

LE PENDULE DE MAURICE ALLAIS : PHENOMENES DECOUVERTS

Sommaire

- 1- Présentation
- 2- Description des expérimentations
 - 2-1 Le dispositif expérimental
 - 2-2 La procédure opératoire
 - 2-3 Les facteurs essentiels du mouvement d'un pendule : pourquoi les choix de Maurice Allais ?
 - 2-4 « Anisotropie » de la suspension d'un pendule.
- 3- Les résultats obtenus : les phénomènes découverts
 - 3-1 Les campagnes d'expérimentation concernées
 - 3-2 Le phénomène de base qui a attiré l'attention de Maurice Allais
 - 3-3 Les phénomènes découverts
- 4- Réalité de ces phénomènes ?
 - 4-1 Les composantes diurnes et semi-diurnes
 - 4-2 La composante mensuelle lunaire
 - 4-3 Indices de l'existence de composantes longues
 - 4-4 « L'effet d'éclipse »
 - 4-5 La « direction d'anisotropie » de l'espace.
- 5- Ces phénomènes sont-ils explicables dans un cadre conventionnel ? Influence des facteurs perturbateurs envisageables
 - 5-1 Influence directe des astres
 - 5-1-1 Influence directe de l'attraction d'un astre donné sur le pendule
 - 5-1-2 Perturbations du mouvement de la Terre par les autres astres du système solaire (en pratique seule la Lune intervient).
 - 5-2 Facteurs environnementaux
 - 5-3 Défauts du pendule
- 6- Conclusions
 - 6-1 Les phénomènes nouveaux découverts
 - 6.2. Ces phénomènes sont bien compatibles avec les autres données de l'expérience

ANNEXE : Effet de Foucault résultant de la rotation du système Terre-Lune

1- PRESENTATION

▪ Les observations de Maurice Allais au moyen d'un pendule de sa conception (le pendule « paraconique ») constituent l'essentiel de son œuvre expérimentale. Menées de 1953 à 1960, elles ont abouti à la découverte d'anomalies dans le mouvement de ce pendule qui, à ce jour, demeurent totalement inexplicables.

Elles sont décrites de façon détaillée dans son ouvrage « L'Anisotropie de l'Espace » (éditions Clément Juglar, 1997).

On en trouvera ici une présentation résumée. Le plan adopté diffère de celui de « L'Anisotropie de l'Espace », lequel, ayant pour objectif principal la présentation de la démarche expérimentale, suit fortement sa chronologie, ce qui complique un peu la présentation des conclusions.

Pour que le lien avec « L'Anisotropie de l'Espace » puisse être aisément effectué, les références aux passages concernés de cet ouvrage ont été systématiquement mentionnées.

▪ Vers la fin des années 1950, les travaux de Maurice Allais ont été l'objet de débats à haut niveau, qui ne les ont en aucune façon infirmés. Aujourd'hui, ils ne l'ont d'ailleurs toujours pas été.

Comme Maurice Allais se plaisait à le dire, ses adversaires étaient partagés en deux catégories : ceux qui admettaient la réalité physique des phénomènes qu'il indiquait avoir découverts, mais affirmaient qu'ils étaient très certainement explicables dans un cadre conventionnel, et ceux qui admettaient que, effectivement, ils étaient inexplicables, mais contestaient leur réalité.

Aussi le plan retenu distingue-t-il explicitement un chapitre « Réalité des phénomènes constatés ? » et un chapitre « Ces phénomènes sont-ils explicables dans un cadre conventionnel ? »

Répondre définitivement à ces deux questions n'est assurément pas chose aisée : à la première parce que, en général, on ne peut avoir que des certitudes de nature statistiques (le « signal » utile que l'on recherche est toujours plus ou moins « bruité », et le bruit ne se définit que statistiquement), à la seconde parce qu'il n'y a d'autre démarche que celle qui consiste à établir une liste aussi exhaustive que possible des causes conventionnelles envisageables, puis à vérifier qu'elles ne peuvent expliquer les phénomènes concernés.

Maurice Allais s'est soigneusement attaché à ces réponses, aidé en cela par sa maîtrise des mathématiques et l'étendue de ses connaissances en statistique, en physique et en astronomie (car les phénomènes inexplicables constatés sont presque tous explicitement reliés à des phénomènes relevant de l'astronomie).

On peut certes contester la réponse positive apportée à ces deux questions. Mais le dossier est tout de même très solide, et l'hypothèse qu'il s'agit effectivement de phénomènes inexplicables dans le cadre des théories en vigueur ne peut être écartée en balayant tous ces travaux d'un revers de la main.

Peut-être, par exemple, une cause perturbatrice conventionnelle a-t-elle été omise... Mais il faudrait en préciser la nature, s'assurer qu'elle peut effectivement avoir une action significative sur la précession du pendule, et vérifier que cette action permet effectivement de rendre compte de tout ou partie des phénomènes constatés (qui en règle générale sont des régularités très particulières).

Notons en outre qu'il suffit que l'un des phénomènes découverts demeure inexplicable pour que demeurent les interrogations que posent à la Science les travaux de Maurice Allais.

2- DESCRIPTION DES EXPERIMENTATIONS

2-1 Le dispositif expérimental (chap. I A, p. 81-86)

Voir photographies de ce dispositif (Fig.1 et 2).

- Suspension à bille : le pendule (totalement rigide) est fixé à un étrier reposant par l'intermédiaire d'un tronc de cône en acier sur une bille en acier pouvant rouler dans toutes les directions sur une surface portante S (cobalt et carbure de tungstène), laquelle repose sur un support évidé S'. Lorsque le pendule est en mouvement, la bille parcourt une ellipse. D'où le nom de pendule « paraconique » qui lui a été donné par Maurice Allais.

- Il s'agit d'un pendule « court », en comparaison des pendules généralement utilisés, qui font souvent plusieurs dizaines de mètres de long.

La distance entre la bille et l'extrémité inférieure du pendule est 105 cm.

La longueur équivalente est 83 cm ($\Rightarrow$ période d'oscillation $T = 1,828s$). Elle diffère de la précédente du fait qu'une partie de la masse de la partie mobile du pendule se trouve au-dessus de la bille.

- Amagnétique (à l'exception de la bille et du tronc de cône).

- Amplitude « totale »¹ du mouvement : 22 cm (valeur maximale évitant tout glissement de la bille sur S), soit environ 0,22 rd en amplitude angulaire totale.

- Pendule lâché en brûlant un fil.

- Toutes les mesures étaient manuelles.

Précision de la mesure de l'azimut du plan d'oscillation : environ 0,1 grade.

Possibilité de mesure du grand axe et du petit axe de l'ellipse décrite par l'extrémité du pendule.

- Débattement maximum du plan d'oscillation (il est limité par la conception même de la suspension : voir photos ci-après) : 210 grades.

- Masse à l'extrémité du pendule : disque vertical de 7,5 kg en bronze et de 21,8 cm de diamètre.

En fait Maurice Allais a essayé plusieurs autres formes de masses (en particulier une sphère de plomb), les résultats obtenus n'étant pas sensiblement différents.

Toutes ses campagnes d'observations de longue durée, à l'exception de la première (juin-juillet 1954) ont utilisé le disque vertical.

- Usinage au $1/100^{\text{ème}}$ de mm.

¹ L'« amplitude » a d'un mouvement sinusoïdal $x=a \cos \omega t$ est en fait la $\frac{1}{2}$ amplitude crête à crête, c'est-à-dire la $\frac{1}{2}$ amplitude au sens habituel de ce terme, ce qui est source de confusion. La désignation « amplitude totale », utilisée ici, correspond à l'amplitude crête à crête.

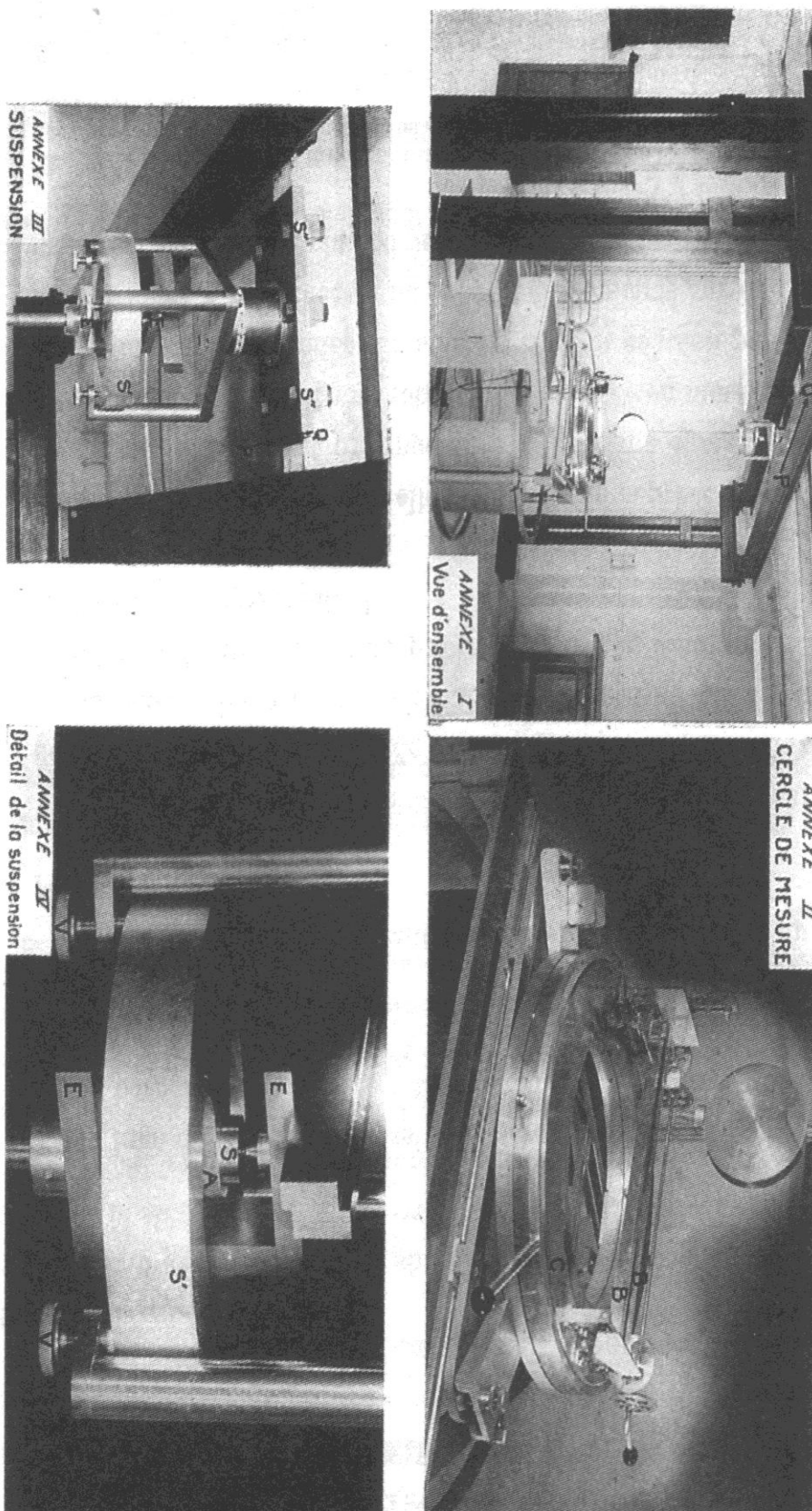


Fig.1- le pendule « anisotrope »

