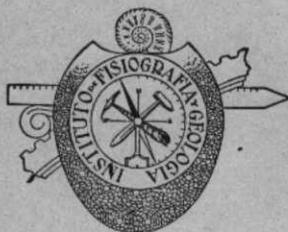


PUBLICACIONES
DEL
INSTITUTO DE FISIOGRAFIA Y GEOLOGIA
DE LA
Facultad de Ciencias Matemáticas, Físico-Químicas y Naturales aplicadas
a la Industria de la Universidad Nacional del Litoral
Director: DR. ALFREDO CASTELLANOS

XXVIII

LES TREMBLEMENTS
DE
TERRE ET LA GRAVITATION
POR
CORNELIO L. SAGUI



ROSARIO
REPUBLICA ARGENTINA
1946

Les tremblements de terre et la gravitation

Les vagues séismiques ou gravifiques qu'on observe à la surface du sol pendant un séisme d'une extrême violence, seraient en quelque sorte la résultante des ondes de compression et de détente intermoléculaires d'une roche compacte ébranlée par un tremblement de terre. Les ondes élémentaires varieraient en ampleur en fonction de l'intensité du choc, de même que la hauteur des vagues de surface, rappelées plus haut, intégreraient les hauteurs des ondes intermoléculaires.

Dans ces conditions le rapport entre la hauteur des vagues de surface et celles des ondes élémentaires est toujours constant. Cela signifie que si on considère une masse élémentaire m ayant à un certain moment la vitesse C des ondes électromagnétiques stationnaires ⁽¹⁾ des molécules, qui est égale à la vitesse de la lumière, la masse électromagnétique M intéressant les vagues visibles en surface pendant les grands séismes ayant une vitesse V , nous sera donnée par le rapport suivant :

$$M = \frac{H}{\Delta H}$$

où H est la hauteur moyenne de ces vagues.

Nous avons trouvé dans une autre étude ⁽²⁾ le résultat que voici :

$$W = e H c^2$$

où W est le travail d'une force à laquelle est soumise une masse électrique e en *u.e.m.* dans un champ magnétique H , ayant la vitesse c de la lumière.

⁽¹⁾ SAGUI, C. L., *Les phén. mag. et la théorie du q. e. m.*, Avignon, 1941.

⁽²⁾ SAGUI, C. L., *La struc. Géol. de la Terre et l'origine du magnét. terres.* Bull. Soc. d'étude Sc. nat. de Vaucluse, 3^e et 4^e trim. 1943.

Nous avons vu que eH est l'analogue d'une masse, par conséquent dans le cas actuel la masse m d'une molécule n'est que sa masse électromagnétique animée par le mécanisme même du quantum électromagnétique établissant que dans une onde $e.m.$ la vitesse pulsatile moyenne est une constante de l'ordre de la vitesse de la lumière dans le vide. Le paquet d'ondes qui forme en conséquence une molécule fait osciller toute sa substance $e.m.$ à la vitesse c .

Si deux molécules sont enchaînées par leurs niveaux d'énergie extérieurs, un déplacement $\pm ds$ de ces molécules, l'une vis-à-vis de l'autre, produit une variation séismique élémentaire où la vitesse de la substance $e.m.$ formant les molécules est c . C'est pourquoi dans ces calculs ce n'est point la masse d'une molécule, dans le sens qu'on donne à ce mot, qui est en jeu mais bien au contraire sa masse $e.m.$ oscillante où ses ondes d'enchaînement s'allongent ou se raccourcissent à mesure que les molécules se déplacent dans un sens ou dans le sens opposé.

Il est bien d'ajouter que l'équation d'EINSTEIN :

$$E = m c^2$$

n'est point complète d'après le mécanisme envisagé dans la théorie du quantum $e.m.$ En effet l'énergie E varie avec le temps t et l'on peut alors écrire :

$$E = m c^2 \int_0^t dt$$

et pour $t = \infty$ l'énergie E est aussi infinie.

Dans cet immense Univers donc la substance $e.m.$ qui le forme s'agite avec des mouvements rythmiques sans fin.

En revenant maintenant aux séismes il paraît bien que toutes les molécules d'une roche soient sollicitées par des vibrations élastiques, mais retenues comme elles sont dans l'étau des efforts orogéniques sur le plan horizontal, la seule liberté globale qu'elles ont c'est de se déplacer verticalement en se soulevant, mouvement qui, avec les déplacements horizontaux, occasionnent les séismes.

En effet dans une colonne verticale AB , fig. 1, de molécules, celles-ci sont sollicitées individuellement et se déplacent verticalement d'une quantité dH sous la pression produite par les vibrations séismiques. Ces oscillations minimes sont synchrones et s'ajoutent

par conséquent tout le long de la colonne AB en formant une onde verticale de hauteur

$$H = \int \Delta H \text{ où } \Delta H = \int dH \quad ; \quad M = \frac{H}{\int dH} = \frac{H}{\Delta H}$$

puisque H est bien le mouvement pendulaire de la surface du sol tandis que ΔH est celui des molécules. Les deux mouvements oscillatoires ont les périodes suivantes :

$$T = \pi \sqrt{\frac{\Delta H}{g}} \quad ; \quad T_1 = \pi \sqrt{\frac{H}{g}}$$

où g n'est que l'accélération due aux séismes.

Si dans le mouvement élémentaire nous considérons ΔH comme la longueur d'un pendule, α l'ampleur de son oscillation à partir de la verticale et β l'arc qu'il reste à parcourir pour arriver à la position verticale d'équilibre, au bout du temps t sa vitesse angulaire sera ds/dt où

$$s = \Delta H (\alpha - \beta)$$

$$\frac{ds}{dt} = -\Delta H \frac{d\beta}{dt}$$

En nous référant maintenant à la composante tangentielle de l'accélération on a :

$$\frac{d^2s}{dt^2} = -\Delta H \frac{d^2\beta}{dt^2} = g \sin \beta$$

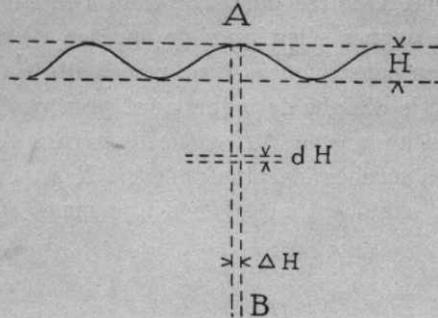


Figure 1.

