

II

**MES EXPERIENCES SUR LE PENDULE PARACONIQUE
A SUPPORT ISOTROPE
1959 - 1960**

La détermination de la direction d'anisotropie de l'espace

C'est toujours le phénomène concret qui décide si une théorie doit être acceptée ou repoussée. Il n'y a pas, et il ne peut y avoir, d'autre criterium de la vérité d'une théorie, que son accord plus ou moins parfait avec les phénomènes concrets.

Vilfredo Pareto *

A

LA DETERMINATION DE LA DIRECTION D'ANISOTROPIE DE L'ESPACE

1.- Mes expériences sur le pendule paraconique avec le support anisotrope

Pendant cinq ans, de 1954 à 1958, j'ai conservé le même mode de suspension malgré son anisotropie très marquée. La raison en était très simple. Il me fallait avant tout arriver à une certitude quant à la réalité des périodicités diurnes observées, et pour cela il était essentiel de disposer de séries d'observations effectuées *dans des conditions entièrement comparables*.

Dès que les deux expériences *cruciales* de juin-juillet 1958 à Bougival et à Saint-Germain ont été réalisées, la *preuve a été apportée de façon définitive de l'existence d'un phénomène nouveau, tout à fait inexplicable dans le cadre de la théorie newtonienne classique de la gravitation, complétée ou non par les corrections de la théorie de la relativité*.

Il a été alors parfaitement établi que la théorie classique de la gravitation (résultant de l'application, dans le cadre de la théorie actuelle des mouvements relatifs, du double principe de l'inertie et de la gravitation universelle, à un espace galiléen), complétée ou non par les corrections de la théorie de la relativité, conduit à des ordres de grandeur de l'action lunisolaire *absolument indiscernables* sur le plan expérimental, de l'ordre de *vingt millions de fois inférieurs aux effets observés*.

Dès lors il devenait possible, souhaitable, et à vrai dire *nécessaire*, de réaliser des expériences avec un support aussi isotrope que possible.

 (*) Vilfredo Pareto, 1909, *Manuel d'Economie Politique*, Giard, 1927, p. 16.

2.- La détermination de la direction d'anisotropie de l'espace. Une étape fondamentale

Le plan limite

1- *Le plan limite*, dont l'existence a été mise en évidence dans mes expériences sur le pendule paraconique à support anisotrope, résulte à la fois de la direction moyenne des influences astronomiques et de la direction d'anisotropie du support ¹.

Cependant, alors qu'il avait été possible de déterminer avec une grande précision l'influence de l'anisotropie du support ², la détermination à tout instant de la direction moyenne des influences astronomiques, en direction et en grandeur, restait impossible.

En éliminant l'influence de l'anisotropie du support, la réalisation d'un support isotrope a permis de déterminer l'anisotropie de l'espace en direction et en grandeur. Tel a été l'objet des expériences que j'ai réalisées en 1959-1960.

L'analyse des déviations Δ du plan d'oscillation du pendule paraconique à partir d'azimuts déterminés

2- La méthode que j'ai suivie ³ repose sur la détermination préalable des déviations du plan d'oscillation du pendule paraconique à partir d'azimuts déterminés.

Par elle-même l'analyse de ces déviations fournit des données essentielles sur la structure périodique du mouvement du pendule paraconique à support isotrope ⁴.

(1) *Chapitre I, § E.7* ci-dessus.

(2) *Chapitre I, § E.3* ci-dessus.

(3) *Section C* ci-dessous.

(4) *Section F* ci-dessous.

Une étape fondamentale

3- En fait, la détermination de la direction d'anisotropie de l'espace a constitué *une étape tout à fait fondamentale* dans mes expériences sur le pendule paraconique ⁵. Je n'ai malheureusement pu les poursuivre en raison de la fermeture de mon laboratoire en juin 1960 ⁶.

L'anisotropie de l'espace

4- L'anisotropie de l'espace est *un fait d'expérience, absolument indépendant de toute hypothèse. C'est là un fait d'expérience incontournable.*

Il est cependant possible d'en donner une interprétation en formulant une hypothèse : *l'hypothèse de l'anisotropie de l'espace d'inertie* ⁷. C'est la raison pour laquelle, dans ce qui suit mon exposé examinera cette hypothèse et ses implications quant aux mouvements du pendule paraconique à support isotrope ⁸.

(5) Dans ma Note du 15 novembre 1959 "*Etat des recherches du professeur Allais au 15 novembre 1959*", j'écrivais (p. 2-3) :

"Une suspension isotrope a été réalisée pour le pendule paraconique et une technique expérimentale définie permettant de mettre en évidence à chaque instant des directions d'anisotropie dans l'espace et de les localiser de façon précise ...

"Dans le cas où ces directions d'anisotropie se révéleraient être les mêmes que celles déjà trouvées par Miller avec l'interféromètre de Michelson, ce qui est pour le moins possible, sinon probable, les résultats de Miller se trouveraient confirmés et par là même les fondements de la théorie de la relativité devraient être considérés comme contredits par l'expérience. L'importance scientifique de telles perspectives ne saurait échapper à personne.

"En tout cas, et même s'il n'en était pas ainsi, la réalisation de cette suspension isotrope et la définition d'une technique expérimentale permettant de l'utiliser au mieux constituent le plus grand progrès réalisé depuis le début de mes recherches sur le mouvement du pendule paraconique en 1953.

"En toute hypothèse, autant qu'on puisse en juger, des résultats considérables peuvent être obtenus très rapidement si l'activité du laboratoire peut être maintenue dans les dix-huit prochains mois".

(6) *Chapitre I, § G.2, 4 et 5 ci-dessus.*

En fait, j'ai pu mentionner les tout premiers résultats obtenus avec la suspension isotrope dans ma *Conférence du 7 novembre 1959* (Section B, et § 1 et 2 de la Section C ci-dessous).

(7) *Chapitre I, Section F.*

(8) *Section I ci-dessous.*

B

LA REALISATION D'UN SUPPORT ISOTROPE

*1.- Dispositif expérimental**L'objectif*

1- J'ai réalisé au cours de l'année 1959 un support *approximativement isotrope*¹, c'est-à-dire dépourvu de tout effet de rappel dans une direction déterminée. Mon objectif a été d'éliminer, autant que possible, toute anisotropie provenant de l'ensemble du support².

Il convenait non seulement de déterminer à tout instant la direction d'anisotropie de l'espace, mais également d'examiner l'influence de la suppression de l'anisotropie du support sur les anomalies périodiques précédemment constatées.

Support

2- Le support réalisé était très massif. Une plaque d'acier carrée S" de 130 cm de côté et de 2 cm d'épaisseur, et d'un poids de 230 kgs était serrée contre le plafond par un système de poutrelles. Trois cylindres (de 20 cm de diamètre, de 30 cm de haut et d'un poids de 65 kgs) supportaient une plaque triangulaire de 150 kgs dans laquelle un support circulaire évidé S' de 34 cm de diamètre et d'un poids de 6,5 kgs *pouvait tourner*³.

 (1) Allais : - *Pendule Paraconique. Réalisation d'un Support aussi Isotrope que Possible*, IRSID, 5 novembre 1959, 10 p ; - *Pendule Paraconique à Suspension Isotrope. Détermination des Variations au Cours du Temps des Caractéristiques de la Corrélation du Mouvement avec l'Azimut*, IRSID, 10 novembre 1959, 7 p.

(2) Mon objectif a été également d'éliminer toute anisotropie provenant du dispositif de suspension du pendule paraconique par l'étrier associé à l'appendice (*Chapitre I, § A.1.1* ci-dessus).

(3) Ce support évidé était d'une conception analogue à celle du support évidé de la suspension anisotrope (*Chapitre I, § A.1.1* ci-dessus).

Lors de chaque expérience élémentaire l'appendice du support évidé était orienté dans la direction du plan initial d'oscillation. Ainsi l'influence de l'appendice restait la même quel que soit l'azimut du plan initial d'oscillation, au moins en première approximation, et le pendule pouvait osciller dans toutes les directions ⁴.

L'horizontalité de la surface portante S de la bille a été réalisée à moins de 10 secondes sexagésimales près, inclinaison dont l'effet était tout à fait négligeable ⁵.

(4) Alors qu'auparavant le plan d'oscillation du pendule ne pouvait se déplacer que dans un angle total de 210 grades (*Chapitre I, § A.1.1. ci-dessus*).

(5) Voir ci-dessus, *Chapitre I, § B.3.3.*

2.- Une anisotropie pratiquement nulle du support

La mesure de l'anisotropie du support a été effectuée *suivant la même méthode* que pour le pendule paraconique à support anisotrope ¹.

En fait l'anisotropie constatée résulte de deux éléments : l'anisotropie du support et l'anisotropie moyenne de l'espace.

La mesure de l'anisotropie du support. Cinq séries d'expériences de corrélation

1- Le *Tableau I* présente les résultats obtenus à partir de cinq séries d'expériences de corrélation avec l'azimut réalisées entre le 24 septembre et le 16 octobre 1959. Chaque série d'expériences comprend 20 expériences élémentaires de 14 minutes.

Des calculs de corrélations permettent de déterminer les azimuts Σ_1 et Σ_2 intervenant dans la relation

$$(1) \quad \overline{\phi} = a_0 + a_1 \sin 2(\phi - \Sigma_1) + a_2 \sin 4(\phi - \Sigma_2)$$

représentant le mouvement du pendule dans chaque azimut pendant chaque expérience de 14 minutes ².

Dans l'ensemble les variations des angles Σ_1 et Σ_2 ont été *d'une bien plus grande ampleur* que dans les expériences précédentes de corrélation avec l'azimut dans le cas du support anisotrope puisque les angles Σ_1 et Σ_2 ont varié respectivement dans des intervalles de 100 et 70 grades au cours de la période considérée. L'angle Σ correspond à l'azimut pour lequel la somme des sinusoides correspondant à Σ_1 et Σ_2 coupe l'axe d'ordonnée égale à la valeur moyenne de cette somme de haut en bas à partir du sommet le plus élevé.

(1) Voir ci-dessus *Chapitre I*, § E.3.

(2) Par les mêmes expériences, je me suis efforcé de déterminer la valeur de l'angle ϕ du plan du disque avec le plan initial d'oscillation, telle qu'au cours d'une expérience de 14 minutes l'effet de Foucault de - 2,94 grades (soit - 0,21 grade par minute) soit compensé en moyenne. Cet angle ϕ correspond à une valeur moyenne nulle de la quantité a_0 et il est de l'ordre de 4 grades (*Tableau I*).

Il résulte de là que la moyenne de + 0,049 grade par minute des a_0 des expériences 2, 3, 4 et 5 du *Tableau I* est beaucoup plus faible en valeur absolue que la valeur $|a_0| = | - 0,104 |$ de la première expérience (tout à fait comparable à la moyenne de - 0,127 des a_0 du *Tableau X* du *Chapitre I*, § E.3, p. 180).

Pour les cinq séries d'expériences ³ les moyennes des azimuts Σ_1 , Σ_2 et Σ déterminées par le calcul sont voisines de l'azimut de la direction Sud-Nord.

Un support pratiquement isotrope

2- Une différence *tout à fait majeure* apparaît entre les résultats du *Tableau I* relatif au nouveau support et ceux du *Tableau X* du *Chapitre I* relatif au support anisotrope.

Aussi bien pour les angles Σ que pour les petits axes $2b$ les coefficients des seconds harmoniques a_2 et $2b_2$ sont *du même ordre de grandeur* que les coefficients a_1 et $2b_1$ des premiers harmoniques, alors que dans le cas du support anisotrope les coefficients a_2 et $2b_2$ sont environ *50 fois plus petits* que les coefficients a_1 et b_1 . Cette structure *entièrement différente* de celle relative au support anisotrope est *tout à fait incompatible* avec une anisotropie effective du nouveau support.

Cette constatation amène à considérer que l'effet d'anisotropie du support peut être considéré comme *pratiquement nul*, au moins en première approximation, et que les effets mesurés correspondent aux variations au cours du temps de l'anisotropie de l'espace ⁴.

L'anisotropie moyenne de l'espace au cours des expériences réalisées

3- Si on considère la corrélation

$$(2) \quad \overline{\phi} = a_0 + a_1 \sin 2(\phi - \Sigma_1)$$

(suite de la note 2)

Je rappelle que l'effet de Foucault de $-0,550 \cdot 10^{-4}$ radian par seconde correspond à un effet de $-0,21$ grade par minute (voir ci-dessus *Chapitre I*, § E.3.3, p. 178).

L'angle ϕ ne paraît avoir d'effet appréciable que sur a_0 .

(3) Toutes se situaient entre 7 h. 20 mn. et 19 h. 40 mn.

(4) Cette induction est *entièrement confirmée* par l'analyse des séries d'observations de novembre-décembre 1959 et de mars-avril 1960 (§ D.2 ci-dessous).

on a en grades par minute pour la moyenne des cinq séries d'expériences (*Tableau I*)

$$(3) \quad \bar{\phi}' = 0,018 - 0,051 \sin 2(\phi - 405,8)$$

soit en radians par seconde

$$(4) \quad \bar{\phi}' = 0,471 \cdot 10^{-5} - 0,133 \cdot 10^{-4} \sin 2(\phi - 405,8)$$

L'anisotropie correspondante est d'environ 13 fois plus faible que l'anisotropie due à la suspension anisotrope ⁵.

Comme j'ai été amené à considérer qu'elle ne saurait être attribuée à l'anisotropie du support, elle correspond à l'anisotropie moyenne de l'espace au cours des expériences réalisées.

 (5) $0,677 / 0,051 = 13,3$ (*Tableau X du Chapitre I, § E.3.3, et Tableau I ci-dessous*).
 Un calcul analogue pourrait être effectué en considérant les estimations des petits axes de l'ellipse. On a alors $0,174 / 0,018 = 9,67$. Toutefois le calcul effectué à partir des $\bar{\phi}'$ est *plus précis*. Les estimations des petits axes sont en effet moins bonnes que celles des azimuts.

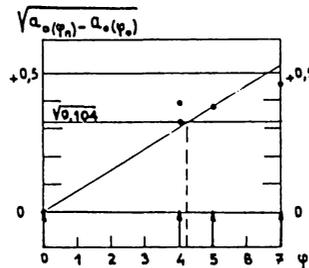
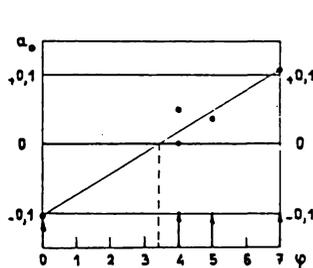
SUSPENSION ISOTROPE

CARACTERISTIQUES DE LA CORRELATION DU
MOUVEMENT AVEC L'AZIMUT DE DEPART
SAINT-GERMAIN

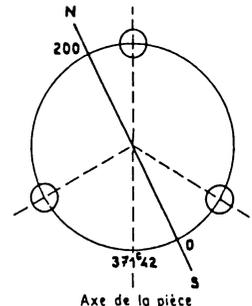
Pendule utilisé : P, q = 20 grades p = 2
φ = azimut du disque

PERIODE D'OBSERVATION			φ	DEPLACEMENT EN AZIMUT EN GRADES PAR MINUTE						PETIT AXE DE L'ELLIPSE EN FIN D'EXPERIENCE EN CENTIMETRES									
				300 < I ₁ < 300 (100)			350 < I ₂ < 350 (150)			300 < I ₁ ' < 300 (100)			350 < I ₂ ' < 350 (150)						
TL	JOURS	HEURES		a ₀	a ₁	I ₁	a ₂	I ₂ ^{''}	I ₂ ^{'''}	2b ₀	2b ₁	I ₁ '	2b ₂	I ₂ ^{''}	I ₂ ^{'''}	2b ₁ /a ₁	2b ₂ /a ₂	a ₁ /a ₀	b ₂ /b ₁
1	24.9.59	13" à 19"40	0	-0,104 ^u	-0,040 ^u	381,88 ^o	-0,077 ^u	409,81 ^o	405,0 ^o	+0,013 ^m	-0,011 ^m	386,68 ^o	-0,016 ^m	411,60 ^o	404,0 ^o	+0,275	+0,208	+1,925	+1,455
2	25.9.59	8" à 16"	7	+0,106	-0,015	386,17	-0,036	403,57	400,0	+0,017	-0,014	356,13	-0,008	414,05	335,0	+0,933	+0,222	+2,400	+0,571
3	28.9.59	7"30 à 14"	8	+0,037	-0,090	370,25	-0,164	329,66	338,0	+0,006	-0,034	381,57	-0,034	328,99	346,0	+0,378	+0,207	+1,822	+1,000
4	7.10.59	7"20 à 15"20	4	+0,001	-0,040	421,17	-0,059	380,42	390,0	+0,000 ₁	-0,005	409,19	-0,006	377,20	389,0	+0,125	+0,101	+1,475	+1,200
5	16.10.59	8" à 16"40	4	+0,051	-0,072	469,52	-0,036	462,23	465,0	+0,017	-0,030	478,37	-0,028	456,52	465,0	+0,417	+0,778	+0,500	+0,933
MOYENNES				+0,018 ^u	-0,051 ^u	405,80 ^o	-0,074 ^u	397,14 ^o	393,6 ^o	+0,011 ^m	-0,018 ^m	402,39 ^o	-0,018 ^m	397,67 ^o	387,8 ^o	+0,426	+0,303	+1,624	+1,032

- (1) I (I') = position où la somme des deux sinusoides coupe l'axe d'ordonnée égale à la valeur moyenne de haut en bas à partir du sommet le plus élevé
 (2) I₂ : détermination la plus voisine de I₁
 (3) I₂' : détermination la plus voisine de I₁'



DISPOSITION DU SUPPORT



Source : Tableau X A b 1 de ma Conférence du 7 novembre 1959, et ma Note du 25 novembre 1959, Réalisation d'un support aussi isotrope que possible (Reproduction par photocopie).

C

**LA DETERMINATION
DE L'AZIMUT X D'ANISOTROPIE DE L'ESPACE
METHODE D'ANALYSE**

1.- Deux méthodes possibles d'analyse : séries enchaînées et corrélations mobiles

Méthode des séries enchaînées

1- Pour déterminer au cours du temps l'azimut de la direction d'anisotropie de l'espace, une série d'expériences *enchaînées* réalisée avec un support isotrope ne pouvait être considérée comme susceptible de donner de bons résultats que si l'azimut du plan d'oscillation du pendule dans une telle série d'expériences se déplaçait suffisamment vite pour rester suffisamment près de la position d'équilibre qu'il aurait atteinte si cette position d'équilibre restait fixe, *position d'équilibre correspondant à la direction d'anisotropie de l'espace.*

Or, rien *a priori* ne permettait d'assurer qu'il pouvait en être ainsi. Il en résultait qu'avec la technique des séries enchaînées on risquait de n'obtenir qu'une représentation très déformée du mouvement de l'azimut d'anisotropie de l'espace ¹.

(1) Telle serait par exemple la représentation que l'on se ferait de la position d'un cycliste sur une piste circulaire si l'on observait uniquement un chien poursuivant ce cycliste et se déplaçant trois fois moins vite que lui lorsqu'il en est distant de 1/8 de tour (soit de 50 grades) et dont la vitesse serait nulle lorsqu'il se trouve sur le même diamètre ou à angle droit.

Méthode des corrélations mobiles

2- Pour surmonter cette difficulté, j'ai recouru à la technique suivante : on choisit 10 directions de lancers régulièrement espacées de 20 grades et on effectue une première série de 10 lancers *toutes les 20 mn.* dans un ordre choisi au hasard des 10 directions considérées, puis une deuxième série de 10 lancers dans le même ordre, et ainsi de suite ².

On est ainsi en mesure pour toute série de 10 expériences consécutives de déterminer à tout instant l'azimut d'équilibre stable Σ par un calcul de corrélation avec l'azimut en considérant les dix déplacements de l'azimut du pendule au cours de chaque série de dix expériences consécutives de 14 minutes en fonction des dix azimuts de départ ³.

Par cette technique, on peut mettre en évidence à tout instant les caractéristiques moyennes de la corrélation du mouvement du pendule avec l'azimut pendant une période de 200 minutes = 3 h. 20 mn. de 10 expériences consécutives de 20 minutes *encadrant l'instant considéré* ⁴.

A priori on pouvait considérer que les informations données par une telle technique d'exploration seraient constamment très proches de la réalité et d'autre part bien plus nombreuses que celles données par la méthode des séries enchaînées ⁵.

 (2) Ces dix azimuts ont été les suivants en grades : 240, 340, 300, 380, 280, 220, 360, 200, 320, 260.

(3) La méthode est celle du § B.2.1, p. 243-244, ci-dessus, utilisée pour mesurer l'anisotropie due au support.

(4) Chaque expérience élémentaire de 14 minutes intervient ainsi dans 10 calculs de corrélation.

(5) Elles résultent en effet, dans chaque série de dix expériences de 20 minutes consécutives, des mesures de variations d'azimut dans dix azimuts différents sur l'ensemble de l'horizon.

2.- Principe de calcul de la méthode des corrélations mobiles

Considérons pour simplifier le calcul du premier harmonique de la relation (1) du § B.2.1 ci-dessus.

Le principe du calcul est le suivant. Soit Δ_i la variation de l'azimut du plan d'oscillation du pendule dans l'expérience de 20 minutes de rang i . On considère la corrélation

$$(1) \quad \begin{aligned} \Delta_i &= \Delta_i^* + \varepsilon_i & (n-5 \leq i \leq n+4) \\ &= M + P \sin 2(X - A_i) + \varepsilon_i \end{aligned}$$

où A_i représente l'azimut de lancer et X la direction d'anisotropie de l'espace à cet instant.

On a

$$(2) \quad \Delta_i^* = M + P \cos 2 A_i \sin 2 X - P \sin 2 A_i \cos 2 X$$

On calcule

$$(3) \quad \begin{aligned} M_n &= \frac{1}{10} \sum_{n-5}^{n+4} \Delta_i \\ B_n &= \frac{1}{10} \sum_{n-5}^{n+4} \Delta_i \cos 2 A_i \\ C_n &= \frac{1}{10} \sum_{n-5}^{n+4} \Delta_i \sin 2 A_i \end{aligned}$$

On détermine alors la valeur moyenne X_n de X lors des 10 lancers considérés par les relations

$$(4) \quad \sin 2 X_n = B_n / P_n \quad \cos 2 X_n = C_n / P_n$$

$$(5) \quad P_n = \sqrt{B_n^2 + C_n^2}$$

L'angle $2 X_n$ est parfaitement déterminé à 400 grades près. L'angle X_n est ainsi déterminé à 200 grades près. On choisit la détermination X_n de telle sorte que la différence $X_n - X_{n-1}$ soit aussi petite que possible.

Généralement on constate que $X_n - X_{n-1}$ reste suffisamment faible pour qu'il n'y ait aucune indétermination sur la valeur choisie de X_n .

Le calcul du second harmonique de la direction d'anisotropie s'effectue suivant des modalités analogues.

3.- Illustration de la méthode des corrélations mobiles

A titre d'illustration ¹ le *Tableau II* indique les résultats obtenus dans une première série d'observations continues du 30 octobre, 16 h. 40 mn., au 2 novembre, 19 h., avec une interruption de 13 h. le 2 novembre ². Le *Tableau II* n'indique les résultats des corrélations que de 2 heures en 2 heures ³.

Chaque valeur d'azimut n'étant déterminée par la corrélation correspondante qu'à 200 grades près, *on passe d'une valeur à la suivante en prenant pour cette dernière la détermination de Σ la plus voisine de la précédente.*

Le *Graphique I* donne en outre la représentation des variations au cours du temps des azimuts Σ , Σ_1 et Σ_2 , les azimuts Σ_1 et Σ_2 correspondant aux sinusoïdes d'ajustement des premier et second harmoniques, et l'azimut Σ correspondant à la position où la somme des deux sinusoïdes d'ajustement des premier et deuxième ordre coupe la droite représentative de la valeur moyenne $(\Sigma_1 + \Sigma_2) / 2$ du déplacement de haut en bas à partir de son sommet plus élevé ⁴.

On voit qu'au cours d'une même période de 24 h. la variation de ces azimuts a dépassé 100 grades.

L'azimut $X(t)$ de l'anisotropie de l'espace peut être identifié avec l'azimut Σ déterminée par la corrélation correspondant à l'instant t .

(1) Voir ma Note du 10 novembre 1959, *Pendule paraconique à suspension isotrope, Détermination au cours du temps des caractéristiques de la corrélation avec le mouvement de l'azimut.*

(2) Cette interruption avait été rendue nécessaire par la fatigue des opérateurs en raison d'une longue série d'observations antérieures.

(3) Dans ce paragraphe, et pour simplifier, je garde les notations de ma Note du 10 novembre 1959 (note 1 ci-dessus). La direction d'anisotropie X est désignée par la notation Σ . Le *Tableau II* et le *Graphique I* de ma Note du 10 novembre 1959 sont reproduits par photocopie.

(4) Comme les deux sinusoïdes composantes de ϕ' ont une amplitude comparable on ne saurait se limiter à la seule considération de la première.

