

LE CADRAN SOLAIRE AZIMUTAL

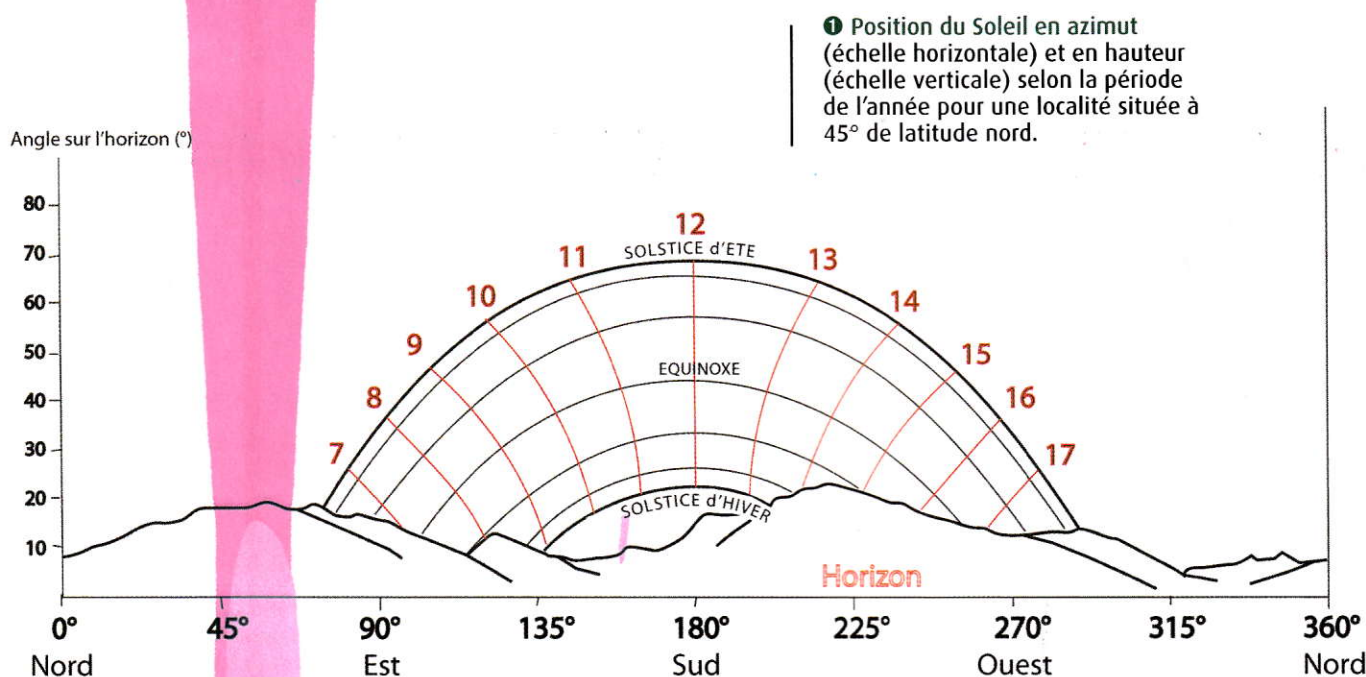
UNE HISTOIRE MILLENAIRE

Le Soleil se présente, pour un observateur terrestre, à différents endroits du ciel selon la période de l'année et selon l'heure de la journée. Sur le plan scientifique, on peut définir à tout instant : sa hauteur (angle vertical par rapport à l'horizon local) et son azimut (angle horizontal par rapport au méridien local qui est le plan vertical nord-sud). Sur la plupart des cadrans solaires, le style (pièce, généralement métallique, dont l'ombre indique l'heure) est de type « polaire », c'est-à-dire parallèle à l'axe de rotation de la Terre ; dans ce cas, l'heure est déterminée grâce à la combinaison de ces deux paramètres. Mais quand on réalise un cadran solaire, on peut choisir de n'exploiter que la hauteur du Soleil, et on a alors des cadrans de hauteur, comme le cadran de Regiomontanus (voir *Astronomie* 105) ou le cadran de berger (*Astronomie* 139 et 140). On peut aussi ne s'intéresser qu'à l'azimut. C'est ce que nous allons explorer dans les lignes qui suivent.

