

Marées de la terre ferme à Lausanne

Autor(en): **Mercier, Pierre-A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **65 (1951-1953)**

Heft 279

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-274362>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Marées de la terre ferme à Lausanne

PAR

Pierre-A. MERCIER

(Séance du 6 juin 1951)

Le phénomène des marées a été décelé sur le Léman par le professeur P.-L. MERCANTON, qui présenta les résultats de ses études à notre société, en 1948 et 1949.

Nos observations portent sur un phénomène différent, beaucoup plus général, puisqu'il intéresse l'écorce terrestre soumise dans son ensemble aux forces attractives du soleil et de la lune. Ces déformations sont beaucoup plus difficiles à observer que les marées lacustres ou océaniques, car tous les points de repère que l'on possède sont solidaires de l'écorce terrestre et accomplissent le même mouvement qu'elle. Aussi est-ce d'une façon indirecte que nous avons décelé ces mouvements à Lausanne, mouvements dûs aux attractions du soleil et de la lune, tout comme les marées océaniques et que de nombreux auteurs appellent des marées de l'écorce (LALLEMAND, 1909).

L'action des astres sur la pesanteur en un lieu est complexe. On peut la décomposer en deux termes (BOLLO, 1950). L'un représente l'action qu'auraient les astres si la terre était parfaitement rigide : c'est la variation théorique du champ gravifique. L'autre provient de la déformation du globe sous l'action de la lune et du soleil, déformation qui modifie légèrement le champ gravifique, mais surtout qui déplace le point d'observation dans ce champ provoquant ce que l'on appelle la variation de déformation. La variation théorique peut facilement être calculée pour un lieu et un temps donnés; la comparaison avec le résultat des observations donne alors la variation de déformation.

De nombreux savants ont mis en évidence les variations de direction du champ gravifique :

En 1643 déjà, CALIGNON remarquait de très petites oscillations journalières du fil à plomb (BIGOURDAN, 1917). Ce phénomène fut appelé la réciprocation du pendule. Mais il est

probable qu'il n'a observé que des déviations dues aux variations thermiques de la surface de la terre, car son procédé ne semble pas suffisamment précis pour déceler l'attraction luni-solaire. D'autres savants consacrèrent de nombreuses années à perfectionner les instruments de recherche, et ce sont G.-H. et H. DARWIN (1881) qui obtinrent les premiers résultats appréciables à l'aide d'un pendule vertical dont les mouvements étaient amplifiés par un petit miroir, suivant un artifice proposé par lord Kelvin en 1878 (LALLEMAND, 1909).

L'emploi du pendule horizontal bifilaire permit à VON REBEUR-PASCHWITZ (1894) de pratiquer les premiers enregistrements continus, de 1892 à 1894. C'est grâce à ce procédé que, par la suite, plusieurs autres études furent faites sur la déviation de la verticale sous l'influence des attractions du soleil et de la lune.

Or ces astres ne modifient pas seulement la direction du vecteur gravifique mais aussi sa grandeur. SCHWEYDAR (1914) signale cette influence, mais ce n'est que beaucoup plus récemment, depuis les perfectionnements apportés à la construction des gravimètres, que des mesures précises ont pu être effectuées.

En 1933, LAMBERT résume l'histoire des premières recherches et en discute les résultats. Dans un article plus récent (LAMBERT, 1949), il retrace l'étude des marées observées ces dernières années. Nous ne pouvons citer tous les auteurs qui se sont attaqués à ce vaste sujet qui est encore loin d'être épuisé; nous n'en citerons que quelques-uns qui ont obtenu des résultats analogues aux nôtres, et quelques autres pour montrer l'orientation actuelle des recherches sur les variations du champ gravifique terrestre. Nous n'avons nullement la prétention d'avoir effectué une étude complète et indépendante; la présente communication n'a pour but que de signaler les mesures effectuées à Lausanne pour compléter les nombreuses observations faites sur les diverses parties du globe. Comme pour d'autres auteurs (HOSKINSON, 1951; REFORD, 1951), le motif premier de nos recherches était d'étudier le comportement du gravimètre Worden, acheté récemment par le Laboratoire de Géophysique de l'Université de Lausanne, et c'est en établissant les courbes de variation diurne de la dérive de cet appareil que nous avons mis en évidence les attractions lunaire et solaire. Comme l'ordre de grandeur de ces actions est de 10 à 20 fois la sensibilité du gravimètre, il nous a semblé nécessaire d'établir quelques courbes de variation en effectuant des mesures heure après heure, durant des périodes d'au moins 24 heures, pour avoir une image complète de la variation journalière.

