 47 15.....	27 mai	eP	6 46 53
3	El Affroun IV, Bouzaréah III.....	19 juin	iP	7 42 48
	$d = (200)$ iL 18 38 43.....	31 juillet	eP	18 38 18
	Bouzaréah, inscrit.....	2 sept.	iP	19 33 55
4	Bouzaréah III.....	21 nov.	iP	15 09 37

1914

1 ₃	Séisme ayant son foyer près Blida et ressenti le long des deux coupures de l'Atlas vers Médéa et Miliana, à Bouzaréah, perçu un faible mouvement ondulatoire.....	3 févr.		7 15
	$d = (50)$ L 22 23 00.....	26 févr.		22 22 54
	$d = (100)$ L 9 47 02.....	13 avril		9 46 50
2	Loverdo IV.....	20 avril	iP	1 49 27
3 ₁₁	Bouzaréah II.....	29 avril	iP	23 14 17
4	Bouzaréah III.....	15 mai	iP	2 30 06
	Bouzaréah, inscrit.....	22 juillet	iP	10 38 27

1915

30 km.....	3 févr.	iP	13 23 36
60.....	8 févr.	iP	13 16 36
Bouzaréah, inscrit.....	7 mars	iP	15 32 43
(80).....	14 juin	iP	11 59 49
(50).....	27 juin	iP	17 44 27
40.....	31 déc.	P	20 15 06

1916

Bouzaréah, inscrit.....	5 mai	P	9 34 50
50.....	17 août	iP	12 56 46
60.....	28 sept.	iP	2 52 44
40.....	29 sept.	P	20 36 42
1, 3, 5, 6 Observatoire Bouzaréah VI le baromètre à poids a fait une oscillation de 16 cm.			
Aire d'ébranlement très étendue.....	18 oct.	P	3 15 35
Bouzaréah, inscrit.....	30 oct.	iP	14 20 36
(330).....	25 déc.	P	10 28 38

1917

1, 5 Observatoire IV (on ressent les P), Grande Kabylie..... $d = 50$	29 janv.	P	8 41 55
2 Observatoire III (on ressent les P)... $d = 50$	29 janv.	P	9 16 48
50.....	29 janv.	P	9 23 54
60.....	30 janv.	P	14 37 52
60.....	1 ^{er} févr.	P	16 57 01
40.....	18 mars	P	10 48 08
3 Lavigerie (SM.)..... $d = 80$	26 avril	P	6 22 05
180.....	27 avril	eP	11 21 04
15.....	29 mai	P	10 39 09
140.....	29 mai	P	10 41 01
4 Mongorno III, 40 km. (SM)..... $d = 40$	13 juin	P	21 29 57
5 Mongorno V, Ben Chicao VI (SM) .. $d = 160$	14 juin	P	18 31 43
6 Observatoire III..... $d = 15$	15 juin	P	12 10 14
160.....	28 juill.	iP	6 51 20
10.....	24 août	P	18 17 45
280.....	2 sept.	P	3 43 00
Bouzaréah, inscrit.....	4 sept.	P	19 08 09
Faibles séismes locaux, inscrits.....	27 sept.	eP	7 19 09
—		eP	22 14
—		eP	54 24
—		eP	8 06 15
140.....	29 sept.	P	9 27 30
300.....	3 oct.	iP	16 41 47
Bouzaréah, inscrit.....	10 oct.	iP	20 50 33
7 Observatoire IV..... $d = 60$	15 oct.	P	1 1 59
Bouzaréah, inscrit.....	25 oct.	iP	15 44 49
8 Observatoire IV..... $d = 80$	9 déc.	iP	2 05 00
15.....	19 déc.	P	15 11 40
80.....	21 déc.	P	18 41 44
Bouzaréah, inscrit.....	23 déc.	P	20 11 28

1918

8 km.....		4 janv.	P	13 02 05
1 Observatoire III.....	$d = 0$	7 janv.	PL	13 01 04
Bouzaréah, inscrit.....		5 févr.	P	9 12 11
90.....		19 févr.	iP	12 30 00
Bouzaréah, inscrit.....		7 mars	iP	12 52 10
2 Observatoire IV, Chebli IV, Ben Chicao III.	$d = 40$	7 juin	P	10 39 11
100.....		18 juin	P	4 06 32
3 Observatoire III, Cap Caxine (SM)....	$d = 15$	15 juill.	P	11 53 26
100.....		11 août	P	17 20 34
Bouzaréah, inscrit.....		31 août	P	18 09 17
50.....		11 oct.	P	8 29 02
40.....		26 oct.	P	0 05 39
190.....		2 déc.	P	0 18 46

1919

1 Dely Ibrahim.....		9 avril		2 30
150.....		16 mars	P	9 43 35
60.....		24 mai	eP	4 13 12
2 Alger IV, El Affroun.....		13 sept.	P	11 37 22
80.....		18 sept.	P	12 40 33
80.....		19 nov.	P	1 26 30

1920

1 Hakou-Féraoune (SM).....	$d = 40$	12 févr.	P	10 19 33
2 El Affroun, 3 s.; Aneur-el-Aïn, 3 s. (SM)	$d = 80$	14 avril	P	0 31 54
140.....		18 avril	P	14 27 47
50.....		19 mai	P	4 51 20
Bouzaréah, inscrit.....		31 mai	eP	7 11 03
30.....		23 juin	P	19 43 07
60.....		1 ^{er} juill.	P	22 33 16
60.....		2 juill.	P	6 54 47
80.....		8 juill.	P	9 03 15
3 Bouzaréah III.....		26 juill.	P	16 52 12
90.....		26 juill.	P	17 52 22
250.....		30 juill.	eP	3 26 22
60.....		25 sept.	P	13 39 33
50.....		25 sept.	P	18 48 38
200.....		5 oct.	P	22 09 04
4, Bouzaréah IV, Blida, El Affroun (SM).....		7 oct.	P	7 12 38

5	Bouzaréah IV	$d=80$	12 oct.	P 0 49 00
	$d=(4)$ L 20 12 3,0		9 déc.	P 20 12 2,5
	$d=(4)$ L 20 15 40,0		9 déc.	P 20 15 39,5
6	Alger, Bouzaréah IV, Cap Caxine		9 déc.	P 20 12 22,0
7	Alger, Bouzaréah II		9 déc.	P 20 45 24
8	Alger, Bouzaréah II		9 déc.	P 21 15 44,5
9	Alger, Bouzaréah IV, Cap Matifou		16 déc.	P 0 16 56,0
10	Alger, Bouzaréah III	$d=4$	16 déc.	P 17 08 4,5
11	Alger, Bouzaréah V	$d=4$	24 déc.	P 13 06 15,5
12	Alger, Bouzaréah III	$d=4$	26 déc.	P 7 10 40,0
13	Alger, Bouzaréah III	$d=4$	27 déc.	PL 17 21 36

Les dix séismes locaux qui ont été enregistrés pendant ce mois de décembre semblent issus d'un même foyer. La zone d'ébranlement ne s'est guère étendue au delà d'un rayon de 20 km. autour d'Alger.

