

LES ECHELLES DE TEMPS

LA SECONDE INTERCALAIRE

Elisa Felicitas Arias
Time Department

Observatoire de Paris, 13 octobre 2017

Bureau
♦ **I**nternational des
♦ **P**oids et
♦ **M**esures



Résumé

❖ Echelles de temps

Unité

Caractéristiques

Construction

❖ Echelles de temps de référence

❖ Temps atomique international

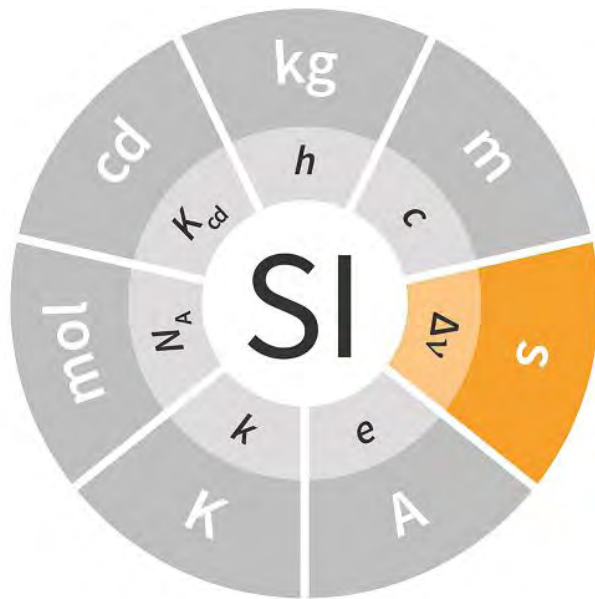
❖ Temps universel coordonné

❖ Les réalisations locales de l'UTC

❖ UTC perturbé par la seconde intercalaire

❖ Faut-il la conserver?

La seconde...définition, réalisation, dissémination



1

... est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133.

2

... est réalisée par les étalons primaires et secondaires de fréquence opérés dans les instituts de métrologie, avec des incertitudes d'ordre 10^{-16} .

3

... est disséminée à l'aide des échelles de temps, dont celle de référence est le Temps universel coordonné (UTC).

Echelles de temps

◆ Éléments

- phénomène périodique (fréquence)
- unité (définition)
- unité (réalisation)
- instruments pour fournir la fréquence
- instruments pour donner le temps (horloges)

◆ Types

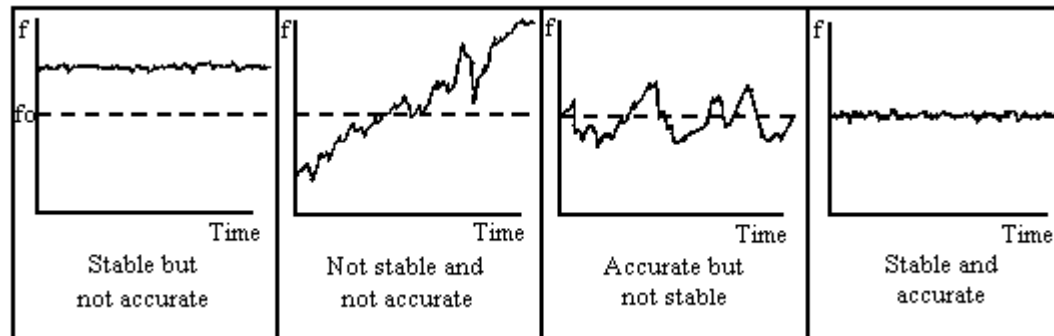
- Rotationnelle: rotation (diurne) de la terre (UT1)
- Atomique (transition) (UTC)

Pourquoi construire une échelle de référence

- ◆ faciliter la coordination internationale
- ◆ Fournir une référence de temps adaptée à toutes applications
 - Science
 - Navigation (maritime, aérienne, spatiale)
 - Positionnement
 - Communications
 - Synchronisation des réseaux
 - Commerce, affaires
 - Transports
 - Multiples applications civiles

Qualité métrologique de l'échelle de référence

- ◆ Fiable (redondance)
 - Un certain nombre d'horloges
- ◆ Continue
 - Non-affectée par des discontinuités
 - ◆ nature de l'échelle
 - ◆ changements de l'unité
- ◆ Stabilité et exactitude de fréquence
 - Rapport constant entre l'unité d'échelle et sa définition,
 - Capacité de l'unité de reproduire sa définition



Dans une échelle de temps...



