

EVOLUTION DE LA MESURE DU TEMPS

La mesure du temps

“ Le temps, l’heure, envahit notre vie. Dix fois, cent fois par jour il faut y penser. C’est une grandeur qui fascine; est-ce parce que le temps nous est compté, parce qu’on l’explore sans espoir de retour ? ” (Bernard GUINOT, Bureau international des Poids et Mesures).

Comment imaginer un monde où le temps n’existerait pas? L’homme s’est toujours créé des repères;

- **concrets** d’abord par l’observation de la succession du jour et de la nuit des saisons, des années,
- **abstrait** ensuite quand il a eu besoin de mesurer des temps inférieurs à la journée.

I - ETALON DE DUREE ET ECHELLE DE TEMPS

Dans sa complexité, le temps nous apparaît sous deux aspects:

- la durée d’un événement (chronométrage d’une course):
- la perception de l’instant dans une échelle de temps (repérage de nos activités, des événements). La perception de notre vieillissement est l’approche la plus sensible d’une échelle de temps.

Pour mesurer une durée, il faut choisir un phénomène physique, comportant un début et une fin et le promouvoir au rang d’étalon. On définit ainsi une unité de temps. Des reports successifs, permettent de mesurer la durée d’un événement.

1 minute = 60 secondes

Des reports à l’infini permettent la création d’une échelle de temps.

60 minutes = 1 heure	100 ans = 1 siècle
24 heures = 1 jour	10 siècles = 1 millénaire
365 jours = 1 année	

II- LES UNITÉS DE MESURE

A - L'année

L'année est la période nécessaire à la Terre pour accomplir une révolution autour du Soleil. Il existe d'autres définitions de l'année :

1. **l'année tropique** qui représente le temps qui s'écoule entre deux passages consécutifs du Soleil à **l'équinoxe** de printemps.
2. **l'année sidérale** qui est la durée séparant deux passages consécutifs du Soleil en un point donné du ciel.
3. **l'année singulière** qui mesure le temps qui sépare deux passages consécutifs de la Terre en un point particulier de son orbite.
4. **l'année solaire** composée de douze mois solaires, utilisée dans certains calendriers (par exemple chez les Juifs et les Musulmans).

B - Le mois

Le mois vient du cycle lunaire : c'est le temps nécessaire à la Lune pour revenir dans une même phase. Le mois que l'on utilise est le mois calendaire comportant de 28 à 31 jours.

C - La semaine

La semaine est une création de l'Homme qui n'a rien à voir avec la nature. A travers les siècles, sa durée a varié : dix jours, comme chez les Egyptiens, les Grecs, les Romains, les Chinois et les révolutionnaires français. La semaine de sept jours nous vient sans doute des Hébreux : dans la Bible, on dit que Dieu créa le monde en six jours, puis qu'il se reposa le septième. La tradition chrétienne assure ainsi que c'est le rythme idéal du travail humain.

D - Le jour

Le jour est distingué par deux définitions :

1. **Le jour solaire**, basé sur la rotation apparente de la Terre autour du Soleil (24 heures). **Le ciel nous imposant ses rythmes élémentaires. La durée d'une journée a naturellement été utilisée comme étalon de durée depuis plusieurs milliers d'années. C'est le temps universel (TU).** Mais cet étalon n'était pas fiable. En effet, l'intervalle qui sépare deux passages du soleil au méridien varie au cours de l'année, pour reprendre la même valeur un an plus tard. Ces inégalités périodiques sont connues, de sorte que l'on peut calculer le jour solaire moyen à partir du jour solaire vrai. **Ce jour solaire moyen a permis de déterminer l'unité de temps, la seconde.**

2. **Le jour sidéral**, étant l'intervalle de temps qui sépare deux passages successifs de l'étoile Sirius au même point du ciel, et depuis un point donné de la Terre, il dure 23 heures 56 minutes et 4 secondes.

Au début, chez les Romains et les Égyptiens, **les heures** n'avaient pas toujours la même longueur car elles se reportaient à la lumière naturelle ; en effet, le jour étant plus long que la nuit en été, une heure de jour pouvait durer 80 minutes alors qu'une heure de nuit durait 40 minutes.

L'hiver, le phénomène était inversé. Les unités de temps que nous utilisons actuellement sont basées sur le **système sexagésimal**¹ hérité des Babyloniens².

E - L'heure

C'est l'unité de temps égale à la 24e partie d'un jour astronomique. Il existe deux types d'heures :

1. **L'heure solaire**, utilisée aujourd'hui et valant 60 minutes.
2. **L'heure sidérale**, utilisée par les astronomes et qui dure 9,83 secondes de moins que l'heure solaire. **La minute** vaut 1 / 60e d'heure ou 60 secondes.

F – La seconde

La seconde est l'étalon de mesure de temps. Trois définitions officielles de la seconde, se sont succédées jusqu'à nos jours.

1 Elle est définie comme la 1 / 86 400 partie du jour solaire moyen. L'incertitude relative à la valeur d'une seconde est alors de 1×10^{-7} s. Le bureau International des poids et mesures (créé en 1875) a conservé cette définition jusqu'en 1956. La seconde et ses multiples, minute (1min = 60 s) et heure (1 heure = 60 min) sont connus, admis et utilisés depuis tellement longtemps que lors de la création du système décimal pendant la révolution française, la tentative de diviser la journée en 10 heures de 100 min a échoué.

En 1956, lors de la 11ème conférence Générale des poids et Mesures, la seconde est redéfinie après avoir constaté des défauts d'uniformité de la durée du jour solaire moyen sur un intervalle d'un grand nombre d'années.