M. le Professeur N. Oulianoff a bien voulu nous confier l'exécution de ce travail; nous l'en remercions bien vivement, ainsi que M. Lorétan qui nous a relayé durant ces mesures fastidieuses, nous permettant de les exécuter sans fatigue excessive et sans perte de temps.

L'appareil a été placé dans les sous-sols du Palais de Rumine, dans la salle des rayons X, sur une tablette de marbre reposant sur deux appuis scellés dans le mur. Il était ainsi à environ 2 mètres au-dessus des fondations du bâtiment, le plus possible à l'abri des trépidations qui rendent les lectures plus difficiles et moins précises. La température du local a été maintenue entre 17° et 19° , ce qui a permis d'éviter les erreurs dues aux variations de température, erreurs qui se seraient manifestées essentiellement par le dérèglement des niveaux.

La figure 1 montre une courbe répondant à ce que l'on s'attend à trouver dans une étude de ce genre: une variation sinusoïdale d'une période d'environ 12 heures, avec les deux marées journalières. Nous avons marqué au bas de la figure les points isolés représentant les observations (*a*), puis au-dessus une droite (*b*) indiquant la dérive normale de l'appareil, due à la fatigue des ressorts, dérive dont M. N. OULIANOFF (1951) a parlé dans sa récente communication. Lors de la pleine lune du 23.3.1951, cette dérive fut de 0,60 mgal par 24 heures.

La courbe pointillée *c* a été obtenue par simple différence des valeurs *a* et *b* pour chaque heure d'observation. La courbe *d* représente la variation théorique de la pesanteur, calculée d'après les tables récentes de DAMREL (1951). Ces tables adoptent 1,20 comme rapport de transformation entre la valeur théorique calculée et la valeur observée. C'est-à-dire qu'une variation d'intensité du champ gravifique de 6 est attribuée pour 5 à l'action directe des astres et pour 1 à la déformation de l'écorce terrestre. La bonne concordance de nos courbes observées *c* avec les courbes calculées *d* nous autorise provisoirement à appliquer ce même coefficient pour interpréter nos courbes. Nous avons tracé sur nos graphiques des droites parallèles distantes de 0,1 mgal, dont $\frac{1}{6}$ représenterait donc la variation de déformation et $\frac{5}{6}$ la variation théorique. Comme 0,1 mgal correspond à peu près à 50 cm de variation d'altitude, nous pouvons dire que cette équidistance de 0,1 mgal correspond à 8 cm de variation de déformation de l'écorce terrestre. La limite de précision des mesures et de l'étalonnage du gravimètre nous oblige à admettre une marge d'erreurs de 15 % dans cette estimation.

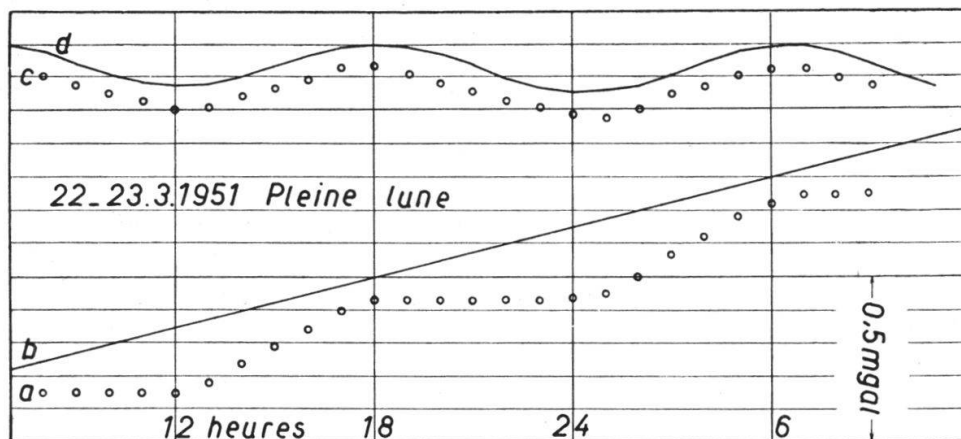


FIG. 1.

