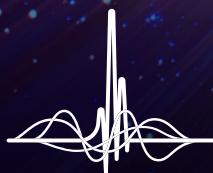


# L'avenir du Temps universel Coordonné



**Restez au cœur  
de l'actualité //  
// Restez informé**



**Nouvelles de l'UIT**

Découvrez l'actualité et les perspectives du numérique

**Abonnez-vous aujourd'hui**

# Le temps dans le monde d'aujourd'hui

Doreen Bogdan-Martin, *Secrétaire générale de l'UIT*

Le temps a une importance fondamentale pour notre vie sur Terre et nos sociétés en dépendent depuis longtemps.

Le temps est sans doute l'un des biens les plus précieux dont nous disposons. Sans système de mesure du temps, nous n'aurions pas de jours ou de mois définis, pas d'anniversaires, de midi ou de minuit. Même s'il ne nous arrive que rarement de méditer sur l'importance du temps, nous serions tout simplement perdus s'il n'existe pas. C'est l'existence d'une référence de temps qui nous permet d'être synchronisés et organisés.

Un réseau complexe de systèmes de référence de temps nous permet de gérer le temps au quotidien, dans un monde qui évolue en permanence. L'heure est affichée partout, sur les ordinateurs, les smartphones, les téléviseurs et toutes sortes d'autres applications et systèmes. Diverses entités, des entreprises technologiques aux systèmes de navigation par satellite, en passant par les radiodiffuseurs et les astronomes, sont tributaires d'un système de mesure du temps fiable.

Au cours des dernières années, certains experts ont cherché à apporter des modifications au temps universel coordonné (UTC), en remettant en question la nécessité de procéder à des ajustements par secondes intercalaires. Dans le monde numérique d'aujourd'hui, la quête d'une référence de temps précise et largement acceptée soulève des questions sur la manière et le bienfondé de concilier les variations de la rotation de la Terre avec le rythme régulier du temps atomique.

Les points de vue des auteurs de ce numéro des Nouvelles de l'UIT ne manqueront pas d'alimenter les discussions qui sont actuellement menées sur ce sujet dans l'optique de la Conférence mondiale des radiocommunications (CMR-23), qui aura lieu en novembre et décembre prochain.

Les radiocommunications revêtent une importance essentielle pour l'Union internationale des télécommunications (UIT), afin de favoriser une transformation numérique durable et de parvenir à une connectivité efficace pour tous. Œuvrons de concert pour faire en sorte que le système de référence de temps du futur soit adapté à l'humanité tout entière.



*“L'existence d'une référence de temps nous permet d'être synchronisés et organisés.”*

Doreen Bogdan-Martin

# L'avenir du Temps universel Coordonné

## Editorial

### 3 Le temps dans le monde d'aujourd'hui

Doreen Bogdan-Martin Secrétaire générale de l'UIT

## Introduction

### 6 L'avenir du temps

Mario Maniewicz, Directeur du Bureau des radiocommunications de l'UIT

### 9 L'avenir commence maintenant

Martin Milton, Directeur du Bureau international des poids et mesures

## Vue d'ensemble

### 12 Progrès concernant les émissions de fréquences étalon et de signaux horaires

Joseph Achkar, Président du Groupe de travail 7A du Secteur des radiocommunications de l'UIT

### 15 Temps universel coordonné (UTC): Vue d'ensemble

Patrizia Tavella, Directrice du Département du temps, BIPM

### 19 Les principales échelles de temps utilisées aujourd'hui

Vadim Nozdrin, Conseiller des commissions d'études, Commission d'études 7 de l'UIT-R - Services scientifiques

## Réseaux numériques

### 24 Synchronisation et incidences des discontinuités du temps UTC

Stefano Ruffini, Rapporteur pour la Question 13/15, Commission d'études 15 de l'UIT-T, et Silvana Rodrigues, ingénierie système principale, Huawei

### 28 Les incidences du temps UTC sur l'industrie 4.0

Tomasz Widomski, cofondateur, Elproma

### 31 La synchronisation du temps dans les centres de données

Oleg Obleukhov, ingénieur de production, Meta, et Ahmad Byagowi, chercheur, Meta

### 35 Programme du Centre national de diffusion du temps du Royaume-Uni

Helen Margolis, Responsable des sciences pour le temps et les fréquences, Laboratoire national de physique du Royaume-Uni



Photo de couverture : Adobe Stock  
(Élément d'image de la NASA)

ISSN 1020-4148  
itunews.ITU.int  
6 numéros par an  
Copyright: © ITU 2023

Rédacteur en chef: Neil MacDonald  
Concepteur artistique: Christine Vanoli  
Assistante d'édition: Angela Smith

Traduction et mise en page:  
Département des conférences et  
des publications

Rédaction/Publicité:  
Tél.: +41 22 730 5723/5683  
E-mail: itunews@itu.int

Adresse postale:  
Union internationale des  
télécommunications  
Place des Nations  
CH-1211 Genève 20 (Suisse)

Déni de responsabilité: les opinions exprimées dans cette publication sont celles des auteurs des articles et n'engagent pas l'UIT. Les appellations employées dans la présente publication et la présentation des données, cartes comprises, qui y figurent n'impliquent de la part de l'UIT aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. Les références faites à des sociétés ou à des produits spécifiques n'impliquent pas que l'UIT approuve ou recommande ces sociétés ou ces produits, de préférence à d'autres, de nature similaire, mais dont il n'est pas fait mention.

Sauf indication contraire, toutes les photos sont des photos UIT.

## Systèmes de navigation

**38 Le système de navigation par satellite BeiDou et la seconde intercalaire UTC**

Yuting Lin, Ingénieur principal, Centre de navigation par satellite de Beijing; Yuanxi Yang, Chargé de recherche, Laboratoire clé d'État pour l'ingénierie d'informations géographiques et Bijiao Sun, Ingénieur, Laboratoire clé d'État pour l'ingénierie d'informations géographiques, Chine



## Sciences

**41 Incidences concrètes sur l'astronomie**

Dennis McCarthy, Représentant de l'Union astronomique internationale auprès du Comité consultatif du temps et des fréquences (CCTF) et du BIPM

**44 Diffusion du temps: une perspective historique**

Christian Bizouard, Astronome, Observatoire de Paris (SYRTE) et Centre d'orientation terrestre, IERS

**47 Synchronisation des réseaux électriques**

Jeff Dagle, ingénieur électricien en chef, Pacific Northwest National Laboratory (PNNL)

**51 Temps UTC: Situation passée, actuelle et future**

Andreas Bauch, chercheur principal, PTB (Institut national de métrologie) et Karsten Buckwitz, conseiller principal en matière de spectre, BNetzA (Agence fédérale des réseaux), Allemagne

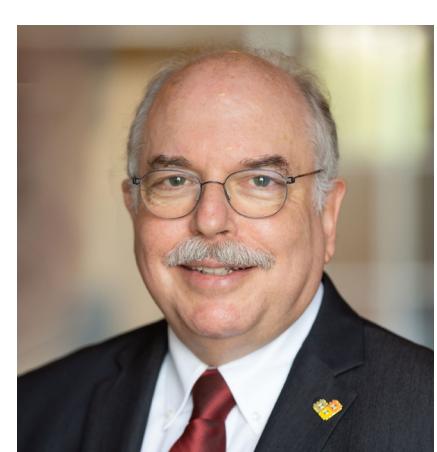
**54 La mesure du temps et les besoins de conformité dans le domaine de l'astronomie**

P. Paul Gabor, Vice-Directeur, de l'Observatoire du Vatican, États-Unis



## CMR-23: Le compte à rebours a commencé

**57 CMR-23: Le compte à rebours a commencé**



## L'avenir du temps

Mario Maniewicz, Directeur du Bureau des radiocommunications de l'UIT

Quelle que soit la manière dont il est mesuré, le temps est essentiel à toutes nos activités quotidiennes et au bon fonctionnement de nos sociétés. La définition du temps a été et reste une préoccupation pour les scientifiques du monde entier. Après avoir utilisé pendant des années la rotation de la Terre comme base pour déterminer la durée d'une journée et définir les échelles de temps, l'adoption du temps universel coordonné (UTC) en 1971 a marqué un tournant dans la définition du temps.

Un peu plus d'un demi-siècle plus tard, j'ai le plaisir de vous présenter ce numéro spécial des Nouvelles de l'UIT, consacré à l'utilisation et aux applications futures du temps UTC. Élaboré conjointement par l'Union internationale des télécommunications (UIT) et le Bureau international des poids et mesures (BIPM), ce numéro contient des articles et des entretiens sur l'avenir des diverses modalités de comptabilisation du temps.

L'Union joue un rôle central dans la définition et la diffusion du temps UTC, principalement par l'intermédiaire du Groupe de travail (GT) 7A du Secteur des radiocommunications de l'UIT (UIT-R), qui a pour mandat d'étudier les services scientifiques relatifs aux signaux horaires et aux émissions de fréquences étalon.

*Quelle que soit la manière dont il est mesuré, le temps est essentiel à toutes nos activités quotidiennes et au bon fonctionnement de nos sociétés.*

Mario Maniewicz

Le GT 7A est notamment chargé de l'étude de la diffusion, de la réception et de l'échange des services des fréquences étalon et des signaux horaires ainsi que de leur coordination à l'échelle internationale. L'un des principaux produits du GT 7A est la Recommandation [UIT-R TF.460-6](#), intitulée «Émissions de fréquences étalon et de signaux horaires». Incorporée par référence dans le [Règlement des radiocommunications de l'UIT](#), cette Recommandation fournit la définition officielle du temps UTC.

## Une échelle de temps de référence universelle

Actuellement, le temps UTC est utilisé à des fins diverses, de la mesure des minutes dont le grand public a besoin pour suivre son emploi du temps à celle des nanosecondes synchronisées nécessaires aux applications de pointe, telles que la navigation à l'aide des systèmes mondiaux de navigation par satellite, par exemple le système mondial de localisation (GPS), le système GLONASS et, plus récemment, les systèmes Galileo pour l'Europe et BeiDou pour la Chine.

La nécessité de disposer d'une échelle de temps de référence universelle unique a été mise en avant par la plupart des communautés d'utilisateurs, des organisations internationales et des experts de la diffusion du temps.

La question essentielle est de savoir s'il convient de faire du temps UTC une échelle de temps continue, au lieu de l'échelle de temps atomique évoluant par paliers qui est utilisée actuellement. Tous s'accordent à reconnaître que d'autres échelles de temps et références temporelles de système ne devraient pas être utilisées comme sources de référence de temps et que la pratique relative à la détermination du temps UTC devrait être adaptée aux besoins des utilisateurs du XXI<sup>e</sup> siècle.

Un tel changement permettrait de tirer parti d'une échelle de temps continue dans laquelle tous les systèmes de navigation électronique et tous les systèmes informatisés modernes pourraient fonctionner. Il ne serait alors plus nécessaire de recourir à des systèmes de temps ad hoc spécialisés pour éviter les écarts imprévisibles dus aux paliers d'une seconde dans le temps UTC.

## À quoi ressemblera la future échelle de temps de référence?

Pour satisfaire le plus grand nombre d'applications possibles, la future échelle de temps de référence devrait être:

- déterminée au niveau international;
- universellement acceptée; et
- continue (au moins pour une longue période).

Il est également important que la future échelle de temps de référence ait une relation connue avec la rotation de la Terre et que son décalage par rapport au Temps universel (UT1) soit largement connu et diffusé. Une future échelle de temps de référence pourrait intégrer les avantages offerts par le temps UTC existant, tout en tenant compte des exigences exposées ci-dessus. Une telle échelle pourrait être obtenue en maintenant le temps UTC actuel, tel que défini par la Conférence générale des poids et mesures de 2022, et en assouplissant la limite relative au décalage entre le temps UT1 et le temps UTC.

“

*La nécessité de disposer d'une échelle de temps de référence universelle unique a été mise en avant par la plupart des communautés d'utilisateurs, des organisations internationales et des experts de la diffusion du temps.*

”

## Une période de transition appropriée

Toute modification de l'échelle de temps de référence soulève des questions relatives à la compatibilité avec les systèmes et dispositifs antérieurs. Compte tenu de l'importance de nombreux aspects des infrastructures nationales essentielles, des mesures précises doivent être prises pour régler le problème de la compatibilité en amont, si une décision est prise en ce qui concerne une future échelle de temps de référence.

Afin de laisser aux systèmes existants suffisamment de temps pour s'adapter aux changements apportés au temps UTC, certains utilisateurs (astronomes, services de navigation maritime, mobile maritime, aéronautiques et de radiorepérage, notamment) ont demandé à bénéficier d'une période de transition pour mettre à jour leurs systèmes. Cette période serait d'au moins 15 ans dans le cas du système GLONASS, entre la décision et sa mise en œuvre.

Dans tous les cas, la période de transition devrait être suffisamment longue pour permettre aux équipements d'utilisateurs existants de continuer de fonctionner sans perte de qualité de service. Pendant la transition vers une échelle de temps continue, la Recommandation [UIT-R TF.460-6](#) sera mise à jour.

## Études de l'UIT qui seront examinées à la CMR-23

La prochaine [Conférence mondiale des radiocommunications](#) (CMR-23), qui se tiendra à Dubaï (Émirats arabes unis), examinera les résultats des études de l'UIT-R concernant les effets de changements apportés aux échelles de temps, en application de la Résolution 655 (CMR-15). Le rapport [UIT-R TF.2511-0](#), intitulé «Contenu et structure des signaux horaires devant être diffusés par des systèmes de radiocommunication et divers aspects de l'échelle de temps de référence actuelle et de celles qui pourraient être définies dans l'avenir, y compris leurs incidences et applications dans le domaine des radiocommunications», fournit des renseignements complémentaires sur ce sujet.

## Échange de compétences spécialisées et de points de vue

Je suis très reconnaissant au BIPM et aux auteurs de ce numéro spécial des Nouvelles de l'UIT de nous faire part de leurs compétences spécialisées et de leurs points de vue. Leurs connaissances ainsi mises en commun constituent une source d'information incontournable sur la science de la mesure du temps, qui permettra d'alimenter et d'enrichir le débat actuel sur l'avenir du temps, ainsi que sur la possibilité ou non d'abolir la seconde intercalaire.

*La prochaine CMR-23, qui se tiendra à Dubaï (Émirats arabes unis), examinera les résultats des études de l'UIT-R concernant les effets de changements apportés aux échelles de temps.*

*Je suis très reconnaissant au BIPM et aux auteurs de ce numéro spécial des Nouvelles de l'UIT de nous faire part de leurs compétences spécialisées et de leurs points de vue.*



## L'avenir commence maintenant

Martin Milton, Directeur du Bureau international des poids et mesures

Pendant des millénaires, les accords relatifs à la mesure du temps ont été essentiels au progrès de l'humanité. Dans la mesure où l'humanité et les comportements humains continuent d'évoluer, les demandes visant à améliorer l'échelle de temps sont devenues plus fréquentes et plus insistantes.

En 2021, le Bureau international des poids et mesures (BIPM) a mené une enquête auprès de ses utilisateurs et parties prenantes sur les incidences de discontinuités du temps universel coordonné (UTC) sur les applications actuelles de la mesure du temps. Les données recueillies montrent que seul un temps UTC véritablement continu, mesuré avec précision et sans ajustements fréquents, peut répondre aux besoins des utilisateurs au XXI<sup>e</sup> siècle.

Le changement fait partie de nos vies. Néanmoins, en tant que garants institutionnels du temps international, nous devons agir avec soin et prudence. Dans nos travaux sur ce sujet, il nous faut respecter le fait que les cycles astronomiques observables au quotidien demeurent la référence de temps symbolique pour la quasi-totalité de la population.

Dans ce contexte, nous devons examiner les incidences qu'aurait toute décision visant à modifier le temps UTC sur l'astronomie, ainsi que sur les activités sociales unissant l'humanité au cycle naturel de la Terre.

*Dans la mesure où l'humanité et les comportements humains continuent d'évoluer, les demandes visant à améliorer l'échelle de temps sont devenues plus fréquentes et plus insistantes.*

Martin Milton

## Une décision récente concernant l'avenir du temps UTC

La Conférence générale des poids et mesures (CGPM) tenue en novembre 2022 a réuni 64 États Membres du BIPM, qui ont approuvé une Résolution sur l'utilisation et l'évolution future de l'UTC dans laquelle il est proposé qu'une augmentation de la différence entre le temps UTC et l'angle de rotation de la Terre soit mise en place d'ici à 2035.

Compte tenu de cette décision, le BIPM attend avec intérêt de collaborer avec les entreprises et les organisations et, naturellement, avec l'Union internationale des télécommunications (UIT), pour réaliser et diffuser un étalon de temps mis à jour et adapté aux besoins d'une société moderne.

## Un point de bascule

Comme le montre le graphique ci-dessous, nous nous trouvons aujourd'hui à un tournant dans l'histoire du temps UTC.

La différence entre le temps de rotation de la Terre et le temps atomique s'est considérablement accrue au cours des 50 dernières années. Cette tendance, exacerbée par le ralentissement de la rotation de la Terre, a entraîné l'insertion de secondes intercalaires occasionnelles.

