

OBSERVATION DE L'EFFET D'ALLAIS LORS DE L'ÉCLIPSE DE SOLEIL DU 11 AOÛT 1999

Ieronim MIHĂILĂ^{*}, Nicolae MARCOV^{*}, Varujan PAMBUCCIAN^{*}, Maricel AGOP^{**}

^{*} Université de Bucarest, Faculté de Mathématique, Str. Academiei 14, 70109 Bucarest, Roumanie

^{**} Université Polytechnique G. Asachi, 6600 Jassy, Roumanie

Auteur correspondant: Ieronim MIHĂILĂ, e-mail: mihaila@math.math.unibuc.ro

Lors de l'éclipse totale de Soleil du 11 août 1999, l'effet d'Allais a été étudié à Bucarest, en utilisant deux pendules de Foucault. Les pendules ont oscillé dans des plans perpendiculaires, de sorte que le plan d'oscillation du premier pendule est passé au méridien du lieu en même temps avec le Soleil éclipsé. L'effet a été mis en évidence en calculant la différence de l'azimut pendant l'éclipse (A_e) et l'azimut en l'absence de l'éclipse (A_r). L'effet d'Allais s'est avéré pratiquement identique pour les deux pendules. D'autre part, la période d'oscillation du premier pendule a subi une petite croissance au voisinage de la phase de totalité de l'éclipse.

Mots-clés : effet de Foucault, effet d'Allais, éclipse, gravitation.

1. INTRODUCTION

Lors de l'éclipse de Soleil du 30 juin 1954 le Professeur Maurice Allais a mis en évidence une perturbation imprévue de l'effet de Foucault [1]. Pendant l'éclipse la vitesse angulaire de rotation du plan d'oscillation du pendule a été plus petite et variable. D'autre part, la déviation du plan par rapport au plan correspondant à l'effet de Foucault a été maximum avant le maximum de l'éclipse. Il a considéré que cette perturbation est due à l'éclipse, d'où la dénomination de "l'effet d'éclipse" pour le phénomène observé. L'effet d'éclipse a été décelé accidentellement pendant l'observation du mouvement d'un pendule court, d'une longueur d'environ un mètre, suspendu par une bille (pendule paraconique ou pendule d'Allais). L'analyse de l'azimut du plan d'oscillation du pendule, obtenu pour des longues périodes de temps, a mis en évidence des variations périodiques lunisolaires, inexplicables jusqu'au présent dans le cadre des théories actuelles de la gravitation [2-4]. La variation d'azimut due à l'éclipse se superpose sur ces variations.

L'effet d'éclipse a été de nouveau observé lors de l'éclipse de Soleil du 2 octobre 1959. Les résultats obtenus sont donnés dans l'ouvrage *L'Anisotropie de l'Espace* [5], qui est consacré à l'analyse de l'effet dans un contexte plus général. Ultérieurement, pendant l'éclipse de Soleil du 15 février 1961, à l'Université de Jassy (Roumanie) a été observée une déviation brusque du plan d'oscillation d'un pendule de Foucault. Jusqu'au moment de la déviation le pendule a oscillé dans le même plan [6,7]. Une autre expérience concernant l'effet d'éclipse a été réalisée à Mexico lors de l'éclipse du 11 juillet 1991 [8], quand a été observée une décroissance de la vitesse de rotation du plan d'oscillation, survenue après le maximum de l'éclipse.

L'éclipse totale de Soleil du 11 août 1999 a offert une nouvelle possibilité d'observer l'effet d'éclipse. À l'occasion de l'éclipse NASA (National Aeronautics and Space Administration) a proposé un programme d'observation de l'effet. À ce programme, coordonné par le Dr. David Noever, ont participé plusieurs universités et laboratoires du monde. En même temps l'effet a reçu la dénomination de "l'effet d'Allais".