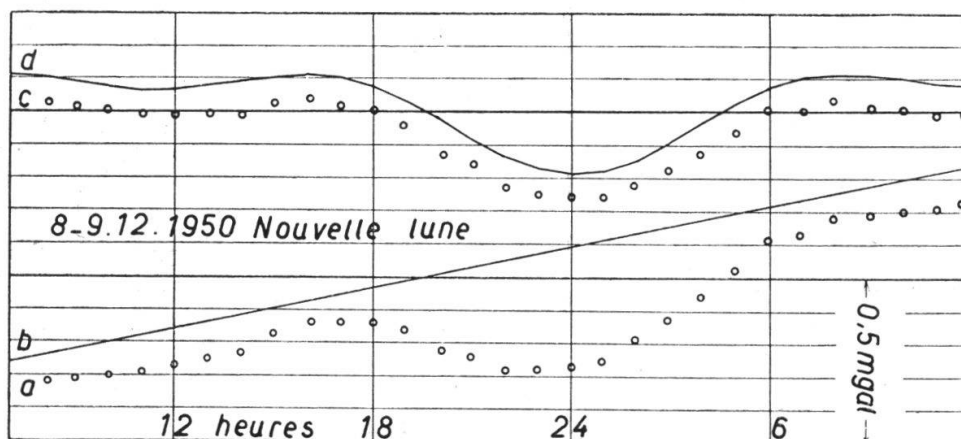


FIG. 2.

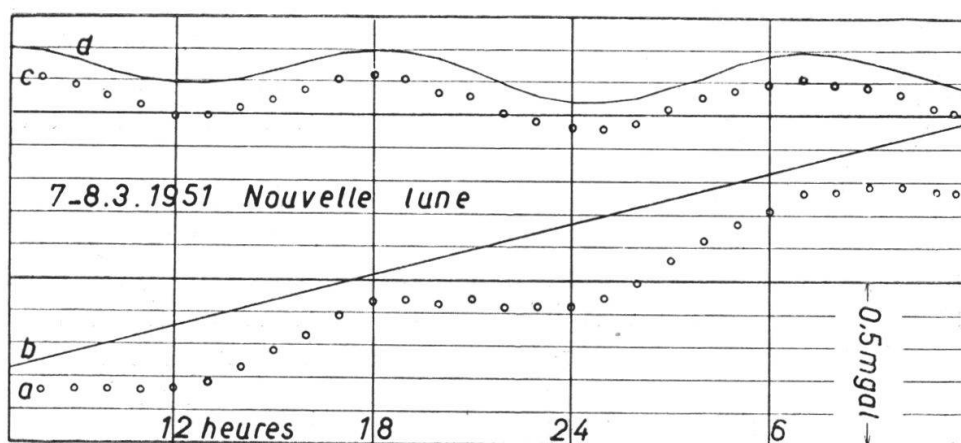


FIG. 3.

- a) résultats bruts des observations,
 b) dérive normale du gravimètre.

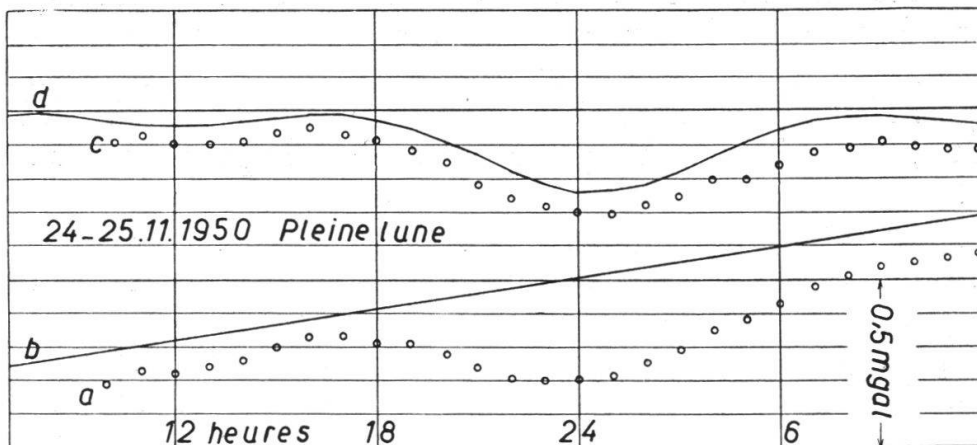


FIG. 4.

