

Le temps, définition

Pour une meilleure compréhension,
certaines explications pourront être
légèrement simplifiées/tronquées

Images : Wikipédia sauf mention contraire



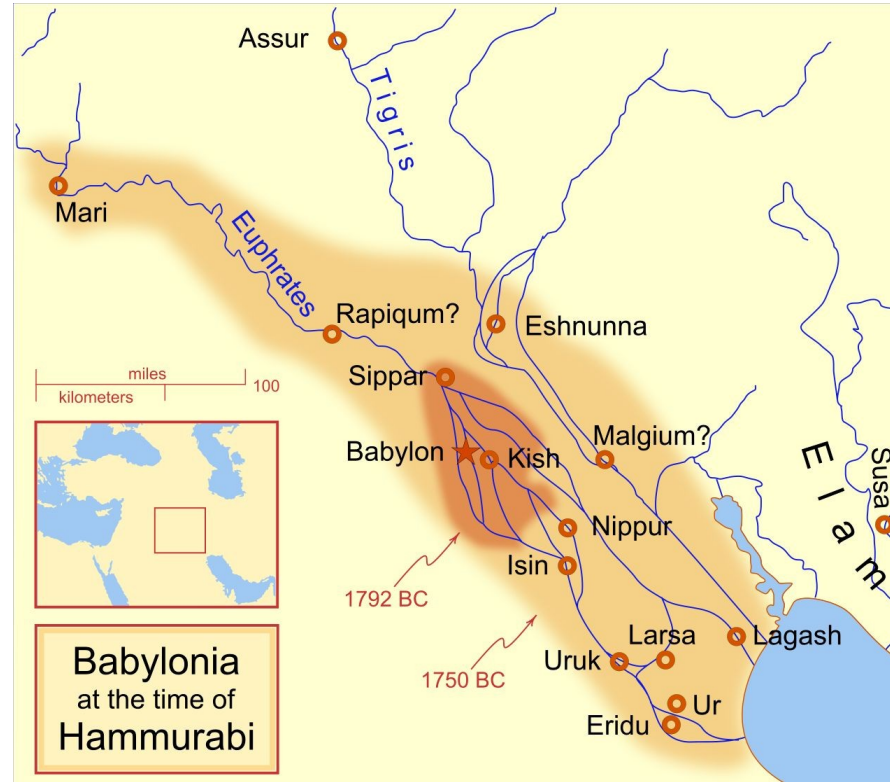
Les 3 temps des Grecs

- **Chronos** : le temps linéaire, physique, « chronologique », mesuré : jour, mois, année
- **Kairos** : le temps métaphysique, le bon moment pour agir, l'instant de l'opportunité
- **Aiôn** : le temps cyclique (cycle circadien, saisons, ...)



Temps & durée

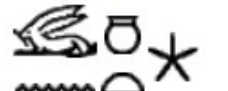
- Besoin de **repères temporels** pour :
 - Dater les événements (temps, « instant » en φ)
 - Mesurer des durées
- Unités fondamentales :
 - Jours, lunaisons, saisons, années
 - Servent de base aux calendriers
- « Début » de l'année
 - Ex : calendrier égyptien : lever de l'étoile Sirius
- Subdivisions, dues au système sexagésimal (60) des Babyloniens
 - $24 \text{ h} = 12 \text{ h de jour et } 12 \text{ h de nuit, soit } 4 \text{ doigts} \times 3 \text{ phalanges}$
 - 1 heure = 60 minutes, 1 minute = 60 secondes
 - Aussi à l'origine de la semaine de 7 jours (~1/4 de mois lunaire) – présente dans la tradition biblique
- Subdivision des années en mois
 - Mais $365 = 5 \times 73 \rightarrow$ jours « **épagomènes** » pour corriger décalage
 - \rightarrow Égypte : $365 = 12 \times 30 + 5$, Aztèque : $365 = 18 \times 20 + 5$, Bahá'í : $365 = 19 \times 19 + 4$




rnp.t, année


3bd, mois


hrw, jour


wnw.t, heure


3.t, minute

Mesures de temps
chez les Égyptiens

Les calendriers

- De nombreux calendriers :
 - égyptien, aztèque, maya, hindou
 - romain, julien, grégorien, républicain
 - orthodoxe, musulman, ...
- 3 types de calendrier :
 - **solaire** : basé sur les saisons : 365,242 2) jours
 - **lunaire** : basé sur les phases de la lune (29,53 j)
 - **hybride** (« luni-solaire ») : décompte des années par les saisons et décompte des mois par les cycles lunaires
 - $365,2422/29,53 = 12,37\dots$, pas entier

$$\frac{1 a.s.}{1 m.l.} \approx 12 + \frac{37}{3} + \frac{235}{19}$$

- Premier calendrier = sumérien : lunaire avec **corrections** pour garder la correspondance avec les saisons



- Le calendrier romain (« romuléen », lunaire) n'avait à l'origine que **10 mois, de mars à décembre** (« dix »)
 - Mais **décalage avec l'année solaire** → introduction de 2 mois : **Januarius** (d'après Janus, dieu de la paix) et **Februarius** (d'après Februo, dieux des morts) → début de l'année le 01/01
 - Explique pourquoi septembre n'est pas le 7^{ème} mois, etc.
- En 46 av JC, Jules César introduit le **cycle de 4 ans** : 3 années à 365 jours et 1 de 366 jours, avec un jour supplémentaire en février.

Les années bissextiles

Février 2024

29

- **Rotation** et **révolution** de la Terre **décorrélées**

- Durée d'une année \neq nombre entier de jours :
365,242 2

- **Année de 365 jours** :
résidu = $365,2422 - 365 = 0,2422$
- **1 année bissextile tous les 4 ans** (0,25/an) :
résidu = $0,2422 - 0,25 = -0,0078$
- **Sauf 1 fois tous les 100 ans** :
résidu = $-0,0078 + 0,01 = 0,0022$
- **Mais rétablie tous les 400 ans** : résidu =
 $0,0022 - 0,0025 = -0,0003 = -3/10000$

$$365,2422 = 365 + \frac{1}{4} - \frac{1}{100} + \frac{1}{400} - \frac{3}{10000}$$

- Une année est **bissextile** si elle respecte seulement **un des 2 critères** suivants :
 - C1 : année divisible par 4 mais pas par 100
 - C2 : année divisible par 400
- 2021, 2022, 2023 pas bissextiles
- 2020, 2024 et 2028 bissextiles,
- 1900, 2100, 2200 et 2300 pas bissextiles
- 2000 ou 2400 bissextiles