HORLOGES

+

ALGORITHMES

Caractériser la fréquence des horloges

Calculer l'intervalle unitaire de l'échelle

Etalonner l'intervalle unitaire (pilotage de la fréquence)

Préserver la stabilité

[dépend des applications]

Préserver l'exactitude

par rapport à un autre intervalle d'échelle

étalons primaires/secondaires

HORLOGES



Stability 1×10^{-14} @1 day
Accuracy 5×10^{-13}



Stability 7×10^{-16} @1 day

Horloges industrielles (césium, maser à hydrogène)



Accuracy few $\times 10^{-16}$



Accuracy order $\times 10^{-18}$

Etalons de fréquence primaires et secondaires

Choix possibles

◆ Données

- Type des données
- Intervalle d'échantillonnage
- Longueur de l'intervalle d'évaluation

◆ Algorithmes

- Comparaison des données d'horloges
 - ◆ Structure
 - ◆ Méthode(s)
- Prédiction de la fréquence (horloges)
- Pondération (horloges)
- Correction de la fréquence (pilotage)
 - ◆ Fréquence de référence
 - ◆ Méthode

◆ Temps réel

- Temps « horloge »

◆ Temps différé

- Temps de référence

◆ Stabilité de la fréquence

- @ intervalle

◆ Exactitude de la fréquence

- Le niveau d'accord avec une fréquence de référence

La donnée de base: les différences des lectures d'horloges



Dans un laboratoire, les horloges sont comparées à l'aide des intervalomètres ($< 500 \text{ ps @ } 1 \text{ s}$)



A distance, les horloges sont comparées à l'aide des techniques de transfert de temps

- ✓ Satellitaires (GNSS, TWSTFT) (ns)
- ✓ Fibres optiques (ps)



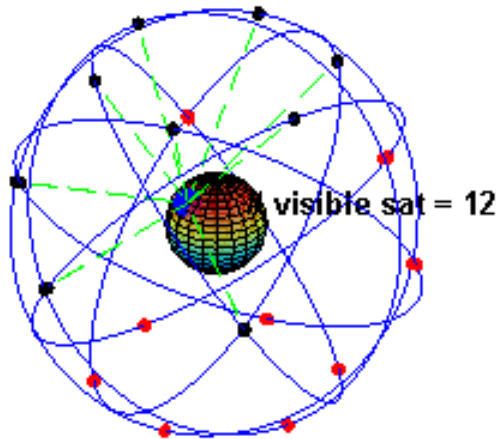


Geographical distribution of the laboratories that contribute to TAI and time transfer equipment (December 2016)

Les comparaisons d'horloges pour
UTC ont la forme
 $UTC(k) - UTC(\text{pivot})$

A présent les comparaisons se
font avec un seul laboratoire
pivot, PTB (Allemagne)

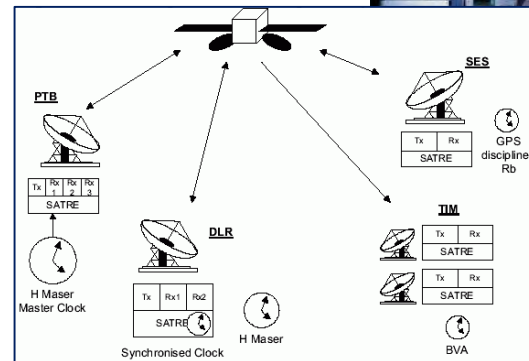
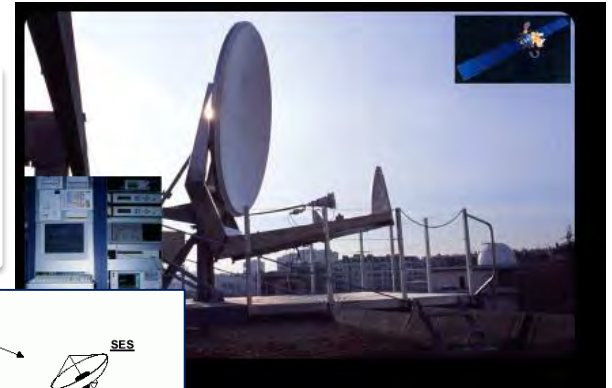
Les satellites au service de la comparaison d'horloges



