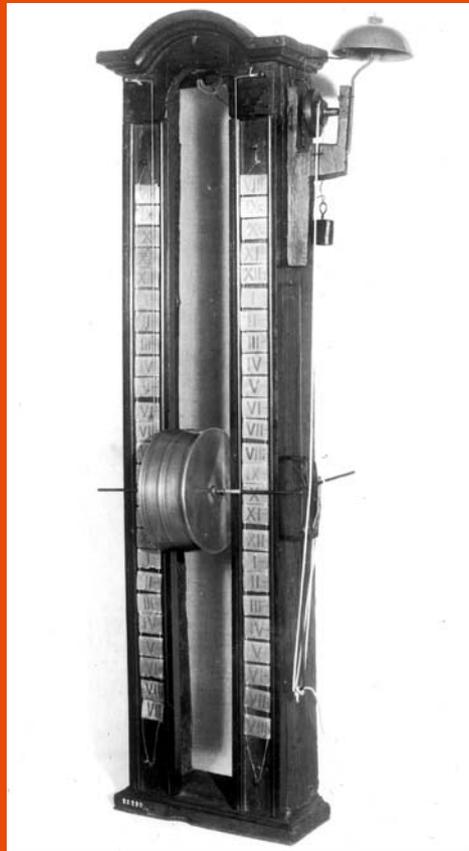




musée des arts et métiers

L E S C A R N E T S

LES GARDIENS DU TEMPS



Clepsydre à tambour avec réveil, inv. 20290

*« Le temps est comme un fleuve,
il ne remonte pas vers sa source. »*

Antoine de Rivarol, 1753-1801
Notes, pensées et maximes, t. 1, p. 23

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

L E S T H È M E S

Les gardiens du temps

L'ÉCOULEMENT DU TEMPS

■ Du gnomon à la coquille d'œuf

De tout temps, l'homme a dû s'adapter à la nature, la vaincre et organiser sa vie. L'alternance des jours et des nuits ainsi que le mouvement du soleil dans le ciel offrant des découpages naturels, le repérage du temps s'est longtemps fait à l'aide d'éléments astronomiques. Plus tard, avec les premiers développements techniques, l'utilisation d'autres éléments naturels, comme l'eau ou le sable, permettra la mesure des durées.



Grand astrolabe d'Arsenius, 1569, inv. 3902.

Tout comme l'ombre des arbres au soleil qui tourne du matin au soir, une tige verticale plantée dans le sol permet aux astronomes égyptiens, dès 2500 av. J.-C., d'utiliser le mouvement apparent du soleil dans le ciel pour se repérer dans le temps. Cet instrument nommé **gnomon** détermine l'heure en fonction de la longueur de l'ombre qu'il projette au sol. Très allongée le matin et le soir, l'ombre tourne en accusant un minimum au midi solaire situé vers le sud.

Un millier d'années plus tard, des améliorations sont apportées au gnomon. La tige devenue « style », est inclinée de telle sorte qu'elle soit parallèle à l'axe de rotation de la Terre. Le style est fixé sur un socle, la « table », où l'heure se lit en observant l'angle formé entre l'ombre du style et des graduations pré-établies. Ainsi apparaît le **cadran solaire**, premier instrument donnant véritablement l'heure, bien que peu précis voire totalement inutile en cas de nuages ou de nuit.

Cousine du cadran solaire, la **clepsydre** se développe à la même époque en Egypte. Il s'agit d'un vase tronconique en terre cuite dont le fond est percé d'un orifice par lequel l'eau s'échappe. Au fur et à mesure que l'eau – et le temps – s'écoulent, ils laissent apparaître, sur les bords du vase, des lignes de niveaux correspondant aux différentes durées.

Contrairement aux cadrans solaires qui n'assurent qu'un repérage par la valeur instantanée du temps, les clepsydras permettent la mesure de durées. Elles sont notamment utilisées par les Grecs pour la répartition de leur temps de plaidoirie.