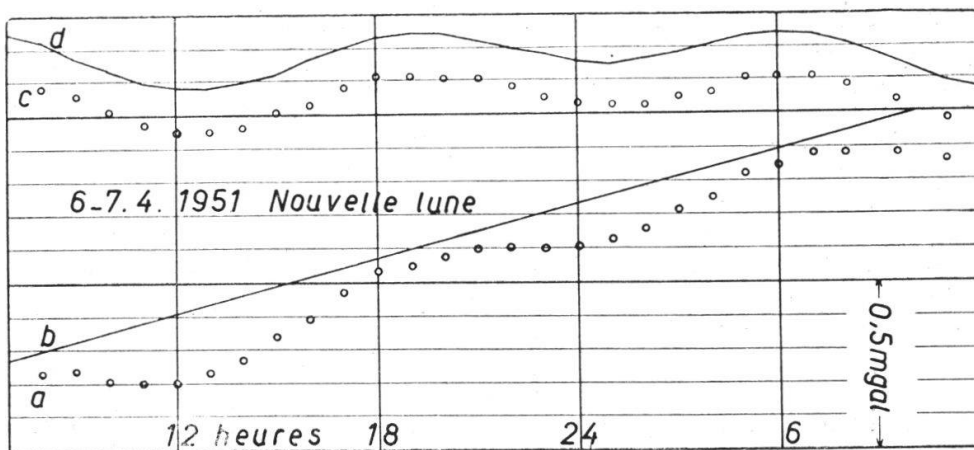


FIG. 5.

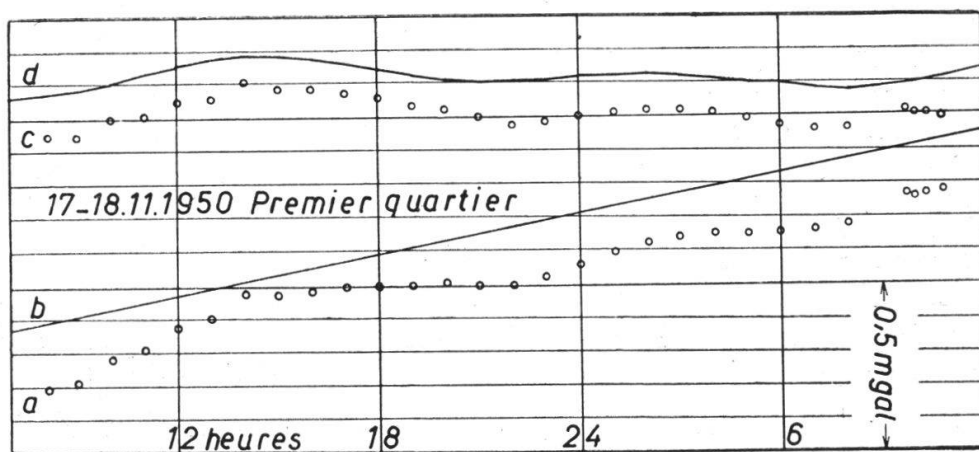


FIG. 6.

c et d : variations observées et calculées du champ gravifique et mouvement du sol. 0,1 mgal de variation correspond à un mouvement vertical de 8 cm.

Remarquons qu'une augmentation de la pesanteur correspond à une diminution d'altitude. Pour interpréter les courbes *c* et *d* en variation d'altitude, il faut lire celle-ci positivement de haut en bas. Nous trouvons ainsi 2 maxima de 10 à 12 cm, à midi et minuit, donc bien au passage des astres dans le plan méridien du lieu.