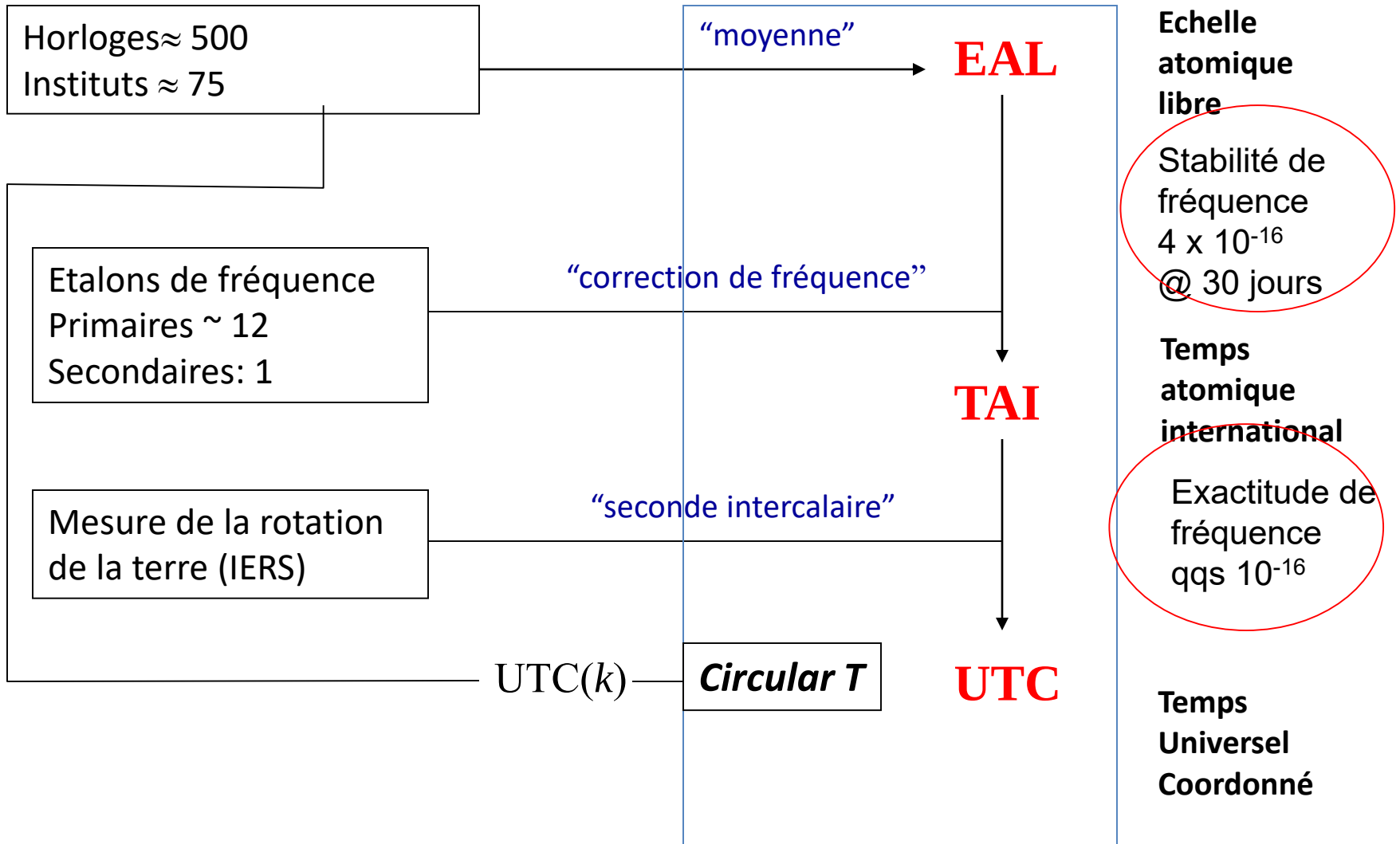
✓ GPS

✓ GLONASS

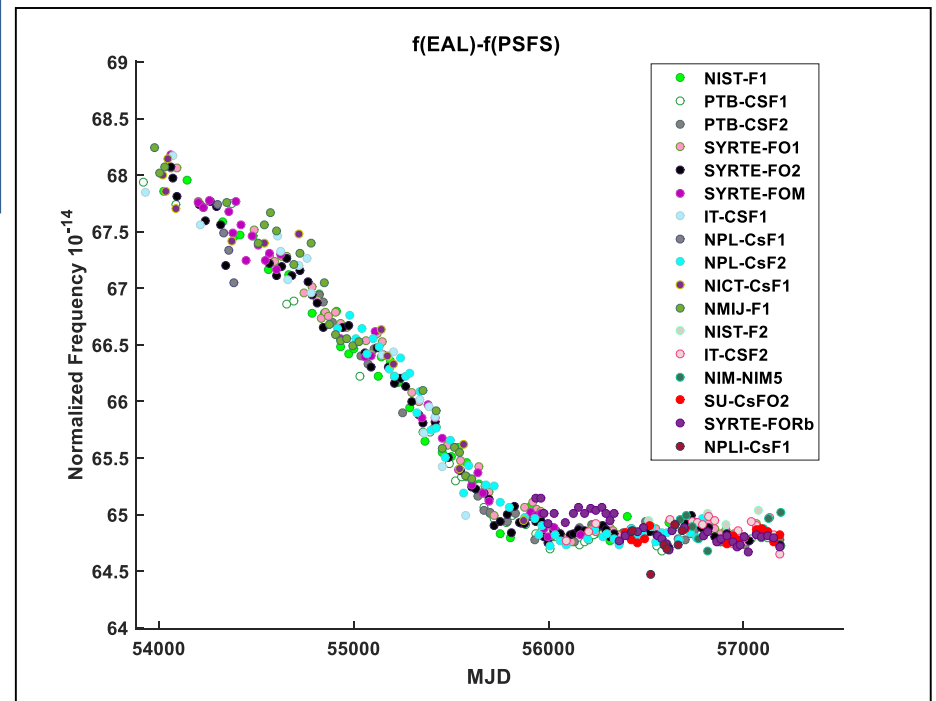
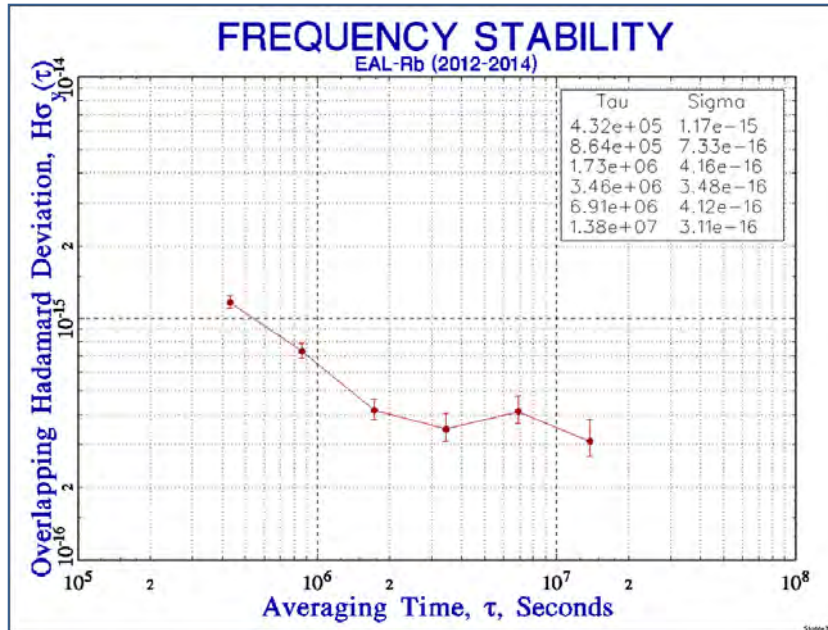
✓ TWSTFT