*En théorie, si une horloge **fiable** réglée sur le jour solaire moyen avait été mise en route au début de l'ère chrétienne, elle serait maintenant en avance de 4 heures ! Cette différence, minime à l'échelle humaine, posait problème aux astronomes. C'est le mouvement orbital de la terre autour du soleil qui a permis de définir le nouveau temps officiel aussi appelé temps des éphémérides (TE). Sa période fondamentale est donc l'année.*

¹ Sexagésimal : Numération en base soixante. (heure, minute)

² BABYLONE : Ville fondée en 2350 avant J.C, dont les ruines sont à 160 Km au sud est de BADGAD en IRAK.

2 La seconde a alors été définie comme la $1 / 31\,556\,925,9747$ fraction de l'année 1900. La précision apportée était plus grande, mais nécessitait de longues observations astronomiques et de nombreuses corrections permanentes. L'incertitude relative à la valeur d'une seconde est alors de $2 \text{ à } 5 \times 10^{-9}$ s.

Cette définition est restée valable jusqu'en 1967 date où la conférence générale des poids et Mesures, redéfinie le seconde par une résolution basée sur la vibration naturelle d'un atome et non plus sur le mouvement apparent des astres comme depuis l'antiquité.

Le temps des astronomes cesse pour devenir celui des physiciens. L'unité de mesure du temps n'a plus aucune relation avec ce qui pourtant nous a toujours permis de définir le temps : la succession du jour et de la nuit .

C'est le temps atomique international (TAI) . Le 13 octobre 1967 la définition de la seconde est adoptée et utilisée encore aujourd'hui :

La seconde est la durée de 9 162 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre deux niveaux hyper fins de l'atome de césium 133 dans son état fondamental

L'incertitude relative à la valeur d'une seconde est alors de 1×10^{-14} s, soit une seconde en 3 millions d'années.

Tous les ans, on ajoute 1 seconde au temps officiel pour que l'horloge atomique reste en phase avec le temps lié à la rotation de la terre. Ce sont les marins qui ont tenu à ce que l'on ne s'éloigne pas du temps astronomique. Ils ont, pour faire le point de leur position à la surface de la terre, besoin du temps lié à la rotation de la terre et ne souhaitent pas avoir recours à des tables de corrections.

Les sous-multiples de la seconde sont :

le dixième de seconde (0,1 s) 10^{-1} s	la microseconde ($\mu\text{s} = 0,000\,001$ s) 10^{-6} s
le centième de seconde (0,01 s) 10^{-2} s	la nanoseconde (ns = 0,000 000 001 s) 10^{-9} s
la milliseconde (ms = 0,001 s) 10^{-3} s	la picoseconde (ps = 0,000 000 000 001 s) 10^{-12} s

La picoseconde est l'ordre de précision donnée par les actuelles horloges atomiques. La femtoseconde 10^{-15} s ou l'attoseconde 10^{-18} s, encore plus précises, ne sont que théoriques pour l'instant.

En conclusion, bien qu'actuellement notre étalon de mesure du temps soit complètement indépendant du mouvement des astres, l'homme a tout fait pour accorder cette mesure à celle liée à la rotation imparfaite de la terre.

III- UNIVERSALITE DU TEMPS

Jusqu'en 1956, la durée du jour solaire moyen sert d'étalon. Le repère solaire était alors le passage du soleil au zénith, le midi solaire. Du fait de la rotation de la terre, il existe une différence entre le midi observé au soleil quand on se déplace vers l'est ou vers l'ouest.

Ainsi, en France au début du 14e siècle, Strasbourg avançait de 49 minutes sur Brest. Comme il fallait alors plusieurs jours pour faire le voyage, ce n'était pas trop gênant. Le chemin de fer, en réduisant les temps de transports, rendit indispensable la coordination nationale de l'heure.

En 1811, une loi impose comme heure légale de tout le territoire Britannique celle de l'observatoire de Greenwich. En France, le 14 mars 1891, l'heure de Paris devient l'heure légale des français et algériens.

L'augmentation des transports internationaux rendit ensuite obligatoire la coordination internationale des horaires.

Sur mer, chaque nation se servait de son propre observatoire comme méridien de base. Vers 1750, la flotte anglaise étant la plus importante, l'observatoire de Greenwich devint la référence des marins du monde entier. En 1875, Stanford Fleming suggère d'imposer une heure unique de part le monde.

Il propose de diviser le monde en 24 zones à partir d'un méridien de base. Celui-ci devait être choisi dans un pays politiquement stable et doté d'un observatoire de haut niveau. Le choix se réduisit à Paris, Washington, Berlin ou Greenwich.

Le 1er octobre 1885, une conférence internationale entérina la pratique maritime ; Greenwich sera le méridien de base. Paris mettra trois ans avant d'adopter cette décision à la Chambre des députés le 24 février 1898 et le Sénat ne votera définitivement la loi que le 9 mars 1911.

Le temps civil a cessé d'être local pour devenir légal et universel, il est dans chaque pays, égal au Temps Atomique International au décalage prêt d'un nombre entier d'heures selon le fuseau horaire du lieu.

IV - LES CALENDRIERS

Un calendrier est un système de mesure du temps pour les besoins de la vie quotidienne. Le temps est divisé en jours, en semaines, en mois et en années. Ces divisions reposent sur les mouvements de la Terre autour du Soleil ou de la Lune autour du Soleil.

Dans l'Antiquité

Les Babyloniens adoptèrent un calendrier constitué de douze mois lunaires de 30 jours chacun, auxquels ils ajoutaient si nécessaire des mois supplémentaires. Les Égyptiens remplacèrent le calendrier lunaire par un calendrier basé sur l'année solaire. Les Grecs utilisaient un calendrier luni-solaire à 354 jours.