1921

	Bouzaréah, inscrit		4 janv.	P 21 20 29
	Bouzaréah, inscrit		22 janv.	P 1 27 41
	Bouzaréah, inscrit		22 janv.	P 10 02 37
	Bouzaréah, inscrit		22 janv.	P 11 59 37
	Bouzaréah, inscrit		23 janv.	P 5 41 22
	220		2 févr.	P 15 17 43
	4		13 févr.	P 8 22 08
1	Bouzaréah, Alger V, grondement souterrain,			
	$d=4$		13 févr.	P 8 25 20
	4		17 févr.	P 21 34 41
2	Lavigerie, deux secousses à 2 s., N.-S. (SM); Voltaire IV, durée 5 à 6 s. (Dépêche algérienne)	$d=70$	3 avril	P 6 26 06
	4		7 avril	P 5 28 36
3	Blida IV (Dépêche algérienne)	$d=40$	18 avril	P 13 42 44
	15		6 mai	P 2 2 27
	260		17 juin	iP 19 53 15
	20		8 juill.	P 23 54 20
4	Tablat (SM)		12 août	vers 23
	Bouzaréah, inscrit		2 sept.	P 23 57 23
	140		16 sept.	P 5 22 25
	30		7 oct.	P 2 41 21
	Bouzaréah, inscrit		10 oct.	P 2 38 26
	15		22 oct.	P 0 29 08
	Bouzaréah, inscrit		2 nov.	P 15 05 11
	Bouzaréah, inscrit		2 nov.	P 16 57 43
	70		19 déc.	eP 14 31 40
	Bouzaréah, inscrit		22 déc.	P 22 33 45
	Bouzaréah, inscrit		29 déc.	P 16 51 19

1922

Bouzaréah, inscrit	4 janv.	P	19 36 33
Bouzaréah, inscrit	9 janv.	P	6 37 33
Bouzaréah, inscrit	9 janv.	P	8 32 23
Bouzaréah, inscrit	9 janv.	P	8 41 16
Bouzaréah, inscrit	3 févr.	P	20 19 18
15	23 févr.	P	2 50 26
40	2 mars	P	3 27 28
Bouzaréah, inscrit	30 mars	P	17 08 46
1 Bouzaréah V	$d = 8$	16 juin	P 10 52 09
8		20 juin	P 23 18 53
8		30 juin	P 20 49 22
Bouzaréah, inscrit		11 juill.	P 21 19 45
Bouzaréah, inscrit		20 juill.	P 18 34 29
Bouzaréah, inscrit		24 juill.	P 18 39 48
15		2 août	P 10 55 45
2 Bouzaréah IV		3 août	P 19 12 40
3, 3 Alger II		25 août	iP 11 47 49
5		31 août	P 17 18 38
Bouzaréah, inscrit		2 sept.	P 13 48 07
40		3 sept.	P 11 00 04
Bouzaréah, inscrit		7 sept.	P 18 34 28
Bouzaréah, inscrit		16 sept.	P 16 19 26
Bouzaréah, inscrit		19 sept.	P 16 46 14
Bouzaréah, inscrit		21 sept.	P 11 17 54
Bouzaréah, inscrit		16 oct.	P 6 42 57
10		17 oct.	P 16 47 11
Bouzaréah, inscrit		14 nov.	P 15 49 52
4, Rouiba III, Bouzaréah II	$d = 40$	23 nov.	P 12 34 39
5, Rouiba II	$d = 40$	24 nov.	P 6 26 20
70		6 déc.	P 9 57 11
Bouzaréah, inscrit		11 déc.	iP 17 29 04
25		25 déc.	P 0 31 45
80		26 déc.	P 18 45 12
Bouzaréah, inscrit		27 déc.	P 17 29 06

1923

1, Tablat	$d = 80$	15 janv.	P 4 29 45
Bouzaréah, inscrit		16 janv.	P 14 24 11
50		20 janv.	P 2 23 48
Bouzaréah, inscrit		21 janv.	P 2 05 52
Bouzaréah, inscrit		8 févr.	P 17 59 07
2, Tablat, Bouzaréah II (Presse) (SM)		19 févr.	iP 16 33 39

Bouzaréah, inscrit.....	26 mars	P	15 08 16
Bouzaréah, inscrit.....	27 mars	P	18 22 58
3 Beni Sliman (SM).....	15 avril	vers	20 30
4 Beni Sliman.....	16 avril	vers	3 35
Bouzaréah, inscrit.....	20 avril	P	12 14 17
110.....	20 avril	P	23 33 00
Bouzaréah, inscrit.....	25 avril	P	11 16 21
80.....	3 mai	P	9 29 32
190.....	28 mai	P	16 29 04
5 Mongorno (région Berrouaghia) (SM). $d = 70$	31 mai	P	12 13 56
120 $< d < 200$	8 juin	P	22 59 36
Bouzaréah, inscrit.....	14 juin	P	16 04 50
140.....	18 juin	P	0 27 02
15.....	19 juin	P	14 59 16
Bouzaréah, inscrit.....	9 juill.	P	11 34 26
15.....	19 juill.	P	11 17 04
Bouzaréah, inscrit.....	25 juill.	P	17 02 54
Bouzaréah, inscrit (l'heure ne s'est pas inscrite).	26 juill.	vers	16
Bouzaréah, inscrit	—	vers	18 30
100.....	27 juill.	P	13 20 57
Bouzaréah, inscrit.....	27 juill.	P	18 17 14
15.....	31 juill.	P	18 30 20
Bouzaréah, inscrit.....	8 août	P	17 51 30
30.....	8 août	P	17 54 15
25.....	30 août	P	18 19 22
Bouzaréah, inscrit.....	31 août	P	10 16 40
40.....	31 août	P	10 43 05
25.....	31 août	P	13 14 33
25.....	31 août	P	13 15 05
Bouzaréah, inscrit.....	4 sept.	P	19 37 40
Bouzaréah, inscrit.....	4 sept.	P	21 08 45
80.....	23 oct.	eP	9 19 32
Bouzaréah, inscrit.....	24 nov.	P	18 49 19
6 L'Arba, deux secousses consécutives; Maison Carrée (SM), Bouzaréah III..... $d = 40$	25 nov.	P	4 37 50
7, Tablat, L'Arba (SM), Maison Carrée IV, Alger III..... $d = 40$	27 nov.	iP	19 50 20
8 Tablat.....	25 nov.	vers	21 30
10.....	12 déc.	P	14 02 19
30.....	17 déc.	P	13 51 19
10.....	19 déc.	P	15 09 05
Bouzaréah, inscrit.....	26 déc.	P	3 02 57
Bouzaréah, inscrit.....	26 déc.	P	5 04 28
60.....	27 déc.	P	8 07 40