La seconde

- **Unité fondamentale du Système International**
- Sa définition a **évolué avec les connaissances**
 - **1889** : 1/86 400^e du **jour solaire**
 - **1956** : 1/31 556 925, 9747^e de l'**année tropique**
 - **1967** : définition par rapport à la **matière** :
 $\Delta\nu_{Cs}$ = fréquence de la transition hyperfine de l'état fondamental de l'atome de césium 133 non perturbé

$$\Delta\nu_{Cs_{133}} = 9\,912\,631\,770 \text{ Hz (ou s}^{-1}\text{)}$$

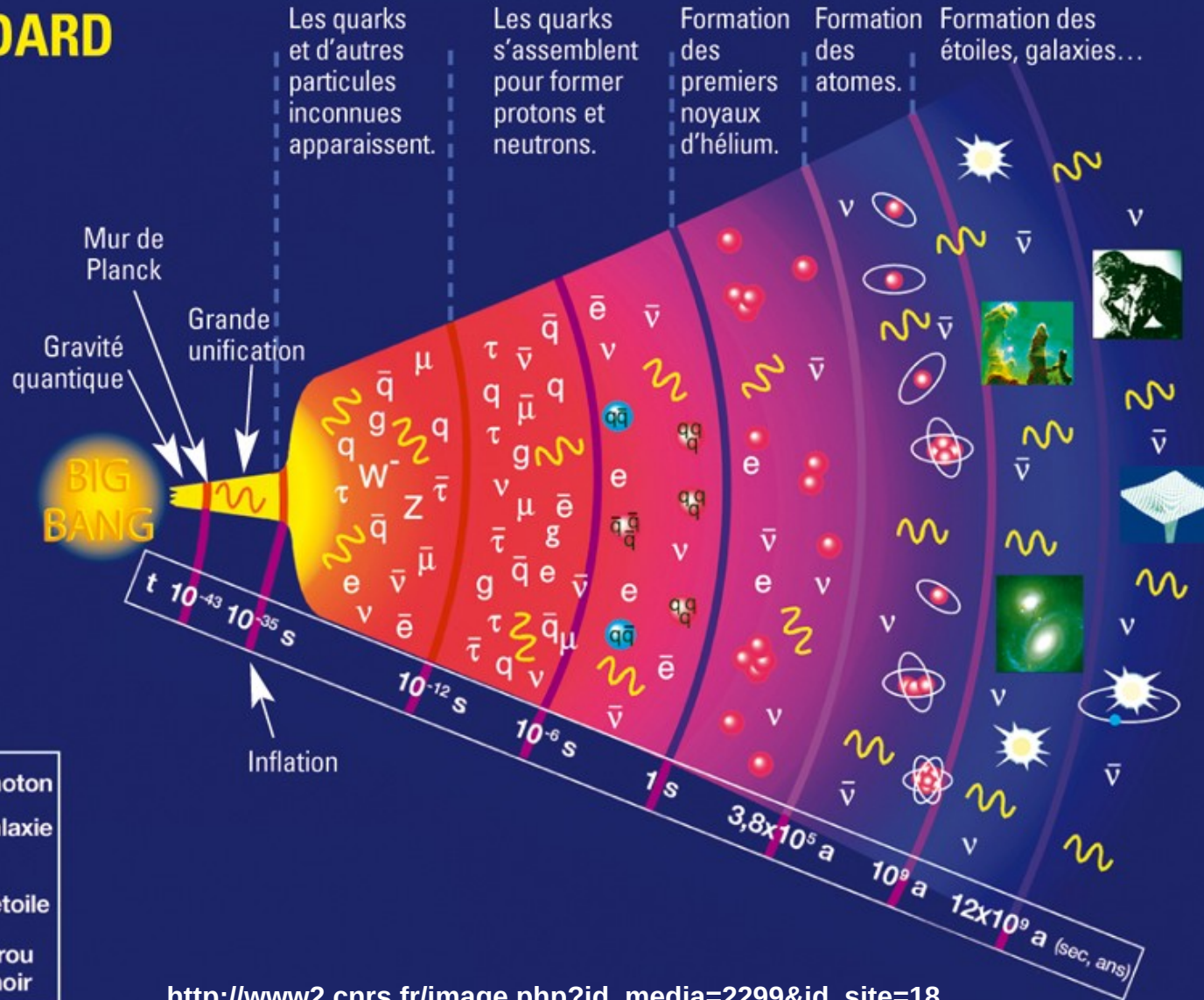
- 1 seconde est la durée pendant laquelle l'onde émise par un électron d'un atome de césium 133 changeant de niveau d'énergie oscille 9 912 631 770 fois
- 1 jour \approx 86400 s, 1 an \approx $\pi \times 10^7$ s



- Rappels :
 - le Hertz (Hz) est l'inverse de la seconde :
 - La fréquence est le nombre de fois qu'un phénomène se produit en 1 seconde
 - 50 Hz : 50 fois par seconde (courant alternatif)
 - 0,1 Hz : 1 fois toutes les 10 secondes (vagues)
 - La **période** est l'inverse de la **fréquence**

LE MODÈLE STANDARD

Depuis le Big Bang, l'Univers primordial a franchi de nombreuses étapes durant lesquelles les particules puis les atomes et la lumière ont peu à peu émergé avant qu'étoiles et galaxies ne prennent corps. C'est cette histoire que raconte la théorie du « modèle standard » en vigueur aujourd'hui.

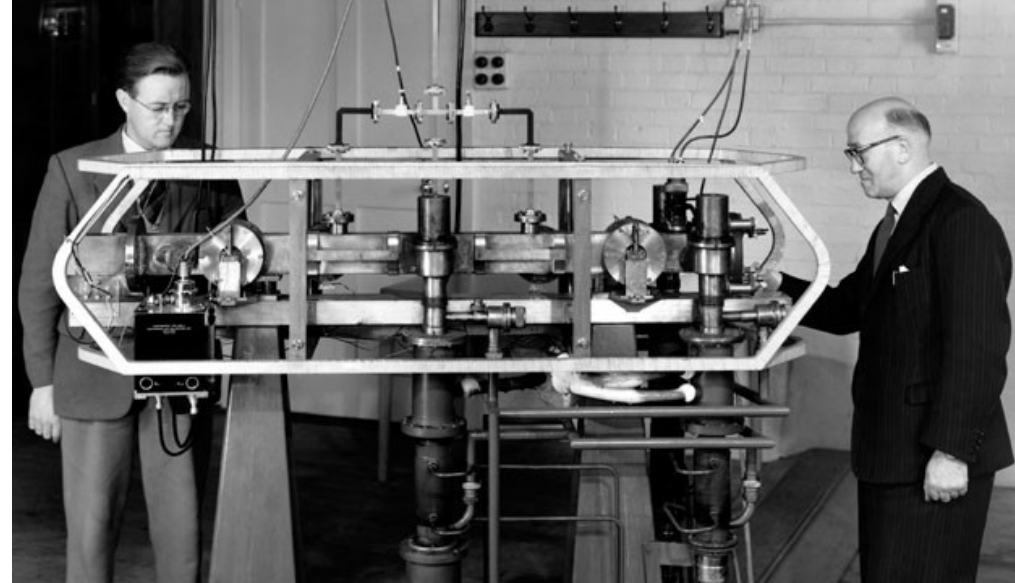


Légendes		
W, Z bosons		photon
quark	meson	galaxie
gluon	baryons	étoile
électron	ions	trou noir
muon	tau	
neutrino	atome	

http://www2.cnrs.fr/image.php?id_media=2299&id_site=18

Le temps atomique international (TAI)