Chez les Romains

Le premier calendrier romain durait 10 mois et commençait par mars. Les jours étaient désignés par une méthode qui consistait à compter à rebours à partir de trois dates pivot : les calendes au début du mois, les ides au milieu et les nones, qui tombaient le neuvième jour avant les ides. Ce calendrier devint confus et fut changé en 46 avant J-C par Jules César ; il fut appelé le calendrier julien.

Le calendrier julien et le calendrier grégorien

L'année a une valeur moyenne de 365,2422 jours, donc environ 365 jours $\frac{1}{4}$.

Il fut donc décidé de rajouter 1 jour tous les quatre ans, soit : 366 jours pour une année. Cette année que l'on appelle bissextile permet de remettre en phase la rotation de la terre et le calendrier.

La nécessité de définir une année bissextile à été découverte par les Egyptien et mis en application dans le calendrier Romains par Jules César, d'où le nom de calendrier Julien. Mais l'année Julienne est un peu trop longue car le calendrier julien était basé sur une année de 365,25 jours, alors que la valeur réelle est de 365,2244 jours donc :

$$\begin{aligned} 365,25 - 365,2422 &= 0,0078 \text{ Jours} \\ \text{Soit en 100 ans} &: 0,0078 \times 100 = 0,78 \text{ jours} \\ \text{Soit en quatre siècles} &: 0,78 \times 4 = 3,12 \text{ jours} \end{aligned}$$



La décision de supprimer ces trois jours de trop tous les quatre siècles est due au pape Grégoire XIII en 1582 de la découle le nom de calendrier Grégorien.

Il fût décidé que : - « Ne sont plus bissextiles les années séculaires dont le nombre n'est pas divisible par quatre ». Donc 1800, 1900, 2100, ne sont pas bissextiles mais 1600 et 2000 le restent. De nos jours, ce calendrier est encore utilisé dans la plus grande partie du monde occidental et dans certains pays asiatiques.

Chez les Aztèques

Il y avait deux calendriers :

- le premier durait 365 jours : 18 mois de vingt jours + 5 jours "creux";
- le second, réservé aux dieux, durait 260 jours : 20 mois de treize jours.

Les Mayas utilisaient exactement les mêmes calendriers.

Chez les religieux

Le calendrier de l'Église catholique indique les jours saints et les fêtes religieuses, ainsi que les dates du calendrier civil qui leur correspondent. Certaines fêtes ont lieu à date fixe, (Noël Toussaint et Assomption) et d'autres à date mobile (Pentecôte 49 jours après Pâques, Quadragésime 42 jours avant Pâques)

Pour déterminer la fête de Pâques il faut :

- repérer l'**équinoxe**³ de printemps,
- la pleine lune suivant cette date,
- le dimanche suivant cette pleine lune, c'est Pâques.

Le calendrier juif vient de l'ancien calendrier hébreu, il n'a pas changé depuis 900 après J-C. C'est le calendrier officiel d'Israël et des Juifs du monde entier.



Le calendrier musulman est un calendrier lunaire. Il débute à partir de l'an 622 (lendemain de l'hégire : fuite de Mahomet de la Mecque vers Médine le 16 juillet 622). Les 12 mois de l'année musulmane ont alternativement 30 et 29 jours, soit une moyenne de 29,5 jours donc un écart de 0,03 jours avec la durée d'une lunaison. Plus précisément, en 30 années musulmanes, la différence attendrait 11 jours. La correction qu'il faut effectuer pour rattraper cette erreur consiste à ajouter 1 jour à 11 années d'un cycle de 30 ans. On obtient ainsi 19 années communes de 354 jours et 11 années abondantes de 355 jours. Le prochain nouvel an musulman (1 Mouharram 1420) se fêtera en octobre

1999.

Le calendrier républicain ou révolutionnaire

Il fut institué pendant la Révolution française par la Convention nationale, le 24 octobre 1793. Il remplaça le calendrier grégorien. Il fut créé par Fabre d'Églantine et utilisé en France de 1793 à 1806.

- l'année commençait à l'équinoxe d'automne et était divisée en 12 mois.
- les mois contenaient trois périodes de dix jours, les décades.
- Trois mois furent attribués à chaque saison : vendémiaire, brumaire, frimaire (automne); nivôse (neige), pluviôse, ventôse (hiver); germinal, floréal, prairial (printemps); messidor (moissons), thermidor (chaleur et bains), fructidor (été).
- le nom des jours correspondait à leur chiffre dans l'ordre de numérotation : primidi, duodi, tridi... jusqu'à décadi. Le dernier jour de chaque décade correspondait à un jour de repos. Le **solstice**⁴ d'été restait le 21 juin et le solstice d'hiver le 21 décembre.

Ce calendrier fut aboli par Napoléon le 1er janvier 1806.

³ **Equinoxe** : Période de l'année où le jour et la nuit ont la même durée. Il existe deux équinoxes par an celle du printemps le 21 ou le 22 mars et celle d'automne le 22 ou le 23 septembre.

⁴ **Solstice** : Jour le plus long de l'année le 21 juin et jour le plus court de l'année le 21 décembre.

LES CADRANS SOLAIRES

La longueur de l'ombre d'un objet, de son propre corps par exemple, varie avec la position du soleil dans le ciel. C'est le phénomène le plus ancien que les hommes ont utilisé pour se repérer dans le temps. Pour n'importe quelle heure donnée, en effet, le rapport entre la longueur du pied et celle de l'ombre du corps est à peu près le même pour tout le monde. Ainsi peut-on se donner rendez-vous en disant : "Quand ton ombre mesurera cinq pieds".