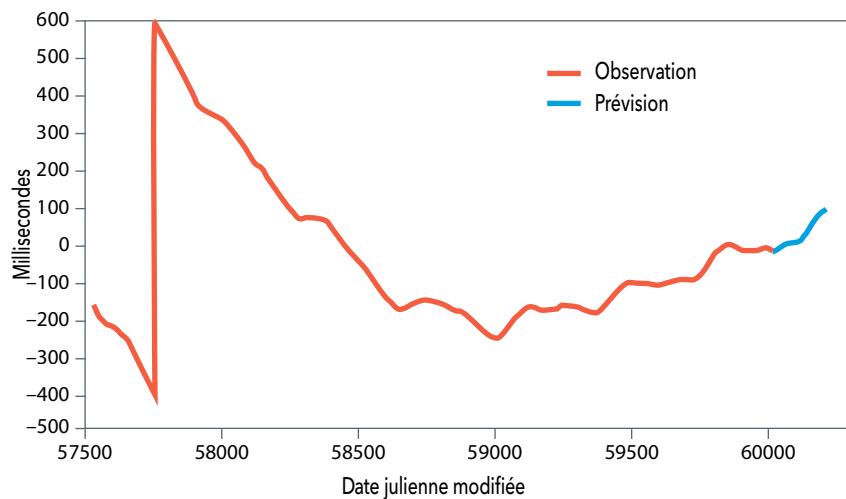
Les données les plus récentes indiquent toutefois une inversion de cette tendance, ce qui laisse entrevoir la possibilité que, d'ici à 2035, nous soyons amenés à insérer la toute première seconde intercalaire négative dans les applications liées aux signaux horaires reposant sur le temps UTC.

Au moment où j'écris cet article, les agences spatiales du monde entier entament des discussions sur la nécessité d'établir une référence de temps continue pour la lune. Un temps UTC continu pourrait donc un jour devenir la référence de temps pour la Terre et au-delà.

“

*Un temps UTC continu pourrait un jour devenir la référence de temps pour la Terre et au-delà. ”*

## UT1 - UTC



Source: [EOC](#)

### La seconde intercalaire appartient-elle au passé?

Des questions similaires sur la mesure du temps à l'échelle mondiale ont déjà été soulevées il y a dix ans, dans un numéro des Nouvelles de l'UIT paru en 2013, dans lequel François Rancy, alors Directeur du Bureau des radiocommunications de l'UIT, écrivait, dans son avant-propos: «Temps modernes - La seconde intercalaire appartient-elle au passé?»

Aujourd'hui, dix ans plus tard, cela pourrait bien être le cas.



**Numéro des Nouvelles de l'UIT publié en 2013: L'avenir du temps**

[Téléchargez votre exemplaire](#)

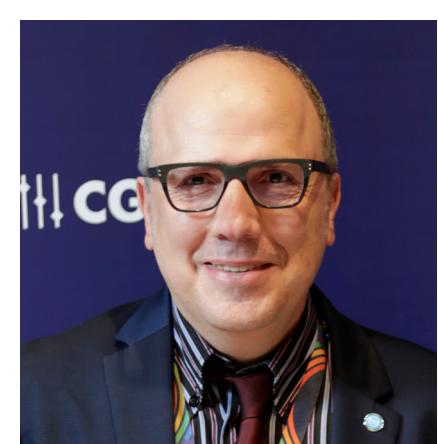


# Progrès concernant les émissions de fréquences étalon et de signaux horaires

Joseph Achkar, Président du Groupe de travail 7A du Secteur des radiocommunications de l'UIT

Le Groupe de travail 7A du Secteur des radiocommunications de l'UIT ([UIT-R](#) - l'un des trois Secteurs de l'Union internationale des télécommunications) s'occupe des services scientifiques liés aux émissions de fréquences étalon et de signaux horaires.

En 2015, la Conférence mondiale des radiocommunications a adopté la Résolution 655 (CMR-15), «Définition d'une échelle de temps et diffusion de signaux horaires à l'aide de systèmes de radiocommunication», au terme de 15 ans de discussions menées au sein du Groupe de travail 7A. L'examen de cette question avait débuté car l'insertion occasionnelle de secondes intercalaires dans le temps universel coordonné (UTC) commençait à poser de grandes difficultés opérationnelles pour bon nombre de systèmes de navigation, industriels, financiers et de télécommunication.



*“L'échelle de temps de référence de demain doit être définie au niveau international, acceptée de tous et continue.”*

Joseph Achkar

La [Recommandation UIT-R TF.460](#), dont la première version a été adoptée en 1970 par le Comité consultatif international des radiocommunications (CCIR), a mis en avant pour la première fois la nécessité de diffuser des fréquences étalon et des signaux horaires, conformément à la définition de la seconde, telle qu'elle a été donnée en 1967 par la Conférence générale des poids et mesures (CGPM).

Il est indiqué dans cette Recommandation que toutes les émissions de fréquences étalon et de signaux horaires devraient être aussi étroitement que possible conformes au temps UTC. Cette Recommandation décrit en outre la procédure à appliquer pour l'insertion occasionnelle de secondes intercalaires dans le temps UTC.

## Orientations concernant la mesure du temps et la diffusion des signaux horaires

Depuis 2016, le Groupe de travail 7A a intensifié les études sur cette question en étroite collaboration avec d'autres organisations concernées, ainsi qu'avec le Secteur de la normalisation des télécommunications de l'UIT (UIT-T), dont les résultats figurent dans le Rapport UIT-R [TF.2511](#).

Élaboré en application de la Résolution 655, ce rapport a pour but de fournir aux administrations des États membres de l'UIT et aux Membres des Secteurs - ainsi qu'aux entreprises de télécommunication, aux fournisseurs de services Internet, aux agences spatiales, aux organisations aéronautiques, maritimes et météorologiques, aux universités et aux entités officielles qui ne sont pas membres de l'UIT - des informations sur les aspects réglementaires, techniques et pratiques de la mesure du temps et de la diffusion de fréquences étalon et de signaux horaires.

L'échelle de temps de référence de demain doit être définie au niveau international, acceptée de tous et continue. Pour ce faire, une possibilité serait de conserver le temps UTC et en assouplissant le décalage autorisé entre le temps UTC et le temps UT1, qui est le temps universel fondé sur la rotation de la Terre.

Comme les études menées par le Groupe de travail 7A l'indiquent, il incombe au Bureau international des poids et mesures (BIPM), en collaboration avec le Comité consultatif du temps et des fréquences (CCTF), le Comité international des poids et mesures (CIPM) et la CGPM, de déterminer le lien entre l'échelle de temps de référence internationale et les autres sources de signaux horaires, y compris le temps UT1. En revanche, les émissions et la diffusion de fréquences étalon et de signaux horaires, y compris pour ce qui est des décalages entre les échelles de temps, incombent à l'UIT-R.

Si certains groupes d'utilisateurs aimeraient qu'il soit mis fin à l'utilisation des secondes intercalaires le plus rapidement possible, d'autres souhaitent pouvoir mettre à jour leurs systèmes et procédures avant et ont par conséquent demandé une période de transition de 15 ans entre l'adoption de la décision et sa mise en œuvre.

## Rapport sur les études menées par l'UIT

Le Rapport UIT-R TF.2511 porte sur les sujets suivants:

- ▶ Informations générales concernant le temps UTC.
- ▶ Importance du temps UTC.
- ▶ Rôle des organisations.
- ▶ Incidences des secondes intercalaires.
- ▶ Échelles de temps actuelles et futures.
- ▶ Diffusion de signaux horaires.

[Télécharger le Rapport.](#)

“

*Si certains groupes d'utilisateurs aimeraient qu'il soit mis fin à l'utilisation des secondes intercalaires le plus rapidement possible, d'autres souhaitent pouvoir mettre à jour leurs systèmes et procédures avant. ”*

## Préparer la CMR-23

Le Directeur du Bureau des radiocommunications de l'UIT présentera les conclusions des études menées par le Groupe de travail 7A à la prochaine Conférence mondiale des radiocommunications (CMR-23) qui se tiendra à Dubaï fin 2023. La définition actuelle du temps UTC a été adoptée en 2018 par la CGPM dans sa Résolution 2, à la suite de quoi l'UIT et le BIPM ont signé un mémorandum d'accord définissant le champ de coopération mutuelle. Ainsi, et comme le souligne une note du Groupe de travail adressée au Directeur, la définition du temps UTC n'est pas une tâche relative à la réglementation du spectre.

En novembre 2022, la CGPM a pris une décision relative à une échelle de temps de référence continue, allant dans le sens de l'abolition de la seconde intercalaire. Les autres travaux, tels que la coopération entre l'UIT et les organisations internationales et la mise à jour de la Recommandation UIT-R TF.460, relèvent de la responsabilité des groupes de travail compétents de l'UIT-R.

Dans le cadre des activités en cours en vue de la CMR-23, le Bureau des radiocommunications de l'UIT a organisé, avec le BIPM, une séance spéciale sur la Résolution 655 (CMR-15). Cette séance, qui a eu lieu au siège de l'Union à Genève (Suisse) pendant le deuxième Atelier interrégional de l'UIT sur les travaux préparatoires en vue de la CMR-23, visait à recueillir les points de vue des organisations régionales sur la question et à présenter la situation actuelle dans chaque région, afin de permettre à toutes les régions d'avancer ensemble et de mieux répondre aux attentes des utilisateurs.

Les différentes études menées – ainsi que les discussions qui auront lieu lors de la session à venir de la Réunion de préparation à la Conférence (CPM23-2) et dans le cadre du Groupe de travail 7A – permettront de préparer le travail de révision de la Résolution 655 qui sera effectué à la CMR23.

L'objectif final est de répondre aux besoins des utilisateurs alors que nous approchons du milieu du XXI<sup>e</sup> siècle.

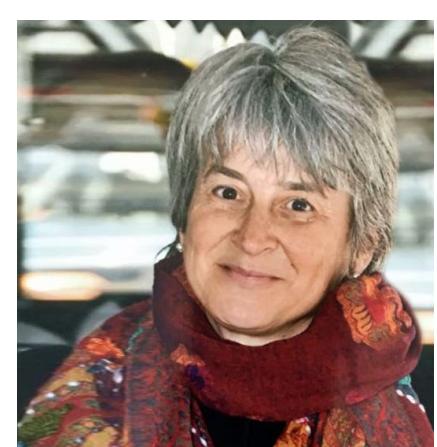


*En novembre 2022, la CGPM a pris une décision relative à une échelle de temps de référence continue.*

## Résolutions de la Conférence générale sur les poids et mesures

Une décision relative à une échelle de temps de référence continue a été prise en novembre 2022.

[Télécharger](#)  
(Voir la Résolution 4 à la page 23)



# Temps universel coordonné (UTC): Vue d'ensemble

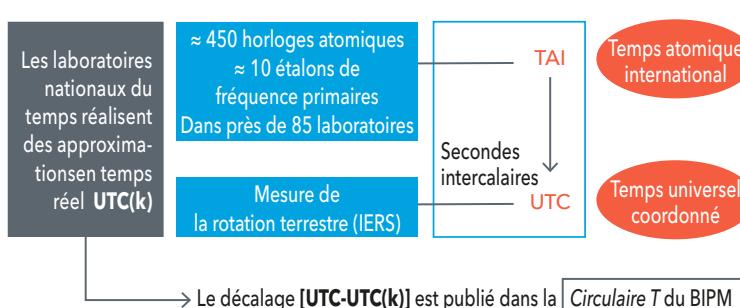
Patrizia Tavella, Directrice du Département du temps, BIPM

Le temps universel coordonné (UTC) est l'échelle de temps de référence mondiale calculée par le Bureau international des poids et mesures (BIPM), l'organisation internationale s'occupant de questions relatives à la science des mesures et aux étalons de mesure.

Le temps UTC est calculé à partir des données d'environ 450 horloges atomiques maintenues dans 85 laboratoires nationaux de métrologie dans le monde entier. Les horloges fournissent des données de mesure régulières au BIPM, ainsi que les approximations locales en temps réel du temps UTC, appelées UTC(k), à usage national (voir la figure).

*Le temps UTC est calculé à partir des données d'environ 450 horloges atomiques, maintenues dans 85 laboratoires nationaux du temps dans le monde entier.*

Patrizia Tavella



Source: BIPM

L'unité utilisée, à savoir la seconde, et l'échelle de temps internationale de référence UTC sont définies et réalisées sous l'autorité de la Conférence générale des poids et mesures (CGPM), où 64 États Membres et 36 États et entités économiques associés sont représentés.

Le Service international de la rotation terrestre et des systèmes de référence (IERS) détermine et publie la différence entre le temps UTC et l'angle de rotation de la Terre (temps UT1). Chaque fois que cette différence approche 0,9 seconde, une nouvelle seconde intercalaire est annoncée et appliquée dans tous les laboratoires du temps.

Le temps UTC et la différence entre le temps UT1 et le temps UTC sont transmis par plusieurs services de fréquences étalon et de signaux horaires régis par le Secteur des radiocommunications de l'UIT (UIT-R, l'un des trois Secteurs de l'Union internationale des télécommunications).

### Comment le BIPM obtient le temps UTC

Le BIPM calcule tout d'abord une moyenne pondérée de toutes les horloges atomiques désignées afin d'obtenir le temps atomique international (TAI). L'algorithme de calcul du temps TAI est complexe et suppose une estimation, des prévisions et une validation pour chaque type d'horloge.

De même, les mesures visant à comparer les horloges à distance reposent sur des systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS) ou sur d'autres techniques, telles que le transfert bidirectionnel de signaux horaires et de fréquence par satellite, ou par fibres optiques. Elles doivent toutes être traitées pour compenser le retard dû, par exemple, à l'ionosphère, au champ de gravitation ou au mouvement des satellites.

Enfin, le temps UTC est obtenu à partir du TAI en ajoutant ou en retranchant une seconde intercalaire, selon les besoins, et en maintenant le rythme de fonctionnement de la seconde atomique.

### Alignment du temps UTC sur la rotation irrégulière de la Terre

Dans les années 70, au début de l'ère de l'horloge atomique, il a été convenu que le temps UTC serait maintenu aligné sur la rotation irrégulière de la Terre, étant donné que le temps UTC permettait d'estimer l'angle de rotation de la Terre UT1 avec une tolérance de 0,9 seconde. Cela était en grande partie nécessaire pour les systèmes de navigation fondés sur des observations célestes. Au départ, le temps UTC était corrigé par de très faibles incrément de temps et de fréquence. À partir de 1972, on a utilisé des secondes intercalaires entières (voir la figure).

“

*Du point de vue de la gestion des systèmes complexes, l'application de la seconde intercalaire sur toutes les horloges des satellites au même moment est un risque. ”*

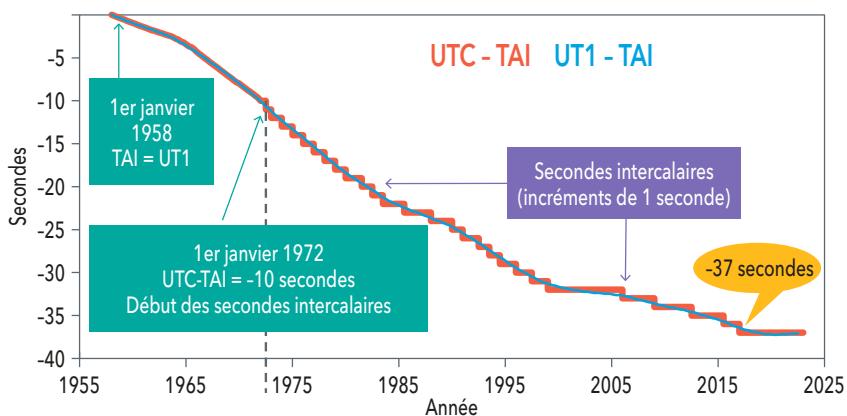


Figure - Décalage du temps UTC et du temps UT1 par rapport au temps atomique international (TAI) depuis le début du temps atomique. Le temps TAI et le temps UTC ont été fixés en accord avec le temps UT1 en 1958.

UTC = Temps universel coordonné

UT1 = Temps universel 1

TAI = Temps atomique international

Source: BIPM

## Entreprises technologiques utilisant des alternatives à la seconde intercalaire

L'application de la seconde intercalaire se fait conformément à l'étiquetage de la séquence de secondes indiquée ci-après. Une seconde intercalaire insérée est désignée comme étant 23:59:60, un temps que les horloges ne prévoient pas dans la plupart des systèmes numériques modernes.

Cette différence est à l'origine de la multiplication des méthodes ad hoc, qui sont de plus en plus utilisées comme alternatives à la seconde intercalaire.

