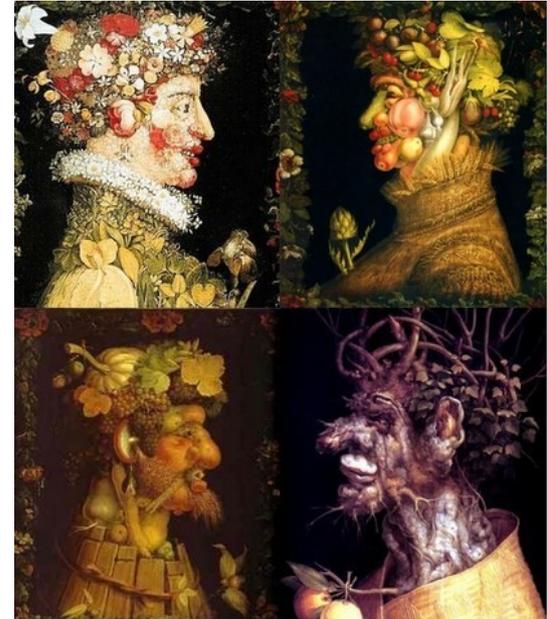


Sur le concept de temps

Julien Larena
Université de Montpellier
Laboratoire Univers et Particules de Montpellier



IN2P3
Institut national de physique nucléaire
et de physique des particules



LUPM
LABORATOIRE MONTPELLIER
UNIVERS & PARTICULES

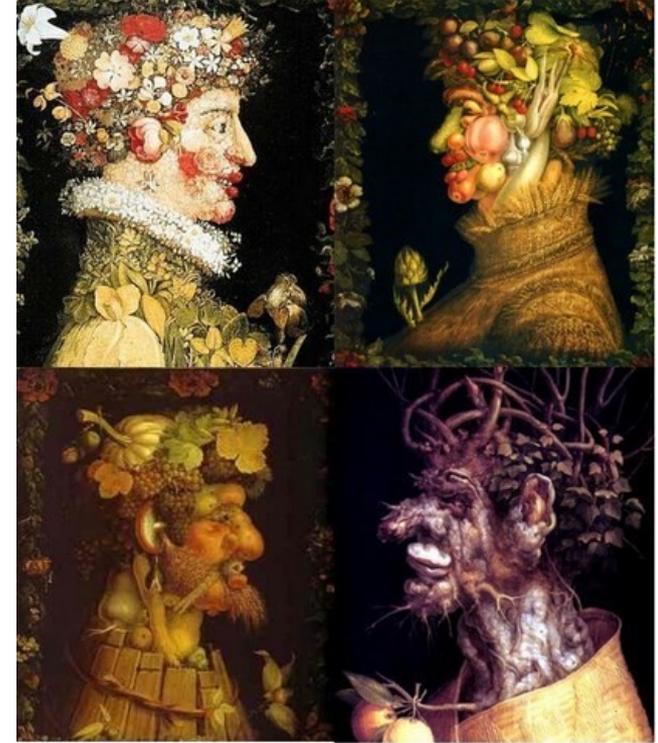
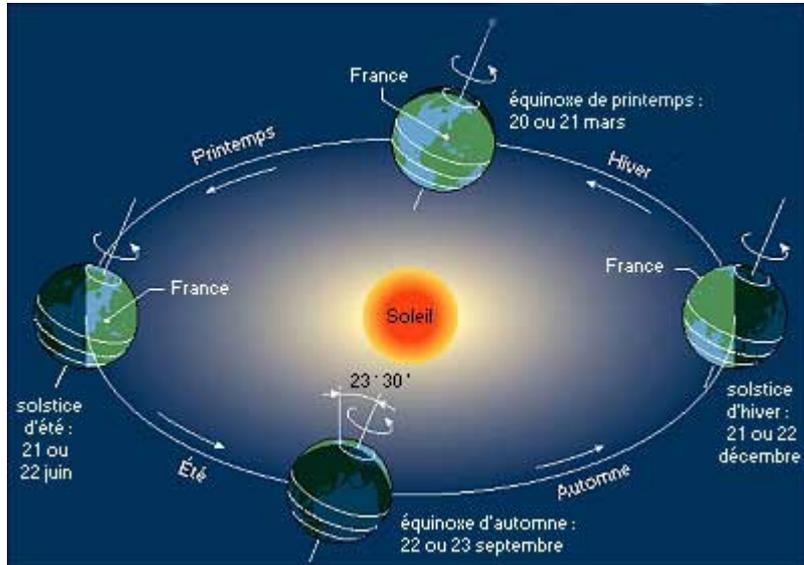
Déroulement

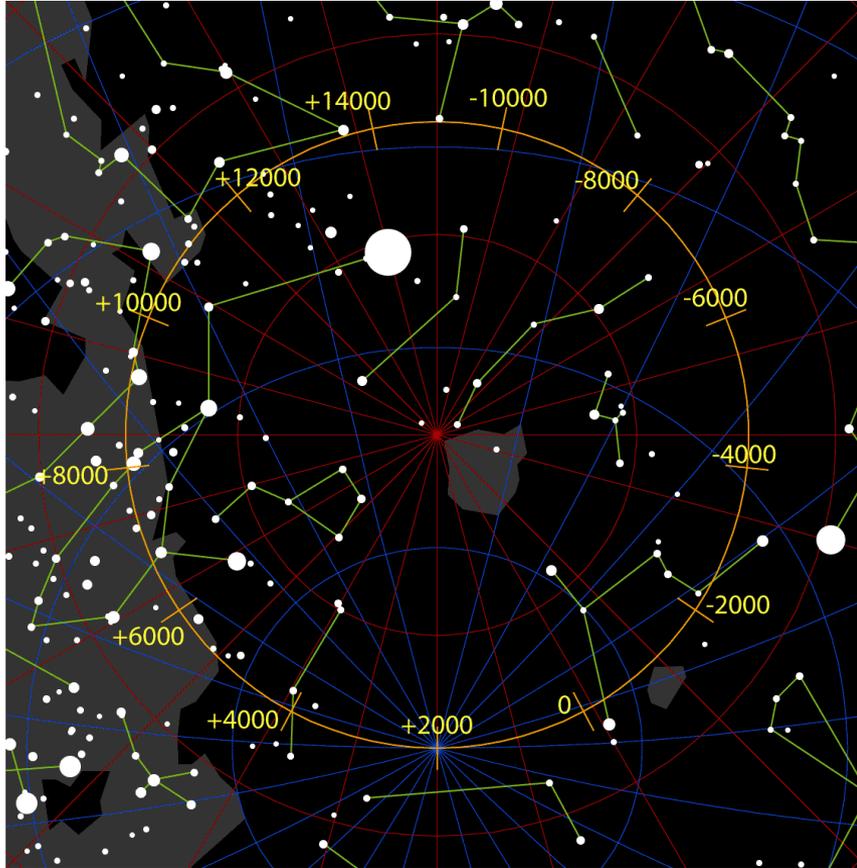
- Expérience du temps physique
- Le temps en physique: histoire d'un concept
- Le temps cosmique

Expérience du temps physique

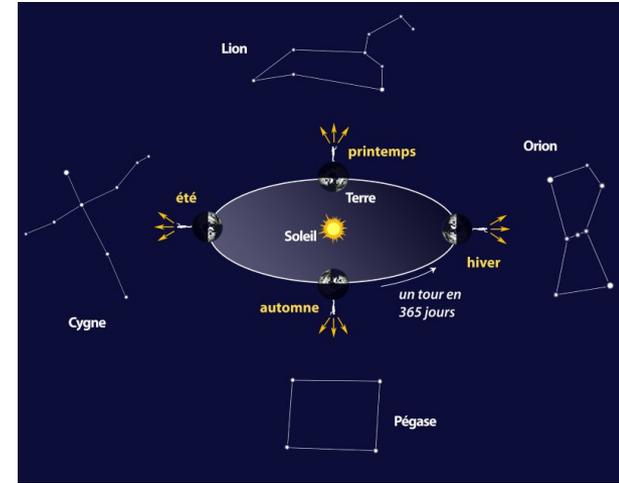
Le temps astronomique

- Mesure ancestrale du temps qui passe
- Jour/nuit et saison
- Temps cyclique.

