

L'horloge astronomique de la cathédrale de Strasbourg revisitée

G. Paturel et P. Dubois

Observatoire de Lyon et Observatoire de Strasbourg

Résumé: Nous vous proposons une visite guidée de l'horloge astronomique de la cathédrale de Strasbourg. Le but est de vous faire découvrir une partie des merveilles techniques qui font de cette horloge un objet unique, fruit du génie mécanique et astronomique de J-B. Schwilgué.

Mots-clefs : REPORTAGE - TEMPS - CALENDRIER

Si vous passez par Strasbourg un détour par la cathédrale vous enchantera pour peu que vous aimiez l'astronomie et la belle mécanique horlogère. Une première description vous avait été proposée par J.-M. Poncelet dans les Cahiers Clairaut (CC 38, page 3). Nous allons revisiter cette horloge extraordinaire ou plus exactement nous allons donner des éléments pour guider la visite. En effet, si l'on va voir cette horloge sans préparation on risque de passer à côté des détails intéressants. Nous commencerons donc par un bref rappel historique, puis nous détaillerons l'horloge actuelle en parlant des innombrables détails techniques qui émaillent cette œuvre. Nous nous sommes largement inspirés du livre « Les trois horloges astronomiques de la cathédrale de Strasbourg » de H. Bach et J.-P. Rieb publié aux éditions Ronald Hirlé.

1. Quelques éléments historiques.

La conservation du temps a toujours été un problème important pour l'homme civilisé. Ce furent les cadrans solaires qui furent utilisés tout d'abord puis les sabliers et les clepsydes (sortes de sablier à liquide), les lampes à huile ou les cierges. Au XIII^e siècle fut inventée l'horloge dite « à foliot ».

La première horloge de Strasbourg, construite vers les années 1350, était de ce type. Il s'agissait d'un système à échappement classique, mais au lieu que l'avancement dent par dent ait été commandé par un pendule, il était commandé par un balancier oscillant. Le réglage s'effectuait en modifiant le moment d'inertie du balancier. La figure 1 montre le principe de ce système, déjà très évolué.

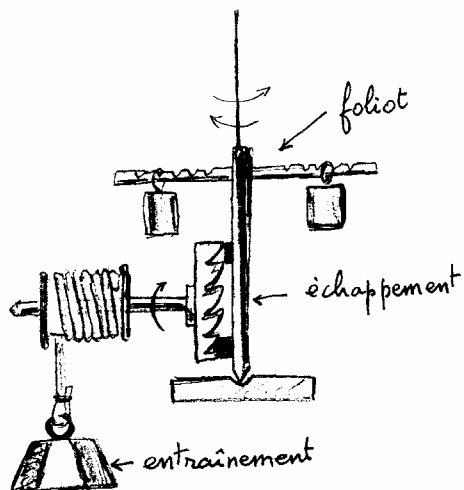


FIGURE 1 : Le mécanisme de l'horloge « à foliot ». La différence avec une horloge classique est que le balancier n'a pas de période propre.

Cette première horloge était placée sur le mur faisant face à l'horloge actuelle. On devine encore son emplacement. Elle donnait déjà le mouvement apparent du Soleil autour de la Terre.

La deuxième horloge fut calculée par le mathématicien Dasypodius et réalisée par deux horlogers, les frères Habrecht, en 1574, plus de deux cents ans après la première. En 1656, une modification majeure fut apportée en adjoignant un pendule à balancier pour en régulariser la marche. La figure 2 illustre le principe du nouveau mécanisme.

