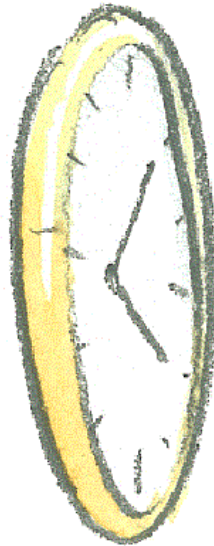




## DOSSIER DECOUVERTE

### L'Horloge Mesurer le temps





# SOMMAIRE

[Au fil de l'histoire.....3](#)

[L'horloge, du principe à l'utilisation.....7](#)

[L'horloge au service de la science.....9](#)

[Glossaire.....12](#)



# Au fil de l'histoire

## Antiquité : gnomon et cadran solaire

Le cadran solaire est probablement le plus ancien instrument de mesure du temps. Il s'agit de mesurer le déplacement de l'ombre d'un bâton appelé style ou gnomon. Il faut tenir compte des variations de hauteur du soleil selon les saisons, il est donc nécessaire de connaître quelques notions d'astronomie pour construire ou lire un cadran solaire. Utilisé dès l'Antiquité, il a pour avantages d'être facile à réaliser, fiable dans les pays ensoleillés, non périssable. Néanmoins, il a quelques défauts : il est peu précis, peu transportable, ne fonctionne que le jour et avec du soleil et c'est une « horloge » locale. Cependant il perdura et subit nombre perfectionnements qui donnèrent naissance à divers modèles : horizontaux, verticaux...



*Gnomon  
Crédit Google*

## 3500 av J.-C. : la clepsydre

Ce mot vient du latin « clespydra » signifiant « qui vole l'eau ». Les plus anciennes sont égyptiennes et datent d'environ 3500 ans avant J.-C. Il s'agit d'un récipient rempli d'eau qui est percé d'un orifice à la base. L'eau s'écoule régulièrement par cet orifice, et son niveau, en baissant, indique le temps écoulé sur des graduations déterminées à l'avance. Bien que la clepsydre permette d'évaluer les durées par temps couvert et la nuit, il reste un instrument de mesure imprécis. De plus, il est soumis aux problèmes d'impuretés et de calcaire qui bouchent l'orifice ou de gel de l'eau l'hiver. Partis d'Égypte, les clepsydres se sont répandues chez les Grecs, puis chez les Romains ; elles se sont perfectionnées jusqu'au XVIII<sup>e</sup> siècle. Ces horloges à eau furent les premiers réveils : elles étaient utilisées dans les monastères pour déclencher une sonnerie aux heures de prière. Les Grecs et les Romains l'utilisaient pour limiter le temps de parole dans les tribunaux.



*Clepsydre. Crédit Google*

## VI<sup>e</sup> s av J.-C. : l'horloge à encens

Elles sont utilisées en Chine du VI<sup>e</sup> siècle avant JC jusqu'au XVII<sup>e</sup> siècle. L'encens brûle à une vitesse constante, ce qui permet de mesurer le temps écoulé, mais tout comme la clepsydre, cela n'indique pas l'heure de la journée.



*Horloge à encens.  
Crédit Google*



### IX<sup>e</sup> siècle : la bougie graduée

Elle semble avoir été inventée par Alfred le Grand au IX<sup>e</sup> siècle qui s'en est servi pour connaître les heures de ses prières la nuit. En brûlant, la chandelle libère de petites perles à intervalles réguliers marquant ainsi le temps. Elles sont toutefois très imprécises et elles ont été très répandues dans la France médiévale.

*Bougie graduée. Crédit : Google.*

### Vers l'an 1000 : le sablier

Le premier sablier apparaît vers l'an 1000. Le principe est simple et proche de celui de la clepsydre. On mesure la durée de l'écoulement d'un fluide souvent du sable fin. Cette durée varie selon la quantité de sable utilisé et la taille du trou. Le sablier est peu pratique pour mesurer des longues durées car il faut le retourner souvent, mais il est fiable, précis et peu coûteux. Dans la marine, il était le seul instrument de mesure du temps en mer jusqu'à l'apparition des chronomètres de marine, vers 1773. (cf dossier GPS)



*Sablier. Crédit Google*



*L'horloge mécanique de la cathédrale de Salisbury, en Grande-Bretagne. Crédit Google*

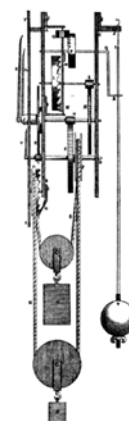
### XIII<sup>e</sup> siècle : l'horloge mécanique