En multipliant $d^2 \beta / dt^2$ par $2 d\beta$ on trouve que la différentielle de $(d\beta)^2$ correspond à cette multiplication :

$$d(d\beta)^2 = d\beta \cdot d^2\beta + d^2\beta \cdot d\beta = 2d\beta d^2\beta$$

On a en conséquence :

$$d \left(\frac{d\beta}{dt} \right)^2 = - \frac{2g}{\Delta H} \sin \beta d\beta$$

Le premier membre de cette équation nous donne l'accroissement dt , donc on a :

$$\left(\frac{d\beta}{dt} \right)^2 = \int - \frac{g}{\Delta H} \sin \beta d\beta$$

Ici on considère la moitié du mouvement pendulaire en tenant compte aussi que dt est de signe opposé à $d\beta$:

$$\left(\frac{d\beta}{dt} \right)^2 = \frac{g}{\Delta H} \cos \beta$$

L'accélération des oscillations est donc proportionnelle à ΔH , si le premier terme de cette équation reste constant et lorsque β est très petit. C'est là notre cas, puisque $d\beta/dt = c$, vitesse constante aussi bien de la lumière que de la substance *e.m.* dans les ondes qu'elle anime. D'autre part dH , dont l'intégrale nous donne la hauteur H des vagues séismiques de surface n'est qu'une petite fraction de ΔH , en conséquence β ne représente qu'une oscillation d'ampleur minime le cosinus de laquelle est presque égale à un.

Dans le cas d'un séisme ΔH varie de zéro à ΔH , qui est un maximum pour les séismes les plus violents. Il est donc possible de considérer $H/\Delta H$ comme l'analogie d'une masse. On a en conséquence :

$$M = \frac{H}{\Delta H} = \text{constante}$$

Cela dit voyons comment on peut établir les quantités de mouvement des masses intéressées dans un séisme. On peut écrire :

$$\frac{H}{\Delta H} V = mc \quad ; \quad \frac{H}{\Delta H} V = Mv \quad (I)$$

Il est clair que dans tous ces calculs on considère H comme l'intégrale de tous les mouvements, très complexes et compliqués du reste, des molécules intéressées dans un séisme, en partant d'une oscillation élémentaire ΔH .

L'ampleur moyenne $\alpha = \Delta H$ d'une onde élémentaire nous est donnée comme suit :

$$\alpha = \frac{\int_0^{\pi} \alpha_0 \sin \theta d \theta}{\pi}$$

Par conséquent on trouve :

$$H = \int_0^n \frac{\int_0^{\pi} \alpha_0 \sin \theta d \theta}{\pi}$$

Le problème ainsi posé nous montre bien que H varie avec n et avec α_0 , où n est en quelque sorte un rapport entre ΔH et H valeurs que la nature même des phénomènes nous indique. La vitesse V des vagues de gravité doit par conséquent contrôler les résultats d'ensemble du problème.

Il est donc nécessaire en ce point de connaître de quel ordre est la valeur de α .

D'après les expériences sur l'évaporation, de LANGMUIR nous savons qu'une molécule commence à être attirée par une autre à la distance de 2×10^{-8} cm. Ensuite ce sont les forces de répulsion qui entrent en jeu, car à la distance d'environ 0.60×10^{-8} cm. l'attraction devient nulle.

Un choc séismique très fort rapproche par conséquent beaucoup les centres de deux molécules contiguës qui, dans les roches granitiques par exemple, ont des dimensions de l'ordre de 6×10^{-8} cm.

Si l'on tient compte maintenant qu'un cristal cubique a 6 faces, et que 4 de ces faces sont vraisemblablement sollicitées en même

temps, il y aura un déplacement global de ce cristal de $4 \times 2 \times 10^{-8}$ cm., en supposant que pour un fort ébranlement séismique $\alpha = 2 \times 10^{-8}$ cm. Dans les séismes très forts on a observé que les vagues visibles du sol ont une hauteur maxima Hm d'environ m. 0.10, ce qui nous donne comme moyenne:

$$H = \frac{\int_0^{\pi} Hm \sin \theta d\theta}{\pi} = \sim m. 0.06$$

En appliquant maintenant l'équation (I) nous pouvons écrire dans le cas d'une sollicitation des 4 faces d'un cristal moléculaire et en faisant $m = 1$:

$$\frac{H}{\Delta H} V = m c ; \quad V \frac{6}{8 \times 10^{-8}} = 3 \times 10^{10} ; \quad V = \sim 4m / \text{sec.}$$

On a observé ces vagues, dites de gravité, tout spécialement dans les terrains mous, comme les sables, les alluvions, etc., ce qui prouve que ces terrains ont reçu leur impulsion des couches sous-jacentes, solides comme les granites, par exemple, couches que si elles se trouvaient en surface se briseraient assez facilement.

La vitesse que nous donne OMORI (C. R. Ie. conf. séismol. inter. de Strasbourg, annexe B. II, p. 236, Leipzig, 1902) pour ces vagues de gravité est justement de m.4/sec., ce qui est en accord avec mes calculs. A la vérité d'après des observations plus modernes, la vitesse de ces vagues, bien que difficiles à calculer, est cependant d'environ m.200/sec., c'est-à-dire 50 fois plus grandes que celle que nous venons de trouver. L'élasticité seule ne suffit donc plus à expliquer cette différence, il est donc nécessaire de voir comment ce résultat est possible en tenant compte de l'atome statique dans le cadre des théories du quantum *é.m.*

En effet si un choc rapproche suffisamment les molécules d'une roche les forces répulsives de leurs niveaux d'énergie entrent en action, c'est-à-dire le martèlement de leurs ondes *é.m.* stationnaires s'ajoute à la secousse séismique qui augmente par conséquent d'intensité en rapprochant encore davantage les molécules en question avec, comme conséquence directe, une action encore plus violente du martèlement susdit.

