La Nuit des Temps



10 mars 2021

#NuitdesTemps

Société Française de Physique · cnrs · cea · Société Française d'Optique French Branch of the EOS · Société Chimique de France · université PARIS-SACLAY · P2IO Physique des 2 Infinis et des Origines · IJCLab Irène Joliot-Curie Laboratoire de Physique des 2 Infinis · SCIENCES ET AVENIR

La Nuit des Temps



L'Univers, le temps d'une conférence

Cyril Richard
Ingénieur de Recherche CNRS

#NuitdesTemps

La Nuit des Temps

L’univers en quelques chiffres

- 10 millions de superamas de galaxies
- 25 milliards d’amas de galaxies
- 35 milliards de galaxies massives
- 30 000 milliards de milliards d’étoiles
  - 30 000 000 000 000 000 000 000
- Taille de l’Univers observable : 13 787 000 000 a.l



Hubble Ultra-Deep Field

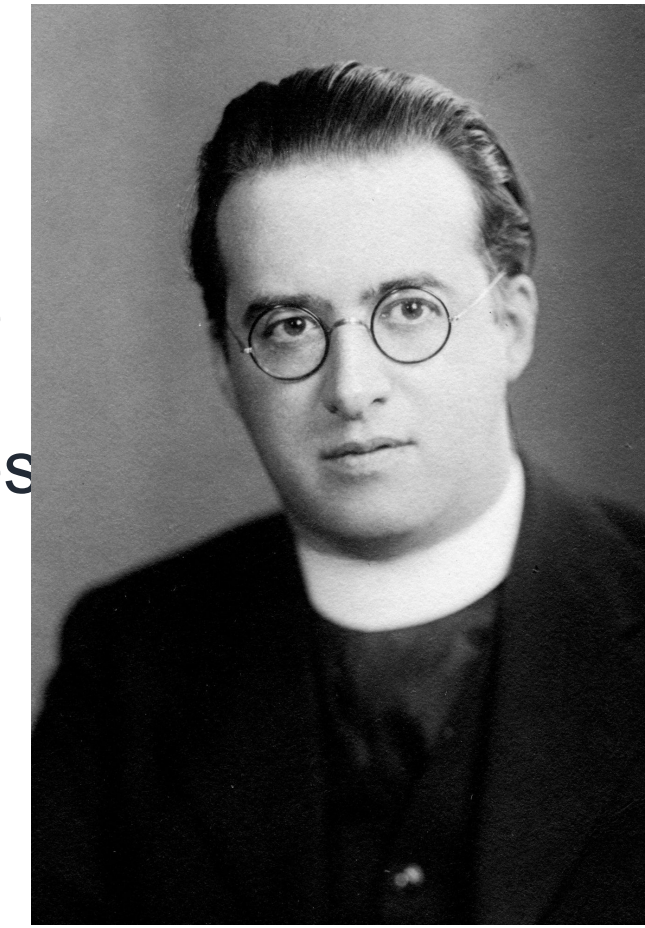
#NuitdesTemps

La Nuit des Temps

Un peu d'histoire

1927 : Georges Lemaître propose l'idée d'un atome primitif à partir de prédiction de la relativité générale

- Un atome primitif était donc une sorte de noyau atomique comportant tous les nucléons de l'Univers et de fait très instable
- Bien que comportant un certain nombre de composantes obsolètes, l'idée générale pose les bases de la cosmologie moderne



La Nuit des Temps

Un peu d'histoire

1929 : mise en évidence par Edwin Hubble de l'expansion de l'Univers

- En remontant le temps, on arrive à un Univers localisé en un point dense et chaud



La Nuit des Temps

L'Univers est en expansion

Plus les galaxies sont lointaines et plus elles s'éloignent rapidement de nous. C'est la Loi de Hubble

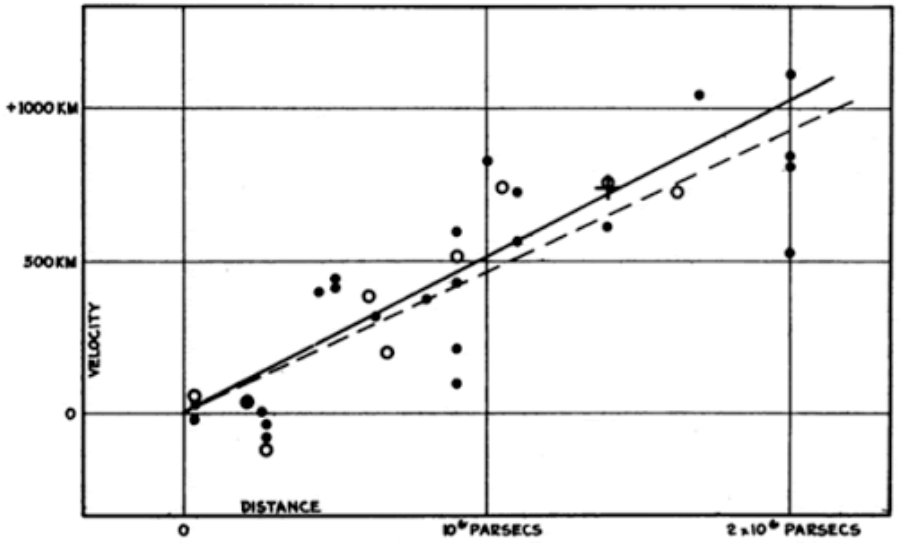


FIGURE 1

Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae.

