

PUBLICATIONS DU BUREAU CENTRAL  
DE L'ASSOCIATION INTERNATIONALE  
DE SISMOLOGIE.

VERÖFFENTLICHUNGEN DES ZENTRAL-  
BUREAUS DER INTERNATIONALEN SEIS-  
MOLOGISCHEN ASSOZIATION.

SÉRIE A. MÉMOIRES.

SERIE A. ABHANDLUNGEN.

# ÉLÉMENTS SISMIQUES DE QUELQUES TREMBLEMENTS DE TERRE JAPONAIS.

PREMIÈRE PARTIE.

PAR LE

DR. SIGISMOND SZIRTES.

---

STRASSBURG.

1908.

ÉLÉMENTS SISMIQUES DE QUELQUES  
TREMBLEMENTS DE TERRE JAPONAIS.

PREMIÈRE PARTIE.

PAR LE

DR. SIGISMOND SZIRTES.

~2~

# Éléments sismiques de quelques tremblements de terre japonais.

Première Partie.

Par  
le Dr. Sigismond Szirtes.

---

Si nous jetons un coup d'œil sur le passé, encore si rapproché, de la sismologie moderne, nous constatons que l'analyse des tremblements de terre a été presque complètement négligée. Cela est d'autant plus regrettable que l'analyse des sismogrammes, cette branche de la sismologie moderne, pourrait éventuellement faire faire de grands progrès à cette science.

Le but essentiel d'une science est d'étudier les matériaux que l'on a pu rassembler pour en tirer des conclusions qui serviront à l'avancement de nos connaissances. Jusqu'ici un petit nombre seulement de données instrumentales ont été étudiées. Par la statistique, la sismologie cherche à trouver le rapport qui existe entre les causes des tremblements de terre et la conformation intérieure de la terre, mais, pour cela, les registrations instrumentales sont, selon moi, superflues, parce que les géologues, qui établissent un rapport entre les perturbations sismiques et la conformation intérieure de la terre, ont tiré leurs conclusions de données macrosismiques.

Par l'étude des éléments physiques qui caractérisent les ondes sismiques des tremblements de terre, on devrait en obtenir une image d'ensemble ; cette étude pourrait nous ouvrir une voie nouvelle et nous faire connaître les propriétés physiques des ondes sismiques, éclaircir éventuellement quelques points encore obscurs de la physique de la terre.

C'est ce que j'avais en vue en choisissant, par très heureusement peut-être, les tremblements de terre qui ont eu lieu au Japon de 1893—1897, afin de calculer les éléments physiques des tremblements de terre en général. Cependant, sous certains rapports, ce choix me semble intéressant, d'abord parce que ces tremblements de terre ne sont pas de date tout à fait récente, et que leurs données instrumentales ne sont pas aussi sûres que celles que nous obtenons de nos jours. Il s'agit ensuite de plusieurs tremblements de terre qui n'ont été enregistrés qu'à

quelques stations. Comme cette étude embrasse un espace de quatre années, j'ai pu donner une série de sismes provenant d'une région où les tremblements de terre sont fréquents, et il me semble que jusqu'ici l'on n'a pas étudié de cette manière un groupe de sismes d'une même région. Mais ce qui m'a avant tout décidé à entreprendre ce travail, c'est que j'espérais donner par là une image claire et très compréhensible du rapport qui existe entre les éléments sismiques, car un grand nombre de sismes de la même région ont été étudiés d'après la même méthode. Les éléments qui nous intéressent plus spécialement sont ceux qui se rapportent aux éléments  $q$  des sismes et qui dépendent du calcul du coefficient de réfraction, parce que ces éléments sont en rapport avec la vitesse des ondes sismiques.

Dans son ouvrage intitulé „Seismometrische Beobachtungen über japanische Fernbeben in den Jahren 1893—97“ (Observations sismométriques concernant les tremblements de terre éloignés du Japon de 1893—1897), le professeur *Rudolph* cite 24 tremblements de terre du Japon enregistrés par des stations européennes. « Dans cet espace de temps », dit-il dans cet ouvrage, « les stations de l'Europe n'enregistrèrent pas moins de 24 tremblements de terre. Ce nombre déjà justifierait l'étude des tremblements de terre japonais. Une autre circonstance importante vient appuyer cette manière de voir, c'est que durant ces cinq années, de 1893—1897, aucun autre pays, pouvant être pris en considération sous le rapport sismique, n'a fourni des matériaux macrosismiques aussi absolument complets, dignes de toute confiance et confirmés par les registrations instrumentales que le Japon. » Mais comme quelques-uns de ces sismes n'avaient été enregistrés que par quelques stations, tous les vingt-quatre n'étaient pas également propres à faire le sujet d'une pareille étude.

Le présent ouvrage a été fait d'après la théorie du professeur *de Kövesligethy*. Il s'agit seulement d'étudier trois éléments, savoir la vitesse ( $v$ ), le temps hypocentral ( $T$ ) et l'index de réfraction ( $q$ ). Trois éléments étant inconnus, trois équations au moins sont nécessaires; le plus souvent il y en a davantage, et elles sont résolues selon la méthode des moindres carrés.

Expliquons plus clairement ce que l'on entend par  $q$ . Un fait généralement admis, c'est que la densité de la terre augmente graduellement vers son centre et, d'après la loi de *Roche*, de la façon suivante:

$$\text{I. } s = S(1 - \alpha \rho^2) \text{ où}$$

$S$  représente la densité du centre de la Terre 10·10;  $\alpha = 0.764 \widehat{=} \frac{3}{4}$  et finalement  $\rho$  la distance d'une couche quelconque au centre de la Terre. En calculant la densité de la Terre d'après cette formule, on obtient un résultat qui concorde effectivement avec la densité réelle de la surface de la Terre. Il existe une autre loi pour la détermination de la densité intérieure de la Terre, celle de *Legendre-Laplace*, qui donne à peu près les mêmes résultats quant à la surface de la Terre; mais nous la négligeons pour la déduction des valeurs  $q$ .

D'après *Newton*, on peut poser la loi suivante:

$$\text{II. } \frac{n^2 - 1}{s} = \frac{n_1^2 - 1}{s_1}$$

où  $n$  et  $n_1$  représentent la force réfractive et  $s$  et  $s_1$  la densité des différentes sur-

faces; autrement dit, la force réfractive est proportionnée à la densité. Il résulte de la première équation que

$$\text{III. } \frac{s}{s_1} = \frac{1 - \alpha \varrho^2}{1 - \alpha \varrho_1^2}$$

où  $s$  et  $s_1$  représentent la densité des surfaces dont la distance du point central de la terre est respectivement  $\varrho$  et  $\varrho_1$ .

Si l'on convertit l'équation III en équation II, il s'ensuit que

$$\text{IV. } n^2 - 1 = (n^2 - 1) \frac{1 - \alpha \varrho^2}{1 - \alpha \varrho_1^2} \text{ où}$$

$$\text{V. } n^2 - 1 = \frac{n^2 - 1}{1 - \alpha} - \frac{\alpha (n_1^2 - 1)}{1 - \alpha} \varrho^2 \text{ et}$$

$$\text{VI. } n^2 = 1 + \frac{n^2 - 1}{1 - \alpha} - \frac{\alpha (n_1^2 - 1)}{1 - \alpha} \varrho^2.$$

On a dans cette équation l'abréviation suivante:

$$\text{VII. } 1 + \frac{n^2 - 1}{1 - \alpha} = N^2$$

et

$$\text{VIII. } \frac{\alpha (n_1^2 - 1)}{n_1^2 - \alpha} = q,$$

c'est-à-dire que la valeur  $q$  est représentée comme une fonction dépendant d'un nombre constant  $\alpha \approx \frac{3}{4}$  et d'un nombre variable  $n$ .

Le coefficient de réfraction peut indiquer les limites de  $q$ , parce que  $\alpha$  est constant; ce qui est certain, c'est que  $q$  ne peut jamais être zéro, ce sera toujours un nombre autre que zéro.

