

La pendule de temps sidéral et moyen, modèle Esclangon, à trois cadrans.

Tout observatoire digne de ce nom doit disposer de deux horloges au moins, précises, justes et régulières : l'une destinée à marquer le temps sidéral, l'autre à marquer le temps moyen (ou *temps solaire moyen*).

Rappelons que le *jour sidéral*, divisé en 24 heures *sidérales*, est basé sur la durée séparant le retour d'une étoile quelconque derrière un fil vertical maintenu fixe. Il est basé sur la rotation de la Terre, supposée parfaitement régulière.

Le jour *solaire* de son côté est basé sur le passage du soleil derrière le même fil. Mais du fait de l'ellipticité de l'orbite terrestre, sa durée varie au cours de l'année. En outre il combine deux mouvements, la rotation de la Terre en un jour et la révolution autour du soleil en un an. Pour cette raison les astronomes définissent à partir des mouvements du soleil un *Temps moyen*, lui aussi divisé en heures, où se combinent ces irrégularités.

Comme on le verra ces deux temps ne s'écoulent pas exactement à la même vitesse. Les deux horloges, *sidérale* et de *temps moyen* ne concordent qu'un fois dans l'année.

Outre leurs qualités propres, ces deux horloges doivent en outre se raccorder aussi exactement que possible de manière à ce que du cadran de l'une on puisse déduire exactement le temps marqué au cadran de l'autre.

Cette exigence a été résolue d'une manière élégante par Ernest Esclangon, directeur de l'Observatoire de Strasbourg, en 1919 sous la forme d'une pendule à *double cadran* construite par les ateliers Brillié. La pendule à double cadran «*système Esclangon*» affiche donc, simultanément, les deux temps sidéral et moyen, très précisément accordés, en utilisant un balancier unique¹.

La pendule de l'Observatoire de Toulouse «*système Esclangon*», située dans la coupole du télescope de 83 centimètres, appartient à un modèle très rare, construit autour de *trois cadrans* et pour lequel on ne dispose pour ainsi dire d'aucune documentation. La fonction de ce troisième cadran, comme on le verra, n'apparaît pas évidente au premier abord.



Fig.1 – La pendule Esclangon

Les deux cadrans : temps sidéral et temps moyen.

Commençons par les deux plus gros cadrans de ce modèle original de pendule.

Le **premier cadran**, situé à la partie inférieure de la pendule, mesure 23,5 centimètres de diamètre et marque le *temps sidéral*. Outre ses deux aiguilles il est muni d'une trotteuse qui tombe à chaque mouvement sur une division exacte des secondes. L'horloge sidérale, entraînée par un balancier synchronisé par une bobine (système Fery-Brillié³⁴), est constamment maintenue à une heure pratiquement exacte et automatiquement corrigée des très faibles écarts possibles.

La pendule principale, *directrice* de l'ensemble du mécanisme pourrait-on dire, est donc ici la pendule sidérale : c'est elle dont l'astronome a le plus grand besoin pour ses travaux. Au surplus son exactitude peut être vérifiée - et s'il le faut corrigée - grâce à la lunette méridienne dont dispose l'observatoire, qui permet de déterminer l'heure sidérale locale avec une grande précision.

Le **second cadran** situé au dessus du précédent avec un diamètre identique porte la mention «*Temps moyen*». En effet, si le temps sidéral importe aux astronomes, c'est du temps moyen que le public a besoin car c'est lui qui règle la vie de tous les jours. Cette seconde horloge est mécaniquement asservie à la première comme on va le voir ; elle en reproduit la précision et fournit donc une heure de grande qualité.

L'**originalité** du «*système Esclangon*» réside dans la solution à la fois simple et précise adoptée pour commander une horloge de temps moyen à partir d'une horloge sidérale.