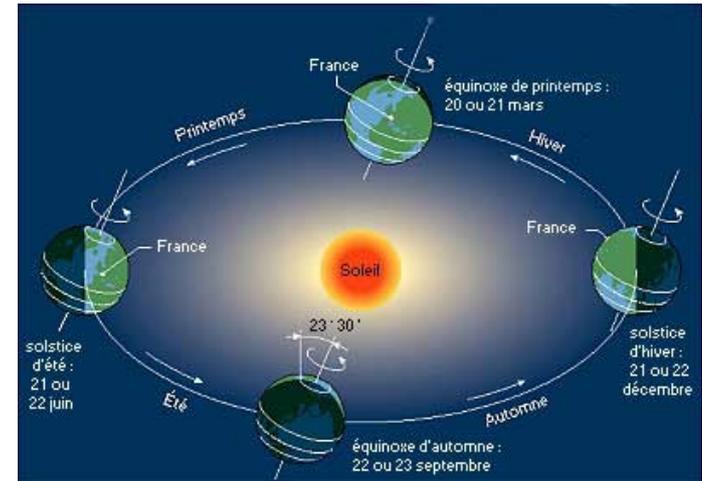




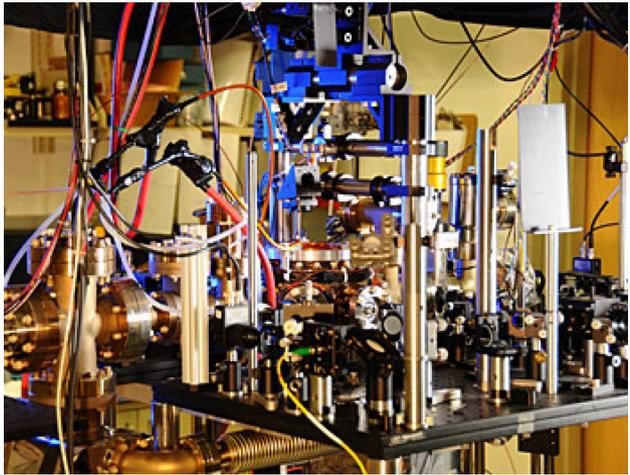
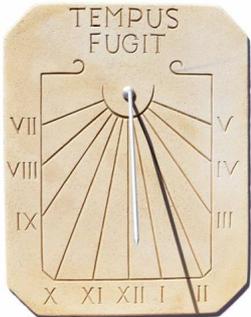
Année sidérale



Année tropique

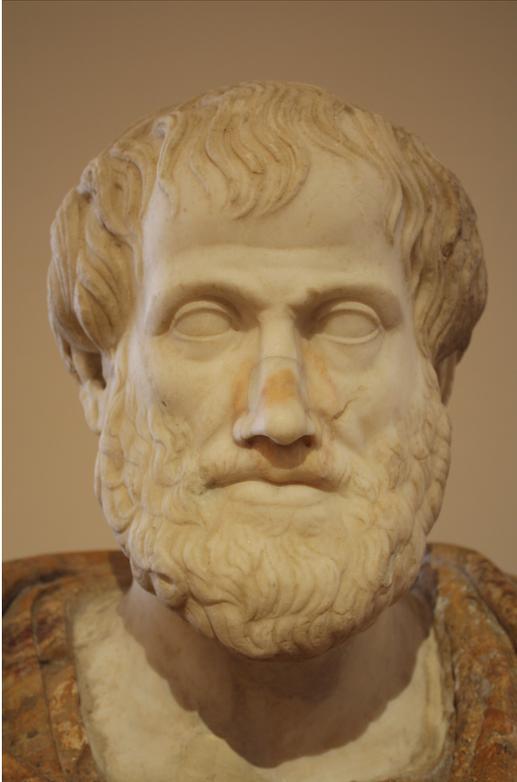


Horloges



Le temps en physique

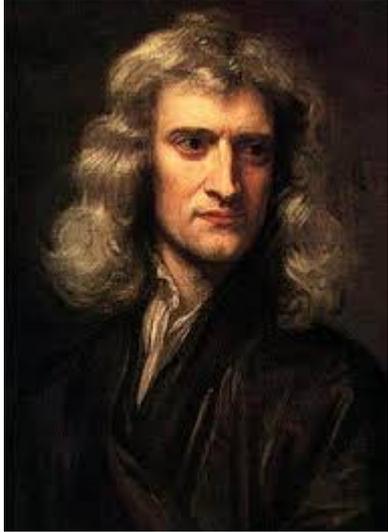
Temps aristotélicien



- Temps = mesure du changement
- Temps phénoménal, empirique
- Pas de changement pas de temps
- Si rien ne bouge, l'esprit encore bouge

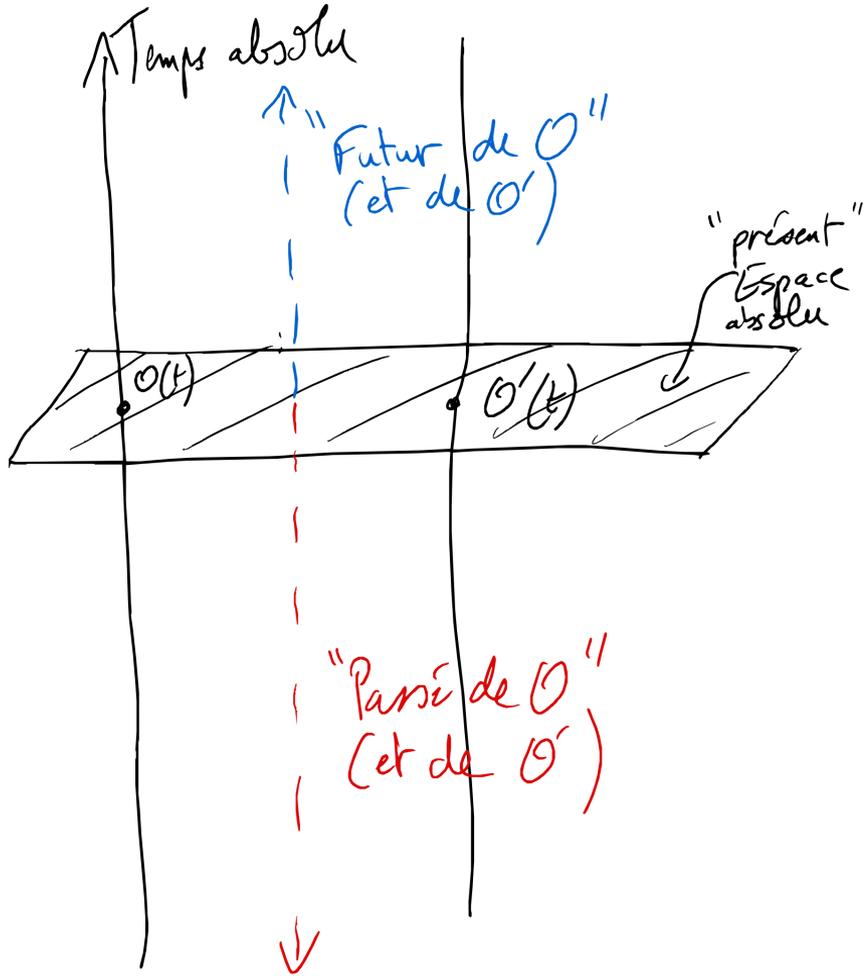
Espace et temps relationnels
(Descartes, Leibniz, Mach,...)

Temps newtonien



“Le temps absolu, vrai et mathématique, sans relation à rien d’extérieur coule uniformément et s’appelle durée. Le temps relatif apparent et vulgaire est cette mesure sensible et externe d’une partie de durée quelconque, prise du mouvement: telles sont les mesures d’heures, de jours, de mois etc., dont on se sert ordinairement à la place du temps vrai.”

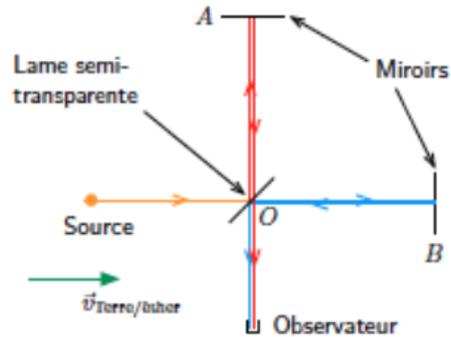
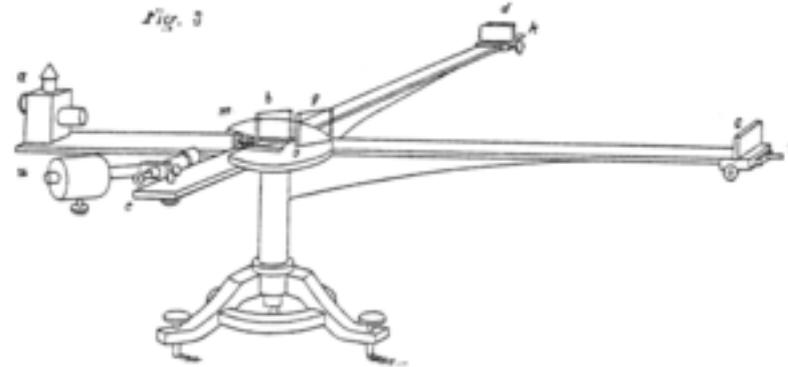
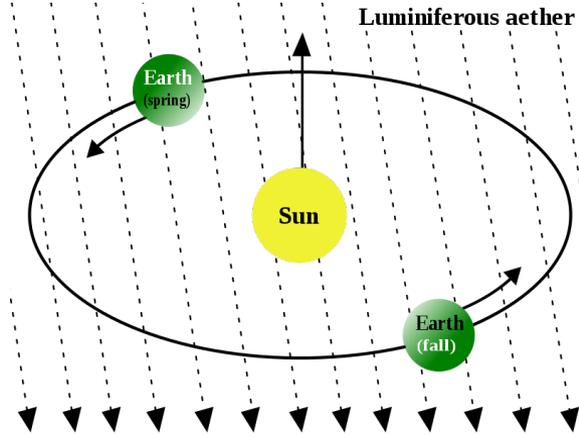
- Si rien de ne bouge, le temps absolu est encore là.
- Temps transcendantal échappe (en partie) à l’expérience.
- Approfondissement philosophique par Kant (formes a priori de la pensée)



- Horloge mesurent une approx. du temps absolu
- Différents obs. mesurent le même temps, différemment.
- Temps absolu est linéaire mais fantomatique
- À contre-courant de tout le monde savant mais la physique fonctionne très bien.