Le XIV^e siècle voit apparaître un autre instrument mesurant des durées : le **sablier**. Également fondé sur un principe d'écoulement, il est plus transportable que la clepsydre. Le sable s'écoule d'un réservoir à l'autre en une durée déterminée. Cependant, de par ses propriétés abrasives, il érode le goulet d'étranglement lors de son passage, d'où son remplacement par des coquilles d'œufs pilées pour pallier cet inconvénient. Les durées mesurées à partir de sabliers sont très variables. Elles vont de quelques secondes à plusieurs heures.

À l'époque des grandes découvertes, en particulier celle des Amériques par Christophe Colomb, les marins s'en servent aussi bien pour mesurer la durée de leurs quarts que pour se positionner en mer.



Double cadran solaire horizontal de Benjamin Scott, vers 1715, inv. 3876.

On trouve les premières traces de l'**astrolabe** – qui signifie en grec « prendre les étoiles » – dans les écrits grecs. Il constitue une projection de la voûte céleste sur un plan. À l'aide de visées d'étoiles, il permet de lire l'heure, de se situer dans l'année et d'effectuer des mesures topographiques. Difficile d'emploi, il est utilisé par des spécialistes, notamment les astronomes.

Les gardiens du temps

LE TEMPS MÉCANISÉ

Jusqu'à la fin du Moyen Âge, l'agriculture domine : les gens vivent au rythme du soleil. Le besoin de connaître précisément l'heure n'est donc pas primordial.

À partir du XIII^e siècle, les villes se développent, et de nouvelles activités apparaissent, notamment le commerce et l'artisanat pour lesquels une meilleure maîtrise du temps est nécessaire : à chaque instant il faut savoir l'heure.

Les premières horloges qui voient le jour sont hydrauliques. Originellement, elles sont employées pour mettre en mouvement des automates. Dans un deuxième temps, elles sont munies d'une aiguille qui permet d'afficher l'heure. Rapidement, des poids-moteur remplacent l'eau qui s'écoule. Leur chute, régulée par un foliot, entraîne une série d'engrenages reliés à l'affichage des heures. Quant à l'aiguille des minutes, elle n'apparaîtra qu'au XVI^e siècle.

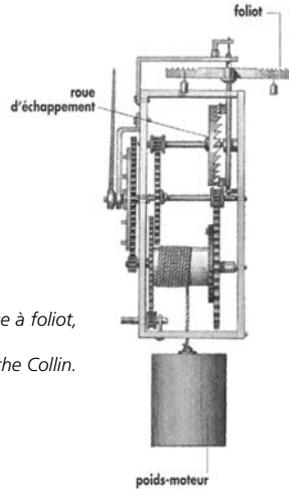


Schéma d'une horloge à foliot, vers le XIII^e siècle.
Dessin de Marie-Marthe Collin.

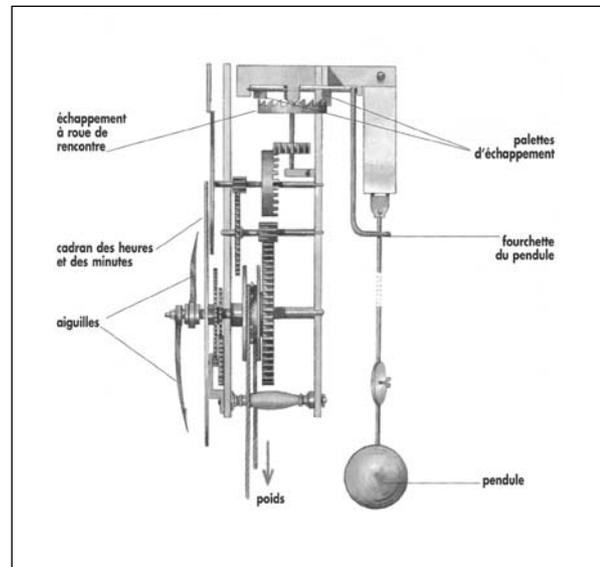
En 1657, Christiaan Huygens, s'appuyant sur les travaux de Galilée, remplace le foliot par un pendule dont les battements périodiques servent de régulateur, découpant le temps en quantités égales. Par souci de miniaturisation, les poids et le pendule sont remplacés par des ressorts en forme de spirale, beaucoup moins encombrants. À la fin du XVII^e siècle, la précision des horloges est d'une dizaine de secondes par jour, ce qui est extrêmement précis pour un usage courant. Les cadrans solaires permettent leur remise à l'heure régulière. Il n'est ainsi pas rare de voir des cadrans miniatures incorporés dans le couvercle des montres de l'époque.

