

## **LA MESURE DU TEMPS**

**Françoise SUAGHER**

Pendant des milliers d'années, l'homme s'est acharné à définir le temps à partir de la rotation apparente du Soleil. Il a cherché à imiter ce mouvement circulaire uniforme dans la détermination de l'heure, et la réalisation des horloges. Puis, la mécanique se faisant plus précise, il s'est trouvé confronté à de nouveaux problèmes astronomiques l'obligeant tout d'abord à abandonner le mouvement du Soleil comme garde temps pour lui préférer la rotation de la terre autour de l'axe des pôles. Enfin, c'est la terre, elle-même qu'il a fallu renier, son mouvement de rotation étant, à son tour, trouvé trop chaotique. C'est cette longue histoire de la mesure du temps que nous allons évoquer, et davantage l'aspect astronomique que celui de la technologie horlogère qui, je l'avoue, me dépasse et de beaucoup.

### **LE TEMPS DES ASTRES**

L'écoulement de l'eau dans une clepsydre, du sable dans un sablier, le comptage des battements du coeur humain ou des oscillations d'un pendule, le déplacement des étoiles ou du Soleil permettent de déterminer des durées. Mais le mouvement du Soleil, indépendant de l'observateur et de sa position géographique a constitué le sablier universel nos ancêtres.

#### **LE GNOMON.**

L'observation de la marche du Soleil est le moyen le plus simple, le plus naturel et le plus anciennement utilisé pour évaluer les durées. De tout temps, les hommes ont remarqué la variation de la direction et de la longueur des ombres. Les gnomons et les scaphés sont des cadrans solaires primitifs. Ils sont inspirés du mouvement du Soleil au cours de la journée et au cours de l'année.

Longue le matin, passant par un minimum en milieu de journée (midi), l'ombre s'étire à nouveau l'après-midi. Le gnomon, constitué par un bâton vertical fiché dans le sol, permet de déterminer facilement l'instant de midi, correspondant à l'ombre la plus courte, et de repérer la direction Nord- Sud.

Parfois, un orifice donne une tache de lumière à l'intérieur d'un bâtiment. Les oeil de boeuf des thermes romains, permettent d'avoir une idée de l'heure sans avoir à sortir.

Le gnomon ne permet pas d'obtenir des divisions régulières de la journée : l'ombre ne décrit pas des secteurs égaux pendant des durées égales. De plus, la trajectoire du Soleil en été diffère beaucoup trop de celle d' hiver, les journées passant de 16 h à 8 h sous nos latitudes.

Les philosophes et astronomes Grecs des V<sup>ème</sup> et IV<sup>ème</sup> siècles avant JC exploitent au maximum les possibilités du gnomon. Après avoir défini les points cardinaux, ils s'intéressent à la variation de la longueur de l'ombre méridienne (dans la direction Nord Sud) au cours de l'année. Longue en hiver, courte en été, la longueur de l'ombre à midi permet de se repérer dans l'année, et d'élaborer un calendrier. Le gnomon sert à déterminer le solstice d'été, qui coïncide avec le début de l'année athénienne (ou olympique).

Plus tard, il permet de déterminer les équinoxes, l'obliquité de l'écliptique et la longitude du lieu par la valeur du rapport des longueurs des ombres méridiennes aux solstices. Pythéas a ainsi déterminé la longitude de Marseille, au IV<sup>ème</sup> siècle avant JC.

Vers 164 avant JC, au moment où Rome s'équipe d'un cadran solaire réalisé pour sa latitude, le grand obélisque de Montecitorio, sur le champ de Mars, sert de gnomon à un cadran solaire géant dont l'ombre se déplace sur des lignes de bronze dans le dallage de marbre.

## **LE SCAPHE**

Vers le V<sup>ème</sup> siècle, les Grecs perfectionnent le gnomon. Ils utilisent un quart de sphère, tournée vers le zénith et muni d'une tige horizontale, le style, dont la pointe coïncide avec le centre de la sphère. Dès que le Soleil monte à l'horizon, l'ombre du style se déplace à l'intérieur du scaphé. On peut tracer la route suivie par l'extrémité de l'ombre aux solstices et aux équinoxes pour se repérer dans l'année. Le scaphé comporte 11 graduations ; ainsi l'intervalle de temps entre le lever et le coucher du Soleil est divisé en 12 parties, les heures. Les heures d'hiver et d'été, n'ont pas la même durée (40 min en hiver et 80 en été). On prend également l'habitude de diviser la nuit en 12h ; donc les heures de jour et de nuit n'ont pas la même durée sauf aux équinoxes. Ce système d'heures est celui des heures temporaires, antiques ou bibliques.

## **LA RONDE NOCTURNE DES ETOILES**

Le déplacement des constellations dans le ciel au cours de la nuit permet aussi d'évaluer les durées, mais nos ancêtres s'intéressent surtout aux constellations les premières visibles le soir (coucher héliaque) ou aux dernières visibles avant le petit jour (lever héliaque). Ces constellations variables d'une saison à l'autre leur donnent un repérage à l'intérieur de l'année, donc un calendrier. Ainsi, les Egyptiens utilisent des tableaux qui leur permettent de connaître l'heure de la nuit, en observant, pendant chacune des 36 décades de l'année, quelle étoile remarquable vient de se lever. En particulier, le lever héliaque de Sirius annonce la crue du Nil. Les savants égyptiens possèdent aussi un autre système basé sur la hauteur d'une constellation dans son mouvement autour de l'étoile polaire. Ce principe a été repris au Moyen Âge (par Pedro di Médina) et constitue un ancêtre de notre nocturlabe.

Le lever héliaque des Pléiades, au printemps, a servi de référence dans de nombreux calendriers primitifs. En Grèce, les poèmes d'Hésiode datant du VII<sup>ème</sup> siècle avant JC, lient le

lever héliaque des Pléiades aux différents travaux des champs.