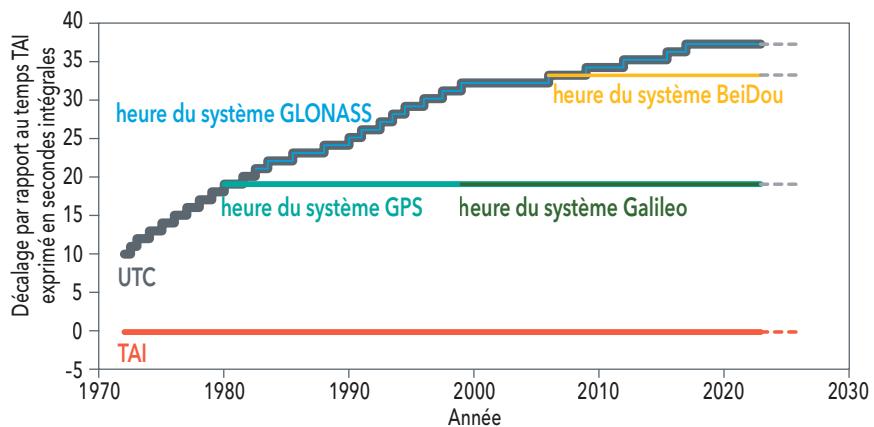
Par exemple, Google ralentit ses horloges pour intégrer la seconde supplémentaire sur les 24 heures précédentes (méthode du «smeared time»), Facebook le fait sur les 18 heures suivantes, Microsoft sur les deux dernières secondes et Alibaba sur un intervalle de 24 heures autour de la seconde intercalaire.



## Risques associés aux secondes intercalaires

Du point de vue de la gestion des systèmes complexes, l'application de la seconde intercalaire à toutes les horloges de satellite au même moment présente un risque. C'est pourquoi la plupart des systèmes mondiaux de navigation par satellite (à l'exclusion du système GLONASS) ont opté pour la synchronisation de leurs horloges et de leur échelle de temps avec le temps UTC dès le départ, sans ajouter des secondes intercalaires.

Par conséquent, aujourd'hui, le temps du système GPS est en avance de 18 secondes par rapport au temps UTC. Il en va de même pour l'heure du système Galileo, alors que l'heure du système BeiDou compte une avance de 4 secondes (voir la figure).



Source: BIPM

Cette situation est source de confusion pour les utilisateurs le jour où une seconde intercalaire est appliquée. Elle suscite également des inquiétudes quant aux risques d'anomalies qui pourraient compromettre la fiabilité des infrastructures nationales essentielles.

### Maintien du temps UTC aligné sur la rotation de la Terre

À sa 27ème réunion, tenue en novembre 2022, la Conférence générale des poids et mesures a décidé de maintenir le processus actuel pour que le temps UTC reste aligné sur la rotation de la Terre. La décision prévoit toutefois une limite de tolérance plus élevée que neuf dixièmes de seconde – avec des ajustements plus importants, mais moins fréquemment nécessaires – pour garantir la continuité du temps UTC pour au moins les 100 prochaines années.

Le BIPM mène actuellement des travaux avec l'UIT-R et d'autres organisations sur un nouveau processus qui devrait entrer en vigueur en 2035. Celui-ci comprendrait une nouvelle valeur de tolérance identifiée pour le décalage UT1-UTC, afin de faire en sorte que le temps UTC reste efficace et efficient pour répondre aux besoins des applications de référence de temps actuelles et futures.

Décalage entre le temps UTC, les échelles de temps internes des systèmes mondiaux de navigation par satellite et le temps TAI.

*Le BIPM mène actuellement des travaux avec l'UIT-R et d'autres organisations sur un nouveau processus qui devrait entrer en vigueur en 2035.*



Adobe Stock

# Les principales échelles de temps utilisées aujourd'hui

Vadim Nozdrin, Conseiller des commissions d'études, Commission d'études 7 de l'UIT-R - Services scientifiques

Si tout événement peut être défini par la spécification de trois coordonnées spatiales et d'une coordonnée temporelle, le temps doit être défini d'une façon normalisée et être synchronisé à l'échelle mondiale avec une précision extrême. Par définition, une échelle de temps constitue un ensemble ordonné de repères d'échelle avec une numérotation associée.

À l'heure actuelle, on distingue quatre types d'échelles de temps utilisées à divers degrés:

- UT1** – le temps universel
- ET** – le temps des éphémérides
- TAI** – le temps atomique international
- UTC** – le temps universel coordonné



“

*Le temps universel (UT1) est un temps déduit à partir de l'observation de la rotation de la Terre. ”*

Vadim Nozdrin

Le temps universel (**UT1**) est un temps déduit à partir de l'observation de la rotation de la Terre. Il est proportionnel à l'angle de rotation de la Terre sur son axe. Le coefficient de proportionnalité est choisi de sorte qu'une durée de 24 heures du temps UT1 soit proche de la durée moyenne du jour et la phase est choisie de sorte que 0 heure UT1 corresponde, en moyenne, à minuit du temps de la ligne méridienne de Greenwich (Royaume-Uni).

On considère qu'une seconde UT1 représente la fraction 1/86 400 du jour solaire moyen. Jusqu'en 1960, une seconde UT1 correspondait à une seconde du système international d'unités (SI).

Le temps UT1, calculé et maintenu par le Service international de la rotation terrestre et des systèmes de référence (IERS, anciennement le Service international de la rotation terrestre), était l'échelle de temps de référence acceptée au niveau mondial jusqu'en 1972.

Toutefois, les astronomes ont démontré qu'une année tropique, soit l'intervalle entre deux passages consécutifs du soleil par le point vernal de l'équinoxe, offrait une plus grande stabilité des intervalles de temps qu'une journée. En d'autres termes, le temps est maintenu avec une plus grande précision si l'on utilise le mouvement orbital de la Terre autour du soleil plutôt que la rotation de la Terre.

Le temps des éphémérides (**ET**) est déduit à partir d'une expression de la longitude moyenne du soleil. Cette expression a été choisie de sorte que les temps UT1 et ET coïncident approximativement en 1900.

Une seconde ET a été définie comme la fraction 1/31 556 925,9747 de l'année tropique le 31 décembre 1989 (ou le 0 janvier 1900 à 12 heures, conformément à la définition technique du Bureau international des poids et mesures (BIPM)). De 1960 à 1967, cette seconde était utilisée pour définir la seconde du SI.

À la différence des deux échelles de temps ci-dessus, le temps atomique international (**TAI**) est déterminé sur la base du calcul d'un intervalle de temps défini à partir d'un phénomène physique. Le Bureau international de l'heure (BIH) s'occupe de coordonner cette coordonnée de repérage temporel par l'intermédiaire d'horloges atomiques fonctionnant dans des laboratoires nationaux du monde entier.

La seconde atomique est devenue la seconde du SI en 1967 et est définie comme étant la durée de 9 192 637 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133.

“

*Le temps universel est un temps déduit à partir de l'observation de la rotation de la Terre.*



Il a été convenu officiellement que l'origine du temps TAI coïnciderait avec le temps UT1 le 1er janvier 1958. Depuis, le temps atomique est déterminé par la Section du temps du BIPM, qui recueille et traite les données de temps maintenues par environ 450 horloges atomiques situées dans 85 pays.

L'idée d'unifier les différentes échelles de temps pour accroître l'exactitude s'est vite imposée et a conduit à l'adoption, dès 1972, d'un nouveau temps étalon coordonné au niveau mondial.

Le temps universel coordonné (**UTC**) est défini par le système d'équation suivant:

$$\text{UTC}(t) - \text{TAI}(t) = n \text{ s}$$

(où  $n$  est un nombre entier, actuellement  $n = 34$  s)

$$|\text{UTC}(t) - \text{UT1}(t)| < 0.9 \text{ s}$$

Cependant, les variations de la vitesse de rotation de la Terre entraînent une divergence entre le temps UT1 et le temps TAI. En pareils cas, le Service IERS peut décider des ajustements à apporter aux secondes par référence à la divergence prévue entre les échelles de temps. En conséquence, des secondes intercalaires sont introduites ou éventuellement retranchées à la fin d'un mois.

“

*Il a été convenu officiellement que l'origine du temps TAI coïnciderait avec le temps UT1 le 1er janvier 1958.*



## Gérer les divergences

Bien que l'échelle de temps de référence UTC soit calculée et diffusée par le BIPM, les utilisateurs du monde entier ont accès à des valeurs de temps UTC définies au niveau local par l'intermédiaire de laboratoires nationaux (UTC(k)), qui sont actuellement au nombre de 85 à travers le monde. Ces valeurs sont coordonnées avec le temps UTC et font également l'objet d'une coordination entre elles.

Les laboratoires locaux, indiqués par UTC(k), fournissent une norme de référence sur leurs territoires respectifs au moyen de plusieurs systèmes, notamment le système de radiodiffusion du service des fréquences étalon et des signaux horaires (SFTS) et du service des fréquences étalon et des signaux horaires par satellite (SFTSS), le service de radiodiffusion par satellite, le service fixe par satellite, le service de radionavigation par satellite et le service de météorologie par satellite, ainsi que sur des réseaux de Terre par fibre optique ou câble coaxial.

L'Union internationale des télécommunications (UIT) joue un rôle essentiel dans la détermination et la diffusion, à l'échelle mondiale, de fréquences étalon et de signaux horaires précis. Le Secteur des radiocommunications de l'UIT (UIT-R) recommande que toutes les émissions de fréquences étalon et de signaux horaires soient conformes au temps UTC.

Le BIPM stipule que la différence de temps maximale entre les échelles de temps UTC et UTC(k) ne doit pas dépasser plus de  $\pm 1$  milliseconde. Pour les radiocommunications, l'UIT-R recommande une marge plus étroite d'une valeur de  $\pm 100$  nanosecondes.

“

*L'UIT-R recommande que toutes les émissions de fréquences étalon et de signaux horaires soient conformes au temps UTC.*



## Échelles de temps

### Temps universel

Le temps universel (UT) est la désignation générale d'échelles de temps fondées sur la rotation de la Terre.

Pour les applications nécessitant une mesure précise du temps, où des variations de quelques centièmes de seconde ne peuvent être tolérées, il est nécessaire de préciser des formes spécifiques du temps UT:

**UT0** est le temps solaire moyen du méridien origine, que l'on obtient par l'observation astronomique directe.

**UT1** est le temps UT0 corrigé des effets des petits mouvements relatifs à l'axe de rotation de la Terre (variation polaire). Le temps UT1 correspond directement à la position angulaire de la Terre autour de son axe de rotation diurne. Il s'agit de la forme recommandée par l'UIT pour les radiocommunications (Recommandation UIT-R TF.460).

**UT2** est le temps UT1 corrigé des effets d'une petite fluctuation saisonnière dans la vitesse de rotation de la Terre.

Les définitions des termes et des concepts mentionnés sont disponibles dans les publications du Service IERS (Paris, France).

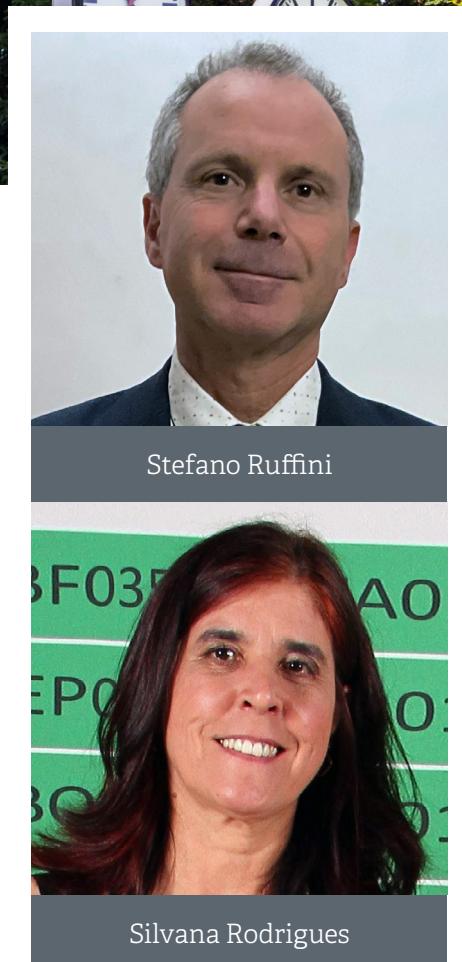
### Temps atomique international

**TAI** L'échelle de référence internationale de temps atomique (TAI), fondée sur la seconde (SI) définie sur le géoïde de rotation, est établie par le BIPM à partir de données d'horloge fournies par des établissements coopérants. Il s'agit d'une échelle continue, exprimée en jours, heures, minutes et secondes, à partir de son origine, le 1er janvier 1958. Elle a été adoptée par la Conférence générale des poids et mesures (CGPM) en 1971.

### Temps universel coordonné

**UTC** Le temps UTC est l'échelle de temps maintenue par le BIPM, avec la participation du Service IERS, qui constitue la base d'une diffusion coordonnée des fréquences étalon et des signaux horaires. S'il a la même marche que le temps TAI, le temps UTC diffère de celui-ci d'un nombre entier de secondes.

L'échelle de temps UTC s'ajuste par insertion ou omission de secondes (secondes intercalaires positives ou négatives) dans la mesure nécessaire pour assurer sa concordance approximative avec l'échelle de temps UT1.



# Synchronisation et incidences des discontinuités du temps UTC

Stefano Ruffini, Rapporteur pour la Question 13/15, Commission d'études 15 de l'UIT-T, et Silvana Rodrigues, ingénierie système principale, Huawei

Une synchronisation précise est essentielle pour exploiter efficacement un réseau de télécommunication.

La synchronisation est plus importante que jamais dans les réseaux 5G d'aujourd'hui, et le sera plus encore dans les réseaux mobiles de demain, où les technologies de radiocommunication et les architectures de réseau émergentes prendront en charge des cas d'utilisation toujours plus exigeants, comme la mise en réseau sensible au temps pour les véhicules automatisés ou la commande de robots dans les usines intelligentes.

## Synchronisation temporelle

Les références de synchronisation temporelle dans les télécommunications font parfois intervenir des échelles de temps continues, par opposition aux échelles de temps utilisant des secondes intercalaires.

Le Secteur de la normalisation des télécommunications de l'UIT ([UIT-T](#) - l'un des trois Secteurs de l'Union internationale des télécommunications) comprend un groupe de spécialistes sur les caractéristiques de synchronisation des réseaux et de diffusion de signaux horaires (qui étudie la Question [13](#) de la Commission d'études 15 de l'UIT-T).

Les applications examinées dans le cadre de la Question 13/15 nécessitent généralement des échelles de temps continues. Les exigences de fonctionnement correspondantes, en réalité, sont fondées sur un signal de rythme de référence idéal continu (par exemple, lorsque ce signal est exprimé en termes de paramètres de mesure indiqués dans les Recommandations UIT-T [G.810](#) et [G.8260](#)).

## Types de synchronisation

Différents types de synchronisation sont applicables dans le domaine des télécommunications:

- **Synchronisation des fréquences:** des événements importants se produisent à la même fréquence.
- **Synchronisation de phase:** des événements importants se produisent au même instant.
- **Synchronisation temporelle:** des événements importants se produisent au même instant et partagent une même échelle de temps et une même époque.

La synchronisation des fréquences suit généralement le Temps universel coordonné (UTC), connu également sous le nom d'échelle de temps de référence internationale. Par exemple, une note figurant dans la Recommandation UIT-T G.810 indique ce qui suit: «*La fréquence de référence pour la synchronisation des réseaux est la fréquence qui sert à la génération de l'échelle de temps UTC*».

## Une échelle de temps continue pour la synchronisation des fréquences

L'utilisation d'une échelle de temps continue est importante pour les applications utilisant la synchronisation des fréquences lorsque les sauts de phase peuvent avoir une incidence négative sur la qualité de fonctionnement.

Cela vaut également pour la synchronisation temporelle. En réalité, les prescriptions actuellement examinées au titre de la Question 13/15 découlent essentiellement de spécifications du 3GPP (Projet de partenariat de troisième génération), qui exigent expressément l'utilisation d'une échelle de temps continue.

“Une synchronisation précise est essentielle pour exploiter efficacement un réseau de télécommunication.”

Stefano Ruffini et Silvana Rodrigues

**G.810:** Définitions et terminologie des réseaux de synchronisation

**G.8260:** Définitions et terminologie des réseaux de synchronisation en mode paquet

“L'utilisation d'une échelle de temps continue est importante pour les applications utilisant la synchronisation des fréquences lorsque les sauts de phase peuvent avoir une incidence négative sur la qualité de fonctionnement.”

À titre d'exemple, la spécification [TS 38.401](#) indique ce qui suit:

«... temps continu sans secondes intercalaires qui est calé sur une référence de temps commune pour tous les nœuds gNB dans une zone de monodiffusion DRT synchronisée. Dans le cas où la zone de monodiffusion DRT n'est pas isolée, la référence de temps commune doit être calée sur le Temps universel coordonné (UTC).»

gNB = Nœud B 5G (NR).

TDD = duplex par répartition dans le temps

## Risque de brouillage avec des stations de base non synchronisées

Les signaux duplex à répartition dans le temps (DRT) peuvent être émis sur la liaison montante ou sur la liaison descendante selon une affectation d'intervalles de temps donnée. Cela nécessite d'assurer le calage du temps UTC pour coordonner la transmission du début des trames radioélectriques entre les stations de base adjacentes, afin d'éviter les brouillages ou, dans le cas le plus défavorable, l'arrêt du service.

Des brouillages peuvent être causés à des stations de base si les stations de base ne sont pas synchronisées correctement et si l'erreur de synchronisation temporelle dépasse certaines limites prédefinies. (Les deux figures ci-dessous présentent des exemples de commutation sur la liaison descendante et sur la liaison montante.)