Objet d'apparat ou instrument scientifique de précision, les horloges sont longtemps restées des produits de luxe réservés aux classes privilégiées. En outre, une attention toute particulière est portée à leur aspect décoratif.

Le XVIII^e siècle voit se développer des horloges de marine sous l'influence des contraintes de la navigation qui se développe.

Pour assurer un bon positionnement du navire en longitude, il fallait que les horloges soient extrêmement précises, ce que ne permettaient pas les sabliers : un décalage d'une minute par semaine entraînait une erreur de 30 km à la surface du globe ! On comprend alors l'incertitude des tracés des premières cartes marines à l'époque où l'on utilisait encore les sabliers !

En 1714, le parlement anglais offre une récompense de 20 000 livres à qui trouvera un moyen de déterminer précisément la longitude. Après 40 ans de recherche, l'Anglais John Harrison décroche le premier prix, face au Français Le Roy, en proposant un chronomètre précis à 30 secondes près... par an ! Un autre grand nom de l'horlogerie, le Suisse Ferdinand Berthoud, met au point un système de grils métalliques entrecroisés au sein de ses horloges. Ce procédé astucieux contrecarre les effets de dilatation provoqués par les changements de température.



La première horloge à pendule de Huygens.
Dessin de Marie-Marthe Collin.

Les gardiens du temps

■ Le « temps décimal » : un essai révolutionnaire

La période de la Révolution française est caractérisée par de nombreuses remises en question, tant sociales que politiques, économiques ou scientifiques. L'ensemble des systèmes de mesure est remanié. Le mètre, le kilogramme et le litre ainsi que leurs subdivisions décimales sont institués. Ils sont toujours en vigueur aujourd'hui. Les unités de mesure du temps ne sont pas épargnées. Le calendrier révolutionnaire avec ses semaines de dix jours est mis en place. Quant aux 24 heures habituelles, elles sont remplacées par 10 heures journalières qui se décomposent en 100 minutes chacune, au lieu de 60 auparavant. Mais le « temps décimal » n'est jamais passé dans les habitudes. Après quelques années, il est abandonné au profit de l'ancien découpage en 24 heures et 60 minutes.

■ La précision à portée de main

Durant les années 1970 un nouveau type de montres et d'horloges apparaît, pourvu d'un mouvement dit « à quartz » alimenté par une pile électrique. Le quartz y joue le rôle de régulateur dont le couplage avec une puce électronique permet l'émission de pulses marquant les secondes. L'affichage n'est plus systématiquement à aiguilles mais peut être numérique. Cent fois plus précises que les systèmes mécaniques, les montres et pendulettes à quartz constituent aujourd'hui des produits de consommation à la fois précis et bon marché.

■ L'atome au service du temps

La deuxième partie du XX^e siècle a vu naître les horloges atomiques, horloges d'une précision extrême. Elles sont le fruit des progrès de la science tant dans le domaine de la physique atomique que de l'électronique. Leur principe repose sur le décompte des transitions entre des niveaux d'énergie de certains atomes comme le césium, l'hydrogène ou le rubidium.



Horloge révolutionnaire de Le Paute. Sur le cadran on peut lire un double affichage : en chiffres arabes, les 10 heures révolutionnaires et, en chiffres romains, les 24 heures habituelles. 1775-1800, inv. 14568.

■ La seconde moderne

Longtemps la seconde a été considérée comme une fraction du jour solaire moyen (1/86 400). Cette définition est devenue obsolète compte tenu, d'une part, des précisions chaque jour grandissantes des dispositifs astronomiques et, d'autre part, de l'irrégularité des mouvements terrestres. Aussi, depuis 1967, la seconde est fondée sur la fréquence d'une vibration atomique. Elle est définie comme « la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133 ».