Il est bien de rappeler ⁽³⁾ que les forces répulsives, comme nous le verrons plus loin, augmentent d'abord avec une allure exponentielle, en conséquence les secousses séismiques doivent passer des frémissements préliminaires (phase initiale) au choc proprement dit, ou phase principale. Les grands séismes sont donc alimentés surtout par l'énergie ondulatoire de structure de la matière, ce qui explique leur terrible pouvoir destructeur. C'est là du moins le mécanisme suggéré par les théories du quantum *é.m.*

Le séisme du 15 janvier 1944 de San Juan (Argentine), d'une violence considérable permettra, croyons-nous, de voir si le rapport entre l'effet dynamique de la phase préliminaire et celui de la phase principale est environ de 50.

La courbe *AB* de la fig. 2, dont l'allure est bien exponentielle, indique en quelque sorte l'accroissement de la vitesse de l'ébranlement, tout en étant aussi le profil approximatif des oscillations séismiques observées à l'observatoire d'Ortuzar (Buenos Aires) pour le tremblement de terre de San Juan dans la direction *W-E* ⁽⁴⁾. Si nous admettons l'ordonnée $AM = 8$ mm, comme l'accélération des secousses due uniquement à l'élasticité moléculaire du calcul établi plus haut, l'ordonnée $BN = 60$ mm. sera dès lors l'accélération de l'ébranlement obtenu en y ajoutant l'effet dû au martèlement des ondes *é.m.* stationnaires des molécules mises en mouvement par le séisme.

Le rapport $60/8 = 7,5$ signifie que l'énergie de structure de la matière donne aux secousses une accélération sept fois et demi plus forte que celle due à l'élasticité ordinaire. D'après le séismogramme que nous venons de rappeler cette accélération extrême ne dure que six secondes environ, ce qui nous donne *v* comme vitesse des vagues de surface.

En effet: $V = 7,5 \times 6 \times 4 \text{ m/sec.} = 180 \text{ m/sec.}$

On a d'ailleurs calculé en unités "Gal" les accélérations des

⁽³⁾ SAGUI, C. L., *La loi de MOSELEY et les forces répulsives*, Agr. de Provence et du Languedoc, 27^e année, n^o 7, 1937.

⁽⁴⁾ CASTELLANOS, A., *Cuatro lecciones sobre terremotos*, (B), *El Terremoto de San Juan* (Séismogr. Cappelletti), Asoc. Cult. de Conf. de Rosario, p. 144, fig. 105, Rosario, 1945.

CASTELLANOS, A., *Anotaciones preliminares con motivo de una visita a la ciudad de San Juan a propósito del terremoto del 15 de enero de 1944*, XXI. Publicaciones del Instituto de Fisiografía y Geología, pág. 79, fig. 3^a Rosario, 1944.

ébranlements séismiques à travers les couches de l'écorce terrestre. Ainsi VINASSA (1933) donne à cette accélération la valeur de 5 pour le degré V d'un séisme, et celle de 37 environ pour un tremblement de terre compris entre les degrés VII et VIII.

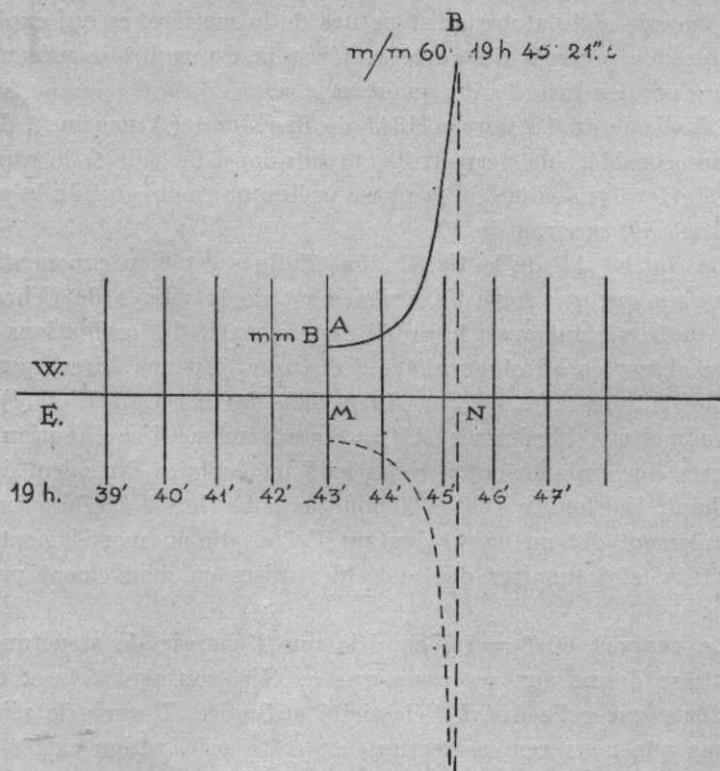


Figure 2.

C'est bien entre ces limites que le séisme de San Juan s'est produit. CASTELLANOS ⁽⁵⁾ trouva en effet pour ce séisme, dans les

(⁵) CASTELLANOS, A., *Op. cit.*, p. 130 et 149 (degré VII), p. 132-133 (degré VIII), en opposition de celui qui a donné la Commission désignée par le Gouvernement Argentin qui fixe le degré IX, cfr. HARRINGTON, HORACIO J., "Volcanes y Terremotos", p. 223. Buenos Aires, septiembere de 1944 et "El sismo de San Juan del 15 de enero de 1944", *Ciencia e Investigación*, année I, n° 1, p. 4. Janvier de 1945. KITTE ERWIN "Sobre la estabilidad del terreno de la ciudad de San Juan y sus alrededores", *Revista Minera*, t. XV, n° 4, p. 90. Buenos Aires, octobre-décembre de 1944.

zones les plus dévastées (Villa Colón, Caucete, Puntilla Blanca et Los Angacos), une intensité comprise entre les degrés VII et VIII (accél. 37), et dans celles moins touchées le degré V (accél. 5), nous paraît correspondre à la réalité. Ces degrés sont ceux de l'échelle de MERCALLI et CANCANI modifiée par SIEBERG et VINASSA.