1924

15.....	20 févr.	P	16 04 18
1 Beni Sliman..... $d = 80$	5 mars	P	3 45 37
2 Beni Sliman.....	5 mars		1
(280).....	7 mars	P	16 19 31
60.....	17 mai	eP	21 47 04
3 El Affroun, légères secousses SW-NE (SM).....			
..... $d = 60$	15 juin	eP	3 12 10
320.....	30 juin	P	1 57 49
4 Bouzaréah, Alger IV..... $d = 4$	8 juill.	iP	16 07 23
120.....	12 sept.	eP	18 19 49
5, 16 Séisme destructif. Épicentre au S-W de l'Observatoire ¹ . Alger, Bouzaréah, Cap Caxine, Chebli, Cap Matifou, Maison Carrée, Rouiba, Blida, El Affroun, Arba, Boufarik, Douéra, etc..... $d = 22$	5 nov.	iP	18 54 34
Répliques de ce séisme.....	5 nov.	P	19 02 55
		P	19 10 47
		P	33 11
		P	20 38 08
		P	46 37
		P	49 38
		P	21 06 08
		P	11 52
6 Ressentie probablement à Blida et El Affroun ² . Staouli VI.....		P	58 17
		P	23 18 34
		P	19 58
		P	46 03
7 Alger *.....	6 nov.	P	0 12 34
		P	45 13
		P	2 17 29
		P	4 46 06
8 Alger *.....		P	5 04 57
9 Bouzaréah IV, Alger, Blida, Maison Carrée, Saint-Charles VII.....		P	5 5 26
		P	5 07 38
		P	10 11 06
		P	13 11 05

1. Voir étude spéciale dans l'Annuaire de l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg, Séismologie 1924.. Tous les points affectés par la secousse principale et par les répliques ne sont pas indiqués ici, ni sur la carte.

2. J'ai essayé d'identifier ces secousses avec les heures indiquées dans les renseignements macroséismiques, mais les heures diffèrent souvent d'un assez grand nombre de minutes. J'ai indiqué les cas où la coïncidence semble la meilleure.

10 Bouzaréah III		P 16 12 51
		P 16 31 12
		P 17 07 24
11 Bouzaréah V, roulement; Alger, Blida.....		P 17 58 12
		P 18 07 19
Grondement 10 s. avant.....		P 18 40 41
12 Bouzaréah IV, Rouiba, Arba, Boufarik VII....	P superposé au précédent	
13 Bouzaréah III		P 19 32 41
		P 20 27 03
14 Bouzaréah V. Dans une lunette de 3 m. orientée vers le S, oscillations des images 0 ^{mm} 4 (M. Jekhowsky), Alger.....		P 22 59 58
		P 23 02 03
		P 16 44
		P 18 05
		P 23 16
		P 42 35
	7 nov.	P 0 20 32
		P 3 19 50
		P 46 28
		P 5 25 47
		P 30 54
15 Bouzaréah III.....		P 5 48 15
		P 6 03 43
16 Bouzaréah II.....		P 7 03 35
17 Bouzaréah II.....		P 9 37 10
		P 10 28 26
18 Bouzaréah III		P 13 05 49
		P 14 34 14
		P 15 47 37
		P 16 06 50
		P 19 02 27
		P 21 17 40
	8 nov.	P 2 06 37
		P 7 30 00
		P 8 10 25
		P 11 29 25
		P 16 43 16
		P 17 16 40
		P 21 24 06
19 Bouzaréah IV.....		P 22 36 00
		P 22 39 11
		P 23 30 28
20 Bouzaréah IV.....	9 nov.	P 1 04 19
21 Bouzaréah II.....		P 1 06 15
		P 30 46

22 Bouzaréah II		P	5 32 20
		P	40 39
		P	47 02
		P	11 53 00
		P	12 15 54
		P	15 0 33
	10 nov.	P	0 56 18
23 Bouzaréah II		P	1 48 09
		P	18 52 58
	11 nov.	P	1 17 02
		P	37 59
		P	2 09 58
24 Bouzaréah III		P	8 25 52
		P	15 34 15
25 Bouzaréah III	12 nov.	P	5 35 47
	16 nov.	P	15 57 16
	18 nov.	P	16 25 40
26 Bouzaréah II	19 nov.	P	10 47 26
	21 nov.	P	19 19 51
	22 nov.	P	13 35 41
	2 déc.	P	13 52 05
	2 déc.	P	23 27 11
27 Bouzaréah II	3 déc.	P	2 31 21
28 Bouzaréah II	3 déc.	P	3 21 0
29 Bouzaréah III	3 déc.	P	12 26 44
30 Bouzaréah IV	3 déc.	P	12 32 50
	3 déc.	P	12 51 09
	5 déc.	P	16 40 58
31 Bouzaréah III, précédé d'un roulement	7 déc.	P	14 27 39
	11 déc.	P	10 54 21
	19 déc.	P	2 46 56
	26 déc.	P	0 0 25
	27 déc.	P	0 14 54

Les répliques ont encore continué en 1925.

Quadrilatère n° 5.

1911

1, 4 Aumale, Aïn Bessem, Bir Rabalou V, Tizi-Ouzou	7 janv.	V ₁	1 33 52
2 Région Aumale (P)	19 févr.	P	1 29 56
3 Aumale	25 févr.	P	23 24 32
4 Aïn Bessem, Masqueray V	10 mai	V ₁	1 24 26
5 Aumale IV	6 juill.	P	19 50 36

1912

1, Aïn Bessem (Aumale) V, Tizi-Ouzou, Bordj-Ménaïel IV	3 mars	iP	18 45 19
2 Dra el Mizan IV, Bouira III. $d = 100$	26 mars	iP	0 53 08
3, Tizi-Ouzou IV	$d = 160$ 6 août	eP	18 44 13
4 Masqueray (région d'Aumale)	14 août		23
5 Aumale, Aïn Bessem III. $d = 80$	2 sept.	iP	15 54 56

1913

1 Ménerville III, Tizi-Ouzou.	18 janv.	iP	5 51 41
2, Tizi-Ouzou	18 janv.	iP	23 08 05
3 Tizi-Ouzou	19 janv.	vers	23
4 Aumale III.	14 oct.		3 30

1914

1 Bir Rabalou III.	8 févr.	iP	12 12 33
-------------------------	---------	----	----------

1915

1 Aumale IV. $d = 60$	8 févr.	iP	14 46 12
----------------------------	---------	----	----------

1916

1 Michelet III (SM)	$d = 40$ 9 sept.	P	16 44 13
2, Aumale	18 oct.	P	3 15 35

1917

1, Grande Kabylie	$d = 50$ 29 janv.	P	8 41 55
2 Aumale V. $d = 140$	29 sept.	iP	10 20 08
3 Aumale III. $d = 140$	29 sept.	iP	17 12 58

1918

1 Maillot (SM)	9 janv.	vers	2 35
2 Cap Bengut (SM)	18 janv.	vers	1 20
3 Ménerville (SM)	$d = 60$ 4 août	P	16 21 0
4 Aumale, Maillot (SM)	$d = 130$ 10 oct.	P	15 0 12
5 Maillot (SM)	$d = 130$ 10 oct.	P	17 48 59
6 Aumale (SM)	$d = 100$ 8 nov.	P	17 47 59
7 Maillot (SM)	$d = 100$ 18 nov.	P	13 11 38

1919

1 ₆ Cap Bengut (SM)	$d = 80$	24 sept.	P	13 39 30
2 Michelet, deux secousses		25 sept.	vers	1 15