Présentisme étendu

Constante de la vitesse de la lumière



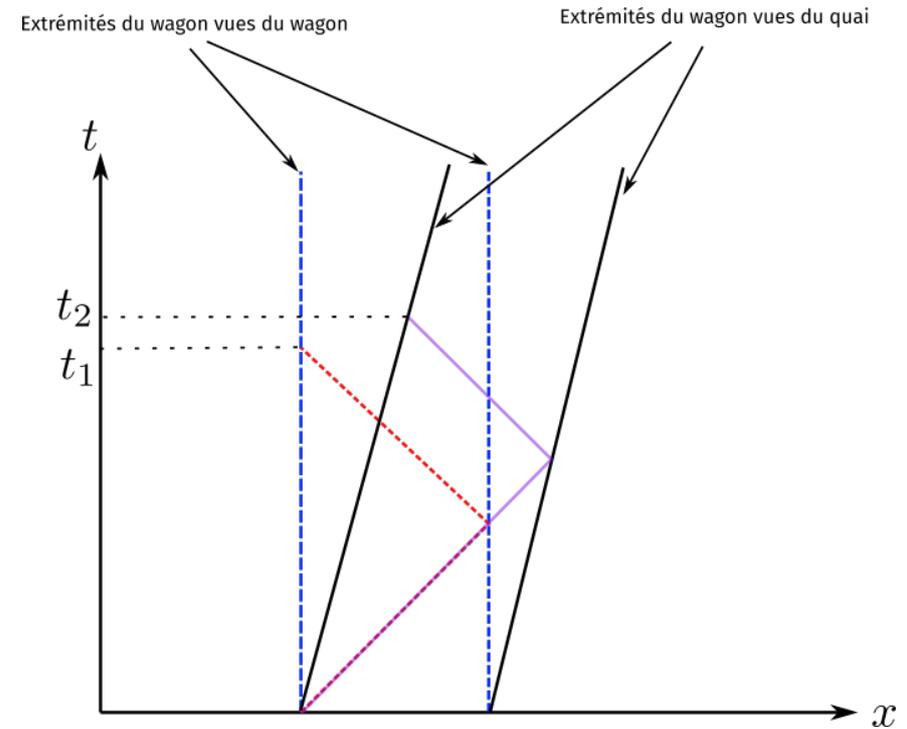
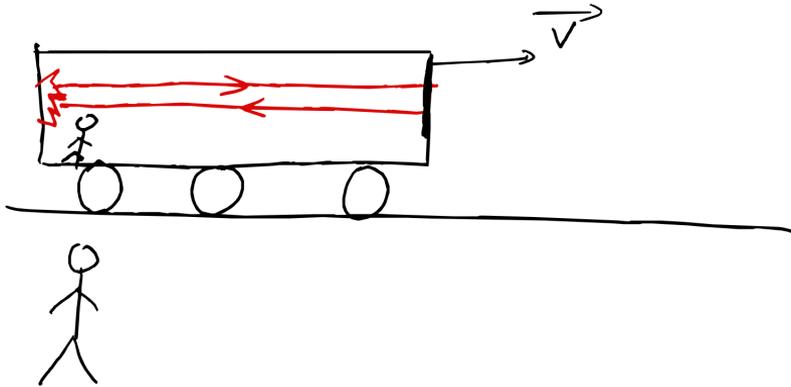
Expérience de Michelson-Morley:

La lumière a la même vitesse pour tout observateur



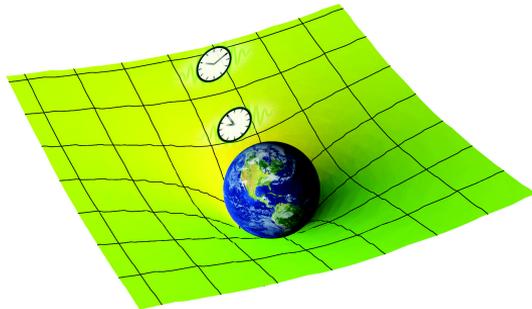
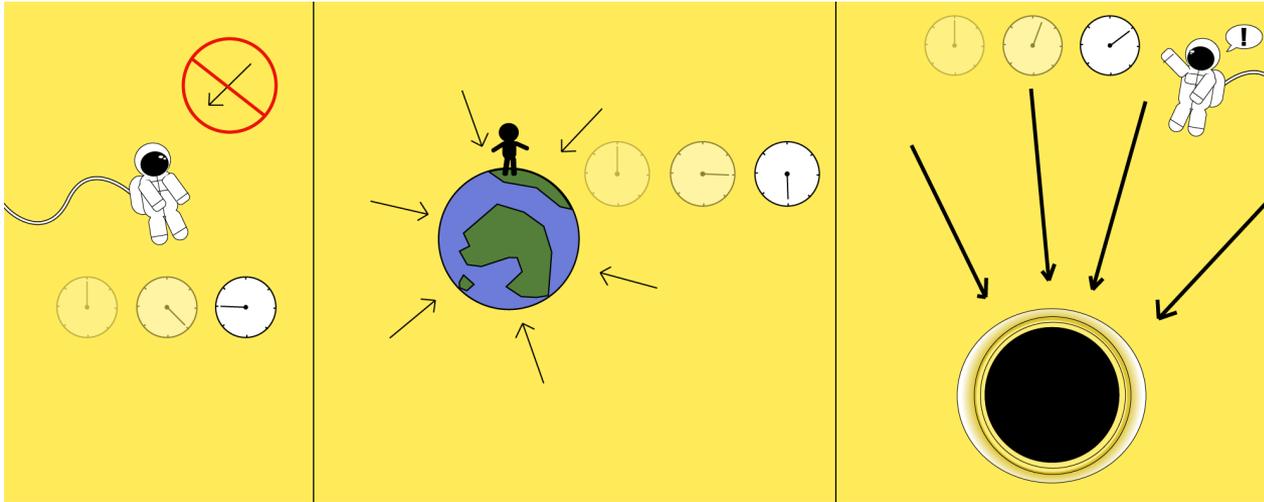
Pas de temps absolu

Le mouvement désynchronise les horloges

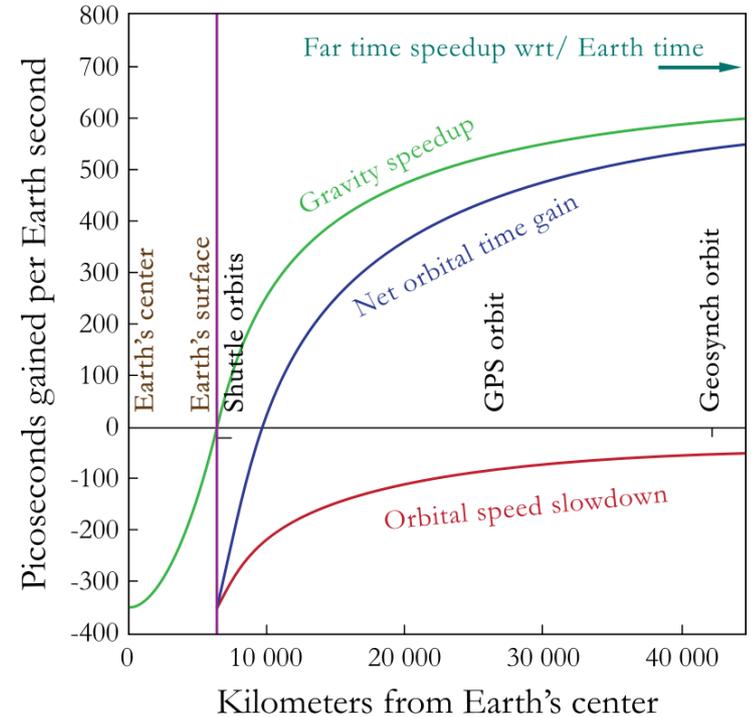


Pas de temps absolu

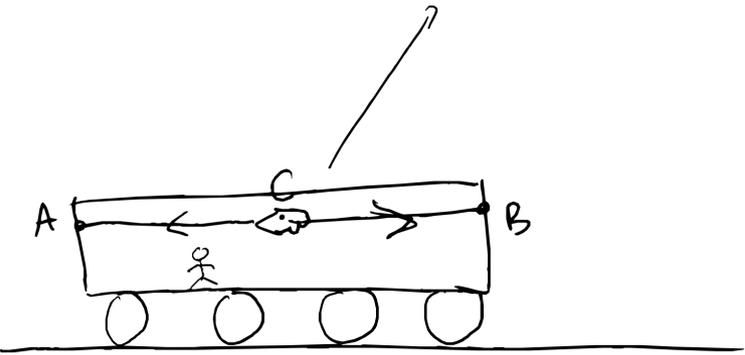
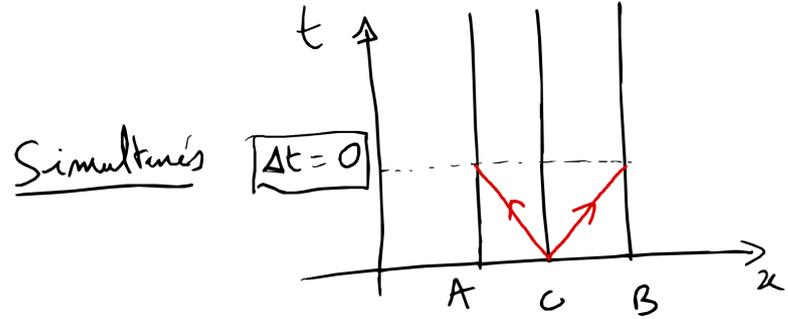
Le champ de gravitation désynchronise les horloges