- Échelle de temps basée sur la définition de la seconde = sur la physique
- **Indépendant de la rotation de la Terre et de tout phénomène astronomique**
- 200-500 horloges de référence dans le monde

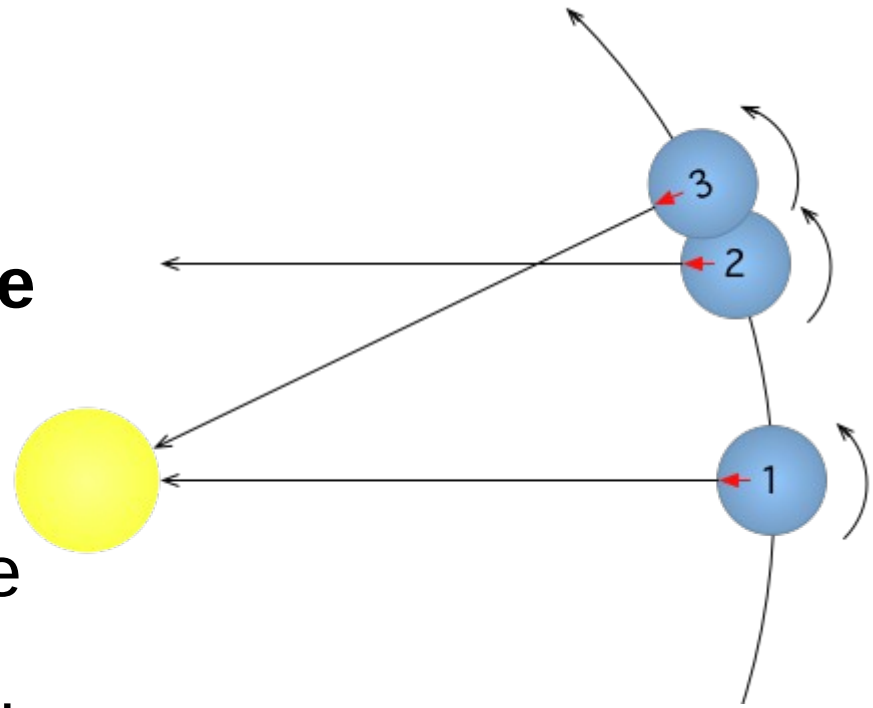


Première horloge atomique en GB, Essen & Parry

- Utilisé par astronomes dans l'étude des mouvements des astres
- **Très grande précision**

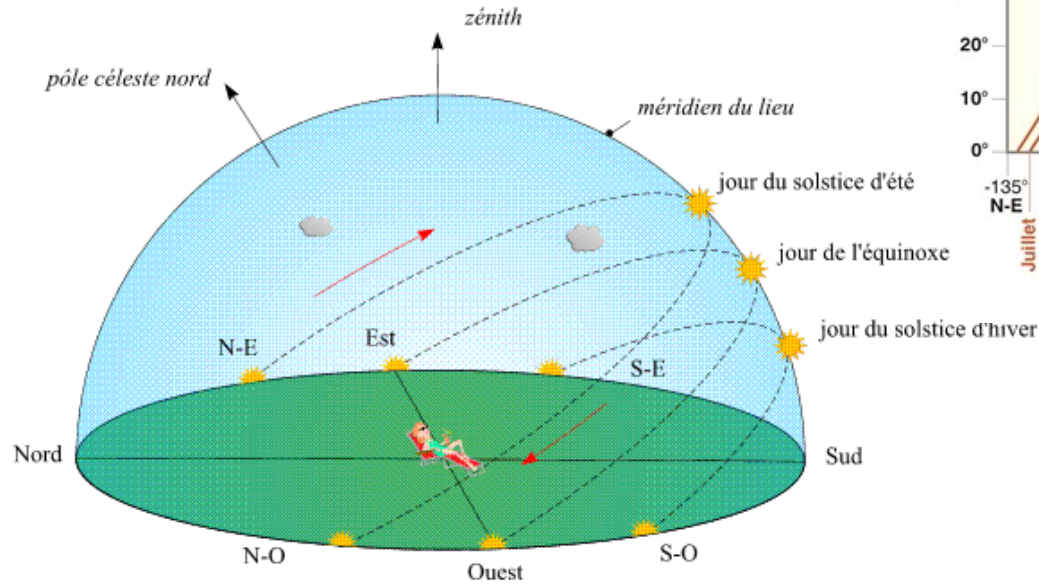
La durée du jour

- Ici, jour n'est pas opposé à nuit, mais pris dans le sens de « **durée entre 2 passages du Soleil à son point culminant** »
- **Par rapport à des étoiles fixes**, la Terre fait un tour sur elle-même en **23h 56m 4s = jour sidéral**
- Mais, pour nous, elle semble avoir fait un tour sur elle-même **lorsque le Soleil retrouve la même position dans le ciel = 24h = jour solaire**



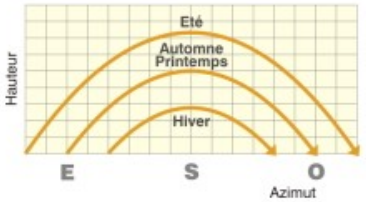
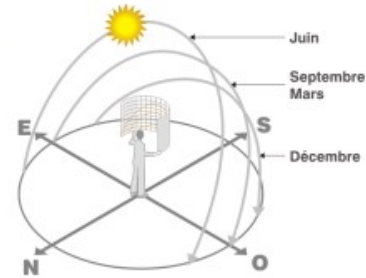
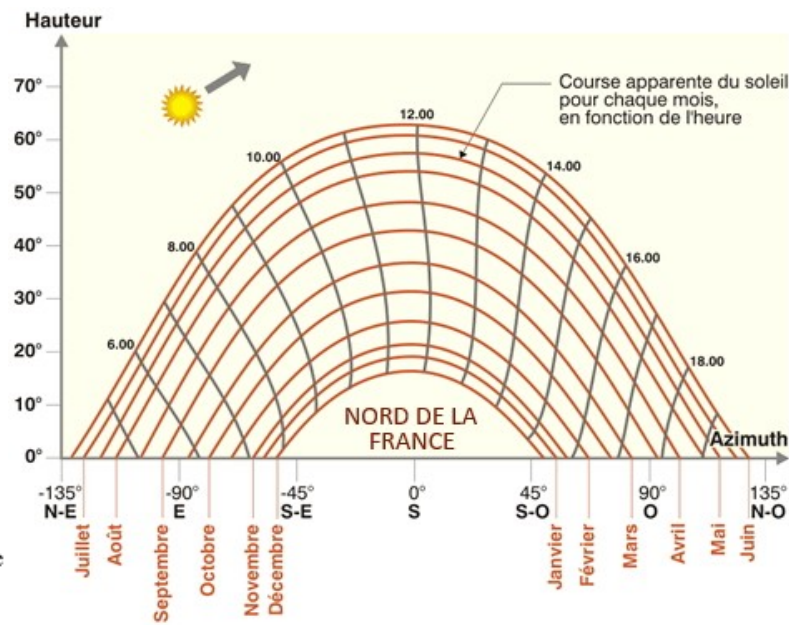
- Pour une planète « **prograde** » (rotation et révolution dans le même sens) :
 - 1 → 2 = jour sidéral
 - 1 → 3 = jour solaire > jour sidéral

