

## **Allons-nous vers la fin de la seconde intercalaire dans le Temps universel coordonné ?**

Le 18 novembre 2022 les représentants des états membres du Bureau international des poids et mesures (BIPM), réunis à la Conférence générale des poids et mesures (CGPM) à Versailles ont adopté une résolution qui permettra de préserver la continuité du Temps universel coordonné (UTC) au moins pendant un siècle à partir de l'année 2035. Pour que ceci soit possible, il faudra que les organisations et communautés concernées arrivent à un accord pour décider de la nouvelle valeur maximale de la différence entre le temps de la rotation terrestre (le Temps Universel UT1) et le temps atomique qui est la référence internationale, UTC. Cette valeur est actuellement limitée à 0.9 s, ce qui a provoqué l'insertion de 27 secondes intercalaires depuis l'adoption de cette procédure, en 1972.

### **Commençons par l'histoire**

Pour arriver à comprendre les motivations de la décision que la CGPM vient de prendre il est nécessaire de remonter au début du temps atomique, dans les années 1960.

La première définition formelle de la seconde était la 86 400<sup>ème</sup> partie du jour solaire moyen, associée au Temps solaire moyen du méridien initial (en fait le méridien de Greenwich), recommandé comme l'échelle de temps de référence le 14 octobre 1884 à la Conférence internationale sur le méridien à Washington dans sa résolution V :

« Il est résolu que ce jour universel est un jour solaire moyen, qu'il commence pour le monde entier à l'instant du minuit moyen du méridien initial, coïncidant avec le début du jour civil et le changement de date sur ce méridien, et qu'il est compté de zéro à vingt-quatre heures. »

Ce temps moyen dénommé par erreur GMT (Greenwich Mean Time) était un temps civil commençant à minuit et non à midi comme le temps moyen des astronomes et devait devenir en 1928 le Temps Universel UT sur décision de l'Union astronomique internationale (UAI) .

Vers 1940 on a reconnu que la vitesse de rotation terrestre n'était pas uniforme, et par conséquent elle ne pouvait pas servir à la réalisation d'une échelle de temps uniforme. On a introduit UT1, défini comme le temps solaire moyen, donc affecté des irrégularités de la rotation terrestre. Ces irrégularités se manifestent par une variation de la vitesse de rotation de la Terre, ce qui modifie la longueur du jour (Fig. 1). Cette variation correspond, en moyenne, à un ralentissement de cette rotation, ce qui augmente la durée du jour et donc de la seconde définie en 1884.

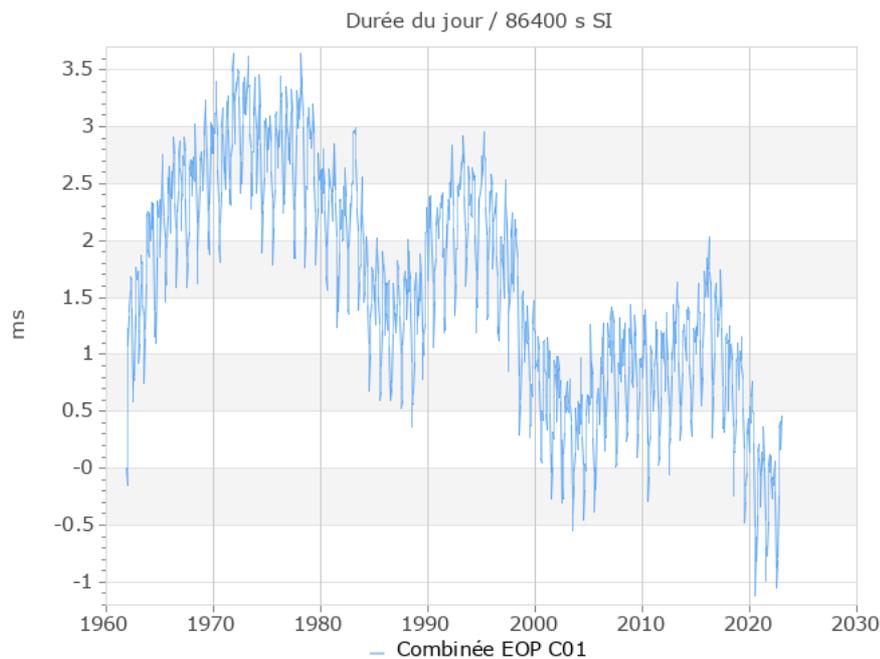


Figure 1. Variations de la durée du jour à partir de 1962, IERS Earth Orientation Centre (nombre de millisecondes à ajouter à la valeur de base de la durée du jour)

