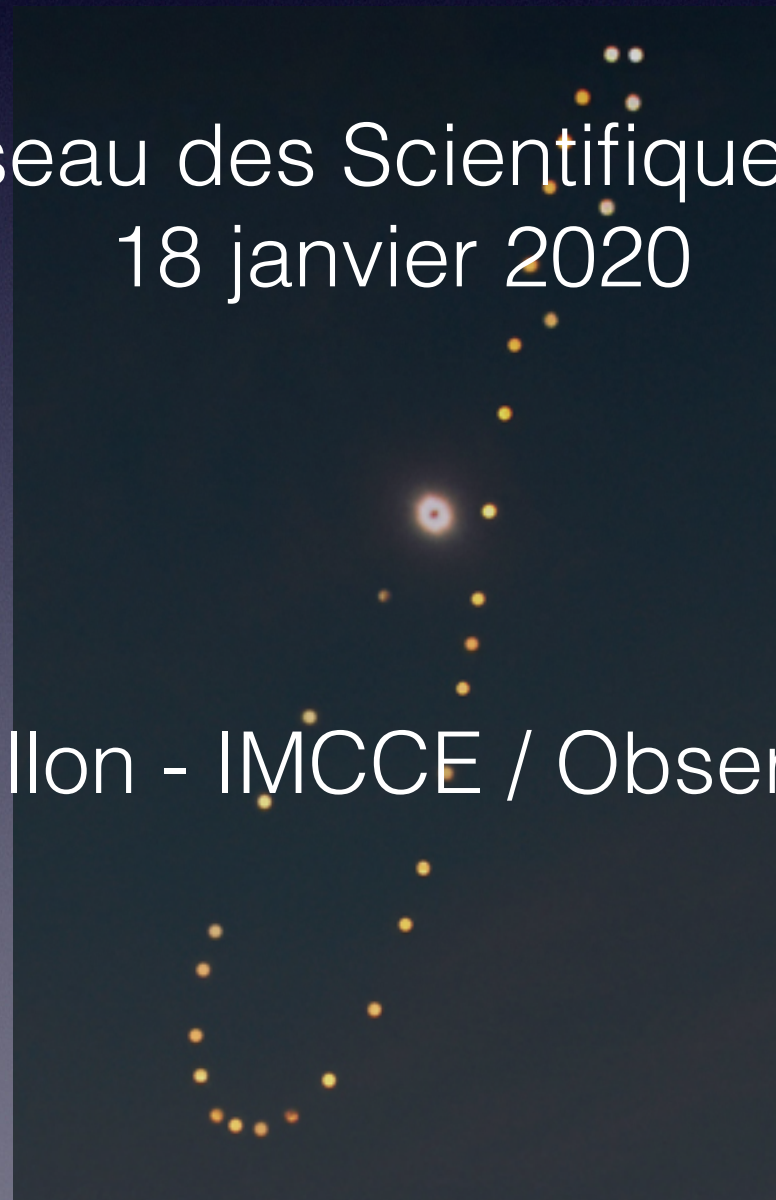


Qu'est-ce que le temps : illusion ou réalité scientifique ?

Journée du Réseau des Scientifiques Évangéliques,
18 janvier 2020

Jérémie Vaubaillon - IMCCE / Observatoire de Paris



Cadre

- (Astro)-Physique compréhensible
- Difficulté : moyenne 
- Difficulté : grande 
- Avis : 
- Sujet non maîtrisé : 

Plan

- Problématique
- Comment “fabrique-t-on” le temps en 2020 ?
- “Tout est relatif”
- Réflexions

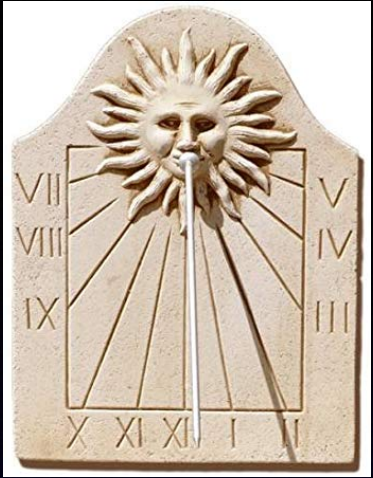
Problématique

Tout bouge, tout le temps,
vite ou doucement

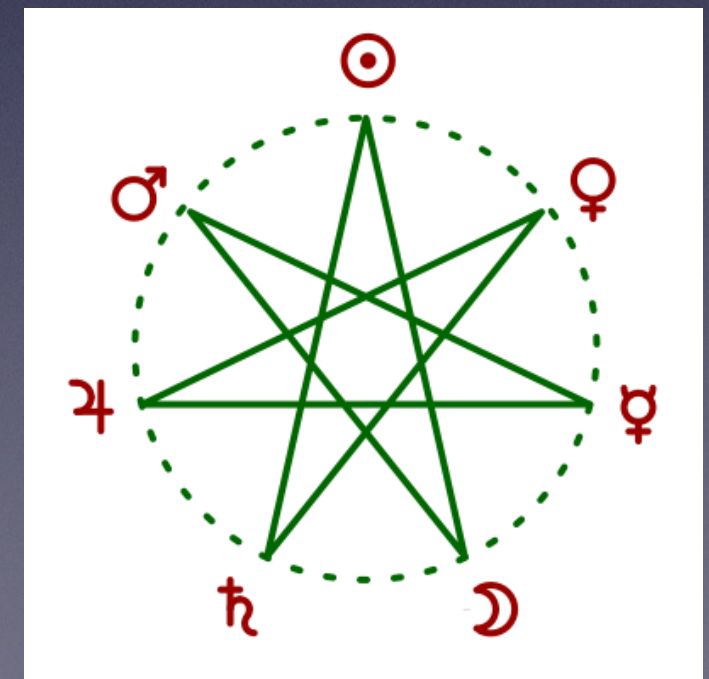
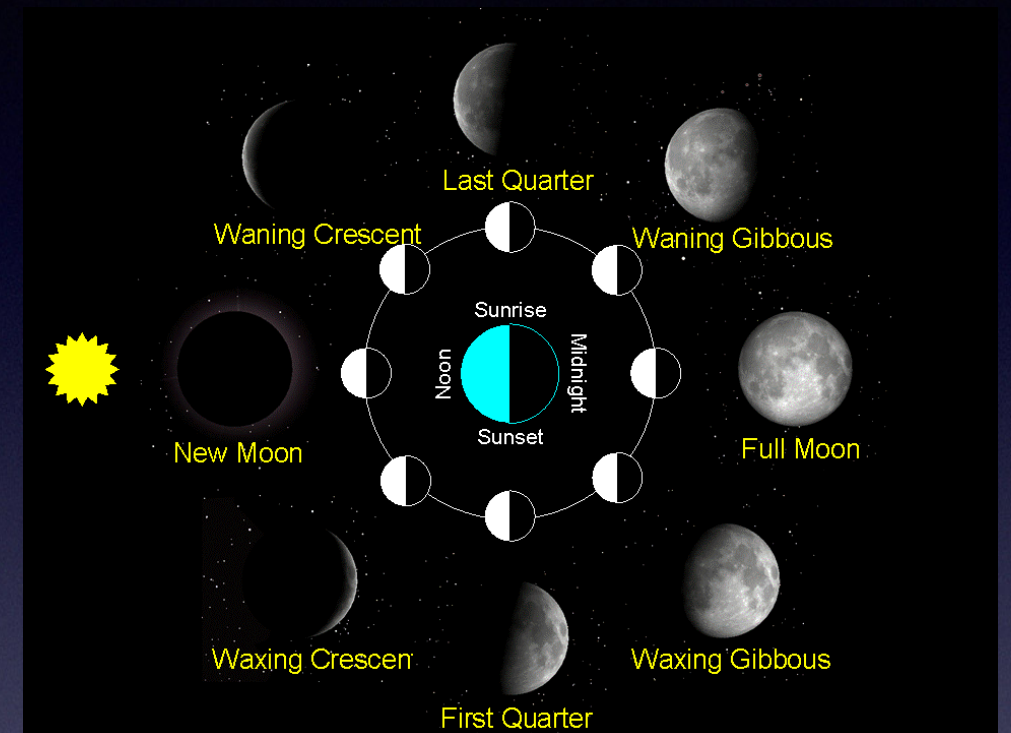
Remarques préliminaires

- On ne mesure que des **durée** (intervalles de temps)
- Nécessité d'un phénomène **périodique** (qui se répète) pour mesurer des durées
- **Chronologie** : temps social, prévisible, adapté à la vie sociale (pas forcément uniforme)

Quelle phénomène périodique choisir ?



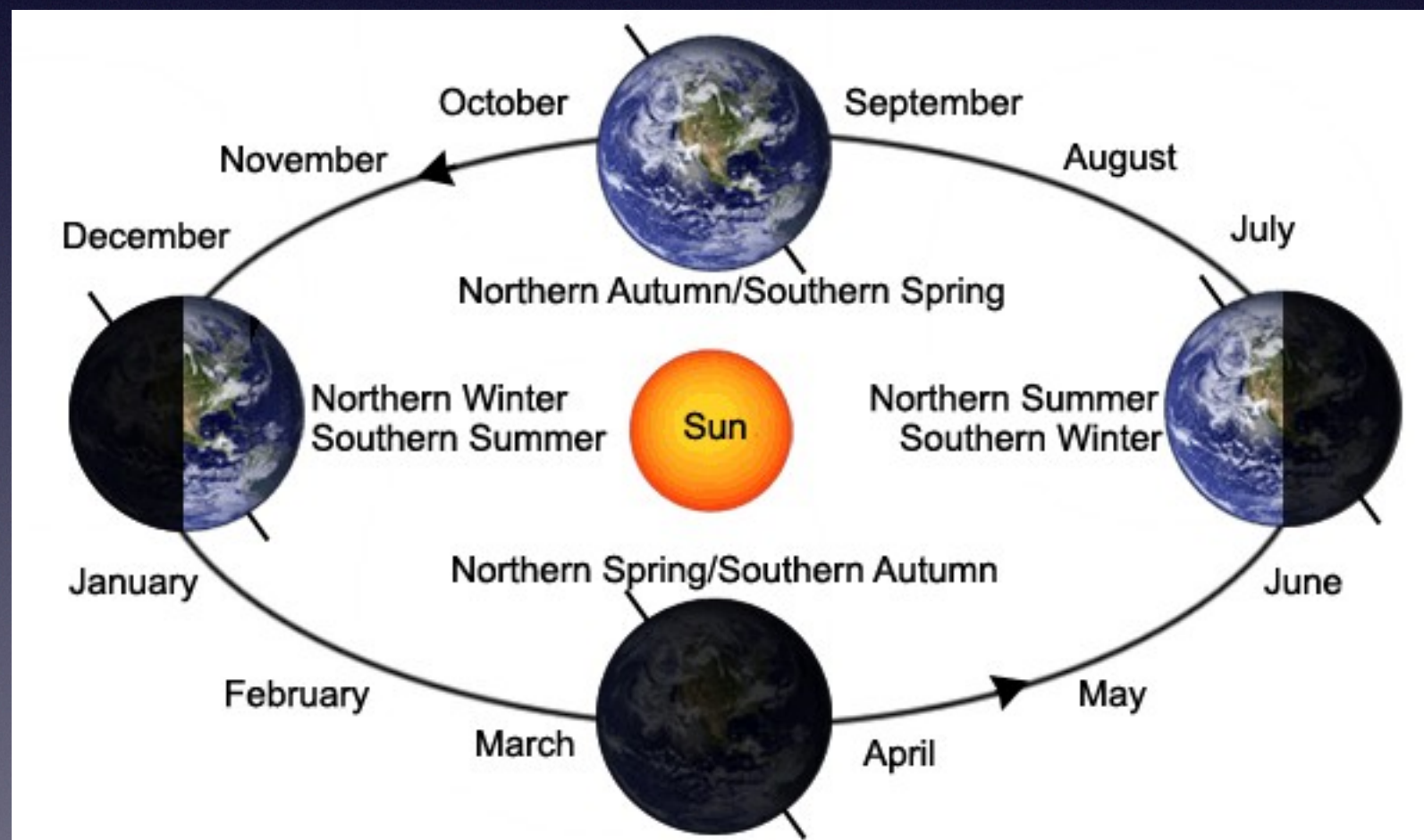
- Rotation de la Terre -> **jour**
- Révolution de la Lune autour de la Terre -> **mois**
 - ❖ 7 jours : durée de changement de phase -> **semaine** (?)
- Révolution de la Terre autour du Soleil ; 12-13 mois lunaires -> **année**