Rappelons d'abord que le rapport R du temps sidéral au temps moyen vaut $R = 1,0027379093$. Cela revient à dire que le temps sidéral «*s'écoule*» un peu plus vite que le temps moyen. Ainsi 24 heures de temps moyen correspondent-elles à 24 heures, 3 minutes et 56,55 secondes de temps sidéral. Le problème est finalement le suivant : comment utiliser une pendule sidérale pour piloter une deuxième pendule avec un rapport de marche égal à 1,002737 ? Réponse d' Esclangon : « en utilisant un système d'engrenages à roues dentées. »^{2 5}

Ernest Esclangon cherche d'abord à écrire R sous la forme du rapport de deux nombres entiers. Ainsi les deux nombres 1845 et 1840 conduisent au rapport

$$R = \frac{1845}{1840} = 1,002\ 717\ 39 \text{ où les quatre premières décimales sont déjà correctes.}$$

A présent imaginons deux roues dentées portant chacune respectivement 1840 et 1845 dents. Lorsque la première a fait un tour, ses 1840 dents ont fait réaliser à la seconde un tour complet *moins* une fraction de tour correspondant à leur différence de $1845 - 1840 = 5$ dents. De combien a tourné la seconde roue ? Du rapport de 1840 à 1845, soit $1 / 1,002\ 717$ tour. Exactement ce qui était recherché.

On voit donc comment les rapport entre nombres entiers, loin d'être de simples abstractions arithmétiques, peuvent se traduire directement en un système d'engrenages qui réalise, mécaniquement, le rapport cherché.

On peut faire encore mieux et Ernest Esclangon s'arrête finalement aux deux nombres 37 723 et 37 620 pour lesquels

$$R = \frac{37\,723}{37\,620} = 1,002\,737\,905 \text{ avec huit décimales exactes. }^5$$

Comme il est impossible de construire vers l'année 1920 des roues dentées de plus de 500 dents, il faut tourner le problème. On met d'abord chacun des deux nombres sous la forme d'un produit :

$$37\,723 = 119 \times 317 \quad \text{et} \quad 37\,620 = 114 \times 330$$

puis l'on écrit R sous une forme qui représente ces produits :

$$R = \frac{119 \times 317}{114 \times 330} = 1,0027379054$$

Il faudra cette fois quatre roues dentées, munies respectivement de 114, 119, 317 et 330 dents pour piloter l'horloge de temps moyen depuis l'horloge sidérale. Ce train d'engrenages garantit, au moins théoriquement, un rapport des deux temps correct jusqu'à la huitième décimale. Ce qui correspond à un retard du temps sidéral sur le temps moyen de 1 seconde en 8,116 ans, soit 0,12 seconde par an, soit encore $1/100^{\circ}$ de seconde par mois ^{1,5} ! Selon Hope-Jones (⁶ p. 186), cette combinaison serait due à un des frères Ungerer, célèbres horlogers Alsaciens; elle aurait été utilisée pour la construction d'une horloge destinée à l'observatoire de Strasbourg.

Cette précision est naturellement toute théorique car elle dépasse ce que peuvent réaliser des horloges mécaniques et que, par ailleurs, comme l'exprime Ernest Esclangon ⁵ « le temps sidéral, compliqué par les inégalités de la nutation, ne varie pas d'une manière absolument rigoureuse par rapport au temps moyen. »

La grande roue en duralumin de 330 dents est en partie visible de part et d'autre de l'étiquette gravée, entre les deux cadrans principaux (Fig. 2).



Fig.2 – La roue dentée d'asservissement du temps moyen au temps sidéral, en partie visible derrière les deux cadrans.

Le troisième cadran

Le troisième cadran, de 8 centimètres de diamètre est situé dans la moitié inférieure du cadran de temps moyen et rogne sur les graduations de cinq à sept. Il est muni d'une aiguille unique. Ce cadran, dépourvu de toute indication sur sa nature ou sa fonction présente trois curiosités. (Fig. 3)

La *première* touche à sa graduation en 100 parties. C'est inhabituel dans une pendule, ordinairement graduée sur les sous-multiples de 60.

La *deuxième* curiosité concerne la rotation de l'aiguille qui se réalise en sens inverse de celles de temps sidéral et moyen. Sa marche est donc rétrograde.

La *troisième* curiosité concerne enfin la durée du tour complet de l'aiguille sur ce troisième cadran : 6 minutes et 5 secondes comptées sur l'horloge sidérale.

Quelle est donc la fonction de ce cadran qu'on ne rencontre sur aucune des pendules «*système Escalangon*» documentées ici ou là ? Et à quel phénomène astronomique correspond cette durée de 6 minutes et 5 secondes ?

Pour comprendre la fonction de ce troisième cadran, il faut d'abord comparer la marche de la trotteuse des secondes dans les deux pendules de temps sidéral et de temps moyen.