Afin de ne plus définir le temps (unité et échelle) à partir d'un phénomène de période variable, l'UAI adopte en 1958 le temps des éphémérides comme échelle de temps, basé sur le mouvement orbital de la Terre autour du Soleil. La définition pratique du temps des éphémérides était fondée sur l'équation de la longitude moyenne du Soleil de Newcomb en fonction du temps. En utilisant cette formule on a calculé le nombre de secondes dans l'année tropique 1900 (d'équinoxe à équinoxe), ce qui a donné la définition de la seconde adoptée par la 11ème CGPM en 1960 (CGPM 1961) : « La seconde est la fraction  $1/31\,556\,925,9747$  de l'année tropique pour 1900 janvier 0 à 12 heures du temps des éphémérides ».

La réalisation du temps des éphémérides était difficile, dans la pratique il était déterminé à partir de la comparaison des observations de la position de la Lune avec les éphémérides correspondantes, calculé a posteriori et accessible un an plus tard à travers de sa différence avec le temps universel. Le temps des éphémérides n'a été finalement connu que des astronomes, et le temps de la rotation de la Terre a continué à régner.

### De la seconde astronomique à la seconde physique

Au moment de l'adoption de la seconde des éphémérides, Luis Essen et John Parry avaient développé le premier étalon de fréquence basé sur la transition hyperfine de l'isotope 133 du césium. La première publication date de 1955 (Essen and Parry 1955), quand le premier étalon commençait à opérer à l'institut de métrologie britannique (National Physical Laboratory, NPL). On avait là un phénomène naturel périodique, plus fiable que la rotation de la Terre. Rapidement, des étalons commerciaux sont apparus et quelques grands laboratoires s'en sont équipés ; la première échelle atomique a été construite en 1959. C'est le Bureau international de l'heure (BIH), chargé de la réalisation du temps universel, qui entreprit la réalisation d'une échelle atomique fondée sur la comparaison entre les étalons. Le BIH a fixé l'origine de cette échelle atomique en coïncidence avec UT2 (UT1 dépourvu des irrégularités saisonnières de la vitesse de rotation de la Terre) au 1 janvier 1958. Pour maintenir les échelles rotationnelle et atomique proches, le BIH appliquait une correction linéaire qui consistait à des sauts de temps de 100 ms associés à des ajustements de fréquence (<https://hpiers.obspm.fr/>)

eoppc/bul/bulc/TimeSteps.history). Cette échelle fut l'embryon du Temps atomique international.

L'horloge d'Essen et Parry était potentiellement capable de réaliser la seconde avec une exactitude meilleure de plusieurs ordres de magnitude que celle fondée sur la rotation de la Terre. Très rapidement la complexité de la réalisation du temps des éphémérides, les incohérences dans la définition de la seconde et le progrès rapide dans la construction d'horloges atomiques à césium, ont fait que la 12<sup>ème</sup> CGPM, en 1964 a considéré qu'il ne fallait plus attendre pour fonder les mesures physiques de temps sur des étalons atomiques ou moléculaires de fréquence. Elle habilite le Comité international des poids et mesures (CIPM) à désigner les étalons de fréquence à employer temporairement et invite les diverses organisations concernées et les laboratoires experts à poursuivre des études pour aboutir à une nouvelle définition de la seconde (CGPM 1965). Cette définition devait être tout naturellement le fruit d'un consensus entre astronomes et physiciens.

Tout changement dans la définition d'une unité doit assurer la continuité de la nouvelle unité avec celle qui la précède. Dans le cas de la seconde, il fallait tenir compte du fait que la seconde fondée sur la rotation terrestre était variable, ce qui présentait un inconvénient. Il a été donc décidé d'établir la continuité avec la seconde des éphémérides, puisque les astronomes croyaient qu'elle était plus stable et égale à la valeur moyenne de la seconde de la rotation de la terre calculé sur environ trois siècles.