Obliquité de l'axe de rotation terrestre

La durée du jour **varie**

équinoxe d'automne



solstice
d'hivers :
pôle nord
constamment
dans la nuit

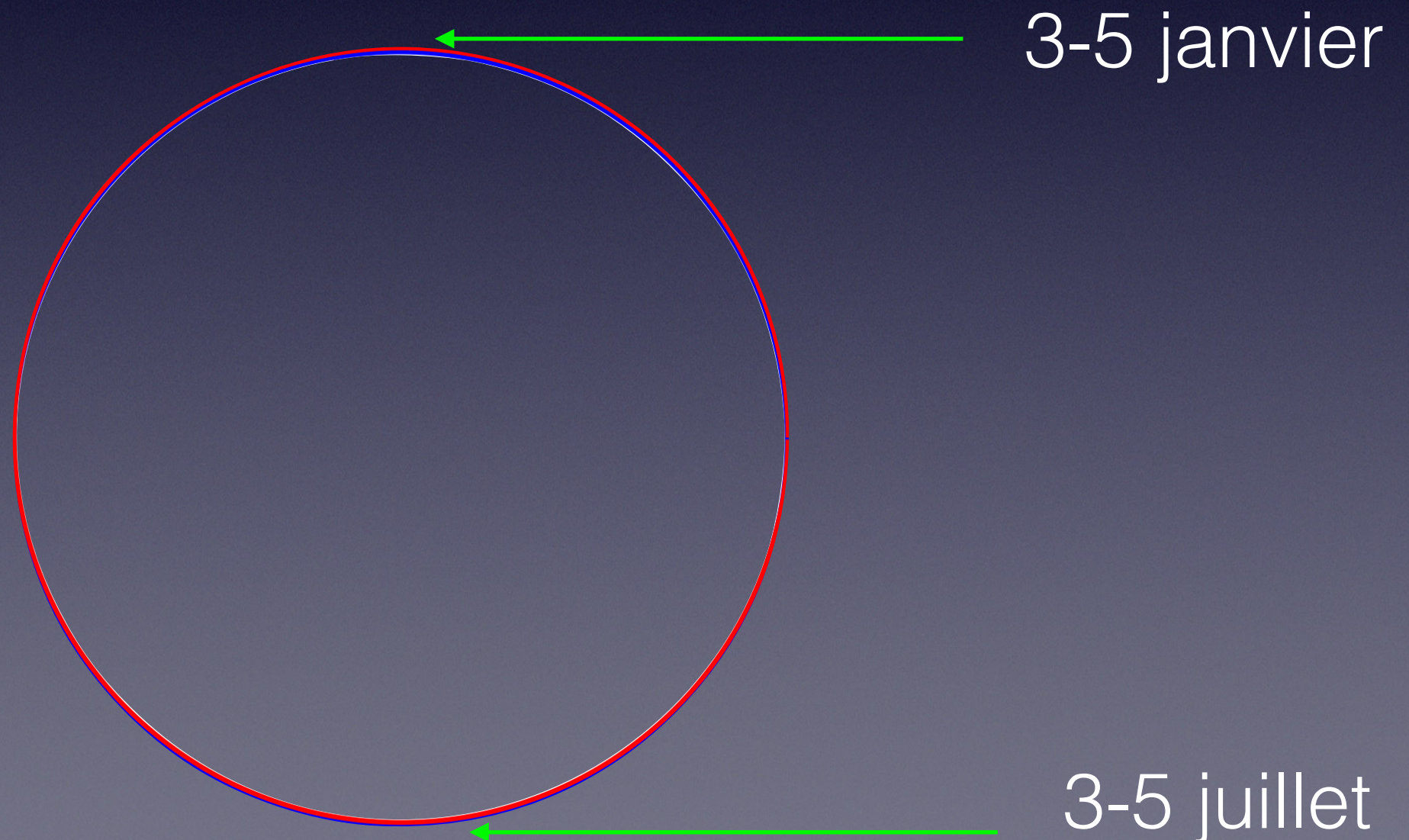
solstice
d'été :
soleil de minuit
au pôle nord

équinoxe de printemps

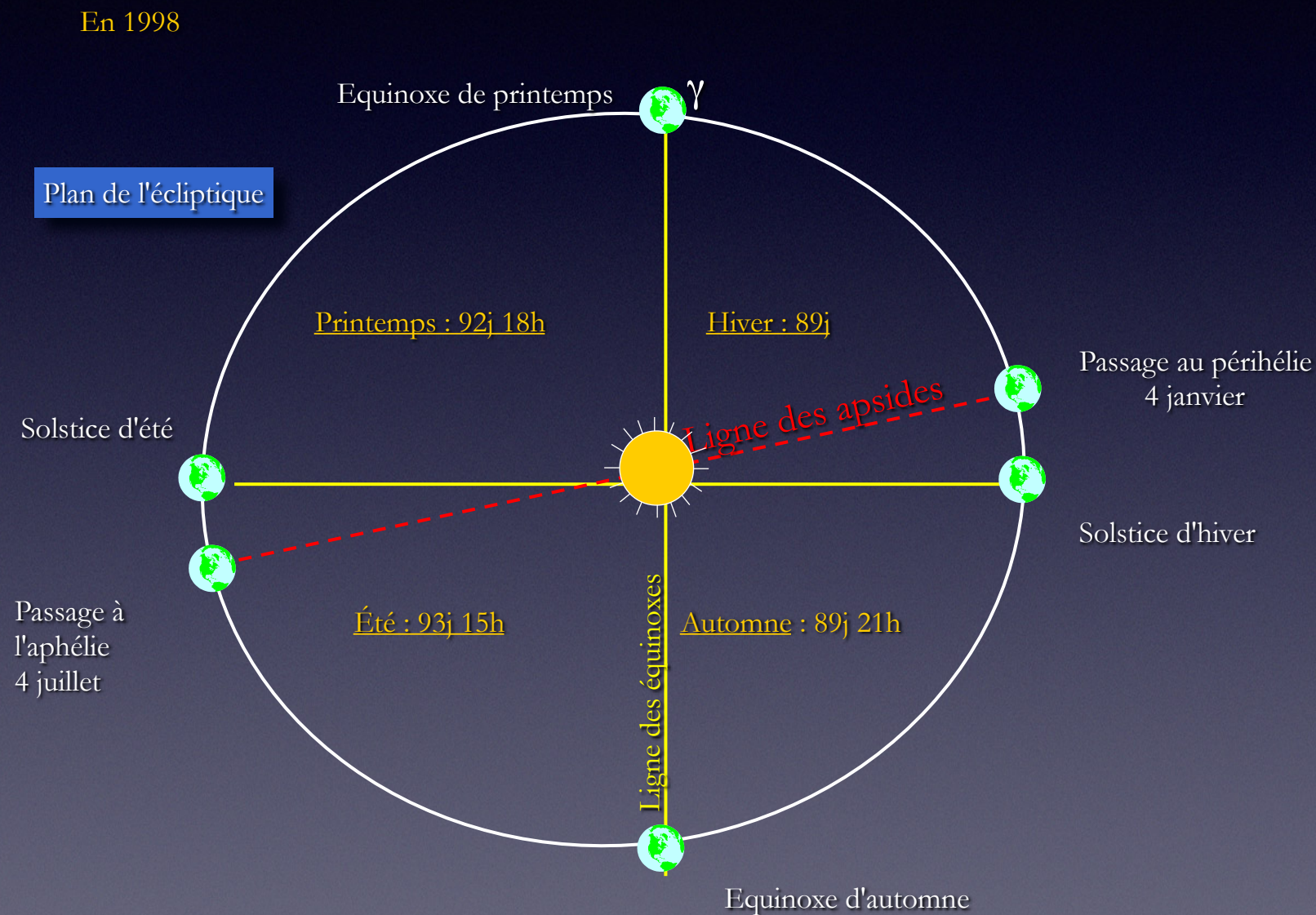
L'orbite de la Terre

Kepler (XVI^e s.) : les orbites des planètes sont des **ellipses** ; la **distance** Terre-Soleil et la **vitesse** orbitale de la Terre **varient**

L'orientation de cette ellipse **varie** (précession)



Les saisons

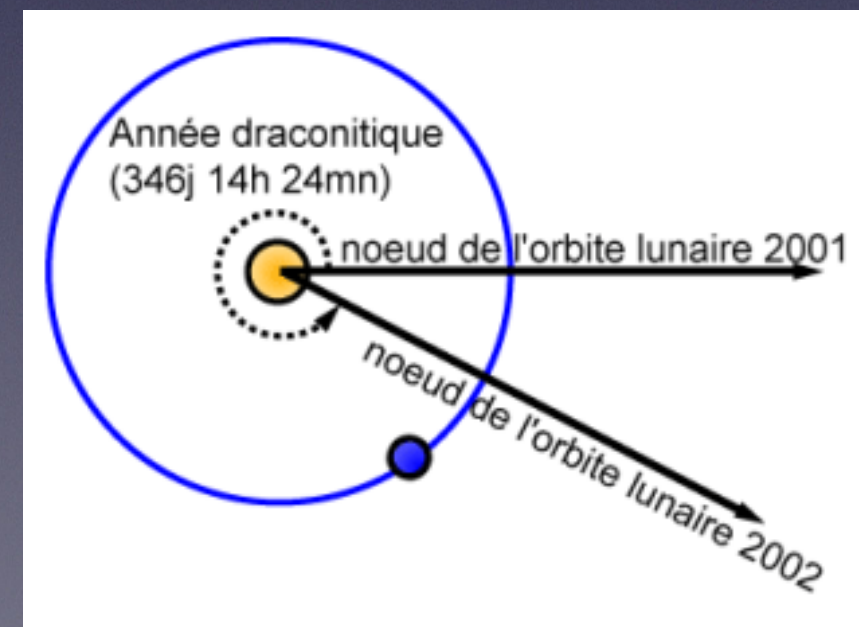
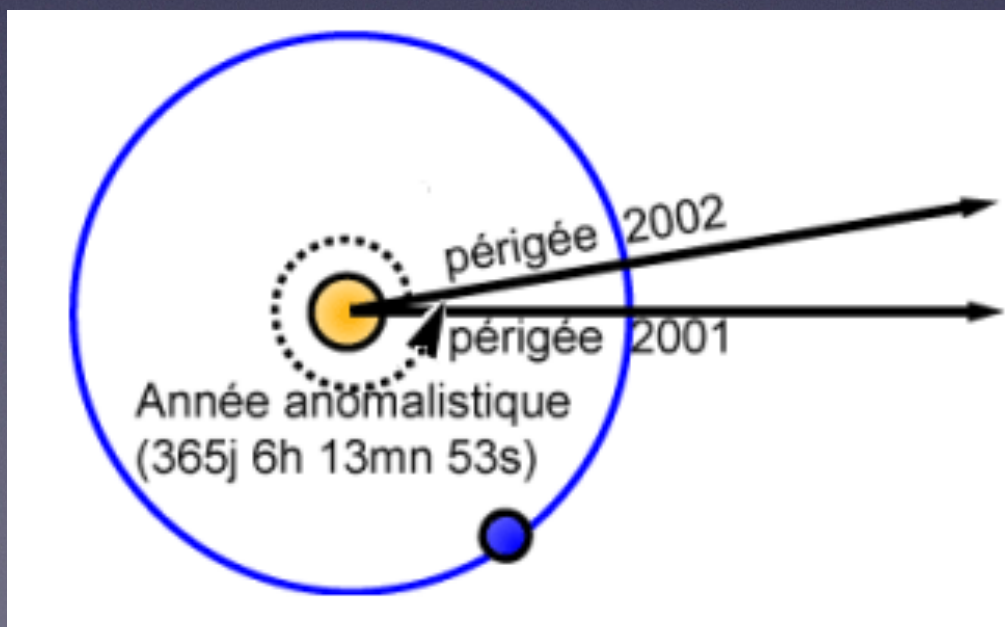
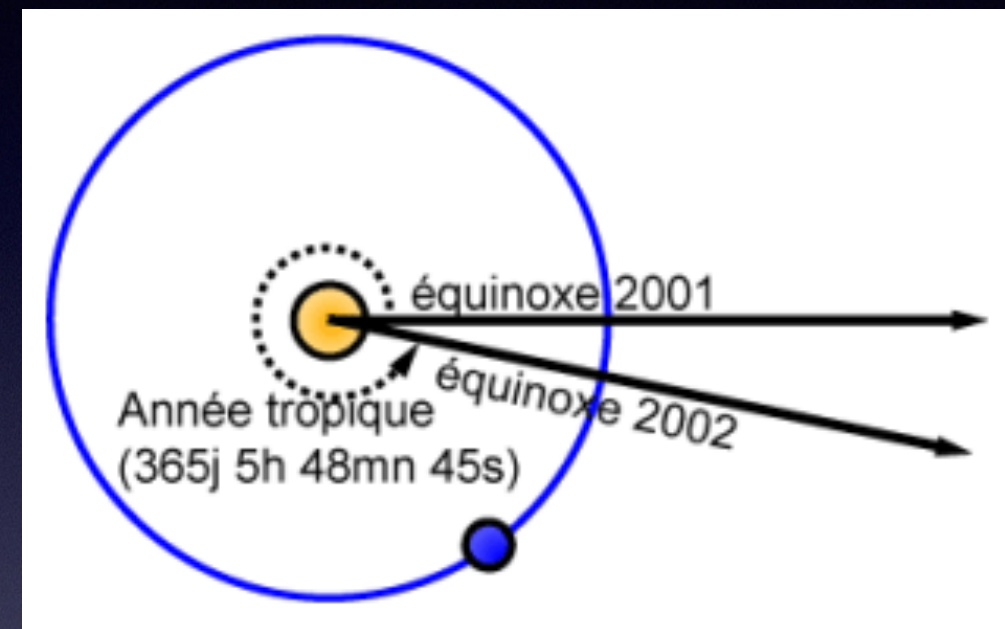
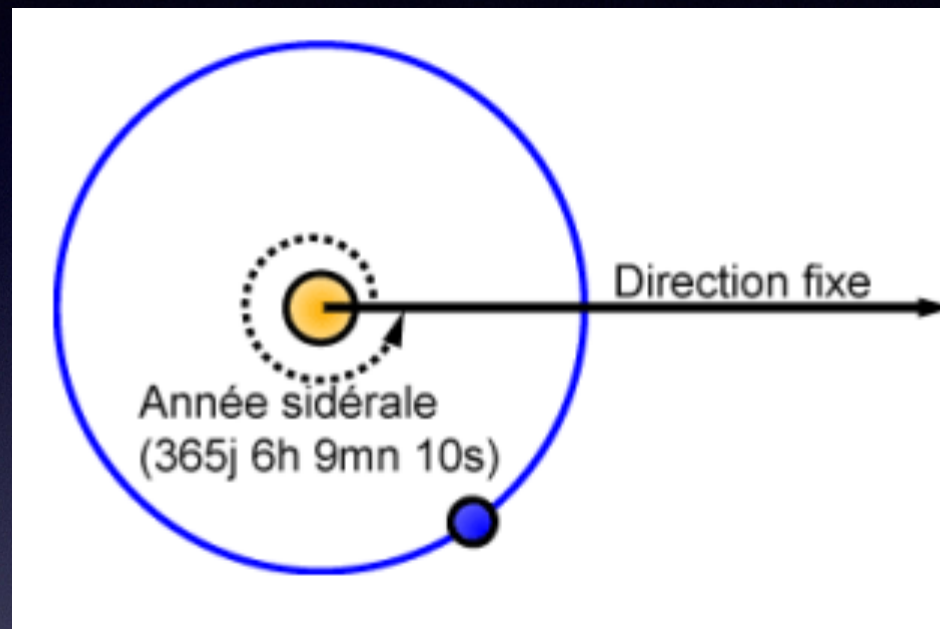


