L'HORLOGE ASTRONOMIQUE
DE LA CATHÉDRALE DE STRASBOURG [1]

Dès la fin du Moyen-Age, la Cathédrale de Strasbourg, à peine achevée, s'enrichissait d'un admirable chef-d'œuvre qui devait bientôt égaler en répu-

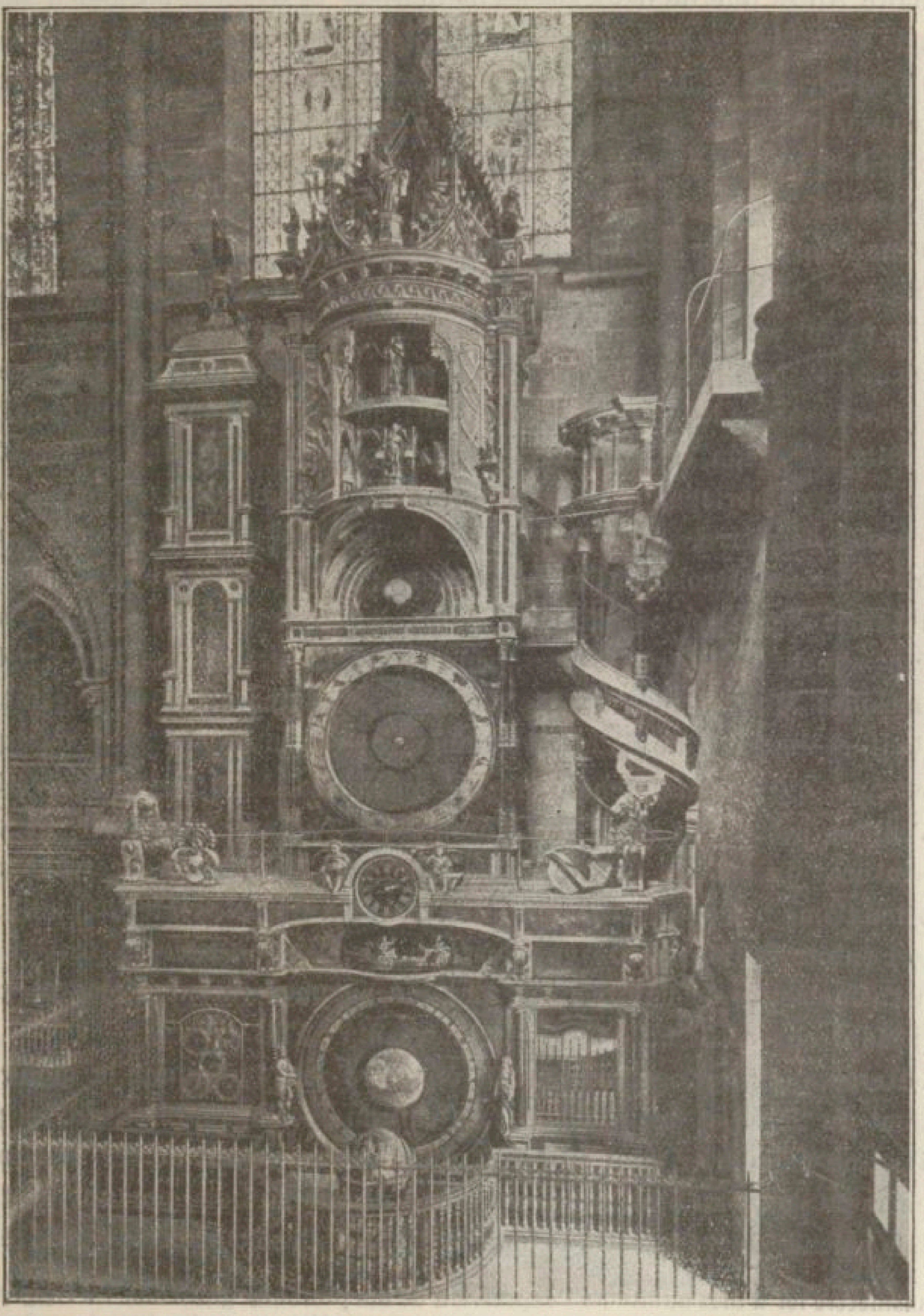


Fig. 42. — L'Horloge astronomique de la Cathédrale de Strasbourg, construite par J.-B. Schwilgué, de 1838 à 1842 (Etat actuel).

tation les sept merveilles de l'antiquité. Grâce aux soins vigilants de la vieille cité d'Alsace, la gloire séculaire de son horloge astronomique ne s'est pas

(1) Au cours de la conférence que j'ai eu l'honneur de faire à la Société astronomique de France, dans sa séance du 15 décembre 1920, se produisirent des ovations chaleureuses et spontanées, qui s'adressaient, en fait, à la mémoire de Schwilgué. Je suis heureux

effacée, chaque époque ayant tenu à honneur d'apporter sa contribution au perfectionnement de l'œuvre primitive. L'horloge astronomique érigée de 1352 à 1354 ayant cessé de fonctionner après un siècle de marche, une autre, plus belle encore et plus précise, la remplaça (1574) et bénéficia de la légende populaire. Après plus de deux siècles de marche, la seconde horloge à son tour cessa de fonctionner, mais la tradition devait être renouée une fois de plus, et le 2 octobre 1842, J.-B. Schwilgué mettait en marche la troisième horloge, son œuvre, qui est et restera sans doute pour toujours sans rivale.

De même que les deux anciennes horloges astronomiques de la Cathédrale de Strasbourg représentent l'état des connaissances des XIVe et XVIe siècles, de même l'horloge de Schwilgué représente le plus haut degré de perfection technique et mécanique réalisable à son époque. Cependant, l'extérieur de l'édifice ayant peu changé depuis le XVIe siècle, et Schwilgué n'ayant publié ni ses calculs, ni ses dessins, on croit généralement, mais à tort, qu'il s'est borné à remettre en marche les mécanismes anciens, qu'une légende populaire affirmait si parfaits qu'aucun homme ne pourrait jamais en construire de semblables.

La première horloge, logée dans le transept méridional, où l'on voit encore ses consoles de pierre, en face du buffet de l'horloge actuelle, montrait au bas un calendrier, un astrolabe à l'étage du milieu, et dans celui du haut une statue de la Sainte Vierge portant l'Enfant Jésus, devant lequel, au coup des heures, venaient s'incliner les trois Mages, pendant qu'un carillon jouait des mélodies de cantiques. Mais la plus grande curiosité se composait d'un Coq-automate chantant et battant des ailes, véritable chef-d'œuvre de la mécanique du Moyen-Age, qui est maintenant déposé au Musée de l'Œuvre Notre-Dame.

L'édifice actuel fut érigé par l'architecte Thomas Uhlberger, et enrichi de peintures du célèbre artiste Tobie Stimmer, de Schaffhouse. Les calculs de la deuxième horloge furent confiés d'abord à Chrétien Herlin, puis, après sa mort subite, à Conrad Dasypodius, son élève et son successeur à la chaire de mathématiques de l'Université. Les mécanismes furent exécutés par les frères Habrecht de Schaffhouse, et achevés en 1574.

Cette seconde horloge comportait un astrolabe, indiquant le mouvement apparent du Soleil et des planètes ; un cadran spécial représentait les phases lunaires; un calendrier civil en forme d'anneau se voyait au rez-de-chaussée; au centre de l'anneau était placé un grand disque en bois, portant les indications du calendrier ecclésiastique pour la durée d'un siècle : cette durée révolue,

de transmettre ici à mes auditeurs l'expression de ma profonde gratitude. La Rédaction de l'*Astronomie* m'a demandé d'étendre le texte de ma conférence et d'entrer dans des détails plus complets. Mes occupations m'empêchant de consacrer plus de temps à ce travail, j'ai trouvé en MM. A. Danjon et G. Rougier, astronomes à l'Observatoire de Strasbourg, des collaborateurs très précieux pour l'extension et la rédaction de ce rapport; je leur en exprime ici mes bien sincères remerciements avec d'autant plus de plaisir qu'après avoir essayé en vain, à plusieurs reprises, d'intéresser les astronomes allemands à l'œuvre de Schwilgué, j'ai été agréablement surpris de voir venir à moi les astronomes français qui, sous la direction aussi affable qu'éclairée de M. Esclangon, travaillent avec activité pour soutenir la réputation de l'Observatoire de notre Université.

Alfred Ungerer.

il fallait renouveler les calculs et la peinture du disque ; deux tableaux qui flanquaient le calendrier représentaient les éclipses solaires et lunaires pour une période de 36 ans, après laquelle il fallait également renouveler les peintures. Devant le bâtiment, se trouvait disposé un globe céleste, que Dasypodius lui-même considérait comme la partie la plus remarquable de son œuvre.

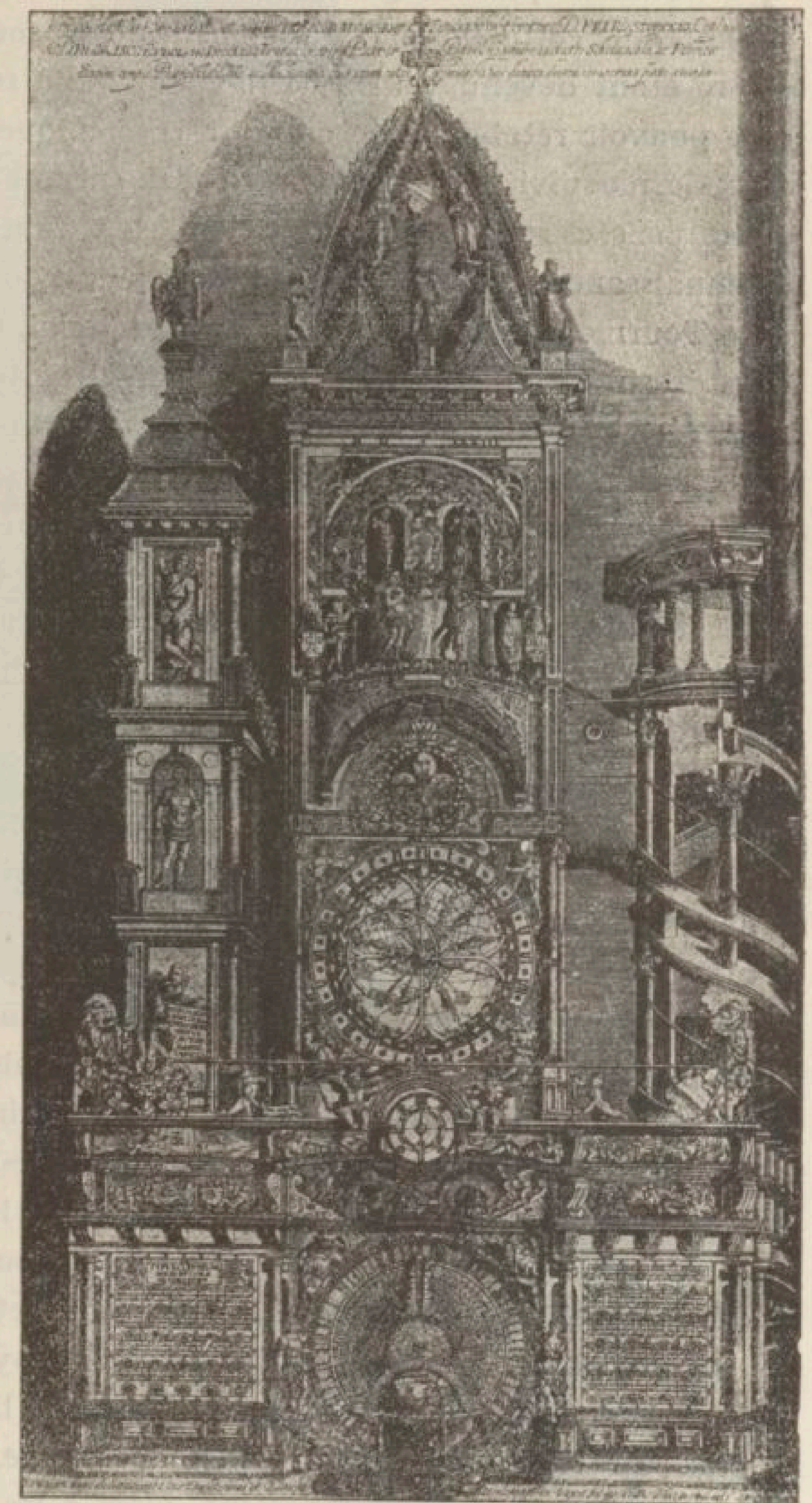


Fig. 43. — L'ancienne horloge astronomique, achevée par C. Dasypodius et les frères Habrecht en 1574. (D'après une ancienne gravure).

Les figures allégoriques étaient semblables à celles de l'horloge actuelle, sauf qu'à la place des Apôtres une figurine du Christ apparaissait, disputant à la mort le coup des heures sur une cloche. En plus, le carillon et le Coq, provenant tous deux de l'ancienne horloge, complétaient le mécanisme, qui, à juste titre, jouissait d'une réputation universelle.

Tobie Stimmer, le peintre des panneaux, publia une gravure sur bois de l'horloge, souvent imitée et reproduite (fig. 43).

Après diverses réparations, l'Horloge de Dasypodius cessa de fonctionner définitivement en 1789. D'après une légende très ancienne, on aurait crevé les yeux à son auteur, afin de l'empêcher de doter une autre ville d'une semblable merveille ; le malheureux aurait alors enlevé de son œuvre certaines pièces que nul n'était plus capable de reconstituer, de sorte que certains mécanismes n'auraient plus fonctionné qu'incomplètement. Quoi qu'il en soit de cette légende, elle s'est reportée sur l'auteur de l'horloge actuelle, sans fondement, est-il besoin de le dire !

Jean-Baptiste Schwilgué, né à Strasbourg, en 1776, raconte en ces termes comment il fut amené, par une vocation irrésistible, à consacrer sa vie entière à la réfection de l'horloge : « Dans ma jeunesse, je fus frappé des fonctions « de l'horloge de la Cathédrale, et de la légende que j'entendais raconter au « sujet de la vie de l'un des auteurs de cette pièce.

« J'avais à peine l'âge de dix ans, lorsque je fus obligé de quitter pour « longtemps cette horloge qui m'attirait si souvent à la Cathédrale; mon « père étant devenu veuf à cette époque alla se fixer à Schlestadt ; le désir « de pouvoir rétablir cette œuvre astronomique, qui ne marchait plus qu'en « partie, me suivit dans ma nouvelle résidence, et ce désir devint tel, que toutes « mes pensées se trouvèrent concentrées vers un seul but, celui d'acquérir les « connaissances nécessaires pour pouvoir un jour entreprendre ce travail.

« Tourmenté par cette idée, je m'appliquai, exclusivement et sans maître, « au dessin et aux travaux mécaniques, et surtout à l'horlogerie; je ne tarda « pas à comprendre que cet art exigeait des connaissances étendues en mathé- « matiques. C'est alors que sans l'aide de professeurs, les collèges et les écoles « se trouvant fermés à cette époque, je me livrai à l'étude des sciences exactes « avec le secours des traités qui alors étaient en usage.

« Il paraît que mes succès furent assez satisfaisants, puisque quelques « années plus tard, je fus chargé de la chaire de mathématiques au collège de « Schlestadt, fonctions que j'ai exercées pendant 19 années, jusqu'au moment « où j'ai pu terminer l'instruction de mes trois fils, ayant eu la satisfaction « d'en voir entrer deux à l'Ecole Polytechnique dans les premiers rangs.

« Je quittai à cette époque Schlestadt, pour venir me fixer à Strasbourg, « dans ma ville natale, à l'effet de me livrer entièrement aux travaux méca- « niques qui depuis lors ont absorbé tous mes moments.

« Toujours préoccupé à l'idée du rétablissement de l'horloge astronomique « de la Cathédrale de Strasbourg, il me paraissait indispensable, pour être « en état d'entreprendre ce travail, de pouvoir composer d'avance les prin- « cipaux mécanismes; mais en m'occupant de ces recherches, et en arrivant « à la partie du calendrier, je fus arrêté par la pensée qu'en me bornant à « ce qu'avait fait Dasypodius, il faudrait, tous les cent ans, changer l'ins- « cription relative au Comput ecclésiastique et aux fêtes mobiles.

« Pour obvier à cette imperfection, j'employai tous mes efforts à chercher « la reproduction de ces fonctions à l'aide de la mécanique, de manière à ne « plus faire dépendre ni d'une période limitée, ni d'indications figurées par « la peinture ces mêmes fonctions, mais à les rendres perpétuelles, c'est-à- « dire propres à se succéder dans les siècles à venir, sans être obligé d'effec- « tuer la moindre correction au mécanisme.

« Cette recherche qui m'avait coûté déjà bien des veilles et des peines, « me paraissait insurmontable, quand il me vint en pensée de démontrer « si effectivement le problème était impossible ; or, c'est en cherchant ce « résultat négatif, que je suis arrivé à acquérir la certitude que la construction « du Comput, telle que je la désirais, devenait possible.

« Aussitôt, je me mis à exécuter, sous la forme d'un petit modèle (fig. 45), « le mécanisme de ce Comput, en l'appropriant à indiquer tous les *Cycles*, les « *Epactes*, les *Lettres dominicales*, ainsi que le *Jour de Pâques*, pour une année « quelconque, non seulement des siècles à venir, mais aussi de ceux déjà passés

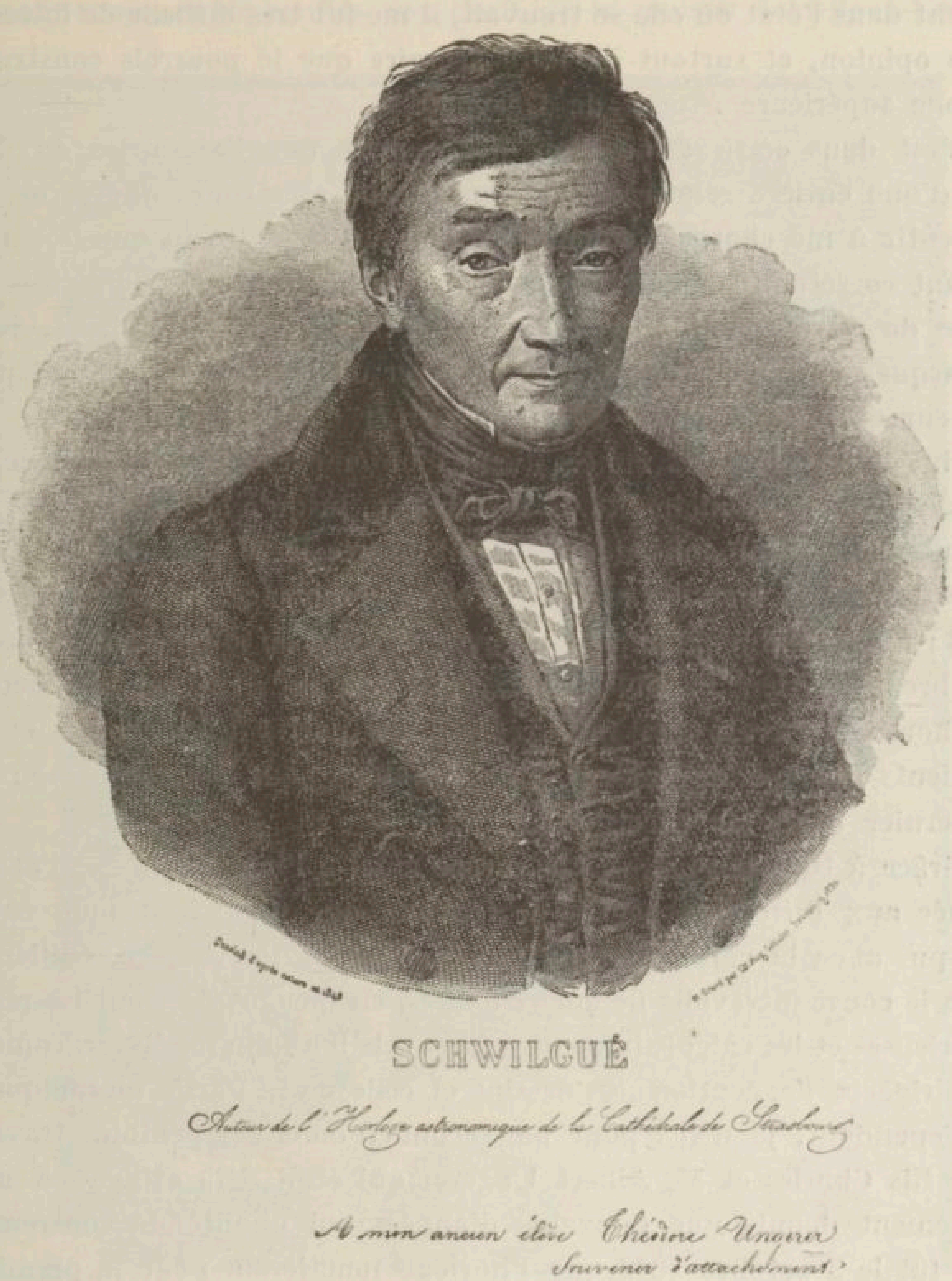


Fig. 44. — Jean-Baptiste SCHWILGUÉ, né le 18 décembre 1776, mort le 5 décembre 1856.

« depuis l'an 1582, époque de la réforme du Calendrier par Grégoire XIII. »

Dès lors, la réputation de Schwilgué est établie (1821), et la Ville de Strasbourg lui demande d'étudier la restauration de l'horloge de la Cathédrale mais les dépenses sont ajournées. Chargé de nouveau, en 1832, de présenter un rapport sur la réparation de la partie ordinaire de l'horloge, à l'exclusion de la partie astronomique, Schwilgué marque le mécontentement que lui cause une telle restriction.

« Mais comme le public prétendait encore que cette œuvre était inimi- « table, et que, par respect pour les auteurs, il fallait la conserver scrupuleu- « sement dans l'état où elle se trouvait, il me fut très difficile de lutter contre « cette opinion, et surtout de faire accroire que je pourrais construire une « horloge supérieure à celle de Dasypodius.

« C'est dans cette disposition des esprits que j'ai dressé un devis en « vue d'une entière remise à neuf, en faisant remarquer que je ne pouvais « consentir à me charger seulement d'une partie, attendu que le public, en « voyant ce rétablissement incomplet, pourrait croire que je n'étais pas ca- « pable de faire fonctionner la partie astronomique ; d'ailleurs, je faisais « remarquer, en même temps, que restaurer un ouvrage qui n'était plus à la « hauteur de notre époque, c'était perpétuer des erreurs. »

Il lui fallut plusieurs années avant d'obtenir les autorisations nécessaires, depuis celle de la municipalité de Strasbourg, jusqu'à la sanction du ministre des Cultes. La commande définitive fut passée le 26 mai 1838.

« Enfin, après bien des attentes, j'ai pu commencer les travaux le 24 juin « 1838 ; mais, déjà longtemps auparavant, j'avais eu soin de former un certain « nombre d'ouvriers capables et propres à la construction des mécanismes « de l'horloge ; j'avais aussi fait exécuter une partie des machines et des ins- « truments qui me devenaient indispensables pour assurer à mon ouvrage « le dernier degré de précision.

« Grâce à tous ces préparatifs, grâce aussi à l'impulsion que j'ai commu- « niquée aux différents genres de travaux que nécessitait mon entreprise, « j'ai pu, avec la confiance que j'avais dans la Providence, édifier le tout « dans le court intervalle de *quatre années*, en menant de front les recherches « laborieuses et les calculs immenses auxquels il a fallu me livrer, comme aussi « en dirigeant l'exécution des dessins et celle de la partie mécanique.

« Cependant, je n'eus pour me seconder dans ces pénibles travaux que « mon fils Charles et M. Albert Ungerer qui était déjà attaché à mon éta- « blissement depuis une douzaine d'années, en qualité de contremaître. »

Ce fut le 2 octobre 1842 que l'horloge fonctionna pour la première fois, à l'occasion du dixième Congrès Scientifique de France, qui se tenait alors à Strasbourg. Elle fut inaugurée et définitivement mise en marche le 31 décembre suivant, et les concitoyens de Schwilgué manifestèrent leur admiration en organisant ce jour-là une fête en son honneur (1).

Schwilgué qui avait été nommé déjà en 1835 chevalier de la Légion d'Hon-

(1) Selon les conditions du cahier des charges, Schwilgué s'était engagé à remettre l'horloge en état pour une somme de 32 000 francs; mais au cours de son travail, il augmenta très sensiblement le programme qu'il s'était imposé. Ce n'est qu'après avoir terminé son chef-d'œuvre qu'il soumit à la Ville le total des frais de revient qui s'élevaient à 81 000 francs. Une commission spéciale dut faire un rapport sur la valeur scientifique et artistique du travail de Schwilgué. Après enquête, elle lui alloua une somme de 20 000 francs pour son travail personnel, en plus des 81 000 francs demandés.

neur, fut promu en 1853 au grade d'Officier. Sa mort est survenue en 1856, à l'âge de 80 ans. Ses ateliers d'horlogerie sont passés aux mains de ses élèves et collaborateurs, les deux frères Ungerer, père et oncle de l'auteur de ces lignes; depuis, le réglage, l'entretien, ainsi que le remontage hebdomadaire de l'horloge ont toujours été confiés aux chefs de la maison Schwilgué-Ungerer.

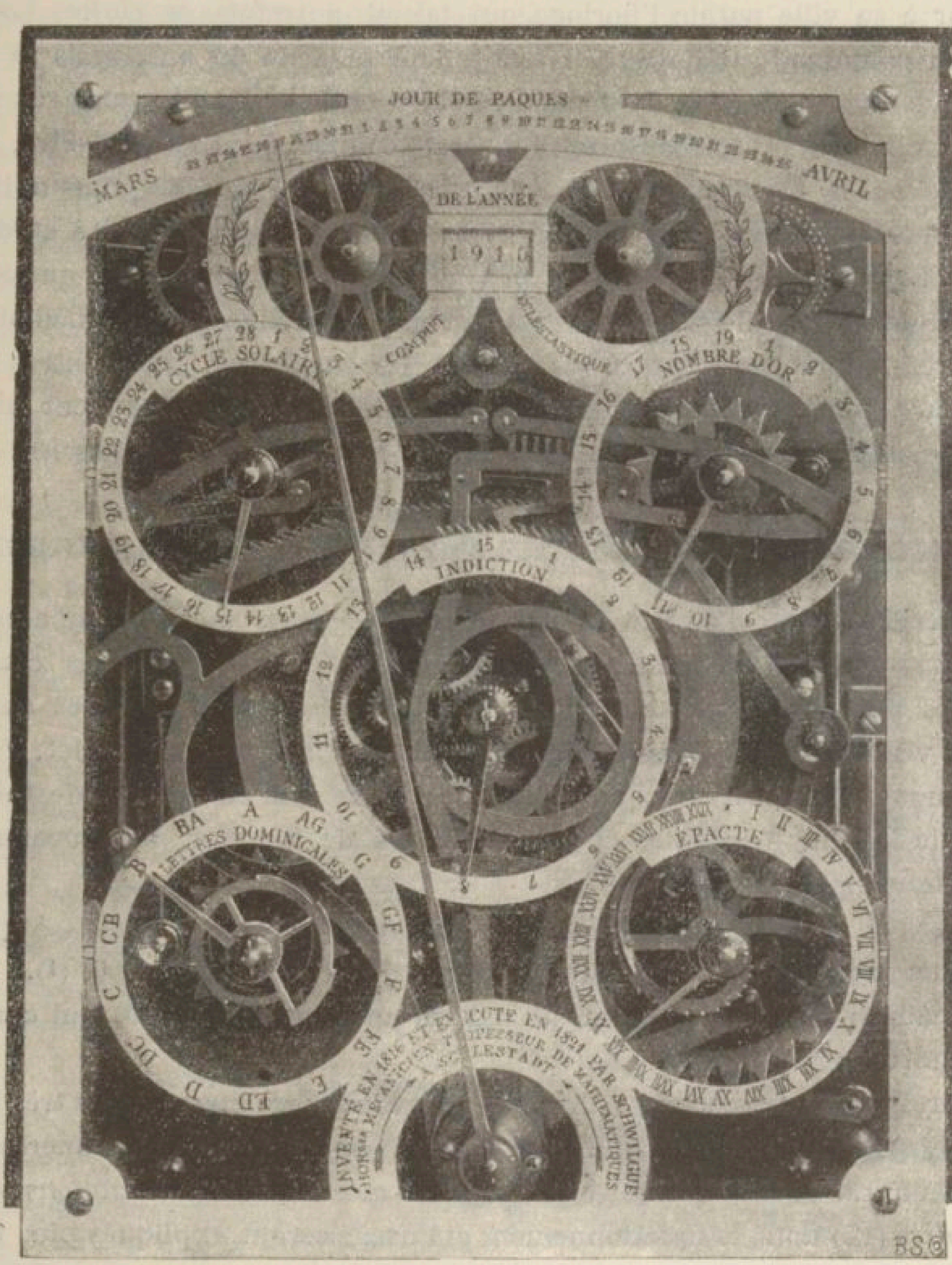


Fig. 45. — Modèle du comput ecclésiastique que SCHWILGUÉ exécuta en 1821; il mesure 15×20^{cm}, et renferme toutes les données et indications du grand comput de l'horloge astronomique. Il est de plus muni d'une aiguille indiquant la date du Dimanche de Pâques. Pour obtenir les indications de l'année suivante ou de l'année écoulée, il suffit de faire faire un tour soit à droite soit à gauche à une petite manivelle placée à l'arrière de l'appareil.

Comme on vient de le voir, l'histoire de la troisième horloge et celle de son auteur sont inséparables. Pour apprécier exactement la valeur de l'œuvre, il est indispensable de bien pénétrer d'abord le caractère de l'homme, et c'est pourquoi nous avons fait de larges extraits dans son autobiographie. Schwilgué a connu le bonheur défini par Alfred de Vigny : « Une pensée de la jeunesse réalisée dans l'âge mûr ». Il a orienté sa vie entière vers le but final, s'instruisant lui-même, devenant un calculateur et un mécanicien hors ligne, créant un atelier d'horlogerie d'édifice, avec l'arrière-pensée de restituer un jour à sa ville natale l'horloge qui faisait autrefois sa gloire. Lorsqu'il reçut la commande définitive, il avait déjà plus de 60 ans, mais la partie théorique du travail était déjà sur pied : il y avait consacré toutes ses veilles, sans savoir même si la réalisation lui serait confiée. Jamais, peut-être, depuis l'époque où la foi des peuples construisait les cathédrales, aucun homme n'a poursuivi un but idéal et désintéressé avec plus de ténacité et d'abnégation. Les esprits chagrins diront peut-être qu'il eût mieux valu que Schwilgué consacrât ses talents si divers à quelque invention plus immédiatement utilitaire. Autant condamner les poètes, les musiciens, les peintres et les sculpteurs, parce qu'ils ne travaillent pas directement au bonheur matériel de l'humanité. Schwilgué était *artiste* autant que *savant* et *praticien*.

DESCRIPTION SOMMAIRE DE L'HORLOGE ACTUELLE

Extérieurement, l'édifice actuel ne diffère guère par son apparence de l'ancienne horloge de 1574 (fig. 42). Les nouveaux mécanismes conçus et exécutés par Schwilgué n'ont pu être disposés les uns à côté des autres et rendus visibles de l'extérieur comme il eût été désirable. En effet, l'auteur s'est imposé de conserver l'ancien édifice, construit en pierres de taille, de $7^{m},70$ de largeur à la base, et de 18 mètres de hauteur, le couronnement gothique compris.