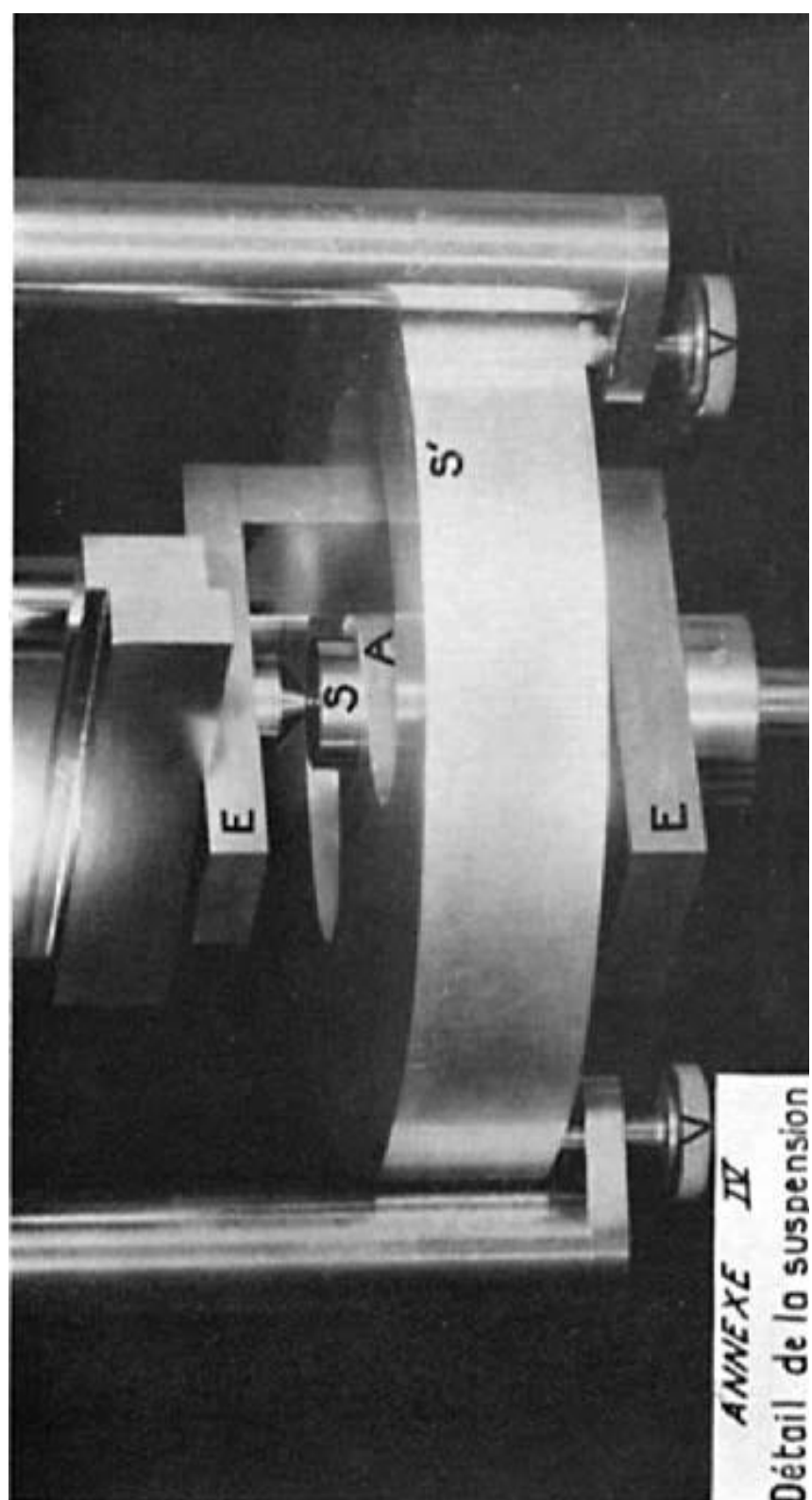


Fig.2 Détail de la suspension

Deux types de pendules ont été utilisés :

- a) Le pendule « anisotrope », qui est celui décrit ci dessus. Il a été appelé ainsi du fait que, son élasticité n'étant pas la même dans 2 plans perpendiculaires, le système de suspension introduisait une action de rappel vers une direction fixe, dont Maurice Allais a montré qu'elle était liée à l'orientation des poutrelles de suspension. Ce pendule a été utilisé du début à la fin des expérimentations (1954-1960)
- b) Le pendule « isotrope », constitué comme suit (chap. II B, p. 241-242).
 - La partie mobile et la surface portante S sont les mêmes que celles du pendule anisotrope.
 - Le support circulaire évidé S' sur lequel repose la surface portante S est de même conception que pour le pendule anisotrope.
 - Par contre tout le reste est différent :
 - . Le support circulaire S' peut **tourner** dans une plaque triangulaire : le pendule peut donc cette fois ci être lancé dans n'importe quel azimut.
 - . Cette plaque, très massive (150 kg), est elle-même soutenue par un système de fixation au plafond qui est aussi très massif, et ne comporte pas une direction privilégiée : « l'anisotropie » de la suspension a ainsi pu être rendue négligeable.

Ce pendule a été utilisé conjointement avec le précédent à partir de 1958.

2-2 La procédure opératoire (chap. I.A.1, p. 81-87).

Une « expérimentation » est formée d'un enchaînement continu « d'expériences élémentaires »

2-2-1 L'expérience élémentaire :

- Son déroulement
 - Lâcher du pendule dans un azimut donné.

On constate en règle générale une rotation du plan d'oscillation (« précession du pendule »), ainsi qu'une (légère) ovalisation de la trajectoire, la plupart du temps progressive.

 - Au bout de 14 mn, lecture de l'azimut du plan d'oscillation.
 - Arrêt du pendule.
 - Au bout de 20 mn, après avoir changé la bille, lancement d'une nouvelle expérience élémentaire, à partir d'un azimut dépendant du mode d'enchaînement retenu.
 - Changement de la surface portante S toutes les semaines
- La donnée de base exploitée par la suite est **l'azimut du plan d'oscillation à l'issue de chaque expérience élémentaire**. On dispose donc d'une valeur toutes les 20 minutes.
- Les autres données (azimuts intermédiaires, grand axe, petit axe), sauf cas particulier, n'ont pas fait l'objet d'un suivi systématique.
- Remarque : la période d'oscillation n'a pas fait l'objet d'un suivi. En fait, il s'agit d'un paramètre du mouvement du pendule qui n'est pas du tout sensible aux mêmes perturbations que la précession (en particulier il est sensible au 1^{er} ordre aux variations de la longueur du pendule, et donc à la température, alors que la précession ne l'est pas ; il est sensible au 1^{er} ordre aux variations de g, alors que la précession ne l'est pas).

2-2-2 Types d'enchaînement utilisés :

- a) lancement à partir d'un azimut fixe

- b) lancement à partir de l'azimut final de la précédente expérience élémentaire : expériences « enchaînées ». C'est le type d'enchaînement qui a été le plus utilisé par Maurice Allais. C'est en particulier celui qui a été utilisé lors des observations de longue durée menées au moyen du pendule « anisotrope ».
- c) pour l'expérience élémentaire n, lancement à partir de l'azimut final de l'expérience élémentaire n-p : expériences « p^{ièrement} enchaînées ».
=> Cela permet donc, en quelque sorte, de disposer de p pendules avec un seul. On ne dispose toutefois que d'une mesure toutes les p x 20 mn.
- d) méthode des « corrélations mobiles » (chap. II.C, p. 247-254)
Cette méthode est spécifique du pendule « isotrope ».
- . 10 directions de lancer espacées de 18°
 - . 10 « expériences élémentaires » successives (et donc espacées de 20 mn), les lancers étant effectués dans l'une des directions précédentes, l'ordre étant choisi au hasard.
 - . Pour chaque lancer le support évidé est positionné, par rotation sur le bâti, de telle sorte que son axe de symétrie soit dans l'azimut de lancement.
 - . L'exploitation conjointe des 10 précessions mesurées permet de déterminer vers quel azimut le plan d'oscillation du pendule tend à être ramené.

La donnée de base suivie au cours de l'expérimentation est cette fois-ci **l'azimut vers lequel le plan d'oscillation du pendule tend à être ramené**. On ne dispose donc cette fois-ci que d'une valeur toutes les 20 x 10 = 200 minutes.

C'est cette méthode qui a été utilisée lors des 2 observations de longue durée menées au moyen du pendule « isotrope ».

Nota : cette méthode élimine les mouvements indépendants de l'azimut de lancement (et donc en particulier l'effet de Foucault)

2-3 Les facteurs essentiels du mouvement d'un pendule : pourquoi les choix de Maurice Allais ?

2-3-1 Effet de Foucault : rappel

Il en résulte une vitesse de précession :

$\Theta' = \Omega \sin \lambda$, Ω étant la vitesse de rotation de la Terre et λ la latitude.

On a $\Omega = 7,27 \cdot 10^{-5}$ rad/s (= 0,00415 °/s = 15°/h).

A la latitude de St Germain (lieu du laboratoire de Maurice Allais), $\Theta' = -5,5 \cdot 10^{-4}$ rad/s (angles mesurés dans le sens direct, c'est-à-dire dans le sens contraire des aiguilles d'une montre).

A l'issue des 14mn de chaque expérience élémentaire, la rotation est de -2,94 grades (ou -2,65 °)

2-3-2 Actions perturbatrices : 2 modes d'action

- Remarque préliminaire : une ovalisation de sa trajectoire fait précessionner un pendule² (« effet d'Airy »)

Avec :

. a et b : respectivement les $\frac{1}{2}$ grand axe et petit axe de l'ellipse.

. l : longueur du pendule

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

la vitesse de rotation de rotation du plan d'oscillation est :

$$\Theta' = \frac{3}{8} \omega a b / l^2 = \frac{3}{8} \omega \alpha \beta = \frac{3}{8} \sqrt{\frac{g}{l}} \alpha \beta \quad (\alpha = a/l, \beta = b/l) \quad (\alpha \ll 1, \beta \ll 1)$$

Le sens de rotation est celui dans lequel l'ellipse est décrite.

Il résulte de ce qui précède que la précession d'Airy est **d'autant plus importante que le pendule est court et l'amplitude angulaire importante.**

- D'où 2 modes d'action sur le mouvement du pendule :

. action « directe » : modification directe de la vitesse de rotation Θ' (tel est le cas de l'effet de Foucault).

. action « indirecte », par l'intermédiaire d'une création d'ellipse, puis de l'effet d'Airy.

