

COMMUNICATION

LES MÉCANISATIONS DE L'ASTRONOMIE
DES ÉPICYCLES : L'HORLOGE D'ORONCE FINE,
PAR M. EMMANUEL POULLE.

La date et les conditions de l'apparition des premières horloges en Europe occidentale restent des questions qui n'ont pas encore reçu de réponses précises : bien que beaucoup de solutions de complaisance aient été proposées, il est plus honnête de reconnaître que les documents décisifs font défaut. En fait, on ne dispose pas de sources satisfaisantes avant la première moitié du xiv^e siècle, et même la fin de cette première moitié. Mais il est remarquable que les plus anciennes de ces sources, et aussi les plus sûres, soient des textes relatifs à des mécanismes planétaires, même si certains de ces mécanismes ne sont pas encore vraiment des horloges (ces textes ne donnent pas de détails sur le moteur des mécanismes planétaires et sur son mode de régulation) : la machine planétaire de Richard de Wallingford, un anonyme *Opus quorundam rotarum mirabilium*¹, l'*Astrarium* de Giovanni de Dondi surtout.

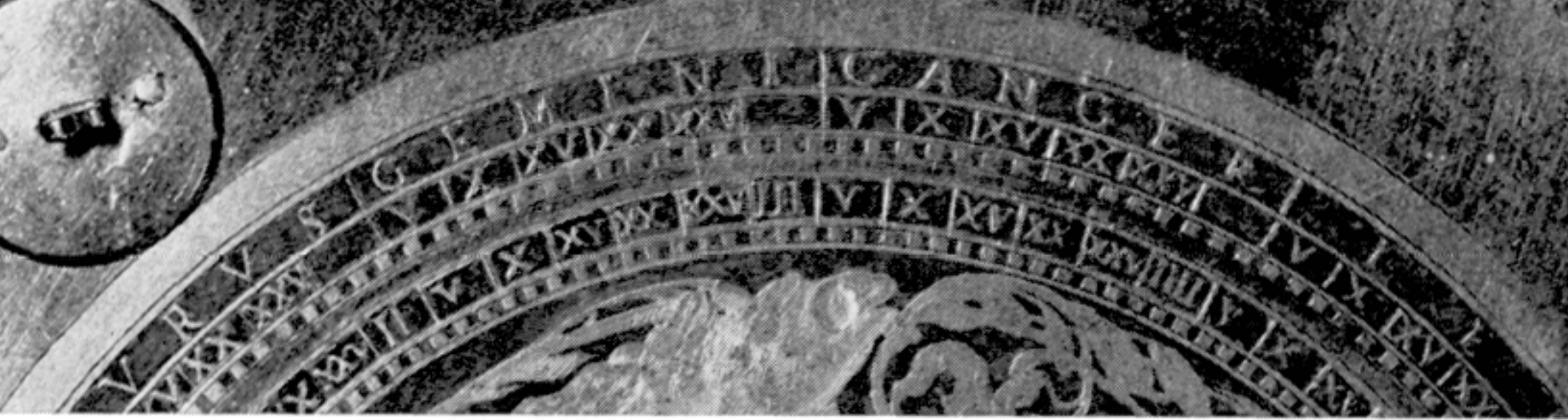
Une telle coïncidence entre l'apparition des premières horloges mécaniques et la conception de mécanismes hautement élaborés pour la représentation des mouvements des planètes a suscité l'hypothèse, fort plausible, que le développement de l'horlogerie, aux derniers siècles du Moyen Âge, s'est opéré du plus compliqué au plus simple, et que c'est à partir de mécanismes très sophistiqués comme celui de Dondi que sont nées les horloges à mesurer le temps dont on conserve de nombreux spécimens anciens, et non l'inverse².

De ces premiers textes d'horlogerie planétaire du xiv^e siècle, seul celui de Dondi est suffisamment explicite et précis pour permettre

1. Édition, traduction et commentaire : J. North, *Opus quorundam rotarum mirabilium*, dans *Physis*, t. 8, 1966, p. 337-372. Une édition sans commentaire, d'après un autre manuscrit non utilisé par J. North, avait été donnée par Fr. Benjamin, *The Theorica Planetarum of Campanus of Novara*, Diss. Columbia University, 1951, p. 456-457, mais elle n'a pas été reprise dans Fr. S. Benjamin et G. J. Toomer, éd. *Campanus of Novara and Medieval Planetary Theory, Theorica planetarum*, Madison, 1971 (*The University of Wisconsin Publications in Medieval Science*, 16).

2. Derek J. Price, *Mouvements d'horlogerie antérieurs aux horloges*, dans *Journal suisse d'horlogerie et de bijouterie*, 1956, p. 311-322 (même article en anglais : *Clockwork before the clock*, dans *Horological Journal*, t. 97, 1955, p. 810-814, et t. 98, 1956, p. 31-35) ; D. J. Price, *On the Origin of Clockwork, Perpetual Motion Devices and the Compass*, dans *United States National Museum Bulletin*, 218, 1959, p. 81-112 (*Contributions from the Museum of History and Technology*, 6).

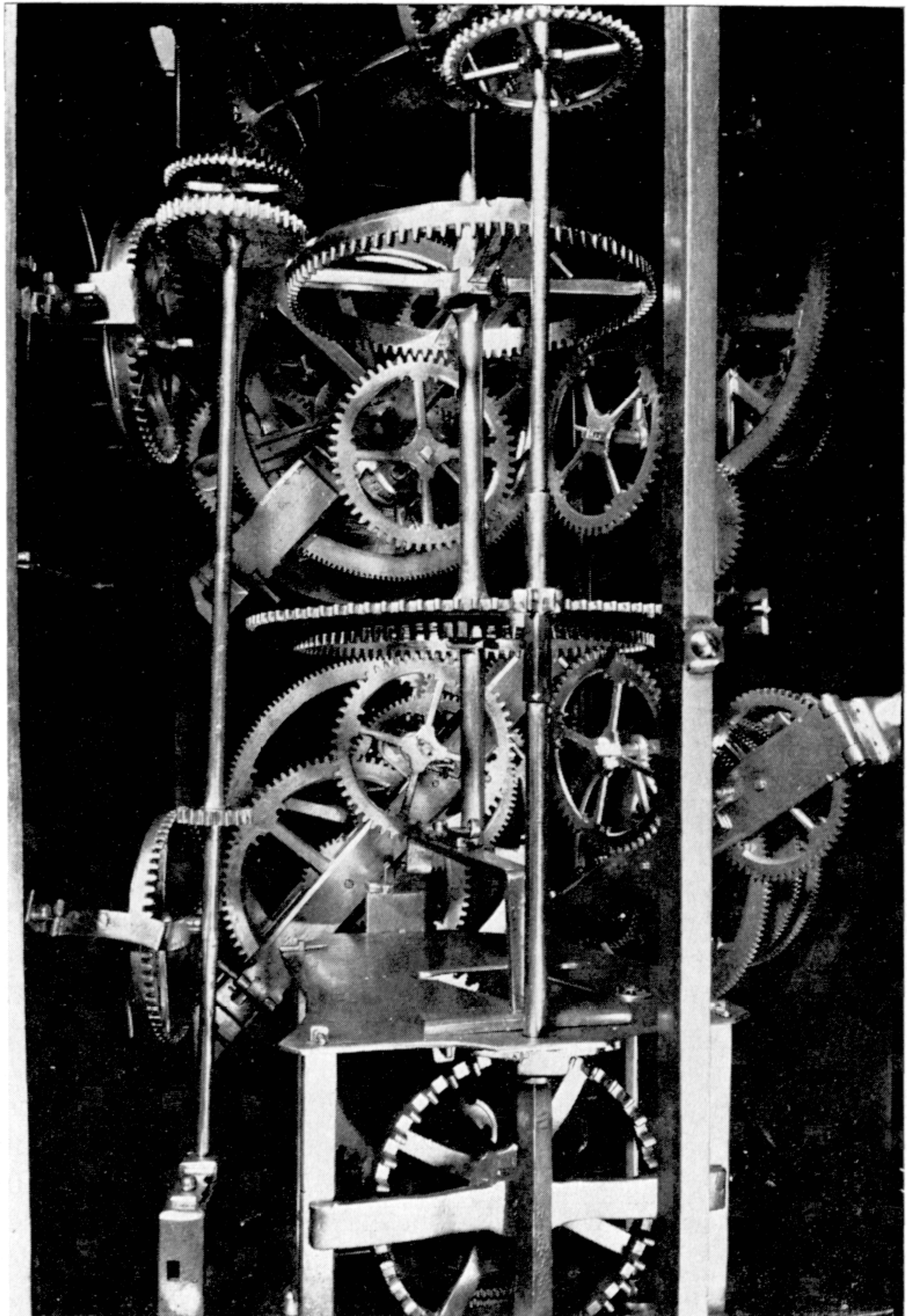
MARS



une interprétation correcte de son *Astrarium*¹ ; les manuscrits en comportent d'ailleurs une illustration très suggestive. L'*Astrarium* est fondé sur une transposition mécanique de la théorie épicyclique. Chaque planète est traitée séparément : elle dispose d'un cadran et d'un mécanisme qui lui sont propres ; ce mécanisme reproduit très fidèlement le mouvement de la planète sur son épicycle et le mouvement du centre de l'épicycle autour du centre du monde, sur un déférent excentrique. Il s'agit donc très précisément d'une mécanisation d'un équatoire géométrique tel que celui de Campanus de Novare, auquel Dondi se réfère expressément, exactement de la même façon que les nombreuses horloges astronomiques d'édifice, construites aux XIV^e, XV^e, XVI^e siècles pour montrer le mouvement du Soleil, sont une mécanisation de l'astrolabe. L'*Astrarium* n'était pas un projet théorique ; il a été construit, on a sur lui de nombreux témoignages oculaires, et on peut suivre son histoire jusqu'au début du XVI^e siècle.