Mouvement (apparent) du Soleil

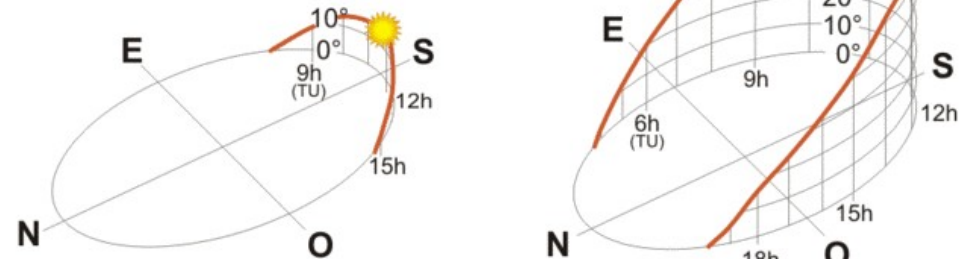


- La trajectoire apparente du Soleil varie d'un jour à l'autre

- **Azimuth(h)** : avancée du jour
- **Hauteur** à une heure donnée : passage des saisons



15 Décembre



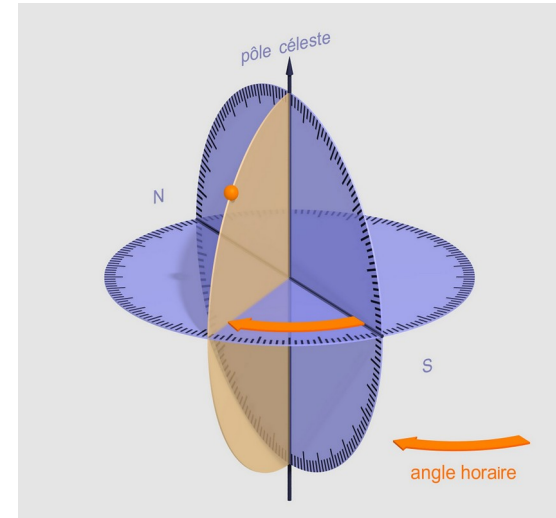
Le(s) temps solaire(s)

1. Temps solaire moyen

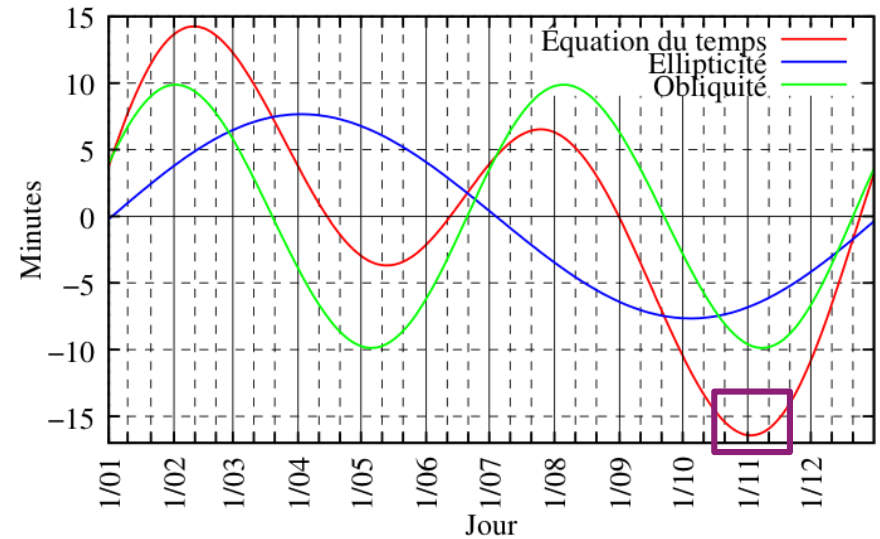
- Basé sur un soleil fictif dont le mouvement apparent ferait le tour de la Terre en 24h à **vitesse constante**

2. Temps solaire vrai (midi = culmination du Soleil)

- Basé sur le mouvement apparent du Soleil
- = « **angle horaire** » du Soleil en un point et à un moment donnés

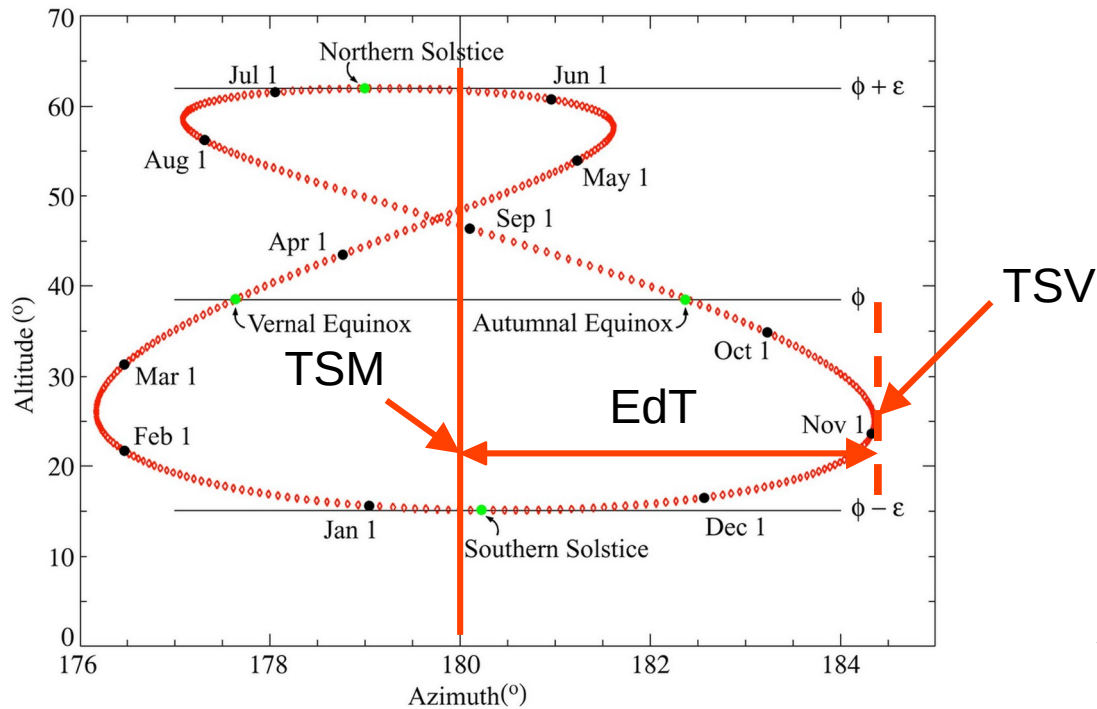


- **TSV variable** car
 - **Orbite elliptique et pas circulaire**
 - Vitesse non constante : période = 1 an
 - **Terre inclinée / plan de l'écliptique**
 - Période = 6 mois
- Diff. entre les 2 = « **équation du temps** »
 - **TSV = TSM - équation du temps**
 - Max = - 16 minutes début novembre