Au centre de la partie inférieure, se trouve le cadran de Temps Apparent, sur lequel se meuvent les aiguilles du Soleil (9) et de la Lune (10) [1].

Le cadran est entouré lui-même par un anneau mobile (16) qui constitue le calendrier civil.

A droite et à gauche du cadran, se trouvent deux mécanismes très importants, disposés dans des vitrines, et qui sont les seuls que l'on aperçoive de l'extérieur. La vitrine de droite renferme le mécanisme des *équations solaires et lunaires* (12) dont le fonctionnement et l'usage seront expliqués plus loin en détail. Dans celle de gauche (17), on aperçoit le rouage du *comput ecclésiastique*, qui dans la nuit du 31 décembre au 1er janvier se déclanche à minuit pour mettre automatiquement en place sur le calendrier les fêtes mobiles de l'année qui commence.

Devant l'édifice, une *sphère céleste* (13) sur laquelle sont représentées les constellations fait un tour sur elle-même en un jour sidéral.

Au-dessus du cadran de Temps Apparent est indiqué le jour de la semaine par la figure symbolique correspondante (1), puis le Temps Moyen sur un

(1) Les nombres entre parenthèses se rapportent au schéma, figure 46.

cadran ordinaire (8). De part et d'autre de ce dernier cadran sont placés deux anges : celui de gauche (2) sonne les premiers coups des quarts ; celui de droite (3) renverse un sablier aux heures entières.

En s'élevant ensuite jusqu'au haut de l'édifice, on rencontre successivement le *planétaire* (14), le *globe lunaire* (15) qui montre les phases de la Lune, les figures symboliques des quatre âges de la vie (4), qui sonnent les seconds coups des quarts, et la Mort (5) qui sonne les heures, enfin les Apôtres (6) qui défilent devant le Christ chaque jour à midi.

A gauche de l'édifice principal, en haut d'une tourelle à l'intérieur de laquelle se trouvent les poids moteurs de la plus grande partie des rouages, on aperçoit le Coq (7) qui bat des ailes et chante trois fois pendant le défilé des Apôtres.

Bien entendu, c'est surtout la partie astronomique de l'Horloge et le Calendrier perpétuel qui vont retenir notre attention. Pour nous, comme pour Schwilgué, les automates représentent une tradition plusieurs fois séculaire; ils ont contribué pour une large part à la réputation de l'Horloge et ce sont eux qui attirent journellement les touristes, mais ils n'ajoutent rien à la valeur scientifique de l'œuvre. Les solutions trouvées et réalisées par Schwilgué pour les problèmes astronomiques sont remarquables tant au point de vue théorique qu'au point de vue mécanique, et sont malheureusement en grande partie inédites. Notre but est de les faire connaître dans leur principe, en attendant qu'une publication plus étendue ne leur soit consacrée.

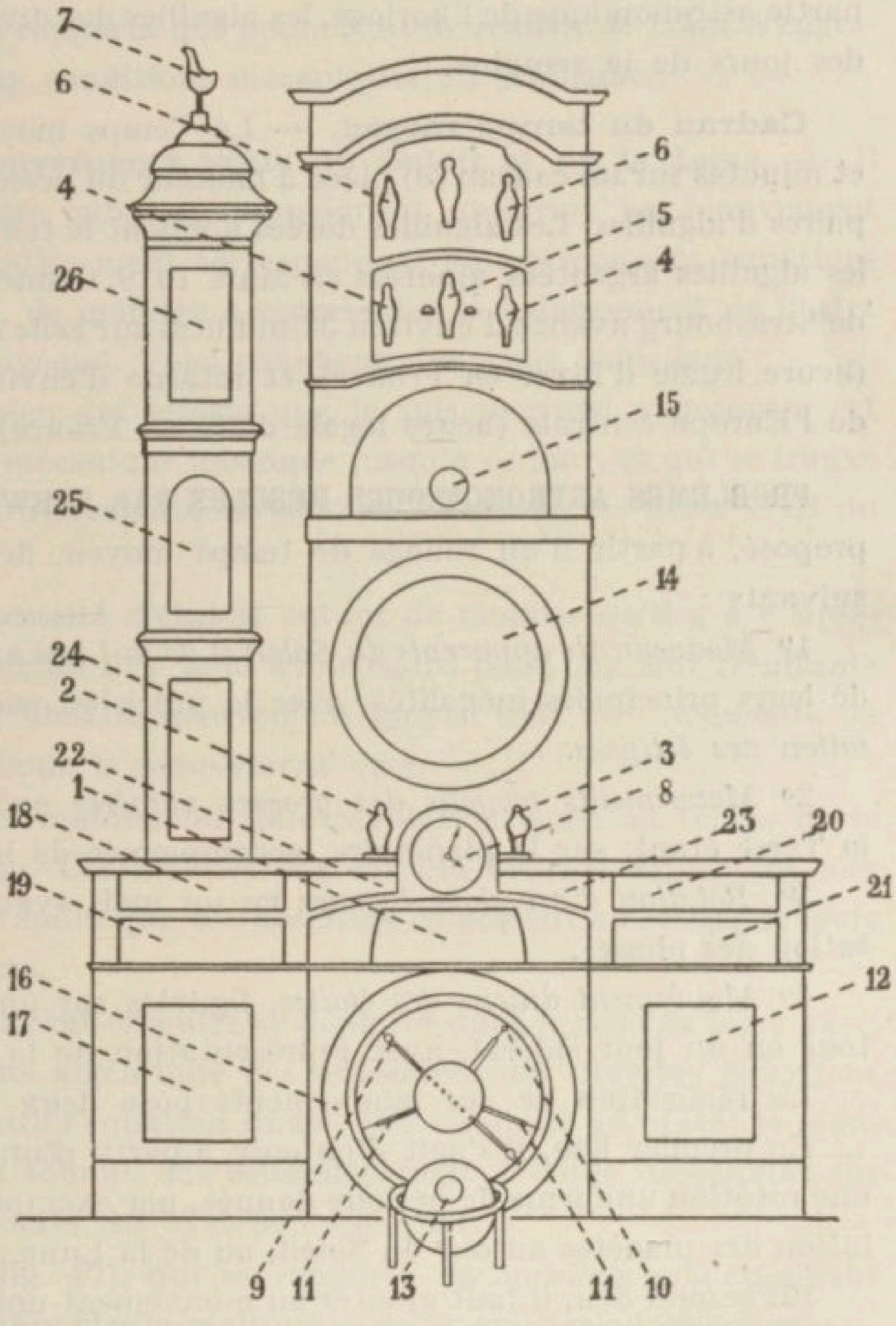


Fig. 46.

MÉCANISMES ASTRONOMIQUES.

Rouage moteur. — Au premier étage, derrière le cadran du planétaire, sont placés les rouages moteurs principaux. Le régulateur, à force constante, est muni d'un pendule compensateur à grille, battant la seconde de temps moyen, avec échappement Graham-Schwilgué. Ce régulateur déclanche toutes les cinq secondes un rouage moteur qui met en mouvement toute la partie astronomique de l'horloge, les aiguilles des divers cadrans, et le carrousel des jours de la semaine.

Cadran du temps moyen. — Le Temps moyen est indiqué en heures et minutes sur un cadran (8) placé à hauteur du premier étage et muni de deux paires d'aiguilles. Les aiguilles dorées donnent le temps moyen de Strasbourg ; les aiguilles argentées, ajoutées en Mars 1919, donnent l'heure légale. L'heure de Strasbourg avance d'environ 31 minutes sur celle du méridien de Greenwich (heure légale d'hiver en France) et retarde d'environ 29 minutes sur celle de l'Europe centrale (heure légale d'été en France).

PROBLÈMES ASTRONOMIQUES RÉSOLUS PAR SCHWILGUÉ. — Schwilgué s'est proposé, à partir d'un rouage de temps moyen, de réaliser les mouvements suivants :

1° *Mouvements apparents du Soleil et de la Lune* autour de la Terre, affectés de leurs principales inégalités, avec la précision nécessaire pour la *représentation des éclipses.*

2° *Mouvements moyens des grosses planètes anciennes* autour du Soleil, la Terre étant, sur le planétaire, accompagnée de la Lune.

3° *Rotation d'un globe lunaire* en un mois synodique, pour la représentation des phases.

4° *Mouvement diurne des étoiles*, figurées sur un globe céleste faisant un tour en un jour sidéral, avec représentation de la *précession des équinoxes.*

La réalisation de ces mouvements pose deux problèmes mécaniques :

En premier lieu, il s'agit d'obtenir, à partir d'un rouage de temps moyen, une rotation uniforme de période donnée, par exemple égale à celle de la révolution des planètes autour du Soleil, ou de la Lune autour de la Terre.

En second lieu, il faut ajouter au mouvement uniforme un certain nombre d'inégalités périodiques, de manière à transformer le mouvement moyen en mouvement vrai. Cette transformation n'était nécessaire que pour le mouvement des aiguilles solaire et lunaire, Schwilgué s'étant proposé la représentation automatique des éclipses. En outre, comme ces aiguilles doivent reproduire les mouvements du Soleil et de la Lune en ascension droite, il faut projeter, sur le plan de l'équateur, les mouvements orbitaux que fournissent directement les mécanismes.

Réalisation des périodes astronomiques. — La réalisation d'une période déterminée à partir du rouage moteur, se fait par l'intermédiaire d'un train d'engrenages, dont Schwilgué a calculé le nombre de pignons et de dents de manière à obtenir à la fois des roues faciles à construire et un mécanisme proportionné et élégant. Il s'imposait, en outre, de réduire l'erreur sur la période autant qu'il lui était possible. Nous en verrons quelques exemples.

Les périodes à réaliser ne sont pas en général commensurables avec celle du rouage moteur. Schwilgué a dans chaque cas calculé un certain nombre de rapports commensurables très voisins de celui qu'il fallait obtenir, il choisissait ensuite celui de ces rapports qui permettait de réaliser le train d'engrenages le plus adéquat aux conditions mécaniques du problème.

Réalisation des mouvements vrais du Soleil et de la Lune. — Il s'agit maintenant de faire subir au mouvement uniforme un mouvement d'accélération ou de ralentissement correspondant aux principales équations ou inégalités périodiques, de manière à représenter le balancement de l'astre autour de sa position moyenne. Voici comment s'exprime Schwilgué :

« Ce n'est qu'après bien des efforts que je suis parvenu à produire cet « effet, par une méthode mécanique inconnue jusqu'à ce jour, et qui se trouve « basée sur des principes astronomiques servant à calculer les lieux vrais du « Soleil et de la Lune.

« Cette méthode a nécessité d'établir autant de mobiles qu'il y a d'équa- « tions principales, auxquelles il a fallu avoir égard pour que leur résultante « fût égale à la quantité dont le mouvement moyen doit être augmenté ou « diminué à l'effet d'obtenir le mouvement vrai.

« Ainsi, chacun de ces mobiles fait une révolution égale au temps de la « période de son équation. Ces mobiles portent des courbes répondant aux « valeurs des équations tandis que les abscisses coïncident au temps de leurs « mouvements périodiques.

« Tous ces mobiles peuvent en outre se déplacer dans le sens de leurs axes, « afin d'obtenir la somme algébrique des ordonnées des diverses équations « qui concourent à produire l'équation finale. Cette somme ou plutôt le mou- « vement résultant de la somme des ordonnées agit à l'aide de renvois sur « les organes correspondants du système apparent. »

Le schéma ci-après (fig. 47), qui se rapporte au mécanisme actionnant l'aiguille solaire, fera comprendre la réalisation de la conception de Schwilgué.

Les inégalités sont des fonctions sinusoïdales du temps, ce sont donc des sinusoïdes m que nous trouverons enroulées sur les divers mobiles dont parle Schwilgué.

Sur la sinusoïde m que porte la roue K repose une traverse p assujettie à se mouvoir dans un plan vertical ; cette traverse porte à ses deux extrémités des galets pour pouvoir rouler sur la sinusoïde m, et elle supporte le mobile L d'une autre équation sur lequel est enroulée la sinusoïde m' de cette équation. Une traverse q assujettie à se mouvoir dans le même plan que p roule sur la sinusoïde m'. La traverse q agit sur la tige de transmission h.

Sous l'effet de la rotation des mobiles K et L, les traverses p et q sont alternativement soulevées et abaissées et la tige h est animée du mouvement résultant.

Pour que les traverses restent horizontales, il a fallu doubler les sinusoïdes sur les divers mobiles, d'où la nécessité de doubler leurs périodes de rotation.

L'accélération ou le ralentissement du mobile qui porte l'aiguille j s'obtient au moyen de deux pignons satellites c et d solidaires, *faisant partie de l'engrenage réducteur* et fixés sur un même arbre de renvoi, dont les pivots tournent dans le cadre eg mobile autour du centre f des roues b et i ; ce cadre est relié en g à la tringle de renvoi h. La roue b actionnée par le pignon moteur a engrène dans c, et d engrène avec la roue i.

Lorsque le cadre eg est immobile, la roue i et par suite l'aiguille j tournent d'un mouvement uniforme ; mais si le cadre eg s'élève sous l'influence du mécanisme des équations, le pignon d étant plus grand que le pignon c, il en résultera pour la roue i et l'aiguille j qui en est solidaire une accélération du mouvement vers la droite. Lorsqu'au contraire le cadre eg redescend, l'aiguille j subit un ralentissement.

Or, si l'astre vrai est en avance dans son orbite par rapport à l'astre moyen, il passe au méridien *après* ce dernier; donc, dans ce cas, l'aiguille j doit être retardée. L'abaissement du cadre correspond donc à une avance dans l'orbite, son élévation correspond au contraire à un retard.

MOUVEMENT DE L'AIGUILLE SOLAIRE. — TEMPS VRAI. — Pour représenter le mouvement diurne du Soleil en Æ, c'est-à-dire en projection sur l'équateur, il a fallu réaliser, ce qui ne présentait aucune difficulté, un train d'engrenages communiquant à la roue i, lorsque le pignon de renvoi cd est fixe, une période de 24 heures de temps moyen.

En projection sur l'équateur, le mouvement du Soleil est soumis à deux inégalités périodiques principales :

1° *L'équation du centre*, due à la variation de vitesse de la Terre sur son orbite (ellipse décrite suivant la loi des aires), et dont la période est par suite l'*année anomalistique* ou intervalle de temps limité par deux passages consécutifs de la Terre au périhélie (365 jours 6 heures 13 minutes 56 secondes).

2° *La réduction de l'écliptique à l'équateur*, ou différence entre l'ascension droite et la longitude, qui dépend de l'*année tropique* ou intervalle de temps qui ramène le Soleil à l'équinoxe vrai (365 jours 5 heures 48 minutes 48 secondes).

A chacune de ces inégalités correspond une sinusoïde dans le mécanisme des équations solaires. Le pignon k entraîne le mobile K à raison d'un demi-tour en 365 jours 6 heures 13 minutes 56 secondes. La sinusoïde m portée par le mobile K a 23^{mm} de différence entre ses ordonnées extrêmes (l'échelle adoptée par Schwilgué est de 6^{mm} de déplacement vertical pour un degré de correction).

Lorsque l'anomalie du Soleil croît, à partir du 2 janvier, de 0° à 180°, le Soleil vrai est en avance, dans le plan de l'écliptique, sur un Soleil fictif qui se déplacerait d'un mouvement uniforme en longitude. Par conséquent, la traverse p descend dans la partie concave de la sinusoïde m qui correspond aux corrections positives ; dans ce cas en effet, la transmission abaisse le cadre eg, ce qui, nous l'avons vu, correspond à une avance du Soleil dans l'écliptique. La correction s'annule lorsque le Soleil traverse la ligne des apsides au 2 juillet. Puis, l'anomalie du Soleil croissant de 180° à 360°, le Soleil vrai se trouve en retard. La traverse p s'élève jusqu'au sommet de la sinusoïde m, qui correspond aux corrections négatives, puisque, dans ce mouvement, le cadre eg s'élève.

Le mobile L supporté par la traverse p est entraîné par le pignon l à raison d'un demi-tour en 365 jours 5 heures 48 minutes 48 secondes. Il porte la

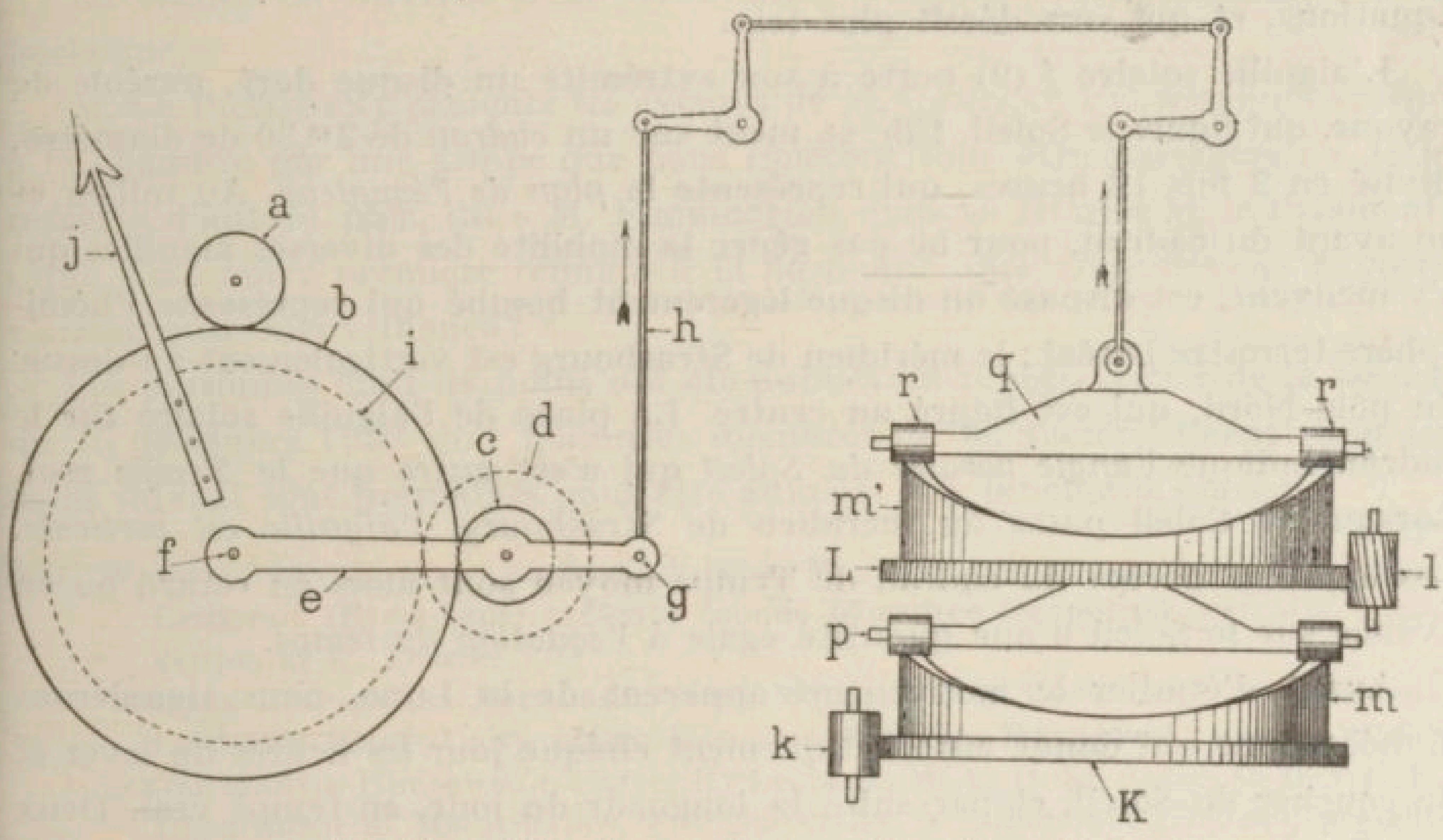


Fig. 47. — Mécanisme actionnant l'aiguille solaire.

sinusoïde m' qui a pour différence de niveau entre ses ordonnées extrêmes $29^{mm},6$. Ici, la sinusoïde m' est répétée 4 fois sur le pourtour, car la correction pour passer des longitudes aux Æ s'annule pour L = 0°, 90°, 180°, 270°. Elle est négative dans le premier et le troisième quadrants, positive dans le deuxième et le quatrième. La traverse q commence par s'élever à partir de sa position moyenne qui correspond à une correction nulle au moment de l'équinoxe de printemps.

Cependant, si le mobile tournait d'un mouvement uniforme, la correction qu'il fournirait correspondrait à la longitude moyenne. Or, c'est la longitude vraie qu'il s'agit de projeter. Le mouvement du mobile L doit donc subir une avance ou un retard correspondant à l'avance ou au retard de la longitude vraie par rapport à la longitude moyenne. Schwilgué y parvient par un artifice extrêmement ingénieux, en utilisant le mouvement de montée et de descente du mobile L sous l'influence de la sinusoïde m. A cet effet, le pignon l est à denture hélicoïdale à gauche ; de la sorte le mouvement de descente de

L lui donnera en même temps une avance; et inversement, l'ascension correspondra à un retard. La pente de l'hélice qui fournit la correction exacte est de 12°13′. Pour tailler la denture de ce pignon, Schwilgué a dû d'abord construire une machine spéciale.

En résumé, le mécanisme des équations solaires fournit à la fois les corrections pour passer du mouvement moyen au mouvement vrai dans l'orbite, et de celui-ci au mouvement projeté dans l'équateur. Cette solution est possible, à cause de la faible amplitude de la première correction et à cause de la fixité de l'écliptique par rapport à l'équateur. Nous verrons qu'il n'en va pas de même pour la Lune, dont le mouvement est beaucoup plus compliqué ; Schwilgué, dont l'imagination était si féconde, a eu alors recours, pour réaliser la projection dans l'équateur, à un mécanisme entièrement différent de celui des équations, et qui sera décrit plus loin.

L'aiguille solaire *j* (9) porte à son extrémité un disque doré, auréolé de rayons, qui figure le Soleil. Elle se meut sur un *cadran* de 2^{m},30 de diamètre, divisé en 2 fois 12 heures, qui représente le *plan de l'équateur*. Au milieu et en avant du cadran, pour ne pas gêner la mobilité des diverses aiguilles qui s'y meuvent, est disposé un disque légèrement bombé qui représente l'hémisphère terrestre boréal ; le méridien de Strasbourg est verticalement au-dessus du pôle Nord, qui est figuré au centre. La place de l'aiguille solaire sur le cadran indique l'*angle horaire du Soleil* qui n'est autre que le *Temps vrai*. Lorsque le Soleil passe au méridien de Strasbourg, l'*aiguille est verticale*. Les aiguilles dorées du cadran de Temps moyen sont alors en retard ou en avance sur le Soleil d'une quantité égale à l'*équation du temps*.

Avant d'étudier le mouvement apparent de la Lune, nous signalerons le mécanisme qui donne automatiquement chaque jour les heures du lever et du coucher du Soleil, et par suite la longueur du jour, en temps vrai. Deux aiguilles (11) portant les inscriptions « Lever du Soleil » et « Coucher du Soleil » sont actionnées symétriquement par une courbe décrivant un tour en une année. Cette courbe est mue par le rouage moteur qui actionne le calendrier civil à minuit [1].

(*A suivre.*)

ALFRED UNGERER.
Fabricant d'Horloges à Strasbourg,
Successeur de SCHWILGUÉ.

[1] Nous pensons réunir cette série d'articles consacrés à l'Horloge astronomique de la Cathédrale de Strasbourg en une brochure spéciale d'une cinquantaine de pages, tirée avec grand soin sur beau papier, et illustrée de nombreuses figures, à la condition qu'*elle nous soit demandée par un nombre suffisant de souscripteurs*. Il n'est pas encore possible d'en fixer le prix, mais nous prions instamment ceux des lecteurs de cette Revue qui désireront la recevoir, d'écrire *dès à présent* à notre Trésorier, M. Leroy, 188, rue du Faubourg-Saint-Martin, à Paris (10^{e}). Si le tirage a lieu, nos collègues en seront avisés en temps utile et nous leur indiquerons en même temps le prix de souscription.

LA RÉDACTION.

laquelle j'ai distingué des sillons obscurs. Le voisinage du centre est plus lumineux ».

A l'Observatoire du Mont Wilson, M. Frédéric Seares (1) a fait d'importantes études sur le spectre des nébuleuses spirales, notamment des Messiers 51, 94 et 99, à l'aide de filtres sélectionnés pour les couleurs, le temps de pose pour la lumière jaune étant six fois plus long que pour la bleue. Les nœuds de nébulosité se montrent plus bleus que les étoiles les plus bleues du voisinage. On connaît, d'autre part, l'activité actinique si marquée de l'étoile centrale de la nébuleuse annulaire de la Lyre.

La science avance par bonds successifs. On peut se demander ce que l'optique future nous révélera dans cent ans!

(*A suivre.*) CAMILLE FLAMMARION.

L'HORLOGE ASTRONOMIQUE

DE LA CATHÉDRALE DE STRASBOURG *(Suite)* (2)

MOUVEMENTS DE L'AIGUILLE LUNAIRE. — L'aiguille qui représente la Lune sur le cadran du Temps apparent est animée de trois mouvements distincts :

I. — *Un mouvement de révolution* autour de la Terre immobile au centre du cadran, à l'effet de représenter le mouvement diurne de la Lune dans le ciel. Ce mouvement, dont la période est égale au jour lunaire moyen ($24^h 50^m 28^s$) est tour à tour accéléré ou ralenti par le mécanisme des équations lunaires, et projeté sur le plan de l'équateur, pour obtenir finalement le mouvement en ascension droite.

II. — *Un mouvement de rotation* sur elle-même en un mois synodique, pour indiquer les phases de la Lune. Dans ce but, l'aiguille lunaire est munie à son extrémité d'une petite boule mi-partie noire, mi-partie argentée.

III. — *Un mouvement de translation,* parallèle à l'axe de l'aiguille, qui est ainsi tantôt allongée et tantôt raccourcie, suivant les variations de la latitude de la Lune, pour pouvoir représenter mécaniquement les éclipses de Soleil et de Lune.

Etudions successivement ces trois mouvements particuliers.

I. — Mouvement apparent de la Lune. — Le mouvement apparent de la Lune est beaucoup plus compliqué que celui du Soleil. Principalement à cause de l'action simultanée du Soleil et de la Terre sur la Lune, il est nécessaire, pour représenter sa position d'une façon précise, de tenir compte d'un grand nombre d'inégalités. Toutefois, nous verrons que Schwilgué a pu obtenir une représentation suffisamment correcte pour le but qu'il se proposait en se limitant aux cinq inégalités principales.

Si le mouvement de la Lune s'effectuait dans l'écliptique même, il aurait suffi de superposer aux courbes des inégalités de la Lune une sinusoïde identique

(1) Carnegie Institution of Washington : *Communications to the National Academy of Sciences*, N° 36. Octobre 1916.

(2) Voir *L'Astronomie* de mars 1921, pp. 89 à 102.

à celle qui sert à projeter le mouvement du Soleil dans l'Equateur (Voir page 101); la période du mobile correspondant seule aurait changé, devenant ici égale au mois tropique.

Mais on sait que la Lune se meut dans un plan incliné en moyenne de $5^\circ 8'$ sur l'écliptique et que, d'autre part, la *ligne des noeuds*, ou intersection de ce plan avec l'écliptique, ne conserve pas une direction fixe, mais tourne dans le sens rétrograde en 18 ans 2/3 environ.

L'orbite lunaire est donc inclinée sur le plan de l'équateur d'un angle qui varie avec le temps. Lorsque le nœud ascendant de l'orbite coïncide avec le

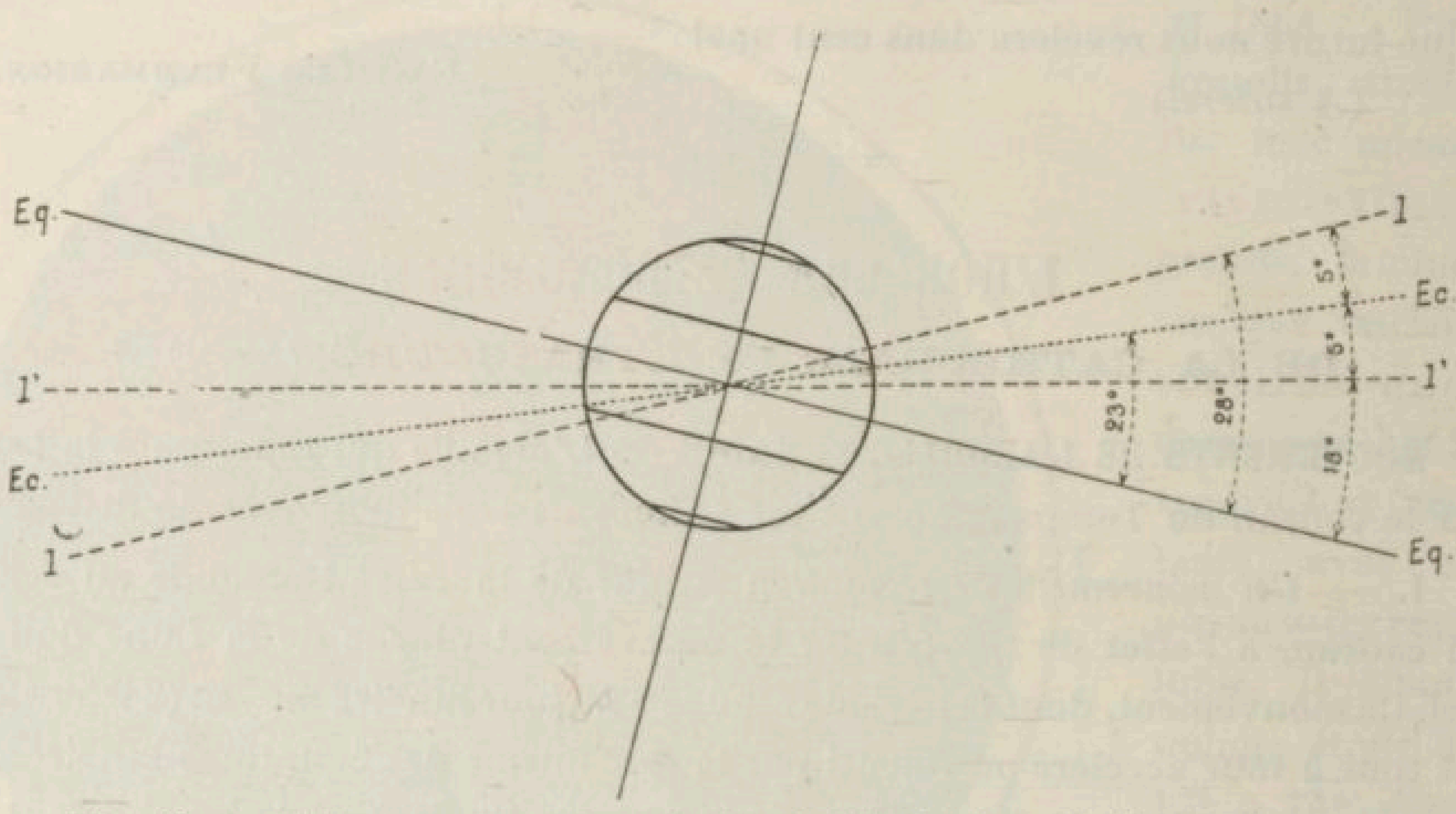


Fig. 60. — Schéma montrant la variation de l'inclinaison de l'orbite lunaire par suite de la rétrogradation des nœuds.

point vernal, l'inclinaison sur l'équateur atteint son maximum en l (fig. 60) qui est égal à :

$$23^\circ 28' + 5^\circ 8' = 28^\circ 36' ;$$

lorsque c'est au contraire le nœud descendant qui se confond avec le point vernal, l'inclinaison passe par son minimum, en l' :

$$23^\circ 28' - 5^\circ 8' = 18^\circ 20'.$$

La correction positive ou négative qu'il faut faire subir à la longitude de la Lune pour obtenir son ascension droite dépend ainsi d'un argument variable avec le temps.