La tradition de Dondi ne s'est pas perdue avec lui, et les siècles suivants ont gardé le goût de réalisations aussi prestigieuses. Il faut cependant prendre garde que toutes les horloges planétaires n'étaient pas, *ipso facto*, des mécanismes épicycliques ; les auteurs de la plupart d'entre elles, en effet, se sont contentés, avec une assez effarante approximation, d'une représentation du mouvement du centre de l'épicycle autour du centre de l'équant, confondu pour les besoins de la cause à la fois avec le centre du déférent et avec le centre du monde. La chose est certaine pour l'horloge de la cathédrale de Strasbourg ; ce qui subsiste de son mécanisme au Musée de la ville est par trop incomplet pour pouvoir être interrogé valablement,

1. Le texte de l'*Astrarium* a été publié par A. Petrucci, dans Giovanni Dondi dall'Orologio, *Tractatus Astrarii, Biblioteca capitolare di Padova, cod. D.39 ; introduzioni, trascrizione e glossario a cura di A. Barzon, E. Morpurgo, A. Petrucci, G. Francescato, Città del Vaticano, 1960 (Codices ex ecclesiasticis Italiae bibliothecis selecti phototypice expressi, IX) ; mais c'est la transcription d'un seul manuscrit, et elle n'est ni exacte, ni critique (nombreuses fautes de ponctuation, en particulier). S. A. Bedini et Fr. R. Maddison ont donné un historique de l'*Astrarium* et présenté les sources dont on dispose à son sujet : *Mechanical Universe, the Astrarium of Giovanni de' Dondi*, Philadelphia, 1966 (*Transactions of the American Philosophical Society, new series, t. 56, part 5*) ; on y trouvera une liste des onze manuscrits connus aux p. 41-43. L'*Astrarium* a fait l'objet de reconstitutions modernes (cf. Bedini et Maddison, *ibid.*, p. 48-49), mais il n'y a d'autre étude technique que celles de H. A. Lloyd, qui sont très insuffisantes : *Le chef-d'œuvre horloger de Giovanni de Dondi, 1364*, dans *La Suisse horlogère*, édition internationale en français, 70^e année, 1955, n^o 2, p. 49-71 ; *La reproduction de l'horloge astronomique construite en 1364 par Giovanni Dondi*, *ibid.*, 79^e année, 1964, n^o 1, p. 45-58 (ces deux articles ont également paru en anglais dans *La Suisse horlogère*, édition internationale en anglais, mêmes références) ; *Some Outstanding Clocks over Seven Hundred Years, 1250-1950*, Londres, 1958, p. 9-24 ; *Old Clocks*, 4^e éd., Londres, 1970 (*Practical Handbooks for Collectors*), p. 171-201. Il a été annoncé qu'une recherche était en cours sur les manuscrits de l'*Astrarium* (*Physis*, t. 13, 1971, p. 337).*



mais on a à ce sujet l'aveu de Dasypodius lui-même : dans la petite description qu'il a publiée, en 1580, sur l'œuvre qui devait consacrer sa renommée, il reconnaît n'avoir représenté, en fait de mouvements planétaires, que les moyens mouvements¹ ; l'horloge de Strasbourg réduisait donc l'astronomie ptoléméenne à un système sans excentricités et sans épicycles !

Il devait sans doute en être de même pour la petite horloge de table construite par Georgius Kostenbader, en 1588, qui, après avoir appartenu, au siècle dernier, à la marquise Arconati-Visconti, est actuellement conservée au château-musée de Gaasbeek, près de Bruxelles : dans le mécanisme planétaire, aujourd'hui très délabré, il n'y a pas d'excentricité et il n'y a pas de place pour qu'y ait été incluse une partie épicyclique (sauf dans le cas des deux planètes inférieures, pour lesquelles l'approximation n'est pas moindre, mais elle porte sur d'autres points de la théorie).

Le souvenir subsiste d'un certain nombre d'horloges d'édifice dont le cadran astronomique comportait la présence d'aiguilles planétaires : le livre classique d'Ungerer permet de dresser une liste d'une dizaine de telles horloges². Elles appartenaient probablement au même type que celle de Dasypodius, et n'offraient donc de la théorie des planètes qu'une caricature. Quoi qu'il en soit, d'ailleurs, toutes, sans exception, ont été démolies ou ont subi les outrages de réparateurs ignares qui ont allègrement supprimé des mécanismes qu'on tenait sottement pour périmés : l'adoption générale de l'astronomie héliocentrique a été fatale aux monuments qui l'avaient précédée.

On a quand même la preuve que, à côté de ces horloges faussement planétaires, de véritables horloges épicycliques ont été conçues après l'*Astrarium* de Dondi : il existe des traités théoriques plus ou moins développés sur la représentation des mouvements des planètes au moyen de roues dentées. Surtout, on sait de façon sûre que des horloges planétaires ont été effectivement construites : on les connaît par des descriptions sommaires, comme celle de Lorenzo

1. C. Dasypodius, *Heron mechanicus, seu de mechanicis artibus atque disciplinis...*, Strasbourg, 1580, fol. G4^v : « posuimus astrolabium... cui non Solis tantum atque Lunae indices sed et reliquorum planetarum Saturni, Jovis, Martis, Veneris et Mercurii applicavimus, qui... media planetarum in zodiaco loca monstrant ; neque enim alios quam medios motus in tali opere comprehendere potuimus ».

2. Cathédrales du Mans et de Tours, château de Bergzabern en Palatinat, églises Notre-Dame à Lübeck et à Munich, cathédrales de Münster et d'Osnabrück, tour communale de Macerata, horloge des Raineri à Venise (A. Ungerer, *Les horloges astronomiques et monumentales les plus remarquables de l'Antiquité jusqu'à nos jours*, Strasbourg, 1931, p. 113, 183, 198, 239, 251, 263, 273, 359 et 377) ; la représentation des planètes aurait été prévue à la cathédrale de Lyon, mais non exécutée (*ibid.*, p. 107).