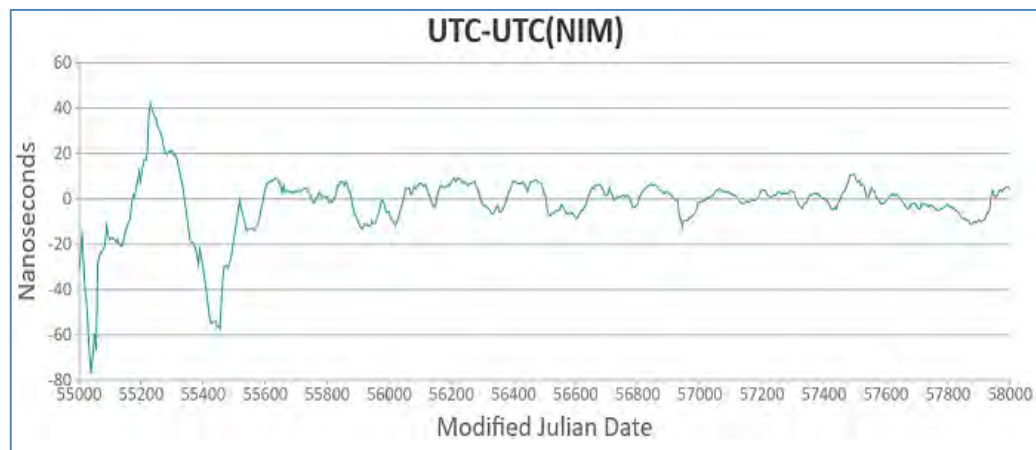
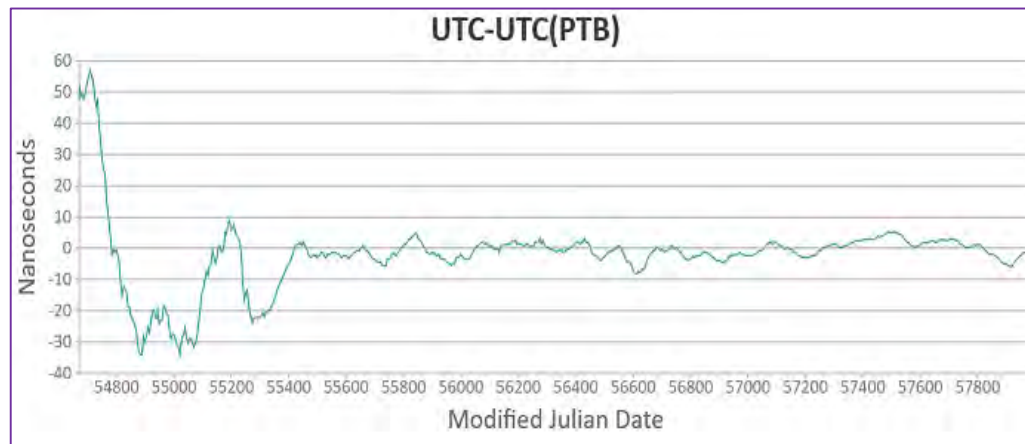
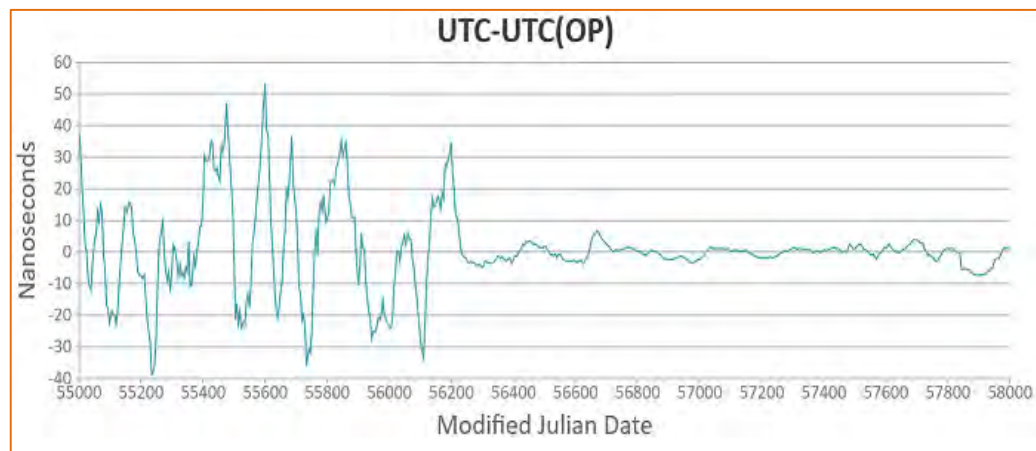