Pour déterminer la durée de la seconde atomique en fonction de la seconde des éphémérides, il fallait comparer la fréquence obtenue à partir des observations astronomiques à celle d'une transition atomique. William Markowitz a inventé en 1951 une caméra lunaire pour chronométrer des occultations d'étoiles par la Lune, qui mettait en relation le temps de la rotation terrestre et le temps des éphémérides. Un programme fut conçu pour associer une horloge à chacun des deux phénomènes de manière indépendante, et comparer leurs fréquences. À l'époque on utilisait des horloges piézoélectriques, capables d'assurer une référence de fréquence stable pendant quelques mois. Plusieurs organisations se sont engagées dans ce programme ; Markowitz à l'Observatoire Naval de Washington (USNO) faisait les observations avec la caméra lunaire et réalisait le chronométrage avec une horloge piézoélectrique ; au laboratoire national de métrologie anglais (NPL) Essen associait la fréquence d'une horloge piézoélectrique à la transition atomique du césium ; pour comparer les deux mesures de fréquence des horloges piézoélectriques on impliquait des stations d'émission de signaux qui opéraient aux USA et en Angleterre. Ainsi on a mesuré un intervalle de temps entre signaux horaires en fonction du temps des éphémérides à l'USNO et en fonction du temps atomique au NPL et on les a comparées (Markowitz et al. 1958). Avec des comparaisons sur un intervalle de trois ans entre 1955 et 1958 ils ont mesuré la fréquence du césium qui a abouti à la définition atomique de la seconde, adoptée par la 13<sup>ème</sup> CGPM en 1967 : « 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 » (CGPM 1969). La figure 2 montre l'évolution de l'exactitude des trois réalisations de la seconde.

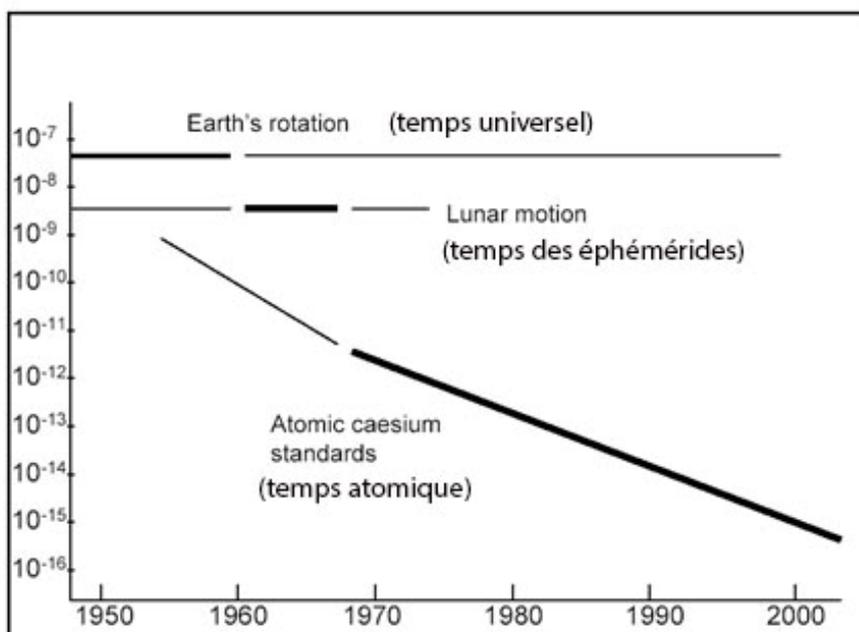


Figure 2. Exactitude relative des définitions successives de la seconde. En gras, la définition officiellement adoptée.

L'adoption de cette nouvelle définition de la seconde a marqué le début du Temps atomique international (TAI). La CGPM a demandé au CIPM en 1971 (CGPM 1972) de proposer une définition de TAI fondée sur l'échelle atomique que le BIH réalisait déjà depuis une dizaine d'années. Curieusement, le CIPM n'a pas répondu rapidement à la demande de définir le TAI ; néanmoins sa réalisation a été assurée sans interruptions par le BIH, puis, à partir de 1987 par le BIPM.

