



# LA gardienne DU TEMPS

CHARLES DE GRANRUT

Martine Feissel, vous ne connaissez sans doute pas. Pourtant, elle est le seul être humain à pouvoir modifier le cours du temps ! Comment ? En mariant deux sortes de temps : celui lié à la rotation de la Terre et le temps fabuleusement précis des horloges atomiques. Visite à une grande prêtresse.

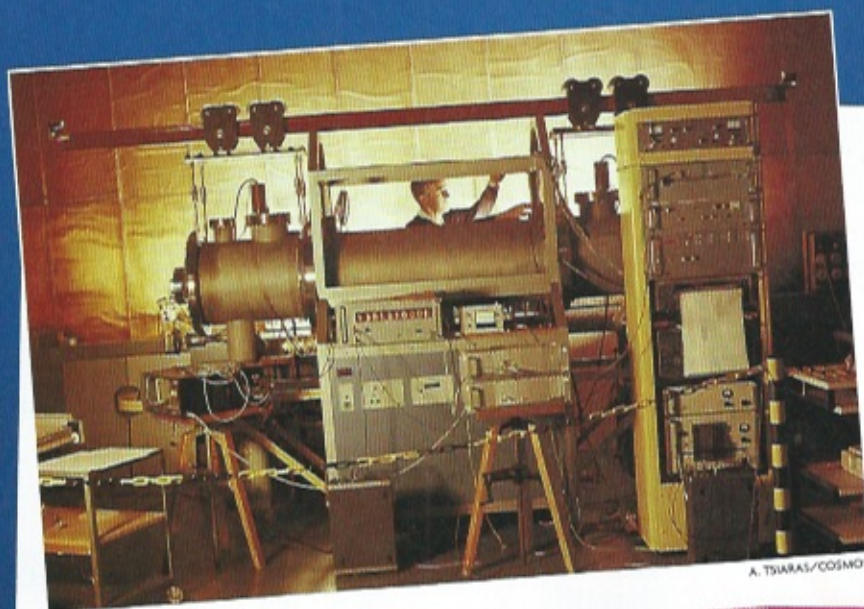
**E**LLE A UN POUVOIR UNIQUE, INCROYABLE, à faire rêver les auteurs de science-fiction : elle est la gardienne du temps. Si, si, le temps lui obéit comme un bon toutou. La preuve : une fois par an, ou peu s'en faut, elle décide de rajouter une seconde au temps de l'humanité. Ça n'a l'air de rien mais une seconde multipliée par 6 milliards d'hommes, ça vous fait tout de suite... 190 ans ! Elle : Martine Feissel, directrice du Bureau central de l'IERS (International Earth Rotation Service), le Service international de la rotation terrestre. À l'Observatoire de Paris, au quatrième étage d'un immeuble qui n'a l'air de rien, cette dame à l'assurance tranquille veille sur la bonne marche du temps. C'est ainsi qu'au soir du 30 juin 1997 elle a fait cadeau d'une seconde à notre nuit. « *Je suis l'allumeur de réverbères du "Petit Prince" de Saint-Exupéry, explique-t-elle : j'applique la consigne des accords internationaux, je dois procéder au bon*

*moment, ne pas laisser le temps dériver.* » Ce langage nous a intrigués, on a voulu en savoir plus. Qu'est-ce donc que le temps que nous utilisons ?

## LA NAISSANCE DU TEMPS UNIVERSEL

Une pendule va nous aider à défricher le terrain. Nous y trouvons deux choses : le « tic-tac » et l'aiguille qui tourne. Autrement dit, un étalon, une unité d'une part (c'est la durée qui s'écoule entre le tic et le tac) et la succession soigneusement comptée de ces unités d'autre part (c'est le mouvement de l'aiguille qui fonctionne comme un compteur). Aujourd'hui, l'unité de temps c'est la seconde ; et une horloge, ça sert à « empiler » les secondes, à donner une échelle continue de temps, sans arrêts : top... top... top...