Nous voyons donc déjà que pour obtenir la projection sur l'équateur du *mouvement moyen dans l'orbite*, il faudrait superposer deux sinusoïdes d'amplitudes et de périodes différentes. Mais, pour la Lune, de même que pour le Soleil, il est nécessaire d'obtenir la correction pour le *mouvement vrai*; par conséquent, il faudrait donner aux mobiles supportant ces deux sinusoïdes une avance ou un retard proportionnels à la somme des équations proprement dites. Or, dans le cas du Soleil, ce qui était possible mécaniquement pour une seule sinusoïde, grâce à l'artifice du pignon hélicoïdal, devient impossible dans le cas de la Lune, puisque la seconde sinusoïde de projection subirait un mouvement de montée et de descente non seulement sous l'influence des équations proprement dites, mais encore de la première courbe de projection.

Schwilgué fut ainsi amené à chercher une *solution nouvelle du problème de la projection* ; il avait à un trop haut degré le sens de l'harmonie des rouages, pour que son imagination toujours en éveil ne réussisse pas à trouver une solution entièrement satisfaisante. Il a donc conçu un mécanisme extrêmement ingénieux pour réaliser *à la fois* le mouvement diurne de la Lune dans son orbite et sa projection sur le plan de l'équateur.

De même que pour les équations il avait employé une méthode mécanique « qui se trouve basée sur des principes astronomiques servant à calculer les lieux vrais du Soleil et de la Lune », de même pour ce nouveau problème il s'est proposé de construire un ensemble de rouages qui soit une image exacte des mouvements de la Lune tels qu'ils se produisent dans le Ciel. Si l'horloge de Strasbourg possède un intérêt éducatif aussi considérable, c'est à cette complète identité entre les mouvements des rouages et les mouvements célestes qu'elle en est redevable : son étude détaillée rend pour ainsi dire tangibles les principes fondamentaux de l'astronomie.

Le mouvement diurne de la Lune en ascension droite dépend :

1° Du mouvement diurne de la sphère céleste;

2° Du déplacement de l'orbite par suite de la rétrogradation des nœuds;

3° Du déplacement de la Lune sur son orbite;

4° De la projection de l'orbite sur l'équateur.

Réalisation mécanique de ces mouvements. — Schwilgué a eu recours à un *mobile principal S* (fig. 62) qui, au moyen d'un engrenage réducteur non représenté sur le schéma, « fait un tour en un jour sidéral qui est le temps que le point vernal ou l'équinoxe mobile emploie pour revenir au méridien. » [1]

Ce mobile S tourne autour de la broche fixe a; sur la même embase que S est fixé un disque dont le plan fait avec celui de S et par suite avec celui de

[1] Pour réaliser le jour sidéral, Schwilgué a employé un engrenage réducteur que nous donnons ici comme exemple. Il a cherché à se rapprocher le plus possible du rapport de Bessel :

$$B = \frac{\text{jour moyen}}{\text{jour sidéral}} = \frac{164809}{164359} = 1^{\text{j}},002737909089.$$

Le rapport A choisi, dont le numérateur et le dénominateur sont tous deux décomposables en plusieurs facteurs premiers simples, est :

$$A = \frac{272118}{271375} = 1^{\text{j}},002737908797.$$

Comme la roue motrice qui agit sur cet engrenage fait un tour en 2 heures, c'est le rapport 12 A qui est employé sous la forme suivante :

$$12\,A = \frac{334}{28} \times \frac{65}{341} \times \frac{300}{57}.$$

Cet engrenage donne d'après le rapport admis aujourd'hui une erreur d'une seconde en 65 ans environ. Nous verrons en étudiant la sphère céleste placée devant l'horloge que dans ce second cas Schwilgué a inventé un mécanisme tout différent pour réaliser exactement le rapport B. Nous avons là une preuve de plus de l'ingéniosité de Schwilgué, qui ne se contentait pas d'une seule solution pour un même problème.

Eq. parallèle à *S* un angle constant de 23°28′, égal à l'inclinaison de l'Ecliptique sur l'Equateur.

Sur le disque solidaire de *S* tourne une *roue dentée Ec.* surmontée d'un *cylindre N* qui est coupé obliquement par rapport à l'écliptique *Ec.* L'angle de la section et de la roue *Ec.* est de 5°8′, angle moyen de l'orbite lunaire sur l'écliptique.

La *roue oblique L* qui représente l'orbite lunaire est montée folle sur la section du cylindre, en sorte qu'elle peut faire un angle variable avec *S* lorsque le cylindre *N*, mû par son rouage, tourne par rapport à *S*. Les positions extrêmes *L* et *L'* de la roue sont représentées sur le schéma (fig. 62) : la roue passe

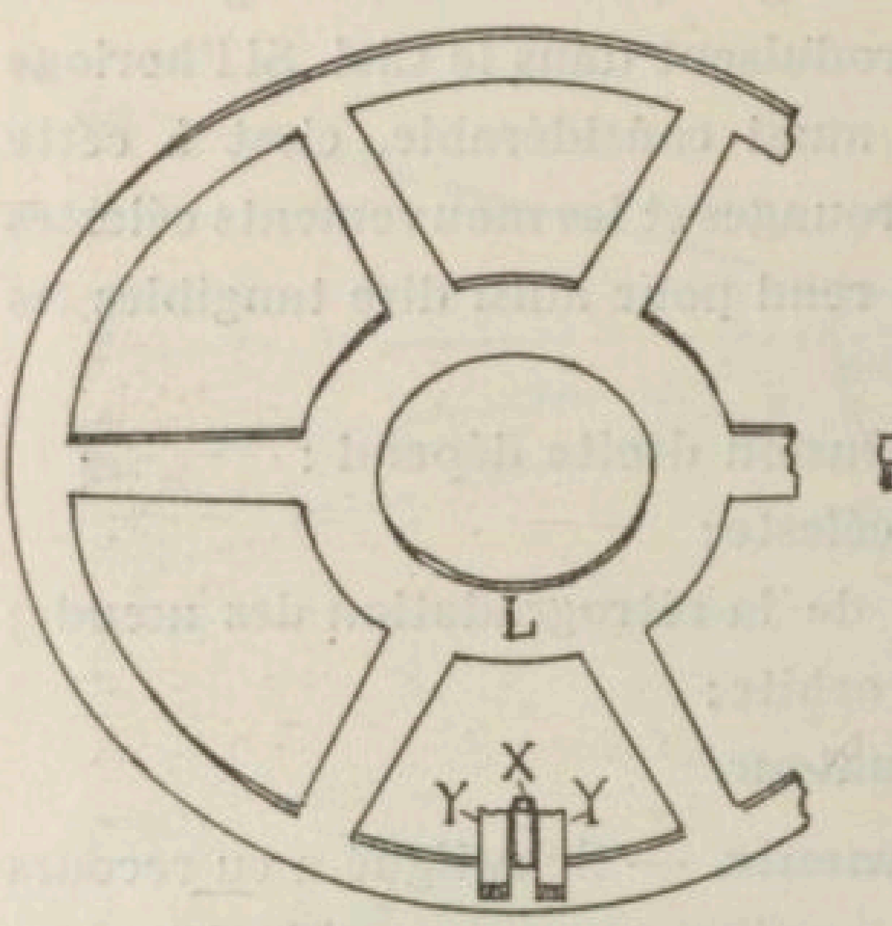


Fig. 61.

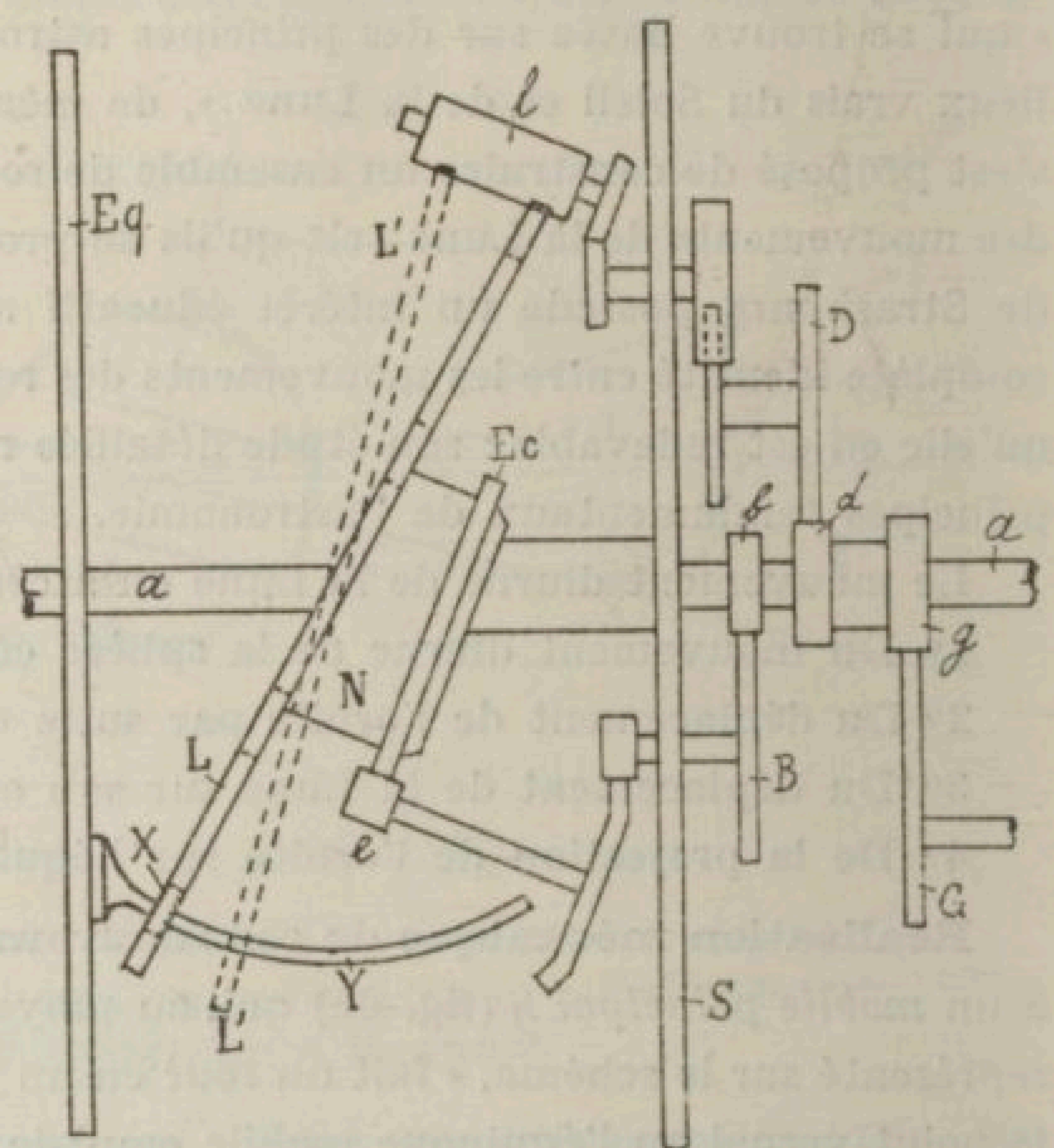


Fig. 62.

Schéma des rouages du mécanisme de la Lune.

Les pignons *l*, *e*, *D* tournent sur des broches fixées sur la roue S et qui, à dessein, n'ont pas été figurées. Le lecteur se reportera pour le détail à la photographie figure 63.

de l'une à l'autre de ces positions dans un intervalle de 9 ans 1/3 environ. Le cylindre *N*, qui a pour fonction d'effectuer une révolution rétrograde par rapport au mobile *S*, dans le même temps que celle des nœuds de la Lune par rapport au point vernal, est entraîné par un train de pignons satellites portés par le mobile *S* ; la première roue *B* engrène dans le pignon *b* fixe sur l'axe. Le train d'engrenages calculé en évaluant naturellement la période en jours sidéraux fait exécuter à *N* une révolution en $6798^j 6^h 39^m 1^s$ de temps moyen, période de rétrogradation des nœuds.

La *roue dentée L* est entraînée par le pignon *l* qui reçoit son mouvement d'un autre train d'engrenages satellites, porté par le mobile *S* et dont la première roue *D* engrène dans un pignon *d* solidaire d'un autre *g*, nous verrons bientôt pourquoi. *Un tenon X* (fig. 61) qui, sur la face intérieure de la jante de la roue lunaire *L*, représente la Lune, exécute ainsi par rapport au mobile *S* une révolution dans le sens direct en $27^j 7^h 43^m 4^s,7$ de temps moyen, durée égale à la révolution tropique de la Lune.

Nous avons donc finalement obtenu (en supposant pour l'instant le pi

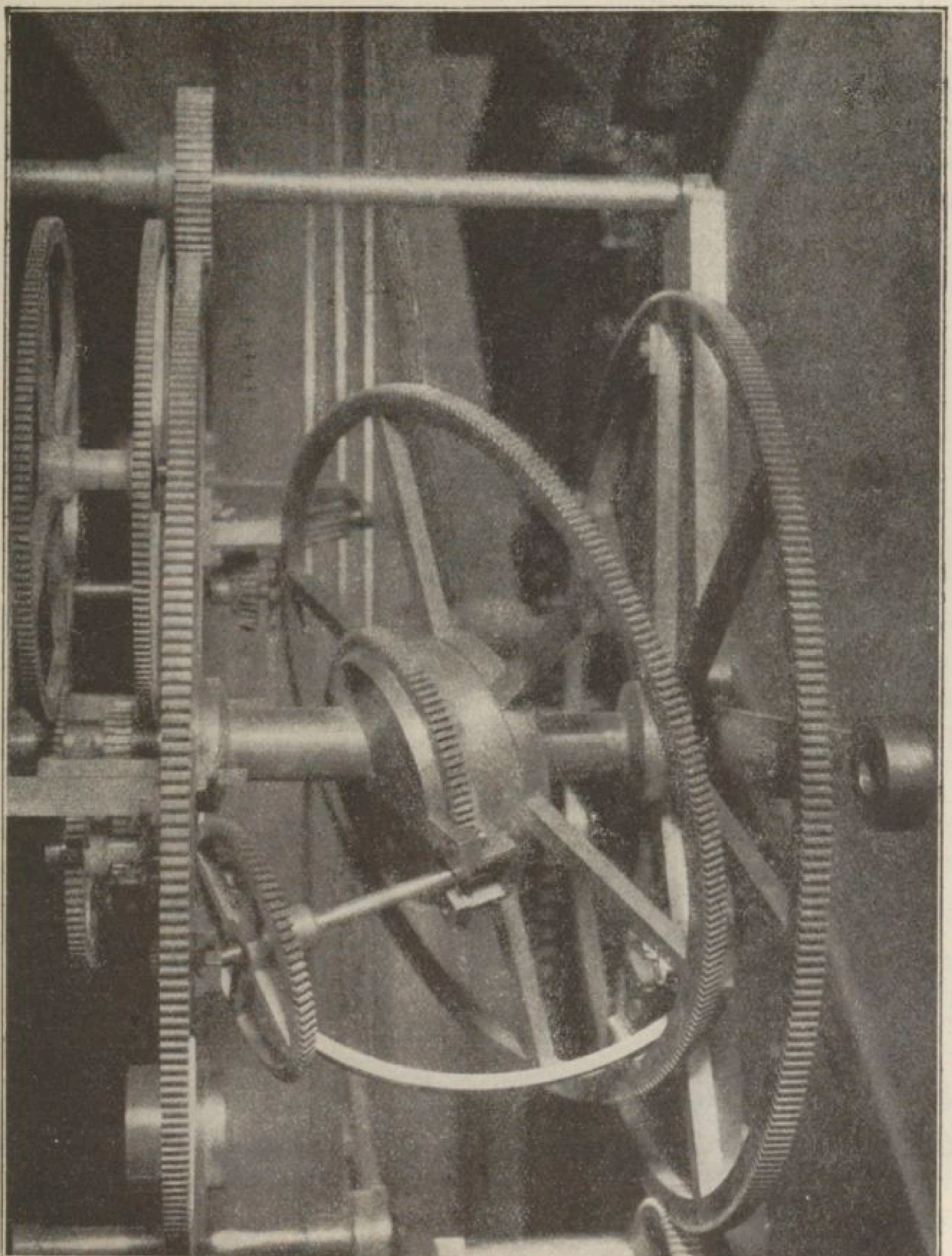


Fig. 63. — Mécanisme de la Lune.
La roue dentée de gauche est la roue *S*, celle de droite, la roue *Eq*.
A la partie supérieure et à gauche de *S*, l'engrenage satellite qui entraine la roue de la Lune : à la partie inférieure, celui qui actionne le mobile de la ligne des nœuds.

gnon *d* fixe sur l'axe) que le tenon X soit animé par rapport à *S* d'un mouvement égal au *moyen mouvement en longitude* de la Lune ; or, le mobile *S* fait un tour en un jour sidéral; le mouvement résultant du tenon X, pour un observateur supposé fixe au centre de la roue *L*, est donc identique au mouvement moyen de la Lune, tel qu'il se projette sur la sphère céleste pour un observateur placé au centre de la Terre. L'intervalle moyen des passages au méridien du tenon X est de $24^h50^m28^s$, c'est la durée du *jour lunaire moyen.*

Le tenon *X* communique son mouvement à la roue *Eq* par l'intermédiaire d'une coulisse *Y*, fixée sur *Eq*, et dans laquelle il peut glisser. Il passe d'un bout à l'autre de la coulisse, qui est concentrique avec le centre de la roue *L*, lorsque le jeu du mécanisme l'exige. Au moyen de la coulisse *Y*, la roue *Eq* exécute le *mouvement en ascension droite* de la Lune, qui finalement est communiqué à l'aiguille lunaire sur le cadran de Temps apparent.

En résumé, la roue *S* représente la Sphère céleste qui tourne en un jour sidéral en entraînant l'écliptique *Ec*. La roue *L* représente l'orbite de la Lune

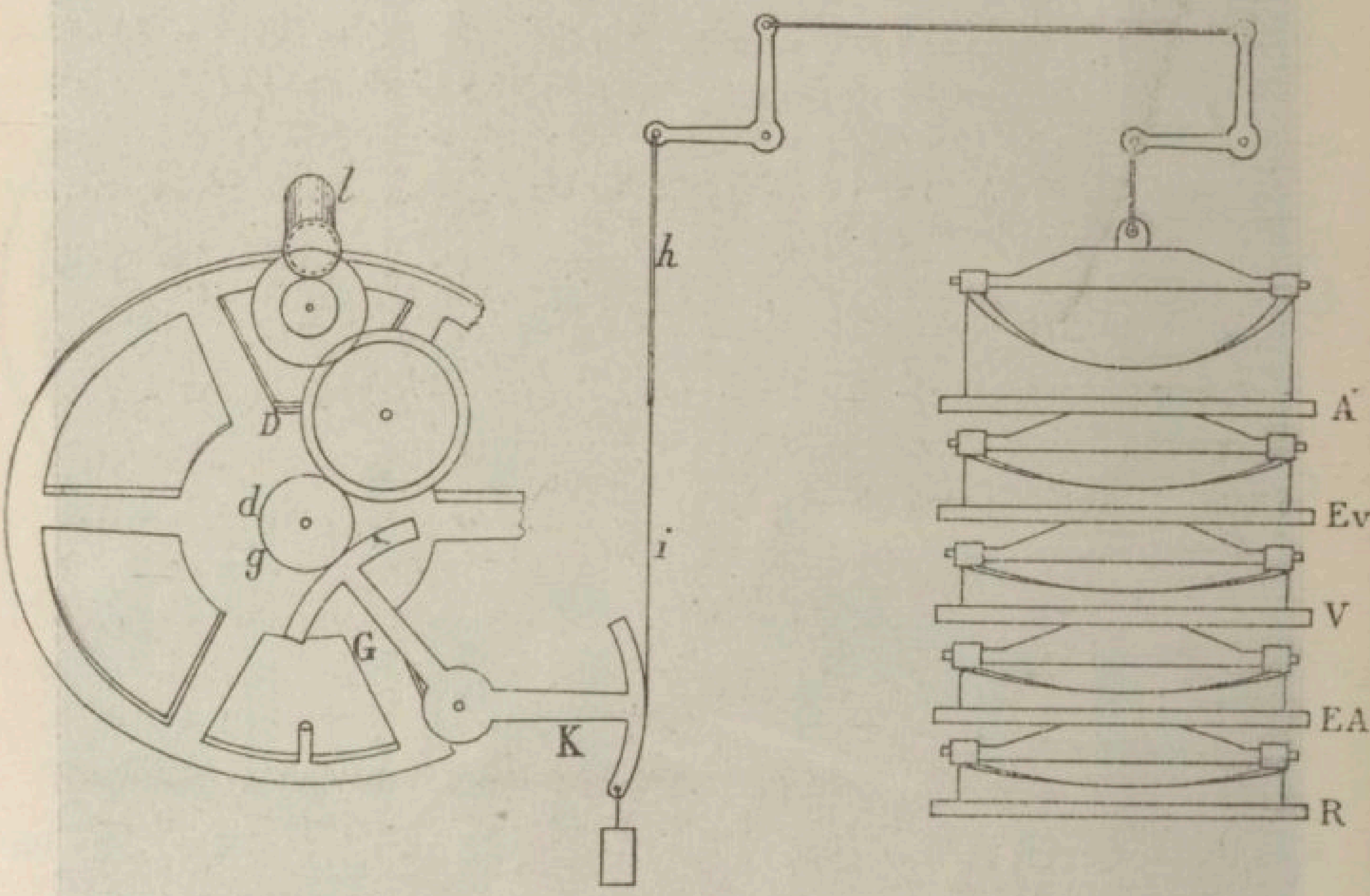


Fig. 64. — Transmission du mécanisme des équations aux rouages de la Lune.

inclinée d'un angle constant sur l'écliptique, mais d'un angle variable sur l'équateur, par suite de la rétrogradation des nœuds. Le tenon *X* représente la Lune, et la coulisse *Y* matérialise le cercle horaire de la Lune. On voit combien nous avions raison de dire que ce mécanisme est l'image de la réalité.

Transformation du mouvement moyen en mouvement vrai. — Pour que l'aiguille lunaire indique sur le cadran l'angle horaire vrai de la Lune, il est nécessaire que la position du tenon *X* à un instant quelconque corresponde à la longitude vraie, et non à la longitude moyenne. C'est dans ce but que les pignons *d* et *g* sont solidaires et fous sur l'axe *a*. Un rateau *G* (fig. 64), qui engrène dans le pignon *g*, peut ainsi lui communiquer un mouvement de rotation dans un sens ou dans l'autre sous l'influence du mécanisme des équations lunaires.

Lorsque, sous l'influence des équations, la tige *h* descend, le rateau *G* s'élève ; il communique à la roue D une rotation qui s'ajoute à son mouvement moyen, ce qui a pour conséquence évidente d'accélérer la roue L, et par suite de donner à la Lune une avance dans son orbite. Cela se traduit finalement par un ralentissement de l'aiguille lunaire sur le cadran, puisque, dans le Ciel,

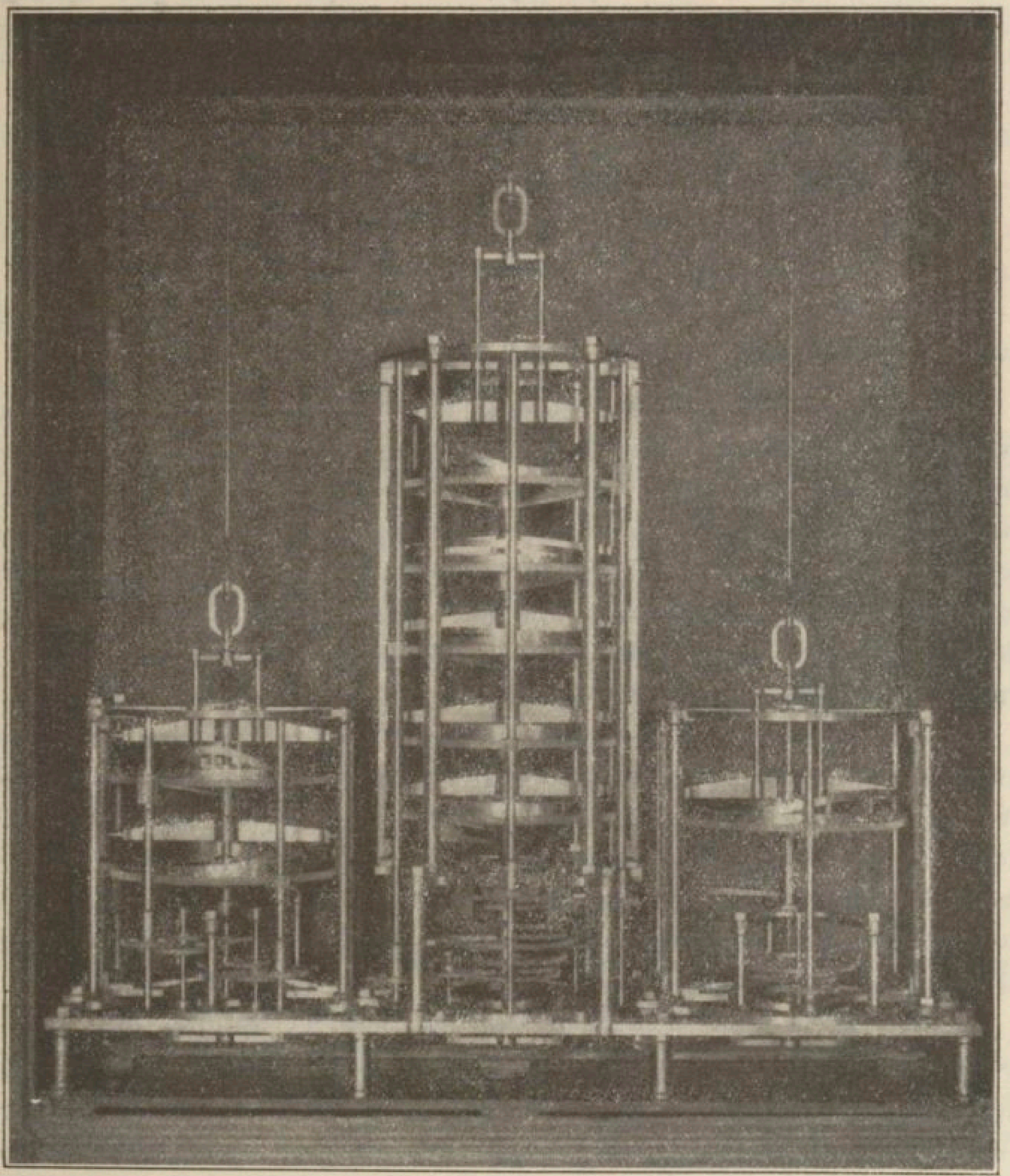


Fig. 65. — Mécanisme des équations solaires et lunaires.

A gauche, les deux courbes superposées correspondent à l'équation du centre et à la projection de la longitude vraie en Ascension droite (Voir mouvement de l'aiguille solaire au précédent article). — Au centre, les cinq équations lunaires qui agissent sur l'aiguille de la Lune pour la représentation du mouvement vrai. — A droite, la courbe qui effectue la correction nécessaire pour obtenir le mouvement des nœuds de la Lune en Ascension droite (courbe N, figure 67).

la Lune se déplace en sens inverse du mouvement diurne. Le contraire se produit quand, la tige i s'élevant, le rateau G redescend. Le tenon X, figurant la *Lune vraie*, sera ainsi en avance ou en retard par rapport à sa position moyenne de la quantité nécessaire.

La tige du mécanisme des équations est, à l'aide de renvois, reliée à la tige *h* elle-même terminée par un ruban d'acier *i* qui s'enroule sur un arc de cercle *K*, chargé d'un poids.

Equations lunaires. — Décrivons maintenant le mécanisme des équations lunaires (fig. 64) dont le principe est identique à celui des équations solaires décrites précédemment (voir page 101). Nous trouvons successivement, à partir du bas, cinq courbes qui correspondent à :

1° La réduction à l'écliptique, R :

2° L'équation annuelle, EA ;

3° La variation, V ;

4° L'évection, Ev ;

5° L'équation du centre, A ;

L'ordre choisi est celui des amplitudes croissantes, pour que chacun des mobiles ait le plus petit déplacement vertical possible.

1° Réduction à l'écliptique. — Lorsque, dans l'orbite, la position de la Lune est corrigée de toutes les inégalités connues, on obtient la *longitude moyenne dans l'orbite*, ou, en d'autres termes, *la longitude, comptée dans l'orbite, d'un mobile fictif qui se mouvrait d'un mouvement angulaire uniforme*. En projetant ce mouvement dans l'écliptique pour avoir la *longitude céleste*, il faut faire subir à la longitude dans l'orbite une correction qui porte le nom de *réduction à l'écliptique*. Cette inégalité ne résulte donc pas d'une perturbation, mais d'un simple changement de coordonnées.

Or, dans le mécanisme de la Lune, tel qu'il vient d'être décrit, le pignon *l* tourne d'un mouvement uniforme, lorsque le pignon *d* est supposé fixe sur l'axe *a* et imprime donc au tenon *X* un *mouvement uniforme en longitude dans l'écliptique*. Or, le but que se proposait Schwilgué était une rotation uniforme du tenon *X* dans le plan de la roue lunaire *L*. Pour cela, le pignon *l* doit, au lieu de tourner d'un mouvement uniforme, être corrigé d'une quantité précisément égale à la réduction.

A cause de la faible inclinaison de l'orbite sur l'écliptique, la correction ne dépasse jamais 7′. A l'échelle de 6^{mm} pour un degré, l'amplitude totale du mouvement en ordonnée n'est que de $1^{mm},4$. La période de cette équation est l'intervalle de temps qui, en moyenne, ramène la Lune au nœud ascendant, c'est-à-dire le *mois draconitique*. Le mobile inférieur *R* fait donc un demi-tour en $27^{j}\,5^{h}5^{m}35^{s},8$.

2° Equation annuelle. — La force perturbatrice exercée par le Soleil sur la Lune varie en raison inverse du cube de la distance du Soleil au système Terre-Lune. Pendant la durée d'une révolution lunaire, elle tend en moyenne à diminuer l'attraction terrestre, et par suite à dilater l'orbite de la Lune ; il en résulte que l'orbite se contracte quand la Terre va du périhélie à l'aphélie, ce qui accroit le moyen mouvement de la Lune : et inversement de l'aphélie au périhélie.

De la variation du moyen mouvement résulte une élongation de la Lune par rapport à sa position moyenne. Si on convient de la prendre nulle au périhélie, la Lune prend d'abord un retard, qu'elle rattrape ensuite de manière que la correction soit nulle de nouveau à l'aphélie. A partir de cet instant, la Lune prend une avance qu'elle perd ensuite progressivement en gagnant le périhélie.