Vers le troisième millénaire avant notre ère, on utilise le **gnomon**, ancêtre des cadrans solaires. La lumière du soleil projette l'ombre du triangle de fer forgé sur un cadran gradué.



Gnomon



Horloge solaire en T

Vers le XVI^e siècle avant notre ère, en Egypte, on utilise des horloges solaires en forme de T. A l'aube, l'horloge est tournée vers le soleil. Si l'ombre de la barre transversale se trouve sur la sixième encoche, c'est la sixième heure avant midi. L'ombre diminue jusqu'à midi où elle est très courte. On tourne l'horloge dans la direction opposée. L'ombre s'allonge vers les heures et gagne une à une les encoches qui indiquent alors les heures de l'après-midi.

Les Romains sont les premiers à posséder des horloges transportables, véritables montres solaires. L'anneau d'une montre solaire est percé d'un trou. Il suffit de l'orienter face au soleil. Un rayon lumineux vient alors frapper la paroi intérieure graduée de l'anneau. Les premiers cadrans solaires remontent au troisième millénaire avant notre ère. Ce sont de minces cônes de métal posés verticalement sur le sol. Ils donnent le midi vrai, mais ne permettent pas une connaissance précise de l'heure. L'étude des cadrans solaires se développe surtout en Orient jusqu'au XIV^e siècle. Les Croisés ramènent en Europe l'usage de cadrans à tige inclinée. Pour une même heure, la direction de l'ombre de la tige reste constante. Jusqu'au XVIII^e siècle, les cadrans solaires se répandent : on en trouve au fronton de nombreux édifices. De nos jours, il existe deux types de cadrans solaires : horizontal et vertical. Il faut pour les réaliser, connaître la latitude du lieu de leur utilisation. Pour un cadran vertical, la tige servant à repérer l'heure sera plantée de façon à faire un angle de $(90^\circ - l)$ avec la verticale.

Pour un cadran horizontal, l'angle fera l° avec l'horizontale. Dans les deux cas, la ligne de 12 heures sera orientée vers le nord.



Montre solaire portative

CLEPSYDRES OU HORLOGES A EAU



Pendant des siècles, les horloges à eau n'ont cessé de se perfectionner.

A la différence des cadrans solaires, le premier rôle des clepsydes n'est pas d'indiquer une heure déterminée, mais une durée. Le temps est mesuré par l'écoulement de l'eau d'un récipient dont le fond est pourvu d'un petit orifice. Les égyptiens sont les premiers à en fabriquer et à en utiliser dès 1400 avant notre ère.

Cette horloge est cependant imprécise. La pression de l'eau diminuant sans cesse, l'eau s'écoule de moins en moins vite.

UN PROCES EN GRECE ANTIQUE :

Vers la fin du VI^e siècle avant notre ère, les grecs introduisent l'horloge à l'eau dans les tribunaux pour limiter le temps de parole des juges. Ces derniers reçoivent, pendant le temps d'un procès, une indemnité journalière. Aussi les procès traînent-ils parfois en longueur et coûtent alors très chers à l'Etat.

Chaque partie a droit au même temps de parole. Pour le mesurer, on utilise un clepsydre. Dans le vase situé sur la plus haute marche, on verse l'eau d'une amphore.

Elle s'écoule par un trou étroit percé au bas de ce vase. Lorsque toute l'eau s'est écoulee, le temps de parole accordé est épuisé.

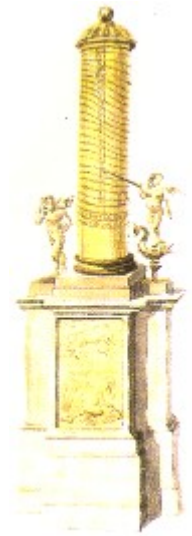


HORLOGE A EAU DE KLESIBIOS D'ALEXANDRIE

Elle date du II^e siècle avant notre ère. Les lignes indiquant les heures sont gravées sur une colonne qui, en un an, tourne une fois sur elle-même. Les yeux de l'un des personnages pleurent et remplissent peu à peu un réservoir. Un deuxième personnage, juché sur un flotteur, monte ainsi le long de la colonne et, de sa baguette, montre l'heure.

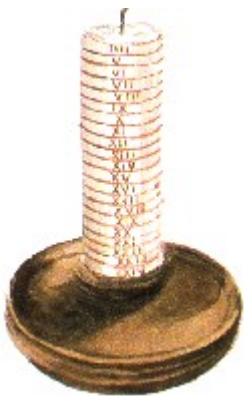
Depuis l'Antiquité, on divise le jour en vingt-quatre heures. Mais on a guère de moyens pour savoir quelle heure il est, à un moment déterminé. Pendant longtemps, la journée a été rythmée par les cloches des églises. Elles sonnent sept fois par jour, au moment où le chœur des moines chante.

Ce sont les heures canoniques. Mais ce repérage reste approximatif et, surtout, il ne permet en aucune façon, pas plus que les cadrans solaires, de connaître l'heure la nuit. Dans de nombreux monastères, ce sont des chants religieux nocturnes, les psaumes, qui servent à déterminer l'heure. On estime en effet que le chant d'un psaume dure quatre à cinq minutes.