Il n'en a pas toujours été ainsi. Pendant des millénaires la rotation de notre planète a rythmé la vie par le retour



A. TSIARAS/COSMOS

## L'HORLOGE ATOMIQUE

Ci-contre, une vraie horloge atomique, ci-dessous, un schéma de principe. En (1) un four vaporise un peu de césium 133. Les atomes passent ensuite dans un faisceau laser (2) qui les met en vibration. En traversant la cavité (3), dite de Ramsey, les atomes se calent à l'unisson sur la fréquence d'une onde produite par le quartz (4). En clair, tout ce petit monde vibre en chœur. Or, cette fréquence de vibration est définie de façon d'autant plus précise que le temps du trajet AB est long : la machine « veut » voir l'atome le plus longtemps possible pour connaître le plus exactement possible sa fréquence de vibration. En (5), un second laser détecte la fréquence de l'atome de césium qui est transformée plus loin en signal d'horloge.

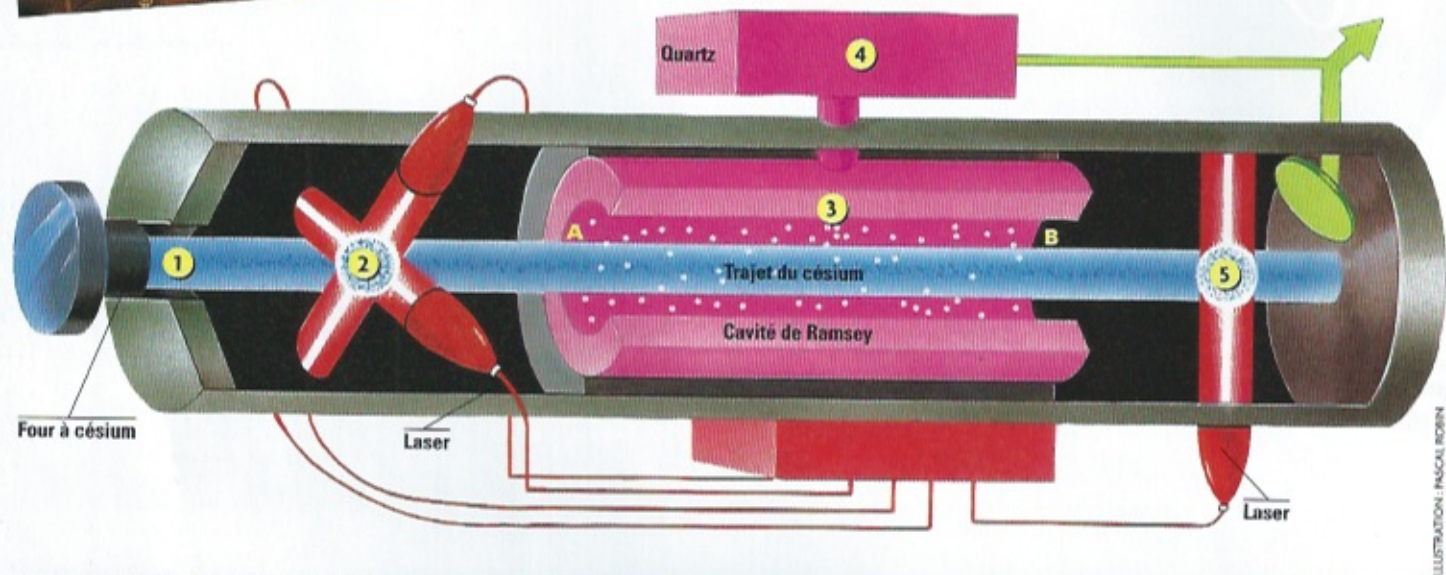


ILLUSTRATION : INGOAL ROBIN

des jours et des nuits : nos ancêtres n'avaient nul besoin de consulter leur Swatch pour trouver le moment propice de partir à la chasse au mammoth ou cultiver leurs champs. C'est au XVII<sup>e</sup> siècle que les choses se sont compliquées par la bonne grâce de Galilée, Huygens et Newton qui mettent sur les rails la science, au sens moderne du terme.