Cette variation périodique de la position de la Lune s'appelle *l'équation annuelle*. Sa période est évidemment l'année anomalistique, intervalle moyen de deux passages de la Terre à son périhélie. Le mobile EA de cette équation fait donc un demi-tour en $365^{j}6^{h}13^{m}56^{s}$. L'amplitude totale du mouvement est de $2^{mm},2$, puisque le maximum de l'équation annuelle est de 11′ de part et d'autre de la position moyenne.

3° **Variation.** — Cette inégalité résulte de l'action de la composante

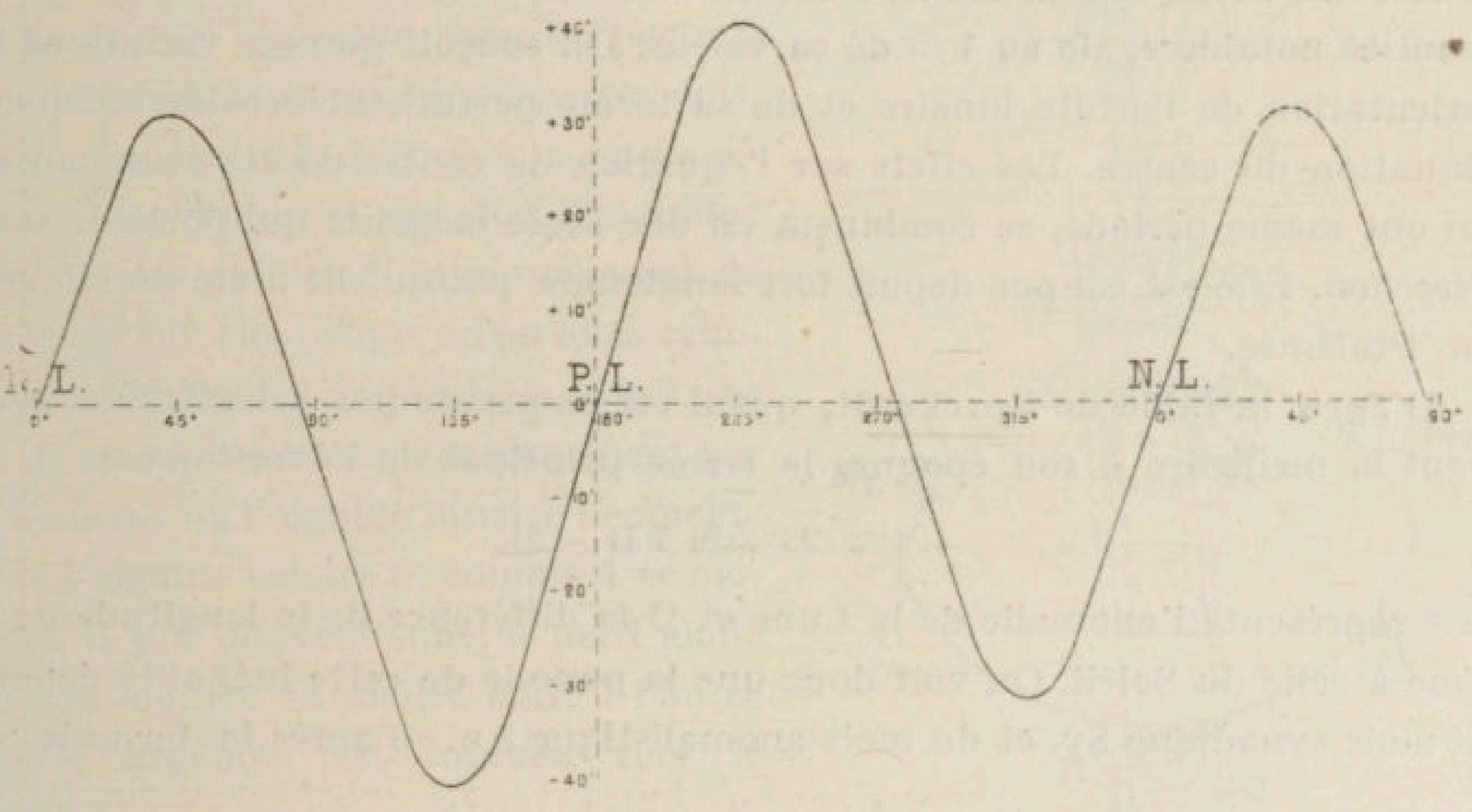


Fig. 66. — Courbe de la variation.

Pour rendre plus sensible la différence des effets entre la Nouvelle et la Pleine Lune, on a multiplié par 3 le facteur de l'inégalité parallactique. L'équation de cette courbe est : $b \sin 2\,D - 3\,a \sin D$ alors que dans le mécanisme des équations, c'est naturellement la courbe $b \sin 2\,D - a \sin D$ qui est enroulée sur le mobile de la variation (b = 35′, 65 : a = 2′, 05).

tangentielle de la force perturbatrice qui tend tour à tour à accélérer et à retarder la Lune sur son orbite. Son effet se traduit par une compression de l'orbite lunaire dans la direction du Soleil et par une dilatation suivant une direction perpendiculaire. La vitesse de la Lune est maximum aux syzygies et minimum aux quadratures. La période de la variation serait d'après cela la moitié du mois synodique. Mais à cause de la différence de la valeur de la force perturbatrice aux nouvelles lunes et aux pleines lunes, la force d'attraction est plus grande dans le second cas que dans le premier; à la variation se superpose donc *l'inégalité parallactique* qui amène la Lune plus près de la Terre en moyenne aux oppositions qu'aux conjonctions. Schwilgué a tenu compte de ces deux inégalités dans une même courbe, la seconde ayant pour période le mois synodique (fig. 66). Le mobile V de cette équation fait donc un demi-tour en $29^j 12^h 44^m 2^s,9$. L'amplitude maximum du mouvement est égale à $7^{mm},4$ du côté de la pleine Lune, et à $6^{mm},8$ du côté de la nouvelle Lune.

4° **Evection.** — On sait que le périgée de la Lune se déplace dans le sens direct de manière à effectuer une révolution en 8 années et 310 jours environ. Ce mouvement, qui résulte de l'action de la composante de la force perturbatrice dans le plan orbital de la Lune, se produit d'une manière qui est loin d'être uniforme, car il s'y superpose une oscillation de la ligne des apsides dont l'amplitude est telle qu'à certains moments le périgée rétrograde. La période de ce mouvement oscillatoire est égale en moyenne à 206 jours, intervalle de temps qui ramène en conjonction le Soleil et la ligne des apsides. Dans ce même intervalle de temps, et par suite également de l'action perturbatrice du Soleil sur la Lune, l'excentricité de l'orbite lunaire varie d'une quantité notable égale au 1/5 de sa valeur. On conçoit que ces variations de l'orientation de l'orbite lunaire et de sa forme perturbent considérablement l'équation du centre. Les effets sur l'équation du centre de ces deux causes, qui ont même période, se combinent en une seule inégalité qui porte le nom d'*évection*. Elle est connue depuis fort longtemps, puisqu'elle a été découverte par Ptolémée.

D'après la table de Burckardt, qui a été employée par Schwilgué comme étant la meilleure à son époque, le terme principal de l'évection est

$$+ 1°2?'25'' (\sin 2D - \theta),$$

ou θ représente l'anomalie de la Lune et D la différence de la longitude de la Lune à celle du Soleil. On voit donc que la période de cette inégalité dépend du mois synodique Sy. et du mois anomalistique An., d'après la formule :

$$\frac{1}{T} = \frac{2}{Sy} - \frac{1}{An}.$$

Le mobile Ev. de cette inégalité fait donc un demi-tour en $31^j 19^h 29^m 11^s,3$. La correction maximum est égale à $1°20',5$; par suite l'écart maximum entre les ordonnées de la courbe est de $16^{mm},1$.

5° **Equation du centre.** — Cette inégalité provient de ce que la Lune décrit une ellipse suivant la loi des aires. La période est évidemment le mois anomalistique, et le mobile correspondant A fait un demi-tour en $27^j 13^h 18^m 33^s,3$.

Comme l'excentricité moyenne de l'orbite lunaire est considérable ($e = 0,0549$) la courbe diffère notablement d'une sinusoïde, le second terme du développement devenant appréciable :

$$6°18' \sin \theta + 13' \sin 2\theta.$$

L'amplitude du mouvement atteint $75^{mm},6$. La correction maximum positive est atteinte pour $\theta = 86°$, et la négative pour $\theta = 274°$.

Schwilgué s'est assuré qu'à l'échelle choisie la pente de ses courbes n'était pas trop grande pour le bon fonctionnement du mécanisme. Il a donc calculé la pente maximum de la courbe de l'équation du centre et l'a trouvée égale à 30°12′, par suite notablement inférieure à 45°, limite qu'il s'était imposée.

L'amplitude totale de la somme des cinq équations est de 102^mm^,7, correspondant à un angle de 17°8′. Il en résulte pour le rateau K une rotation assez grande pour qu'on ne puisse pas confondre ici l'arc avec sa corde ; c'est ce qui nécessite la transmission par l'intermédiaire d'un ruban d'acier, s'enroulant sur la circonférence du rateau.

II. Représentation des phases de la Lune. — L'aiguille lunaire porte à son extrémité un globe mi-partie noir, mi-partie argenté, destiné à la représentation des phases. A cet effet, l'aiguille l (fig. 67) est animée d'un mouvement de rotation sur elle-même, en un mois synodique environ. La conjonction de la Lune en Æ est représentée mécaniquement par le moment où l'aiguille lunaire l coïncide avec l'aiguille solaire S ; comme à ce moment il y a nouvelle lune, le petit globe lunaire montre sa moitié noire : l'autre moitié argentée est tournée vers le Soleil S.

L'aiguille lunaire l est munie d'un pignon conique r qui engrène sur un autre pignon conique R de dimension égale et solidaire de l'aiguille S. De la sorte, supposons l'aiguille S immobile et faisons tourner l'aiguille l, le globe lunaire tourne en montrant une surface argentée de plus en plus grande. Lorsque l'aiguille lunaire est exactement opposée à l'aiguille solaire, le globe indique la pleine Lune. Ensuite, la surface diminue, jusqu'au moment de la conjonction.

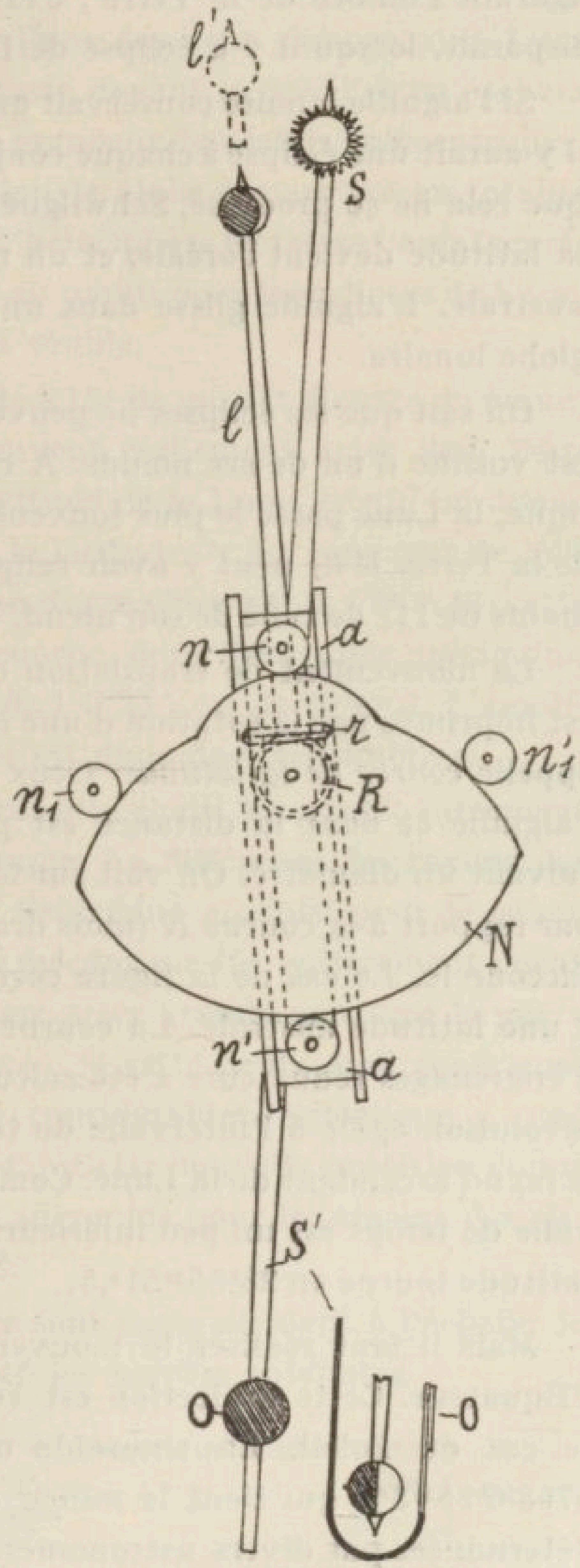


Fig. 67. — Courbe de la latitude pour reproduire mécaniquement les éclipses.

Le mouvement général des aiguilles pour représenter les mouvements diurnes ne change en rien le mouvement de rotation de l'aiguille lunaire, qui ne dépend que du mouvement relatif en Æ de la Lune par rapport au Soleil.

III. Représentation mécanique des éclipses de Soleil et de Lune. — Le passage du petit globe lunaire devant le Soleil *S* représente une éclipse de Soleil ; pour la représentation des éclipses de Lune, l'aiguille solaire est munie d'un prolongement *S'* recourbé à son extrémité, qui porte un disque noir *O*, figurant l'ombre de la Terre ; c'est derrière le disque *O* que le globe lunaire disparaît, lorsqu'il y a éclipse de Lune.

Si l'aiguille lunaire conservait une longueur égale à celle de l'aiguille solaire, il y aurait une éclipse à chaque conjonction et à chaque opposition. Pour éviter que cela ne se produise, Schwilgué imprime un allongement à l'aiguille lorsque la latitude devient boréale, et un raccourcissement lorsque la latitude devient australe. L'aiguille glisse dans un coulisseau *a*, qui transmet la rotation au globe lunaire.

On sait que les éclipses ne peuvent se produire qu'aux moments où la Lune est voisine d'un de ses nœuds. A cause de l'inclinaison de l'orbite sur l'écliptique, la Lune passe le plus souvent au Nord ou au Sud du Soleil ou de l'ombre de la Terre. Il ne peut y avoir éclipse que si la longitude de la Lune diffère de moins de 11° de celle de son nœud.

Le mouvement de translation de l'aiguille suivant sa propre direction lui est imprimée par la rotation d'une came *N* de forme particulière que Schwilgué appelle *courbe de la latitude*. Deux galets *n* et *n'*, dont les axes sont fixes sur l'aiguille et dont la distance est par suite invariable, embrassent la courbe suivant un diamètre. On voit sur la figure que si l'aiguille lunaire fait un tour par rapport à la courbe *N* (mois draconitique), elle sera tantôt allongée, tantôt raccourcie. Le cas de la figure correspond à un raccourcissement, c'est-à-dire à une latitude australe. La courbe *N* est portée par un mobile dont le train d'engrenages réducteurs a été calculé de manière à lui imprimer une durée de révolution égale à l'intervalle de temps qui en moyenne ramène au méridien le nœud ascendant de la Lune. Comme la ligne des nœuds rétrograde, cet intervalle de temps est un peu inférieur à la durée du jour sidéral : la courbe de la latitude tourne en $23^h55^m51^s,5$.

Mais il faut réaliser le mouvement moyen du nœud en projection dans l'Equateur. Cette projection est réalisée par le même mécanisme que dans le cas du Soleil. La sinusoïde correspondante (fig. 65) fait un tour en $6798^j6^h38^m3^s$ « qui tient le milieu entre les révolutions tropiques des nœuds déterminées par divers astronomes. »

Courbe de la latitude. — La courbe *N*, qui est une *courbe d'épaisseur* constante, porte deux arcs de circonférence de diamètres différents réunis par deux courbes calculées spécialement par Schwilgué. Tant que les galets *n* et *n'* roulent sur les arcs de cercles, la distance de la Lune à l'axe reste constante. La latitude de la Lune n'est pas exactement figurée, ce qui n'a pas d'importance puisqu'il ne peut alors se produire d'éclipse. Lorsque la Lune approche de son nœud ascendant, le galet *n* monte sur la rampe de gauche, tandis que le galet n' descend sur celle de droite. Au moment du passage de la Lune par son nœud, les galets sont en n_1 et n'_1, à égale distance du centre, position qui correspond à une latitude nulle : la longueur de l'aiguille lunaire est alors égale à celle de l'aiguille solaire. Puis, la latitude de la Lune devenant boréale, le globe s'élève petit à petit jusqu'à la deuxième position l'.

Pendant le temps que le galet n est sur l'une des deux rampes, si la Lune se trouve en conjonction, le globe lunaire passe devant le Soleil et en cachera une plus ou moins grande partie, suivant la grandeur de l'éclipse géocentrique ; si au contraire la Lune se trouve en opposition, le globe disparaîtra en totalité ou en partie derrière l'ombre de la Terre. L'hémisphère terrestre boréal représenté devant le cadran permet de connaître, au moins pour les éclipses de Lune, la partie de la Terre d'où le phénomène est visible.

Schwilgué a limité la courbe de la latitude à 13° de part et d'autre du nœud, limite supérieure à celle où les éclipses peuvent réellement avoir lieu. Pour chaque degré de longitude, il a calculé la latitude de la Lune, ce qui lui donne 13 points de la courbe de part et d'autre de la latitude 0°. La longueur de l'aiguille solaire étant exactement de 1 mètre, un degré équivaut à $17^{mm},45$; cette donnée permet d'établir complètement la courbe, dont l'ordonnée maximum, pour 13 degrés de longitude et une latitude de 1°9′23″, est de $20^{mm},2$. L'amplitude totale du mouvement du globe lunaire est donc de 4 centimètres.

Le rayon de la circonférence moyenne peut être choisi à volonté, autrement dit, la distance des galets peut être quelconque. La différence des rayons des circonférences extrêmes seule est imposée. Schwilgué a choisi pour le rayon moyen une valeur assez petite pour que le mécanisme fût entièrement caché derrière l'hémisphère terrestre, et d'autre part assez grande pour que la pente de la courbe de latitude ne fût pas trop élevée. Si cette pente était supérieure à 45°, les frottements deviendraient trop considérables. Schwilgué a posé que la pente maximum serait égale à 5 /6 de 45°. Cette nouvelle condition donne pour rayon moyen 134^{mm}, avec les valeurs suivantes pour les rayons des circonférences : $R = 154^{mm},2$ et $r = 113^{mm},8$.

Le Soleil, la Lune et l'ombre de la Terre sont naturellement à l'échelle de $17^{mm},45$ pour un degré. Schwilgué a adopté les valeurs suivantes :

Diamètre moyen du Soleil.......	32′ 4″	ce qui équivaut à	$9^{mm},3$
— de la Lune...........	31′25″	—	$9^{mm},1$
— de l'ombre.............	83′32″	—	$24^{mm},3$

(*A suivre*)

ALFRED UNGERER,
Fabricant d'Horloges à Strasbourg,
Successeur de SCHWILGUÉ.

montre nettement les courbes spirales tout autour du noyau. En voici la description : « The photograph shows the nebula to be a left-hand spiral with the nucleus very sharply stellar in the midst of faint nebulosity. The convolutions are strikingly perfect, and have several aggregations of nebulosity in them ».

« *Left hand* »,c'est-à-dire tournant de gauche à droite, soit dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre (vu par le haut). C'est ce que nous appelons le sens direct.

Remarquons que la qualification de ce mouvement est associée à la position de l'observateur. Si nous étions au-delà de cette nébuleuse, nous la verrions tourner en sens contraire. Si, en suivant un chemin dans la campagne, nous voyons un moulin à vent tourner de gauche à droite, nous le voyons tourner de droite à gauche lorsque nous l'avons dépassé. Il y là une curiosité de théorie cosmogonique qui n'est pas à dédaigner.

La distance de cette nébuleuse a pu être approximativement mesurée par M. Van Maenen, et sa parallaxe a été estimée à 0",0003, soit une distance de 11 000 années de lumière.

M. Heber D. Curtis, de l'Observatoire Lick, a découvert deux étoiles nouvelles dans cette nébuleuse en spirale, la première de 13e,5 le 17 mars 1901, la seconde, de 14e, le 2 mars 1914.

La première de ces deux étoiles était déjà plus faible en avril, et a ensuite complètement disparu. Elle était à 110" à l'Ouest et à 4" au Nord du noyau.

La seconde était à 24" à l'Est et à 111" au Sud du noyau [1].

Notre excursion sidérale dans ces nébuleuses nous fait véritablement pénétrer dans un monde immense, dont aucun astronome ne se doutait il y a seulement un demi-siècle. Que sera ce dans cent ans, ou dans mille ans !... si la barbarie humano-animale ne détruit pas les progrès de l'humanité pensante, comme elle l'a fait pour les Chaldéens, les Assyriens, les Egyptiens, Athènes et Rome, et toutes les civilisations disparues.

(*A suivre.*) CAMILLE FLAMMARION.

L'HORLOGE ASTRONOMIQUE

DE LA CATHÉDRALE DE STRASBOURG (*Suite*) [2]

PLANÉTAIRE. — Le planétaire occupe sur le monument l'emplacement où, dans l'ancienne horloge, était disposé l'astrolabe. Autour d'un cercle de 2m,20 de diamètre sont peints les douze signes du Zodiaque. Le commencement du signe du Bélier est à droite sur le diamètre horizontal. Au centre se trouve le Soleil, autour duquel tournent six planètes, Mercure, Vénus, la Terre avec la Lune, Mars, Jupiter et Saturne. Chaque planète est représentée par une boule dorée, portée par une aiguille solidaire de la roue dentée qui, dans le mécanisme,

(1) Harvard College Observatory : *Bulletin* N° 642, 9 Août 1917.
(2) Voir l'*Astronomie* de Mars 1921, p. 89 et Avril 1921, p. 147.

est animée d'un mouvement de rotation uniforme, dont la période reproduit celle de la planète.

Schwilgué s'est proposé d'obtenir le mouvement de chacune des planètes autour du Soleil, ainsi que de la Lune autour de la Terre, à partir du mouvement de la Terre qui, sur le planétaire, fait un tour en une année tropique. Le rapport des périodes tropiques de chaque planète à celle de la Terre a permis de calculer l'engrenage réducteur qui réalise la période cherchée. Schwilgué s'est attaché : 1° à adopter un rapport décomposable aussi voisin que possible du rapport admis à son époque[1]; 2° à chercher pour chaque rapport un seul engrenage intermédiaire dont le nombre de dents n'excède pas 250, pour pouvoir loger tous les axes de renvoi des pignons sur une couronne de 20 centimètres de rayon (fig. 92).

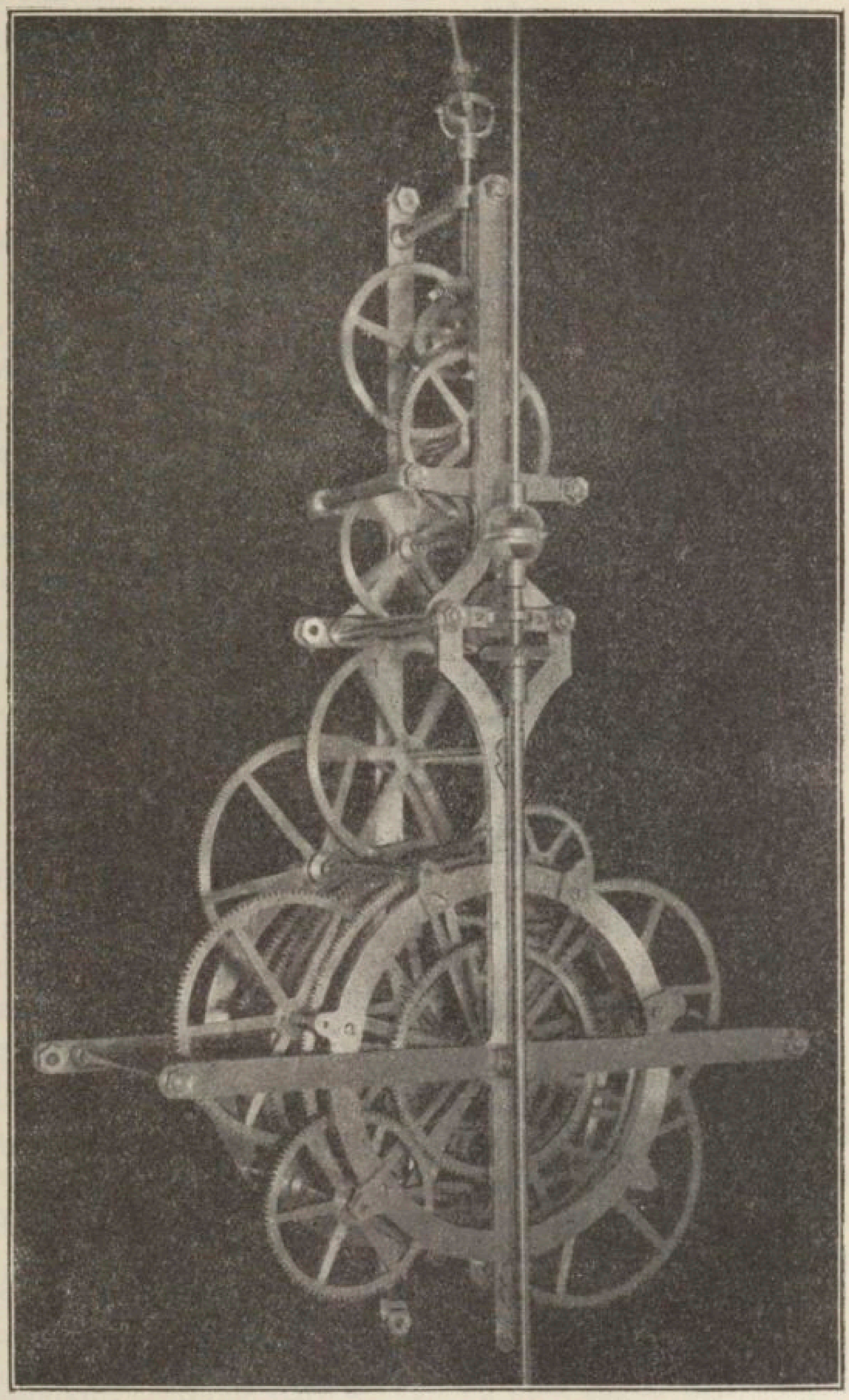


Fig. 92. — Mécanisme du planétaire.

A partir du haut, et en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre, on trouve le dernier rouage de l'engrenage de la Terre, puis l'engrenage de la

Lune, celui de Mercure, en bas le rouage de Vénus, enfin ceux de Saturne, Jupiter et Mars.

La Terre n'est pas, comme les autres planètes, portée par une aiguille, mais elle est fixée sur le bord d'un disque D (fig. 93) de même couleur que le fond du planétaire, et qui cache une roue dentée J. La Lune L est elle-même fixée sur le bord d'un petit disque *d*, dont la terre T figure le centre. L'axe de ce petit disque porte en arrière un pignon *j* qui engrène avec la roue J. Si l'année tropique était un multiple entier du mois lunaire, il suffirait que le nombre des dents de la roue J soit le même multiple du nombre des dents du pignon, pour que, la roue restant immobile, le pignon effectue dans une année autant de tours qu'il y a de lunaisons.

En réalité, il n'y a pas de rapport simple entre l'année et la lunaison. Voici comment cette difficulté est résolue. La roue a exactement 13 fois plus de dents que le pignon. Comme il y a un peu moins de 13 lunaisons par an, il suffit de donner à la roue J dans le sens direct un mouvement convenablement calculé, pour réduire le nombre de tours de la Lune à la valeur voulue. L'engrenage réducteur *l* qui donne à la roue ce mouvement est visible sur la figure 92 après celui de la Terre.

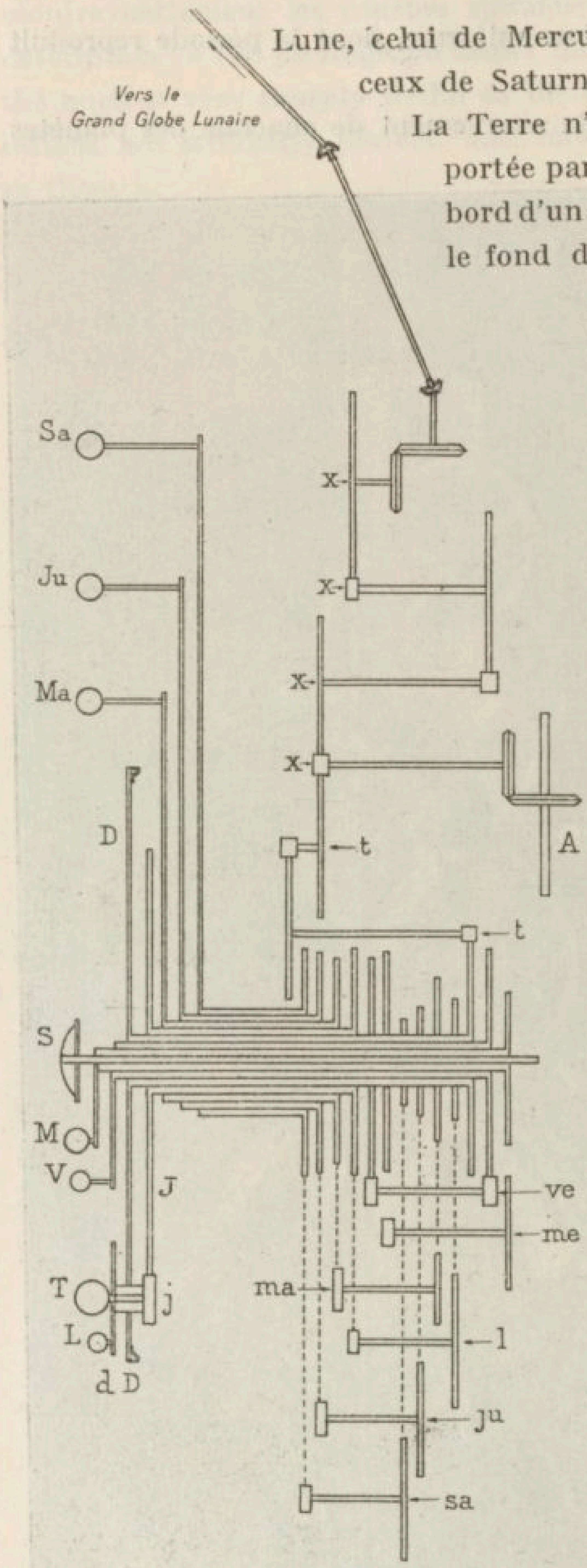


Fig. 93. — Schéma du mécanisme du planétaire.

Le pignon *A* par l'intermédiaire du pignon *x* et du rouage *tt* fait exécuter au canon qui porte à son autre extrémité le disque *D* un tour en une année tropique. Sur ce même canon sont fixées, outre la roue dentée motrice, six autres roues dentées engrenant sur chacun des pignons *ve*, *me*, *sa*, *ju*, *ma*, *l* qui, dans le mécanisme, sont montés sur la couronne (Voir fig. 92). Chacune des roues dentées solidaires des planètes *M*, *V*, *Ma*, *Ju*, *Sa*, fait un tour dans un intervalle de temps égal à la révolution tropique de la planète correspondante.