Soleil en retard - Soleil en avance

Position réelle du soleil (TSV) à une même heure (TSM) tout au long d'une année calendaire



$1^\circ \equiv 4 \text{ min} \Leftrightarrow 360^\circ \equiv 1440 \text{ min}$

L'analemmme

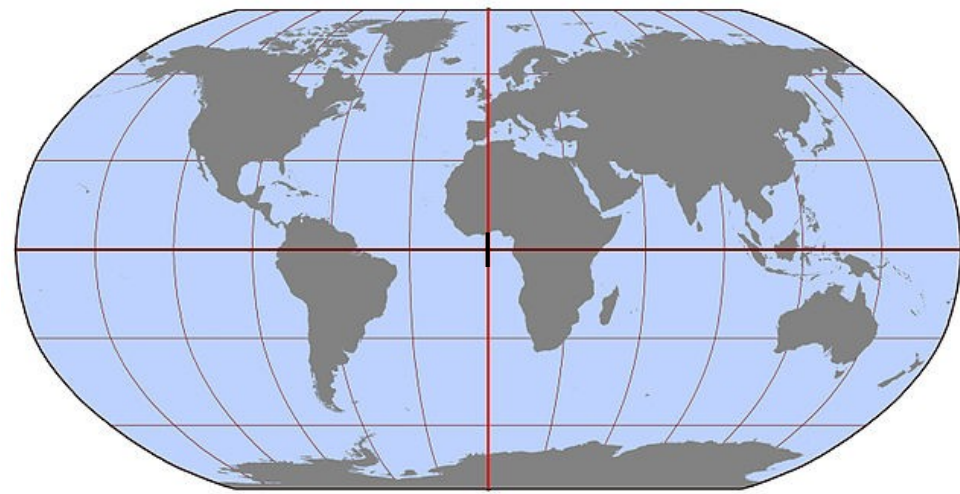


Illustration de l'équation du temps :
superposition des positions du Soleil capturées
à heure fixe tous les 10 jours pendant un an

Crédit : Observatoire de Naucsny, Crimée/V. Rumyantser

Le temps « GMT »

- **Greenwich Mean Time** ou **temps moyen de Greenwich**
- **Temps solaire moyen** au méridien de Greenwich (origine des longitudes)
- **Référence temporelle dans le monde**
- Mais la rotation de la Terre
 - **Ralentit** progressivement
 - Est sujette à des **irrégularités** imprévisibles
- Donc la durée du jour moyen augmente
 - Donc la durée de la seconde augmente elle aussi
 - Seulement qq ms/siècle pour une journée, mais effet **cumulatif** et **décelable**
- → Remplacé par le **Temps Universel (UT)** en 1972

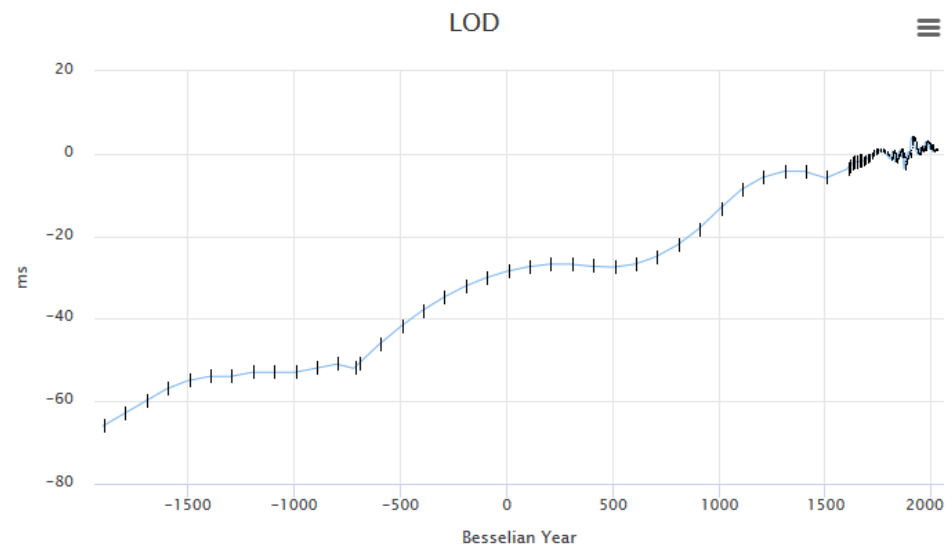
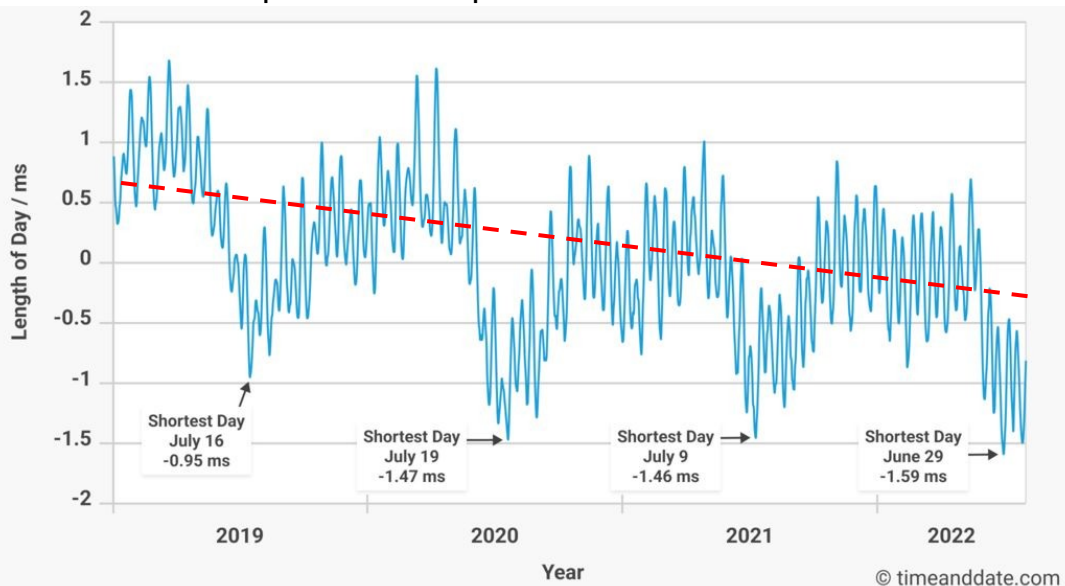


- Angle « horizontal » = **longitude**
 - Mesuré depuis la ville de Greenwich en G-B : position de la lunette méridienne de J. Bradley
 - → cercles définissant des « **méridiens** »
 - En fait déplacé de 13 m à l'Est → **référence internationale depuis 1884**
 - Bataille avec Paris (2,35° E) mais GMT finalement adopté par la France en 1911, qui abandonne l'espoir du « méridien de Paris »...
 - Pendant que la Grande-Bretagne continue à utiliser le méridien traditionnel → cartes décalées