Tableau II

SUSPENSION ISOTROPE

**VARIATION AVEC LE TEMPS DES
CARACTERISTIQUES DE LA CORRELATION
DU MOUVEMENT AVEC L'AZIMUT**

DEPLACEMENT EN AZIMUT EN GRADES PAR MINUTE

$$\phi' = a_0 + a_1 \sin 2(\phi - \Sigma_1) + a_2 \sin 4(\phi - \Sigma_2)$$

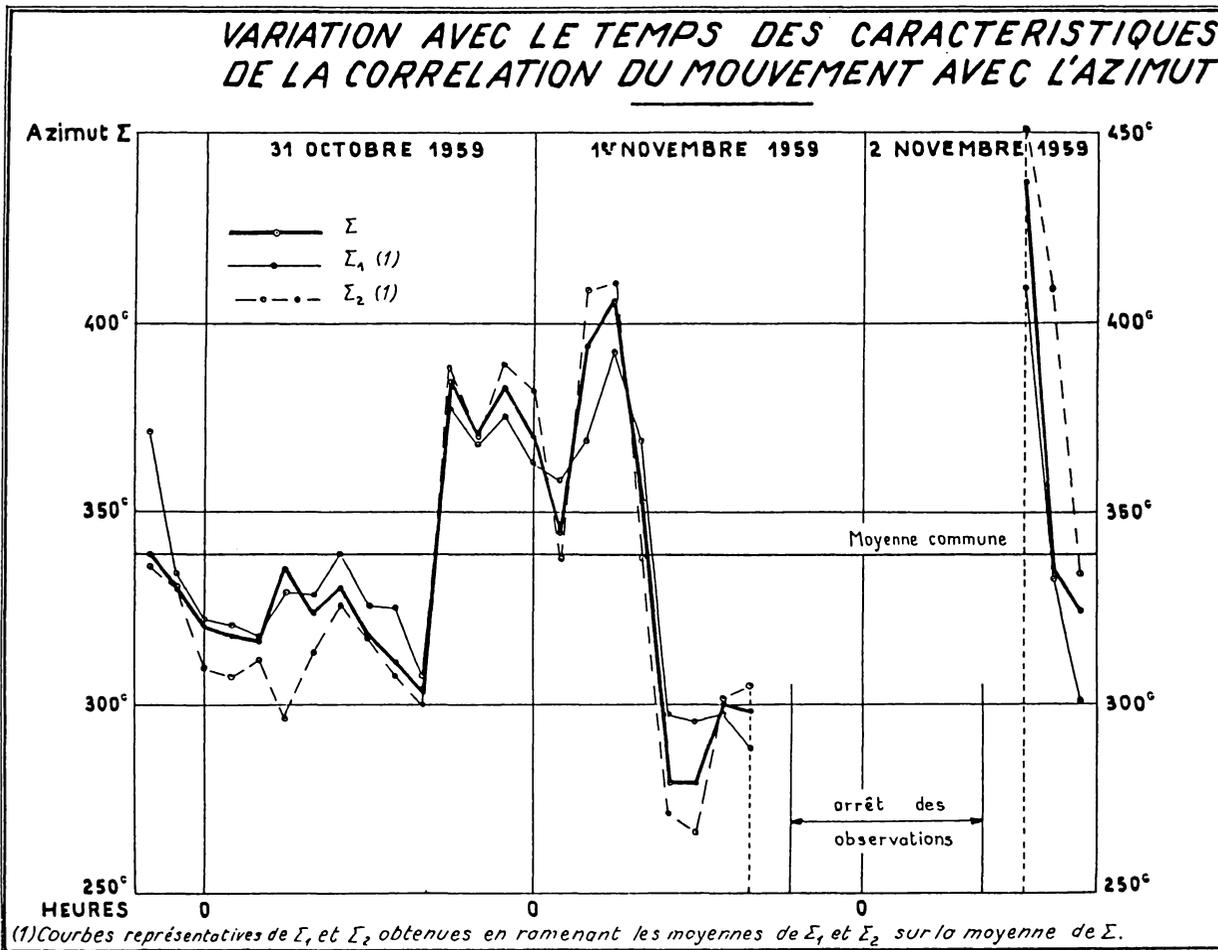
$\Sigma =$ azimut où la somme des deux sinusoides coupe l'axe moyen
de haut en bas à partir du sommet le plus élevé

$200 < \Sigma_1 < 400$

Détermination de Σ_2 la plus proche de Σ_1

t		a_0	a_1	Σ_1	a_2	Σ_2	Σ	$\sqrt{a_1^2 + a_2^2}$	a_2/a_1	
JOUR	HEURE									
30.10.59	20"	-0,087	-0,087	379,24	-0,182	330,87	339	0,202	2,092	
	22	-0,041	-0,098	341,87	-0,113	325,79	330	0,150	1,153	
31.10.59	0"	-0,032	-0,106	329,60	-0,042	304,83	321	0,115	0,396	
	2	-0,061	-0,142	327,75	-0,057	302,63	318	0,153	0,401	
	4	-0,149	-0,167	324,45	-0,053	306,89	317	0,175	0,317	
	6	-0,124	-0,159	336,74	-0,021	290,63	335	0,160	0,132	
	8	-0,150	-0,079	336,06	-0,033	309,31	324	0,086	0,418	
	10	-0,090	-0,053	346,75	-0,067	323,35	330	0,085	1,264	
	12	-0,063	-0,057	332,77	-0,086	312,53	318	0,103	1,509	
	14	-0,018	-0,071	331,38	-0,086	302,33	311	0,112	1,211	
	16	-0,040	-0,080	315,16	-0,072	294,65	303	0,108	0,900	
	18	-0,068	-0,051	385,38	-0,044	383,28	385	0,067	0,863	
	20	-0,084	-0,060	375,43	-0,054	365,25	370	0,081	0,900	
	22	-0,085	-0,102	383,14	-0,043	384,55	383	0,111	0,422	
	1.11.59	0"	-0,074	-0,125	370,91	-0,014	377,08	370	0,126	0,112
		2	-0,069	-0,033	365,64	-0,025	333,12	345	0,041	0,758
4		-0,087	-0,073	376,69	-0,066	403,85	394	0,098	0,904	
6		-0,083	-0,064	400,55	-0,099	405,84	406	0,118	1,547	
8		-0,065	-0,073	376,72	-0,054	333,82	353	0,091	0,740	
10		+0,033	-0,035	305,17	-0,036	265,48	279	0,050	1,029	
12		-0,043	-0,091	303,32	-0,071	260,19	279	0,115	0,780	
14		-0,013	-0,106	305,08	-0,115	296,52	300	0,156	1,085	
16	-0,093	-0,103	296,26	-0,191	299,08	298	0,217	1,854		
Arret des observations										
2.11.59	12	+0,027	-0,073	417,26	-0,071	447,13	437	0,102	0,973	
	14	+0,007	-0,080	340,36	-0,021	404,63	335	0,083	0,263	
	16"	-0,074	-0,062	308,54	-0,074	329,66	324	0,097	0,119	
MOYENNE DES VALEURS		-0,063	-0,086	346,62	-0,069	334,35	339	0,115	0,852	

Source : Ma Note du 10 novembre 1959, *Pendule paraconique à suspension isotrope.*
Détermination des variations au cours du temps des caractéristiques de la
corrélation avec le mouvement de l'azimut (reproduction par photocopie).



Source : Ma Note du 10 Novembre 1959 (voir Source du Tableau II) (reproduction par photocopie).

4.- La méthode des corrélations mobiles et ses difficultés d'application

Une méthode optimale dans son principe

1- En principe la détermination de l'azimut $X(t)$ du plan d'anisotropie à tout instant par la méthode des corrélations mobiles pouvait apparaître *a priori* comme optimale.

Cependant elle était assez laborieuse, car pour N observations elle implique le calcul de $2(N - 9)$ corrélations ¹.

De plus l'application de cette méthode s'est avérée relativement difficile en raison de fortes fluctuations, dans certains cas, de l'ordre de 200 grades de l'angle Σ calculé à partir des corrélations déterminant Σ_1 et Σ_2 *par suite de l'influence de billes défectueuses*. Il est résulté de là une certaine incertitude sur la détermination de Σ .

L'influence perturbatrice des billes

2- Une difficulté *majeure* est apparue en effet dans l'application de la méthode des corrélations mobiles en raison de l'influence perturbatrice des billes. Dans les expériences *enchaînées* l'influence très perturbatrice d'une mauvaise bille peut fausser la variation $\Delta\phi$ de l'azimut, *mais cette perturbation est limitée à l'expérience considérée*. Au contraire dans le cas de l'application de la méthode des corrélations mobiles une mauvaise bille *peut fausser complètement* la détermination de l'angle X d'anisotropie, et cette influence se fait sentir sur dix corrélations consécutives.

Supposons en effet que par suite de l'influence d'une mauvaise bille on ait approximativement $X_n = X_{n-1} + 100$ grades. Comme X_n est déterminé à 200 grades près la détermination $X_n = X_{n-1} - 100$ grades convient *tout aussi bien*.

(1) En 1959-1960 il fallait exécuter tous les calculs sans l'aide d'ordinateurs.

Un lissage par des moyennes mobiles

3- J'ai essayé d'éliminer cette difficulté en considérant des corrélations sur 20 valeurs au lieu de 10, et en considérant les moyennes mobiles $\bar{M}_n, \bar{B}_n, \bar{C}_n$, des M_n, B_n, C_n sur 19 valeurs, et à nouveau les moyennes mobiles des $\bar{\bar{M}}_n, \bar{\bar{B}}_n, \bar{\bar{C}}_n$ des $\bar{M}_n, \bar{B}_n, \bar{C}_n$ sur 19 valeurs. On détermine alors X_n par les relations ²

$$(1) \quad \sin 2 X_n = \bar{\bar{B}}_n / \bar{\bar{P}}_n \qquad \cos 2 X_n = \bar{\bar{C}}_n / \bar{\bar{P}}_n$$

$$(2) \quad \bar{\bar{P}}_n = \sqrt{\bar{\bar{B}}_n^2 + \bar{\bar{C}}_n^2}$$

analogues aux relations (4) et (5) du § 2 ci-dessus ³.

J'ai pu ainsi éliminer la presque totalité des difficultés rencontrées.

 (2) Voir ma Note du 17 juin 1985, *Analyse des mouvements du pendule paraconique à suspension isotrope. 20 novembre 1959, 7h. 20 mn. - 15 décembre 1959, 15 h. 20 mn.*, (49 p.)

(3) Des formules analogues ont été utilisées pour le calcul du second harmonique de la direction X d'anisotropie de l'espace.

D

**LES VARIATIONS DE L'AZIMUT
D'ANISOTROPIE DE L'ESPACE
NOVEMBRE - DECEMBRE 1959 ET MARS - AVRIL 1960**

1.- Séries d'observations de novembre-décembre 1959 et mars-avril 1960

Du 20 novembre au 15 décembre 1959 et du 16 mars au 16 avril 1960 deux séries mensuelles d'observations des déplacements du plan d'oscillation du pendule paraconique dans dix azimuts ont été effectuées *suyvant la méthode des corrélations mobiles* exposée dans la *Section C* ci-dessus en utilisant la suspension isotrope et un pendule identique à celui utilisé dans les expériences cruciales de juillet 1958 ^{1, 2}.

(1) La série d'observations de novembre-décembre 1959 a dû être arrêtée prématurément en raison de la fatigue des opérateurs. *Elle ne compte ainsi que 25 jours d'observations alors que la série de mars-avril 1960 porte sur 31 jours d'observations.*

La première série d'expériences s'est poursuivie du 20 novembre 7 h. au 15 décembre 15 h. ; et la seconde du 16 mars 9 h. au 16 avril 15 h.

(2) Parallèlement à ces observations deux séries d'observations *enchainées* du pendule paraconique à *support anisotrope* ont été réalisées en utilisant un pendule identique à celui utilisé avec le support isotrope.

Une analyse détaillée de l'ensemble de ces observations sera présentée dans le *Deuxième volume* de cet ouvrage, *Chapitres I et II.*

Voir également mon Mémoire d'ensemble du 12 juin 1995, *Analyse Empirique et Théorique des Anomalies du Pendule Paraconique*, Révision de mon Mémoire de mars 1992, Section VI, p. 37-44.

Un des objectifs poursuivis en effectuant *parallèlement* des observations avec la suspension isotrope et la suspension anisotrope était de déterminer l'influence exacte de l'anisotropie du support anisotrope sur l'azimut du plan d'oscillation du pendule paraconique.

Faute de temps cette analyse n'a jamais pu être effectuée. Elle reste à faire.

2.- L'anisotropie moyenne de l'espace

Corrélations d'ensemble des variations $\Delta\phi_i$ d'azimuts avec les azimuts A_i

1- Le *Tableau III* présente les déplacements *moyens*, en grades par minute, de l'azimut du plan d'oscillation du pendule paraconique, au cours des deux séries mensuelles d'observations de novembre-décembre 1959 et de mars-avril 1960, dans les dix azimuts considérés ¹, et les deux corrélations *de l'ensemble* des variations d'azimut avec l'azimut de lancement du pendule correspondant aux deux séries mensuelles.

Les deux corrélations sont *remarquablement semblables*. Elles correspondent toutes les deux à *la même anisotropie résiduelle*, environ 17 fois plus faible que l'anisotropie correspondant à la suspension anisotrope ².

Interprétation des anisotropies moyennes

2- La direction moyenne d'anisotropie est de 323 grades pour la série mensuelle de novembre-décembre 1959 et de 318 grades pour la série mensuelle de mars-avril 1960, les angles étant comptés à partir du Sud dans le sens positif. Ces deux directions sont *pratiquement identiques*, et elles sont toutes deux *voisines de la direction Est-Ouest* ³.

A première vue ces résultats pourraient apparaître en contradiction avec les résultats des corrélations effectuées du 24 septembre au 16 octobre 1959 (*Tableau I* du § B.2) qui ont donné des coefficients d'anisotropie voisins, mais dont la direction moyenne d'anisotropie est de 406 grades, *donc pratiquement orientée suivant le méridien*.

(1) Note (2) du § C.1 ci-dessus.

(2) *Chapitre I*, § E.3, *Tableau X* ci-dessus, p. 180, et *Tableau III* ci-dessous.
Je rappelle que le *Tableau X* du *Chapitre I* et le *Tableau III* ci-dessous donnent les variations d'azimuts *en grades par minute*. On a ainsi (*Tableau III*) : $0,677/0,0404 = 16,75$.

(3) On a (*Tableau I* du § B.1) : $a_1 = -0,051$ grade par minute ; et (*Tableau III* ci-dessous) : $\bar{r} = -0,0404$ grade par minute. On a également $X = 318,5$ et $325,5$ grades avec $\bar{X} = 322$ grades.

Il y a lieu cependant de remarquer que ces expériences (*Tableau I*) sont en nombre limité ⁴, qu'en moyenne elles ont été effectuées au voisinage du passage du Soleil au méridien, et qu'on peut les considérer ainsi comme résultant de l'influence dominante du Soleil aux heures des expériences ⁵.

De plus, de l'ensemble de ces expériences on peut conclure que l'anisotropie due au nouveau support est pratiquement nulle, et que le nouveau support peut être considéré comme isotrope ⁶. Si en effet il y avait une anisotropie du support elle se serait manifestée de la même manière dans les expériences du *Tableau I* et dans les expériences du *Tableau III*.

En fait, l'anisotropie moyenne constatée au cours des deux périodes mensuelles d'observations peut ainsi être considérée comme l'anisotropie moyenne de l'espace au cours des deux périodes considérées, et cette anisotropie moyenne de l'espace, décelée par les mouvements du pendule paraconique, est restée pratiquement constante et orientée approximativement Est-Ouest.

 (4) Elles ne correspondent qu'à 102 expériences de 14 minutes, alors que les séries mensuelles d'observations de novembre-décembre 1959 et de mars-avril 1960 correspondent respectivement à 1824 et 2220 expériences de 14 minutes.

(5) La moyenne des heures moyennes des expériences est d'environ 12 heures 30 minutes (*Tableau I* du § B.2 ci-dessus, p. 246).

(6) C'est à cette même conclusion que l'analyse du *Tableau I* a déjà conduit (§ B.2. ci-dessus).

En fait, s'il existait une anisotropie due au support, elle apparaîtrait inchangée dans toutes les expériences. Ce n'est évidemment pas le cas. Si donc il existait une anisotropie due au nouveau support, elle pourrait être considérée comme négligeable.

ANISOTROPIE MOYENNE DE L'ESPACE

Pendule paraconique à support isotrope

Observations des deux séries mensuelles

de novembre-décembre 1959 et de mars-avril 1960

***Variations moyennes Δ en grades par minute des azimuts du pendule
au cours des expériences de 14 minutes***

Azimuts A_i	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380
Novembre-Décembre 1959						$m = -0,140$				
$\delta = \Delta - m$	-0,018	-0,023	0,008	0,022	0,047	0,024	0,022	0,004	-0,039	-0,052
Mars-Avril 1960						$m = -0,151$				
$\delta = \Delta - m$	-0,012	0,011	0,030	0,038	0,038	0,007	-0,001	-0,012	-0,068	-0,029

Légende : $\delta = \Delta - m$ en grades par minute au cours d'une expérience de 14 minutes.

Ajustement de Novembre-Décembre 1959 : coefficient de corrélation : $R = 0,945$ $1-R^2 = 0,107$
 $\delta_i^* = r \sin 2(A_i - X)$ $r = 0,0399$ grades $X = 318,5$ grades

Ajustement de Mars-Avril 1960 : coefficient de corrélation : $R = 0,930$ $1-R^2 = 0,136$
 $\delta_i^* = r \sin 2(A_i - X)$ $r = 0,0410$ grades $X = 325,5$ grades

Moyennes des ajustements : $\bar{r} = 0,0404$ $\bar{X} = 322$ grades $\bar{m} = -0,145$ grades par minute

Comparaison avec l'anisotropie du support anisotrope (Chapitre I, § E.3, Tableau X)
 Suspension anisotrope : $m = -0,127$ grades par minute $r = 0,677$ grades par minute

Rapport des coefficients d'anisotropie : $0,677 / 0,0404 = 16,75$

Sources : Calculs 1105 et 1106 (10 mars 1996)

3.- La détermination de la variation au cours du temps de la direction d'anisotropie X de l'espace pendant les deux périodes de novembre-décembre 1959 et de mars-avril 1960.

En appliquant la méthode des corrélations mobiles associée au lissage des données ¹ les directions X de l'anisotropie de l'espace ont été déterminées toutes les 20 minutes pour les deux périodes mensuelles de novembre-décembre 1959 et de mars-avril 1960.

Les deux *Graphiques II et III* représentent les variations de la direction X d'anisotropie de l'espace pendant ces deux périodes.

Au cours de ces deux périodes les variations d'azimut de la direction X d'anisotropie ont été *considérables*, d'environ 1800 grades, soit 4,5 tours, en 25 jours dans *le sens direct* en novembre-décembre 1959, et d'environ 900 grades, soit 2,25 tours, en 31 jours dans *le sens rétrograde* en mars-avril 1960. Pour la première période la variation moyenne par jour a été d'environ 70 grades, et pour la seconde elle n'a été que d'environ 30 grades, près de deux fois et demie plus faible ².

(1) § C.1, C.2, et C.4.3 ci-dessus.

(2) $70/30 = 2,33$.

L'importance des variations des azimuts de la direction d'anisotropie se trouve confirmée par les observations *enchaînées* du pendule paraconique à suspension isotope de septembre-octobre 1959 (Section H ci-dessous, p. 315-319).

La différence des sens de variation entre les deux périodes s'explique par l'influence des périodicités semi-annuelles, annuelles et de longue durée (voir ci-dessus *Chapitre V*, Section B).

Cette analyse sera effectuée dans le *Deuxième volume* de cet ouvrage, *Chapitre II*, Section A (p. 28 ci-dessus).

En fait, les variations de la direction d'anisotropie résultent *essentiellement* d'influences astronomiques.

Les deux *Graphiques II et III* illustrent ainsi une *différence essentielle entre la suspension isotrope et la suspension anisotrope*. En novembre-décembre 1959 l'azimut du plan d'oscillation du pendule paraconique de la suspension *anisotrope* n'a oscillé en effet qu'entre les deux valeurs extrêmes de 342 et 500 grades, et en mars-avril 1960 il n'a oscillé qu'entre les deux valeurs extrêmes de 350 et 406 grades. Les variations totales d'azimut correspondantes n'ont été ainsi respectivement que de 158 et 56 grades ³. L'amplitude totale des variations des azimuts des séries enchaînées a été ainsi de près de trois fois plus faible en mars-avril 1960 qu'en novembre-décembre 1959 ⁴.

En fait, si grandes que soient les variations d'azimut de la direction X d'anisotropie de l'espace correspondant à la suspension isotrope, elles sont *beaucoup plus faibles* que celle qui correspondrait à l'effet de Foucault *s'il se manifestait seul au cours d'une même expérience continue*. Cet effet est d'environ 300 grades par jour et il se manifesterait toujours dans le sens rétrograde ⁵.

Il convient de souligner que les deux *Graphiques II et III* sont *d'une nature entièrement différente* de celle des *Graphiques* représentatifs des azimuts du plan d'oscillation du pendule paraconique *dans les expériences enchaînées* ⁶. Il ne s'agit pas en effet ici de la représentation *des azimuts ϕ du plan d'oscillation* du pendule paraconique *au cours d'expériences enchaînées*, mais de la représentation *des directions X d'anisotropie de l'espace* déterminées à partir des calculs de corrélation des variations du plan d'oscillation du pendule paraconique en fonction des azimuts de départ ⁷.

(3) Voir ci-dessus le *Tableau I* du § A.3 du *Chapitre I* ci-dessus.

L'analyse de la correspondance entre les azimuts de la direction d'anisotropie du pendule paraconique pour la suspension isotrope et la suspension anisotrope sera effectuée dans le *Deuxième Volume* de cet ouvrage, *Chapitre II*, *Section A*.

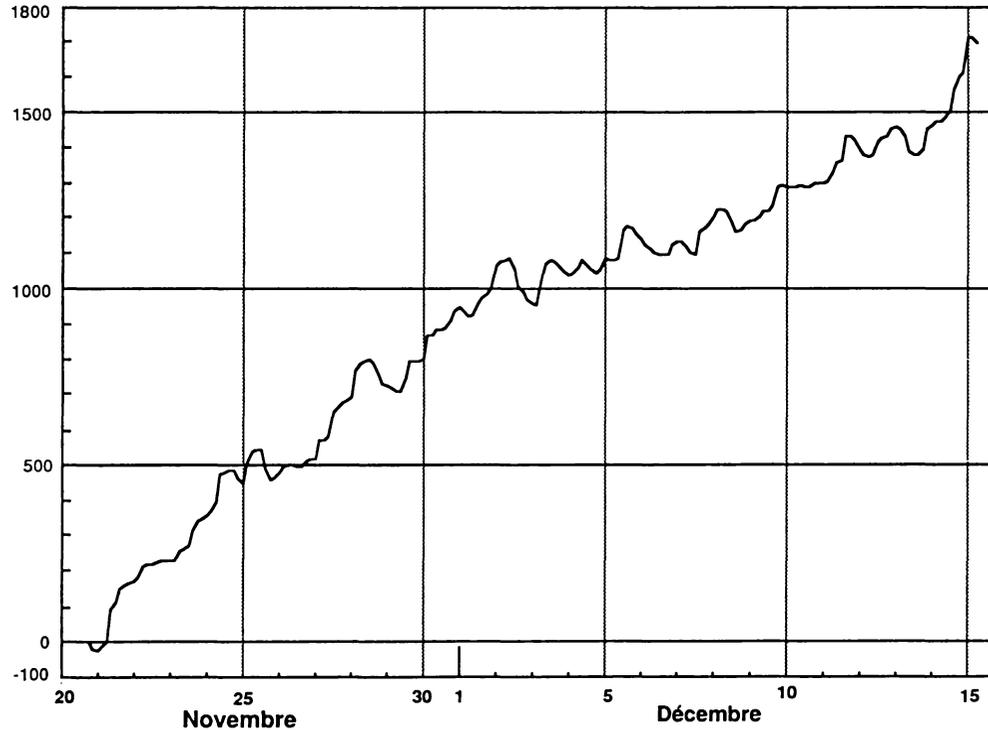
(4) Il est remarquable que ces deux rapports $70 / 30 = 2,33$ et $158 / 56 = 2,82$ soient tout à fait comparables.

(5) L'effet de Foucault à Saint-Germain est de $-\omega \sin L = -0,55 \cdot 10^{-4}$ radians par seconde. A cette valeur angulaire de rotation du pendule de Foucault correspond une rotation de 400 grades en 31,761 heures, soit une rotation de $-302,26$ grades par jour.

(6) Comme par exemple les *Graphiques* représentatifs des azimuts ϕ du plan d'oscillation du pendule paraconique en juin-juillet 1955 (*Graphique II*, *Chapitre I*, § A.2 ci-dessus, p. 89), ou en juillet 1958 à Bougival (*Graphique XXIV*, *Chapitre I*, § C.2.4 ci-dessus, p. 154).

(7) Suivant la méthode des corrélations mobiles exposée dans la *Section C* ci-dessus.