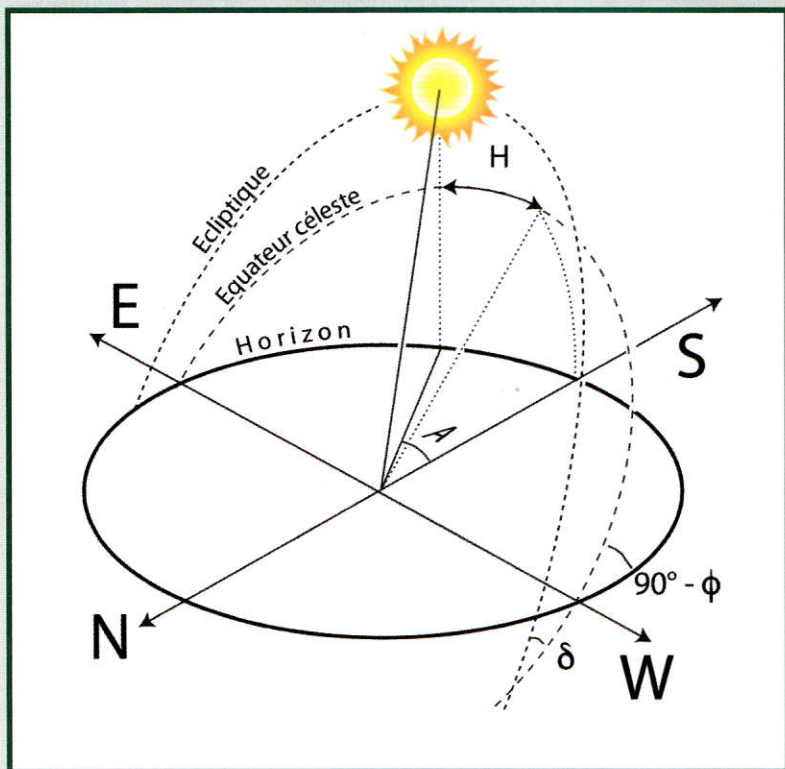
Dans ce cas, et c'est un intérêt notable du cadran azimutal, la confection du porte-ombre est simplifiée : une simple tige verticale de longueur quelconque suffit (gnomon). Inversement, une difficulté apparaît. Le Soleil, entre deux solstices, n'a jamais le même azimut à une heure donnée (fig. 1) ; la relation heure/position de l'ombre est donc complexe et c'est ce qui fait toute la difficulté scientifique de ce genre de cadran (lire encadré p. 49).

Les premiers cadrans azimutaux européens

On connaît quelques manuscrits issus du monde arabomusulman ancien qui décrivent le cadran azimutal. On retrouve celui-ci ensuite en Europe, où il est illustré dans des manuscrits latins datés du X^e au XIII^e siècle. Ces manuscrits ont un contenu assez constant¹, proche de celui des manuscrits arabes. Il est sans doute significatif que le plus ancien des manuscrits latins provienne du monastère de



LE CALCUL DE L'AZIMUT DU SOLEIL



Soit A , l'azimut du Soleil : c'est l'angle compté sur le plan de l'horizon à partir du sud (positif à l'ouest, négatif à l'est), on a :

$$\tan A = \frac{\sin H}{\sin \phi \cos H - \cos \phi \tan \delta}$$

avec ϕ = latitude du lieu, H = angle horaire, c'est l'angle compté en heures sur l'équateur céleste à partir du sud (positif à l'ouest, négatif à l'est). Une (1) heure est égale à 15° . C'est donc fondamentalement l'« heure solaire » (temps vrai) exprimée de façon un peu particulière.