Si $n_1^2 = 0$ ,	c'est que $q = 1$
Si $n_1^2 = \infty$ ,	c'est que $q = \alpha \approx \frac{3}{4}$
Si $n_1^2 = \alpha \approx \frac{3}{4}$ ,	c'est que $q = -\infty$

ce qui signifie que  $q$  peut varier entre 0.75 et l'infini; l'expérience a prouvé que  $q$  varie entre 0.75 et  $-\infty$ . Mais pour pouvoir représenter  $q$  graphiquement, on est forcé d'employer la fonction  $x = \frac{q}{1 - \alpha}$ . En employant pour  $q$  les valeurs extrêmes, il est facile de voir que  $x$  peut varier entre  $+1$  et  $-1$ . Voici comment j'arrive à obtenir les éléments qui figurent dans nos calculs. Comme l'expérience montre que  $q$  varie entre 0.5 et  $\infty$ , nous pouvons choisir entre les valeurs extrêmes un certain nombre de valeurs  $q$ ; mais comme pour faire la courbe, il suffit de choisir

un certain nombre de  $q$ , nous avons pour cette raison adopté les valeurs suivantes: 0·5, 0·2, 0·0, —1·0, —8·0 et  $-\infty$ , c'est-à-dire 4 valeurs outre les valeurs extrêmes.

Le professeur de *Kövesligethy* donne l'équation suivante:

$$\text{IX. } v(t - T) = \frac{\text{arc } \psi + (1 - 2q) \text{tg } \psi}{\sqrt{4q(1 - q)}}$$

$$\text{X. } v(t - T) = \psi$$

où la profondeur du foyer sismique est négligée où  $\psi$  dépend de  $q$  et de  $\varphi$ , c'est-à-dire  $\psi(q, \varphi)$  représente la distance épacentrale en degrés. Dans le cas qui nous occupe, les stations sont très éloignées les unes des autres.

Dans l'équation X,  $v$  représente la vitesse,  $t$  le temps que les stations indiquent comme heure de la régistration,  $T$  le temps hypocentral. Si  $q = \frac{1}{2}$ , c'est que  $\psi = \text{arc } \varphi$ , ce qui veut dire que l'on prend  $\psi$  du tableau des arcs (*Rex*: Vierstellige Log.Tafel). Si  $q = 0$ , c'est que  $\psi = 2 \sin \frac{\varphi}{2}$  que l'on prend du tableau des cordes; et finalement si  $q = -\infty$ , c'est que  $\psi = \sin \varphi$ , que l'on peut extraire du tableau des sinus. Les autres valeurs de  $q$  sont prises du tableau que voici:

Quoique les valeurs indiquées ci-dessus peuvent aussi être prises de ce même tableau, il vaudrait mieux, pour plus de sûreté, consulter l'ouvrage déjà mentionné (*Rex*, etc.). Remarquons qu'après 3 chiffres décimaux, pris du dit tableau, l'erreur est de 0·001. Comme l'heure de la régistration ( $t$ ) se trouve dans l'équation X, l'on peut appliquer à toutes les stations et à chaque valeur de  $q$  adoptée ce qui suit:

$$\begin{aligned} \text{X. } v t_1 - v T &= \psi_1 \\ v t_2 - v T &= \psi_2 \\ v t_3 - v T &= \psi_3 \\ v t_4 - v T &= \psi_4 \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \\ v t_n - v T &= \psi_n. \end{aligned}$$

Si on prend ensuite la moyenne mathématique  $\bar{t} = \frac{\sum_1^n t_n}{n}$  et  $\bar{\psi} = \frac{\sum_1^n \psi}{n}$  de  $t$  et de  $\psi$ , où  $n$  est la station  $n^{\text{ème}}$ , et si on soustrait la moyenne de chacune des équations ci-dessus (X), on obtient ce qui suit:

$$\begin{aligned} v(t_1 - \bar{t}) &= \psi_1 - \bar{\psi} \\ v(t_2 - \bar{t}) &= \psi_2 - \bar{\psi} \\ v(t_3 - \bar{t}) &= \psi_3 - \bar{\psi} \\ v(t_4 - \bar{t}) &= \psi_4 - \bar{\psi} \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \\ v(t_n - \bar{t}) &= \psi_n - \bar{\psi}. \end{aligned}$$

**Tableau servant au calcul des valeurs  $\Psi$**   
 pour les différentes valeurs de  $q$ ; la profondeur du foyer sismique est négligée.

$q$	0.5	d	0.4	d	0.2	d	0.0	d	-0.5	d	-1.0	d	-2.0	d	-4.0	d	-8.0	d	-16.0	d	-32.0	d	$-\infty$	d	
0	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		174
10	0.175	175	0.175	175	0.175	173	0.174	173	0.174	172	0.174	171	0.174	170	0.174	169	0.174	169	0.174	168	0.174	168	0.174	168	168
20	0.349	175	0.348	175	0.348	172	0.347	171	0.346	167	0.345	165	0.344	164	0.343	161	0.343	158	0.342	159	0.342	159	0.342	159	158
30	0.524	174	0.523	174	0.520	170	0.518	166	0.513	161	0.510	158	0.508	153	0.504	150	0.501	148	0.501	145	0.501	144	0.500	144	143
40	0.698	175	0.697	175	0.690	167	0.684	161	0.674	152	0.668	146	0.661	140	0.654	134	0.649	130	0.646	127	0.645	125	0.643	123	123
50	0.873	174	0.872	168	0.857	162	0.845	155	0.826	142	0.814	134	0.801	124	0.788	116	0.779	110	0.773	106	0.770	103	0.766	100	100
60	1.047	175	1.040	170	1.019	157	1.000	147	0.968	131	0.948	122	0.925	111	0.904	99	0.889	89	0.879	82	0.873	78	0.866	74	74
70	1.222	174	1.210	166	1.176	149	1.147	139	1.099	120	1.070	108	1.036	94	1.003	80	0.978	68	0.961	60	0.951	54	0.940	45	45
80	1.396	175	1.376	163	1.325	144	1.286	128	1.219	107	1.178	93	1.130	77	1.083	63	1.046	54	1.021	38	1.005	30	0.985	15	15
90	1.571	174	1.539	155	1.469	133	1.414	118	1.326	94	1.271	72	1.207	65	1.146	48	1.100	30	1.059	24	1.035	16	1.000	0	0
100	1.745	175	1.694	147	1.602	122	1.532	106	1.420	82	1.343	78	1.272	53	1.194	37	1.130	24	1.083	15	1.051	8	1.000	0	0
110	1.920	174	1.841	135	1.724	110	1.638	94	1.502	71	1.421	56	1.325	42	1.231	28	1.154	17	1.098	10	1.059	6	1.000	0	0
120	2.094	175	1.976	122	1.834	96	1.732	81	1.573	58	1.477	47	1.367	33	1.259	22	1.171	13	1.108	6	1.065	3	1.000	0	0
130	2.269	175	2.098	105	1.930	82	1.813	66	1.631	47	1.524	37	1.400	26	1.281	16	1.184	10	1.114	5	1.068	3	1.000	0	0
140	2.443	175	2.203	83	2.012	62	1.879	53	1.678	37	1.561	27	1.426	19	1.297	11	1.194	6	1.119	4	1.071	2	1.000	0	0
150	2.618	175	2.286	62	2.074	51	1.932	38	1.715	27	1.588	21	1.445	13	1.308	8	1.200	4	1.123	2	1.073	1	1.000	0	0
160	2.793	174	2.348	39	2.125	31	1.970	22	1.742	14	1.609	10	1.458	8	1.316	6	1.204	3	1.125	2	1.074	1	1.000	0	0
170	2.967	175	2.387	10	2.156	4	1.992	8	1.756	4	1.619	3	1.466	2	1.322	1	1.207	1	1.127	0	1.075	0	1.000	0	0
180	3.142		2.397		2.160		2.000		1.760		1.622		1.468		1.323		1.208		1.127		1.075		1.000		0



Pour simplifier nous avons désigné :

$$\begin{aligned} (t_1 - \bar{t}) &= a \\ (t_2 - \bar{t}) &= a_2 \\ (t_3 - \bar{t}) &= a_3 \\ (t_4 - \bar{t}) &= a_4 \\ &\vdots \\ &\vdots \\ (t_n - \bar{t}) &= a_n \end{aligned}$$

puis

$$\begin{aligned} \psi_1 - \bar{\psi} &= n_1 \\ \psi_2 - \bar{\psi} &= n_2 \\ \psi_3 - \bar{\psi} &= n_3 \\ \psi_4 - \bar{\psi} &= n_4 \\ &\vdots \\ &\vdots \\ \psi_n - \bar{\psi} &= n_n. \end{aligned}$$

On arrive ainsi à l'équation simplifiée suivante :

$$\begin{aligned} v a_1 &= n_1 \\ v a_2 &= n_2 \\ v a_3 &= n_3 \\ v a_4 &= n_4 \\ &\vdots \\ &\vdots \\ v a_n &= n_n. \end{aligned}$$

