

L'astrarium de Giovanni Dondi

EMMANUEL POULLE

La première horloge montrant le mouvement des planètes, tel que Ptolémée l'avait postulé, date du XIV^e siècle. Elle avait disparu, mais a été reconstruite d'après le manuscrit laissé par son inventeur.

La position des planètes dans le ciel a préoccupé les savants depuis l'Antiquité. Qu'ils s'y soient intéressés en tant qu'astrologues ou qu'astronomes, ils ont toujours tenté de respecter une démarche scientifique. Avant l'adoption du système héliocentrique, au XVII^e siècle, et la découverte de la forme elliptique des orbites par-

courues par les planètes, trois étapes ont jalonné la prévision de leurs positions dans le ciel. Au II^e siècle, l'astronome grec Ptolémée élabore une décomposition géométrique des mouvements irréguliers des planètes en plusieurs mouvements réguliers. Il exprime ces mouvements sous forme de tables qui permettent de calculer les positions des

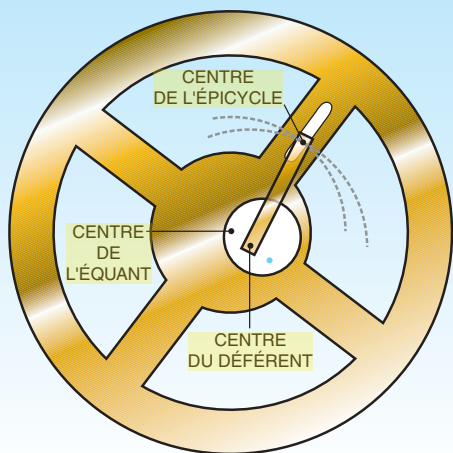
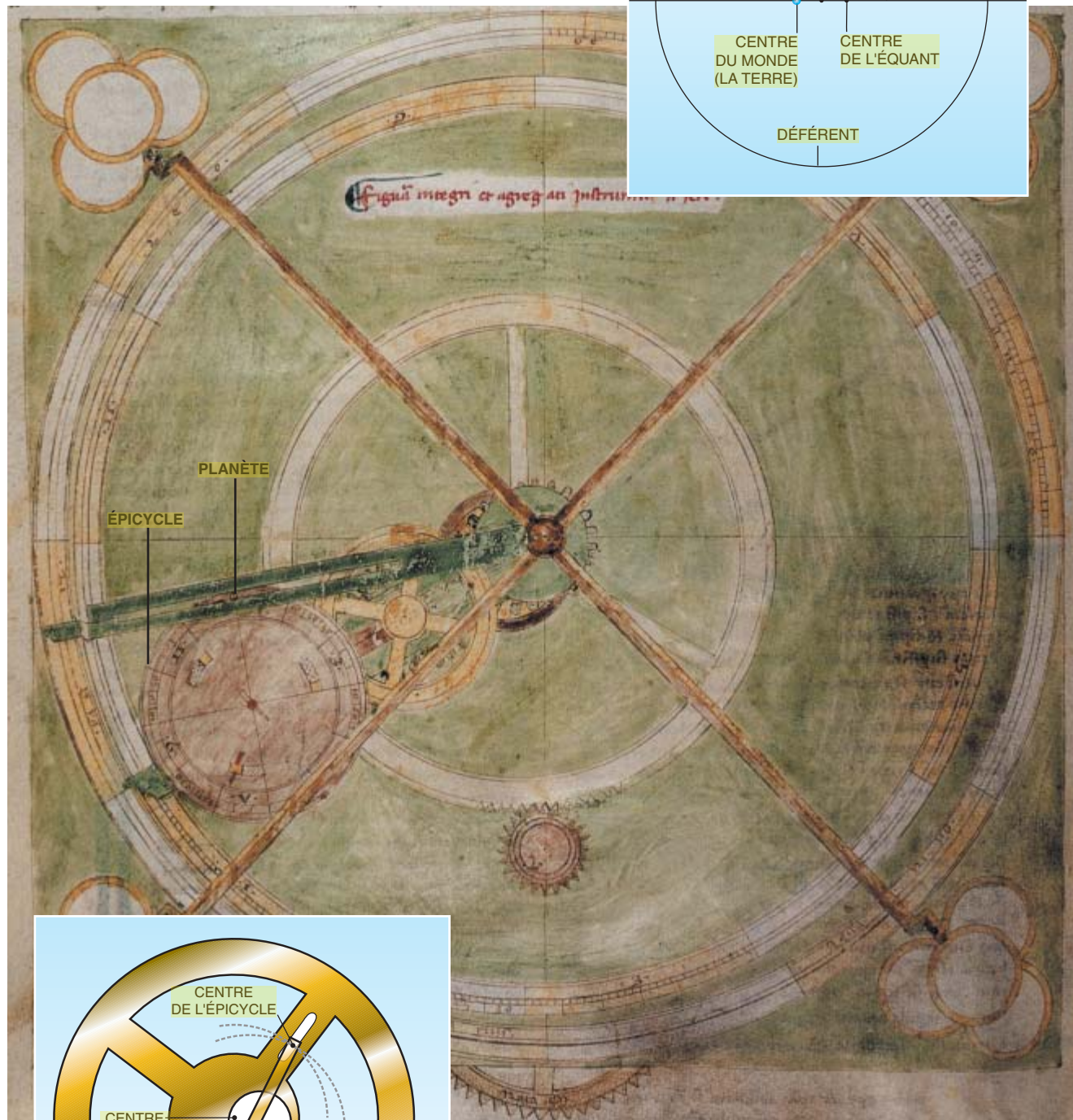
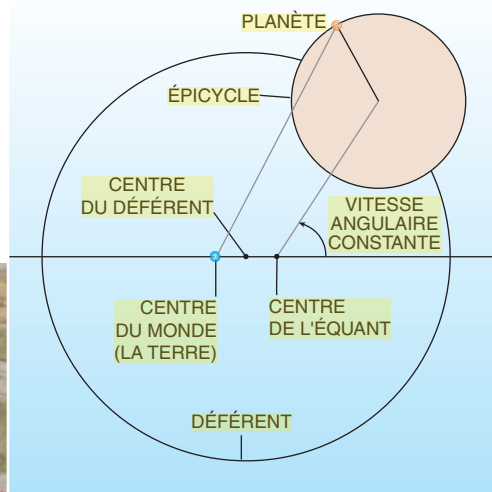
planètes à n'importe quelle date du calendrier. Au XIII^e siècle, le mathématicien italien Campanus de Novare imagine un instrument, l'équatoire, qui donne les mêmes résultats sans calculs : les disques dont il est constitué sont agencés de façon à former une représentation concrète des constructions géométriques de Ptolémée. Enfin, un siècle plus tard, Giovanni Dondi simplifie encore la procédure en concevant et en réalisant un équatoire mû automatiquement par un mécanisme d'horlogerie, qu'il nomme «astrarium». Cette œuvre unique est d'autant plus remarquable qu'elle a été réalisée à une époque où l'horlogerie et la conception des équatoires sont encore mal maîtrisées.