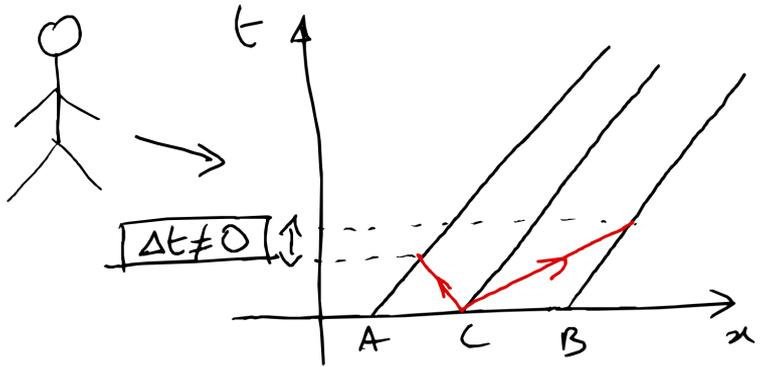
Time Dilation Effects on Earth



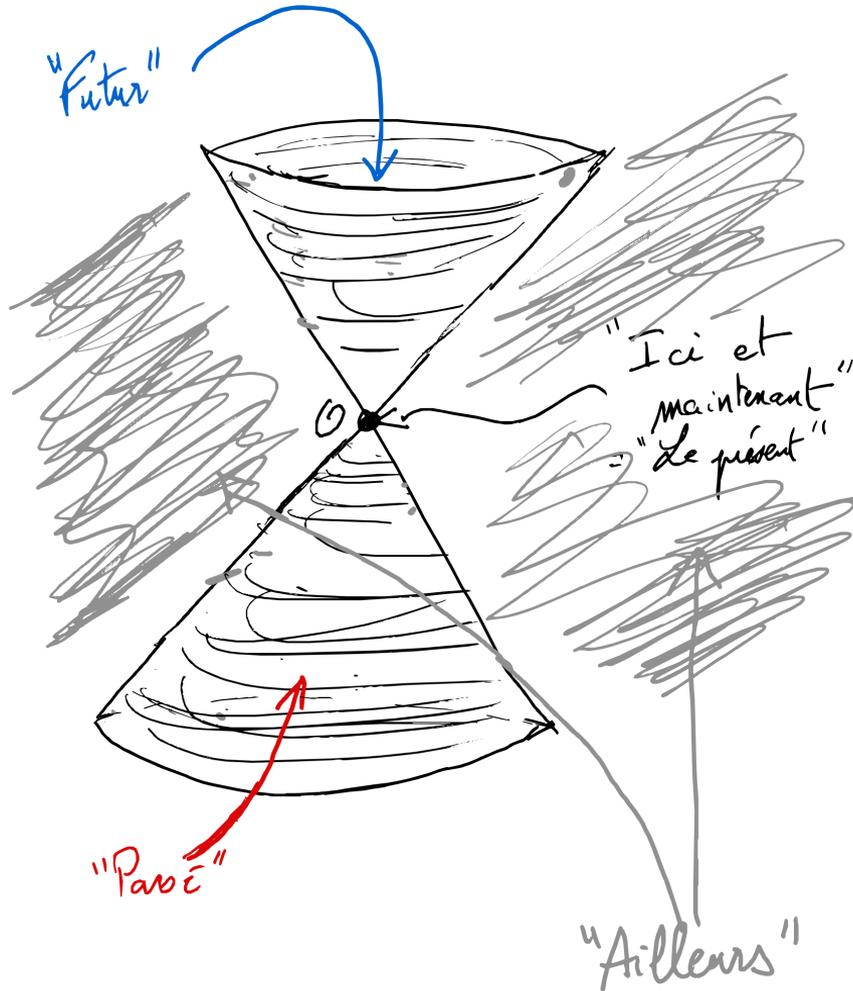
Adieu le présent



- **Plus de simultanéité:** plus de présent
- Plus de passé, futur universels
- Le monde redevient relationnel



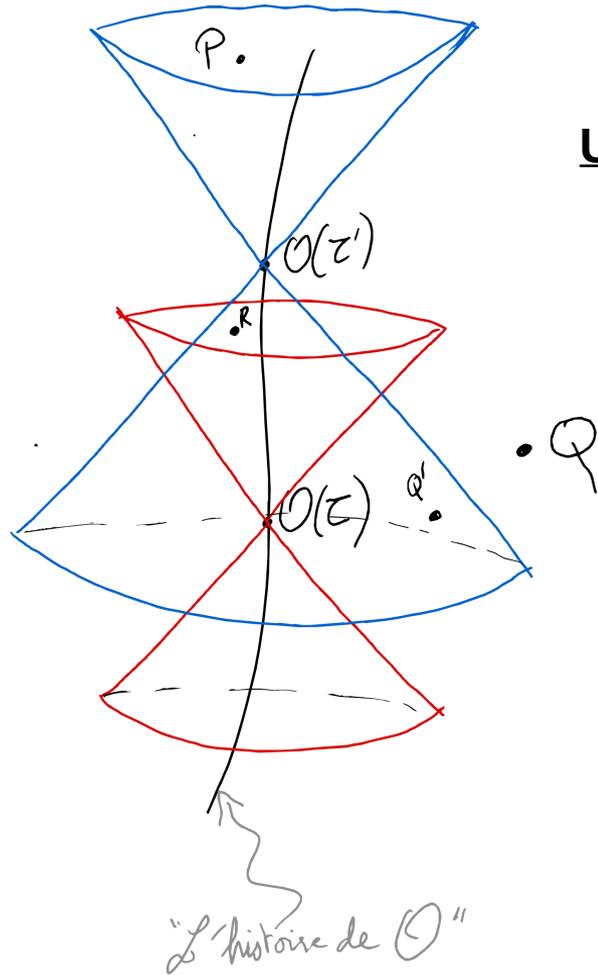
Temps relativiste



- Le présent ne s'étale plus
- Passé et futur sont construits et non donnés
- L'espace disparaît au profit de l'ailleurs
- **Temps + espace devient espace-temps**

Texture de l'espace-temps:

Événements = "Ici et maintenant"



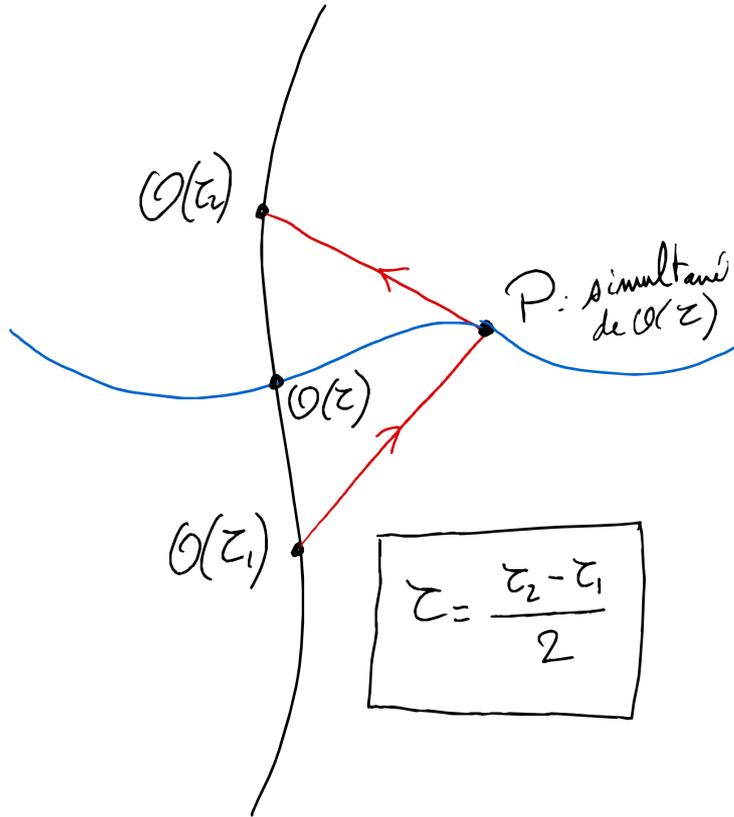
Un observateur = une histoire = une horloge = un temps