Les premières horloges mécaniques ont été mises au point vers le XIII<sup>e</sup> siècle avec pour principe la chute d'un poids actionnant les rouages. Elles n'avaient ni cadran, ni aiguille ; leur seule fonction était de sonner les heures. Elles marquent un progrès notable par rapport au sablier ou à la clepsydre qui n'indiquent que des durées. Les horloges mécaniques étaient très peu précises et variaient fréquemment de plus d'une heure par jour, il fallait les remettre à l'heure à l'aide d'un sablier ou d'un cadran solaire. Elles sonnent les quarts et les heures mais n'affichent pas encore l'heure sur un cadran. Celui-ci n'apparaît qu'au XV<sup>e</sup> siècle.

### 1658 : la première horloge à pendule

Huygens, mathématicien hollandais, a mis au point en 1658 la première horloge à pendule. Celle-ci n'avait qu'une seule aiguille qui faisait le tour du cadran en 24 heures (l'aiguille des minutes n'apparaîtra que 20 ans plus tard environ), mais avait deux défauts : il fallait souvent la remettre à l'heure et était très encombrante. Les premières montres ont été mises au point au XVI<sup>e</sup> siècle; mais utilisées seulement par des personnes riches.

*La première horloge à pendule, inventé par Huygens. Crédit Google*





### 1840 : la première horloge électrique

La première horloge électrique a été mise au point en 1840 par l'anglais Alexandre Bain. Il faudra attendre 1952 et les progrès de la miniaturisation des piles pour voir apparaître le bracelet-montre électrique.

*L'horloge électrique d'Alexandre Bain. Crédit Google*

### 1933 : utiliser les fréquences de vibration du quartz

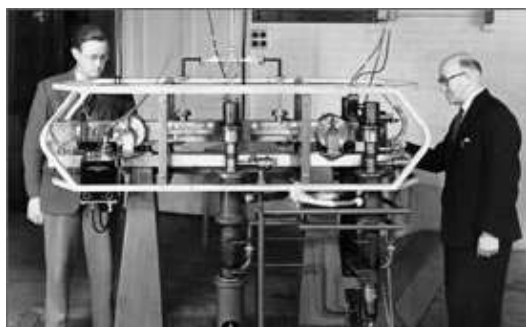
La première horloge à quartz, apparue en 1933, avait l'allure d'un réfrigérateur tourné à l'horizontale. En 1968, la miniaturisation est telle qu'apparaît la première montre-bracelet à quartz, qui deviendra numérique vers 1970. Le principe de l'horloge à quartz repose sur la piézo-électricité, une propriété qui permet de faire vibrer le quartz de manière très régulière lorsqu'on lui applique un courant électrique. Les horloges à quartz sont dix fois plus précises que les meilleures montres mécaniques, elles « perdent » 1 seconde tous les 6 ans seulement.



*Horloge à quartz. Crédit Google*

### 1958 : le temps atomique et l'étalon de la seconde

Le principe de l'horloge atomique est basé sur le fait qu'un atome absorbe ou émet de l'énergie à une fréquence encore plus précise que celle du quartz. L'atome retenu est le césium Cs. Avec un décalage inférieur à 1 seconde pour 3 millions d'années, la précision de l'horloge atomique est telle qu'elle est utilisée depuis la 13e Conférence générale des poids et mesures de 1967, pour fournir un étalon de la seconde : « la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les niveaux hyperfins  $F=3$  et  $F=4$  de l'état fondamental  $6S\frac{1}{2}$  de l'atome de césium 133 ». Aujourd'hui, le temps atomique international est la référence mondiale fondée sur la définition de la seconde atomique, en faisant la moyenne de plus de 300 horloges atomiques à travers le monde. En France, le temps légal repose sur les lectures d'une vingtaine d'horloges atomiques.