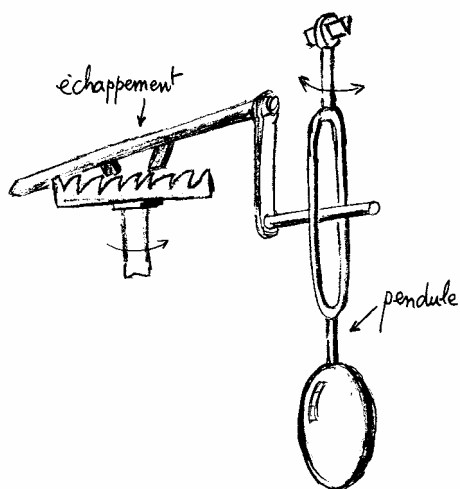


FIGURE 2 : Le pendule à balancier assure la régulation du mouvement.

La troisième horloge, celle que vous verrez aujourd'hui, ressemble extérieurement à la seconde, car le buffet qui en est l'habillage externe, a été conservé presque à l'identique.

Elle fut l'œuvre d'un autodidacte remarquable, Jean-Baptiste Schwilgué. Apprenti chez un horloger, il acquiert une bonne notoriété en réalisant plusieurs horloges remarquables, ce qui l'amène à être reçu par Louis XVIII. Sa notoriété grandit encore. Il est sollicité pour réparer l'ancienne horloge de Dasypodius. Il ne propose rien moins que de reconstruire tout le mécanisme. Il a 61 ans quand on lui confie le travail. On lui octroie un délai de trois ans pour achever les travaux. S'il parvient à remplir son contrat, c'est qu'il s'y était préparé de longue date en formant des ouvriers et en réalisant des machines propres à l'aider.

A la figure 3 nous donnons une représentation de l'horloge. Les éléments que nous allons détailler y sont notés. Une photographie donne l'aspect réel.



FIGURE 3 : Photographie de l'horloge montrant les différents éléments (photo tiré de la brochure de R. Lehni, éd. La goélette).

2. Les détails de l'horloge actuelle.

La tour de gauche contient les poids d'entraînement : cinq poids de 50 kilogrammes chacun.

Le portrait de Schwilgué figure sur cette colonne, sous celui de Copernic et de la déesse Urania. La tour est couronnée par un coq automate qui chante à midi, en battant des ailes, grâce à un astucieux système mécanique et pneumatique.

Le cadran du bas donne le mouvement apparent du Soleil et de la Lune, les heures de lever et de coucher du Soleil, les éclipses de lune et de soleil, les jours de la semaine, la date de Pâques. Donnons quelques explications.

Le Soleil et la Lune tournent autour de la Terre, placée au centre. Symétrique du Soleil par rapport à la Terre, un disque noir représente l'ombre de la Terre (voir figure 4). On pourrait s'attendre à ce que la Lune passe devant le Soleil ou derrière le disque d'ombre à chaque tour. Eh bien non !

En effet, la tige qui supporte la Lune a une longueur variable, ajustée, le cas échéant, pour que la Lune éclipse le Soleil ou soit éclipsée par l'ombre de la Terre. A la figure 4 nous montrons le détail de l'éclipse du 15 Février 1961. A la périphérie de ce grand cadran, tous les jours de l'année apparaissent, précédés d'une lettre, la lettre dominicale. Un cadran situé sur la gauche donne la lettre dominicale de l'année en cours, Vous pouvez donc savoir immédiatement où se trouvent les dimanches. Le dimanche de Pâques est mentionné en clair. Ce n'est pas un mince exploit que de calculer par un moyen mécanique la date de Pâques si on se rappelle que la définition est la suivante : Pâques est le premier dimanche qui suit la première pleine lune à partir du 21 mars et, lorsque cette pleine lune tombe un dimanche, la date est reportée au dimanche suivant.

Un mécanisme compliqué situé derrière le cadran insère le jour marqué « Pâques » au bon endroit et ajoute un jour pour les années bissextiles.

Toutes les informations liées aux dates religieuses sont affichées dans le « comput ecclésiastique » : épactes (nombre de jours entre le premier janvier et la nouvelle lune précédente), lettre dominicale, indiction (datation des bulles pontificales), cycle

solaire (cycle de 28 ans au bout duquel les jours de la semaine reviennent identiquement) et le nombre d'or (cycle de 19 ans au bout duquel les phases de la Lune reviennent identiquement).