1920

1 Maillot (SM)		29 mars	vers	21 15
2 Maillot (SM)		6 avril	vers	23 0
3 Maillot (SM)		6 avril	vers	24 15
4 Maillot V (SM)	$d = 140$	20 avril	P	3 44 03
5 Michelet, 3 s.; Maillot		2 mai	P	2 21 10
6 Michelet (SM)	$d = 90$	15 juin	P	1 44 45
7 ₄ Haussonvillers, Bordj Ménaïel (SM) ..	$d = 80$	12 oct.	P	0 49 00

1921

1 Tizi-Ouzou, Bordj Ménaïel, Haussonvillers IV, bruits souterrains (SM)		8 mars	vers	5 50
2 Maillot, forte secousse; Michelet (SM). $d = 110$		7 avril	P	19 34 38
3 Bir Rabalou (SM)		3 juill.	vers	5
4 ₆ Tizi-Ouzou (NW-SE), Michelet, Maillot $d = 130$		22 oct.	iP	21 19 36
5 Michelet (SM)		31 oct.	vers	4 30
6 Aumale, E-W (SM)		3 déc.	vers	23 55

1922

1 Maillot, forte secousse (SM)		31 mars	vers	6 30
2 Maillot; population réveillée par une forte secousse	$d = 120$	5 avril	eP	4 0 13
3 Maillot, secousse moins accentuée que la précédente (Dép. Alger)		5 avril	vers	8
4 Alma, forte secousse E-W (journaux); Ménerville, légère	$d = 30$	18 juill.	P	7 12 07
5 Aumale, 2 s. N-S (SM)		17 août	vers	3 30
6 Aumale, 2 s. W-E; Bir Rabalou (SM). $d = 80$		10 sept.	P	19 38 29
7 ₄ Alma V, grondements	$d = 40$	23 nov.	P	12 34 39
8 Alma III		24 nov.	vers	0
9 ₄ Alma IV	$d = 40$	24 nov.	P	6 26 20
10 Alma		24 nov.	vers	6 45
11 Alma, bruit souterrain		26 nov.	vers	21 20

1923

1	Aumale IV, 3 s. E-W; Bir Rabalou, Tablat (SM).....	$d = 80$	15 janv.	P	4 29 45
2	Aumale VI, maisons lézardées; Bir Rabalou, Aïn Bessem, Palestro, Ménerville, Haussonvillers (Presse, SM).....	$d = 100$	19 févr.	iP	16 33 39
3	Aumale IV, Bir Rabalou	$d = 100$	19 févr.	P	16 37 49
4	Alma, E-W (SM).....		28 févr.	vers	23 45
5	Aumale (SM).....	$d = 80$	2 mai	P	20 12 09
6	Alma V, grondements souterrains; Ménerville (Presse).....	$d = 50$	13 juill.	P	14 18 21
7	Alma V, grondements souterrains ..	$d = 50$	13 juill.	P	17 27 51
8	Labarraque, près Bouira		8 août	vers	18
9	Ménerville, secousses verticales 3 s., grondement; Bordj Ménaïel, Palestro... ..	$d = 40$	27 nov.	iP	19 50 20

1924

1 ^{a, 7}	Tizi-Ouzou, 3 secousses N-S; Haussonvillers, 2 secousses; Maillot, forte secousse; Bouira, Aïn Bessem, faible, SE-NW (?); Palestro, légère secousse,	$d = 150$	19 juill.	iP	12 48 25
2	Beni Amran, Bordj Ménaïel, Fort-National... ..	$d = 22$	5 nov.	iP	18 54 34

Quadrilatère n° 6.

1912

1 ₅	Bougie VI, Oued Marsa VI.....	$d = 160$	6 août	eP	18 44 13
2	Bougie IV, Oued Marsa IV.....	$d = 160$	6 août	iP	18 51 43

1914

1	Port-Gueydon IV, Akbou, Bougie III. ..	$d = 120$	13 mai	iP	2 47 38
---	--	-----------	--------	----	---------

1916

1, 3, 4, 5	Bougie		18 oct.	P	3 15 35
------------	--------------	--	---------	---	---------

1917

1	El Kseur (SM).....	$d = 140$	11 mars	P	10 04 07
2	Kerrata (SM).....		26 juin	vers	3

1918

1 Bougie (220)	$d = 220$	27 juill.	P 15 02 58
2 Kerrata (SM)		5 août	2

1919

1 Kerrata (SM)		20-21 août	nuit.
2, Cap Corbelin (SM)	$d = 80$	24 sept.	P 13 39 30
3 Coligny		6 déc.	vers 6
4 Kerrata (SM)		16 déc.	vers 17

1920

1 Kerrata		7 mai	vers 12 30
2 Kerrata (SM)		7 oct.	vers 18 15
3 Kerrata (SM)		9 oct.	vers 17 15
4 Kerrata (SM)		25 oct.	vers 5 15

1921

1 Kerrata (SM)		3 févr.	15 15
2 Kerrata (SM)		15 févr.	vers 23
3 Kerrata (SM)		12 sept.	vers 0 25
4, El Kseur, Bougie, E-W; Mansoura, 3 s. (SM).	$d = 130$	22 oct.	iP 21 19 36

1922

1 Sidi Aïch (SM)		25 avril	7 20
2 Bougie, forte secousse		6 mai	vers 12 40
3 El Kseur (SM)		25 juin	vers 16 05
4 El Kseur (SM)		27 juin	vers 1 10
5 Bordj - Bou - Arréridj, Birkasdalis; Tixter, grondements souterrains (SM) ..	$d = 180$	29 juin	iP 22 49 47
6, Kerrata, 5 s. N-S (SM)	$d = 200$	22 juill.	P 13 28 34
7 Sidi-Aïch (SM)		24 déc.	vers 10 10

1923

1, Kerrata (SM)		11 mai	vers 21 45
2, Kerrata (SM)		18 août	vers 15

1924

1 Arbala.....	19 mars	nuit.
2 Arbala.....	22 mai	10 30
3, Kerrata (SM).....	27 avril	7 15
4 Bordj-Bou-Arréridj, W-E (SM).....	20 juin	vers 3
5 _{3,7} Seddouk. Séisme dont l'épicentre doit être situé dans la région désertique comprise entre la vallée de la Soummam et celle du Chabet-el-Akra (Akbou à Kerrata). $d = 150$	19 juill.	iP 12 48 25
6 Seddouk (SM).....	13 août	vers 11 15
7 Kerrata, assez violent (SM).....	10 sept.	vers 0 55
8 Oued Amizour V (M. Besnard), Bougie IV, El Kseur (Presse)..... $d = 160$	5 nov.	eP 4 54 52
9 Tifra (Bougie) (SM).....	25 nov.	vers 7 15
10 Bordj-Bou-Arréridj (SM).....	15 déc.	vers 1 0

Quadrilatère n° 7.