Pendant longtemps, l'homme vivant essentiellement d'agriculture et d'élevage, n'a guère besoin de divisions précises de la journée. Il lui suffit de se positionner dans l'année, pour organiser les semences et les récoltes. Cependant des systèmes plus complexes, utilisés par l'élite de l'époque sont en train de se perfectionner. Le temps des astres cède la place au temps des premières machines.

## **LES PREMIERES MACHINES**

Afin de conquérir la nuit pour en avoir moins peur et de pallier aux jours sans Soleil, il fallait échapper à l'emprise du ciel, inventer les premières machines à mesurer les durées.

### **LES HORLOGES A EAU.**

C'est l'eau, élément qui différencie notre planète par rapport aux autres terres du ciel, qui va donner à l'homme ses premiers succès. Parce qu'on peut l'enfermer dans le moindre récipient, la faire couler de jour comme de nuit, l'eau est plus maniable que l'ombre solaire. Utiliser l'eau comme marque temps, c'est pour l'homme, un petit pas de plus vers l'appropriation de la planète.

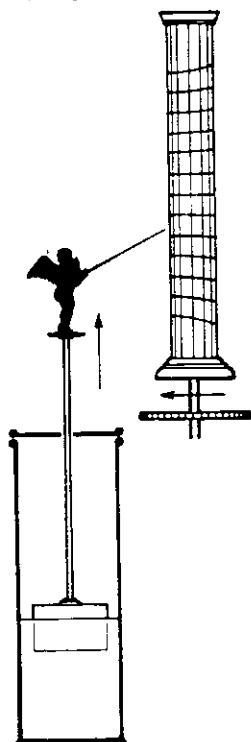
Les horloges à eau font leur apparition en Egypte cinq siècles après les premiers cadrans solaires. La plupart du temps, ce sont de grands vases coniques (pour compenser le débit qui dépend de la hauteur d'eau dans le récipient), ayant à la base un petit tube d'écoulement. Remplies au début du jour, elles indiquent l'heure sur une division linéaire intérieure au fur et à mesure que le niveau baisse. On attribue au célèbre mécanicien égyptien Ctésibus (200 avant JC) une clepsydre à flotteur comportant des engrenages, et indiquant les heures, les jours et les mois.

Les horloges à eau ou clepsydras (du grec Klepsydrion : voleur d'eau) sont en particulier utilisées pour mesurer la durée des plaidoiries. A Athènes, la Tour des Vents est un édifice octogonal qui présentait sur ses huit faces des cadrans solaires verticaux et contenait à l'intérieur une horloge à eau, alimentée par la source Clepsydre.

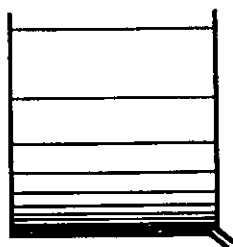
Le système est loin d'être parfait, les problèmes sont nombreux, dus à la viscosité, la constance du débit, etc, et il faudra longtemps pour améliorer le système.

Avec la chute de l'empire romain et les invasions, le centre du monde se déplace vers le monde arabe et l'orient. Les clepsydras sont améliorées, et perfectionnées avec des automates. Le premier échappement apparaît, en Chine, sur l'horloge de Su Song en 1090. A cette période se développe aussi dans le monde arabe, la technique des astrolabes et des cadrans solaires à

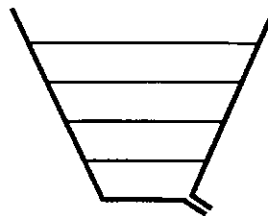
style incliné.



Clepsydre de Ctésibios



Clepsydre à section constante



Clepsydre à section variable

## LES SABLIERES ET AUTRES SYSTEMES.

Le sablier n'apparaît que tardivement dans l'histoire de la mesure du temps, car il nécessite le savoir-faire d'un verrier. L'horloge de sable, apparaît en Europe au 8<sup>ème</sup> siècle, la légende en attribuant l'invention à un moine de Chartres. Les progrès de la verrerie permettront d'obtenir un récipient bien hermétique, dont le fonctionnement ne sera plus ralenti par l'humidité. Le sablier qui continue à couler là où l'eau gèle convient pour mesurer des petits intervalles de temps.

Dans le livre des records, signalons celui de Charlemagne, que l'on ne retournait que toutes les 12 heures. Au XVI<sup>ème</sup> siècle, on le rencontre partout, dans les cuisines et dans les églises pour limiter la durée des sermons. Sur les bateaux, il est utilisé associé à la corde à noeuds pour déterminer la vitesse du bateau.

De nombreux autres systèmes astucieux ont été utilisés pour la mesure du temps : les horloges à chandelles, qui la nuit apportaient en même temps lumière et mesure du temps, les horloges à huile comme celle que possédait en France Charles V vers 1300, et des horloges aromatiques, bougies dont la mèche était imprégnée d'essences différentes et reconnaissables.

*(à suivre)*

## LA MESURE DU TEMPS II - LE TEMPS DES PRIERES

Françoise SUAGHER

Les premiers hommes auxquels on doit le souci de la division de la journée, ce sont des moines soucieux d'accomplir régulièrement leur devoir religieux. Les horaires des prières vont être données par le cadran canonial, le sablier ou la chandelle.

### LES PREMIERS MONASTERES

Au premier millénaire, période marquée à la fois par l'emprise du christianisme et de l'Eglise, après la conversion de l'empereur Constantin, et par les grandes invasions barbares, naissent les monastères. Le premier est fondé dans les Iles de Lérins, au large de Cannes en 410, par Saint Honorat, archevêque d'Arles. Après les invasions, Saint Colomban, moine irlandais évangélisera de nombreuses provinces françaises, dont la future Franche Comté. Ces monastères constituent des îlots d'ordre dans un océan de désordre.

A partir du VII<sup>ème</sup> siècle, le monastère est un ensemble de bâtiments, et toute une population participe à la vie de la communauté. On y travaille la laine, le vin, le fer, etc. Le monastère prend la place de la cité moribonde et constitue le noyau de la civilisation médiévale jusqu'à l'apparition des communes au XI<sup>ème</sup> et XII<sup>ème</sup> siècle. Vers l'an 800, Charlemagne confie la responsabilité de l'enseignement aux établissements religieux, et interdit de travailler le dimanche.