Si l'on multiplie la première équation avec  $a_1$ , la deuxième avec  $a_2$ , et ainsi de suite, on obtient

$$\begin{aligned} [a_1 a_1] v &= [a_1 n_1] \\ [a_2 a_2] v &= [a_2 n_2] \\ [a_3 a_3] v &= [a_3 n_3] \\ [a_4 a_4] v &= [a_4 n_4] \\ &\vdots \\ &\vdots \\ [a_n a_n] v &= [a_n n_n] \end{aligned}$$

d'où il suit que

$$\begin{aligned} v &= \frac{[a_1 n_1] + [a_2 n_2] + [a_3 n_3] + \dots}{[a_1 a_1] + [a_2 a_2] + [a_3 a_3] + \dots} \\ v &= \frac{[a n]}{[a a]} \end{aligned}$$

Le temps hypocentral est déterminée par la formule  $T = \bar{t} - \frac{\bar{\psi}}{v}$ . Si l'on calcule les données se rapportant au temps, on obtient le produit  $\frac{\bar{\psi}}{v}$  qui additionné à T donne  $t_c = T + \frac{\bar{\psi}}{v}$ , et la différence entre les calculs et les observations con-

cernant le temps  $t_c - t$ , nous mène à l'erreur  $\Delta t$ . Par la méthode des moindres carrés, nous pouvons déterminer les valeurs  $q$ ; la valeur  $q$  la plus vraisemblable est celle où la somme des  $(\Delta t)^2$ , c'est-à-dire les  $(\Delta \Delta)$ , est le minimum des erreurs.

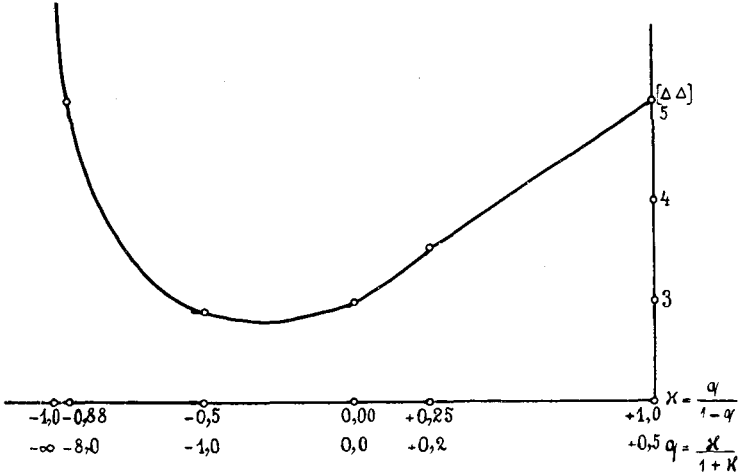


Fig. 1.

Courbe pour la recherche de la valeur  $q$  la plus vraisemblable quand on se base sur les carrés de l'erreur.

Après avoir fait les calculs pour la détermination des éléments sismiques, je les ai représentés graphiquement et cette représentation donne à  $x$  une fonction finale

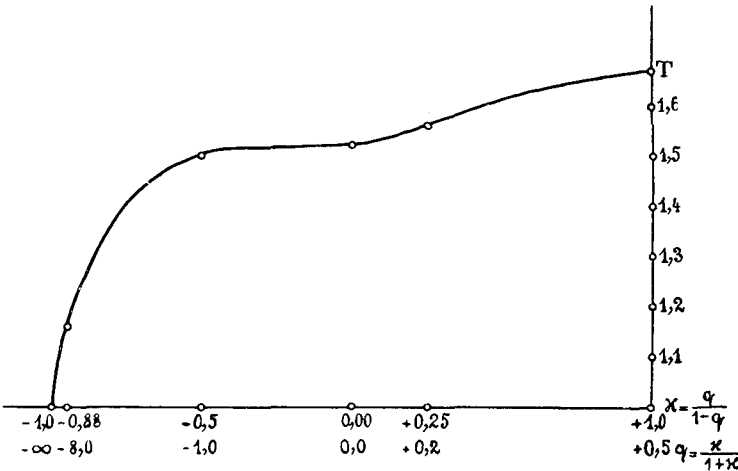


Fig. 2.

Courbe pour la recherche du temps hypocentral pour différentes valeurs de  $q$ .

de  $q$  qui est l'abscisse et  $(\Delta \Delta)$ ,  $v$  et  $T$  sont les ordonnées. Conséquemment pour chacun des calculs 1, 0.25, 0.0, -0.5, -0.88, -1.0 doivent être ajoutés aux abscisses.

Une phase du tremblement de terre du 20 février 1897, dont l'épicentre se trouve dans le Grand Océan, à  $48^{\circ} 14'$  de latitude nord et à  $148^{\circ} 47'$  de longitude

est de Gr., nous servira d'exemple. Le résultat a donné les valeurs suivantes pour l'étude des éléments:

q	v $\frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	6.700	47.670	1.474	4.9774
0.2	6.287	47.565	1.045	3.6036
0.0	6.138	47.524	0.911	3.0318
-1.0	5.514	47.514	-1.135	2.8773
-8.0	4.767	47.165	-1.165	4.9882
$-\infty$	4.384	46.945	-2.255	11.1905

Nous obtenons ainsi la courbe pour [ $\Delta\Delta$ ], le temps hypocentral T et la vitesse v. Les figures 1—3 représentent les courbes séparément et la figure 4 les représente réunies. Il est évident qu'on peut se contenter d'une courbe, parce que, à l'aide du tableau ci-dessus, on peut trouver par interpolation les autres éléments

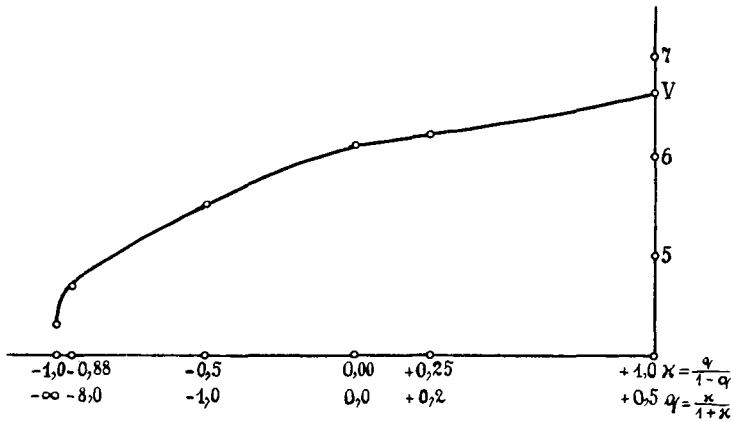


Fig. 3.

Courbe de la vitesse d'une phase en admettant les valeurs de q précédemment mentionnées.

sismiques. Quant aux trois éléments, mieux vaudrait en donner la courbe pour obtenir de suite les valeurs.

La question de savoir comment on arrive à déterminer la valeur de q ne soulèvera pas, je crois, d'autres difficultés. Nous avons fait remarquer dès le commencement que pour pouvoir représenter q graphiquement, il faut transformer cette valeur en fonction finale, de cette façon:

$$x = \frac{q}{1 - q}$$

d'où il résulte que

$$q = \frac{x}{1 + x}$$

Si nous prenons de la courbe des valeurs de x, la substitution nous mène immédiatement au but. Attirons encore l'attention sur le fait que le minimum de la courbe représente la valeur la plus vraisemblable de q. Les autres éléments qui

en dépendent peuvent être pris de la courbe et, s'il n'y en avait pas, on pourrait les obtenir par interpolation linéaire. Quand j'aurai encore ajouté que les calculs ont été faits à l'aide des tables logarithmiques suivantes: *Rex* „Vierstellige Lo-

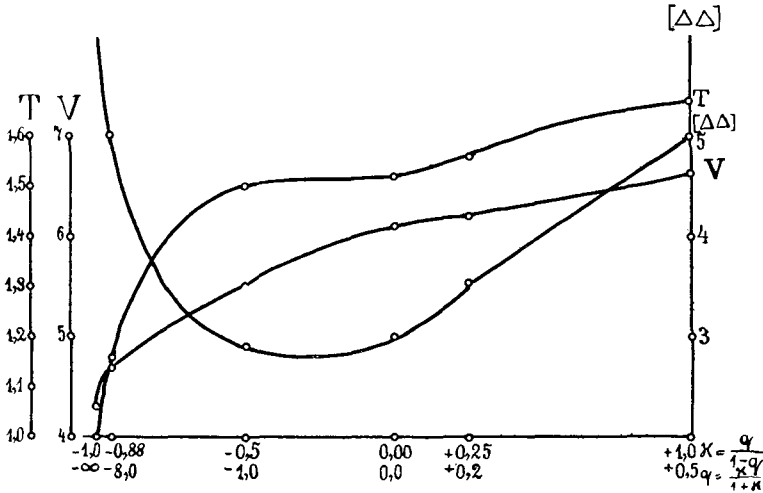


Fig. 4.