Vitesse d'expansion = H x Distance

#NuitdesTemps

La Nuit des Temps

Un peu d'histoire

Années 50 : Idée de l'atome primitif tournée en dérision et nommée BIG BANG par Fred Hoyle

- Il défendait un Univers statique



#NuitdesTemps

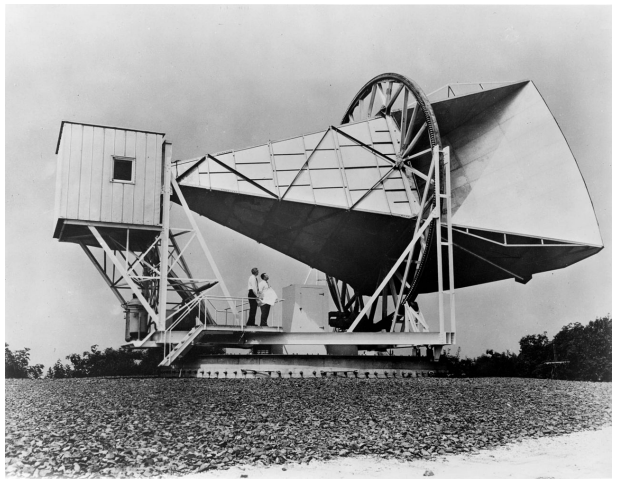
La Nuit des Temps

Un peu d'histoire

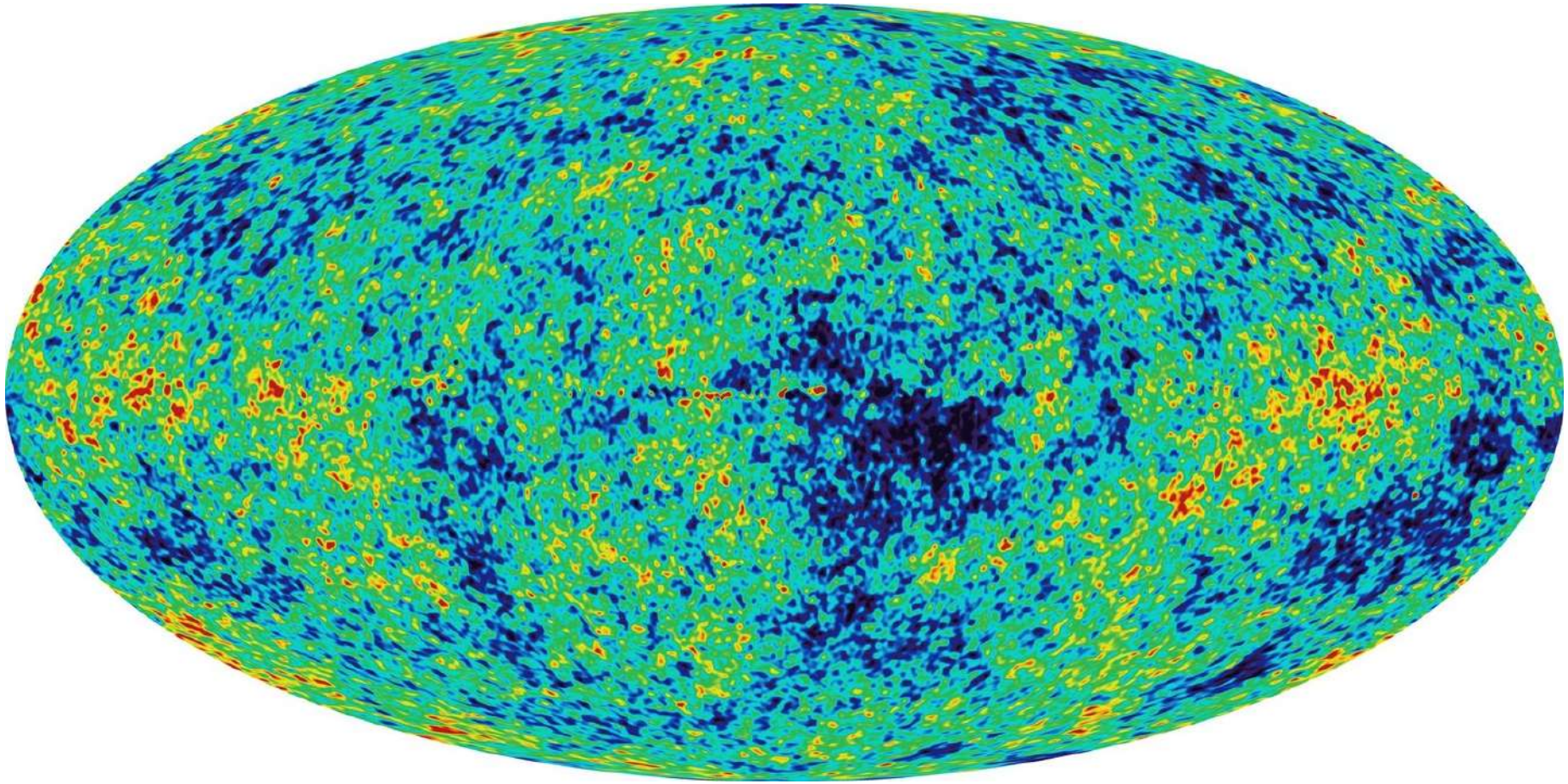
1965 : découverte du fond diffus cosmologique par Penzias et Wilson. Une lumière provenant des origines de l'Univers.