### LA REGLE DE SAINT BENOIT

Saint Benoît (vers 480- vers 547) est le patriarche des moines d'Occident. Sa règle énonce:

"Comme dit le prophète, sept fois le jour, j'ai dit ta louange, ce nombre sacré, septenaire, est rempli par nous, si au temps de matines (laudes), prime, tierce, sexte, none, vêpres et complies, nous acquittons les devoirs de notre service... Quant aux veilles nocturnes, le même prophète dit : Au milieu de la nuit, je me levais pour te confesser", à ces moments donc, matines primes... rendons hommage au Créateur et levons nous la nuit pour le confesser".

### LE CADRAN CANONIAL

Le cadran canonial est la version moyenâgeuse du scaphé. La demi-sphère est remplacée par un demi cercle tracé sur un mur vertical, tourné vers le sud, le style étant horizontal. Horizontale au lever, l'ombre vient balayer le demi cercle au cours de la journée et se retrouve horizontale au coucher. Vers 700, Bède le Vénérable (né en Angleterre en 632) généralise l'emploi de ces cadrans dits canoniaux dans les abbayes d'Outre-Manche.

Comme chaque congrégation religieuse a son propre rite, le nombre des graduations du cadran canonial varie. La règle de Saint Benoît, utilisée chez les bénédictins et les cisterciens fixe les heures des différentes prières par un jeu de cloches, en suivant le rythme solaire.

Laudes ou Matines: au point du jour (4 coups)

Prime : au lever du Soleil (3 coups)

Tierce : en milieu de matinée, (2 coups)

Sexte : à midi (un coup)

None : dans le milieu de l'après-midi (2 coups)

Vêpres : chants du soir (3 coups)

Complies : prières finissant en début de nuit (4 coups)

Vigiles : en milieu de nuit.

La connaissance de l'heure de minuit nécessitait l'emploi de cierges ou de clepsydras.

Pour imposer les heures canoniales, les nouveaux pouvoirs s'approprient un instrument nouveau: la cloche. Elle marquera l'histoire de la mesure et du contrôle du temps sur plus d'un millénaire.

## **LES CADRANS DE BERGER**

D'après des documents d'Hermann le Perclus (XI<sup>ème</sup> siècle) il semble qu'au X<sup>ème</sup> siècle, les cadrans de berger étaient d'emploi courant, et que l'on peut croire à leur apparition dans les monastères durant le VII<sup>ème</sup> siècle. Il n'est pas sûr du tout que les arabes en soient les inventeurs. Au XI et XII<sup>ème</sup> siècle, on fabriquait ces horloges de poche, avec des graduations variables pour différentes latitudes.

Cependant, les horaires des prières continuent d'être fixés à partir des cadrans canoniaux. Le système des heures canoniales persistera bien après l'invention des premières horloges à poids, puisque ce n'est qu'en 1429 que le Chapitre Général des Cisterciens prescrira l'usage des heures légales.

## **LES PREMIERES DIVISIONS DE LA JOURNEE**

L'usage des heures temporaires qui remonte aux égyptiens, babyloniens et chaldéens s'est perpétué jusqu'à l'introduction des horloges publiques mécaniques aux XIV<sup>ème</sup> siècle. Les astronomes, qui avaient besoin de plus de précisions utilisaient depuis Ptolémée la division en heures équinoxiales, et des sous divisions en minutes et secondes inspirées de la division des angles dans le système à base soixante. N'oublions pas que la mesure du temps est celle de l'angle horaire du Soleil ou d'une étoile.

Dans le peuple, on a peu d'informations sur la façon dont la journée était divisée, ces petites unités étant très rarement utilisées. Bède le Vénérable cite : "Le temps se divise en atomes ; 564 atomes font un moment, 4 moments font une minute, 10 minutes font un point, 5 points font une heure de lune, 6 heures font un quadrant, et 4 quadrants un jour".

Raban Maur, au IX<sup>ème</sup> siècle, divise l'heure solaire en 40 momenta, chaque momentum en un ostentum et dimidium. L'ostentum vaut 366 atomi ou ictus oculi (le temps que l'on met à cligner de la paupière).

## **LE TEMPS DES CLOCHES**

### **LA NAISSANCE DES VILLES**

A partir de l'an 1000, la ville européenne commence à vivre selon son propre rythme. Elle se protège des bandits et des voleurs en créant des palissades puis des remparts, en formant une police, en levant des impôts pour financer les besoins. Peu à peu, elle prend le contrôle de la campagne qui la nourrit.

Avec les croisades, le commerce réapparaît, l'or et l'argent reviennent, le grand commerce avec l'Orient reprend. Le pouvoir bascule de la campagne à la ville, du propriétaire terrien au négociant de blé. Le nouvel art gothique s'épanouit, et les églises deviennent des cathédrales. Sur ces monuments populaires, surnommés si justement la Bible des pauvres, on va tracer dans la pierre, tout ce que l'homme doit connaître, son histoire sainte, ses dogmes sacrés, ses sciences, ses arts, ses métiers.

Avec le retour des croisades, la mesure du temps évolue de façon spectaculaire. On sait maintenant, en particulier, fabriquer un cadran solaire à style incliné qui donne des heures égales, été comme hiver. La nécessité d'avoir un calendrier unique se fait sentir pour l'organisation

des grandes foires européennes.

La ville qui devient une entité politique commence à gérer son propre temps et a à cœur de donner l'heure. Le pouvoir civil ne peut pas se contenter de la cloche du couvent ou de l'église. Il lui faut la sienne propre. Les premières horloges publiques apparaissent. Conçues pour sonner l'heure et non pour l'afficher, elles n'ont ni aiguilles ni cadran, mais un système de sonnerie.