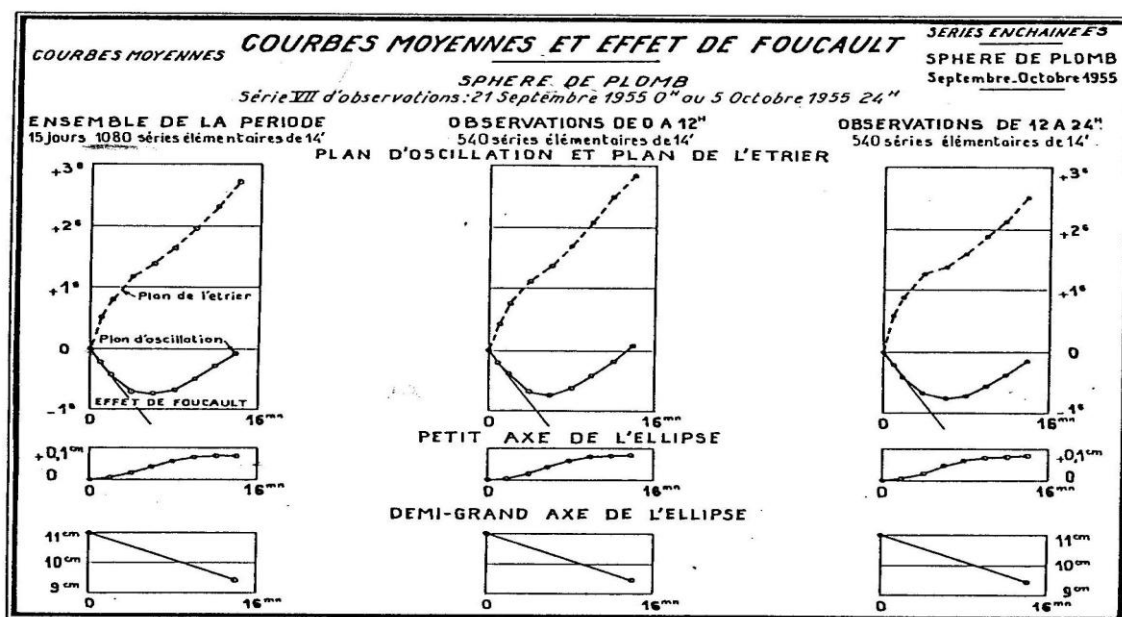
2-3-3 Maurice Allais a retenu de privilégier la précession d'Airy.

D'un certain nombre d'observations préliminaires, Maurice Allais avait en effet conclu que, en première approximation tout du moins, les actions perturbatrices d'origine inconnue n'agissaient sur la précession d'un pendule que par la création d'ellipses, et donc la précession d'Airy qui en résultait.

D'où le choix, pour les étudier, de privilégier cette précession, et d'utiliser donc un pendule « court », avec une amplitude angulaire importante.

La durée de « l'expérience élémentaire » (14 mn) a été fixée de façon à ce que l'influence de la précession d'Airy ait le temps de devenir importante.

² Il s'agit d'un phénomène purement mathématique. Le mouvement ellipsoïdal de l'extrémité du pendule est la composition de 2 mouvements vibratoires dans des directions perpendiculaires. Le fait que ce mouvement ne soit pas rigoureusement plan (puisque l'on est en fait sur une sphère) introduit un couplage entre ces 2 mouvements, et c'est ce couplage qui fait tourner le grand axe de l'ellipse.



Légende : —●—●— azimut du plan d'oscillation - - - - - azimut du trièdre principal d'inertie
 Source : Graphique III A 1 de ma Conférence du 22 février 1958.

Fig.3 (p.95)

On constate bien que, au début, l'évolution de l'azimut du plan d'oscillation correspond exactement à l'effet de Foucault, et que cette situation cesse avec l'ovalisation de la trajectoire.

Notons que les courbes représentées sur ce graphique correspondent à des **moyennes** sur 2 semaines : elles ne prouvent **absolument pas** que, sur une expérimentation élémentaire donnée, on aurait ces formes de courbes.

2.4 « Anisotropie » de la suspension du pendule

- L'élasticité de la suspension n'est en général pas la même dans toutes les directions, ce dont il résulte que la période d'oscillation varie elle-même avec l'azimut.

On montre qu'il en résulte une ovalisation de la trajectoire du pendule proportionnelle au temps t (du moins au début), et donc une précession d'Airy³ proportionnelle à t^2 . Cette précession tend à rappeler le plan d'oscillation du pendule vers la direction dans laquelle la période d'oscillation est minimum.

Il s'agit là d'un défaut classique (et en général le plus important) des pendules. C'est pour rendre ses conséquences sur son mouvement négligeable que les pendules destinés à montrer l'effet de Foucault sont très longs (plusieurs dizaines de mètres), et ont une amplitude angulaire faible.

Dans le cas du pendule « anisotrope », Maurice Allais s'est attaché à vérifier que ce défaut était stable (chap. I.E.3, p. 176 à 182).

Deux pendules de ce type ont été construits, exactement selon les mêmes plans : l'un a été implanté dans le laboratoire de Saint-Germain, et utilisé du début jusqu'à la fin, l'autre dans une carrière souterraine, à Bougival, en 1958. Pour le premier l'azimut de rappel a été 370, 67 grades, pour le second 369, 24 grades. Pour le premier Maurice Allais a en outre vérifié qu'il était stable dans le temps.

Dans le cas du pendule « isotrope » (chap.2B, p. 241 à 246), Maurice Allais a vérifié expérimentalement cette isotropie : il n'y avait effectivement pas, **en moyenne**⁴, de direction de rappel réellement marquée.

³ Il en résulte aussi une précession « directe », mais elle est négligeable devant la précédente.

3- LES RESULTATS OBTENUS

3-1 Les campagnes d'observation concernées

- D'abord dans un local de la compagnie Cléménçon, à Paris (1953), dans le cadre de la recherche d'une éventuelle influence d'un champ magnétique sur le mouvement d'un pendule amagnétique. Cette recherche ne donna pas de ce point de vue des résultats très significatifs (Maurice Allais estima qu'il faudrait utiliser des champs beaucoup plus puissants), mais elle fit apparaître des anomalies de la précession du pendule apparemment inexplicables, et que Maurice Allais décida d'étudier de plus près.
- Puis à l'IRSID, à Saint-Germain, de 1953 à 1960 :
 - En sus de multiples expérimentations destinées à l'étude fine du comportement du pendule et à sa mise au point, 6 expérimentations continues d'une durée de 1 mois : voir tableau récapitulatif ci-après (fig.4).
 - Parmi elles :
 - . L'une (juillet-août 1958) a mis en œuvre simultanément 2 pendules anisotropes, l'un à l'IRSID, l'autre dans une carrière souterraine à Bougival, à 6,5 km de là.
 - . Les 2 dernières (novembre-décembre 1959, mars-avril 1960) ont mis en œuvre à la fois un pendule isotrope et un pendule anisotrope.

⁴ Sur une expérimentation de courte durée donnée, la direction vers laquelle tendait à s'aligner le plan d'oscillation du pendule résultait à la fois de l'anisotropie intrinsèque du pendule et d'une action inconnue. D'où la nécessité, pour éliminer l'influence de cette dernière, d'effectuer plusieurs expérimentations suffisamment nombreuses et étalées.

expérimentations	lieu	type de pendule	mode opératoire (4)	commentaires
1954; 9 juin-9 juillet	St Germain (1)			
1954; 16 nov- 22 dec	St Germain (1)	anisotrope	expériences enchaînées	éclipse totale de soleil le 30/06/54
1955; 7 juin-7 juillet	St Germain (1)	anisotrope	expériences enchaînées	
	St Germain (1)	anisotrope	expériences enchaînées	
1958; 2 juil-1er aout	St Germain(1)+ Bougival (2)			expérimentations conduites en même temps, avec le même appareillage et le même mode opératoire; en outre visées sur mires sur la même période
1959; 24 sept- 16 oct	St Germain (1)	anisotrope	expériences enchaînées	objet: vérification de l'absence d'anisotropie du support du pendule isotrope
1959; 20 nov- 15 dec	St Germain (1)	isotrope	corrélations mobiles	
1959; 28 sept- 4 oct	St Germain (1)	isotrope+ anisotrope	expériences enchaînées pour anisotrope et corrélations mobiles pour isotrope	concordance des résultats
1960; 16 mars- 16 avril	St Germain (1)	isotrope+ anisotrope (3)	expériences enchaînées	objet: éclipse totale de soleil du 2/10/59
	St Germain (1)	isotrope+ anisotrope	expériences enchaînées pour anisotrope; corrélations mobiles pour isotrope	concordance des résultats
1- expériences réalisées en sous sol du laboratoire de l'IRSID.				
2- laboratoire installé dans une carrière (57m de recouvrement d'argile et de craie; distance à l'extérieur, comptée horizontalement, de 800m). Ce laboratoire était distant d'environ 6,5 km de celui de St Germain				
3- à partir du 30 sept pour le pendule anisotrope				
4-expériences "enchaînées": le pendule est lancé dans l'azimut final de l'expérience élémentaire précédente; "corrélations mobiles": voir §2.2.d				

Fig.4

3-2 Le phénomène de base qui a attiré l'attention de Maurice Allais

Il s'agit de l'existence de variations « lentes » de la précession d'un pendule court.

- Voici (fig.5) un exemple de ce que l'on peut observer, le pendule étant lancé toujours du même azimut. (les lancers sont donc indépendants). Bien que les lancers soient indépendants, **leurs résultats sont très fortement autocorrélés.**

(Thomas Goodey, Sarawak, 2004, le pendule utilisé étant un pendule de type Allais utilisé selon la même procédure ; l'effet de Foucault était négligeable à la latitude concernée)

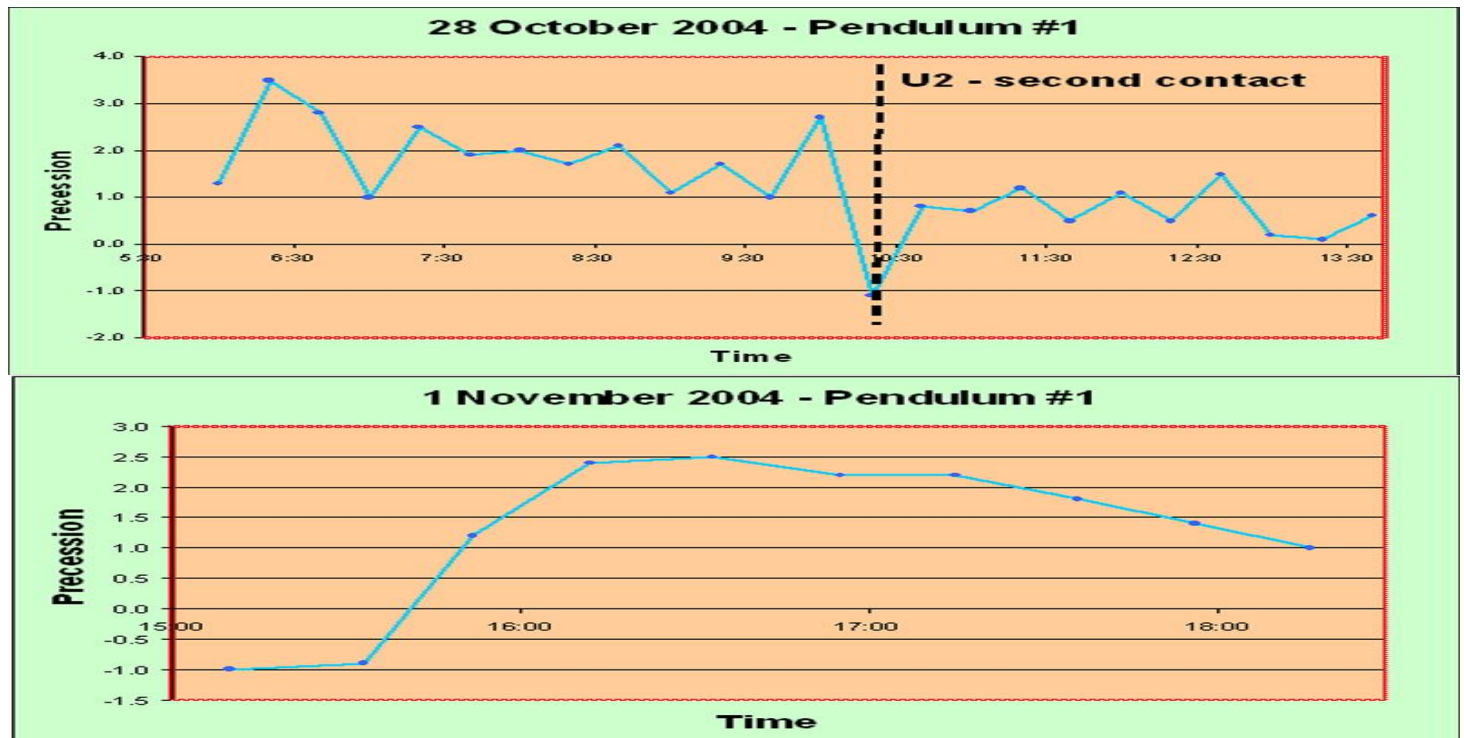


Fig.5

De telles variations ne sont absolument pas négligeables (elles sont de l'ordre de grandeur de la valeur qu'a l'effet de Foucault sous nos latitudes)

Elles sont a priori malaisément explicables, sachant que chaque lancer est en principe indépendant du précédent, et méritent donc d'être étudiées de façon plus approfondie.