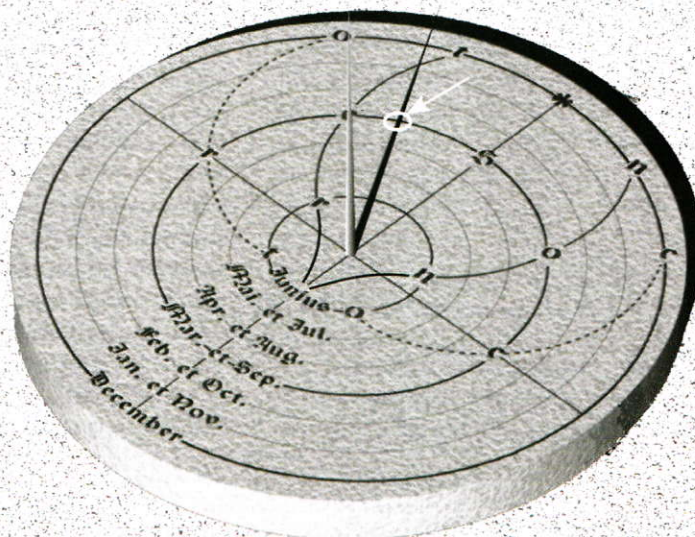
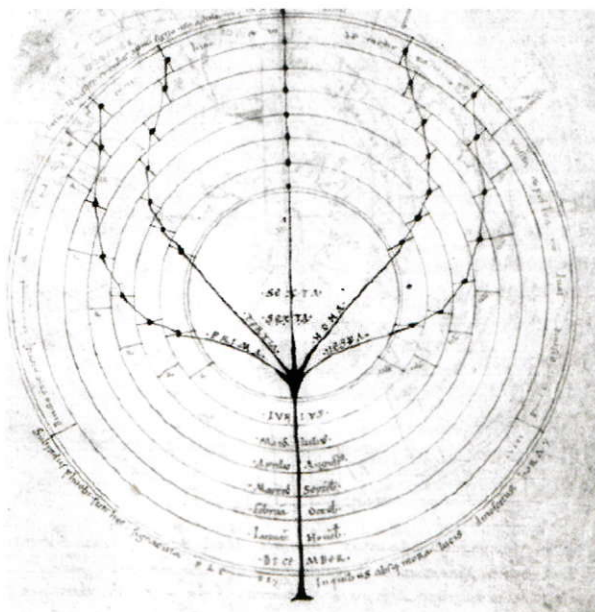
δ = déclinaison du Soleil : c'est l'angle entre le plan de l'écliptique et l'équateur céleste ; elle varie de $-23^\circ 26'$ (solstice d'hiver) à $+23^\circ 26'$ (solstice d'été), et est nulle aux équinoxes. On l'extrait généralement des éphémérides, mais il est possible de l'évaluer par une formule approchée :

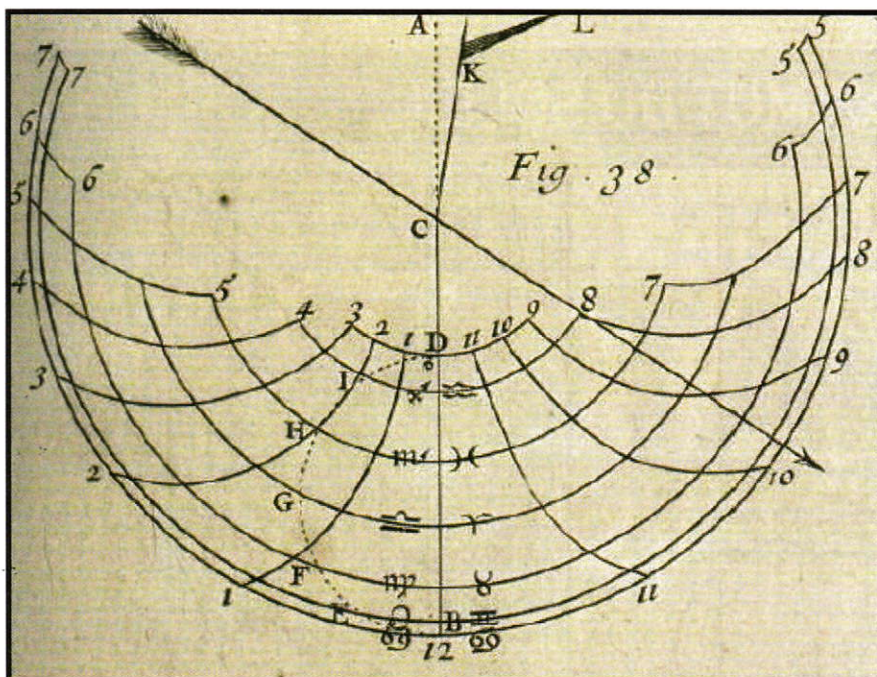
$$\sin \delta \approx 0,4092 \sin \left[\frac{2\pi |J+284|}{365} \right]$$