- Le but original était d'étudier les communications par rayonnement micro-ondes entre la Terre et des sortes de ballons satellites





La Nuit des Temps



- Rayonnement électromagnétique (essentiellement micro-onde)
- T = 2.728 K (-270.424°C)
- Température homogène (variations infimes)

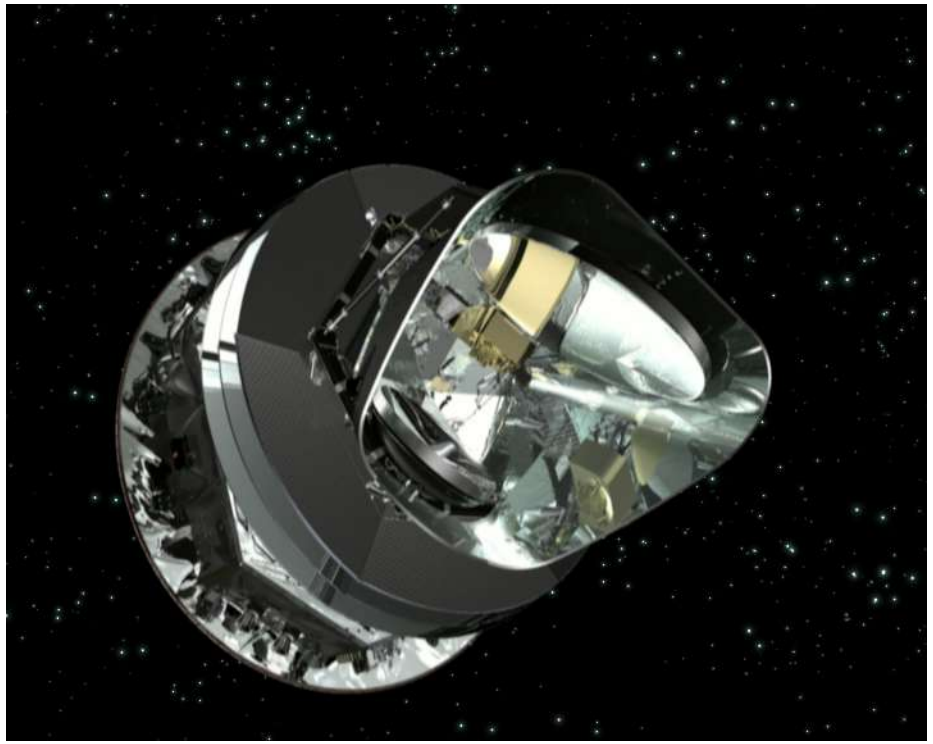
#NuitdesTemps

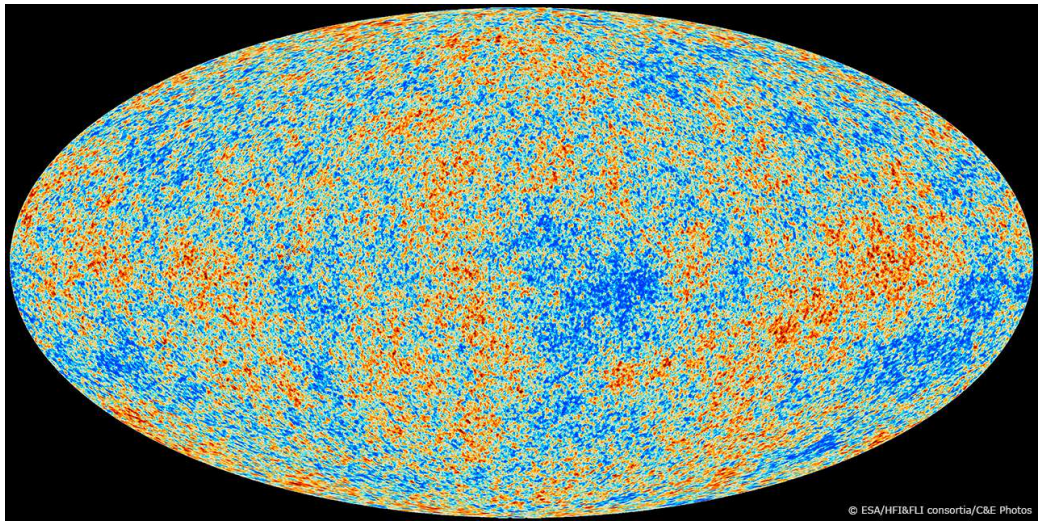
La Nuit des Temps

Satellite Planck

Le détecteur HFI, refroidit à 0.1 K était le point le plus froid de l'Univers (hormis quelques laboratoires terrestres).

Planck (ESA) a pu cartographier le rayonnement de fond cosmologique avec une précision inégalée.