Or, les physiciens et les navigateurs ont ceci de commun : une bonne connaissance de l'heure leur est tout à fait indispensable pour savoir où ils en sont. À ces gens, il ne suffit plus de voir, une fois par jour, « midi à sa porte » pour remettre sa montre à l'heure en la recalant sur l'astre du jour. Ils exigent une unité définie avec rigueur : pour cela, au siècle dernier, on a découpé le jour en fines rondelles. C'est dit : la seconde sera la 86 400<sup>e</sup> partie du jour.

Seulement voilà, la durée du jour est variable ! Les 365 rotations terrestres qui composent l'année n'ont pas toutes exactement la même durée. Horreur !

Quel jour choisir ? Comme on ne savait pas trop, on s'est d'abord attaché à gommer les différences en considérant une valeur moyenne qu'on appelle « jour solaire moyen ». Puis, en 1960, nouveau bricolage : on décide de faire référence à la moyenne des 365 jours et des poussières de l'année du siècle, ce que l'on nomme l'année tropique 1900. Bref, les spécialistes se sont cramponnés comme des fous au mouvement de la Terre pour définir le temps.

Malheureusement pour eux, « l'horloge Terre » bat de la breloque. Une vraie patate ! Tout un tas de causes concourent à rendre sa rotation irrégulière : le bourrelet qu'elle porte à sa taille (le renflement équatorial), les mouvements de l'atmosphère, les divagations de certains courants marins, ou encore les mouvements de ses entrailles. La plus notoire étant sans doute l'action de la Lune sur les océans, d'où résulte un lent ralentissement : actuellement la durée d'un jour augmente de 1,5 milliseconde par siècle. Face à ces caprices,

les spécialistes ne peuvent faire mieux que de mesurer une échelle de temps irrégulière baptisée « UT1 » (voir encadré page 26).

### LE RECORD DU MONDE D'EXACTITUDE

Pour trouver mieux, il fallut attendre 1955, date de l'invention de l'horloge atomique à césium (voir ci-dessus) par deux Britanniques, Essen et Parry. La bête est d'une précision diabolique, cent millions de fois supérieure à ce qui existait avant elle ! L'incertitude sur sa dérive est de 1 nanoseconde\* par jour, soit 1 seconde en 3 millions d'années ! Pas étonnant qu'on décide, en 1967, de redéfinir la seconde à partir d'elle. Celle-ci devient officiellement « 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 ». Abs-

(\* ) La nanoseconde est la milliardième partie de la seconde. On l'écrit 10<sup>-9</sup> s.

traction, hypertechnicité, physique de haut vol, ah ! le temps atomique est plus sec que le bon vieux temps de la rotation terrestre...

Pourtant, question précision, on peut encore faire mieux ! Ainsi, le LPTF (Laboratoire primaire du temps et des fréquences), installé à l'Observatoire de Paris, s'est doté d'une petite merveille, la « fontaine atomique » (voir ci-contre). Cette machine détient le record du monde d'exactitude : sa dérive est inférieure à 1 seconde en 15 millions d'années ! Le projet PHARAO, quant à lui, se donne pour mission de faire encore mieux en plaçant une horloge atomique spéciale en orbite. Les conditions de micropesanteur conduiront à améliorer de dix fois les performances de la fontaine atomique.

Résumé de toute cette histoire : nous voilà à la tête de deux temps. Un temps atomique qui est à la seconde ce que l'inspecteur du fisc est au contrôle : inflexible ; et un temps astronomique qui pour être universel n'en est pas moins fluctuant au gré des humeurs de notre planète. Il serait tentant de ne conserver que le temps atomique, bonheur des physiciens qui exigent un étalon parfait. Mais les astronomes, pour ne citer qu'eux, ont besoin d'une échelle de temps qui remonte loin dans le passé, à une époque où les horloges atomiques n'existaient pas ! Pas question, pour l'instant, de renoncer au vieux lien entre le temps et la rotation de la Terre. Voilà pourquoi la grande prêtresse du temps qu'est Martine Feissel ajoute, à la demande, 1 seconde au Temps universel coordonné (UTC) ; lequel, tout en suivant le temps atomique, ne doit pas s'écarter du temps astronomique de plus de 0,9 seconde en vertu d'accords internationaux. L'un doit coller comme une ombre aux basques de l'autre.