3-3 Ce qui a été découvert

▪ L'existence d'une direction **variable dans le temps** vers laquelle tend à être rappelé le plan d'oscillation du pendule. Mise en évidence au moyen du pendule « anisotrope », son évolution a pu être mesurée au moyen du pendule « isotrope », par la méthode des « corrélations mobiles » (cf. §2-2-2-d). Elle a été appelée par Maurice Allais la « direction d'anisotropie de l'espace ».

▪ Des composantes périodiques :

- une composante semi-diurne de période d'environ 12 h
- une composante diurne de période d'environ 24 h
- une composante diurne lunaire (24 h 50) d'amplitude **comparable** à celle de la précédente
- une composante mensuelle lunaire, apparemment mensuelle sidérale (27,32j) et non mensuelle synodique (29,53j)
- des indices de l'existence de composantes périodiques longues (6 mois et 5,9 ans), les extremums de la composante de 6 mois ne se situant pas n'importe où, mais étant proches des équinoxes.

A noter que la durée des observations de longue durée a été fixée à 1 mois parce qu'il s'agit de la durée minimum⁵ pour pouvoir séparer les composantes de 24 h et 24 h 50.

La relation de causalité entre les mouvements du système terre-lune et les 2 composantes lunaires peut en outre être considérée comme certaine.

En ce qui concerne la composante diurne d'environ 24 h, il est bien certain qu'elle résulte de la rotation de la Terre sur elle-même, mais il n'est pas possible de savoir s'il s'agit d'une composante de 24 h pure, ou de la composition de plusieurs composantes très voisines de 24 h. On ne peut en particulier, sur un mois, faire la différence entre une composante de 24 h (diurne solaire) et une composante de 23 h 56 mn (diurne sidérale⁶). Il en est de même de la composante de 12 h.

▪ Des déviations anormales et très marquées à l'occasion d'éclipses de soleil.

▪ Remarques relatives aux composantes périodiques :

- Lors des observations de longue durée menées au moyen du pendule « anisotrope », la donnée suivie était l'azimut de fin d'expérience élémentaire (lequel était l'azimut de départ de l'expérience élémentaire suivante : expériences « enchaînées ») ; lors des 2 observations de longue durée menées au moyen du pendule « isotrope », cette donnée était l'azimut de la « direction d'anisotropie de l'espace » (cf. §2-2-2).
- Les composantes périodiques ci-dessus (à l'exception des composantes longues⁷) sont donc dans le premier cas des composantes de l'évolution de l'azimut de fin d'expérience élémentaire, dans le second cas des composantes de l'évolution de la « direction d'anisotropie de l'espace ».
- Pour le pendule anisotrope (chap. I.A.3, p. 92), en moyenne l'amplitude totale $2R$ de l'onde de 24 h a été 4,4 grades (valeurs extrêmes : 2 et 11,7 grades), celle de l'onde de 25 h⁸ (ou 24 h 50mn) 5,3 grades (valeurs extrêmes : 1,3 et 14 grades).

⁵ Pour pouvoir distinguer 2 composantes périodiques de période T_1 et T_2 , il faut les observer pendant une durée égale à au moins $|1/T_1 - 1/T_2|$

⁶ Il est rappelé qu'au bout d'une année sidérale la terre se retrouve dans la même position par rapport aux étoiles fixes, tandis qu'au bout d'une année solaire elle se retrouve dans la même position par rapport au soleil. L'année sidérale est donc plus courte d'un jour solaire que l'année solaire, et le jour sidéral plus court d'environ 4 mn que le jour solaire.

⁷ Dont la mise en évidence n'a impliqué que les observations menées au moyen du pendule « anisotrope », seules observations à avoir été suffisamment nombreuses et suffisamment étalées dans le temps.

Les 2 dernières expérimentations ont mis en œuvre à la fois un pendule anisotrope et un pendule isotrope (chap. II.E.1, p. 270). En moyenne les amplitudes totales $2R$ mesurées avec le pendule isotrope pour les ondes de 24 h et 24 h 50 ont été respectivement 6 grades et 12,25 grades, contre 2,15 grades et 1,4 grade pour le pendule anisotrope. Cette différence s'explique par le fait que l'on ne mesure pas la même chose dans les deux cas (cf. §2.2).

⁸ Pour simplifier les calculs (qui étaient manuels), Maurice Allais s'est souvent limité à rechercher une composante de 25 h, au lieu de 24 h 50 mn.

4- REALITE DES PHENOMENES DECOUVERTS

4.1 La « direction d'anisotropie de l'espace » (Chap. II ; p. 238 à 268)

▪ Les observations effectuées au moyen du pendule anisotrope ont montré que si, **en moyenne**, le plan d'oscillation du pendule tendait à être ramené vers un plan limite fixe résultant de l'anisotropie de la suspension (voir §2.4), il n'en était pas de même sur un laps de temps donné : le plan limite variait **lentement, mais de façon importante**, sous l'influence d'une action d'origine inconnue, dont l'influence était donc **de l'ordre de grandeur de celle de l'anisotropie de la suspension** (chap. I.E.7, p. 193-196).

C'est ainsi que, l'azimut de la direction d'anisotropie de la suspension du pendule étant de 171 grades, l'azimut moyen du plan d'oscillation sur chacune des 7 observations de 1 mois s'est situé entre 150 grades et 174 grades, et sur l'ensemble des expériences élémentaires impliquées, l'azimut en fin d'expérience élémentaire s'est situé entre 93 grades et 268 grades (chap.I.A.3, p.92).

▪ Pour accéder directement à la connaissance de l'azimut de ce plan limite, Maurice Allais a utilisé le pendule « isotrope » (voir ci-dessus § 2.1 et §2.4), dont l'anisotropie de la suspension avait été fortement réduite : en première approximation, donc, seule demeurait l'action sur la précession de l'action inconnue. Le pendule était toujours lancé dans son plan de symétrie, lequel était positionné dans l'azimut désiré par rotation sur le bâti.

Deux méthodes d'enchaînement des expériences élémentaires ont été utilisées pour suivre l'azimut du plan limite:

- la méthode des expériences « enchaînées » ;
- la méthode des « corrélations mobiles », qui est la méthode optimale.

La réalité de ce plan limite, qui a été appelé par Maurice Allais la « direction d'anisotropie de l'espace », est donc un simple constat, qui découle de la **très forte autocorrélation** des résultats des mesures successives (si ce plan limite n'avait pas d'existence physique, on aurait trouvé n'importe quoi...).

▪ Cette « direction d'anisotropie de l'espace » a été suivie en continu pendant deux périodes d'un mois, la méthode des « corrélations mobiles » (cf. §2-2-2-d) ayant été utilisée (chap. II.D.3, p. 259-268).

Les graphiques de la fig. 6 présentent les résultats obtenus (y figurent aussi les ajustements par une composante mensuelle lunaire sidérale).

La vitesse moyenne de rotation de l'azimut de cette direction a été tout à fait considérable : $+1,26 \cdot 10^{-5}$ rd/s⁹ pour l'expérimentation de novembre-décembre 1959, puis $-0,36 \cdot 10^{-5}$ rd/s pour celle de mars-avril 1960 (effet de Foucault : $-5,5 \cdot 10^{-5}$ rd/s à la latitude concernée).

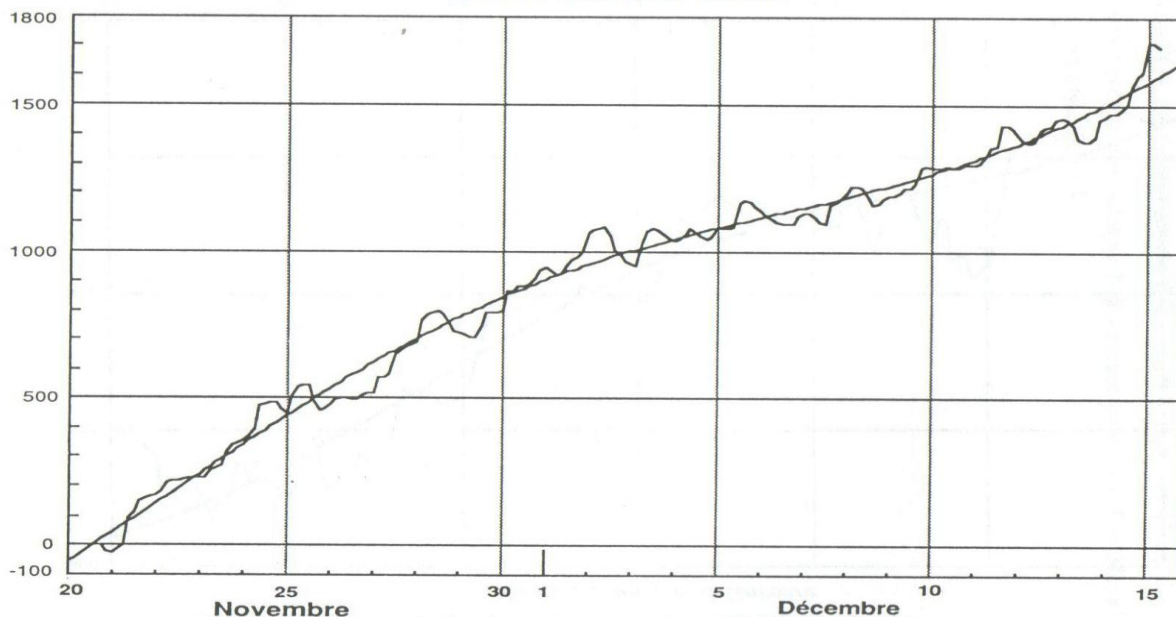
En moyenne la déviation a été Est-Ouest.

⁹ Les azimuts sont comptés positivement dans le sens direct à partir du sud.