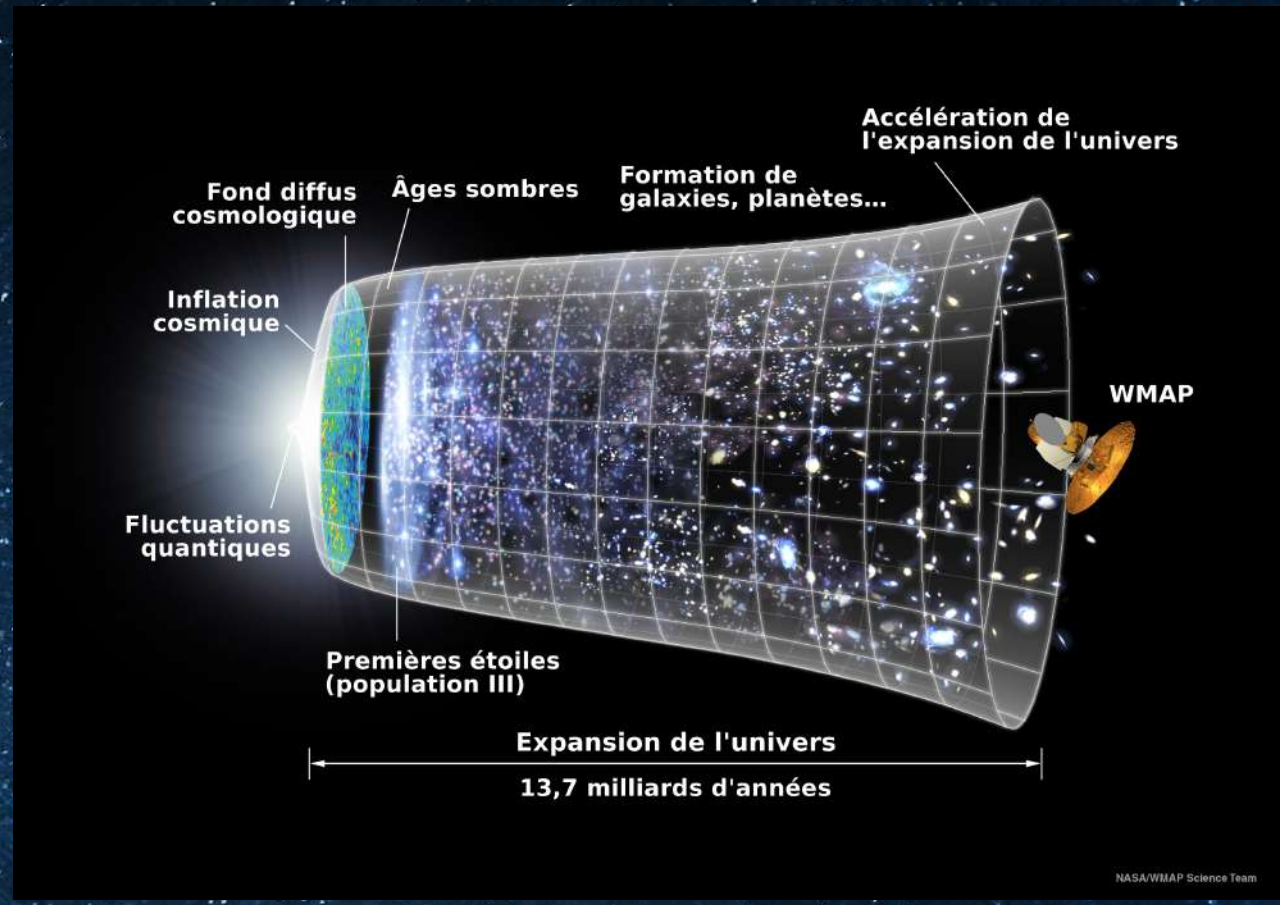
#NuitdesTemps

La Nuit des Temps

BIG-BANG : idées reçues

- Le Big-Bang ne représente pas un « instant initial » de l'Univers, mais un état passé extrêmement dense et chaud.
- Le Big-Bang n'a pas eu lieu en un point d'un espace vide préexistant. Les conditions physiques extrêmes de l'époque régnaient partout.
- Diverses théories spéculatives sur l'origine de l'Univers ou « l'avant » Big-Bang ont vu le jour, mais restent invérifiables : Univers cycliques, multivers, …