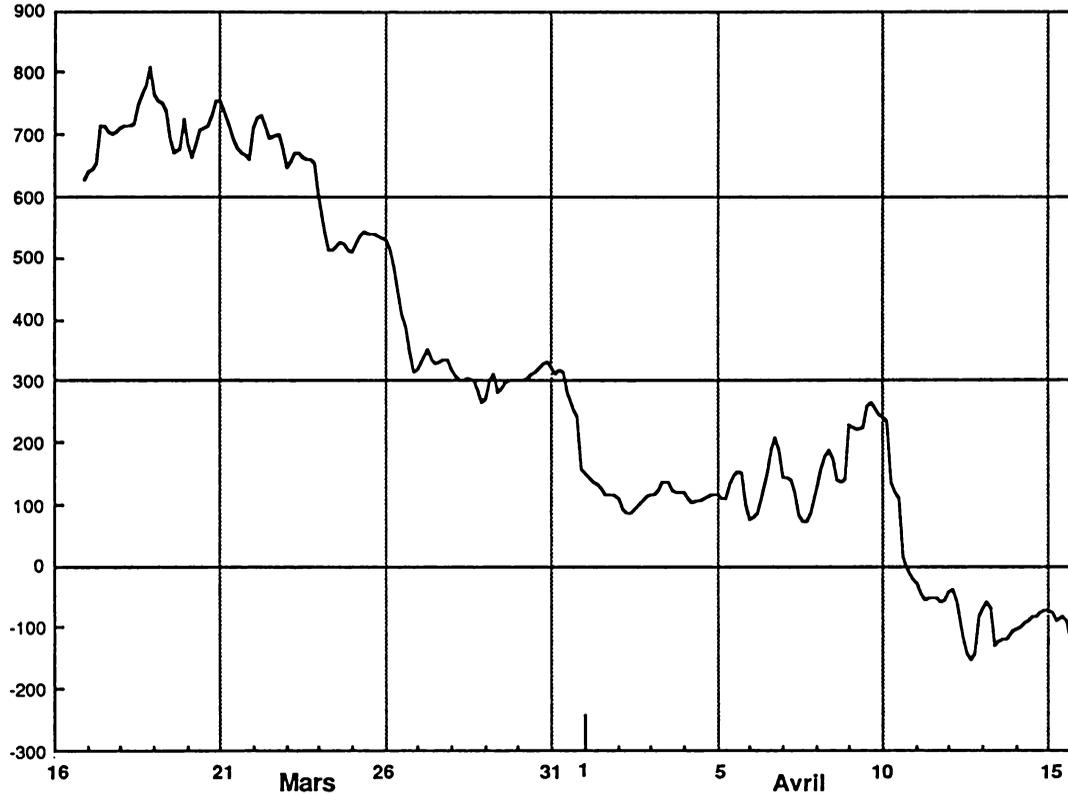
PENDULE PARACONIQUE A SUPPORT ISOTROPE
AZIMUTS DE LA DIRECTION D'ANISOTROPIE DE L'ESPACE
déterminés à partir de la série mensuelle d'observations
20 novembre 18 h. - 15 décembre 6 h. 1959



Légende : N = 197 valeurs relevées de 3 h en 3 h de l'azimut d'anisotropie. Les azimuts sont comptés en grades positivement à partir du Sud dans le sens direct.

Source : Graphique 10842 et Tableau 12708 (18 octobre 1985).

PENDULE PARACONIQUE A SUPPORT ISOTROPE
AZIMUTS DE LA DIRECTION D'ANISOTROPIE DE L'ESPACE
déterminés à partir de la série mensuelle d'observations
16 mars 21 h. - 15 avril 18 h. 1960



Légende : N = 240 valeurs relevées de 3 h en 3 h de l'azimut d'anisotropie. Les azimuts sont comptés en grades positivement à partir du Sud dans le sens direct.

Source : Graphique 10977 et Tableau 12705 (19 décembre 1985).

4.- Variations au cours du temps de $\cos 2 X$ correspondant à la direction X d'anisotropie de l'espace de novembre-décembre 1959 et mars-avril 1960

Graphiques représentatifs de $\cos 2 X$

1- Les *Graphiques IV et V* représentent les oscillations de l'azimut d'anisotropie X du pendule paraconique à suspension isotrope en portant en ordonnées $\cos 2 X$ au lieu de X pour les deux séries mensuelles de Novembre-Décembre 1959 et Mars-Avril 1960.

Les Graphiques représentatifs de $\cos 2 X$ et $\sin 2 X$ ont l'avantage de mieux représenter les variations au cours du temps de la situation azimutale effective du plan d'anisotropie du pendule paraconique à suspension isotrope ¹. Pour simplifier et à titre d'illustration je ne présente que les deux Graphiques relatifs à $\cos 2 X$.

(1) A chaque valeur de $2 X$ correspond *une direction et une seule* de la direction d'anisotropie. Si en effet X varie de 200 grades, $2 X$ varie de 400 grades.

Au méridien correspond la valeur $\cos 2 X = 1$ et à la direction Est-Ouest correspond la valeur de $\cos 2 X = -1$. Pour $\cos 2 X = 0$ la direction d'anisotropie se confond avec une des deux directions inclinées de 50 grades par rapport au méridien. Des considérations analogues peuvent être présentées pour les graphiques représentatifs de $\sin 2 X$.

Pour l'analyse des oscillations de la direction d'anisotropie X il peut y avoir intérêt à considérer la deuxième représentation correspondant à $\cos 2 X$ et $\sin 2 X$ parallèlement à la première correspondant à X (voir ci-dessous § H.2, p. 317-319).

En effet alors que la détermination de la direction d'anisotropie X soulève des difficultés en raison de l'influence perturbatrice des billes (§ C.4.2 ci-dessus), les valeurs de $\cos 2 X$ et $\sin 2 X$ sont toujours parfaitement déterminées et elles ne soulèvent aucune difficulté d'interprétation.

Comme les directions X d'anisotropie sont comptées positivement dans le sens direct à partir du méridien, tout franchissement du méridien par la direction d'anisotropie correspond à une valeur de X multiple de 200 grades et à une valeur de $2 X$ multiple de 400 grades, c'est-à-dire à une valeur de $\cos 2 X$ égale à l'unité.

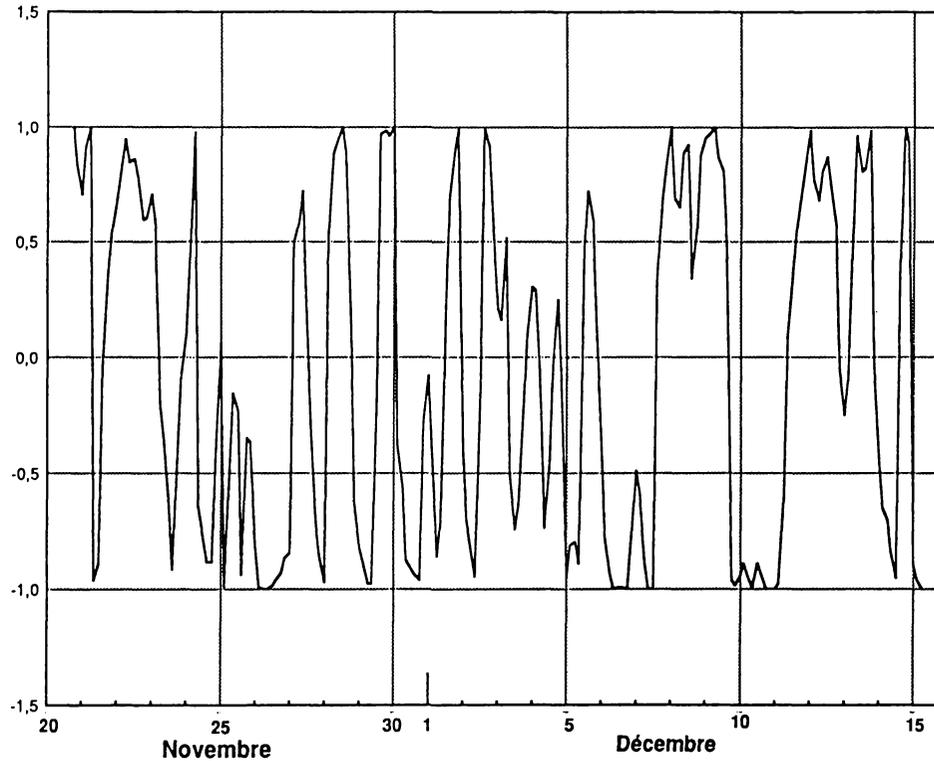
Comme on le constate sur les *Graphiques IV et V* on voit qu'en de très nombreux points il suffit d'une mauvaise bille pour que la direction d'anisotropie X franchisse ou non le méridien ².

(2) On a pour les moyennes de $\cos 2 X$ et $\sin 2 X$:

$$\text{Novembre-Décembre 1959} : \overline{\cos 2 X} = -0,0698, \quad \overline{\sin 2 X} = -0,0167$$

$$\text{Mars-Avril 1960} : \overline{\cos 2 X} = -0,477, \quad \overline{\sin 2 X} = -0,208$$

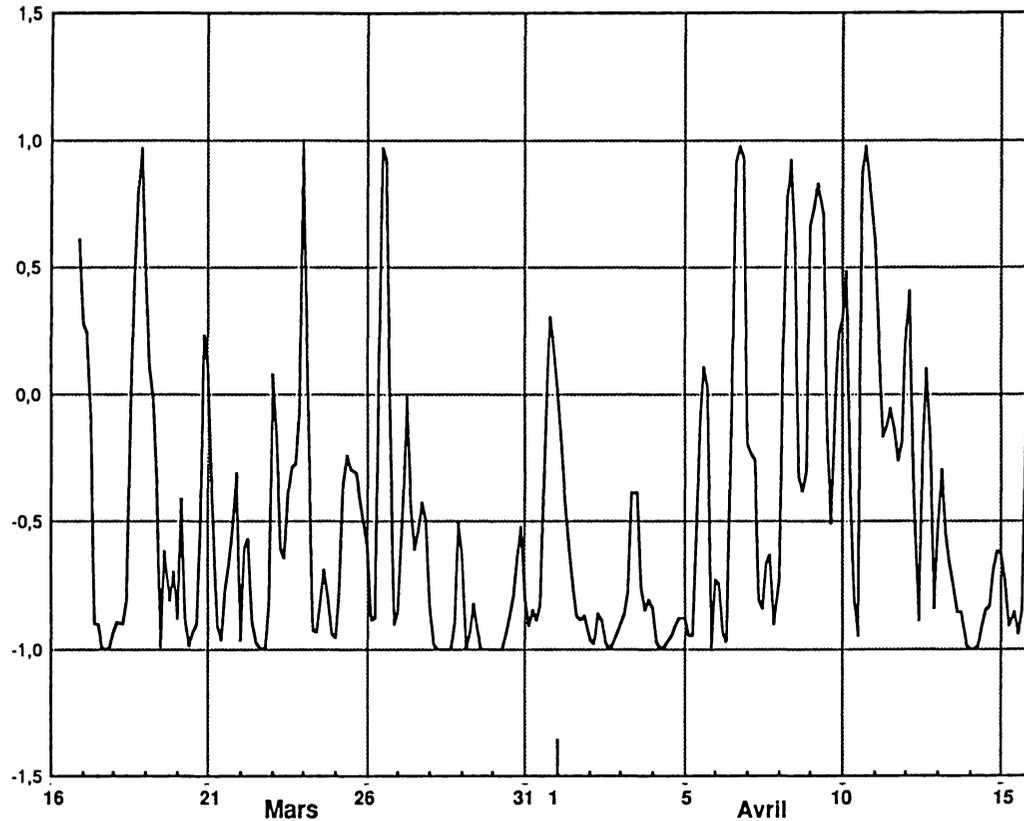
PENDULE PARACONIQUE A SUPPORT ISOTROPE
AZIMUTS X DE LA DIRECTION D'ANISOTROPIE DE L'ESPACE
REPRESENTATION DE $\cos 2X$
20 novembre 18 h - 15 décembre 6 h 1959



Légende : N = 197 valeurs de $\cos 2X$, de 3 heures en 3 heures. Valeur de $\overline{\cos 2X} = -0,0698$
 $\cos 2X = +1$: direction du méridien ; $\cos 2X = -1$: direction Est-Ouest

Sources : Graphique II - Tableau 12708 (22 mai 1996)
Calcul 1114 - Graphique 13805 (23 mai 1996)

PENDULE PARACONIQUE A SUPPORT ISOTROPE
 AZIMUTS X DE LA DIRECTION D'ANISOTROPIE DE L'ESPACE
 REPRESENTATION DE $\cos 2 X$
 16 mars 21 h - 15 avril 18 h 1960



Légende : N = 240 valeurs de $\cos 2 X$, de 3 heures en 3 heures. Valeur de $\overline{\cos 2 X} = -0,477$
 $\cos 2 X = + 1$: direction du méridien ; $\cos 2 X = - 1$: direction Est-Ouest

Sources : Graphique III - Tableau 12707 (21 mai 1996)
 Calcul 1113 - Graphique 13804 (23 mai 1996)

Sommes cumulées des différences $\cos 2 X - \overline{\cos 2 X}$

2- Alors qu'aucune régularité n'apparaît clairement sur les *Graphiques IV et V*, il en est tout différemment des graphiques représentatifs des valeurs cumulées

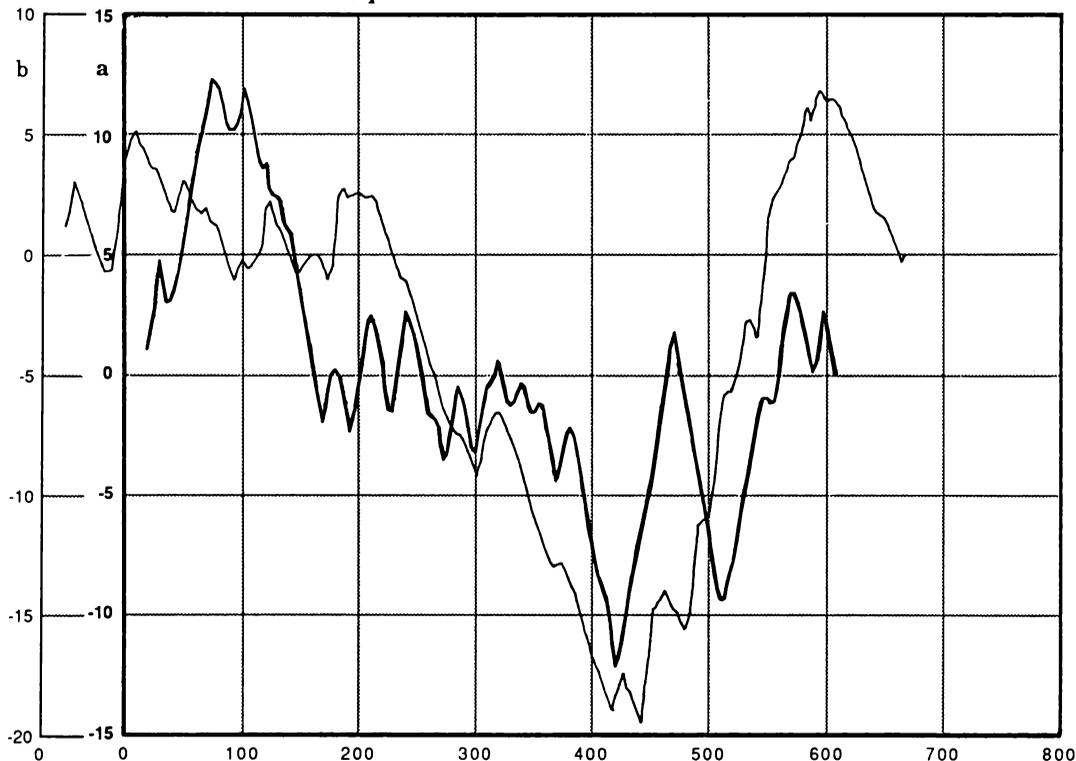
$$\sum_1^N (\cos 2 X - \overline{\cos 2 X})$$

des différences entre les valeurs de $\cos 2 X$ et leur moyenne $\overline{\cos 2 X}$ pour les deux périodes de novembre-décembre 1959 et de mars-avril 1960⁴. De plus une similitude très significative apparaît entre ces deux Graphiques.

Le *Graphique VI* représente en effet la corrélation entre les valeurs cumulées de $(\cos 2 X - \overline{\cos 2 X})$ pour les deux séries d'observations de novembre-décembre 1959 et de mars-avril 1960. La similitude des courbes démontre l'existence d'une même structure périodique sous-jacente dans les deux périodes.

 (4) La sommation a un double effet : d'une part, atténuer l'effet aléatoire des billes ; et d'autre part renforcer relativement les amplitudes des périodicités dont les périodes sont plus grandes.

PENDULE PARACONIQUE A SUPPORT ISOTROPE
 AZIMUTS X DE LA DIRECTION D'ANISOTROPIE DE L'ESPACE
 VALEURS CUMULEES $\Sigma (\cos 2 X - \overline{\cos 2 X})$
 Septembre-octobre 1959 et mars-avril 1960



Légende : a — Novembre-Décembre 1959. $\Sigma (\cos 2 X - \overline{\cos 2 X})$

b — Mars-Avril 1960. $\Sigma (\cos 2 X - \overline{\cos 2 X})$

Sources : a — Graphique IV ci-dessus ; et calcul 1232 et Graphique 13863 (11 octobre 1996)

b — Graphique V ci-dessus ; et calcul 1231 et Graphique 13862 (11 octobre 1996)

E

**LA STRUCTURE PERIODIQUE DIURNE ET MENSUELLE
DE LA DIRECTION D'ANISOTROPIE DE L'ESPACE
NOVEMBRE - DECEMBRE 1959 ET MARS - AVRIL 1960**

1.- Périodicités diurnes de l'azimut X d'anisotropie de l'espace

Le *Tableau IV* présente les amplitudes des composantes périodiques de la direction X d'anisotropie de l'espace pour huit périodes de la théorie actuelle des périodicités lunisolaires et leur comparaison avec les coefficients correspondant à cette théorie.

Aussi bien pour la période de mars-avril 1960 que pour la période de novembre-décembre 1959 on constate des périodicités lunisolaires très marquées de 24 h., de 24 h. 50 mn., de 12 h. et de 12 h. 25 mn. On constate également d'autres périodes significatives ¹.

Relativement aux périodicités diurnes des séries enchaînées du pendule paraconique à suspension *anisotrope*, les périodicités diurnes de la direction d'anisotropie de l'espace, déduites des observations du pendule paraconique à suspension *isotrope* présentent dans l'ensemble des caractéristiques essentielles.

(1) Les amplitudes indiquées résultent des ajustements des valeurs de l'azimut X de la direction d'anisotropie avec les sinusoides de périodes indiquées associées à un trend linéaire.

Je rappelle que la série de novembre-décembre 1959 ne comprend que 25 jours d'observations contre 30 jours d'observations pour la série de mars-avril 1960.

Les calculs du *Tableau IV* ont été effectués en 1996.

Amplitudes des composantes périodiques diurnes

1 - Tout d'abord les amplitudes des composantes périodiques diurnes de 24 h. et 24 h. 50 mn. de la direction d'anisotropie sont en moyenne *cinq fois* plus grandes que les amplitudes des composantes correspondantes des séries du pendule paraconique à suspension anisotrope ².

Les amplitudes *relatives* des deux composantes de 24 h. 50 mn. et de 24 h. sont *d'un ordre de grandeur comparable* pour les deux séries mensuelles de novembre-décembre 1959 et de mars-avril 1960 ³.

(2) Pour les amplitudes 2 R en grades on a d'après le *Tableau IV* et le *Tableau I* du *Chapitre I*, § A.3.1

		Direction d'anisotropie (suspension isotrope) 2 R (1)	Azimuths des séries enchaînées (suspension anisotrope) 2 R (2)	Rapport des amplitudes (3) = (1) / (2)
24 h.	nov.-déc. 1959	9,9	2,5	4,0
	mars-avril 1960	2,1	1,8	1,2
	moyennes	6	2,15	2,6
24 h. 50 mn.	nov.-déc. 1959	20,3	1,3	15,6
	mars-avril 1960	4,2	1,5	2,8
	moyennes	12,25	1,4	3,45
	moyennes générales	9,1	1,8	5,1

On a : $9,1 / 1,8 = 5,1$ et $(4,0 + 1,2 + 15,6 + 2,8) / 4 = 5,9$

$6 / 2,15 = 2,79$ et $12,25 / 1,4 = 8,75$

Il convient de souligner que la série d'observations de novembre-décembre 1959 ne comprenant que 25 jours, les ondes de 24 h. et 24 h. 50 mn. de cette série sont imparfaitement séparées.

(3) Ainsi pour la suspension *isotrope* on a pour la période de 24 h : $9,9 / 2,1 = 4,4$; et pour la période de 24 h 50 mn : $20,3 / 4,2 = 4,8$.

Pour les observations de novembre-décembre 1959 et de mars-avril 1960 de la suspension *isotrope* on a encore respectivement $20,3 / 9,9 = 2,1$ et $4,2 / 2,1 = 2$.

Pour les observations enchaînées de la suspension *anisotrope* on a $2,5 / 1,8 = 1,39$ et $1,3 / 1,5 = 0,87$.

Le fait marquant est ainsi une amplification moyenne considérable, de l'ordre de 1 à 5, des amplitudes des composantes périodiques diurnes de la direction d'anisotropie correspondant à la suspension isotrope, les structures périodiques relatives restant d'un ordre de grandeur comparable ⁴.

*Structure périodique diurne de la direction d'anisotropie X
de l'espace et coefficients lunisolaires*

2- De plus encore, comme précédemment pour les séries enchaînées ⁵, on constate que la structure périodique de la direction d'anisotropie de l'espace diffère *totalemment* de la structure périodique des coefficients des périodicités lunisolaires déduits de la théorie actuelle des marées (*Tableau IV* ci-contre).

Les périodicités marquantes de la direction X d'anisotropie de l'espace correspondent en effet aux ondes M_1 et O_1 de 24,84 h. et de 25,82 heures, alors que pour les coefficients lunisolaires de la théorie des marées les périodicités marquantes sont les périodicités K_1 et M_2 de 24 h. et de 12,42 heures. *Dans les deux cas les deux périodicités marquantes représentent à elles seules plus de 40 % du total des amplitudes ^{6, 7}.*

(4) Une analyse détaillée des périodicités diurnes du pendule paraconique à suspension isotrope en novembre-décembre 1959 et en mars-avril 1960 est présentée dans le *Deuxième volume* de cet ouvrage, *Chapitre II*, Section A (p. 28 ci-dessus).

(5) Voir notamment le *Tableau XI* du *Chapitre I*, § E. 3 (p. 187).
Pour les périodes diurnes les rapports a / b de ce *Tableau XI* sont : 0,552 ; 3,92 ; 0,465 ; 4,16. Elles sont du même ordre de grandeur que les rapports a / b du *Tableau IV* ci-dessous, soit 0,376 ; 5,56 ; 1,87 ; 5,92.

(6) Les amplitudes moyennes des 8 périodicités pour novembre-décembre 1959 et mars-avril 1960 sont respectivement de 9,94 et 4,85 grades (79,5 / 8 et 38,8 / 8) dont le rapport est très voisin de 2 (9,94 / 4,85 = 2,01).

Le rapport des trends des *Graphiques IV et V* est également de l'ordre de 2 (67,4 / 30,05 = 2,21), comme d'ailleurs le rapport des amplitudes (144,3 / 68,2 = 2,12).

(7) Une circonstance *tout à fait remarquable* doit être soulignée. Les ajustements avec une période de 31,761 heures correspondant à la rotation de Foucault des deux séries de la direction d'anisotropie de novembre-décembre 1959 et mars-avril 1960 associés avec des trends linéaires donne des amplitudes respectives de 22,2 et de 11,8 grades, tout à fait comparables aux amplitudes de 20,3 et 4,2 grades pour l'onde de 24 h. 50 mn.

Je rappelle qu'à Saint-Germain l'effet de Foucault - $\omega \sin L$ correspond à une rotation dans le sens rétrograde de $0,55 \cdot 10^{-4}$ radians par seconde, soit à une rotation de 400 grades en 31,761 heures (§ D.3 note 5 ci-dessus).

Tableau IV

AZIMUTS DE LA DIRECTION D'ANISOTROPIE DE L'ESPACE
EFFETS LUNISOLAIRES DIURNES ET SEMI-DIURNES
Amplitudes observées et coefficients des périodicités lunisolaires

Périodicités	K ₁ 23 h 93	M ₁ 24 h 84	O ₁ 25 h 82	Q ₁ 26 h 87	S ₂ 12 h	M ₂ 12 h 42	N ₂ 12 h 66	2 N ₂ 12 h 92	Total des amplitudes
Amplitude de l'onde : 2 R en grades									
Novembre-Décembre 1959 ¹	9,89	20,3	17,0	11,6	5,13	1,74	5,86	8,03	79,5
Mars-Avril 1960 ¹	2,11	4,21	9,93	5,55	1,04	5,17	3,77	6,98	38,8
Novembre-Décembre 1959 ²	12,4	25,5	21,4	14,6	6,45	2,19	7,37	10,1	100
Mars-Avril 1960 ²	5,44	10,9	25,6	14,3	2,68	13,3	9,72	18,0	100
Moyenne des valeurs relatives : a	8,92	18,2	23,5	14,5	4,56	7,74	8,55	14,1	100
Théorie des périodicités lunisolaires									
Coefficients ¹	0,706	0,0977	0,377	0,0730	0,563	0,908	0,232	0,0235	2,98
Valeurs relatives : b	23,7	3,28	12,6	2,45	18,9	30,5	7,78	0,789	100
Rapport des valeurs relatives									
Rapports a / b	0,376	5,55	1,87	5,92	0,241	0,254	1,10	17,9	1

Légende : (1) : Valeurs absolues (2) : Valeurs relatives = valeurs absolues / total des amplitudes (ou des coefficients)

Sources : 1) Azimuts en grades des directions d'anisotropie : *Graphiques II et III* du § II D

2) Coefficients de la théorie actuelle des périodicités lunisolaires : Schureman, 1941, *Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides*, p. 164-165. Les coefficients des périodes très voisines sont additionnés.