1911

1 Sétif III.....	14 déc.	vers 2 30
2 Sétif III.....	14 déc.	vers 10 40

1913

1 Région Sétif VI.....	24 mai	iP 23 37 14
2 ₃ Chateaudun du Rhumel IV.....	20 août	22
3 Taher III.....	16 déc.	vers 3

1916

1 Amoucha III (SM).....	3 juill.	vers 15
2 Djidjelli IV (SM).....	4 juill.	vers 15

1918

1 ₆ Djidjelli, Sétif (SM).....	27 juill.	P 15 02 58
---	-----------	------------

1919

1 ₁₆ Sétif (SM)..... $d = 250$	17 mars	iP 11 01 12
2 Sétif (SM).....	18 mars	vers 1
3 ₆ Sétif IV (SM).....	6 déc.	vers 0

1920

1 Texenna (SM) 10 avril vers 2 30

1922

1 Tizi N' Béchar (SM) 15 avril 20 15
 2_a Takitount 10 s., grondements; Amouchâ 2 s
 (SM)..... $d = 200$ 22 juill. P 13 28 34
 3 Tizi N' Béchar (Takitount) (SM)..... 29 oct. vers 14 15
 4 Tizi N' Béchar (SM)..... 18 nov. vers 6 05

1923

1 Tizi N' Béchar, 3 s., grondements (SM)..... 18 févr. vers 20 30
 2_a Mila, El Milia (SM)..... $d = 300$ (?) 24 mars P 14 59 58 (?)
 3 Tizi N' Béchar VI, constructions lézardées.... 27 mars vers 3 10
 4 Tizi N' Béchar, 5 s. (SM) 11 mai vers 21 45
 5 Tizi N' Béchar, 2 s. (SM) 15 mai vers 4 05
 6 Tizi N' Béchar, 2 s. (SM) 18 mai 0 25
 7 Tizi N' Béchar, 3 s. (SM) 18 mai 3 25
 8 Tizi N' Béchar (SM)..... 1^{er} juin vers 23 25
 9 Sétif, 2 s.; Amoucha (SM)..... 4 juill. eP 21 33 44
 10_a Tizi N' Béchar..... 18 août vers 15
 11 Tizi N' Béchar, forte secousse 2 s., précédée
 de grondements..... 16 oct. vers 7 25
 12 Tizi N' Béchar, quatre secousses en 5 s., gron-
 dement..... 14 nov. vers 1 20

1924

1 Aïn Merdja Sliman 11 mars vers 1 25
 2 Tizi N' Béchar (SM)..... 25 avril vers 14 30
 3_a Tizi N' Béchar (SM)..... 27 avril vers 7 15
 4 Tizi N' Béchar, forte secousse 4 s. (SM)..... 23 mai vers 6 30
 5 Tizi N' Béchar, forte secousse (SM)..... 16 juin vers 23 10
 6_{s, 6} Tizi N' Béchar, violente secousse 3 s., lézar-
 des à la maison cantonnière ... $d = 150$ 19 juill. iP 12 48 25
 7 Tizi N' Béchar, deux fortes secousses (SM) ... 10 sept. 1 10
 8 Tizi N' Béchar, deux fortes secousses 3 s. (SM
 et Presse)..... 11 oct. vers 3 30
 9 Tizi N' Béchar, légère secousse (SM)..... 7 déc. vers 5 40

Quadrilatère n° 8.

1911

1 Constantine, forte secousse.....	5 févr.	vers 1
2 Constantine, faible secousse.....	5 févr.	vers 10

1913

1 Région Constantine III.....	28-29 mai	nuit.
2 Aïn Smara (Constantine) V.....	27-28 juin	nuit.
3, Oued Séguin.....	20 août	22

1916

1 Constantine III.....	22 janv.	11 40
2 Sigus II.....	10 mai	1 45
3 Aïn-Abid II.....	10 mai	2 30
4 El Arrouch III (SM).....	30 juill.	15 30
5 El Arrouch III (SM).....	20 sept.	(pas d'heure)

1917

1 Constantine (SM).....	11 avril	vers minuit.
-------------------------	----------	--------------

1918

1 El Arrouch (SM).....	3 mars	15
------------------------	--------	----

1919

1, Jemmapes (SM).....	$d = 380$	11 mai	eP	7 06 41
-----------------------	-----------	--------	----	---------

1920

1 Collo (SM).....	9 mars	vers 2
-------------------	--------	--------

1921

El Arrouch.....	2 déc.	vers 10 15
-----------------	--------	------------

1923

1, El Arrouch, quelques s.; Condé-Smendou, N-S; Jemmapes.....	$d = 300$ (?)	24 mars	P 14 59 58 (?)
2 Sigus (SM).....		7 avril	vers 21
3 Sigus (SM).....		7 avril	vers 23
4 Sigus (SM).....		12 avril	vers 1 10
5 Sigus (SM).....		14 mai	vers 22 25
6 Sigus (SM).....		28 juin	vers 23 20

1924

1 El Arrouch, bruit souterrain.....		21 mai	vers 18 45
2 El Arrouch, bruit souterrain; Condé-Smen- dou 5 s.; Constantine (SM et Presse).....		29 oct.	vers 21 0

Quadrilatère n° 9.

1912

1 Guelma III.....		30 nov.	12 40
-------------------	--	---------	-------

1913

1 Guelma III.....		26 mars	3 30
-------------------	--	---------	------

1919

1, Bône, l'Edough (SM).....	$d = 380$	11 mai	eP 7 06 41
-----------------------------	-----------	--------	------------

1920

1 Bône, cap Rosa, La Calle' (SM). ..	$d = 500$	25 févr.	P 17 57 49
2 Guelma 12 s. (SM).....		6 avril	0 20

1923

1 Guelma 4 s., Bône VI (Dép. Alg.).....		12 juin	vers 1 10
2 Guelma 1 s., Bône (Dép. Alg.).....		12 juin	vers 3 45

1. On a fait rentrer dans cette région la petite portion comprise entre le quadrilatère et la frontière de l'Algérie.

Quadrilatère n° 10.

1912

1₁₁ Aïn El Turk IV 15 août vers 23 10

1916

1 El Ançor III..... 15 avril vers 22 15

1917

1 Hammam-bou-Hadjar (SM)..... 20 mars vers 21

1919

1 Rachgoun, Béni-Saf (SM)..... 6 mai e 3 36 34

1923

1 Port-Say¹ (Dép. Alg.)..... 4 juin vers 9 40
1. Même remarque que précédemment.

1924

1 El Ançor (SM)..... 25 févr. vers 7 50
2 El Ançor, frémissement 1 s. (SM)..... 10 mai vers 14 45

Quadrilatère n° 11.