La Nuit des Temps



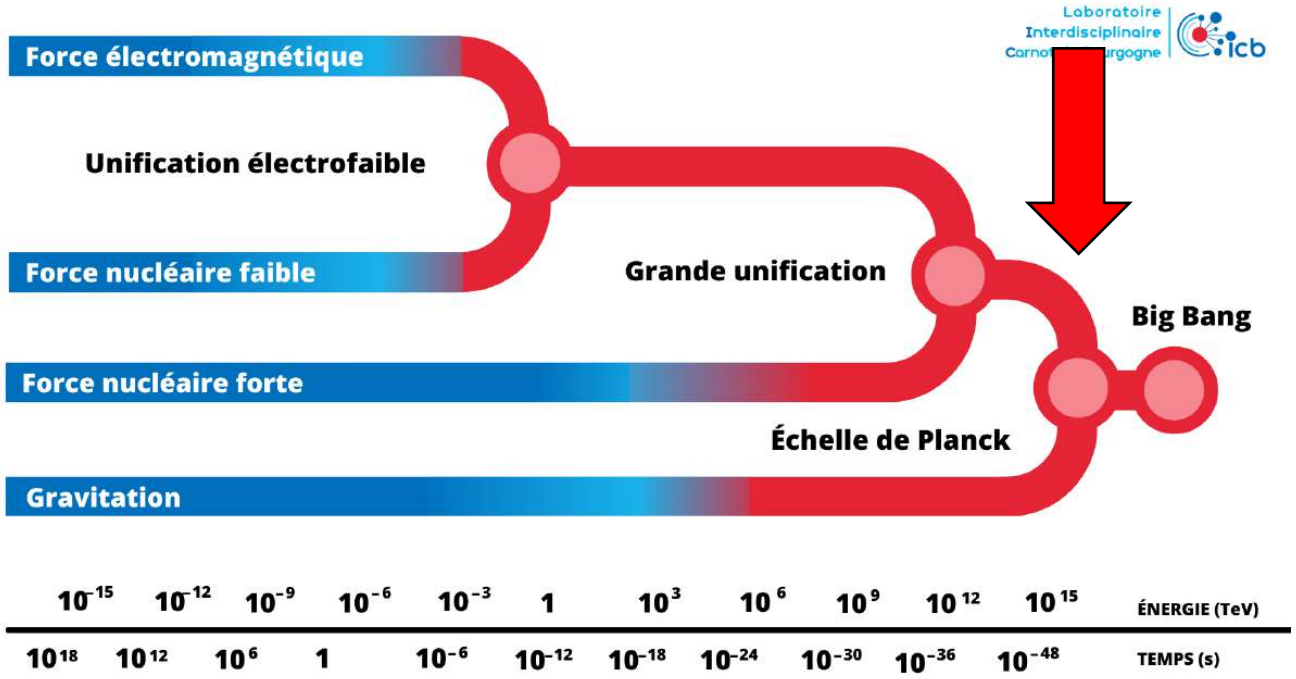
Chronologi

#NuitdesTemps

La Nuit des Temps

Ère de Planck

- $t = 0 \rightarrow 10^{-43}s$
- Température et densité TRÈS élevées = conditions extrêmes non reproductibles dans les accélérateurs de particules
  - Probable unification des Forces
- Nécessite de nouvelles théories
  - Théorie des supercordes
  - Gravitation quantique à boucles