### UTC, une échelle de temps discontinue

L'échelle de temps fondée sur la rotation de la Terre (UT1) était une référence pratique pour certaines applications, telles que l'astronomie et la navigation maritime pour qui l'heure indiquait la position de la Terre autour de son axe. Le ralentissement de la rotation de la Terre allait progressivement augmenter l'écart entre UT1 et TAI. Il fallait donc trouver une référence de temps issue d'un compromis entre les échelles astronomique et atomique. Après de multiples discussions tenues entre astronomes et physiciens métrologistes à l'Union internationale des télécommunications (UIT), il a été décidé de définir une échelle de temps construite avec la seconde atomique par rapport à laquelle la dérive du temps de la rotation terrestre UT1 était contrainte par une valeur maximale et ce qui évite une valeur changeante pour la seconde de cette échelle de temps. Après des essais, cette valeur a été fixée à 0,9 seconde, car suffisante pour les besoins de la navigation maritime. Ainsi est né le Temps universel coordonné (UTC), une échelle dont l'unité est la seconde atomique, mais qui suit le temps universel UT1 à mieux que 0,9 s. Cette nouvelle échelle de temps est alors affectée de discontinuités d'une seconde mais qui suit UT1 de façon à maintenir la relation  $|UT1 - UTC| < 0,9 \text{ s}$ . Cette procédure entraînait une « insertion de seconde intercalaire », ou « leap second insertion » en anglais, et s'est appliquée à partir de 1972, quand UTC a été adopté comme l'échelle internationale de référence.

Pendant les discussions sur les inconvénients d'un UTC discontinu du fait des secondes intercalaires il a fallu faire de la lumière sur les responsabilités des organisations concernées avec la définition, réalisation et dissémination de l'échelle de temps de référence. C'est à ce moment-là que nous avons compris qu'il fallait urgemment que la CGPM complète la tâche qui

attendait depuis presque 50 ans. La définition officielle des échelles atomiques TAI et UTC adoptée par la CGPM est arrivée en 2018 (CGPM 2019), et elle a marqué une étape importante dans l'évolution des échelles de temps au XXI<sup>ème</sup> siècle, comme on verra par la suite.

La seconde intercalaire insérée dans l'UTC s'est avérée bien adaptée à la technologie et aux besoins de l'époque. Par ailleurs, elle était moins compliquée et plus facile à coordonner que les corrections de fréquence du BIH. Il ne faut pas oublier que l'insertion de la seconde intercalaire s'applique en même temps dans toutes les horloges qui représentent l'UTC, et que l'on doit assurer que sa dissémination reste correcte. Il existe une procédure rigoureuse à suivre qui est établie dans la Recommandation UIT-R TF.460-6 (UTI-R 2002) qui précise l'attribution de dates à des événements au voisinage d'une seconde intercalaire. Du fait que la longueur du jour astronomique a été, en moyenne jusque-là, supérieure à 86 400 secondes du TAI, seules des secondes intercalaires positives ont été appliquées. Au début de 1972 l'écart entre les échelles atomique et rotationnelle totalisait 10 secondes (entières), qui ajouté aux 27 secondes intercalaires positives insérées depuis, font que la différence entre le temps atomique continu, représenté par TAI et l'échelle de temps de référence UTC est de 37 s, et cela au moins jusqu'à la fin de 2023.

En 1987 le BIPM a eu la responsabilité du calcul de TAI et de l'UTC en étroite coopération avec plus de 80 laboratoires nationaux qui opèrent des horloges atomiques ; le Service International de la rotation terrestre et les systèmes de référence (IERS), successeur du BIH, détermine et publie les paramètres d'orientation de la Terre, et en particulier la valeur de UT1 – UTC ; il annonce les dates d'insertion de la seconde intercalaire (de préférence le 30 juin ou le 31 décembre) ; l'UIT a la responsabilité de la dissémination des signaux de temps et fréquence qui représentent l'UTC.

### **Faut-il arrêter la seconde intercalaire ?**

Les moyens technologiques du 21<sup>ème</sup> siècle sont bien différents de ceux des années 1970. Les horloges atomiques permettent de nos jours de réaliser des échelles de temps avec une incertitude de l'ordre de quelques nanosecondes. Il s'agit des échelles « intégrées », construites par une succession continue de secondes atomiques ; c'est le cas de l'UTC dont la stabilité est de quelques parts en  $10^{16}$  pendant un mois. Ce temps ultraprécis et les méthodes pour sa dissémination ont permis de développer les moyens actuels de communication, particulièrement l'internet, d'opérer des systèmes de navigation globale par satellite, et bien d'autres applications qui nécessitent une référence de temps continue sans seconde intercalaire. L'étendu de ces applications ne cesse d'augmenter, et le temps précis et continu devient essentiel au fonctionnement des infrastructures critiques. L'ajout des secondes intercalaires, à des intervalles irréguliers, à des dates non-prédictibles est une atteinte contre la qualité métrologique de l'UTC.