Durée du jour

- **Variation** de la durée du jour : + 2 ms/siècle
- Variation **pas constante** (plusieurs causes)
 - Éloignement de la Lune → ↓ forces de marée
→ ralentissement du ralentissement
- Lune fixe dans le ciel de la Terre dans ~50 milliards d'années
- Fluctuations périodiques de la durée du jour :
 - **Rapides** : effets de l'orbite lunaire
 - **Lentes** : mouvements atmosphériques
 - **Tendance décroissante** : raison inconnue
→ impossibilité de prédire à 1 an

↕	↕ Période géologique ↕	Nombre de jours par an ¹⁸ ↕	Durée du jour ¹⁹ ↕
-4 500 Ma	Hadéen	1434	6,1 h
-2 500 Ma	Archéen	714	12,3 h
-1 200 Ma	Sténien	493,2	17,7 h
-500 Ma	Cambrien	425	20,5 h
-400 Ma	Silurien	410	21,5 h
-300 Ma	Carbonifère	400	22 h
-200 Ma	Jurassique	390	22,5 h
-100 Ma	Crétacé	380	23 h
0 Ma		365	24 h
+ ??? Ma		350	25 h



Le temps universel

- Ou « UT », « **universal time** » : échelle de temps **basée sur la rotation de la Terre**
- Remplace le GMT à partir de 1972 car **meilleure précision**
- On mesure la culmination de 4 quasars très lointains (donc ~fixes)
- → **UT1**, qui **prend en compte les variations de la rotation de la Terre** dues aux marées, aux tremblements de terre, aux mouvements atmosphériques saisonniers ainsi qu'à d'autres phénomènes internes irréguliers et imprévisibles
 - Utilisé pour connaître la rotation de la Terre, la **navigation spatiale**, l'**astronomie** pour les éclipses
- Comparaison avec TAI = irrégularité de la période de rotation
- UT1 et TAI ont été synchronisés en 1958



- **Temps Universel Coordonné (UTC)**
 - Suit UT1
 - Mais basé sur le TAI : même stabilité
 - Différence UTC-TAI entière
 - Réajusté pour que $UTC-TAI < 0,9 \text{ s}$
- Si on utilise TAI, l'heure de nos montres sera de plus en plus **décorrélée du temps solaire**

Les secondes intercalaires

- Ou secondes « **additionnelles** »
 - « **Leap seconds** »
- Corrections de l'UTC/TAI introduites le 30/06 et/ou le 31/12
- Mécanisme introduit en 1972
 - Décalage initial UT1-TAI =
 - 10 secondes depuis 1958
 - 27 secondes intercalaires au 01/01/2017

Right now, the official U.S. time is:

23:59:60

12-hr 24-hr

Saturday, December 31, 2016

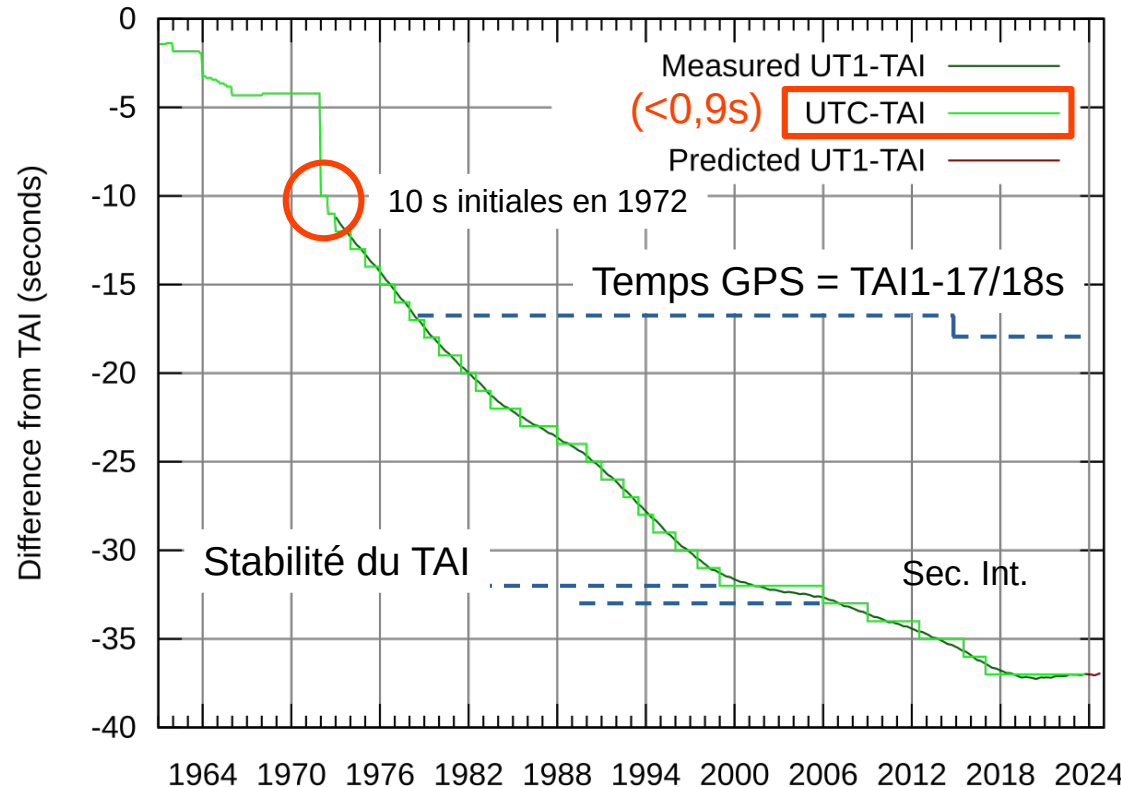
UTC

Corrected for network delay

Click arrows to change time zone

Problems? Questions?

UT1-TAI and UTC-TAI (source: <https://maia.usno.navy.mil/ser7/>)



Capture d'écran de l'horloge UTC de time.gov [archive] pendant la seconde intercalaire du 30 juin 2012 à 23:59:60.