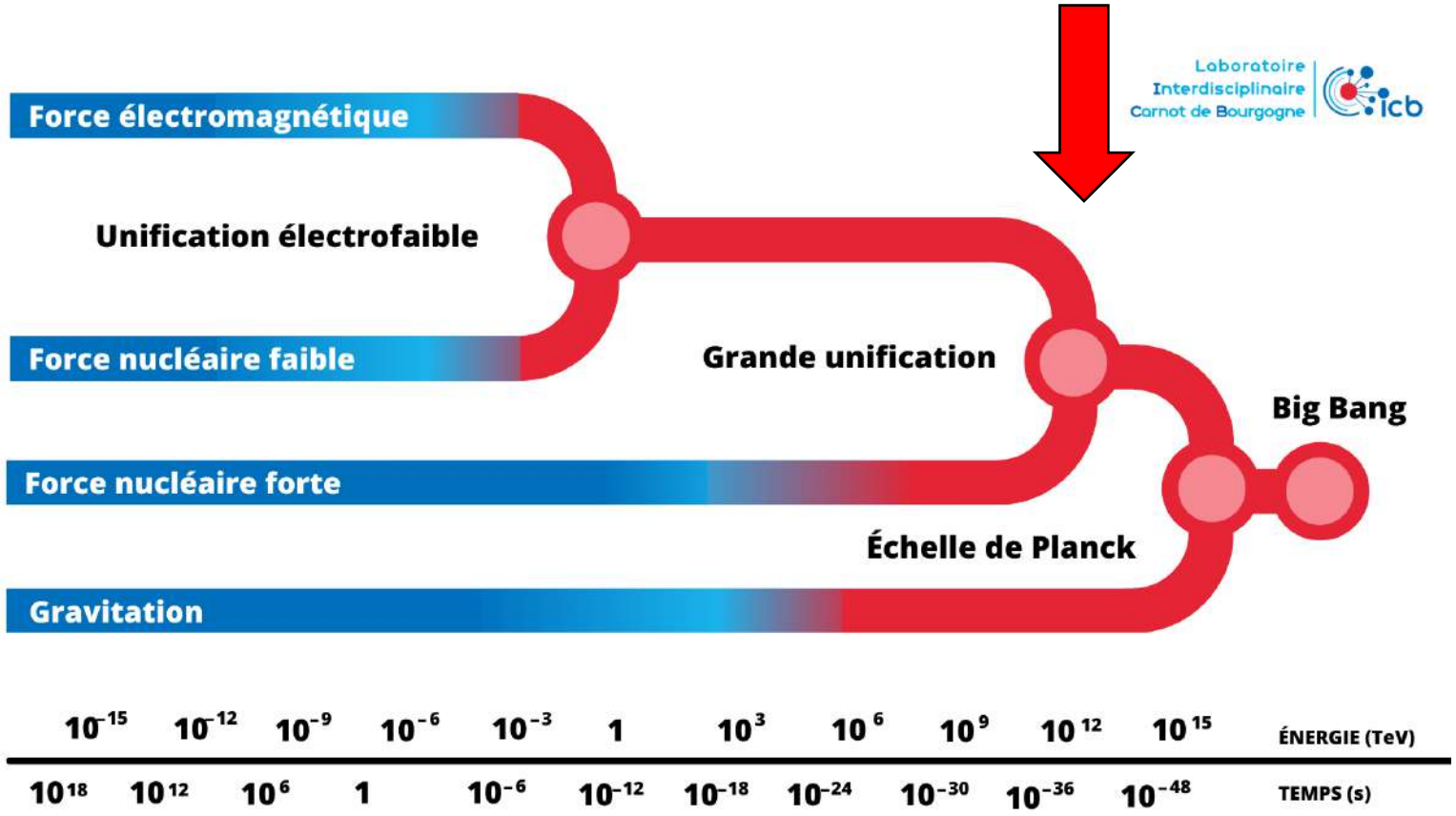
#NuitdesTemps

La Nuit des Temps

Ère de la Grande Unification

$t = 10^{-43} \rightarrow 10^{-36}s$

La gravitation commence à se séparer des autres forces toujours liées.

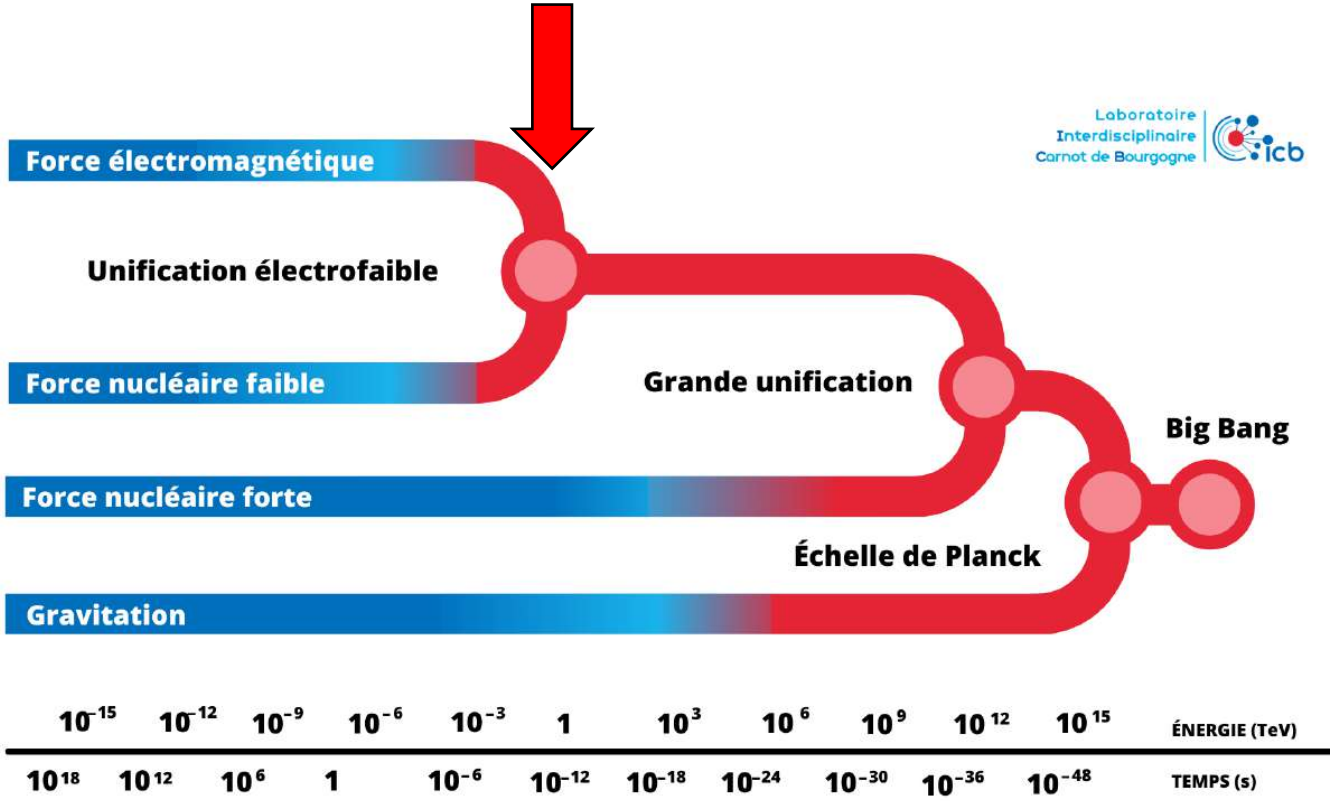


#NuitdesTemps

La Nuit des Temps

Ère électrofaible

- $t \sim 10^{-36} \rightarrow 10^{-12}$s
- $T \sim 10^{28}$K
  - La température refroidie permet à la force forte de se séparer de l'interaction électrofaible



Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne icb

Début de l'inflation

#NuitdesTemps

La Nuit des Temps

L'inflation

Univers homogène aux très grandes échelles

- 2 régions du ciel à l'opposé ont la même température résiduelle (fossile →3K)
- Ces régions ont été liées à une certaine époque