La réflexion sur la probable suspension de la seconde intercalaire dans l'UTC a démarré vers l'an 2000. Depuis, des organisations se sont engagées dans la discussion, des questionnaires ont été analysés, les communautés concernées se sont exprimées pour converger vers une possible solution.

Depuis 1972, seulement des secondes positives ont été insérées dans l'UTC, suivant la procédure recommandée par l'UIT, la dernière en date le 30 juin 2015. Dans cette procédure, les deux dates préférentielles pour appliquer la seconde intercalaire sont le 30 juin et le 31 décembre. Si elle est positive, le jour aura une seconde de plus, ajoutée tout de suite après 23 h 59 min 59 s. Mais une horloge ne peut pas représenter l'heure 23 h 59 min 60 s. A cette impossibilité de représenter l'heure lors de l'insertion d'une seconde intercalaire, il faut ajouter

le problème de mesurer un intervalle de temps autour d'une seconde intercalaire. Ceci a conduit à l'utilisation de stratégies d'ajout d'une seconde qui ne suivent pas la procédure recommandée. Certains systèmes digitaux de temps, ont deux secondes avec le même nom (23 h 59 min 59 s suivi de 23 h 59 min 59 s) ; des fournisseurs de services web font des ajustements de fréquence pendant un intervalle de temps pour « distribuer » une seconde (Google, Facebook, etc.).

### **La seconde intercalaire : une gêne de plus en plus importante**

L'impact de la seconde intercalaire est particulièrement important pour les marchés financiers, plus particulièrement dans des régions où l'insertion se produit pendant des heures de travail, comme en Asie, en Australie, et dans l'ouest des États-Unis. C'est aussi très important pour les services de pointage temporel (correspondance événement-date) basés sur une réalisation UTC(k) provenant d'un centre de dissémination des signaux horaires. Dans certains cas, comme au Japon, ce service est interrompu pendant un intervalle de temps qui contient la seconde intercalaire. Ces deux cas sont associés à l'impossibilité de garantir la traçabilité métrologique à l'échelle de temps de référence UTC à cause de la présence d'une marque de temps qui ne peut pas être représentée par une horloge ; un événement qui se produit à l'instant de l'insertion de la seconde correspondrait à l'heure 23 h 59 min 60 s, mais l'horloge affiche 23 h 59 min 59 s, créant une ambiguïté avec la date correspondant à la seconde précédente, du même nom.

Un cas particulier, ce sont les systèmes de navigation globale par satellite (GNSS, Global Navigation Satellite System), dont l'application sociétale la plus connue est le positionnement GPS. Les GNSS ont besoin d'une référence de temps continue pour assurer la synchronisation du système, ils utilisent donc des temps spécifiques, continus, construits avec des données d'horloges de chaque système. Ces temps sont maintenus à moins de 100 ns de l'UTC, mais sans insérer les secondes intercalaires, à l'exception du système russe GLONASS, qui applique au temps de GLONASS la seconde intercalaire en même temps que l'UTC. D'autre part, chaque fournisseur GNSS a adopté de manière arbitraire la date origine du temps du système. L'origine du temps du système américain GPS a été fixée à 0h UTC du 6 janvier 1980 ; du fait de l'insertion des secondes intercalaires sur l'UTC depuis, la différence actuelle est de 18 s. Le temps du système européen Galileo a la même époque origine que le temps du GPS, ils ont donc seulement une différence de l'ordre de quelques dizaines de nanosecondes. Le temps du système de navigation chinois BeiDou est également continu, mais son origine a été fixée à 0h UTC le 1 janvier 2006, donc il est décalé de 14 s des temps de GPS et de Galileo et son écart à UTC varie : il est de 4 s actuellement. Le temps de GLONASS est calé sur UTC (avec une différence de 3 h pour le mettre sur l'heure de Moscou), et par conséquent sa différence par rapport aux temps des autres systèmes change avec l'insertion des secondes intercalaires. Les GNSS donnent accès aux temps des systèmes dans leurs messages de navigation. Ceci fait que des utilisateurs ayant besoin de références de temps continues se servent des temps des GNSS, avec les risques que ceci implique. D'une part, il s'agit de temps conçus pour des opérations internes des systèmes qui n'ont pas la qualité métrologique des réalisations de l'UTC. Ils peuvent être modifiés par les fournisseurs des services GNSS. D'autre part, il y a entre les temps des GNSS des différences fixes dues au choix de l'époque origine, tels que GPS et Galileo avec BeiDou, et des différences variables par rapport à GLONASS. Il est évident que l'assimilation de ces temps à des références est fortement déconseillé, car des utilisateurs non avertis risquent de croire qu'elles sont toutes équivalentes au niveau des nanosecondes. Même pire, elle met en péril l'importance de l'UTC comme référence unique. La figure 3 montre les différences par rapport à TAI de l'UTC et des temps des GNSS en secondes entières, provoquées par l'insertion des secondes intercalaires, au moins jusqu'au 31 décembre 2023.