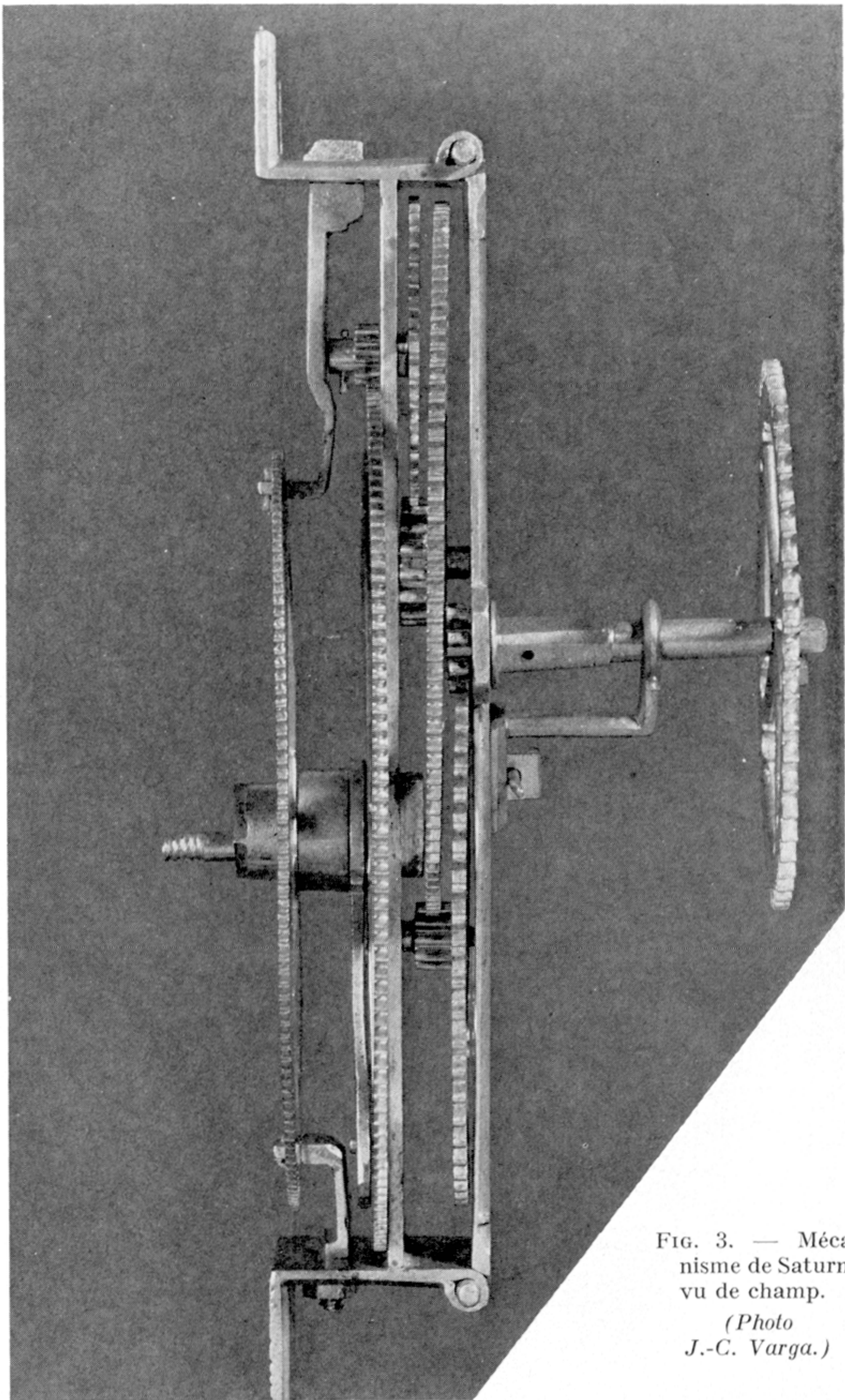


FIG. 3. — Méca-
nisme de Saturne
vu de champ.
(Photo
J.-C. Varga.)

della Volpaia¹, par des dessins, comme celui de l'horloge d'Albert de Brandebourg², ou par des mentions annalistiques ou d'archives, telle l'horloge entreprise par Regiomontanus et trouvée inachevée à sa mort³ ou celles qui furent envoyées comme cadeaux par le roi de Danemark et par l'empereur Ferdinand respectivement au roi de Moscovie et au sultan et qui sont citées par Giovio et par Nicolas de Nancel⁴. Il ne reste plus rien, hélas, de tout ce matériel, dont la disparition nous prive gravement d'un important élément d'appréciation de l'histoire des sciences et des techniques aux xv^e-xvi^e siècles.

Tout n'a cependant pas disparu, et on conserve encore quelques très rares horloges planétaires, qui peuvent donc témoigner de la vitalité d'une tradition qu'elles sont seules, aujourd'hui, à illustrer, et de l'extraordinaire qualité qu'elle avait su atteindre. Les horloges planétaires épicycliques subsistantes sont, autant que je sache, au nombre de cinq ; ce sont, dans l'ordre chronologique : l'horloge d'Oronce Fine, à la Bibliothèque Sainte-Geneviève, à Paris ; l'horloge de Philipp Immser, datée de 1555, conservée au Technisches Museum de Vienne ; les deux horloges de Eberhard Baldewein, de 1560-1561 et de 1563-1568, conservées l'une à l'Astronomisch-Physikalisches Kabinett, à Kassel, l'autre au Mathematisch-Physikalischer Salon, à Dresde ; enfin, l'horloge de Samuel Watson, beaucoup plus tardive puisqu'elle ne date que de 1683, conservée dans les collections privées de la reine d'Angleterre, dans la bibliothèque du château de Windsor.

L'investigation scientifique de ce matériel pose des problèmes extrêmement difficiles, du fait des conditions particulières de sa consultation ; la partie la plus intéressante, la seule qui permette de porter à leur sujet un jugement raisonné, en est précisément celle

1. S. A. Bedini et Fr. R. Maddison, *op. cit.*, p. 32 et 63. Sur la famille della Volpaia, voir C. Maccagni, *The Florentine Clock and Instrument-Makers of the della Volpaia Family*, dans *XIII^e Congrès international d'histoire des sciences, Paris, 1968, Actes*, t. XA (Paris, 1971), pp. 65-73. Certaines des représentations des théories des planètes qui ont été alléguées (J. North, *A Post-Copernican Equatorium*, dans *Physis*, t. 11, 1969, p. 418-457, aux p. 453-454 ; E. Zinner, *Deutsche und niederländische astronomische Instrumente des 11.-18. Jahrhunderts*, Munich, 1956, p. 273) furent peut-être des horloges planétaires.

2. E. Bassermann-Jordan, *Die Geschichte der Räderuhr unter besonderer Berücksichtigung der Uhren des Bayerischen Nationalmuseum*, Francfort/Main, 1905, p. 8 et 45 ; E. Zinner, *Die Planetenuhren von Dondi und Regiomontanus*, dans *Die Uhr*, 1957, p. 18-20 ; Kl. Maurice, *Von Uhren und Automaten, das Messen der Zeit*, Munich, 1968, p. 20.

3. E. Zinner, *Leben und Wirken des Johannes Müller von Königsberg genannt Regiomontanus*, Munich, 1938 (*Schriftenreihe zur bayerischen Landesgeschichte*, 31), p. 162-163. Dans l'article cité à la note précédente, E. Zinner considérait que c'est l'horloge de Regiomontanus qui, achevée, avait abouti dans les collections d'Albert de Brandebourg ; mais il y faut beaucoup d'hypothèses.

4. N. de Nancel, *Analogia microcosmi ad macrocosmon*, Paris, 1611, col. 1303-1304 ; P. Giovio, *Historiae sui temporis*, dans ses *Opera omnia*, Bâle, 1575, t. I, 2^e partie, p. 459-460.

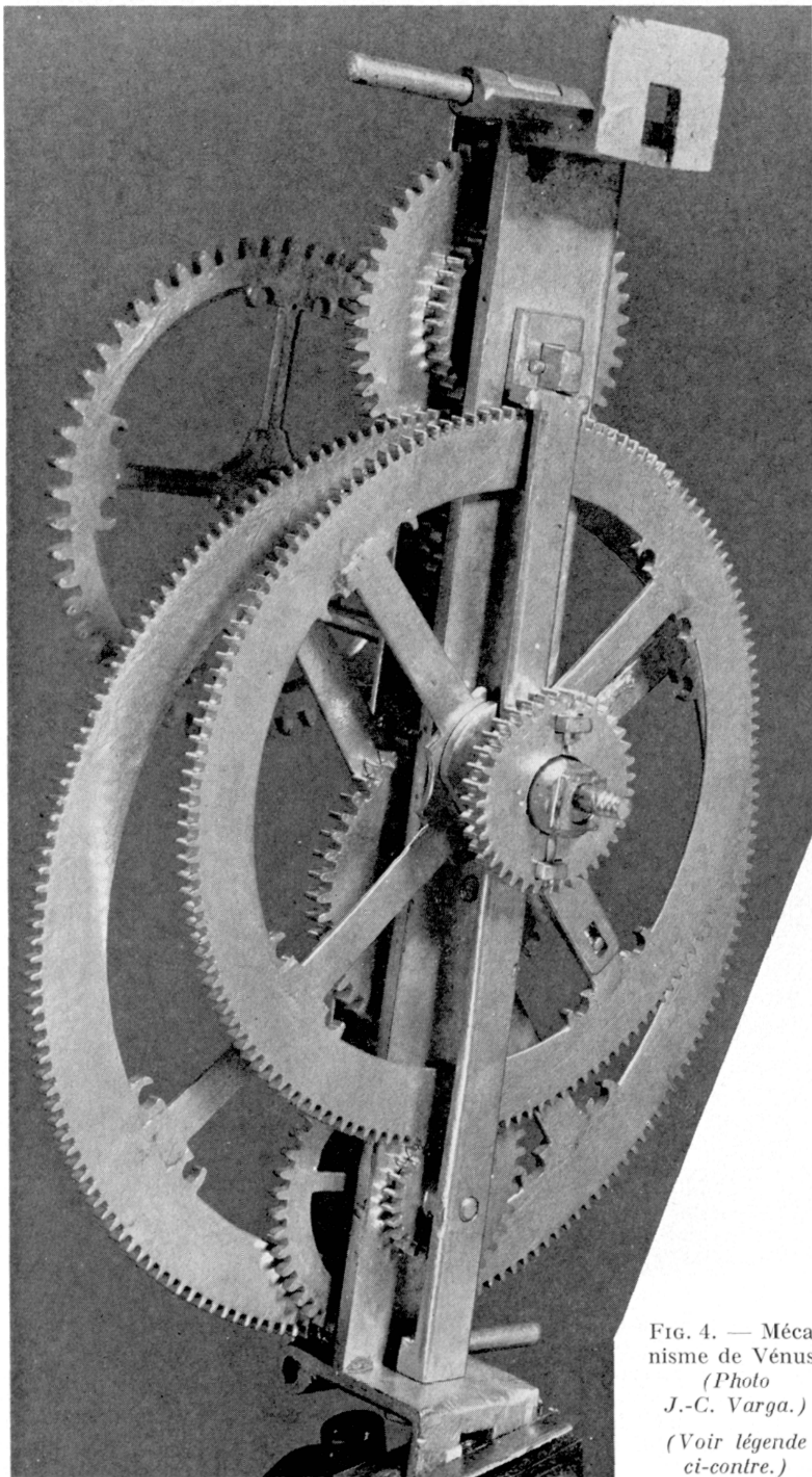


FIG. 4. — Méca-
nisme de Vénus.
(Photo
J.-C. Varga.)
(Voir légende
ci-contre.)