GLOBE LUNAIRE. — Au-dessus du planétaire se trouve disposé un globe de 40 centimètres de diamètre, mi-partie doré, mi-partie noir, pour indiquer la phase de la Lune. Le globe est entouré en arrière d'une calotte hémisphérique qui ne laisse voir de la face dorée qu'un fuseau équivalant à la phase. Le globe tourne autour d'un axe incliné d'environ 40°, pour que le spectateur puisse, d'en bas, bien apercevoir la phase. Sa rotation se fait en un mois synodique, grâce à un engrenage xxx réducteur qu'on aperçoit au-dessus du mécanisme du planétaire (fig. 92 et 93).

SPHÈRE CÉLESTE. — Devant l'horloge est disposée une sphère en cuivre de 0m,84 de diamètre, peinte en bleu, et sur laquelle sont représentées plus de 5 000 étoiles des six premières grandeurs et la Voie Lactée. Les noms des constellations et leurs limites sont aussi figurés. La sphère étant vue de l'extérieur, les constellations sont renversées par rapport à la configuration qu'elles nous présentent dans le ciel. Un mécanisme que nous décrirons bientôt lui imprime un mouvement de révolution en un jour sidéral.

Quatre colonnes en fonte supportent le cercle de l'horizon H (fig. 94) sur lequel est fixé le cercle M, figurant le méridien. Le cercle M est traversé en deux points diamétraux par l'axe du monde AA′, incliné de 48°35′ sur l'horizon [1].

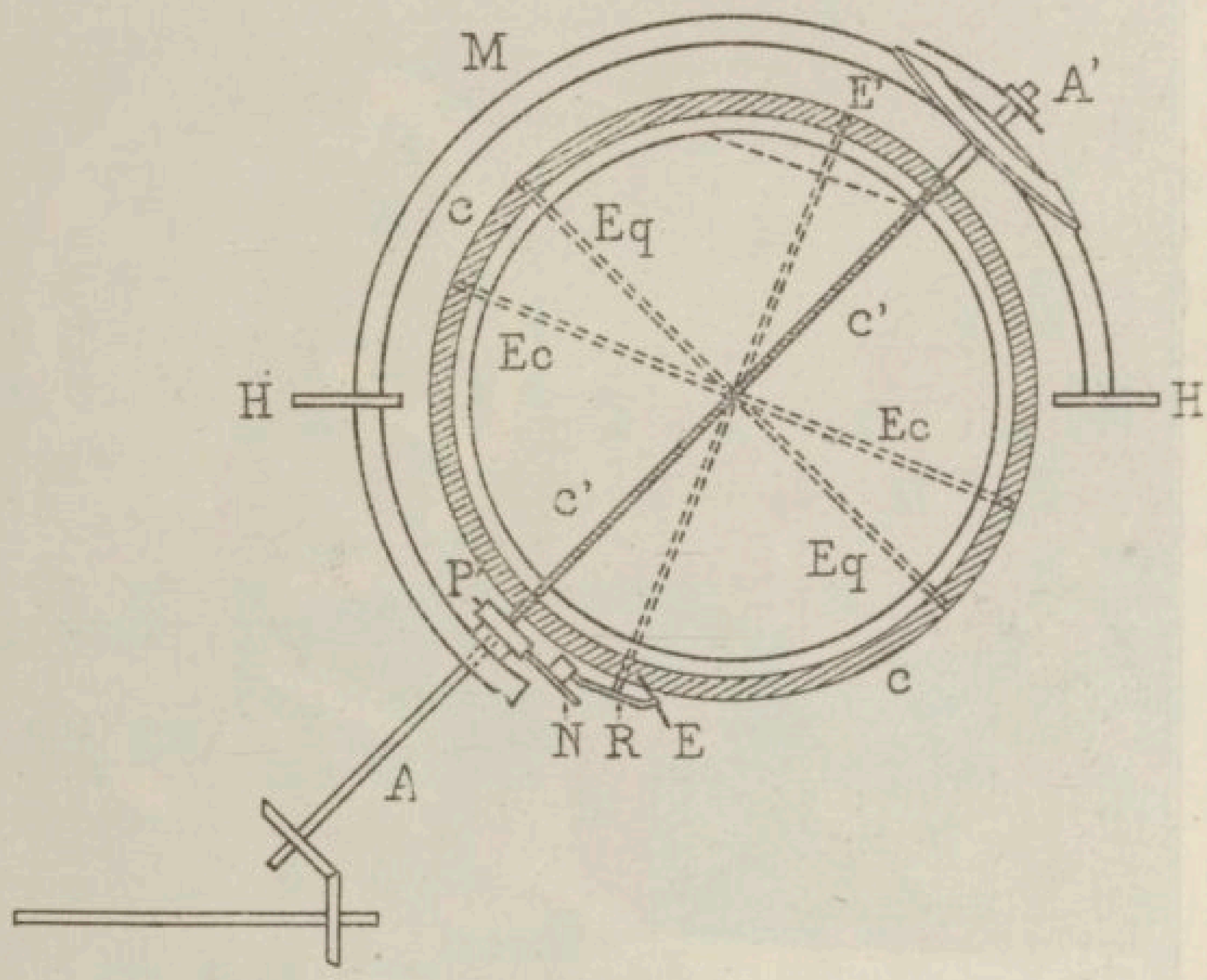


Fig. 94. — Schéma de l'armature de la sphère céleste.
L'aiguille fixée à l'extrémité A′ de l'axe indique le temps sidéral sur un cadran annulaire divisé en 24 heures, porté par le cercle M.

Si Schwilgué n'avait pas tenu à représenter la précession, il lui aurait suffi de caler la sphère céleste sur l'axe AA′ et de lui faire effectuer un tour en un jour sidéral. La représentation de la précession exige que le globe tourne en 260 siècles environ autour des pôles de l'écliptique. Ce n'est donc pas la sphère elle-même qui est portée directement par l'axe AA′, mais une armature composée de deux grands cercles c et c', reliés par deux autres Ec et Eq, figurant l'écliptique et l'équateur. Le cercle c, qu'on voit en plan sur la figure, est le *colure des solstices*, c'est-à-dire le cercle horaire qui contient les pôles de l'éclip_

[1] Schwilgué désirait orienter le cercle M dans le plan méridien de Strasbourg, pour que l'axe AA' fut parallèle à l'axe du monde. De cette manière, les étoiles supposées vues du centre de la sphère auraient indiqué leur direction dans le ciel. Pour des raisons d'esthétique, il dut y renoncer, et le plan du cercle M est normal à la façade de l'horloge qui regarde à l'Ouest.

tique EE′, l'autre c', vu par la tranche, est le *colure des équinoxes*, c'est-à-dire le cercle horaire du point vernal.

La sphère céleste doit tourner autour des pôles de l'écliptique : elle est

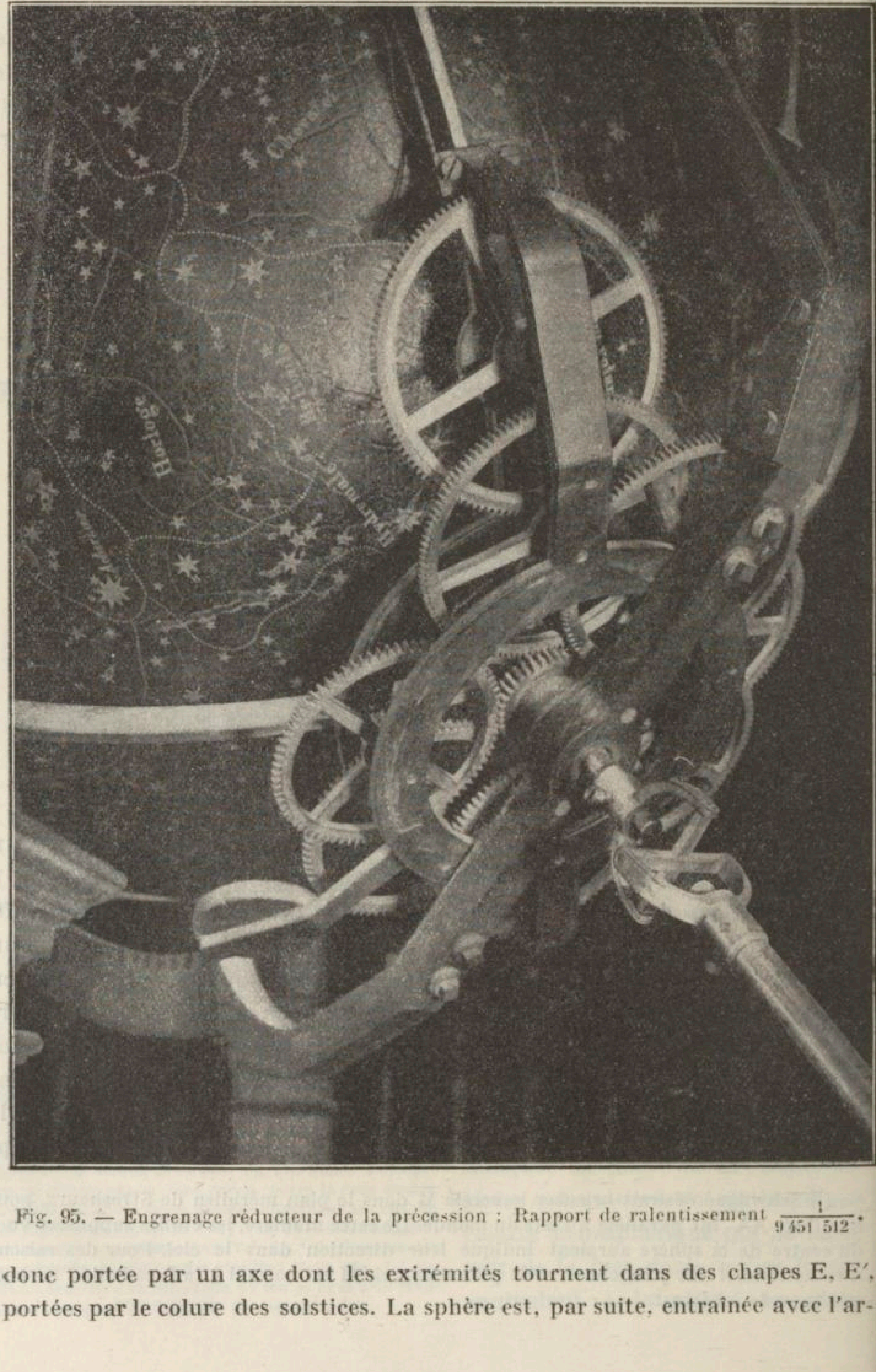


Fig. 95. — Engrenage réducteur de la précession : Rapport de ralentissement $\frac{1}{9\,451\,512}$.

donc portée par un axe dont les extrémités tournent dans des chapes E, E′, portées par le colure des solstices. La sphère est, par suite, entraînée avec l'armature en un jour sidéral; mais, de plus, elle tourne autour de l'axe E E′, par rapport à cette même armature, en 25 806 ans, période de la précession fournie par la constante de Bessel (50″,22). Cette rotation extrêmement lente est obtenue par un engrenage réducteur figuré schématiquement en N, mais qui, en réalité, comprend sept mobiles successifs, entre le pignon P′ et le pignon R. C'est cet engrenage réducteur qu'on voit sur la figure 95.

Le rouage qui effectue la transformation du temps moyen en temps sidéral diffère de celui que Schwilgué a employé dans le mécanisme de la Lune. Dans le cas présent, il a conçu un mécanisme différentiel. Les pignons *b* et *c*, solidaires sur un même axe (fig. 96), font effectuer à la roue B un tour en un jour moyen. et aux roues C et D un tour en un $\frac{269^{e}}{270}$ de jour moyen. La roue B porte deux pignons satellites *d* et *e*, iné-

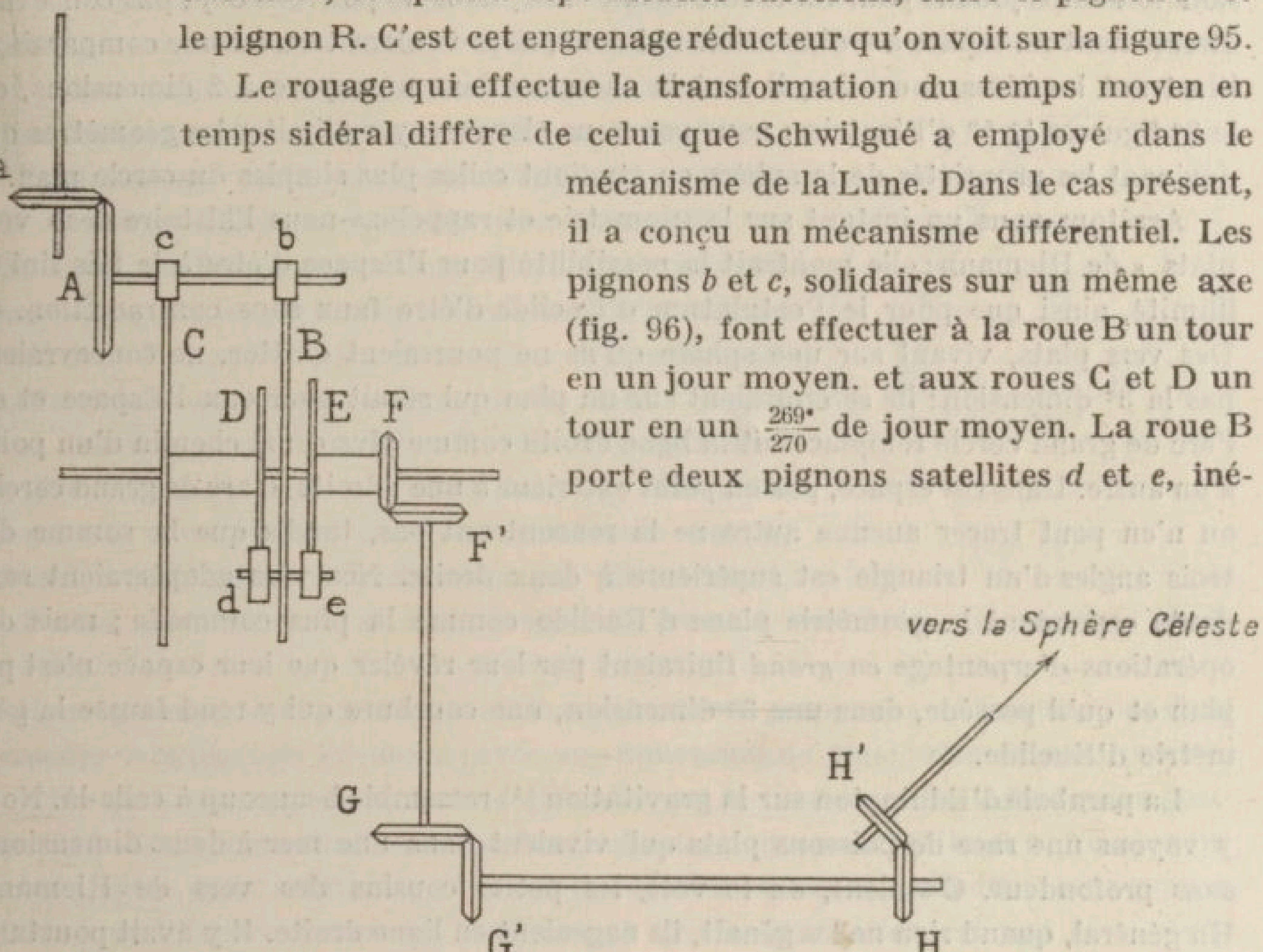


Fig. 96. — Mécanisme de transformation du jour moyen en jour sidéral pour l'entraînement de la sphère céleste.

Le rouage moteur des mécanismes astronomiques fait exécuter au pignon *a*, muni de 45 dents, un tour en une heure de temps moyen. Nombre de dents des pignons :

A = 72; *b* = 18; B = 270; *c* = 18; C = 269; D = 100; *d* = 26; *e* = 18; E = 94.

gaux, le pignon *e* engrenant sur la roue E lui fait effectuer un tour en un jour sidéral. Ce mouvement est transmis par des axes et des pignons coniques à l'armature mobile des *colures*.

La représentation du rapport de Bessel entre le jour moyen et le jour sidéral est parfaite. En partant de la valeur actuellement admise pour l'année tropique, on voit que le rouage ci-dessus ne donne une seconde d'erreur qu'au bout de 160 ans environ.

(*A suivre*) Alfred Ungerer,

Fabricant d'Horloges à Strasbourg,

Successeur de Schwilgué.

L'HORLOGE ASTRONOMIQUE

DE LA CATHÉDRALE DE STRASBOURG *(suite)* (¹)

LE CALENDRIER PERPÉTUEL

L'ancienne horloge de Dasypodius comportait, comme nous l'avons vu,

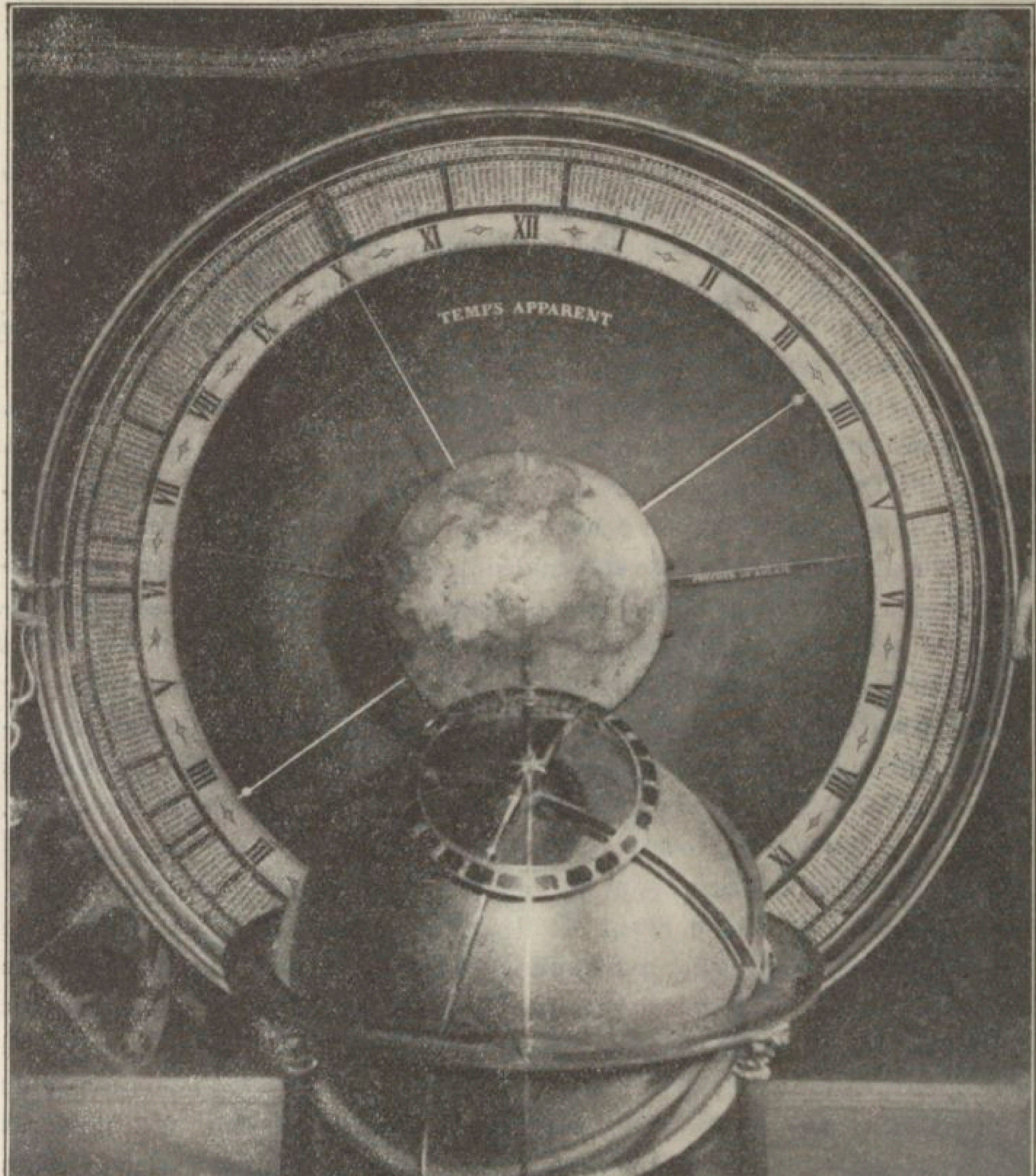


Fig. 142. — Le cadran de temps vrai, le calendrier perpétuel et la sphère céleste.

Au centre du cadran, l'hémisphère terrestre nord. Sur le cadran, on remarque : 1° l'aiguille lunaire (vers 10^h) 2° l'aiguille solaire (vers $3^h 30^m$) et son prolongement portant l'ombre de la Terre ; 3° les aiguilles indiquant l'heure du lever et du coucher du Soleil. Autour du cadran, le calendrier perpétuel. La sphère céleste est placée en avant de l'horloge.

un calendrier perpétuel peint sur un anneau mobile, faisant un tour par an,

(¹) Voir *L'Astronomie* de Mars 1921, p. 89, d'Avril, p. 147 et Mai, p. 196.

de manière à amener successivement tous les jours de l'année devant la flèche d'Apollon. Mais le calendrier comprenait uniformément 366 jours, ce qui obli-

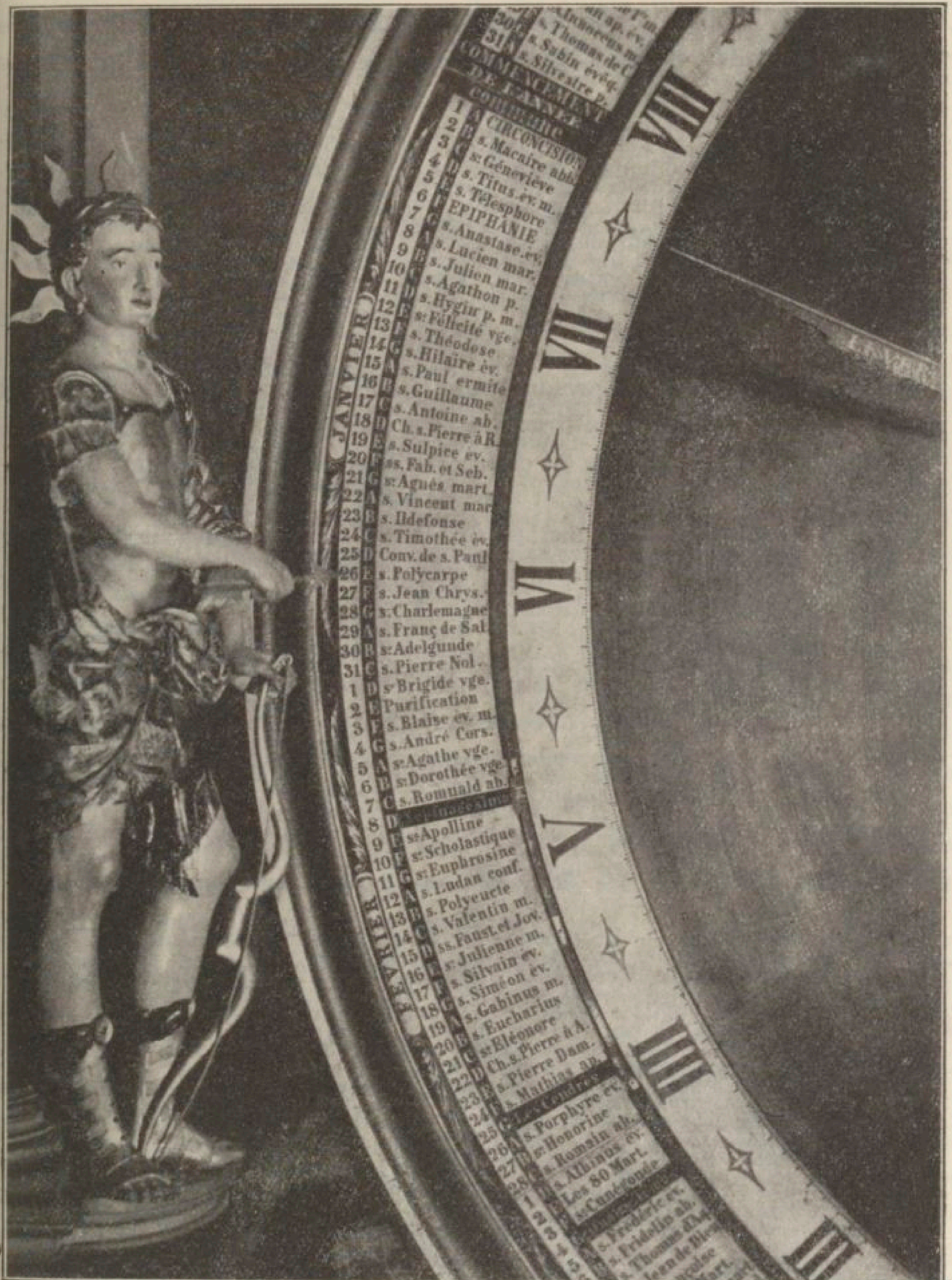


Fig. 143. — Fragment du calendrier perpétuel.

La flèche de la statuette indique la date du jour. La photographie représente la partie du calendrier qui se déplace suivant que l'année est commune ou bissextile. La figure correspond au premier cas. Quand l'année est bissextile, le secteur mobile remonte, recouvrant le mot « *commune* » et faisant apparaître le 29 février. On distingue la coupure du calendrier entre le 28 février et le 1er mars.

geait à l'avancer artificiellement d'un jour dans les années communes, pour sauter le 29 février. Les fêtes mobiles étaient peintes pour un siècle sur un panneau de bois circulaire divisé en 100 fuseaux par des rayons et occupant tout le centre de l'anneau. Le panneau faisait un tour complet en 100 ans et les indications relatives à l'année en cours occupaient le fuseau vertical. Mais les cent ans révolus, il fallait tout repeindre — ce qui ne fut pas fait après 1769.

Naturellement, Schwilgué ne pouvait accepter cette solution bâtarde. C'est un calendrier réellement perpétuel qu'il entendait construire, un mécanisme d'un fonctionnement impeccable, ne nécessitant aucune intervention jusque dans l'avenir le plus lointain. Si les destinées futures de son œuvre lui inspirent parfois quelque inquiétude, il n'en a point quant à la précision du calcul et de l'exécution, il sait qu'il peut répondre de l'un et de l'autre. Par exemple, s'il n'a prévu que quatre chiffres au millésime de son Comput, « il ne faut pas conclure qu'après la révolution de ce temps (l'an 9999) le comput « se trouvera en défaut ; il suffira pour aller au delà de 9999, de placer seule- « ment une unité à la gauche du chiffre des mille à l'effet d'obtenir une nou- « velle période de 100 siècles... et ainsi de suite de 100 siècles en 100 siècles. « Mais il n'est pas donné aux métaux de résister à des périodes aussi étendues, « Dieu seul sait si les perturbations de l'Univers qu'il a créé permettront l'accom- « plissement de pareilles modifications. »

Le lecteur qui suivra pas à pas ce chapitre verra combien cette belle confiance était justifiée. Pourtant les problèmes arithmétiques du calendrier sont loin d'être simples,surtout lors des années séculaires qui amènent de nombreuses complications. Il a fallu agencer les mécanismes pour que leurs fonctions habituelles soient exceptionnellement modifiées à certaines dates, parfois irrégulièrement distribuées. Mais nous savons déjà que Schwilgué ne connaissait aucune impossibilité d'ordre mécanique.

CALENDRIER CIVIL. — Le calendrier est peint sur un anneau de $2^{m},73$ de diamètre extérieur et de 21 centimètres de large, divisé en 368 fuseaux (fig. 142). Il est posé sur deux galets et peut ainsi tourner autour de son centre. Il avance chaque jour à minuit d'un fuseau, sous l'action d'un moteur spécial déclanché par le rouage de temps moyen, le jour qui commence venant alors sur la gauche de l'anneau, en face de la flèche. Les mois, les quantièmes, les fêtes fixes et les noms des saints sont portés sur ce calendrier. De plus, devant chaque jour est inscrite l'une des sept premières lettres de l'alphabet (fig. 143), les lettres se succédant dans leur ordre naturel, et se répétant 52 fois dans l'année. Au 1er janvier correspond la lettre A. Nous verrons que ces lettres permettent de fixer les dimanches.

La partie la plus originale du calendrier est celle qui correspond au jour intercalaire des années bissextiles. Les deux premiers mois de l'année, du 1er janvier au 28 février inclus, ne sont pas peints directement sur l'anneau, mais sur un secteur mobile qui peut avancer ou reculer d'une division. Les

3 fuseaux du calendrier qui suivent le 31 décembre sont peints sur l'anneau lui-même et portent les mots :

COMMENCEMENT
DE L'ANNÉE
commune

Dans les années communes, le secteur mobile se place de telle manière que le 1er janvier occupe le fuseau qui suit le mot « commune ». Le 1er mars succède alors au 28 février. Dans la nuit du premier jour de l'an, le calendrier doit avancer de 4 divisions au lieu d'une. Pour les années bissextiles, le secteur avance d'un jour sur le calendrier, recouvre le mot « commune », auquel se substitue le 1er janvier, tandis qu'apparaît le 29 février, peint sur l'anneau lui-même et qui, dans les années communes, est couvert par le secteur. L'avance du calendrier dans la nuit du Nouvel An est alors de 3 divisions seulement.

Tout le monde connaît la règle grégorienne fixant le nombre des années bissextiles : Jules César admettant l'année tropique égale à $365^j,25$ avait ajouté un jour intercalaire tous les 4 ans. Grégoire XIII a conservé cette règle et les années dont le millésime est divisible par 4 sont bissextiles. Mais l'année tropique étant de $365^j,2422$, le calendrier Julien est en retard d'un jour au bout de 128 ans. Aussi, Grégoire XIII a-t-il décidé la suppression de 3 jours intercalaires en quatre siècles, ce qui ne laisse subsister qu'un retard d'un jour en 36 siècles ; en conséquence, les années séculaires dont le millésime n'est pas un multiple de 400 sont communes.

Le secteur mobile du calendrier doit, au commencement d'une année bissextile, se déplacer pour découvrir le 29 février. Au commencement de l'année suivante, il revient en place et recouvre le jour intercalaire. Puis, l'année recommencera deux fois sans déplacement du secteur, après quoi le cycle de 4 ans se reproduit, et ainsi de suite.

Mais, lors des années séculaires communes, au nombre de 3 en 400 ans, le jour intercalaire doit être sauté ; l'année recommence alors 6 fois sans que le secteur soit déplacé. Quant à l'avance du calendrier dans la nuit du nouvel an, elle est ordinairement de 4 divisions, mais de 3 seulement tous les 4 ans. Là encore, il faut tenir compte des années séculaires communes.

Il n'y a aucune difficulté à obtenir chaque année la rotation de 3 divisions. Pour cela, l'anneau du calendrier porte en arrière une saillie S (fig. 144) correspondant à deux fuseaux, saillie qui en soulevant un levier L, empêche l'arrêt du moteur lorsque celui-ci a produit l'avance habituelle d'un fuseau. La détente L ne retombe ce jour-là que lorsque 3 fuseaux au lieu d'un ont défilé devant la flèche d'Apollon.