### **L'HORLOGE A POIDS**

Tant que l'homme accepte que son temps soit soumis à la durée fluctuante des jours, il reste esclave du Soleil. Pour devenir maître de son temps, il attendra des siècles, il lui faudra inventer, fabriquer une machine mesurant autre chose qu'un segment de jour ou de nuit. C'est l'eau qui a donné à l'homme ses premiers succès, mais c'est l'eau en temps que source d'énergie, le point faible des clepsydras. Cependant la mécanique du système est en tous points satisfaisante. C'est donc cette source d'énergie, volatile, corrosive, qui gèle, qu'il convient de remplacer. Après le sablier, on en vient aux horloges à poids.

Il semble que les prémices de l'horlogerie mécanique datent du VIII<sup>ème</sup> siècle. Un mécanisme actionné par un poids est une innovation attribuée à Pacificius, archidiacre de Vérone (776, 844), mais en 757, le pape Paul I<sup>er</sup> avait adressé une horloge de ce type au roi Pépin. Le moine Gerbert d'Aurillac, qui devint pape sous le nom de Sylvestre en avait construit une à la fin du X<sup>ème</sup> siècle, mais on n'est pas sûr qu'elle eût un régulateur. Les horloges à poids se répandent à partir de 1250-1300.

Un poids accroché à une ficelle enroulée autour d'un axe impose à cet axe, par sa chute, un mouvement uniformément accéléré. Or le temps s'écoule uniformément; on ne peut donc le représenter que par un mouvement uniforme, ce qui n'est pas le cas de la chute libre. Le principe des premières horloges à poids est donc inacceptable. L'horloge à poids est très imprécise, la dérive atteint 1 h par jour. Elle va bientôt laisser sa place à l'horloge à foliot.

### **L'HORLOGE A FOLIOT**

Il faut perfectionner le système de l'horloge à poids, inventer un régulateur. Le principe est simple : si à intervalles réguliers, on stoppe la descente du poids, on l'immobilise puis on le laisse repartir librement, la suite de mouvements imposée, pour chaotique qu'elle paraisse, n'en est pas moins en moyenne uniforme.

On ne sait pas combien de temps il a fallu pour concevoir ce dispositif d'échappement, approprié et stable, le FOLIOT, ou échappement à verge, qui par sa danse folle dans un sens puis dans l'autre assure le blocage régulier souhaité. Le temps produit par l'horloge, globalement uniforme, n'est plus représenté par un phénomène uniforme, il est dorénavant découpé, morcelé, haché.

Depuis cette époque, une horloge est formée de trois parties distinctes, couplées l'une à l'autre : un système moteur fournit l'énergie, un régulateur (échappement) veille à ce que la force motrice reste constante au cours du temps, et un mécanisme de transmission permet l'"affichage" sous forme sonore (cloche ou carillons) et/ou visuelle (cadrans, jaquemarts, etc).

### **L'ASTRARIUM DE DONDI**

L'astrarium de Dondi (1318-1389) est une horloge planétaire, la première de l'Occident. L'horloge a disparu, mais ses plans dessinés entre 1348 et 1364 ont été retrouvés et une reconstitution a été faite. L'horloge comporte un foliot, et un cadran de 24 heures, nouveauté pour

l'époque. En plus de l'heure, elle indique les positions dans le zodiaque du Soleil, de la Lune et des cinq planètes connues alors. A cette époque c'est le système de Ptolémée qui est admis avec une Terre fixe autour de laquelle se déplacent les astres. Le tour de force de Dondi consiste à reproduire le mouvement géocentrique des planètes et son oeuvre fut la référence obligée pendant longtemps pour des réalisations analogues.

### **LA CLOCHE, ORGUEIL DE LA CITE**

Dans la cité médiévale, la diffusion de l'heure est assurée par les cloches. Au début, le fonctionnement de la cloche est manuel, c'est l'horloger qui la met en branle après avoir entendu sonner l'horloge. Puis le couplage devient mécanique, les cloches étant reliées à l'horloge. Les cloches donnent l'heure, mais elles sont aussi utilisées à beaucoup d'autres occasions : elles donnent l'alarme en cas d'incendie, préviennent de l'arrivée de l'ennemi (le tocsin), appellent les citoyens aux armes, convoquent les gens au travail, les envoient au lit, sonnent le deuil à la mort du roi ou donnent le signal des réjouissances populaires à la naissance d'un prince ou pour un couronnement, célèbrent l'élection d'un pape ou une victoire militaire. De plus elles étaient censées posséder certains pouvoirs comme écarter une tempête ou une épidémie. Elles sont l'orgueil d'une communauté.

Au début, les cloches donnent les heures. La sonnerie de cloches de la Tour d'horloge de la Bienheureuse Vierge Marie à Milan en 1335, forçait l'admiration, en sonnant, un coup à une heure, 2 à deux heures, etc. Si bien qu'on savait très facilement l'heure qu'il était. Une innovation, qui va se généraliser. Plus tard, les horloges se mettent à sonner les quarts d'heure.

### **L'APPARITION DES CADRANS**

Le cadran est une chose rare jusqu'au milieu du XIV<sup>ème</sup> siècle. Les horloges qui ont un cadran ne comportent qu'une seule aiguille, la précision restant illusoire de l'ordre d'une heure par jour. L'analphabétisation ambiante contribue à expliquer pourquoi le cadran fut si long à apparaître sur les horloges publiques. Certains des premiers cadrans avaient 6 graduations et l'aiguille faisait 4 fois le tour en 24 heures.

### **LA TOUR DE L'HORLOGE**

L'horloge à foliot ne peut pas être exacte, mais ce qu'elle porte en elle est si fondamental qu'elle s'affiche très vite sur les tours des cathédrales, sur les beffrois des cités, et bientôt dans les palais des princes et les maisons des grands bourgeois.