Calcul de l' UTC

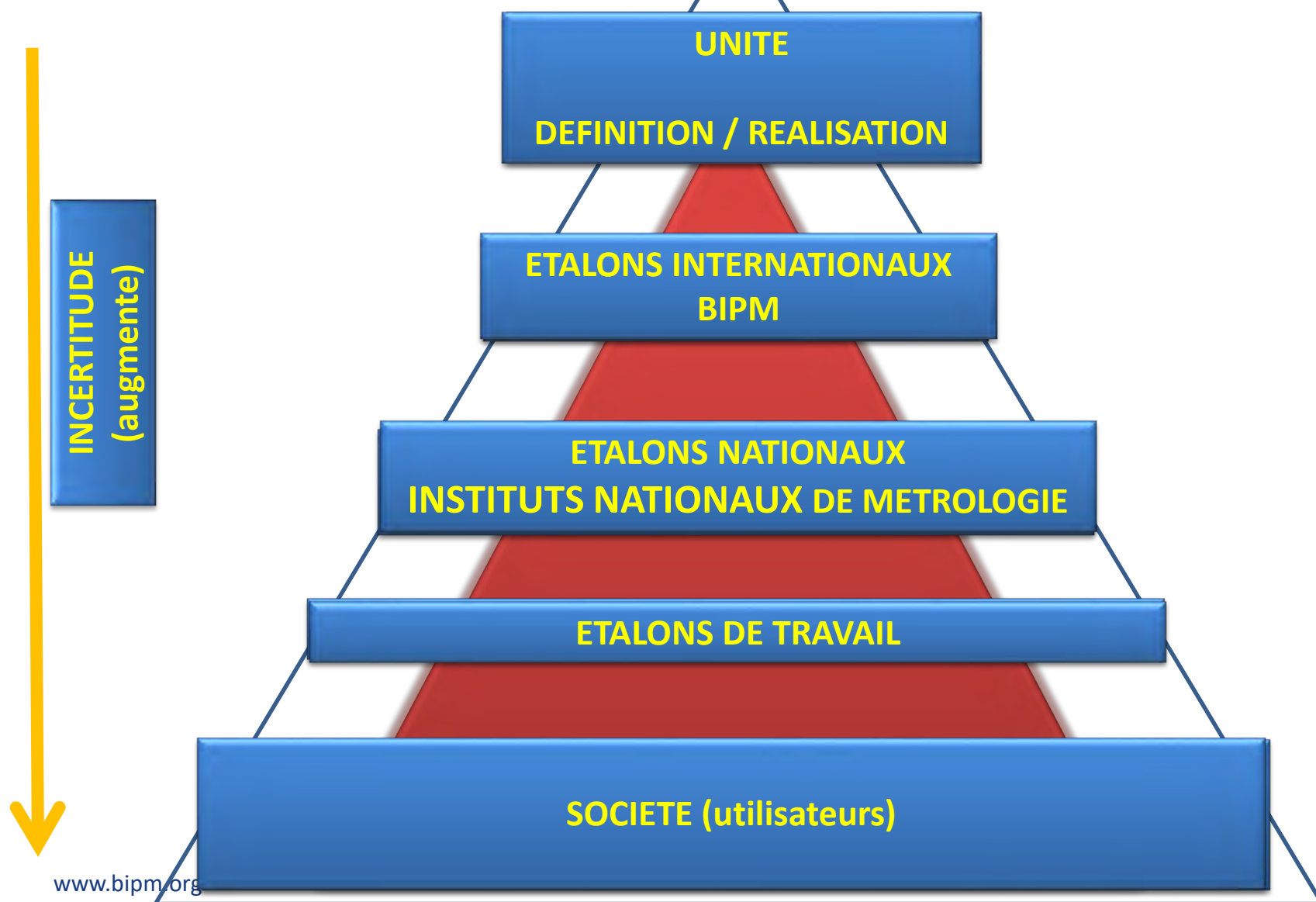


Qualité métrologique de l'échelle de référence





Chaine de traçabilité métrologique

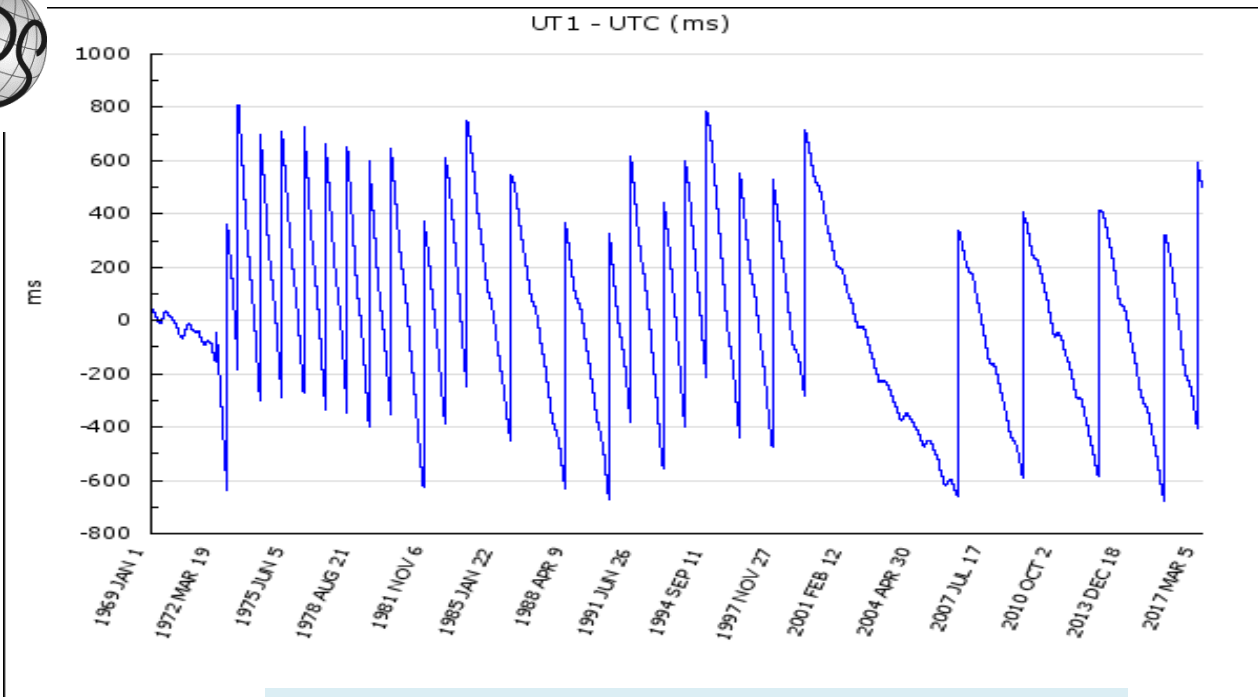


UTC, une échelle de temps de compromis