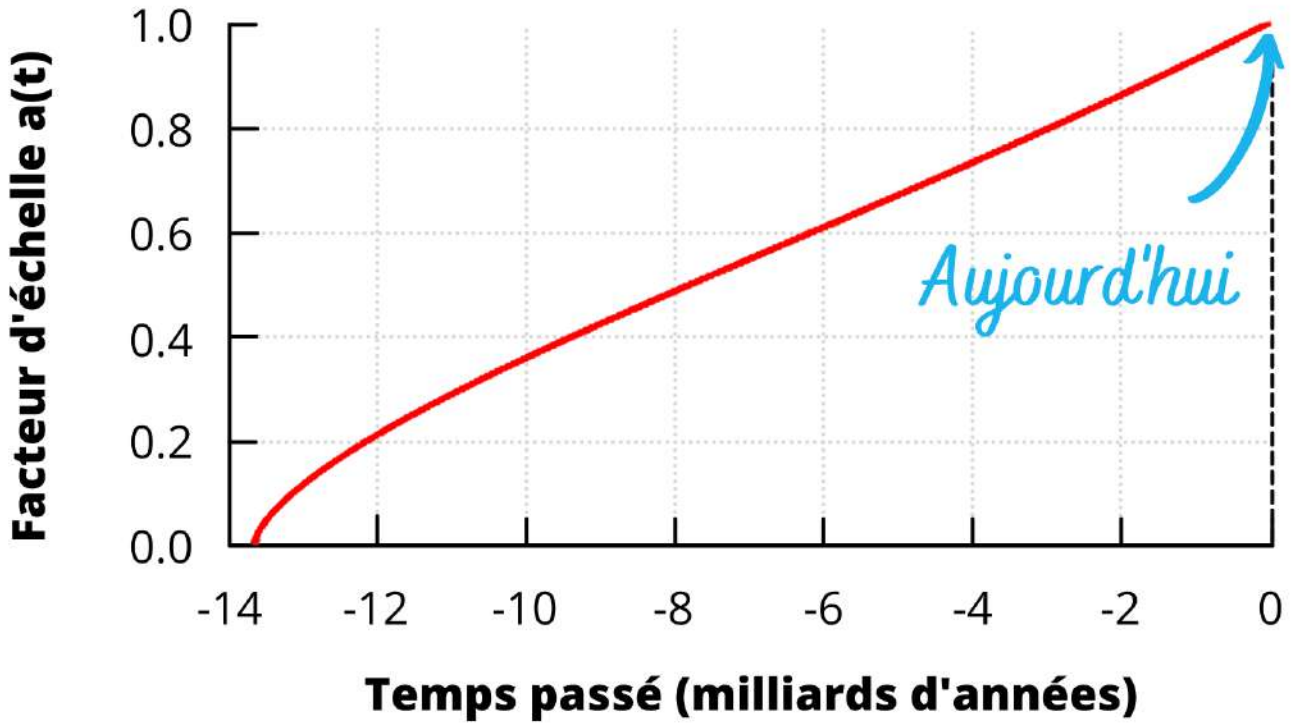
La platitude de l'Univers

- Les équations d'Einstein prévoient que l'Univers peut être courbé
- Les observations tentent à montrer qu'il est plat

La Nuit des Temps

L’inflation

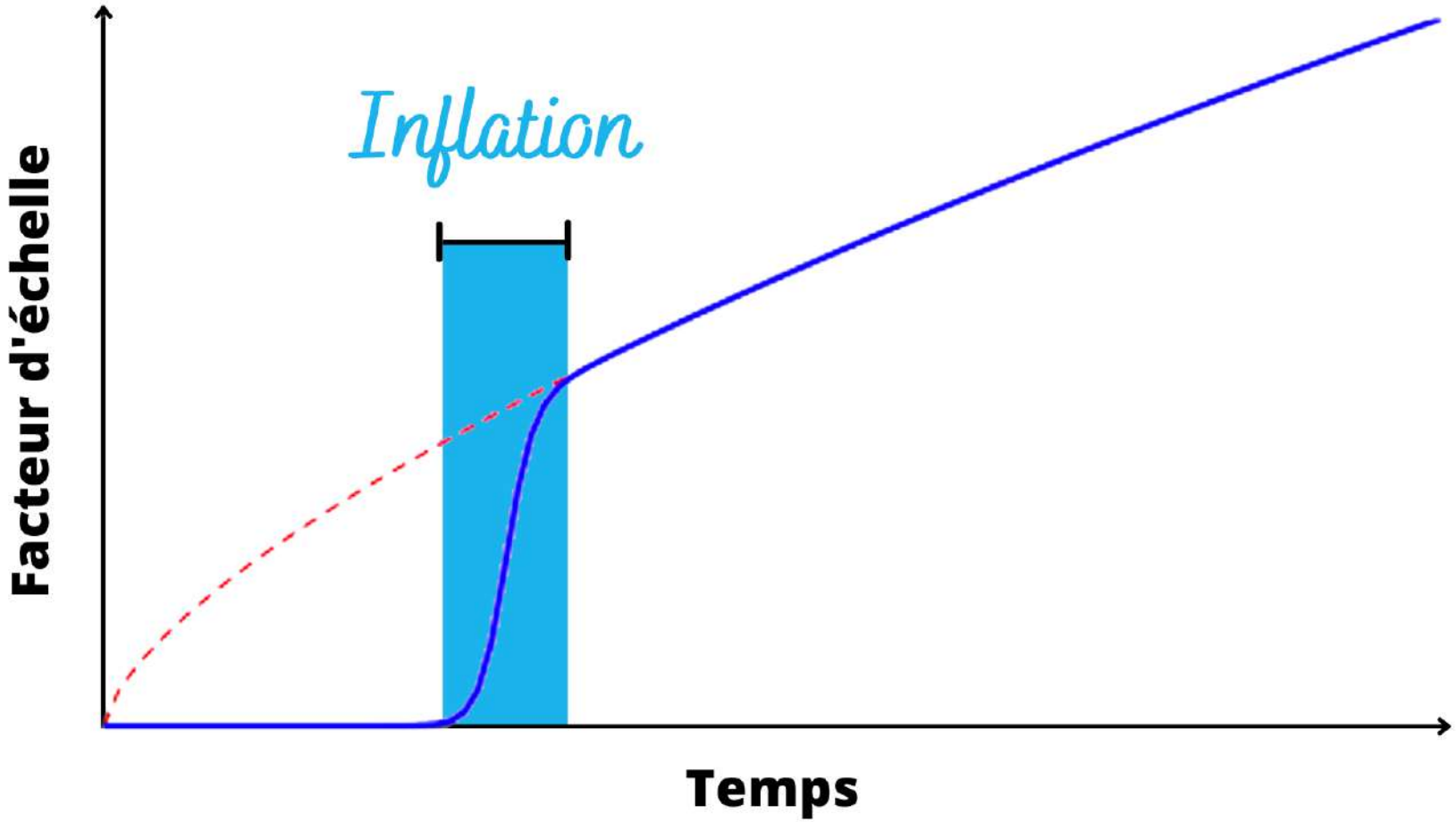
Évolution de l’Univers en confrontant les observations des scientifiques avec les équations de la relativité générale :