Dans le cas des années communes, il faut allonger la saillie de la longueur correspondant à un troisième fuseau. Une came mobile E se place au bout de la saillie et l'allonge dans les années communes ; elle s'efface lors des années bissextiles. Son mouvement est commandé par une roue C qui avance d'un centième de tour chaque année. Elle est reliée par des engrenages à une étoile à 6 branches A (fig. 144) ; tout ce mécanisme est porté par le calendrier et tourne avec lui. Un peu avant la fin de l'année, l'étoile rencontre un rateau de 3 dents *a* fixé sur la maçonnerie de l'horloge, et qui lui fait faire un demi-tour. La roue C avance alors d'un centième de tour. Elle porte 24 saillies *d* occupant chacune 1 /100^e^ de circonférence et correspondant aux années 4, 8, 12, etc., de chaque siècle. Ces saillies agissent sur le levier qui fait éclipser la came mobile E lors des années bissextiles. La 25^e^ saillie de la roue C correspondant aux années séculaires n'est pas portée directement par la roue C, mais par une roue satellite *f*, qui fait un quart de tour pour chaque tour de la roue C. La 25^e^ saillie vient en place seulement tous les 400 ans et rétablit alors l'année bissextile.

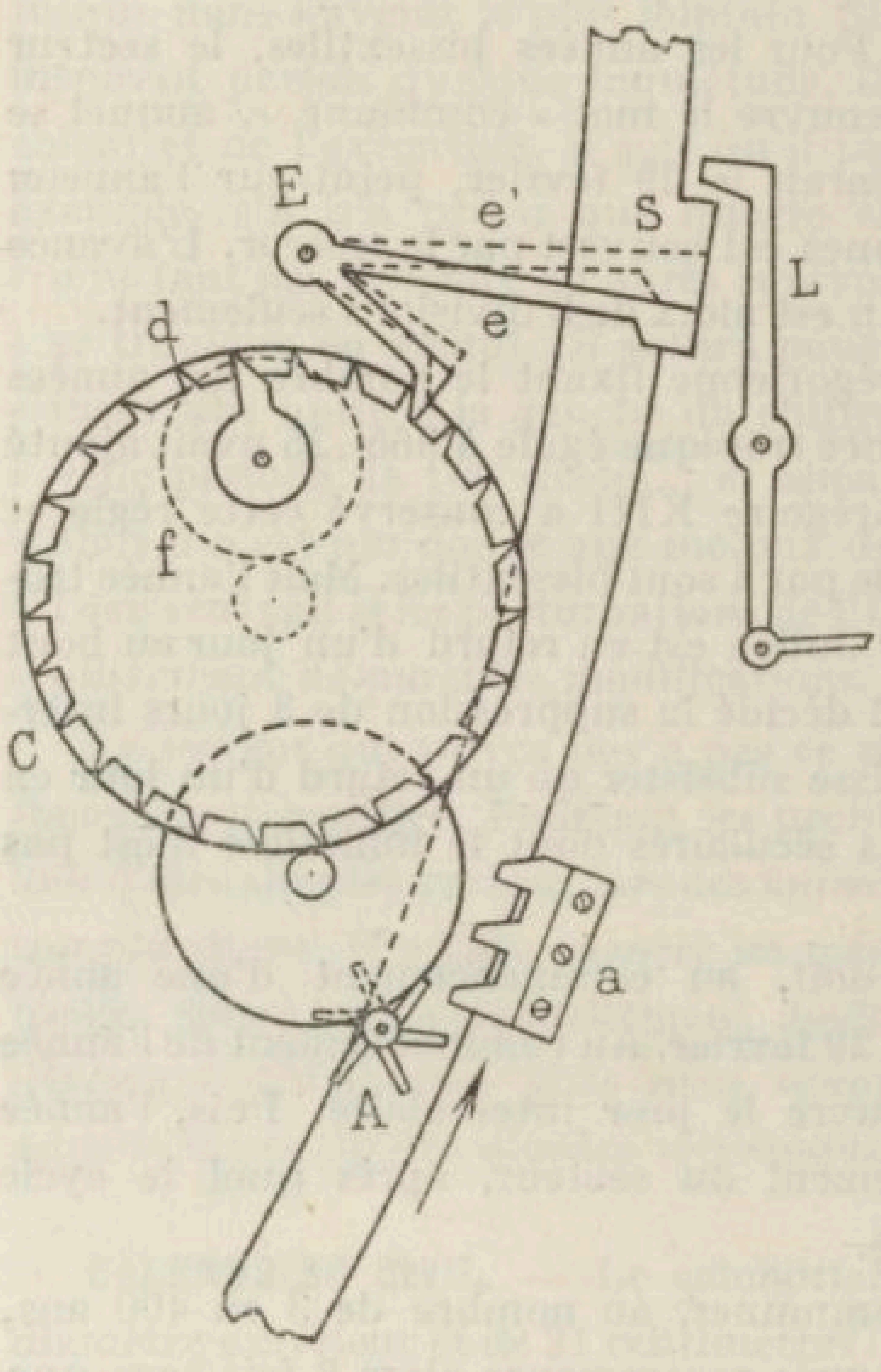


Fig. 144. — Le mécanisme des années bissextiles

Ce mécanisme est celui qui commande l'avance de l'anneau dans la nuit du Nouvel An. Un autre mécanisme fait avancer ou reculer, lorsqu'il le faut, le secteur mobile de l'anneau.

Le mouvement du secteur mobile de l'anneau se fait aussi très simplement. Une bielle actionnée par un engrenage fait avancer ou reculer le secteur à chaque demi-tour de l'engrenage. Ce mouvement est produit par la rencontre d'une seconde étoile à 6 branches fixée sur l'anneau avec un autre rateau fixe de 3 dents : cette rencontre a lieu pendant l'avance du calendrier le 31 décembre à minuit. Lorsqu'il ne doit pas y avoir déplacement du secteur, un levier en équerre fait glisser l'étoile sur son axe pour qu'elle ne puisse pas rencontrer le rateau. Le mouvement de ce levier est commandé par une roue solidaire de la roue C et qui porte aussi des saillies, ces saillies correspondant à deux centièmes de circonférence : pendant deux années consécutives, il y a déplacement du secteur, avance la première année, recul la seconde. La 25^e^ saillie est mobile, montée sur une roue satellite, qui tourne en 400 ans, et elle se met en place lorsque l'année séculaire est bissextile.

Fêtes mobiles. — Les fêtes mobiles sont figurées sur des bandelettes recouvrant chacune un fuseau. Celles de ces fêtes qui dépendent de Pâques sont réunies par un cercle en fer qui peut glisser sur des galets sur le bord intérieur du calendrier. Les autres fêtes mobiles sont : les deux derniers Quatre-Temps, la Saint Arbogaste, patron du diocèse, et le premier dimanche de l'Avent. Ces fêtes sont seulement astreintes à tomber sur un certain jour de la semaine, entre deux dates fixes de l'année. Nous n'insisterons pas sur les mécanismes imaginés par Schwilgué pour mettre les bandelettes portant ces quatre fêtes à la date voulue. Leur mise en place utilise d'une façon très ingénieuse l'avance de l'anneau dans la nuit du Nouvel An.

Nous allons étudier maintenant le problème singulièrement plus difficile qui se pose à propos de la fête de Pâques. Les données du problème sont nombreuses, ce qui rend la solution mécanique très compliquée. Nous l'exposerons avec détail, car elle met puissamment en relief le génie mécanique de Schwilgué et l'originalité de ses conceptions. Comme on l'a vu à propos de sa biographie, il avait déjà présenté à l'Institut, en 1821, un modèle réduit du Comput qu'il devait exécuter plus tard pour la cathédrale de Strasbourg (fig. 45). Le problème du calendrier a donc tourmenté son esprit de bonne heure ; il a dû trouver dans sa résolution complète un grand encouragement, et la confiance qu'il avait dans la réussite de sa mission en a été certainement renforcée.

LE COMPUT ECCLÉSIASTIQUE. — La fête de Pâques se célèbre, depuis le Concile de Nicée, le dimanche qui suit le quatorzième jour de la Lune pascale, celle-ci étant la lunaison dont le quatorzième jour tombe au plus tôt le jour de l'équinoxe de printemps. Si cette règle était appliquée aux données astronomiques, elle entrainerait des calculs très compliqués. C'est pourquoi Grégoire XIII a donné des règles empiriques, substituant à la lunaison vraie une sorte de lunaison moyenne appelée *lunaison ecclésiastique*, dont nous verrons plus loin le mode de calcul. En outre, l'équinoxe de printemps est invariablement fixé au 21 mars. Malgré ces simplifications, le problème reste des plus complexes.

Les données essentielles sont pour chaque année la date des dimanches et celle des nouvelles lunes ecclésiastiques. Les règles du Comput permettent de les connaître à l'avance, et le mécanisme construit par Schwilgué applique ces règles automatiquement. Ce mécanisme ne fonctionne qu'une fois par an, dans la nuit du Nouvel An, à minuit. Son moteur est déclanché automatiquement et met en mouvement les rouages, dont l'organe principal est la grande roue C (fig. 145) qui effectue un tour complet, puis s'arrête jusqu'à l'année suivante. C'est pendant ce tour que les diverses indications du comput, ainsi que le millésime sont mis au point.

Lettre dominicale, Cycle Solaire. — Dans le calendrier perpétuel, on a inscrit devant les jours de l'année les 7 premières lettres de l'alphabet, en commençant par A. Si le 1er janvier est un dimanche, tous les jours portant la lettre A seront aussi des dimanches, et la *lettre dominicale* sera A. Si le 1er janvier est un samedi, la lettre dominicale sera B ; s'il tombe un vendredi, la lettre dominicale sera C, et ainsi de suite.

Une année commune ayant pour lettre dominicale A est suivie d'une année ayant pour lettre dominicale G, puisque la première commençant un dimanche, la seconde commence un lundi. La lettre dominicale rétrograde donc d'un rang chaque année; mais une année bissextile, dont le premier jour est un dimanche, est suivie d'une année qui commence un mardi : la lettre devrait donc

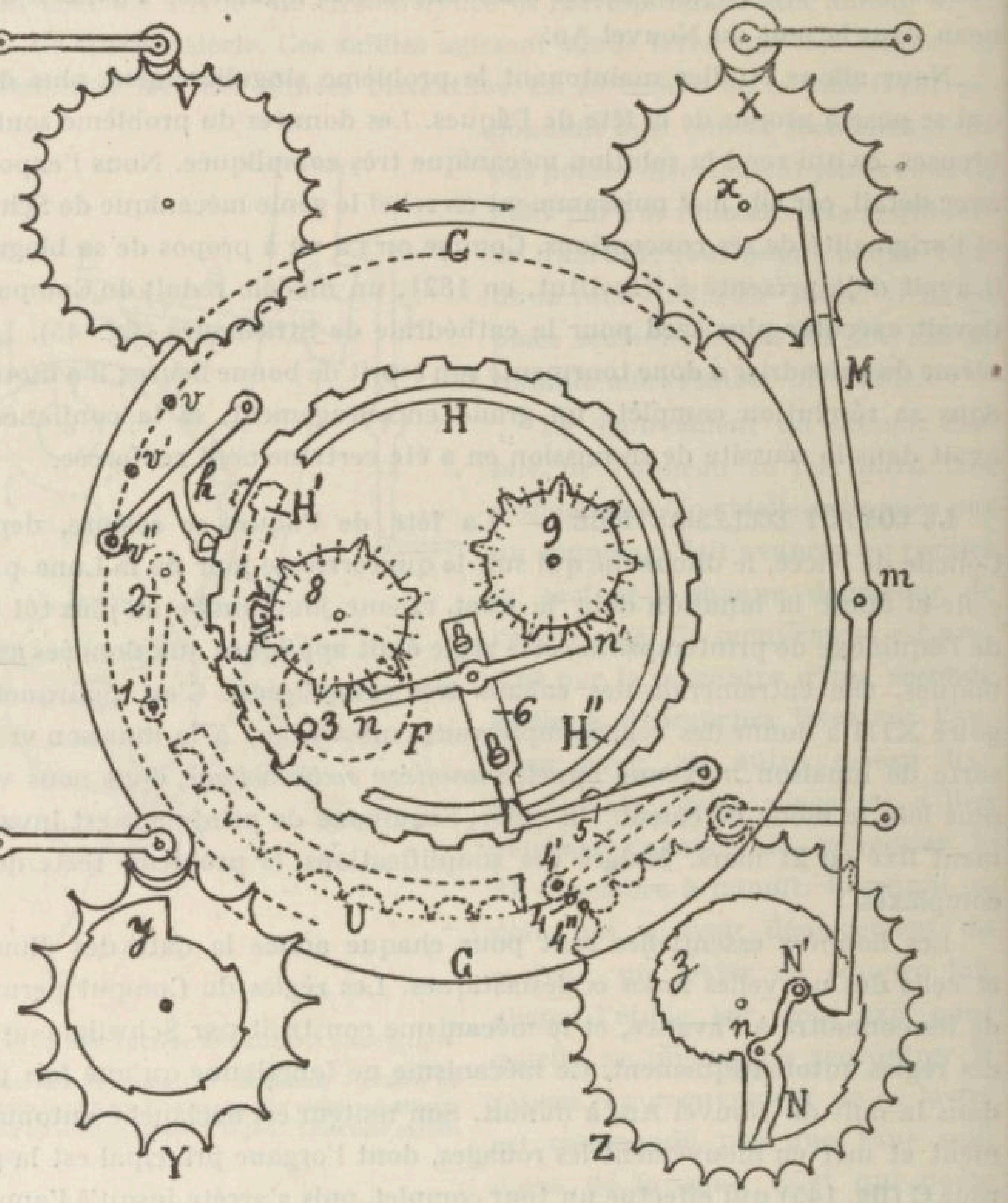


Fig. 145. — Le mécanisme du comput.

V disque portant l'aiguille du cycle solaire.
X — — — du nombre d'or.
Y — — — de la lettre dominicale.
Z — — — des épactes.

Au-dessus de chaque disque, on voit le sautoir qui l'immobilise au cours de l'année. La saillie H″ du chaperon H est interrompue pour la clarté du dessin.

rétrograder de deux rangs. Par convention, on évite cette interruption dans la suite des lettres dominicales en attribuant deux lettres aux années bissextiles, la première servant jusqu'à la fin de février, l'autre après jusqu'au 31 décembre.

Cet artifice revient à ne pas écrire de lettre devant le jour bissextile : la lettre dominicale doit évidemment reculer d'un rang après le jour sauté. C'est en vertu de ce principe que le secteur mobile du calendrier entraine avec lui les lettres correspondant aux deux premiers mois, laissant ainsi une interruption à la date du 29 février.

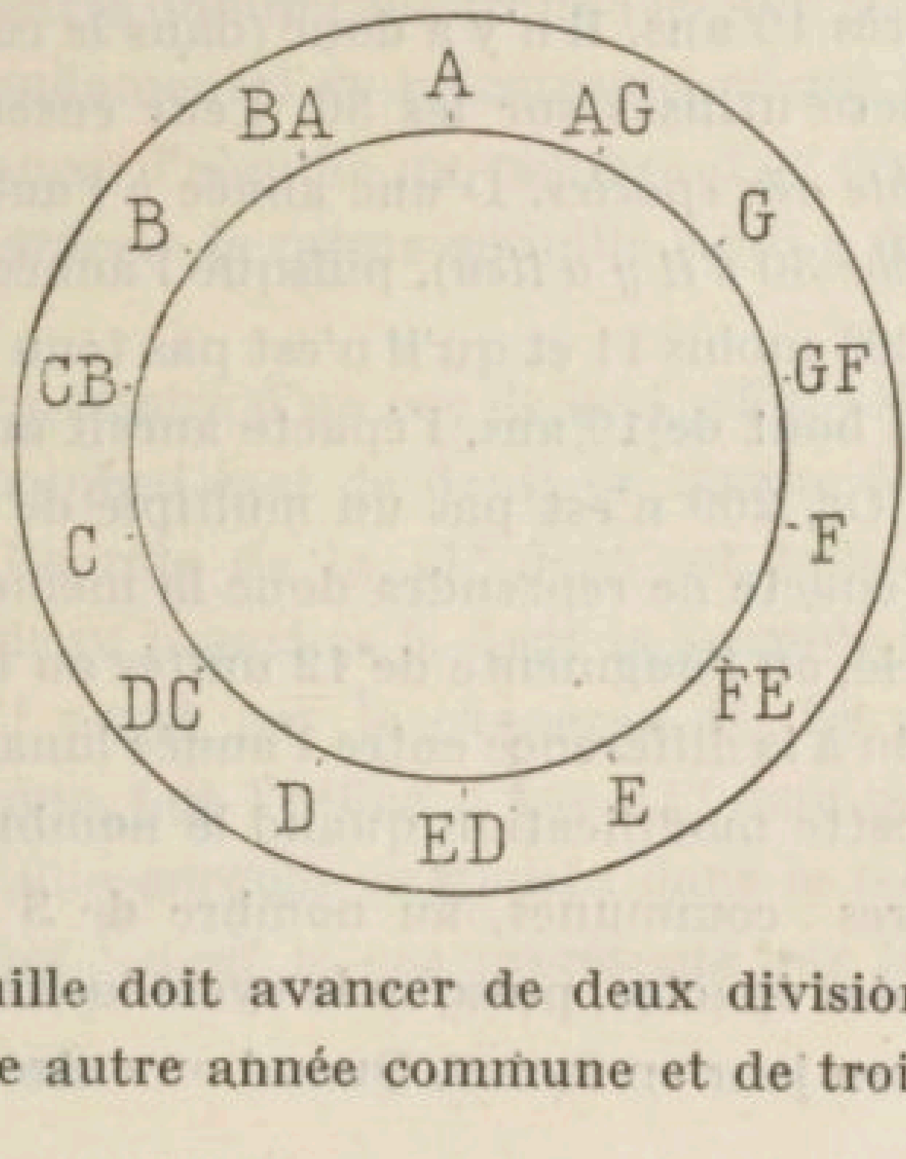
Voici, à titre d'exemple, les lettres dominicales pour plusieurs années consécutives :

1920	1921	1922	1923	1924	1925	1926	1927	1928	1929
DC	B	A	G	FE	D	C	B	AG	F

Le *Cycle solaire* est la période au bout de laquelle les jours de la semaine reviennent aux mêmes jours de l'année et dans le même ordre, à la condition qu'une année séculaire non bissextile n'y soit pas comprise. S'il n'y avait pas d'années bissextiles, le cycle serait de 7 ans. L'introduction du jour supplémentaire tous les 4 ans, le porte à : $4 \times 7 = 28$ ans. On numérote les années de 1 à 28 dans le cycle, sans distinction entre les années communes ou bissextiles. Dans un siècle, les années de même cycle solaire ont la même lettre dominicale. Mais, bien entendu, les années séculaires *communes* introduisent un changement, puisque les cycles qui les renferment comptent un jour de moins. On en jugera par le tableau suivant qui donne la lettre dominicale pour les premières années du cycle solaire.

Cycle solaire	1	2	3	4	5	6	7....
19e siècle	ED	C	B	A	GF	E	D....
20e et 21e siècles	FE	D	C	B	AG	F	E....
22e siècle	GF	E	D	C	BA	G	F....
23e siècle	AG	F	E	D	CB	A	G....

Le cycle solaire n'est donc pas immédiatement utilisable pour fixer les dimanches, tandis que le tableau des lettres dominicales fournit tout de suite un calendrier perpétuel. Dans le mécanisme du Comput, la lettre dominicale est indiquée par une aiguille sur un cadran disposé comme suit :



De la sorte, l'aiguille doit avancer de deux divisions si l'on passe d'une année commune à une autre année commune et de trois divisions si l'année écoulée ou l'année à venir est bissextile. Sur la roue C (fig. 145) sont placés 2 tenons fixes v et v', destinés à faire avancer de deux dents le disque à sautoir Y muni de 14 dents, qui porte l'aiguille. Un tenon mobile v'', vient s'ajouter aux deux précédents lorsque l'aiguille doit avancer de 3 intervalles. Il est porté par un levier à deux branches h, dont une extrémité s'appuie sur la circonférence du chaperon H, placé sur la roue C, et faisant par rapport à cette dernière *un tour en* 100 *ans*; ce chaperon porte 25 encoches dans lesquelles entre le talon du levier qui porte le tenon v'', lorsque celui-ci ne doit pas agir. Au contraire, lorsqu'il doit entrer en action, le talon est repoussé par les saillies qui séparent les encoches. Pour tenir compte des années séculaires *non bissextiles*, la saillie qui correspond aux années 99 et 100 *n'existe pas*. Elle est remplacée par une came mobile H' qui, *automatiquement, entre en jeu tous les* 400 *ans*, sous l'action d'un engrenage satellite 8. Elle vient alors prendre la place de la saillie qui manque.

L'indication du cycle solaire se fait sur un cadran gradué de 1 à 28. Chaque année, l'aiguille avance d'une division : la goupille v, plus longue que les deux autres, fait avancer d'une dent le disque à sautoir V qui est solidaire de l'aiguille.

Nombre d'or, Epacte. — La fixation de la date de Pâques dépend, nous l'avons vu, de la lunaison pascale. Il importe donc de connaître l'âge de la Lune ecclésiastique pour un jour quelconque de l'année. On y parvient par la méthode des Epactes, imaginée lors de la réforme grégorienne.

Le Cycle Lunaire est une période de 19 années juliennes (égale encore à 235 lunaisons) qui ramène la même succession des lunaisons aux mêmes jours de l'année, dans le même ordre. Le *Nombre d'or* est le rang de l'année dans le cycle lunaire.

L'*Epacte* est l'âge de la Lune le premier jour de l'année. C'est un nombre variable de I à XXX. D'après ce qu'on vient de voir, les épactes reviennent dans le même ordre après 19 ans. Il n'y a donc (dans le cours d'un même siècle) que 19 nombres d'épacte utilisés sur les 30. Leur ensemble, dans l'ordre de succession, forme la *table des épactes*. D'une année à l'autre, l'épacte augmente de 11 unités (*on retranche* 30 *s'il y a lieu*), puisque l'année lunaire est d'environ 354 jours, c'est-à-dire 365 moins 11 et qu'il n'est pas tenu compte des jours bissextiles. Mais alors, au bout de 19 ans, l'épacte aurait augmenté seulement de $19 \times 11 = 209$ jours. Or, 209 n'est pas un multiple de 30, mais un multiple de 30 diminué de 1 : l'épacte ne reprendra donc la même valeur après 19 ans, que si, une fois par cycle, on l'augmente de 12 unités au lieu de 11. On regagne ainsi l'écart de 1 jour, dû à la différence entre l'année lunaire exacte et 354 jours On convient de faire cette modification quand le nombre d'or passe de 19 à 1.

Les années séculaires communes, au nombre de 3 en 400 ans, rompent naturellement la suite des épactes, puisque le cycle lunaire qui comprend l'une de ces années, compte un jour en moins. Quand on entre dans une année séculaire commune, l'épacte augmente donc seulement de 10 unités (11 si le nombre d'or passe de 19 à 1). Il est clair que cette modification à la règle change la table des épactes pour tout le siècle ; ainsi, la table des épactes a changé en 1900.

Cette complication n'est pas la seule, car le cycle lunaire de 235 lunaisons est en réalité un peu inférieur à 19 années juliennes. D'après les données admises par Grégoire XIII, l'erreur atteint un jour en 312 ans [1]. Voici comment on tient compte de cet écart. Tous les 300 ans, on ajoute 1 à l'épacte calculée comme ci-dessus, cette opération se faisant sur des années séculaires : on dit alors qu'il y a *équation lunaire*. Si l'année séculaire est commune et qu'il y ait équation lunaire, l'épacte augmente de $10 + 1 = 11$; si l'année est bissextile, l'épacte augmente de $11 + 1 = 12$. Si le nombre d'or est 1, ces nombres sont respectivement portés à 12 et 13. En réalité, c'est au bout de 312 ans (et non de 300) que l'erreur atteint un jour. On tient compte des 12 ans négligés en retardant de 100 ans une équation lunaire sur 8.

Ainsi, il y a eu où il y aura équation lunaire en :

500	800	1100	1400	*1800*	2100	2400	2700	
3000	3300	3600	3900	*4300*	4600	4900	5200	etc.

Les années retardées reviennent tous les 25 siècles, et sont écrites en italique.

Il faut, en résumé, augmenter l'épacte de 11 en général, au début de chaque année, sauf les corrections suivantes :

1° Tous les 19 ans, ajouter 1 ;

2° Tous les 100 ans, retrancher 1, sauf une fois tous les 400 ans ;

3° Tous les 300 ans, ajouter 1, sauf à porter l'intervalle à 400 ans, une fois tous les 25 siècles.

Il était indispensable de donner ces indications détaillées sur la règle grégorienne des épactes, pour faire comprendre la difficulté du problème mécanique qui consiste à faire avancer l'aiguille sur le cadran des épactes, habituellement de 11 divisions, mais parfois de 10, de 12 ou de 13. La méthode employée par Schwilgué pour tenir compte des années séculaires communes et bissextiles dans l'indication de la lettre dominicale, trouve ici une application généralisée.

La roue C, organe fondamental du mécanisme, et qui fait un tour à minuit au Nouvel An, fait avancer l'aiguille du nombre d'or d'une division, à l'aide du disque sautoir X et grâce à la même goupille v qui a déjà actionné le cycle solaire.

En outre, par l'intermédiaire d'un arc denté U (fig. 145) qui porte 10 dents, elle fait tourner d'un nombre égal de dents le disque à sautoir Z qui porte l'aiguille des épactes. Le rôle de la 11e dent est tenu par une goupille 4, portée par un levier à deux branches 5, dont la seconde branche s'appuie sur un rebord circulaire H″ porté par le chaperon H. La goupille, ainsi placée dans sa position moyenne, fait l'office d'une 11e dent ajoutée au rateau U. Aux années séculaires, une encoche pratiquée dans le rebord du chaperon se présente devant le levier : c'est le cas représenté sur la figure. La goupille

[1] Exactement en 307 ans.

peut alors prendre 3 positions différentes. Dans sa position moyenne, 4, elle fait avancer comme d'habitude le disque des épactes d'une dent. Dans la position 4', elle reste *hors de prise*, dans la position 4″ elle entraîne le disque Z de 2 *divisions*.

On tient compte ainsi des diverses particularités qui se présentent aux années séculaires. Les 3 positions de la goupille sont réglées par un verrou 6 qui coulisse dans l'encoche pratiquée dans le rebord H″ du chaperon H. Le verrou s'appuie d'autre part sur un fléau à bascule *nn'*. Le mouvement du fléau s'obtient de la manière suivante : ses deux extrémités reposent respectivement sur deux disques 8 et 9, entrainés par le chaperon sur lequel ils tournent, le premier en 2400 ans (6 fois 400 ans, intervalle des années séculaires bissextiles), et le second en 2500 ans (période des équations lunaires). Le disque 8 porte 6 saillies équidistantes sur sa circonférence. Elles maintiennent aux années séculaires bissextiles l'extrémité du levier à sa position normale, et la goupille 4 agit pour la 11ᵉ épacte. Mais aux années communes, le levier 5 descend dans l'encoche, et la goupille prend la position 4', si toutefois l'autre extrémité du levier *nn'* est restée à sa position normale.

Le disque 9 agit de même pour produire les équations lunaires. Il est divisé en 25 parties, avec une saillie de 3 en 3 divisions, le dernier intervalle étant de 4. La position normale du levier est au fond des encoches : les saillies le soulèvent, et amènent la goupille en 4″, si toutefois l'extrémité *n* du fléau repose aussi sur une saillie de la roue 8. Si les disques 8 et 9 agissent à la fois pour amener la goupille, l'un en 4', l'autre en 4″, les effets se compensent, la goupille reste en 4, et il n'y a pas changement de la table des épactes. C'est ce qui arrivera en 2100, 2700, 3000, 3300, etc., car ces années séculaires seront communes, et il y aura équation lunaire.

Le 12ᵉ jour d'épacte à introduire tous les 19 ans est obtenu par l'action d'une autre goupille 1, qui se met au niveau des dents du rateau U lorsque le levier 2 qui la porte est soulevé par la broche 3 (fig. 145), laquelle est fixée sur la roue satellite F qui tourne en 19 ans sur la roue principale C.

Millésime, Indiction Romaine. — Pour en finir avec les indications du Comput, mises en place pendant le tour qu'effectue la roue C, signalons le millésime de l'année, amené par un mécanisme compteur de tours, et l'indiction romaine. L'indiction n'a aucune signification astronomique ; elle se compte de 1 à 15 et avance régulièrement chaque année d'une unité. Employée sous les derniers empereurs romains et à Byzance, l'indiction a été conservée dans le Comput où son rôle est très limité : il consiste, d'après Lalande, à figurer « dans les actes de la Cour de Rome et de la République de Venise ».

(*A suivre.*)

ALFRED UNGERER,
Fabricant d'Horloges à Strasbourg,
Successeur de SCHWILGUÉ.

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES PLAGES CLAIRES MARTIENNES (¹)

En étudiant l'angle de position de la calotte polaire boréale de la planète Mars, dans sa partie centrale, par rapport à l'axe de rotation de cette planète, d'après les observations faites à Sétif en 1920, M. G. Fournier a mis en évidence une excentricité très marquée de cette calotte par rapport au pôle aréographique. Même le 25 avril 1920, moment où les matériaux blanchâtres polaires étaient à une période de minimum, ce pôle était libre de toutes blancheurs, mais en général l'excentricité était moins accusée.

On verra d'après le croquis ci-joint (fig. 156) que l'excentricité moyenne atteignait plus de 4°. Elle était orientée approximativement vers 30° de longitude. Les cercles en pointillé donnent la position des blancheurs polaires aux diverses dates envisagées.