- Évènements relatifs
- **Temps phénoménal (mesuré)**
- L'ailleurs devient passé sans avoir été dans le futur (Q')

Le temps est une mesure locale du changement

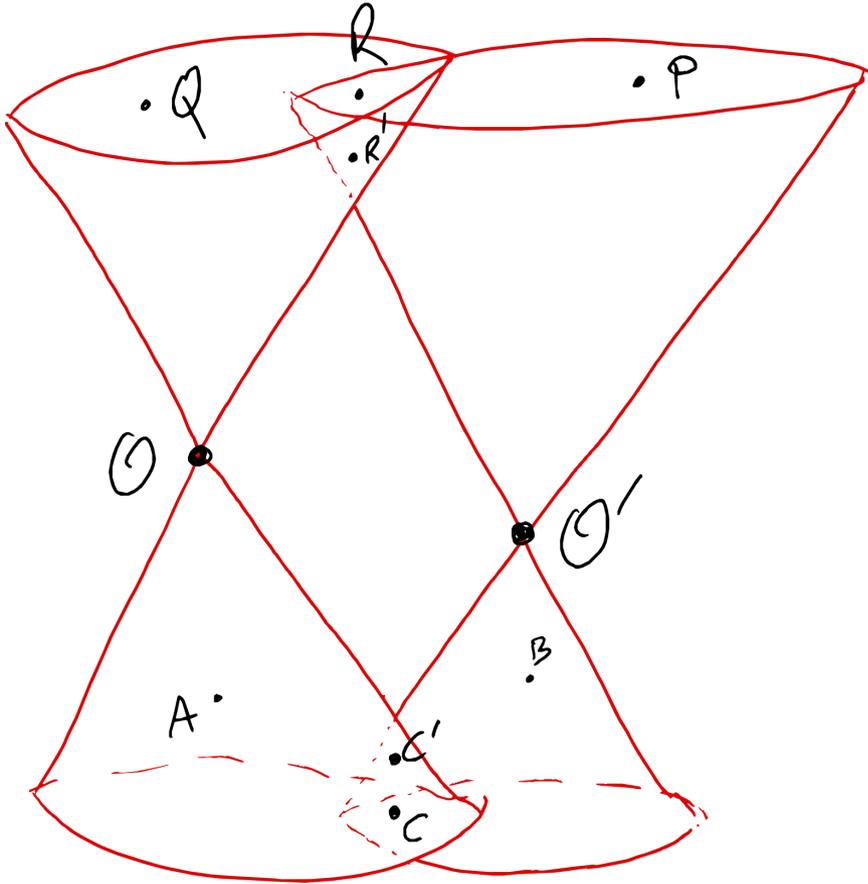
Présentisme absolu, solipsiste

Aparté: Une notion de simultanéité



- **Procédure explicite et locale**
- Toujours dépendante de l'observateur
- **Seule notion d'espace disponible**

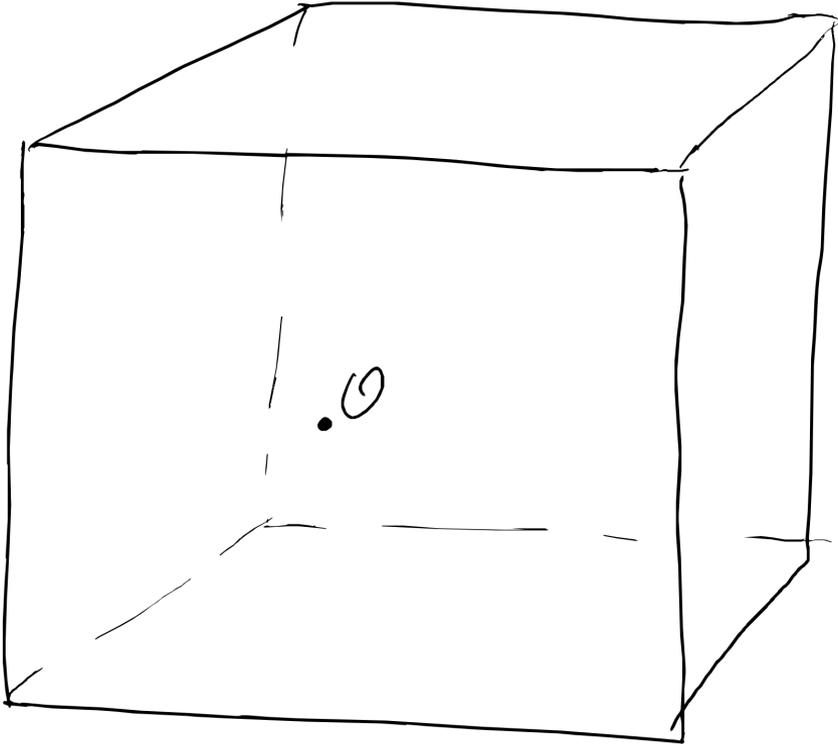
Limite du présentisme solipsiste



- Chaque événement-observateur voit le monde différemment
- Chacun son horloge propre
- **Foisonnement des présents**

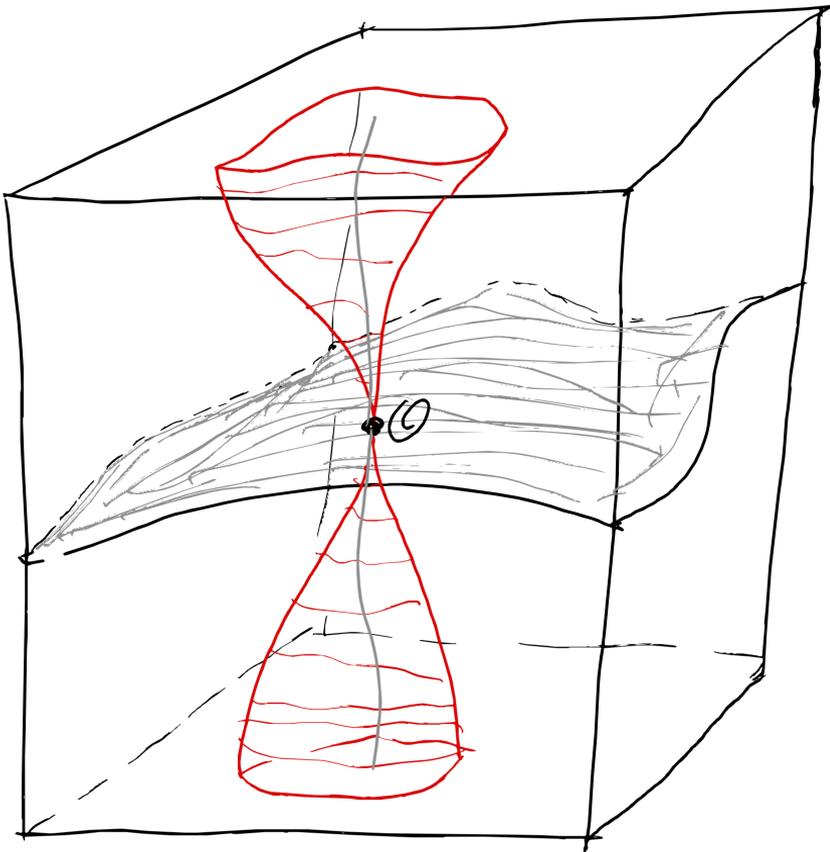


L'univers-bloc



- Temps (changements) seulement “personnel”
- L’univers est un bloc donné en “une seule fois”
- **Ensemble des évènements (“Ici et maintenant”) coexistent, équivalents**
- Monde *sub specie aeternitatis*

L'univers-bloc



- Temps (changements) seulement “personnel”
- L'univers est un bloc donné en “une seule fois”
- **Ensemble des évènements (“Ici et maintenant”) coexistent, équivalents**
- Monde *sub specie aeternitatis*