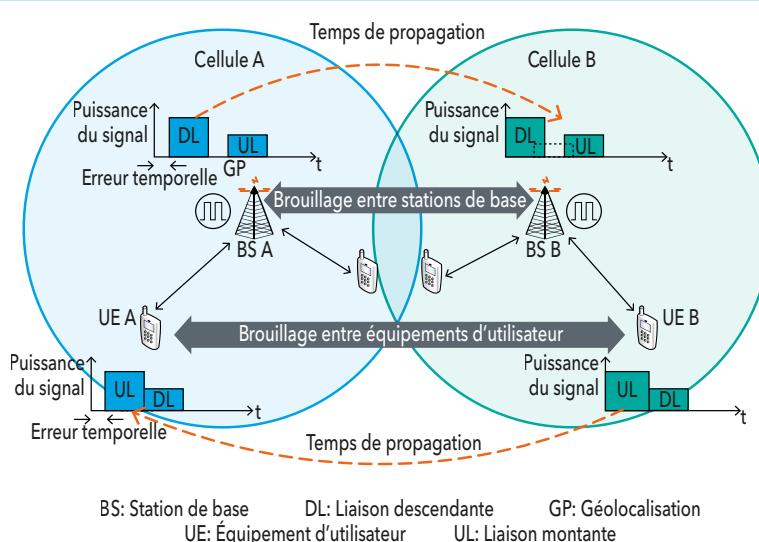
On trouvera la note suivante dans la Recommandation UIT-T [G.8271](#), Appendice VI (Aspects de synchronisation temporelle dans les systèmes de communication mobile reposant sur le DRT):

«Étant donné que le 3GPP prescrit l'utilisation d'une échelle de temps continue, on pourrait utiliser, en l'occurrence, dans la mise en œuvre effective, le contenu des informations UTC réparties qui ne sont pas affectées par les secondes intercalaires, par exemple le temps GPS dans le cas où la référence est acheminée par un signal GPS.»

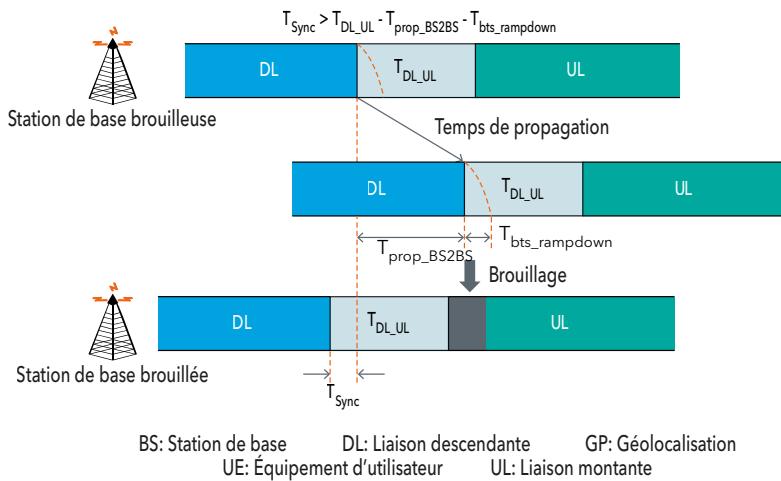
“

L'échelle de temps GPS est désormais largement utilisée dans les applications de télécommunication et constitue la seule échelle de temps sans secondes intercalaires existante dans le monde. ”

## Aperçu des configurations de brouillage dans les systèmes de multiplexage par répartition dans le temps



### Brouillage entre stations de base au point de commutation entre la liaison descendante et la liaison montante



Source: Appendix 6, Figure VI.5/G.8271

### Temps GPS sans secondes intercalaires

L'échelle de temps du système mondial de géolocalisation (GPS) est à présent largement utilisée dans les applications de télécommunication et constitue la seule échelle de temps sans secondes intercalaires existante dans le monde.

Les solutions GPS actuelles évitent les perturbations d'horloge en utilisant des échelles de temps et des informations qui ne comportent pas de secondes intercalaires. L'échelle de temps du protocole de précision temporelle (PTP), par exemple, est fondée sur le temps atomique international (TAI) ou sur le temps GPS.

Pour les applications nécessitant des informations normalisées sur «l'heure du jour» (par exemple pour la taxation ou l'horodatage des alarmes), il peut également être nécessaire de rétablir le temps UTC. Ces applications doivent être prêtes à traiter le «saut de temps» occasionnel et soudain.

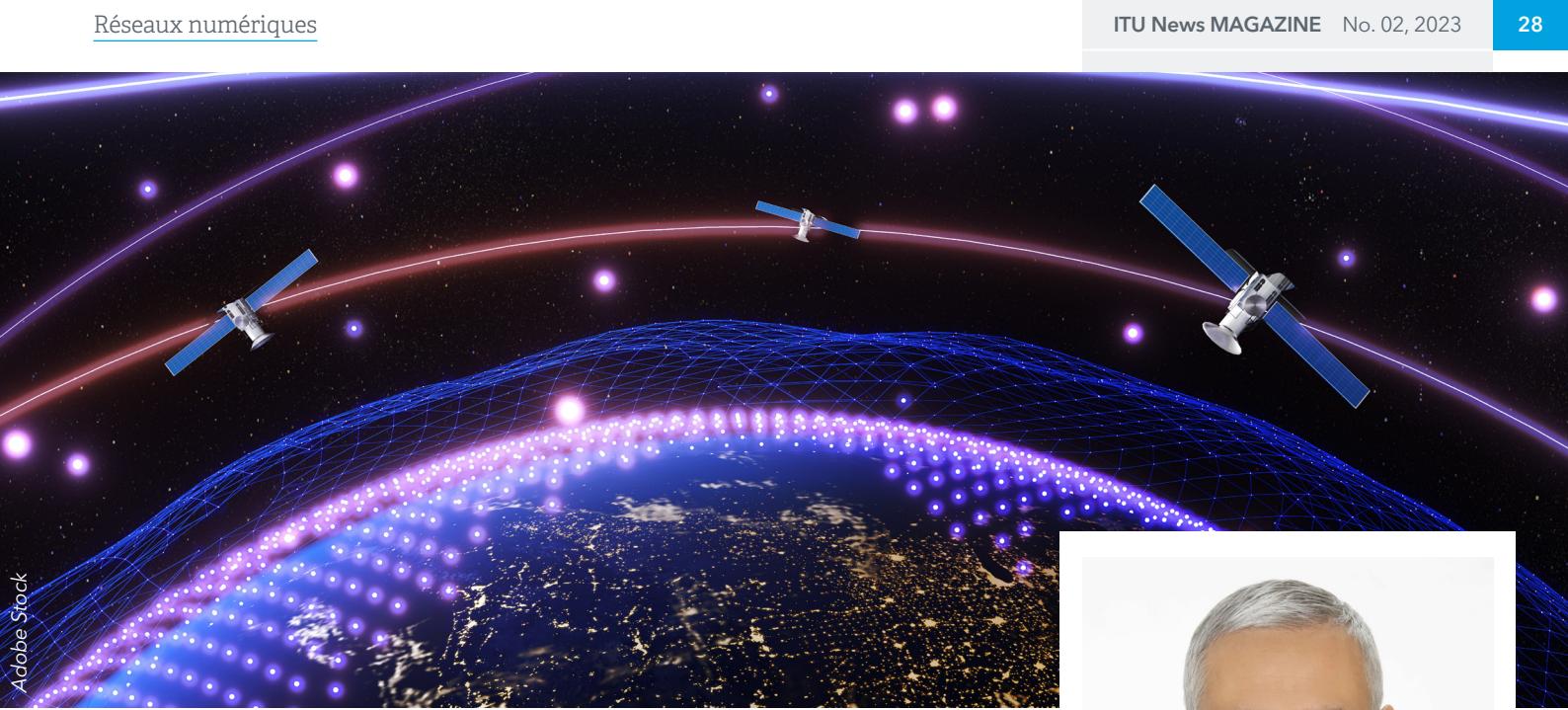
### Temps UTC sans secondes intercalaires

Les télécommunications pourraient bénéficier de mesures visant à définir un temps UTC continu sans secondes intercalaires additionnelles, ou dans le cadre desquelles des ajustements périodiques sont effectués sur des périodes suffisamment longues pour éviter toute incidence sur le fonctionnement normal du réseau.

“

Les télécommunications pourraient bénéficier de mesures visant à définir un temps UTC continu sans secondes intercalaires additionnelles. ”



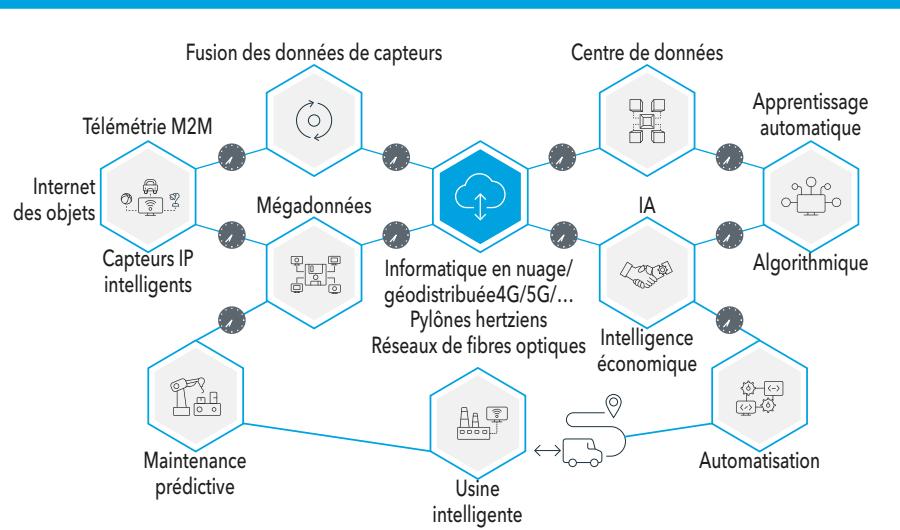


## Les incidences du temps UTC sur l'industrie 4.0

Tomasz Widomski, cofondateur, Elroma

L'économie mondiale dépend du système mondial de navigation par satellite (GNSS), qui fournit la référence du temps universel coordonné (UTC) à l'infrastructure moderne essentielle partout dans le monde.

### Chaîne d'approvisionnement mondiale



*L'économie mondiale dépend du système GNSS, qui fournit la référence du temps UTC à l'infrastructure moderne essentielle partout dans le monde.*

Tomasz Widomski

Cette infrastructure comprend les réseaux intelligents répartis, les réseaux de télécommunication 5G, les systèmes de contrôle du trafic et les véhicules autonomes. Elle permet le fonctionnement des services de radiodiffusion, des marchés financiers et des villes intelligentes, ainsi que des systèmes de l'industrie 4.0 transférés vers le nuage.

## Défis associés à la seconde intercalaire pour l'industrie 4.0

La nature non continue du temps UTC, qui nécessite d'ajouter périodiquement une seconde intercalaire, a des incidences pour tous les pays et tous les secteurs de chaque économie. Elle pose un problème particulier pour la stabilité et la cybersécurité de l'industrie 4.0, les industries et services modernes reposant sur une architecture de système répartie.

Les problèmes associés à l'utilisation de la seconde intercalaire existent depuis longtemps, mais en raison de l'automatisation en pleine accélération et de l'interdépendance étroite entre tous les systèmes de l'industrie 4.0, il est aujourd'hui nécessaire de suspendre d'urgence l'insertion de futures secondes intercalaires.

La situation est d'autant plus compliquée qu'il n'existe pas de normes pour la maintenance liée à la seconde intercalaire, que les échanges entre professionnels des technologies de l'information (IT) et professionnels de la métrologie du temps sont insuffisants, que les mises en œuvre pour les récepteurs GNSS sont très diverses et que les approches utilisées pour la fourniture de services varient selon les systèmes de navigation par satellite, qu'ils soient mondiaux, comme le Système mondial de positionnement (GPS), Galileo, le système mondial de navigation aéronautique par satellite (GLONASS) et BeiDou, ou régionaux, comme le système régional indien de navigation par satellite (IRNSS).

## Les perturbations possibles

L'ajout de secondes intercalaires dans le temps UTC peut créer les problèmes suivants:

- Décalages temporels** dans les systèmes répartis, où la validité des données est déterminée par la différence entre les horodatages pour le capteur distant et le serveur de réception local de la gestion centralisée. Ces décalages peuvent conduire à l'acceptation de données non valides (erreur dans le calcul du délai) et, par conséquent, à une mauvaise maintenance prédictive des systèmes de l'industrie 4.0. Ces risques augmenteront avec l'adoption croissante des réseaux sensibles au temps (TSN), de l'informatique à temps coordonné (TCC) et, dans l'avenir, des réseaux à faible latence.
- Dysfonctionnement des micrologiciels** fondés sur les systèmes d'exploitation Windows, Linux ou Unix pour l'Internet des objets (IoT) et les dispositifs IT. Chaque capteur ou appareil produit aujourd'hui possède un micrologiciel fondé sur l'un de ces systèmes. Les pics temporels inattendus introduits par la seconde intercalaire menacent la stabilité du noyau du système d'exploitation. Ils perturbent la chronologie des événements de niveau inférieur, laquelle régit la gestion de la simultanéité et les processus système de niveau inférieur. Ces décalages dans la chronologie peuvent entraîner une «panique du noyau» - problème informatique dans le cadre duquel le rétablissement rapide ou facile du système d'exploitation est impossible.

“

*En raison de l'interdépendance étroite entre tous les systèmes de l'industrie 4.0, il est aujourd'hui nécessaire de suspendre d'urgence l'insertion de futures secondes intercalaires. ”*

Dans de tels scénarios, l'ajout d'une seconde intercalaire dans le temps UTC peut déclencher un effet domino à grande échelle, avec des coupures d'électricité dans les systèmes d'alimentation et les télécommunications, mais aussi des perturbations du contrôle du trafic ferroviaire et aérien, ainsi que des processus automatisés de l'industrie 4.0. Tôt ou tard, de telles défaillances se produiront, à moins que l'on suspende effectivement l'utilisation de la seconde intercalaire.

## Risques pour l'industrie

Aujourd'hui, il est fort probable que nous ayons, dans l'avenir, à ajouter une seconde intercalaire dans le temps UTC qui, pour la première fois de l'histoire, devra être négative. Dans l'environnement opérationnel de l'industrie 4.0, cette opération ne sera pas sans risque.

Si le principal risque est associé à l'ajout d'une seconde intercalaire dans le temps UTC, ce n'est pas le seul pour l'industrie 4.0. Depuis la commercialisation du tout premier récepteur GPS dans les années 1990, plusieurs centaines de millions de récepteurs GNSS disponibles sur le marché ont été déployés et utilisés comme référence pour le temps UTC. Or, tous calculent le temps UTC à une fraction de seconde près différente, car tous n'utilisent pas les mêmes algorithmes internes et la même constellation GNSS.

La précision de la synchronisation du temps UTC dépend également des conditions météorologiques, de la qualité de l'installation d'antenne, des brouillages et de la cybersécurité, y compris les brouillages intentionnels et l'usurpation d'identité dans le système GNSS. Tous ces éléments sont en outre soumis au risque d'erreurs internes du système GNSS (par exemple [l'erreur de 13,5 microsecondes \(μ\) due au satellite GPS SVN-23 en janvier 2016](#)) ou aux problèmes de dépassement d'entier, comme le [dépassement d'entier pour le nombre de semaines dans le système GPS](#) qui se produit tous les 19,7 ans.

Les autres constellations GNSS sont tout aussi imparfaites.

## Synchronisation pour la cybersécurité

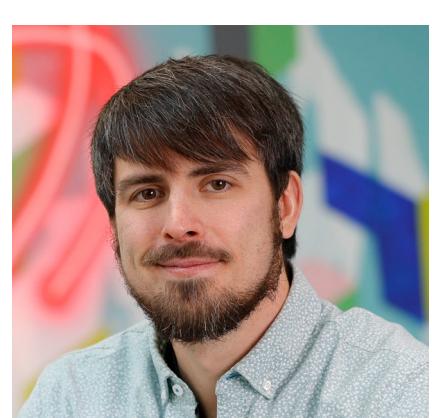
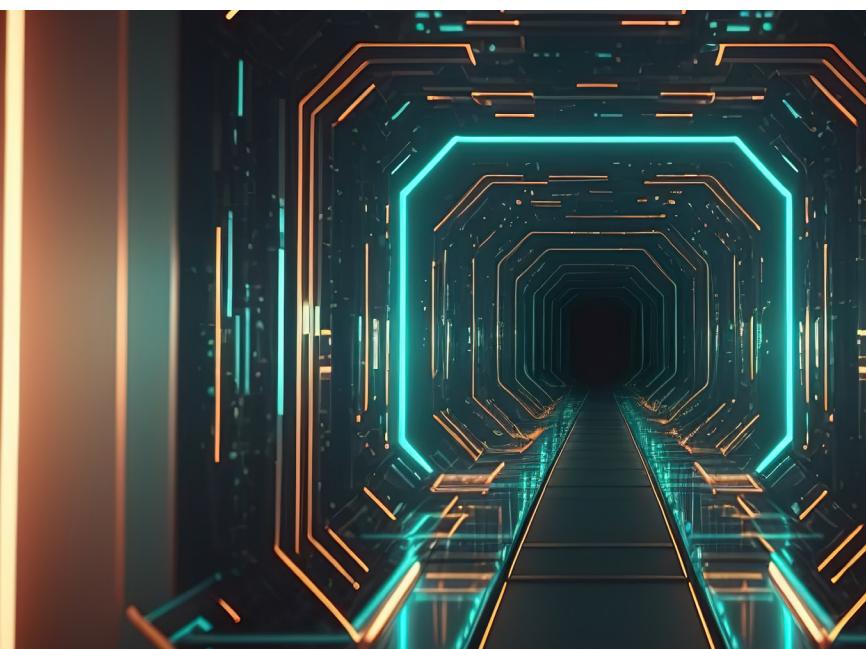
À l'évidence, il nous faut changer de paradigme en matière de sécurité, ce qui suppose, avant toute chose, de reconnaître qu'une synchronisation temporelle précise est un aspect important de la cybersécurité de l'industrie 4.0.