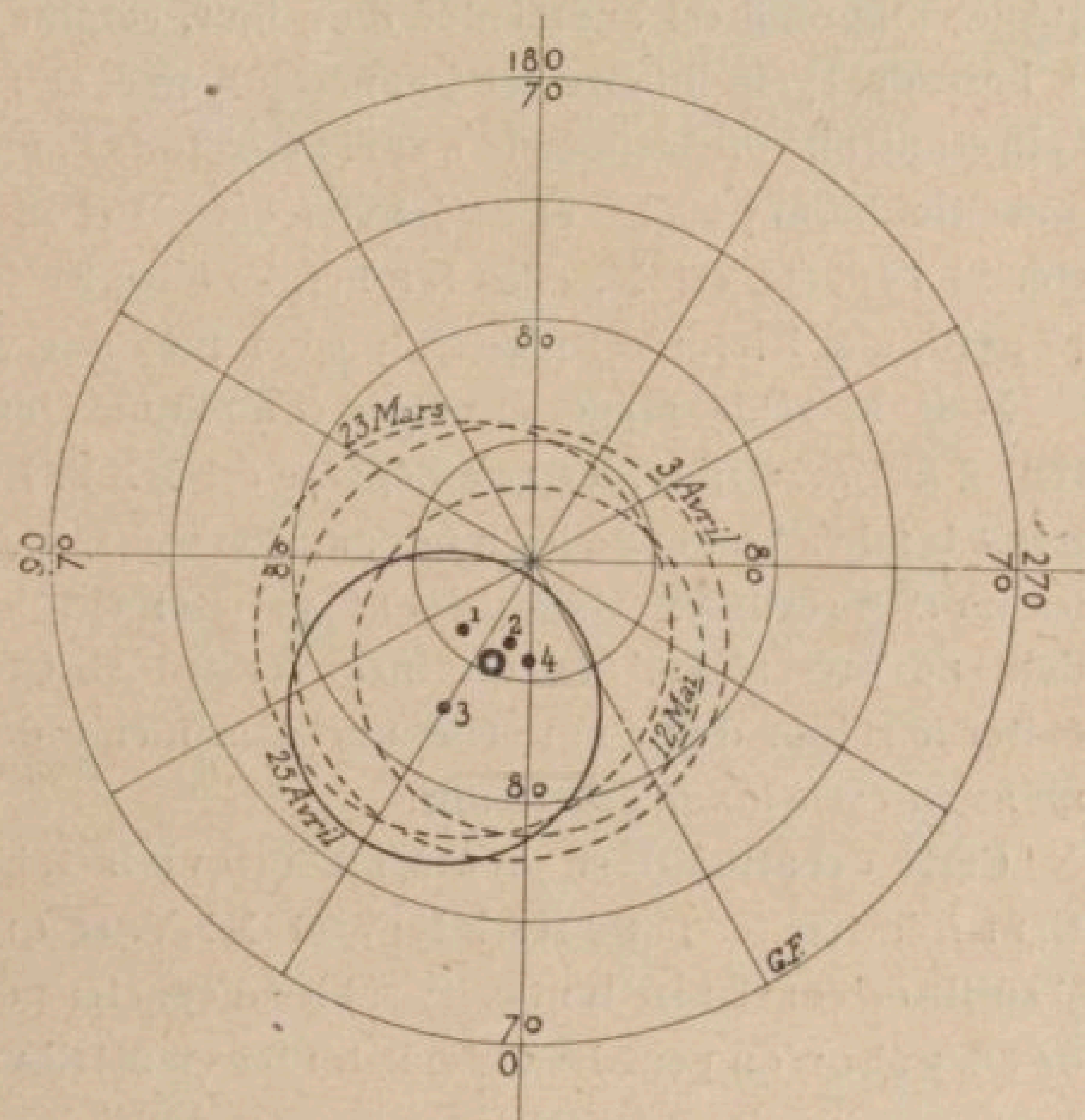


Fig. 156. — Croquis de la région boréale de Mars, pour montrer l'excentricité de la calotte polaire.

(Les cercles en pointillé donnent les positions des blancheurs polaires aux dates marquées sur ces cercles.)

D'un autre côté, il résulte des recherches faites d'après les documents recueillis à l'Observatoire de Sétif, en 1916, par M. P. Briault, que Nix Olympica (ou tout au moins la blancheur dans laquelle elle est englobée) aurait été nettement aperçue dès cette époque (5 janvier 1916), dans une position assez voisine de celles où elle fut observée en 1918 et 1920.

R. Jarry-Desloges.

L'HORLOGE ASTRONOMIQUE
DE LA CATHÉDRALE DE STRASBOURG
(Suite et fin) (²)

LA DATE DE PAQUES. — La lettre dominicale et l'épacte de l'année étant connues, comment en déduit-on la date de Pâques?

Il faut d'abord calculer les nouvelles lunes ecclésiastiques de l'année et en particulier la lunaison pascale. Or, le mois lunaire est de 29 jours 1/2, mais

(¹) *Comptes rendus* de l'Académie des Sciences, t. 172, n° 24, 13 juin 1921. Voir pour l'excentricité des neiges polaires et Nix Olympica le globe de Mars de Flammarion.

(²) Voir les *Bulletins* de Mars 1921, p. 89, Avril, p. 147, Mai, p. 196, et Juin, p. 250.

l'âge de la Lune ecclésiastique se compte en jours entiers. On convient donc de compter les lunaisons alternativement de 30 et 29 jours, les lunaisons de 29 jours étant celles qui *comprennent* les dates suivantes : 5 février, 5 avril, 3 juin, 1er août, 29 septembre et 27 novembre. Cela revient à compter ces jours pour deux, dans une suite de lunaisons fixées uniformément à 30 jours. Dans les années bissextiles, le jour intercalaire n'est pas compté. La lunaison qui le comprend est augmentée d'un jour, comme cela est nécessaire, puisque la base du cycle lunaire est l'année julienne, et non l'année civile commune. Cela étant, on voit facilement que si l'épacte de l'année est XXX [1], les nouvelles lunes tomberont les 1er et 31 janvier, les 1er et 31 mars, le 29 avril, le 29 mai, etc. Si l'épacte est X, elles tomberaient les 21 janvier, 19 février, 21 mars, 19 avril, etc. Rien n'est plus simple comme on le voit.

Mais la règle grégorienne se complique singulièrement, d'une manière tout à fait arbitraire, lorsque l'épacte est XXV. En effet, ce nombre d'épactes ferait tomber les nouvelles lunes aux 6 janvier, 5 *février*, 6 mars, 5 *avril*, etc. ; les jours inscrits en italique sont précisément les jours comptés deux fois. Cela ne présenterait aucun inconvénient si Grégoire XIII n'avait tenu à éviter le retour d'une nouvelle lune à la même date de l'année *deux fois dans un même cycle lunaire de* 19 *ans.*

Cette éventualité se produirait lorsque la table des épactes en usage contient à la fois les nombres XXIV et XXV, ce qui peut arriver. Pour le voir, il suffit de construire toutes les tables d'épactes possibles ; elles sont au nombre de 30, puisqu'on peut les obtenir toutes en attribuant successivement à l'année 1 du cycle lunaire les différentes épactes de I à XXX. Le cas considéré ci-dessus se présente lorsqu'on part des épactes

II VII X XIII XVIII XXI XXIV XXIX

et l'on vérifie la règle suivante : *lorsque l'épacte* XXV *se présente avec un nombre d'or plus grand que* 11, *l'épacte* XXIV *existe dans la même table, et dans ce cas seulement.*

Il n'y a donc aucune difficulté lorsque le nombre d'or est inférieur ou égal à 11. Si l'épacte de l'année est XXV, les nouvelles lunes tombent aux dates prévues, 6 janvier, 5 février, 6 mars, 5 avril, etc. La Lune pascale est alors celle du 5 avril, *comme si l'épacte était* XXIV. C'est d'ailleurs la date la plus tardive, on conçoit la raison qui a fait repousser jusqu'à cette date la difficulté qu'entraîne le doublement nécessaire d'un jour.

Mais si le nombre d'or est plus grand que 11, les deux années du cycle qui ont pour épacte XXIV et XXV auraient 6 nouvelles lunes aux mêmes dates de l'année, 5 février, 5 avril, 3 juin, etc. C'est ce que Grégoire XIII a voulu éviter en prescrivant d'avancer d'un jour les 6 nouvelles lunes en question pour celle des deux années dont l'épacte est XXV. Dans les calendriers on différencie ces années en écrivant, lorsque le nombre d'or est plus grand que

[1] Si la Lune est nouvelle le 1er janvier, l'épacte peut être prise soit à XXX soit à 0. On la représente le plus souvent dans les annuaires par une astérisque *.

11, *l'épacte* 25 *au lieu de* XXV. Les nouvelles lunes tombent alors aux dates suivantes : 6 janvier, 4 *février*, 6 mars, 4 *avril*. La nouvelle lune pascale est celle du 4 *avril, comme si l'épacte était* XXVI. Mais aucune difficulté n'est à craindre de ce fait, les épactes XXIV, XXV et XXVI ne pouvant coexister dans une même table d'épactes.

En résumé, pour le calcul de la fête de Pâques, qui seul nous occupera dans la suite, l'épacte XXV *devra être remplacée par* XXIV *si le nombre d'or est inférieur ou égal à* 11, *et par* XXVI *si le nombre d'or est plus grand que* 11.

Nous allons voir tout à l'heure comment Schwilgué a tenu compte de cette règle, d'une façon très simple, mais il convient d'indiquer tout d'abord le principe du mécanisme qui effectue automatiquement le calcul de la date de Pâques.

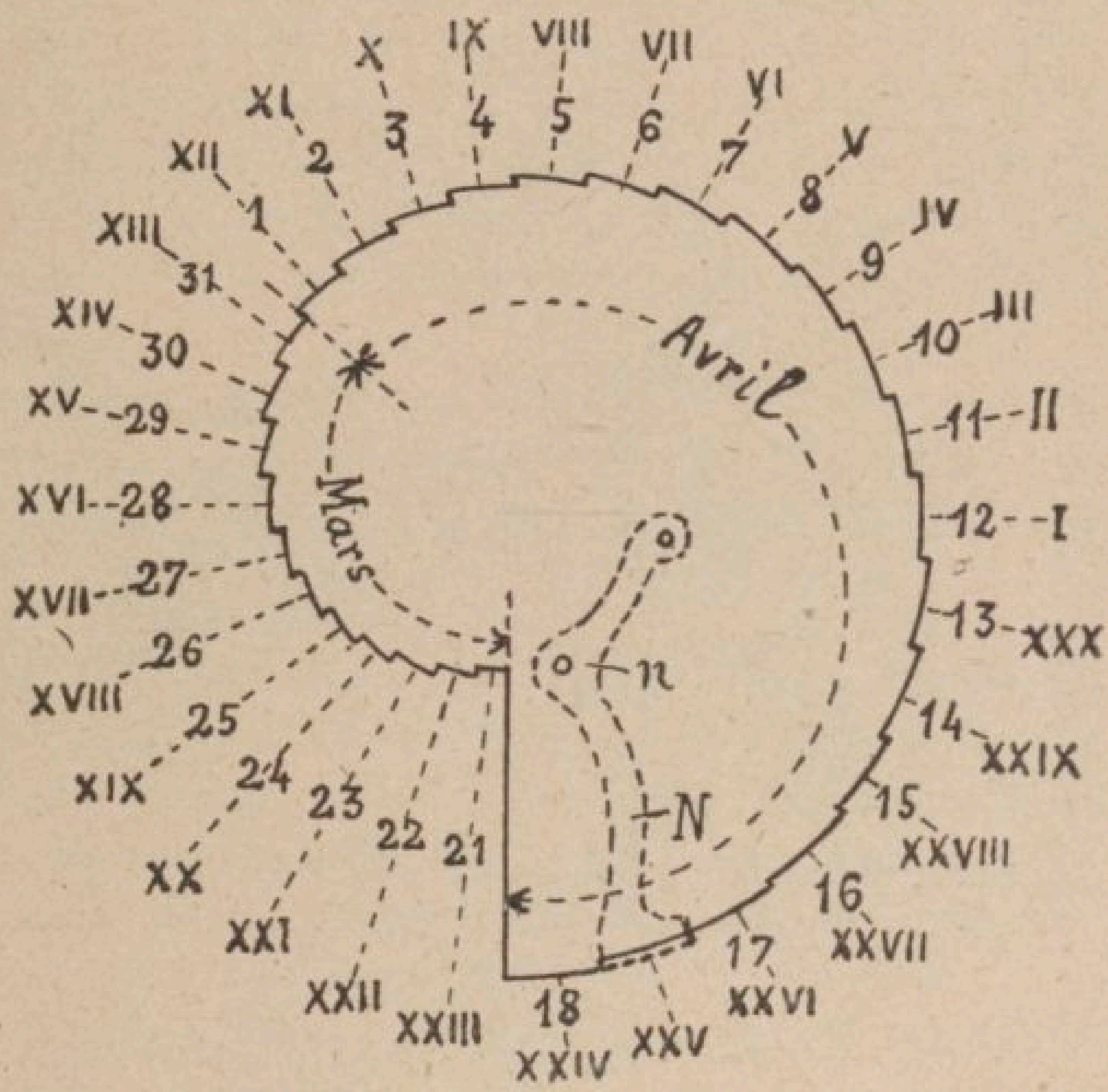


Fig. 157. — Le limaçon des épactes.

Le limaçon est divisé en 30 parties correspondant chacune à un nom d'épactes (en chiffres romains) et par suite, à l'une des dates possibles (en chiffres arabes) du 14e jour de la lune pascale. Chacune de ces parties dépasse la précédente de 4mm, sauf la 29e, qui se trouve au niveau de la 28e. Lorsque le nombre d'or est plus grand que 11, la pièce N (en pointillé) tourne autour de son axe *n* et vient surélever la 29e division d'un degré.

Le 14e jour de la lune pascale peut être représenté facilement en fonction de l'épacte, puisque celle-ci fixe la nouvelle lune pascale sans ambiguité. Si l'épacte est XXIV ou XXV, le 14e jour de la lune pascale tombe le 18 avril. Si l'épacte est *25* ou XXVI, le 17 ; si l'épacte est XXVII, le 16, et ainsi de suite en reculant d'un jour le 14e jour de la lune pascale chaque fois que l'épacte augmente de 1.

Le disque qui porte l'aiguille des épactes porte également un limaçon à degrés *z* (fig. 145 et 157) dont les degrés correspondent à toutes les dates que peut occuper le 14e jour de la lune pascale, du 21 mars au 18 avril. D'un degré à l'autre, le rayon du limaçon augmente de la même quantité (4 millimètres). Toutefois, le degré qui correspond à l'épacte XXV a le même rayon que celui de l'épacte XXVI. Une pièce N, mobile autour du centre *n* (fig. 145 et 157) vient, lorsque l'épacte est XXV, donner à ce degré le même rayon que celui de l'épacte XXIV. Lorsque l'épacte est *25*, la pièce s'éclipse derrière le plus haut degré et tout se passe comme si l'épacte était XXVI. *Ainsi est satisfaite la règle grégorienne.*

Le mouvement de la pièce N, est commandé par le levier M, dont l'autre extrémité repose sur une came x, qui tourne avec l'aiguille du nombre d'or. La came x présente une saillie qui correspond aux nombres d'or inférieurs ou égaux à 11 et qui repousse le levier M. Alors la pièce N se met en place ; au contraire, si le nombre d'or est plus grand que 11, le levier bascule, la pièce N s'éclipse.

Un grand rateau R (fig. 158) tourne autour de l'axe O. Il porte un bras R'

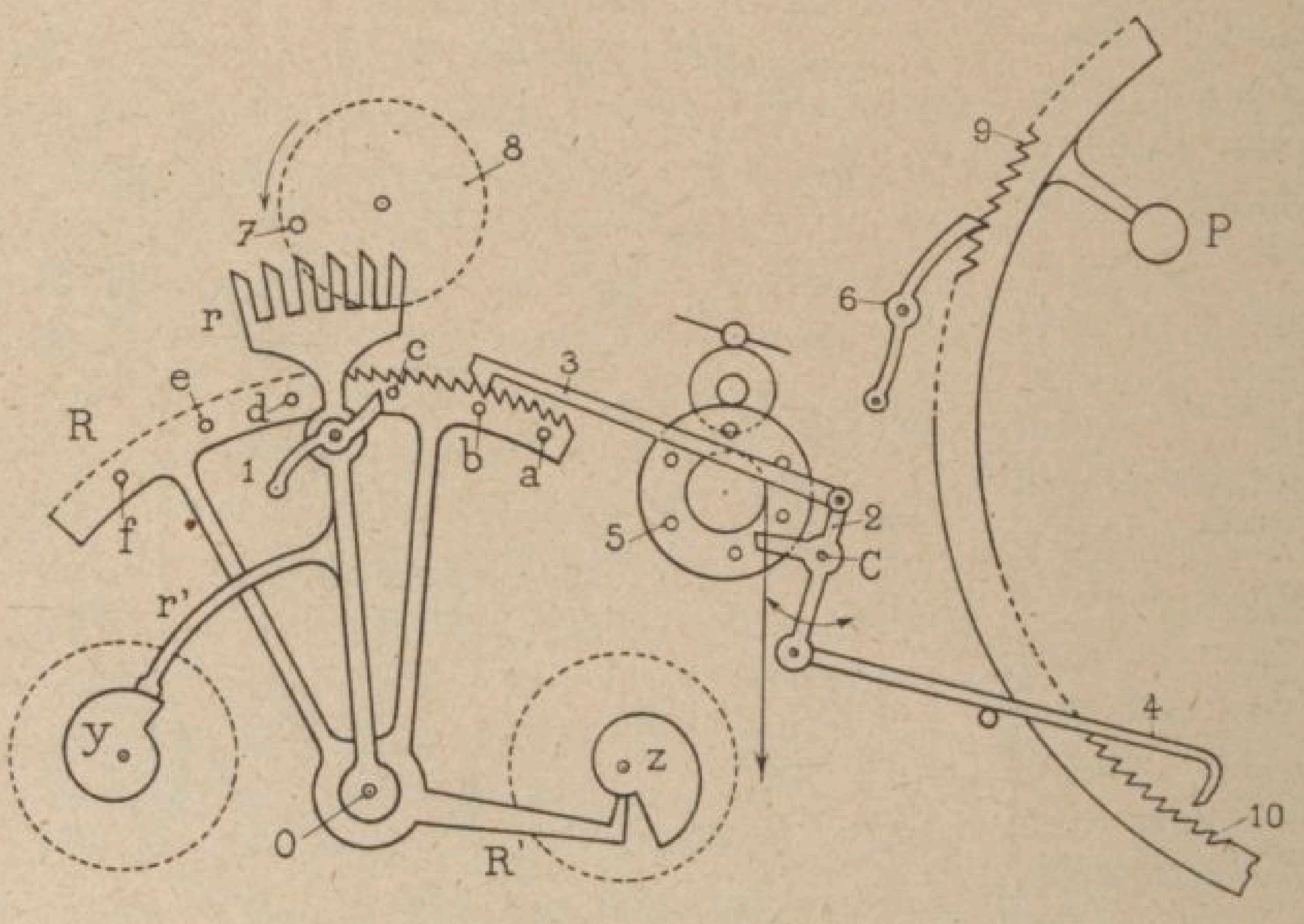


Fig. 158. — Le mécanisme de Pâques.

Les rateaux R et r sont mis en place par le mécanisme du comput. Puis, le cliquet 6 libère le cerc Pâques qui retombe. Le moteur 5 entre alors en action ; par l'intermédiaire du crochet 4 et du rateau 10 il remonte le cercle de Pâques jour par jour ; en même temps, il fait avancer le rateau R, dent par dent, vers sa position de repos. Quand celle-ci est atteinte, le jour de Pâques a gagné sa place, tout s'arrête.

muni d'un talon qui vient s'appuyer sur le limaçon z des épactes, et repose sur le degré qui correspond à l'épacte de l'année. C'est ce rateau qui, dans le petit modèle du Comput, dont on a vu la reproduction page 95, porte l'aiguille de Pâques. Chaque fois que le talon s'élève d'un degré du limaçon au suivant, le rateau et l'aiguille avancent d'un jour. Une fois le talon du rateau appuyé sur le limaçon, l'aiguille marque la date du 14e jour de la lune pascale. *Il ne reste plus qu'à l'avancer jusqu'au dimanche suivant.*

A cet effet, le disque mobile de la lettre dominicale porte aussi un limaçon y, mais de sept degrés seulement, correspondant à chacune des lettres dominicales. Le degré de plus grand rayon représente la lettre C qui est inscrite devant le 21 mars dans le calendrier perpétuel. Un second rateau r, portant également un talon *r'*, retombe sur le limaçon de la lettre dominicale lorsque celui-ci est mis en place. Ce rateau porte un cliquet 1, qui peut s'appuyer sur les goupilles *a*, *b*, *c*, du grand rateau, goupilles dont la distance angulaire est de 7 jours. Leur position est telle que, si le 14e jour de la lune pascale est un dimanche, c'est-à-dire si sa lettre est la lettre dominicale, le cliquet, une fois les deux rateaux appuyés sur les limaçons, se trouve en prise avec une des goupilles. Par conséquent, si le 14e jour de la lune pascale est un mardi, par exemple, sa lettre correspond à deux degrés de plus que la lettre dominicale de l'année. Le cliquet est donc séparé de la goupille qui lui fait face par un intervalle correspondant à deux jours. Il suffit de faire reculer le petit rateau d'un angle correspondant à *sept jours* pour entraîner le grand rateau et l'aiguille de Pâques de cinq jours, c'est-à-dire pour l'amener sur le dimanche qui suit le 14e jour de la lune pascale. *L'aiguille indique alors le jour de Pâques.* Le recul du petit rateau s'obtient par la rotation de la roue 8 qui fait un tour au moment voulu. La goupille 7 pénètre entre les dents du rateau *r*, et l'entraîne de 7 intervalles exactement.

Dans le comput de l'horloge, il n'y a pas d'aiguille de Pâques. Le grand rateau est denté, chaque dent correspondant à un jour. Il nous reste à voir comment, une fois mis en place, il sert à fixer sur le calendrier circulaire la date de Pâques et les fêtes qui en dépendent.

Mise en place du jour de Pâques sur le Calendrier perpétuel. — Nous avons vu que le jour de Pâques est inscrit sur un petit secteur porté par un cercle concentrique à l'anneau, ce secteur venant recouvrir le fuseau de la date de Pâques. Les fêtes qui en dépendent sont indiquées de la même manière et solidaires du même cercle : elles seront donc mises en place en même temps que le jour de Pâques.

Le cercle roule sur des galets portés par l'anneau du calendrier. Il est muni de deux rateaux à rochets. L'un d'eux 9 (fig. 158) est retenu par un cliquet 6 qui maintient le cercle en position pendant l'année. Ce cliquet est automatiquement soulevé par une butée fixe pendant l'avance du calendrier dans la nuit du Nouvel An. Le cercle ainsi libéré roule sur ses galets, entraîné par un contrepoids P. Le secteur portant la date de Pâques glisse alors sur le calendrier jusqu'à occuper la position correspondant au 3 mai. Une butée arrête alors le mouvement du cercle. Il s'agit de ramener le jour de Pâques du 3 mai à la date qu'il occupera dans l'année qui commence.

Pendant ces mouvements, le Comput est entré en action pour la mise en place de ses diverses données, puis les rateaux ont rempli leurs fonctions de manière à amener le grand rateau R à la position du jour de Pâques. Le moteur du Comput s'arrête alors et, aussitôt, un second moteur se met en marche pour agir sur le cercle pascal. Ce cercle porte un second rateau à rochets 10. Une tirée 4 terminée par un crochet est animée d'un mouvement de va-et-vient qui a pour effet de faire revenir en arrière le cercle de Pâques d'une dent à chaque oscillation. Ce mouvement de va-et-vient est donné par les rouleaux 5 du rouage moteur agissant sur un bras 2 pivotant autour du centre C.

Il faut arrêter le mouvement quand le jour de Pâques a gagné sa place. Pour cela, le bras pivotant porte une seconde tirée à crochet 3, qui engrène sur le rateau R et le fait avancer aussi d'une dent, c'est-à-dire d'un jour à chaque oscillation. Quand le rateau R a atteint sa position de repos, il presse sur une détente qui arrête le moteur. Le cercle des fêtes mobiles se déplace donc en tout d'un nombre de dents (ou de jours) égal à celui dont le rateau R était écarté de sa position de repos, laquelle correspond également au 3 mai : le secteur portant le mot *Pâques* est donc bien arrivé à la date voulue.

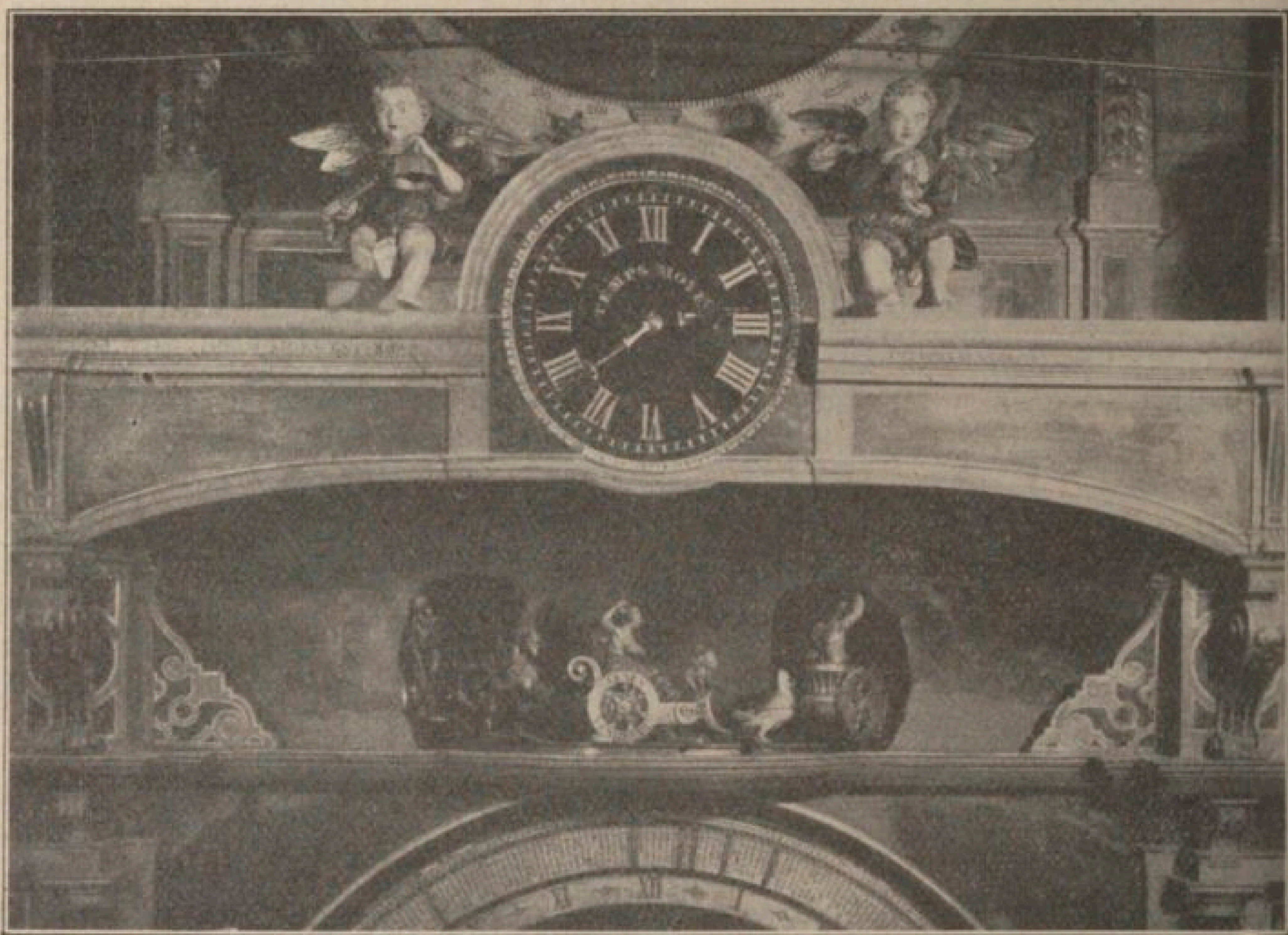


Fig. 159. — Le cadran de temps moyen et les figurines des jours de la semaine.
A gauche, l'ange qui sonne les premiers coups des quarts; à droite l'ange au Sablier.

Tout est terminé, les mécanismes du Comput et le moteur de Pâques resteront au repos jusqu'au Nouvel An prochain.

Il va de soi que le mécanisme du Comput possède, en plus des pièces essentielles décrites ci-dessus, un nombre considérable de pièces accessoires, servant principalement à déclancher les mouvements dans l'ordre voulu, et à les arrêter ensuite. La description qui précède est donc en réalité très sommaire, et ne donne qu'une faible idée de l'extraordinaire complexité du mécanisme.

On peut affirmer, sans s'avancer beaucoup, que cette pièce est unique au monde. Schwilgué n'a pu s'inspirer, pour en concevoir le principe, d'aucun modèle ni d'aucun dispositif analogue. A une époque où le machinisme était moins universellement répandu qu'aujourd'hui, on conçoit qu'un tel chef-d'œuvre ait valu à son auteur la réputation d'un incomparable horloger,

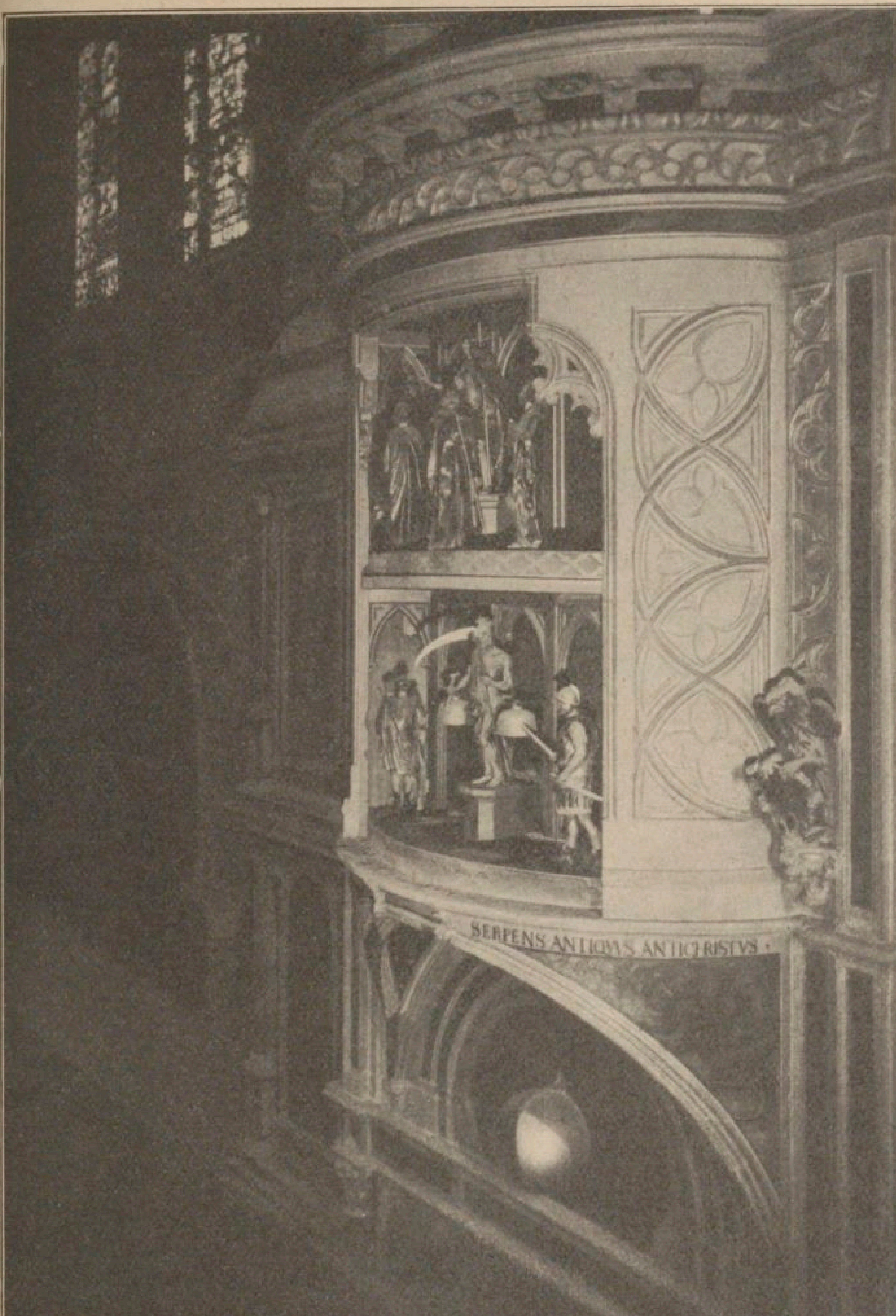


Fig. 160. — Les quatre âges de la vie et les Apôtres.
En bas le grand globe lunaire qui indique la phase de la Lune.

doué du mystérieux pouvoir de ressusciter l'antique merveille de Strasbourg.