3) Calculs d'analyse harmonique : C-1116-1117 ; C-1119 à 1121 ; C-1126 à 1131 ; C-1136 ; C-1153-1154 (24 mars-18 juin 1996)

2.- Périodicité lunaire sidérale mensuelle de l'azimut X d'anisotropie de l'espace

Les *Graphiques VII et VIII* représentent les ajustements des séries mensuelles de la direction X d'anisotropie de l'espace de novembre-décembre 1959 et de mars-avril 1960 avec une sinusoïde de période égale à la période sidérale de la Lune de 27,322 jours associée avec un trend linéaire.

Les deux coefficients de corrélation multiple sont respectivement de 0,994 et 0,965. Les amplitudes $2R$ des deux sinusoïdes sont respectivement de 288 grades et de 136 grades. Elles sont d'un ordre de grandeur comparable, mais la première est approximativement double de la seconde ¹.

L'importance *relative* des amplitudes de la composante périodique sidérale lunaire de 27,322 jours est beaucoup plus grande pour l'azimut X d'anisotropie de l'espace que pour les coefficients lunisolaires de la théorie actuelle ².

(1) On a $288,6 / 136,4 = 2,116$.

Les deux amplitudes de 288 et 136 grades sont environ trois fois et demie plus grandes que les sommes des amplitudes correspondantes du *Tableau IV*. On a en effet : $288,6 / 79,5 = 3,63$ et $136,4 / 38,8 = 3,52$.

On a encore : $79,5 / 38,8 = 2,049$ (*Tableau IV*), rapport très voisin du rapport cidessus de 2,116.

(2) En désignant par $2R_B$ l'amplitude de la composante périodique de 27,322 jours, on a (*Tableau IV et Graphiques VII et VIII*) : $2R_B / 2R_{24} = 288,6 / 9,89 = 29,18$ en novembre - décembre 1959 et $2R_B / 2R_{24} = 136,4 / 2,11 = 64,64$ en mars - avril 1960.

Or, pour les coefficients lunisolaires (Schureman 1941, id., p. 164) on a $2R_B / 2R_{24} = 0,1269 / 0,706 = 0,179$ (la somme des coefficients des ondes voisines numérotées 141, 73, et 74 de Schureman, soit 27,322 ; 27,554 ; et 27,092 jours, est en effet de $0,0399 + 0,0827 + 0,0043 = 0,1269$).

On voit ainsi que l'importance relative représentée par le rapport $2R_B / 2R_{24}$ est environ 360 fois plus grande ($64,64 / 0,179 = 361$) pour les azimuts X que pour les coefficients lunisolaires de la théorie actuelle. En Novembre-Décembre 1959 ce rapport est d'environ 160 ($29,18 / 0,179 = 163$).

Il est *très remarquable* que compte tenu de leurs dates moyennes respectives les deux sinusoïdes correspondant à la période de 27,322 jours sont *presque rigoureusement en phase*, ce qui ne serait pas le cas si on considérait les ajustements correspondant à la période synodique de la Lune de 29,53 jours ³. Cette concordance de phase *démontre l'existence d'une très forte cohérence* entre les données de l'observation pour les deux périodes de novembre-décembre 1959 et mars-avril 1960 ⁴.

 (3) La distance en jours du sommet de la sinusoïde d'ajustement de novembre-décembre 1959 par rapport au 1^{er} janvier 1960, 0 h. (*Graphique VII*) est :

$$365,25 - 332,50 = 32,75$$

La distance entre le 1^{er} janvier 1960, 0 h., et le sommet de la sinusoïde d'ajustement de mars-avril 1960 est de 76,21 jours. Il résulte de là que la distance en jours des deux sommets des sinusoïdes d'ajustement est (*Graphique VIII*) :

$$32,75 + 76,21 = 108,96 \text{ jours}$$

Cette distance est *presque rigoureusement égale à 4 fois la période sidérale de la Lune de 27,321 jours*. On a en effet

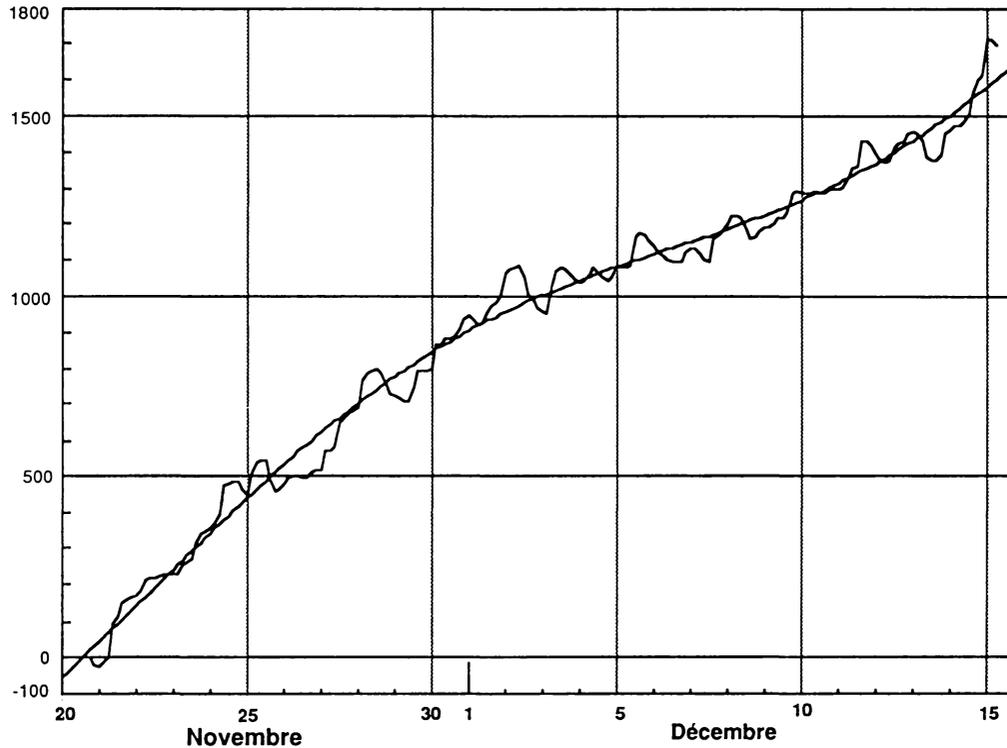
$$108,96 / 27,321 = 3,988$$

(4) En fait, pour ces deux ajustements les trends linéaires *peuvent s'interpréter comme les éléments de périodicités plus longues* (voir la note 2 du § D.3 ci-dessus, p. 259, et le *Chapitre V* ci-dessous, § B.4).

DIRECTION D'ANISOTROPIE X DE L'ESPACE

20 Novembre - 15 Décembre 1959

Ajustement des azimuts suivant la période sidérale de la Lune de 27,322 jours
associée à un trend linéaire



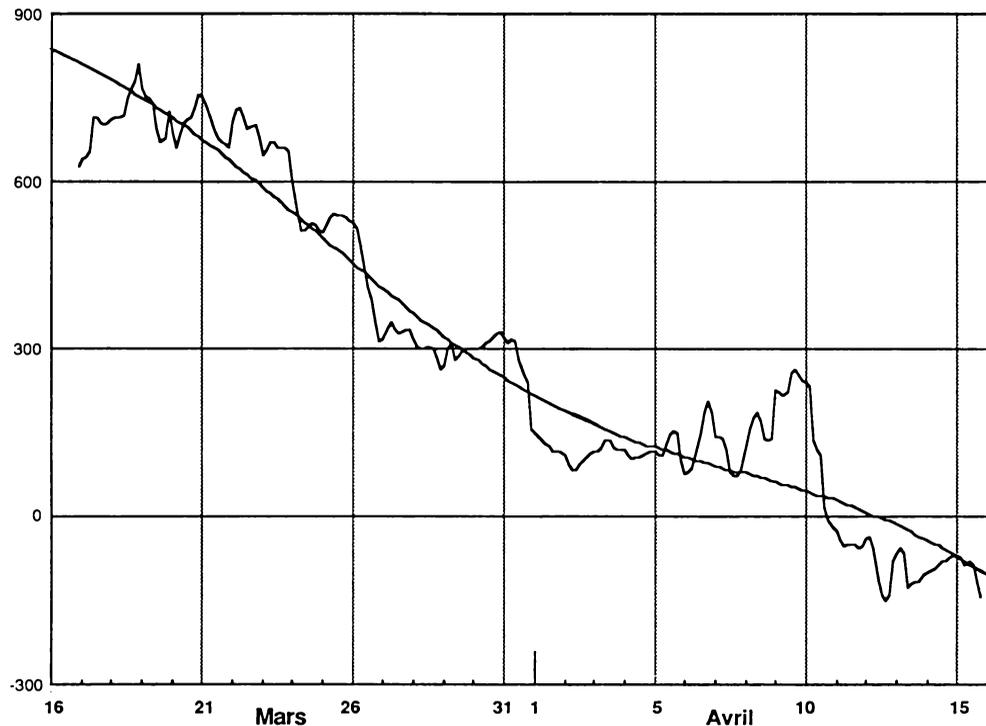
Légende : $\Sigma = 421$ grades ; $R = 0,994$; $1-R^2 = 0,013$; $m = 904,37$ grades ; $N = 197$
 trend = + 67,4 grades par jour ; $r = 144,3$ grades ; date du maximum de la sinusoïde : 29 novembre 12 h.
 ($s_0 = 332,5$ jours à partir du 1^{er} janvier 1959, 0 h.). Voir la *Légende* du *Graphique XXVII* du *Chapitre 1*.

Sources : *Graphique II*, Calcul 1112 (23 mai 1996), et *Graphique 13803*.

DIRECTION D'ANISOTROPIE X DE L'ESPACE

16 Mars - 16 Avril 1960

Ajustement des azimuts suivant la période sidérale de la Lune de 27,322 jours
associée à un trend linéaire



Légende : $\Sigma = 279$ grades ; $R = 0,965$; $1 - R^2 = 0,068$; $m = 290,7$ grades ; $N = 240$
 trend = - 30,5 grades par jour ; $r = 68,2$ grades : Date du maximum de la sinusoïde : 18 mars 5 h.
 ($s_0 = 76,21$ jours à partir du 1^{er} janvier 1960, 0 h.). Voir la Légende du Graphique XXVII du Chapitre I.

Sources : Graphique III, Calcul 1111 (21 mai 1996), et Graphique 13801.

3.- Périodicité lunaire sidérale mensuelle des valeurs cumulées des différences $\cos 2 X - \overline{\cos 2 X}$

Les *Graphiques IX et X* représentent les ajustements des valeurs cumulées des différences $\cos 2 X - \overline{\cos 2 X}$ pour les séries des azimuts de la direction d'anisotropie X de l'espace pour novembre-décembre 1959 et mars-avril 1960 ^{1, 2}.

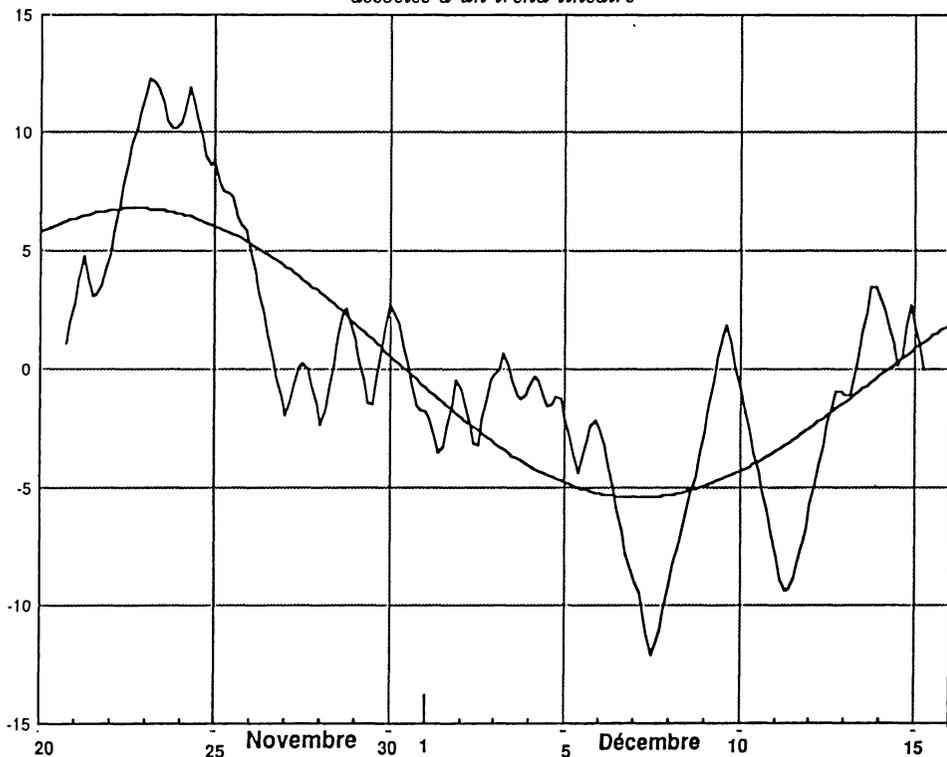
 (1) $\overline{\cos 2 X}$ représente la moyenne des $\cos 2 X$.

(2) Sur la comparaison des phases voir le *Tableau VIII* du § G.3 ci-dessous, p. 313.

DIRECTIONS D'ANISOTROPIE X DE L'ESPACE
VALEURS CUMULEES DE $\cos 2X - \frac{\cos 2X}{\cos 2X}$

20 Novembre - 15 Décembre 1959

Ajustement suivant la période sidérale de la Lune de 27,322 jours
 associée à un trend linéaire

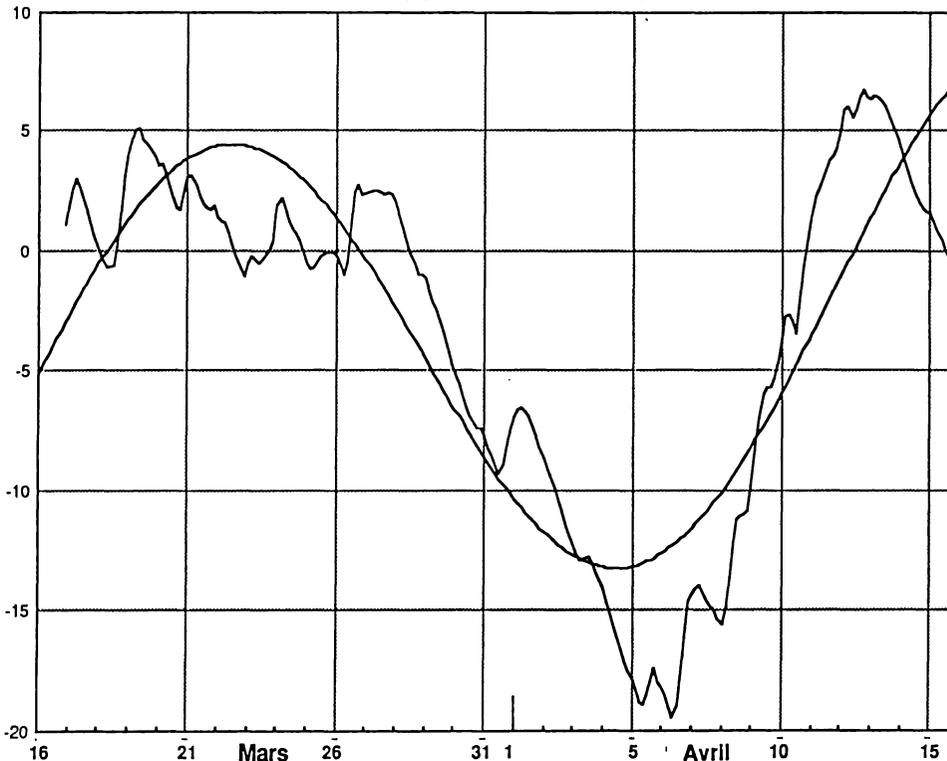


Légende : $\Sigma = 5,374$; $R = 0,810$; $1-R^2 = 0,344$; $m = 1,698$; $N = 197$
 trend = - 0,00428 ; $r = 5,378$; date du maximum de la sinusoïde : 23 novembre 1 h.
 ($s_0 = 326,09$ jours à partir du 1er janvier 1959, 0 h.). Voir la *Légende* du *Graphique XXVII* du *Chapitre I*.

DIRECTIONS D'ANISOTROPIE X DE L'ESPACE
 VALEURS CUMULEES DE $\cos 2 X - \cos 2 X$

16 Mars - 16 Avril 1959

Ajustement suivant la période sidérale de la Lune de 27,322 jours
 associée à un trend linéaire



Légende : $\Sigma = 7,255$; $R = 0,879$; $1-R^2 = 0,227$; $m = -6,755$; $N = 240$
 trend = 0,00748 ; $r = 10,043$; date du maximum de la sinusoïde : 22 mars 3 h.
 ($s_0 = 80,4$ jours à partir du 1er janvier 1960, 0 h.) Voir la Légende du Graphique XXVII du Chapitre I.

Sources : Graphique V ci-dessus ; Calcul 1234 (14 octobre 1996) et Graphique 13865

F

**STRUCTURE PERIODIQUE DIURNE ET MENSUELLE
DES DEPLACEMENTS DU PLAN D'OSCILLATION
DU PENDULE PARACONIQUE A SUPPORT ISOTROPE
A PARTIR DES DIRECTIONS NORD-SUD ET EST-OUEST**

1.- Déviations Δ du plan d'oscillation du pendule paraconique à partir du méridien

La direction d'anisotropie de l'espace a été déduite des observations de novembre-décembre 1959 et mars-avril 1960 par la méthode des corrélations mobiles ¹ à partir des déplacements Δ du plan d'oscillation du pendule paraconique du support isotrope *dans dix azimuts particuliers.*

Il est naturellement très instructif d'analyser les déplacements du plan d'oscillation du pendule paraconique *dans chacun de ces azimuts* et leur structure périodique.

A titre d'illustration, et pour simplifier, je me borne ici tout d'abord à examiner la structure périodique diurne et mensuelle des déplacements Δ du plan d'oscillation du pendule paraconique à support isotrope à partir du méridien ².

(1) Section C ci-dessus.

(2) Il ne faut attribuer aucune signification particulière au choix tout à fait arbitraire de cet azimut particulier pour cette illustration. En fait, on trouverait des résultats analogues à ceux qui suivent pour tous les autres azimuts.
Le plan d'anisotropie de l'espace, au cours de chacune des deux périodes mensuelles d'observations, est déterminé en effet successivement à partir de dix différentes directions également espacées, et il en résulte qu'*en moyenne* la structure périodique des déviations Δ est indépendante pour une grande part des azimuts considérés (§ II.C.1 ci-dessus, p. 248).

Dans les § 5 et 6 ci-dessous je donne quelques indications sur les déviations du plan d'oscillation du pendule paraconique à partir de la direction Est-Ouest et sur leurs relations avec les déviations Nord-Sud.

Les *Graphiques XI et XII* représentent les déplacements Δ en grades par minute à partir du méridien en fonction des heures à partir du début des expériences au cours des deux périodes mensuelles d'observations de novembre-décembre 1959 et mars-avril 1960 ¹.

Les fluctuations des Δ sont *très marquées*. Elles résultent à la fois de leurs composantes périodiques diurnes et de l'influence importante des billes.

En novembre-décembre 1959 et mars-avril 1960 les moyennes des Δ sont respectivement de - 0,159 et - 0,162 grades par minute et leurs écarts type sont respectivement de 0,201 et 0,208 grades par minute ². *Ce sont pratiquement les mêmes valeurs.*

 (1) Pour le méridien on ne dispose naturellement que d'une valeur pour chaque série d'expériences de 3 h. 20 mn. (20 mn. x 10 = 3 h. 20 mn.). On dispose ainsi de $N = 182$ valeurs pour la série d'observations de novembre-décembre 1959 et de $N = 222$ valeurs pour la série d'observations de mars-avril 1960.

Je rappelle que la série de novembre-décembre 1959 ne comportant que 25 jours la séparation des ondes de 24 h. 50 mn. et de 24 h. n'est assurée que *très partiellement*. La séparation de ces deux ondes implique en effet une durée de 30 jours.

(2) Les valeurs moyennes - 0,159 et - 0,162 pour l'azimut $A = 200$ grades sont naturellement identiques aux valeurs indiquées sur le *Tableau III* de la *Section D* ci-dessus (p. 258). On a en effet pour $A = 200$ grades

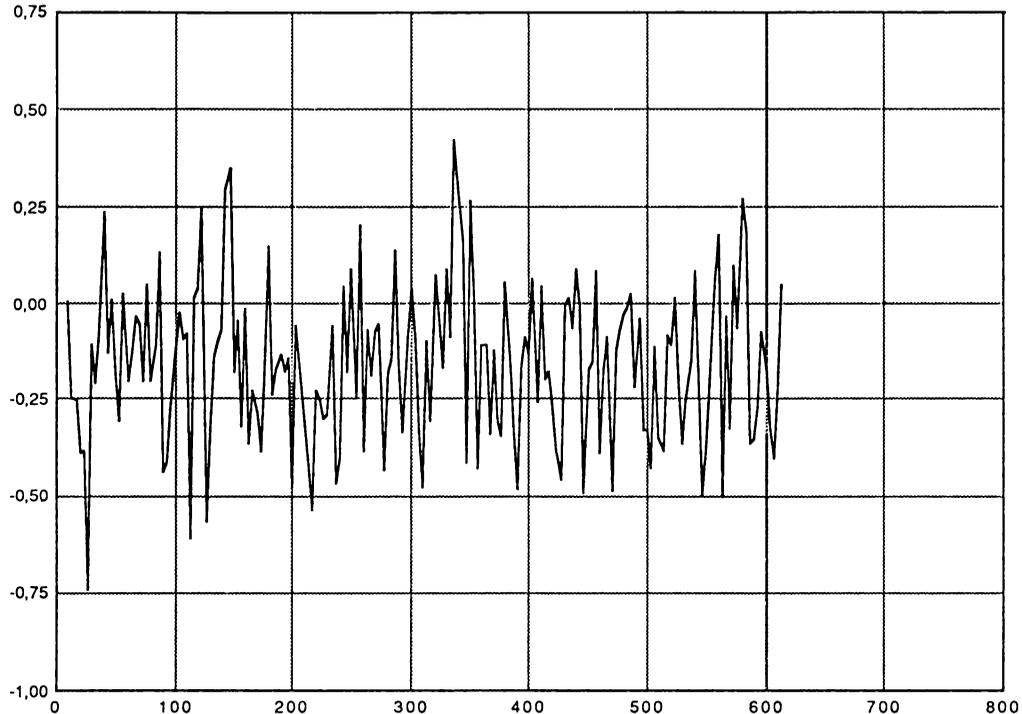
$$\bar{\Delta} = m + \bar{\delta} = -0,140 - 0,018 = -0,158 \quad \text{et} \quad \bar{\Delta} = m + \bar{\delta} = -0,151 - 0,012 = -0,163$$

On a

$$-0,158 \cdot 14 = -2,21 \text{ grades} \quad \text{et} \quad -0,163 \cdot 14 = -2,27 \text{ grades}$$

alors que l'effet de Foucault correspond à - 2,94 grades en 14 minutes (§ I.A.4, note 1, p. 93 ci-dessus).

SUPPORT ISOTROPE
DEVIATIONS Δ EN GRADES PAR MINUTE DU PLAN D'OSCILLATION
DU PENDULE PARACONIQUE A PARTIR DU MERIDIEN
 20 novembre 9 h. 40 mn. - 15 décembre 13 h. 1959



Légende : Les Δ (de 3h. 20 mn. en 3 h. 20 mn.) sont indiqués en grades par minute et comptés positivement dans le sens direct.