qui ne se voit pas, c'est-à-dire le mécanisme ; or celui-ci ne peut être examiné sans un démontage de l'horloge, et on conçoit bien que les responsables de la conservation de monuments aussi précieux ne l'accordent pas à la légère : il y faut des circonstances exceptionnelles, qui ne se rencontrent pas souvent.

L'horloge d'Immser aurait pu bénéficier de telles circonstances : elle a été l'objet, en 1970, d'une réparation et d'un démontage complet, c'est-à-dire d'une intervention probablement unique dans son histoire. Si incroyable que cela puisse paraître, cette intervention a été réalisée sans qu'aucun historien de l'astronomie ou de l'horlogerie ait été prévenu, et sans qu'aucunes notes ni photographies des mécanismes démontés aient été prises. Informé trop tard, je suis accouru à Vienne pour constater l'irréversible : les mécanismes planétaires étaient déjà remontés en un bloc compact, prêt à être réinstallé dans la cage, mais désormais impossible à analyser, et je n'ai pu obtenir de la direction du Musée que soit recommencé ce qui venait d'être fait si malencontreusement. J'en ai vu cependant suffisamment pour réaliser que la représentation épicyclique était réelle. L'horloge ne présente, en effet, des mouvements des planètes, que les aiguilles des vrais lieux parcourant le même cadran ; on aurait donc pu craindre de n'avoir affaire qu'à une horloge faussement planétaire, du type de celle de Dasypodius. Il n'en est rien : chaque mécanisme planétaire comporte une partie épicyclique et, probablement, une prise en compte de l'excentricité, mais cela n'apparaît pas à l'extérieur ; tous les mécanismes planétaires sont d'autre part comme embrochés sur un même axe, dans une disposition par conséquent complètement différente de la dispersion de ces mécanismes derrière autant de cadrans telle qu'on la trouve sur les horloges de Dondi, de Fine ou de Baldewein. L'horloge d'Immser constitue donc un type très original d'horloge épicyclique et il est particulièrement fâcheux que ce document soit resté inaccessible au moment où il était parfaitement et fructueusement consultable¹.

L'horloge de Watson est malheureusement en bon état de marche. Malheureusement, parce que toutes les démarches que j'ai faites pour obtenir la possibilité d'une investigation véritable se sont heurtées à une fin de non-recevoir courtoise mais ferme. C'est dommage, car la survivance, à l'extrême fin du xvii^e siècle, d'une reproduction de la théorie ptoléméenne constitue, pour les historiens de l'astronomie, un document qui mérite une analyse approfondie².

Les deux horloges de Baldewein sont très semblables : bien que les rapports de dentures utilisés soient différents, la conception

1. Courte note sur l'horloge d'Immser dans E. Zinner, *Deutsche und niederländische astronomische Instrumente*, p. 397-398.

2. H. A. Lloyd, *Some Outstanding Clocks*, p. 89-93.

qui a présidé à leur calcul est la même, et surtout le procédé mis en œuvre pour traduire l'excentricité des mouvements planétaires est le même. L'une et l'autre sont en bon état et n'appellent pas de réparations¹. Mais j'ai heureusement trouvé auprès de M. Grötzsch, directeur du Mathematisch-Physikalischer Salon de Dresde, la plus fructueuse compréhension : avec une parfaite appréciation du rôle que les collections confiées à sa garde ont à jouer comme documents de l'histoire des sciences, il nous a donné, à M. Helmut Sändig, son compatriote, et à moi-même, toute facilité pour la préparation d'une substantielle monographie sur l'horloge de Baldewein. Les problèmes qu'elle pose sont divers et ardu, car il s'agit d'une réalisation technique exceptionnelle où Baldewein a accumulé, comme à plaisir, les combinaisons les plus complexes pour traduire, sans à-peu-près ni concession, toutes les subtilités de la construction ptoléméenne. Ces problèmes sont néanmoins maintenant en voie de solution et nous espérons être en mesure de publier prochainement une étude très précise de ce monument et de justifier ainsi la place de tout premier ordre que l'horloge de Baldewein doit tenir dans l'histoire des techniques et dans celle de l'astronomie.

L'horloge d'Oronce Fline est la plus ancienne des horloges planétaires conservées. Considérée tout au long du XVIII^e siècle comme une des curiosités parisiennes, elle était néanmoins tombée dans un état de délabrement qui risquait de lui être fatal. Une restauration exemplaire, par les soins de M. Beccart, horloger du château de Versailles, pour la partie technique, vient de rendre à l'horloge le lustre auquel elle a droit. L'extrême obligeance des conservateurs en chef de la Bibliothèque Sainte-Geneviève, M^{me} Wintzweiler, puis M^{lle} Boys, m'a permis d'être complètement informé de l'organisa-

1. Courtes notes sur les horloges de Baldewein, dans E. Zinner, *op. cit.*, p. 242-243, 586 et pl. 2. Sur l'horloge de Kassel, H. A. Lloyd, *Some Outstanding Clocks*, p. 46-57 ; les analyses techniques de Lloyd, tant de l'horloge de Watson que de celle de Baldewein, sont très insuffisantes. Les horloges de Baldewein ont été à plusieurs reprises présentées dans des revues techniques : R. Hallo, *Von alten Uhren im Hessischen Landesmuseum und von der Uhrmacherkunst in Kassel*, dans *Uhrmacherkunst, Verbandzeitung der deutschen Uhrmacher*, 55^e année, 1930, p. 657-666 ; P. A. Kirchvogel, *Astronomisch-mechanische Kunstwerke in Kassel aus der Zeit der Spätrenaissance*, dans *Hessenland*, 50^e année, 1939, p. 69-78 ; P. A. Kirchvogel, *Wilhelm IV. von Hessen-Cassel in der Geschichte der Chronometrie*, dans *V^e Congrès international de chronométrie, Paris, 1954, procès-verbaux et mémoires* (Besançon, 1956), p. 1385-1390 ; P. A. Kirchvogel, *Die Uhren im Inventar vom Jahre 1644 des Astronomisch-Physikalischen Kabinetts in Kassel*, dans *Schriften der Freunde alter Uhren*, 1, 1960, p. 15-24 ; E. Schmidt, *Die astronomische Kunstuhr im Dresdener Museum*, dans *Leipziger Uhrmacher-Zeitung*, t. 10, 1903, p. 77-80 (article traduit en néerlandais, sans nom d'auteur, dans *Tijdschrift voor horlogemakers*, t. 2, 1904, p. 19-24) ; M. Engelmann, *Aus der Geschichte eines astronomischen Uhrwerkes des 16. Jahrhunderts*, dans *Allgemeines Journal der Uhrmacherkunst*, n^o 16, 1909, p. 244-247 ; H. Grötzsch, *Kostbarkeiten aus dem Staatlichen mathematisch-physikalischen Salon Dresden*, dans *Uhren und Schmuck*, t. 6, 1969, p. 279-280.

tion des mécanismes planétaires, et je tiens à leur en exprimer toute ma reconnaissance.

L'horloge passe ordinairement pour avoir été construite par Oronce Fine pour le cardinal de Lorraine en 1553, sur la foi d'une inscription qui court sur le cadran astrolabique. Mais nous avons pu, en 1971, M^{me} Hillard et moi-même, établir que la date de 1553 n'intéressait que des modifications apportées à la face où se trouve le cadran astrolabique, modifications auxquelles se limite l'intervention d'Oronce Fine¹. Les faces strictement planétaires ne lui doivent donc rien ; elles sont plus anciennes et remontent probablement au début du xvi^e siècle ou aux dernières années du xv^e.