## POURQUOI CETTE COURSE À LA PRÉCISION ?

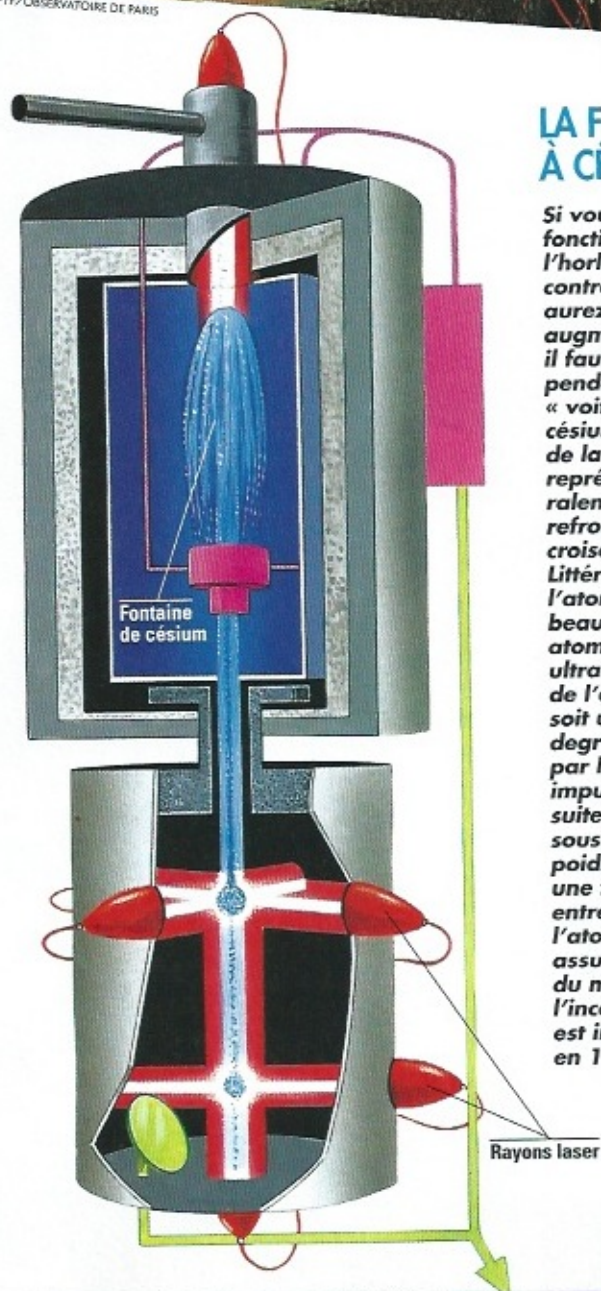
Reste la question : pourquoi cet immense effort vers l'exactitude dans la fabrication du temps ? Quels maniaques ont besoin de connaître les milliardièmes de seconde ? Eh bien, sachez que les clients ne manquent pas !

La physique fondamentale d'abord, toujours à l'affût d'une mesure plus précise de la vitesse de la lumière, ne pourrait rien tenter sans la précision atomique du temps. Par exemple, une minuscule variation des horloges peut donner des différences de 0,5 à 10 centimètres sur la mesure du rayon ter-



LPTF/OBSERVATOIRE DE PARIS

La fontaine à césium parisienne.



