

## 2<sup>e</sup> étage

La mesure du temps

# L'horloge atomique

Fiche professeur

Avec l'horloge atomique – conçue à partir des années 1950/60 – la mesure du temps bascule dans le temps de l'infiniment petit. Ce ne sont plus les oscillations régulières d'un pendule ou d'un ressort spiral qui donnent le rythme à l'horloge. Ici, ce sont les vibrations extrêmement rapides d'un atome que l'homme a su mettre à profit de la mesure du temps. L'horloge atomique est l'horloge la plus précise à l'heure actuelle.

L'avènement des horloges atomiques va aboutir à un gain de précision considérable dans la mesure du temps et précipiter la fin du « temps astronomique\* » au profit d'un « temps atomique\* ». Explications : L'astronomie a traditionnellement servi à la définition du temps. La rotation supposée régulière de la Terre autour de son axe en 24h était utilisée depuis toujours pour mesurer le temps. Avec les horloges atomiques d'une précision inouïe il fallait corriger cette idée. Dans les années 1960 il a été décidé de détacher la mesure du temps de l'astronomie et de redéfinir le temps en fonction des vibrations d'un atome.

Le musée présente trois horloges atomiques : Le **M.A.S.E.R. à ammoniac** (*Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) (fig. 1) et deux **horloges atomiques à jet de césium 133** (fig. 2). Les molécules d'ammoniac ont la forme d'un parapluie, elles peuvent ainsi se retourner de la même façon que cet objet par grand vent ! En effet, passant d'une forme « normale » à une forme « retournée » à un rythme régulier de 24 milliards de fois par seconde (!), ces molécules permettent de concevoir un dispositif horloger d'une stabilité inégalée (voir schéma au verso). Le M.A.S.E.R. du musée du Temps est le lieu, où s'effectue la transition d'un état à l'autre des molécules. Le dispositif au césium dans la même vitrine, plus prometteur, car encore plus précis, constitue l'évolution de ce type de garde-temps.

Plusieurs centaines d'horloges atomiques dans le monde, dont trois à l'Observatoire de Besançon, contribuent aujourd'hui à la définition du temps. Ces données sont centralisées par le Bureau International des Poids et Mesures près de Paris, qui est chargé d'établir le temps atomique international.

### Légende

1 M.A.S.E.R. à ammoniac, Laboratoire de l'Horloge Atomique, Section de Besançon, fin des années 1950 (première horloge atomique française), MDT, © ville de Besançon.  
2 Horloge atomique à jet de césium 133, Dépôt de l'Observatoire de Besançon, autour de 1970, MDT, © ville de Besançon.

1



2



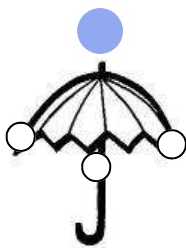
## ... On passe à la pratique !

Corrigé

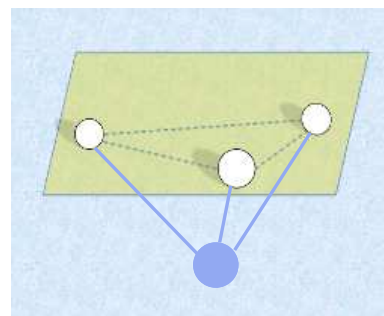
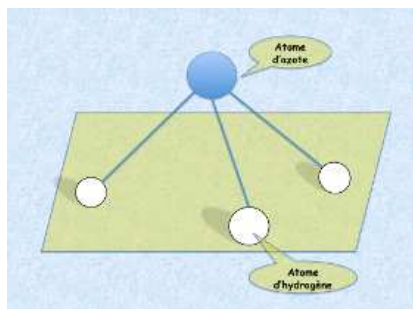
### L'effet parapluie

Voici un dessin de la molécule d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ). Celle-ci a la forme d'une pyramide : L'atome d'azote (bleu) est au sommet, les trois atomes d'hydrogène (blanc) sont à la base. La particularité de cette molécule est de se retourner à un rythme très régulier à la façon d'un parapluie. Ainsi, l'atome d'azote monte et descend en traversant la base des atomes d'hydrogène. Cet effet est utilisé dans les horloges atomiques à ammoniac.

1. Pourriez-vous dessiner la molécule d'ammoniac dans sa position retournée ?



L'atome d'azote passe **sous** le plan formé par les atomes d'hydrogène. La fréquence d'oscillation est de 24 GHz. Grâce à ces oscillations régulières, il est possible de concevoir un dispositif horloger.



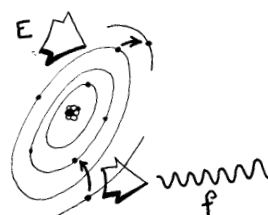
2. Les horloges atomiques retardent d'une seconde au bout de quelques millions d'années seulement. Cela paraît inutilement précis et pourtant ! Avez-vous idée d'un objet usuel actuel qui nécessite d'une telle précision ?

Les horloges atomiques ont des applications dans le domaine du positionnement (systèmes GPS), de la navigation (avions, bateaux, satellites, sondes spatiales) et permettent la synchronisation des télécommunications (téléphones portables).



La seconde est redéfinie en 1967 lors de la 13<sup>e</sup> Conférence générale des poids et mesures dans les termes suivants :  
**La seconde est 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.**

Explications : En recevant de l'énergie (E), l'électron d'un atome de césium effectue un saut d'une couche à une autre. En redescendant sur le niveau inférieur, l'électron rend l'énergie accumulée sous la forme d'une onde électromagnétique (f), utilisée pour régler une horloge atomique (voir dessin).



#### Temps astronomique

Temps basé sur le mouvement des astres. L'alternance du jour et de la nuit due à la rotation de la Terre sur elle-même s'imposait naturellement pour mesurer le temps. Ainsi, la seconde était définie comme étant la  $86\,400^{\text{e}}$  fraction du jour solaire moyen. (La terre fait une rotation autour de son axe en 24 heures ce qui correspond à 86 400 secondes.)

#### Temps atomique

Temps déconnecté du mouvement des astres et relié à l'atome. La seconde est définie comme un multiple du temps mis par un atome pour changer d'état (voir explications loupe).