L'horloge se présente comme une tour pentagonale, montée sur un grand piédestal de bois ; elle est surmontée d'un globe céleste qui tourne selon le mouvement quotidien de la sphère des fixes. Les cinq faces de la tour sont affectées aux cadrans : l'une porte le cadran horaire et le cadran astrolabique modifiés par Oronce Fine, les autres les cadrans planétaires, à raison de deux par face, soit huit cadrans pour les sept planètes et pour le Dragon. Chaque cadran (fig. 1) est l'exacte démonstration de la théorie de sa planète avec, chaque fois qu'il y a lieu (planètes supérieures, planètes inférieures et Lune) un disque du déférent mobile, un disque de l'épicycle également mobile dont l'axe traverse le disque du déférent, et deux aiguilles, l'une pour lire la position du centre de l'épicycle, l'autre pour lire le vrai lieu de la planète. Le cadran du Soleil n'a que le seul disque du déférent, excentrique ; et le cadran du Dragon ne comporte pas de disque mobile, mais seulement une aiguille. Selon l'usage suivi dans ces sortes de monuments, les disques des déférents sont savamment décorés de la figuration habituelle de la planète sur son char ou de rinceaux, sur un fond teinté dont la couleur varie pour chaque planète en tenant compte de sa signification astrologique : le fond est noir pour Saturne, bleu clair pour Jupiter, rouge pour Mars, rouge-brun pour le Soleil, vert pour Vénus, bleu pour Mercure et pour la Lune.

L'ensemble des parties mobiles de chaque cadran tourne devant un cercle gradué fixe, le zodiaque, et un autre cercle gradué fixe, excentrique au précédent et concentrique au disque du déférent, le cercle de l'équant ; la graduation de ce dernier est une graduation inégale, car c'est la projection de la graduation égale de l'équant sur un cercle concentrique au déférent². Les origines des graduations

1. D. Hillard et E. Poulle, *Oronce Fine et l'horloge planétaire de la Bibliothèque Sainte-Geneviève*, dans *Bibliothèque d'humanisme et renaissance*, t. 33, 1971, p. 311-351.

2. Cet équant gradué ne sert pas à grand-chose, puisque les deux aiguilles, comme on le verra ci-après, tournent autour de l'axe du monde et non de l'axe de l'équant. On peut, à la rigueur, connaître l'équation du centre par différence

du zodiaque et du cercle de l'équant sont uniformément, pour tous les cadrans planétaires, sur le diamètre horizontal, à gauche.

Si l'ensemble de chaque cadran, et notamment le disque du déférent, est une remarquable œuvre d'art, ce n'est qu'un décor de théâtre : l'important se passe dans la coulisse, c'est-à-dire derrière le cadran, dans le mécanisme.

La cage de l'horloge abrite un arbre central portant deux couronnes ; celle du haut est motrice des mécanismes des cadrans supérieurs (cadran horaire, cadrans de Saturne, de Vénus, de Mars et de la Lune), et celle du bas est motrice des mécanismes des cadrans inférieurs (cadran astrolabique, cadrans de Jupiter, de Mercure, du Soleil et du Dragon). Peu importe la façon dont l'arbre central est mù : le système régulateur est la partie du mécanisme qui avait subi le plus d'avaries depuis le xvi^e siècle, et sans doute dès l'origine ; il ne reste pratiquement rien du système original, et l'horloge fonctionne aujourd'hui avec un système moderne qui a été placé à l'extérieur de l'horloge à laquelle il est relié par une transmission électrique. Au dos de chaque cadran planétaire est fixé un mécanisme qui représente une unité complètement indépendante des autres mécanismes planétaires, reliée seulement au mécanisme moteur par une roue qui engrène dans une des deux couronnes de l'arbre central (fig. 2). C'est dans la conception, le calcul et la réalisation de ces mécanismes planétaires que l'auteur d'une horloge épicyclique met véritablement sa science et sa compétence¹.

La mise au point d'un mécanisme planétaire relève de deux ordres de difficultés, pratiquement indépendants l'un de l'autre : il y a le calcul des dentures pour l'obtention des durées convenables de révolution des parties mobiles, disques des déférents et disques des épicycles, et il y a la solution mécanique à trouver pour rendre compte de l'excentricité des mouvements des centres des épicycles.

Le calcul des dentures est un problème relativement simple ; on conserve d'ailleurs des textes manuscrits du xv^e siècle qui offrent tout un choix de combinaisons possibles, comme s'il s'agissait d'une sorte de jeu mathématique². L'art de l'horloger consiste à choisir la meilleure combinaison possible, compte tenu de la place dont il

entre les deux positions qu'occupe l'aiguille du centre de l'épicycle sur le zodiaque et sur l'équant.

1. Il sera essentiellement question ci-après du cas général des mécanismes planétaires, c'est-à-dire de ceux des trois planètes supérieures et de Vénus. Les théories du Soleil, de la Lune et de Mercure, ainsi que celle du Dragon, constituent des cas particuliers, qui ont fait l'objet de solutions appropriées.

2. Par exemple, le traité d'horlogerie planétaire « *In hoc secundo libro reduce-mus motus...* » conservé dans Paris lat. 7295, fol. 61-70, et les notes qui lui font suite, fol. 71^v-72 (cf. E. Pouille, *Un constructeur d'instruments astronomiques au XV^e siècle, Jean Fusoris*, Paris, 1963, p. 202) ; ou les notes et calculs de Bruxelles 10117-26, fol. 22^v-23^v, 79^v-80^v, 88^v.

dispose pour installer son train d'engrenages, du nombre de roues qu'il veut mettre, de la difficulté de dessiner et tailler certaines d'entre elles, par exemple lorsque le nombre de dents est un nombre premier élevé, et, bien sûr, compte tenu de la qualité du résultat : les trains les plus précis ne sont pas forcément, du point de vue mécanique, les plus avantageux et, inversement, un excellent train du point de vue du technicien peut n'être qu'assez médiocre quant à son exactitude. D'une façon générale, les combinaisons retenues pour construire l'horloge d'Oronce Fine ne sont pas très bonnes, comparées aux périodicités alphoncines qu'il s'agissait de reproduire (cf. le tableau des périodicités). On observera la préférence marquée pour les trains d'engrenages qui aboutissent, pour les révolutions des disques des déférents (moyens mouvements) à des durées qui s'expriment en un nombre entier de jours (pour les révolutions des disques des épicycles, ou arguments, cette préférence est moins nette parce que la durée de la révolution d'un épicycle résulte de la multiplication de celle du déférent par le rapport de deux roues, et de deux seulement) ; cela n'a pas grande importance pour les moyens mouvements des planètes supérieures et du Dragon, dont les révolutions sont assez lentes ; mais c'est une décision franchement mauvaise pour les révolutions du Soleil et surtout de la Lune, car l'incidence de quelques heures négligées à chaque révolution devient vite considérable. Un tel choix est d'ailleurs inexplicable, puisque les très nombreuses horloges astronomiques d'édifice réalisées aux *xiv^e* et *xv^e* siècles, pour la représentation des seuls mouvements du Soleil et de la Lune, offraient une vaste gamme de combinaisons de dentures possibles, entre lesquelles il n'était que de choisir.

	tables alph.	horloge
Moyens mouvements de		
Saturne	10 747 j 8 h	10 710 j
Jupiter	4 330 j 17 h	4 368 j
Mars	686 j 22 h	690 j
Vénus	365 j 5 h 49 mn	365 j
Mercure	365 j 5 h 49 mn	365 j
la Lune	27 j 7 h 43 mn	27 j
Dragon	6 798 j 8 h	6 804 j
Arguments moyens de		
Saturne	378 j 2 h	363 j 1 h
Jupiter	398 j 21 h	364 j
Mars	779 j 22 h	780 j
Vénus	583 j 22 h	582 j 39 mn
Mercure	115 j 21 h	115 j 20 h
la Lune	27 j 13 h 18 mn	27 j 23 h
Auge de		
la Lune	32 j 3 h	32 j

Tableau des périodicités.

La révolution de l'argument de Jupiter est si mauvaise qu'on est en droit de se demander s'il n'y a pas eu une erreur commise au moment de la taille des roues ; elle résulte du choix particulièrement malencontreux d'un rapport de $\frac{20}{240}$ appliqué au moyen mouvement ; or l'emploi d'une petite roue épicyclique de 22 dents au lieu de 20 dents eût donné l'excellent résultat de 400,4 jours (l'idéal eût été un rapport $\frac{22}{241}$ qui aurait donné 398 j 18 h)¹.