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



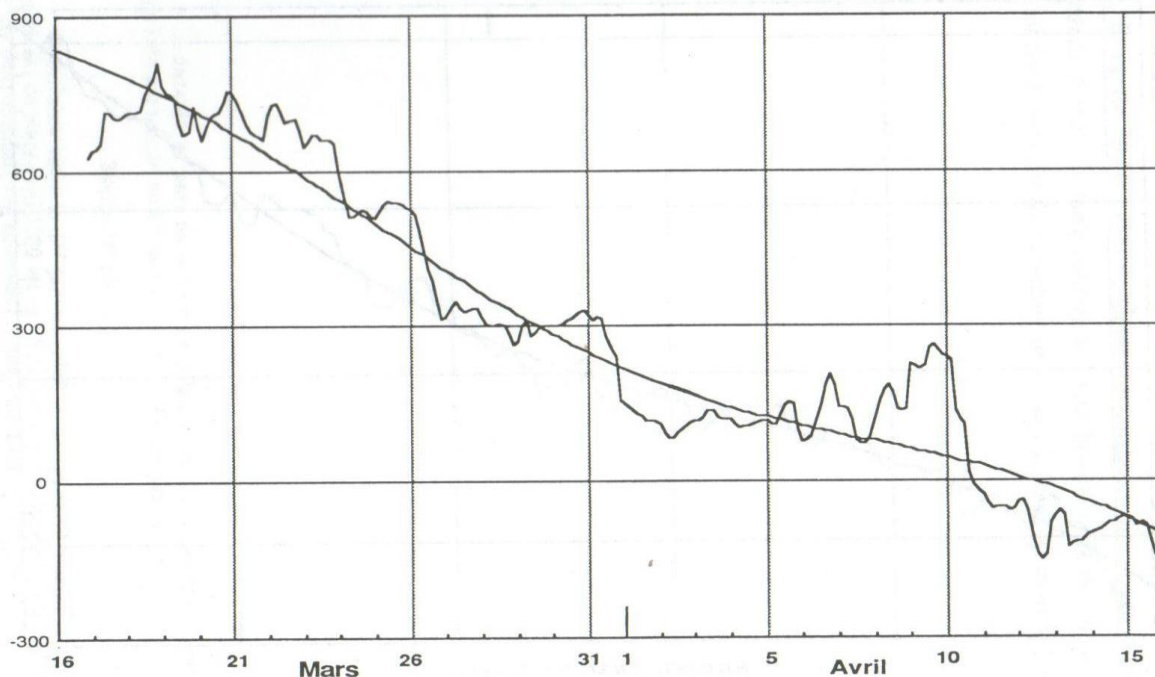
Légende : $\Sigma = 421$ grades ; $R = 0,994$; $1-R^2 = 0,013$; $m = 904,37$ grades ; $N = 197$
 trend = + 67,4 grades par jour ; $r = 144,3$ grades ; date du maximum de la sinusoïde : 29 novembre 12 h.
 ($s_0 = 332,5$ jours à partir du 1^{er} janvier 1959, 0 h.). Voir la Légende du Graphique XXVII du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

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.

Fig.6

4.2. Les composantes diurnes et semi-diurnes

Chap. I.A.3, p. 90-92 (pendule anisotrope) ; chap. II.E.1, p. 269-279 (pendule isotrope)

- Elles résultent de l'analyse harmonique des données recueillies lors des expériences menées sur 1 mois en continu.

- Tout « signal » est plus ou moins « bruité ». Lorsque, dans l'analyse harmonique d'un signal bruité, on trouve une composante périodique donnée, il convient de s'assurer de sa réalité, c'est-à-dire que la probabilité qu'elle ne résulte pas en fait du « bruit » est suffisamment élevée.

Maurice Allais a bien vérifié, au moyen du test de Schuster généralisé aux séries autocorrélées qu'il a lui-même développé, que la probabilité que les composantes de 12 h, 24 h et 24 h50 résultent du hasard était très faible (chap. I.B.1, p. 113-117 ; chap. I.C.2, p. 156).

- Expériences cruciales de juillet 1958 (chap. I.C., p. 142-161)

2 pendules anisotropes identiques ont été utilisés, l'un implanté à Saint Germain, l'autre dans une carrière souterraine, à Bougival, à 6,5 km de là. La distance à la surface libre (comptée horizontalement) était de 800 m, et il y avait au-dessus 57 m de recouvrement de craie et d'argile. Ce 2^{ème} pendule était donc protégé de toute perturbation extérieure. Les observations ont été menées en continu du 2 juillet 0 h TU au 31 juillet 23 h 40 TU.

Il est apparu :

- que les composantes de 24 h 50 étaient en phase (à 32 mn près : cf. fig.7) ;
- que les composantes de 24 h et 12 h étaient par contre en opposition de phase, la concordance étant toutefois moins bonne (environ 2 h pour la première, et 50 mn pour la seconde ; ce qui va dans le sens d'une nature complexe de la composante de 24 h).

En outre les courbes donnant l'évolution de l'azimut (voir fig. 6 ci-dessus) ont fait apparaître visuellement, pour les 2 pendules, une composante mensuelle, ainsi qu'un « trend » linéaire. Les trends sont pratiquement identiques (-0,149 et - 0,147 grades/jour), et les composantes en phase à 20 h près.

Il en résulte :

- que cela confirme, si besoin en était, la réalité physique de ces composantes ;
- que cela indique qu'il ne s'agit pas d'un phénomène uniquement local ;
- que cela exclut toute explication par des variations de température, d'hygrométrie, ainsi que par des déformations du bâtiment.

A noter que, simultanément (chap. II.B.2, p. 334-338), avait été organisée à l'IRSID une campagne d'observation de visées sur mires mettant en œuvre 2 lunettes, l'une Nord-Sud, et l'autre Sud-Nord. Il a été constaté un phénomène tout à fait remarquable, à savoir la **concordance de phase** (à 5 mn près) entre les composantes diurnes lunaires de 24 h 50 de la ½ somme des azimuts des 2 pendules installés à Bougival et à St Germain et de la ½ somme des lectures des 2 lunettes.

.

EXPERIENCES DE JUILLET 1958 A BOUGIVAL ET A SAINT-GERMAIN
Résultats du filtre de Buys-Ballot pour un filtre de 24 h. 50 mn.

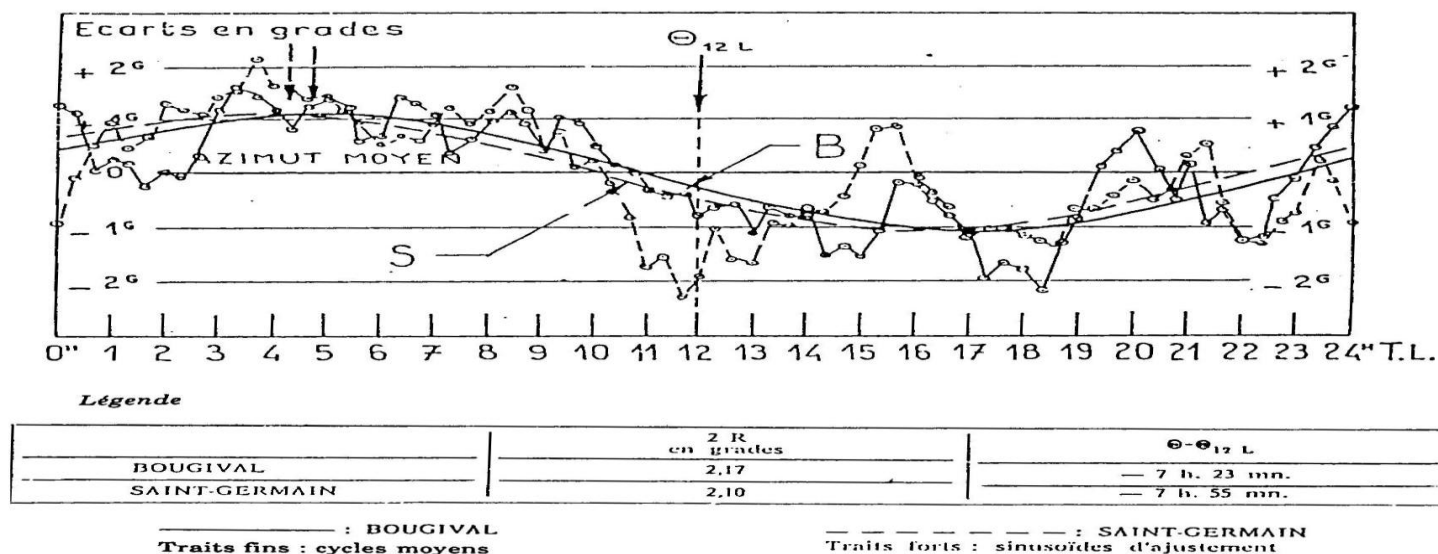


Fig.7

▪ L'existence d'une composante de période proche de la durée du jour lunaire est déjà en soi un indice très fort d'une influence de la Lune (alors que l'existence d'une composante de période voisine de 24 h n'est pas en soi une preuve de l'influence du Soleil, ne serait-ce que parce qu'il peut s'agir aussi d'une périodicité diurne sidérale).

Cette influence a été confirmée par une analyse des données obtenues lors de ces observations de 1958 effectuée ultérieurement selon un principe différent (Christian Marchal, article paru dans « *La Jaune et la Rouge* », août-septembre 1998).

Cette analyse a recherché directement le lien existant entre le mouvement apparent diurne de la Lune et les déviations de l'azimut, en représentant ce dernier non en fonction du temps, mais en fonction de « l'angle horaire » de la Lune (différence de longitude entre le lieu d'observation et l'axe Terre-Lune), lequel est très éloigné d'être une fonction linéaire du temps.

Elle a montré que l'ajustement par une sinusoïde de l'évolution de l'azimut donnait des amplitudes et des phases très voisines pour Bougival et Saint Germain.

4.3 La composante lunaire mensuelle (chap. I.C.3, p. 157-159 ; chap. II.E.2 et II.E.3 p. 273-279 ; chap. II.G.1, p. 306-310)

L'analyse de chaque série mensuelle fait apparaître visuellement (voir par exemple fig. 6 ci-dessus), l'existence d'une composante périodique approximativement mensuelle, ce que confirme le très bon coefficient de corrélation obtenu lorsque l'on ajuste cette série par une sinusoïde (méthode des moindres carrés).

Il résulte de l'exploitation de plusieurs séries mensuelles étalées de juillet 1958 (lors des expériences cruciales décrites au §4.2) à mars-avril 1960 que cette composante est très probablement mensuelle sidérale (27,32j) et non mensuelle synodique (29,53 j), avec des maximums remarquablement voisins des minimums de déclinaison de la lune : cf. tableau de la fig. 8.

A noter que, si les observations de juillet 1958 ont mis en œuvre 2 pendules « anisotropes », les observations suivantes ont mis en œuvre à la fois un pendule « anisotrope » et un pendule « isotrope ». Pour ce dernier les

amplitudes ont été considérables (amplitudes totales : 288 grades et 136 grades), tandis que pour le pendule anisotrope les amplitudes n'étaient que de quelques degrés.

La réalité physique de cette composante mensuelle lunaire ne fait aucun doute, à la fois du fait de son amplitude et des cohérences de phase constatées : ces cohérences auraient été extrêmement peu probables s'il s'était agi de « bruit ».

Tableau VI

PENDULE PARACONIQUE
AJUSTEMENTS A LA PÉRIODE LUNAIRE SIDÉRALE 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

Fig. 8 (p.308)

4-4 Indices de l'existence de composantes longues (chap. V.B, p. 432-446)

▪ Si l'on considère les 6 expérimentations ayant, de 1954 à 1960, utilisé un pendule anisotrope, et si l'on cherche à expliquer par une composante annuelle ou semi annuelle les "dérives" constatées sur une durée d'un mois, on constate que la meilleure qualité d'ajustement est obtenue avec la composante semi-annuelle, et que le maximum se situe le 2 avril, c'est-à-dire à proximité de l'équinoxe.

L'amplitude de cette composante est importante (amplitude totale : 18 grades).

L'analyse des résidus de l'ajustement fait apparaître une périodicité voisine de 5,9 ans ayant son maximum le 10 août 1956, dont l'amplitude est elle aussi importante (amplitude totale 22 grades).