Représentation graphique des éléments sismiques d'une phase.

garithmentafeln“ et Dr. C. Bremikers „Tafeln vierstelliger Logarithmen“ besorgt von Prof. Dr. A. Kallius, il me semble que j'aurai dit tout ce qui est nécessaire pour suivre l'étude que nous allons faire.

### Année 1894.

#### 1.

Le tremblement de terre du 20 février de l'année 1894, dont l'épicentre est à Tokyo, dura 4 min. 20 sec. Le sisme n'a été enregistré qu'à trois stations outre celle de Tokyo. La seconde phase seule se prête à l'étude. Pour l'étudier et l'analyser, nous avons les registrations suivantes:

Tokyo	23 <sup>h</sup> 29·05 <sup>m</sup>	T.M.G.
Charkow	25 <sup>h</sup> 47·9 <sup>m</sup>	
Nikolajew	23 <sup>h</sup> 50·1 <sup>m</sup>	
Siena	23 <sup>h</sup> 49 <sup>m</sup> .	

Par l'analyse nous obtenons ce qui suit:

q	v $\frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	Δ (max)	[Δ Δ]
0·5	7·242	29·030	—2·570	10·5296
0·2	6·774	28·792	—2·354	7·6850
0·0	6·310	28·145	—2·544	9·2884
—1·0	6·103	28·968	—1·763	5·6481
—8·0	5·471	29·034	1·416	3·4424
—∞	5·106	28·874	1·126	2·1474

Par le minimum de la courbe, on obtient par interpolation que :

$$q = 0.324$$

$$v = 6.96 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$$

$$T = 23^{\text{h}} 28.94^{\text{m}}.$$

2.

Tremblement de terre de Hokkaïdo, du 22 mars. L'épicentre se trouve à 43° de latitude nord et à 146° de longitude est de Gr. — 10<sup>h</sup> 22.5<sup>m</sup> T.M.G.

Stations	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>5</sub>
	h m	h m	h m	h m
Charkow	10 34.5			
Nikolajew	10 35.2		11 2.0	
Pavia			11 (18)	
Siena	10 37.2	10 47.8	11 7.4	11 10.6
Roma	10 37.3	10 47.0	11 8.0	11 9.7
Rocca di Papa	10 37	10 48.0	11 8.0	11 11.0

La cinquième phase du sisme a été enregistrée à Pavie à 11<sup>h</sup> 18<sup>m</sup>, mais cette heure ne concorde pas avec celle des autres stations. J'ai employé cette régistration simplement pour savoir comment une fausse régistration peut influencer le tracé d'un tremblement de terre. Remarquons encore, ce que prouvera du reste l'analyse, que les valeurs ne s'accordent pas entre elles. J'ai donc fait une double étude de ce sisme, me servant pour l'une de la régistration de Pavie, la négligeant pour l'autre. Voici le résultat des phases :

I.

q	v $\frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	10.878	22.688	-0.223	0.1557
0.2	10.348	22.692	0.309	0.2510
0.0	10.032	22.718	0.250	0.2024
-1.0	10.918	22.754	0.368	0.5226
-8.0	10.786	22.286	-0.825	1.2615
$-\infty$	10.749	22.150	0.702	3.1507

II.

q	v $\frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	6.281	22.572	-0.772	0.7226
0.2	5.912	22.564	-0.759	0.7064
0.0	5.716	22.590	-0.775	0.7080
-1.0	5.192	22.634	-0.599	0.5785
-8.0	4.536	22.580	-0.736	0.6438
$-\infty$	4.083	22.002	-0.918	1.0983

V.

q	v $\frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	3.148	20.460	8.066	96.556
0.2	3.018	21.119	8.285	94.115
0.0	2.862	20.323	8.116	96.685
-1.0	2.598	20.253	8.153	99.086
-8.0	2.281	19.990	8.361	109.577
$-\infty$	2.122	19.833	8.463	110.747

Va.

q	v $\frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	3.501	22.858	0.574	0.5235
0.2	3.302	22.786	-0.286	0.1141
0.0	3.192	22.754	-0.254	0.1947
-1.0	2.899	22.682	-0.618	0.6745
-8.0	2.552	22.520	-2.029	5.4132
$-\infty$	2.376	22.352	-3.062	12.974

Le minimum n'est pas nettement indiqué dans la courbe de la première phase; il se trouve entre 0.25 et 1.0, probablement que  $\alpha = 0.56$ . Le q qui correspond à ce cas est égal à 0.3589;  $v = 10.630 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$  et  $T = 22.69^m$ .

La courbe de la seconde phase donne une parabole très nette, dont le minimum est:

$$q = -1.5$$

$$v = 5.152 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$$

$$T = 32.627^m.$$

Pour la cinquième phase, dans le cas où la régistration de Pavie est prise en considération, la courbe a deux minima; le minimum principal est du côté positif du système des coordonnées, et donne ce qui suit:

$$q = 0.476$$

$$v = 3.134 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$$

$$T = 20.394^m.$$

Si l'on ne tient pas compte de la régistration de Pavie, la courbe ressemble à une parabole plus ou moins flexible, dont le minimum est très nettement marqué.

$$q = 0.33$$

$$v = 2.075 \frac{\text{km}}{\text{sec}} \text{ et}$$

$$T = 22.788^m.$$

Si l'on compare les deux données des éléments, on verra de suite qu'elles ne s'accordent pas, et qu'elles ont complètement changé la direction de la courbe; la fin seulement a un minimum nettement marqué. Le professeur *Rudolph* a fait l'analyse comme suit:

$$v = 3.4 \frac{\text{km}}{\text{sec}}.$$

3.

Tremblement de terre du 22 octobre 1894, dont l'épicentre se trouve à Sakata, sur la côte de la Mer du Japon. Le sisme fut ressenti à 8<sup>h</sup> 35<sup>m</sup> T.M.G. La seconde phase a été enregistrée à

Charkow	8 <sup>h</sup> 53.6 <sup>m</sup>
Nikolajew	8 <sup>h</sup> 56.1 <sup>m</sup>
Siena	8 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup> .

Voici les éléments de cette phase:

q	$v \frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ ]
0.5	7.032	34.817	-2.997	13.9547
0.2	6.552	34.922	-1.502	4.4135
0.0	6.549	34.916	-2.426	9.9049
-1.0	6.023	34.910	-2.506	9.5597
-8.0	5.394	34.910	1.555	4.3233
$-\infty$	4.956	34.460	1.177	3.0941

La courbe ne donne pas de résultat satisfaisant; on distingue difficilement sur le côté positif du système des coordonnées un minimum d'où  $\alpha$  est déterminé et qui donne:

$$q = 0.33$$

$$v = 6.95 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$$

$$T = 8^h 34.852^m.$$

4.

Le tremblement de terre du 28 novembre 1894 fut enregistré à Tokyo à 16<sup>h</sup> 5.27<sup>m</sup> T.M.G. En réponse à la question concernant la situation de l'hypocentre, le professeur *E. Rudolph* dit ce qui suit: „L'épicentre du sisme n'est pas connu, parce que la perturbation s'était déjà produite à Tokyo comme perturbation microsismique seulement. Mais on ne se trompera certainement pas en admettant que l'origine du tremblement de terre est dans le Grand Océan. L'éloignement doit avoir été très considérable.“ Comme je ne donne qu'une étude approximative des tremblements de terre du Japon, je trouve inutile de calculer l'épicentre de cette perturbation et pour ce travail je prends, comme le professeur *Rudolph*, Tokyo et sa régistration comme point de départ. Ce n'est qu'à la cinquième phase qu'il y a moyen de déterminer les éléments. Les régistrations suivantes ont servi à l'analyse de la première et de la cinquième phase:

Tokyo 16<sup>h</sup> 5·47<sup>m</sup> T.M.G.