Les abscisses s sont indiquées en heures à partir du 20 novembre 0 h. : $9,66 \leq s \leq 613$

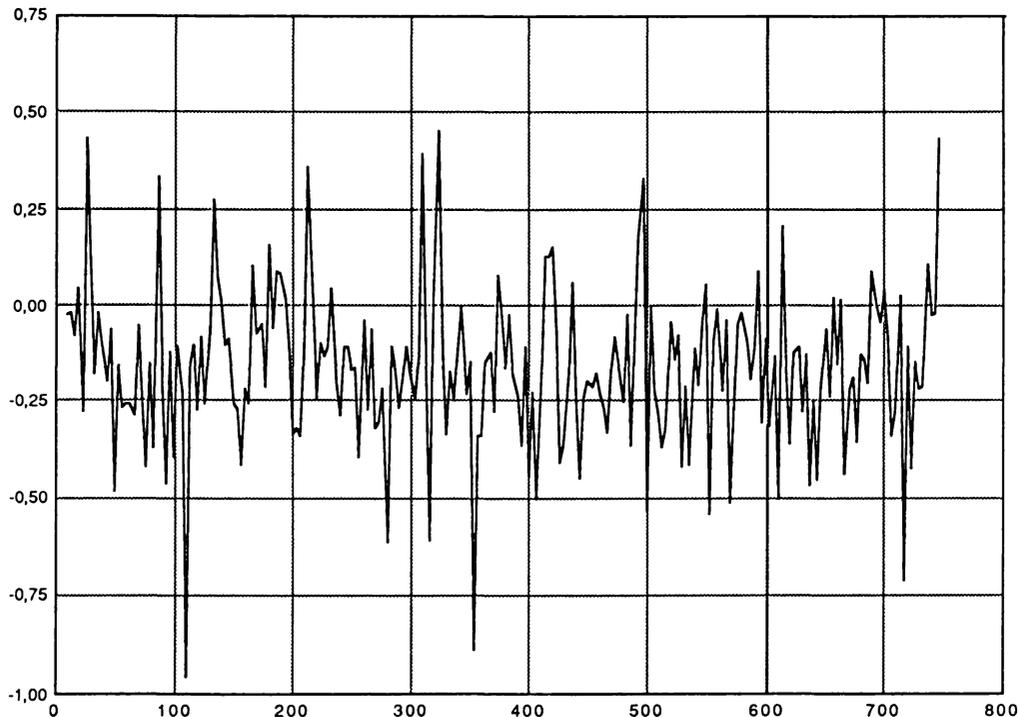
Nombre de valeurs de Δ : $N = 182$ $[(613 - 9,66) / 3,33 = 181 = N - 1]$

Moyenne des Δ : $\bar{m} = -0,159$ grade par minute ; écart type = 0,201 grade par minute.

Source : Graphique 13812 (5 juin 1996).

SUPPORT ISOTROPE
 DEVIATIONS Δ EN GRADES PAR MINUTE DU PLAN D'OSCILLATION
 DU PENDULE PARACONIQUE A PARTIR DU MERIDIEN

19 mars 9 h. 20 mn. - 16 avril 2 h. 1960



Légende : Les Δ (de 3h. 20 mn. en 3 h. 20 mn.) sont indiqués en grades par minute et comptés positivement dans le sens direct.
 Les abscisses s sont indiquées en heures à partir du 16 mars 0 h. : $9,33 \leq s \leq 746$
 Nombre de valeurs de Δ : $N = 222$ [(746 - 9,33) / 3,33 = 221 = $N - 1$]

Moyenne des Δ : $\bar{m} = -0,162$ grade par minute ; écart type = 0,208 grade par minute.

Source : Graphique 13810 (5 juin 1996).

2.- Composantes périodiques diurnes des déviations du plan d'oscillation du pendule paraconique à partir du méridien

Structure des composantes périodiques diurnes des déviations Δ

1- Le *Tableau V*, analogue dans sa présentation au *Tableau IV* du § E.1, présente les amplitudes des composantes périodiques diurnes des déplacements Δ du pendule paraconique à partir du méridien pour les deux périodes de novembre-décembre 1959 et de mars-avril 1960.

Sur ce *Tableau* les amplitudes des composantes diurnes de Δ présentées en centièmes de grade par minute, autrement dit les valeurs de ces amplitudes en grades par minute sont multipliées par 100.

Amplitudes des composantes périodiques des déviations Δ

2- Le total des amplitudes des huit composantes périodiques considérées des déviations Δ est pratiquement le même en novembre-décembre 1959 et en avril 1960, de l'ordre de 0,40 grades par minute (*Tableau V*).

Pour l'onde de 24 h. 50 mn. les amplitudes des variations d'azimut par minute sont respectivement pour les deux séries mensuelles de 0,0445 et de 0,0651 grades par minute, valeurs qui correspondent respectivement à des variations de $1,165 \cdot 10^{-5}$ et $1,704 \cdot 10^{-5}$ radians par seconde, correspondant à une moyenne de $1,434 \cdot 10^{-5}$ rad/sec en moyenne ¹.

(1) On a en effet

$$0,045 \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{\pi}{200} = 1,165 \cdot 10^{-5} \text{ rad./sec.} \qquad 0,0651 \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{\pi}{200} = 1,704 \cdot 10^{-5} \text{ rad./sec.}$$

Leur moyenne est

$$(1,165 \cdot 10^{-5} + 1,704 \cdot 10^{-5}) / 2 = 1,434 \cdot 10^{-5} \text{ rad/sec.}$$

Les variations correspondantes pour l'onde de 24 h. 50 mn. et pour les deux séries de valeurs *enchaînées* de novembre-décembre 1959 et mars-avril 1960 du pendule paraconique à support anisotrope sont respectivement de $0,0454.10^{-5}$ et $0,0524.10^{-5}$ radians par seconde, correspondant à une moyenne de $0,0489.10^{-5}$ rad/sec, soit environ *trente fois plus petites* ². Cette différence s'explique par la suppression de l'effet de rappel du support anisotrope dans le cas du support isotrope.

On a vu que pour la Lune la valeur calculée de l'onde de 24 h. 50 mn. est au plus de l'ordre de 10^{-13} radians par seconde ³. Les variations Δ observées sont ici *plus de cent millions de fois plus grandes que les valeurs calculées* ⁴.

Les mesures directes des variations Δ de l'angle d'oscillation du pendule à partir du méridien confirment ainsi les conclusions du *Chapitre I* ⁵. *L'amplitude de la composante périodique de 24 h 50 mn des mouvements observés du pendule paraconique est totalement inexplicable dans le cadre de la théorie actuelle de la gravitation.*

(2) D'après le *Tableau I* du § A.3.1. du *Chapitre I* ci-dessus on a en effet $2 R_{25} = 1,3$ et $1,5$ grades pour les séries de novembre-décembre 1959 et de mars-avril 1960. On a ainsi

$$\frac{1,3}{12,5} \frac{1}{3600} \frac{\pi}{200} = 0,0454.10^{-5} \text{ rad./ sec.} \quad \frac{1,5}{12,5} \frac{1}{3600} \frac{\pi}{200} = 0,0524.10^{-5} \text{ rad./ sec.}$$

et on a

$$1,165.10^{-5} / 0,0454.10^{-5} = 25,7 \quad 1,704.10^{-5} / 0,0524.10^{-5} = 32,5$$

$$(25,7 + 32,5) / 2 = 29,1$$

(3) *Tableau VII* du § B.2.5 du *Chapitre I* ci-dessus, p. 129.

(4) On a en effet

$$1,165.10^{-5} / 1,018.10^{-13} = 114.10^6 \quad 1,704.10^{-5} / 1,018.10^{-13} = 167.10^6$$

$$(114.10^6 + 167.10^6) / 2 = 140,5.10^6$$

(5) *Chapitre I*, § B.2.6, p. 124 ci-dessus.

Amplitudes relatives des composantes périodiques des déviations Δ

3- En valeurs *relatives* les valeurs moyennes rapportées au total des amplitudes des variations Δ pour les périodes de 24 h. 50 mn. et 24 h. sont sensiblement les mêmes que pour les azimuts de la direction d'anisotropie ⁶.

Structure périodique des déviations Δ du plan d'oscillation du pendule paraconique à partir du méridien et coefficients des forces lunisolaires

4- Comme précédemment pour la direction d'anisotropie X (*Tableau IV* du § E.1.2) on constate que la structure périodique des déviations Δ (*Tableau V* ci-contre) diffère *totalemment* de la structure périodique des périodicités lunisolaires correspondant à la théorie actuelle de la gravitation.

Pour les périodicités lunisolaires de la théorie des marées l'amplitude de l'onde de 24 h. représente en effet environ 24 % du total des amplitudes, alors que pour les déviations Δ elle ne représente que 7 % environ du total des amplitudes.

De même, pour les déviations Δ , l'amplitude de l'onde de 24,84 h. est sensiblement double de celle de l'onde de 24 h., alors que pour les périodicités lunisolaires de la théorie des marées l'amplitude de l'onde de 24 h. est environ sept fois plus grande que celle de 24 h. 50 mn. ^{7, 8}.

La comparaison des *Tableaux IV et V* démontre l'existence d'une grande cohérence entre les structures périodiques des directions X d'anisotropie et des déviations Δ à partir du méridien du plan d'oscillation du pendule paraconique à support isotrope.

(6) On a en effet (*Tableau V* ci-contre) : $13,5 / 6,96 = 1,94$; alors qu'on a (*Tableau IV*, p. 272) :

$$18,2 / 8,92 = 2,04.$$

Ici encore on constate que les valeurs correspondantes des rapports a / b des deux *Tableaux IV et V* des pages 272 et 287 sont du même ordre de grandeur. Voir la note 5 de la page 271 ci-dessus.

(7) On a en effet (*Tableau V*) : $13,5 / 6,96 = 1,94$; et $23,7 / 3,28 = 7,22$.

(8) Les calculs du *Tableau V* ont été effectués le 18 juin 1996 (Calculs 1137 à 1152).

**DEPLACEMENTS DU PLAN D'OSCILLATION DU PENDULE PARACONIQUE
EN CENTIEMES DE GRADE PAR MINUTE A PARTIR DU MERIDIEN
EFFETS LUNISOLAIRES DIURNES ET SEMI-DIURNES
*Amplitudes observées et coefficients des périodicités lunisolaires***

Périodicités	K ₁ 23 h 93	M ₁ 24 h 84	O ₁ 25 h 82	Q ₁ 26 h 87	S ₂ 12 h	M ₂ 12 h 42	N ₂ 12 h 66	2 N ₂ 12 h 92	Total des amplitudes
Amplitude de l'onde : 2 R en centièmes de grade par minute									
Novembre-Décembre 1959 ¹	4,44	4,45	6,41	4,15	4,95	6,95	2,23	8,39	42,0
Mars-Avril 1960 ¹	1,32	6,51	6,60	1,67	4,41	7,49	6,59	5,09	39,7
Novembre-Décembre 1959 ²	10,6	10,6	15,3	9,88	11,8	16,5	5,31	20,0	100
Mars-Avril 1960 ²	3,32	16,4	16,6	4,21	11,1	18,9	16,6	12,8	100
Moyenne des valeurs relatives : a	6,96	13,5	16,0	7,04	11,5	17,7	11,0	16,4	100
Théorie actuelle des périodicités lunisolaires									
Coefficients ¹	0,706	0,0977	0,377	0,0730	0,563	0,908	0,232	0,0235	2,98
Valeurs relatives ² : b	23,7	3,28	12,6	2,45	18,9	30,5	7,78	0,789	100
Rapport des valeurs relatives									
Rapports a / b	0,294	4,12	1,27	2,87	0,608	0,580	1,41	20,8	1

Légende : (1) : Valeurs absolues. Les amplitudes en grades par minute correspondant au pendule paraconique sont multipliées par 100.
(2) : Valeurs relatives = valeurs absolues / total des amplitudes (ou des coefficients)

Sources : 1) Déplacements de l'azimut du plan d'oscillation du pendule paraconique dans le plan du méridien (Tableaux 6629 et 6630 de 1960)

2) Coefficients de la théorie actuelle des périodicités lunisolaires : voir *Tableau IV* du § E.1

3.- Périodicité lunaire sidérale mensuelle des déviations Δ du plan d'oscillation du pendule paraconique à partir du méridien

Au regard des résultats obtenus dans l'analyse des azimuts X d'anisotropie de l'espace on est amené à rechercher si les deux séries mensuelles des déviations Δ présentent une périodicité mensuelle sidérale de période égale à 27,322 jours. En fait les amplitudes des ajustements sont relativement faibles et par elles-mêmes relativement peu significatives ¹.

Par contre il est *très remarquable* que compte tenu des dates respectives de leurs sommets les deux sinusoides d'ajustement des déviations Δ sont *presque rigoureusement en phase* ², ce qui ne serait pas le cas si on considérait les ajustements correspondant à la période synodique de la Lune de 29,53 jours. Cette concordance de phase, *très semblable* à celle constatée pour les azimuts X de la direction d'anisotropie ³, *démontre l'existence d'une très forte cohérence* entre les données de l'observation pour les deux périodes de novembre-décembre 1959 et mars-avril 1960.

(1) Pour la période lunaire sidérale de 27,322 jours les amplitudes $2r$ des ajustements de novembre-décembre 1959 et mars-avril 1960 sont respectivement égales à 0,0225 et 0,0388 grades par minute. Leurs rapports aux écarts type des Δ sont ainsi respectivement : $0,0225 / 0,201 = 0,112 = 1 / 8,92$, et $0,0388 / 0,2076 = 0,187 = 1 / 5,35$.

Pour les ajustements correspondants des azimuts X d'anisotropie (§ E.2 ci-dessus, p. 275 et 276) on a $288,68 / 421,21 = 0,685 = 1 / 1,46$ et $136,37 / 278,93 = 0,489 = 1 / 2,045$.

Les amplitudes des composantes périodiques de 27,322 jours des déviations Δ sont donc relativement moins marquées que pour les azimuts d'anisotropie X.

(2) La distance en jours du sommet de la sinusoïde d'ajustement de novembre-décembre 1959 au 1^{er} janvier 1960 0 h. est (*Graphique XIII*) :

$$365,25 - 335,95 = 29,30$$

La distance entre le 1^{er} janvier 1960, 0 h. et le sommet de la sinusoïde d'ajustement de mars-avril 1960 est de 80,33 jours (*Graphique XIV*) :

Il résulte de là que la distance en jours des sommets des deux sinusoïdes d'ajustement est :

$$29,30 + 80,33 = 109,63 \text{ jours}$$

Cette distance est *presque rigoureusement égale* à 4 fois la période sidérale de la Lune de 27,322 jours

$$109,63 / 27,32 = 4,013$$

(Voir ci-dessus, dans la note 3 du § E.2, p. 274, le calcul très semblable pour les azimuts X de la direction d'anisotropie).

(3) Note 3 du § E.2 ci-dessus, p. 274.

La concordance des phases constatée apparaît *comme d'autant plus frappante* que les variations des déviations Δ sont très fortes d'un instant à l'autre et que les coefficients de corrélation sont très petits (*Graphiques XI et XII* ci-dessus et *XIII et XIV* ci-dessous).

Les *Graphiques XIII et XIV* représentent les moyennes mobiles sur 9 valeurs des déviations Δ des *Graphiques XI et XII*, ainsi que les ajustements des déviations Δ à des sinusoides de période égale à 27,322 jours, période sidérale de la Lune.

Les moyennes mobiles sur 9 valeurs ³ présentent tous les caractères de fonctions presque périodiques ⁴.

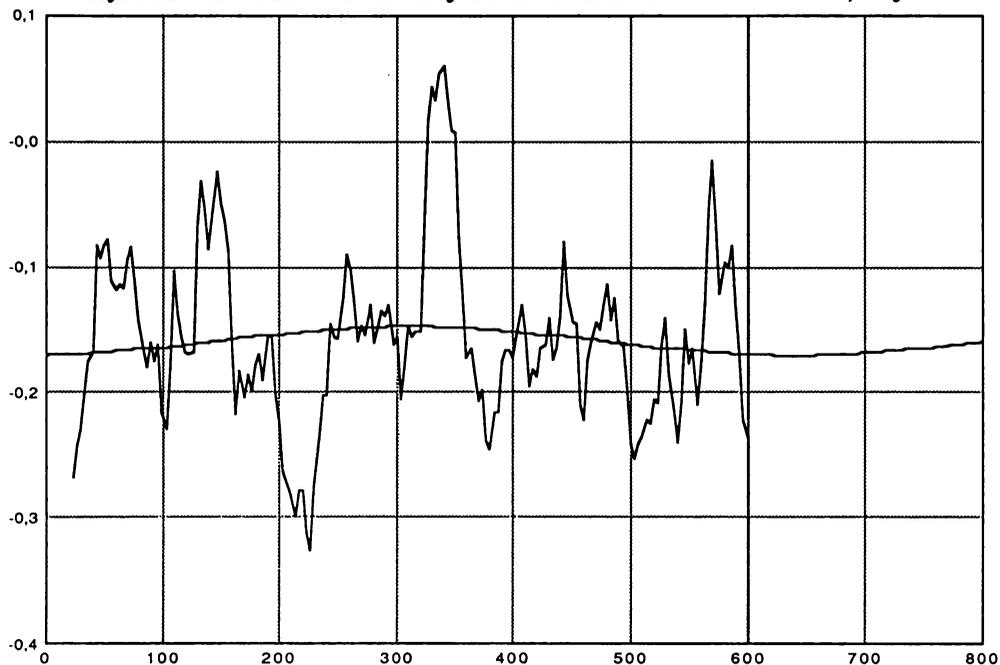
(3) Chaque série de 9 valeurs correspond à un espace de temps égal à 30 h. (3 h. 20 mn. x 9 = 30 h.)

(4) Sur les fonctions presque périodiques, voir le *Chapitre I*, § A.5.4, p. 101.
Il est très remarquable que certaines parties du *Graphique XIV* sont presque identiques à certaines parties du *Graphique XIII*, ce qui indique l'existence d'une même structure périodique sous-jacente.

SUPPORT ISOTROPE
DEVIATIONS Δ EN GRADES PAR MINUTE DU PLAN D'OSCILLATION
DU PENDULE PARACONIQUE A PARTIR DU MERIDIEN

20 novembre 9 h. 40 mn. - 15 décembre 13 h. 1959

Moyennes mobiles sur 9 valeurs et ajustements des Δ à une sinusoïde de 27,322 jours



Légende : Voir le *Graphique XI* ci-dessus. Les abscisses sont comptées en heures.

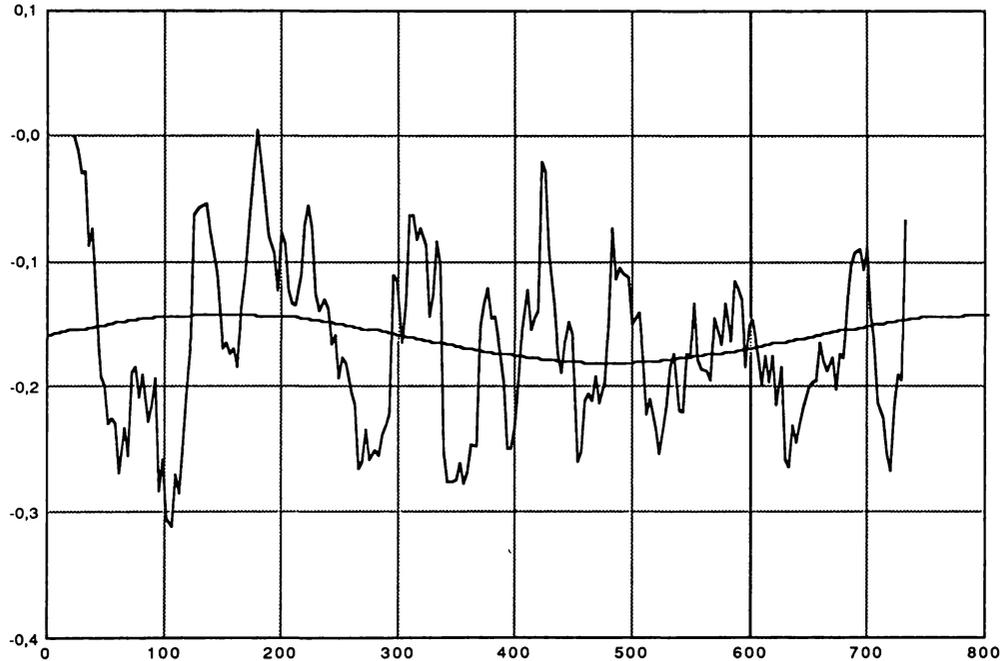
— sinusoïde d'ajustement des Δ à une période de 27,322 jours (égale à $27,322 \times 24 = 655,728$ h.)

maximum de la sinusoïde $s_0 = 311,44$ heures ($s = 0$ correspond au 20 novembre 0 h.), soit le 2 décembre 23 h.
 (correspondant à $s = 335,95$ jours à partir du 1^{er} janvier 1959, 0 h.)

$\Sigma = 0,201$ grade / minute ; $2r = 0,0225$ grade / minute ; $m = -0,159$ grade / minute ; $R = 0,0378$; $1 - R^2 = 0,9986$

Sources : *Graphique 13819 et Calcul 1166 (25 juin 1996).*

SUPPORT ISOTROPE
DEVIATIONS Δ EN GRADES PAR MINUTE DU PLAN D'OSCILLATION
DU PENDULE PARACONIQUE A PARTIR DU MERIDIEN
16 mars 9 h. 20 mn. - 16 avril 2 h. 1960
Moyennes mobiles sur 9 valeurs et ajustements de Δ à une sinusoïde de 27,322 jours



Légende : Voir le *Graphique XI* ci-dessus. Les abscisses sont comptées en heures.

— sinusoïde d'ajustement des Δ à une période de 27,322 jours (égale à $27,322 \times 24 = 655,728$ h.)
 maximum de la sinusoïde $s_0 = 152,23$ heures ($s = 0$ correspond au 16 mars 0 h.), soit le 22 mars 8 h.
 (correspondant à $s = 80,33$ jours à partir du 1^{er} janvier 1960, 0 h.)

$\Sigma = 0,208$ grade / minute ; $2r = 0,0388$ grade / minute ; $m = -0,162$ grade / minute ; $R = 0,0645$, $1 - R^2 = 0,9958$

Sources : *Graphique 13818* et *Calcul 1167*

4.- Correspondance structurelle entre les directions d'anisotropie X de l'espace et les déviations Δ du plan d'oscillation du pendule paraconique à partir du méridien

Il existe entre les directions d'anisotropie X de l'espace et les directions Δ du plan d'oscillation du pendule paraconique à partir du méridien une très forte cohérence sous-jacente.

A titre d'illustration considérons la période de novembre-décembre 1959 et considérons les sommes cumulées des résidus des deux corrélations suivantes.

Première corrélation : corrélation des azimuts X d'anisotropie de l'espace avec une sinusoïde dont la période est la période mensuelle sidérale de 27,322 jours associée avec un trend linéaire. C'est la corrélation représentée sur le *Graphique VII* ci-dessus.

Deuxième corrélation : corrélation de la moyenne mobile sur 9 valeurs des déviations Δ du plan d'oscillation du pendule paraconique par rapport au méridien avec une sinusoïde dont la période est la période mensuelle sidérale de la Lune associée avec un trend linéaire ¹.

Le *Graphique XV* montre que les deux sommes cumulées des résidus des deux corrélations sont pratiquement identiques à une translation près.

Cet accord traduit *une très forte cohérence sous-jacente* aux azimuts X d'anisotropie et aux déviations Δ des déplacements du plan d'oscillation du pendule paraconique à partir du méridien.

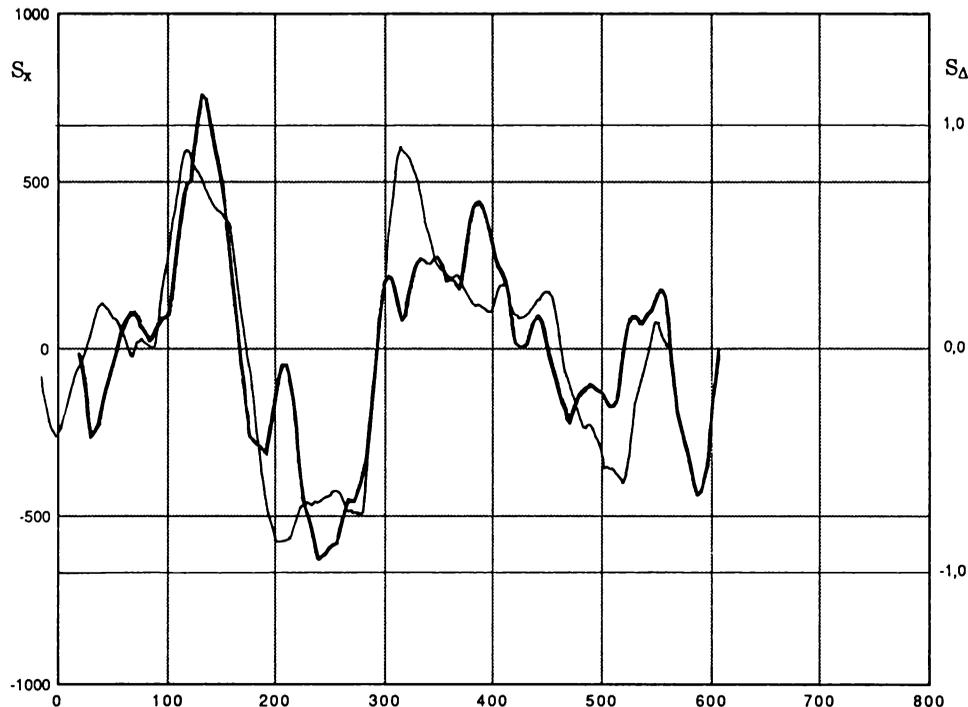
 (1) Cette corrélation diffère de la corrélation correspondant au *Graphique XIII* ci-dessus qui a été effectuée en tenant compte de la périodicité de 27,322 jours sans tenir compte d'un trend.

Or précisément, si ce trend est tout à fait négligeable dans le cas du *Graphique XIII*, il ne l'est plus lorsque l'on considère les sommes cumulées des résidus.

Cet accord est *d'autant plus remarquable* que les déviations Δ ne correspondent qu'au méridien alors que les azimuts X sont déterminés à partir de la considération des déviations du plan d'oscillation du pendule dans les dix azimuts considérés ².