Division de l'orbite terrestre en 4 quadrants (90 deg)

=> **la durée des saisons varie !!!**

Comment définir l'année ?

celle qui suit les saisons,
celle qui est choisie actuellement

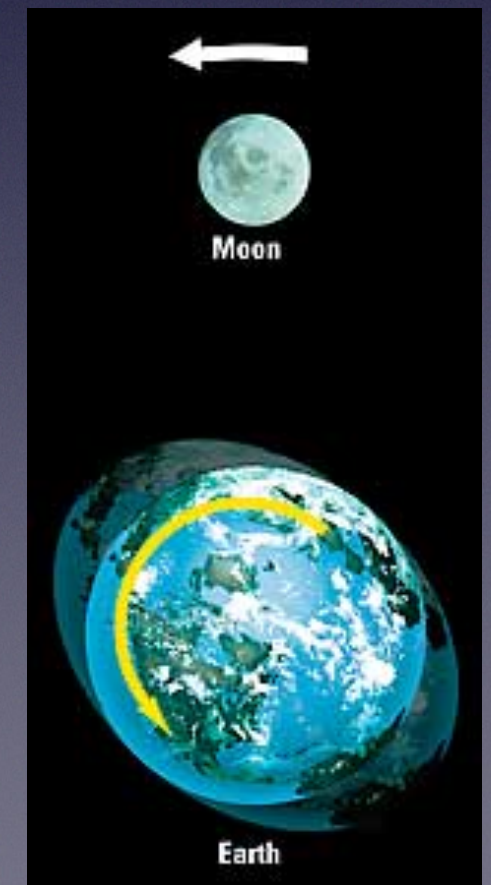
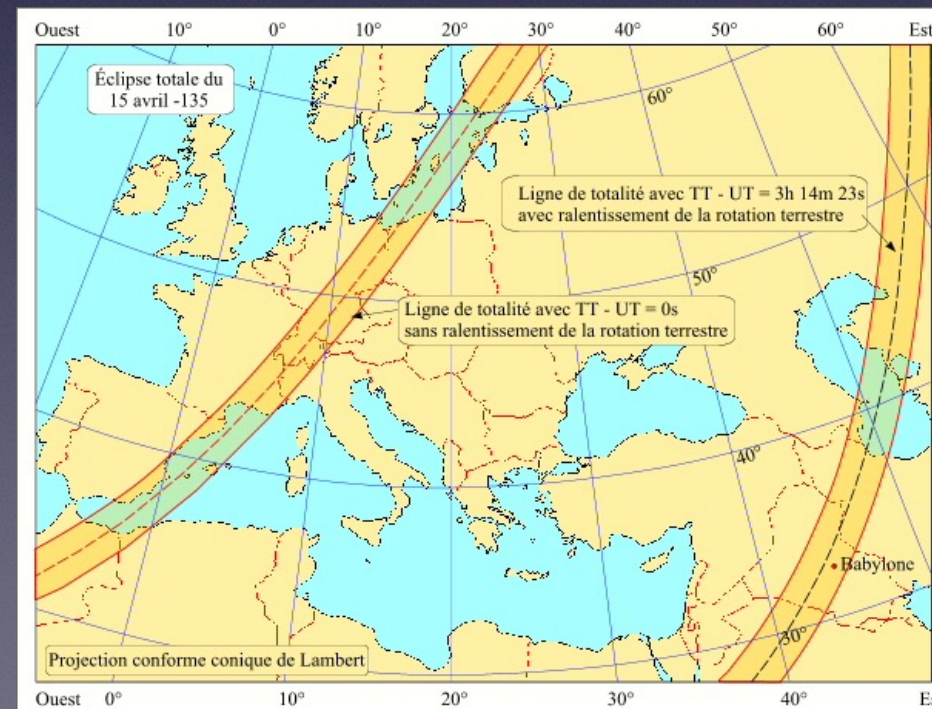


L'ère chrétienne

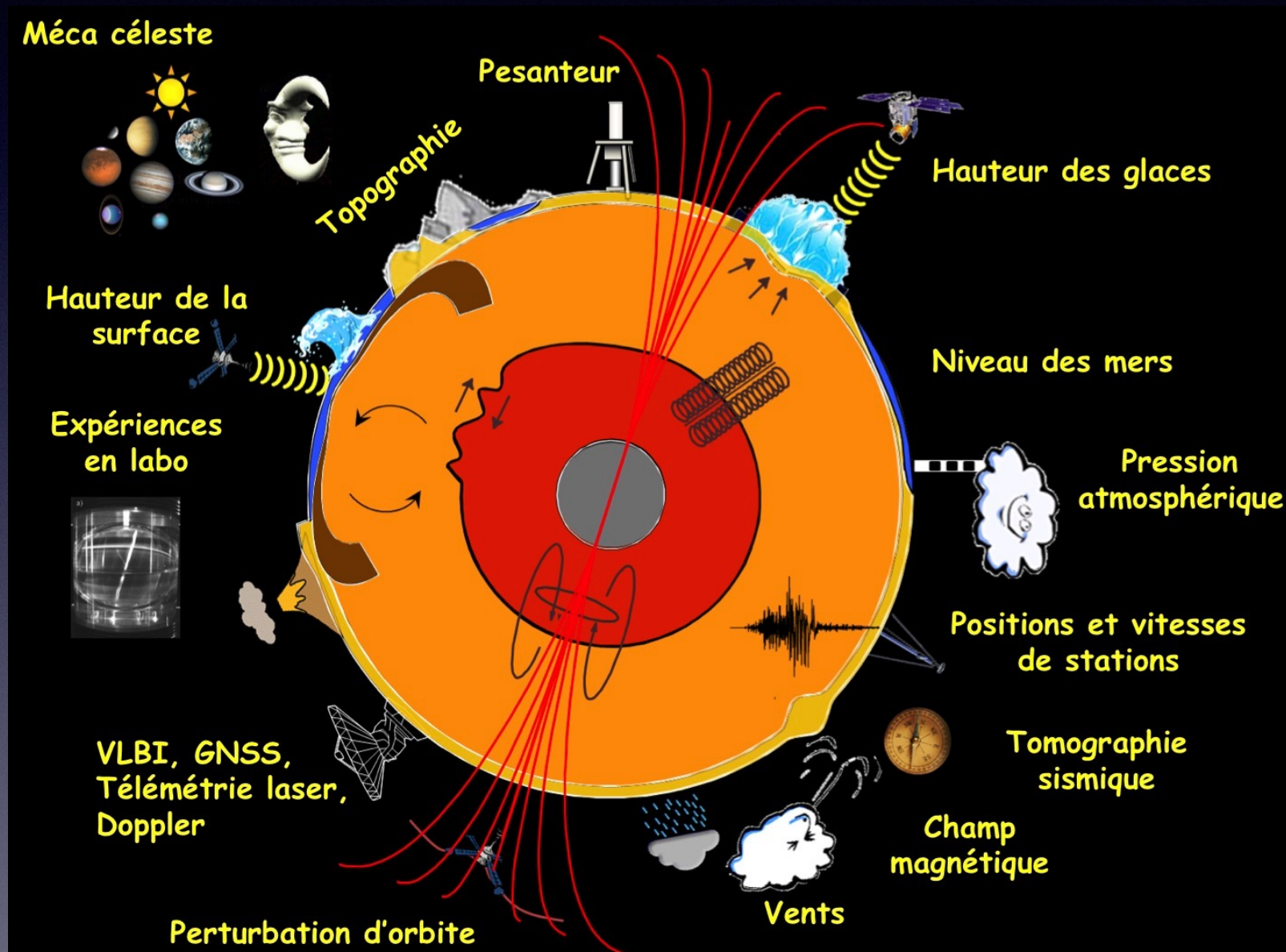
- En 525 Denys Le Petit propose un comput pour le calcul de la date de **Pâques** qui tombera désormais entre le 22 mars et le 25 avril inclus. Il fixe la date de naissance du Christ 25/12 de l'an 753 de Rome.
- Cette réforme (AD : Anno Domini) est acceptée par le pape. Avant cette réforme les chrétiens utilisaient l'ère de Dioclétien ou ère des Martyrs qui débute le 29 août 284 apr. J.-C.
- Pb : décalage avec les saisons : 3j au VII^e s., 10j au XII^e s. ; réforme Grégorienne (16^e s.) : suppression de 10 jours => au Vatican, le lendemain du jeudi 4 octobre 1582 julien fut le vendredi 15 octobre 1582 grégorien.
- RQ : appliqué entre 1582 et 1583 dans les autres pays... => difficultés de correspondance entre calendriers

Allongement à long terme de la durée du jour

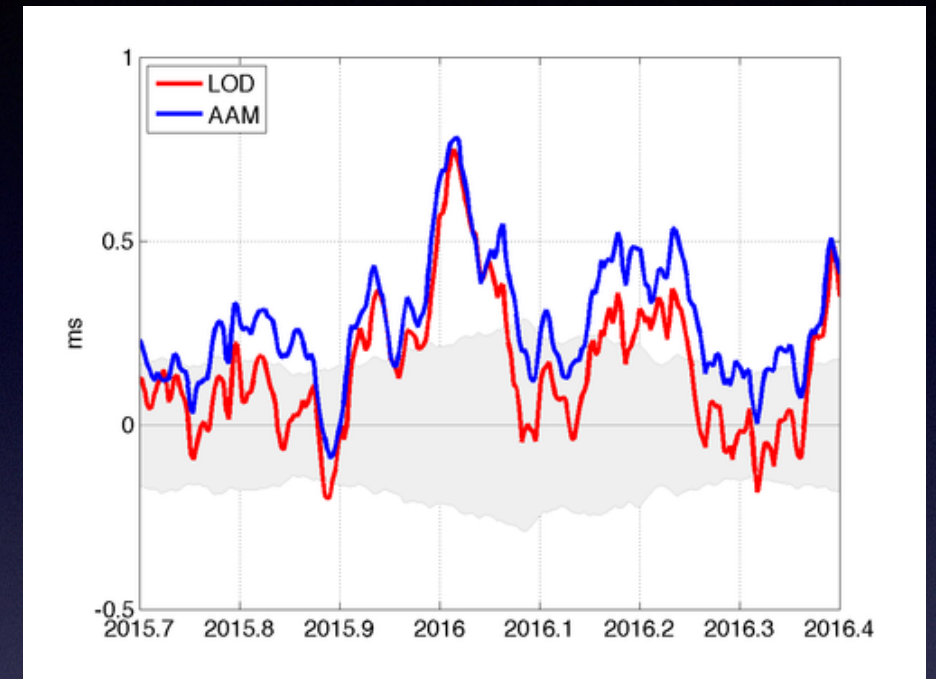
- Coquilles de nautilus (*Nautilus pompilius* Linnaeus) : 1 mois = 29.1 jours il y a $45 \cdot 10^6$ ans
- 1 mois (lunaire) = 17 jours il y a $2.8 \cdot 10^9$ ans
- Éclipse de Soleil du 15 avril 136 av JC \rightarrow rotation terrestre +1.6 ms/siècle
- cause : Marée lunaire