Intrigué par les variations, d'une observation à l'autre, de l'amplitude de la composante de 24 h 50 mn, Maurice Allais s'est livré, sur cette amplitude, à la même analyse, avec des résultats analogues, à une opposition de phase près : minimum de la composante de 6 mois le 1^{er} mars, minimum de la composante de 5,9 ans le 31 juillet 1956.

Notons que les variations de l'azimut du pendule et celles de l'amplitude de la composante de 24 h 50 mn **sont des phénomènes de natures très différentes.**

▪ Ces concomitances de phase entre des phénomènes de nature très différente, et le fait que les extremums de la composante de 6 mois ne tombent pas n'importe où, mais près des équinoxes, sont des indices très forts de l'existence d'une composante de 6 mois, qui ne peut résulter que du mouvement de la Terre autour du

Soleil, et d'une composante de 5,9 ans , dont Maurice Allais a fait l'hypothèse, à partir d'études effectuées par ailleurs et non publiées¹⁰, qu'elle résultait de l'influence globale du système solaire.

4-5 « L'effet d'éclipse » (chap. I.D.1, p. 165-169)

-Eclipse du 30 juin 1954 (Fig. 9)

Indice très fort de l'existence d'un phénomène lié à l'éclipse :

- forme très particulière de l'anomalie, que Maurice Allais indique n'avoir jamais rencontrée tout au long de ses observations ;
- concomitance très nette avec l'éclipse.

A noter que l'éclipse avait précédé d'environ 6 h une conjonction de Jupiter (alignement Terre-Soleil-Jupiter), ce qui est un phénomène rare.

-Eclipse du 2 octobre 1958 (Fig. 9)

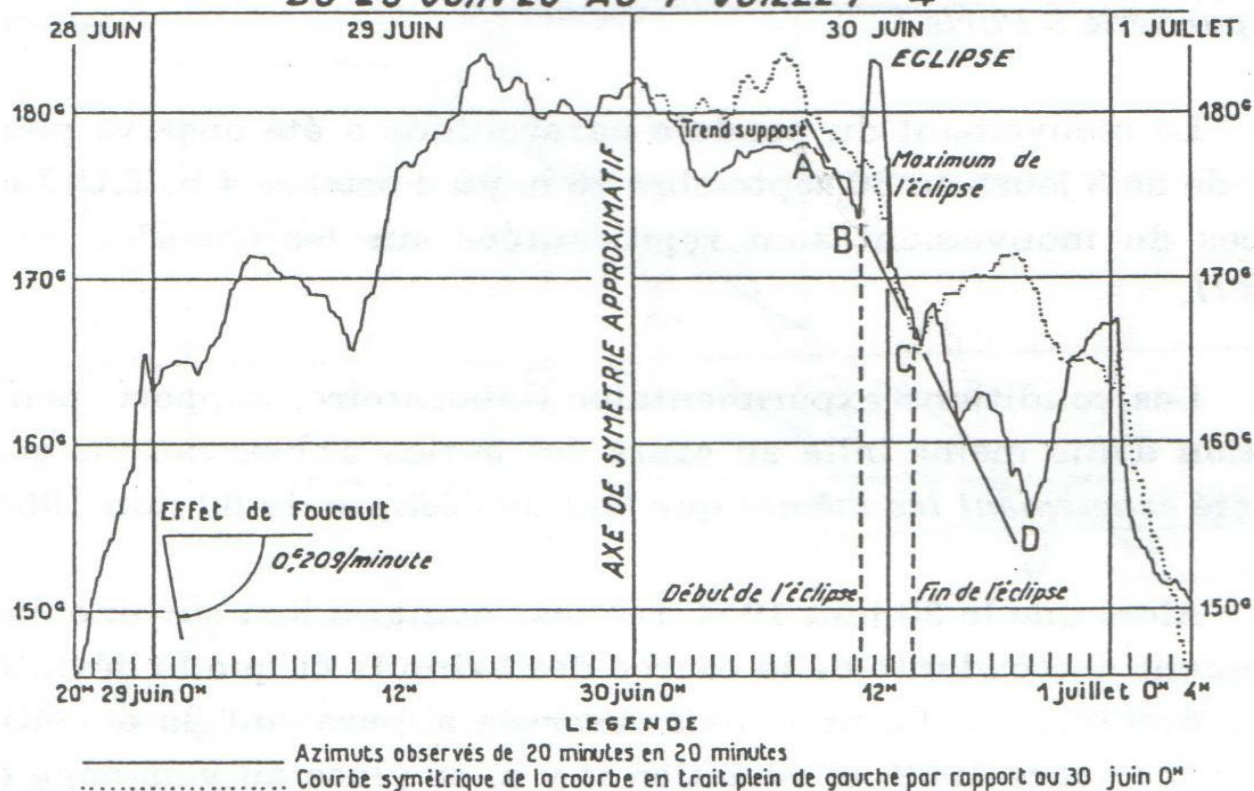
- On retrouve un phénomène analogue, d'amplitude un peu moins importante.
- Par contre, cette fois-ci, l'anomalie se détache très mal de l'évolution des azimuts : si l'on n'avait pas été prévenu de l'éclipse, on ne se serait peut-être aperçu de rien...

Il est bien certain que l'on ne peut tirer de conclusion définitive du constat de deux anomalies, seule la première étant extrêmement nette.

D'autres observations (exploitant des pendules, mais aussi d'autres dispositifs, parfois sur plusieurs sites) ont toutefois confirmé ultérieurement que, à l'occasion d'éclipses, se produisaient effectivement des phénomènes apparemment inexplicables dans un cadre conventionnel.

¹⁰ Ainsi Maurice Allais (page 433, note 6) indique que des recherches non publiées l'ont amené à la conviction que les taches du soleil correspondaient aux marées engendrées à la surface du soleil par les planètes, et que leur période moyenne (car elle varie) de 11, 11 ans (ce qui n'est pas éloigné du double de 5,9 ans) pouvait être considérée comme correspondant à l'action moyenne des planètes.

ECLIPSE TOTALE DE SOLEIL DU 30 JUIN 1954
AZIMUTS OBSERVES DU PENDULE PARACONIQUE
DU 28 JUIN 20^h AU 1^{er} JUILLET 4^h



ECLIPSE TOTALE DE SOLEIL DU 2 OCTOBRE 1959
AZIMUTS OBSERVES DU PENDULE PARACONIQUE
DU 1^{er} OCTOBRE 15^h AU 3 OCTOBRE 23^h

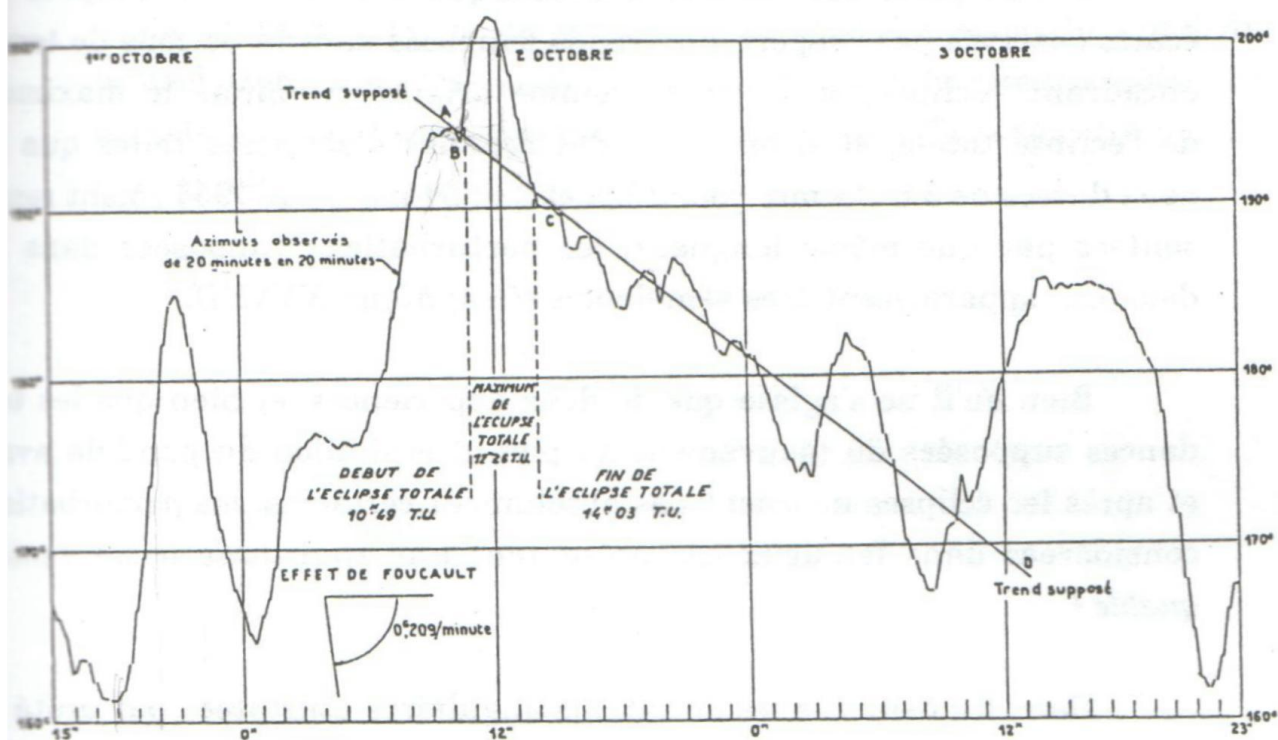


Fig.9 (observations au moyen du pendule « anisotrope »)

5- CES PHENOMENES SONT-ILS EXPLICABLES DANS UN CADRE CONVENTIONNEL ? INFLUENCE DES FACTEURS PERTURBATEURS ENVISAGEABLES.

- Pour répondre à cette question, il n'y a qu'une solution : établir une liste des facteurs perturbateurs envisageables dans le cadre des lois physiques connues, et examiner si ces facteurs peuvent ou non expliquer les phénomènes constatés.

Notons que tous ces phénomènes, à l'exception de l'existence d'une « direction de l'anisotropie de l'espace », sont liés à des évolutions bien identifiées de la configuration des astres, qu'il s'agisse de mouvements continus des corps célestes (la rotation de la Terre sur elle-même, les rotations des planètes autour du Soleil, de la Lune autour de la Terre,...), ou d'événements ponctuels (éclipses). La question posée s'en trouve donc précisée : la cause astronomique identifiée peut-elle ou non, par une action directe ou indirecte, dans le cadre des lois connues, expliquer le ou les phénomènes constatés ?

Si, en ce qui concerne la « direction de l'anisotropie de l'espace », on ne peut, au vu de ce que l'on en connaît, relier son évolution **globale** à quoi que ce soit, il n'en est pas de même des composantes périodiques qu'elle comporte, et en particulier des composantes lunaires diurne et mensuelle.

- **On peut d'emblée éliminer une explication par les corrections dues à la relativité générale**, qui à la surface de la Terre sont extrêmement petites (chap. VII.A.5, p. 565 à 568), et par celles dues à la relativité restreinte (les laboratoires concernés sont fixes à la surface de la Terre).

Comme on se trouve en outre dans le domaine macroscopique, les lois « connues » à prendre en compte se trouvent donc être simplement les lois « classiques » de la physique.