La trotteuse de temps sidéral tombe à chaque battement sur une division *exacte* des secondes mais il n'en va pas de même de celle de temps moyen. L'aiguille des secondes peut ici occuper successivement lors de ses arrêts toutes les positions intermédiaires possibles. Ainsi à chaque seconde *entière* de temps sidéral correspond une seconde de temps moyen intermédiaire entre deux valeurs entières (Fig. 3). D'où une incertitude sur la lecture précise du temps qu'affiche la pendule de temps moyen. Les aiguilles des minutes et secondes sont lues sans difficulté, mais la trotteuse des secondes est plus compliquée à lire. C'est ici qu'*intervient le troisième cadran*, à la suite d'un calcul très simple :

Dans les $24 \times 60 \times 60 = 86\,400$ secondes d'un jour moyen se logent $86\,400 \times 1,002\,737\,90 = 86\,636,56$ secondes de temps sidéral.

La pendule de temps moyen perd donc la différence, soit 236,56 secondes par jour, sur la pendule sidérale. Soit 1 seconde de perdue chaque 6 *minutes 5 secondes* de temps sidéral. Voici donc l'origine de ce que nous avons signalé plus haut comme *troisième curiosité*, qui était la durée d'une rotation complète de l'aiguille sur le troisième cadran.

Le troisième cadran indique en définitive la partie fractionnaire de la seconde de temps moyen indiquée par la trotteuse.

La division du cadran en 100 parties, signalée comme *deuxième curiosité*, devient dès lors compréhensible, même si son usage pratique se limite au dixième de seconde. C'est d'ailleurs cette précision qu'annonce Ernest Esclangon dans un des textes⁵ qu'il consacre à cette pendule.

Reste la *première curiosité* du cadran : la marche rétrograde de l'aiguille. Elle est simplement due à l'action de la roue dentée qui en assure la rotation complète en 6 minutes 5 secondes : lorsqu'un engrenage denté tournant dans le sens horaire en fait tourner un autre, le sens de rotation du second est inverse du premier, donc rétrograde.

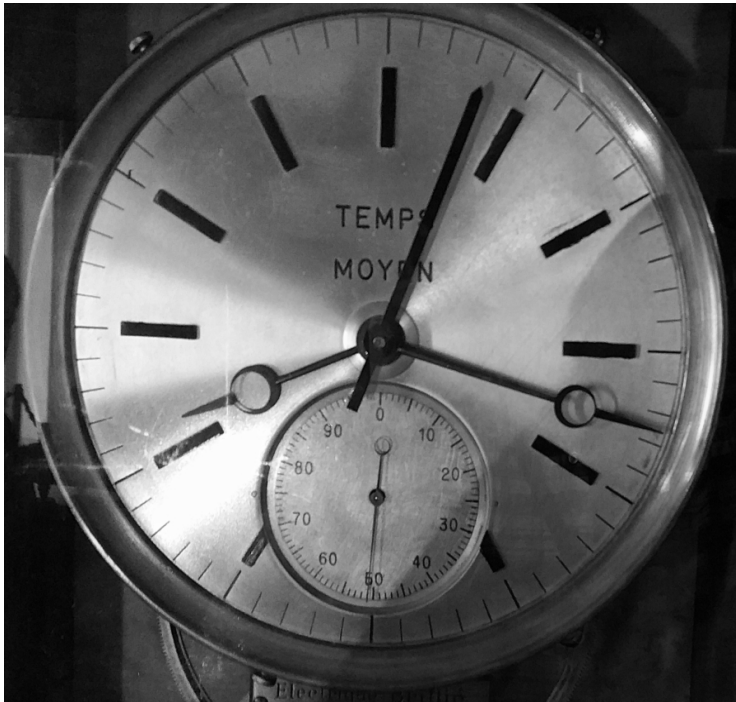


Fig. 3

Le troisième cadran et son aiguille à mouvement rétrograde.

La trotteuse du grand cadran marque un peu plus de 3 secondes ; le troisième cadran précise 51 centièmes.

L'heure de temps moyen est donc ici de :

8 h 17 min 3,5 s

Pour conclure

Au total la double pendule Esclangon à trois cadrans assure, à partir d'un balancier unique et régulé, l'entraînement d'une horloge sidérale battant la seconde. Une deuxième horloge indique le temps solaire moyen. Mécaniquement asservie à l'horloge sidérale, elle hérite de sa précision et de sa régularité. Un troisième cadran, à marche rétrograde, permet d'obtenir le dixième de seconde lors de la lecture des secondes de temps moyen.