Tout le train d'engrenages d'une planète est contenu à l'intérieur d'un bâti (fig. 3 et 4), formé de deux ponts parallèles et fixé derrière le cadran ; il est placé en oblique, de telle sorte que le bâti fasse avec l'horizontale (début de la graduation du zodiaque) un angle égal à la valeur de l'auge de la planète au moment de la construction de l'horloge ; en principe, donc, la détermination de cet angle pourrait indiquer, fût-ce approximativement, la date à laquelle se réfère le calcul du mécanisme, mais la mesure est beaucoup trop imprécise et le mouvement de l'auge trop lent pour qu'une vérification puisse être tentée.

La question de l'introduction de l'excentricité prévue par la théorie planétaire est sans relation avec celle du calcul du train d'engrenages ; elle ne fait plus appel aux capacités mathématiques de l'horloger, mais à sa compétence technique. La difficulté vient de ce que le mécanisme doit tenir compte de l'existence de trois axes : celui du centre de la terre, autour duquel doit tourner l'aiguille du vrai lieu, celui du centre du déférent, autour duquel doit tourner effectivement le disque du déférent, et celui du centre de l'équant, qui seul doit présider aux mouvements réguliers des disques du déférent et de l'épicycle. Pour avoir voulu concevoir ses mécanismes planétaires autour d'un axe unique, celui du déférent, et avoir ignoré mécaniquement le centre de l'équant, Baldewein, par exemple, s'est

1. J'ai contrôlé les chiffres de tous les trains d'engrenages et j'ai pu, à plusieurs reprises, corriger les décomptes qu'en avait faits E. Neumann (cf. D. Hillard et E. Pouille, *op. cit.*, p. 331, n. 74), lesquels avaient été repris par J.-M. Faddegon (article cité *ibid.*, p. 333, n. 80 ; les décomptes des engrenages planétaires sont au t. 26, 1910-1911, de la *Revue chronométrique*, p. 323 et 325, et au t. 27, 1912-1913, p. 76 et 97-99) tels quels sans vérification. Il y a cependant un pignon du mécanisme de Saturne qui, pour des raisons techniques, m'est resté inaccessible ; Neumann lui avait trouvé 15 ailes, ce qui, avec un train d'engrenages ainsi constitué : $\frac{56}{8} \times \frac{120}{10} \times \frac{40}{15} \times \frac{170}{10}$, aurait donné à la révolution du moyen mouvement de Saturne l'in vraisemblable période de 11 424 jours (ce qui aurait fait, pour l'argument, une révolution de 387 j 6 h). Il est tout à fait probable que ce pignon compte, non pas 15, mais 16 ailes, et le train $\frac{56}{8} \times \frac{120}{10} \times \frac{40}{16} \times \frac{170}{10}$ donne alors un moyen mouvement de 10 710 jours, beaucoup plus satisfaisant, et un argument de 363 j 1 h.

trouvé en face de difficultés inouïes, qu'il a, au reste, fort élégamment et exactement résolues. L'auteur de l'horloge d'Oronce Fine a adopté un parti plus classique, calqué sur la théorie astronomique, et laissé à chaque axe les fonctions que lui reconnaît celle-ci. On notera cependant que, pour une parfaite application de la théorie, l'effet mécanique de l'axe du centre de l'équant doit être double : il doit rendre régulier par rapport à lui-même la rotation du disque du déférent autour de l'axe du centre du déférent, et il doit garantir que la rotation régulière du disque de l'épicycle s'effectue bien par référence à l'auge moyenne sur l'épicycle.

Les trois axes sont matérialisés par une billette fixe, dressée sur un des ponts du mécanisme planétaire, vers l'extérieur, et dont le diamètre décroît de sa base vers son extrémité, en trois étapes : la partie la plus large, telle une grosse rondelle, représente l'axe du centre de l'équant ; la partie médiane représente l'axe du centre du déférent, et l'extrémité fileté représente l'axe du centre du monde (fig. 3, 4 et 5). Ces trois sections de la billette sont évidemment excentrées l'une sur l'autre de telle sorte que l'axe de la partie médiane soit à égale distance des deux autres axes, selon une quantité déterminée pour chaque planète puisque, sur chaque billette, le rapport de l'écart entre deux axes à la longueur du rayon effectif du disque de son déférent (distance entre le centre du disque du déférent et l'axe du disque de l'épicycle) doit être le même que la valeur fixée par Ptolémée à l'excentricité de la planète et évaluée par lui en soixantièmes de la longueur du rayon du déférent. S'agissant toujours de quantités petites, sinon très petites, il est évidemment impossible de vérifier dans quelles conditions les excentricités ptoléméennes ont été respectées.

L'axe du centre de l'équant est celui d'une roue de grande taille (170 dents pour Saturne, 130 pour Jupiter, 120 pour Mars, par exemple) qui se trouve en avant du mécanisme planétaire, à l'extrémité du train d'engrenages, et que j'appellerai roue de l'équant. Cette roue tourne autour de la base, large comme une rondelle, de la

FIG. 4. — Mécanisme de Vénus vu de l'extérieur, le cadran étant enlevé.

La petite roue pattée à grosses dents, au fond, est la roue qui engrène dans la couronne de l'arbre moteur central. La plus petite des deux roues pattées du mécanisme planétaire proprement dit, en avant, est la roue de l'équant, plus petite que celle du mécanisme de Saturne (elle ne compte que 146 dents, contre 170 pour la roue de l'équant de Saturne) ; sur le croisillon inférieur droit de la roue de l'équant, on distingue l'ergot et la *regula deferentis*. Le moyeu de celle-ci traverse la roue fixe du mécanisme épicyclique et laisse apparaître l'emmanchement carré de son extrémité, traversé excentriquement par le filetage de l'axe du centre du monde.

La roue fixe du mécanisme épicyclique est très petite et fixée à un pont supplémentaire du bâti. Comme pour la figure du mécanisme de Saturne, la roue épicyclique ne peut pas figurer sur cette photographie.

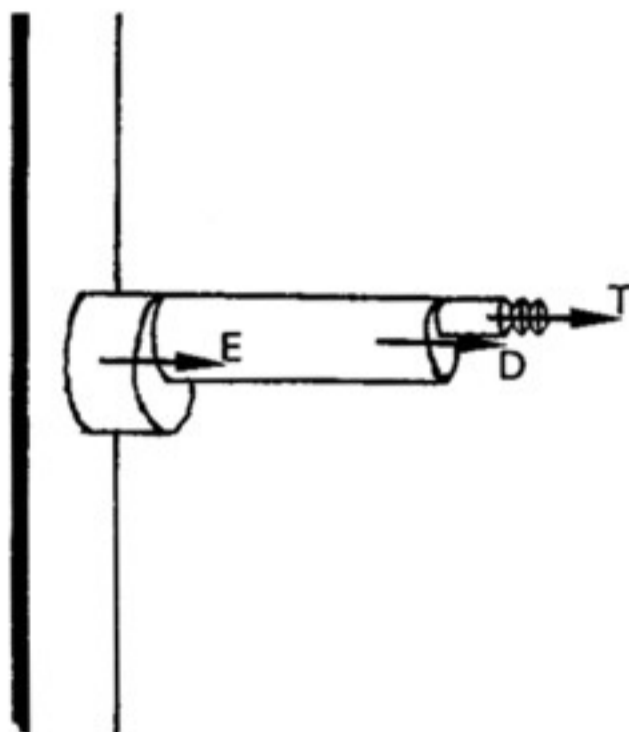
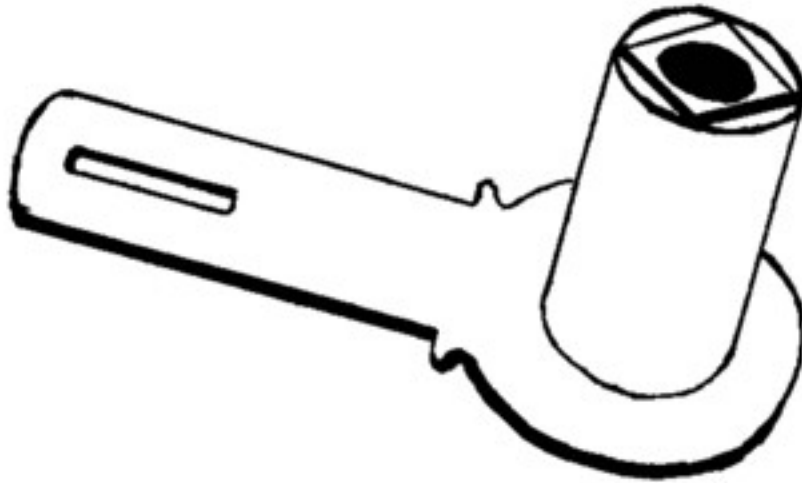


FIG. 5. — Billette matérialisant les axes des centres de la terre (T), du déférent (D) et de l'équant (E).

billette. La roue de l'équant porte, près de son bord, un ergot dont la rotation, bien qu'invisible pour l'observateur, matérialise celles du moyen mouvement et du centre moyen de la théorie planétaire (ces deux coordonnées varient de façon identique puisque l'auge est supposée fixe).

