

M A R E E S    T E R R E S T R E S

---

B U L L E T I N   d '    I N F O R M A T I O N S

---

N° 8

5 octobre 1957

C   S   A   G   I

---

GROUPE XIII (GRAVIMETRIE)  
COMMISSION POUR L'ETUDE DES MAREES TERRESTRES

---

Editeur :            Dr Paul MELCHIOR,  
                  Observatoire Royal de Belgique  
                  3, Avenue Circulaire  
                  U C C L E

Belgique.

XIe Assemblée Générale de l'U.G.G.I.

---

T O R O N T O 1957

---

Association Internationale de Géodésie

Paul J. M E L C H I O R.

RAPPORT SUR LES MAREES TERRESTRES

---

(Edition provisoire)

Observatoire Royal de Belgique  
3, Avenue Circulaire  
Uccle, Belgique.

---

## Avant-Propos.

Depuis 30 ans, le nom du Professeur W.D. LAMBERT a été étroitement associé à l'étude des marées terrestres et chacun a pu suivre le développement des recherches qu'a suscitées ce problème dans la remarquable suite de Rapports qu'il a présentés aux Assemblées Générales successives de l' U.G.G.I. , de Madrid en 1924 à Rome en 1954.

Ces rapports n'ont pas été seulement une mise au point honnête et clairvoyante des progrès de nos connaissances dans ce domaine passionnant, ils ont aussi été souvent la source d'investigations nouvelles suggérées par leur auteur.

Le nouveau rapporteur doit assurer la continuité de cette oeuvre au moment même où les recherches sur les marées terrestres prennent une ampleur exceptionnelle; il en éprouve d'autant plus la difficulté de la tâche qui lui incombe.

Il exprime au prof. LAMBERT toute sa reconnaissance pour les conseils reçus et, au nom de tant de géophysiciens et d'astronomes intéressés à ce problème, l'admiration qu'ils éprouvent pour sa longue et féconde activité.

### Notations en usage pour les Marées Terrestres.

---

Le développement des recherches tant expérimentales que théoriques dans le domaine des marées terrestres fait sentir avec plus d'acuité qu'auparavant la nécessité d'une unification des notations. Cette unification n'est en effet pas réalisée et ceci a donné lieu et donne encore lieu à des confusions regrettables. Etant donné les connexions multiples entre les phénomènes relevant des marées terrestres et les autres domaines de la Géophysique, les notations doivent être telles que ceux qui auront à les utiliser occasionnellement ne puissent se méprendre sur leur sens.

L'unanimité est faite sur les appellations d'effets directs ( marée terrestre proprement dite), effets indirects ( effets dus aux marées océaniques : attraction, flexion, variation de potentiel) et effets secondaires ( température, pression etc.... ) et l'on convient d'adopter la notation générale pour quelque phénomène de marée terrestre que ce soit :

$$cE + I + S$$

( E : Earth, I: Indirect, S : secondary) ; c étant le coefficient numérique propre à chaque type de phénomène, combinaison algébrique des nombres de Love.

L'une des confusions les plus fréquentes a pu provenir dans le passé de la permutation de sens entre les nombres de Love h et k qu'on a pu rencontrer dans certains travaux allemands anciens.

La définition des nombres de Love h et k doit être la suivante :

h : rapport de l'amplitude de la marée terrestre à l'amplitude de la marée statique océanique correspondante, à la surface de la Terre.

k : rapport du potentiel additionnel engendré par la déformation du Globe au potentiel déformateur, à la surface de la Terre.

Le problème qui nous paraît devoir être le plus difficile à trancher pour l'adoption de notations standard est celui de la désignation des combinaisons des nombres de Love pour lesquelles deux notations sont actuellement en présence:

$$1 + k - h = \gamma = D$$

$$1 + h - \frac{3}{2} k = \delta = G$$

Le premier système de notations ( $\gamma, \delta$ ) est de loin le plus répandu et le seul usité jusqu'il y a quelques années. Le second système ( $D, G$ ) a été proposé il y a quelques années par quelques spécialistes éminents qui y voyaient certains avantages mnémotechniques. Toutefois cette modification n'a pas été suivie en général. Le Rapporteur pense que des raisons purement mnémotechniques risquent d'être subjectives et qu'il n'est pas souhaitable de faire naître de nouvelles confusions en modifiant les notations en usage depuis cinquante ans. Ayant reçu à cet égard l'appui des participants au Colloque sur les marées terrestres tenu récemment à Uccle, il propose de maintenir les notations consacrées par l'usage :

$$\gamma = 1 + k - h$$

$$\delta = 1 + h - \frac{3}{2} k$$

et d'adopter par similitude

$$\Lambda = 1 + k - \rho$$

#### DEVIATIONS DE LA VERTICALE.

$$\text{FACTEUR } \gamma = 1 + k - h$$

1. L'année 1957 a été marquée par la publication d'un très important travail consacré par le Dr. PICHA à l'analyse et à la discussion des enregistrements réalisés par le prof. CECHURA dans la mine de Brézové Hory (Pribram), à l'aide d'une paire de pendules à suspension Zöllner (copie de ceux de Schweydar). La profondeur était de 1.000 mètres et la position géographique :  $\phi = 49^{\circ}40',7$   $\lambda = 13^{\circ}59',9$ ; les observations couvraient l'intervalle 1933 - nov.1940.

Des rapports antérieurs (Prague 1927, Edimbourg 1936, Washington 1939) ont mentionné l'existence de cette station et l'on savait déjà qu'un comportement en quelque sorte anormal y avait été décelé. On attendait donc avec d'autant plus d'intérêt la publication d'une discussion complète de cette longue série d'observations.

Les événements dont le pays fut témoin causèrent hélas la perte d'une partie des enregistrements (1933 à 1935). Une publication du Dr. PETR (3) a fourni d'abord un résultat partiel obtenu par l'analyse harmonique des enregistrements de 1936 à 1937. Les valeurs obtenues pour  $\gamma$  étaient très satisfaisantes (valeur moyenne  $\gamma = 0,725$ ).

Le travail du Dr. PICHA (4) porte sur tout l'ensemble des mesures exécutées de 1936 à 1939 et nous reproduisons ci-contre ses résultats obtenus par les méthodes

d'analyse harmonique de Børgen et de Darwin. Les azimuts des pendules étaient de  $145^\circ$  et  $55^\circ$  mais les données de la table reproduite ici sont converties aux orientations classiques du méridien et du parallèle.

Si l'on fait abstraction des valeurs nettement anormales de  $\gamma$  obtenues pour les ondes  $K_2$ ,  $K_1$ ,  $O$  et  $P$  dans le méridien et  $K_2$  dans le premier vertical, la valeur moyenne brute de  $\gamma$  serait

$$\gamma = 0,701$$

valeur satisfaisante mais qui n'est pas a priori indépendante des effets indirects (cf. § 5).

Table I.

Méthode de Børgen avec Corrections

	$\alpha$	<u>90° (E.W.)</u>	$\gamma$	$\alpha$	<u>180° (N.S.)</u>
		$\gamma$			$\gamma$
$M_2$	+ 5;73	0,728		- 0;73	0,698
$S_2$	+ 2;52	0,615		- 4;52	0,694
$N$	+16;78	0,714		+ 0;44	0,855
$K_2$	+25;77	0,492		+12;72	0,960
$K_1$	-13;09	0,679		-12;09	1,424
$O$	- 8;43	0,706		+20;79	1,579
$P$	-15;44	0,677		+44;72	2,560

Méthode de Darwin.

	$\alpha$	<u>90° (E.W.)</u>	$\gamma$	$\alpha$	<u>180° (N.S.)</u>
		$\gamma$			$\gamma$
$M_2$	+ 3;68	0,756		+ 3;59	0,551
$S_2$	+ 5;25	0,615		- 3;68	0,680
$N$	+14;37	0,829		+13;67	0,750
$K_2$	+ 7;59	0,469		+22;66	1,000
$K_1$	-11;43	0,684		-15;69	1,444
$O$	-22;27	0,676		- 6;86	2,037
$P$	-12;16	0,617		+50;25	2,900

L'étude des dérives faite par le Dr. PICHA est particulièrement instructive (2): elles ont été décomposées en termes annuel (extrémés en automne et printemps), semi-annuel et séculaire. Cette dernière composante peut être attribuée à la présence d'une faille importante dans le proche voisinage des appareils. La période annuelle n'a sans doute pas un caractère local et il y aura par conséquent intérêt à comparer les caractéristiques de cette composante en différents endroits du globe.

2.- Melle A.K. IVANOVA (5) a effectué l'analyse harmonique des enregistrements obtenus à l'Observatoire Astronomique Engelhardt KASAN, ( $\phi = 55^\circ 50'20''$ ,  $\lambda = 46^\circ 28'37''$  E) du 14-11-1952 au 25-3-1953, à l'aide de pendules horizontaux du type Repsold-Levitskogo. L'onde  $M_2$  a donné en conclusion:

composante Nord-Sud  $\gamma = 0,76$   $\mathcal{K} = + 7^{\circ}6$   
 composante Est-Ouest  $\gamma = 0,66$   $\mathcal{K} = + 4^{\circ}0$

3. Le prof. TOMASCHEK a publié (6) le résultat d'observations faites aux pendules horizontaux à Winsford. Dans l'esprit de l'auteur celles-ci ne devraient en principe pas être dissociées des mesures de variations de  $g$  faites simultanément car l'étude du phénomène dans ses trois composantes forme un tout inséparable au point de vue de l'interprétation et l'on saura gré à l'auteur d'avoir mis l'accent sur ce point (cf. fig 3 de ce travail). Ceci attire l'attention sur ce que les stations permanentes que l'on s'efforce maintenant de constituer devront être complètes c'est à dire équipées au moins de deux pendules horizontaux et d'un gravimètre, afin d'obtenir la représentation complète du phénomène (selon les possibilités on y joindra des extensomètres qui nous révèlent un autre aspect du phénomène).