Stations	t <sub>1</sub>	t <sub>5</sub>
	h m	h m
Charkow	16 12·1	16 42·7
Nikolajew	16 12·1	16 47·0
Sicna	16 14	16 56·0
Roma		16 49·3

I.

q	v $\frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0·5	19·475	5·3218	—0·3668	0·2257
0·2	18·196	5·2279	—0·4267	0·4080
0·0	17·624	5·2136	—0·4552	0·4134
—1·0	16·030	5·1723	0·5421	0·5490
—8·0	14·193	5·1193	0·7301	0·8970
— $\infty$	13·255	5·0650	0·9294	1·7455

V.

q	v $\frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0·5	3·3956	4·795	—3·915	27·5519
0·2	3·1896	4·635	3·439	26·3225
0·0	3·091	4·571	3·668	28·4074
—1·0	2·803	4·329	4·229	33·6515
—8·0	2·462	4·049	4·972	44·8615
— $\infty$	2·288	3·733	5·861	64·6403

Par le minimum de la courbe on voit que

$$v = 2·2789 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$$

$$T = 4·699^m.$$

Si l'on prend la moyenne de la vitesse de chaque station, la vitesse de cette phase est, d'après le professeur *Rudolph*, la suivante:

$$v = 3·43 \frac{\text{km}}{\text{sec}}.$$

Année 1896.

5.

Les environs du Japon furent ravagés le 9 janvier 1896 par un tremblement de terre dont l'épicentre est inconnu. Le tremblement de terre fut bien enregistré aux autres stations, mais pas à celle de Strasbourg. S'étant aperçu que le pendule de



Strasbourg n'avait pas bien fonctionné, le professeur *Rudolph* corrigea la régistration de Strasbourg de façon à la faire accorder avec les données des autres stations. Tokyo, où le pendule indiquait 13<sup>h</sup> 17·3<sup>m</sup>, fut choisi comme point de départ. L'heure de la régistration de la deuxième, de la troisième et de la quatrième phase est:

Tokyo 13<sup>h</sup> 17·3<sup>m</sup> T.M.G.

Stations	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>
	h m	h m	h m	h m
Charkow	13 35·3	13 40·8	13 47·5	13 55·4
	13 35·7	13 42·8		13 54·2
Nikolajew	13 40·1		13 46·1	13 57·1
Strassburg	13 39·4	13 44·3	13 51·6	14 06·5

II.

q	$v \frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0·5	6·732	17·304	2·126	7·1829
0·2	6·502	17·328	2·336	8·2461
0·0	6·336	17·346	2·330	8·1474
-1·0	5·800	17·232	2·273	8·3605
-8·0	5·176	17·153	2·172	9·4704
-∞	4·885	17·034	-2·384	11·9019

III.

q	$v \frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0·5	5·012	15·565	1·735	7·6131
0·2	4·855	15·600	1·700	8·9212
0·0	4·719	15·580	1·720	8·3437
-1·0	4·339	15·555	1·745	6·9490
-8·0	3·900	14·480	1·820	6·6160
-∞	3·645	15·426	1·875	8·4366

IV.

q	$v \frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0·5	4·523	17·222	-1·889	5·4604
0·2	4·382	17·300	-1·526	4·1561
0·0	4·262	17·275	-1·592	4·1875
-1·0	3·898	17·210	-1·744	4·5785
-8·0	3·466	17·080	-1·990	6·8393
-∞	3·241	16·958	-2·494	13·5231

V.

q	v $\frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[4 4]
0.5	3.282	16.262	3.843	24.6161
0.2	3.179	16.442	3.145	16.8158
0.9	3.084	16.338	3.432	19.5785
-1.9	2.826	16.140	4.153	28.8699
-8.9	2.510	15.796	5.324	47.6918
$-\infty$	2.343	16.382	6.858	81.1583

Avec les données dont nous disposons, il n'y a pas moyen de faire une critique sérieuse des tracés des sismographes. Le fait de devoir prendre une station ayant deux registrations n'était pas sans présenter des objections et la correction conventionnelle de la registration de Strasbourg contribue également au résultat peu satisfaisant du travail. Mais la courbe de la seconde phase est pourtant intéressante, parce qu'elle a un point d'inflexion (Flachwendepunkt), c'est-à-dire qu'on ne peut distinguer nettement ni le minimum, ni le maximum.

C'est la première fois que nous avons une pareille courbe. Ce résultat nous oblige à examiner au point de vue sismologique les courbes les plus diverses. Les courbes des autres phases possèdent des minima très nets pour la détermination des éléments.

Dans la troisième phase, les données sont les suivantes:

$$q = 3.165$$

$$v = 4.194 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$$

$$T = 15.552^m.$$

Dans la quatrième phase:

$$q = 0.15$$

$$v = 4.352 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$$

$$T = 17.293^m.$$

Les éléments de la cinquième sont:

$$q = 0.26$$

$$v = 3.199 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$$

$$T = 16.89^m.$$

6.

Le 15 janvier 1896, un tremblement de terre se produisit dans le Grand Océan. Se basant sur les registrations de Miyako, *F. Iki* indique comme épicerentre le  $30^0$  de latitude nord et le  $144^0 30'$  de longitude est de Gr. Par les isosistes, le professeur *Omori* trouva que la direction du tremblement de terre était ESE et

que l'épicentre se trouvait dans cette direction à environ 70 kilomètres de distance. D'après *Oldham*, l'épicentre se trouverait à  $39^{\circ} 30'$  de latitude nord et à  $144^{\circ} 30'$  de longitude est de Gr. Pour les raisons précitées, et d'accord avec le professeur *E. Rudolph*, j'ai choisi comme point de départ Miyako où le pendule enregistra la perturbation à  $10^{\text{h}} 32.5^{\text{m}}$  T.M.G. Les registrations de la première, de la quatrième et de la cinquième phase sont :

Point de départ  
Miyako  $10^{\text{h}} 32.5^{\text{m}}$  T.M.G.

Stations	$t_1$	$t_4$	$t_5$
	h m	h m	h m
Charkow	10 41.9	11 8.3	11 15.1
Strassburg	10 46.4		
Padua	10 46.9	11 4.45	11 17.3
Roma			11 19.9
Rocca di Papa	10 56.3		
Ischia	10 50.5	11 4.1	11 17.8
Catania	11 0.0		11 18.0

A première vue, on s'aperçoit du peu de confiance que méritent les données se rapportant au temps ; malgré cela, je les ai étudiées, et les données que voici en sont le résultat.

I.

q	$v \frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta \Delta$ ]
0.5	8.820	31.514	6.712	73.6062
0.2	8.800	31.457	6.809	77.8118
0.0	8.102	31.539	6.881	78.9956
-1.0	7.400	31.571	7.053	84.6643
-8.0	6.624	31.628	7.188	90.4131
- $\infty$	6.177	31.678	7.474	100.7580

IV.

q	$v \frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta \Delta$ ]
0.5	4.295	31.646	6.948	81.3245
2.0	4.084	31.700	6.456	68.1367
0.0	3.964	31.715	6.294	66.3832
-1.0	3.632	31.798	5.679	53.9351
-8.0	3.268	31.876	4.979	41.2848
- $\infty$	3.063	32.014	3.942	23.8309

V.

q	v $\frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	3.399	32.815	4.753	30.6104
0.2	3.206	32.754	3.976	22.2561
0.0	3.100	32.681	3.689	19.5851
-1.0	2.821	32.663	2.699	11.7239
-8.8	2.503	32.536	1.517	5.8861
$-\infty$	2.312	32.448	1.631	3.5352

Si l'on observe le développement des valeurs ( $\Delta\Delta$ ), c'est-à-dire les carrés de l'erreur de l'heure, et qu'on les compare avec celles des autres perturbations, on voit qu'elles atteignent leur plus grande valeur, ce qui prouve qu'il est inutile de représenter la courbe graphiquement et de déterminer les valeurs caractéristiques. Comme je dois, malgré cela, publier une étude de ce tremblement de terre, ce sera simplement pour nous servir de guide et pour éviter les lacunes dans le travail.

7.

Le 16 juin 1896, un tremblement de terre dirigé de l'ONO à l'ESE fut enregistré à la station sismique de Tokyo. L'épicentre en est inconnu. D'après les calculs d'*Omori*, l'épicentre se trouve à  $39^{\circ} 0'$  de latitude nord et à  $143^{\circ} 20'$  de longitude est; d'après *Oldham*, il se trouve à  $39^{\circ} 30'$  de latitude nord et à  $144^{\circ} 30'$  de longitude est de Gr. Les registrations qui suivent serviront à l'analyse de la cinquième phase.

Point de départ

Tokyo  $19^{\text{h}} 16.5^{\text{m}}$  T.M.G.

Charkow  $19^{\text{h}} 51.8^{\text{m}}$

Padua  $20^{\text{h}} 3.5^{\text{m}}$

Roma  $20^{\text{h}} 4.2^{\text{m}}$

Ischia  $20^{\text{h}} 3.1^{\text{m}}$ .