CASTELLANOS n'indique point dans son ouvrage le degré V que nous avons choisi comme point de départ de nos calculs, mais nous avons tenu compte cependant en le choisissant de tous les détails que cet auteur nous donne. Le rapport obtenu est comme suit :

$$\frac{37}{5} = 7,4$$

résultat en bon accord avec le résultat théorique calculé plus haut, qui n'est du reste qu'approximatif.

La sollicitation des molécules selon le plus grand nombre possible de degrés de liberté envisagé plus haut nous permet d'en tirer une conclusion importante. Une molécule doit se déplacer en effet sur les vagues de gravité avec une très grande complication de mouvements.

C'est ce que SEIKEI SEKIYA ⁽⁶⁾ a prouvé en reconstruisant dans l'espace la trajectoire d'une particule de matière pendant le tremblement de terre du 15 janvier 1887 à Tokyo. AGAMENNONE ⁽⁷⁾, CECCHI ⁽⁸⁾ et d'autres encore, prouvèrent la même chose.

Ces vagues de surface paraissent expliquer aussi la grande variété de direction des crevasses dans une bâtisse endommagée, en exerçant leurs efforts dans tous les sens. Ces mêmes vagues laissent parfois une trace bien claire dans les terrains qu'elles bouleversent. Un exemple récent de ce fait nous le trouvons à San-Juan ⁽⁹⁾ à la calle Las Lajas (photogr. BERTHA WYLER-CASTELLANOS) dû au séisme du 15 janvier 1944 ⁽⁹⁾ que nous venons de rappeler.

Si les séismes sont malheureusement nombreux et leurs études très poussées, les causes en sont néanmoins encore mystérieuses. La théorie tectonique des tremblements de terre paraît cependant de nos jours jouir d'une certaine faveur. En effet les rapports séismicotec-

⁽⁶⁾ Trans. séism. Soc. of Japan, XI, p. 175, 1887.

⁽⁷⁾ *La registrazione dei terremoti*, Roma, 1906.

⁽⁸⁾ *L'elettricista*, I, marzo, aprile, maggio, 1877.

⁽⁹⁾ PASOTTI PIERINA, *Cuatro Lecc. sobre terremotos*, Asoc. Cult. de Confer. de Rosario, Publ. n° 6, 1945.

toniques observés sont nombreux et on est porté à l'existence de gros efforts de compression au sein de certaines couches terrestres. L'exemple de MONSON (Massachusetts) en est une preuve, puisque les blocs en sortant des carrières se dilatent avec bruit en produisant une explosion. Dans les mines du reste ce phénomène est assez fréquent et moi-même j'ai eu l'occasion de l'observer dans des roches granitiques des mines de Piavitza (Chalcidique) et ailleurs. Il est utile de remarquer en ce point que les régions séismiques se trouvent dans les terrains tertiaires en état de plissement orogénique. Dans les terrains anciens cependant des séismes sont aussi possibles.

Il est donc probable que les tremblements de terre soient dus à la première tentative pour le calculer est de MENDENHALL⁽¹⁰⁾ comme cette théorie le suppose, que le phénomène soit déclenché par les seuls efforts de compression sous lesquels une couche de roche finirait par se broyer. Toute l'orogénie nous montre du reste que les couches terrestres se plient et se fracturent sans produire d'habitude des séismes.

Le travail fourni par les tremblements de terre est énorme et la première tentative pour le calculer est de MENDENHALL⁽¹⁰⁾ qui trouva environ un milliard trois cent millions de chevaux pour le travail mécanique du séisme de Charleston du 31 août 1886. KOVESLIGETHY⁽¹¹⁾ par contre calcula pour le séisme du 28 octobre 1891 du Japon Central une énergie capable de soulever toute l'eau des océans à une hauteur égale à leur profondeur moyenne. Bien plus récemment B. GUTEMBERG et C. F. RICHTER trouvèrent une énergie de 10^{25} ergs pour les chocs les plus forts des séismes de Bihar et de Quetta.

Ces immenses énergies séismiques rappelées il paraît utile de calculer celles qu'un tremblement de terre idéal pourraient nous fournir par les seules vibrations élastiques d'une couche de roche libérée des efforts orogéniques. Soit *AB*, fig. 3, cette couche poussée vers le haut par une pression isostatique due aux massifs *M* et *N* qui, pour être en équilibre avec le massif *K* devraient s'abaisser d'environ 1000 mètres. La couche *AB* forcée entre les deux failles inclinées *EFG* et *HI*, serait ainsi fortement comprimée en subissant même le plissement que la figure indique. Une fois arrivée dans la

⁽¹⁰⁾ *Nature*, XXXIX, p. 380, London.

⁽¹¹⁾ *Die Erdbebenwarte*, III, p. 196, 1904.

⁽¹²⁾ *Gerlands Beitr. Z. Geophys.*, 47, 1-2, pp. 73-131, 1936.

position A, B , la couche glisserait sur la saillie F en se détendant subitement et en comprimant les terrains mous que nous supposons exister au-dessus de la saillie.