avec : J = le rang du jour (1 pour 1^{er} janvier).

Ripoll (Catalogne espagnole) qui fut, au Moyen Âge, un centre important de traduction des manuscrits arabes en latin. Plusieurs de ces manuscrits sont conservés en France, dont deux à la BNF². Nous allons nous intéresser à une figure extraite d'un des manuscrits de Paris (fig. 2).

↓2. Le cadran azimutal du manuscrit BNF lat. 7412, f. 19 r, daté du XI^e siècle, et reconstitution de principe, d'après Arnaldi (2012) modifié. Notons que la hauteur du gnomon peut être choisie de manière quelconque. C'est l'intersection entre l'ombre du gnomon et le cercle correspondant à la date du jour qui permet de repérer l'« heure canoniale ». Dans l'exemple, si nous sommes le jour d'un équinoxe, alors l'instant présent se situe entre tierce et sexte (cercle blanc).





3. Illustration, tirée d'un livre de Jacques Ozanam de 1720³, d'un cadran azimutal. Comme sur le cadran médiéval, le porte-ombre est un gnomon vertical. On note des cercles qui matérialisent les divisions de l'année, ici en fonction du zodiaque. Ces signes sont classés dans le sens inverse des mois de la figure 2 (ici, le solstice d'hiver est en position interne), ce sens étant bien sûr totalement arbitraire. Toujours est-il que ce changement provoque une modification de l'allure des lignes horaires qui ont tendance à diverger vers l'extérieur.

On observe sur cette figure une série de cercles concentriques qui correspondent aux différents mois de l'année. Ceux-ci sont indiqués, en bas de la figure, le long de l'axe nord-sud rectiligne (décembre et juin, mois des solstices, occupent les extrémités externe et interne de l'axe ; les autres mois sont regroupés par paires). Dans la partie haute se déploient cinq lignes horaires, qui se réfèrent à des heures canoniales, ou monastiques : prime, tierce, sexte (midi), none et vêpres. Les heures de nuit ne sont évidemment pas indiquées. Le gnomon vertical, de longueur quelconque, est implanté au centre des cercles et projette son ombre sur le cadran. L'intersection de l'ombre avec le cercle du mois en cours indique l'heure. Comme nous l'avions déjà constaté sur la figure 1, selon la période de l'année, la direction de l'ombre (azimut du Soleil) n'est pas constante pour une heure donnée. Les lignes horaires dessinent donc une

forme curieuse, une sorte d'araignée qui est caractéristique de ce genre de cadran. Ces manuscrits médiévaux constituent des témoignages tout à fait exceptionnels d'une recherche de la précision dans la mesure du temps, bien avant la « révolution » que constitue l'invention du style polaire. Ils éclairent de manière tout à fait inattendue la compétence de certains savants du Moyen Âge eu-