La série d'observations effectuées à Winsford est d'ailleurs trop brève que pour fournir une valeur numérique de  $\gamma$ . Nous reviendrons donc sur ce travail dans l'étude des variations de  $g$  (cf. § 13)

4. Une détermination du facteur  $\gamma$ , a été obtenue par le Dr. MELCHIOR à partir d'un mois d'enregistrements continus du niveau du Lac Tanganika (7) réalisés à l'aide d'un micromarégraphe à l'occasion de travaux hydrobiologiques. Il a obtenu pour l'onde  $M_2$

$$\gamma = 0,56 \quad \text{phase } \mathcal{K} = 9^{\circ}$$

l'imprécision de la détermination de l'amplification de l'appareil utilisé est de l'ordre de 10 % si bien que la valeur conclue n'est pas vraiment significative; l'auteur n'a eu d'ailleurs d'autre but que de souligner l'intérêt de telles mesures. (3)

5. Le Dr. MELCHIOR a discuté la méthode de Corkan (8) et montré que son application est plus délicate pour une station continentale que pour une station côtière où l'on peut déjà préjuger de la phase approximative des effets indirects. Il montre que le nombre de solutions offertes par la méthode est assez variable car les courbes représentatives  $\gamma = f(I)$  de chaque onde ( $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$ ) sont des hyperboles à axes transverses parallèles.

D'autre part, il faudrait connaître à priori le rôle exact tenu par chaque région océanique dans les effets indirects agissant à la station considérée afin de pondérer correctement les valeurs observées pour ces rapports dans ces océans; ainsi les rapports admis pour la composante Nord Sud et pour la composante Est Ouest seront en général différents.

Finalement MELCHIOR a obtenu:

pour Freiberg. i.S.	$\gamma = 0,704$	( p = 4)
Brézové Hory	$\gamma = 0,709$	( p = 9)
Bidston	$\gamma = 0,703$	( p = 8)

valeurs très concordantes et en meilleur accord avec les résultats des mesures faites au Japon que la valeur 0,725 précédemment admise.

La valeur la plus probable de  $\gamma$  serait donc actuellement:

$$\gamma = 0,706$$

6. Appliquant la méthode d'une manière absolument identique aux observations de Freiberg et de Brézové Hory, MELCHIOR montre que les effets indirects y sont très divergents nonobstant la situation voisine des deux stations (dist.: 145 Km): les ellipses représentatives de l'onde  $M_2$  des effets indirects ont leurs grands axes perpendiculaires et le sens de révolution du pied de la verticale est inversé.

Le prof. TOMASCHEK avait déjà relevé précédemment (9) une divergence analogue entre les stations très voisines de Freiberg et de Pillnitz (dist.: 40 Km) en déduisant les effets indirects par la différence entre l'effet observé et l'effet direct théorique, la valeur admise pour le coefficient étant 0,72.

On constate donc que Pillnitz et Brézové Hory ont un comportement absolument similaire. Ceci suggère évidemment une certaine indépendance de mouvements des diverses régions continentales constituant autant de blocs indépendants. Malheureusement une telle interprétation reste qualitative.

7. Le Dr. G. JOBERT a consacré plusieurs travaux à la discussion mathématique de la méthode de Boussinesq. Dans une première note (10) il étudie les déformations dues à des charges superficielles en introduisant un relief schématisé et une distribution des compressions et dépressions en bandes parallèles; il montre comment l'on pourrait calculer dans ce cas le déplacement en un point du milieu élastique.

Dans deux notes ultérieures (11) (12) il introduit l'hétérogénéité du milieu en admettant que la rigidité varie exponentiellement avec la profondeur et que le milieu occupant le demi-espace  $z \geq 0$ , est soumis à des pressions superficielles décrites à l'aide d'une seule coordonnée. Il obtient ainsi l'expression de l'inclinaison pour une distance donnée entre la charge et la station qui, en première approximation et au voisinage de la station est une loi linéaire comparable au résultat de l'étude empirique du prof. Nishimura.

Un travail théorique plus détaillé a été consacré par le Dr Jobert (13) au phénomène anormal relevé par le prof. Nishimura le long de la faille de Beppu. Il prend pour modèle une croûte constituée en deux blocs de propriétés élastiques différentes, limités par la même surface horizontale et en contact le long d'un demi-plan supposé vertical, ces deux blocs ayant des mouvements radiaux indépendants. Il montre qu'avec un tel schéma il est impossible de rendre compte du phénomène de Beppu car, si le fléchissement est considérablement modifié dans le voisinage de la faille, il a cependant toujours lieu vers la zone comprimée.

8. Mr. G.W. LENNON (2) a analysé les dérives des pendules horizontaux installés à Bidston et a relevé des variations saisonnières confirmant les résultats du prof. Tomaschek notamment en ce qui concerne les perturbations principales de fin octobre.

Les effets indirects obtenus en soustrayant de l'effet observé l'effet théorique affecté du coefficient 0,7 montrent une dépendance tectonique plutôt qu'un effet purement élastique.

Les effets saisonniers combinés à la dérive et qui ont été ainsi observés à Winsford, Bidston, Brézové Hory etc... peuvent être brièvement résumés par ces quelques lignes écrites par le prof. Tomaschek (9): " Des observations continues couvrant plusieurs années montrent qu'il existe une période de grande stabilité des couches supérieures du globe s'étendant d'avril à fin octobre approximativement. Par un changement plutôt brusque, un tout autre type d'oscillations fortes et variables dont la période

est de quelques jours, commence alors, montrant une forte activité dans la croûte terrestre.

La régularité de cet effet n'est en corrélation avec aucune variation de température de la mine ni avec des perturbations météorologiques ou des micro-séisme.... Bien que l'effet soit plutôt local, il semble en relation avec un réajustement général de la croûte terrestre causé par le changement de saison..."

9. La campagne de mesures qui sera entreprise au cours de l'Année Géophysique a nécessité la construction de pendules horizontaux. Des appareils spécialement conçus pour ces recherches sont en construction à Munich ( Deutsches Geodätisches Forschungs-Institut) selon les plans de Tomaschek et Ellenberger (2). La parution d'un manuel rédigé par le prof. TOMASCHEK concernant l'emploi des pendules horizontaux en général est annoncée (2). Le Dr. ELLENBERGER a décrit les conditions optima d'installation de ces appareils (14).

D'autre part, Mr. G.W. LENNON a décrit les modifications susceptibles de rendre un sismographe Milne-Shaw ( suspension à un fil et une pointe) apte à l'enregistrement des marées terrestres(15). Un appareil de ce type fonctionne depuis plusieurs années à Bidston.

### II. Déviations de la verticale par rapport à l'Axe du Monde.

$$\text{FACTEUR } \Lambda = 1 + k - \ell$$

10. Les astronomes russes ont repris la discussion des séries d'observations de latitude effectuées au Service International des Latitudes et dans les stations indépendantes russes. Leurs résultats sont résumés dans la table II ci-dessous :

Table II

<u>Auteur</u>	<u>Station</u>	<u>Observations de</u>	<u>Amplitude M2</u>	<u><math>\Lambda</math></u>	<u>Phase</u>
EVTUSHENKO	Carloforte	(16) 1922-34	0"0110	1,42	+12°
"	Mizusawa	(17) 1900-34	0"0050	0,64	-55°
"	Ukiah	(18) 1912-22	0"0090	1,17	+13°
FEDOROV & EVTUSHENKO	Carloforte	(19) 1900-34	0"0090	1,17	-14°
	Ukiah	1900-34	0"0070	0,91	- 1°
PHILIPPOV	Poltava	(20) 1948.8-1954.8	0"0097	1,25	- 1°
ORLOV	Poulkovo	(21)	0"0080	1,05	

Les observations des stations du Service International : Carloforte, Mizusawa et Ukiah ont été faites avec les télescopes zénithaux de Wanshaff et d'Askania, celles de Poltava à l'aide de deux télescopes zénithaux de Bamberg et de Zeiss. On peut considérer les résultats ci-dessus comme très encourageants étant donné l'extrême délicatesse du phénomène à mettre en évidence.

### III. Variation de l'intensité de la pesanteur.

$$\text{Facteur } \delta = 1 + h - \frac{3}{2} k$$

11. Au cours des dernières années les recherches ont été très développées dans cette voie par suite de leur répercussion en prospection gravimétrique. On sait en effet que l'amplitude de la variation luni-solaire de la gravité (0,2 mgal) est

souvent de l'ordre de grandeur des anomalies que l'on cherche à déceler.

De par la nature des instruments, les observations de déviations de la verticale portent toujours sur de longs intervalles de temps ( plus d'un an au moins). Il n'en va pas de même pour les gravimètres qui, souvent appelés à d'autres tâches, n'ont parfois été utilisés à l'observation des marées terrestres que pendant quelques jours.

Il n'est pas possible de discuter ici en détails tous les travaux accomplis et nous nous bornerons à énumérer simplement dans la table II les mesures occasionnelles ( moins de 29 jours) pour lesquelles l'analyse harmonique n'a évidemment pu être faite: les valeurs de  $\delta$  conclues par les auteurs sont alors déduites en calculant par moindres carrés le rapport des amplitudes observées aux amplitudes théoriques calculées. Cette méthode est aléatoire car elle ne tient pas compte de l'effet du déphasage éventuel de l'observation par rapport à la théorie statique. J. Metzger s'est préoccupé de cette question (28) et a montré que l'erreur qui en résulte peut atteindre plus de 10 %.