**Le Décret présidentiel américain EO13905:** Renforcer la résilience nationale grâce à l'utilisation responsable des services de positionnement, de navigation et de synchronisation, publié en février 2020, en est une bonne illustration. Si ce décret a permis le lancement de nouvelles constellations de satellites commerciaux en orbite terrestre basse, il a surtout permis de promouvoir des protocoles de synchronisation ordinateur-réseau, comme le protocole de temps réseau (NTP) et le protocole de précision temporelle (PTP) IEEE 1588, qui permettent tous deux la diffusion du temps UTC depuis les instituts de métrologie nationaux.

Alors que le protocole de temps réseau a été conçu pour utiliser l'UTC, le protocole de temps de précision peut, quant à lui, fonctionner avec n'importe quelle échelle de temps, y compris avec l'équivalent cohérent du temps atomique international (TAI).

“

*Il nous faut changer de paradigme en matière de sécurité, ce qui suppose, avant toute chose, de reconnaître qu'une synchronisation temporelle précise est un aspect important de la cybersécurité de l'industrie 4.0. ”*



Oleg Obleukhov



Ahmad Byagowi

# La synchronisation du temps dans les centres de données

Oleg Obleukhov, ingénieur de production, Meta, et Ahmad Byagowi, chercheur, Meta

La synchronisation du temps est extrêmement importante pour la quasi-totalité des applications logicielles d'un centre de données. Le temps est utilisé pour mettre en corrélation et ordonner des événements simultanés entre des millions de serveurs.

En matière de sécurité, une référence de temps fiable est essentielle pour l'expiration et l'invalidation de la mémoire cache, les certificats de courte durée et la détection des intrusions. La synchronisation du temps aide les ingénieurs à mettre en corrélation les entrées de journalisation, où le temps universel coordonné (UTC) est souvent utilisé.

Étant donné que le débit des transactions augmente constamment, des différences de temps, ne serait-ce que de quelques millisecondes, peuvent poser de graves problèmes. La façon dont le temps parvient au centre de données et se propage à l'intérieur de ce centre est donc déterminante.

## Systèmes mondiaux de navigation par satellite

La propagation d'un temps précis vers les centres de données se fait de différentes façons. Cela commence bien souvent par la réception d'un signal radiofréquence en provenance de constellations de systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS), comme les systèmes GPS, GLONASS, Galileo et BeiDou, via des dispositifs spéciaux que l'on appelle serveurs de temps.

### Interaction entre les satellites d'un système GNSS et les serveurs de temps



Source: Oleg Obleukhov et Ahmad Byagowi, Meta

En raison des irrégularités de la rotation de la Terre, la différence entre le temps atomique international (TAI) à croissance monotone et le temps UTC varie constamment, pour atteindre finalement une limite de  $\pm 500$  millisecondes. Actuellement, le Service international de la rotation terrestre et des systèmes de référence (IERS) a pour responsabilité d'introduire ou de retrancher une seconde intercalaire pour corriger le temps UTC.

La situation est d'autant plus complexe que chaque constellation applique son propre temps opérationnel et ses propres étapes de conversion additionnelles au temps UTC. Par exemple, le temps GPS a un décalage constant de 19 secondes par rapport au temps TAI, tandis que le système GLONASS se base sur le temps UTC.

Cette complexité se répercute souvent sur les serveurs de temps et, comme avec tout autre élément en mouvement, engendre parfois des problèmes.

## Serveur de temps à code source ouvert

Dans le cadre du «Open Compute Project» de Meta, nous avons amorcé un axe de travail relevant du [projet «Time Appliances»](#) consacré à la mise au point d'un serveur de temps à code source ouvert. Nous souhaitons libérer le secteur des solutions propriétaires, favoriser la transparence et réduire sensiblement le coût des serveurs de temps.

Lors de la mise en œuvre de logiciels de serveurs de temps à code source ouvert, nous avons dû faire face à une logique complexe dans laquelle interviennent

“

*La synchronisation temporelle est extrêmement importante pour la quasi-totalité des applications logicielles dans un centre de données.*

Ahmad Byagowi et Oleg Obleukhov



**Le moment est-il venu d'abandonner la seconde intercalaire?**

[Lire l'article.](#)

différentes constellations et différents indicateurs relatifs à la seconde intercalaire pour obtenir le TAI. Nous avons publié un [article](#) décrivant de manière détaillée notre approche, nos motivations et le processus de création de notre serveur de temps:

Une fois le serveur de temps synchronisé, nous sommes prêts à propager le temps dans un réseau à commutation par paquets.

## Protocole de temps réseau

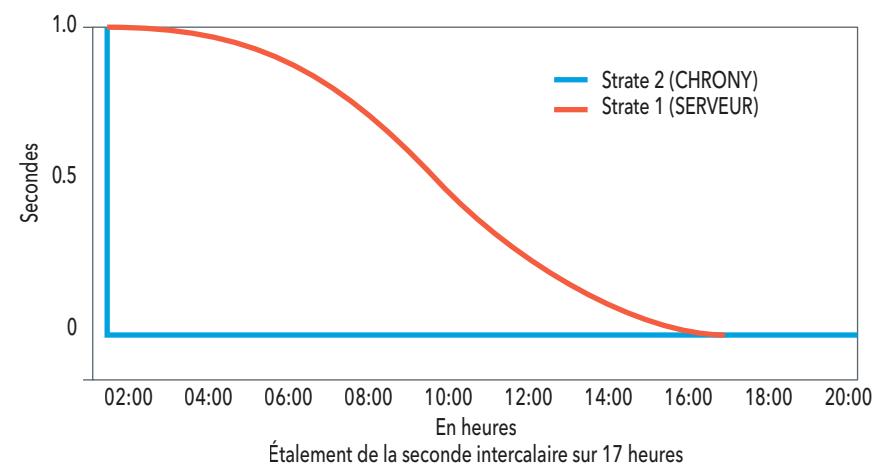
Le protocole de temps réseau ([NTP](#)) est l'un des types de synchronisation du temps les plus courants dans les centres de données. Il s'agit d'une technologie très fiable et éprouvée. Dans le monde entier, la plupart des serveurs et des dispositifs des utilisateurs finals s'appuient sur le protocole NTP pour rester à l'heure.

Chez Meta, nous utilisons un [protocole NTP à faible gigue de point ultramoderne](#), que nous validons constamment à l'aide d'équipements de référence de temps extrêmement précis et fiables. Le protocole NTP permet de synchroniser de façon fiable à des centaines de microsecondes près, avec une fenêtre d'incertitude inférieure à 100 millisecondes.

Deux possibilités se présentent alors pour traiter un événement d'intercalage, à savoir l'ajustement de l'horloge ou l'étalement.

[On sait que l'ajustement est source de problèmes](#), ce qui fait de l'étalement (une technique d'étalement du temps sur une période de plusieurs heures pour tenir compte des secondes intercalaires) la meilleure option dans la plupart des cas. Nos équipements nous permettent de mesurer les incidences de l'étalement,

### Décalage par rapport au «temps vrai»



Source: Oleg Obleukhov et Ahmad Byagowi, Meta

## Quelques composants nécessaires pour créer un serveur de temps

OCP  
Tioga Pass



NVIDIA Mellanox ConnectX-6 Dx



Carte de temps Facebook



Source: Oleg Obleukhov et Ahmad Byagowi, Meta

qui vise à ramener une seconde intercalaire à quelques nanosecondes (voir la figure). (see figure).

À partir de ces mesures, on sait que les ajustements peuvent atteindre plusieurs dizaines de microsecondes par seconde, ce qui suffit à faire dysfonctionner un logiciel, sauf si l'on utilise une horloge monotone. Cela impose des contraintes supplémentaires à nos équipes d'ingénieurs et pose souvent des problèmes dans différentes parties de l'infrastructure.

Des pressions analogues se font sentir [dans l'ensemble du secteur du numérique](#). Au vu de ces difficultés, nous ne sommes guère enthousiastes à l'idée de connaître la toute première seconde intercalaire négative.

## Protocole de synchronisation de précision

Même si le protocole de synchronisation dans le réseau convient aujourd'hui pour la plupart des applications utilisateur, il nous paraît de plus en plus difficile, voire impossible, d'utiliser des systèmes de stockage répartis, dans lesquels les applications exigeantes nécessitent des garanties beaucoup plus strictes.

C'est pourquoi des entreprises comme Meta [déploient](#) des solutions de synchronisation supplémentaires, telles que le protocole de synchronisation de précision, qui permet de ramener la fenêtre d'incertitude à quelques nanosecondes.

Grâce à ce niveau de précision, il est tout simplement impossible d'étaler une seconde intercalaire sans risque. Par conséquent, le protocole de synchronisation de précision est principalement utilisé avec le temps TAI. Lorsque la conversion en temps UTC est nécessaire, elle doit être effectuée séparément pour chaque client, ce qui suppose de dégrader la fenêtre d'incertitude de plusieurs ordres de grandeur.

## Il est temps

Nous sousscrivons à la décision du Bureau international des poids et mesures (BIPM) de mettre fin à la seconde intercalaire, dans la pratique, d'ici à 2035.

Le temps UTC fixe s'écartera lentement du temps solaire observé, mais il renforcera la stabilité des systèmes critiques. Corriger une heure intercalaire ou une heure d'été à intervalles de quelques millénaires constituera une approche beaucoup plus sûre et durable pour tous.



*Nous sousscrivons à la décision du BIPM de mettre fin à la seconde intercalaire dans la pratique d'ici à 2035.*





# Programme du Centre national de diffusion du temps du Royaume-Uni

Helen Margolis, Responsable des sciences pour le temps et les fréquences, Laboratoire national de physique du Royaume-Uni

On décrit parfois le temps comme un service d'utilité publique invisible. Nous avons besoin de signaux horaires de plus en plus précis pour assurer des services aussi essentiels que les télécommunications, les réseaux de distribution électrique, les services bancaires et les transports.

Néanmoins, de nombreuses organisations ignorent qu'elles dépendent du temps ou ne comprennent pas vraiment son origine.

## Dépendance excessive au système GNSS

Dans la plupart des cas, les signaux horaires proviennent des systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS). Mais ces signaux sont faibles, ce qui les rend vulnérables aux brouillages intentionnels, à l'usurpation d'adresse ou aux brouillages naturels dus à des phénomènes tels que les orages solaires. Cette vulnérabilité, conjuguée au fait que peu de gens savent à quel point les infrastructures essentielles dépendent du système GNSS, représente un risque considérable.

*“ Nous avons besoin de signaux horaires de plus en plus précis pour assurer des services aussi essentiels que les télécommunications, les réseaux de distribution électrique, les services bancaires et les transports. ”*

Helen Margolis

Au Royaume-Uni, ce risque a été décrit dans le Blackett Review de 2018 (étude intitulée «[Temps et position définis par satellite: étude des dépendances critiques](#)») et intégré dans le Registre national des risques en 2020. Tant l'étude que le registre font clairement ressortir la nécessité de prendre des mesures afin de renforcer la capacité de résistance aux perturbations du GNSS, qui prévoient l'adoption, le cas échéant, de systèmes de secours.

### Échelle UTC(NPL) - Une autre source de temps

Le Laboratoire national de physique (NPL), en sa qualité d'Institut national de mesure du Royaume-Uni, maintient l'échelle de temps UTC(NPL) - seule détermination du temps universel coordonné (UTC) au Royaume-Uni - et la diffuse aux utilisateurs.

Nos services actuels sont toutefois limités, que ce soit au niveau de la précision qu'ils peuvent fournir ou de leur portée géographique. Le signal horaire MSF et le service de temps par l'Internet sont relativement peu précis, et notre service NPLTime® reposant sur la fibre optique pour le secteur financier n'est disponible que dans une zone restreinte du Royaume-Uni.

Pour répondre aux exigences de plus en plus strictes des utilisateurs et réduire la dépendance excessive à l'égard du système GNSS dans les infrastructures nationales essentielles, le NPL conduit un programme visant à renforcer considérablement l'infrastructure et les capacités du temps dans l'ensemble du Royaume-Uni.

### Programme du Centre national de diffusion du temps du Royaume-Uni

Ce programme s'articule autour de la construction d'une nouvelle échelle de temps plus résiliente qui, une fois entièrement mise en service, deviendra la source du temps UTC(NPL).

Il est conçu sous la forme d'un réseau de quatre sites répartis géographiquement et reliés. Chacun d'eux contiendra plusieurs masers à hydrogène (émetteurs à ondes électromagnétiques), ainsi qu'un équipement associé de mesure des signaux, d'orientation de la fréquence et de distribution, ce qui permettra de mettre en œuvre plusieurs déterminations de l'échelle du temps. Les liaisons de transfert du temps intersites permettront d'aligner toutes les déterminations d'échelle du temps sur celle désignée comme étant le temps UTC(NPL), en utilisant plusieurs méthodes pour garantir leur résilience.

Le temps UTC(NPL) sera lui-même asservi pour être maintenu dans des limites définies de décalage de temps et de fréquence du temps UTC, grâce à la présence d'étalons primaires à fontaine de césium dans le réseau. La commutation entre différentes déterminations d'échelles du temps sera possible, si nécessaire, sur le même site ou sur des sites différents. On met actuellement au point un logiciel de surveillance, de commande et d'automatisation du fonctionnement de la nouvelle infrastructure.

“

*Pour répondre aux exigences de plus en plus strictes des utilisateurs et réduire la dépendance excessive à l'égard du système GNSS dans les infrastructures nationales essentielles, le NPL conduit un programme visant à renforcer considérablement l'infrastructure de diffusion du temps.*

”



Une fontaine de césium construite par le NPL

[En savoir plus.](#)

## Encourager l'innovation

Les signaux horaires et de fréquence provenant de notre échelle du temps UTC(NPL) existante sont également mis à la disposition des utilisateurs des milieux professionnels et universitaires par le biais de nouveaux nœuds d'innovation situés dans les universités de Strathclyde, Surrey et Cranfield.

En partenariat avec [Innovate UK](#), nous appuyons les travaux de recherche sur la production, la diffusion et les applications de signaux horaires et de fréquence et encourageons le développement de la chaîne d'approvisionnement industrielle. Les trois nœuds d'innovation, qui utilisent différentes méthodes de transfert du temps et des fréquences pour leur connexion au temps UTC(NPL), pourraient servir de modèle pour les futures infrastructures de diffusion du Royaume-Uni.

## Une échelle de temps continue pour un monde numérique

La nouvelle échelle du temps du Royaume-Uni est bien entendu conçue pour traiter les secondes intercalaires conformément aux normes internationales. Autrement dit, elle permettra de diffuser les informations relatives aux secondes intercalaires aux nœuds d'accès des utilisateurs. Mais les protocoles de diffusion du temps ne traitent pas tous correctement les secondes intercalaires et la possibilité d'une seconde intercalaire négative – qui n'a jamais été mise en pratique jusqu'à présent – représente un autre risque pour la résilience.

C'est pourquoi les principales parties prenantes du Royaume-Uni estiment que le passage à une échelle de temps UTC continue sans seconde intercalaire constitue le meilleur moyen d'obtenir une échelle de temps de précision résiliente qui appuie l'économie numérique moderne.

## Vision pour l'avenir

Notre ambition à long terme est de créer un réseau dorsal de signaux horaires et de fréquences de haute précision qui s'étende sur tout le pays. Les ramifications de ce réseau dorsal fourniraient une gamme de services offrant différents niveaux de qualité de fonctionnement, certains reposant sur la fibre, d'autres sur des techniques de radiodiffusion.

Tous ces signaux seraient calés sur le temps UTC(NPL) comme premier point de référence au Royaume-Uni. L'objectif est de fournir une référence de temps résiliente à laquelle les utilisateurs, quels qu'ils soient et où qu'ils se trouvent, peuvent se fier.

“

*Notre ambition à long terme est de créer un réseau dorsal de signaux horaires et de fréquences de haute précision qui s'étende sur tout le pays.* ”



# Le système de navigation par satellite BeiDou et la seconde intercalaire UTC

Yuting Lin, Ingénieur principal, Centre de navigation par satellite de Beijing; Yuanxi Yang, Chargé de recherche, Laboratoire clé d'État pour l'ingénierie d'informations géographiques et Bijiao Sun, Ingénieur, Laboratoire clé d'État pour l'ingénierie d'informations géographiques, Chine

Un service de synchronisation utilisant un temps continu, stable et précis est une condition essentielle pour le développement économique et social national. Aujourd'hui, les systèmes de navigation par satellite prennent en charge la méthode du service de diffusion du temps la plus largement utilisée, qui offre la plus grande précision et la plus large couverture possible.