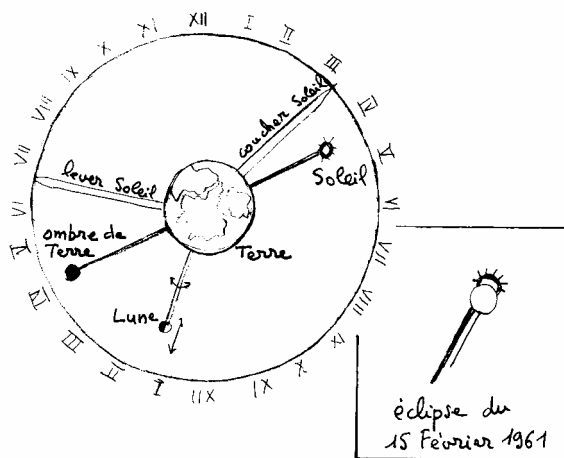


FIGURE 4 : Le système géocentrique. La Lune passe éventuellement derrière l'ombre de la Terre ou devant le Soleil, comme en 1961 (encadré).

Au-dessus de ce premier cadran, le carrousel des jours de la semaine fait défiler les figurines : Apollon pour le Soleil (dimanche), Diane pour la Lune (lundi), Mars (mardi), Mercure (mercredi), Jupiter (jeudi), Vénus (vendredi) et Saturne (samedi).

Au-dessus encore, se trouve l'horloge qui donne le temps solaire moyen pour Strasbourg. C'est le temps qui serait déterminé avec le Soleil si ce dernier avait une orbite parfaitement circulaire. C'est aussi le temps universel mais décalé de la longitude du lieu, soit environ 30 minutes de temps. Ne vous étonnez donc pas si ce cadran semble indiquer une heure inexacte.

A côté, un angelot retourne un sablier toutes les heures (ou tous les quarts d'heure) et un autre fait tinter une cloche tous les quarts d'heures.

Au-dessus de cette horloge flanquée d'angelots, se trouve un autre grand cadran, le planétaire héliocentrique. Il montre les planètes principales : Mercure, Vénus, Terre (et Lune), Mars, Jupiter et Saturne.

Au-dessus encore, un globe figure la Lune avec sa phase du moment. Nous voyons instantanément si

nous sommes en période de pleine lune, de nouvelle lune ou autre. Sur la photo, le globe est en période de nouvelle lune (lune sombre).

Enfin tout en haut, des figurines défilent. Les différents âges (enfant, adolescent, adulte et vieillard) passent devant la mort tous les quarts d'heure. A midi, les douze apôtres passent devant Jésus-Christ et le coq chante trois fois.

En avant du buffet, au niveau du sol, se dresse normalement un globe céleste montrant la position des constellations et des principales étoiles par rapport à la Terre. Quand nous avons visité la cathédrale le globe était en cours de réfection et n'était donc pas visible. Pour illustrer encore le souci du détail, Schwilgué a pris en compte la précession des équinoxes. L'axe de rotation terrestre décrit lentement un cône, à raison d'un tour tous les 26000 ans ! Depuis la construction, la rotation a été de moins d'une dent d'engrenage. Nous promettons de venir vérifier plus tard que la précession se fait à la bonne vitesse.

Deux passages successifs d'une même étoile au méridien sont séparés de 23h56min de temps et définissent 24 heures de « temps sidéral » (rappelons que cette différence de 4 minutes provient du fait que notre temps est défini en prenant le Soleil comme référence. Or, la Terre tournant autour du Soleil, la différence est de un tour (24 heures) par an, soit $24/365.26 = 0.066$ heure par jour, ou encore 4 minutes par jour). Le temps sidéral est donc également fourni par l'horloge de la cathédrale de Strasbourg.