En outre elle implique une élimination correcte de la dérive. Pour la réaliser Metzger propose une méthode simple consistant à joindre les points de marée théorique nulle; cette méthode a été proposée et appliquée indépendamment par Lassovsky (23) et discutée par A. Gougenheim (29). On peut estimer que les séries d'observations trop courtes ne paraissent plus devoir nous apprendre quoi que ce soit et que seules les séries d'un mois justifieront dans l'avenir l'intérêt du géophysicien.

Nous nous attacherons donc plus particulièrement à la discussion des observations qui portent sur une période assez longue, ont été soumises à l'analyse harmonique et répondent aux critères établis par la Commission des Marées Terrestres du CSAGI [1]

12. Le prof. LECOLAZET a réalisé à Strasbourg huit mois d'observations continues des variations de  $g$  ( octobre 1954 à mars 1955 et mars à mai 1956 ) en utilisant un gravimètre North American équipé d'un enregistreur photographique construit par l'auteur (31).

L'appareil a été étalonné avec soin, et les coefficients de pression et de température ont été déterminés avec précision (2). L'auteur dissocie avec pertinence l'effet de la pression sur le gravimètre, effet à éliminer, de l'effet de la pression sur le sol, donnée intéressante du point de vue géophysique et qu'il ne faut donc pas écarter. Pour y parvenir le comportement du gravimètre a été étudié dans un caisson où l'on fait varier la pression.

L'analyse harmonique a été exécutée par une méthode mise au point par le prof. Lecolazet et dont la théorie repose sur les combinaisons de Labrouste (33). La caractéristique particulière de cette méthode est qu'elle réalise l'élimination d'une dérive parabolique sur chaque intervalle de 36 heures.

On constate aussitôt, que ces résultats ne sont pas conformes aux prévisions théoriques de Jeffreys quant aux anomalies de  $\delta$  pour les ondes diurnes ( voir plus loin).

13. Les mesures de TOMASCHEK à Winsford (  $\phi = 53^{\circ}12'N$ ,  $L = 2^{\circ}30'W$ , prof. 143m) (6) ne constituent pas une étude de  $\gamma$  ou  $\delta$  car elles ont été limitées à huit jours ( du 16 au 24 avril) . Leur but primordial est de décrire l'aspect complet de la déformation.

TABLE III

Point	Auteur	Gravimètre	Durée des observations	S	conclu	Réf.
Allemagne	Berlin	Schulze	6 j.	1,27		(22)
Hongrie	Keszthely	Lassovsky &	37 h.	1,14		(23)
		Oszlaczky				
	Pecs		34 h.	1,34		(23)
	Budapest		7 séries de 30 h. environ	1,193		(25)
	Budapest	Lassovsky	36 j.	1,197		(25)
		Heiland 66	36 j.	1,203		
Madagascar	Tananarive	Cattala	4 séries de 36 h.	1,141		(26)
Indochine	Saigon	Stahl	61 h.	1,23		(27)
		Western 42				

-9-

Table IV .

Résultats de l'analyse globale  
Lieu d'observation : Strasbourg ( $\Phi = 48^{\circ}35'N$ ;  $\lambda = 7^{\circ}46' E$ ).  
Heure origine : 6 h. T.U. le 5 janvier 1955.

	Rapport d'amplitude $\delta$	Avance de phase degrés
$K_1$	$1,204 \pm 0,006$	$-1,48 \pm 0,27$
$O_1$	$1,178 \pm 0,006$	$-1,59 \pm 0,27$
$P_1$	$1,150 \pm 0,017$	$0,9 \pm 0,9$
$Q_1$	$1,20 \pm 0,03$	$-2,4 \pm 1,5$
$M_1$	$1,16 \pm 0,13$	$4,0 \pm 6,5$
$J_1$	$1,16 \pm 0,09$	$7,8 \pm 4,3$
$S_1$	$1,6 \pm 0,2$	$-22 \pm 8$
$M_2$	$1,211 \pm 0,005$	$0,16 \pm 0,21$
$S_2$	$1,217 \pm 0,013$	$-2,95 \pm 0,61$
$K_2$	$1,27 \pm 0,05$	$-2,9 \pm 2,2$
$N_2$	$1,21 \pm 0,02$	$1,9 \pm 1,0$
$L_2$	$1,4 \pm 0,2$	$1 \pm 6$
$2N_2$	$1,3 \pm 0,2$	$1 \pm 7$

Table V.

Baltasound (Shetlands,  $\Phi = 60^{\circ}45'45''$   
 $= 0^{\circ}51'10'' W$ )

M2	$1,20 \pm 0,03$	$0^{\circ}0 \pm 2^{\circ}$	K1	$1,21 \pm 0,01$	$+ 3,1 \pm 2^{\circ}$
S2	$1,26 \pm 0,07$	$-6^{\circ}0 \pm 5^{\circ}$	O1	$1,22 \pm 0,02$	$- 0^{\circ}6 \pm 2^{\circ}$

L'étude des effets indirects (obtenus en soustrayant des observations 1,2 E pour g et 0,72 E pour les déviations de la verticale) a été particulièrement poussée et l'auteur est parvenu à cette conclusion que les effets ne sont, pour la composante verticale que 2,4 % de ceux agissant dans les composantes horizontales et, fait important, que ce sont les zones océaniques distantes qui interviennent pour cette composante verticale: non pas la mer d'Irlande comme on aurait pu s'y attendre mais l'Atlantique central.

Des variations diurnes d'origine météorologique présumée ont été observées. Une partie de la dérivé est en relation avec les changements météorologiques lents; l'autre partie a un caractère diurne et est associée aux changements météorologiques diurnes.

14. Une étude de la marée gravimétrique a été également réalisée par le prof. TOMASCHEK dans l'île d'Unst ( Shetlands) à Baltasound ( $\phi = 60^{\circ}45'45''$   
 $\lambda = 0^{\circ}51'10''W$ ) (34) à l'aide du Gravimètre Frost 54 et en outre des gravimètres Frost 32 et Worden 189 ( ceux-ci donnant des résultats moins précis que le premier).

L'analyse harmonique des 29 jours d'enregistrements ( jour central 28 juin 1954) a été réalisée par la méthode du Tidal Institute qui a un grand pouvoir de résolution, et par la méthode courante de l'Amirauté, portant d'une part sur les heures d'autre part sur les heures et demies, portant encore sur des intervalles de 15 jours et de 29 jours. Ceci fournit tout un ensemble de résultats qui permettent de juger de leur précision interne et de la valeur propre de chaque méthode d'analyse. Les résultats sont repris à la Table V.

Les effets indirects  $M_2$  à Baltasound obtenus en analysant la différence entre la courbe observée et 1,2 fois la courbe théorique ne sont nullement en phase avec les marées autour de Unst et devraient par suite être attribués aux marées dans l'Atlantique. Tomaschek calcule l'effet de l'attraction et constate qu'il reste inférieur au microgal et peut être négligé actuellement. Par contre l'effet de dépression de la surface, dû à la charge des eaux, qui approche et éloigne alternativement le point d'observation du centre de la Terre est plus sensible. Mais alors qu'on devrait s'attendre à une augmentation de  $g$  à marée haute  $M_2$  ( abaissement du sol et rapprochement du centre de la Terre), c'est l'inverse qui est constaté et cela ne peut être interprété qu'en attribuant les effets indirects à l'Atlantique central plutôt qu'aux eaux voisines de Unst: la même constatation a été faite à Winsford. L'effet indirect  $M_2$  étant de 6 microgals, Tomaschek en déduit que le sol s'abaisse ( ou se relève) de 2 cm ( cf. free-air correction).

Attribuant cette amplitude aux marées de l'Atlantique Nord on peut tenter un calcul de la rigidité de l'écorce dans cette région et Tomaschek obtient par un calcul sommaire  $4,3 \cdot 10^{11}$  cgs valeur très satisfaisante ( le modèle adopté est constitué par deux disques circulaires différents représentant les masses d'eau.)

L'auteur remarque que l'onde S1 a, à Baltasound, exactement la même amplitude qu'à Winsford, soit 6 microgals. Cela semblerait indiquer d'après lui qu'il ne s'agit pas d'un effet thermique se manifestant malgré l'existence des thermostats mais que cette onde trouverait son origine dans des oscillations du bloc tectonique calédonien sous l'effet des fluctuations de la pression atmosphérique.

15. Le Dr. T. ICHINOHE a observé la marée gravimétrique à l'aide du gravimètre Worden n° 127 en trois points du Japon (35) :

	$\phi$	$\lambda$	durée	époque	$\delta (M_2)$
Kyoto	$35^{\circ}21'$	$135^{\circ}47'$	31 j.	1954	1,18
Chikubushima	$35^{\circ}25'$	$136^{\circ}9'$	32	1955	1,21
Shionomisaki	$33^{\circ}27'$	$135^{\circ}46'$	31	1955	1,21

Les valeurs conclues par  $M_2$  ont été obtenues par analyse harmonique effectuée après élimination des dérives (par moyennes glissantes sur 25 heures). En outre les effets indirects ont été éliminés en admettant, sur la base d'un travail théorique de Takeuchi, qu'ils sont égaux à 1,1 fois l'effet d'attraction seul.

16.- Une grande activité a été consacrée à la transformation de gravimètres de prospection en gravimètres destinés à l'observation précise des marées. Les transformations apportées concernent en général la thermostatisation, l'automatisme des enregistrements, l'élimination des dérives. Les détails techniques sortent du cadre de ce rapport et diffèrent d'ailleurs d'un appareil à l'autre. On se référera aux travaux de F. HAALCK (36) R. SCHULZE (22), B. STANUDIN (37), C. LEFEVRE (38) R. LECOLAZET (31), R. BREIN (39), H.N. CLARKSON et J.L.B. LA COSTE (40). Certains de ces appareils atteindraient une précision telle (peut-être supérieure au microgal) que leur mise en service au cours de l'AGI permet d'espérer que de grands progrès seront réalisés dans la connaissance des marées terrestres.