V.

q	v $\frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	3.196	15.814	-2.088	8.1136
0.2	3.016	15.752	-2.678	10.0620
0.0	2.943	15.728	-3.008	13.2858
-1.0	2.688	15.454	-3.807	19.4087
-8.0	2.390	15.349	-5.266	36.7406
$-\infty$	2.227	14.840	-6.450	53.1773

La courbe donne comme valeurs probables les suivantes:

$$q = 0.3828$$

$$v = 3.124 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$$

$$T = 15.786^{\text{m}}.$$

8.

L'épicentre du tremblement de terre du 15 juin 1896 se trouve également dans le Grand Océan. La cinquième phase de la perturbation y est très nettement marquée. Tokyo a servi comme point de départ pour l'étude de ce sisme. Les registrations que l'on en a obtenues sont les suivantes:

Tokyo	23 <sup>h</sup> 1.23 <sup>m</sup> T.M.G.
Charkow	23 <sup>h</sup> 41.7 <sup>m</sup>
Padua	23 <sup>h</sup> 49.8 <sup>m</sup>
Rocca di Papa	23 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup>
Ischia	23 <sup>h</sup> 49.2 <sup>m</sup> .

En représentant la courbe graphiquement, les données sont les suivantes:

V.

q	v $\frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	3.166	1.115	-3.557	20.8645
0.2	3.016	1.196	-3.232	14.2490
0.0	2.925	1.160	-3.119	14.3717
-1.0	2.675	1.042	-2.803	12.0451
-8.0	2.368	0.744	-2.296	12.0769
$-\infty$	2.240	0.800	-2.330	14.0366

La moyenne de la courbe a été pour

$$q = -2.333$$

$$v = 2.594 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$$

$$T = 1.674^{\text{m}}.$$

Pour la vitesse, *Omori* a cependant trouvé que  $v = 3.24 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$ , et *Rudolph* que  $v = 3.17 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$ .

9.

Le 30 août 1896, les sismographes de Tokyo et de Miyako enregistrèrent un violent tremblement de terre. Comme l'épicentre en est inconnu, et que la perturbation a été excessivement violente aux deux stations, j'ai, pour la première fois, étudié le tremblement de terre en prenant d'abord Tokyo comme point de départ et ensuite Miyako. L'étude des deux hypothèses n'a pas donné de différences bien marquées, parce que pour les stations de Miyako et de Tokyo, la différence entre les points de départ est très petite.

Point de départ

Tokyo 8<sup>h</sup> 9.55<sup>m</sup> T.M.G.

Miyako 8<sup>h</sup> 9.51<sup>m</sup> „

Stations	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	trv	t <sub>3</sub>
	h m	h m	h m	h m
Nikolajew		8 30.0		
Strassburg	8 22.4	8 29.6		8 49.4
Shide	8 23.1			8 57.1
Roma	8 21.2	8 29.9		8 55.7
Rocca di Papa	8 21.0	8 31.0	8 40.0	8 55.0
Ischia	8 20.5	8 29.2	8 37.4	8 54.5
Catania	8 21.8	8 32.4	8 44.8	8 54.4

Ia.

q	v $\frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	12.294	9.360	1.672	7.9060
0.2	11.667	9.386	1.749	6.9576
0.0	11.312	9.388	1.647	6.5302
-1.0	10.374	9.438	1.594	6.1270
-8.0	9.208	9.482	1.562	5.5352
$-\infty$	8.644	9.488	1.526	5.1947

IIa.

q	v $\frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	6.890	9.030	2.484	12.4402
0.2	6.642	9.322	2.204	10.4622
0.0	6.442	9.246	2.154	9.9793
-1.0	5.891	9.294	1.696	8.4906
-8.0	5.228	9.270	-1.555	6.9932
$-\infty$	4.913	9.230	1.675	6.4089

IVa.

q	v $\frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	4.764	8.695	-3.687	24.0289
0.2	4.499	8.684	-3.702	26.5975
0.0	4.357	8.678	-3.710	26.8676
-1.0	3.963	8.654	-3.746	28.1458
-8.0	3.512	8.782	-3.765	29.4632
$-\infty$	3.258	8.600	-3.880	31.3000

Va.

q	$v \frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	3.314	8.879	3.451	28.2668
0.2	3.118	8.670	-3.660	29.0411
0.0	3.038	8.897	-3.727	23.5908
-1.0	2.777	8.852	-3.892	23.5097
-8.0	2.449	8.816	-4.319	30.6235
$-\infty$	2.300	8.879	-4.689	32.7450

Ib.

q	$v \frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	12.874	9.414	1.636	7.1166
0.2	12.178	9.443	1.631	6.9124
0.0	11.741	9.449	1.580	6.5173
-1.0	10.654	9.464	1.553	6.0104
-8.0	9.346	9.470	1.518	5.7587
$-\infty$	8.696	9.517	1.453	5.0851

IIb.

q	$v \frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	7.473	9.693	2.309	10.9052
0.2	7.052	9.673	2.155	9.0788
0.0	6.814	9.693	1.861	8.8270
-1.0	6.173	9.641	-2.156	10.0390
-8.0	5.432	9.605	-1.535	6.7783
$-\infty$	5.066	9.589	1.781	6.6397

IVb.

q	$v \frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	5.109	9.350	-3.561	25.5532
0.2	4.805	9.294	-3.491	23.1628
0.0	4.623	9.306	-3.643	26.7437
-1.0	4.144	9.365	-3.765	28.1789
-8.0	3.626	9.160	-3.874	29.7009
$-\infty$	3.340	9.155	3.889	30.4306

Vb.

q	v $\frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	3.498	9.189	-3.519	28.5041
0.2	3.295	9.216	-3.616	30.9046
0.0	3.172	9.171	-3.881	28.9954
-1.0	2.875	9.162	-4.092	29.6911
-8.0	2.580	10.043	-4.243	31.2412
$-\infty$	2.329	9.082	-4.795	32.7416

Dans la quatrième phase, les courbes ont probablement les valeurs suivantes:

$$\begin{aligned}
 q &= 0.44 \text{ respectivement } 0.429 \\
 v &= 4.711 \frac{\text{km}}{\text{sec}} \quad ,, \quad 5.040 \frac{\text{km}}{\text{sec}} \\
 T &= 8.69^m \quad ,, \quad 9.335^m.
 \end{aligned}$$

Dans la cinquième phase, les valeurs sont les suivantes:

$$\begin{aligned}
 q &= 0.292 \text{ respectivement } -0.113 \\
 v &= 2.96 \frac{\text{km}}{\text{sec}} \quad ,, \quad 3.142 \frac{\text{km}}{\text{sec}} \\
 T &= 8.73^m \quad ,, \quad 9.171^m.
 \end{aligned}$$

Le professeur *Rudolph* a trouvé presque les mêmes valeurs pour la vitesse dans les deux cas, sans que les autres valeurs s'accordent.

Année 1897.

10.

Le nord de Honshu fut ravagé le 7 février 1897 par un violent tremblement de terre, dont l'épicentre doit probablement être cherché à  $39^{\circ} 29'$  de latitude nord et à  $140^{\circ} 41'$  de longitude est de Gr. Pour l'étude de ce tremblement de terre, j'ai adopté les deux cas, prenant d'abord Miyako comme point de départ ( $7^h 36^m$ ), puis Tokyo ( $7^h 38.35^m$ ). L'étude des quatre phases a été faite avec les matériaux suivants:



Point de départ  
 Miyako 7<sup>h</sup> 36<sup>m</sup> T.M.G.  
 Tokyo 7<sup>h</sup> 36·55<sup>m</sup> „

Stations	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>
	h m	h m	h m	h m
Charkow	7 50			
Nikolajew		7 57·1		8 16·1
Potsdam		7 55·5	8 11·1	8 19
Edinburgh	7 49·7			
Strassburg	7 49·8			8 23·8
Padova	7 49·6			
Shide		7 59·06	8 15·7	8 23·7
Roma				8 25
Rocca di Papa				8 24
Ischia	7 50·1	8 09·4	8 11·55	8 24·3
Catania				8 22·7

On obtient alors pour la phase :

Ia.

q	v $\frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0·5	10·746	35·937	2·200	6·1079
0·2	10·142	35·929	1·959	4·8996
0·0	9·849	35·929	1·893	4·5466
—1·0	9·003	35·933	1·613	3·3065
—8·0	7·989	35·946	1·210	1·8431
— $\infty$	7·487	35·949	0·871	1·0444

IIa.

q	v $\frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0·5	5·175	32·462	6·010	85·1093
0·2	4·876	32·297	6·259	88·7586
0·0	4·301	32·236	6·355	93·6013
—1·0	4·264	31·987	6·597	101·7134
—0·8	3·748	31·764	7·051	114·3803
— $\infty$	3·479	31·464	7·491	130·2207