Dans ces conditions un calcul approximatif de l'énergie globale des vibrations que cette détente occasionnerait nous paraît possible. Supposons que la couche AB est une épaisseur de 100 mètres et une longueur, dans le sens des failles, de 100 Km. ce qui nous donne une surface de glissement le long de FG de 10^{11} cm². Le maximum de pression dans le sens AB compatible avec la limite élastique du granite, par exemple, que la couche peut supporter en se déplaçant de bas en haut est d'environ 100 Kg le cm², ce qui nous donne la pression globale suivante :

$$P = 10^{11} \text{ cm}^2 \times 10^2 \text{ Kg} = 10^{13} \text{ Kg.}$$

La couche AB en arrivant en A, B , peut se détendre subitement sur une longueur de $m. 2$ au maximum, croyons-nous, en comprimant le terrain, supposé mou, se trouvant sur la saillie F et en déclanchant ainsi un séisme très violent. En ne tenant compte ni de l'amortissement ni des frottements le travail mécanique W qui en résulterait serait comme suit :

$$W = 10^{13} \text{ Kg} \times 2 \text{ m} = 2 \times 10^{21} \text{ ergs.}$$

Il se peut que la détente soit dans ce cas incomplète et alors la couche retiendra une partie de son énergie de compression qui pourra se dégager dans un autre séisme semblable.

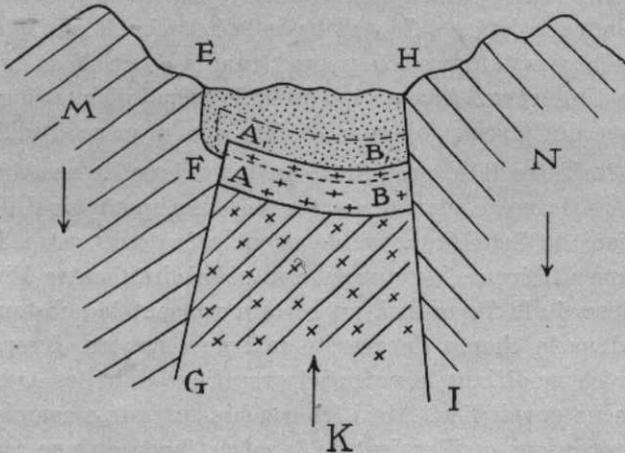


Figure 3.

Le travail W calculé est toutefois très inférieur au travail véritable fourni par les grands séismes dont il est question plus haut, et pourtant nous avons choisi comme exemple des conditions idéales qu'on ne trouve que difficilement dans la nature. La couche AB , très large en général, épuise d'autre part une grande partie de son énergie en se pliant, énergie perdue par conséquent puisque les roches plissées conservent presque totalement leur déformation.

Si par conséquent la compression des roches consistantes paraît nécessaire à la genèse des tremblements de terre, on ne voit pas toutefois comment cette compression peut être brusquement libérée en ébranlant les couches ainsi soulagées avec la terrible violence qu'on sait.

La théorie électromagnétique de la gravitation paraît par contre fournir la cause de l'ébranlement des couches du sol soumises à de fortes compressions. En effet la formation des taches solaires seraient due, d'après cette théorie, au phénomène suivant :

Soit S le Soleil, fig. 4, et G un faisceau de rayons de gravité. De la surface AB la radiation solaire R emporte quelque peu de la substance $e.m.$ de l'atmosphère de gravitation comprise entre G et H , tandis que le champ de la pesanteur à l'intérieur du Soleil ne diminue point, la radiation étant un phénomène de surface.

Au bout d'un certain temps entre K et H s'établit une différence de niveau $e.m.$ assez forte. Dès qu'elle dépasse une certaine valeur critique la substance $e.m.$ de la gravitation à l'intérieur du Soleil fuse vers l'extérieur en formant les taches dans les zones solaires de moindre résistance. Ce serait par la branche M que la substance $e.m.$ de la gravitation s'échapperait tandis qu'en N on aurait un appel vers l'intérieur. Aux antipodes E le même phénomène se produirait avec des phases opposées à celles que je viens d'indiquer.

Pour la Terre il se produirait quelque chose de semblable, car l'atmosphère de notre planète est rongée aussi, pour ainsi dire, par les radiations du Soleil, tout spécialement près de cet astre. De cette manière une différence de niveau $e.m.$ s'établirait entre l'intérieur et l'extérieur de la Terre et à un certain moment la substance $e.m.$, en excès dans le champ de gravité interne terrestre, fuserait vers l'extérieur en modifiant le potentiel gravifique dans les endroits où ce phénomène aurait lieu. Ainsi les couches terrestres soumises à de fortes compressions oscilleraient de la même façon qu'une corde tendue vibre si elle en est sollicitée.

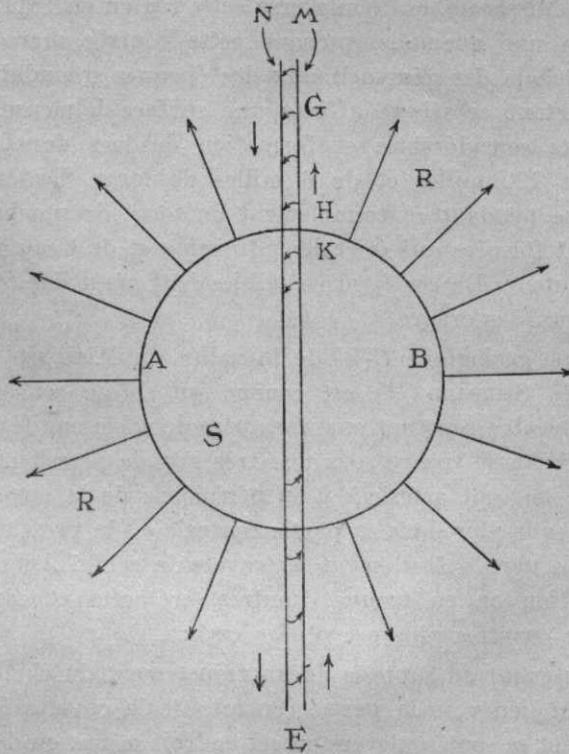


Figure 4.