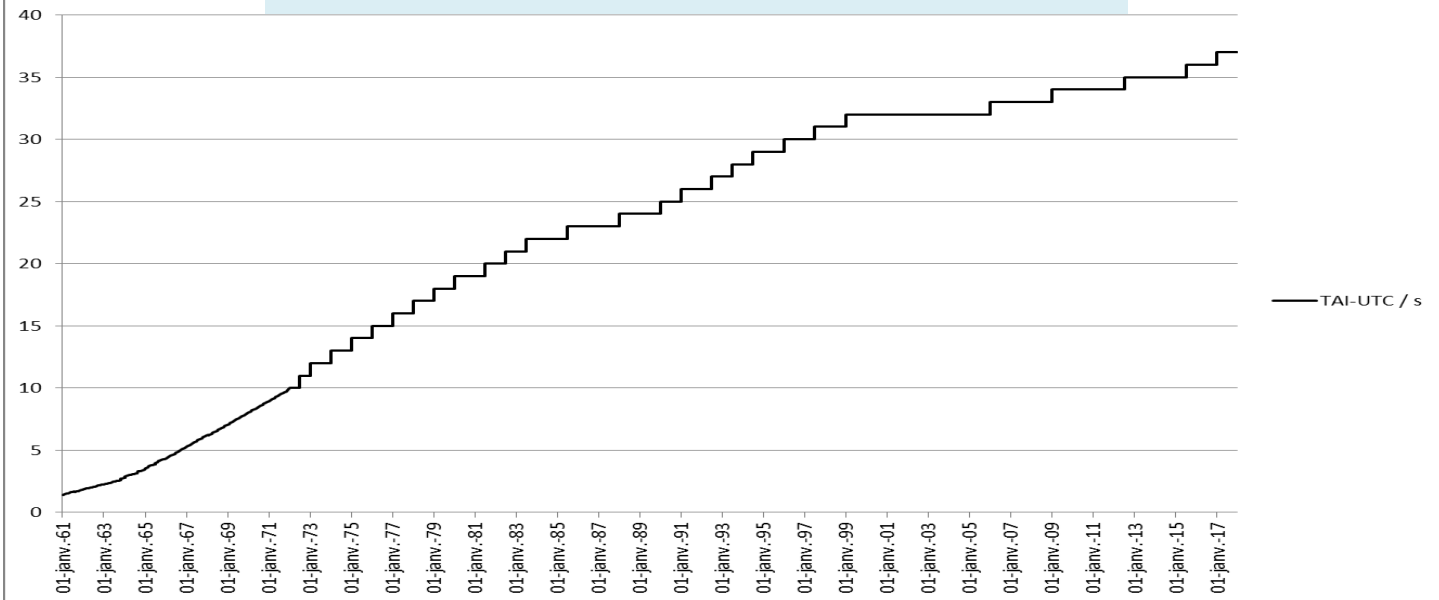
- ✓ 13^{ème} CGPM, 1967 adopte la seconde atomique
- ✓ 1970 définition de TAI (uniforme)
- ✓ CGPM, 1971 demande de réaliser TAI en considérant les besoins pratiques