IVa.

q	$v \frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	4.052	35.853	-3.807	21.3174
0.2	3.840	35.804	-3.424	17.1031
0.0	3.722	35.811	-3.296	15.8172
-1.0	3.391	35.797	-2.995	12.2963
-8.0	3.007	35.778	-2.436	10.5186
$-\infty$	2.811	35.716	-1.854	10.1049

Va.

q	$v \frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	3.199	34.470	-2.940	14.1762
0.2	2.962	33.600	-2.732	18.1719
0.0	2.866	33.590	-2.518	17.7739
-1.0	2.644	34.210	-2.290	18.2225
-8.0	2.280	33.290	2.705	32.1737
$-\infty$	2.128	33.340	2.655	49.2688

Ib.

q	$v \frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	12.722	37.709	1.877	6.1112
0.2	11.999	37.746	1.661	5.1009
0.0	11.616	37.770	1.550	4.5425
-1.0	10.564	37.744	1.340	3.3941
-8.0	9.329	37.830	0.912	2.0839
$-\infty$	8.658	37.872	0.509	1.2180

IIb.

q	$v \frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	7.588	39.486	7.729	80.2373
0.2	7.145	39.480	7.915	83.8815
0.0	6.898	39.452	8.013	85.7827
-1.0	6.302	39.416	8.474	95.0987
-8.0	5.471	39.372	8.628	98.8506
$-\infty$	5.206	39.774	9.379	115.7949

IVb.

q	$v \frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	4.676	38.816	-3.260	18.0180
0.2	4.396	38.798	-3.010	16.3048
0.0	4.246	38.804	-2.877	14.6351
-1.0	3.884	38.738	2.524	11.6092
-8.0	3.358	38.720	2.557	10.7260
$-\infty$	3.101	38.708	2.498	9.4819

Vb.

q	$v \frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	3.674	38.353	1.627	7.3985
0.2	3.432	38.209	-2.219	11.6204
0.0	3.253	38.190	-2.029	13.7259
-1.0	2.977	37.870	-3.675	25.1181
-8.0	2.574	37.794	-3.710	26.1208
$-\infty$	2.348	37.497	-5.247	49.9961

L'adoption de deux points de départ n'a pas donné de grande différence. Cependant le résultat n'est pas satisfaisant, et c'est pour cela que je ne représente pas la courbe pour en déduire les éléments inconnus.

11.

Le tremblement de terre dont l'épicentre doit être cherché au  $48^{\circ} 14'$  de latitude nord et au  $143^{\circ} 47'$  de longitude est de Gr. vient du Grand Océan et fut enregistré le 20 février 1897 par les stations sismiques de l'Europe. Des cinq phases qui ont été enregistrées par diverses stations, quatre seulement se prêtent à l'étude.

Épicentre à  $38^{\circ} 14'$  de latitude nord,  $143^{\circ} 47'$  de longitude est  
 $20^{\text{h}} 47.3^{\text{m}}$  T.M.G.

Stations	$t_1$	$t_2$	$t_4$	$t_5$
	h m	h m	h m	h m
Dorpat	20 59	21 8.5		
Charkow	20 57.2			
Nikolajew	21 0.1	21 8.1		
Potsdam	21 0.6	21 10.8		21 31.3
Edinburgh				21 30.0
Strassburg		21 11.0		
Verona	20 58			
Roma	20 59.81	21 11.75	21 22.5	21 36.9
Rocca di Papa		21 11.0	21 22.0	21 35.0
Ischia	21 01.0	21 12.26	21 22.1	21 36.0
Catania	21 05.4	21 22.76		21 32.2

Donc :

I.

q	$v \frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	10.016	45.474	3.299	21.2218
0.2	9.449	45.317	3.468	22.8048
0.0	9.124	45.281	3.567	33.3215
-1.0	8.235	45.140	3.816	34.9269
-8.0	7.192	44.968	4.154	37.6740
$-\infty$	6.613	44.740	4.610	44.5390

II.

q	$v \frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ [max]	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	6.700	47.670	1.474	4.9774
0.2	6.278	47.565	1.045	3.6036
0.0	6.138	47.524	0.911	3.0318
-1.0	5.514	47.514	-1.135	2.8773
-8.0	4.767	47.165	-1.165	4.9882
$-\infty$	4.384	46.945	-2.255	11.1905

IV.

q	$v \frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	4.699	47.320	0.326	0.1871
0.2	4.403	47.320	0.318	0.1861
0.0	4.246	47.332	0.298	0.1712
-1.0	3.823	47.320	0.310	0.1685
-8.0	3.322	47.332	0.282	0.1505
$-\infty$	3.041	47.320	0.278	0.1419

V.

q	$v \frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	3.426	46.930	-3.809	23.1631
0.2	3.215	46.880	-3.550	22.2114
0.0	3.099	46.825	-3.353	20.5334
-1.0	2.799	46.762	-2.960	24.4458
-8.0	2.440	46.681	-2.462	25.3425
$-\infty$	2.236	46.428	-1.703	30.3632

La courbe de la seconde phase de la figure 1 est un exemple d'où l'on peut déduire les valeurs. Ainsi que la figure le montre, les trois éléments inconnus

peuvent être représentés graphiquement. On cherche le  $\kappa$  correspondant au maximum, d'où l'on calcule que  $q = \frac{\kappa}{1 + \kappa}$ , que l'on projette sur la courbe de  $v$  et de  $T$  et l'on obtient ainsi leurs valeurs. Pour les valeurs  $\kappa$  qui servent aux abscisses, on pourrait mettre les  $q$  correspondants, de façon à rendre tout autre calcul inutile.

Alors

$$q = 0.275$$

$$v = 6.399 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$$

$$T = 47.458^{\text{m.}}$$

Dans la cinquième phase

$$q = 0.0$$

$$v = 3.099 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$$

$$T = 46.825^{\text{m.}}$$

Les valeurs de vitesse correspondent dans cette phase à celles d'*Omori*.

12.

J'ai analysé trois phases du tremblement de terre qui a ébranlé le Japon le 5 août 1897. L'épicentre se trouve dans le Grand Océan, à 400 kilomètres de Tokyo, à  $38^{\circ} 15'$  de latitude nord et à  $143^{\circ} 15'$  de longitude est.

Épicentre à  $38^{\circ} 15'$  de latitude nord,  $143^{\circ} 15'$  de longitude est de Gr.  
0<sup>h</sup> 9.9<sup>m</sup> T.M.G.

Stations	$t_1$		$t_2$		$t_3$	
	h	m	h	m	h	m
Dorpat	0	22.4	0	32.3		
Charkow	0	21.2				
Nikolajew	0	22.0	0	31.0		
Potsdam	0	22.9	0	34.6	0	57.0
Edinburgh						
Strassburg	0	23.8				
Padova	0	24				
Shide	0	22.6			0	52.6
Roma	0	23.9	0	34.6	0	58.5
Rocca di Papa	0	24.87	0	35.3	1	0.0
Ischia	0	24.55	0	35.2	0	59.6
Catania	0	24.6	0	35.06	1	02.5

On a conséquemment :

I.

q	$v \frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	11.268	9.852	-1.350	3.9510
0.2	10.555	9.745	-1.305	3.4320
0.0	10.178	9.694	-1.290	3.4577
-1.0	9.175	9.562	-1.214	3.8461
-8.0	7.962	9.353	-1.243	5.6532
$-\infty$	7.308	9.142	-1.655	9.4032

II.

q	$v \frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	6.359	10.354	2.786	10.6880
0.2	6.091	10.285	2.510	8.1046
0.0	5.876	10.180	2.420	7.0591
-1.0	5.311	10.150	1.965	5.0723
-8.8	4.637	9.986	-1.461	5.5534
$-\infty$	4.311	10.030	-2.275	6.7258

V.

q	$v \frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	3.235	9.220	-5.832	61.3092
0.2	3.042	9.260	-5.794	54.8830
0.0	2.930	9.153	-5.833	53.5240
-1.0	2.641	9.030	-7.030	64.3816
-8.0	2.207	9.060	-5.860	46.8684
$-\infty$	2.028	9.135	-6.327	58.7238

Dans la première phase :

$$q = 0.0$$

$$v = 10.78 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$$

$$T = 9.694^m.$$

Dans la quatrième phase :

$$q = -0.44$$

$$v = 5.854 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$$

$$T = 10.179^m.$$

Dans la dernière phase:

$$q = -0.448$$

$$v = 2.795 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$$

$$T = 9.091^m.$$

13.