## Système de temps BeiDou

Le système mondial de navigation par satellite BeiDou (BDS) est devenu une composante essentielle de cette infrastructure de mesure du temps, avec le lancement en 2020 des derniers satellites BDS-3, la troisième génération du système est désormais entièrement opérationnelle. La constellation BDS comprend aujourd'hui 45 satellites opérationnels, dont 15 satellites BDS-2 et 30 satellites BDS-3, qui fournissent conjointement des services d'utilisateurs. Leur précision de synchronisation est supérieure à 20 nanosecondes, ce qui représente un niveau de confiance de 95%.



Yuting Lin



Yuanxi Yang



Bijiao Sun

Le système BDS utilise comme référence le temps du système de navigation par satellite BeiDou (BDT), qui utilise la seconde du système international d'unités (SI) pour une accumulation continue sans seconde intercalaire.

Le temps BDT est décompté depuis le 1er janvier 2006 à 00:00:00, temps universel coordonné (UTC). Le temps BDT se base sur le temps UTC tel que maintenu par le laboratoire national de mesure du temps de la Chine, le décalage entre le temps BDT et le temps UTC étant maintenu à 50 nanosecondes maximum (modulo 1 seconde). Les corrections par secondes intercalaires entre le temps BDT et le temps UTC sont diffusées par message NAV.

Depuis 1972, le temps UTC a été mis à jour 27 fois, avec des secondes intercalaires positives, la dernière mise à jour ayant été réalisée le 31 décembre 2016. Actuellement, la différence entre le temps UTC et le temps atomique international (TAI) est de 37 secondes.

### Incidence des secondes intercalaires sur les systèmes BeiDou

La seconde intercalaire a une incidence sur les utilisateurs du système BeiDou, qui adoptent le temps BDT plutôt que le temps UTC comme référence de temps, que ce soit pour la synchronisation temporelle, la détermination des mesures orbitales, le traitement des données ou à d'autres fins.

Même si les systèmes spatiaux sont chargés de recevoir et de transmettre les paramètres liés aux secondes intercalaires, leurs propres systèmes ne sont pas affectés par ces secondes.

Les systèmes de navigation par satellite fournissent des services de temps pour les infrastructures essentielles telles que l'électricité, les communications et la finance. Compte tenu de leur besoin crucial de continuité du temps, le traitement fréquent des secondes intercalaires ne favoriserait pas la sécurité de leur fonctionnement.

Les systèmes au sol actuels traitent les secondes intercalaires et les diffusent via des messages NAV à leurs utilisateurs. Néanmoins, la création et l'insertion de ces paramètres imposent une charge de travail et des risques de calcul dans le système opérationnel.

Le temps de sortie du récepteur BDS après réception du signal du satellite est le temps UTC. Cela signifie que le récepteur doit tenir compte des paramètres de correction avec les secondes intercalaires et corriger la différence de temps.

Si les secondes intercalaires étaient annulées, le décalage de temps (ou le nombre entier de secondes) entre le temps BDT et le temps UTC serait préréglé dans les systèmes sous la forme d'une constante fixe, ce qui simplifierait l'exploitation et l'application des systèmes, améliorerait leur stabilité et favoriserait la compatibilité et l'interopérabilité entre de multiples systèmes de navigation par satellite mondiaux.

*“Un service de synchronisation utilisant un temps continu, stable et précis est une condition essentielle pour le développement économique et social national.”*

Yuting Lin, Yuanxi Yang and Bijiao Sun

*“Même si les systèmes spatiaux sont chargés de recevoir et de transmettre les paramètres liés aux secondes intercalaires, leurs propres systèmes ne sont pas affectés par ces secondes.”*

## Propositions pour réformer le temps UTC

Compte tenu des incidences et des risques découlant de la mise en œuvre de ces ajustements, les appels en faveur d'une réforme du temps UTC et de l'annulation des secondes intercalaires se multiplient. Déjà en 1999, cette question qu'est «le futur de l'échelle de temps universel coordonné» était soumise à l'Union internationale des télécommunications (UIT).

À cette époque, le représentant de la Chine à l'UIT a proposé de poursuivre l'étude de la question et de prendre une décision une fois que les avantages et les inconvénients seraient clairement établis. Par la suite, les pays et organisations concernés ont poursuivi les discussions sur la seconde intercalaire lors de la Conférence mondiale des radiocommunications de 2015, au cours de laquelle il a été décidé de n'apporter aucune modification au temps UTC avant 2023.

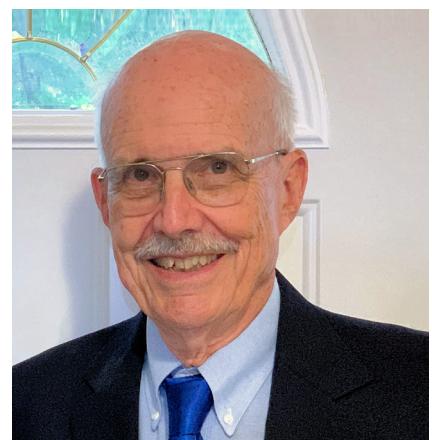
À ce stade, les progrès de la science et de la technologie ont rendu urgente la nécessité de réformer le temps UTC.

Trois points essentiels doivent donc être pris en considération:

1. **Le temps UTC futur devrait être plus continu**, stable et précis. Parce qu'il est la référence de temps universel pour les économies et les sociétés en évolution, il devrait être mieux adapté aux besoins des utilisateurs et au développement constant de la science et de la technologie.
2. **Il est nécessaire de revoir la durée de la seconde**, afin d'absorber la différence entre la durée de la seconde atomique définie par le temps UTC et la durée de la seconde physique due à l'irrégularité de la rotation de la Terre. Ainsi, il ne serait plus nécessaire d'avoir recours à la seconde intercalaire pour les 10 000 prochaines années. Avant que la nouvelle durée de la seconde entre en vigueur, il faut bien entendu laisser aux utilisateurs le temps d'évaluer en détail et de mettre à jour leurs systèmes et logiciels existants, afin d'éviter les possibles risques d'exploitation.
3. **Le lien du temps UTC avec le temps universel 1** (ou UT1, fondé sur la rotation de la Terre) devrait être maintenu d'une manière ou d'une autre. Le temps UT1 prévaut encore dans certains domaines et certains secteurs d'activité, comme l'astronomie, la géodésie et l'exploration spatiale, pour n'en citer que quelques-uns. Les besoins de ces utilisateurs doivent donc être pris en considération et satisfaits.

“

*À ce stade, les progrès de la science et de la technologie ont rendu urgente la nécessité de réformer le temps UTC.* ”



## Incidences concrètes sur l'astronomie

Dennis McCarthy, Représentant de l'Union astronomique internationale auprès du Comité consultatif du temps et des fréquences (CCTF) et du BIPM

Une modification de la définition du temps UTC pourrait avoir des incidences sur les applications de l'astronomie qui utilisent la définition actuelle du temps universel coordonné (UTC) pour accéder au temps UT1, qui est le temps universel basé sur la rotation de la Terre.

L'angle de rotation de la Terre dans un système de référence céleste est défini par l'angle UT1. La définition actuelle du temps UTC garantit que la différence entre le temps UT1 et le temps UTC (c'est-à-dire la différence UT1-UTC) reste inférieure à 0,9 seconde, ce qui permet d'assurer un accès aisément au temps UT1 et au temps UTC pour les applications qui ne nécessitent pas une grande précision.

Si le temps UTC est redéfini, les applications qui utilisent actuellement le temps UTC comme représentation peu précise du temps UT1 seront peut-être dans l'obligation de revoir leur stratégie, de mettre à jour leurs logiciels de base et d'informer leurs utilisateurs de ces modifications. Toute modification de la définition du temps UTC pourrait également être source de préoccupation pour les producteurs et les utilisateurs de données astronomiques.

“

*Une modification de la définition du temps UTC pourrait avoir des incidences sur les applications de l'astronomie qui utilisent la définition actuelle du temps universel coordonné (UTC) pour accéder au temps UT1.* ”

---

Dennis McCarthy

Ces applications sont les suivantes:

- télescopes de Terre, les antennes et les autres instruments pointant dans des directions précises;
- logiciels et applications d'astronomie reposant sur la définition actuelle du temps UTC;
- données astronomiques figurant dans les almanachs et sur les sites web qui utilisent la définition actuelle du temps UTC; et
- fourniture de valeurs et de paramètres observés ou prévus pour décrire l'orientation de la Terre par rapport aux systèmes de référence astronomiques.

“

*Il faudra peut-être modifier les logiciels et applications existants pour lesquels on part du principe que le temps UTC est pour l'essentiel équivalent au temps UT1.*

”

## Pointage des télescopes de Terre, des antennes et des instruments

Les applications de pointage en astronomie qui nécessitent un temps UT1 plus précis obtiennent désormais des estimations actuelles et prévues de la différence UT1-UTC au moyen de l'Internet ou du système GPS ou BeiDou pour répondre à leurs besoins.

Or, selon la définition actuelle du temps UTC, l'écart entre UT1 et UTC doit rester inférieur à 0,9 seconde. En cas de changement, il faudrait peut-être modifier une grande partie des logiciels existants de telle sorte que le temps UTC puisse diverger de plus d'une seconde du temps UT1.

Même dans ces conditions, si les besoins opérationnels actuels des télescopes concernant le temps UT1 sont satisfaits avec la précision actuelle du temps UTC, la même précision sera sans doute obtenue à  $\pm 1$  seconde près dans la différence UT1-UTC, auquel cas les ajustements logiciels pourraient être minimes.

Ces problèmes devraient pouvoir être résolus à condition de prévoir des délais suffisants pour la mise en œuvre d'une nouvelle définition de la différence UT1-UTC.

## Logiciels et applications en astronomie

De même, il faudra peut-être modifier les logiciels et applications existants pour lesquels on part du principe que le temps UTC est pour l'essentiel équivalent au temps UT1, ce qui permettra d'apporter des changements pour inclure les valeurs de la différence UT1-UTC. Les approximations actuelles et prévues de la différence UT1-UTC issues de l'Internet, ainsi que du système GPS ou BeiDou, devraient répondre à ce besoin, mais il faudra peut-être modifier les logiciels et procédures connexes.

Là encore, ces problèmes peuvent être résolus à condition de prévoir des délais suffisants.

## Données astronomiques des almanachs et des sites web

Les éphémérides (tables prédictives des positions d'une planète, d'une comète ou d'un satellite) et les prévisions des phénomènes astronomiques sont calculées à l'aide d'une échelle de temps continue indépendante de la rotation de la Terre. En conséquence, une modification de la définition du temps UTC n'aurait aucune conséquence sur ces calculs. Toutefois, les informations obtenues pourront s'appuyer sur le temps UTC comme temps de référence.

Les ajustements apportés au temps UTC sont imprévisibles et ne sont annoncés que quelques mois avant leur mise en œuvre. Les éphémérides astronomiques portant sur les dates futures pendant de plus longues périodes pourraient devenir erronées en raison d'ajustements imprévus du temps UTC.

Les éphémérides exprimées en temps UTC tireraient donc parti de la suppression des ajustements par secondes intercalaires, qui contribuent à des erreurs de prévision dans la différence UT1-UTC. De fait, le risque d'erreur de cette nature serait éliminé.

## Fourniture des valeurs observées ou prévues de la différence UT1-UTC

Le Service international de la rotation terrestre et des systèmes de référence (IERS), établi par l'Union astronomique internationale (UAI) et l'Union géodésique et géophysique internationale (UGGI), est chargé de fournir les valeurs observées ou prévues de la différence UT1-UTC. À ce titre, il a pour mission d'annoncer les ajustements d'une seconde apportés au temps UTC, connus sous le nom de «secondes intercalaires».

Les modifications qu'il est proposé d'apporter à la définition du temps UTC pourraient permettre un écart supérieur à 0,9 seconde entre le temps UT1 et le temps UTC. Le rôle de l'IERS, qui consiste essentiellement à annoncer des secondes intercalaires, s'en trouverait modifié.

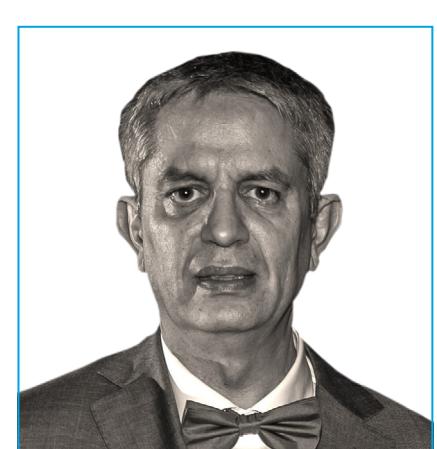
Toutefois, la proposition de redéfinition du temps UTC renforcerait vraisemblablement l'importance des activités de l'IERS, qui mettrait davantage l'accent sur la fourniture de données UT1-UTC, peut-être même en temps réel.

En résumé, la redéfinition du temps UTC aurait à n'en pas douter des incidences sur les activités en matière d'astronomie. Mais en prévoyant des délais suffisants, les astronomes pourraient s'adapter à ces incidences sans que les procédures en place soient perturbées.



*Les modifications qu'il est proposé d'apporter à la définition du temps UTC pourraient permettre un écart supérieur à 0,9 seconde entre le temps UT1 et le temps UTC.*





## Diffusion du temps: une perspective historique

Christian Bizouard, Astronome, Observatoire de Paris (SYRTE) et Centre d'orientation terrestre, IERS

La diffusion du temps fondé sur la rotation de la Terre, déterminé par le temps solaire moyen ( $t$ ) d'un méridien de référence, est une pratique ancienne qui a évolué avec l'avancée des technologies et de leurs applications.

Dès le XVIIIe siècle, la diffusion du temps s'est faite grâce aux horloges mécaniques, qui permettaient de disposer d'une référence de temps, même lors de déplacements sur de longues distances, en particulier en mer. Ces horloges ont facilité le calcul de la rotation du méridien d'origine par rapport au temps sidéral de Greenwich (GST). L'ascension droite d'un objet céleste ( $\alpha$ ) au méridien local permettait alors de déterminer la longitude du méridien local [ $\alpha - TPS(t)$ ], favorisant une précision croissante de la navigation et de la cartographie.

Au XIXe siècle, la diffusion du temps a pris une importance cruciale pour les horaires des chemins de fer. Le développement du commerce international et des communications a donné lieu à l'adoption, en 1884, du temps solaire moyen de Greenwich, connu sous le nom de temps universel (UT). Toutefois, les horloges fabriquées par l'homme n'étaient pas suffisamment stables pour être synchronisées avec le temps de rotation de la Terre et devaient être ajustées au temps universel au moyen d'observations astronomiques presque quotidiennement.

Au début du XXe siècle, différents services de radiocommunication à travers le monde ont commencé à émettre dans les fuseaux horaires locaux par rapport

*Dès le XVIIIe siècle, la diffusion du temps s'est faite grâce aux horloges mécaniques.*

Christian Bizouard

au temps universel. En 1912, le Bureau international de l'heure (BIH), situé à l'Observatoire de Paris, a commencé à collecter des données pour maintenir le temps universel.

## L'irrégularité du temps universel

L'invention de l'horloge à quartz a changé la donne dans les années 1930, en mettant en évidence le caractère irrégulier du temps universel, qui présentait une variation saisonnière d'environ 20 millisecondes (ms). Les comparaisons d'éphémérides planétaires ont confirmé l'existence, dans le temps universel, d'autres oscillations allant jusqu'à cinq secondes sur des périodes de plusieurs décennies.

D'après les données sur les éclipses solaires anciennes, la durée d'un jour augmente à long terme, au rythme de 1,8 milliseconde par année civile, ce qui entraîne une diminution parabolique du temps universel enregistrée sur des périodes significatives.

Dans les années 1950, l'oscillateur à quartz a été associé à un résonateur atomique pour améliorer la stabilité de la mesure du temps.

La preuve de l'instabilité de la rotation de la Terre qui en a résulté a conduit à une distinction entre le temps astronomique traditionnel (UT1) et le temps universel déterminé par les horloges atomiques, plus stable. Le temps atomique international (TAI) a été adopté à des fins scientifiques en 1958. Treize ans plus tard, la seconde de TAI est devenue l'unité de temps de référence universellement acceptée pour toutes les activités humaines.

## Alignment du temps atomique sur l'UT1

En 1972, le temps universel coordonné (UTC) est devenu la base communément admise pour la référence de temps internationale. Comme le TAI, le temps UTC est stable, mais doit parfois être décalé d'une seconde pour correspondre à la réalité astronomique, ou pour demeurer à 0,9 seconde de l'UT1.

En revanche, le TAI non ajusté devance l'UT1 de quelque 27 secondes depuis 1972.

Par conséquent, l'UTC est le fruit d'un compromis permanent entre la stabilité du temps atomique et la réalité des jours et des nuits sur Terre.