Il est évident qu'un UTC continu, sans secondes intercalaires serait très avantageux.

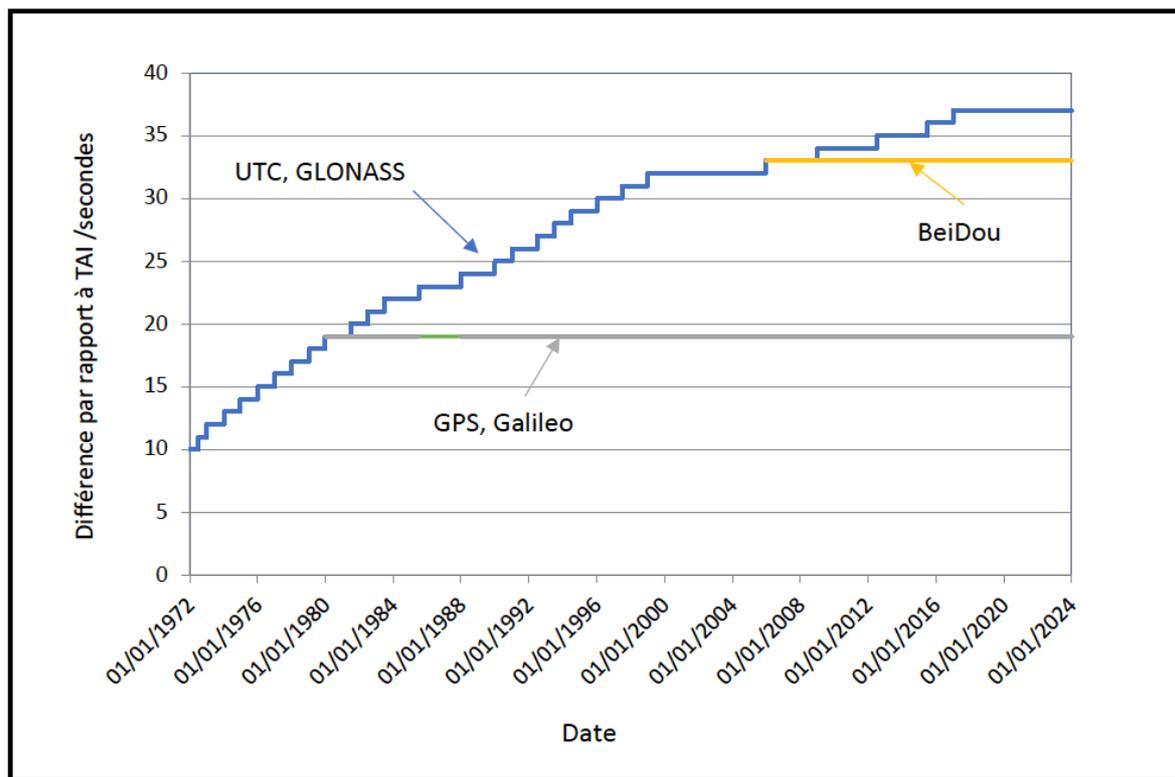


Figure 3. Différences par rapport à TAI (en secondes) de UTC, et des temps des systèmes GPS, GLONASS, Galileo et BeiDou, jusqu'au 31 décembre 2023.

### La discussion sur l'arrêt de la seconde intercalaire dans l'UTC

Tout au début de la discussion, au sein de l'UIT, on parlait de manière erronée d'une possible « redéfinition de l'UTC, sans secondes intercalaires ». En réalité, il s'agissait de modifier la manière de synchroniser UTC au temps de la rotation terrestre UT1, procédure décrite dans la résolution de l'UIT. La définition métrologique de l'UTC restait la même, mais ce concept a pris du temps à être accepté. L'adoption de la résolution sur la définition des échelles de temps par la CGPM en 2018 a mis fin à la confusion.