Dans cette théorie en conséquence les tremblements de terre seraient dus d'une part aux compressions orogéniques et d'autre part au déséquilibre gravifique dont je viens de parler, déséquilibre dont l'action de rajustement aurait lieu dans une zone limitée des couches ébranlées, qui en serait l'épicentre.

La substance *e.m.* de la pesanteur en fusant vers l'extérieur du globe réduirait brusquement et momentanément l'attraction terrestre en sorte que les couches du sol, intéressées dans ce phénomène, recevraient une impulsion de bas en haut qui les feraient vibrer si elles étaient soumises à de fortes compressions. Dans les régions aiséismiques le rajustement du champ de gravité n'aurait point d'effet sensible puisque les couches terrestres en se soulevant légèrement ne seraient pas brusquement ramenées par des sollicitations élastiques à leur zone de départ.

Le grand séisme de Sunken Country, près de New Madrid, dans

la vallée du Mississipi, qui bouleversa cette région en 1811, est considéré comme une anomalie, puisque cette contrée marécageuse se trouve en dehors des géosynclinaux des époques secondaires et tertiaires. Pourtant ce séisme affecta une surface immense, avec des affaissements considérables et formation de lacs dont un d'une longueur de 100 milles et de 6 milles de large. BROADHEAD⁽¹³⁾ nous dit que pendant ce tremblement de terre de nombreuses fissures se sont formées qui rejetaient du sable et de l'eau jusqu'à 40 pieds de hauteur. De ces fissures jaillissaient aussi des éclairs semblables à ceux des orages.

La coupe géologique *E-W* de la vallée du Mississipi par Memphis, d'après SHEPARD⁽¹⁴⁾ est comme suit: Une couche d'argile bleue imperméable reposant sur une autre de sable aquifère formant cuvette, où l'eau se trouve sous une très grande pression. Les puits qu'on fonce ici sont artésiens à la périphérie de la cuvette tandis qu'ils ne le sont plus dans sa partie centrale où la pression de l'eau est diminuée par le frottement à travers le sable. Au dessous de cette formation on en trouve d'autres, créacées et carbonifères, formant des cuvettes plus accentuées encore.

Si maintenant on suppose qu'un rajustement du champ de gravitation a eu lieu vers la partie centrale de la cuvette les couches qui la forment se sont soulevées en cet endroit même, en développant de très fortes compressions sur les pentes périphériques de la cuvette en mettant ainsi en jeu les forces élastiques des matériaux qui les forment. Il n'y a rien d'étonnant aussi que les fissures ouvertes par le séisme aient rejeté du sable et de l'eau, les couches artésiennes étant soumises à des pressions alternées.

Dans les séismes sous-marins on comprend encore mieux, dans certains cas du moins, l'effet de rajustement de l'équilibre du champ de gravitation entre l'intérieur et l'extérieur de la terre.

Le 13 oct. 1852, "Maries", par 19° W, à 12 milles marins au N de l'équateur, on entendit un bruit sourd devenu vite assourdissant, et la mer se souleva en vagues monstrueuses, tandis que le vent soufflait venant de tous les points de l'horizon à la fois. Le phénomène dura 15 minutes. De MONTESSUS de BALLORE⁽¹⁵⁾

⁽¹³⁾ The Amer. geologist, XXX, p. 76, 1902.

⁽¹⁴⁾ The J. of geol. XIII, p. 45, 1905.

⁽¹⁵⁾ La Science sismologique, p. 197, Paris, 1907.

attribua le fait à un phénomène cyclonique, chose normale près de l'équateur.

Il faut cependant observer que le rajustement du champ de gravité dont il est question ici affecte aussi l'atmosphère. Il est même certain, si ce rajustement est admis, que notre atmosphère doit être souvent troublée par les changements du potentiel gravifique dus à ce rajustement. Par conséquent beaucoup de phénomènes météorologiques doivent tirer leur origine de cette sorte de séismes atmosphériques.

RUDOLPH ⁽¹⁶⁾ dans son fameux catalogue des tremblements de terre sous-marins cite beaucoup de ces cas où le soulèvement de la mer est indiqué comme un phénomène assez brusque. Tout se passe en effet comme si les eaux des mers bouleversées par un séisme sous-marin devenaient subitement plus légères dans une certaine zone, ce qui produirait une sorte d'isostasie violente dont le rajustement momentané causerait le soulèvement de ces eaux.

L'observation que voici paraît bien confirmer cette théorie. Le 23 sept. 1887 le navire "Alps", par 19°44'N, 74°24'W, et près de la côte S de Cuba, fut ébranlé par un séisme sous-marin qui dura 45 minutes. La mer était tout à fait unie lorsque le premier choc, et pendant environ 3 minutes, la souleva tout d'un coup (*in a solid body*) sans produire aucune vague; puis elle devint unie comme auparavant. La profondeur de la mer en ces parages est de 1829 m.

Le rajustement de gravitation dont il est question ici paraît être la seule explication possible pour l'origine de ces vagues dites séismiques qui bouleversent les mers et les plages le long des côtes séismiquement instables. GEINITZ ⁽¹⁷⁾ nous donne à ce propos une étude saisissante du tremblement de terre d'Iquique du 9 mai 1877, et HOCHSTETTER ⁽¹⁸⁾ fait la même chose pour celui d'Arica sur les côtes sud-américaines du Pacifique. Les vagues de la mer ont atteint plusieurs dizaines de mètres et leur vitesse dépassaient de beaucoup celles des vagues des grands ouragans. Les rivages en même temps ont été envahis sur une profondeur considérable. Ces va-

⁽¹⁶⁾ Über Submarine Erdbeben und eruptionen. Beitr. Zur Geophysik, I, p. 133, 1887; II, p. 557, 1895; III, p. 273, 1898.

⁽¹⁷⁾ Nova Acta d. Kgl. Leop.-Carol. Deutschen AK.d.Naturforschen, XI, p. 385, Halle, 1878.