En 1987, les activités astronomiques du BIH ont été intégrées au Service international de la rotation terrestre (IERS), devenu par la suite le Service international de la rotation terrestre et des systèmes de référence.

La décision d'introduire un décalage d'une seconde dans le temps UTC suppose d'exercer un contrôle astronomique de l'UT1 par rapport à l'UTC. Aujourd'hui, le Centre d'orientation terrestre de l'IERS publie tous les six mois (le 1er janvier et le 1er juillet) le Bulletin C, afin d'annoncer si une seconde intercalaire sera ajoutée à l'UTC le 30 juin ou le 31 décembre. L'UTC a été ajusté de 27 secondes intercalaires entre 1972 et 2017, les occurrences étant aussi imprévisibles que les variations multidécennales à long terme de la longueur du jour.



*L'invention de l'horloge à quartz a changé la donne dans les années 1930.*

## Secondes intercalaires

Au cours des 50 dernières années, 27 secondes intercalaires ont été ajoutées à l'UTC.

## Qu'est-ce qui a changé dans les années 1990?

Jusqu'aux années 1990, les besoins liés au pointage astronomique pour la navigation étaient satisfaits au moyen de la radiodiffusion de l'UTC, parfois complétée par un UT1-UTC à 0,1 seconde près, ce qui correspond à une précision de 45 mètres d'arc équatorial. Aujourd'hui encore, de telles mises à jour de l'UT1-UTC sont publiées selon les besoins par l'Observatoire de Paris, au moyen du Bulletin D de l'IERS.

Toutefois, du fait de l'apparition des systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS), dans les années 1990, la précision temporelle antérieure est devenue obsolète. Pour un positionnement en temps réel à un mètre, l'UT1 doit être connu à au moins 2 millisecondes.

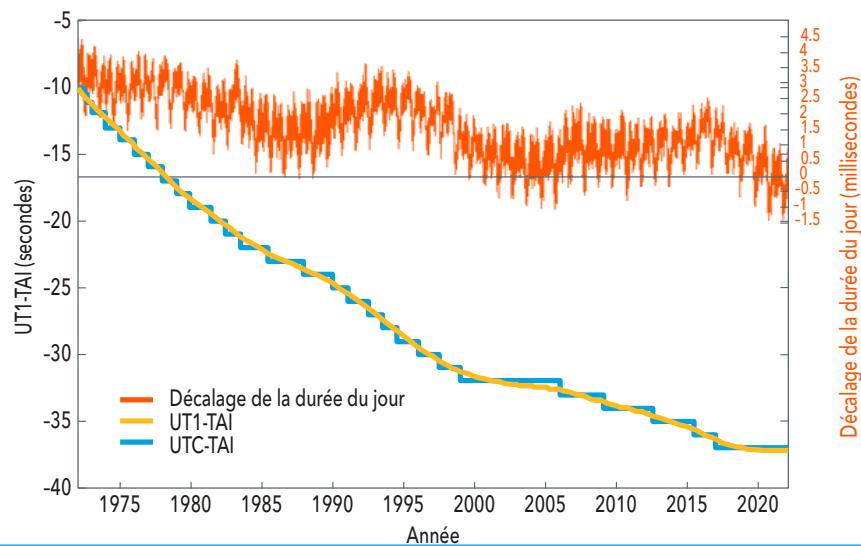
Les systèmes GNSS et les autres techniques astro-géodésiques sont fondés sur les valeurs UT1-UTC déterminées par interférométrie à très grande base (VLBI). Les valeurs opérationnelles quotidiennes atteignent une précision d'environ 30 microsecondes ( $\mu$ s), comme indiqué dans le Bulletin A de l'IERS, avec des valeurs finales présentant une précision à 7  $\mu$ s, publiées 20 à 30 jours plus tard dans le Bulletin B de la série C04 de l'IERS.

## Suppression de la seconde intercalaire

Au cours des 20 dernières années, la synchronisation étroite de l'UT1 avec l'UTC a perdu beaucoup de son importance, l'essentiel des discussions menées depuis 2000 ayant pour objet de supprimer le système des secondes intercalaires.

Jusqu'aux années 2020, la durée correspondant à un jour était supérieure à 86 400 secondes TAI (voir la figure). Nos journées sont donc de plus en plus courtes et, dans la mesure où le rythme de l'UT1 est en moyenne légèrement plus rapide que l'UTC, de l'ordre d'une seconde, le calendrier des secondes intercalaires devient de plus en plus imprévisible.

### Différence entre l'UT1-TAI et l'UTC-TAI depuis 1972



Source: Christian Bizouard, Observatoire de Paris

“

*Nos journées sont donc de plus en plus courtes et, dans la mesure où le rythme de l'UT1 est en moyenne légèrement plus rapide que l'UTC, de l'ordre d'une seconde, le calendrier des secondes intercalaires devient de plus en plus imprévisible.* ”

LOD = décalage de la durée du jour par rapport au TAI de 86 400 secondes

Lorsque le décalage de la durée du jour est positif, l'UT1-TAI diminue et lorsqu'il est négatif, l'UT1-TAI augmente.

Le centre d'exploitation de l'infrastructure électrique (Electricity Infrastructure Operations Center, EIOC) du Laboratoire national du nord-ouest du Pacifique (Pacific Northwest National Laboratory, PNNL) offre un environnement de centre de contrôle réaliste pour la formation et les essais de technologies avancées.



PNNL

## Synchronisation des réseaux électriques

Jeff Dagle, ingénieur électrique en chef, Pacific Northwest National Laboratory ([PNNL](#))

L'exploitation d'un système d'alimentation électrique interconnecté moderne exige la plus grande précision. De multiples entités doivent rester étroitement coordonnées à tout moment, car elles gèrent une multitude de générateurs et autres composants synchronisés les uns avec les autres.

Les opérateurs de système tiennent le décompte du temps et utilisent le temps universel coordonné (UTC) dans diverses applications évoluées. Néanmoins, les erreurs de mesure et de diffusion du temps n'entraîneront pas nécessairement des pannes du système électrique. Le réseau électrique peut fonctionner sans une référence de temps commune.

Il n'en reste pas moins que les applications évoluées qui dépendent d'une heure exacte et précise peuvent subir des perturbations, ce qui n'est pas sans poser des problèmes de fiabilité.

Cet article décrit l'utilisation de la précision temporelle dans le cadre de l'exploitation de systèmes d'alimentation électrique, et souligne en particulier le rôle du temps UTC.



*Au cours des dernières décennies, la précision temporelle offerte par le système mondial de navigation par satellite (GNSS), peu coûteuse et ubiquitaire, a permis des mesures ultraprecises.*

---

Jeff Dagle

## Applications des centres de contrôle

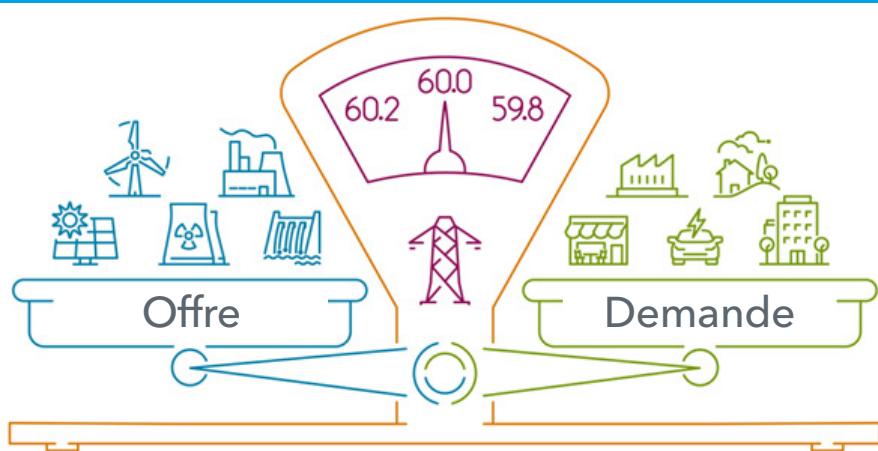
En règle générale, les centres de contrôle utilisent le fuseau horaire local de la région où ils se trouvent. Si le temps UTC est parfois utilisé pour les enregistrements de données automatisés, il l'est rarement pour les communications entre personnes, contrairement à ce qui se pratique pour d'autres activités en temps réel qui couvrent plusieurs fuseaux horaires (par exemple, le contrôle du trafic aérien). Par conséquent, il est important de préciser le fuseau horaire lors de l'échange d'informations entre plusieurs organisations.

Une heure précise est nécessaire pour enregistrer les événements et coordonner les activités. Dans le cas des applications nécessitant l'intervention d'opérateurs humains, il se peut que l'heure pour les affichages et autres systèmes d'automatisation soit établie avec une précision à la seconde la plus proche.

## Répartition des groupes de production

Les variations, de l'électricité produite ou de la demande des clients, entraînent une accélération ou un ralentissement du système, qui sont mesurés en dixièmes ou centièmes de Hertz (Hz). La redistribution de la charge électrique est un processus continu et, s'il est nécessaire de mesurer de manière précise la fréquence pour assurer le bon fonctionnement du système, une référence au temps n'est pas requise.

Équilibrer la production et la charge pour maintenir la fréquence dans le système à tout moment - ici pour un réseau à 60 Hz.



Source: PNNL

## Enregistrements de la chronologie des incidents

En cas de perturbation à grande échelle (généralement une coupure d'électricité), la collecte de renseignements relatifs à l'incident nécessite une précision suffisante pour analyser la séquence des défaillances qui se sont succédé. Étant donné que les dispositifs de protection et de contrôle automatiques fonctionnent rapidement, l'heure à laquelle chaque événement s'est produit doit être établie avec une précision de l'ordre de la milliseconde (ms) pour déterminer la chronologie des incidents et effectuer une analyse de l'origine.

En outre, lorsqu'un incident touche de multiples organisations, les personnes chargées d'investiguer recherchent des données synchronisées sur une référence de temps commune. Par exemple, la North American Electric Reliability Corporation (NERC) exige pour ces données enregistrées une précision à  $\pm 2$  ms du temps UTC.

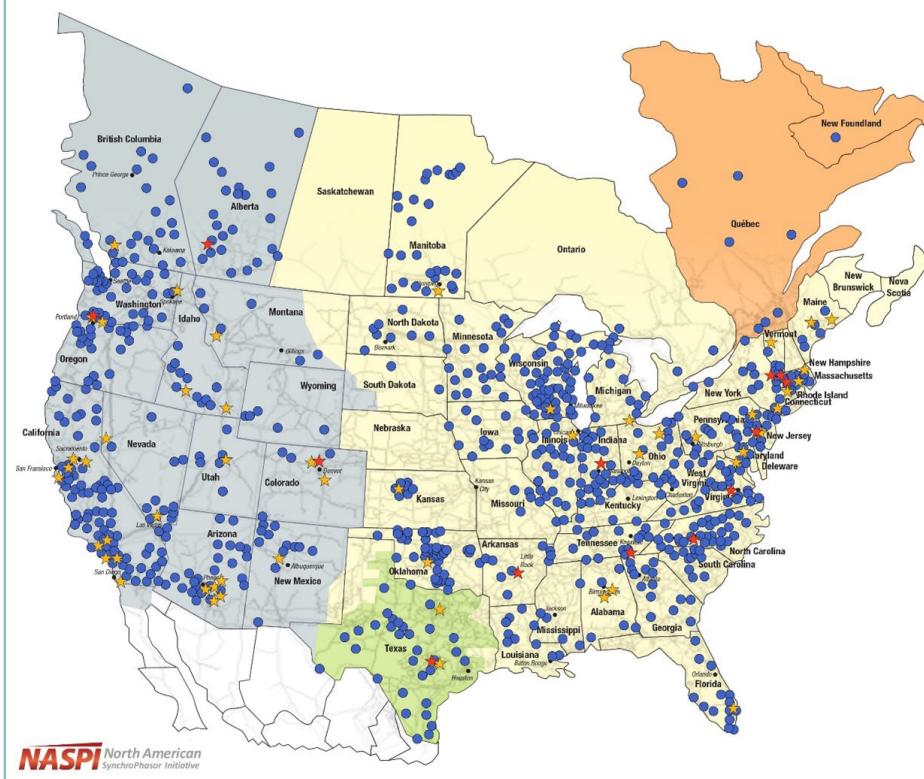
## Systèmes de mesure évolués

Au cours des dernières décennies, la précision temporelle offerte par le système mondial de navigation par satellite (GNSS), peu coûteuse et ubiquitaire, a permis des mesures ultraprécises. Des unités de mesure de phaseur (PMU) qui exigent une source de synchronisation temporelle ayant une précision à moins de 10 microsecondes ( $\mu$ s) ont été mises en œuvre dans le monde entier et, étant donné que leurs mesures sont partagées entre différentes organisations, le temps UTC a été adopté comme référence de temps.

D'autres services collectifs mettent en œuvre des systèmes de mesure évolués pour un large éventail d'applications non connectées et en temps réel. À mesure que ces systèmes sont déployés pour des applications de plus en plus essentielles, les exigences associées afin de disposer d'une synchronisation temporelle plus fiable prennent une importance croissante.

*La quasi-totalité des normes techniques internationales ayant des exigences de synchronisation temporelle utilisent le temps UTC.*

### Emplacements des unités PMU connectées au réseau en Amérique du Nord



- Emplacements des unités PMU
- ★ Concentrateur de données du propriétaire du réseau de transport de l'électricité
- ★ Concentrateur de données régionales

Informations disponibles en mai 2017

Source: North American SynchroPhasor Initiative (NASPI) et PNNL

## Systèmes de protection et de contrôle évolués

La Commission électrotechnique internationale (CEI) a élaboré la nouvelle norme internationale pour l'automatisation des postes électriques, à savoir la norme CEI 61850, qui peut nécessiter une précision allant jusqu'à 1 µs pour certaines applications. Là encore, le temps UTC est utilisé dans cette norme comme référence pratique.

D'autres systèmes de protection et de contrôle évolués reposent sur des méthodes de synchronisation temporelle elles aussi évoluées, comme la localisation des défauts et la protection contre les défauts par ondes progressives. Il est particulièrement important de préciser le temps UTC lors de l'échange de données entre organisations ou de l'intégration de produits de plusieurs fournisseurs dans un système commun.

## Les effets dus aux secondes intercalaires

L'utilisation du temps UTC comme référence de synchronisation temporelle dépasse largement les frontières de l'industrie de l'énergie électrique. La quasi-totalité des normes techniques internationales ayant des exigences de synchronisation temporelle utilisent le temps UTC. Une référence de temps commune est essentielle lors de l'échange de données entre plusieurs organisations ou sites.

Le temps UTC est ajusté au besoin pour maintenir la synchronisation sur la rotation de la Terre. Dans certains cas, les unités PMU ont subi des perturbations dues à l'insertion de la seconde intercalaire lors de ces ajustements, à l'évidence en raison de l'absence d'homogénéité de la mise en œuvre dans les systèmes des différents fournisseurs ou à cause des correctifs inadéquats utilisés par les utilisateurs finals.

Alors que l'on pourrait penser que la mise en œuvre d'une nouvelle seconde intercalaire offre une manière simple de procéder, on découvre systématiquement, lors de l'insertion, des problèmes qui n'avaient pas été anticipés.

Il serait possible de ne pas avoir recours aux secondes intercalaires en adoptant une autre référence de temps, telle que le temps atomique international (TAI). Toutefois, étant donné que le temps UTC est largement accepté et utilisé, aucune dynamique ne se dessine en ce sens.

Le fait de conserver le temps UTC comme norme internationale tout en ayant moins recours à la seconde intercalaire pour les ajustements pourrait offrir une solution très intéressante pour le secteur de l'infrastructure électrique dans l'avenir.

L'utilisation de minutes intercalaires – et donc l'ajustement de nos horloges environ une fois par siècle plutôt que tous les deux ans – pourrait bien constituer une solution raisonnable à long terme.

“

*L'utilisation de minutes intercalaires – et donc l'ajustement de nos horloges environ une fois par siècle plutôt que tous les deux ans – pourrait bien constituer une solution raisonnable à long terme.* ”



Andreas Bauch



Karsten Buckwitz

## Temps UTC: Situation passée, actuelle et future

Andreas Bauch, chercheur principal, PTB (Institut national de métrologie) et Karsten Buckwitz, conseiller principal en matière de spectre, BNetzA (Agence fédérale des réseaux), Allemagne

Un accès fiable à un temps précis a longtemps été considéré comme indispensable - et restera indispensable - au bon fonctionnement des infrastructures modernes dans le monde entier. La plupart des utilisateurs, des entreprises et des organisations, ainsi que des experts de la diffusion du temps, conviennent de la nécessité de disposer d'une échelle de temps de référence universelle unique et la Conférence générale des poids et mesures (CGPM) a décidé en 1975 et réaffirmé en 2018 que le temps universel coordonné (UTC) est l'unique échelle de temps recommandée comme référence internationale et qu'elle est à la base du temps civil.

Le temps UTC offre des avantages considérables par rapport à d'autres échelles de temps:

- Il est maintenu par le Bureau international des poids et mesures (BIPM), sous l'autorité de la CGPM, et bénéficie de contributions des laboratoires du temps de nombreux pays et de centaines de physiciens et de spécialistes en métrologie. Il reste ainsi indépendant de l'influence d'un pays, d'un pouvoir politique ou d'une entité commerciale donné.