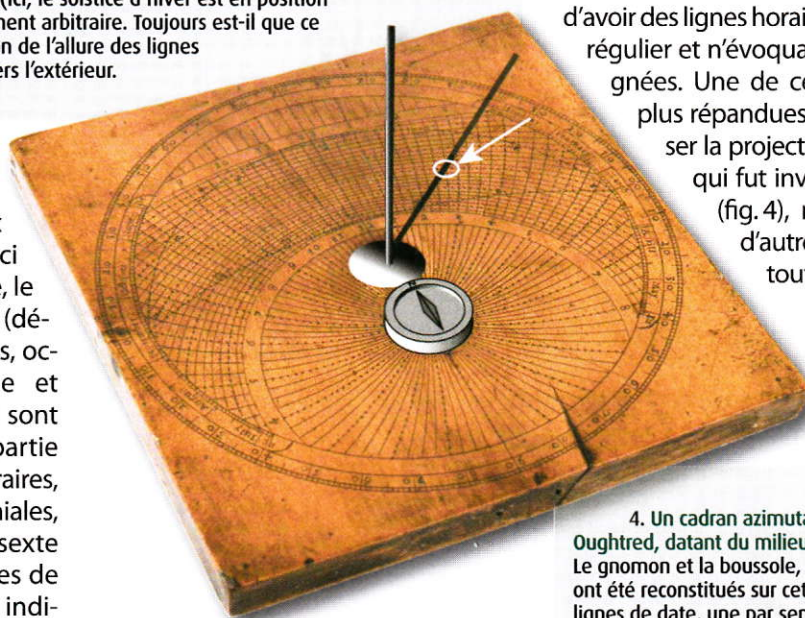
ropéen... et sans doute aussi l'influence arabe.

Ce type de cadran, au tracé qui évoque une araignée, a quasiment disparu après le Moyen Âge. Tout au plus peut-on signaler de rares cadrans portatifs, adaptés aux heures civiles égales, qui ont été réalisés du XVI^e au XVIII^e siècle. De même, les mentions dans la littérature scientifique sont exceptionnelles ; la figure 3 est tirée d'un des rares livres anciens de gnomonique qui les évoquent.

L'évolution à partir du XVI^e siècle

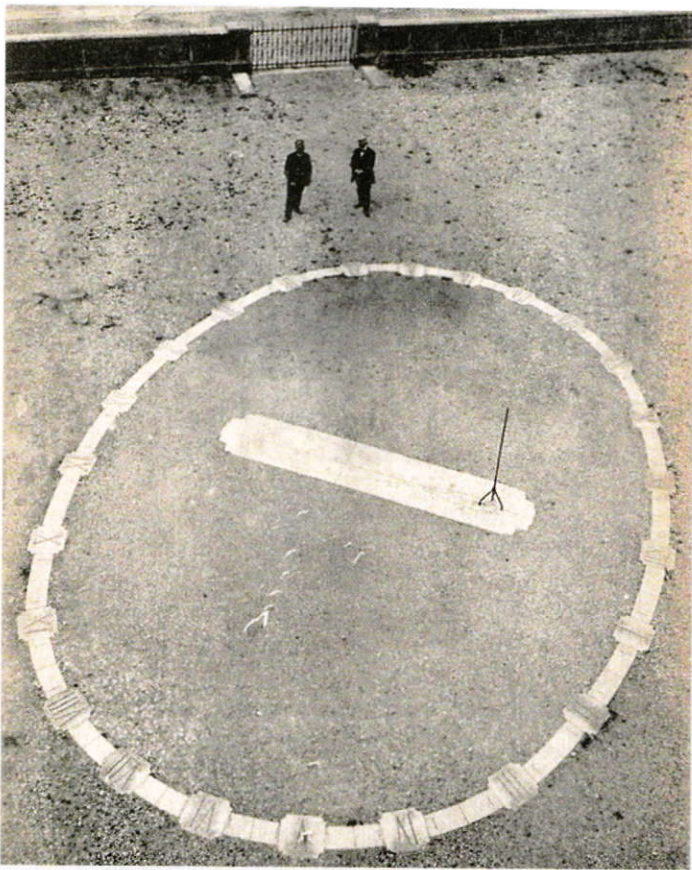
À partir de la Renaissance, on assiste à l'émergence d'autres types de cadrans azimutaux, avec trois développements originaux.

