

et tolèrent une dérive du temps entre les différents composants, jusqu'à ce que l'horloge globale du réseau soit remise à l'heure par une synchronisation d'ensemble. Les secondes intercalaires n'ont pas d'incidence – ni en bien ni en mal – pour de telles applications.

En revanche, les secondes intercalaires peuvent poser des problèmes aux systèmes qui nécessitent une synchronisation précise, mais qui ne sont pas conçus pour les traiter. Dans certains systèmes informatiques répartis, le partage de données séquentielles par paquets pourrait par exemple être perturbé si des composants du réseau ignorent les secondes intercalaires.

Une partie du problème vient du système de notification. L'annonce officielle de l'ajout d'une seconde intercalaire est publiée dans le bulletin C de l'IERS. Les ingénieurs doivent ensuite traduire cette information en une forme compréhensible par les différents systèmes informatiques. Certains systèmes comme le GPS diffusent l'in-

formation sur les secondes intercalaires à venir peu après leur annonce, soit près de six mois avant leur application. Un récepteur GPS pourrait ainsi être la méthode la plus fiable et la plus pratique pour être informé de façon automatique des secondes intercalaires à venir. Cependant, le temps indiqué par le système GPS ne tient pas compte des secondes intercalaires et est actuellement en avance de 15 secondes sur l'UTC, ce qui complique certaines applications spatiales.

## Plus de contraintes que d'avantages ?

L'Institut américain des étalons et de la technologie (le NIST) diffuse en ondes courtes les notifications de seconde intercalaire jusqu'à 30 jours à l'avance. Certains protocoles pour les dispositifs en réseaux n'avertissent qu'une minute à l'avance, ce qui peut se révéler trop tardif, par exemple si la mise à jour n'est pas automatisée.

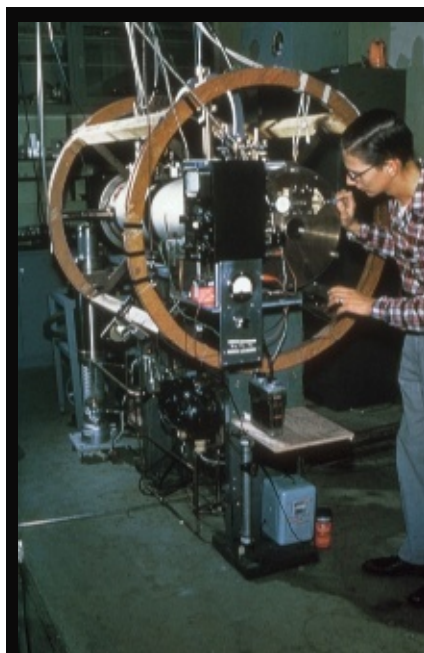
L'affichage des secondes intercalaires est un autre problème du Temps universel coordonné. Si les horloges analogiques ne peuvent pas s'adapter à une minute de 61 secondes, en théorie, les horloges numériques et les logiciels le peuvent. Utiliser une seconde intercalaire « négative » (pour passer de 23 : 59 : 58 à 00 : 00 : 00) serait encore plus simple. En pratique, le manque de matériel informatique et de circuits électroniques bon marché permettant de gérer l'ajout d'une seconde intercalaire – en affichant par exemple 23 : 59 : 60 – a conduit à des moyens très divers et peu conventionnels pour représenter l'UTC à l'approche d'une seconde intercalaire. Cela peut aussi poser des problèmes pour la synchronisation des horloges d'ordinateurs.

Quand l'UTC avec ses secondes intercalaires a été introduit, au début des années 1970, il apportait une commodité et des avantages certains pour l'industrie des télécommunications. Trente ans plus tard, les secondes intercalaires sont beaucoup moins appréciées, en raison des problèmes que nous venons d'évoquer. C'est pourquoi l'ITU-R a décidé en 2001 de réétudier cette question. Après réflexion, un groupe de recherche de cette institution a recommandé l'abandon des secondes intercalaires, tout en conservant l'appellation de Temps universel coordonné.

L'Assemblée des radiocommunications de l'ITU-R s'est réunie à Genève en janvier 2012 pour voter pour ou contre la suppression des secondes intercalaires d'ici 2018. À l'heure où ces lignes sont écrites, nous ignorons le résultat du vote. Mais si cette proposition était approuvée, le Temps universel coordonné cessera d'être synchronisé avec le Temps universel, c'est-à-dire avec le temps solaire, pour suivre une échelle parallèle au temps atomique.

Que se passera-t-il alors ? Le principal avantage de l'abrogation des secondes intercalaires serait que les systèmes qui n'exploitent pas le temps astronomique n'auront plus d'efforts à faire pour se tenir à jour, traiter et afficher ces secondes. Cela entraînerait une simplification notable pour les télécommunications et certains systèmes de navigation électroniques, tels le GPS.

En revanche, tous ceux qui travaillent avec des informations historiquement datées seront pénalisés. Par ailleurs, certaines missions spatiales et autres applications astronomiques devront prendre garde à distinguer le Temps universel coor-



**5. LA PREMIÈRE MESURE ATOMIQUE**  
du temps, via la fréquence d'un rayonnement du césium 133, a été réalisée en 1952 avec l'instrument NBS-1 (ci-dessus) du NIST, l'Institut américain des normes et de la technologie. L'étalon actuel du temps civil et des fréquences des États-Unis est mesuré avec une précision de une seconde pour 100 millions d'années par l'instrument NIST-f1 (à droite).



donné sans secondes intercalaires et le Temps universel.