Passé/présent/futur = subjectivité
Symétrie totale du bloc

Éternalisme

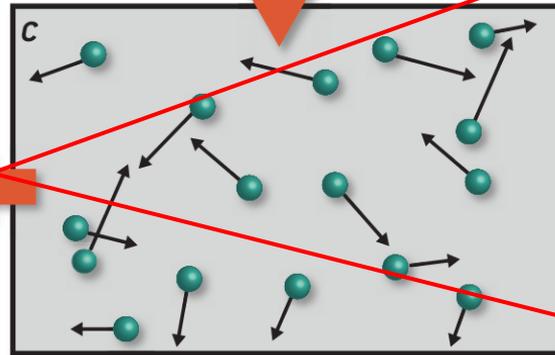
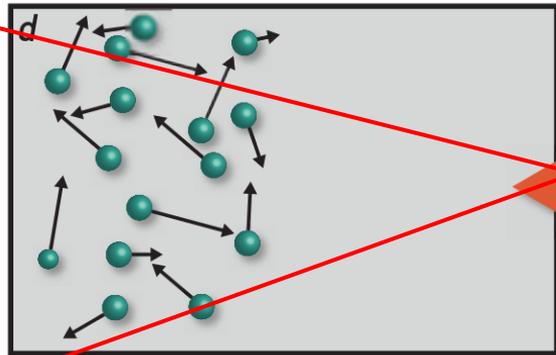
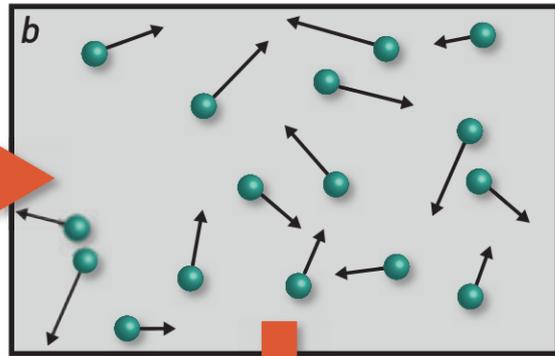
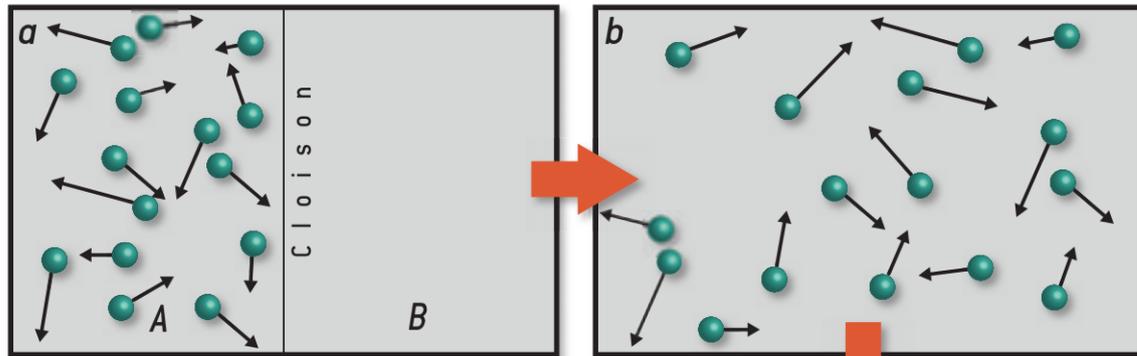
Temps thermodynamique

- La mort et le dépérissement: un temps linéaire sans issue
- Le long de chaque ligne d'univers



Temps thermodynamique: irréversibilité

“Toute transformation d'un système thermodynamique s'effectue avec augmentation de l'entropie globale incluant l'entropie du système et du milieu extérieur”.



- Entropie: mesure du “possible”
- Entropie croît toujours:

$$\delta S \geq 0$$

Flèche du temps

Entropie faible

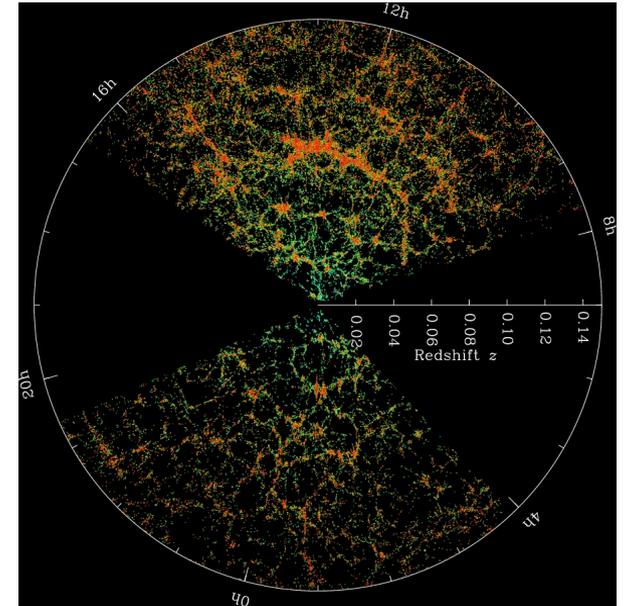
Entropie forte



Le temps cosmique

Une flèche cosmique du temps

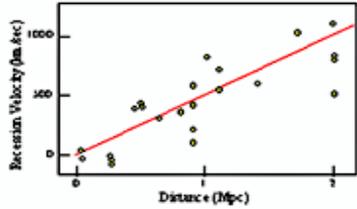
- L'univers est un grand système thermodynamique
- Permet-il de définir une flèche du temps globale qui brise l'univers-bloc?
- Un temps quasi-absolu et un retour au présentisme?



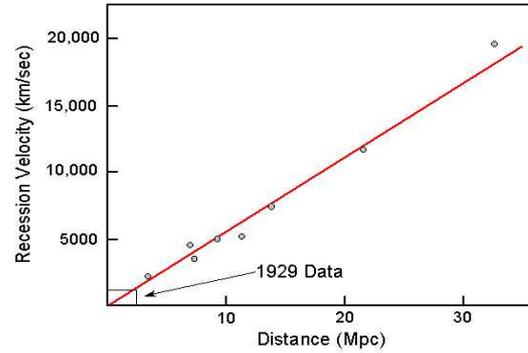
État de l'univers autour de nous

Les galaxies lointaines s'éloignent de nous

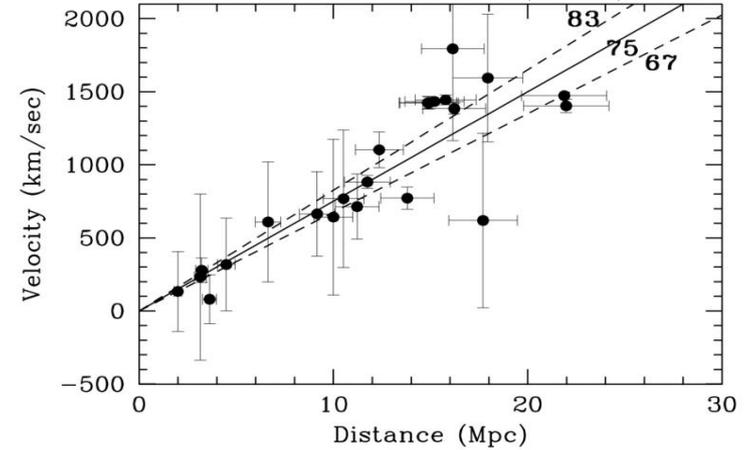
Hubble's Data (1929)



Hubble & Humason (1931)



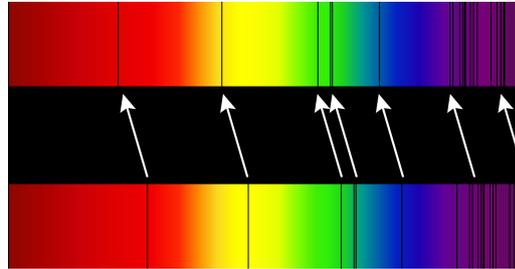
Freedman et al. (2001)



(1 Mpc ~3 million d'a.l. ~ 3×10^{22} m)

Loi de Hubble : $v = Hr$

Décalage spectral : $z \sim v/c$



L'univers est en expansion

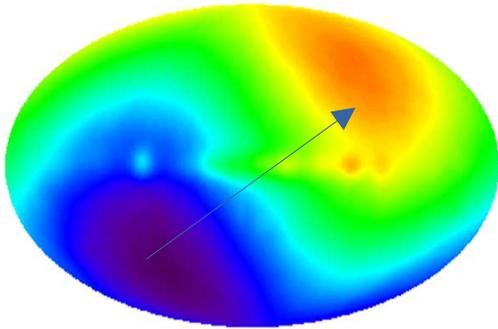
$$z \equiv \frac{\nu_{emise} - \nu_{observee}}{\nu_{observee}} = \frac{\lambda_{emise} - \lambda_{observee}}{\lambda_{observee}}$$

État de l'univers autour de nous

L'univers est le même dans toutes les directions autour de nous

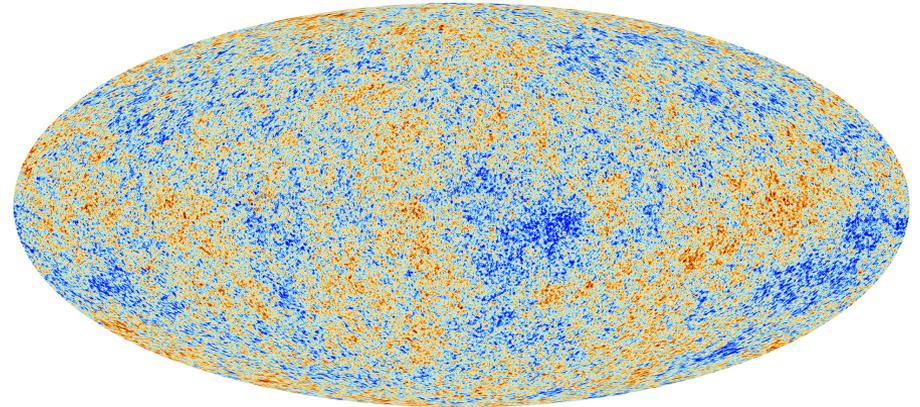
Fond diffus micro-onde :
« Première lumière »