1912

1 Arzew VII, grondements $d = 300$ 24 juill. eP 18 06 42
2 Arzew III 25 juill. eP 18 31 25
3 Arzew V, Kléber III..... 31 juill. 10 50
4 Arzew III 31 juill. 12 40
5 Kléber IV 2 août 1 30
6 Kléber III, Arzew 2 août 2 00
7 Arzew III 2 août 4 30
8 Arzew IV, avec grondements..... 2 août 15 40
9⁴⁰ Oran III 15 août 23 10
10 Arzew IV..... 18 sept. 20 45
11 Mostaganem III..... 22 oct. 3 57

1913

1 Oran, Fleurus (Tlélat), Perrégaux, forte secousse V à VII, murs lézardés, quelques bâtiments effondrés..... 26 févr. eP 3 51 04

1914

1 Saint-Cloud III..... 10 juin 16 25
2 Renan, Assi-ben-Okba III à IV..... 16 juin 15

1915

1 Saint-Lucien, Tlélat (murs lézardés) V..... 16 avril 16 25
2 Tlélat III..... 16 avril 16 45

1916

1 Oran, Perrégaux, la Senia, trois secousses rapprochées III-IV..... 22 janv. P 1 25 06

1917

1 Saint-Lucien-du-Tlélat..... 5 mars 5 20

1919

1₁₃ Mascara (SM)..... 16 mars vers 19

1920

1 Saint-Lucien-du-Tlélat (SM)..... 11 sept. vers 4 15

1922

1 Saint-Maur, secousse de N-W à S-E, sensible dans un rayon de 10 à 12 km. dans le sens des ondulations, de 5 à 6 km. perpendiculairement (SM)..... 17 janv. vers 21 12
2 Mercier-Lacombe (SM)..... 26 janv. vers 20 15
3 Mostaganem SM..... 16 févr. 1 10
4 Mostaganem SM..... 16 févr. 1 15
5 Mostaganem (SM), forte secousse 3 à 4 s..... 16 févr. vers 22 20

1923

1 Mascara SM.....	2 avril	vers 7 20
2 Mercier-Lacombe.....	21 nov.	23 15
3 Aïn-Tédelès (Presse) W-E.....	3 juill.	vers 20 50

1924

1 Saint-Maur, deux secousses avec grondements.	12 mars	vers 23
2 Oran, Arzew, Mostaganem, faible secousse 1 s. (Presse).....	12 nov.	vers 2 10

1913*

1 ₁₂ Saïda.....	$d = 250$	8 janv.	iP 20 38 03
----------------------------	-----------	---------	-------------

1924*

1 Aïn el Hadjar (12 km. au S. de Saïda), secousse suivie de quatre détonations.....	5 janv.	vers 7 20
---	---------	-----------

Quadrilatère n° 12.

1911

1 Relizane, deux secousses IV.....	10 janv.	21 30
------------------------------------	----------	-------

1913

1 ₁₁ Tiaret, Relizane, avec maximum VI, vers Pré-vost-Paradol et Tagdempt, où des murs ont été lézardés, grondements souterrains.....	$d = 250$	8 janv.	iP 20 38 03
2 Relizane III.....	9 janv.	0 0	
3 Relizane III.....	10 janv.	6 30	
4 Relizane III.....	31 août	12	

1915

1 Zemmora, succession de séismes dans la tribu des Anatra. Une secousse plus forte a fait sortir les gens de leurs demeures (SM)...	24 déc.	22
---	---------	----

* Bien que Saïda et Aïn el Hadjar n'appartiennent pas au quadrilatère n° 11, j'ai donné ici les indications séismiques les concernant.

1919

1 Relizane, Zemmora V (SM).....	28 avril	21 5
2 Relizane IV (SM).....	30 déc.	vers 0 30

1922

1, 2, 4 Relizane (SM).....	25 août	11 50
2 Relizane, forte secousse (SM).....	24 nov.	vers 8

1924

1 Relizane, deux fortes secousses, 6 s. ; Clinchant, 3 s. ; Zemmora. 3 s. ; Uzès-le-Duc (Presse).....	$d = 240$ 17 avril	P 13 15 44
2 Relizane et environs, secousse assez vive 2 s., SW-NE (Presse).....	12 juill.	vers 3 40

Quadrilatère n° 13.

1919

1, 11 Bourbaki (SM).....	$d = 150$ 16 mars	vers 19
--------------------------	-------------------	---------

1920

1 Taza, forte secousse.....	11 mai	eP 21 16 27
-----------------------------	--------	-------------

1922

1 Taza, secousse très violente (SM).....	28 août	vers 23
--	---------	---------

1923

1 Bourlier, 220 km. d'Alger vers Tiaret (SM).	31 mai (sans ind. d'heure)	
---	----------------------------	--

1924

1 Reibel (SM).....	30 jany.	vers 6
2 Babmerzouka, près de Taza 10 s., quelques dégâts (Presse).....	11 févr.	vers 1 30

Quadrilatère n° 14.

1913

1 Boghari..... 7 août vers 7 5

1914

1, Boghari IV, Letourneux III..... 29 avril iP 23 14 17
2 Letourneux III, avec grondement souterrain.. 9 déc. vers 19 50

1924

1, Boghari $d = 22$ 5 nov. iP 18 54 34

Quadrilatère n° 15.

1924

1 Sidi Aïssa, faible SW-NE (SM)..... $d = 140$ 15 nov. iP 7 13 58

Quadrilatère n° 16.

1919

1, Tocqueville, Colbert (SM)..... $d = 250$ 17 mars iP 11 1 12

1924

1 M' Sila, secousse verticale suivie d'une secousse latérale plus forte et plus longue. $d = 160$ 17 août P 23 36 0
2 M' Sila, secousse horizontale très courte (SM). 18 août P 5 27 11
3 M' Sila, courte secousse verticale..... 16 oct. vers 22 20
4 M' Sila 3 s., NW-SE..... $d = 220$ 11 déc. eP 21 24 30
5 Cerez, cinq faibles secousses consécutives (région M' Sila), probablement en rapport avec la précédente..... 11 déc. 21 25

Quadrilatère n° 17.

1911

1	Pasteur 3 s.....	3 févr.	vers	2 (2)
2	Batna, 4 ^e secousse depuis huit jours.....	4 févr.	vers	3 40

1921

1 ₁₈	Pasteur (SM).....	$d = 330$ (?)	5 août (date douteuse)	eP	18	1	50
-----------------	-------------------	---------------	------------------------	----	----	---	----

1924

1	Style N sorti de la feuille. Destructif : El Ksour (douar) et environs, trois victimes; V. Dury, une victime; Mac-Mahon, Batna, fortes secousses; El Kantara, Bernelle, Barika, N' Gaous.....	$d = 360$	16 mars	eP	10	18	08
2	Réplique Mac-Mahon.....		17 mars		19		
3	Réplique Mac-Mahon.....		17 mars		21		
4	Réplique Mac-Mahon.....		18 mars		1		
5	N' Gaous (région Batna), faible.....		1 ^{er} avril	vers	10	30	

1921 *

	Biskra (SM).....		8 juill.	vers	23	20	
--	------------------	--	----------	------	----	----	--

Quadrilatère n° 18.

1920

1	Arris (SM).....		3 janv.	vers	18		
---	-----------------	--	---------	------	----	--	--

1921

1 ₁₇	Khenchela SM....	$d = 320$ (?)	5 août (date douteuse)	eP	18	01	50
-----------------	------------------	---------------	------------------------	----	----	----	----

1923

1	Khenchela		23 nov.		(2)		
---	-----------------	--	---------	--	-----	--	--

* Biskra est situé au sud du quadrilatère n° 17.