3. Quelques détails techniques.

La difficulté de conception d'une horloge astronomique réside dans la représentation de mouvements périodiques dont les périodes sont dans des rapports non entiers alors que les roues dentées sensées produire le mouvement ont un nombre de dents entier. Nous allons voir comment Schwilgué réussit à résoudre cette difficulté.

Le mécanisme fondamental est un pendule battant la seconde. La perfection de la réalisation est telle que la dérive ne dépasse pas 40 secondes par an. Si on croit cette estimation, l'horloge serait plus précise qu'une montre à quartz.

Cette remarquable précision s'explique par plusieurs perfectionnements. Tout d'abord les dents des engrenages ont une forme qui leur permet de rouler les uns sur les autres, sans frottement (voir la figure 5). Il n'y a donc pas de cause de ralentissement incontrôlé. Par ailleurs, le couple qui agit sur la roue d'échappement est maintenu presque constant par un astucieux mécanisme de ressort compensateur. L'horloge n'a donc pas de raison d'accélérer si la force d'entraînement vient à diminuer. Le balancier du pendule est compensé pour absorber les variations de température. Pour cela, le bras du balancier est fixé au centre du disque pendulaire et le bras est constitué de métaux différents, dont les coefficients de dilatation maintiennent constante la longueur effective du pendule. La figure 5 fera comprendre le principe d'une telle compensation.

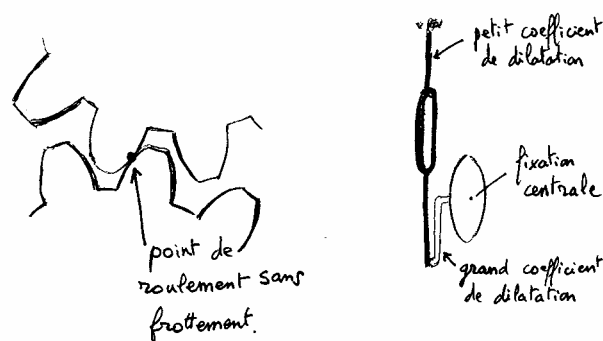


FIGURE 5 : Principe des engrenages à roulement sans frottement et du balancier de longueur constante par dilatations compensées.

A partir de cette base de temps, toutes les périodes vont être réalisées par des combinaisons d'engrenages, donc de nombres entiers.

Ainsi, la période de révolution de la Terre autour du Soleil est réalisée par la combinaison suivante : $P = (156 \times 188 \times 269) / (9 \times 10 \times 10) = 365,2422$ tours au lieu des 365.26 attendus pour faire une année. L'erreur n'est que de 4.2 secondes de temps par jour.

Cette durée fondamentale P est utilisée ensuite pour produire les période de révolution des planètes :

Mercure : $P \times (44 \times 134) / (240 \times 102) = 87.97$ jours (c'est la valeur admise).

Vénus : $P \times (17 \times 221) / (197 \times 31) = 224.70$ jours (c'est la valeur admise).
Mars : $P \times (95 \times 213) / (203 \times 53) = 686.93$ jours (la valeur admise est 686.98).
Jupiter : $P \times (157 \times 232) / (96 \times 32) = 11.86$ années (c'est la valeur admise).
Saturne : $P \times (161 \times 212) / (58 \times 20) = 29.42$ années (la valeur admise est 29.46).

On voit que la précision est, dans le plus mauvais cas, de l'ordre de un pour mille.

Pour le mouvement de la Lune, Schwilgué utilisa un système à vitesse différentielle. La figure 6 illustre le principe. La période de révolution lunaire comptée en prenant le Soleil comme référence de direction (c'est ce qu'on appelle la « période synodique » par opposition à la « période sidérale » comptée en prenant une étoile lointaine comme référence de direction) est obtenue comme suit. Pour une révolution terrestre, la lune effectue le nombre de tours suivant : $(312/24) \times [1 - (83 \times 14) / (122 \times 196)] = 12.368266$ (voir la figure 6 pour le calcul de la vitesse différentielle). Ce qui donne une période synodique lunaire de : $P / 12.368265 = 29,53059$ jours, ce qui est d'une précision meilleure qu'une fraction de seconde.