(2) L'accord provient du fait que *les deux courbes du Graphique XV dérivent d'une même structure périodique sous-jacente à toutes les observations.*

**SOMMES CUMULEES COMPAREES DES RESIDUS DES CORRELATIONS
DES AZIMUTS X D'ANISOTROPIE ET DES MOYENNES MOBILES SUR 9 VALEURS DES DEVIATIONS Δ
AVEC UNE PERIODICITE LUNAIRE SIDERALE DE 27,322 JOURS ASSOCIEE AVEC UN TREND LINEAIRE
Novembre - Décembre 1959**



Légende : — Sommes cumulées S_x des résidus de X - - - Sommes cumulées S_Δ des résidus de Δ
échelle des s en heures : correspond aux S_x ; $s = 0$ correspond au 20 novembre 1959, 0 h.
échelles d'ordonnées : correspond à gauche aux S_x et à droite aux S_Δ
décalage : la courbe de S_Δ avance d'environ $\Delta s = 41,3$ h. sur la courbe des S_x

Sources : courbe S_x : Calcul 1112 et Graphique 13834 (24 juillet 1996) ; courbe S_Δ : Calcul 1171 et Graphique 13832 (23 juillet 1996)

5.- Sommes cumulées des différences $\Delta - \bar{\Delta}$ entre les déviations Δ et leurs moyennes $\bar{\Delta}$ dans les azimuts Nord-Sud et Est-Ouest

Les approches précédentes montrent les difficultés des approches fondées sur la considération des déviations Δ du plan d'oscillation du pendule paraconique à partir du méridien en raison de l'influence des billes.

Cette constatation conduit à considérer les valeurs cumulées des différences $\Delta - \bar{\Delta}$, où $\bar{\Delta}$ représente la valeur moyenne des Δ . Ces valeurs cumulées permettent en effet de réduire l'influence perturbatrice des billes.

J'ai étendu cette analyse aux déviations Δ du plan d'oscillation du pendule paraconique à partir de la direction Est-Ouest. Les courbes représentatives de ces déviations ont une allure tout à fait analogue à celles des *Graphiques IX et X* ci-dessus (p. 278 et 279).

*Structure périodique comparée des valeurs cumulées
des $\Delta - \bar{\Delta}$*

1- Les comparaisons des quatre Graphiques représentatifs des valeurs cumulées des différences $\Delta - \bar{\Delta}$ pour les deux azimuts Nord-Sud et Est-Ouest et pour les deux périodes de novembre-décembre 1959 et mars-avril 1960 mettent en évidence des régularités très significatives et une même structure périodique sous-jacente à ces différentes séries. A titre d'illustration je me borne à deux de ces comparaisons ¹.

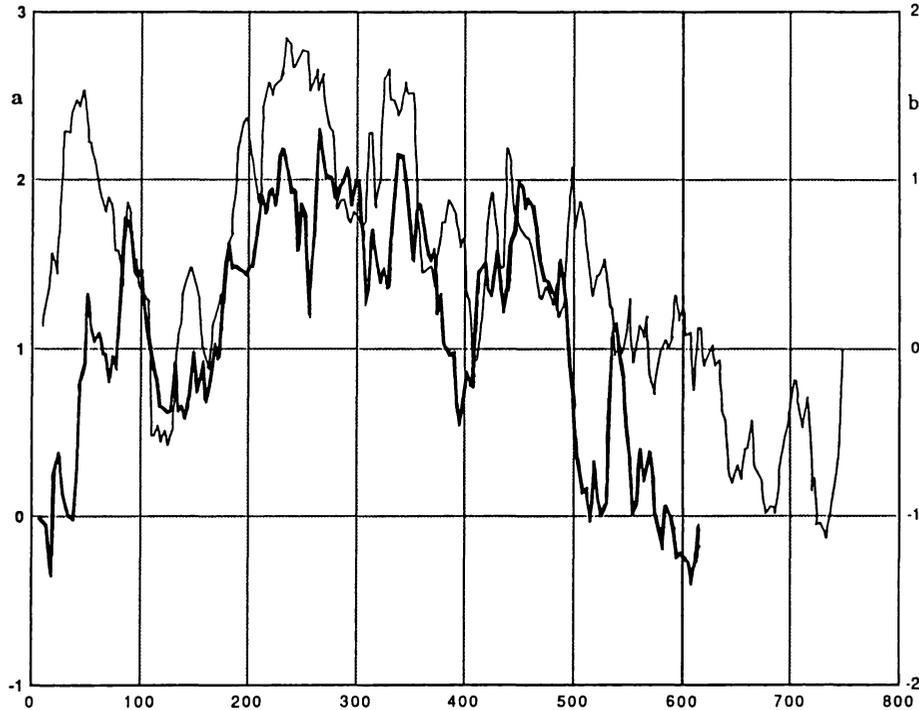
(1) Pour 4 Graphiques représentatifs il y a 6 combinaisons deux à deux. *Elles sont toutes significatives.*

Le *Graphique XVI* représente les valeurs cumulées des différences $\Delta - \bar{\Delta}$, d'une part pour la série de novembre-décembre 1959 et la direction Est-Ouest, et d'autre part pour la série de mars-avril 1960 et la direction Nord-Sud. La correspondance des deux *Graphiques* est *d'autant plus remarquable qu'il s'agit de deux séries mensuelles d'observations différentes et d'azimuts différents.*

Le *Graphique XVII* représente les valeurs cumulées des différences $\Delta - \bar{\Delta}$, d'une part pour la série de novembre-décembre 1959 et la direction Nord-Sud, et d'autre part pour la série de mars-avril 1960 et la direction Est-Ouest. Ici encore la correspondance des deux représentations est d'autant plus remarquable qu'il s'agit de deux séries mensuelles d'observations différentes et d'ajustements différents.

Les deux *Graphiques XVI et XVII* démontrent l'existence dans les déviations Δ *d'une même structure presque périodique sous-jacente, très évidente malgré l'influence perturbatrice des billes.*

VALEURS CUMULEES COMPAREES $\Sigma(\Delta - \bar{\Delta})$
 Novembre-Décembre 1959 - Valeurs de Δ dans la direction Est-Ouest
 Mars-Avril 1960 - Valeurs de Δ dans la direction Nord-Sud

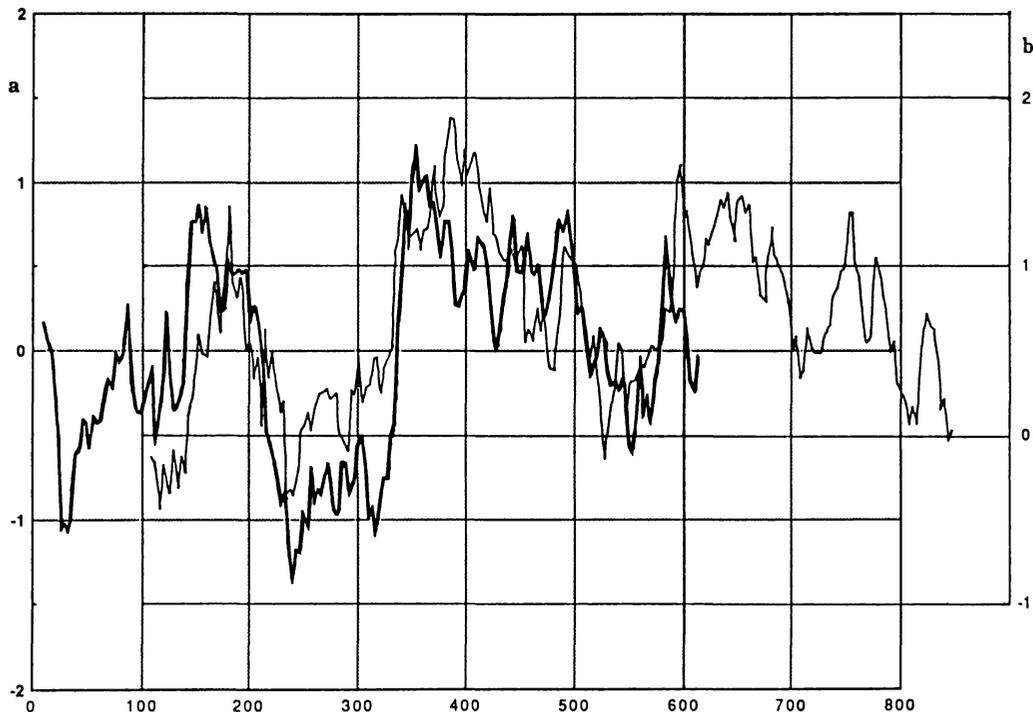


Légende : unité de temps = 1 heure - valeurs de 3 h 20 mn en 3 h 20 mn

a — novembre-décembre 1959 . $\Sigma(\Delta - \bar{\Delta})$ correspondant à la direction Est-Ouest
 20 novembre 8 h - 15 novembre 14 h 40 mn . $8 \leq s \leq 614,666$; $N = 183$ ($s = 0$ au 20 novembre 0 h)

b — mars-avril 1960 . $\Sigma(\Delta - \bar{\Delta})$ correspondant à la direction Nord-Sud
 16 mars 9 h 20 mn - 16 avril 2 h . $9,333 \leq s \leq 746$; $N = 222$ ($s = 0$ au 16 mars 0 h)

Sources : a — Graphique 13848 (9 septembre 1996) ; b — Graphique 13854 (12 septembre 1996)

Novembre-Décembre 1959 - Valeurs de Δ dans la direction Nord-SudMars-Avril 1960 - Valeurs de Δ dans la direction Est-Ouest

Légende : unité de temps = 1 heure - valeurs de 3 h 20 mn en 3 h 20 mn

a — novembre-décembre 1959 . $\Sigma(\Delta - \bar{\Delta})$ correspondant à la direction Nord-Sud
20 novembre 9 h 40mn - 15 décembre 13 h . $9,666 \leq s \leq 613$; $N = 182$ ($s = 0$ au 20 novembre 0 h)

b — mars-avril 1960 . $\Sigma(\Delta - \bar{\Delta})$ correspondant à la direction Est-Ouest
16 mars 10 h - 16 avril 2 h 40 mn . $10 \leq s \leq 746,666$; $N = 222$ ($s = 0$ au 16 mars 0 h)

Sources : a — Graphique 13852 (11 septembre 1996) ; - b — Graphique 13850* (121septembre 1996)

*Périodicité lunaire sidérale mensuelle de 27,322 jours des valeurs
cumulées des différences $\Delta - \bar{\Delta}$*

2- Les *Graphiques XVIII, XIX, XX et XXI* représentent les ajustements à la période sidérale de 27,322 jours des valeurs cumulées des différences des déviations Δ avec leurs moyennes pour les deux périodes de novembre-décembre 1959 et de mars-avril 1960, et pour les directions Nord-Sud et Est-Ouest.

Les deux *Graphiques XVIII et XIX* montrent une différence de phase de 6 jours pour les directions Nord-Sud et Est-Ouest et la période de novembre-décembre 1959.

Par contre les deux *Graphiques XX et XXI* montrent une remarquable concordance de phase pour les directions Nord-Sud et Est-Ouest et la période de mars-avril 1960 ^{2, 3}.

(2) Comme la dérivée $y'(t)$ d'une fonction périodique $y(t)$ avance d'un quart de période sur $y(t)$, la comparaison des *Graphiques XIII et XIV*, p. 290 et 291 et des *Graphiques XVIII et XIX* permet de vérifier qu'en première approximation il en est bien ainsi.

Pour les *Graphiques XIII et XVIII* correspondant à la direction Nord-Sud et à la période de Novembre-Décembre 1959 on a respectivement

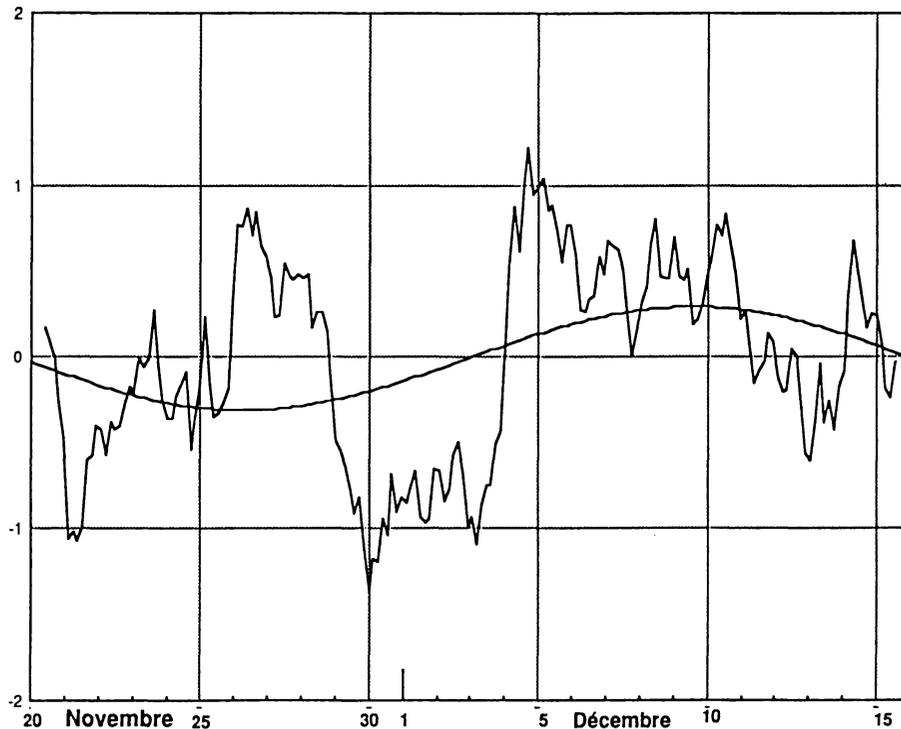
$$s_0 = 335,95 \qquad s_0 - (27,322 / 4) = 342,73 - 6,83 = 335,90$$

et pour les *Graphiques XIV et XX* correspondant à la direction Nord-Sud et à la période Mars-Avril 1960 on a respectivement

$$s_0 = 80,33 \qquad s_0 - (27,322 / 4) = 89,24 - 6,83 = 82,41$$

(3) Sur les concordances de phase entre les différentes séries voir la *Section G* ci-dessous.

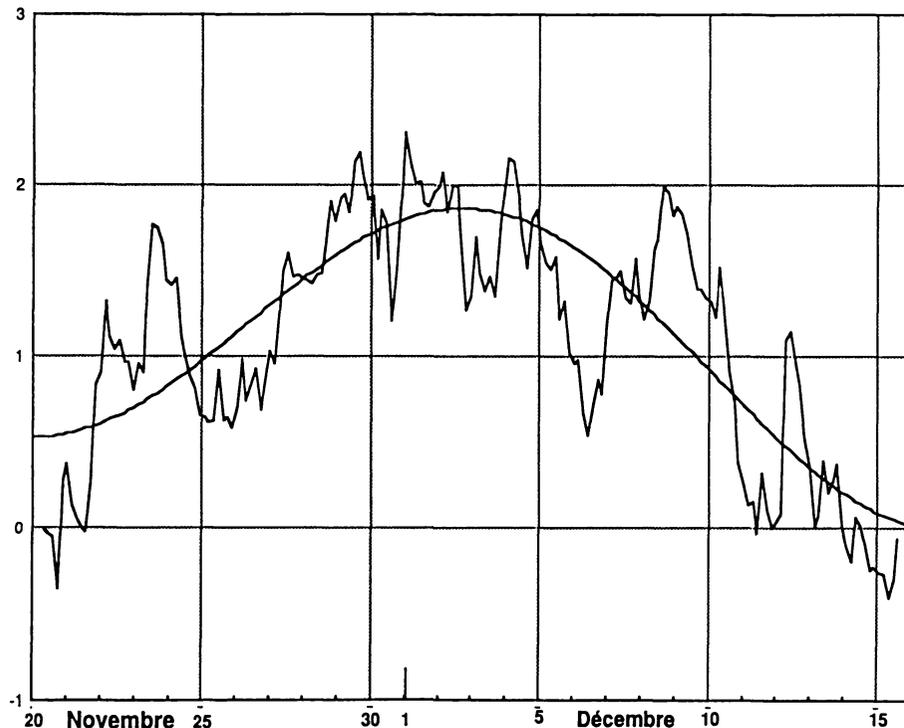
VALEURS CUMULEES $\Sigma (\Delta - \bar{\Delta})$
 20 Novembre - 15 Décembre 1959 - Direction Nord-Sud
 Ajustement suivant la période sidérale de la Lune de 27,322 jours
 associée à un trend linéaire



Légende : $\Sigma = 0,589$; $R = 0,371$; $1-R^2 = 0,862$; $\sigma = 0,547$; $m = 0,028$; $r = 0,324$; $N = 182$
 trend = - 000132 par jour ; date du maximum de la sinusoïde : 9 décembre 1959, 17 h 32 mn
 ($s_0 = 342,73$ jours à partir du 1er janvier 1959, 0 h. ; $s_0 - 6,83 = 335,90$)
 Voir la Légende du Graphique XXVII du Chapitre I.

Sources : Calcul 1215, Graphique 13853 (12 septembre 1996)

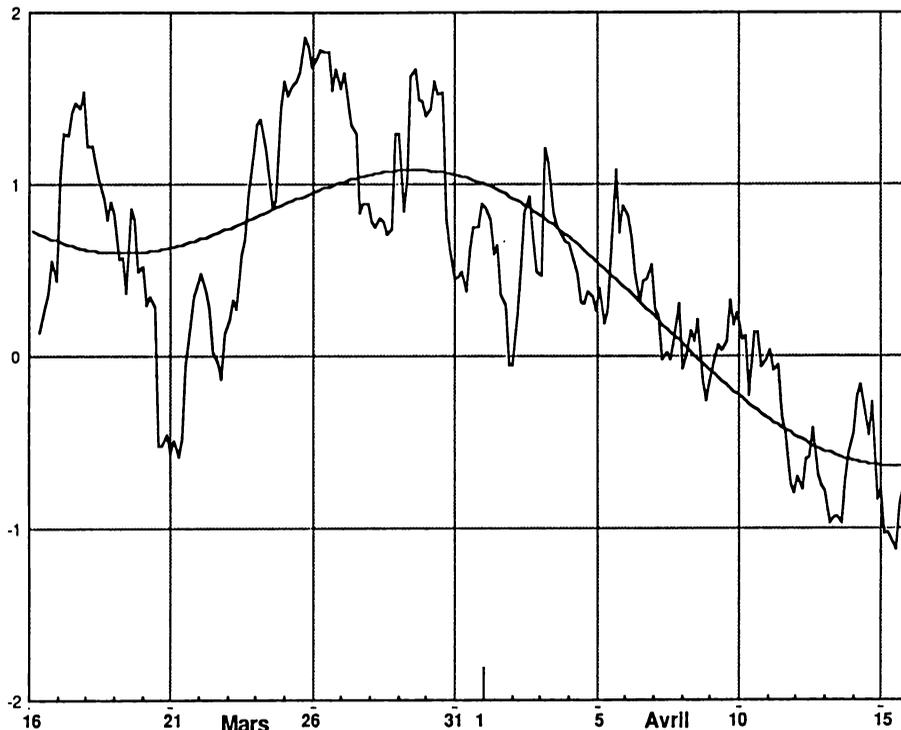
VALEURS CUMULEES $\Sigma (\Delta - \bar{\Delta})$
 20 Novembre - 15 Décembre 1959 - Direction Est-Ouest
 Ajustement suivant la période sidérale de la Lune de 27,322 jours
 associée à un trend linéaire



Légende : $\Sigma = 0,692$; $R = 0,803$; $1-R^2 = 0,355$; $\sigma = 0,413$; $m = 1,326$; $r = 0,801$; $N = 183$
 trend = - 0,000844 par jour ; date du maximum de la sinusoïde : 3 décembre 1959, 4 h 46 mn
 ($s_0 = 336,20$ jours à partir du 1er janvier 1959, 0 h. ; $s_0 - 6,83 = 329,37$)
 Voir la Légende du Graphique XXVII du Chapitre I.

Sources : Calcul 1213, Graphique 13849 (9 septembre 1996)

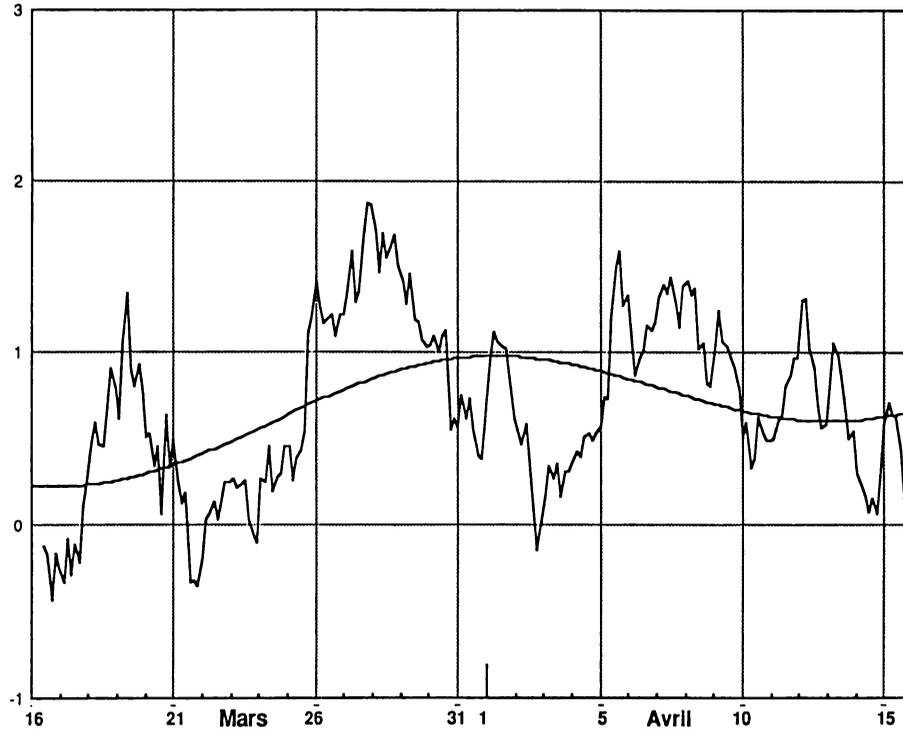
VALEURS CUMULEES $\Sigma (\Delta - \bar{\Delta})$
16 Mars - 16 Avril 1960 - Direction Nord-Sud
 Ajustement suivant la période sidérale de la Lune de 27,322 jours
 associée à un trend linéaire



Légende : $\Sigma = 0,726$; $R = 0,781$; $1-R^2 = 0,390$; $\sigma = 0,453$; $m = 1,220$; $r = 0,512$; $N = 222$
 trend = - 0,00188 par jour ; date du maximum de la sinusoïde : 31 mars 1960, 5 h 41 mn
 ($s_0 = 89,24$ jours à partir du 1er janvier 1959, 0 h. ; $s_0 - 6,83 = 82,41$)
 Voir la *Légende* du Graphique XXVII du *Chapitre I*.

Sources : Calcul 1216, Graphique 13855 (6 septembre 1996)

VALEURS CUMULEES $\Sigma (\Delta - \bar{\Delta})$
 16 Mars - 16 Avril 1960 - Direction Est-Ouest
 Ajustement suivant la période sidérale de la Lune de 27,322 jours
 associée à un trend linéaire



Légende : $\Sigma = 0,507$; $R = 0,457$; $1-R^2 = 0,791$; $\sigma = 0,451$; $m = 0,484$; $r = 0,277$; $N = 222$
 trend = 0,000573 par jour ; date du maximum de la sinusoïde : 31 mars 1960, 6 h 18 mn
 ($s_0 = 89,26$ jours à partir du 1er janvier 1960, 0 h. ; $s_0 - 6,83 = 82,43$)
 Voir la Légende du Graphique XXVII du Chapitre I.

Sources : Calcul 1214, Graphique 13851 (6 septembre 1996)

6.- Similitudes structurelles des valeurs cumulées des $\Delta - \bar{\Delta}$ et des valeurs cumulées des $\cos 2 X - \overline{\cos 2 X}$

Entre les valeurs cumulées

$$\Sigma (\Delta - \bar{\Delta}) \quad \text{et} \quad \Sigma (\cos 2 X - \overline{\cos 2 X})$$

on constate *des similitudes structurelles significatives* pour les deux périodes de novembre-décembre 1959 et de mars-avril 1960, et pour les directions Nord-Sud et Est-Ouest.