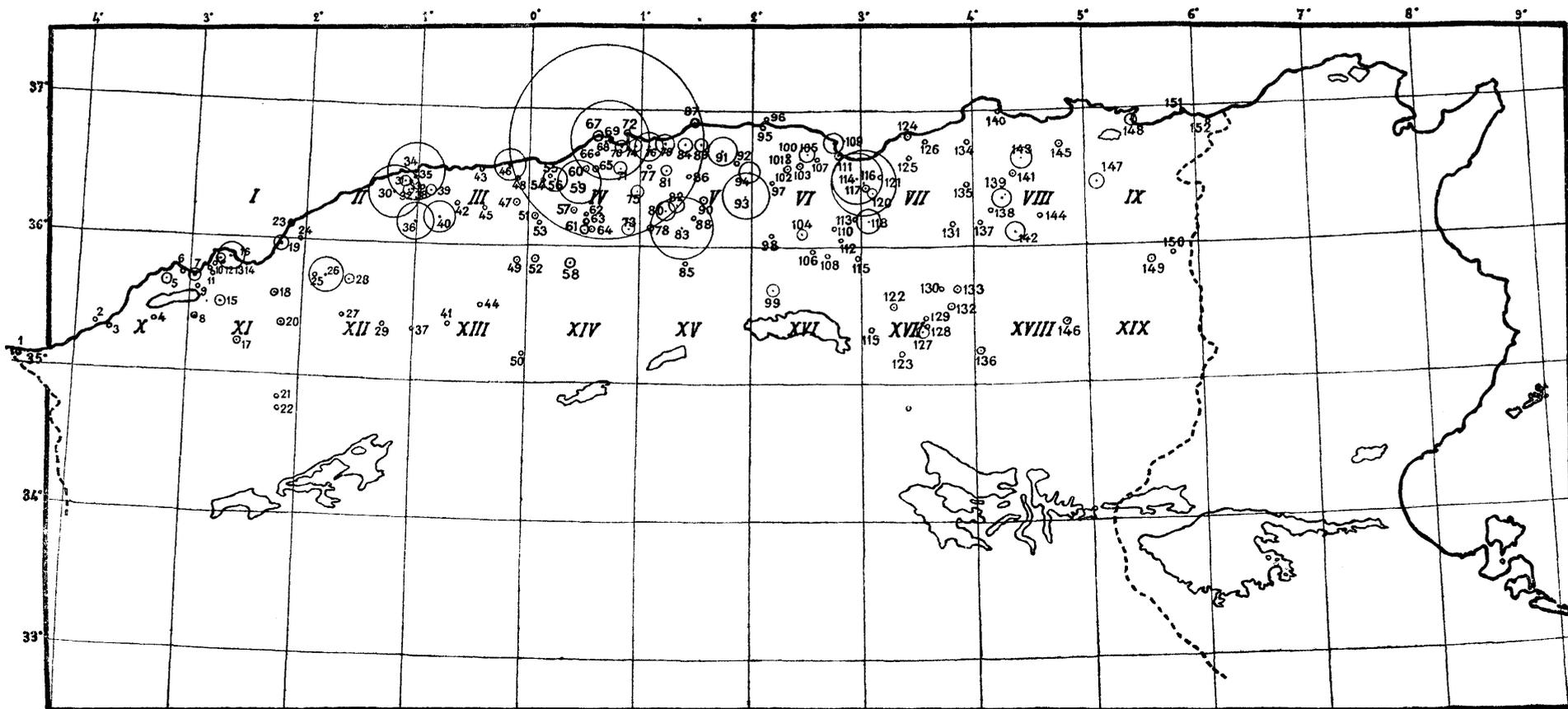
1924

1, 17 Arris..... 16 mars eP 10 18 08

Quadrilatère n° 19.

1923

1, 2 Clairfontaine, deux secousses à 10 minutes
d'intervalle; Ouenza, grondement (SM)... 17 oct. vers 16 30
3 Clairfontaine, Ouenza, détonation souterraine
(SM)..... 18 oct. vers 4 30



LOCALITÉS CORRESPONDANT AUX NUMÉROS INDIQUÉS CI-DESSUS

Port-Say.....	1	Uzès le Duc.....	27	Voltaire.....	53	Masqueray.....	78	Arbala.....	103	El Ksour.....	128
Ile Rachgoun.....	2	Zemmora.....	28	Meurad.....	54	Ménerville.....	79	Bordj-bou-Arréridj.....	104	V. Duruy.....	129
Beni-Saf.....	3	Prévost Paradol.....	29	Ameur el Ain.....	55	Bir Rabalou.....	80	El Kseur.....	105	Bernelle.....	130
Hamman-bou-Hadjar.....	4	Fromentin.....	30	El Affroun.....	56	Palestro.....	81	Cérez.....	106	Chateaudun du Rhmel.....	131
El Ançor.....	5	Cavaignac.....	31	Médça.....	57	Ain Bessem.....	82	Oued Amizour.....	107	Batna.....	132
Ain el Turk.....	6	Chasseriau.....	32	Boghari.....	58	Aumale.....	83	Toqueville.....	108	Pasteur.....	133
Oran.....	7	Khalloul.....	33	Blida.....	59	Bordj Ménatel.....	84	Bougie.....	109	El Milia.....	134
Saint Maur.....	8	Tenès.....	34	Hakou Féraoune.....	60	Sidi-Aïssa.....	85	Birkasdalis.....	110	Mila.....	135
La Sénia.....	9	Montenotte.....	35	Mongorno.....	61	Dra-el-Mizan.....	86	Oued Marsa.....	111	Arris.....	136
Assi ben Okba.....	10	Orléansville.....	36	Loverdo.....	62	Cap Bengut.....	87	Tixter.....	112	Oued Seguin.....	137
Fleurus.....	11	Tiaret.....	37	Ben Chicao.....	63	La Baraque.....	88	Coligny.....	113	Ain Smara.....	138
Saint Cloud.....	12	Flatters.....	38	Berrouaghia.....	64	Haussonvillers.....	89	Kerrata.....	114	Constantine.....	139
Kléber.....	13	Hanoteau.....	39	Chebli.....	65	Bouira.....	90	Colbert.....	115	Collo.....	140
Renan.....	14	Oued Fodda.....	40	Douéra.....	66	Tizi-Ouzou.....	91	Tizi N'Béchar.....	116	Condé Smendou.....	141
Saint Lucien du Flélat.....	15	Bourlier.....	41	Cap Gaxine.....	67	Fort-National.....	92	Takitount.....	117	Sigus.....	142
Arzew.....	16	Carnot.....	42	Bouzaréah.....	68	Maillot.....	93	Sétif.....	118	El Arrouch.....	143
Mercier-Lacombe.....	17	Gouraya.....	43	Alger.....	69	Michelet.....	94	Barika.....	119	Ain Abid.....	144
Perrégaux.....	18	Bourbaki.....	44	Maison Carrée.....	70	Port Gueydon.....	95	Amoucha.....	120	Jemmapes.....	145
Mostaganem.....	19	Duperré.....	45	Arba.....	71	Cap Corbelin.....	96	Ain Merdja.....	121	Khenchela.....	146
Mascara.....	20	Cherchel.....	46	Cap Matifou.....	72	Akbou.....	97	N'Gaous.....	122	Guelma.....	147
Saïda.....	21	Miliana.....	47	Beni Sliman.....	73	Mansoura.....	98	El Kantara.....	123	Bône.....	148
Ain-el-Hadjar.....	22	Marceau.....	48	Rouïba.....	74	M'Sila.....	99	Djidjelli.....	124	Clairfontaine.....	149
Cap Ivi.....	23	Taza.....	49	Tablat.....	75	Tifra.....	100	Texenna.....	125	Ouenza.....	150
Ain Tédélès.....	24	Reïbel.....	50	Alma.....	76	Sidi Aïch.....	101	Taber.....	126	Cap Rosa.....	151
Clinchant.....	25	Lavigerie.....	51	Beni Amran.....	77	Seddouk.....	102	Mac-Mahon.....	127	La Calle.....	152
Relizane.....	26	Letourneux.....	52								