Dans cette Note nous présentons les résultats obtenus à l'Université de Bucarest à l'aide de deux pendules de Foucault, qui ont oscillé dans des plans perpendiculaires. L'idée d'effectuer cette expérience est apparue quelques ans avant l'éclipse, quand le premier auteur a pris connaissance (par l'Université de Jassy)

de l'article de synthèse du Professeur Maurice Allais consacré à la présentation de ses expériences et publié dans la revue *Aero/Space Engineering* [9]. Après l'éclipse nous avons envoyé nos résultats au Dr. David Noever, qui a transmis ces résultats à Paris, au Professeur Maurice Allais.

2. DESCRIPTION DES PENDULES ET DES MÉTHODES DE MESURE

Les deux pendules ont été pratiquement identiques, chacun étant constitué d'une sphère de fer de 12,5 cm de diamètre et d'un fil d'acier de 0,6 mm de diamètre, fixé par une suspension à la Cardan. La masse de chaque sphère est d'environ 7,3 kg et la longueur de chaque pendule était d'environ 14,21 m.

Les pendules ont été installés dans une cage d'escalier de la Faculté de Mathématique. Leurs centres de gravité ont été situés à la distance d'environ 0,8 m par rapport au plancher et d'environ 2 m par rapport au sol. La distance entre les pendules en l'état de repos était de 1,75 m. Le pendule qui a oscillé dans le plan vertical du Soleil éclipsé a été considéré comme principal. Pour simplifier, il a été nommé le pendule 1. L'autre pendule, le pendule témoin, qui a oscillé dans un plan perpendiculaire au plan d'oscillation du premier pendule, a été nommé le pendule 2.

Pour mesurer l'azimut du plan d'oscillation a été utilisée pour chaque pendule une alidade de 120 cm × 8 cm. L'alidade est centrée sur l'axe du pendule au repos et possède un système d'axes rectangulaires et un carroyage. Elle a une fenêtre de 5 cm × 4 cm, située à la distance de 45 cm du centre, et à l'extrémité opposée un support pour ancrer le pendule. Par la rotation de l'alidade, la fenêtre se superpose sur une couronne circulaire divisée en degrés. Ce système a permis de déterminer l'azimut avec une erreur de l'ordre du dixième de degré. D'autre part, les deux axes de coordonnées ont permis de mesurer les deux demi-axes de l'ellipse décrite par l'intersection de l'axe du pendule avec la face supérieure de l'alidade. Chaque pendule était lâché en brûlant un fil. En utilisant ce système de mesure, nous avons procédé comme dans les expériences réalisées avec le pendule paraconique. Pour la détermination de la période d'oscillation ont été utilisés deux chronomètres électroniques. Pendant les déterminations la cage d'escalier a été complètement fermée et son gradient de température était périodiquement contrôlé.

3. LE MOUVEMENT DES PLANS D'OSCILLATION

Pour chaque pendule prenons comme système de référence le système de coordonnées horizontales, déterminé par la verticale du pendule au repos et par la face supérieure de l'alidade. L'axe des abscisses est dirigé vers le Sud. Le système, fixe par rapport à la Terre, est orienté dans le sens rétrograde. Par conséquent, on compte l'azimut vers l'Ouest. Pour éviter le saut de 360° à 0° , qui a lieu au passage de la méridienne, nous comptons l'azimut de 0° à 180° à l'Ouest et de 0° à -180° à l'Est.

Dans ce système le plan d'oscillation tourne autour de la verticale dans le sens rétrograde (effet de Foucault) à la vitesse angulaire $\omega_{\varphi} = \omega \sin \varphi$, où ω est la vitesse angulaire de rotation de la Terre et φ est la latitude astronomique du lieu. Pour Bucarest $\varphi = 44^{\circ}25'$ et, considérant la période de la rotation de la Terre $T = 86164$ s, on obtient $\omega_{\varphi} = 10,527^{\circ}/h$ et la période de la rotation du plan d'oscillation du pendule $T_{\varphi} = 34,194$ h. Théoriquement l'azimut du plan d'oscillation du pendule de Foucault est une fonction linéaire de temps,

$$A(t) = A_0 + \omega_{\varphi}(t - t_0),$$

A_0 étant l'azimut au moment initial t_0 .