Le premier de ces développements va apparaître au début du XVI^e siècle, quand des gnomonistes vont abandonner le système des cercles concentriques pour trouver des formes qui permettent d'avoir des lignes horaires au tracé plus régulier et n'évoquant plus les araignées. Une de ces solutions les plus répandues consiste à utiliser la projection d'Oughtred, qui fut inventée en 1632⁴ (fig. 4), mais beaucoup d'autres solutions sont tout aussi valides.

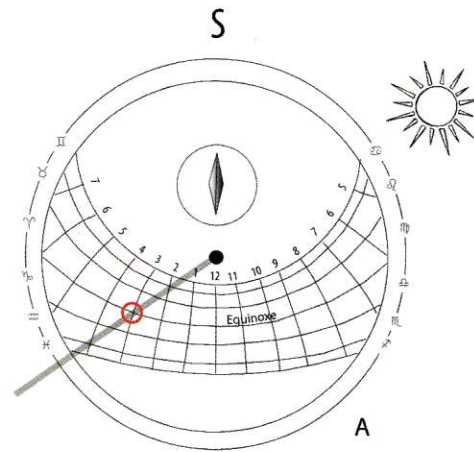


4. Un cadran azimutal de type Oughtred, datant du milieu du XVI^e siècle. Le gnomon et la boussole, manquants, ont été reconstitués sur cette image. Les lignes de date, une par semaine, correspondent à la projection stéréographique horizontale des différentes trajectoires du Soleil dans le ciel (le nom des mois du calendrier et des graduations bi-journalières sont visibles sur l'anneau périphérique). Comme pour tous les cadrans azimutaux, c'est la localisation de l'intersection de l'ombre du gnomon avec l'arc indiquant la date du jour qui permet de lire l'heure. Dans le cas présent, si nous sommes le jour de l'équinoxe, alors il est 2 h 45 de l'après-midi (cercle blanc).

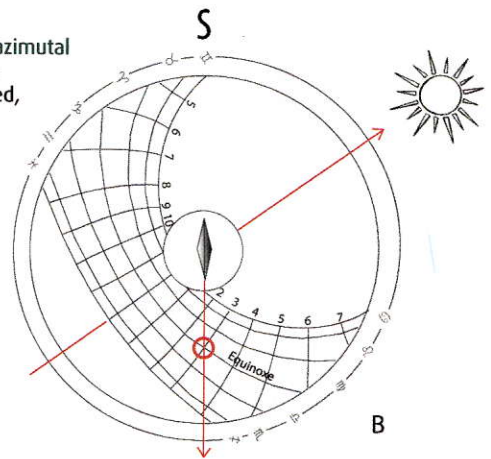
1. Arnaldi M. (2012) : De Cursus Solis, medieval azimuthal sundials ; BSS Monograph n°10, 58p. – 2. Il s'agit des manuscrits lat. 7412 et lat. 12117. – 3. Ozanam J. (1720) : La gnomonique, où l'on donne par un principe À Paris. – 4. (1632) : The Description and Use of the Double Horizontall Dyall, London. – 5. de Vaulezard (1640) : Traicté ou usage du quadrant analématique.... À Paris ; Foster S. (1654) : Elliptical or Azimuthal Horologigraphy, London. Georges P. (1660) : Horologe magnétique elliptique ou ovale nouveau.... À Toul.



5. Le cadran solaire de Brou (Ain), réputé être le plus ancien cadran analemmatique monumental du monde. Même si son origine remonte à la seconde moitié du XVII^e siècle, ce qui reste à confirmer, il est certain qu'il a subi plusieurs profonds remaniements. De l'avis des spécialistes, la dernière « restauration », au tout début du XX^e siècle, fut assez catastrophique.



6. Le principe du cadran azimutal magnétique. (A) : cadran azimutal de type Oughtred, et (B) cadran azimutal magnétique (inspiré du cadran de V. Leotaud dans son ouvrage de synthèse sur le magnétisme⁸ de 1668). Les dates sont indiquées par les signes du zodiaque.