Ainsi, et par exemple, le *Graphique XXII* montre une correspondance structurelle significative entre les deux séries

(a) $\Sigma (\cos 2 X - \overline{\cos 2 X})$ en novembre-décembre 1959

(b) $-\Sigma (\Delta - \bar{\Delta})$ en novembre-décembre 1959 direction Est-Ouest

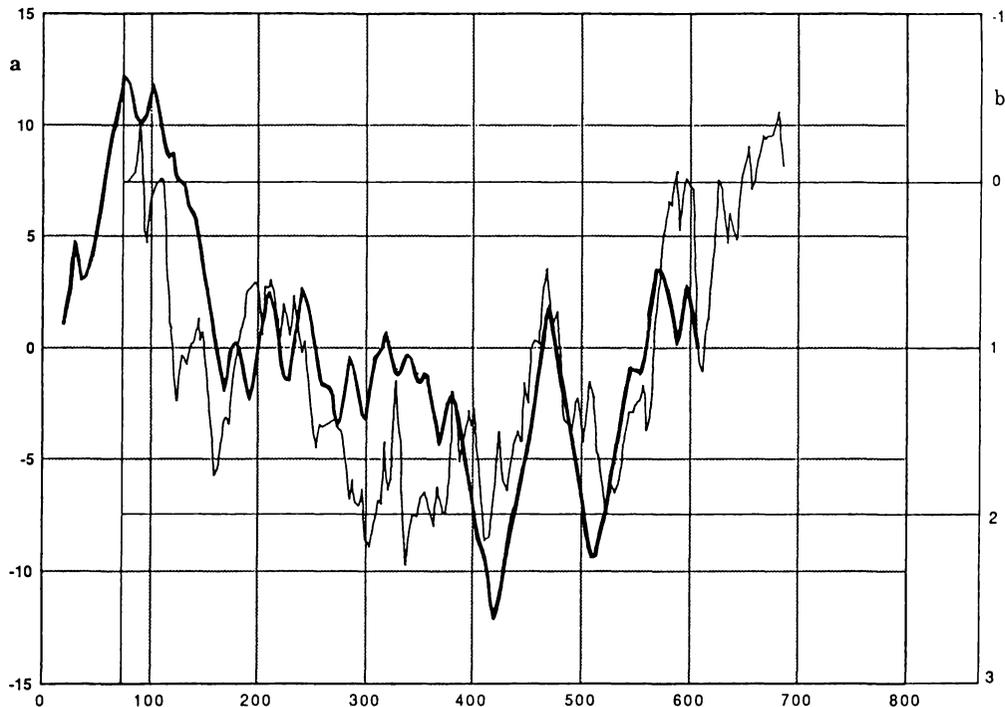
décalées l'une par rapport à l'autre.

Cela ne signifie naturellement pas que la série (b) est une fonction linéaire de la série (a). Cela signifie simplement que *l'une et l'autre correspondent à une même structure presque périodique sous-jacente.*

SIMILITUDE STRUCTURELLE DES VALEURS CUMULEES

$$- \Sigma (\Delta - \bar{\Delta}) \text{ et } \Sigma (\cos 2X - \overline{\cos 2X})$$

Période du 20 Novembre - 15 Décembre 1959 et Direction Est-Ouest



Légende : unité de temps = 1 heure ; s = 0 le 20 novembre 1959 0 h.

a — $\Sigma (\cos 2X - \overline{\cos 2X})$

b — $-\Sigma (\Delta - \bar{\Delta})$, direction Est-Ouest

16 mars 10 h - 16 avril 2 h 40 mn - $10 \leq s \leq 746,666$; $N = 222$ (s = 0 au 16 mars 0 h)

Sources : a — Calcul 1232, Graphique 13863 (11 octobre 1996) ; b — Tableau 12836, Graphique 13848 (9 septembre 1996)

G

**LES PHASES DES COMPOSANTES PERIODIQUES
LUNAIRES SIDERALES MENSUELLES DE 27,322 JOURS
DES CARACTERISTIQUES DU MOUVEMENT DU PENDULE PARACONIQUE
ET LA DECLINAISON DE LA LUNE**

1.- Pendule paraconique à support anisotrope, directions X d'anisotropie de l'espace, et déviations Δ à partir des directions Nord-Sud et Est-Ouest du plan d'oscillation du pendule paraconique à support isotrope. Phases comparées des périodicités lunaires sidérales de 27,322 jours

Les ajustements avec une période de 27,322 jours des azimuts X des directions d'anisotropie de l'espace et des déviations Δ des plans d'oscillation du pendule paraconique à support isotrope à partir des directions Nord-Sud et Est-Ouest ont mis en évidence de remarquables concordances de phase entre les périodes mensuelles d'observations de novembre-décembre 1959 et de mars-avril 1960.

Des concordances de phase ont été également constatées pour les séries enchaînées du pendule paraconique à support anisotrope à Bougival et à Saint-Germain en juillet 1958 ¹.

Le *Tableau VI* ci-contre met en évidence les concordances de phase des différents ajustements à la période de 27,322 jours *en prenant comme référence* la période de novembre-décembre 1959 à laquelle correspond un très bon ajustement des azimuts X d'anisotropie de l'espace ².

(1) *Graphiques XXVII et XXVIII* (Chapitre I, § C.3, p. 158-159) représentatifs de la moyenne $(S + B) / 2$ et de la demi-différence $(S - B) / 2$. Les deux sinusoides d'ajustement ont leur sommet respectif le 24 juillet 1958, 20 h. et le 24 juillet 1958, 0 h.

(2) *Graphique VII* du § E.2 ci-dessus, p. 275.

Les séries 1, 2, 3, et 5 du *Tableau VI* présentent de très remarquables concordances de phase, les écarts des phases s_o^* différant de leur moyenne 331,66 d'un jour au plus. De même les séries 4 et 6 ont des phases pratiquement identiques.

Il convient enfin de signaler que la moyenne des phases des six séries, soit $\overline{s_o^*} = 333,15$, ne diffère que d'un jour et demi de la valeur de s_o^* , 334,87, correspondant au minimum de la déclinaison de la Lune le 1er décembre 1959, 21 h.

Comme la plupart des corrélations comportent des valeurs de $1 - R^2$ relativement élevées, la qualité des ajustements *resterait sensiblement la même si on remplaçait dans les ajustements les valeurs de s_o^* du Tableau VI par la valeur de s_o^* correspondant au minimum de la déclinaison de la Lune.*

PENDULE PARACONIQUE
AJUSTEMENTS A LA PERIODE LUNAIRE SIDERALE DE 27,322 JOURS
COMPARAISON DES PHASES DES SINUSOIDES D'AJUSTEMENT

Périodes	q	Série	R	1-R ²	r	Date du maximum	s ₀	p	s ₀ [*]
Juillet 1958	1	(S + B) / 2	0,629	0,604	1,02	24 juillet 20 h	204,85	18	331,40
	2	(S - B) / 2	0,680	0,537	1,70	24 juillet 0 h	204,03	18	330,57
Novembre-Décembre 1959	3	X	0,994	0,013	144,3	29 novembre 12h	332,50	0	332,50
	4	Δ	0,0378	0,9986	0,0113	2 décembre 23h	335,95	0	335,95
Mars-Avril 1960	5	X	0,965	0,068	68,2	18 mars 5 h	76,21	4	332,17
	6	Δ	0,0645	0,9958	0,0194	22 mars 8 h	80,34	4	336,30
Date du minimum de la déclinaison de la Lune en Nov.-Déc. 1959 : 1 ^{er} Décembre 21 h. , s ₀ [*] = 334,87									

Légende : Valeur de r : r est exprimé en grades pour les séries 1, 2, 3 et 5, et en grades / minute pour les séries 4 et 6.

Calcul de s₀^{}* (date du sommet de la composante périodique voisine du 29 novembre 1959)

juillet 1958 : s₀ - 365,25 + 27,322 p (p = nombre entier)

mars-avril 1960 : s₀ + 365,25 - 27,322 p

moyennes des s₀^{*} : (1, 2, 3, 4, 5, 6) = 333,15 (1, 2, 3, 5) = 331,66

(1, 2) = 331,0 (3, 5) = 332,33 (4, 6) = 336,12

Sources : Graphiques XXV et XXVI, Chapitre I, § C.3 ; Graphiques IV et V, et VIII et IX des § E.2 et E.3 ci-dessus.

Calculs : 1 (Calcul 944*) ; 2 (Calcul 948*) ; 3 (Calcul 1112) ; 4 (Calcul 1166) ;

5 (Calcul 1111) ; 6 (Calcul 1167) ; (janvier-février 1996)

2.- Déviations Δ du plan d'oscillation du pendule paraconique à support isotrope à partir des directions Nord-Sud et Est-Ouest et valeurs cumulées

$\Sigma(\Delta - \bar{\Delta})$. Phases comparées des périodicités lunaires sidérales mensuelles de 27,322 jours

Les Graphiques représentatifs des déviations Δ du plan d'oscillation du pendule paraconique à support isotrope à partir de la direction Est-Ouest pour les deux périodes de novembre-décembre 1959 et mars-avril 1960 ont des allures tout à fait comparables aux *Graphiques XI et XII* ci-dessus du § F.1. L'influence des billes y apparaît également comme très importante.

La considération des valeurs cumulées $\Sigma(\Delta - \bar{\Delta})$ des différences entre les valeurs de Δ et leurs moyennes $\bar{\Delta}$ permet à la fois de réduire l'influence des billes et d'amplifier les amplitudes des périodicités de périodes relativement plus longues ¹.

Le *Tableau VII* permet de comparer les phases s_0^* ² des périodicités mensuelles lunaires sidérales de 27,322 jours pour les déviations Δ et les valeurs cumulées $\Sigma(\Delta - \bar{\Delta})$ pour les directions Nord-Sud et Est-Ouest pour les deux périodes de novembre-décembre 1959 et mars-avril 1960 en prenant comme période de référence la période de novembre-décembre 1959 comme pour le *Tableau VI*.

Pour rendre comparables les phases des Δ et des $\Sigma(\Delta - \bar{\Delta})$, il convient de considérer que pour toute fonction sinusoïdale $y(t)$ la dérivée $y'(t)$ avance d'un quart de période $T/4$ sur $y(t)$. Le *Tableau VII* tient compte de cette circonstance comme il est indiqué dans sa *Légende*.

(1) Voir ci-dessus § F.5, p. 295.

(2) Dates des sommets de novembre-décembre 1959 des périodicités de 27,322 jours rendues comparables comme il est indiqué sur le *Tableau VII*.

Il est très remarquable que les moyennes des s_o^* pour les Δ et les $\Sigma (\Delta - \bar{\Delta})$ soient pratiquement identiques 332,63 et 332,04 en novembre-décembre 1959, et 338,53 et 338,47 en mars-avril 1960. Cette identité est d'autant plus remarquable que les coefficients de corrélation correspondant aux déviations Δ sont très petits.

De même la moyenne générale de 335,46 des s_o^* est à moins d'un jour près identique à la valeur 334,87 du s_o^* correspondant au minimum de la déclinaison de la Lune en novembre-décembre 1959.

PENDULE PARACONIQUE A SUPPORT ISOTROPE
 DEVIATIONS Δ DU PLAN D'OSCILLATION A PARTIR DES DIRECTION N - S ET E - O
 ET SOMMES CUMULEES $\Sigma(\Delta - \bar{\Delta})$

Comparaison des phases des sinusôides d'ajustement

Novembre-Décembre 1959 et Mars -Avril 1960

Séries		$\Sigma(\Delta - \bar{\Delta})$					Δ				moyennes (3+5) / 2
		R	1-R ²	1 s ₀	2 s ₀ - 6,83	3 s ₀ *	R	1-R ²	4 s ₀	5 s ₀ *	
1959	N - S	0,371	0,862	342,73	335,90	335,90	0,0378	0,9986	335,95	335,95	335,92
	E - O	0,803	0,355	336,20	329,37	329,37	0,0925	0,991	328,44	328,44	328,90
	moyenne			339,46	332,63	332,63			332,04	332,20	332,41
1960	N - S	0,781	0,390	89,24	82,41	338,47	0,0645	0,9958	80,34	336,30	337,38
	E - O	0,457	0,791	89,26	82,49	338,59	0,0213	0,9995	84,68	340,64	339,71
	moyenne			89,25	82,42	338,53			82,51	338,47	338,55
moyenne générale						335,58				335,33	335,46
Date du minimum de la déclinaison de la Lune en Novembre-Décembre 1959 : 1 ^{er} Décembre 21 h, s ₀ * = 334,87											

Légende : Calcul de s₀* (date du sommet de la composante périodique voisine du 29 novembre 1959)

1) la phase de $\Sigma(\Delta - \bar{\Delta})$ est en retard d'un quart de période (27,322 / 4 = 6,830 jours) sur celle de Δ

2) pour mars-avril 1960 : s₀* = s₀ + 365,25 - 4 . 27,322 = s₀ + 255,96 (Tableau VI)

Sources : $\Sigma(\Delta - \bar{\Delta})$: Calculs 1215, 1213, 1216, 1214

Δ : Calculs 1166, 1208, 1167, 1209 (juin - septembre 1996)

3.- Directions X d'anisotropie de l'espace et valeurs cumulées $\Sigma(\cos 2X - \overline{\cos 2X})$. Phases comparées des périodicités lunaires sidérales mensuelles de 27,322 jours

Le *Tableau VIII* présente la comparaison des phases des ajustements à la période lunaire sidérale mensuelle de 27,322 jours des azimuts X d'anisotropie de l'espace et des valeurs cumulées des différences $\cos 2X - \overline{\cos 2X}$.

Comme il a déjà été indiqué sur le *Tableau VI* l'accord des phases des X pour les deux périodes de novembre-décembre 1959 et de mars-avril 1960 est très remarquable (332,50 et 332,17). Il l'est d'autant plus que les calculs qui ont mené aux deux *Graphiques II et III* représentatifs des directions d'anisotropie X sont relativement complexes.

Il est également très remarquable que la moyenne des phases des valeurs cumulées $\Sigma(\cos 2X - \overline{\cos 2X})$ est pratiquement identique à la moyenne des phases des azimuts X (331,09 jours contre 332,33 jours). Cette identité apparaît d'autant plus remarquable si l'on considère les *Graphiques II, III, IV et V* représentatifs des azimuts X d'anisotropie et des $\cos 2X$ ¹.

(1) La relation des ajustements des valeurs cumulées $\Sigma(\cos 2X - \overline{\cos 2X})$ à la période lunaire sidérale de 27,322 jours avec les ajustements des azimuts X est une dépendance très complexe dont une analyse approfondie nécessiterait de nombreux calculs de simulation.

Tableau VIII

PENDULE PARACONIQUE A SUPPORT ISOTROPE
 DIRECTIONS D'ANISOTROPIE X ET VALEURS CUMULEES $\Sigma (\cos 2 X - \overline{\cos 2 X})$

Comparaison des phases des sinusoides d'ajustement

Novembre-Décembre 1959 et Mars -Avril 1960

Périodes	q	Série	R	1-R ²	r	Date du maximum	s ₀	p	s ₀ [*]
Novembre-Décembre 1959	1	X	0,994	0,013	144,3	29 novembre 12h	332,5	0	332,50
	2	$\Sigma (\cos 2 X - \overline{\cos 2 X})$	0,810	0,344	5,38	23 novembre 1h	326,09	0	326,09
Mars-Avril 1960	3	X	0,965	0,068	68,2	18 mars 5 h	76,21	4	332,17
	4	$\Sigma (\cos 2 X - \overline{\cos 2 X})$	0,879	0,227	10,04	22 mars 3 h	80,14	4	336,10
Date du minimum de la déclinaison de la Lune en Nov.-Déc. 1959 : 1 ^{er} Décembre 21 h. , s ₀ [*] = 334,87									

Légende : Voir la Légende du Tableau VI

Moyennes des s₀^{*} : (1,3) = 332,33 (2,4) = 331,09
 : (1, 2, 3, 4) = 331,71

Sources : Graphiques : VII, IX, VIII, X (mai-octobre 1996)

Calculs : 1 (Calcul 1112) ; 2 (Calcul 1233) ; 3 (Calcul 1111) ; 4 (Calcul 234) (21 mai-14 octobre 1996)

4.- Vue d'ensemble

Dans l'ensemble les trois Tableaux mettent en évidence des concordances de phases extrêmement remarquables au regard de la nature *très différente* des séries étudiées X , Δ , $\Sigma (\Delta - \bar{\Delta})$, et $\Sigma (\cos 2 X - \overline{\cos 2 X})$ ¹.

Quelle que puisse être l'interprétation théorique qui peut être donnée à ces différentes séries, leur cohérence constitue *une donnée expérimentale incontournable* dont la validité est *incontestable*².

(1) *Tableaux VI, VII et VIII*, p. 308, 311 et 313.

(2) Cette cohérence met également en évidence la qualité des observateurs, d'une part de Jacques Bourgeot et d'Annie Rolland, mes collaborateurs à l'IRSID, et d'autre part des agents de l'IRSID qui ont participé aux observations continues de novembre-décembre 1959 et de mars-avril 1960.

Je rappelle que pendant ses heures d'observations chaque observateur devait exécuter toutes les 20 minutes les opérations matérielles relatives non seulement au pendule paraconique à suspension isotrope, mais également les opérations relatives au pendule paraconique à suspension anisotrope.

Ces observations étaient extrêmement fatigantes et impliquaient pour les observateurs une très grande conscience professionnelle associée avec une très grande habileté.

H

EXPERIENCES ENCHAINEES
DU 28 SEPTEMBRE AU 4 OCTOBRE 1959
ET ECLIPSE TOTALE DE SOLEIL
DU 2 OCTOBRE 1959

1.- Variations au cours des expériences enchaînées de septembre-octobre 1959 de l'azimut ϕ du plan d'oscillation du pendule paraconique à support isotrope

Amplitudes des variations d'azimuts

1- Le *Graphique XXIII* représente les variations des valeurs horaires de l'azimut ϕ du plan d'oscillation du pendule paraconique à *support isotrope* lors des expériences *enchaînées* du 28 septembre au 4 octobre 1959 ¹.

Pendant cette période de cinq jours l'amplitude des variations d'azimut a été considérable, d'environ 350 grades. Elle a été d'un ordre de grandeur tout à fait comparable aux amplitudes des variations de la direction X d'anisotropie de l'espace pour novembre-décembre 1959 et mars-avril 1960 (*Graphiques II et III* ci-dessus) ².

 (1) Sur le principe des expériences enchaînées voir le § A.1.2. du *Chapitre I* ci-dessus.

En fait, du 28 septembre 16 h. 20 mn. au 30 septembre 16 h. 1959 les expériences ont été *doublément enchaînées*. L'analyse comparée de ces deux séries d'observations est présentée dans le *Deuxième volume* de cet ouvrage, *Chapitre II*, Section A (sur le principe des expériences *doublément enchaînées*, voir ci-dessus *Chapitre I*, § B.1.1).

Sur le *Graphique XXIII* les valeurs horaires correspondent aux observations paires du 28 septembre au 30 septembre.

(2) Pour le *Graphique II* la variation moyenne pour une période de cinq jours a été de 350 grades ; pour le *Graphique III* elle a été de 150 grades (§ D.3 ci-dessus, p. 261 et 262).

Ces expériences enchaînées de septembre-octobre 1959 ont été effectuées *parallèlement* à des expériences *enchaînées* avec le pendule paraconique à support anisotrope ³.

Eclipse totale de soleil du 2 octobre 1959

2- Les expériences enchaînées avec le support isotrope ont précédé et suivi *l'éclipse totale de soleil du 2 octobre 1959*, qui a eu lieu de 10 h. 50 mn. à 14 h. T.U. ⁴.

On voit que du 28 septembre 16 h. au 2 octobre 20 h., l'azimut du plan d'oscillation du pendule *isotrope* s'est maintenu entre l'azimut 0 (direction du méridien) et l'azimut 100 grades (direction Est-Ouest). A partir de la fin de l'éclipse l'azimut du plan d'oscillation du pendule *isotrope* s'est brusquement relevé et ce plan a tourné de 350 grades dans le sens direct en 34 heures alors que parallèlement le plan d'oscillation du pendule à suspension *anisotrope* n'a cessé d'osciller au voisinage du méridien dans l'intervalle (- 10 grades, - 40 grades).

Dans les 12 heures qui ont précédé l'éclipse le plan d'oscillation du pendule isotrope s'était progressivement rapproché du méridien.

Les observations faites avec le pendule paraconique à *suspension isotrope* confirment ainsi l'analyse comparée faite précédemment des deux éclipses de 1954 et 1959 dans le cas de la suspension anisotrope ⁵. *Les éclipses ont eu pour effet de rapprocher le plan d'oscillation du pendule paraconique de la direction commune de la Lune et du Soleil dans le méridien lors des deux éclipses.*

(3) Voir *Chapitre I*, § A.3.1., *Tableau I*, ci-dessus, p. 92

(4) Voir *Chapitre I*, § D.2, p. 166-167.

(5) *Chapitre I*, Section D.3, ci-dessus, p. 158-159.

2.- Variations au cours des expériences enchaînées de septembre-octobre 1959 de $\cos 2 \phi$ et $\sin 2 \phi$ correspondant à l'azimut ϕ du pendule paraconique à suspension isotrope

Les *Graphiques XXIV* représentent les oscillations du pendule paraconique à suspension isotrope du 28 septembre au 4 octobre 1959 en portant en ordonnées d'une part $\cos 2 \phi$ et d'autre part $\sin 2 \phi$ au lieu de ϕ .

Ces *Graphiques* ont l'avantage de mieux représenter les variations au cours du temps de la situation azimutale *effective* du plan d'oscillation du pendule paraconique à suspension isotrope.

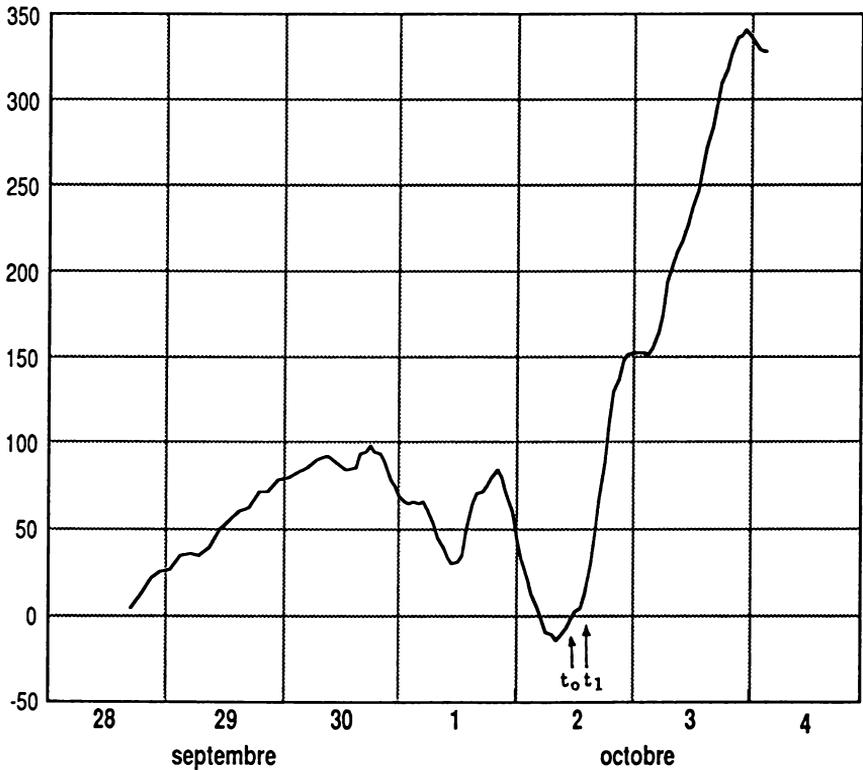
A chaque valeur de 2ϕ correspond en effet *une direction et une seule* du plan d'oscillation du pendule paraconique ¹. Au méridien correspond la valeur $\cos 2 \phi = 1$ et à la direction Est-Ouest correspond la valeur de $\cos 2 \phi = -1$. Pour $\cos 2 \phi = 0$ le plan d'oscillation du pendule se confond avec une des deux directions inclinées de 50 grades par rapport au méridien.

Des considérations analogues peuvent être présentées pour $\sin 2 \phi$.

D'une manière générale, pour l'analyse des mouvements du pendule paraconique à support isotrope et pour celle de la direction d'anisotropie X il y a intérêt à utiliser cette deuxième représentation (*Graphiques XXIV*) parallèlement à la première (*Graphique XXIII*) ².

 (1) Si en effet ϕ varie de 200 grades, 2ϕ varie de 400 grades. Dans les calculs de corrélation mobile l'azimut X n'est déterminé qu'à 200 grades près (§ C.4 ci-dessus).

(2) Voir ci-dessus § D.4, p. 263-266.