## LA FONTAINE À CÉSIMUM

Si vous avez compris le fonctionnement de l'horloge atomique (ci-contre, page 24), vous en aurez déduit que, pour augmenter son exactitude, il faut augmenter le temps pendant lequel la machine « voit » les atomes de césium 133. D'où l'astuce de la fontaine atomique représentée ci-contre : ralentir les atomes en les refroidissant sous les feux croisés de 6 rayons laser. Littéralement « gelé », l'atome de césium perd beaucoup de vitesse. Les atomes froids et même ultra-froids (température de l'ordre du micro-kelvin, soit un millionième de degré absolu !) reçoivent par laser une légère impulsion vers le haut. À la suite de quoi ils retombent sous l'action de leur propre poids, comme l'eau dans une fontaine. La durée entre l'aller et le retour de l'atome est suffisante pour assurer à l'engin le record du monde d'exactitude : l'incertitude sur sa dérive est inférieure à 1 seconde en 15 millions d'années !

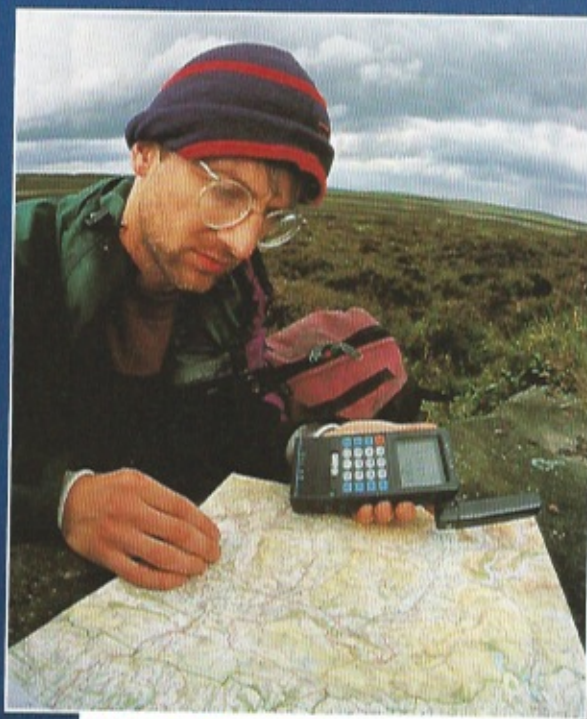
## Les différentes sortes de temps

**UT1** : Temps universel, c'est le temps solaire du méridien international dit méridien de Greenwich.

**TAI** : Temps atomique international. C'est la moyenne d'environ 230 horloges atomiques commerciales de haut niveau réparties dans 65 laboratoires dans le monde. C'est au BIPM (Bureau international des poids et mesures), à Sèvres, qu'on élabore le TAI. La subtile recette utilisée (on dit algorithme) est telle que la panne d'une horloge ne perturbe pas le résultat d'ensemble.

**UTC** : Temps universel coordonné. C'est un compromis entre le TAI et le UT1, adopté en 1972. UTC est la base des temps légaux partout dans le monde.

**TAF** : Temps atomique français. Il est construit comme le TAI, mais à l'échelle nationale, par le LPTF (Laboratoire primaire du temps et des fréquences) de l'Observatoire de Paris. Par ailleurs, c'est son horloge maîtresse qui donne les « tops » de l'horloge parlante (tél. : 36 99).



DAVID FANZES/AP/COSMOS

S. NEUMANN/PIRELLA GÖTTSCHE LOWE

## LE SYSTÈME DE REPÉRAGE GPS

Pour que le commandant du pétrolier connaisse sa position avec précision, il faut qu'au-dessus de sa tête 3 ou 4 satellites GPS (Système global de positionnement) le bombardent d'ondes radio. Ces ondes transportent chacune un signal d'horloge, émis au même instant précis. Mais les satellites étant situés à des distances différentes du navire, les signaux arrivent à des moments différents. À bord, le récepteur GPS (photo ci-dessus) les compare et, connaissant la vitesse des ondes, en déduit sa position. Au sol, des stations de contrôle branchées sur des horloges atomiques gardent un œil vigilant sur les signaux émis par les satellites.



ILLUSTRATION: RAOUL EDEIN