L'heure légale

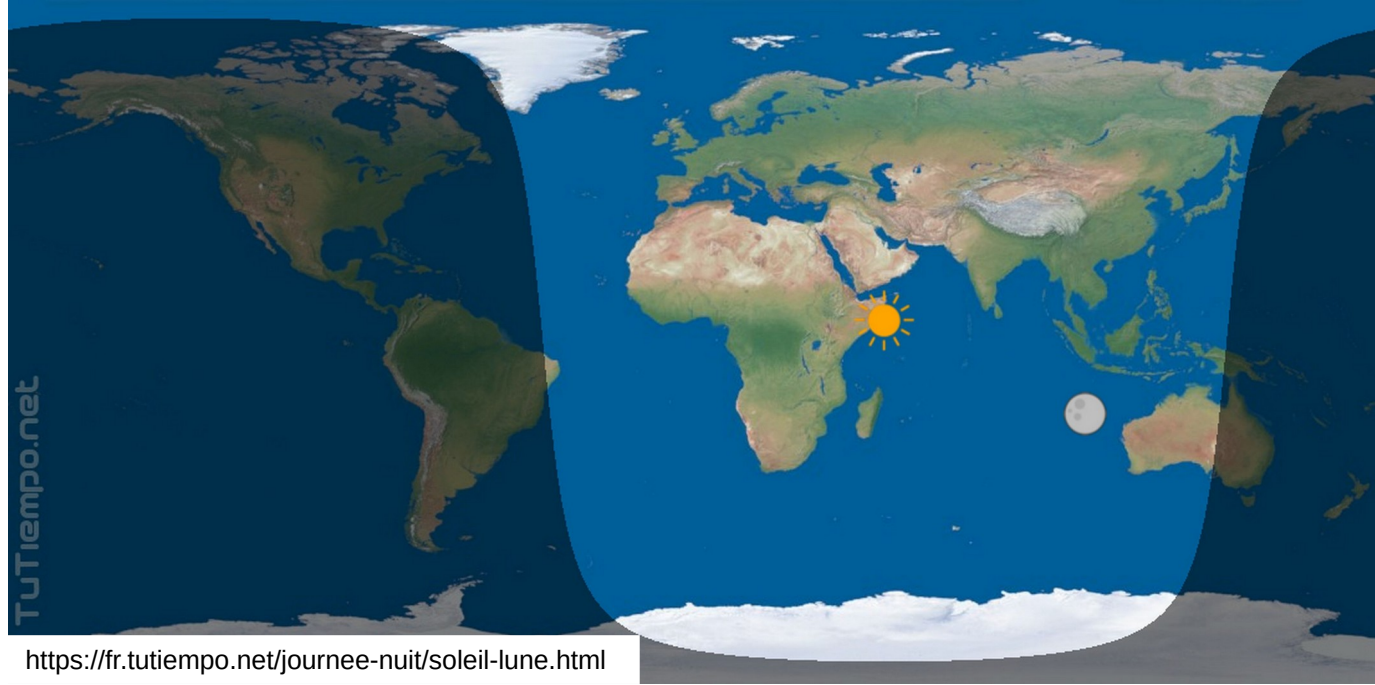
- Définie dans tous les pays par un **décalage fixe / UTC**
 - En général, décalage entier, mais :
 - Inde / Sri Lanka : +5h30, Iran : +3:30, Népal : +5h45
 - Éventuellement **changement d'heure** annuel

En France

- Avant 1891 : chaque ville a son heure, basée sur le Temps Solaire Vrai
 - 12h à Paris = 11h42 à Brest et 12h20 à Nice
- 1891 : heure légale = heure du méridien de Paris
 - Changement lié à l'exploitation ferroviaire
- 1911 : l'heure légale est celle du Méridien de Greenwich : elle retardée de 9 min 21 s par rapport à celle de Paris
 - Décalage en raison de la différence de longitude (2,35° E)
- 1976 (« choc pétrolier ») : l'heure légale en France est :
 - Le temps UTC
 - retardé de 9 m 21s
 - augmenté de douze heures (le jour commence à minuit)
 - augmenté d'une heure en été et de deux heures en hiver

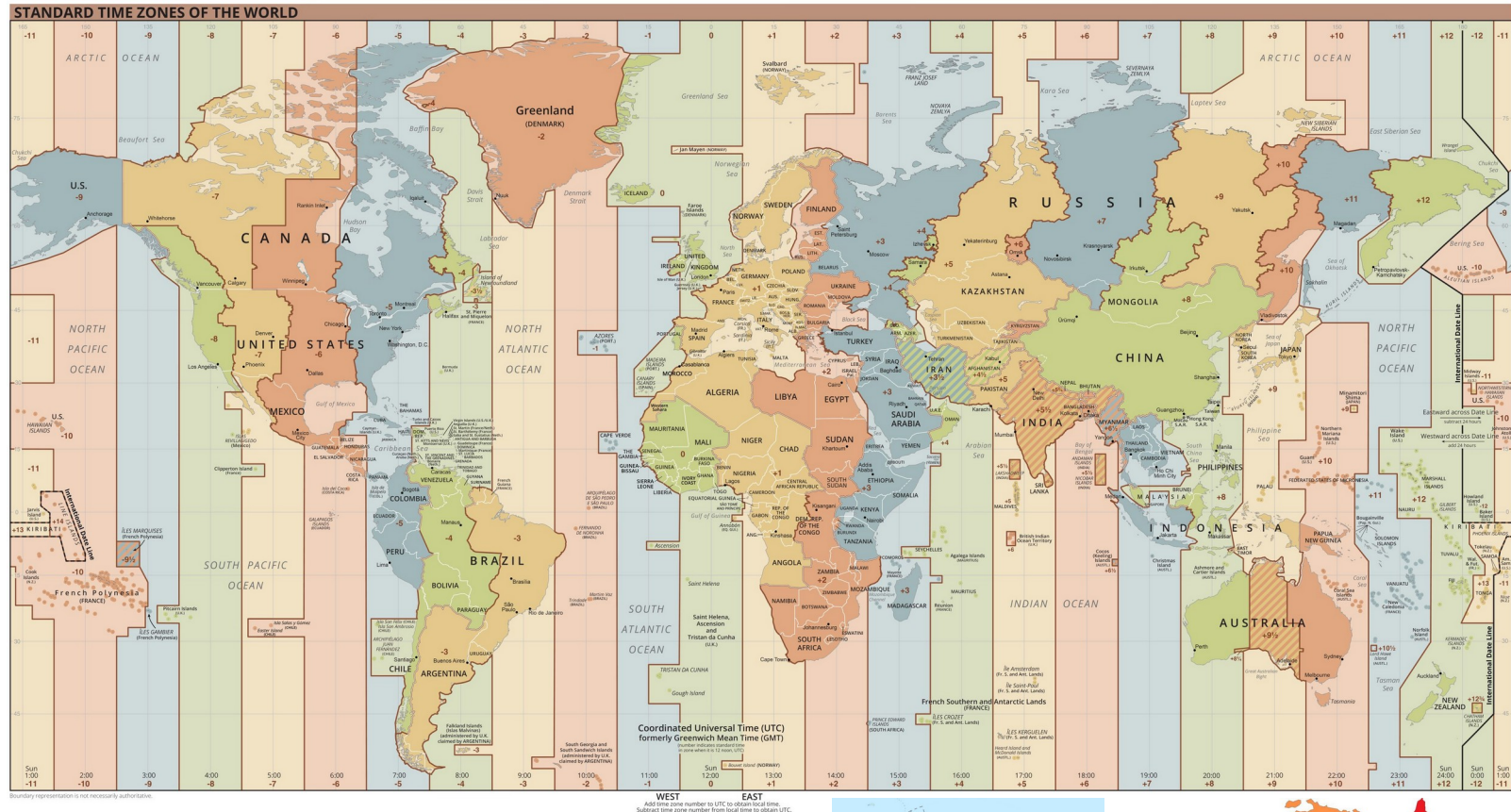


L'Occident et l'Orient

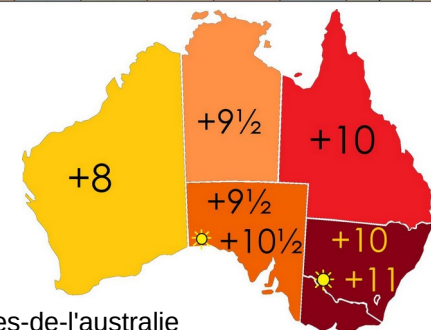
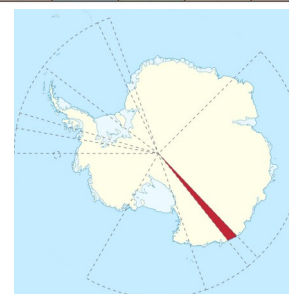