HORLOGES A COMBUSTION ET SABLIERES

UNE HORLOGE A CHANDELLE

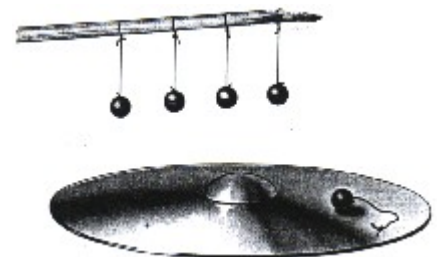


On attribue l'invention de l'horloge à chandelle à un roi d'Angleterre, au IX^e siècle. Ce roi a besoin d'un instrument qui lui permette de savoir, la nuit, l'heure des prières. En observant des bougies en train de brûler, il calcule combien il en faudrait pour s'éclairer pendant toute une nuit, sans interruption.

Il fait ensuite fabriquer les bougies dont il a besoin, en prenant bien soin qu'elles aient la même taille, le même diamètre et le même poids. Sur chacune d'elles, il grave des traits horizontaux à égale distance les uns des autres. Ainsi peut-il savoir à tout moment le temps qui s'est écoulé depuis que la première bougie a commencé à se consumer.

UNE HORLOGE A FEU

L'horloge à feu fut inventé par les chinois vers 3000 avant notre ère. Il s'agissait d'une baguette enduite de poix et de sciure de bois et portant à intervalles réguliers des billes suspendues par des fils au-dessus d'un gong. On y mettait le feu et en y progressant, celui-ci brûlait les fils l'un après l'autre, heure par heure, en faisant tomber une bille sur le gong.





UNE HORLOGE A HUILE (au 18^e s.)

Une petite mèche brûle dans une coupelle d'étain où s'écoule l'huile d'un réservoir de verre. Deux tiges métalliques graduées permettent de suivre la baisse du niveau, on peut savoir le nombre d'heures écoulées depuis qu'on a allumé la lampe.

LE SABLIER (1300 Av JC)

Le sablier est constitué par une ampoule de verre, étranglée en son milieu et hermétiquement close. Il contient une certaine quantité de sable qui met un temps déterminé pour s'écouler par l'étranglement. Si on veut mesurer un temps plus long, il faut retourner le sablier dès que le sable a fini de tomber dans la partie inférieure.



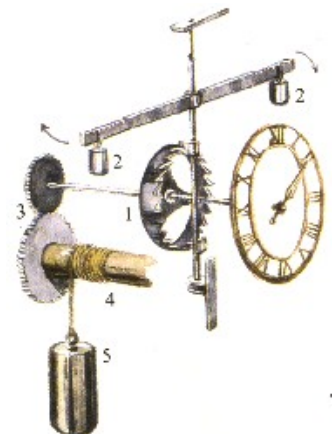
On prend grand soin d'utiliser un sable très fin, très homogène et parfaitement sec. Autrefois on se procurait de la sciure de marbre. On la faisait bouillir une vingtaine de fois en veillant à bien l'écumer avant de la faire sécher au soleil. Pour que le sablier soit précis, il ne faut pas, en effet que des grains de sable restent accrochés aux parois.

LES HORLOGES A ROUAGES

On appelle communément horloge, un dispositif entièrement mécanique où l'écoulement continu du fluide est remplacé par le mouvement discontinu d'un rouage à roues et pignons dentés ; l'énergie est fournie par un poids et restituée par petites impulsions discrètes à un organe, l'échappement, agissant lui-même sur un régulateur, le pendule. Dans les montres et les horloges portables, le poids moteur est remplacé par un ressort enroulé en spirale et le pendule par le système balancier-spiral.

Dès le IV^e siècle avant notre ère, on fabrique des horloges à engrenages. Ce sont alors des horloges à eau. L'énergie est transmise grâce à un jeu de roues dentées. L'ensemble, parfois, est muni d'un cadran et d'une aiguille. Deux siècles plus tard, on a l'idée d'y adjoindre un poids. Au X^e siècle, le moine *Gerbert d'Aurillac* reprend toutes ces inventions. Au XIII^e siècle, le roi *Alphonse X de Castille*, dit le Sage, construit une horloge à poids.

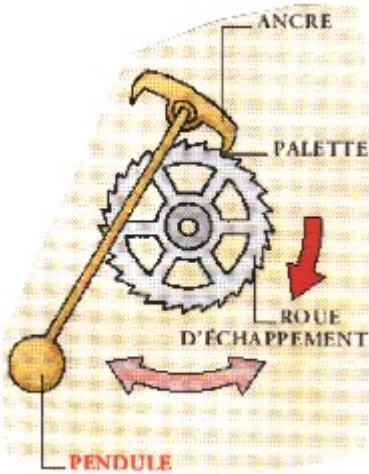
L'écoulement de mercure y sert de régulateur du mouvement. Bientôt, on a l'idée de remplacer ce mercure par l'échappement à contrepoids dont le mécanisme est représenté ci-dessous.



HORLOGES A ECHAPPEMENT

Dans l'horloge équipée d'une roue d'échappement et de contrepoids, les roues dentées et le mécanisme sont reliés à un arbre que fait tourner un poids. Mais, pour éviter que le mouvement ne soit trop rapide, on l'entrave par un couple d'autres poids. Plus ces poids sont éloignés du centre de la tige, plus le mouvement est lent.

L'ECHAPPEMENT



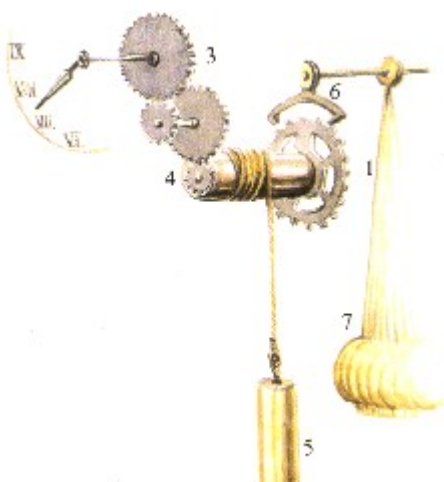
Pour indiquer l'heure, les horloges sont munies d'un dispositif appelé échappement à ancre comprenant un pendule, une roue d'échappement dentée et un cliquet en forme d'ancre. La roue d'échappement est actionnée par le poids (via le système d'engrenages), mais les saillies, ou palettes, de l'ancre l'empêchent de tourner librement. Retenue puis relâchée, elle avance de deux dents à chaque balancement complet du pendule.