⁽¹⁸⁾ Sitzungsber. d.k. AK. d.wiss., Mat.-naturwiss. Cl., LVIII, p. 897 Wien. 1868.

gues, d'après HOCHSTETTER, sont très longues, en couvrant entre une crête et la suivante environ 350 milles marins.

Ces grandioses phénomènes séismiques ne peuvent point s'expliquer par les mouvements du sol sous-marin vibrant à de grandes profondeurs en produisant des déplacements verticaux peu importants.

J'ai voulu me rendre compte de ce fait en faisant vibrer le fond d'un large récipient en tôle de m. 3 de haut plein d'eau où, aussi bien les vibrations que la hauteur de ce récipient étaient, à une échelle réduite, celles des tremblements de terre. La surface de l'eau ne bougeait pour ainsi dire point. Du reste même les énormes vagues marines des ouragans ne sont plus perceptibles à une profondeur relativement faible. En conséquence les vagues séismiques, croyons-nous, ne sont possibles que si une colonne d'eau de la mer n'est soulevée comme un immense paquet par une diminution momentanée du potentiel de gravité en ce lieu.

Qu'il en soit ainsi le prouve encore le fait que les vagues marines d'origine séismiques se propagent avec la même vitesse du flot de marée luni-solaire, ce qui explique que les deux phénomènes donnent un mouvement oscillatoire à toute la masse liquide des océans. variation du potentiel de gravitation, puisque pour l'attraction luni-solaire c'est bien cette variation qui est en jeu.

Si l'on tient compte d'une part des hautes marées le long des côtes, et d'autre part de la variation très petite de la constante de gravitation produite par l'action luni-solaire, il est facile de comprendre les effets grandioses d'un séisme sous-marin dû à un rajustement de la gravitation, où des forces minimales sont cependant engagées si l'on pense que la diminution de la gravitation aux grandes marées n'est que de 16 millionièmes.

Nous allons voir maintenant comment se comportent les forces répulsives lorsqu'on approche des molécules d'eau soumises à une certaine pression en comparaison avec le rapprochement des molécules d'une roche granitique soumise à la même pression, vu que dans un corps les atomes sont en équilibre à la distance de $0,6 \times 10^{-8}$ cm., distance à laquelle l'attraction, commencée à 2×10^{-8} cm. devient nulle. Pour les molécules d'eau toutefois la distance d'équilibre de $0,6 \times 10^{-8}$ cm. nous donne l'effort d'attraction global maximum qui est insuffisant d'ailleurs à leur cohésion; c'est pourquoi à la température ordinaire l'eau est à l'état liquide. Par contre dans

une roche granitique l'attraction entre les molécules est beaucoup plus forte, ce qui caractérise son état solide. En effet la charge nécessaire à la traction pour la rupture du granite est de Kg 40/cm², tandis que pour l'eau elle n'est que, d'environ 2 gr./cm², donc pratiquement nulle.

Cela signifie aussi que les forces attractives *e.m.* sont pour l'eau, du moins dans la partie superficielle de ses molécules, bien plus faibles que dans le granite et par conséquent les forces de répulsion entrent en action pour la première bien avant que pour le second, ce qui explique du reste le fait que les solides sont compressibles tandis que les liquides ne le sont pratiquement pas. Il faut donc admettre que l'équilibre entre les forces d'attraction et les forces répulsives ait lieu pour les molécules d'eau à une pression 20.000 fois plus petite que pour les molécules du granite. Les forces répulsives en conséquence varieraient, dans les deux cas, suivant le même rapport.

Supposons maintenant que la force répulsive F^0 soit F^x après une pénétration x d'une molécule dans l'autre; et vu que cette force ⁽¹⁰⁾ s'accroît en fonction de la densité magnétique du niveau d'énergie, on aura pour l'eau :

$$dF = nF_x dx$$

$$\frac{dF}{F_x} = n dx ; \log \frac{F_s}{F_o} = ns$$

$$F_s = F_o e^{ns}$$

où s est la distance de pénétration des molécules les unes dans les autres et n un coefficient de proportionnalité.

Pour le granite, en prenant encore n comme coefficient de proportionnalité, on trouve :

$$f_{s_1} = f_o e^{ns_1}$$

où s_1 est la distance de pénétration des molécules du granite les unes dans les autres.

⁽¹⁰⁾ SAGUI, C. L. *La loi de MOSELEY et les forces répulsives*. Agric. de Provence et du Languedoc, 27e année, n° 7, 1937.

Nous pouvons alors écrire :

$$F_0 e^{ns} = f_0 e^{ns_1}; \frac{F_0}{f_0} = \frac{e^{ns_1}}{e^{ns}}$$

En prenant $f_0 = 1$ et $F_0 = 20.000$ on a :

$$\log. \text{ nep. } 2 \times 10^4 - \log. \text{ nep. } 1 = 2,30258 \times 4 = 9,2$$

Cela signifie que le granite, sous une identique pression, peut se contracter environ 9,2 plus que l'eau dans une seule direction en diminuant son volume en fonction du cube de 9,2, ce qui explique la quasi incompressibilité de l'eau vis-à-vis du granite.

D'après tout ce que nous avons dit on peut aisément s'expliquer aussi pourquoi dans les régions aséismiques le rajustement du champ de gravitation ne produit point des effets catastrophiques. La petite variation du potentiel de gravité due à ce rajustement ne soulage en effet que de très peu la pression qui pousse les molécules d'une roche les unes contre les autres. La variation exponentielle des forces répulsives nous explique d'autre part qu'un déplacement insignifiant des molécules suffit à compenser la variation de la gravitation, en sorte que le sol de ces régions ne bouge pour ainsi dire point.

Dans les zones séismiques, cependant, même ces petits déplacements ne seraient possibles puisque les couches du terrain se trouveraient serrées comme dans un étau, les efforts orogéniques latéraux les empêchant de bouger. Ce serait alors que ces couches vibreraient dangereusement lorsqu'un rajustement de la gravité aurait lieu. Toutefois ces couches ne se trouveraient plus en équilibre isostatique avec les zones latérales puisque leur poids, ayant diminué, elles devraient remonter quelque peu pour être en équilibre avec le reste.