- Est = « levant »
- Le Soleil passe au Japon **avant** le RU → ils sont en avance sur UTC → **il est plus tard** → **+ n heures**
- Le Soleil passe au Mexique **après** le RU → ils sont en retard sur UTC → **il est plus tôt** → **- n heures**

Fuseaux horaires

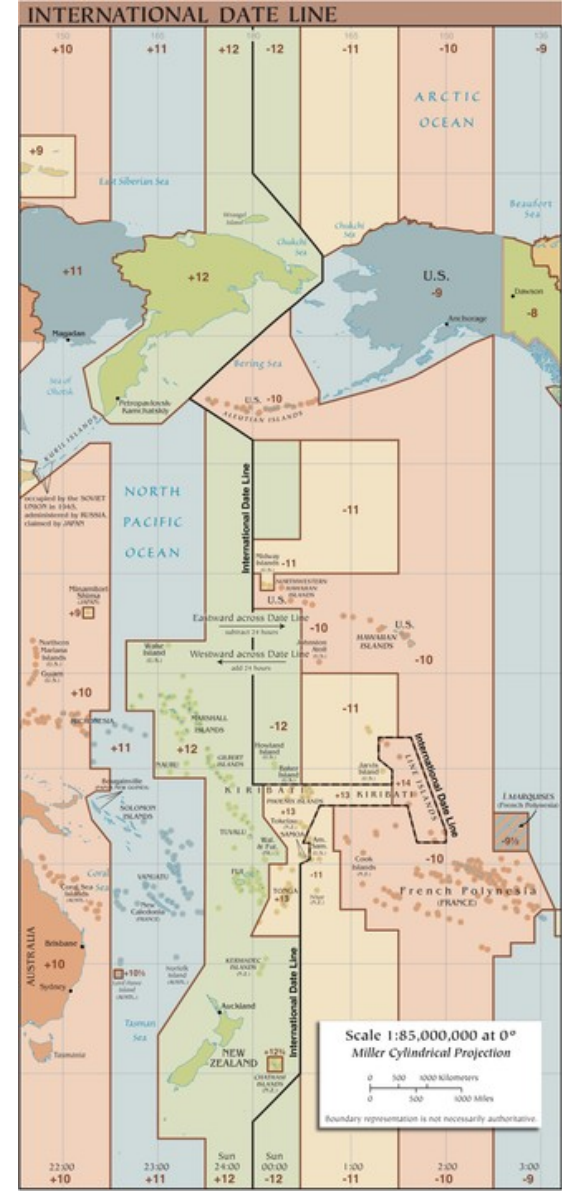


- 1884 : but = homogénéiser les horaires des trains au Canada
 - → Facilite les échanges internationaux
 - Décalage (dé)croissant d'un nombre entier d'heures / UTC
 - Mais quelques exceptions : Afghanistan, Inde, Iran, Népal, Sri Lanka, ...
- L'heure en France couvre 12 fuseaux horaires (13 avec la Terre Adélie) = record du monde !



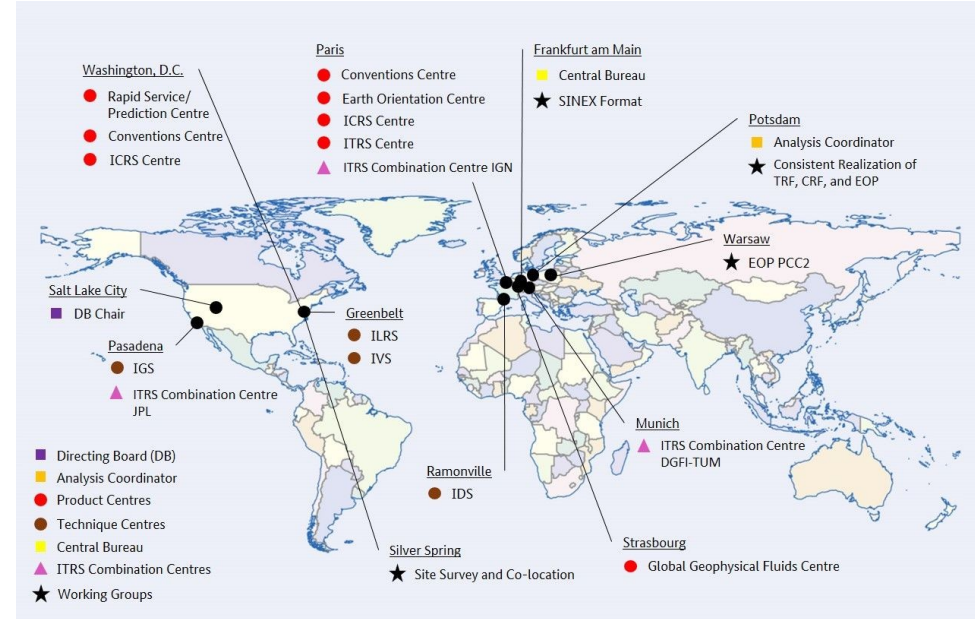
La ligne de changement de date

- Que se passe-t-il de l' « autre côté de la Terre », où on obtient + 12h vers l'Est et – 12h vers l'Ouest par rapport à l'UTC ?
- **Même heure au Soleil mais 24h de différence**
- **Ligne de changement de date**
= ligne brisée circulant autour du 180^e méridien (Est = Ouest)
 - indique l'endroit où la date change
 - 2 endroits proches peuvent avoir 2 dates différentes



Le Bureau International de l'Heure

- BIH :
 - Organisme international créé en 1912 et chargé de la mesure de l'UTC
 - Situé à l'Observatoire de Paris
- 1988 : séparation en 2 entités
- BIPM : Bureau Int. des Poids et Mesures
 - Siège en France
 - Fondé en 1875
 - Responsable du TAI en lien avec l'UTC
- IERS : Service international de la rotation terrestre et des systèmes de référence
 - Créé par l'Union astronomique internationale et l'Union géodésique et géophysique internationale
 - Fournit tout ensemble de systèmes de référence concernant la Terre
 - Implication de l'IGN
 - Décide de l'introduction de secondes intercalaires (permettant de rester en phase avec la rotation de la Terre)



Pour plus de détails

- <https://promenade.imcce.fr/fr/pages3/325.html>
- https://media4.obspm.fr/public/ressources_lu/pages_mesure-temps/impression.html
- <https://cral-perso.univ-lyon1.fr/labo/fc/cdroms/stages18-19/temps/190103-mesure%20du%20temps-presentation.pdf>
- <https://icalendrier.fr/historique-calendriers>