Les gardiens du temps

Le cadran solaire

Lire l'heure sur un cadran solaire est un jeu d'enfant. Il suffit de regarder le nombre sur la table vers lequel pointe l'ombre du style.

Le cadran solaire équatorial

Un tel cadran est constitué d'une table, située dans le plan de l'équateur terrestre, et d'un style, perpendiculaire à ce même plan. Le style est donc parallèle à l'axe de rotation terrestre. On peut constater sur la figure ci-contre que la table du cadran équatorial est inclinée par rapport à l'horizontale d'un angle égal au complémentaire à 90° de la latitude du lieu où se situe ledit cadran. En fonction de la latitude, le cadran solaire est ainsi plus ou moins incliné. Aux pôles, la table est parallèle au sol tandis qu'à l'équateur elle y est perpendiculaire.

Pour positionner correctement le cadran, il faut l'orienter de telle sorte que son style pointe vers le nord. Alors que le soleil effectue une rotation continue d'environ 24 heures, ce qui correspond au temps mis par la Terre pour effectuer un tour sur elle-même, l'ombre du style tourne tout aussi régulièrement en indiquant l'heure. Ces 24 heures se répartissent sur les 360° du cadran, soit 15° pour chaque heure.

Le cadran solaire horizontal

Pour ce cadran, la table est posée à l'horizontale par rapport au sol et le style est toujours orienté dans la direction de l'axe de rotation de la Terre. Ce changement de géométrie entraîne des différences dans le tracé des lignes représentant les heures. Contrairement au cadran équatorial, l'espacement entre deux heures n'est pas systématiquement de 15° mais varie suivant les lois de la trigonométrie.

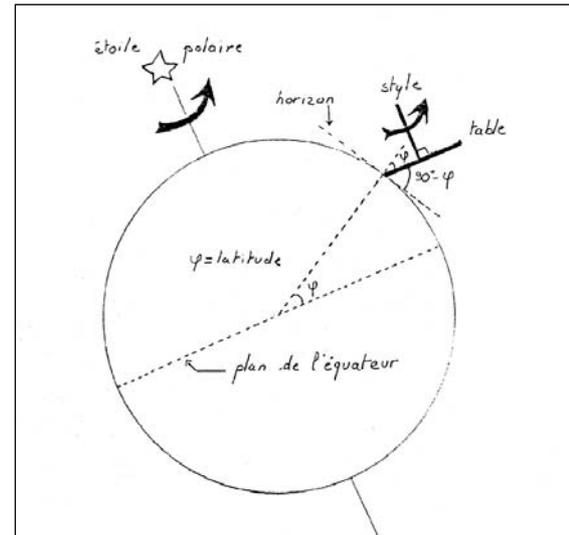


Schéma cadran équatorial + tracé des heures

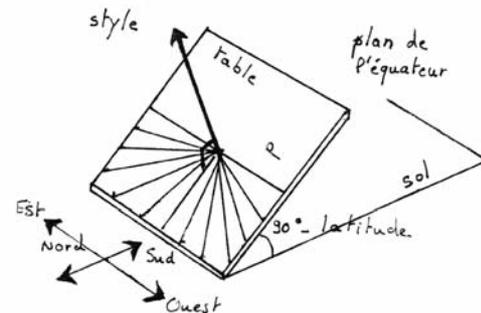


Schéma cadran à la surface de la Terre... Histoire d'angle.

Les gardiens du temps

■ Mécanisme d'horlogerie

Pour fonctionner, une horloge mécanique nécessite 3 éléments fondamentaux.

Une énergie motrice

Il lui faut d'abord une source d'énergie pour maintenir en action l'organe régulateur. Le premier système employé fut le poids moteur : un poids est attaché à une cordelette enroulée sur un cylindre lui-même relié à une roue dentée. La force de pesanteur tend à faire tourner cette roue. Si on laisse la roue libre, le poids va tomber d'un seul coup et la roue va tourner beaucoup trop vite.

Un régulateur – L'échappement

Il faut donc un système pour, d'une part, ralentir la chute des poids et, d'autre part, réguler le mouvement de rotation de la roue selon un découpage régulier du temps. Ce mécanisme est l'échappement. On peut par exemple prendre un couple « ancre-pendule » (voir le schéma ci-contre). Le balancement du pendule relié à l'ancre va ainsi permettre de laisser échapper les dents de la roue dentée une à une à chacun de ses battements.