C'est à cause de ces pressions orogéniques, peut-être, que l'on trouve, d'après Giulio COSTANZI ⁽²⁰⁾, les maxima (absolus) de la gravité (anomalies négatives) non pas le long de l'axe des chaînes de montagne, mais au contraire ces anomalies suivent une ligne parallèle à cet axe. Les maxima des anomalies positives ne se trouvent point par contre dans les dépressions et se déplacent aussi dans le sens des anomalies négatives. Toutefois sur l'Étna les maxima des anomalies négatives se trouvent sur le sommet.

⁽²⁰⁾ C. R. Acad. d. Sc., T. CXLV, pp. 695-697.

Le rajustement de l'équilibre de la gravité du globe devrait aussi en déplacer légèrement les pôles. Ce déplacement s'effectuerait aussi bien si le rajustement a lieu dans les zones aiséismiques que dans celles séismiques.

Ces dernières cependant devraient déplacer les pôles en fonction du nombre des mégaséismes qu'on aurait pendant un an, par exemple, puisque ces phénomènes produisent des ébranlements dans les couches terrestres d'une intensité considérable.

En effet MILNE ⁽²¹⁾ et CANGANI ⁽²²⁾ ont dressé, d'après leurs observations, le tableau suivant:

Année	Variation de la latitude	Nombre de mégaséismes	Observations
1895	0'',55	9	
1896	0'',91	18	MILNE
1897	1'',07	46	
1898	0'',79	30	(1'',03) CANGANI
1899	0'',72	27	
1900	0'',32	17	CANGANI
1901	0'',53	22	
1902	0'',97	29	

La fluctuation des latitudes a été constatée aussi par l'association géodésique internationale dès 1895 et l'on a trouvé que les pôles terrestres se déplacent effectivement avec une période de 430 jours en suivant des courbes irrégulières et point fermées. L'analyse mathématique a dû tenir compte, pour trouver une explication, de deux termes dans leur étude du déplacement: l'un de 430 et l'autre de 365 jours.

⁽²¹⁾ Fifth report on seism. invest., Brit. ass. for the adv. of sc., Bradford meeting, p. 107, 1900.

⁽²²⁾ Die Erdbebenwarte 1903-1904, III, p. 49; Boll. soc. sism. ital., VIII, p. 236, 1902-1903.

Le premier de ces termes serait dû, d'après ces recherches, à un résidu astronomique de l'action de la Lune sur le renflement équatorial terrestre, et cela serait confirmé par le fait qu'en Hollande et en Californie on a observé des élévations et des abaissements périodiques du niveau de l'océan dont la période était précisément de 14 mois. Pour le terme de 365 jours on a cru trouver l'explication dans le déplacement des masses d'air entre l'hiver et l'été. Le déplacement total des pôles n'est cependant que de 7/10 de secondes, c'est-à-dire un pôle oscillerait dans un carré de 40 m. de côté.

Les deux termes dont il est question ici pourraient bien être dus, d'après tout ce que je viens de dire, au rajustement de l'équilibre gravifique.

D'autre part ce rajustement devrait-il avoir une allure cyclique en accord avec la variation de onze ans des taches solaires. En effet si l'on tient compte des immenses atmosphères de gravitation enveloppant le Soleil et la Terre, la distance de ces deux astres peut être retenue comme insignifiante et en conséquence admettre, avec une approximation suffisante que la substance *e.m.* de ces atmosphères emportée par le rayonnement solaire soit en fonction de leur densité.

Soient *N* et *M* les potentiels gravifiques respectifs du Soleil et de la Terre et *n* et *m* les diminutions de ces potentiels dues aux quantités de substance *e.m.* emportées respectivement par la radiation solaire dans les deux atmosphères, de manière à déterminer entre l'intérieur et l'extérieur de ces astres la différence de niveau *e.m.* nécessaire pour déclencher le rajustement qui sur le Soleil forme les taches et sur la Terre provoque les tremblements de terre. Nous pouvons donc écrire :

$$\frac{N-n}{N} = \frac{M-m}{M}$$

Cela signifie que le potentiel de rajustement est le même dans les deux cas et par conséquent on devrait avoir une variation dans les tremblements de terre en phase avec la formation des taches solaires, sans qu'il soit nécessaire que les rajustements en question aient lieu à la même époque.

En effet POEY ⁽²³⁾ croit qu'aussi bien le minimum que le ma-

(²³) C. R. ac. des Sc., LXXVIII, p. 51, 1874.

ximum des taches solaires soient favorables à l'activité séismique. DAVIDSON (24) nous dit par contre qu'il y a une période séismique, aussi bien dans l'hémisphère nord que dans l'hémisphère sud, qui correspond à celle des taches solaires. D'autres nient toute dépendance entre les phénomènes de la surface solaire et les séismes.

Cornelio L. Saguì

Avignon (France), 30 avril 1946.

(24) DAVISON CH., *Clustering and periodicity of Earthquakes*, Nature, 22 octob. 1927.

Note: Le mécanisme de formation des taches solaires, plus haut rappelé, a été soumis les premiers jours d'octobre 1945 par M. G. Fournier de l' obser. Jarry - Desloges, à M. P. Bernard de l' Inst. de Phys. du Globe, à Paris, qui, à son tour, l'a communiqué au Prof. Ch. Maurain dont il a retenu l'attention.

A cette même époque J. L. PAWSEY, R. PAYNE - SCOTT et L. L. MAC CREADY en Australie, ont observé du 3 au 23 oct. 1945, en se servant du radar, que des ondes e. m. de m. 1.5 de longueur, venant du Soleil, avaient des intensités qui augmentaient avec la surface globale des taches solaires, ce qui paraît être dû aux ondes e. m. de gravitation s'échappant de ces taches dans une sorte de tourbillon (Nature, 9 février 1946).—