Au Moyen Âge, une horloge comporte un élément moteur (la chute d'un poids), un «foliot» qui freine cette chute et un engrenage qui transforme le mouvement du foliot en un décompte du temps. L'horlogerie définie par l'association de ces trois éléments remonte à la fin du XIII^e siècle, plus précisément aux années 1280 (le mot *horologium*, bien plus ancien, désigne seulement un dispositif donnant l'heure, par exemple un cadran solaire). Dès le début du XIV^e siècle, l'engouement pour les horloges est considérable ;



1. La reconstruction de l'astrarium de l'Observatoire de Paris, (ci-contre) respecte scrupuleusement les instructions de Dondi. L'astrarium est une tour polygonale à sept côtés, qui porte les mécanismes des sept planètes (le Soleil, la Lune et les planètes que l'on connaît à l'époque : Mercure, Venus, Mars, Jupiter et Saturne). Le moteur d'horlogerie (dessiné ci-dessus) est installé au centre : le poids est accroché à la ficelle blanche, enroulée autour du tambour. Il fait tourner la «roue de l'année» (horizontale, sous les cadrans planétaires) d'un cran chaque jour. Ce mouvement actionne à son tour les mécanismes des sept planètes.

2. Selon la théorie de Ptolémée, qui fit autorité jusqu'à la Renaissance (*ci-contre*), la Terre est au centre du monde et chaque planète parcourt un petit cercle, l'épicycle, dont le centre suit un grand cercle, le déférent, excentrique par rapport au centre du monde. Le mouvement de la planète sur son épicycle est régulier. En revanche, le mouvement du centre de l'épicycle sur le déférent n'est régulier ni par rapport au centre du déférent ni par rapport au centre du monde, mais par rapport à un troisième point, dit centre de l'équant. Les centres du monde, du déférent et de l'équant sont alignés et le deuxième est situé à égale distance des deux autres.