Entre temps, des travaux à l'UIT ont évalué les avantages et inconvénients de conserver la procédure actuelle de maintenir UTC à moins d'une seconde de UT1 par l'ajout occasionnel d'une seconde. Ces travaux sont coordonnés par l'UIT, en coopération avec diverses organisations internationales, telles que l'Organisation maritime internationale (OMI), l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), la Conférence générale des poids et mesures (CGPM), le Comité international des poids et mesures (CIPM), le Bureau international des poids et mesures (BIPM), le Service international de la rotation terrestre et des systèmes de référence (IERS), l'Union géodésique et géophysique internationale (UGGI), l'Union radio-scientifique internationale (URSI), l'Organisation internationale de normalisation (ISO), l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et l'Union astronomique internationale (UAI).

Ainsi, l'utilisation de l'UTC a été considéré dans les services et applications suivantes :

- Les services de navigation globale par satellite (GNSS),

- Les services de communication par satellite,
- Les services de sécurité maritime,
- Les services digitaux de dissémination du temps,
- Les services de pointage temporel,
- Les services financiers,
- La navigation maritime,
- La métrologie du temps et la traçabilité à la seconde du Système international d'unités,
- L'astronomie,
- La géodésie,
- Les radio sciences,
- La météorologie,
- La technologie de l'information et l'industrie du futur.

Parmi tous ces services, intéressons-nous aux utilisateurs astronomes. Quels sont les avantages et les inconvénients de la suppression du saut de seconde ? Pour la fabrication des éphémérides, le paramètre temps des équations n'est qu'un paramètre mathématique uniforme. Le problème qui va se poser est celui de la publication des éphémérides : dans quelle échelle de temps ? La concrétisation du paramètre temps des éphémérides s'est fait dans le Temps Terrestre (TT) qu'il faut alors convertir dans l'échelle de temps officielle, l'UTC, Temps Universel Coordonné, accessible aux utilisateurs des éphémérides. Si cette conversion est relativement simple dans le passé, elle devient impossible dans l'avenir puisque nous ne savons pas quand auront lieu l'ajout de seconde intercalaire ! La suppression de cet ajout est donc essentiel pour que les éphémérides déjà publiées ne se décalent pas d'une seconde. Mais qu'en est-il des prédictions des phénomènes liés à l'observateur, à sa position et donc à la position de la Terre autour de son axe à l'instant de l'observation ? L'ajout d'une seconde intercalaire n'est utile que si l'on admet une erreur de 0,9 seconde mais, si UTC suit la rotation de la Terre avec une précision de 0,9 seconde, la Terre, elle-même, ne saute pas d'une seconde au moment de l'ajout. Seul UT1, l'échelle de temps qui suit exactement la rotation de la Terre doit être utilisé, mais, là encore, seulement dans le passé, UT1, bien qu'étant prédictible à court terme, est calculé après coup. Nous voyons ainsi que la suppression du saut de seconde sera bien accueilli par les astronomes. Les seuls utilisateurs que cela pourrait gêner sont des observateurs qui considèrent l'échelle de temps qu'ils utilisent comme un marqueur de la position de la Terre autour de son axe. L'utilisation de l'UTC actuel entraîne une erreur de 0,9 seconde qui, en général, ne les gêne pas mais une dérive de ce décalage ne leur permettra plus d'utiliser UTC pour leurs observations sans un recalage permanent.

Les organisations concernées avec la problématique du temps, telles que le BIPM, l'IERS, l'Union Internationale des Radio Sciences (URSI), l'Union Astronomique Internationale (IAU) ont contribué largement aux discussions. Au cours des discussions, la plupart des opposants au changement ont modifié leurs avis ; parmi eux le Royaume Uni, qui argumentait un problème sociétal du fait que son temps légal, encore appelé GMT allait diverger sans limite par rapport à l'UTC continu, et la Chine qui voulait préserver le temps de l'astronomie comme référence. Une seule opposition est restée ferme, celle de la Russie, car le système de navigation GLONASS est conçu de telle manière à ce que certaines de ses procédures soient limitées par la valeur maximale de 0,9 s de l'écart entre UTC et UT1, ce qui impose d'importants changements, qui vont jusqu'au remplacement des satellites.