A partir du milieu du XIV<sup>ème</sup> siècle, des horloges monumentales à une seule aiguille s'installent dans les grandes villes : Londres en 1348, Strasbourg en 1354, Paris en 1370, Salisbury en 1386, etc... La première horloge de Strasbourg, dite l'horloge des trois rois (1352,1354) est l'une des premières horloges mécaniques à poids et foliot monumentales qui soit en même temps astronomique et à automates. La première horloge publique de Besançon date de 1440.

Les nouvelles horloges vont très vite se répandre travers l'Europe, elles deviennent un véritable service public. Le bâtiment de l'horloge devient un bâtiment imposant, voir une tour. Au batant caché dans la cloche les horlogers préfèrent pour sonner l'heure et les quarts, des automates bien visibles. C'est bien souvent un personnage qui sonne l'heure avec un marteau : le Jacquemard. Citons la tour de l'horloge de Venise (1499), avec ses "moris" de bronze, ou le Jacquemart de la Madeleine à Besançon.



## LES HORLOGES SPECTACLES

Les grandes horloges du Moyen-Age deviennent des horloges spectacles qui montrent le mouvement du Soleil et de la Lune. Malgré le manque d'amélioration du mécanisme, rien n'empêche de multiplier les rouages afin de donner davantage à voir. Citons parmi les plus anciennes, la première horloge de la cathédrale de Strasbourg (1350) et l'horloge de Welles (1392), celle de Prague (1486)...

## L'ABANDON DES HEURES SAISONNIERES

Plus qu'aucune autre invention jusque là, l'horloge mécanique contribue à rapprocher la nuit du jour, puisque pour avoir l'heure exacte le matin, à l'aube, il faut que la machine ait fonctionné toute la nuit. Elle a aussi pour conséquence à long terme, la globalisation des heures de jour et de nuit en une seule journée de 24 h égales, ainsi, au XIV<sup>ème</sup>, l'heure devient la 24<sup>ème</sup> partie du jour, ce qu'utilisaient les astronomes et non plus la douzième partie de la journée. C'est le passage des heures saisonnières aux heures égales.

L'horloge à foliot marque des heures constantes, de jour comme de nuit, hiver comme été, et le monde des villes se différencie du monde des champs qui continue à vivre avec le Soleil. Le petit peuple connaît maintenant l'heure, mais il va s'écouler encore plusieurs siècles avant qu'il n'adopte les minutes.

L'horloge mécanique a fait appel à un dispositif relativement simple, mais révolutionnaire que l'histoire du temps a trop peu célébré, l'échappement. La mécanique abolit l'écoulement. Le tic-tac de l'échappement devient la voix du temps. La précision d'une horloge dépend dorénavant de la régularité de son échappement. Cette déclaration d'indépendance de l'homme à l'égard du Soleil est une bonne chose, mais on comprendra plus tard seulement, que pour accomplir cet exploit, l'homme s'est mis sous la coupe d'une machine aux exigences tyranniques.

*(à suivre...)*

---

## PETITE ANNONCE

Désirant nouer une collaboration avec un lycée technique, notre section astronomie souhaiterait prendre contact avec d'autres clubs ou lycées ayant déjà concrétisé ce genre de "partenariat" à travers des projets (réalisations techniques, validation de projets d'étude dans le cadre de la formation du lycée...) afin de profiter de cette expérience et d'apporter de multiples possibilités en restant dans le cadre de l'Astronomie, à travers divers domaines (physique, mécanique, électronique, informatique...).

D'avance, merci.

contact :           Jean-Marc DUPONT  
                          C.E.A. / Valduc  
                          Section Astronomie  
                          21120 IS-sur TILLE

## LA MESURE DU TEMPS III - L'INVENTION DE LA SECONDE

Françoise SUAGHER (suite)

### UN PROGRES DECISIF.

Les foliots, régulateurs à inertie, contiennent en eux la source de leur irrégularité, car le temps qu'ils mettent pour permettre l'échappement dépend de toutes sortes de facteurs externes (état d'usure des palettes, des dents de la roue de rencontre, de la viscosité des lubrifiants, ...)

Ibn Younis, astronome arabe au début du XI<sup>ème</sup> siècle avait dit-on observé qu'un corps suspendu à une corde donnait des oscillations à peu près égales. En 1612, le médecin italien Sanctorio imagine un système qui comptabilise mécaniquement les oscillations. Ce travail est repris par Galilée. Il imagine une combinaison où le balancier est aussi peu influencé que possible.

Mais le problème n'est définitivement résolu que par Huygens, qui réunissant le principe de Sanctorius, à celui des horloges à échappement; imagine en 1656, d'entretenir le pendule par l'échappement lui-même. Dorénavant l'horloge ne résulte plus d'un équilibre fragile entre l'entraînement du poids et l'inertie du foliot, mais résulte d'un phénomène pendulaire, oscillatoire, qui possède une période propre, intrinsèque où la source d'énergie n'intervient que pour compenser les frottements et faire fonctionner les annexes comme l'affichage et la sonnerie..

L'échappement à ancre permet d'acquérir un gain en précision de l'ordre de 10 fois. C'est la solution encore employée aujourd'hui pour conserver l'heure dans les horloges et montres mécaniques.

Deux problèmes restent à résoudre : la durée d'oscillation est légèrement variable avec l'amplitude ; la température modifie la longueur de la tige.

### VERS LA MINIATURISATION

Les horloges à poids moteurs ne peuvent pas être transportées, aussi on pense à remplacer le poids par un ressort. On trouve mentionné en 1493, des petits appareils dont on ignore l'inventeur et qui sont à l'origine de nos montres.

Dès l'invention du ressort comme source d'énergie, on fabrique des horloges tours (XVI<sup>ème</sup> siècle) que l'on pose sur un meuble. Les horloges de table ont un cadran horizontal, gradué de 12 ou 24 heures, avec une seule aiguille et une sonnerie. Celle ci joue vraisemblablement un rôle plus important que l'aiguille, dans un monde où l'heure s'entend plus qu'elle ne se lit. Elles connaissent un grand succès du XVI au XVIII<sup>ème</sup> siècle pour disparaître complètement par la suite.