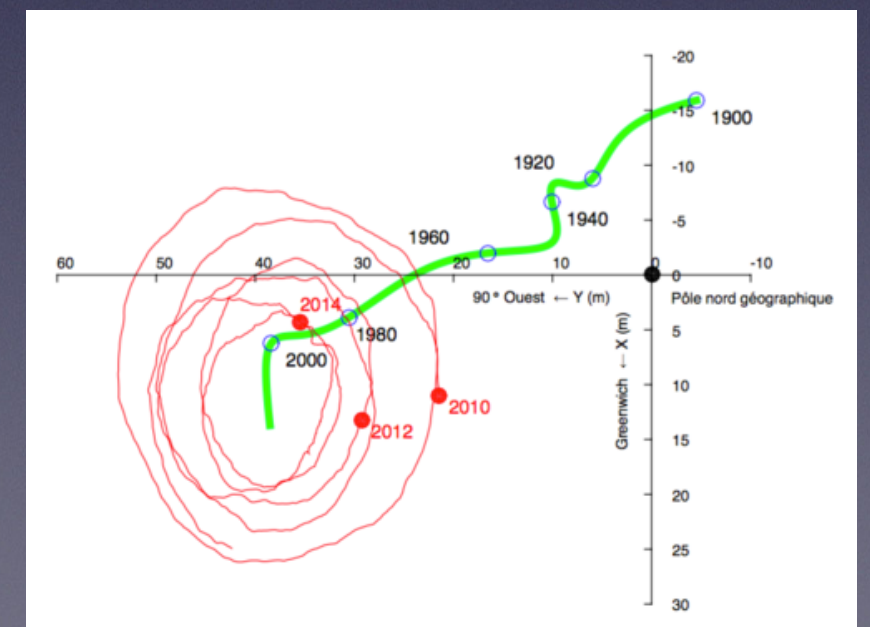
Variations à court terme de la rotation de la Terre



SYRTE, OBSPM



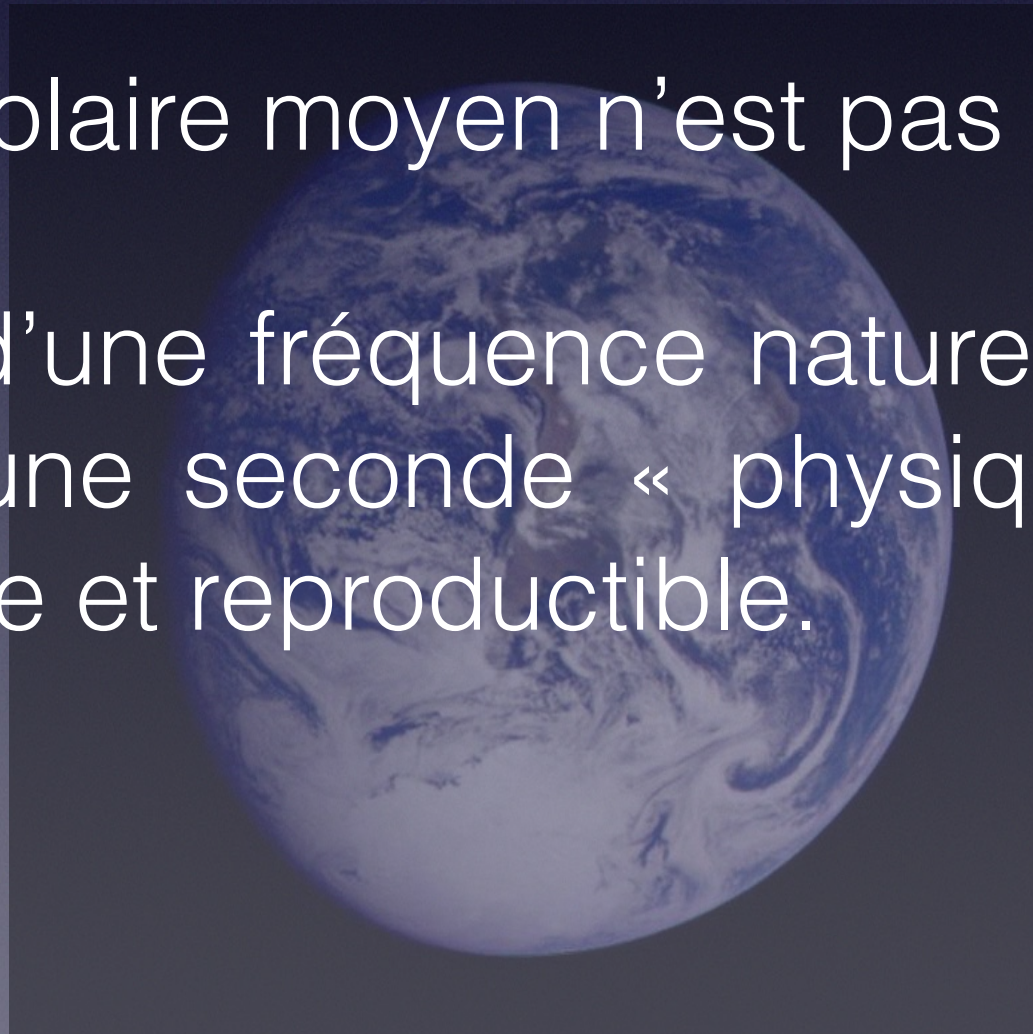
Variation de la durée du jour



mouvement du pôle

Le seconde : définition passée

- Unité de temps : la seconde astronomique : $1/86400$ du jour solaire moyen
- Pb : le jour solaire moyen n'est pas constants
- Recherche d'une fréquence naturelle + stable => définition d'une seconde « physique » fabriquée en laboratoire et reproductible.



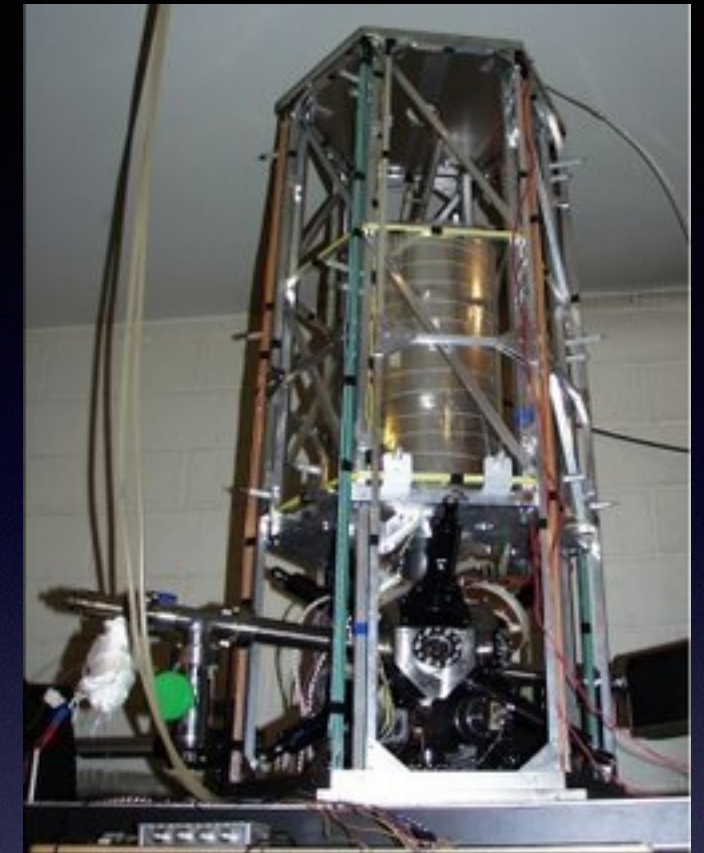
Comment “fabrique-t-on” le temps en 2020 ?

TAI : temps atomique international

- (1955) 1er étalon de fréquence par L. Essen et J. Parry (Londres)
- (1967) seconde = *durée de 9192631770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins $F=3$ et $F=4$ de l'état fondamental $6S_{1/2}$ de l'atome de césium 133.*
- durée du jour : 86400 secondes
- L'année et le mois de longueur variable (pas des unités de temps) => décomposition d'un nombre réel en fraction continue ; les années multiples de 100 ne sont pas bissextiles

Avantages

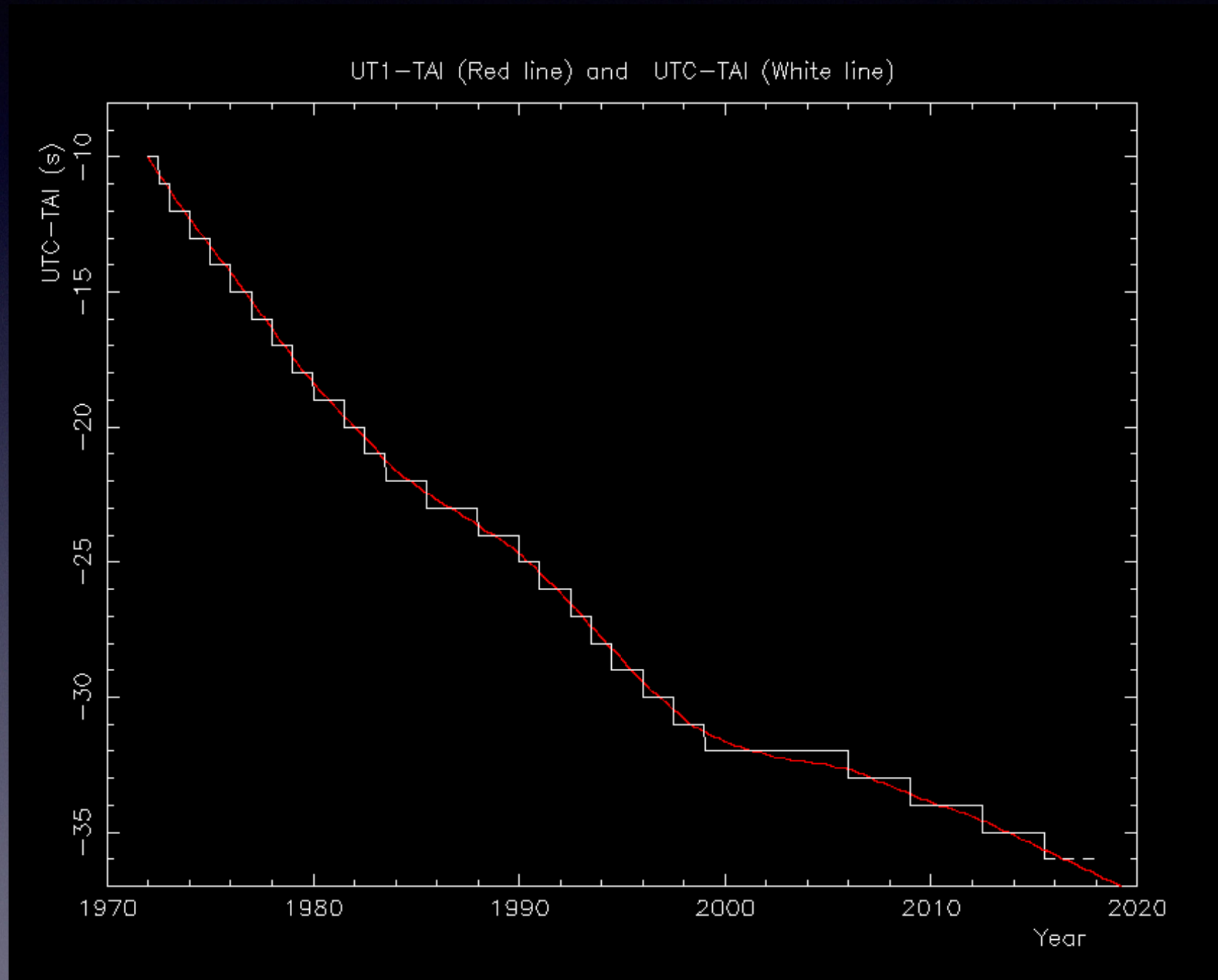
- Reproductible, accessible n'importe où (sol, espace) ; le même sur toute la Terre
 - Le temps universel (UT) \leq moyenne statistique d'horloges atomiques de référence
 - TAI suit les horloges atomiques
 - UT1 suit (ou traduit) la rotation de la Terre
 - UTC (UT coordonné) suit les deux: $\text{UT1-UTC} \leq 0,9\text{s}$.
- ajout / suppression si nécessaire d'une « **seconde intercalaire** » (le dernier ajout : le 31/12/2016 à 23h59m60s)



FOM



UTC (temps universel coordonné)