(COBE)



Notre mouvement propre :
 $V \sim 630 \text{ km/s}$

(Planck)



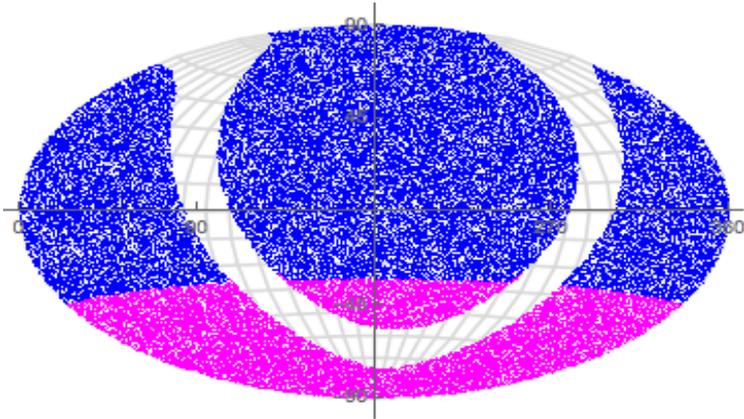
Fluctuations $\sim 10^{-5}$

État de l'univers autour de nous

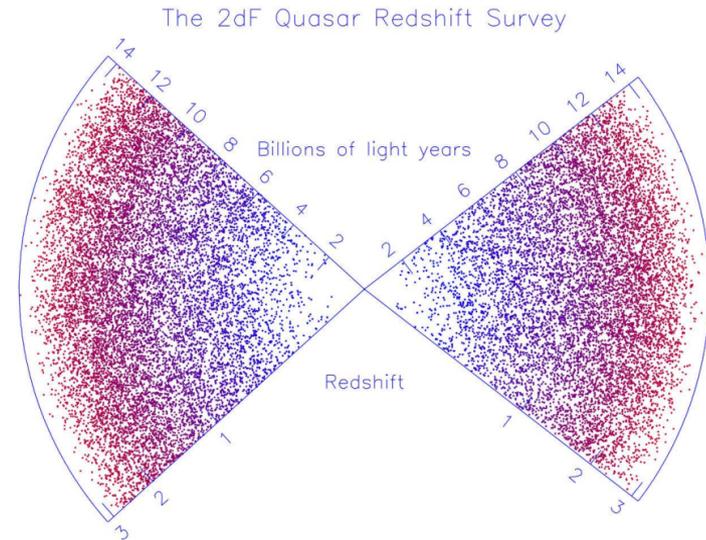
L'univers est le même dans toutes les directions autour de nous

Radiogalaxies

NVSUMMS, Colin et al (2017)



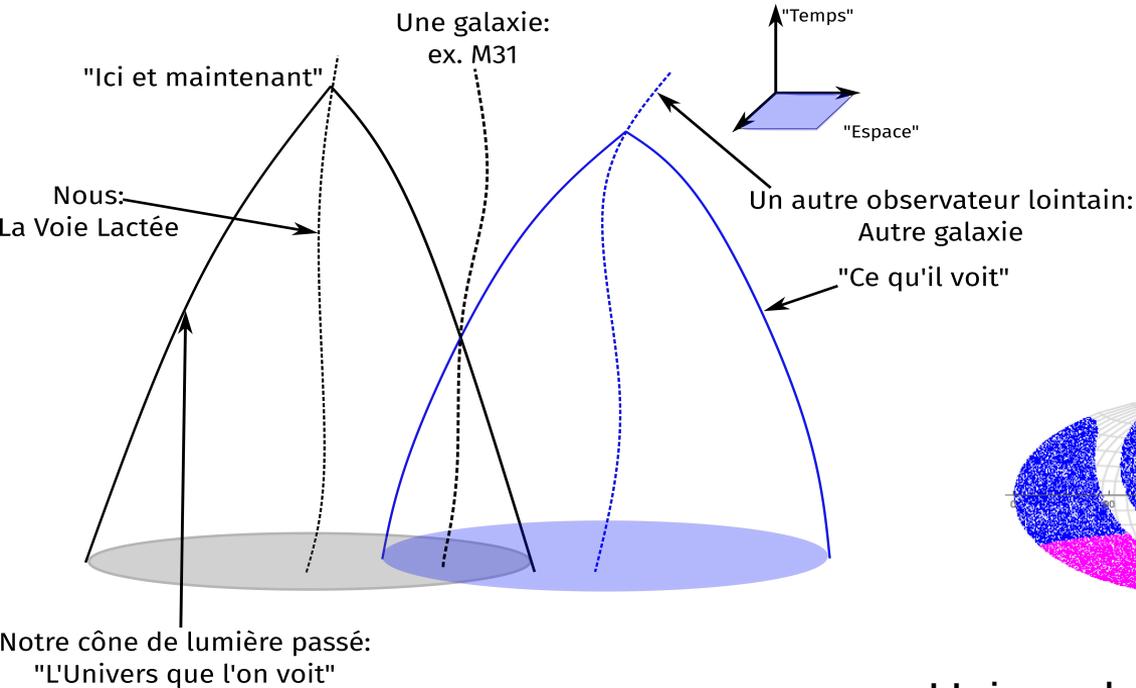
Encore le cas dans l'univers proche



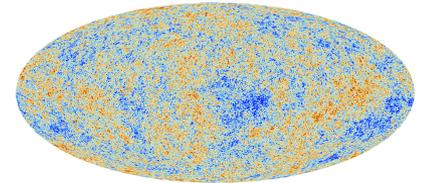
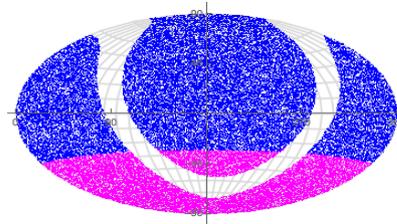
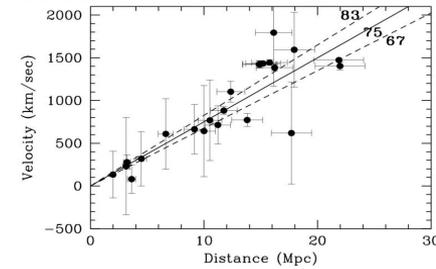
Matière et rayonnement
distribués de manière **isotrope**

Le principe cosmologique

- **Principe Copernicien** : « Nous ne sommes pas spéciaux »
- En moyenne : tout observateur voit le même univers que nous :

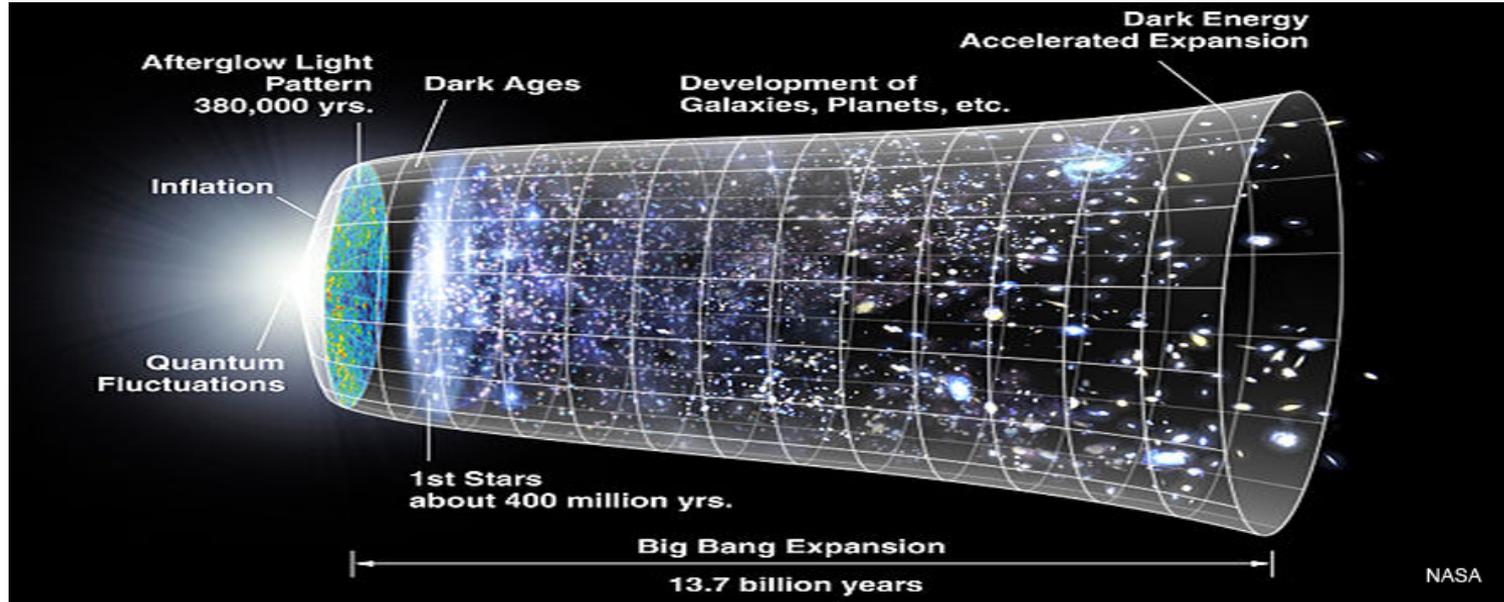


- ♦ Loi de Hubble
- ♦ Isotropie



Univers homogène et isotrope (en moyenne) :
Modèle du Big Bang chaud

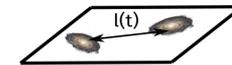
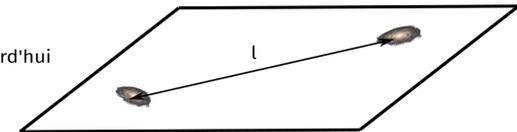
Le Big Bang Chaud