- ✓ UT représentait les échelles de temps basées sur la rotation terrestre, et en particulier UT1
- ✓ UT1 est affecté des irrégularités de la rotation de la terre, nécessaire à la navigation maritime à l'époque
- ✓ Synchronisation à UT1 < 1 s

- ✓ UTC a été défini avec la même unité d'échelle que TAI
- ✓ La synchronisation à UT1 est assurée par l'insertion d'une seconde intercalaire sur UTC pour garder l'écart $|UT1 - UTC| < 0.9 \text{ s}$ (ITU-R) (1970-1972)
- ✓ UTC est la base de la plupart des temps civiles



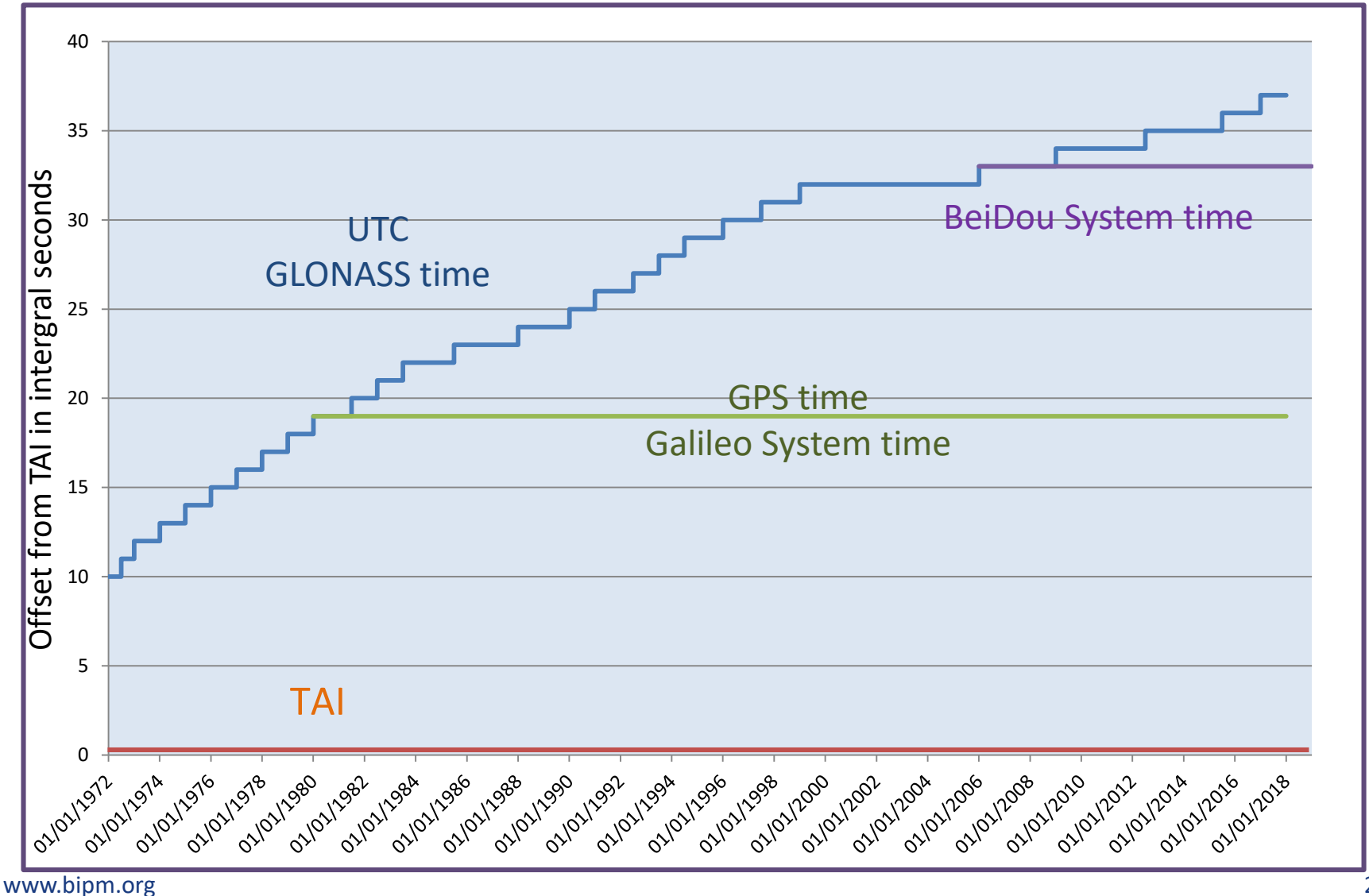
Différence entre TAI et UTC (37 s en 2017)