*La première horloge atomique. Crédit Google*



**Informations complémentaires :**

Histoire des instruments de la mesure du temps

<http://pedagogie.ac-toulouse.fr/daac/religieux/mesuredutemps.htm>

Cahiers Clairaut sur l'horloge et la mesure du temps

[http://acces.ens-lyon.fr/clea/archives/web/cles.php?id\\_cles=108](http://acces.ens-lyon.fr/clea/archives/web/cles.php?id_cles=108)

Un article sur le principe de fonctionnement de certaines horloges

<http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/Horloges.xml>

Un article de Futura Sciences sur l'horloge atomique

<http://www.futura-sciences.com/magazines/matiere/infos/dico/d/physique-horloge-atomique-12827/>





# L'horloge, du principe à l'utilisation

## Le principe de l'horloge à quartz

Les cristaux de quartz ont la propriété d'être piézo-électrique. Cela signifie que lorsqu'on les soumet à des déformations, les cristaux voient apparaître à leur surface un courant électrique. Inversement, lorsqu'on leur applique une tension électrique, une réaction mécanique se produit et les cristaux de quartz se mettent à vibrer de façon régulière, d'où l'idée de les utiliser en horlogerie. Concrètement, à l'intérieur d'une montre à quartz, une pile miniature fournit de l'énergie électrique. Celle-ci "excite" le quartz et lui permet de vibrer avec une très grande régularité, plus de 32 000 fois par seconde.



*Cristal de quartz  
Crédit Google*

## Mode d'emploi et fonctionnalités

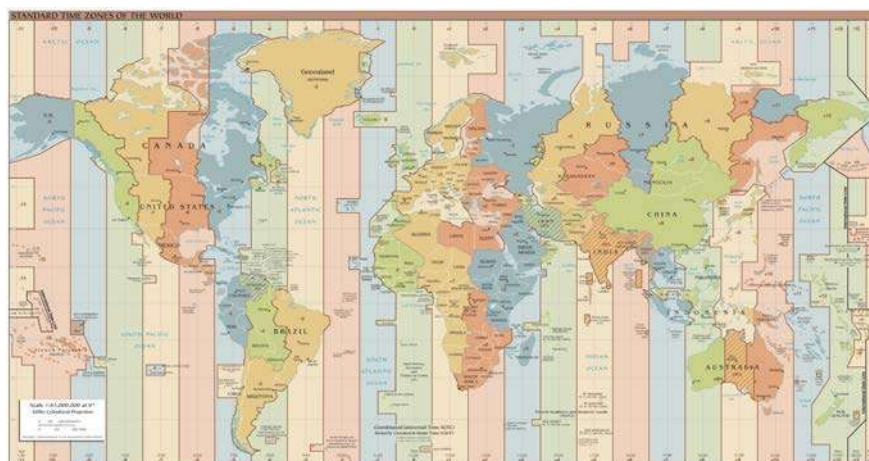
**Instaurer des repères temporels absolus** : un calendrier permet de diviser le temps afin d'y fixer les grands événements de l'année. Différents types de calendriers existent ou ont existé: le calendrier romain, julien, républicain, chinois... Aujourd'hui, c'est le calendrier grégorien qui est majoritairement répandu. Il se base sur le soleil et est divisé en douze mois de durée inégale. Sa particularité réside dans l'instauration des années bissextiles\*.

**Décompter le temps** : à l'aide de minuteur ou d'alarmes, il est possible de lancer un compte à rebours, faisant ainsi décroître le temps jusqu'à expiration.

**Mesurer une durée** : le chronomètre permet de mesurer le temps écoulé à partir d'un point de départ choisi par l'utilisateur.

**Se positionner dans l'espace** : la mesure du temps sert également à se positionner. Tout d'abord, la Terre est découpée en fuseaux horaires, qui délimitent des zones géographiques pour lesquelles l'heure est la même. La zone couverte par un fuseau, plus ou moins limitée par deux méridiens, s'étend du pôle Nord au pôle Sud. Ensuite, du fait de leur grande précision, les horloges atomiques sont employées dans les technologies de positionnement géographique telles que GPS ou Galileo, qui embarquent chacun plusieurs horloges atomiques afin de gagner en précision. (cf dossier « GPS »)

**Synchroniser les systèmes de télécommunication** : les horloges atomiques sont aussi utilisées dans les réseaux de télécommunications pour fournir un signal de référence aux oscillateurs internes des équipements, afin d'assurer une qualité de transmission des services en accord avec les normes internationales. On utilise soit les signaux directement produits par des horloges atomiques soit les signaux élaborés à partir des émissions des satellites de la constellation GPS qui ont la stabilité des horloges atomiques embarquées.



Répartition des zones géographiques selon les fuseaux horaires  
Crédit : Google

### A propos des limites et sources d'erreur

**Précision** : en 2015, une équipe de chercheurs américains a mis au point l'horloge atomique la plus précise au monde, capable de varier de moins d'une seconde en 13,8 milliards d'années. Cette pendule fonctionne avec des atomes d'ytterbium\*. Comparativement à une montre à quartz, cette nouvelle venue est dix milliards de fois plus précise. Tout l'enjeu de la précision de la mesure du temps réside dans le positionnement géographique.