*Le poids actionne l'horloge en entraînant les engrenages lorsqu'il descend.
Dans certaines horloges, il est remplacé par un ressort.*

Le XIV^e siècle voit alors se multiplier en Europe les horloges à carillon qui sonnent les heures. Ce sont d'abord des machines monumentales. La première est installée à Milan en 1336.

Bientôt, on en trouve à Douvres, à Strasbourg, à Florence. Elles deviennent si nombreuses à partir de 1380 qu'on ne peut plus les compter.

HORLOGES A OSCILLATION



A la fin du XVI^e siècle, *Galilée* observe le mouvement des lampes de bronze suspendues aux voûtes de la cathédrale de Pise. Il a alors l'idée d'étudier les oscillations d'un pendule. Il constate que plus le pendule est long, plus la durée des oscillations est longue.

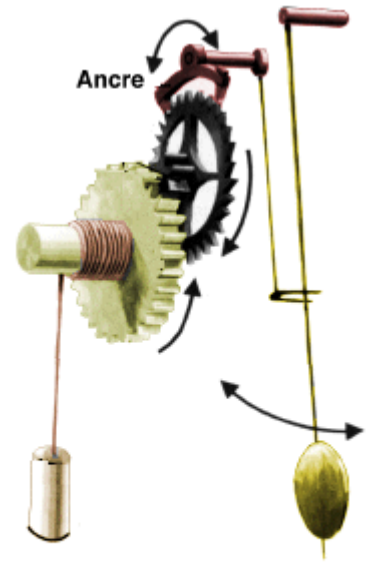
Il découvre également que cette durée est indépendante de l'impulsion donnée au départ. Des années plus tard, il reprend ses recherches et montre qu'il serait possible de construire une horloge qui combinerait poids et pendule. Le mouvement du pendule permettrait de rendre les horloges plus exactes.

Horloge à oscillation *Dans l'horloge à échappement à ancre, c'est l'ancre (6) reliée au balancier (7) qui joue ce rôle.*

Il faut cependant attendre 1657 pour qu'un Hollandais, Christian Huyghens, mette réellement au point une horloge pendule qui supprime toutes les autres par sa grande précision.

Les premières horloges, installées dans les monuments publics, sont de taille imposante. Mais, bientôt naît l'envie de posséder des horloges à la maison.

Il faut alors réduire considérablement leurs dimensions. Dès la fin du XIV^e siècle, il est fait mention d'une horloge portable. Mais il faut attendre encore de nombreuses années pour qu'on en trouve dans les demeures : les palais royaux et les résidences des nobles.



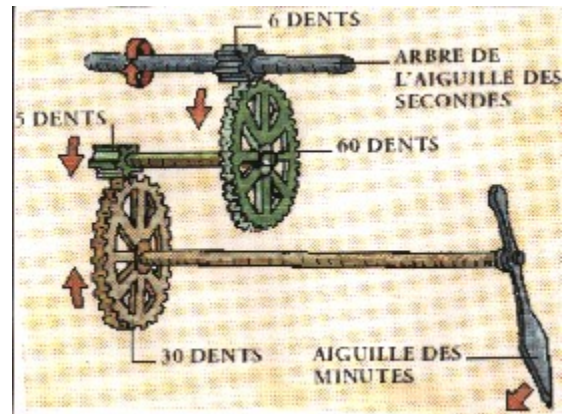
Chaque oscillation du pendule fait pivoter l'ancre qui bloque le mouvement de la roue entraînée par le poids.

Ce sont en effet de véritables bijoux faits de métaux rares et décorés de pierres précieuses. Les forgerons en restent encore les fabricants. Peu à peu, on désire miniaturiser davantage ces appareils qui donnent l'heure.

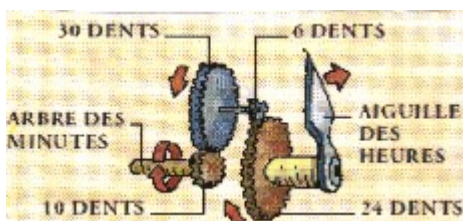
Mais il faut trouver un système nouveau qui puisse remplacer les poids, trop encombrants. Au XVI^e siècle, un serrurier allemand, Peter Henlein, découvre la solution. Travaillant sur une serrure munie d'un ressort, il a l'idée d'utiliser la force de ce dernier pour animer les rouages. Il y ajoute un échappement qui freine la détente du ressort et régularise ainsi le mouvement. La première montre est née.

L'AIGUILLE DES MINUTES

L'aiguille des minutes doit tourner 60 fois plus lentement que l'aiguille des secondes. La vitesse est réduite par les deux engrenages, d'un rapport de 10/1 et de 6/1, qui relient les deux aiguilles.



L'AIGUILLE DES HEURES



Deux séries d'engrenages, d'un rapport de 3/1 et de 4/1, connectent l'aiguille des minutes à celles des heures. Ils réduisent la vitesse de rotation de l'aiguille des heures à un douzième de celles des minutes.

LES MONTRES



(MONTRE OIGNON)

A la première montre, qui était ronde, succèdent les montres ovoïdes. Cette forme permet de mieux loger le mécanisme. On les appelle les petits œufs vivant de Nuremberg. Elles n'ont que l'aiguille des heures.