Suivant une résolution de la Conférence Mondiale des Radiocommunications de l'année 2015 (CMR-15), l'UIT en collaboration avec les organisations pertinentes a été sollicité pour réaliser des études afin de trouver la solution à ce problème. La résolution de la CGPM sur la définition des échelles de temps a ouvert le chemin, suivie du rapport du Groupe de Travail 7A de l'UIT, conclu en octobre (<https://www.itu.int/pub/R-REP-TF.2511/fr>), des résultats d'une ample

consultation du BIPM et d'une nouvelle résolution adoptée par la CGPM en novembre 2022 qui propose d'élargir la valeur maximale de la différence entre UTC et TAI pour maintenir UTC continu au moins pendant une centaine d'années (CGPM, Résolution 4, 2022). Bien entendu, il faudra établir une période de transition avant de procéder au changement pour permettre aux communautés d'utilisateurs et fournisseurs de services de s'adapter à la nouvelle stratégie. Même si la plupart des applications demandent à faire le changement assez rapidement, le système de navigation GLONASS demande à attendre une quinzaine d'années, ce qui remettrait le changement à 2035.

Il reste encore à franchir deux étapes. La prochaine Conférence mondiale des radiocommunications en novembre 2023 va considérer le rapport du Groupe de Travail 7A et la Résolution 4 de la CGPM (2022). Puis, il y aura les travaux pour établir la valeur maximale de la valeur UTC – UT1 et la date de son application, qui seront soumis à la CGPM en 2026.

Sommes-nous proches de la fin de la seconde intercalaire ? En fait, il reste toujours quelque part le sentiment qu'il faudrait être vigilant à l'écart entre les échelles astronomique et atomique, d'où la proposition d'augmenter la tolérance de 0,9 seconde permettant d'éviter d'avoir des secondes intercalaires pendant un siècle, mais aussi la recommandation de surveiller en permanence l'évolution de l'écart entre les échelles, tâche de l'IERS. Au-delà d'un siècle, ce ne serait plus de secondes intercalaires qu'il s'agirait mais de minutes ou d'heures. Un écart d'une heure entre UTC et UT1 serait atteint dans environ 3300 ans. Après tout, une heure c'est peu (nous avons déjà actuellement un écart plus grand avec le temps solaire) et 3300 ans, c'est beaucoup ! Nous ne pouvons pas prédire l'évolution de la technologie dans le prochain siècle, ce qui inclut la réalisation du temps et de ses multiples applications. Il est bien possible que cette période d'attente nous mène même à oublier, dans quelques décades, que, de temps en temps, une seconde venait perturber la continuité du temps.

## Références

CGPM, Comptes rendus de la 11ème Conférence générale des poids et mesures (1960), 1961, p86

ESSEN L., PARRY J. An Atomic Standard of Frequency and Time Interval: A Cæsium Resonator. *Nature* **176**, 280–282 (1955)

CGPM, Comptes rendus de la 12ème Conférence générale des poids et mesures (1964), 1965, p93

MARKOWITZ W., HALL R. G., ESSEN L. and PARRY J. Frequency of the cæsium in terms of ephemeris time *Phys. Rev. Lett.* **1**, 105

CGPM, Comptes rendus de la 12ème Conférence générale des poids et mesures (1967), 1969, p103

CGPM, Comptes rendus de la 14ème Conférence générale des poids et mesures (1971), 1972, pp77-78, et *Metrologia* 1972, **8**(1), pp32-36

CGPM, Comptes rendus de la 26ème Conférence générale des poids et mesures (2018), 2019, p213

UIT-R, Recommandation UIT-R TF.460-6, Émissions de fréquences étalons et de signaux horaires, [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/tf/R-REC-TF.460-6-200202-I!!PDF-F.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/tf/R-REC-TF.460-6-200202-I!!PDF-F.pdf)

CGPM, Comptes rendus de la 27ème Conférence générale des poids et mesures (2018), et préparation, <https://www.bipm.org/fr/cgpm-2022/resolution-4>

IERS bulletin A (écart entre UT1 et UTC):

[https://datacenter.iers.org/data/latestVersion/6\\_BULLETIN\\_A\\_V2013\\_016.txt](https://datacenter.iers.org/data/latestVersion/6_BULLETIN_A_V2013_016.txt)