- Bien que le temps UTC soit largement reconnu comme étant la source pratique de signaux horaires et de fréquence dans de nombreux pays, seuls quelques-uns adoptent le temps UTC avec le décalage approprié en tant qu'heure légale. L'Allemagne en est un exemple, puisqu'elle applique le temps UTC avec un décalage d'une ou deux heures, selon la saison, conformément à la Loi sur les unités et l'heure de 2008.
- Le temps UTC est diffusé par une approximation locale en temps réel, UTC(k), effectuée par l'Institut national de métrologie (NMI) ou l'Institut désigné (DI) dans chaque pays. Ces instituts sont chargés au niveau national de déterminer et de diffuser le temps UTC(k) et, dans certains cas, l'heure légale. En Allemagne, l'Institut fédéral des techniques physiques (Physikalisch-Technische Bundesanstalt - PTB) diffuse l'heure légale via la station radioélectrique transmettant des fréquences étalon DCF77 fonctionnant à 77,5 kilohertz (kHz), mais aussi par l'intermédiaire du réseau téléphonique public et de l'Internet.

### Rôle de l'UIT dans la diffusion des signaux horaires

Le Secteur des radiocommunications de l'UIT (UIT-R) et le Groupe de travail 7A qui en relève jouent un rôle essentiel dans la fourniture des bases techniques et réglementaires nécessaires à la diffusion ininterrompue des signaux horaires dans le monde entier. La définition de nouveaux codes temporels et la protection des services des fréquences étalon et des signaux horaires demeurent des tâches importantes et en cours pour le Groupe de travail 7A, avec l'appui des organisations internationales concernées.

Au terme de dix années de discussions entre toutes les parties concernées, un consensus s'est dégagé sur le fait qu'il ne convenait pas d'utiliser d'autres échelles de temps comme sources de base de temps. En revanche, la pratique consistant à déterminer le temps UTC devrait être adaptée aux besoins du XXI<sup>e</sup> siècle.

Les Conférences mondiales des radiocommunications (CMR) précédentes ont mené des essais de mise à jour du temps UTC et la CMR-15 a étudié la possibilité d'obtenir une échelle de temps de référence continue, en modifiant le temps UTC ou en utilisant une autre méthode. Ces discussions lors de la CMR-15 ont eu lieu conformément à une décision prise au cours du cycle précédent, conformément à la Résolution 653 (CMR-12).

Aux termes de la Résolution 655 (CMR-15) ultérieure, le Directeur du Bureau des radiocommunications de l'UIT fera rapport à la prochaine CMR-23 sur les résultats des activités relatives aux divers aspects de l'échelle de temps de référence actuelle et de celles qui pourraient être définies dans l'avenir, ainsi que sur le contenu et la structure des signaux horaires qui doivent être diffusés à l'aide de systèmes de radiocommunication.

“

*La plupart des utilisateurs, des entreprises et des organisations, ainsi que des experts de la diffusion du temps, conviennent de la nécessité de disposer d'une échelle de temps de référence universelle unique.*”

Andreas Bauch et  
Karsten Buckwitz

“

*La pratique consistant à déterminer le temps UTC devrait être adaptée aux besoins du XXI<sup>e</sup> siècle.*”

## Point de vue de l'Allemagne

Plusieurs pays, comme l'Allemagne, ont aidé le Groupe de travail 7A à préparer les débats de la CMR-23, et une équipe de préparation a mené d'intenses travaux sur ce sujet entre 2015 et 2022. L'Allemagne s'est félicitée du rapport final, intitulé «Contenu et structure des signaux horaires devant être diffusés par des systèmes de radiocommunication et divers aspects de l'échelle de temps de référence actuelle et de celles qui pourraient être définies dans l'avenir, y compris leurs incidences et applications dans le domaine des radiocommunications» (UITR TF.2511), ainsi que de la note associée à l'intention du Directeur du Bureau des radiocommunications de l'UIT.

L'Allemagne souscrit sans réserve aux conclusions et aux suggestions formulées dans le rapport, qui serviront probablement de base au rapport du Directeur du Bureau à la CMR-23.

## Mise à jour de la Résolution de l'UIT sur l'échelle de temps

De nombreuses administrations, y compris l'Allemagne, ont demandé que soit révisée la Résolution 655 (CMR-15), intitulée «Définition d'une échelle de temps et diffusion de signaux horaires à l'aide de systèmes de radiocommunication». Cette révision est essentielle pour parachever le processus et adapter le temps UTC pour l'avenir.

Les principaux résultats et enseignements tirés des débats depuis 2012 sont les suivants:

- le BIPM est responsable de la définition et de la publication de l'échelle de temps de référence UTC, conformément à la Résolution 2 de la 26ème CGPM, tenue en 2018;
- la CGPM déterminera le calendrier et la valeur maximale future pour la différence UT1UTC, comme indiqué dans la Résolution 4 de la 27ème CGPM, tenue en 2022; et
- la définition et les propriétés du temps UTC ne constituent pas des tâches relatives à la réglementation du spectre au sein de l'UIT-R.

## Poursuivre le dialogue, ouvert à tous

Les utilisateurs, les entreprises et les organisations intéressés – et, bien entendu, les experts de la diffusion du temps – sont invités à prendre part au dialogue essentiel et nécessaire sur ces questions dans le cadre des travaux du Groupe de travail 7A. Ces débats en cours se déroulent conformément au Mémorandum d'accord entre l'UIT et le BIPM, mais aussi dans le cadre de la mise à jour prévue de la Résolution 655 à la CMR-23.



*Les utilisateurs, les entreprises et les organisations intéressés – et, bien entendu, les experts de la diffusion du temps – sont invités à prendre part au dialogue essentiel et nécessaire sur ces questions dans le cadre des travaux du Groupe de travail 7A.*



# La mesure du temps et les besoins de conformité dans le domaine de l'astronomie

P. Paul Gabor, Vice-Directeur, de l'Observatoire du Vatican, États-Unis

Le Timée de Platon, dans les sections 37d et 38b-d, présente le temps comme les mouvements annuels et diurnes des corps célestes: «une image mobile de l'éternité». Un nombre incalculable de textes classiques du monde entier reconnaissent que les cycles astronomiques constituent le fondement symbolique du temps lui-même, tel qu'il est perçu et vécu par les sociétés humaines.

Les calendriers reflètent concrètement ce principe. Leur histoire traduit la volonté universelle de disposer de systèmes de mesure du temps qui relient symboliquement la vie humaine à des cycles cosmiques, le jour civil étant symboliquement rattaché au jour solaire.

Les symboles sont ancrés dans l'«[inconscient collectif](#)» (pour reprendre un terme de Jung). Nous allons donc nous pencher brièvement sur la question et examiner les conséquences que les changements apportés à la mesure du temps pourraient avoir sur les fondements symboliques d'une société. [underpinnings](#).

*“Les cycles astronomiques constituent la base symbolique du temps lui-même, tel qu'il est perçu et vécu par les sociétés humaines.”*

Rev. Paul Gabor

## Compréhension de la science par le public

Le rapport de 1985 intitulé «[Public Understanding of Science](#)» (La compréhension de la science par le public) (Royal Society, Royaume-Uni, également connu sous le nom de rapport Bodmer) a fait état d'une rupture entre le grand public et la science. Pour y remédier, les auteurs du rapport encouragent l'adoption de programmes axés sur la communication et la formation dans le domaine scientifique, ainsi que la mobilisation du public.

Toutefois, depuis ces 28 dernières années, les prises de positions contre la science sont de plus en plus nombreuses et marquées.

L'idée que l'éducation à elle seule sera synonyme de changement sociétal est issue de l'anthropologie réductionniste qui est typique du siècle des Lumières (18ème siècle). La position selon laquelle «une fois que les personnes comprennent les raisons rationnelles, ils seront bien obligés d'accepter le point de vue des experts» donne à penser que la seule possibilité qui s'offre aux esprits rationnels est de se rallier aux arguments techniques et pragmatiques. De nombreux aspects non techniques président à notre existence et l'hypothèse de départ est que ces aspects peuvent tous être examinés de manière rationnelle.

Parallèlement, le partage de symboles est l'un des principaux liens qui unissent toute société humaine. Si «nous» avons l'impression qu'«ils» amoindrissent «nos» symboles, un conflit s'ensuivra.

En tant que scientifiques, nous devons tout remettre en question. Malheureusement, cela a incité un nombre croissant de personnes à penser que les experts et d'autres figures faisant autorité mettent à mal de précieuses traditions.

Le débat public autour de la pandémie de COVID-19 a montré que nombreux étaient ceux qui se méfient des avis d'experts. L'exclusion sociale pourrait en partie expliquer ce phénomène, étant donné que certaines personnes se sentent exclues du processus de décision, étrangères à leur propre univers, malmenées par des vents continus de changements aussi rapides et incessants qu'incompréhensibles.

## La question sensible des normes unificatrices

Unifier les normes appliquées dans tout ensemble de systèmes et de technologies est un processus rationnel et pratique. Cependant, d'un autre point de vue, imposer l'uniformité est un geste symbolique associé au pouvoir, à la conquête et à la domination.

C'est pourquoi nous devons redoubler de prudence dans ce domaine. Un changement sans nuance peut être perçu comme un manque de respect et l'unification des normes peut être perçue comme une forme de conquête.

“Les calendriers servent de lien entre l'humanité et le cosmos.”

— L. E. Doggett,  
“[Calendars](#)”

(in P. K. Seidelmann, ed., *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac*. University Science Books, 1992, pp. 575-608.)

“En tant que chercheurs, nous devons tout remettre en question.”

## Rassurer quant à la conformité dans le domaine de l'astronomie

Le principe de la conformité dans le domaine de l'astronomie est crucial pour la mesure du temps civil pour des raisons qui vont bien au-delà de la pratique pure. Bien que des systèmes de mesure du temps comme la semaine de sept jours puissent tirer parti de l'aura mystérieuse qui entoure l'intemporalité mythique, leur histoire démontre un niveau surprenant de flexibilité, à condition que le symbolisme sous-jacent soit maintenu.

Le symbolisme dépend de la perception générale et a un rapport vague avec les faits exacts. Ainsi, tant que nous percevons collectivement le temps civil comme le reflet de phénomènes astronomiques, le symbolisme peut être maintenu.

La Résolution 4 de la dernière Conférence générale des poids et mesures (CGPM-2022) nous permet précisément d'y parvenir. Elle ne suggère pas de dissocier une fois pour toutes la mesure du temps civil de la rotation de la Terre, mais présente un compromis temporaire, selon un processus visant à préserver à long terme la conformité dans le domaine de l'astronomie des systèmes de mesure du temps civil.

Aussi longtemps que nous avons décrit la mesure comme étant temporaire et que nous nous sommes abstenus d'«abolir», de «supprimer» ou d'«interrompre» la seconde intercalaire, nous avons fait en sorte que cette question particulière ne vienne accroître les inquiétudes et la défiance du public.

Après tout, personne ne peut revendiquer une solution «ultime». En outre, comme le montre l'histoire de la mesure du temps, les écarts par rapport à la conformité globale dans le domaine de l'astronomie ne subsistent jamais très longtemps.

## Le compromis actuel

Dans l'ensemble, le mécanisme des secondes intercalaires adopté en 1972, qui sous-tend la définition du temps universel coordonné (UTC), continue de représenter un bon compromis entre l'intérêt pratique d'une échelle de temps continue et la symbolique de la conformité en matière d'astronomie. Ce mécanisme est en place depuis un demi-siècle et nécessite certes des efforts de la part de différents groupes d'utilisateurs du temps, mais ces cinquante ans de pratique ont démontré que nous pouvons faire face à des discontinuités occasionnelles d'une seconde.

“

*Cinq ans de pratique ont démontré que nous pouvons faire face à des discontinuités occasionnelles d'une seconde. ”*



## CMR-23: Le compte à rebours a commencé

Les États Membres de l'Union internationale des télécommunications (UIT) se réuniront à Dubaï (Émirats arabes unis), du 20 novembre au 15 décembre 2023, à l'occasion de la prochaine Conférence mondiale des radiocommunications (CMR-23).

Les résultats de la Conférence seront déterminants dans l'élaboration du futur cadre technique et réglementaire régissant la fourniture de services de radiocommunication dans le monde entier.

La Conférence est l'occasion pour les États Membres de l'UIT de mettre à jour le [Règlement des radiocommunications](#), traité international qui régit l'utilisation du spectre des fréquences radioélectriques et des orbites de satellites associées. Le Règlement des radiocommunications de l'UIT permet aux pays de fournir un accès à de nouveaux services et à de nouvelles technologies, comme les systèmes hertziens de Terre et les systèmes à satellites, tout en protégeant les services existants et en veillant à ce que les services coexistent sans risque de brouillages préjudiciables.

La révolution numérique ouvre la voie à de nouvelles applications de nature différente, qui entraînent un accroissement de la demande dont fait l'objet la ressource limitée qu'est le spectre des fréquences radioélectriques. Dans le cas des services spatiaux, un nombre croissant d'utilisateurs s'intéressent également aux ressources orbitales limitées.

Dans certains cas, cette demande accrue appelle des modifications du cadre réglementaire.

## Le RR: Un instrument en constante adaptation et en perpétuelle évolution

Le Règlement des radiocommunications (dont la première version a été établie en 1906) s'est toujours appuyé sur les progrès techniques pour accroître l'efficacité d'utilisation du spectre et faciliter l'accès à cette ressource.

Les modifications apportées à ce traité ont toujours permis:

- de répondre aux besoins des **services nouveaux ou existants**;
- de **mettre à disposition, en temps voulu**, une quantité de spectre suffisante et d'établir des dispositions réglementaires correspondantes;
- de maintenir les avantages d'une harmonisation des bandes de fréquences à l'échelle mondiale.

## Préparer le terrain

À la prochaine conférence, les membres de l'UIT à l'échelle mondiale s'efforceront de trouver des solutions permettant la mise en œuvre de nouvelles technologies, de fournir un cadre réglementaire stable pour les réseaux à satellite, de moderniser les systèmes de radiocommunication dans le monde et de protéger les services existants.

Les résultats de la seconde session de la Réunion de préparation à la Conférence (RPC23-2), tenue à Genève (Suisse) du 27 mars au 6 avril, ouvriront la voie aux décisions essentielles qui seront prises à la CMR-23.

Le projet de [rapport de la Réunion de préparation à la Conférence](#) comprend les résultats des études importantes menées par le Secteur des radiocommunications de l'UIT (UIT-R) en vue de la CMR-23, ainsi que des propositions de méthodes pour traiter les points de l'ordre du jour de la Conférence.

## Synthèse des propositions relatives aux bandes de fréquences

Les travaux préparatoires régionaux jouent un rôle essentiel dans la réussite de la conférence de l'UIT qui se tient tous les quatre ans pour mettre à jour le Règlement des radiocommunications.



**CMR-23: Réglementation à l'échelle internationale des services par satellite**  
[En savoir plus](#)



**Les raisons pour lesquelles la CMR-23 sera déterminante pour les services de Terre**  
[En savoir plus](#)



**CMR-23: Préserver des services de radiodiffusion de qualité**  
[En savoir plus](#)



**CMR-23: Préparatifs techniques concernant les services scientifiques**  
[En savoir plus](#)

Le Bureau des radiocommunications de l'UIT, conformément à la Résolution 72 (Rév.CMR-19), appuie les travaux préparatoires au niveau régional ainsi que la recherche d'un consensus au niveau interrégional, en organisant trois ateliers interrégionaux de l'UIT au cours du cycle d'études de quatre ans séparant deux Conférences mondiales des radiocommunications.

Les six principales organisations régionales de télécommunication appuient les discussions et la recherche d'un consensus entre gouvernements, régulateurs, fournisseurs de services de télécommunication et équipementiers des six régions du monde.

L'UIT a organisé deux [ateliers interrégionaux sur les travaux préparatoires en vue de la CMR-23](#), fin 2021 et fin 2022. Le troisième atelier interrégional, qui se tiendra avant la CMR-23, aura pour but d'aborder certaines des questions les plus complexes que la Conférence sera appelée à traiter.



## Nouvelles de l'UIT - CMR-23: Le compte à rebours a commencé

[Téléchargez votre exemplaire](#)

### Les organisations régionales de télécommunication mettent en lumière les principaux sujets qui seront examinés à la CMR-23



États arabes, ASMG  
[En savoir plus](#)



Afrique, UAT  
[En savoir plus](#)



Europe, CEPT  
[En savoir plus](#)



Communauté des États indépendants  
RCC | [En savoir plus](#)



Amériques, CITEL  
[En savoir plus](#)



Asie-Pacifique, APT  
[En savoir plus](#)

# Restez au cœur de l'actualité // Restez informé

// Tendances mondiales en matière de technologies //  
// Réflexions livrées par plusieurs dirigeants influents du numérique //  
// Dernières actualités relatives aux événements et initiatives de l'UIT //

## S'inscrire aux contenus :



//  
Bihebdomadaire  
//



//  
Dernières informations  
//



//  
Six éditions par an  
//



//  
Entretiens d'actualité  
//



//  
Mises à jour régulières  
//