### LES PREMIERES MONTRES

Les premières montres ne sont rien d'autre que l'horloge de table, ronde, miniaturisée. La plus ancienne date de 1548; elle fut créée à Nuremberg. Des montres sont fabriquées également à Augsbourg, Munich, Blois, Rouen, Dijon et Lyon à la fin du XVI<sup>ème</sup> siècle.

Les premières montres sont en laiton doré, munies d'un cadran gravé, protégé dans un premier temps par un couvercle plein, plus tard savamment reperlé. Le pourtour du cadran est équipé d'un dispositif qui permet de connaître l'heure la nuit au toucher. Le cadran a une aiguille et il est gradué en 12 ou 24 heures.

Ces montres sont peu précises, un retard de près d'une heure par jour n'est pas exceptionnel, d'où la nécessité de posséder un cadran solaire de poche pour la remise à l'heure.

L'extrémité du ressort, en se déroulant, entraîne la roue motrice, mais en raison de la détente progressive de la lame, la force motrice décroît au fur et à mesure que le ressort se détend.

Les horlogers mettent près de deux siècles pour résoudre ce problème par l'utilisation de la fusée : au ressort, on fixe une chaînette qui s'enroule autour d'un axe de section conique (la fusée). On compense l'affaiblissement de la tension en augmentant le bras de levier, le couple moteur est alors constant. Sous Louis XIII (1610-1643), la montre devient un objet prestigieux qui éclipse l'horloge.

## **LE RESSORT SPIRAL**

Dans la seconde moitié du XVII la montre bénéficie d'améliorations décisives. Huygens, Hooke et l'Abbé de Hautefeuille pensent à relier le balancier au rouage par un ressort bien flexible : le ressort spiral de nos montres. La première montre à ressort spiral a été fabriquée en 1675. Cette amélioration de la précision rend nécessaire l'aiguille des minutes. Quare et Barlow réalisent une montre avec une sonnerie à la demande.

Au début du 18<sup>ème</sup> siècle la possession d'une montre est signe d'appartenance à un certain rang social. A cette période les montres dérivent d'une quinzaine de minutes par jour, le recalage se fait par l'intermédiaire du cadran solaire qui devient un objet précieux, de petite taille, très décoratif.

Cependant, les montres sont coûteuses, et du XIV au XVIII<sup>ème</sup> siècle, l'instrument commun de mesure du temps reste le sablier. Il est très commode pour mesurer la durée d'une action, et de plus il est d'un grand emploi en mer ou il est moins perturbé que les horloges.

## **LE SIECLE DE L'HORLOGERIE**

### **DES ETAPES DECISIVES**

Le XVIII<sup>ème</sup> est le siècle de l'horlogerie. Le perfectionnement des montres va subir plusieurs étapes décisives. Graham met au point en 1715 un mécanisme capable d'entretenir les oscillations du pendule des horloges sans en perturber la période.

L'aiguille des minutes apparaît surtout à partir de 1700. En 1704, des rubis sont utilisés pour les pivots des axes. Les montres et les horloges se répandent largement, l'écart s'abaisse à 5 minutes par jour. La remise à l'heure est hebdomadaire, de plus en plus au moyen d'un mini cadran qui ne donne l'heure qu'aux alentours de midi et que l'on appelle méridienne.

Puis l'échappement est encore perfectionné par P. Leroy et T. Mudge avec le système à ancre, entre 1754 et 1759. A partir de ce moment, on ne construit plus de foliot, toutes les pendules nouvelles sont équipées d'une ancre.

Ce progrès foudroyant de l'horlogerie rend possible la mise au point en France et en Angleterre de nombreuses machines-outils. Le mouvement perpétuel est amorcé: on ne peut fabriquer des pendules et des ancres sans machine-outil; mais on ne peut développer les machines-outils sans les inventions des horlogers. Avec la fabrication en série, la montre va devenir meilleure et moins coûteuse. Diverses tentatives de production de masse ont échoué en Angleterre. Le premier à réussir est le savoyard Frédéric Japy, en 1772. Son usine de Beaucourt, à la frontière suisse, regroupe 300 ouvriers et fabrique en série toutes les pièces d'une montre à ancre. Quatre ans plus tard, sa production annuelle est de 100 000 ébauches. Le prix des montres va s'effondrer et devenir accessible aux bourses moyennes.

## LE TEMPS DES MERS

Dans les temps anciens la navigation se fait à l'estime, mais quand on commence à s'aventurer de plus en plus loin sur les océans, il faut trouver des solutions pour déterminer la longitude, la latitude ne posant pas de difficultés particulières, par des mesures de hauteur des astres. Depuis Alonso de Santa Cruz (1510) et Gemma Frisius (1530), on sait que l'on peut déterminer la longitude par le transport de l'heure. Pierre Krüger applique cette méthode en 1615 en transportant une montre de Königsberg à Dantzig.

Mais, à cette époque, aucune horloge n'est assez sûre pour qu'on puisse lui faire confiance en mer. Une horloge qui dérive de une minute par jour provoque au bout d'un mois de navigation une erreur de positionnement de 500 kilomètres. Or, la navigation en pleine mer, stimulée par la découverte des Amériques connaît un essor important. Le commerce triangulaire (pacoilles-esclaves- rhum, sucre et coton) banalise la traversée de l'Atlantique. Les grands pays européens Espagne, Portugal, Hollande, Angleterre et France veulent conquérir des empires coloniaux pour augmenter leur puissance. Les gouvernements prennent l'initiative et offrent des récompenses substantielles, à qui résoudra le problème des longitudes en mer.

Il faudra pratiquement tout le XVIII<sup>ème</sup> siècle pour trouver non pas une, mais plusieurs solutions. La méthode astronomique des distances lunaires donne de bons résultats sur Terre, mais elle est très difficile à appliquer sur mer.