- A noter que les analyses effectuées par Maurice Allais ont été complétées sur certains points (certaines sources de perturbation qu'il n'avait pas mentionnées ont été prises en compte).
- Une remarque générale : la procédure utilisée (relance du pendule toutes les 20 mn) limite à une seule expérience élémentaire les conséquences d'une perturbation mécanique isolée (séisme, choc...). Elle rend en outre le pendule insensible à d'éventuelles déformations diurnes du bâtiment (seules sont susceptibles d'avoir un effet les déformations au cours d'une expérience élémentaire de 14 mn, et celles-ci sont très faibles).

5-1 Action directe des astres

5-1-1 Attraction directe d'un astre donné sur le pendule (actions des « forces de marée »¹¹)

- La force d'attraction résultant d'un astre en un point de la Terre est, **dans un repère attaché au centre de la Terre**, la **différence** entre l'attraction exercée en ce point et l'attraction exercée au centre de la Terre. **Elle varie donc comme $1/d^3$** (et non comme $1/d^2$), d étant la distance de l'astre au centre de la Terre. Il en résulte que :

- les influences du soleil et de la lune sont du même ordre de grandeur ;
- l'influence des autres astres est négligeable.

- Dans le cas du pendule, le calcul (chap. I.B.2, p.118-129) fait apparaître qu'il en résulte :

a) Une déviation de la verticale, laquelle est sans incidence sensible sur la précession du pendule (théorie + vérifications expérimentales, en inclinant le plateau sur lequel roule la bille de plusieurs milliers de secondes sexagésimales : chap. I.B.3, p. 135-141) ;

¹¹ L'influence de l'attraction directe d'un astre donné en un point de la Terre est souvent appelée l'influence des « forces de marée ».

b) Une variation apparente de l'accélération de la pesanteur, elle aussi sans incidence sensible sur la précession du pendule (ce qui est d'ailleurs intuitivement assez évident¹²) ;

c) Une influence sur la précession du pendule **résultant en dernière analyse de ce que l'attraction de l'astre varie dans le champ gravitationnel balayé par le pendule.**

Cette influence est donc extrêmement faible.

Les vitesses de rotation moyennes calculées sont de l'ordre de 10^{-13} rd/s, l'ordre de grandeur pour les composantes périodiques constatées étant 10^{-6} rd/s, ce qui exclut absolument le facteur considéré.

5-1-2 Perturbations du mouvement de la Terre par les autres astres du système solaire (en pratique seule la Lune intervient)

L'ensemble Terre-Lune tourne autour de son centre de gravité (période de rotation : le mois lunaire sidéral, soit 27,3 j). Il en résulte :

a) Une accélération dont la composante verticale est sans influence sur la précession, et dont la composante horizontale dévie légèrement de la verticale (déviations de l'ordre de 1/100 de seconde sexagésimale) => sans incidence sensible sur la précession (voir plus haut) ;

b) Un effet de Foucault additionnel.

A la vitesse de rotation propre de la Terre sur elle-même se rajoute en effet sa vitesse de rotation autour du centre de gravité de l'ensemble Terre-Lune.

Ce phénomène est étudié en annexe à la présente étude.

Il en résulte un effet de Foucault additionnel périodique, dont la période est celle du jour sidéral¹³, soit 23 h 56 mn), et dont l'amplitude est environ 1/27 de l'effet de Foucault, soit à la latitude de Saint-Germain environ $2 \cdot 10^{-6}$ rd/s.

Sur 14 mn, la précession maximum qui en résulte est donc $1,7 \cdot 10^{-3}$ rd, soit 0,11 grade, ce qui est tout juste détectable par le système de lecture utilisé, dont la résolution est 0,1 grade, et demeure nettement inférieur à l'amplitude mesurée de la composante d'environ 24 h (plusieurs grades).

5-2 Facteurs géophysiques

- Les facteurs examinés sont la température, la pression, le champ magnétique, l'activité magnétique et l'activité solaire, ainsi que les « forces de marée », déjà citées au §5.1.1, mais alors prises en compte uniquement par leur action directe sur le pendule. On peut imaginer qu'elles aient aussi une action indirecte, en déformant la suspension du pendule, le bâtiment auquel est fixée cette suspension...

- L'analyse harmonique de ces facteurs joue un rôle important dans cet examen. En effet, si l'un d'entre eux pouvait être considéré comme la cause des anomalies de l'évolution des azimuts du plan d'oscillation du pendule, on devrait observer une même structure périodique, et au moins un même rapport des amplitudes pour la période de 24 h et la période de 24 h 50 mn¹⁴. **Or ce n'est pas du tout le cas : pour tous les facteurs examinés la composante de 24 h est très nettement supérieure à la composante de 24 h 50 mn, alors que le rapport est voisin de 1 pour les azimuts.**

Le tableau ci-après (fig. 10) indique le détail des études et expérimentations qui ont été conduites. Il en résulte qu'aucun des facteurs étudiés ne permet d'expliquer les composantes périodiques observées.

- A noter qu'une remarquable concordance de phase a été constatée entre, d'une part, les composantes de 24 h et 25 h des azimuts et, d'autre part, celles de la déclinaison magnétique.

¹² La période d'oscillation, par contre, est bien sûr sensible à une variation de g, selon la formule bien connue $T=2\pi \sqrt{l/g}$

¹³ A noter que, bien que cette perturbation résulte de l'influence de la Lune, il n'en résulte aucune composante périodique « lunaire » (24 h 50 mn et 27,3 j).

¹⁴ On ne voit vraiment pas pourquoi le fonctionnement du pendule serait beaucoup plus sensible à une excitation de période 24 h 50 qu'à une excitation de période 24 h...

Pour autant il semble impossible que les variations du champ magnétique terrestre soient les causes des anomalies du mouvement du pendule. Tout donne donc à penser que les 2 phénomènes résultent d'une même cause commune.

- Comme on l'a vu (§ 4.4), il y a une composante semi-annuelle ayant un maximum proche de l'équinoxe de printemps, mais il n'y a pas de composante annuelle (ou, du moins, cette composante est beaucoup plus faible). **Cette structure périodique est très inhabituelle dans les séries géophysiques.** On la retrouve toutefois dans l'activité magnétique (chap. V.E.2, p. 478-479).

- **A elles seules, de toutes façons, les observations menées simultanément à St-Germain et dans la carrière souterraine de Bougival en 1958 excluent la température comme cause des composantes périodiques diurnes et mensuelles. Elles excluent d'ailleurs aussi bien d'autres facteurs : les déformations du bâtiment, l'hygrométrie, les perturbations dues aux activités humaines...**

INFLUENCE DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX GEOPHYSIQUES			
	Etudes ou expérimentations effectuées.	possibilité d'une action décelable sur la précession d'un pendule.	explication des composantes périodiques constatées?
action des "forces de marée" (attraction lunisolaire)	La théorie des marées montre que l'amplitude de l'onde de 24 h est environ 4 fois plus importante que celle de l'onde de 24h50 (p. 187). De plus l'action des "forces de marée" ne devient sensible qu'à l'échelle de continents. A l'échelle d'un bâtiment, les déformations qui peuvent en résulter sont très faibles.	probablement non	non (de toutes façons exclu par les expérimentations de 1958)
température	Expérimentations simultanées menées à Saint-Germain et dans une carrière souterraine à Bougival en juillet 1958=> les ondes de 12h et 24h sont en phase, les ondes de 24h50mn en opposition de phase, et les ondes mensuelles en phase. Les amplitudes sont en outre très voisines (p. 142-161, ou voir §4.1 de cette étude). Analyse comparée (p132), par des filtres centrés sur les périodes de 24h et 25h, d'une part des azimuts du pendule sur la série mensuelle de juin-juillet 1955, et d'autre part des températures enregistrées au Bourget=> structure très différente (le rapport entre les ondes de 24h et 24h50 est de 1,24 pour les azimuts, et de 7,3 pour les températures.); il y a en outre des différences de phase.	on ne peut l'exclure, mais pas de mode d'action véritablement identifié (cf nota) => a priori faible	non (du seul fait, d'ailleurs, des expérimentations de juillet 1958)
pression	Analyse comparée (p.99), sur la série mensuelle de juin-juillet 1955, des structures harmoniques des azimuts du pendule et des enregistrements de pression atmosphérique au Bourget => structure différente (en particulier le rapport entre les ondes de 24h et 24h50 est de 1,24 pour les azimuts, et de 2,66 pour les pressions).	on ne peut l'exclure, mais pas de mode d'action véritablement identifié (voir nota)=> a priori faible	non
Déclinaison magnétique	Analyse comparée (p133-134), par des filtres centrés sur les périodes de 24h et 25h, d'une part des azimuts du pendule sur les séries. mensuelles de juin-juillet 1955 et de nov.-dec.1954, et d'autre part de la déclinaison magnétique enregistrée à Chambon la Forêt=> structure différente pour les amplitudes, mais concordances de phase, à la fois pour les ondes de 24h et les ondes de 24h50	ne peut de toutes façons n'être que très faible en raison de la petitesse des variations de la déclinaison (10' d'arc d'amplitude totale pour la composante de 24h, qui est la plus importante)	non (les variations d'azimut constatées sont de plusieurs grades)
Nombre K du magnétisme de Bartels	Démarche identique à la précédente (p.130-131)=> toujours une grande différence d'amplitude entre les ondes de 24h et 24h50 (les valeurs ne sont pas citées)	?	non
Nombres de Wolf (activité solaire)	Démarche identique à la précédente (p.130-131)=> toujours une grande différence d'amplitude entre les ondes de 24h et 24h50 (les valeurs ne sont pas citées)	?	non
nota: la température agit certes au premier ordre sur la longueur du pendule, et donc sur la période, mais cela est sans influence sur la précession. On peut toutefois imaginer que, en déformant la suspension, elle pourrait avoir une action sur la direction d'anisotropie intrinsèque du pendule, et sur l'ampleur de l'anisotropie.			

Fig.10

5-3 Défauts du pendule

- Voir tableau ci-après (fig.11).
 - Certains défauts ont un caractère permanent (exemple : anisotropie de la suspension du pendule). On peut imaginer qu'ils varient sous l'action des facteurs géophysiques que l'on vient d'examiner, et que cela se répercute sur la précession du pendule. Mais il y aurait alors une action de ces facteurs géophysiques, ce qui n'est pas le cas, comme on vient de le voir.
 - Comme on peut le constater, on est toujours dans l'un des cas suivants :
 - influence sur la précession négligeable ;
 - influence statistique sur de longues séries supprimée par des procédures appropriées : changement des billes, changement du support ;
 - influence importante mais identifiée et stable (anisotropie intrinsèque de la suspension du pendule anisotrope) ;
 - influence possible non mesurée, mais qui ne peut de toute façon créer les composantes périodiques constatées.
- => Les défauts du pendule ne peuvent expliquer les composantes périodiques constatées.**

INFLUENCE DES DEFAUTS DU PENDULE						
	Etudes ou expérimentations effectuées	influence	action significative sur la précession du pendule?	mesures correctives	explication de composantes périodiques constatées?	Commentaire
anisotropie du support (pendule "anisotrope")	Ce point a été traité au §2.4 de la présente étude	rappel vers une direction parfaitement identifiée comme étant liée à la géométrie du système de suspension (p176)	oui		non	
anisotropie du support (pendule "isotrope")	Elle a pu être rendue négligeable (voir §2.4 de la présente étude)	faible devant l'action des forces perturbatrices inconnues.	non, par rapport au reste		non	
billes	expérimentation (p163,p103)	influence moyenne de 2,5 grades sur 14mn; cette influence est aléatoire	oui	changement de la bille avant chaque lancer	non	sur un nombre élevé d'expérimentations élémentaires, l'influence moyenne des billes est négligeable
usure ou défauts de la surface portante			peut-être	changement de la surface portante environ toutes les semaines	non (cf nota)	
autres (frottements, excentrement du centre de gravité, variation dans le lancement du pendule)	cités, mais peu développés quantitativement dans "l'Anisotropie de l'espace" (p.190-192).		peut-être		non (cf nota)	Le lancement d'un pendule n'est jamais parfait: il y a une part aléatoire, mais dont l'influence moyenne disparaît sur une observation longue
inclinaison du support	la sensibilité de la déviation sur 14 mn mesurée est de l'ordre du 1/1000 de grade par seconde d'arc d'inclinaison (p138), l'inclinaison maximum enregistrée étant de 8 secondes	négligeable	non		non	élimine aussi (voir §5.1.1 et 5.1.2 de la présente étude) toute possibilité d'influence de la déviation de la verticale (qui est de l'ordre du 1/100 de seconde)

nota: on ne voit pas de toutes façons comment il pourrait résulter des variations de ces défauts les composantes périodiques constatées, et en particulier les composantes très particulières que sont les composantes lunaires.