En réalité, l'axe du pendule décrit autour de la verticale une surface conique mobile, qui coupe le plan horizontal d'après une ellipse. Dans ce cas, le plan vertical déterminé par le grand axe de l'ellipse est considéré comme plan d'oscillation. De plus, l'azimut de l'axe n'est qu'approximativement une fonction linéaire de temps.

À Bucarest l'éclipse a commencé à 12 h 41 min temps local (c'est-à-dire 9 h 41 min TU) et s'est terminée à 15 h 29 min, la phase de totalité étant à 14 h 7 min [10]. De plus, le Soleil est passé au méridien du lieu à 13 h 21 min. La durée de l'expérience a été de 3 h 30 min, de 12 h 30 min à 16 h. Pour reproduire la situation qui a eu lieu lors de l'éclipse de Soleil du 30 juin 1954 [1], quand le plan d'oscillation du pendule paraconique est passé sur le Soleil éclipsé au passage de celui-ci au méridien, l'azimut initial du pendule 1 a

été choisi -9° . D'autre part, l'azimut initial du pendule 2 a été 81° , de sorte que leurs plans d'oscillation ont été perpendiculaires.

Chaque pendule était lâché toutes les 60 minutes avec une amplitude linéaire initiale d'environ 50 cm, c'est-à-dire avec une amplitude angulaire d'environ $0,035$ rad ou 2° . Les résultats obtenus pour l'azimut pendant l'éclipse (A_e) sont donnés dans les tableaux 1 et 2. On peut constater qu'à la fin de l'expérience les plans d'oscillation des deux pendules ont resté pratiquement perpendiculaires.

Tableau 1

Valeurs des azimuts

Pendule 1			
t	A_e	A_r	ΔA
12 ^h 30 ^m	$-9,0^{\circ}$	$-9,0^{\circ}$	$0,0^{\circ}$
12 40	$-7,7$	$-7,5$	$-0,2$
12 50	$-6,0$	$-5,8$	$-0,2$
13 00	$-4,2$	$-3,9$	$-0,3$
13 10	$-2,5$	$-2,2$	$-0,3$
13 20	$-1,2$	$-0,5$	$-0,7$
13 30	$-0,2$	$0,9$	$-1,1$
13 40	$0,7$	$2,5$	$-1,8$
13 50	$2,5$	$4,1$	$-1,6$
14 00	$4,3$	$5,6$	$-1,3$
14 10	$5,9$	$7,0$	$-1,1$
14 20	$7,5$	$8,5$	$-1,0$
14 30	$8,6$	$9,6$	$-1,0$
14 40	$10,2$	$11,2$	$-1,0$
14 50	$12,0$	$12,6$	$-0,6$
15 00	$13,6$	$14,1$	$-0,5$
15 10	$15,1$	$15,5$	$-0,4$
15 20	$17,2$	$17,1$	$0,1$
15 30	$18,8$	$18,7$	$0,1$
15 40	$20,4$	$20,2$	$0,2$
15 50	$22,0$	$21,9$	$0,1$
16 00	$23,6$	$23,4$	$0,2$

Tableau 2

Valeurs des azimuts

Pendule 2			
t	A_e	A_r	ΔA
12 ^h 30 ^m	$81,0^{\circ}$	$81,0^{\circ}$	$0,0^{\circ}$
12 40	$82,8$	$82,9$	$-0,1$
12 50	$84,3$	$84,9$	$-0,6$
13 00	$86,3$	$87,0$	$-0,7$
13 10	$88,3$	$88,9$	$-0,6$
13 20	$90,1$	$90,9$	$-0,8$
13 30	$92,0$	$92,8$	$-0,8$
13 40	$93,3$	$94,6$	$-1,3$
13 50	$94,5$	$96,2$	$-1,7$
14 00	$96,5$	$97,6$	$-1,1$
14 10	$98,0$	$99,0$	$-1,0$
14 20	$99,4$	$100,3$	$-0,9$
14 30	$100,6$	$101,4$	$-0,8$
14 40	$102,0$	$102,8$	$-0,8$
14 50	$103,6$	$104,3$	$-0,7$
15 00	$105,6$	$105,7$	$-0,1$
15 10	$106,8$	$106,9$	$-0,1$
15 20	$108,5$	$108,4$	$0,1$
15 30	$110,0$	$110,1$	$-0,1$
15 40	$111,5$	$111,6$	$-0,1$
15 50	$113,0$	$113,0$	$0,0$
16 00	$114,0$	$114,1$	$-0,1$