Notons encore la construction d'un nouveau gravimètre à suspension bifilaire double par le Dr. T. ICHINOHE (35). L'augmentation très considérable de sensibilité (facteur 100) y est réalisée en connectant l'extrémité du ressort à la masse par un second système bifilaire dont la constante de torsion se substitue à celle du ressort. Un appareil de ce type a été mis en service dans la mine de cuivre d'Ikuno; trois mois d'enregistrements analysés ont donné pour  $M_2$  :

$$\delta = 1,08 \quad \lambda = -34,97$$

#### IV. Tensions Elastiques, Dilatations cubiques.

17.- Le Dr. I. OZAWA a publié les premiers résultats détaillés obtenus à l'aide d'un ensemble de 13 extensomètres placés en trois stations et suivant diverses orientations et inclinaisons (41) (cf. Table VI).

Etudiant d'abord l'effet direct, l'auteur a développé les calculs de la tension selon ses six composantes, de la dilatation cubique et de la tension aréolaire horizontale ( $\Sigma = \epsilon_{\theta\theta} + \epsilon_{\phi\phi}$ ).

Pour tenir compte des effets indirects il a calculé les tensions correspondantes à partir des expressions des déplacements données par la solution de Boussinesq. Il montre que pour cette solution la tension aréolaire horizontale, la dilatation cubique et la tension radiale dues aux effets indirects sont nulles à la surface. Le calcul pratique des effets indirects a été effectué sur la carte cotidale à l'aide d'un gabarit transparent (la surface chargée étant découpée à l'aide de cercles concentriques centrés sur le point d'observation).

Un mois d'enregistrement de chaque appareil a été soumis à l'analyse harmonique. L'effet direct étant sensiblement le même aux trois stations, on a comparé les effets indirects observés aux effets calculés par les formules déduites de la solution de Boussinesq en prenant la différence des effets  $M_2$  observés pour chaque paire de stations. Une série de figures illustrent cette comparaison et mettent en évidence une anomalie de la station de Suhara par rapport aux deux autres qui sont en bon accord. Mais Suhara est au bord même de la mer.

Les effets directs ne sont étudiés que dans les combinaisons représentant à la surface :

$$\begin{array}{ll} \text{la tension radiale} & e_{rr} = \frac{1}{ag} \left\{ 4h + a \frac{dH(r)}{dr} \right\} W_2 \\ \text{la tension aréolaire} & \Sigma = \frac{2}{ag} (h - 3f) W_2 \\ \text{horizontale} & \\ \text{la dilatation cubique} & \Delta = \frac{1}{ag} \left\{ a \frac{dH(r)}{dr} + 6h - 6f \right\} W_2 \end{array}$$

qui sont affranchies d'effets indirects si l'on admet la solution de Boussinesq. Les résultats obtenus pour les diverses combinaisons de paramètres sont repris à la table V.

TABLE VI.

Stations	$\phi$	$\lambda$	$r$	distance à l'Océan	extensomètres.
Osakayama	34°59',6 N	135°51',5 E	-150 m	65 km	3 horizontaux
					2 verticaux
					2 obliques
Kishu	33°51',7 N	135°53',4 E	-100 m	15 km	3 horizontaux
Suhara	34°21',6 N	135°11',7 E	-30 m à -60 m	50 m à 90 m	3 horizontaux

  

	Tension aréolaire horizontale	Tension radiale	Dilatation cubique
Osakayama			
$M_2$	0,427	-0,246	0,604
$S_2$	0,572	-0,615	0,616
$K_1$	0,294	-0,371	0,221
$O_1$	0,511	-0,402	0,644
Kishu			
$M_2$	0,304	-	-
Suhara			
$M_2$	0,521	-	-

L'auteur en conclut la moyenne pondérée  
 $h - 3\ell = 0,434 + 0,026$   
 et des valeurs des fonctions  $F(\frac{r}{a})$ ,  $G(\frac{r}{a})$  et de leurs dérivées ( $\frac{r}{a} = r/a$ )  
 qui sont en fort bon accord avec les nombres calculés par voie théorique par  
 Takeuchi. Admettant que  $h = 0,600$ , Ozawa en déduit donc  $\ell = 0,055$

TABLE VII.- Marées dans les puits (43).

Ondes	Turnhout ( Belgique ) φ = + 51°19'		Kiabukwa ( Congo-Belge ) φ = - 7°47'	
	Phases	Amplitudes relatives cm : Observées : Théorie : statique	Phases	Amplitudes : A. relatives cm : Observées : Théorie : statique
Semi-diurnes				
M2	185°1	1,48 : - : -	183,7	7,53 : - : -
M2	176°6	0,24 : 0,154 : 0,194	170,8	1,49 : 0,198 : 0,194
I2	242°4	0,04 : 0,025 : 0,028	235,1	0,55 : 0,073 : 0,028
S2	209°3	0,68 : 0,455 : 0,460	182,6	3,95 : 0,524 : 0,465
Diurnes				
K1	161°6	1,41 : 0,952 : 1,460		
O1	151°2	1,20 : 0,810 : 1,037		
Q1	178°5	0,23 : 0,157 : 0,201		
J1	238°9	0,09 : 0,063 : 0,082		
001	179°5	0,08 : 0,057 : 0,044		

à Kiabukwa les faibles amplitudes des ondes diurnes ne sont pas significatives, faute de données sur la pression atmosphérique.

17.- Une série d'extensomètres ont été récemment installés par le prof. BENIOFF en Amérique du Nord et du Sud (42) et un graphique repris dans un exposé général du prof. Tomaschek montre les variations de tension d'une manière très frappante (45).

18.- On peut rattacher à ce même groupe de phénomènes liés à l'existence des marées terrestres les variations de niveau dans les puits que l'on attribue aux dilatations cubiques dans l'écorce.

Ces phénomènes ont souvent été décrits qualitativement. Le Dr. P. MELCHIOR a effectué (43) l'analyse harmonique par la méthode de Doodson de trois mois d'enregistrements du niveau d'une nappe artésienne rencontrée à 2.175 mètres lors du sondage de Turnhout ( Belgique). Dans le même travail il a repris l'analyse harmonique, par la même méthode, des trois mois d'enregistrements réalisés à la source de Kiabukwa ( Congo belge). Les résultats obtenus en ces deux cas extrêmes du point de vue de la théorie statique des marées ( puisque les ondes diurnes sont quasi nulles à Kiabukwa et quasi maxima à Turnhout) montrent que le phénomène obéit à cette théorie: rapports corrects d'amplitudes entre les diverses ondes semi-diurnes et opposition de phase pour toutes les ondes ( cf. Table VI). Les amplitudes relevées dans ces deux cas sont les plus fortes jamais signalées. Elles n'ont de sens cependant que pour autant que le diamètre du réservoir où elles ont été mesurées est cité. Encore que dans ce cas les valeurs absolues des variations de volumes ne puissent être d'aucun usage puisque l'on ne connaît pas le volume total en jeu.

Remarquons toutefois à ce propos que la manière dont joue l'effet de compressibilité reste peu claire car celui-ci, étant proportionnel à l'amplitude de la marée, devrait réduire systématiquement l'amplitude observée à 4 millimètres dans tous les cas où les mesures sont faites dans le tubage ( on le vérifiera aisément en adaptant des valeurs numériques adéquates à l'équ (2) de Blanchard et Byerly; Bull. Seism. Soc. America 25, pp.313- 321 ). Cette remarque n'est toutefois pas valable dans le cas de Kiabukwa où la source débitait dans un bassin où étaient faites les mesures.

L'intérêt principal de telles mesures est que les valeurs relatives des amplitudes des ondes diurnes et semi-diurnes (confrontées à celle de  $M_2$  par exemple), peuvent apporter des renseignements précieux au sujet de la théorie des effets dynamiques du noyau selon Jeffreys ( cf. § 23).

Melchior a montré que, d'une façon approchée, les observations de Turnhout paraissent confirmer les vues de Jeffreys ( l'onde  $K_1$  est la plus sensible dans ce cas ). Ces mesures de dilatations cubiques présentent l'avantage d'être très aisées en raison de l'ordre de grandeur trouvé en général ( centimètres) et en outre d'être exemptes d'effets indirects si l'on accepte la solution de Boussinesq. A ce titre elles méritent d'être étudiées avec soin.

19.- R.M. RICHARDSON a observé également des marées semi-diurnes dans des puits de l'Est Tennessee (44) et a relevé leur appartenance au phénomène des marées terrestres.

L'ingénieur K. Sperling (47) a relevé un effet très sensible des marées terrestres sur le débit des puits de pétrole à Nienhagen, Allemagne (  $\phi = 52^{\circ}30'N$ ,  $\lambda = 10^{\circ}E$ ) Il a mis en évidence les marées  $M_2$  et  $S_2$ ; cependant une analyse harmonique rigoureuse n'est pas possible car les nécessités de l'exploitation n'ont pas permis un enregistrement; d'autre part les débits sont souvent troublés par des accidents irréguliers ( éboulis, paraffine, sables etc...).

-15-

Néanmoins ce travail est sans conteste d'un très grand intérêt pour l'exploitation des puits de pétrole et démontre que l'effet des dilatations cubiques de l'écorce n'est pas limité à quelques puits d'eau particuliers mais affecte aussi bien la lave des volcans (comme cela a déjà été signalé précédemment au Vésuve et aux Hawaï), les nappes de pétrole etc...