Tremblement de terre dans le Grand Océan, 17 août 1897. „Le tremblement de terre a été enregistré à Miyako à 4<sup>h</sup> 53.3<sup>m</sup> p. m. temps local. Intensité faible. La durée du mouvement de la composante horizontale fut environ de 140<sup>s</sup>, celle de la composante verticale, de 70<sup>s</sup>; le caractère du mouvement fait supposer que l'origine du sisme est assez éloigné“ (*F. Omori et K. Hirata, Earthquake measurement at Miyako*).

Épicentre 39° 6' de latitude nord, 143° 40' de longitude est.  
7<sup>h</sup> 52.21<sup>m</sup> M.G.T.

Stations	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>
	h m	h m	h m
Dorpat	9 3.0	9 15.6	
Charkow	9 0.7		
Nikolajew	9 4.0	9 17.0	9 30
Potsdam	9 3.8	9 14.5	9 40.3
Strassburg	9 3.6	9 15.1	9 38.6
Shide	9 6.5		
Roma			9 38.0
Rocca di Papa		9 16.0	9 34.07
Ischia	9 6.05	9 16.47	9 37.62
Catania	9 4.4		

Conséquemment:

I.

q	v $\frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta \Delta$ ]
0.5	11.640	51.422	-1.915	11.6596
0.2	10.960	51.230	-1.975	12.1161
0.0	10.554	51.271	-2.152	12.2705
-1.0	10.292	51.974	-2.603	13.5553
-8.0	8.339	50.955	-2.725	19.4819
$-\infty$	7.695	50.736	-3.030	21.8510

II.

q	v $\frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	6.472	52.725	2.975	27.3971
0.2	6.015	52.375	2.720	23.1262
0.0	5.829	52.335	2.630	20.7591
-1.0	5.335	52.370	2.395	14.6982
-8.0	4.725	52.388	1.962	8.5826
$-\infty$	4.416	52.252	1.623	6.1498

V.

q	v $\frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta$ $\Delta$ ]
0.5	3.426	51.302	6.368	79.3465
0.2	3.226	51.278	6.022	73.6558
0.0	3.119	51.233	5.842	69.6998
-1.0	2.828	51.176	5.404	64.0116
-8.1	2.425	51.093	4.797	60.5077
$-\infty$	2.298	50.960	4.020	61.6432

L'analyse a donné un résultat négatif, parce qu'avec la courbe on ne saurait déterminer les éléments inconnus. Il est étonnant que ce soit le premier cas où une détermination ne soit pas possible. J'espère trouver un criterium permettant de déterminer les éléments là où la courbe n'est pas en état de fournir de résultats. J'ai été frappé en faisant cette étude de ce que différentes valeurs q avaient la même vitesse dans la cinquième phase, c'est pourquoi j'ai pris dans les autres tremblements de terre des valeurs de vitesse presque constantes de la même phase, en les appliquant à notre sisme, et avec elles j'ai calculé pour notre tremblement de terre la valeur q. Ces études ont effectivement eu pour résultat de démontrer que des valeurs q calculées de cette façon, en commençant par la fin, sont à peu près les mêmes que celles que l'on obtient en les calculant directement à l'aide de la courbe.

14.

Le dernier des tremblements de terre japonais qui a été analysé selon la méthode que nous avons adoptée ici est celui du 2 octobre 1897, dont l'épicentre se trouve également dans le Grand Océan. Le tremblement de terre fut enregistré à 9<sup>h</sup> 45<sup>m</sup>, et *Omori* en déduisit l'heure épicentrale de 9<sup>h</sup> 42'05<sup>m</sup>. L'épicentre se trouve probablement à 39° 10' de latitude nord et à 143° 26' de longitude est. Les sismographes ont donné trois phases; la régistration de la cinquième est la moins sûre, d'où le résultat que voici:



Épicentre à 39° 10' de latitude de nord et à 143° 26' de longitude est.  
12<sup>h</sup> 42·05<sup>m</sup> T.M.G.

Stations		t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>
		h m	h m	h m
Dorpat				13 21·5
Charkow			13 4·6	
Nikolajew		12 56·5		13 23·0
Strassburg		12 57·1	13 7·4	13 31·0
Roma		12 58·3		
Ischia			13 7·03	13 31·2
Catania		12 58·9	13 5·1	13 31·85

L'analyse donne ce qui suit:

I.

q	v $\frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta \Delta$ ]
0·5	9·972	42·076	0·696	1·0031
0·2	9·393	42·067	—0·576	0·7045
0·0	9·076	42·052	—0·586	0·9410
—1·0	8·217	42·010	—0·592	0·6159
—8·0	7·173	41·932	—0·624	0·9541
— $\infty$	6·640	41·893	—0·686	2·0294

II.

q	v $\frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta \Delta$ ]
0·5	6·398	42·060	—2·965	16·5454
0·2	6·032	42·026	—2·734	13·3263
0·0	5·830	42·014	—2·614	11·6978
—1·0	5·293	41·985	—2·355	8·5676
—8·0	4·659	41·960	—1·908	5·2422
— $\infty$	4·313	41·900	—1·406	4·3649

V.

q	v $\frac{\text{km}}{\text{sec}}$	T	$\Delta$ (max)	[ $\Delta \Delta$ ]
0·5	3·308	42·242	1·790	5·0863
0·2	3·095	41·793	1·843	5·4499
0·0	2·987	41·658	1·843	6·5321
—1·0	2·704	41·388	—2·268	12·2900
—8·0	2·364	40·903	—3·173	29·3976
— $\infty$	2·233	40·452	—4·430	57·4133

Courbe de la première phase:

$$q = -0.333$$

$$v = 8.818 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$$

$$T = 42.04^{\text{m.}}$$

Les courbes de la deuxième phase ne donnent pas le résultat désiré.

Cinquième phase:

$$q = 0.33$$

$$v = 3.183 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$$

$$T = 41.881^{\text{m.}}$$

En considérant de plus près les valeurs  $q$  de la cinquième phase des tremblements de terre que nous étudions, on voit que ces valeurs sont presque constantes non seulement pour cette phase, mais aussi pour toutes les autres.

No.	2	3	4	5	7	8	9a	9b	11	12	14
$q$	0.33	0.33	0.33	0.266	0.38	-2.3	0.29	-0.113	0.0	-0.4	0.33
$v$	2.08	(6.95)	2.28	3.20	3.12	2.59	2.96	3.14	3.10	2.8	3.18

On ne peut cependant pas l'accepter comme règle absolue, parce que quelques autres tremblements de terre, très nettement marqués, prouveraient tout juste le contraire. Les matériaux dont nous avons fait choix ne sauraient pas non plus fournir les preuves nécessaires. Le professeur *de Kövesligethy* admet non seulement les valeurs  $q$  constantes des phases, mais il espère prouver que les valeurs  $q$  de la première et de la cinquième, ainsi que celles de la deuxième et de la quatrième sont identiques. Je désire lui exprimer ici mes remerciements de l'amabilité qu'il a eue d'avoir mis à ma disposition ses valeurs  $q$  du tremblement de terre de Ceram et de m'avoir permis de m'en servir pour faire des comparaisons:

Première phase:  $q = 0.0395$  d'où résulte  $v = 12.175 \frac{\text{km}}{\text{sec}}$

Deuxième phase:  $q = -6.797$  „  $v = 4.667$

Troisième phase:  $q = -\infty$  „  $v = 2.118$

Quatrième phase:  $q = -20.25$  „  $v = 1.551$

Cinquième phase:  $q = -0.197$  „  $v = 21.790$ .

Dans le cas qui nous occupe, nous sommes arrivés à la vitesse presque constante, et il ne faut pas s'étonner si les valeurs de vitesse de la cinquième phase se trouvent indiquées dans notre courbe; et si nous calculons les valeurs à rebours, en commençant par la fin, nous arrivons au même résultat, seulement la constante  $q$  n'est plus 0.3, mais une valeur négative  $-1.0$ , valeur qui s'écarte tout à fait de celle de *de Kövesligethy* et qui est aussi négative. Comme en admettant les constantes

q cela dérangerait l'analyse de certaines perturbations, il ne faut pas qu'elles soient considérées comme règle absolue; nous attendrons d'abord le résultat des analyses et des études. Dans un ouvrage qui paraîtra plus tard, nous reviendrons sur les conséquences qui résulteraient de l'admission éventuelle des constantes  $q$  et de l'examen plus approfondi des courbes.

Remarquons encore que pour des tremblements de terre plus conséquents et dont il vaut la peine de faire une étude approfondie, on pourra éventuellement se passer de répéter les mêmes calculs.

---