(OEUF DE NUREMBERG)

L'imagination des fabricants ne connaît pas de bornes. On a bientôt des montres en forme de croix, de fleurs, de fruits, de coquillages, de scarabées. Certaines sont même portées en bagues. La montre oignon possède deux aiguilles et souvent une trotteuse qui indique les seconde.

En France, Pierre Auguste Caron, mieux connu sous le nom de Beaumarchais, améliore l'échappement. Il réalise même pour madame de Pompadour la première montre à remontoir.

A la fin du XVIIIe siècle, apparaissent les montres-bracelets. La montre-bracelet est moderne : elle possède un dateur qui donne le quantième du mois. Peu portées, elles tombent dans l'oubli. Elles réapparaissent vers 1900, date à partir de laquelle on les fabrique, en suisse, en grande quantité.



(MONTRE -BRACELET)

Depuis, les améliorations se succèdent rapidement. On invente la montre étanche, les montres automatiques, qui se remontent "toutes seules" grâce au mouvement des poignets qui les portent, les montres électriques à pile et les montres à quartz.

Enfin, la montre à affichage numérique est la plus récente. Elle n'a pas d'aiguille et fonctionne avec une pile. On n'a pas besoin de la remonter comme les trois autres.



précision.

(MONTRE A AFFICHAGE NUMERIQUE)

C'est aux physiciens français, les frères Pierre et Jacques Curie que l'on doit la découverte, en 1880, des propriétés piézo-électriques du cristal de quartz : ce minéral excité par un courant électrique, vibre à de très hautes fréquences dont la régularité des intervalles n'est atteinte par aucun autre élément.

L'emploi de ce minéral dans les montres à quartz (32,768 KHZ, soit 32768 vibrations par seconde) et dans l'horlogerie domestique (4MHZ, soit 4 194 304 vibrations par seconde) explique leur haute

L'utilisation du quartz comme résonateur pour les horloges date de 1920. En fait, les premières horloges à quartz n'apparurent qu'aux alentours de 1930 et les montres à quartz dans le grand public ne furent commercialisées qu'au début des années 70 à partir des productions d'électroniciens américains. (affichage par chiffres)

LA MONTRE A QUARTZ



Le minuscule éclat de quartz situé à l'intérieur de l'oscillateur vibre 32768 fois par seconde lorsque le courant le traverse. Le courant électrique de la pile fait vibrer le cristal de quartz et fournit l'énergie nécessaire au moteur et au microprocesseur. Il réduit les 32768 impulsions électriques par seconde (de l'oscillateur) à une impulsion par seconde.

Il effectue un demi-tour par seconde, entraînant les engrenages qui actionnent les aiguilles. En 1958, Harrod Lyons fabrique une horloge atomique qui utilise un faisceau d'atomes de césium : ce sont des oscillations électriques qui actionnent l'horloge. Elle est à ce point précise qu'elle varie d'une seule seconde tous les 3000 ans.

Actuellement, on incorpore les montres aux objets les plus divers : stylo, briquet, calculatrice, poste radio...

Entre 1920-1930, époque des premiers travaux consacrés aux horloges à quartz, et 1970-1975, époque où la précision des étalons atomiques a culminé, il s'est écoulé un demi-siècle. Auparavant, les meilleures horloges à gravité (pendules de précision des observatoires) atteignaient très difficilement une précision de la milliseconde par jour (précision relative de 10^{-8}).

Actuellement, les étalons de fréquence des horloges atomiques assurent 10^{-13} s soit 100 000 fois mieux en 50 ans.

LA MESURE DES TEMPS LONGS

Comment pouvons-nous nous repérer dans les temps éloignés des nôtres ?

Comment pouvons-nous connaître la durée qui nous sépare de tel ou tel moment de l'histoire de la vie ou de la terre ?

De quand datent les fossiles que nous trouvons ?

Comment peut-on arriver à mesurer des temps longs qui se chiffrent en milliers voire en millions d'années ?

Les progrès de la science permettent d'apporter des réponses de plus en plus précises à toutes ces questions. Nous savons, par exemple, dire l'âge d'une couche de terrain, celui de quelques arbres millénaires, comme certains cèdres ou châtaigniers. Nous savons à quelle époque vivaient les hommes préhistoriques ou des animaux depuis longtemps disparus, en étudiant leurs restes fossilisés.

La terre est composée d'un épais entassement de roches. Les couches les plus récentes sont près de la surface. Au fur et à mesure que l'on s'enfonce, on rencontre des couches de plus en plus anciennes.

Pour connaître l'âge de ces couches, les savants utilisent des spectromètres de masse qui indiquent depuis quand les roches volcaniques ont refroidi. A partir de là, on peut calculer l'âge des autres roches. L'étude de la succession des couches et des fossiles s'appelle la stratigraphie.

COMMENT SAVOIR L'AGE D'UN ARBRE ?



En observant les cernes de croissance d'un arbre, comme ce séquoia géant, on peut déterminer son âge. En effet, chaque année, un nouveau cercle se forme. Ces cercles donnent également des informations intéressantes sur les variations climatiques. Ils sont plus espacés pour les années pluvieuses que pour les années sèches.

Cette méthode a été inventée en 1904. On l'appelle dendrochronologie (du grec dendros, arbre ; chronos, temps ; logos, sciences). Sur une section transversale d'un séquoia exposé au Jardin des Plantes de Paris, d'un diamètre de 2,5m, on peut compter plus de 2000 cernes.