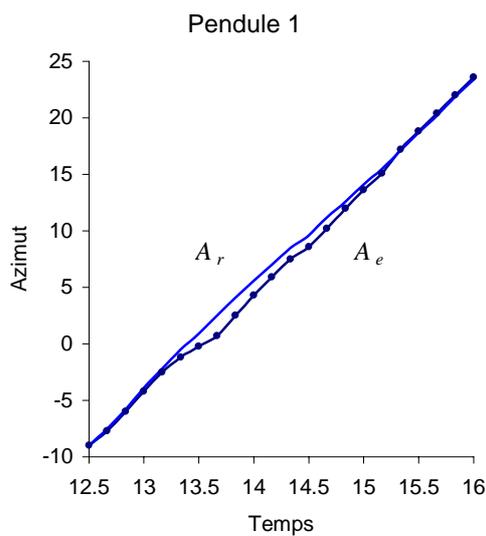


Fig. 1 – Courbes des azimuts.

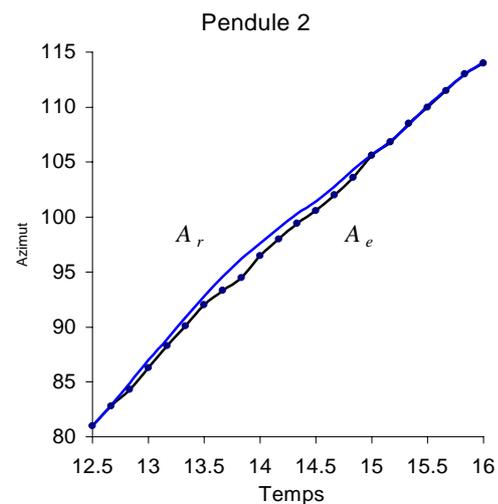


Fig. 2 – Courbes des azimuts.

Pour mettre en évidence l'effet d'éclipse (l'effet d'Allais), nous avons déterminé en dehors de l'éclipse l'azimut du chaque pendule pour une période de 3 h 30 min, en utilisant les mêmes données initiales et le même intervalle de temps entre les lancements successifs. Les valeurs de cet azimut, nommé l'azimut de référence (A_r), ont été obtenues par deux déterminations indépendantes. Les valeurs A_r données dans les tableaux sont les valeurs moyennes pour les moments considérés. En utilisant cette méthode, nous avons éliminé dans la différence $\Delta A = A_e - A_r$ l'effet systématique dû à la déviation de la marche du pendule par rapport à la marche théorique. La différence ΔA décrit l'effet étudié. Les représentations graphiques des fonctions $A_e(t)$, $A_r(t)$ et de la déviation ΔA sont données dans les figures 1, 2 et 3.

On voit que pendant l'éclipse le mouvement du plan d'oscillation a été plus lent. D'autre part, le module de la déviation ΔA a atteint sa valeur maximum, d'environ $1,7^0 - 1,8^0$, dans l'intervalle de 15 à 25 minutes avant la phase de totalité de l'éclipse. Après l'éclipse, à savoir dans l'intervalle 15 h 30 min - 16 h les courbes A_e et A_r pratiquement coïncident. Ainsi l'effet d'Allais a-t-il été confirmé. De plus, le comportement des deux pendules a mis en évidence le fait que l'effet est presque isotrope.