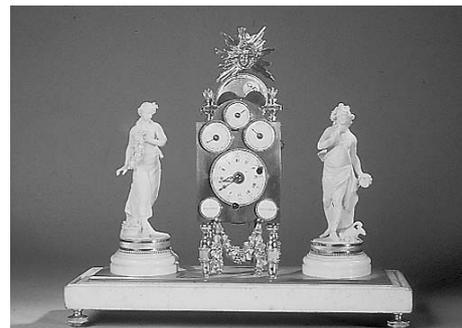
Un affichage

Pour afficher le temps qui passe, il suffit de relier une aiguille à l'axe du mouvement d'entraînement car l'échappement autorise le mouvement pas à pas de l'aiguille. Par un système d'engrenages, le mouvement est démultiplié et permet l'affichage des heures et des minutes.

Ces 3 éléments de base - énergie, régulateur et affichage - sont présents dans toutes les horloges.

Néanmoins, il est important de noter que plusieurs systèmes existent, chacun d'eux ayant ses avantages et ses inconvénients. Par exemple, dans une montre, un ressort en forme de spirale que l'on comprime remplace le poids moteur, au même titre qu'une pile électrique dans le mouvement à quartz.

Aujourd'hui, on utilise le quartz comme régulateur grâce à ses propriétés piézo-électriques. La stimulation de la pile électrique provoque la vibration du quartz à une fréquence très stable de 32 768 Hz qui permet de déduire la durée de la seconde par l'intermédiaire d'un petit circuit électronique.



Pendule de cheminée à quantième par Martinet, milieu XVIII^e siècle, inv. 1406.

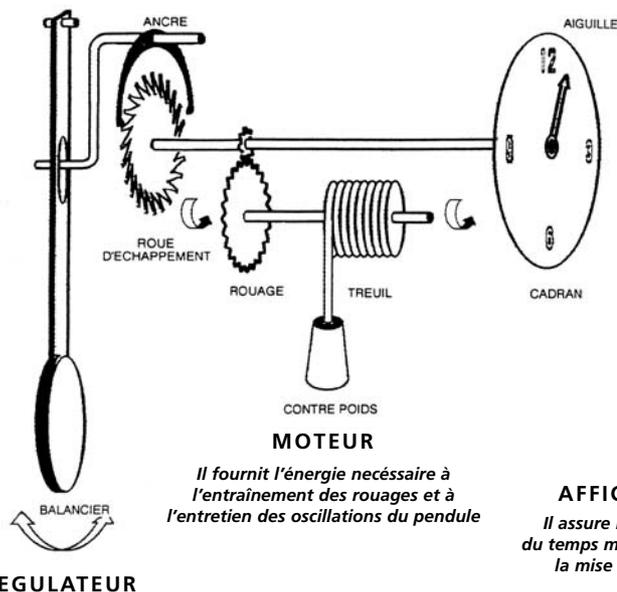


Schéma d'un mécanisme à ancre et pendule

Les gardiens du temps

■ Collections

Quelques objets choisis dans l'importante collection des instruments de mesure du temps que possède le Musée des arts et métiers.

Grand astrolabe de Gualterus Arsenius, 1567, inv. 3902.

Astrolabe nautique, 1563, inv. 3864.

Cadran solaire horizontal à canon, 1780-1800, inv. 911-1.

Double cadran solaire horizontal, 1700-1725, inv. 3876.

Cadran solaire Stockert, 1750-1780, inv. 10534.

Clepsydre à tambour à réveil, 1700-1800, inv. 20290.

Sablier, 1775-1800, inv. 2841.

Sablier, 1700-1800, inv. 4326.

Pendule astronomique, 1740-1750, inv. 7499.

Échappement à ancre, 1833, inv. 4206-1.

Sphère de Bürgi, 1580, inv. 7490.

Horloge de marine de Ferdinand Berthoud, 1775, inv. 166.