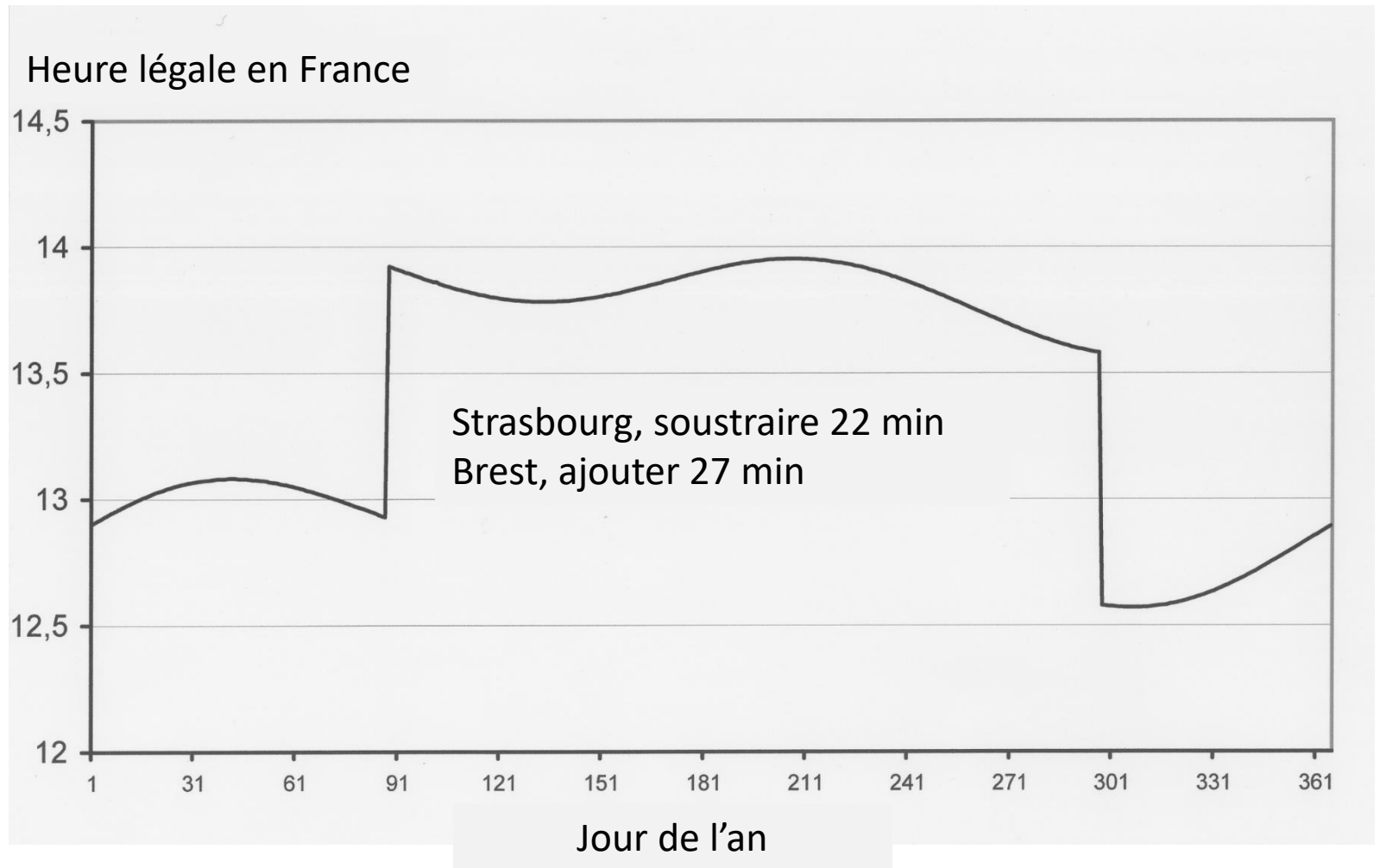
La seconde intercalaire aujourd'hui

- ◆ Il est possible d'avoir des prédictions de UT1 meilleures que UTC en utilisant les solutions rapides de l'IERS;
- ◆ Ces prédictions sont accessibles par NTP (NIST) à temps réel;
- ◆ Les GNSS permettent le positionnement précis.
- ◆ La dissémination du temps est fortement compromise par l'insertion de la seconde intercalaire, cas des serveurs de temps, services de « time stamping » interrompus autour de la seconde intercalaire.
- ◆ Ce « défaut » de l'UTC a poussé à l'utilisation des échelles uniformes tels que les temps des GNSS, introduisant un facteur de risque

TAI, UTC et les temps des GNSS



Midi à quelle heure?



MERCI DE VOTRE ATTENTION!