D'autres observations (nouvelles lunes des 6.4 et 7.3.1951, fig. 2 et 3) nous révèlent encore une variation sinusoïdale ayant une période apparente de 12 heures, mais dont les maxima ne sont plus égaux entre eux. On se rend compte qu'il y a plusieurs causes interférant pour produire le résultat observé. Enumérons d'abord celles dont tiennent compte les tables de DAMREL (1951), que nous avons utilisées pour l'établissement de nos courbes théoriques.

Les actions semi-diurnes du soleil et de la lune sont connues de tous. LALLEMAND (1910) précise que leurs amplitudes varient en fonction du cosinus carré de la latitude du lieu d'observation et du cosinus carré de la déclinaison de l'astre perturbateur.

Les variations journalières sont en fait des termes correctifs des premières actions, introduisant la dissymétrie des deux vagues de la marée par rapport à l'axe de rotation terrestre, dissymétrie existant du fait de la déclinaison de l'astre. En effet, si celui-ci a une déclinaison nord, la vague de marée qui le suit aura son amplitude maximale dans l'hémisphère nord, dont elle fera le tour en 24 heures. L'autre vague de la marée, opposée à l'astre, aura son maximum dans l'hémisphère sud, et les stations de l'hémisphère nord n'en sentiront que l'action affaiblie. L'amplitude de ce terme correctif journalier dépend des doubles sinus de la déclinaison de l'astre et de la latitude du point d'observation.

Le 6.4.1951, la lune avait une déclinaison nord de 10° , et le soleil de 6° . Il y a accord des deux astres pour renforcer le maximum de midi, qui atteint 13 cm et pour diminuer celui de minuit, qui n'est plus que de 8 cm.

Le 7.3.1951, la lune était de 4° au sud de l'équateur, et le soleil de 5° . Ces faibles déclinaisons suffisent déjà pour atténuer le maximum de midi, et augmenter celui de minuit.

Les tables de DAMREL tiennent encore compte de la variation de distance de la terre à la lune, variation que l'on peut apprécier par celle du diamètre apparent de l'astre, et qui influence d'une façon sensible l'action lunaire.

Les variations de la distance terre-soleil sont plus faibles; elles modifient l'action du soleil, qui est plus petite que l'action

lunaire, si bien qu'elles sont négligeables par rapport à la précision de nos mesures. Il existe encore des termes dépendant des mois lunaires et des années solaires, mais ce sont des variations lentes, qui n'entrent pas dans le cadre d'une étude comme celle-ci. Signalons cependant que ces actions à longues périodes peuvent être invoquées pour expliquer les différences de la dérive de notre appareil entre les divers jours d'observations.

Cet effet semble avoir été très marqué les 24 et 25.11.1950 (fig. 4) où la dérive n'atteignait que 0,36 mgal par 24 h. (droite b), alors que dans tous les autres cas, elle était voisine de 0,60 mgal. Ces jours-là, le soleil avait une déclinaison sud de 20° , ce qui pour notre latitude favorise l'onde de la marée nocturne, et la lune une déclinaison nord de 26° , ce qui augmente aussi l'onde nocturne puisque nous sommes en période de pleine lune. Les déclinaisons étant plus fortes que dans les premiers cas, nous obtenons un minimum gravifique plus marqué, qui correspond à un maximum de dénivellation d'environ 17 cm.

La figure 5 (nouvelle lune du 9.12.1950) nous montre la courbe la plus dissymétrique, accusant la plus grande variation que nous ayons trouvée. Précisons que le soleil et la lune étaient tous deux fort près de leurs déclinaisons maximales, tous deux au sud. Cela explique que l'on ait eu en fait une onde nocturne unique. De plus, la distance de la terre à la lune était minimale : nous pouvons donc dire que la variation observée atteignant 0,3 mgal est très proche du maximum possible à notre latitude. Nous avons subi cette nuit-là une oscillation de 24 cm entre 16 heures, minuit et 10 heures le lendemain matin.

Remarquons que les cinq cas présentés jusqu'ici correspondent à des périodes de syzygie, où les actions du soleil et de la lune sont en phase, et remarquons aussi que les déclinaisons presque nulles dans le premier cas, se sont trouvées en accord dans les autres cas pour augmenter un des maxima au détriment de l'autre. Ce sont donc des cas très particuliers, des courbes simples, faciles à interpréter.