Sur la partie médiane de la billette, celle qui représente l'axe du centre du déférent, est emmanchée une sorte d'aiguille, la *regula deferentis* pour reprendre une expression assez heureuse utilisée par Dondi, terminée par une fente où passe l'ergot de la roue de l'équant (fig. 3, 4 et 6) : la fente permet le rattrapage des variations de distance entre l'ergot et l'axe du centre du déférent. L'extrémité avant du moyeu de la *regula deferentis* est taillée en carré pour recevoir le disque du déférent, dont le centre est percé d'un trou carré et qui tourne donc en même temps que la *regula*. Le centre de l'épicycle, porté par le disque du déférent, tourne par conséquent à une distance constante du centre du déférent, garantie par la rigidité du disque du déférent, et à une vitesse uniforme autour du centre de l'équant, celle de l'ergot, lequel fait agir la *regula deferentis* comme une manivelle entraînant le disque du déférent.

La partie avant de la billette, ou axe du centre du monde, porte deux aiguilles qui n'ont pas véritablement de fonction mécanique et pourraient tourner librement autour de leur axe si elles n'avaient l'une et l'autre l'obligation de passer par un point précis mobile qui les entraîne dans son mouvement. La première aiguille passe par l'axe du petit disque de l'épicycle, et elle lira la position du centre de l'épicycle sur le zodiaque, ou mouvement vrai ; pour rattraper

FIG. 6. — *Regula deferentis*.

les variations de la distance entre le centre du monde et le centre de l'épicycle, elle porte une fente que parcourt l'axe du disque de l'épicycle. La seconde aiguille porte aussi une fente, très longue, par où passe le petit bouton qui, sur le disque de l'épicycle, représente le « corps » de la planète ; c'est cette seconde aiguille qui indique donc le vrai lieu de la planète sur le zodiaque.

Reste à obtenir la rotation du disque de l'épicycle ; elle est toujours (sauf pour Mercure et pour la Lune, dont la situation est plus compliquée) réalisée par un train d'engrenages simple, constitué d'une roue épicyclique tournant autour d'une roue fixe. La roue épicyclique est fixée sur l'axe du disque de l'épicycle, derrière le disque du déferent ; elle engrène dans la roue fixe dont le centre est sur l'axe du centre du déferent (condition nécessaire pour que le contact soit toujours effectif entre la roue fixe et la roue épicyclique), et qui est fixée derrière le disque du déferent, tout en avant du mécanisme planétaire, entre le cadran et la roue de l'équant : quand l'axe de la roue épicyclique, entraîné par le disque du déferent, tourne autour de l'axe de la roue fixe, la roue épicyclique tourne sur elle-même, ainsi que le disque de l'épicycle, selon le mouvement de l'argument.

Ces agencements mécaniques ne sont cependant pas satisfaisants. Dans la théorie planétaire, le rayon de l'épicycle qui passe par le centre de l'équant, ou ligne de l'auge moyenne sur l'épicycle (ligne EOA_m), doit tourner régulièrement autour du centre de l'équant ; c'est cette droite qui porte le centre de l'épicycle et c'est à partir d'elle qu'est apprécié le mouvement régulier de la planète sur l'épicycle car elle détermine sur l'épicycle les deux seuls points dont la variation soit régulière. Or, pratiquement (fig. 7), la *regula deferentis* réalise la rotation régulière d'un point G du disque, point qui répond, sur le disque, à l'ergot de la roue de l'équant : c'est le point du disque qui se trouve, sur le rayon DO qui passe par le centre de l'épicycle, à distance constante (égale à la distance de

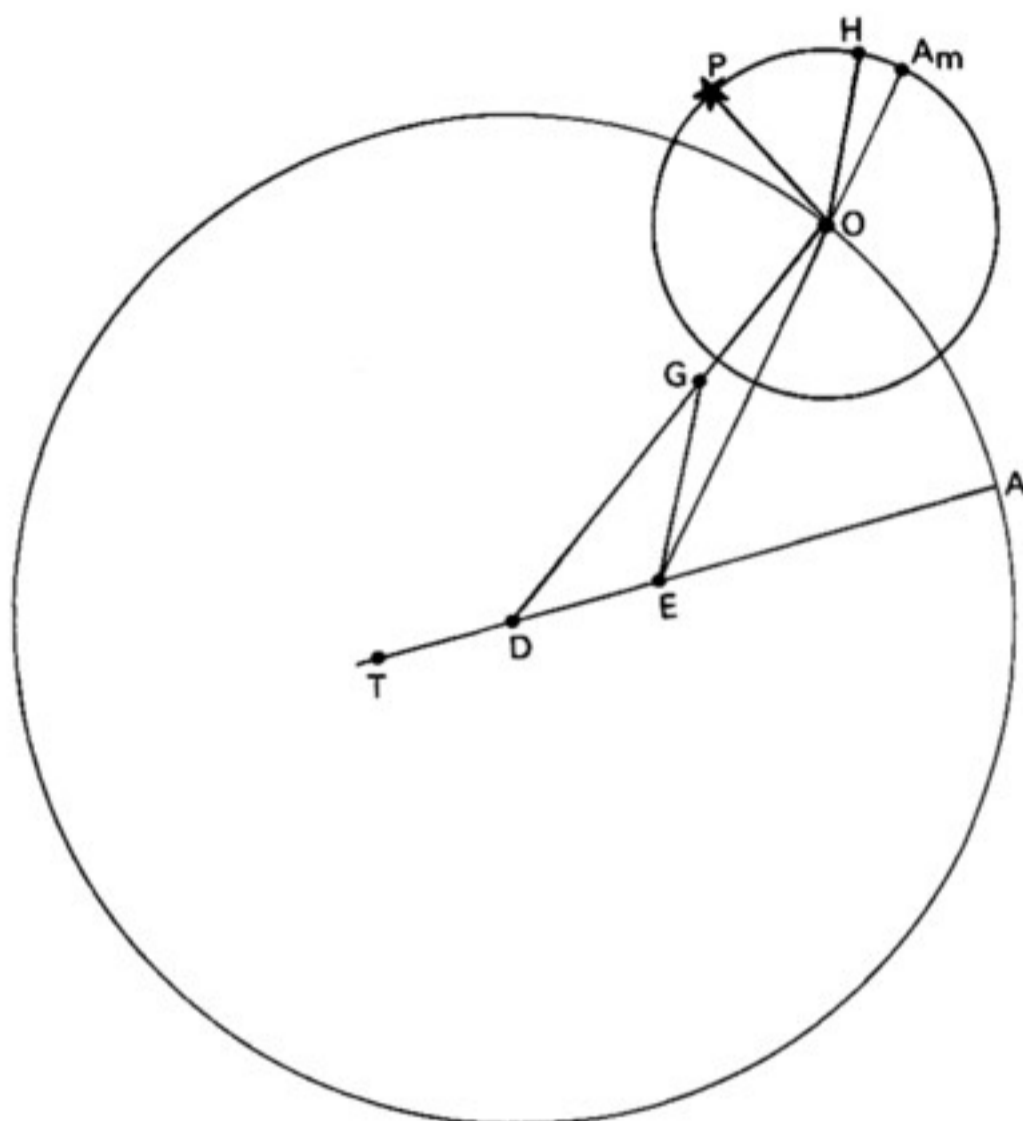


FIG. 7.

La construction mécanique mise en œuvre remplace le centre moyen \widehat{AEO} par l'angle \widehat{AEG} et l'argument moyen $\widehat{A_mOP}$ par l'angle \widehat{HOP} . (Pour rendre la figure plus claire, l'excentricité $TD = DE$ a été démesurément grossie, tandis que la distance EG a été réduite).

l'axe du centre de l'équant à l'ergot) du centre E de l'équant ; ce point est évidemment à une distance variable de D sur DO . La droite EG ne se trouve qu'exceptionnellement confondue avec la droite EOA_m : uniquement lorsque le centre de l'épicycle est à l'auge ou à l'opposé de l'auge (en A , sur la droite TDE)¹ ; partout ailleurs, les droites EG et EOA_m sont différentes. La construction mise en œuvre sur l'horloge d'Oronce Fine réalise donc la rotation régulière d'une droite EG distincte de la ligne de l'auge moyenne sur l'épicycle, ce qui revient, en somme, pour toute position du point O , à affecter à deux des coordonnées de la planète des valeurs approchées : d'une part, la variation régulière du centre moyen (angle de DEA avec EO), dont devrait jouir le centre O de l'épicycle,

1. Cette auge, qui est sur le déférent, ne doit pas être confondue avec les auges, moyenne et vraie, sur l'épicycle.

est reportée sur le mouvement du point G, qui tourne donc régulièrement en lieu et place du centre O ; il en résulte que le centre de l'épicycle tourne irrégulièrement selon une coordonnée qui fait avec le centre moyen un angle \widehat{OEG} . D'autre part, l'argument moyen, qui devrait être compté depuis OA_m , est remplacé par une autre coordonnée, comptée depuis la parallèle OH à EG, qui fait avec l'argument moyen un angle $\widehat{A_mOH}$, petit sans doute, mais bien réel.