#### V. Méthodes d'Analyse harmonique des Marées Terrestres.

---

20.-Le choix d'une méthode d'analyse harmonique adaptée aux caractéristiques de la marée terrestre, qu'elle-ci soit mise en évidence par un pendule horizontal, un gravimètre ou tout autre type d'appareil, a été discuté au Colloque International tenu à Uccle du 24 au 26 avril 1957 (2). On a considéré que les méthodes courantes de l'analyse des marées océaniques ne conviennent pas pour des enregistrements affectés de dérives plus ou moins fortes et irrégulières.

On élimine généralement la dérive avant de procéder à l'analyse harmonique; on détermine l'allure de cette dérive par l'une ou l'autre combinaison linéaire d'ordonnées convenable (par exemple moyennes portant sur 5 heures consécutives dans la méthode de Doodson).

Nous avons vu précédemment ( ) qu'on avait pu la mettre en évidence en repérant les points de marée théorique nulle (Metzger, Lassovsky, Gougenheim, Pertzev).

Le prof. R. Lecolazet a mis au point une méthode qui élimine une dérive de forme parabolique sur chaque intervalle de 36 h. Cette méthode est bien adaptée à l'analyse des observations faites au gravimètre. En ce qui concerne par contre les enregistrements de pendules horizontaux, la méthode à appliquer doit en particulier tenir compte de ce que les effets indirects très importants dans ce cas contiennent des composantes  $M_4$ ,  $M_6$ ,  $M_8$ ,  $M_{10}$  ... qui peuvent être très sensibles, notamment en Europe Occidentale.

Les méthodes existantes doivent donc être adaptées pour tenir compte et de la dérive et des marées d'ordre supérieur. (cf. propositions émises par le Colloque). On peut considérer que toutes les méthodes satisfaisant à ces deux conditions particulières seront acceptables et doivent conduire au même résultat.

On lira avec intérêt les exposés présentés à ce sujet par le Dr. A.T. Doodson, le prof. R. Lecolazet et le Dr. B. Pertzev (2).

## VI. Conclusions tirées des observations.

21.- On peut résumer les connaissances expérimentales actuelles sur les marées terrestres par les relations

$$\gamma = 1 + k - h = 0,706 \quad \pm 0,01 \quad (A)$$

$$\delta = 1 + h - \frac{3}{2} k = 1,20 \quad \pm 0,02 \quad (B)$$

$$\Lambda = 1 + k - \frac{2}{\ell} = 1,15 \quad \pm 0,10 \quad (C)$$

$$\ell \approx 0,055 \quad \pm 0,03 \quad (D)$$

et joindre la relation théorique

$$k \leq 0,504 h \quad (\text{cf } \S 23) \quad (E)$$

Les deux premières relations, qui sont les mieux établies donnent

$$k = 0,188 \quad \pm 0,06$$

$$h = 0,482 \quad \pm 0,07$$

qui vérifient l'inéquation (E)

Si l'on admet la valeur de  $\ell$  mesurée à l'extensomètre, il vient

$$\Lambda = 1,13$$

Les quatre procédés de mesure des marées terrestres donnent donc des résultats cohérents.

Cependant l'étude de la composante libre du mouvement du pôle ( période de Chandler) donne:

$$k = 0,275 \quad \pm 0,025$$

Walker et Young (56) ont même obtenu récemment, moyennant l'introduction d'un amortissement

$$k = 0,322$$

mais cette valeur a pu être controversée (57).

Il n'en reste pas moins qu'il y a une certaine contradiction entre les résultats obtenus à partir des marées terrestres et du mouvement du pôle dont l'étude expérimentale doit être développée et améliorée par une modernisation de l'équipement instrumental.

## VII. Recherches Théoriques.

22.- Le prof. M.S. MOLODENSKY (48) a repris les développements théoriques d'Herglotz et Prey et a effectué l'intégration numérique du système d'équations différentielles de l'équilibre élastique pour seize modèles différents de la Terre. Dans tous les cas la croûte a été considérée comme élastique, compressible et hétérogène; les vitesses des ondes sismiques correspondent aux observations mais la distribution des densités varie d'un modèle à l'autre. Le module de rigidité du noyau varie également suivant les modèles ( de 0 à  $\infty$ ) et l'influence de sa compressibilité et de son hétérogénéité ont été évalués

TABLE

Modèle	(noyau)	k	h	$\ell$	$\gamma$	$\delta$	$\Lambda$	$k - \frac{h}{2}$
1	0	0,327	0,662	0,107	0,665	1,172	1,220	-0,004
2	0,0367 $10^{12}$	320	649	106	671	1,217	1,214	- 4
3	0,3675 $10^{12}$	276	559	103	717	1,145	1,173	- 4
4	1,04 $10^{12}$	221	446	100	775	1,116	1,121	- 2
5	$\infty$	069	136	089	933	1,033	0,980	+ 1
6	0	310	619	091	691	1,159	1,219	0
7	0,073 $10^{12}$	298	596	091	702	1,149	1,207	0
8	0,73 $10^{12}$	229	458	090	771	1,115	1,139	0
9	1,4 $10^{12}$	191	382	089	809	1,096	1,102	0
10	0	060	124	086	936	1,034	0,974	- 2
11	0	192	386	088	806	1,098	1,104	- 1
12	0	306	617	090	689	1,158	1,216	- 2
13	0	344	683	096	661	1,167	1,248	+ 2
14	0	314	622	095	692	1,151	1,219	+ 3
15	0	315	628	088	687	1,156	1,227	+ 1
16	0	287	567	074	720	1,137	1,213	+ 3

Les valeurs de k et h sont très influencées par la valeur admise pour le modèle de rigidité du noyau tandis que  $\ell$  est très influencé par la variation de distribution des densités dans la croûte. La période de Chandler, estimée à 433 jours et corrigée par Molodensky en raison de l'effet des océans, conduit à admettre  $k = 0,243$  et, tenant compte en outre de la fluidité du noyau :  $k = 0,303$

De même que dans le travail analogue publié antérieurement par H. Takeuchi les valeurs obtenues pour les divers modèles les plus probables sont si voisines que les résultats actuels d'observation ne permettent pas de trancher en faveur de l'un ou l'autre mais les modèles 2, 3, 6, 7, 12 paraissent les plus satisfaisants. On peut sans doute écarter les modèles qui donnent une valeur positive pour  $k - \frac{1}{2} h$  ( cf § 23 ci-après )

On devrait même parvenir à une valeur nettement négative pour cette expression si l'on veut satisfaire aux résultats actuels de l'observation qui donnent une valeur de k nettement plus faible que h/2.

23.- Relation liant les nombres h et k.

Dans le cas d'un globe parfaitement homogène, Kelvin a pu montrer que l'on aurait une relation simple entre les nombres k et h :

$$k = 0,6 h \quad (1)$$

mais l'effet de l'hétérogénéité est suffisamment sensible pour que cette relation soit totalement incompatible avec les valeurs de  $\gamma$  et  $\delta$  déduites de l'observation.

En 1950, P MELCHIOR avait montré (48) qu'en introduisant la répartition des densités de Bullen dans la relation

$$ka^2 S_2 = 4\pi \int_0^a \rho(r) \frac{d}{dr} \left( \frac{r^5}{5a^3} \frac{h a S_2}{r} \right) dr \quad (2)$$

et en intégrant graphiquement, tout en conservant l'hypothèse que les déformations élastiques sont homothétiques par rapport au centre du Globe, on obtient la relation

$$k = 0,504 h$$

qui est en meilleur accord avec les valeurs observées de  $\gamma$  et  $\delta$ .

G. JOBERT a démontré ensuite (49) que si l'on s'affranchit de l'hypothèse d'homothétie des déformations on ne peut plus déterminer la valeur numérique du rapport k/h mais que la valeur ci-dessus constitue une limite supérieure du rapport. On peut donc introduire une nouvelle relation, soit l'inéquation

$$k \leq 0,504 h \quad (3)$$

Molodensky a abordé ce problème dans le travail cité plus haut (47) en introduisant le paramètre de Radau :  $\eta$

Si l'on écrit (2) sous la forme

$$k = \frac{3}{5} h \frac{\int_0^a \rho(r) dr^5}{a^2 \int_0^a \rho(r) dr^3}$$

ce qui revient à faire la même hypothèse d'homothétie des déformations et si l'on rappelle que

$$\int_0^a 5\rho r^4 dr = \frac{15}{8\pi} C = \frac{5}{3} D_a a^5 \left(1 - \frac{2}{5} \sqrt{1+\eta}\right)$$

$$a^2 \int_0^a 3\rho r^2 dr = D_a a^5$$

il vient

$$k = h \left(1 - \frac{2}{5} \sqrt{1+\eta}\right)$$

et, limitant le développement de  $\sqrt{1+\eta}$  à  $1 + \frac{\eta}{2}$ ,

$$\frac{k}{h} = \frac{3 - \eta}{5}$$

relation donnée par Molodensky et qui restitue pour un globe homogène ( $\eta = 0$ ) la valeur de Kelvin  $k = 0,6 h$  et pour le cas réel  $\eta = 0,56$ , pratiquement la valeur de Melchior  $k = 0,5 h$ .