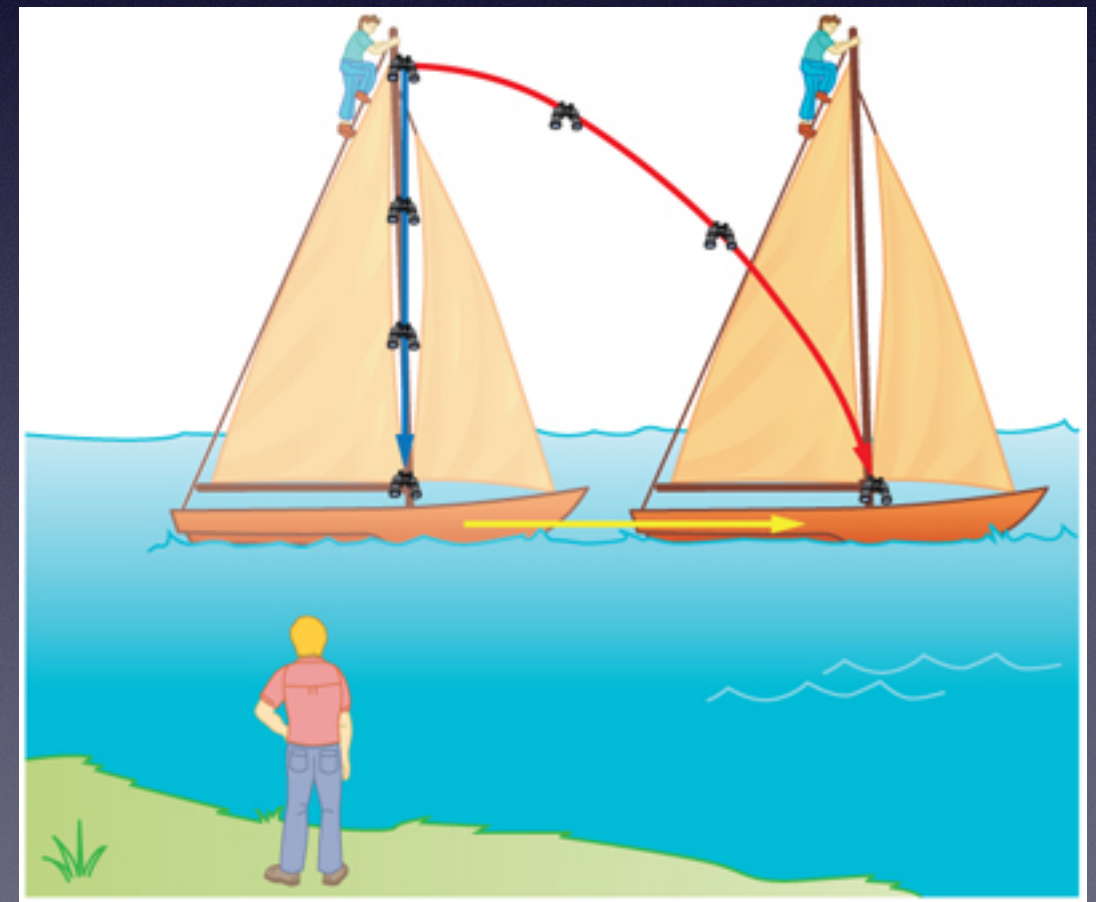
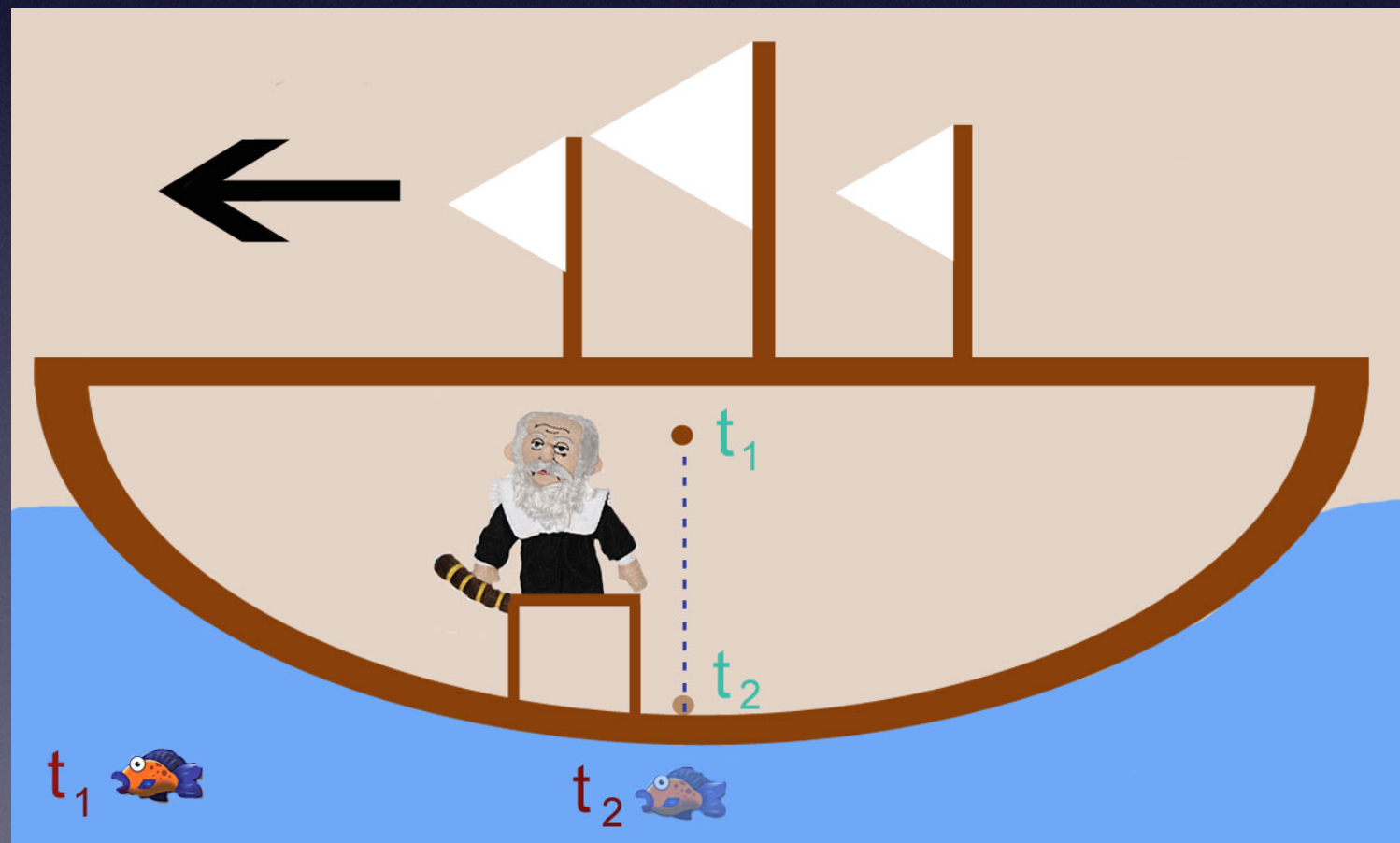


<https://hpiers.obspm.fr/>

“Tout est relatif”
(Einstein)

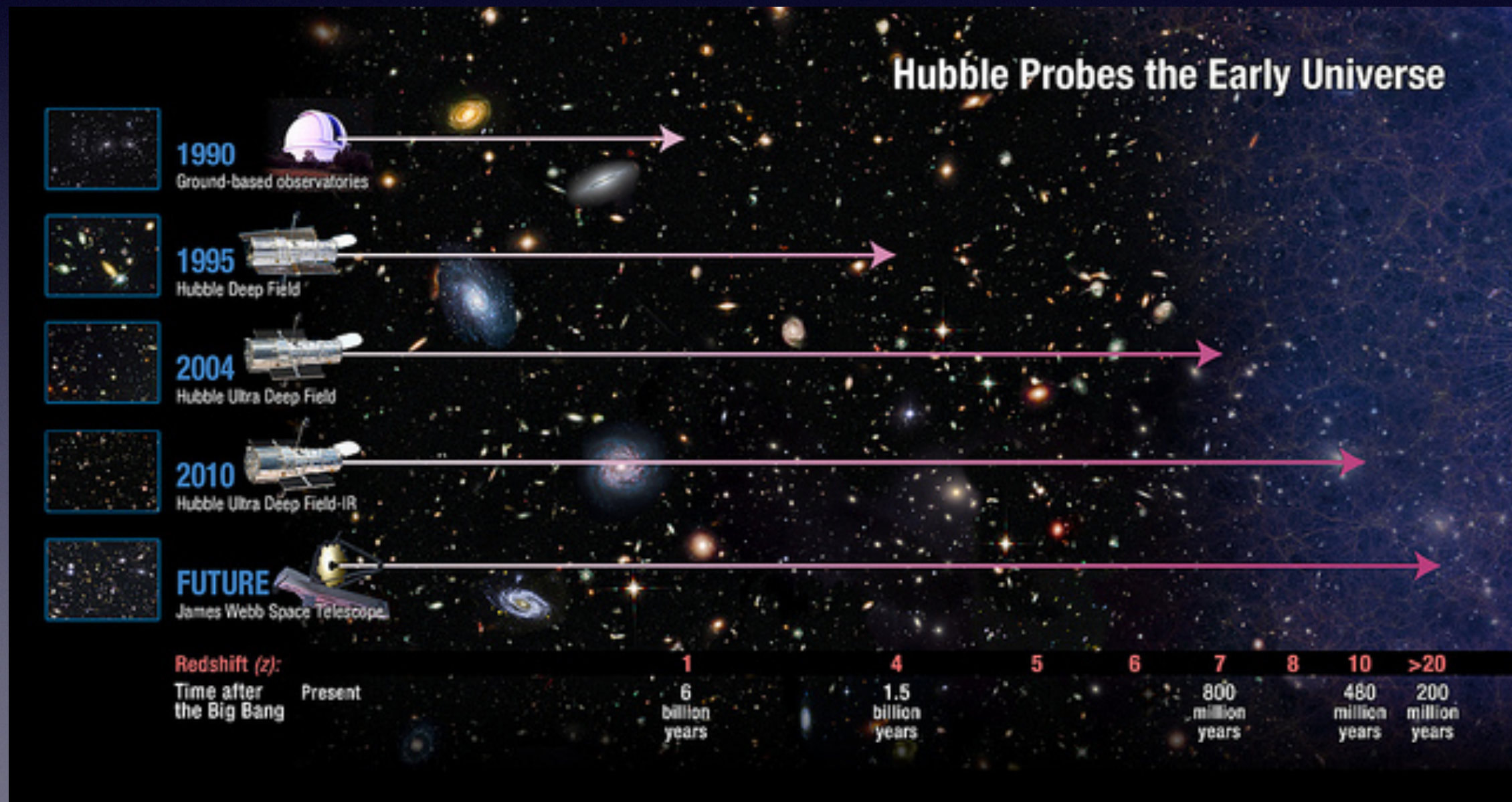
Relativité Galiléenne

- La notion de vitesse n'a de sens que par rapport à un référentiel



Relativité du temps en fonction de l'espace

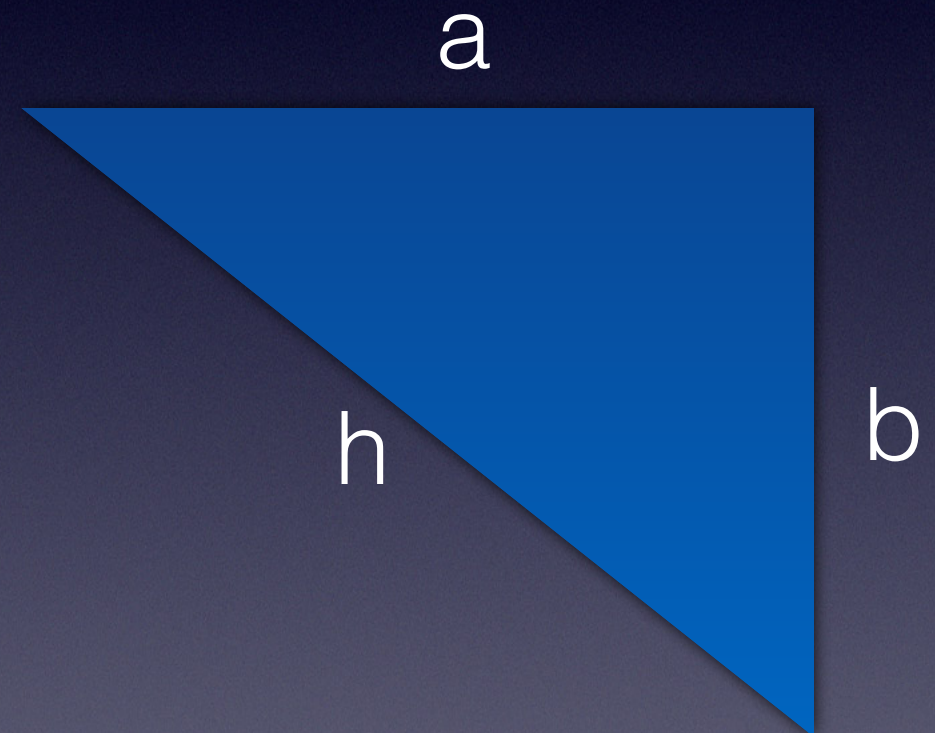
Telescope = machine à regarder dans le passé