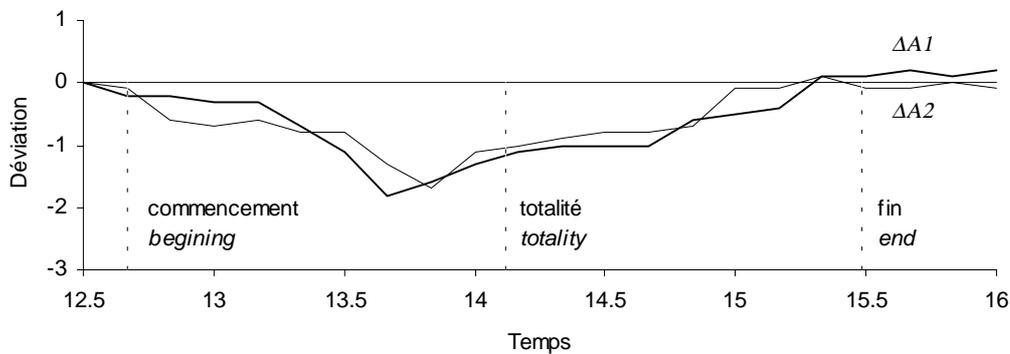


Fig. 3 – Déviation de l'azimut pour le pendule 1 ($\Delta A1$) et le pendule 2 ($\Delta A2$).

4. CONCLUSIONS

Nos résultats concordent avec les résultats obtenus par le Professeur Maurice Allais lors des deux éclipses de Soleil du 30 juin 1954 et du 2 octobre 1959, quand le maximum de la déviation a eu lieu 20 minutes avant le maximum de l'éclipse. Par conséquent, notre expérience confirme l'existence de l'effet d'Allais. D'autre part, pour l'intervalle de temps compris entre 13 h 15 min et 14 h 15 min la période du premier pendule a subi une petite croissance, d'environ 0,026%. Ce résultat concorde avec le résultat obtenu par E. J. Saxl et M. Allen (0,037%) lors de l'éclipse du 7 mars 1970 [11].

Les expériences qui seront réalisées lors des éclipses prochaines contribueront sans doute à une connaissance plus approfondie de l'effet. L'effet est-il vraiment isotrope? La déviation du plan d'oscillation dépend-elle de la longueur du pendule et de la latitude du lieu? La période d'oscillation est-elle vraiment variable? Pendant l'éclipse constitue la Lune un écran pour la gravitation du Soleil? Ou déterminante est toutefois l'influence gravitationnelle newtonienne de la configuration formée par la Lune et le Soleil?

En outre, l'étude de l'effet permet de mieux connaître l'autre phénomène mentionné, produit par l'influence lunisolaire permanente et découvert par le professeur Maurice Allais au cours de ses observations continues du pendule paraconique effectuées de 1954 à 1960. D'autre part, la répétition de ses expériences, dont la préparation est décrite dans son Mémoire rédigé pour la NASA [12], est opportune. L'on peut ainsi préciser les résultats obtenus par ces expériences et approfondir les propriétés de la gravitation.

Remerciements. Nous remercions le Prof. M. Allais, lauréat du Prix Nobel, pour l'appréciation favorable de nos résultats, le Dr. D. Noever de la NASA, qui a transmis nos résultats à Paris, et l'Ingénieur Conseil H. Aujard pour son soutien constant.

ABRIDGED ENGLISH VERSION

During the solar eclipse of 30 June 1954, Professor Maurice Allais discovered an unexpected disturbance of the Foucault effect [1]. During the eclipse the angular velocity of the plane of oscillation of a short pendulum (paraconical pendulum) was less and variable, the maximal azimuthal deviation occurring before the maximum of the eclipse. He named this effect the eclipse effect, but at present it is known as Allais effect. On the other hand, studying the motion of the pendulum for long periods of time, he discovered another effect, consisting of periodic lunisolar variations of the azimuth of the plane of oscillation, unexplained up to the present within the framework of the actual theories of gravitation [2-4].

Allais effect was observed again during the solar eclipse of 2 October 1959. The obtained results are given in the work *L'Anisotropie de l'Espace* [5]. In our note there are presented the results obtained at Bucharest University during the total eclipse of 11 August 1999.