En 1765, un charpentier de village anglais, devenu très habile horloger, J. Harrison, reçoit du parlement d'Angleterre un prix de 250 000 F pour une montre qui avait donné assez exactement la longitude de la Jamaïque. En France, l'Académie des Sciences, met au concours pour 1767 la meilleure manière de mesurer le temps à la mer. Ce fut une période de grande émulation où se distinguèrent particulièrement P. Leroi et F. Berthoud. Ils figurent en tête de ceux qui contribuèrent, dans une atmosphère de concurrence féroce, à mettre au point puis à fabriquer en série ces merveilles de mécanique que sont les chronomètres de marine, capables de garder à quelques secondes près, l'heure du port d'embarquement pendant plusieurs mois de navigation parfois difficile. Le prix fut remis en 1767 à P. Leroi.

## LE SYSTEME DES POIDS ET MESURES

Partout et toujours, les hommes ont compté, pesé, mesuré pour des besoins de commerce et d'échanges. Mais les systèmes traditionnels d'unités d'espace, de temps, et de monnaie sont complexes, archaïques et surtout multiples. En 1581, Galilée découvre l'isochronisme des oscillations : deux pendules de même longueur ont même période. C'est un lien entre longueur et durée. Au moment de la Révolution, l'idée directrice est d'assurer l'invariabilité des mesures en les rapportant à des étalons pris dans la Nature, donc universels.

Dès 1670, les astronomes Picard, Huygens, et Römer suggèrent de se référer à la longueur du pendule battant la seconde (environ 99 cm) pour définir l'unité de longueur. Mais en 1672, Richer à Cayenne découvre que cette longueur dépend du lieu d'observation. En 1747 La Condamine propose la référence de l'équateur, et en 1775, Condorcet et Messier préfèrent la latitude 45° plus accessible. Après bien des hésitations, les savants rejettent l'idée du pendule à seconde, en raison de son caractère local et proposent la longueur du méridien terrestre. La seconde, la 86 400<sup>ème</sup> partie du jour, et le mètre sont définis indépendamment l'un de l'autre.

*(à suivre)*

## LA MESURE DU TEMPS IV - LES TEMPS MODERNES

Françoise SUAGHER (suite et fin)

### L'ABANDON DU SOLEIL VRAI

Avec l'augmentation de la précision de la détermination de l'heure, on ressent de plus en plus cruellement le problème du décalage entre le temps du Soleil et le temps des montres : les variations de la vitesse de déplacement de la Terre autour du Soleil font que le jour n'a pas une durée constante d'un bout à l'autre de l'année. Les jours solaires ne sont pas égaux. Ptolémée déjà, évoquait le problème dans l'Almageste, et l'expliquait par ses épicycles. Le décalage porte le nom d'équation du temps. Les premières tables d'équation du temps sont publiées en 1672 par Flamsteed.

Pour régler correctement une pendule, au XVIII<sup>ème</sup> siècle, on se réfère toujours au passage du Soleil dans le méridien, mais on effectue une correction, dont la valeur dépend de la date.

En 1740, Grandjean de Fouchy, substitue, aux tables du temps utilisées jusqu'alors une courbe en forme de 8 : la méridienne de temps moyen.

En 1750, Casanova écrit dans ses mémoires : "Je vois beaucoup de monde dans un coin du jardin, se tenant immobile, le nez en l'air. Je demande ce qu'il y a de merveilleux. On se tient attentif à la méridienne, chacun a sa montre à la main pour la régler sur le point de midi"... A cette époque la plupart des montres ont deux aiguilles et même certaines indiquent les secondes.

On commence à s'intéresser sérieusement à cette imprécision et bientôt on définit le Soleil moyen, Soleil fictif, dont le mouvement, projeté sur l'équateur est uniforme. On adopte comme durée du jour, le jour solaire moyen, de durée constante tout au long de l'année. Cette définition est acceptée par la plupart des pays et donne à la science une unité de temps standard. Le temps solaire moyen a été mis en pratique à Genève en 1780, en Angleterre en 1792, à Berlin en 1810, et à Paris en 1816.

Une petite mise au point s'impose sur la différence entre le jour astronomique et le jour civil. Tous deux ont 24 heures (moyennes), mais les origines sont différentes : le jour astronomique commence à midi, le jour civil qui porte la même date commence 12 heures plus tard, à minuit, le changement de date ayant lieu de jour pour les astronomes et de nuit pour le reste du peuple. Une unification a été tentée à plusieurs reprises au XIX<sup>ème</sup> siècle, mais elle n'a pas abouti.

### LE PROBLEME DU RALENTISSEMENT DE LA TERRE

La rotation de la Terre est supposée constante par Copernic. De toute façon, les insuffisances des théories planétaires et les imprécisions des horloges n'auraient pas pu démontrer le contraire.

Kepler et Newton font des allusions au fait que la rotation de la Terre n'est peut-être pas uniforme. En 1693, Halley dispose de tables du Soleil et de la Lune et recherche des observations d'éclipses anciennes. Cela ne colle pas du tout avec ses calculs...

En 1767 Lalande admet que la rotation est uniforme. On ne saurait pas mesurer sa non uniformité : "il pourrait y avoir un décalage de 2 à 3 secondes par an, on ne le verrait pas".

Vingt ans plus tard, Laplace explique l'accélération de la Lune par la variation de l'excentricité de l'orbite terrestre et Kant pense que ce sont les marées qui ralentissent la terre.

En 1870, l'américain Newcombe, utilise les tables de Hansen pour calculer la position de la

Lune. Si les calculs coïncident sur la période 1750-1850, le décalage atteint 8 s en 1870. Il y a une anomalie à expliquer. Il vient en France, durant la Commune, à l'Observatoire de Paris pour consulter les rapports d'occultations d'étoiles par la Lune. Il pense que les écarts peuvent être dus à la rotation de la Terre. Pour le prouver, il faut montrer que les positions des planètes subissent le même écart. Sinon, il faudra remettre en cause les principes de la mécanique. On se remet donc à refaire tous les calculs des positions de planète. Le travail est gigantesque, il aboutit en 1926, 17 ans après la mort de Newcombe.