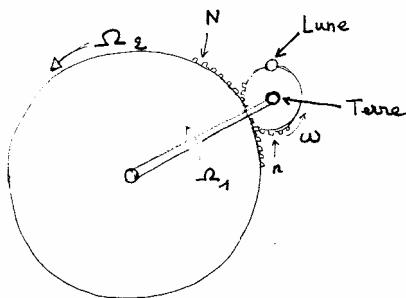


FIGURE 6 : Principe de la réalisation du mouvement orbital de la Lune autour de la Terre.

$$\omega = (\Omega_1 - \Omega_2) N / n$$

$$P_{\text{Lune}} = 2\pi / \omega = 2\pi / [(\Omega_1 (1 - \Omega_2 / \Omega_1) N / n)]$$

$$P_{\text{Lune}} = P_{\text{Terre}} / (1 - \Omega_2 / \Omega_1) N / n$$

Mais Schwilgué ne s'en est pas arrêté là dans sa quête de la perfection. Il a pris en compte les anomalies du mouvement du Soleil et de la Lune. Les anomalies principales proviennent évidemment du fait que les trajectoires sont des ellipses et non des cercles. Pour la Lune s'y

rajoutent les effets de la trajectoire Terre-Soleil et de l'inclinaison du plan de la trajectoire lunaire par rapport à l'écliptique. Si le dernier effet est habilement corrigé par une roue dentée inclinée (voir l'article de Poncelet cité en introduction), les autres anomalies ne relèvent plus de mécanismes classiques. Un empilement de plateaux à cames réalise une sorte de décomposition en série, comme le ferait une série de Fourier, des plateaux de grandes amplitudes pour les termes les plus importants jusqu'aux plateaux de faibles amplitudes pour les corrections mineures (voir la figure 7 tirée du livre de Bach et Rieb). Une façon de transmettre la correction à un axe tournant, consiste à utiliser un engrenage à denture oblique. En élevant ou en abaissant le pignon d'entraînement, la roue subit une accélération ou une décélération faisant tourner l'astre un peu plus vite ou un peu moins vite. Ce mécanisme est visible dans la vitrine nommée « Equations solaires et lunaires ». Le pignon à denture oblique est visible sur la gauche de cette vitrine et à la figure 7.

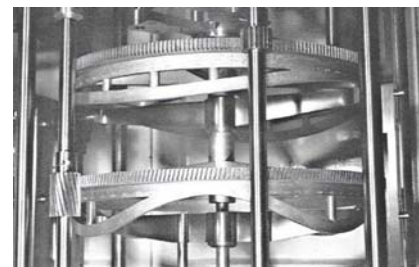


FIGURE 7 : Photographie des plateaux à cames réalisant les corrections des anomalies solaires et lunaires (d'après Bach et Rieb, éd. R. Hirlé).

Il nous reste un dernier détail à expliquer. Pour régler l'horloge sur la marche vraie du Soleil, il faut de temps à autre observer le Soleil au méridien.

Pour cela, une ouverture circulaire pratiquée dans la porte latérale de la cathédrale (sur la droite de l'horloge) projette un rayon lumineux sur une méridienne verticale, graduée en fonction de la date. Il est très facile de faire coïncider le midi de l'horloge avec le midi solaire.

4. Conclusions

Après cette visite nous restons confondus devant une telle accumulation de merveilles mécaniques. Pour en savoir plus sur les aspects techniques et historiques, l'ouvrage de Bach et Rieb est très

complet et vraiment remarquable. La petite brochure de Lehni, vendue au kiosque de la cathédrale, met plus l'accent sur les décorations et les sculptures, qui en elles-mêmes constituent aussi un chef d'œuvre. Elle comporte de très belles photographies du buffet.