24.- Effets dynamiques du noyau

Dans le but d'éclairer les recherches conduites à l'occasion de l'Année Géophysique, le prof.H.JEFFREYS a publié les résultats numériques de l'étude faite en collaboration avec le Dr.R.O.Vincente sur les effets dynamiques du noyau sans qu'aucun détail du calcul soit cependant encore accessible (51). Ces effets proviennent de ce que l'approximation statique pour les déplacements élastiques dans la Terre n'est pas valable pour les déplacements qui affectent la direction de l'axe principal d'inertie par suite de la fluidité du noyau. Ce sera le cas pour des déformations représentables par des fonctions tesserales donc pour les marées diurnes. Utilisant le modèle 2 de Takeuchi, Jeffreys parvient notamment aux valeurs numériques suivantes:

	Modèle 1				Modèle 2			
	h	k	$\gamma$	$\delta$	h	k	$\gamma$	$\delta$
ondes semi-diurnes et à longue période	0,585	0,289	0,704	1,152	0,598	0,273	0,675	1,188
K 1	0,492	0,206	0,714	1,183	0,551	0,244	0,693	1,185
O	0,584	0,242	0,658	1,221	0,603	0,261	0,658	1,211

modèle 1 : noyau à particule centrale  
modèle 2 : noyau selon le modèle de Roche

Le prof. Jeffreys pense que les valeurs exactes doivent se situer entre ces deux modèles.

Il est encore trop tôt pour dire si l'expérience confirme ces résultats théoriques: les mesures gravimétriques de Lecolazet à Strasbourg les infirment tandis que les observations de variations de niveau dans le sondage de Turnhout paraissent les confirmer. Ce problème constitue l'un des buts des mesures projetées au cours de l'Année Géophysique.

VIII. Effet des marées terrestres sur la vitesse de rotation de la Terre.

25.- Un chapitre nouveau doit être ouvert désormais avec l'influence des marées terrestres sur la vitesse de rotation de la Terre.

Dès 1928, le prof. H. JEFFREYS en évoquait la possibilité et donnait une évaluation numérique (52).

Il convient en tout premier lieu de remarquer que ces variations de vitesse résultent exclusivement des variations du plus grand moment d'inertie C et cela, avec une approximation largement suffisante. Etant donné que seules les déformations du type zonal sont susceptibles d'affecter la valeur de C, nous n'aurons donc à considérer ici que les marées à longue période.

Le procédé de calcul très simple utilisé par Jeffreys consiste à écrire le potentiel additionnel engendré par la déformation tout d'abord en fonction du potentiel luni-solaire et du nombre k, ensuite en fonction des variations subies par les moments d'inertie, d'identifier les deux expressions et d'introduire la condition d'incompressibilité.

En 1938 ANDERSSON (53) a appliqué la méthode de Jeffreys d'une manière détaillée, introduisant toutes les ondes zonales à longue période. L'intégration montre que plus la période est longue, plus l'effet cumulatif sera sensible.

Depuis lors, les techniques des services horaires ont subi une véritable révolution ( horloge à quartz, photographie zenith tube) et l'augmentation très sensible de précision qui en est résulté permet de mettre en évidence les variations de la vitesse de rotation de la terre avec beaucoup plus de sûreté

Les prof. MINTZ et MUNK (54) ont tenté de lier la composante semi-annuelle de la variation de vitesse de rotation de la Terre à l'effet de la marée Ssa. Ils ont repris le développement théorique par une autre voie qui nous parait moins élégante que celle de H. Jeffreys car elle introduit le nombre h au lieu du nombre k ( les auteurs considèrent la distribution des hauteurs de la marée terrestre en chaque point du globe) ce qui nécessite plus loin l'introduction quelque peu déguisée de la relation

$$k = 0,486 h$$

dont le coefficient n'est pas encore connu avec une rigueur suffisante ( cf. § 22 équ.3).

Mintz et Munk parviennent évidemment ainsi aux mêmes résultats numériques que selon la méthode suivie par Jeffreys, Andersson et Stoyko (\*) mais cette dernière garde l'avantage d'introduire directement le nombre k sans laisser de place à aucune incertitude concernant la valeur numérique du rapport k/h. Mintz et Munk ont montré que le noyau, fluide, pouvait être considéré comme absent; leur calcul revient à adopter k = 0,30. Dans ces conditions les amplitudes des diverses ondes sont, en millisecondes:

Mf	1,0	Ssa	5,8
Mm	1,1	Sa	2,3
Ω	197,0		

On aurait pu penser que cet effet était trop faible que pour être détecté actuellement. Cependant le Dr.Wm.Markowitz l'a mis en évidence dans les observations du PZT à Washington et Richmond pour les années 1951-54 (56).

Il a trouvé les termes suivants exprimés en millisecondes:

$$Mf : + 1,2 \sin 2 L + 0,4 \cos 2 L = 1,3 \sin 2 (L + 9^\circ)$$

$$Mm : + 0,7 \sin U - 0,2 \cos U = 0,7 \sin (U - 16^\circ)$$

L longitude moyenne de la Lune (13,6 jours)

U anomalie moyenne de la lune (27,6 jours)

La précision de ces observations montre qu'il devient nécessaire de calculer la composante de 2 semaines avec des termes additionnels à ceux utilisés par Andersson. E.W.Woollard a développé ce travail mais ne l'a pas encore publié.

\* Il nous incombe sans doute de relever à ce sujet une légère erreur d'interprétation de Mintz et Munk qui écrivent " Mr.Stoyko a utilisé le mauvais nombre de Love k". Les remarques développées ci-dessus montrent qu'il n'en est rien et que la méthode suivie par Stoyko(55) est correcte. Il ne faudrait pas conclure que celle de Mintz et Munk utilisant le nombre h ne l'est pas car ils introduisent en outre la relation très approchée k = 0,486 h.

Pour les termes semi-annuel et annuel, Markowitz a obtenu respectivement les amplitudes de 10 ms et 30 ms. Le terme annuel est dû presque entièrement aux effets météorologiques mais on voit que la marée Ssa entre pour 60 % dans l'effet semi-annuel observé.

#### IX. Programme de l'Année Géophysique Internationale.

26.- Lorsque fut constitué le groupe Gravimétrie ( Groupe XIII) du Comité Spécial pour l'Année Géophysique Internationale (CSAGI) chargé d'établir un programme de mesures gravimétriques durant l'année géophysique, on considéra que les opérations entreprises à cette occasion, devant avoir le caractère de simultanéité, devraient en principe concerner uniquement l'étude de phénomènes variables dans le temps. En conséquence il était clair que le phénomène des marées terrestres, se manifestant en particulier par des variations périodiques de la gravité répondait à l'esprit dans lequel était conçue l'Année Géophysique Internationale.

Le CSAGI chargea alors une Commission restreinte de trois membres: Dr. W.D. Lambert, Prof. Y. Boulianger et Dr. P. Melchior, d'établir un programme de recherches. Cette commission a pris contact avec les spécialistes les plus avertis de tous les aspects complexes du problème des marées terrestres et a rédigé un programme général qui fut approuvé au cours d'une réunion préliminaire tenue à Paris le 7 septembre 1956. A cette occasion fut établie une première liste de stations (1).

La Commission a défini quatre objectifs essentiels à cette campagne mondiale de mesures:

- 1.- Tenter d'atteindre une précision telle qu'on puisse, par la discussion des mesures, assurer la deuxième décimale des facteurs  $\gamma$  et  $\delta$ .
- 2.- Faire une étude comparative des ondes diurnes et semi-diurnes en vue d'étudier l'effet de la fluidité du noyau ( stations voisines des parallèles de 45° N et S ).
- 3.- Etudier les effets indirects simultanément en un grand nombre de stations bien distribuées sur chaque continent.
- 4.- Examiner l'existence possible de variations du phénomène dans le temps (phénomènes saisonniers) ainsi que l'existence de tempêtes clinométriques liées à la sismicité.

La Commission a ensuite organisé le Colloque d'Uccle, les 24, 25 et 26 avril 1957 au cours duquel furent passés en revue tous les aspects pratiques de l'organisation des mesures au cours de l'AGI: distribution des stations, instructions pour l'usage des pendules horizontaux et des gravimètres, analyse harmonique, séparation des effets directs et indirects, organisation des Centres Mondiaux de rassemblement des données (2). Un Colloque sera organisé à nouveau en 1958 à Munich.

Suivant une intéressante suggestion du prof. A. Gougenheim, le Dr. Melchior édite, au nom de la Commission, un Bulletin d'Informations reproduisant toutes les données techniques utiles et qui est largement diffusé parmi les personnalités scientifiques et les Instituts qui ont marqué leur intérêt pour ce problème. Six numéros, comprenant un total de cent pages ont été publiés à la date du 1er juillet 1957; les sujets traités sont repris dans la bibliographie ci-après.

La liste des stations prévues s'accroît régulièrement. Une description détaillée d'un bon nombre d'entre elles a déjà été publiée dans le Bulletin d'Informations sur les Marées Terrestres.

BIBLIOGRAPHIE.

- (1) Commission pour l'étude des marées terrestres ( Groupe XIII- Gravimétrie - du Comité Spécial pour l'Année Géophysique Internationale)  
Rapports et Recommandations - Réunion de Paris 7 Septembre 1956.

(Comm. Observ. Royal Belgique n° 100 S. Géoph. n° 36 1956 )

W.D. Lambert : Earth Tides in the Program of the International Geophysical Year.

W.D. Lambert, J.D. Boulanger, P.J. Melchior : Programme des observations de marées terrestres au cours de l'année Géophysique - Program of observations of terrestrial tides during the international géophysical year.

P.J. Melchior : Quelques commentaires au sujet du programme d'observations.

H. Jeffreys : Note on the theory of the bodily tide.

A. Gougenheim: Commentaires au sujet de l'interprétation des observations.

Procès verbal de la réunion de Paris.  
Recommandations

- (2) Colloque International sur les marées terrestres préparatoire aux travaux de l'année géophysique internationale. Uccle 24-26 avril 1957.

( Comm. Observ. Royal Belgique n° 114 S. Géoph. n° 39 1957).