L'hypothèse est confirmée. Le ralentissement est de l'ordre de 2,3 milliseconde par siècle. Il est lié à l'éloignement de la Lune et à l'allongement de la durée du jour par effet de marées. Ceci donne un cumul de 45 secondes sur 100 ans, 1 h 15 sur 1000 ans et 5 heures sur 2000 ans. Il y a 300 millions d'années, un jour durait 22 h. On conserve la Terre comme garde-temps car le ralentissement séculaire semble régulier et prévisible. C'est une correction de plus à ajouter dans la détermination du temps.

## **UN TEMPS POUR TOUS**

Avec le développement des chemins de fer, et l'emploi du télégraphe, la nécessité d'un temps unique pour l'ensemble du pays se fait sentir. Les heures locales, qui diffèrent d'une ville à l'autre, d'une région à l'autre ne sont plus adaptées. Au même instant, deux pendules situées Brest et à Strasbourg ont un décalage de près d'une heure.

Le 14 mars 1891, il est décidé, de mettre toutes les pendules de France à la même heure. L'heure légale en métropole et en Algérie est l'heure, temps moyen de Paris (sous entendu : du méridien de l'Observatoire de Paris). Le problème reste posé quant aux pays voisins : par exemple, on ne compte pas moins de cinq heures officielles différentes sur les bords du lac de Constance...

Le 9 mars 1911, est décidé le découpage en 24 fuseaux horaires. Chaque fuseau a une largeur de 15°. Le méridien choisi comme origine est celui de Greenwich (observatoire fondé en 1675), dont l'antiméridien traverse très peu de terres émergées. Le premier fuseau est à cheval sur le méridien origine. Le temps civil de Greenwich est dit TEMPS UNIVERSEL. La France adopte à contrecœur l'heure du méridien de Greenwich, en retardant toutes ses horloges de 9 minutes 21 s, écart en longitude entre les observatoires de Paris et Greenwich.

En 1912, c'est la première diffusion des signaux horaires depuis la Tour Eiffel et en 1933, c'est la création du Bureau International de l'heure (BIH) et de l'horloge parlante : "ODEON 84 00" remplacée aujourd'hui par le 36 99...

## **L'ABANDON DE LA TERRE**

En 1937, Stokyo met en évidence le fait que la Terre ne tourne pas rond. On s'en doutait un peu. Il devient nécessaire de s'incliner devant la preuve des inégalités de la période de rotation de la Terre, atteignant parfois  $10^{-7}$  en valeurs relatives sur quelques années.

Ces inégalités sont la résultante de 4 effets :

- le ralentissement séculaire, progressif, correspondant à l'énergie cinétique perdue par effet de marées.

- les variations saisonnières : on estime actuellement qu'elles ont une amplitude de 0,001 seconde et que la vitesse est maximale en été.

- des termes périodiques d'origine lunaire ou solaire

- des fluctuations irrégulières expliquées par des phénomènes de couplage entre le noyau

et le manteau de la Terre: les écarts les plus importants vont de 0,002 à 0,005 secondes par jour !

Les variations étant chaotiques, donc imprévisibles, on ne peut les corriger qu'à posteriori, il faut donc rejeter la Terre comme référence et abandonner la traditionnelle définition de la seconde, liée à la rotation de la Terre, comme étant la 1/86400 ème partie du jour solaire moyen.

### **LA SECONDE DES EPHEMERIDES:**

La seconde des éphémérides, adoptée en 1955, est liée à la durée de l'année, donc à la révolution de la Terre autour du Soleil. La seconde est la 1/31 556 925,9747 ème partie de l'année tropique 1900. Le Temps des Ephémérides est utilisé par les astronomes depuis 1952.

### **LA SECONDE ATOMIQUE**

En 1967, l'utilisation des horloges atomiques permet un gain formidable de 8 décimales d'un coup. C'est aussi l'année de la découverte du premier pulsar, dans la constellation du Petit Renard, par le radiotélescope de Cambridge.

La seconde atomique, adoptée en 1977 n'a plus rien à voir avec les astres. D'abord définie par rapport à la période de vibration de l'atome d'azote dans l'ammoniac, elle est actuellement définie comme la période de transition entre les 2 niveaux hyperfins (F4, m=0 et F3, m=0) de l'état fondamental de l'atome de césium 133

1 seconde = 9 192 631 770 périodes

Une dernière remarque : 1 s 1937 = 1 s 1993... mais l'année n'en comporte pas le même nombre !

### **CONCLUSION**

Pendant des centaines d'année, le Soleil a régné sur la mesure du temps, il fallait simuler son mouvement journalier. Puis un jour de 1816, il fut remisé car la trajectoire de la Terre le rendait trop capricieux, alors pendant quelques dizaines d'années on s'évertua à simuler la rotation de la Terre sur elle même, jusqu'à ce qu'on se rende compte en 1937, qu'elle aussi était bien trop polissonne. Pour le moment l'atome est, par ses vibrations, le maître du temps.

Mais les récentes découvertes faites sur les pulsars millisecondes, ces étoiles dégénérées qui tournent sur elle même avec des périodes d'une stabilité époustouflante, à faire vibrer les horloges atomiques, laissent penser que les prochaines étapes dans l'évolution de la mesure du temps se feront à nouveau à partir de l'observation du ciel. Les pulsars seront ils les horloges du troisième millénaire?

### **BIBLIOGRAPHIE**

- Histoire du temps de Jacques ATTALI . Livre de poche
- L'invention du temps de Jean MATRICON et Julien ROUMETTE  
Editions de la Cité des Sciences et de l'Industrie
- Du gnomon à la montre par TARDY chez Tardy, surtout pour les dates et des illustrations.
- Evolution de l'horlogerie de Lucien BALVAY. Gauthier-Villars
- Annuaire du bureau des longitudes de 1914. Communication de BIGOURDAN
- Montres et Horloges chez Gründ