Rappels : vitesse & Pythagore

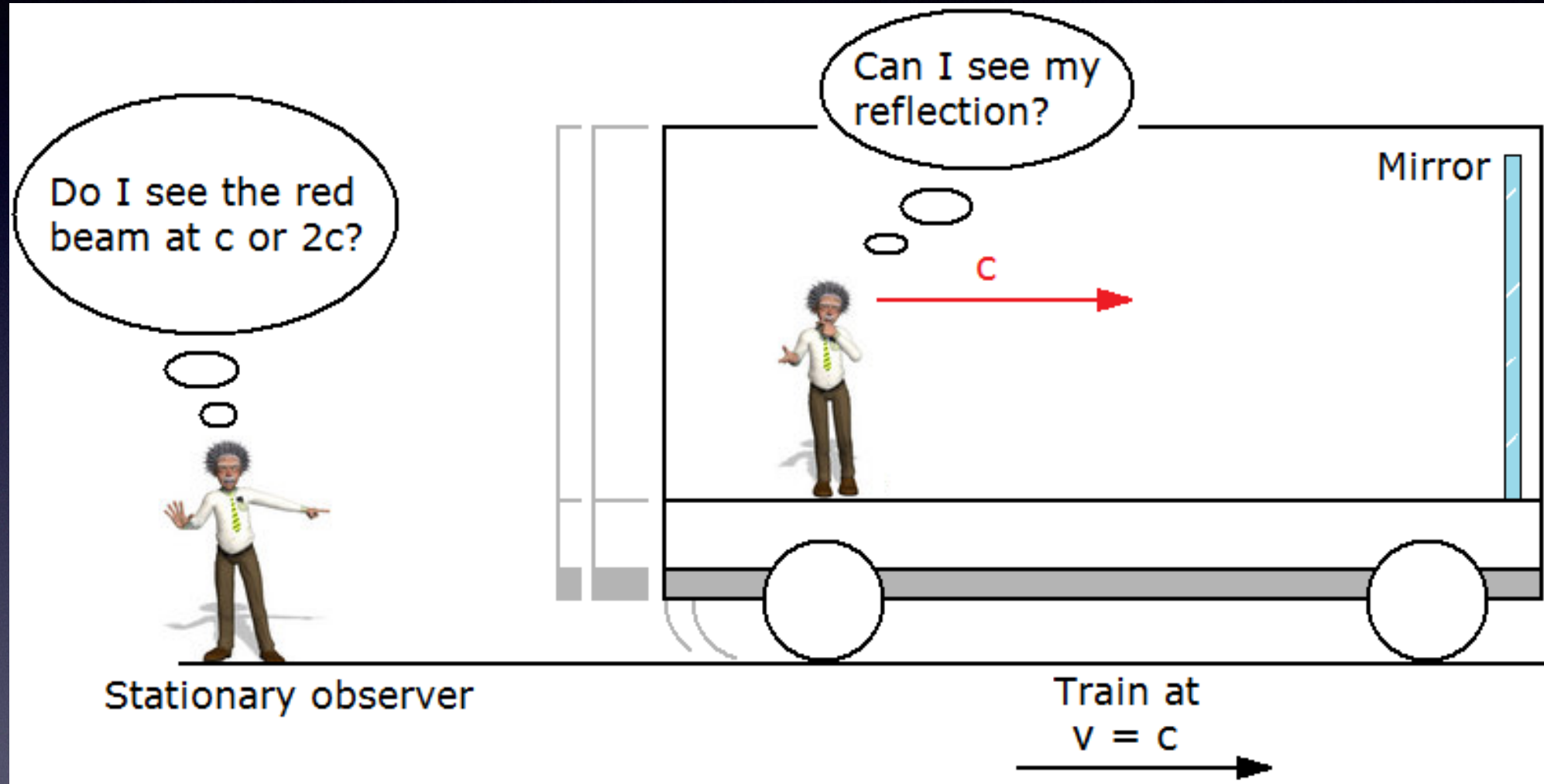
Vitesse = Distance / Temps

Temps = Vitesse / Distance



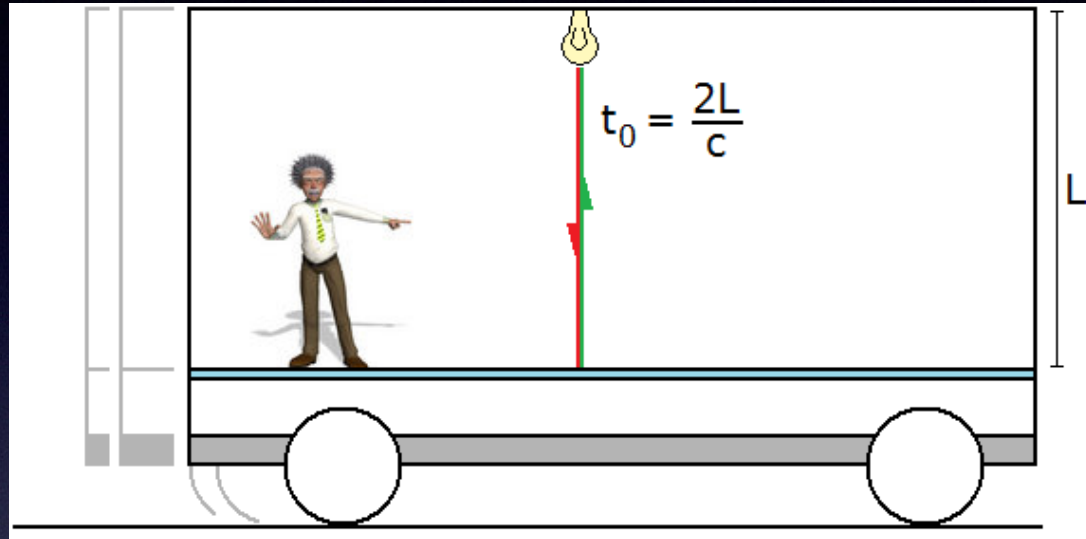
$$h^2 = a^2 + b^2$$

L'expérience de pensée d'Einstein (1/2)



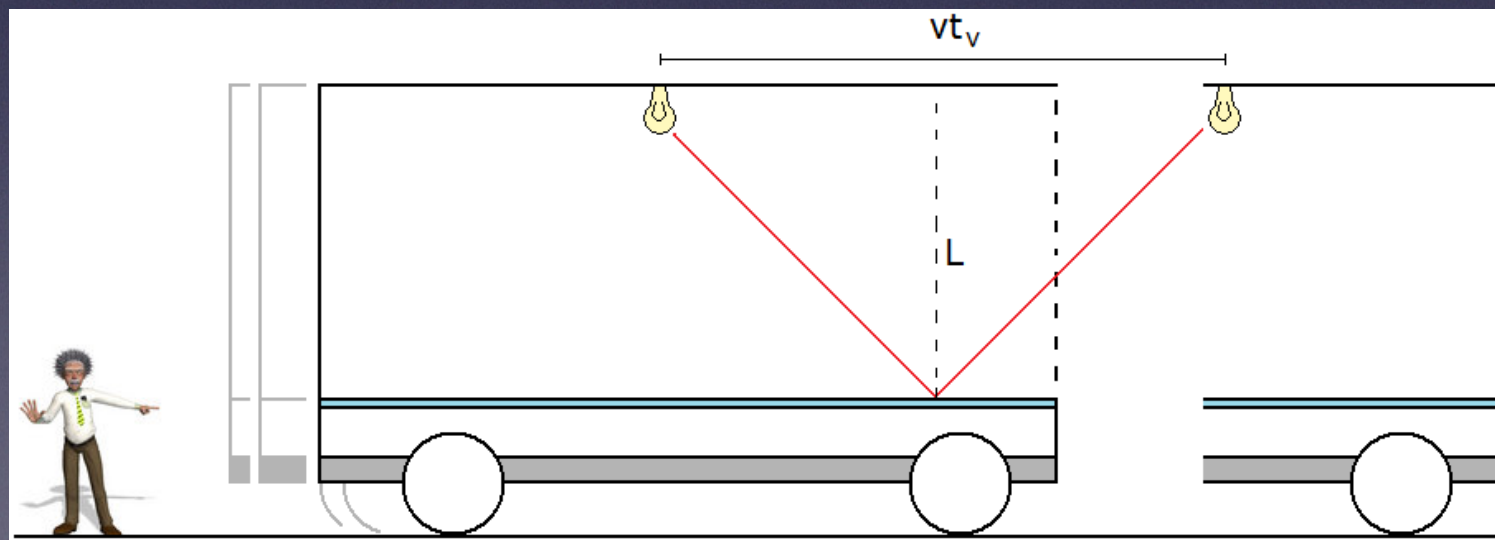
L'expérience de pensée d'Einstein (2/2)

Vitesse de la lumière : c
 Vitesse du train : v



Observateur **dans le train** :
 Distance A/R : $d_0 = 2 \times L$
 Temps d'un A/R : $t_0 = 2L/c$
 $\Rightarrow L = c t_0 / 2$

Observateur **hors du train** :
 Distance : $d_1^2 = 2^2 \times [(v t_v / 2)^2 + L^2]$
 Temps d'un A/R :
 $t_v = d_1 / c = 2 \sqrt{(v t_v / 2)^2 + L^2} / c$



La relation entre t_0 et t_v s'écrit donc :

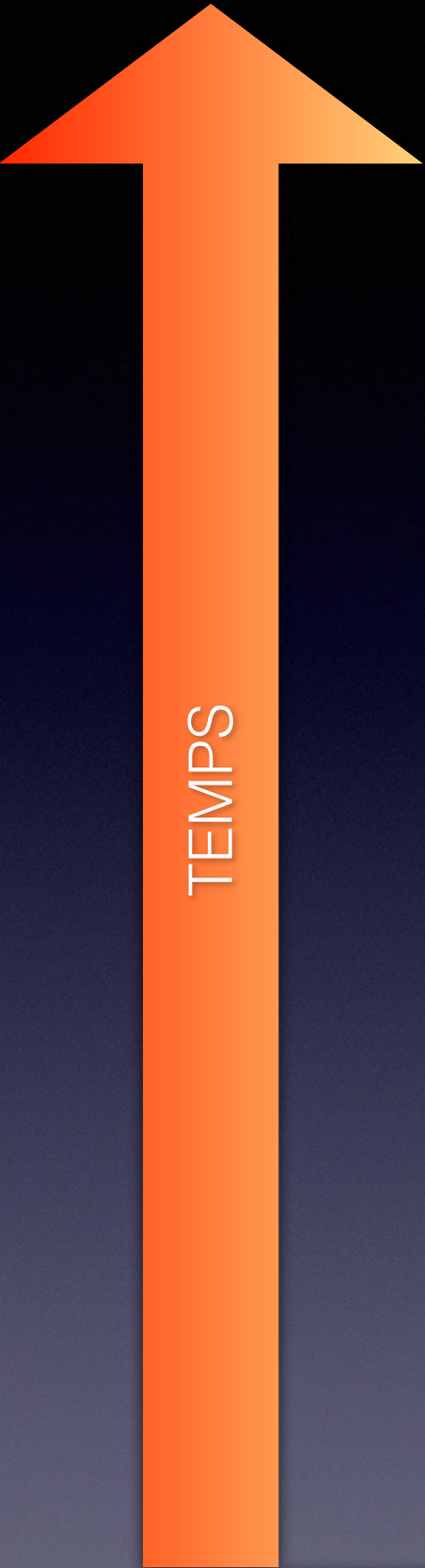
$$t_v = t_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

\Rightarrow si $v=c$ alors
 $t_v=0$: le temps s'arrête

Le temps relativiste

1. La vitesse de la lumière est **constante** quel que soit l'observateur.
2. Le temps absolu (Newtonien) n'existe pas : il dépend de l'espace. On ne se repère plus indépendamment dans l'espace et dans le temps (relativité Galiléenne), mais dans ce qu'on appelle **l'espace-temps**. La notion de simultanéité est **relative**. **“Tout est relatif” : même le temps**