3. Le centre de l'épicycle (*ci-contre*) tourne autour du centre du déférent, mais son mouvement est régulier par rapport au centre de l'équant : il est fixé sur une règle reliée au centre du déférent, mais entraînée par une roue tournant autour du centre de l'équant (dont le mouvement, actionné par le mécanisme d'horlogerie, est régulier). Il glisse dans une fente ménagée le long d'un rayon de la roue de l'équant pour encaisser les variations de longueur. Sur le cadran de Mercure (*ci-dessus*), on aperçoit un autre exemple de ce système de fente, qui permet à l'aiguille, dite du vrai lieu, d'être entraînée par la planète et d'indiquer sa position dans le zodiaque, sur la graduation du pourtour du cadran.

on apprécie d'abord les machines qui sonnent les heures, puis celles qui les affichent. L'idée naît alors de fabriquer des horloges astronomiques qui représentent, en plus du mouvement quotidien du Soleil (elles indiquent l'heure), son mouvement annuel. Dès leur apparition, les horloges astronomiques connaissent une grande vogue et contribuent, tout au long du XIV^e siècle, à la promotion de l'horlogerie elle-même. Vers 1350, Jacopo Dondi, le père de Giovanni Dondi, réalise pour sa ville de Padoue une horloge astronomique publique installée sur le Palais du Capitaine (elle y est encore, mais a subi de nombreuses transformations au cours de son histoire). Quant à l'équatoire que Campanus avait imaginé vers 1260, il connaît également une certaine notoriété au XIV^e siècle, après son adoption par l'enseignement universitaire.

L'astrarium est la première horloge planétaire, conçue comme un équatoire mécanisé où les mouvements des planètes sont mus par un mécanisme d'horlogerie. Dondi commence les calculs préalables à la conception de l'astrarium en 1365. Il met ensuite 16 ans à le réaliser. Il l'achève vers 1380, à un moment où les événements politiques le contraignent à quitter Padoue (l'Italie est alors organisée en plusieurs cités-états indépendantes dont les rivalités entraînent des troubles). Il se retire à Pavie, en Lombardie, en emportant son précieux chef-d'œuvre qui aurait dû faire la gloire de Padoue. Il reçoit des visiteurs illustres et enthousiastes qui considèrent

l'horloge comme la huitième merveille du monde et ne sont apparemment guère déçus de la trouver en panne : la documentation sur l'histoire de l'astrarium à Pavie se ramène, hélas, à des réparations répétées qui ne parviennent pas à le faire fonctionner correctement. Ses responsables ont dû se lasser de ces soins inutiles, car, à partir du début du XVI^e siècle, on perd toute trace de l'astrarium, qui a probablement fini ses jours à la décharge, comme toutes les vieilles horloges hors service.

Lors de la construction de l'astrarium, Dondi avait rédigé une sorte de compte-rendu d'atelier où il a décrit les étapes de sa réalisation. Grâce à ce document, le seul de ce genre qui nous vienne du Moyen Âge, nous connaissons tous les détails techniques de la construction de l'astrarium et nous avons reconstitué cet instrument unique.

L'astrarium est une tour polygonale à sept côtés d'environ 1 mètre de hauteur (voir la figure 1). Dans la partie inférieure se trouve le mécanisme d'horlogerie, installé au centre, ainsi qu'une horloge, sur l'une des faces : c'est une horloge ordinaire, à ceci près que le cadran comporte 24 graduations correspondant aux heures et que c'est lui qui tourne devant un repère fixe. Dans la partie supérieure se trouvent sept cadrans, sur chacune des faces, qui portent les mécanismes des sept planètes (le Soleil, la Lune, ainsi que les planètes que l'on connaît à l'époque : Mercure, Venus, Mars, Jupiter et Saturne). Chaque mécanisme est indépendant des autres. L'astrarium se veut le reflet du