Horloge de marine de Ferdinand Berthoud, 1767, inv. 1389-2.

Horloge révolutionnaire à temps décimal et sexagésimal, 1775-1800, inv. 14568.

Pendule à indications astronomiques, 1805-1820, inv. 10628.

Horloge atomique, 1965, inv. 22333.

Cristal de quartz, date inconnue, inv. 43652-1.

Pendule perpétuelle, 1942, inv. 19086.

POUR EN SAVOIR PLUS.

Jean Matricon, Julien Roumette, *L'invention du temps*, Presses Pocket, Cité des sciences et de l'industrie, 1991.

Jacques Attali, *Histoires du temps*, Fayard, 1982.

Kristen Lippincott (dir.), *L'histoire du temps*, Larousse, 2000.

Andrée Gotteland, Georges Camus, *Cadrans solaires de Paris*, CNRS Edition, 1997.

Georges Verploegh, *Le cadran solaire, principe et réalisation*, Editions du Tricorne, 1998.

Catherine Cardinal, Marie-Marthe Collin, *Les horloges marines de M. Berthoud*, Nathan, 1994.

Les collections du Musée des arts et Métiers sont aussi consultables sur Internet.

Adresse électronique :

<http://www.arts-et-metiers.net>



Sablier pour la mesure du temps en mer, XVIII^e siècle, inv. 4326.



Sphère de Bürgi, 1580, inv. 7490.



Cadran solaire à canon, 1780-1800, inv. 911.

Les gardiens du temps

■ Construction et étalonnage d'une clepsydre

Prendre une bouteille en plastique pour réaliser le corps de la clepsydre, et en retirer le fond à l'aide d'un cutter.

Utiliser de la ficelle pour constituer une anse.

Percer un orifice d'un ou deux millimètres de diamètre au centre du bouchon, en utilisant un grand clou.

Suspendre la clepsydre à un point fixe, une poignée de porte par exemple, et fixer sur la bouteille une bande de papier qui servira à repérer les niveaux d'eau.

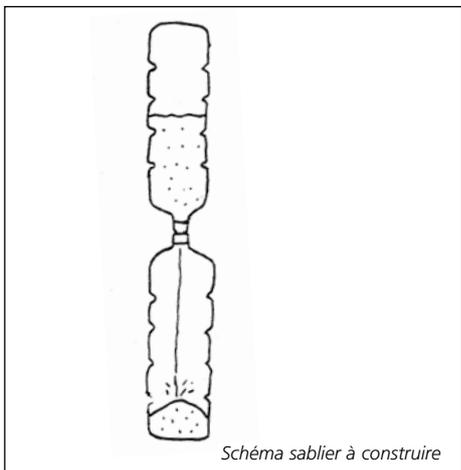
Étalonner la clepsydre avec un chronomètre en laissant l'eau s'écouler et en traçant un trait toutes les minutes.

On remarquera que les graduations ne sont pas régulières. Les traits sont de plus en plus resserrés. C'est la forme cylindrique de la clepsydre qui en est l'origine. En effet, plus la clepsydre se vide, et moins la pression exercée par l'eau est importante. L'eau s'écoule de plus en plus lentement au fil du temps, entraînant ainsi un resserrement des lignes de niveau. Les clepsydres antiques étaient de forme évasée ce qui permettait au contraire d'avoir des graduations à intervalle régulier.

■ Construction d'un sablier

On pourra tester d'autres écoulements en fabriquant un sablier.

Deux bouteilles remplies de sable, ou à défaut de sucre, jointes par les bouchons, et percées au préalable, permettent la réalisation simple d'un sablier.



- **Rédaction** : Séverine Plessis
- **Schémas** : Séverine Plessis, Jean-pierre Martin
- **Coordination** : Claudette Balpe
- **Impression** : Alphagraph
- **Photos** : Musée des Arts et métiers - CNAM Photo Pascal Faligot / Seventh Square ; Musée des Arts et métiers / S. Pelly
- **Musée des arts et métiers**
Service éducatif
 292, rue Saint-Martin — 75003 Paris
 Tél. : 01 53 01 82 75 ou 01 53 01 82 32
ISBN : 2-908207-85-0