Illustration

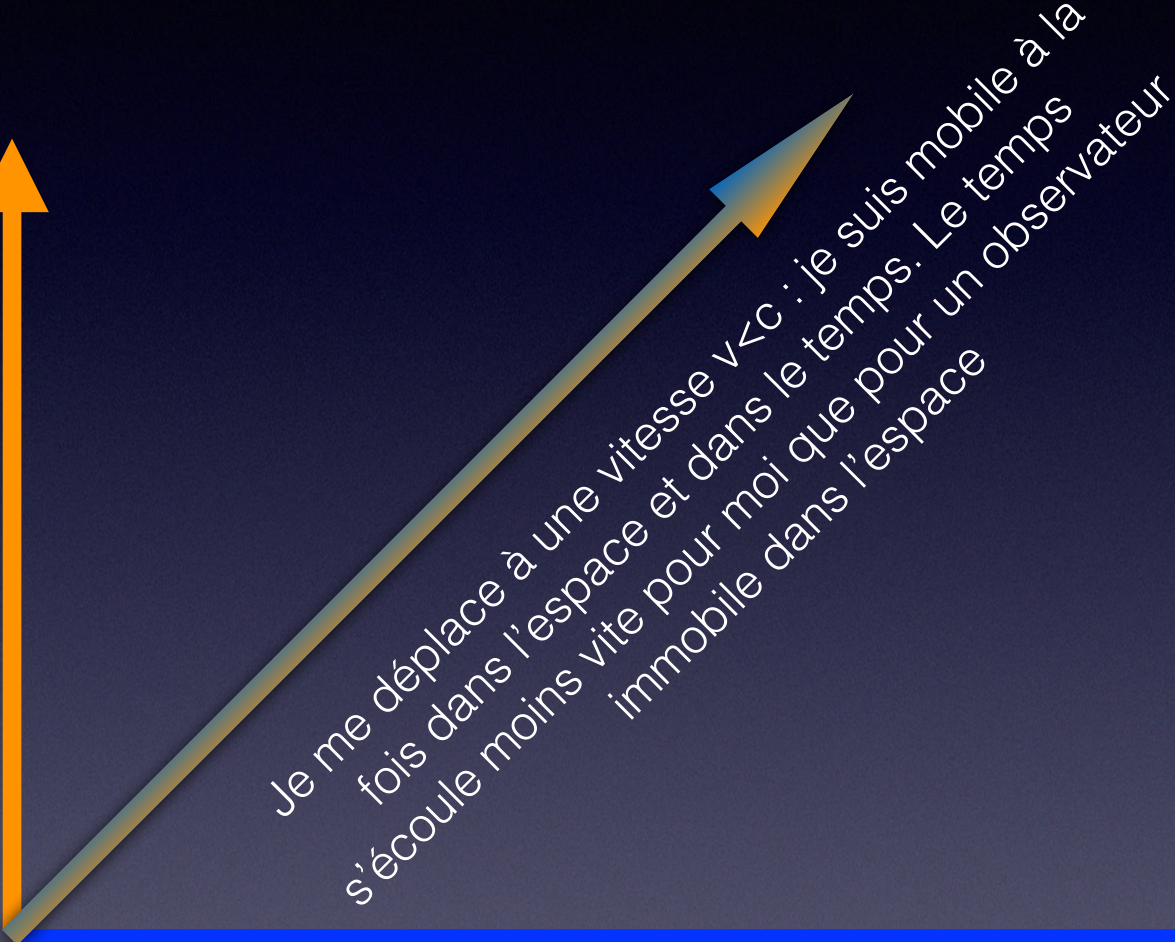


TEMPS

Je suis immobile dans l'espace ;
je suis mobile dans le temps

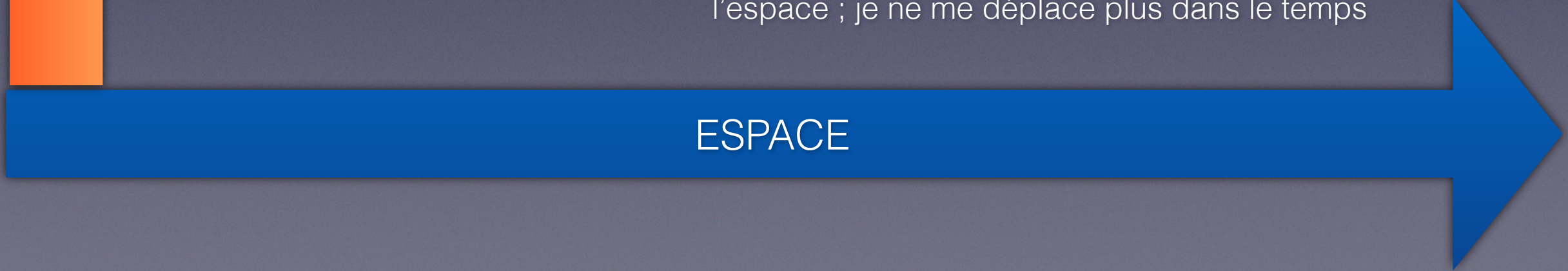


je me déplace à la vitesse de la lumière c dans
l'espace ; je ne me déplace plus dans le temps



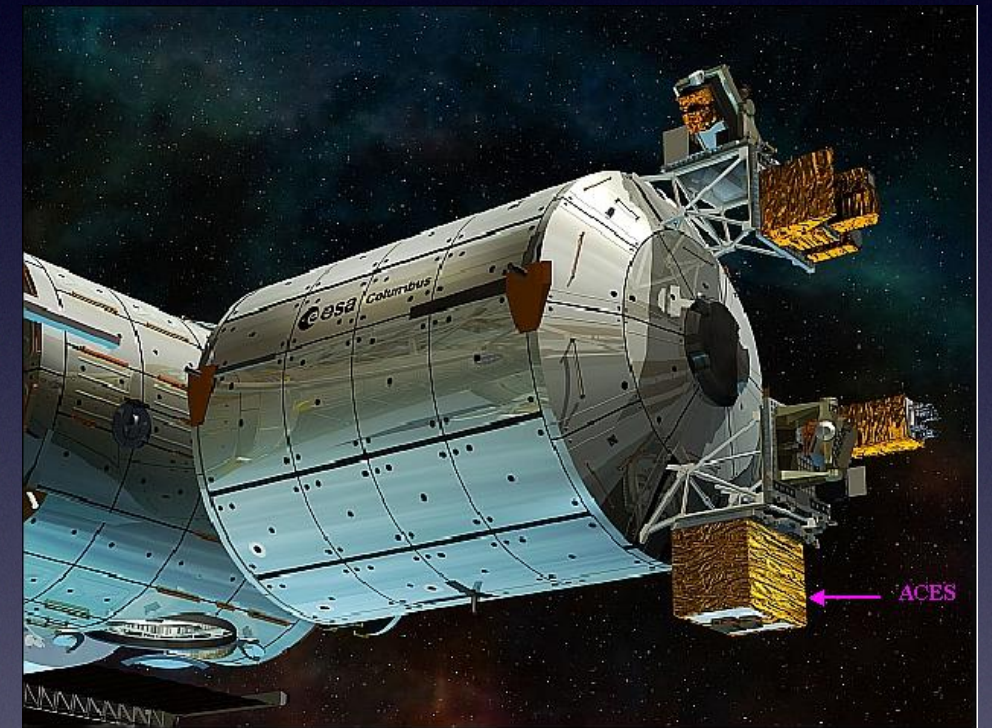
Je me déplace à une vitesse $v < c$: je suis mobile à la
fois dans l'espace et dans le temps. Le temps
s'écoule moins vite pour moi que pour un observateur
immobile dans l'espace

ESPACE



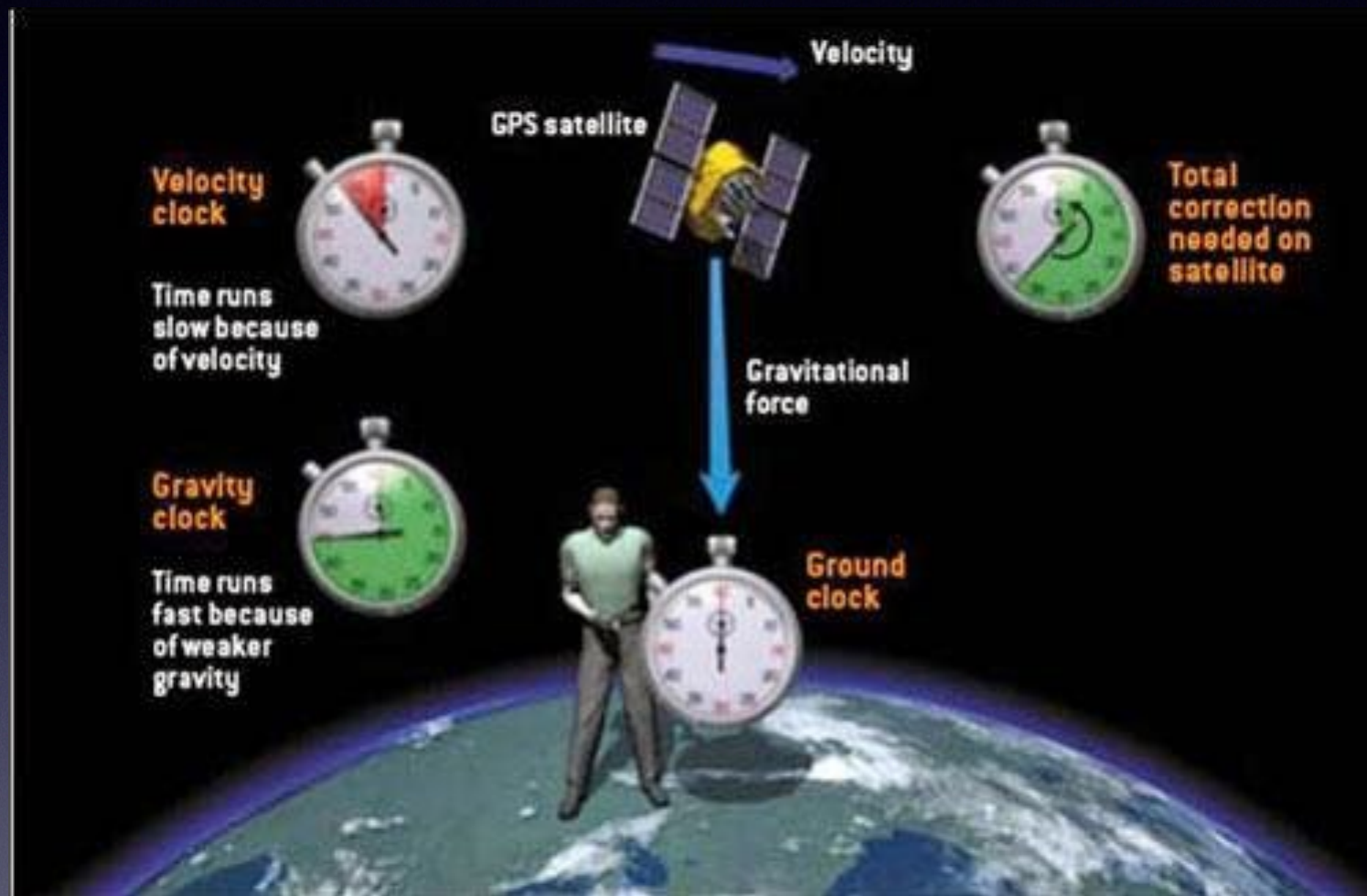
Illusion ou réalité ?

- Expérience de Hafele-Keating (1961) : horloges atomiques embarquées
- Temps de vie des muons dans les accélérateurs
- ACES 2020 : horloges à bord de l'ISS



ACES (ESA)

Application : Le GPS



Précision relative des horloges atomiques : 10^{-16}
Perte de précision du GPS si on arrête de tenir compte de la relativité générale : 1km/jour

Déplacer une horloge atomique de 10cm change son temps

Réflexions

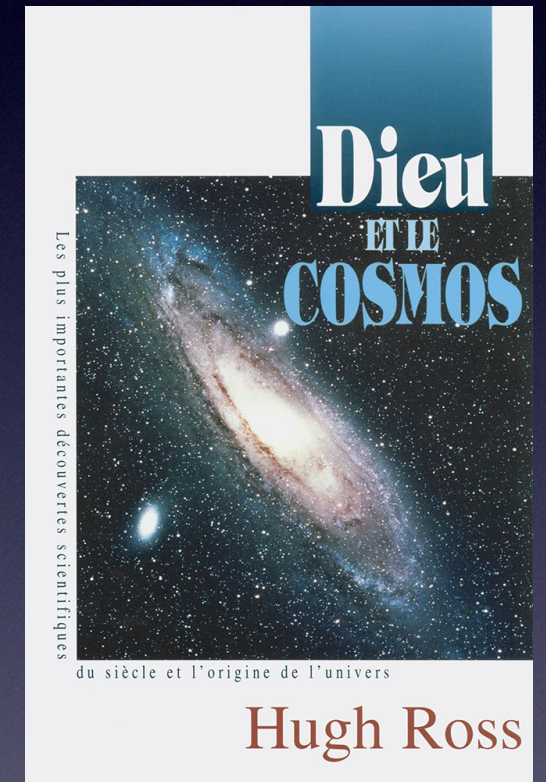
“Le temps existe-t-il ?” E. Klein

- c : vitesse maximale possible
- Principe de causalité : interdit de modifier le passé
- Physique des particules : certaines semblent remonter le temps => énergie négatives : l'anti-matière
- L'anti-matière = preuve que le temps existe et a un sens unique



Le commencement du temps (?)

- Hawking : l'espace, et donc le temps, ont eu un commencement
- H. Ross : pas de causalité sans temps, donc le commencement du temps et de l'espace n'ont pas de cause
- Mur de Planck : 10^{-43} s après le "Big Bang"
- Certaines théories (des cordes) prévoient un "pré-big Bang" compatible avec l'existence du temps avant le Big Bang
- La question reste ouverte (mais a-t-elle un sens ?)





La composante imaginaire du temps



- Stephen Hawking : temps imaginaire (complexe) permettrait de résoudre les pb liés aux singularités (trous noirs notamment).
- Le nombre imaginaire i intervient dans l'équation de Schrödinger : comment passe-t-on d'un espace-temps réel (relativité) à un espace-temps imaginaire (Mécanique Quantique) ?
- Lindgren & Liukkonen (2020, Nature) : simple conséquence de la contrainte d'invariance volumique (en 4D) dans une métrique de Minkowski, considéré dans une optimisation stochastique de moindre action dans l'espace-temps.

X

X

X

La beauté du temps

(d'après une idée de P. Thouzet)



- Le plaisir d'attendre -> se préparer (ex : venue d'un enfant)
- Processus vs état final
- Combien de temps faut-il à un enfant pour naître : 9 mn / 9 hr / 9 mois / $9 \cdot 10^6$ ans / $14 \cdot 10^9$ ans ?



Dieu est-il hors du temps ?