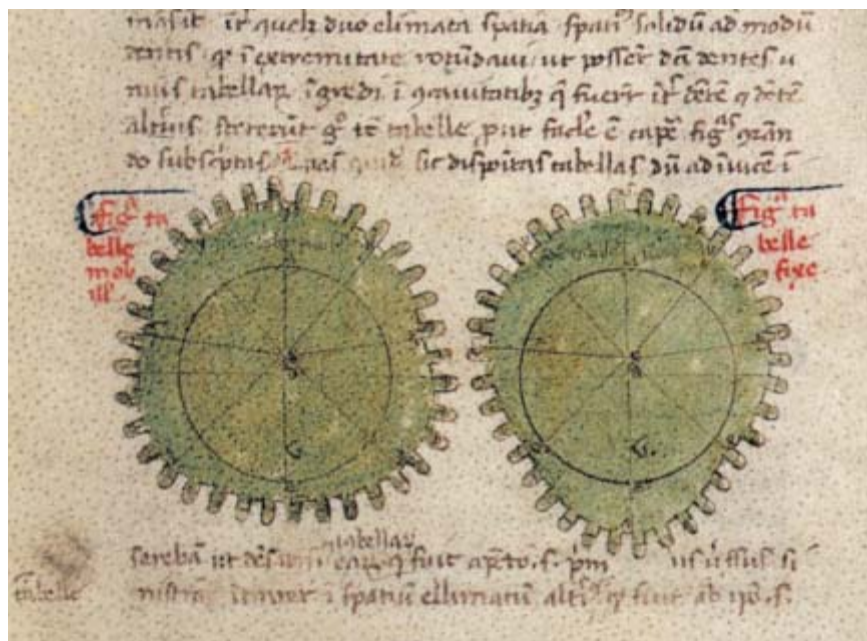
monde. Depuis Ptolémée, on admettait que le mouvement quotidien de la voûte céleste est le moteur de tous les autres mouvements célestes. De même, le mécanisme d'horlogerie commande tous les mécanismes planétaires.

Comment l'astrarium fonctionne-t-il ? Le mécanisme d'horlogerie fait tourner une grande couronne horizontale qui compte 365 dents, dite roue de l'année, située à la jonction de la partie inférieure et de la partie supérieure, sous les cadrans planétaires (voir la figure 1). Son centre est sur l'axe de la tour. Elle est le moteur commun de tous les mécanismes planétaires portés par les cadrans (sauf celui de la Lune). Elle avance d'un cran par jour, actionnant chaque mécanisme planétaire.

Les mécanismes planétaires des cadrans reproduisent les mouvements des planètes en matérialisant la construction géométrique de Ptolémée : la planète parcourt un petit cercle, l'épicycle, dont le centre parcourt un grand cercle, le déférent, excentrique par rapport au centre du monde, c'est-à-dire par rapport à la Terre. La vitesse angulaire du centre de l'épicycle sur le déférent est uniforme par rapport à un troisième point, dit centre de l'équant (voir la figure 2). Giovanni Dondi reproduit à petite échelle ce que l'on suppose alors être le mouvement des planètes. Il résout trois types de problèmes posés par la mécanisation : le respect de la périodicité, l'existence de deux excentricités (celle du centre du déférent et celle du centre de l'équant) et le mouvement épicyclique.

Afin que les périodicités des mouvements des planètes soit respectées, il fait des calculs compliqués pour concevoir des trains d'engrenages situés derrière et sur chaque cadran, qui font tourner respectivement la roue de l'équant et la planète sur l'épicycle aux vitesses voulues. Comme Dondi a limité le nombre de roues et de pignons, ses trains d'engrenages sont peu précis. D'ailleurs, il en a bien conscience puisqu'il complète son compte-rendu d'atelier par une longue liste d'instructions concernant la fréquence avec laquelle il convient d'avancer ou de retarder manuellement les mécanismes planétaires.

En revanche, Dondi résout avec brio la difficulté liée à l'excentricité en respectant, sans aucune concession, les règles de la théorie ptoléméenne. Comme le mouvement du centre de l'épicycle n'est régulier que par rapport au centre de l'équant, l'axe de l'épicycle est entraîné par une roue tournant autour de ce centre (actionnée par le mécanisme d'horlogerie). Le problème se pose alors de maintenir l'axe de l'épicycle à distance constante



4. Dondi a imaginé des aménagements particuliers pour tenir compte des caractéristiques propres de chaque planète notamment deux roues des engrenages qui transmettent son mouvement épicyclique à la Lune ont des contours irréguliers et complémentaires : l'une a un côté aplati (à gauche) alors que l'autre a un côté plus bombé (à droite).