**Une montre qui "a du retard" ou qui "avance"** : les causes de disfonctionnement d'une horloge ou d'une montre peuvent être multiples : une pile usagée, un mécanisme cassé dû à un accident ou à un mauvais entretien...



Horloge. Crédit Google

**L'horloge dans nos vies**  
La mesure du temps est omniprésente dans notre société: utilisée pour se réveiller, s'organiser, cuisiner, communiquer, commercer, ou en guise de bijou... le temps qui passe est constamment à l'esprit des gens !

### Informations complémentaires :

Un article Futura Sciences sur le principe de la montre à quartz  
<http://www.futura-sciences.com/magazines/matiere/infos/dossiers/d/physique-fonctionnement-montre-quartz-21/page/2/>

Un article du Monde sur l'horloge la plus précise au monde  
[http://www.lemonde.fr/sciences/article/2013/08/23/l-horloge-la-plus-precise-au-monde-devoilee\\_3465319\\_1650684.html](http://www.lemonde.fr/sciences/article/2013/08/23/l-horloge-la-plus-precise-au-monde-devoilee_3465319_1650684.html)





# L'horloge au service de la Science

## L'horloge et TARA

### Les temps courts lors des prélèvements

Le temps est une donnée déterminante lors de la collecte de données. En effet, la durée du prélèvement d'échantillons ou d'enregistrement des données impacte directement la quantité de données recueillies. Pour certaines manipulations, la rapidité d'exécution des scientifiques rentre également en jeu. Par exemple, les échantillons de plancton prélevés doivent être congelés rapidement afin de ne pas se détériorer. Enfin, l'heure à laquelle la collecte de données est réalisée a aussi son importance. Cela est souvent lié à l'ensoleillement notamment en biologie où certaines espèces marines ne remontent à la surface que lorsqu'il fait nuit.

#### **Ne pas confondre :**

#### **vitesse et accélération**

La vitesse est une grandeur qui quantifie la rapidité d'un processus (vitesse de déplacement...) tandis que l'accélération mesure la modification de la vitesse dans le temps.



En haut : Prélèvement de jour. Crédit : D.Sauveur

En bas à gauche : Prélèvement de nuit. Crédit : D.Sauveur

En bas à droite : Congélation des échantillons. Crédit : D.Sauveur



### Le temps de la climatologie

Lors de l'expédition Tara Arctic, en 2006-2008, la goélette s'est laissé volontairement emprisonner dans la banquise et dériver avec elle pendant plus de 500 jours. 113 ans plus tôt, Fritjof Nansen avec son navire le "Fram" (modèle sur lequel Tara a été construit) réalisait pour la première fois cette aventure avec succès en récoltant de nombreuses observations scientifiques, et en ramenant tout l'équipage sain et sauf ! Plus d'un siècle séparent ainsi l'épopée de Tara de celle du Fram et la comparaison des deux expéditions a fourni aux scientifiques de précieuses informations sur la climatologie, un domaine qui requiert des échelles de temps de l'ordre de 30 ans minimum. Notamment, la dérive du Fram aura duré 3 ans contre seulement 16 mois pour Tara, indiquant une accélération notable de la dérive de la banquise en un siècle.