- Einstein : l'espace et le temps sont liés
- Gn 1 : Dieu est par nature hors de l'espace



→ L'Eternel : celui qui est hors du temps -> ne peut avoir ni commencement ni fin, par définition



→ Incarnation : projection dans l'espace-temps d'un être qui, par définition n'est pas dedans

- [Voir l'intervention d'H. Blocher en fin de journée](#)

Le scientifique (évangélique) et le Tétragramme

D'après Ex 3:14

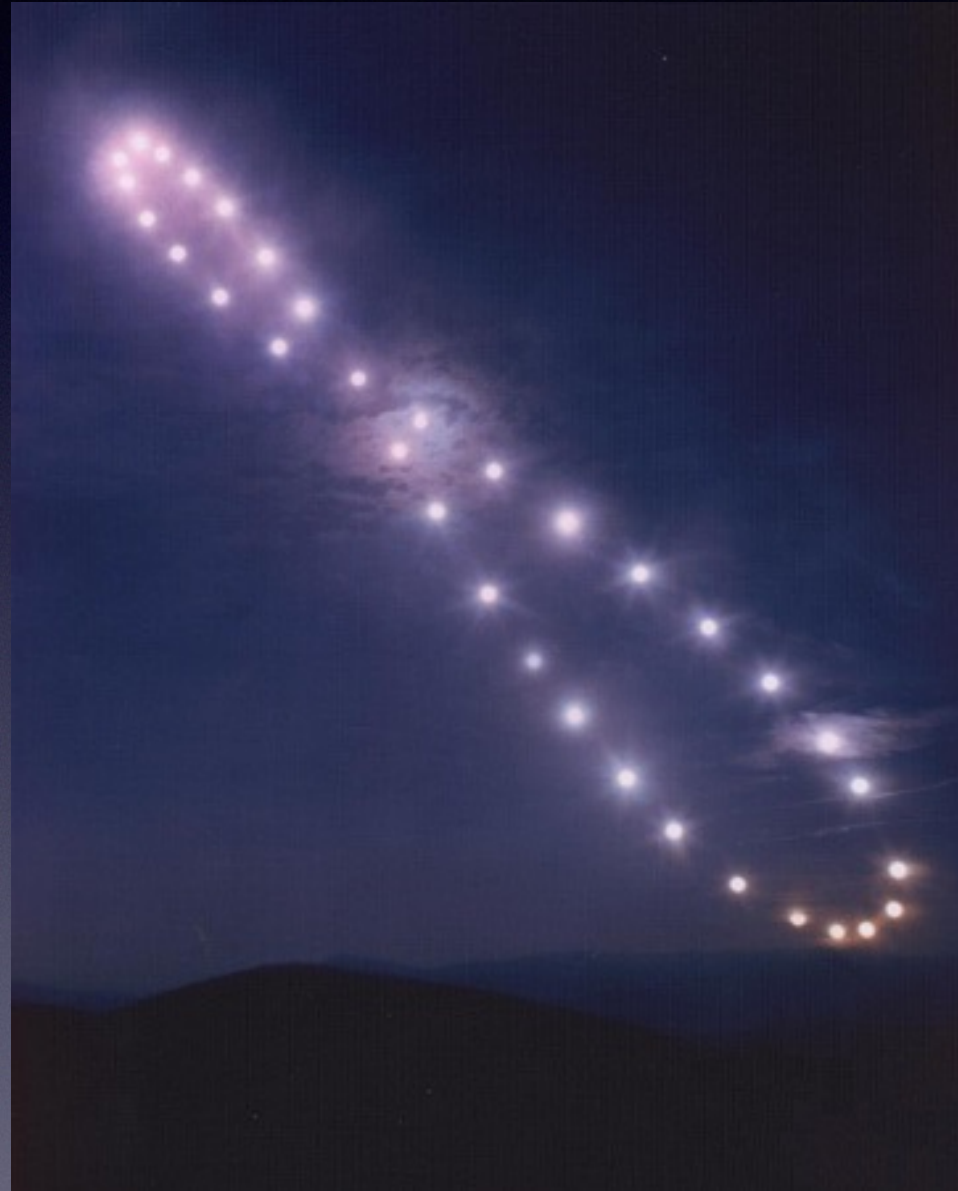
YHWH, E, t, A

Annexes

Pourquoi 24h et 60 sec ?

- Sumériens (4-5000 ans BC) : 3 périodes de jour, 3 de nuit ; puis doublé ; puis quadruplé -> 24h
- Égyptiens (2000 ans BC) : 10h de jour + aube+crépuscule + 12h de nuit = 24h
- Babyloniens : comptaient en base 60 => ~360 jours / an ; 360 deg ; 1 deg=60' ; 1'=60"
- NT : Le jour commence le soir (shabbat)
- La durée des heures étaient **variable** en fonction de l'année

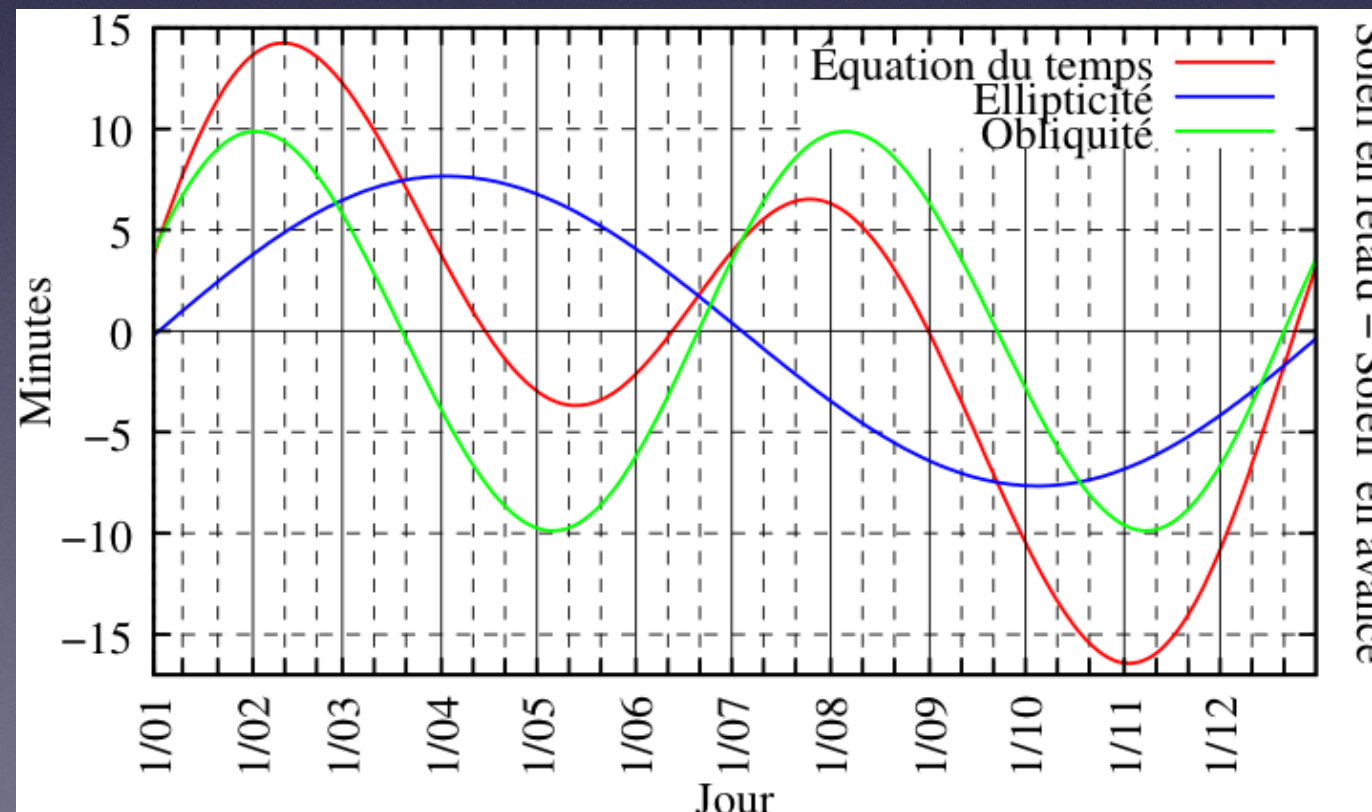
Changement de place du Soleil dans le ciel



Analemma : trajectoire apparente du Soleil, obtenue en enregistrant la position du Soleil à midi local (sur un an)

“L'équation du temps”

- Temps solaire vrai : mouvement apparent du Soleil
- Temps solaire moyen : si la Terre avait un mouvement uniforme autour du Soleil
- Bleu : équation du centre (dû à l'excentricité de l'orbite terrestre)
- Rouge : réduction à l'équateur (dû à l'obliquité de l'axe de rotation terrestre)



Différents types de calendriers



- **Calendriers vagues:**

- Basés sur aucun phénomène astronomique réel (ex: calendrier égyptien et calendrier maya)

- **Calendriers basés sur l'observation (purement astronomique) :**

- Avantages: pas de calcul, juste une observation d'un phénomène astronomique
- Inconvénients : calendriers locaux, les phénomènes ne sont pas toujours observables en un lieu donné. Calendriers ne permettant pas de se projeter dans le futur.

- **Calendriers perpétuels :**

- Avantages: basés sur les périodes de révolutions moyennes calculées, ils peuvent être en avance ou en retard par rapport à l'observation mais permettent de dater le futur.
- Inconvénients: traduire une périodicité en nombre de jours

Comput de notre calendrier

- Comput : règles qui régissent la succession et la construction des dates du calendrier (ex: solaire, lunaire, luni-solaire)
- Notre calendrier : « Grégorien » ou « Julien réformé »
 - Le comput : règles grégoriennes (1582) qui garantissent le retour des saisons
 - Le style : style de la circoncision (1 janvier)
 - L'ère : ère de l'Incarnation (naissance du Christ)
- L'année et le mois de longueur variable ne sont pas des unités de temps. Le jour de 86400 secondes est une unité de temps.

Calendrier luni-solaire : Israélite

- Année commune (12 mois) ou embolismique (13 mois)
- défensive, régulière ou abondante
- ère comptée depuis la sortie d'Égypte (1483 ou 1648 av JC), ou règnes des rois (~1000-600 av JC), ou captivité à Babylone (597 av JC), ou construction du second temple (508 av JC) ou délivrance par les Macchabées (143 av JC)

Mois	Année commune			Année embolismique		
	Défective	Régulière	Abondante	Défective	Régulière	Abondante
Tichri : תשרי	30	30	30	30	30	30
'Hechvan : חשוון	29	29	30	29	29	30
Kislev : כסלו	29	30	30	29	30	30
Tévet : טבת	29	29	29	29	29	29
Chevat : שבט	30	30	30	30	30	30
Adar I : אדר	29	29	29	30	30	30
Adar II : אדר ב	0	0	0	29	29	29
Nissan : ניסן	30	30	30	30	30	30
Iyar : איר	29	29	29	29	29	29
Sivan : סיון	30	30	30	30	30	30
Tamouz : תמוז	29	29	29	29	29	29
Av : אב	30	30	30	30	30	30
Eloul : אלול	29	29	29	29	29	29
Nbr. jours	353	354	355	383	384	385

Calendrier lunaire

- calendrier dont la durée moyenne des mois approche la révolution synodique (=relatif à une conjonction) de la Lune
- nouveau mois quand 1er croissant visible => facile à observer, mais difficile de définir l'année : nécessité d'intercaler un mois supplémentaire
- définit une lunaison moyenne de 29jours 12h 44m 2,88s en alternant des mois de 29 et 30 jours. => différences de +/- 7h
- ex: musulman, gaulois, grec, indien, chinois

Calendrier musulman

- L'ancien calendrier arabe : 12 mois lunaires avec un mois intercalaire. Le pèlerinage de la Mecque à la Ka'ba devant avoir lieu en automne
- mois intercalaire : 3 mois sur 8 ans, 11 mois sur 22 ans ou 7 mois sur 19 ans.
- 632, Mahomet interdit l'usage du mois intercalaire
- Nouveau calendrier élaboré par Omar 1er en 642 A.D. qui s'arrange pour que le début de l'année des deux calendriers coïncide le 9 avril 631 A.D.
- Puis il remonte jusqu'en 622 A.D. et calcule que le nouveau calendrier doit débuter le 16 juillet 622 A.D. (ère de l'Hégire - hidjra) (A.H)
- RQ : dates antérieures au 16 juillet 622 A.D. n'ont pas d'existence réelle dans le calendrier musulman => l'an 621 A. D. n'a pas de notation dans le calendrier musulman (-1 A.H , 0 A.H ou 1 B.H)
- RQ : calendrier fatimide : basé sur le calcul plutôt que l'observation de la Lune ; fait controversé dans le monde musulman, mais pratique pour prévisions !

Calendriers solaires

- Suivent la périodicité des saisons => décomposer 365,24219878 jours (durée année tropique, i.e. durée entre 2 printemps successifs) en fractions continues.
- Calendrier julien : $1/4$ (365,25).
- Calendrier perse : ère Jalali (1079) : $8/33$ (365,2424).
- Calendrier grégorien : $97/400$ (365,2425 - incomplet)

Pourquoi l'année commence le 1er janvier ?

- Rome Antique : l'année commence en mars (Dieu de la guerre) ; année de 355 jours et dix mois
- 46 av JC : Jules César : 1er janvier : date des élections des consuls ; janvier \leq Janus : Dieu du commencement et de la fin ; année de 365 jours et 12 mois (ajout du mois de Juillet - Julius- et Août - Augustus) : calendrier Julien