Stations en service pour l'AGI

R. Tomaschek : Anleitung zur Messung mit Horizontalpendeln

H. Ellenberger: Beschreibung des Horizontalpendels nach Tomaschek- Ellenberger.

R. Schulze : Das Askania- Gravimeter mit Registriereinrichtung.- Hinweise zur Inbetriebnahme.

R. Lecolazet: Note complémentaire sur l'emploi du gravimètre North-American à l'enregistrement de la marée gravimétrique.

R. Schulze: Zur Eichung von Registrier-Gravimetern.

J. Picha : Annähernde Analyse des Nullpunktsganges der Horizontalpendel aus den Jahren 1936-1939 für die Gezeitenstation Brézové Hory.

R. Brein : Enregistrement de la température du North-American-Gravimeter en vue de déterminer la marche du Gravimètre.

A.T. Doodson Methods of Analysis of Tides.

- R. Lecolazet : Note sur l'analyse harmonique.
- B. Pertzov: Harmonic analysis of bodily tides.
- P. Melchior: Sur les méthodes de séparation des effets directs et indirects.
- Organisation des Centres Mondiaux.
- R. Lecolazet: Enregistrement et analyse harmonique de la marée gravimétrique à Strasbourg (résumé).
- R. Tomaschek: Measurements of Tidal Gravity and Load Deformations on Unst (Shetlands) (résumé).
- G.W.Lennon: Observations of both Components of Tilt at Bidston (résumé)

Notations

Conclusions, Recommendations, Propositions

- (3) V. Petr : Beobachtungen der Gezeiten der Erdkruste in Brézové Hory  
Bull. Astr. Inst. of Czechoslovakia VI, n°2 pp 27-32
- (4) J. Picha: Ergebnisse der Gezeitenbeobachtungen der festen Erdkruste in Brézové Hory in den Jahren 1936-1939.
- (5) A.K. Ivanova: Résultats préliminaires des observations des variations luni-solaires de la verticale à l'Observatoire Astronomique Engelhardt.  
Astr. Cirkuliar n° 157 p 7 1955.
- (6) R. Tomaschek: Variations of the total vector of gravity at Winsford (Cheshire) part. I.  
MNGS 6 n° 9 pp 540-556 1954.
- (7) P.J. Melchior: Sur l'effet des marées terrestres dans les oscillations du niveau du Lac Tanganika à Albertville.  
Comm. Obs. R. Belg. n° 95 S. Géoph. n° 35 1956  
ou Bull. Ac. R. Belg. 1956 pp. 368-371.
- (8) P. Melchior: Discussion du procédé de Corkan pour la séparation des effets directs et indirects dans les marées terrestres.  
Comm. Obs. R. Belgique n° 115 S. Géoph. n°40 1957.
- (9) R. Tomaschek: The Tides of the Solid Earth and their geophysical and geological Significance.  
Nature 173 n°4395 pp 143-145 23 janvier 1954.
- (10) G. Jobert: Influence du relief sur les déformations de la Terre dues à des charges superficielles.  
C.R. 239 n°23 pp 1653-1655 1954.
- (11) G. Jobert: Influence de la structure de la croûte sur les déformations causées par les marées océaniques.  
C.R. 244 pp.227-230 1957.

- (12) G. Jobert: Déformation plane d'un solide élastique isotrope et hétérogène.  
C.R. 244 pp.555-558 1957
- (13) G. Jobert: Influence de la structure de la croûte sur les déformations causées par les marées océaniques.  
Ann. Géoph. 12, n° 4 pp.290-295 1956; BIM 4 p 66 1957.
- (14) H. Ellenberger: L'organisation de stations de marées terrestres pour les mesures durant l'AGI.  
BIM 3 pp 51 -55 1957.
- (15) G.W.Lennon: The use of the Milne-Shaw Seismograph for the observation of Earth Tides.  
BIM 6 pp 86-91 1957.
- (16) E.I. Evtushenko: Onde lunaire bimensuelle dans les observations de latitude de la station de Carloforte de 1922 à 1934.  
Astr. Tsirk n° 116 p.16 1951.
- (17) E.I. Evtushenko: Onde lunaire bimensuelle dans les observations de latitude de la station de Mizusawa.  
Astr. Tsirk. n° 132 p.10 1952.
- (18) E.I. Evtushenko: Ondes lunaires dans les variations de latitude de la station d'Ukiah.  
Astr. Tsirk n° 113-114 p.14 1951.
- (19) E.P.Fedorov & E.I.Evtushenko: Variations lunaires semi-mensuelles des latitudes dans les observations aux stations de Carloforte et Ukiah de 1899 à 1934.  
Astr. Tsirk n° 126 p.19 1952.
- (20) A.E. Philippov: Essai de détermination de l'onde d'aberration lunaire dans les variations de la latitude d'après les résultats des observations faites à deux télescopes zénithaux à Poltava de 1948.8 à 1954.8  
Astr. Tsirk. 168 pp. 14-16 1956.
- (21) A. Ia Orlov: Rectification du terme de nutation bimensuelle d'après les observations de latitude à Poulkovo 1915-1928. Astr. Tsirk. n°126 p.19 1952.
- (22) R.Schulze: Gezeitenregistrierung  
Askania-Warte n° 46 1954 Sonderdruck Geoph 935  
Askania-Warte n° 49 pp.16-17 1956.
- (23) K. Lassovsky & S. Oszlaczky: The Tidal Variation of Gravity  
Geofizikai Közlemények I, 3 pp 13-40 1953  
III, 2 pp 27-30 1954.
- (24) K. Lassovsky: Die Bestimmung des Deformationskoeffizienten der Erde aus Gravimeterbeobachtungen.  
Geofizikai Közlemények V, 1, pp 18-26 1956.

- (25) K. Lassovsky : Die Bestimmung des Amplitudenverhältnisses des luni-solaren Effektes auf Grund der in Budapest im Jahre 1951, 37 tage hindurch, ausgeführten Gravimeterbeobachtungen.  
Geofizikai Közlemények V, 3, pp 9-20 1956.
- (26) R.P. Louis  
CATTALA: Mesures de la marée gravimétrique à Madagascar.  
Bull. Acad. Malgache, nouv. série XXXIII pp3-8 1955.
- (27) - Comptes Rendus du Comité Nat. Français de Géod. et Géoph. p.56 1953.
- (28) J.Metzger: Marée de l'écorce: l'effet du déphasage dans l'analyse des observations.  
Geofisica pura e applicata 28 p.71 - 83 1954.
- (29) A.Gougenheim: Au sujet de la dérive des gravimètres.  
BIM 2 pp 14 - 15 1957.
- (30) B.P.Pertzev: On the calculation of the drift curve in observations of bodily tides.  
BIM 5 pp 71-72 1957.
- (31) R. Lecolazet: L'enregistrement de la marée gravimétrique avec un gravimètre North-American.  
BIM I pp 4-9 1956.
- (32) R. Lecolazet: Enregistrement et analyse harmonique de la marée gravimétrique à Strasbourg ( huit mois d'observation)  
Annales de Géophysique sous presse 1957.
- (33) R. Lecolazet: Application à l'analyse des observations de la marée gravimétrique, de la méthode de H. et Y Labrouste dite par combinaisons linéaires d'ordonnées.  
Annales de Géophysique 12, fasc.1 pp 59-71 1956.
- (34) R. Tomaschek: Measurements of Tidal Gravity and Load Deformations on Unst ( Shetlands ).  
M.N.G.S. sous presse 1957.
- (35) T.Ichinohe: Study on change of gravity with time.  
Part. I. On the tidal variation of gravity.  
" II. Repeated gravity surveys in the Kinki District  
" III. On the Tidal factor of Gravity.  
Mem.Coll. Sc.Univ.Kyoto series A vol.XXVII n°3  
pp 289-316/317 - 334 1955; XXVIII,n°1,pp 11-38 1956.
- (36) F. Haalck: Die Genauigkeit eines modernen Gravimeters  
(Jubiläumsband d.Zeitsch.f. Geoph.Braunschweig  
1953 pp 21 - 28).
- (37) B.Stanoudin: Enregistrements de la marée gravimétrique  
Mémoire présenté à la Faculté des Sciences de l'Université de PARIS (1953 ? )
- (38) C.Lefèvre: Programme d'enregistrement de la marée gravimétrique au laboratoire de géophysique appliquée de la Sorbonne.  
BIM 4 pp 62-65 1957.

(39) R. Brein: Photographische Registrierung der Erdzeiten mit einem gravimeter (Deutsche Geod. Komm. Reihe B, n°21, 1954.)

(40) H.N. Clarkson & L.J.B. Lacoste : An Improved Instrument for Measurement of Tidal Variations in Gravity. Trans. Amer. Geoph. Union 37 n°3 pp 266-272 1956.  
Data on La Coste and Romberg Tidal gravity meters BIM I pp 2-3 1956  
Improvements in Tidal Gravity Meters and their Simultaneous Comparison (Trans. Amer. Geoph. Union 38 n° 1 pp 8-16, 1957.)

(41) I. Ozawa: Study on elastic strain of the ground in earth tide. (Disaster Prevention Research Institute Bull n°15, march 1957).

(42) R. Benioff: (BIM, n° 6 p. 96 1957).

(43) P. Melchior: Sur l'effet des marées terrestres dans les variations de niveau observées dans les puits, en particulier au sondage de Turhout ( Belgique). (Comm. Obs. R. Belgen°108, S Geoph. n° 37 1957).

(44) R.M. Richardson: Nat. Res. Council Nat. Acad. Sc. Amer. Geoph. Union. Thirty sixth annual meeting may 2-4 1955 Washington p. 44 réf. (14).

(45) R. Tomaschek Tides of the solid Earth. Handbuch der Physik, XLVIII Geophysik II, pp 775-845 1957.