Il y a là une grave faute de conception, même si elle ne prête guère à conséquences, puisque l'emplacement de l'ergot, sur la roue de l'équant, est tel qu'il se trouve, en fait, toujours très proche du centre de l'épicycle et que les droites EG et EO sont par conséquent presque confondues. Le débat reste donc purement théorique, mais il est essentiel. Dondi avait bien compris la difficulté qui résultait, pour la rotation du disque de l'épicycle, d'avoir à le faire entraîner par une roue centrée sur le centre du déférent ; il l'avait résolue de deux façons, selon les cadrans planétaires et l'importance des excentricités à traduire ; dans la solution imaginée pour le mécanisme de Vénus, en particulier, la plus proche de la construction exécutée sur l'horloge d'Oronce Fine, Dondi a tracé, sur la roue fixe motrice de la roue épicyclique, une denture inégale, projection, sur un cercle ayant le centre du déférent pour centre, de la division égale d'un cercle ayant le centre de l'équant pour centre. Cette introduction encore timide (il n'a pas osé la généraliser aux planètes dotées d'une excentricité plus forte que celle de Vénus) d'une denture inégale annonce l'emploi systématique qu'en fera Baldewein, deux cents ans plus tard. Pour y avoir renoncé, l'auteur de l'horloge d'Oronce Fine s'est résigné à une représentation approximative de la théorie ptoléméenne.

On peut deviner les raisons de cette décision : les difficultés techniques d'exécution d'une roue à denture inégale, encore qu'elles ne doivent pas être exagérées, la crainte aussi, peut-être, d'un mauvais rendement mécanique à vouloir marier une denture égale (celle de la roue épicyclique) avec une denture qui ne l'est pas (celle de la roue fixe) et le souci d'épargner à l'horloge les aléas de perpétuelles interventions de dépannage. Et puis, il faut avouer que le renfermement de tout le mécanisme à l'intérieur d'une cage bien close, à l'abri des cadrans qui le protège des regards indiscrets, jette un voile pudique sur une anomalie que les initiés seuls auraient pu dénoncer.

Il n'en est pas de même d'une autre anomalie, publique celle-là puisqu'elle s'étale au grand jour sur les cadrans planétaires ; elle porte sur le sens dans lequel varient les coordonnées planétaires. Les disques des déférents, et par suite les aiguilles des vrais lieux, indépendamment du phénomène normal de rétrogradation propre

aux mouvements planétaires, se déplacent, en effet, dans le sens des aiguilles d'une montre, sens dans lequel sont également gradués les zodiaques et les équants ! Cela n'empêche pas une lecture correcte des positions des planètes, de la même façon qu'on pourrait lire l'heure sur une pendule dont les aiguilles se déplaceraient à contre-sens sur un cadran gradué à l'envers : il ne s'agit là que de conventions. Mais ces conventions ne sont pas le fruit du hasard. De même que les aiguilles d'une pendule, en se déplaçant dans le sens où nous avons l'habitude de les voir se mouvoir, reproduisent le mouvement quotidien apparent du Soleil, qui va de gauche à droite pour un observateur qui lui fait face, de même les horloges planétaires doivent reproduire, et reproduisent effectivement, le mouvement des planètes de droite à gauche, dans le sens trigonométrique. Il n'est pas possible de décider si les graduations ont été inscrites à l'envers pour corriger une erreur du mécanicien ou si c'est l'ignorance de l'artiste qui a gravé les cadrans, en croyant qu'il avait affaire à de banals cadrans horaires, qui a obligé le mécanicien à inverser tous les mouvements. Sur le cadran astrolabique et sur le cadran horaire, le déplacement de l'araignée de l'astrolabe et de l'aiguille des heures s'effectue, comme il convient, dans le sens des aiguilles d'une montre.

Les épicycles, et c'est logique, sont affectés de la même inversion du sens de rotation : le petit disque et le bouton qui matérialise le « corps » de la planète tournent dans le sens des aiguilles d'une montre, comme le disque du déferent. Du fait que c'est tout le disque avec sa graduation qui tourne devant l'aiguille du mouvement vrai, et non l'aiguille qui tourne sur l'épicycle, l'origine de la graduation se trouve en face du « corps » de la planète : l'argument vrai sera l'angle compris entre la planète et l'aiguille du mouvement vrai. Il faut donc inverser le sens de la graduation, qui se trouve par conséquent inscrite dans le sens trigonométrique.

Le mécanicien qui a fabriqué l'horloge d'Oronce Fine n'avait décidé, de la théorie astronomique qu'il se proposait de reproduire, qu'une connaissance bien insuffisante : ignorance du sens dans lequel s'effectuent les mouvements planétaires, médiocrité des calculs des trains d'engrenages, notamment pour les premiers rôles, le Soleil et la Lune, liberté prise avec l'orthodoxie planétaire, il n'en faudrait pas davantage pour recalcr un candidat dans une épreuve d'astronomie ptoléméenne. Pourtant, après avoir paru l'accabler en apportant les éléments du réquisitoire, je voudrais me faire son avocat, non par indulgente sympathie, mais par conviction.

Une horloge planétaire n'est pas un instrument scientifique. Elle n'a pas vocation à dispenser l'astronome de son travail en lui indiquant, telle une merveilleuse machine à calculer, où sont les planètes ; d'autant que l'astronome des xv^e et xvi^e siècles a rarement

le souci des positions instantanées des astres : ses fonctions d'astrologue, d'enseignant ou de théoricien de la mécanique céleste l'appellent plutôt à établir des positions planétaires à n'importe quel moment du passé ou de l'avenir, qui n'est pas celui auquel l'horloge pourrait les lui fournir. C'est au contraire à lui qu'il incombe de contrôler la marche de l'horloge, d'en vérifier les indications, de les rectifier s'il y a lieu.

Ce qu'on attend d'une horloge planétaire, c'est de rendre familier à un public ignorant l'harmonie des mouvements célestes, de lui montrer comment la géométrie épicyclique peut en rendre compte, de lui faire apprécier la compétence des astronomes et des horlogers qui ont su domestiquer ces lois mystérieuses. Bref, une horloge planétaire doit, tout à la fois, émerveiller, instruire, étonner.

Encore aujourd'hui où l'astronomie keplerienne a définitivement réfuté les hypothèses épicycliques, l'horloge d'Oronce Fine, en dépit de ses défaillances, reste toujours en mesure de remplir parfaitement ce rôle.

* * *

MM. Michel FRANÇOIS, Charles SAMARAN, Marcel BATAILLON, Jean FILLIOZAT, Félix LECOY interviennent après cette communication.

LIVRES OFFERTS

M. Louis ROBERT a la parole pour trois hommages :

« Les trois ouvrages que je dépose sur le bureau de l'Académie sont présentés par M. Jean Pouilloux et par son groupe de l'Institut d'épigraphie grecque à Lyon. Ils reflètent trois aspects importants de l'activité qu'il dirige.

Le premier est le quatrième volume consacré à la publication des fouilles de Salamine de Chypre commencées par Jean Pouilloux en 1964. Ce volume de 231 pages in-4°, avec 47 planches, porte le titre *Anthologie Salaminienne*. En effet, à la différence des volumes précédents, où un auteur publiait des lampes, des timbres amphoriques ou le riche contenu d'une tombe du XI^e siècle av. J.-C., ici quatorze auteurs du centre lyonnais et qui ont participé aux fouilles, en quatorze chapitres, publient des documents archéologiques qui ont pour la plupart un intérêt particulier. Bien des époques et des branches de l'archéologie y sont représentées : sculptures avec un kouros et avec une série de lions archaïque mise dans un large ensemble, — céramique avec un calathos chypriote du XI^e siècle, des vases grecs importés du VI^e, un rhyton à tête de bélier du III^e, une amphore panathénaïque publiée par J. Pouilloux lui-même et deux figurines de terre cuite du IV^e siècle. C'est à l'époque chrétienne qu'appartiennent des tables en marbre, et plus récente encore est une huilerie bien conservée en tous ses éléments de pierre et dont il est donné une précise étude technique. Cette gerbe de contributions donne une idée plaisante et instructive des trouvailles de la fouille lyonnaise à Salamine de Chypre.

M. Jean Pouilloux s'est attaché depuis longtemps à faciliter l'usage de notre