Le deuxième développement correspond à l'invention du cadran analemmatique, qui est aussi un cadran d'azimut. Il fut inventé par trois savants au milieu du XVII^e siècle, très probablement indépendamment les uns des autres⁵. Alors que le cadran azimutal classique est caractérisé par un gnomon et plusieurs échelles d'heures, le cadran analemmatique n'a qu'une échelle horaire (sur une ellipse) et plusieurs gnomons verticaux (en pratique, il n'y en a évidemment qu'un seul que l'on déplace selon la date). Dès la fin du XVII^e siècle, des gnomonistes se sont rendu compte que ce cadran ouvrait d'intéressantes perspectives en « animation » des parcs et des jardins⁶. C'est peut-être de cette époque que date le cadran de Brou, dans le département de l'Ain (fig. 5). C'est en tout cas sous cette forme que, encore de nos jours, nous le rencontrons le plus fréquemment.

Le troisième développement correspond à l'apparition des « cadrans magnétiques azimutaux ». Il s'agit d'un progrès qui peut s'ajouter aux deux précédents. Classiquement, si on oriente un cadran portatif de manière à ce que l'aiguille de la boussole indique le nord magnétique⁷, alors l'ombre, c'est-à-dire la direction du Soleil, indique l'heure. Si on retourne l'échelle horaire par une symétrie sur le plan méridien, alors les chiffres ne vont plus se succéder dans le sens des aiguilles d'une montre, mais dans le sens inverse. Si l'on oriente ce nouvel instrument dans la direction du Soleil, c'est alors l'aiguille magnétique, si son pivot correspond au centre du cadran, qui va marquer l'heure sur l'échelle horaire (fig. 6). On comprendra que cette transformation présente plusieurs avantages : tout d'abord, elle permet l'abandon du gnomon, pièce fragile et dangereuse ; deuxièmement, un Soleil dans un ciel voilé, incapable de générer une ombre, suffit maintenant pour utiliser le cadran. Dans certaines régions, cela peut multiplier significativement le nombre d'heures, et de jours, pendant lesquels le cadran pourra fonctionner ! Ce genre de perfectionnement semble être apparu pendant la seconde moitié du XVII^e siècle. Il sera appliqué aussi bien aux cadrans analemmatiques, comme les cadrans de Dieppe (voir *l'Astronomie* 133), qu'au cadran de type d'Oughtred (fig. 6).

Conclusions

Les cadrans azimutaux ont donc une histoire très longue. Si on exclut les cadrans datant de la période romaine, on peut considérer qu'il s'agit des cadrans solaires « scientifiques » les plus anciens utilisés en Europe. Ce type de cadran est donc apparu sous la forme à usage monacal, très probablement inspiré par des manuscrits arabo-musulmans, et possédant une précision qui étonne pour un instrument médiéval. Puis, il a subi une longue évolution avec, successivement, l'intégration des heures civiles, l'adoption d'un système sophistiqué de projection de la sphère céleste et enfin l'exploitation du magnétisme terrestre. Au début du XVIII^e siècle, on disposait donc de cadrans solaires portables qui s'affranchissent en partie de la nécessité de l'ombre, ce qui en faisait des instruments particulièrement efficaces. Le fait qu'ils aient pratiquement disparu ensuite, à une époque où, pourtant, les cadrans portables étaient devenus très populaires, est donc assez surprenant.

De nos jours, les cadrans azimutaux bénéficient d'un petit regain d'intérêt, mais sous une forme décorative et ludique, grâce aux cadrans analemmatiques monumentaux qui agrémentent les parcs et les jardins. ■

6. Ozaman J. (1694) *Récréations mathématiques et physiques ...* ; Paris. – 7. en France, au XVII^e siècle, le Nord magnétique était fort proche du Nord géographique. – 8. Leotaud V. (1668) ; *Magnetologia in qua exponitur noua de magneticis philosophia*, A Lyon.