We used two Foucault pendulums, which oscillated in the orthogonal planes. The first pendulum oscillated in the vertical plane of the eclipsed Sun, during the passage of this over the meridian of the place, and the second served as witness-pendulum. The azimuth of the plane of oscillation was determined for each pendulum by means of two electronic chronometers. The azimuth was measured from South towards West from 0° to 180° , and from South towards East from 0° to -180° .

At Bucharest the eclipse commenced at 12 h 41 min local time (that is 9 h 41 min UT) and ended at 15 h 29 min, the phase of totality being at 14 h 7 min [10]. On the other hand, the Sun passed over the meridian of the place at 13 h 21 min. The duration of the experiment was of 3 h 30 min, from 12 h 30 min to 16 h. In order to reproduce the situation which occurred during the eclipse of June 1954 [1], when the plane of oscillation of the used pendulum passed over the eclipsed Sun at the same time with the passage of this over the meridian of the place, the initial azimuth was chosen -9° for the first pendulum and, respectively, 81° for the second.

The values of the azimuth during the eclipse (A_e) are given in Tables 1 and 2. In order to make evident the Allais effect, we determined the azimuth for each pendulum out of the eclipse for a duration of 3 h 30 min and with the same initial data. The values of this azimuth, named reference azimuth (A_r), are also given in Tables 1 and 2. The difference $\Delta A = A_e - A_r$ describes the studied effect. The functions $A_e(t)$, $A_r(t)$ and the deviation ΔA are represented graphically in Figures 1-3.

It is therefore seen that during the eclipse the motion of the plane of oscillation was slower. On the other hand, approximately twenty minutes before the phase of totality the deviation ΔA reached the extreme value. Thus the Allais effect was confirmed. Moreover, the azimuthal deviation seems to be isotropic, each of the two pendulums having almost the same behaviour.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. ALLAIS, M., *Mouvement du pendule paraconique et éclipse totale de Soleil du 30 juin 1954*, C. R. Acad. Sci. Paris, **245**, pp. 2001–2003, 1957.
2. ALLAIS M., *Observations des mouvements du pendule paraconique*, C. R. Acad. Sci. Paris, **245**, pp. 1697–1700, 1957.
3. ALLAIS M., *Analyse harmonique des mouvements du pendule paraconique*, C. R. Acad. Sci. Paris, **245**, pp. 1875–1878, 1957.
4. ALLAIS M., *Théorie du pendule paraconique et influence lunisolaire*, C. R. Acad. Sci. Paris, **245**, pp. 2170–2173, 1957.
5. ALLAIS M., *L'Anisotropie de l'Espace*, Clément Juglar, Paris, pp. 166–169, 1997.
6. JEVERDAN G. T., RUSU G. I., ANTONESCO V. I., *Données préliminaires sur le comportement d'un pendule de Foucault pendant l'éclipse de Soleil du 15 février 1961* (en roumain), An. Univ. Iasi, **7**, p. 457, 1961.
7. JEVERDAN G. T., RUSU G. I., ANTONESCO V., *Expériences à l'aide du pendule de Foucault pendant l'éclipse de Soleil du 15 février 1961*, Science et Foi, **2**, pp. 24–26, 1991.
8. DENIS M., *Observation d'un pendule de Foucault lors de l'éclipse totale zénithale de Mexico (11 juillet 1991)*, Science et Foi, **2**, pp. 36–44, 1991.
9. ALLAIS M., *Should the laws of gravitation be reconsidered ?*, Aero/Space Engineering, **9**, pp 46–52, 1959, **10**, pp. 51–55, 1959, **11**, p. 55, 1959.
10. ESPENAK F., ANDERSON J., *Total Solar Eclipse of 1999 August 11*, NASA Reference Publication 1398, Greenbelt, MD, 120 p., 1997.
11. SAXL E. J., ALLEN M., *1970 Solar eclipse as seen by a torsion pendulum*, Phys. Rev. D, **3**, pp. 823–825, 1971.
12. ALLAIS M., *"L'Allais effet" et mes expériences avec le pendule paraconique*. 1954–1960, Mémoire rédigé pour la NASA, Paris, 84 p., 1999.

Reçu le 5 novembre 2002