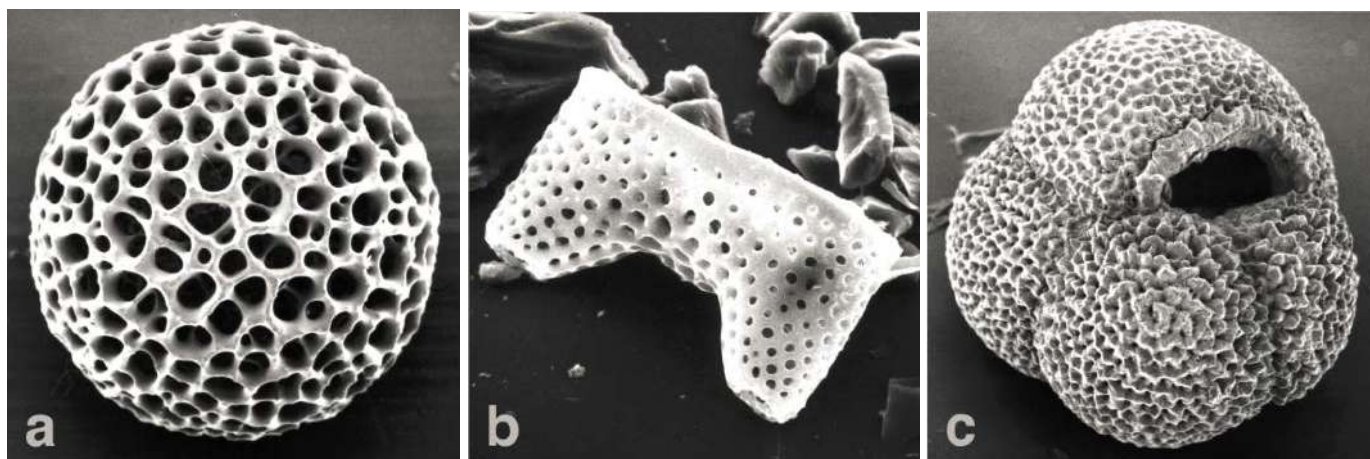


En haut : Trajet de Tara et du Fram en Arctique. Crédit : Tara Expéditions  
En bas à gauche : Tara dans la banquise. Crédit : Tara Expéditions  
En bas à droite : Le Fram. Crédit : Tara Expéditions



## Les temps géologiques

La micropaléontologie a pour objectifs d'étudier les microfossiles, c'est-à-dire le plancton fossilisé, parmi lesquels on trouve les foraminifères, les radiolaires, les diatomées... assez communs et qui peuvent être retrouvés sur l'ensemble des ères géologiques, du Précambrien à l'Holocène. C'est l'équipe du laboratoire de Roscoff, menée par Colombran de Vargas, qui réalise les analyses de micropaléontologie. En comparant les échantillons de plancton prélevés pendant Tara Oceans avec les microfossiles, ils essaient de déterminer l'évolution du plancton à l'échelle des temps géologiques.



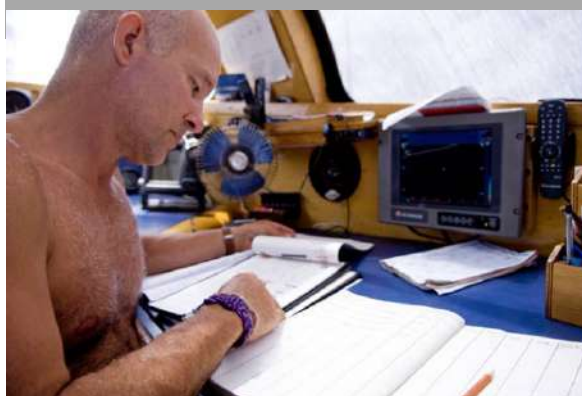
*Microfossiles.  
Crédit : Goole*

### Informations complémentaires :

Le site pédagogique du CRDP sur Tara Arctic  
<http://crdp.ac-paris.fr/tara/>

### Au cœur de l'action

Septembre 2011 : Tara est en pleine mission Tara Oceans. La goélette navigue autour du monde pour prélever du plancton. Xavier Durrieu de Madron, chercheur au CNRS, contrôle la profondeur des filets depuis la passerelle, il note également la position GPS et l'heure...



*Crédit : Girardot*





## Glossaire

**Bissextile** : se dit d'une année de 366 jours au lieu de 365. Le jour supplémentaire est le 29 février. Il y a une année bissextile tous les quatre ans. Les prochaines années bissextiles seront 2012, 2016 et 2020. La Terre fait un tour complet autour du Soleil en 365 jours c'est ainsi que l'on définit une année. Ceci n'est pas tout à fait exact. Très précisément, elle fait ce tour en 365 jours et 6 heures. Chaque année, le calendrier prend 6 heures d'avance sur le Soleil. Au bout de quatre ans, le calendrier a 24 heures d'avance, soit une journée complète.

**Piézoélectricité** : la piézoélectricité a été mise en évidence en 1880 par les frères Curie. Quand on les soumet à des déformations, les cristaux qui possèdent cette propriété, comme le quartz, voient apparaître à leur surface un courant électrique. Inversement, l'application d'une tension électrique sur ces mêmes surfaces donne lieu à une modification des dimensions des cristaux. En bref, si on lui applique un courant électrique, le quartz se met à vibrer de façon régulière... D'où l'idée de l'utiliser en horlogerie.

**Ytterbium** : de symbole Yb et de numéro atomique 70, l'ytterbium est un métal du groupe des terres rares.