FIGURES ALLÉGORIQUES

Nous ne pouvons terminer cette description de l'horloge astronomique sans parler des automates ; mais nous le ferons très succinctement, car cette partie de l'œuvre étant la plus accessible est de beaucoup la mieux connue.

Le jour de la semaine est indiqué par la figure allégorique qu'on aperçoit immédiatement au-dessous du cadran de temps moyen (fig.159). Les sept statuettes munies de leurs attributs sont assises sur des chars traînés par des animaux. Ces chars sont fixés sur un cercle en fer qui effectue d'un mouvement continu un tour entier en une semaine. Le carrousel est réglé de manière à ce que chaque jour, à midi, la statuette correspondante se trouve en dessous du cadran. Du dimanche au samedi paraissent ainsi tour à tour : Apollon, la Lune, Mars, Mercure, Jupiter, Vénus et Saturne.

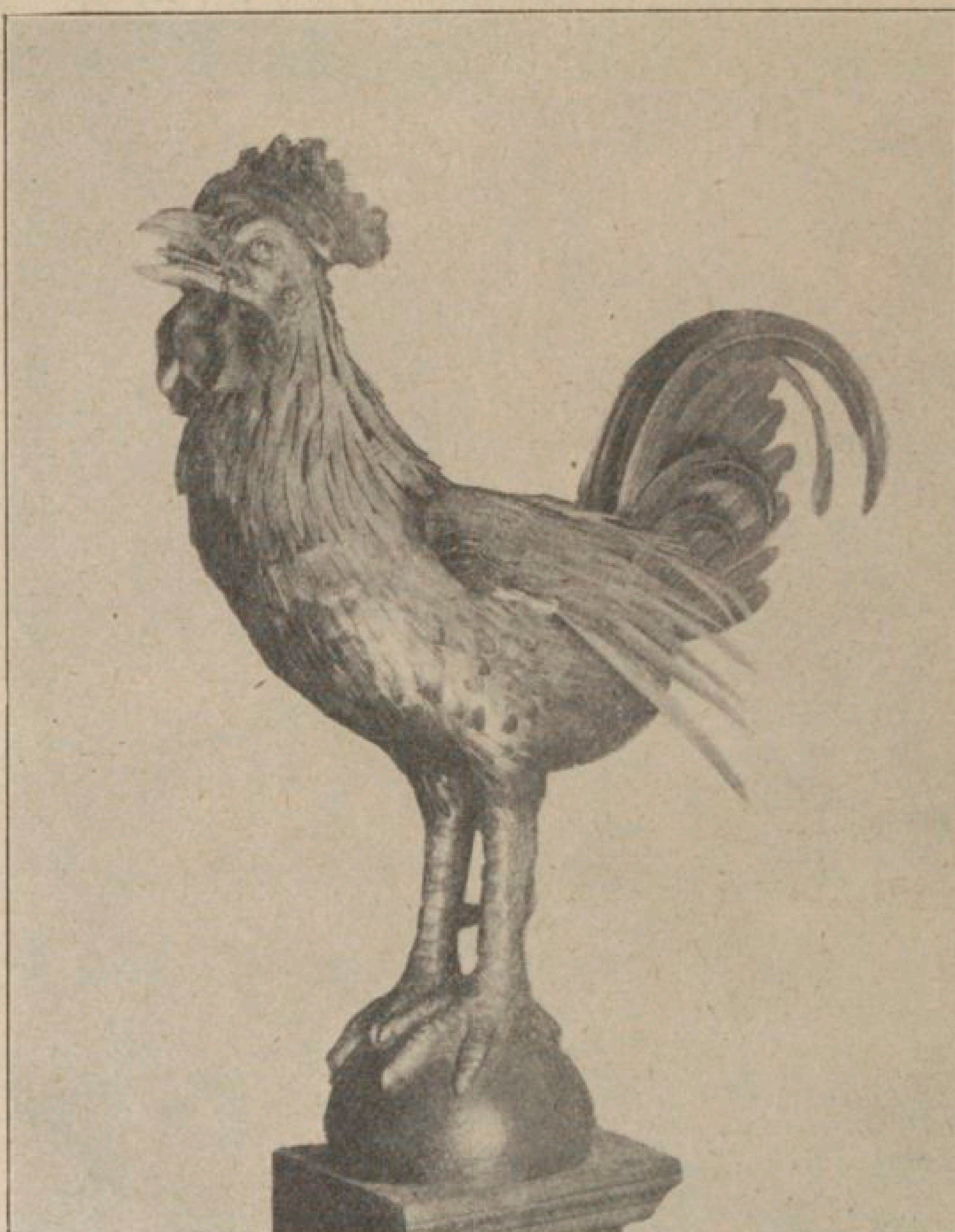


Fig. 161. — Le Coq.
Le Coq, haut d'un mètre, a le cou, le bec les ailes et la queue articulés.

L'ange qui est à gauche du cadran sonne les premiers coups des quarts. Le second coup des quarts est sonné par les statuettes qui figurent les Quatre Ages de la Vie (fig. 160) : l'enfant sonne le premier quart, l'adolescent, la demie ; le guerrier, le troisième quart ; le vieillard sonne quatre coups aux heures. C'est la Mort qui sonne les coups des heures sur une clochette. L'ange qui est à droite du cadran tourne un sablier aux heures enitères.

Les articulations de ces automates sont combinées de manière à reproduire aussi fidèlement que possible les mouvements humains. C'est ainsi que Schwilgué avait déterminé le rapport qui existait entre sa taille et la longueur de son pas pour le reproduire chez ses automates.

Les statuettes des quatre âges s'arrêtent à 18 heures chaque soir pour rester au repos jusqu'au lendemain matin à 6 heures. L'auteur a voulu symboliser ainsi le sommeil de l'homme, tandis que la Mort qui poursuit son œuvre nuit et jour sonne les heures sans interruption.

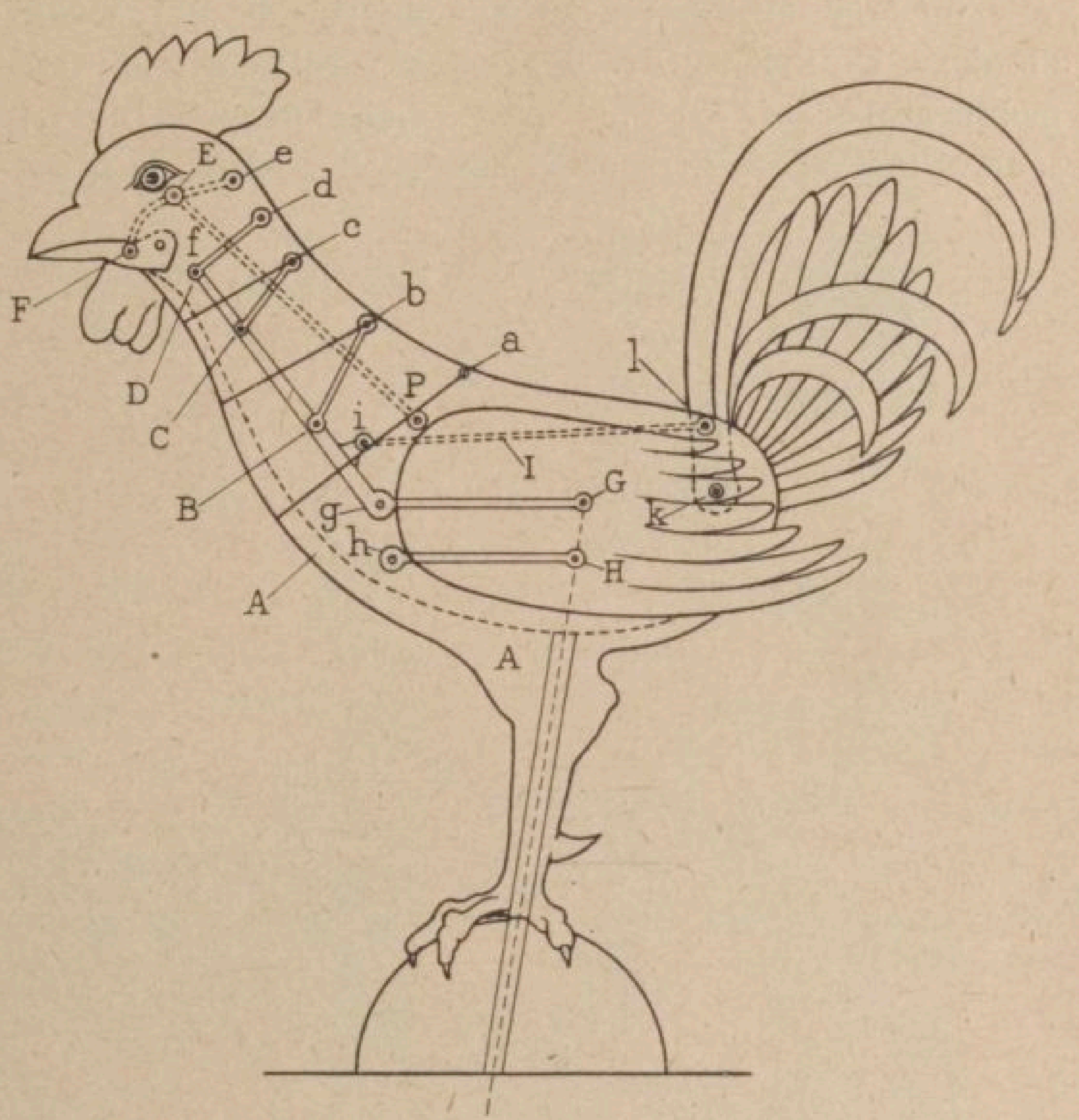


Fig. 162. — Mécanisme du Coq.

Dans chacune des pattes passe un fil de tirée commandant un levier. Le premier H *h* actionne les ailes qui sont montées à charnières, au moyen de cames et renvois non figurés. Le second G *g* fait mouvoir la queue par l'intermédiaire du levier I fixé en *i* aux plumes de la queue mobiles autour de l'axe *k*, et les trois tronçons du cou et de la tête au moyen des bielles B *b*, C *c*, D *d*. Lorsque le coq lève la tête, la tige PE tournant autour de l'axe fixe P, tire sur le levier F qui fait mouvoir la partie inférieure du bec autour de l'axe *f*.

Tous les jours, à midi, l'arrêt du rouage de la sonnerie des heures déclanche

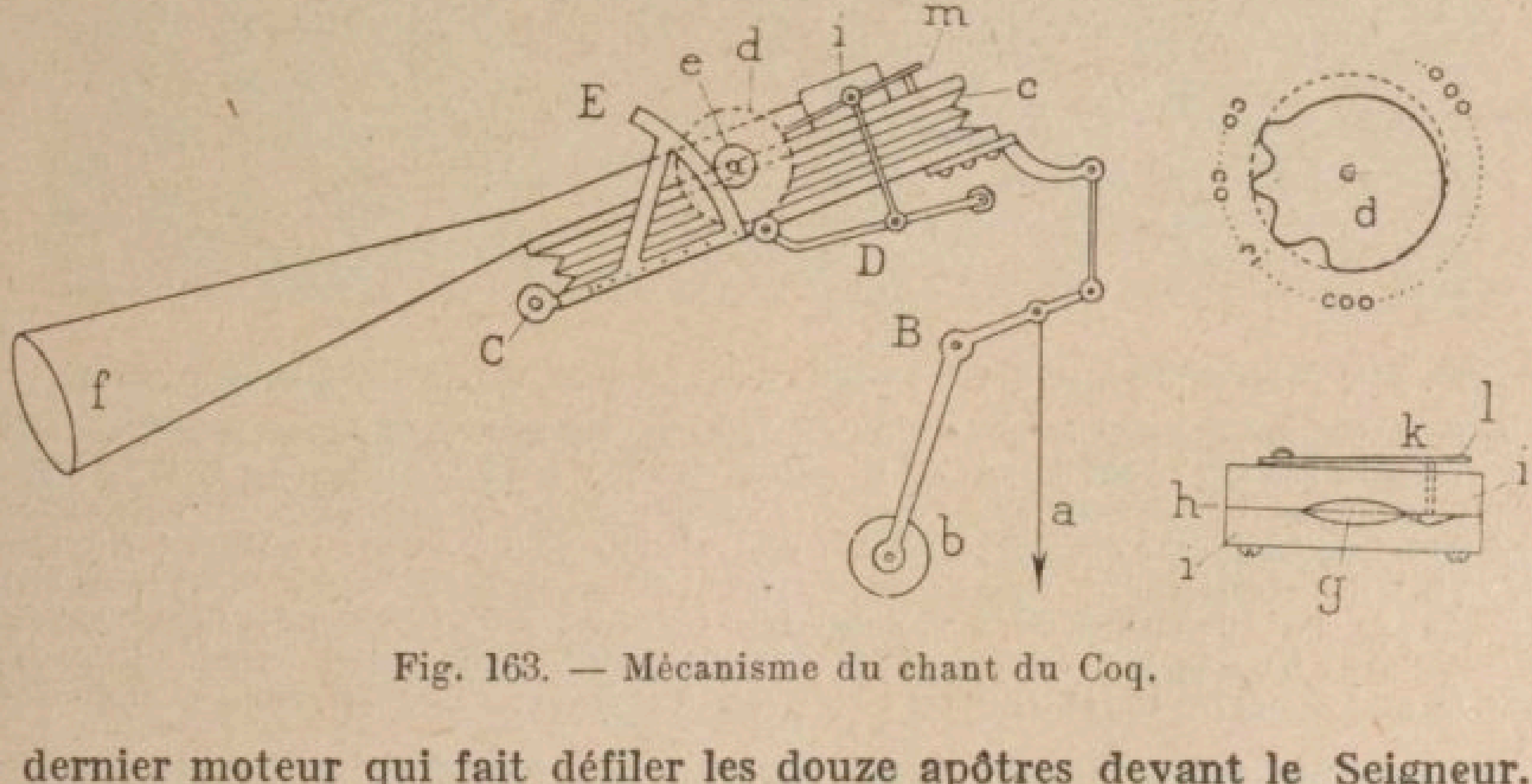


Fig. 163. — Mécanisme du chant du Coq.

un dernier moteur qui fait défiler les douze apôtres devant le Seigneur. Le

Christ bénit chaque apôtre, puis il fait sur la foule un grand signe de croix. En même temps, par trois fois, le coq bat des ailes, en chantant (fig. 161 et 162).

L'appareil qui produit le chant du coq est placé sous le couronnement de l'horloge. Un soufflet (fig. 163) dont la paroi supérieure *c* est fixe et l'inférieure mobile autour de l'axe C, est gonflé d'air, lorsque le fil *a* est tiré vers le bas et soulève le poids *b*. Lorsque le chant doit retentir, le fil est subitement lâché

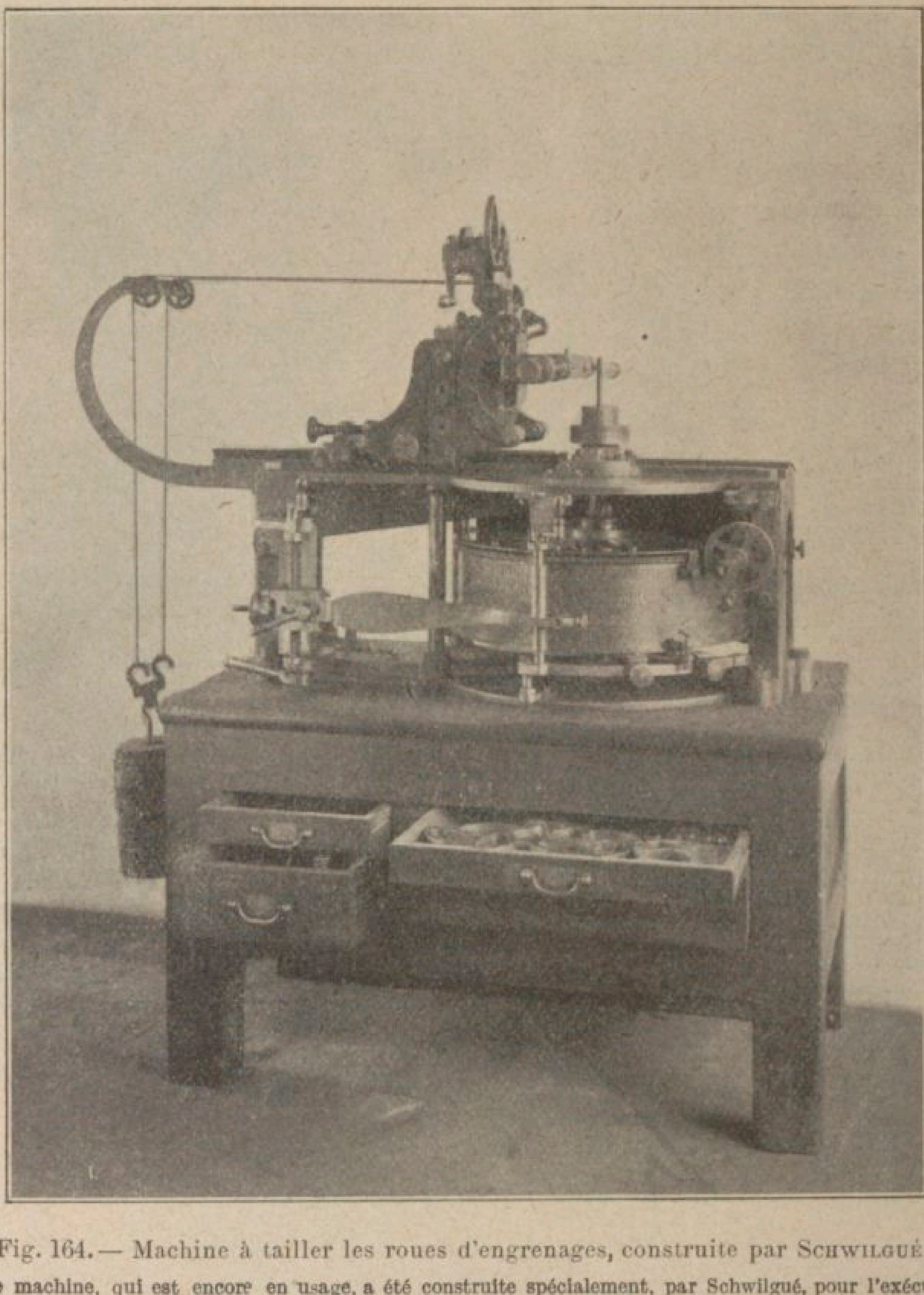


Fig. 164. — Machine à tailler les roues d'engrenages, construite par SCHWILGUÉ.

Cette machine, qui est encore en usage, a été construite spécialement, par Schwilgué, pour l'exécution de certaines roues de l'horloge astronomique. Pour les petites roues, on se sert généralement des divisions rapportées sur un tambour de $0^m,46$ de diamètre; pour des roues ayant un très grand nombre de dents, on emploie un pas de vis dont le bord supérieur de ce tambour est muni, et dont une division correspond à 1/1000 de la circonférence. Sur la vis sans fin qui engrène dans ce pas de vis est appliqué un disque dont le pourtour est également divisé en 1000 parties ; de plus cette division est munie d'un vernier ce qui permet de reconnaître la 10 000 000^e partie de la circonférence du tambour, et d'obtenir des divisions d'une exactitude tout à fait rigoureuse. A l'aide de cette machine, on peut denter des roues droites, des roues coniques, et des roues à denture inclinée pour vis sans fin.

et le poids exerce une forte pression sur l'air contenu dans le soufflet. La soupape d'échappement est commandée par les leviers D et *m*. L'air violemment chassé fait vibrer une anche *g* fixée dans le bloc de bois *i*. L'anche est constituée par une bandelette de papier tendu, quel que soit l'état hygrométrique de l'air, par le ressort *l* et la pièce *k*. La trompette *f*, dirigée vers le coq, amplifie le son.

Pour obtenir la modulation du chant, le levier D ouvre plus ou moins la soupape d'échappement. Son mouvement est commandé par une came *d* de forme spéciale (fig. 163), entraînée par le pignon *e*, qui engrène sur le rateau E solidaire de la paroi mobile. Au début du chant, le son est clair et strident; mais à mesure que le levier B se rapproche de la verticale, la pression diminuant, le chant devient de plus en plus grave.

Schwilgué, pour l'exécution aussi exacte que possible des pièces de ses mécanismes, a dû d'abord créer et construire des machines spéciales :

1° Une machine à denter et à diviser les roues droites et coniques (fig. 164);

2° Une machine servant à déterminer automatiquement la forme épicycloïdale des courbes des dents, sans tâtonnement et sans tracé;

3° Un grand tour à mandrin horizontal, permettant l'usinage des cercles en fer forgé de la bande annulaire du calendrier. Ils ont $2^{m},730$ de diamètre;

4° Une machine à raboter les pignons à dents droites et hélicoïdales;

5° Un pyromètre pour contrôler les coefficients de dilatation des tringles en acier et en laiton du pendule compensé et pour vérifier la compensation du pendule terminé.

***

Jusqu'à ces dernières années, il n'avait paru qu'une brochure très succinte sur l'horloge (éditée plusieurs fois de 1842 à 1864). Depuis 1911, j'ai publié un guide sommaire pour les visiteurs, et j'ai fait une série de conférences pour attirer l'attention du public sur la valeur scientifique de l'œuvre de Schwilgué.

La Société Astronomique de France, en m'invitant à faire cette conférence, a comblé mes vœux en me fournissant l'occasion de rendre hommage, devant un public d'élite, à la mémoire de mon vénéré prédécesseur. Qu'il me soit permis de remercier ici le Conseil de la Société, et particulièrement M. Flammarion, de leur bienveillant accueil.

Alfred Ungerer,
Fabricant d'Horloges à Strasbourg,
Successeur de Schwilgué.

***

*Depuis plusieurs années, j'avais formé le projet de publier un grand ouvrage consacré à la description complète de l'*Horloge astronomique de la cathédrale de Strasbourg.

Le succès considérable obtenu par la description précédente et les témoignages que j'ai reçus de tous côtés m'engagent à ne pas retarder plus longtemps la mise à exécution de ce projet. Est-il besoin de dire que je m'efforcerai de réaliser une publication dans laquelle je décrirai complètement le chef-d'œuvre de Schwilgué et dans laquelle l'exécution matérielle sera poussée aussi loin que le permettent les meilleurs procédés de reproduction actuels.

Après un historique complet, rédigé d'après les documents inédits conservés dans les archives de la ville de Strasbourg, l'ouvrage comprendra une description détaillée d'après les *plans et calculs de Schwilgué. Il sera illustré de dessins, de plans et de photographies. L'ouvrage complet donnera la description de tous les mécanismes, de tous les détails auxquels, faute de place, on a juste accordé ici une courte mention, ou même que l'on a passé sous silence ; il expliquera la signification de tous les termes techniques et scientifiques, de manière à permettre au lecteur non initié d'en poursuivre efficacement la lecture.*

Je serai heureux de pouvoir très prochainement faire parvenir un spécimen de l'ouvrage à ceux de mes collègues de la Société astronomique de France qui ont bien voulu s'intéresser à la description précédente, et qui voudraient bien m'en faire part. (1).

A. U.

LE SOLEIL DE MINUIT

La Terre tourne de travers, — et son humanité aussi.

Si elle tournait droite, si elle présentait son axe de rotation perpendiculairement à son déplacement autour du Soleil, l'année entière se composerait de jours et de nuits se succédant régulièrement, avec douze heures de Soleil et douze heures d'ombre. L'astre du jour se lèverait constamment à l'Est et se coucherait constamment à l'Ouest. Mais elle est penchée sur le plan dans lequel elle parcourt son orbite annuelle, avec un angle de 23 degrés, et le Soleil se lève au Nord-Est en juin et au Sud-Est en décembre.

Cette inclinaison produit une différence dans la durée du jour et de la nuit, suivant la situation des pays que l'on habite. A l'équateur, on a constamment douze heures du lever au coucher de l'astre-roi et douze heures du coucher au lever. Lorsqu'on arrive à une distance du pôle égale à l'inclinaison de l'axe, c'est-à-dire à 23 degrés 27 minutes du pôle, ou, ce qui est la même chose, à 66 degrés 33 minutes de latitude (il y a 90 degrés de latitude de l'équateur au pôle, soit le quart d'un grand cercle de 360 degrés), le Soleil ne se couche pas le jour du solstice d'été, mais glisse seulement à minuit au-dessus de l'horizon du Nord et, en revanche, il ne se lève pas à la date du solstice d'hiver. Depuis ces pays jusqu'au pôle, le Soleil ne se couche pas ou ne se lève pas pendant un nombre de jours qui va toujours en augmentant jusqu'au pôle même, où l'on trouve six mois de jour et six mois de nuit.

La France est comprise entre le 42e et le 51e degré de latitude, et Paris est placé sur 48°50′. La durée du jour le plus long y est de 15 heures 58 minutes, et celle du jour le plus court de 8 heures 2 minutes. Il faut ajouter à ce calcul géométrique l'influence de la réfraction atmosphérique, qui relève les astres au-dessus de leur position réelle. Nous voyons le Soleil se lever avant qu'il ne soit réellement au-dessus de l'horizon, et il est déjà réellement couché quand nous le voyons encore. Il en résulte que le plus long jour, à Paris, est de 16 heures 7 minutes, et le plus court de 8 heures 11 minutes. L'illumination de l'atmosphère accroît encore la durée du jour par l'aurore et par le crépuscule. L'atmosphère reste illuminée tant que le Soleil n'est pas descendu à 18 degrés au-dessous de l'horizon. Un fait assez curieux s'ensuit pour nous : c'est que le 21 juin, à Paris, le Soleil descend obliquement au Nord-Ouest, après

(1) Adresser les demandes, 16, rue de Labroque, à Strasbourg (Bas-Rhin).

son coucher, pour reparaître au Nord-Est le lendemain matin, et qu'à minuit, lorsqu'il se trouve juste au Nord, il n'est abaissé que de 17°42', de sorte que la nuit n'est pas complète à Paris au solstice d'été. J'ai fondé, en 1904, la fête du Soleil, à la tour Eiffel, pour cette constatation et pour un hommage annuel au foyer du système solaire et à la science astronomique qui a affranchi l'humanité de l'ignorance primitive.

Cet effet s'accuse d'autant plus qu'on s'avance vers le Nord. A Petrograd, le 21 juin, on voit encore assez clair à minuit pour écrire.

En raison de ce même effet de réfraction atmosphérique, il n'est pas

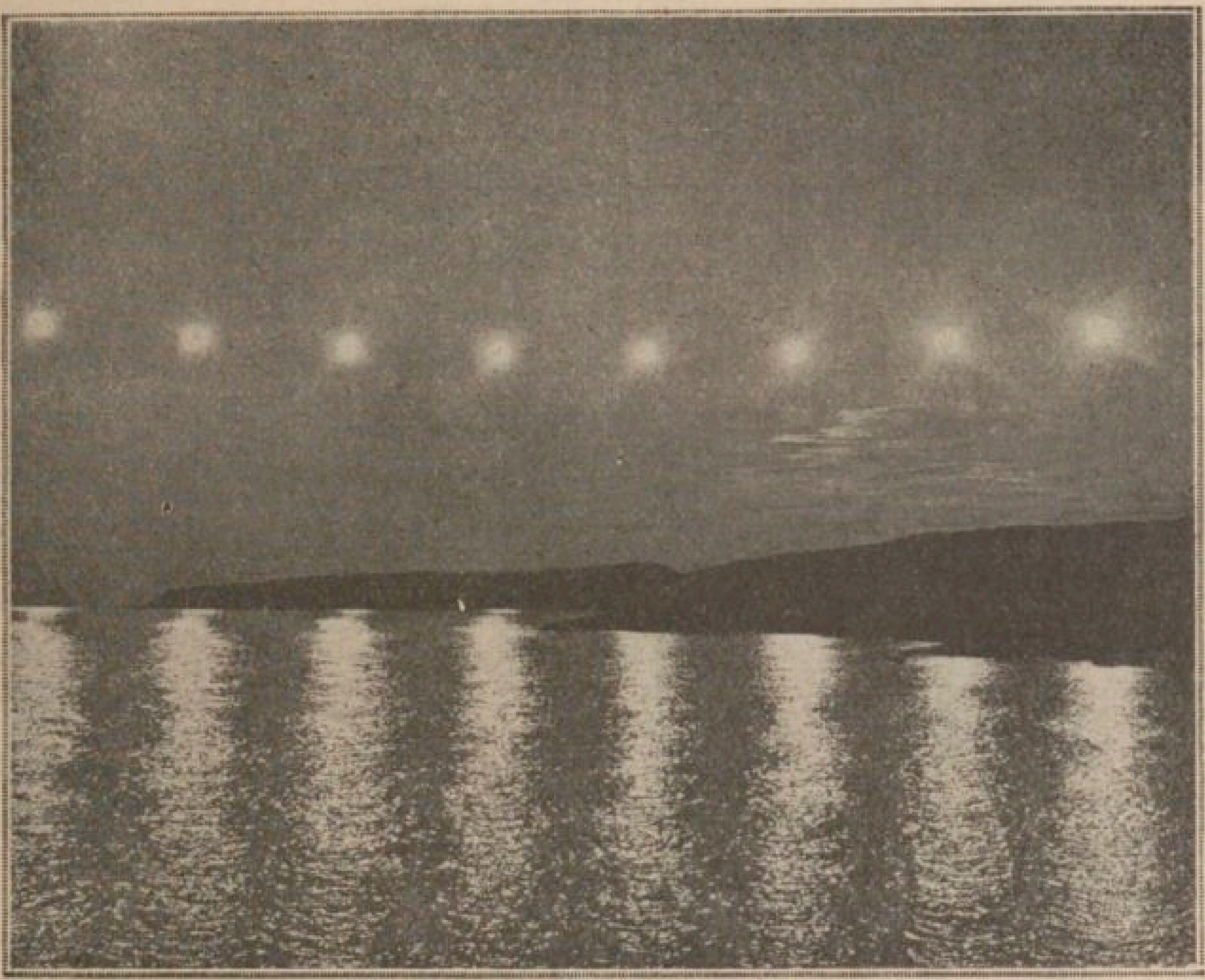


Fig. 165. — Huit photographies du Soleil de minuit prises sur la même plaque, à vingt minutes d'intervalle, au cours d'une expédition arctique : le Soleil ne descend pas au-dessous de l'horizon, la nuit venue, mais glisse au-dessus. Photographie de M. Donald B. Mac Millan. Cliché de *L'Illustration*. *Copyright in U.S.A.*

nécessaire d'aller jusqu'au cercle polaire pour voir le Soleil ne pas se coucher et raser l'horizon à minuit. Au 66e degré de latitude, en Suède et en Finlande, pour l'Europe, ainsi que pour tous les pays situés sur ce même cercle de latitude autour du globe, on jouit de ce spectacle, étrange pour nous: le Soleil de minuit. Il était même de mode, avant la guerre, de faire le voyage de Tornéa, petite ville sur la frontière de la Russie et de la Suède, dans le golfe de Bothnie, et de se rendre le 21 juin sur le mont Avasaxa, de 227 mètres seulement de hauteur, sur lequel le Soleil ne se couche pas au solstice d'été.

Par contre, à partir du 67e degré de latitude, le Soleil ne se lève plus au solstice d'hiver. Deux jours, trois jours, une semaine entière s'écoulent sans