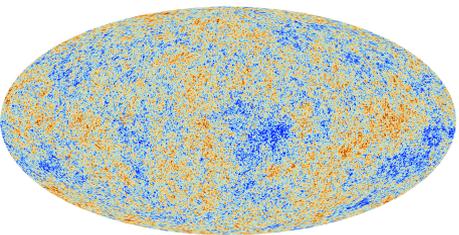
- **Dynamique** : Temps cosmique
- Univers **plus petit** dans le passé
- Plus dense, et chaud : $T \sim (1+z) \sim 1/a(t)$.
- Facteur d'échelle $a(t) = l(t)/l$

Temps cosmique

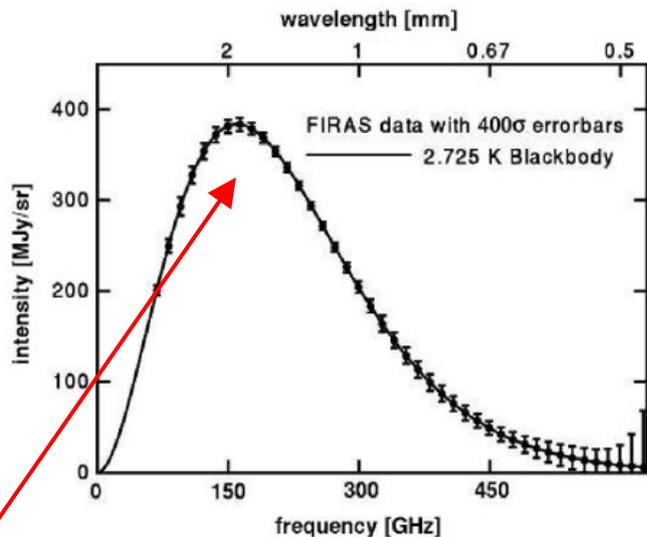
Aujourd'hui



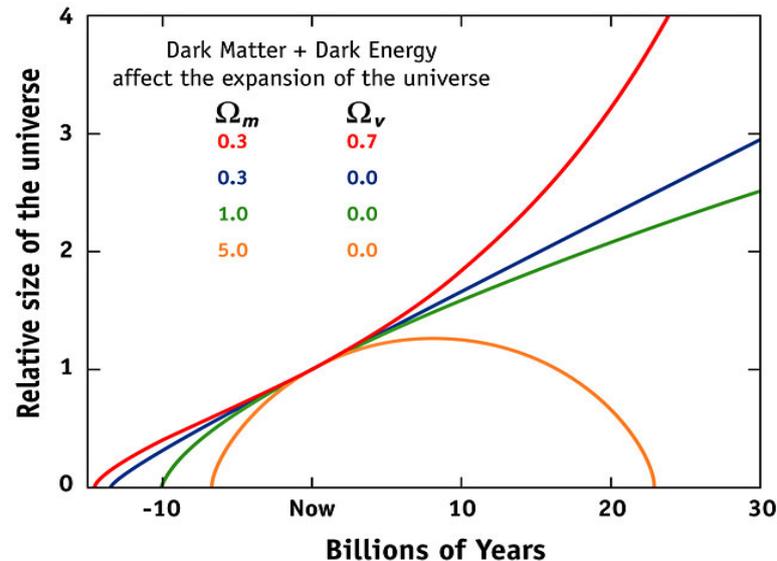
$$l(t) = \frac{l}{(1+z)}$$



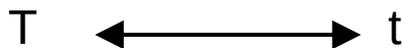
Temps cosmique



EXPANSION OF THE UNIVERSE

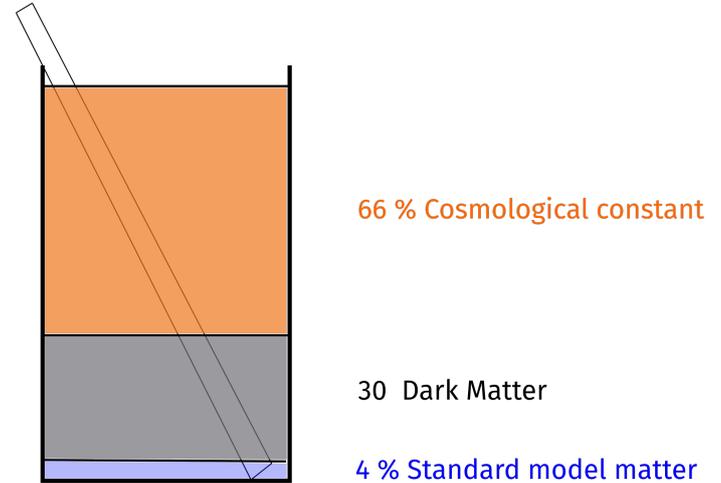
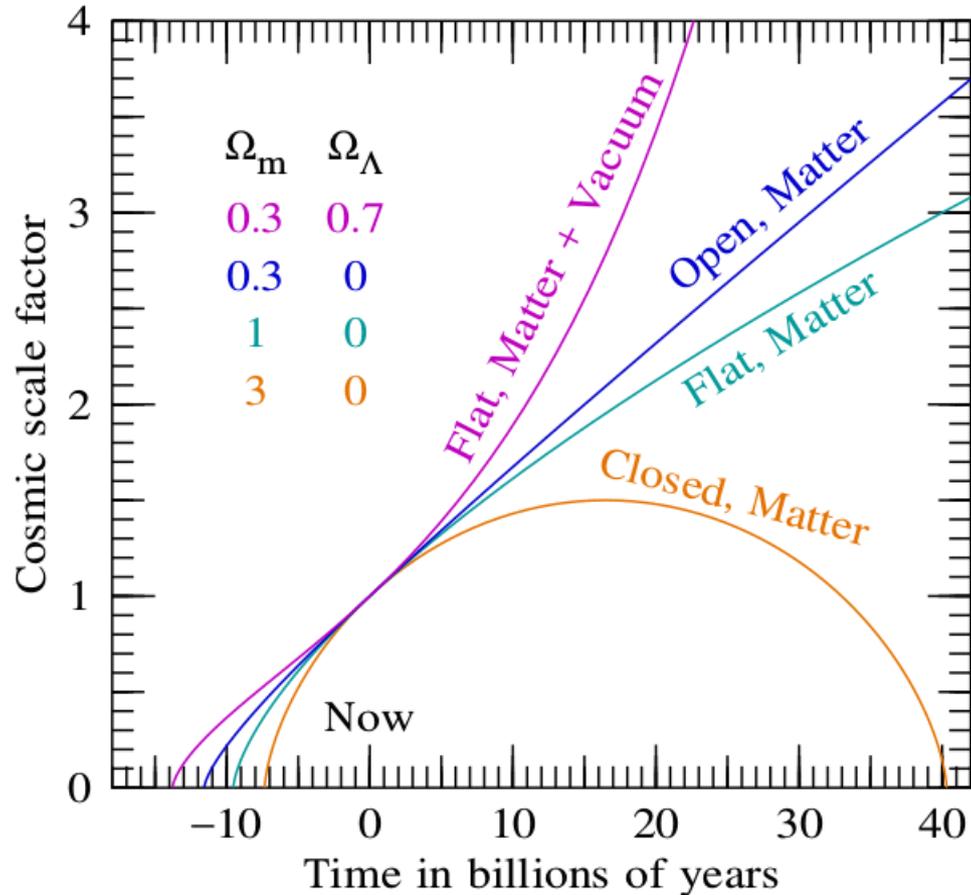


- Température du fond diffus micro-onde T liée au temps cosmique dans un modèle:



Température même partout : **une horloge synchronisée partout dans l'univers**

Temps cosmique



- Constant cosmo: expansion éternelle
- Univers de plus en plus froid
- Mort thermique de l'univers

Conclusion

- Temps phénoménal (mesuré) pas absolu
- Le présent se réduit toujours au singulier d'un point.
- Passé et futur sont contingents: **Temps éclaté**
- En mécanique: Présentéisme solipciste ou Éternalisme
- **Un temps privilégié, unificateur: le temps cosmique**
- Que se passe-t-il au début, lorsque temps cosmique disparaît?
- Temps cosmo a l'air linéaire (expansion de l'Univers) mais seul le temps dira.