Fig.11

5-4 Facteurs divers

Il s'agit des facteurs qui n'ont pas été pris en compte précédemment : voir tableau de la fig.12.

La conclusion est que, là encore, les facteurs considérés ne peuvent expliquer les composantes périodiques constatées.

INFLUENCE DES FACTEURS PERTURBATEURS DIVERS				
	Etudes ou expérimentations effectuées	possibilité d'une action décelable sur la précession du pendule	explication des composantes périodiques constatées?	Commentaires
résistance de l'air	Dépend de la pression atmosphérique, dont les variations ne peuvent, comme on l'a vu précédemment expliquer les composantes périodiques constatées.	on ne peut l'exclure	non	
courants d'air	a priori, il n'y avait pas de courant d'air (il n'y en avait certainement pas, en tous cas, dans la carrière de Bougival...)	sans doute (peut ovaliser la trajectoire) mais limité à l'expérience élémentaire perturbée.	non	
seismes		oui (ovalisation possible de la trajectoire) mais limitée à l'expérience élémentaire concernée.	non	
impulsion initiale donnée par l'effet de Foucault au lancement	induit une précession supplémentaire de vitesse $\Theta' = -\alpha^2 \Omega \sin \lambda$, où α est l'amplitude angulaire => négligeable pour le pendule Allais: 1,5 millièmes de l'effet de Foucault, soit moins de 1/20 °/h	non	non	calculs JB Deloly
déformations lentes (diurnes, mensuelles, ...) du bâtiment	Ne peuvent être que sans incidence directe appréciable, le pendule étant relancé toutes les 20 mn (ces déformations n'interviennent que par les variations d'accélération au cours de chaque expérience élémentaire de 14mn, lesquelles ne peuvent être qu'extrêmement petites)	non	non	
courants de Foucault induits par le déplacement du pendule dans le champ magnétique, ou par des variations du champ magnétique	Auraient pour effet d'orienter le pendule dans une direction privilégiée liée à l'orientation du champ magnétique terrestre, lequel qui ne varie que de quelques minutes par jour	probablement négligeable	non	l'amplitude des déviations constatées est au moins de plusieurs grades.
action gravitationnelle des marées océaniques	influence négligeable à St Germain	non	non	calculs JB Deloly
variation de densité de masses d'air (=>action gravitationnelle)	influence négligeable	non	non	calculs JB Deloly

Fig.12

5-5 Cas de la « direction d'anisotropie de l'espace »

Les évolutions du plan limite variable dans le temps vers lequel tend le plan d'oscillation du pendule ne peuvent résulter que d'une action extérieure au pendule.

Elles sont tout à fait considérables, et on ne voit vraiment pas de quels phénomènes connus elles pourraient résulter.

En tout état de cause les composantes périodiques qu'elles comportent sont bien inexplicables dans un cadre conventionnel, comme on vient de le voir.

5-6 Cas de « l'effet d'éclipse »

Dans les 2 éclipses observées, la déviation constatée (cf. §4-5, fig. 8) a été d'environ 10 grades sur une heure dans un sens, puis de 10 grades en sens inverse l'heure suivante.

L'amplitude de ces déviations exclut toute explication par une action gravitationnelle¹⁵.

Le phénomène a impliqué 6 lancers de pendule successifs, 3 dans la phase montante, et trois dans la phase descendante. La cohérence constatée exclut toute explication par des actions mécaniques (séisme, chocs, courants d'air...)

On ne dispose pas d'enregistrement de température et de pression, mais on ne voit pas comment des variations de ces facteurs (auxquels la précession d'un pendule est peu sensible) auraient pu provoquer des déviations de cette importance.

¹⁵ Une explication par une variation de densité des masses d'air, du fait de leur refroidissement, a été avancée ("Allais gravity and pendulum effects during solar eclipses explained"; T. Van Flandern; PHYSICAL REVIEW D 67, 022002 (2003)). Toutefois, l'ordre de grandeur des effets calculés est très inférieur à celui des effets constatés. L'auteur, au vu de ces résultats, justifie malgré tout même le titre de l'article en indiquant que ce sont très probablement les courants d'air engendrés par l'éclipse qui sont à l'origine de l'effet Allais, mais sans en donner la moindre justification expérimentale ou quantitative.

6- CONCLUSIONS

6-1 Les phénomènes apparemment inexplicables découverts

▪ Il s'agit :

- de composantes périodiques d'amplitude inexplicable dans l'analyse de l'évolution de la précession des pendules utilisés.

- . une composante semi-diurne de période d'environ 12 h ;
- . une composante diurne de période d'environ 24 h ;
- . une composante diurne lunaire (24 h 50) d'amplitude **comparable** à celle de la précédente ;
- . une composante mensuelle lunaire, apparemment mensuelle sidérale (27,32 j) et non mensuelle synodique (29,53 j).

. d'indices forts de l'existence de composantes périodiques longues (6 mois et 5,9 ans), les extremums de la composante de 6 mois ne se situant pas n'importe où, mais étant proches des équinoxes ;

- de déviations anormales et très marquées à l'occasion d'éclipses de soleil ;

- de l'existence d'une direction **variable dans le temps** vers laquelle tend à être rappelé le plan d'oscillation du pendule, les composantes précédentes étant des composantes de l'évolution de cette direction (que Maurice Allais a appelé la « direction d'anisotropie de l'espace »).

▪ En ce qui concerne la réalité physique de ces phénomènes et leurs liens avec l'astronomie

- La réalité physique des composantes périodiques (c'est-à-dire le fait qu'elles ne résultent pas simplement de bruit) ne fait aucun doute, sauf peut-être pour les composantes longues.

- Les composantes « lunaires » sont liées à coup sûr à l'évolution de la géométrie Terre-Lune.

On ne peut distinguer, dans la composantes « d'environ 24 h », ce qui serait « diurne solaire » (24 h) et « diurne sidéral » (23 h 56 mn). Il en est de même pour la composante « d'environ 12 h ».

La composante de 6 mois est à l'évidence liée à la position de la Terre sur son orbite.

Maurice Allais, à partir d'études personnelles non publiées, a émis l'hypothèse que la composante de 5,9 ans résultait de l'influence moyenne des planètes.

- L'existence d'une direction **variable dans le temps** vers laquelle tend à être rappelé le plan d'oscillation du pendule, sous l'influence d'actions **extérieures**, est un simple constat. En l'état de ce que l'on en connaît, on ne peut toutefois relier son évolution globale à quoi que ce soit de connu.

- En ce qui concerne « l'effet d'éclipse », on ne peut évidemment rien conclure de définitif de 2 observations (mais il y en a eu d'autres depuis).

▪ En ce qui concerne l'impossibilité de les expliquer dans le cadre des lois connues

L'exhaustivité des études menées permet d'affirmer que, autant que l'on puisse en juger, elle est réelle, et que ces phénomènes doivent donc être considérés comme des faits expérimentaux majeurs, qu'il convient donc d'approfondir.

A noter les cohérences (**mais qui ne sont pas des relations de causalité**) que Maurice Allais a trouvées entre l'évolution des azimuts de son pendule et celle de l'activité magnétique.

6.2. Ces phénomènes sont bien compatibles avec les autres données de l'expérience.

- Maurice Allais (chap. I.F.1 et 2, p.197-205) s'est posé la question de savoir avec quelle précision les lois de Newton étaient réellement vérifiées, et a abouti à la conclusion qu'elles n'avaient été vérifiées en astronomie qu'avec une précision relative de l'ordre de $3 \cdot 10^{-6}$, ce qui est au demeurant très remarquable.

Ceci est tout à fait compatible avec les phénomènes constatés, dont Maurice Allais a montré (chap. I.F.3, p. 206-212) que l'on pouvait mathématiquement en rendre compte par une « anisotropie de l'espace d'inertie », c'est-à-dire le fait que la masse d'inertie n'était pas rigoureusement la même dans 2 directions perpendiculaires, la différence relative étant de 10^{-6} à 10^{-5} .

- Il n'est pas surprenant que, compte-tenu de leur nature même, ils soient restés ignorés par ailleurs.

Il s'agit en effet de phénomènes très petits qui, soit ne se manifestent que dans des circonstances exceptionnelles (éclipses de soleil), soit sont des perturbations à caractère périodique **de moyenne nulle**. Ils sont donc en règle générale sans incidence notable sur les applications pratiques des lois de la mécanique et, lorsque d'aventure ce n'est pas le cas, ils ont toutes chances d'être considérés comme des erreurs de mesure ou des artefacts. Notons en outre que les composantes périodiques n'ont pu être mises en évidence que par des observations de longue durée particulièrement exigeantes, et dédiées à leur recherche.

ANNEXE

Effet de Foucault résultant de la rotation du système Terre-Lune

En se plaçant dans le repère de Copernic¹⁶, il faut ajouter au vecteur rotation Ω de la Terre sur elle-même, qui en première approximation est fixe dans ce repère, le vecteur rotation¹⁷ ω_1 du système Terre-Lune autour de son centre, qui lui aussi est en première approximation fixe.

En un point donné de la Terre, ce qui intervient, c'est la projection du vecteur $\Omega + \omega_1$ sur la verticale locale, autrement dit la somme de la projection de Ω , qui est constante pour une latitude donnée, et de la projection de ω_1 .

Il est facile de voir que, pour une latitude donnée, cette projection est périodique, la période en étant celle de la rotation de la Terre dans le repère de Copernic (c'est-à-dire le jour sidéral), et que les extremums correspondent aux instants où le méridien se trouve dans le plan défini par l'axe de la terre et ω_1 , c'est-à-dire lorsque l'heure sidérale du lieu d'observation est égale, à 12 h près, à l'ascension droite de ω_1 .

Il en résulte donc un effet de Foucault additionnel périodique, dont la période est celle du jour sidéral, et dont l'amplitude est environ 1/27 de l'effet de Foucault, soit à la latitude de Saint-Germain environ $2 \cdot 10^{-6}$ rd/s.

Sur 14 mn, la précession maximum qui en résulte est donc $1,7 \cdot 10^{-3}$ rd, soit 0,096 degré.

¹⁶ On rappelle qu'il s'agit du repère attaché aux étoiles « fixes », qui est aussi le du repère attaché au système solaire considéré dans son ensemble.

¹⁷ Le vecteur ω_1 est perpendiculaire au plan de l'orbite de la Lune, lequel est incliné de $5,145^\circ$ en moyenne par rapport au plan de l'écliptique. $\omega_1 = \Omega/27,3$, soit $2,66 \cdot 10^{-6}$ rd/s.