La figure 6 (premier quartier des 17 et 18.11.1950) nous montre un cas plus général, puisque le soleil et la lune, approximativement en quadrature, exercent leurs actions à des heures différentes. Il s'ensuit une absence de maximum net, et des variations plus faibles, n'indiquant qu'un mouvement journalier de 6 à 8 cm.

WYCKOFF (1936) a constaté un déphasage d'environ 1 heure entre la courbe calculée et la courbe observée. Il interprète cette

différence par l'action de la déformation terrestre à laquelle il attribue un retard de 4 heures sur la variation théorique. D'après lui, ce déphasage permettrait d'apprécier la plasticité de l'écorce terrestre dans la région d'observation.

TIERCY (1950) souligne l'intérêt théorique d'un tel déphasage, qui permettrait d'expliquer le ralentissement séculaire de la rotation de la terre, ralentissement trop grand pour pouvoir être provoqué par le seul frottement des marées océaniques. Mais plusieurs auteurs mettent en doute l'existence d'un tel déphasage (BOLLO, 1949/2 et 1950; TOMASCHECK, 1933).

Un seul autre auteur (WOLF, 1940) mentionne l'observation d'un déphasage appréciable, variant de 0 à 40 minutes. Nos observations ne montrent pas de déphasage sensible, mais nous sommes conscients du fait que ce problème touche à la limite de précision de nos mesures et qu'il faudrait, pour s'y attaquer avec succès, une documentation plus abondante que la nôtre, en particulier des séries d'observations plus longues, avec des observations plus fréquentes. WOLF observa pendant six jours consécutifs toutes les dix minutes, ce qui donne un certain poids à ses observations. Nos observations, espacées d'heure en heure, se prêtent plus difficilement à une analyse de ce genre, car les extrema de nos courbes de variations sont moins bien définis.

L'intérêt de nos mesures réside donc essentiellement dans la vérification qu'elles permettent du rapport entre l'amplitude théorique et la variation totale du champ gravifique. Car ce rapport de 1,2, adopté comme valeur moyenne par de nombreux auteurs (WOLF, 1941; LEJAY, 1949), semble être variable suivant les stations. BOLLO (1949/1) rend compte de mesures effectuées en divers lieux, en particulier dans le Bassin de Paris et sur les socles granitiques anciens. Il trouve alors pour rapport entre les variations théoriques et les variations observées des valeurs voisines de 1,15 dans le premier cas, et de 1,30 dans le second. Il y discerne une influence de la structure géologique du sous-sol des stations. Ce même auteur (BOLLO, 1949/2) propose le coefficient de 1,47 pour l'ensemble du globe.

En plus des variations de la pesanteur déjà citées, il existe certainement des perturbations accidentelles et irrégulières, dépendant en particulier des conditions météorologiques (EBLÉ, 1950). Ce sont en général des variations de faible intensité, mais qui viennent néanmoins influencer les mesures, rendant plus difficiles des comparaisons de mesures faites à des époques diverses. Pour les régions côtières, NISHIMURA (1950) insiste sur l'influence des marées océaniques, qui agissent soit en surchargeant les plates-formes continentales, soit par attraction directe.

L'Association Internationale de Géodésie, réunie en Assemblée générale à Oslo en 1948, a constaté que les variations diurnes de la pesanteur influençaient les nivellements de précision (RUNE, 1950; SIMONSEN, 1950). Elle a émis le vœu que des études soient entreprises pour déterminer les corrections à appliquer dans chaque cas.

Ces faits montrent que les études doivent être poursuivies, et qu'il est avantageux de coordonner les mesures, de les effectuer simultanément dans le plus grand nombre possible de stations du globe. Cela simplifie les calculs théoriques et rend la comparaison des résultats plus probante. Nous savons que de telles mesures ont déjà été effectuées par des Compagnies pétrolières, (LEJAY, 1949; HOSKINSON, 1951), et nous espérons pouvoir être associés à de prochaines mesures d'ensemble.

LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

- BIGOURDAN, G. (1917). — Un astronome-jardinier du XVII^e siècle : Elzéar Féronce. Calignon de Peyrins et la réciproca-tion du pendule. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 165, 84-88.
- BOLLO, R. et GOUGENHEIM, A. (1949/1). — Sur la variation périodique de la gravité en un lieu. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 229, 983-984.
- et GOUGENHEIM, A. (1949/2). — Variation périodique de la gravité en un lieu. *Ann. Géophys. Fr.*, 5, 176-180.
- et GOUGENHEIM, A. (1950). — Au sujet de la variation périodique de la gravité. *Ann. Géophys.*, 6, 133-135.
- DAMREL, J.-B., JR. (1951). — Tidal Gravity Effect Tables. *Houston Technical Laboratories*.
- DARWIN, G.-H. et H. (1881). — On an instrument for detecting and measuring small changes in the direction of the force of gravity. *Brit. Assoc. for Advancement of Sci.* 1881, 93-126.
- ÉBLÉ, L. (1950). — Sur les variations de la verticale. *Ann. Géophys.* 6, 128-129.
- HOSKINSON, A. (1951). — Harmonic analysis of Gravity observations. *Trans. Amer. Geoph. Union*, 32, 163-165.
- LALLEMAND, CH. (1909). — Mouvements et déformations de la croûte terrestre. *Annuaire des longitudes*, Paris, B. 1-57.
- (1910). — Les marées de l'écorce et l'élasticité du globe terrestre. *Annuaire des longitudes*, Paris, B. 1-90.
- LAMBERT, W.-D. (1933). — Rapport sur les marées de l'écorce terrestre. *Trav. Ass. Géod. U.G.G.J.*, 5^e Ass. Gén., Lisbonne, 17-27 sept. 1933.
- LAMBERT, W.-D. (1949). — Report on earth tides, 1939-1947. *Bull. géod. Fr. No 14*, 383-401.

- LEJAY, P. (1949). — Comptes rendus des séances de travail de la section de gravité de l'association internationale de géodésie. *Bull. géod. Fr.*, N° 12, 121-142.
- MERCANTON, P.-L. (1948). — Les marées du Léman. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.*, 64, 73-75.
- (1949). — Encore les marées du Léman. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.*, 64, 295-296.
- NISHIMURA, E. (1950). — On earth tides. *Trans. Amer. Geoph. Union* 31, 357-376.
- OULIANOFF, N. (1951). — Gravimètre et structures géologiques. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.* 65, 49-61.
- VON REBEUR-PASCHWITZ (1894). — Horizontalpendel-Beobachtungen auf Kaiserlichen Universitäts-Sternwarte zur Strassburg, 1892-1894. *Beiträge z. Geoph.*, Bd II, 211-536.
- REFORD, M.-S. (1951). — Tidal Variations of Gravity. *Trans. Amer. Geophys. Union* 32, 151-156.
- RUNE, G.-A. (1950). — Report on Levelling and Moon-Sun diurnal oscillation of the Vertical. *Bull. géod. U. G. G. J.*, N° 18, 448-449.
- SCHWEYDAR (1914). — Beobachtungen der Änderung der Intensität der Schwerkraft durch den Mond. *Königlich-Preuss. Akad. d. Wissensch.*, 454-465.
- SIMONSEN, O. (1950). — Report on the astronomical diurnal correction in the new danish precise level Network. *Bull. géod. U. G. G. J.*, N° 18, 450-451.
- TIERCY, G. (1950). — Gravitation, déformations, marées et mesure du temps. *La Suisse horlogère*, 65^e année, N° 3, 29-31.
- TOMASCHEK, R., und SCHAFFERNICHT, W. (1933). — Über die Messung der zeitlichen Schwankungen der Schwerebeschleunigung mit Gravimetern. *Zeitsch. f. Geoph.* Bd 9, 125-136.
- WOLF, A. (1940). — Tidal Force observations. *Geophysics*, 5, 317-320.
- (1941). — Tidal Gravity observations. *Geophysics*, 6, 81-83.
- WYCKOFF, R.-D. (1936). — Study of earth tides by gravitational measurements. *Trans. Amer. Geoph. U.* Part I, 1936, 46-52.
-