L'abandon des secondes intercalaires perturberait aussi les horloges et les dispositifs de télécommunication où la gestion des secondes intercalaires est intégrée. Des changements statutaires et réglementaires seraient également nécessaires dans les législations nationales, pour lesquelles le temps astronomique est l'étalon explicite ou implicite.

À plus long terme, sans secondes intercalaires, l'écart entre l'UTC, calé sur le temps atomique, et l'UT1, fondé sur le rythme réel du jour et de la nuit, va continuer à croître. L'heure officielle et l'heure vraie indiquée par les mouvements du Soleil vont lentement se décaler. En poussant à l'extrême, si rien n'est fait, il sera un jour midi à minuit, et la date du jour changera en plein milieu de la journée!

Des ajustements encore plus conséquents que les secondes intercalaires, mais plus espacés – des minutes ou des heures intercalaires – seront ainsi indispensables. Il n'est pas *a priori* évident que ces ajustements soient plus faciles à mettre en œuvre que les secondes intercalaires.

## Le ciel, gardien du temps

Certes, aucun système de décompte du temps ne peut durer indéfiniment. Même le calendrier grégorien nécessitera un jour des ajustements par l'ajout de jours intercalaires exceptionnels, ou cédera la place à un calendrier plus précis, car ses règles ne sont elles aussi que des approximations des relations astronomiques réelles.

De même, dans sa forme actuelle, le Temps universel coordonné ne fonctionnera plus dans un millier d'années : à cette époque, pour le synchroniser avec le Temps universel, il faudra plus de secondes intercalaires qu'il n'y a de mois où les ajouter ! En effet, si la durée du jour solaire a en moyenne raccourci ces dernières années en raison de phénomènes géophysiques internes à notre planète, sur le long terme, le jour solaire va s'accroître de quelques millisecondes chaque siècle, à cause des forces de marée exercées par la Lune. La durée actuelle du jour astronomique est d'environ 86 400,001 secondes. Nous avons donc besoin d'une seconde intercalaire tous les deux à trois ans. Dans 50 000 ans, le jour astronomique vaudra environ 86 401 secondes. Avec le système actuel,



**6. LE TEMPS ATOMIQUE INTERNATIONAL** est établi par le Bureau international des poids et mesures (BIPM), situé à Sèvres, près de Paris, à partir des mesures de plus de 300 horloges atomiques réparties dans le monde entier (points rouges). L'insertion des secondes intercalaires pour maintenir le temps atomique à moins de 0,9 seconde du Temps universel, réglé sur la rotation de la Terre, est décidée par l'IERS (*International Earth Rotation and Reference Systems Service*), hébergé à l'Observatoire de Paris.

une seconde intercalaire serait alors nécessaire chaque jour !

Il est intéressant d'imaginer comment les générations futures s'adapteront à cette situation. Comme toute technologie, les horloges en disent beaucoup sur les civilisations. Mais le décompte du temps est un problème actuel et continuera à l'être durant les décennies et les siècles à venir. Nous aurons toujours besoin de distinguer la nuit du jour, de diviser nos journées en heures et de fixer la date des événements importants.

Il n'existe pas de consensus dans les milieux industriels et universitaires, ni dans les instances gouvernementales sur la modification du Temps universel coordonné et la suppression des secondes intercalaires. Mais si nous brisons le lien entre le temps et les cycles astronomiques, nous ne sommes pas certains de pouvoir le renouer un jour. Même si les secondes intercalaires étaient supprimées, le problème sous-jacent – comment concilier l'avance constante du temps atomique sur le temps astronomique – ne disparaîtra jamais. En outre, l'UTC reste la base légale du décompte du temps civil dans la plupart des pays ; c'est une convention qui ne devrait pas être modifiée par caprice. Les délibérations de l'ITU-R résoudront-elles ou amplifieront-elles ces problèmes ? Seul... le temps nous le dira. ■

### ✓ SUR LE WEB

Site de l'ITU :  
<http://www.itu.int/home/>

Site du BIPM : <http://www.bipm.fr/>

Site de l'IERS :  
<http://hpiers.obspm.fr/>

### ✓ BIBLIOGRAPHIE

D. Savoie, *Vers une nouvelle échelle de temps ?*, *Revue du Palais de la Découverte*, n° 377, novembre-décembre 2011.

D. Finkleman *et al.*, *The debate over UTC and leap seconds*, *AIAA Paper* 2010-8391, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2010.

D. Savoie, *Dates, ères, styles et calendriers*, *Dossier Pour la Science* n° 42, janvier-mars 2004.  
[http://bit.ly/doss42\\_savoie](http://bit.ly/doss42_savoie)

D. Savoie, *Les cadrans solaires*, Belin, 2003. <http://bit.ly/cadrans>

R. Nelson *et al.*, *The leap second : its history and possible future*, *Metrologia*, vol. 38, pp. 509-529, 2001.

J. Lefort, *La saga des calendriers*, Belin/Pour la Science, 1998.