Est-ce un hasard si c'est à Strasbourg qu'est née l'idée de cette pendule ? Peut-être est-ce lors d'une visite de l'horloge astronomique de la Cathédrale de Strasbourg, merveille absolue de mécanique et d'engrenages, que l'idée de cette pendule est venue à l'esprit d'Ernest Esclangon. Nous n'en savons rien mais il est plaisant de l'imaginer.

Cette pendule à trois cadrans, d'un modèle rare et peu documenté mérite donc toute l'attention des amoureux du patrimoine astronomique de Toulouse. Elle est maintenue dans le meilleur état possible par la Société d'Astronomie Populaire (S.A.P.) de Toulouse.

Jacques Lauga , S.A.P.

Notes

- (1) **Esclangon** E. 1921. Sur une pendule astronomique donnant simultanément le temps sidéral et le temps moyen. *Bull. Soc. Astr. Fr.*, 25, 168-170.
- (2) **Esclangon** E. 1919. Sur la transformation mécanique du temps sidéral en temps moyen. *C. Rendus Acad. Sc.*, 169, 231-232.
- (3) **Baillaud** R. 1936. Système de deux pendules Brillié asservies en temps moyen et temps sidéral. *Ann. Fr. Chronom.*, 6, 251-255.
- (4) **Bouasse** H. 1920. Pendule spiral, Diapason. *Bibliothèque scientifique de l'ingénieur et du physicien*. Delagrave ed. Paris.
- (5) **Esclangon** E. 1935. Sur une horloge portant indication simultanée du temps moyen et du temps sidéral. *Bull. Soc. Astr. Fr.*, 49, 215-217.
- (6) **Hope-Jones** F. 1937. Horloge indiquant simultanément le temps moyen et le temps sidéral. *Ann. Fr. Chronom.*, 7, 183-191.

Remerciements à

J.N. Perolle et R. Trotignon, membres de la SAP.

Remerciements particuliers à D. Lizzi, membre de la SAP, pour avoir suggéré une importante correction.

PENDULE ASTRONOMIQUE À TROIS CADRANS, TYPE ESCLANGON.

Fiche technique

Pendule astronomique de type Esclangon enfermée dans un coffret de bois et fixée au mur dans la coupole du télescope de 83 centimètres à l'Observatoire astronomique de Jolimont.

Variété sans doute rare à trois cadrans.

DIMENSIONS du coffret : H:80 cm , L:33 cm ; P:14 cm.

INSCRIPTIONS : Voir photo.

MOUVEMENT : Sidéral. Entretenu électriquement par un balancier à noyau plongeur et synchronisé par une bobine (système Fery-Brillié, cf. *Annales Françaises de Chronométrie*, 1936, vol.6, pp. 251-255).

CADRAN INFÉRIEUR : diamètre 23,5 centimètres. Indique l'heure sidérale. Trois aiguilles, la trotteuse à secondes tombe sur des divisions entières lors de son mouvement. L'heure sidérale est directement entraînée par le balancier.

CADRAN SUPÉRIEUR : diamètre 23,5centimètres. Indique l'heure de temps solaire moyen. Trois aiguilles. La trotteuse des secondes peut occuper toutes les positions intermédiaires entre les secondes entières. Le mouvement est obtenu par un train de 4 engrenages à partir de l'heure sidérale, qui réalise mécaniquement le rapport R du temps sidéral au temps moyen $R = 1,00273790$.

Roues en duralumin de 114,119,317,et 330 dents. La roue à 330 dents est partiellement visible entre les deux cadrans principaux.

CADRAN INTERMÉDIAIRE : diamètre 8 cm. Situé dans la moitié inférieure du cadran de temps moyen. Divisé en 100 parties. Aiguille unique à mouvement rétrograde en 6 minutes 5 secondes sidérales. Permet de déterminer la partie fractionnaire des secondes de temps moyen lorsque la trotteuse tombe -c'est le cas général- entre deux graduations.

DATE D'INSTALLATION À L'OBSERVATOIRE :

pour le moment inconnue mais soupçonnée de se situer dans les années 30.



Note : une pendule de ce type à trois cadrans est visible sur un film tourné à l'observatoire de Paris.

J. Lauga, S.A.P.