Le carbone est présent dans toute matière vivante, qu'il s'agisse d'animaux ou de plantes. Ce carbone contient, en très petite proportion, du carbone radioactif dit carbone 14. Pour chaque élément vivant, cette quantité reste constante. Lorsque la matière vivante meurt, le carbone 14 se désintègre lentement et la radioactivité de cette matière diminue. En 5700 ans, ce carbone diminue de moitié. 5700 ans plus tard, ce qui reste a encore diminué de moitié et ainsi de suite.

En comparant la quantité de carbone 14 contenue dans un élément vivant (un morceau de bois de chêne par exemple) avec la quantité présente dans un élément mort

(un morceau de chêne fossilisé), on peut calculer depuis combien de temps cette mort est intervenue.

LA MESURE DES TEMPS COURTS

Pendant très longtemps, les hommes ne sont pas parvenus à mesurer des temps très courts. Il faut attendre le début du XVIII^e siècle pour le père Riccioli mesure la seconde à l'aide d'un pendule.

Pendant près de trois siècles, la seconde va rester la plus petite unité de temps utilisée. C'est en 1736 que l'Anglais John Harrison, fils d'un simple menuisier, entreprend la fabrication du premier chronomètre de marine.

Il veut en effet donner aux navigateurs un instrument assez précis pour permettre, sans risque d'erreur, le calcul de la longitude d'un lieu.

Il espère ainsi gagner le prix de 20 000 livres offert par le parlement britannique à celui qui parviendrait à résoudre le difficile problème de l'exactitude de la mesure du temps en mer. Harrison cependant ne peut tester l'appareil que sur la Tamise.

Ces essais sont concluants : l'appareil marche parfaitement. Harrison a gagné le prix. Mais le chronomètre de Harrison n'est guère utilisable ailleurs que sur un navire : il pèse plus de dix kilos. C'est seulement au XIX^e siècle que l'on parvient à perfectionner et à miniaturiser les chronomètres. Le chronomètre manuel sert à mesurer des temps très courts, jusqu'au 1/100^e de seconde.

En fait, il est difficile de mesurer avec exactitude des temps aussi courts. Il faut en effet tenir compte des erreurs d'observation du chronométrateur et de son temps de réaction pour déclencher l'appareil.

Pour éviter ces inconvénients, on a recours à des instruments plus sophistiqués à déclenchement automatique. Au début du XX^e siècle, une autre découverte bouleverse notre conception du temps. Harold Edgerton met au point la stroboscopie qui permet la photographie de mouvement d'une extrême rapidité. Les clichés révèlent alors ce que l'œil ne peut jamais arriver à saisir. Une goutte de lait tombant dans une jatte, photographiée au 1/10 000^e de seconde forme un étonnant diadème. Au cinéma, la même méthode permet, à raison de 500 images par seconde, de filmer des mouvements rapides et de les projeter au ralenti.

Les **chronomètres** mesurent très précisément le temps des épreuves sportives ; les performances se mesurent au dixième de seconde près.

L'**horloge atomique (1947)** compte des sortes de bonds d'électrons : un atome est un noyau autour duquel tournent des électrons. Si l'on applique à cet atome le champ d'un aimant, par exemple, les électrons se mettent à vibrer de plus en plus vite, avant de faire un bond l'éloignant du noyau. Les horloges atomiques sont d'une extrême précision : en effet, elles ne varient que d'un dixième de seconde sur 300 000 ans !



Aujourd'hui, on parvient même à mesurer des temps de l'ordre du milliardième de seconde, que nous sommes incapables de nous représenter.

Travail à faire :

A l'aide des documents ressources ci-joints, recopies et réponds sur une de vos feuilles aux questions suivantes :

1. Sous quels aspects nous apparaît le temps ?
2. Pourquoi ajoute-t-on chaque année 1 seconde au temps officiel ?
3. Pourquoi au siècle dernier l'heure n'était pas la même à Brest qu'à Strasbourg ?
4. Qui décida d'imposer une heure unique de par le monde ? Quelle référence prit-on ?
5. Reproduire et compléter le tableau de comparaison des différents instruments servant à mesurer le temps. Vous pourrez rechercher les éléments manquants dans un dictionnaire. Pour la précision, utilise les degrés suivants : A = Approximatif P = Précis TP = Très Précis

Nom de l'appareil	Résumez le fonctionnement	Date d'apparition	Précision (A,P ou TP)
Sablier			
Montre à quartz			
Clepsydre			
Gnomon			
Horloge atomique			
Horloge mécanique			

6. Réaliser une frise chronologique, sans échelle, des différents systèmes de mesure du temps de ton tableau précédent avec la date et le nom du système.

7. A quelle date fut fabriqué le premier chronomètre ? Pour quel usage ?

8. Comment fonctionne une clepsydre ? Pourquoi les clepsydres n'étaient-elles pas précises ?

9. Donne la définition du mot bissextile.

10. Nous savons que l'an 2000 est une année bissextile. Calcule le nombre d'années bissextiles depuis ta naissance.

11. Calcule le nombre de jours écoulés depuis ta naissance. (Une année = 365,25 jours)

12. Si nous n'avions pas corrigé l'erreur d'1 seconde de retard par rapport au temps officiel depuis l'an 0, quel retard aurions-nous cette année par rapport au temps officiel ?

13. Comment peut-on mesurer l'âge d'un arbre vivant et l'âge d'un arbre fossilisé ?

14. Que signifie le mot : « sexagésimale »

15. Cherche dans le dictionnaire la définition du mot : - « méridien. »

16. Le calendrier que nous utilisons a été défini à quelle époque ? Par qui ?

17. Où et à quelle date fût installé la première horloge à carillon ?