(46) R. Tomaschek Probleme der Erdzeitenforschung Deutsch. Geod. Komm. Bayer Akad. Wiss. A n°23 1956 16pp.

(47) K. Sperling Gibt es Gezeiteneinflüsse im Erdölförderbetrieb? (Erdöl und Kohle 6, n°8, pp 446-449).

(48) M.S. Molodensky Elastic Tides, free nutation, and some problems of the Earth's Structure (Trudy Geofizicheskogo Instituta, Sbornik Statey, N°19 (146), pp 3-52, Moscou 1953)

(49) P. Melchior Sur l'influence de la loi de répartition des densités à l'intérieur de la Terre dans les variations luni-solaires de la gravité en un point. (Geofisica pura e applicata, Milano, XVI, fasc. 3-4, 1950).

(50) G. Jobert Marées terrestres d'un globe fluide hétérogène (Annales de Géophysique 8, fasc 1, pp 106-111, 1952)

(51) H. Jeffreys Theoretical values of the bodily Tide numbers. (B.I.M. n°3, p. 29, 1957).

- (52) H. Jeffreys      Possible Tidal      Effects on Accurate  
Time Keeping  
(M.N.G.S.2, pp.56-58, 1928)
- (53) F. Andersson      Berechnung der Variation der Tageslänge infolge der  
Deformation der Erde durch fluterzeugende Kräfte.  
(Arkiv for Mat.Astr. och Fysik, 26 A, pp 1-34, 1937.
- (54) Y. Mintz et      The Effect of Winds and bodily tides on the annual  
W. Munk      variation in the length of day.  
( M.N.G.S. 6, n°9, pp.566-578, 1954)
- (55) N. Stoyko      La variation de la vitesse de rotation de la Terre  
(Bull. Astr. 15, 3, 1951)  
  
Sur l'influence de l'attraction luni-solaire et de la  
variation du rayon terrestre sur la rotation de la Terre  
(C.R. 230 pp.620-622 1950)  
(communication privée au Rapporteur).
- (56) Wm Markowitz
- (57) A.M. Walker et      The Analysis of the observations of the variation of  
A. Young      latitude.  
(M.N. 115, n°4 pp 443-459, 1955).
- (58) P. Melchior      Sur l'amortissement du mouvement libre du pôle instantané  
de rotation à la surface de la Terre.  
(Rend.Accad. Naz Lincei, Roma ou Comm. Obs.R.Belg n°92,  
S. Géoph. n°34).

Paul J. Melchior.

Rapport sur les Marées Terrestres  
Addenda et Errata -

1 - Addenda.

- § 7 - Supposant par contre l'épaisseur du milieu finie, Jobert démontre que l'allure du fléchissement dépend beaucoup des charges superficielles: pour une station située entre la charge et la faille, assez près de cette dernière, le sol s'incline vers la faille, à cause de l'effet de la décharge lointaine ( A 1 )
- § 16 - b - Le Service Hydrographique de la Marine à Paris établit chaque année depuis 1951 des prédictions détaillées de la marée gravimétrique à l'usage des prospecteurs. Le travail est actuellement effectué dans l'hypothèse d'une marée statique à l'aide d'une machine à prédire les marées; 17 ondes sont prises en considération et la valeur de 1,20 est adoptée pour le facteur  $\delta$ . Les prédictions paraissent depuis 1954 dans la revue Geophysical Prospecting; elles concernent deux méridiens à 90 degrés d'écart et les parallèles 45° Nord et Sud. Un abaque dû à M. Goguel permet d'en déduire la marée gravimétrique pour une latitude quelconque. La même revue publie les corrections de marée gravimétrique pour diverses latitudes sous forme de graphiques établis par C. Morelli. G. Inghilleri a discuté en détails le champ de validité et le calcul généralisé des courbes d'attraction luni-solaire. Il a montré comment il est possible, à partir de trois courbes, de calculer l'attraction luni-solaire pour un point quelconque ( A 2 )
- I. D. Jongolovitch a également proposé un nomogramme permettant un calcul aisé de ces corrections et y a joint des éphémérides utiles pour les calculs des années 1955-1960 ( A 3 )
- R. Neumann a discuté le rôle joué par ces corrections en prospection gravimétrique ( A 4 ).
- § 20 - Le Dr. B. P. Pertzev a donné une méthode pratique d'élimination de la dérive basée sur la combinaison linéaire de 15 lectures horaires convenablement choisies ( A 6 )  
Cette méthode est une simplification du procédé de Doodson et Warburg.

Bibliographie

- (A 1) G. Jobert Influence de la structure de la croûte sur les déformations causées par les marées océaniques (II)  
Annales de Géoph. 13, n°1, pp 83-86, 1957
- (A 2) G. Inghilleri Campo di validita e calcolo generalizzato delle curve di attrazione lunisolare  
( Rivista di Geofisica applicata XV, n°1, 1954 - 14 pp )
- (A 3) I. D. Jongolovich Les éphémérides approximatives du Soleil et de la Lune pour 1955-1960 et le nomogramme auxiliaire pour le calcul de l'influence luni-solaire sur la pesanteur.  
( Bioull. Inst. Teor. Astron. VI, n° 5- 78, pp 312-345-1956)
- (A 4) R. Neumann Rôle joué par la correction luni-solaire en prospection gravimétrique  
( Geoph. Prospecting II, n° 4, pp 290-305 1954 )

-2-

- (A 5) H. Benioff. Earthquake Seismographs and Associated Instruments.  
Advances in Geophysics II, 1955 p.252, fig 30
- (A 6) B.P. Pertzev On the calculation of the drift curve in observations of  
bodily tides  
( B I M N° 5 pp 71-72 1957 )

## 2 - ERRATA

- p. 4 ligne 23 du haut supprimer (3)
- p. 5 " 9 " " ajouter ; après coefficient
- p. 5 " 21 " " lire Z , 0
- p. 6 " 5 " " lire seismes....
- p. 6 " 9 " bas lire Wanschaff au lieu de Wanshaff
- p. 7 " 4 " " " ( voir § 24 )
- p. 7 lignes 9-10 lire : .... pour lesquelles une analyse harmonique détaillée n'a  
pu être faite.....
- p. 7 7e ligne du bas sur chaque intervalle de 15 ou de 37 heures ( selon qu'il  
& p.15 21 " du haut s'agit d'une combinaison semi-diurne ou diurne)
- p.19 Table V  $\lambda = 0^{\circ}51'10''$  W
- p.14 § 17 lire  
17.- Une série d'extensomètres d'un autre type, appelés " Fused Quartz  
Strain Seismograph", ont été construits et installés par le prof.  
Benioff en Amérique du Nord et du Sud (42) et un bref enregistrement  
publié par cet auteur montre les variations de tension d'une manière  
très frappante ( A 5)
- p.15 lignes 15 et 16 du haut lire ( moyennes portant sur 25 heures.....méthode  
d'Ichinohe).
- p.15 " 17 " " ajouter dans la parenthèse § 11
- p.15 ligne 7 du bas - ajouter La méthode de Lecolazet élimine M3 M4 M6.....  
mais ne permet pas de les isoler.
- p.17 lire table VIII
- p.19 ligne 4 - lire Vicente et non Vincente
- p.20 ligne 16 du haut lire § 23 et non 22.
- Bibliographie(N° ( 4) ajouter: travaux de l'Institut Géophysique de  
( l'Acad. Tchéc. des Sc.n° 42  
( Geofysikalni Sbornik 1956.  
(N° (22) substituer Askania-Warte, Sonderdruck 1442 b  
N° (34) substituer Geofisica pura e applicata 37  
pp. 55 - 78 - 1957 Milano à  
(MNGS - sous presse )  
N° (51) ajouter  
H. Jeffreys et R.O. Vicente : The Theory of Nutation and the Varia-  
tion of Latitude (M.N.117, 1957, sous  
presse)

Table III - Addenda .

Analyses effectuées par le Service Hydrographique de la Marine - Paris.

	Point	$\phi$	$\lambda$	Durée	$\delta$	Organisation
<u>Ile Maré</u> (Archipel Loyalty)	Tadine	21°33' S	167°53' E	21 h	1,17	) Institut
<u>Nouvelle Calédonie</u>	( Nouméa	22°18' S	166°27' E	92 h	1,348	)
	( Plaine des Lacs	22°10' S	166°48' E	63 h	1,101	) Français
	( Bourail	21°31' S	165°29' E	50 h	1,033	)
	( Oregoa	20°21' S	164°27' E	52 h	1,223	) d'Océanie
<u>A.E.F.</u>	Brazzaville	4°16;8 S	15°14;9E	106 h	-	Office Rech. Sc.Techn. Outre-Mer.
<u>France</u>	Jullouville (Manche)	48°46'11;4N	1°34'3;1W	59 h	1,270	BRGG
<u>Yougoslavie</u>	Belgrade	44°49'23" N	20°27'0" E	48 h	1,123	Institut Géographique de Yougoslavie
<u>Liban</u>	Beyrouth	33°54' N	35°28' E	32 h	1,224	Exp. Polaires Françaises

	Ondes diurnes		Ondes semi-diurnes	
Nouméa	1,70	-1"9	1,29	0
Plaine des Lacs	1,40	+0"5	1,22	-0"25
Bourail	1,19	-1"3	1,30	-2"2
Oregoa	1,11	-1"5	1,34	-0"6
Brazzaville	1,73(*)	+3"1(*)	1,20	+1"
Saïgon	2,59(*)	+8"2(*)	1,33	+0"7

(\*) les ondes diurnes sont quasi nulles en ces points :  $\phi = 4^{\circ}16;8 S$

$\phi = 10^{\circ}48'N$