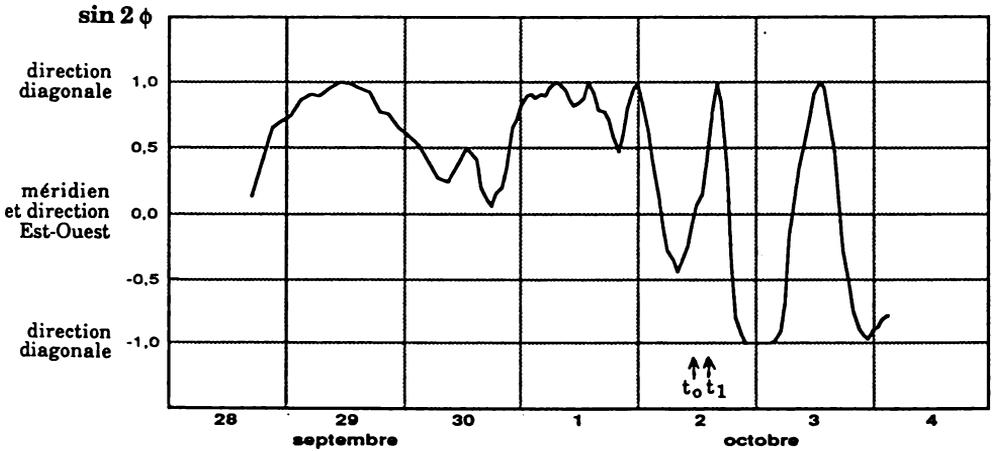
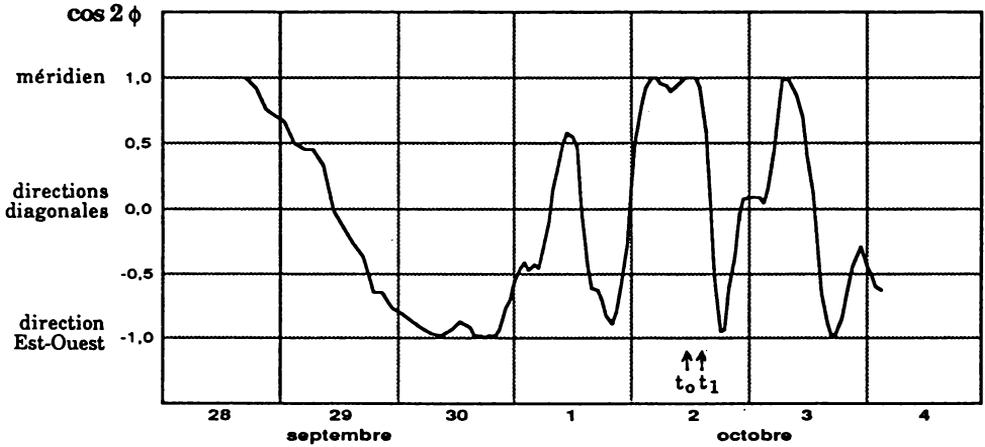
Graphique XXIII**PENDULE PARACONIQUE A SUSPENSION ISOTROPE****Séries enchaînées****28 septembre 1959, 16 h. 20 mn. - 4 octobre 1959, 3 h. 40 mn.****Azimuts horaires ϕ en grades**

Légende : t_0 et t_1 , début et fin de l'éclipse totale de Soleil du 2 octobre 1959.

Les azimuts 0 et 200 grades correspondent au méridien.

Les azimuts 100 et 300 grades correspondent à la direction Est-Ouest.

Sources : Graphique 8617 (20 mai 1996) et Tableau 7461 (4 novembre 1982).

Graphiques XXIV**PENDULE PARACONIQUE A SUSPENSION ISOTROPE***Séries enchaînées***28 septembre 1959, 16 h 20 mn - 4 octobre 1959, 3 h 40 mn** **$\cos 2\phi$ et $\sin 2\phi$** ϕ = valeurs horaires de l'azimut du plan d'oscillation

Légende : $\cos 2\phi = +1$: méridien ($\phi = 0$ et 200 grades)
 $\cos 2\phi = -1$: direction Est-Ouest ($\phi = 100$ et 300 grades)
 $\sin 2\phi = 0$: méridien ($\phi = 0$ et 200 grades)
 et direction Est-Ouest ($\phi = 100$ et 300 grades)
 $\sin 2\phi = +1$: $\phi = 50$ ou 250 grades
 $\sin 2\phi = -1$: $\phi = -50$ ou 150 grades

Source : Graphique XXIII

I

**MOUVEMENT DU PLAN D'OSCILLATION
DU PENDULE PARACONIQUE
A SUPPORT ISOTROPE
DANS L'HYPOTHESE DE L'ANISOTROPIE DE L'ESPACE D'INERTIE**

1.- Equations du mouvement et calcul des coefficients d'anisotropie

Il résulte des indications données pour le pendule paraconique à *support anisotrope* ¹ qu'en première approximation on peut représenter le mouvement du pendule paraconique à *support isotrope* dans l'hypothèse de l'anisotropie de l'espace d'inertie par les deux relations :

$$(1) \quad \phi' = -\omega \sin L + \frac{3}{8} p \alpha \beta \quad p = \sqrt{g/l}$$

$$(2) \quad \beta' = \sum_i \frac{p}{2} \alpha \varepsilon_i \sin 2(X_i - \phi)$$

- $\omega \sin L$ représente l'effet de Foucault ; α et β représentent le grand et le petit axe en radians de l'ellipse d'oscillation du pendule paraconique ; X_i représente la direction de l'astre i , et ε_i le coefficient de l'anisotropie qu'il induit.

Le *Tableau IX* présente le principe du calcul de ε_i dans le cas de la Lune et de la périodicité de 24 h 50 mn.

(1) *Chapitre I, § F.3, Tableau XIII, p. 212.*

De l'égalité des valeurs théoriques et observées de ϕ' on déduit l'égalité

$$(3) \quad (3/32) \Delta t p^2 \alpha^2 \varepsilon_1 \overline{\sin 2(X_1 - \phi)} = 1,434 \cdot 10^{-5}$$

$$(4) \quad \text{ordre de grandeur de } \varepsilon_1 = 1,434 \cdot 10^{-5} / 9,32 = 1,54 \cdot 10^{-6}$$

L'influence de ε_1 est ainsi de l'ordre de grandeur du millionième de la pesanteur². Il ne peut naturellement s'agir là que d'un ordre de grandeur.

(2) On a trouvé (*Chapitre I*, § F.2.3, note 7, p. 204) que l'on a

$$(1) \quad \text{Force de Foucault / pesanteur} = 3,20 \cdot 10^{-6}$$

et on a

$$(2) \quad \text{Amplitude de la périodicité de 24 h 50 mn / Effet de Foucault} \\ = 1,434 \cdot 10^{-5} / 0,5510^{-4} = 0,260$$

En admettant que les forces sont proportionnelles aux effets, on a ainsi

$$(3) \quad \text{Force périodique / pesanteur} = 0,260 \cdot 3,20 \cdot 10^{-6} = 0,832 \cdot 10^{-6}$$

L'effet périodique de 24 h 50 mn correspond donc à une force de l'ordre du millionième de la pesanteur.

On retrouve ainsi par un calcul *d'une nature entièrement différente* une même estimation de l'ordre de grandeur de ε .

En fait, l'estimation égale à $1,54 \cdot 10^{-6}$ de l'ordre de grandeur de ε_1 est la plus précise.

Tableau IX

**EQUATIONS DU MOUVEMENT DU PLAN D'OSCILLATION
DANS L'HYPOTHESE DE L'ANISOTROPIE DE L'ESPACE D'INERTIE
ET DANS LE CAS D'UN SUPPORT ISOTROPE**

Calcul des coefficients d'anisotropie ε_i

Variations ϕ' et β' de ϕ et β

$$(1) \quad \phi' = -\omega \sin L + \frac{3}{8} p \alpha \beta \quad p = \sqrt{g/l} = \sqrt{981/83} = 3,44$$

$$(2) \quad \beta' = \sum_i \frac{p}{2} \alpha \varepsilon_i \sin 2(X_1 - \phi) \quad p \alpha / 4 = 0,086$$

Ordres de grandeur des ε_i - Illustration dans le cadre de la Lune - Périodicité de 24h. 50mn.

Valeur théorique de la composante moyenne ϕ'_d de ϕ' au cours d'une expérience d'une durée $\Delta t = 14 \text{ mn} = 840 \text{ sec}$ ^{1,2}.

$$(3) \quad \begin{aligned} \phi'_d &= \frac{3}{8} p \bar{\alpha} \bar{\beta} & \bar{\alpha} &= 0,1 \\ &= \frac{3}{8} p \bar{\alpha} \left[\frac{1}{2} \Delta t \frac{p}{2} \bar{\alpha} \varepsilon_i \overline{\sin 2(X_1 - \phi)} \right] \\ &= \frac{3}{32} \Delta t p^2 \bar{\alpha}^2 \varepsilon_i \overline{\sin 2(X_1 - \phi)} \\ &= 9,32 \varepsilon_i \overline{\sin 2(X_1 - \phi)} \end{aligned}$$

$$(4) \quad \text{Ordre de grandeur de } \phi'_d = 9,32 \varepsilon_i \text{ rad./sec.}$$

Valeur observée (§ F.2.2, Tableau IX, p. 284)

$$(5) \quad \phi'_{d'} = 1,434 \cdot 10^{-5} \text{ rad. / sec.}$$

Ordre de grandeur correspondant de ε_i

$$(6) \quad 1.434 \cdot 10^{-5} / 9,32 = 1,54 \cdot 10^{-6}$$

(1) Les traits — indiquent qu'il s'agit des valeurs moyennes au cours de la durée $\Delta t = 14$ minutes de l'expérience.

(2) D'après la relation (3) l'ordre de grandeur de l'effet de l'anisotropie de l'espace d'inertie sur ϕ'_d est égal à $(3/32) p^2 \bar{\alpha}^2 \Delta t \varepsilon_i$.

D'après la théorie actuelle de la gravitation l'effet de l'attraction universelle sur ϕ'_d est proportionnel à $(3/32) \bar{\alpha}^2 \Delta t K_1$ (Tableau VII, § B.2, du Chapitre I ci-dessus, p. 129).

On a ainsi

$$(3/32) p^2 \bar{\alpha}^2 \Delta t \varepsilon_i / (3/32) \bar{\alpha}^2 \Delta t K_1 = (g/l) (\varepsilon_i / K_1)$$

2.- Equation différentielle du second ordre en $u = \phi - X$

Pour simplifier les écritures on peut écrire les deux relations (1) et (2) du § précédent sous la forme des relations (1) et (2) du *Tableau X*.

On peut définir la direction moyenne X d'anisotropie et le coefficient moyen ε d'anisotropie par les relations (5) et (6) du *Tableau X*. Naturellement les X_i et ε_i sont des fonctions du temps et il en est de même de X et de ε .

Finalement les relations (1) et (2) du § précédent peuvent s'écrire (relations 7 et 8 du *Tableau IX*)

$$\begin{aligned} (1) \quad \phi' &= -\omega \sin L + \lambda \beta & \lambda &= (3/8) p \alpha \\ (2) \quad \beta' &= \mu \sin 2(X - \phi) & \mu &= (1/2) p \alpha \varepsilon \end{aligned}$$

où X désigne la direction d'anisotropie de l'espace d'inertie et où ε est le coefficient *moyen* d'anisotropie de l'espace d'inertie.

En dérivant la relation (1) par rapport au temps et en remplaçant β' par son expression (2) on obtient la relation différentielle du second ordre (relation 9 du *Tableau X*)

$$(3) \quad u'' + \lambda \mu \sin 2u = X'' \quad u = X - \phi$$

où X'' représente la dérivée seconde de X ¹.

Cette relation permet de discuter facilement les modalités du mouvement du pendule paraconique à support isotrope dans le cas où la différence $u = X - \phi$ reste relativement faible et où les variations de X sont petites relativement aux variations de u .

(1) L'étude détaillée de la relation (3) sera donnée dans le *Deuxième volume* de cet ouvrage (*Chapitre II*, Section A, p. 28 ci-dessus).

La relation (3) sans second membre est formellement identique à l'équation des oscillations du pendule plan pour des amplitudes quelconques dont l'analyse est classique (voir par exemple Jules Haag, 1952, *Les mouvements vibratoires*, P.U.F., Tome I, n° 210, p. 237-239).

Dans ce cas la relation (3) s'écrit (relation 12 du *Tableau X*)

$$(4) \quad \phi'' + \Omega^2 \phi = \Omega^2 X \quad \Omega^2 = 2 \lambda \mu$$

La discussion de cette relation montre que la direction ϕ du plan d'oscillation du pendule tend à osciller autour de la direction X d'anisotropie (relation 15 du *Tableau X*) avec une période propre (relation 12 du *Tableau X*)²

$$(5) \quad \Theta = 2 \pi / \sqrt{2 \lambda \mu}$$

Au total la relation (4) permet de déterminer en première approximation le mouvement du pendule paraconique à support isotrope au cours de chaque expérience de 14 minutes.

(2) Comme on a (relation 2 du *Tableau X*)

$$(1) \quad \mu_i = (1/2) p \alpha \varepsilon_i = 0,172 \varepsilon_i$$

et (relation 6 du *Tableau IX*)

$$(2) \quad \varepsilon_i = 1,54 \cdot 10^{-6}$$

on a

$$(3) \quad \mu_i = 0,172 \cdot 1,54 \cdot 10^{-6} = 0,265 \cdot 10^{-6}$$

D'après la relation (5) du *Tableau X* le coefficient μ dépend d'une manière relativement complexe des μ_i . Dans l'ignorance où l'on est de toutes les composantes périodiques du mouvement du pendule paraconique on ne peut guère faire que des hypothèses *tout à fait approximatives*.

A titre d'illustration et en admettant par exemple la valeur $\mu = 2 \cdot 10^{-6}$ on aurait pour $\lambda = 0,129$ (*Tableau X*)

$$(4) \quad \Omega = \sqrt{2 \lambda \mu} = 0,718 \cdot 10^{-3} \quad \Theta = 2 \pi / \Omega = 8747 \text{ secondes} = 2,43 \text{ heures}$$

Il va de soit qu'un tel calcul ne peut guère donner que des ordres de grandeur.

Ce qui est certain, c'est que la période Θ est relativement petite au regard des périodes des périodicités déterminant le mouvement du pendule paraconique et qu'ainsi la direction $X(t)$ peut être regardée comme constante au cours d'une oscillation propre (Ω). Pour une période $\Theta = 2,43$ heures, une expérience de 14 minutes correspond à une fraction d'environ un dixième de la période Θ ($14 / 145,8 = 0,096$). D'après les relations (15) et (16) du *Tableau X* il en résulte qu'au cours d'une expérience de 14 minutes l'écart entre l'azimut ϕ et la direction X d'anisotropie diminue, et que par suite le plan d'oscillation se rapproche de la direction d'anisotropie.

Une conclusion analogue vaut pour le pendule paraconique à suspension anisotrope. On voit ainsi comment se trouve justifié *a posteriori* mon choix de 1954 de faire des expériences d'une durée de 14 minutes. C'est d'ailleurs ce que confirme l'observation (voir ci-dessus le *Graphique VI* du *Chapitre I*, § B.1.1, p. 104).

Voir la note 15 du § F.3.3, p. 209-210 du *Chapitre I* ci-dessus.

Tableau X

**EQUATIONS DU MOUVEMENT DU PENDULE PARACONIQUE
DANS L'HYPOTHESE DE L'ANISOTROPIE DE L'ESPACE D'INERTIE
ET DANS LE CAS D'UN SUPPORT ISOTROPE**

Equation du second ordre en $u = X - \phi$

Expressions simplifiées des équations du mouvement (Tableau IX, relations 1 et 2)

$$(1) \quad \phi' = -\omega \sin L + \lambda \beta \qquad \lambda = (3/8) p \alpha = 0,129$$

$$(2) \quad \beta' = \sum_i \mu_i \sin 2(X_i - \phi) \qquad \mu_i = (1/2) p \alpha \varepsilon_i = 0,172 \varepsilon_i$$

X_i et ε_i représentent l'azimut et le coefficient d'anisotropie de l'astre i .

Direction moyenne d'anisotropie de l'espace d'inertie

$$(3) \quad \mu \sin 2(X - \phi) = \sum_i \mu_i \sin 2(X_i - \phi)$$

$$(4) \quad \mu \sin 2X = \sum \mu_i \sin 2X_i \qquad \mu \cos 2X = \sum \mu_i \cos 2X_i$$

$$(5) \quad \mu = \sqrt{\sum \mu_i^2 + 2 \sum \mu_i \mu_j \cos 2(X_i - X_j)} \qquad \mu = (1/2) p \alpha \varepsilon = 0,172 \varepsilon$$

$$(6) \quad \operatorname{tg} 2X = \sum \mu_i \sin 2X_i / \sum \mu_i \cos 2X_i$$

Expressions de ϕ' et β'

$$(7) \quad \phi' = -\omega \sin L + \lambda \beta \qquad \lambda = (3/8) p \alpha = 0,129$$

$$(8) \quad \beta' = \mu \sin 2(X - \phi) \qquad \mu = (1/2) p \alpha \varepsilon = 0,172 \varepsilon$$

Equation différentielle en ϕ

$$(9) \quad \phi'' - \lambda \mu \sin 2(X - \phi) = 0$$

$$(10) \quad u = X - \phi \qquad u'' = X'' - \phi''$$

$$(11) \quad u'' + \lambda \mu \sin 2u = X''$$

Linéarisation pour les petites valeurs de $u = X - \phi$ et pour $X(t)$ *lentement variable*

$$(12) \quad \phi'' + \Omega^2 \phi = \Omega^2 X \qquad \Omega^2 = 2\lambda \mu \qquad \Theta = 2\pi / \sqrt{2\lambda \mu}$$

$$(13) \quad \phi(t) = A \cos \Omega t + B \sin \Omega t + X(t)$$

$$(14) \quad \text{Conditions initiales pour } t = 0 \quad \phi = \phi_0 \quad \phi'_0 = -\omega \sin L$$

Solution

$$(15) \quad \phi(t) = (\phi_0 - X_0) \cos \Omega t - X'_0 \frac{\sin \Omega t}{\Omega} - \omega \sin L \frac{\sin \Omega t}{\Omega} + X(t)$$

$$(16) \quad \phi'(t) = \Omega (X_0 - \phi_0) \sin \Omega t - X'_0 \cos \Omega t - \omega \sin L \cos \Omega t + X'(t)$$

Illustration

$$(17) \quad \mu = 2 \cdot 10^{-6} \quad \lambda = 0,129 \quad \Omega = \sqrt{2\lambda \mu} = 0,718 \cdot 10^{-3}$$

$$\Theta = 2\pi / \Omega = 8747 \text{ secondes} = 2,43 \text{ heures} \quad \Omega \Delta t = 0,603 \text{ radians}$$

$$\sin \Omega \Delta t = 0,567 \quad \cos \Omega \Delta t = 0,824 \quad (\Delta t = 840 \text{ sec.})$$

J

VUE D'ENSEMBLE

Dans l'ensemble, la réalisation d'un support isotrope en 1959 a permis d'obtenir des résultats *très significatifs et très cohérents* qui ont marqué *une étape décisive* dans mes expériences sur le pendule paracanique.

1 - Détermination de la direction X d'anisotropie de l'espace (Sections A, B, et C)

1- Tout d'abord une méthode d'analyse, *la méthode des corrélations mobiles*, a été définie permettant de déterminer à chaque instant *la direction d'anisotropie X de l'espace* et ses variations au cours du temps.

2- Cette anisotropie de l'espace est *un fait d'observation*, mais on peut l'interpréter comme correspondant à une anisotropie de l'inertie suivant la direction considérée de l'anisotropie de l'espace et résultant d'influences astronomiques.

Cette interprétation *est une hypothèse*, mais *tout se passe comme si elle était justifiée*.

3- L'application de la méthode des corrélations mobiles aux séries d'observation de novembre-décembre 1959 et mars-avril 1960 montre l'existence *d'une même anisotropie moyenne de l'espace*, d'environ 17 fois plus faible que l'anisotropie caractérisant la suspension anisotrope, *l'anisotropie due au nouveau support pouvant être considérée comme pratiquement inexistante*.

Cette anisotropie moyenne de l'espace d'inertie est approximativement orientée Est-Ouest.

2 - Azimut X de l'anisotropie de l'espace en Novembre-Décembre 1959 et Mars-Avril 1960 (Sections D et E)

1- La méthode des corrélations mobiles permet de déterminer la direction X d'anisotropie de l'espace à chaque instant pendant les expériences de novembre-décembre 1959 et de mars-avril 1960.

La direction X d'anisotropie de l'espace *varie de façon considérable au cours du temps*, et dans l'espace d'un même mois la direction X varie de plusieurs centaines de grades, en fait d'environ 1800 grades en novembre-décembre 1959 et d'environ 900 grades en mars-avril 1960. Cette rotation correspond respectivement à quatre et deux tours d'horizon dans le sens direct et dans le sens rétrograde.

2- Les deux séries mensuelles des azimuts X de la direction d'anisotropie de l'espace sont caractérisées par des périodicités diurnes dont les amplitudes sont environ *cinq fois plus grandes* en moyenne que pour les séries enchaînées du pendule paraconique à support anisotrope.

Comme dans le cas du support anisotrope la périodicité lunaire de 24 h. 50 mn. est particulièrement marquée.

Quant aux amplitudes cette structure périodique est *très différente* de la structure qui caractérise les périodicités lunisolaires résultant de la théorie actuelle de la gravitation.

3- L'analyse des deux séries mensuelles des azimuts X des directions d'anisotropie de novembre-décembre 1959 et de mars-avril 1960 met également en évidence l'existence d'une *périodicité lunaire sidérale* (et non synodique) de 27,322 jours d'une amplitude relativement importante.

Les deux composantes périodiques de 27,322 jours sont *très remarquablement en phase*. A deux jours près ces composantes périodiques ont leurs maxima lorsque la déclinaison de la Lune atteint son minimum.

4 - Les valeurs cumulées des différences $\cos 2 X - \overline{\cos 2 X}$ entre les valeurs $\cos 2 X$ et leur moyenne $\overline{\cos 2 X}$ présentent également de remarquables périodicités lunaires sidérales mensuelles.

3 - Déplacements Δ du plan d'oscillation du pendule paraconique à partir des directions Nord-Sud et Est-Ouest (Section F)

1 - Les déplacements Δ du plan d'oscillation du pendule paraconique à partir du méridien pendant les deux périodes d'observations de novembre-décembre 1959 et de mars-avril 1960 se caractérisent également par l'existence d'une structure périodique diurne *très significative*, assez analogue, quant aux valeurs relatives des amplitudes, à la structure périodique diurne des azimuts X d'anisotropie.

Les déplacements Δ se caractérisent également en novembre-décembre 1959 et en mars-avril 1960 par l'existence d'une périodicité lunaire sidérale de 27,322 jours *remarquablement en phase*. Comme pour les azimuts X d'anisotropie, ces composantes périodiques lunaires ont à deux jours près leurs maxima lorsque la déclinaison de la Lune atteint son minimum.

2 - Il existe entre les azimuts X d'anisotropie et les déviations Δ du plan d'oscillation du pendule paraconique à support isotrope à partir du méridien une remarquable interdépendance structurelle.

3 - Les composantes périodiques de 24 h. 50 mn. observées du plan d'oscillation du pendule paraconique à support isotrope à partir du méridien présentent des amplitudes *de plus de cent millions de fois plus grandes* que les amplitudes calculées à partir de la théorie actuelle de la gravitation, et par là même *totalemt inexplicables* dans le cadre de cette théorie.

4 - Les déplacements Δ du plan d'oscillation du pendule paraconique à support isotrope à partir de la direction Est-Ouest ont des structures périodiques très semblables à celles correspondant à la déviation Nord-Sud, notamment quant à l'existence d'une périodicité lunaire sidérale mensuelle de 27,322 jours.

5 - Il en est de même des valeurs cumulées des différences $\Delta - \bar{\Delta}$ entre les déviations Δ et leur moyenne $\bar{\Delta}$ dans les directions Nord-Sud et Est-Ouest.

4 - De remarquables cohérences de phase (Section G)

1 - Non seulement les azimuts X d'anisotropie et les déplacements Δ du plan d'oscillation à partir du méridien présentent en 1959 et 1960 *une remarquable cohérence de phase avec la déclinaison de la Lune*, mais il en est encore de même pour les azimuts des séries *enchaînées* du pendule paraconique à support anisotrope à *Bougival et Saint-Germain en 1958*.

2 - Il en est de même des valeurs cumulées des différences $\Delta - \bar{\Delta}$ et des valeurs cumulées des différences $\cos 2 X - \overline{\cos 2 X}$.

5 - Séries enchaînées du pendule paraconique à support isotrope (Section H)

1 - Les expériences de séries enchaînées et doublement enchaînées effectuées du 28 septembre au 4 octobre 1959 avec le pendule paraconique et la suspension isotrope ont mis en évidence des variations *considérables* d'azimut.

Tout particulièrement une variation de 350 grades en deux jours s'est constatée, alors que parallèlement l'azimut de la suspension anisotrope restait pratiquement stationnaire dans un intervalle de l'ordre de 50 grades.

2- Ces mêmes expériences ont permis une comparaison *très significative* des effets de l'éclipse totale de soleil du 2 octobre 1959 sur les séries simplement enchaînées réalisées d'une part avec la suspension isotrope et d'autre part avec la suspension anisotrope.

6 - *L'anisotropie de l'espace d'inertie (Section I)*

Les mouvements observés du pendule paraconique à support isotrope peuvent facilement s'expliquer en *supposant une anisotropie de l'espace d'inertie de l'ordre de 10^{-6}* .

7 - *Des résultats très significatifs*

Au total la réalisation d'un support isotrope en 1959 et les expériences correspondantes ont permis d'obtenir des résultats *d'une importance tout à fait exceptionnelle*.

Non seulement elles ont confirmé l'existence de structures périodiques tout à fait inexplicables dans le cadre des théories actuelles, d'amplitudes cent millions de fois plus grandes que les amplitudes calculées avec la théorie actuelle, mais elles ont permis de démontrer l'existence d'une direction d'anisotropie variable avec le temps et d'en préciser l'azimut à tout instant ¹.

 (1) Ces expériences *très prometteuses* n'ont malheureusement pu se poursuivre en raison de la fermeture de mon laboratoire de Saint-Germain en juin 1960.

Si elles avaient pu être poursuivies le mieux sans doute eût été d'utiliser deux suspensions isotropes *en utilisant l'une avec des expériences enchaînées et en utilisant l'autre avec la méthode des corrélations mobiles*.

Même avec une seule suspension il aurait pu être possible de réaliser des observations enchaînées avec les expériences d'ordre pair et d'appliquer la méthode des corrélations mobiles pour les expériences d'ordre impair.