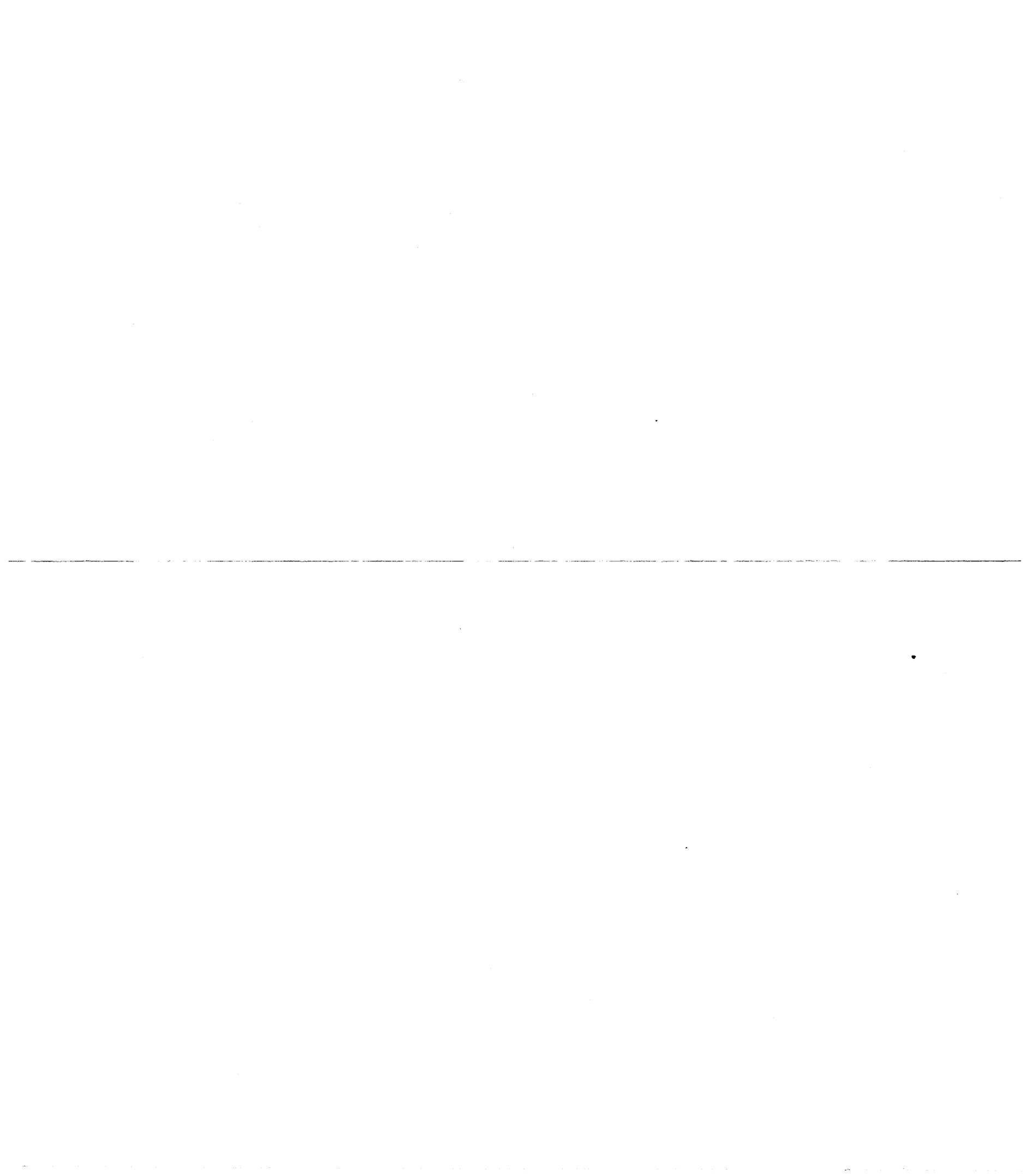


TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
Le tremblement de terre du Kan-sou du 16 décembre 1920 (suite) , par M ^{lle} Y. DAMMANN	1
Étude microsismique (<i>suite</i>). Données complémentaires.....	1
CHAPITRE IV. — <i>Détermination de l'épicentre</i>	34
Résultat de l'étude microsismique, p. 34. — Détermination de l'épicentre à l'aide des sismogrammes, p. 34. — Épicentre du séisme du 25 décembre, p. 40.	
CHAPITRE V. — <i>Propagation des ondes</i>	46
I. Courbes des durées de propagation.....	46
1° Courbes relatives au séisme du Kan-sou	46
2° Partie historique.....	52
Courbes de E. Wiechert et K. Zoeppritz, p. 54. — Courbes de L. Geiger et B. Gutenberg, p. 55. — Courbes de S. W. Visser, p. 58. — Courbes de Mohorovičić, p. 59. — Courbe de H. H. Turner, p. 60. — Comparaison entre ces différentes cour- bes et les observations du 16 décembre 1920, p. 60. — Conclusion, p. 71.	
II. Trajectoires des ondes longitudinales. Vitesse de ces ondes à l'intérieur de la terre. Angle d'émergence	73
Première loi (A. Mohorovičić) : $v = v_0 \left(\frac{r_0}{r} \right)^k$	75
Méthode de calcul, p. 80. — Application au tremble- ment de terre du Kan-sou. Résultats numéri- ques, p. 83.	
Deuxième loi : $v = V \left[1 - \alpha \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right]$	94
Application au tremblement de terre du Kan-sou. Résultats numériques, p. 100.	
CONCLUSION	108
La fréquence des tremblements de terre en Algérie (1911-1924) , par M ^{me} A. HÉE	111
Remarques	126
Liste des séismes des différents quadrilatères pour la période 1911-1924	127
Carte séismique d'Algérie..... (hors texte).	

ERRATA

Fascicule n° 1 :

A la page 67, Mizusawa, *au lieu de* : $\Delta = 3184$ km., *lire* :
 $\Delta = 3137$ km.

A la [même page, Mukaiyama, *au lieu de* : $\Delta = 3286$ km., *lire* :
 $\Delta = 3125$ km.

A la page 85, Alger, *au lieu de* : $\varphi = 38^{\circ}48'04''$ N., *lire* : $\varphi = 36^{\circ}48'04''$ N.