#NuitdesTemps

La Nuit des Temps

L’inflation



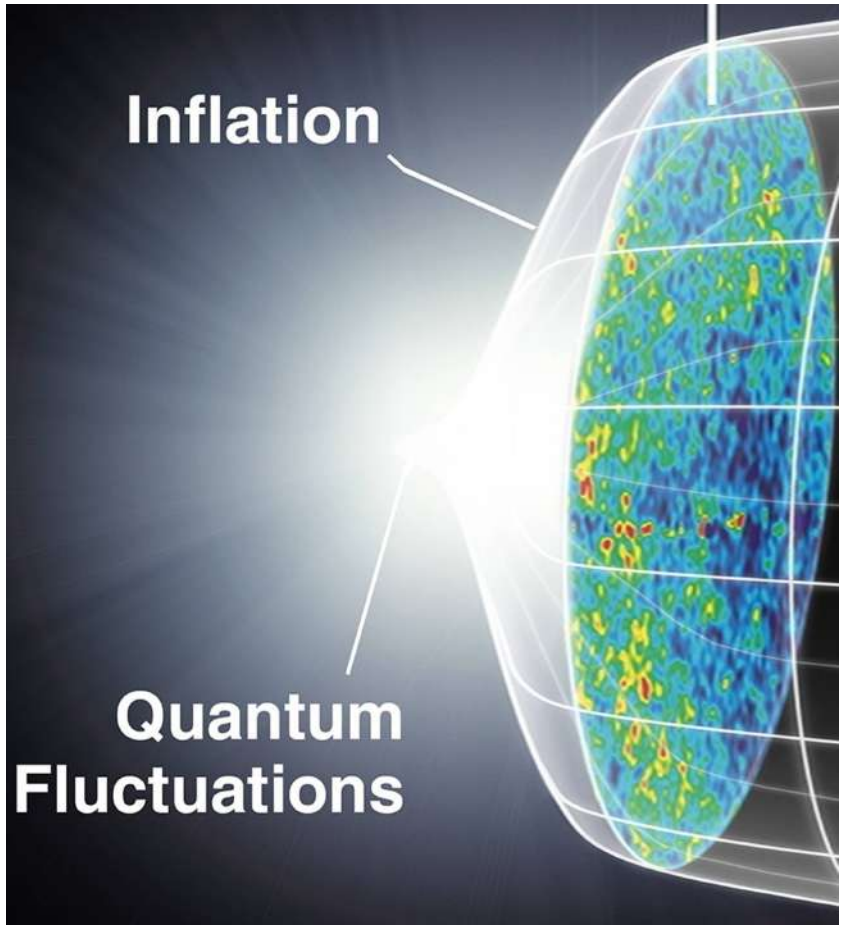
#NuitdesTemps

La Nuit des Temps

L'inflation

- $t \sim 10^{-36} \rightarrow 10^{-32}$s
- Expansion très violente
  - Taille multipliée par un facteur 10^{26} (10^{78} en volume)

→ Et ceci n'est que la limite basse !!!



La Nuit des Temps

L'inflation

Question :

Est-ce que l'inflation transgresse les lois de la relativité restreinte ?



Wile E. Coyote, spécialiste en gravitation

La Nuit des Temps

Apparition de la matière

L'univers amorce une « transition de phase » pour atteindre un état stable

- Apport d'énergie

Création de paires « matière/anti-matière » puis annihilation (ex : électrons-positrons)

- La matière va « gagner le combat » lorsque la température continue de descendre
  - On parle de brisure de symétrie

La Nuit des Temps

Apparition de la matière

- $t \sim 10^{-12}s$
- $T \sim 10^{15}K$
- Expansion semblable à aujourd'hui
- Les interactions électromagnétiques et faibles ne sont plus unifiées.

La Nuit des Temps

Ère hadronique

- $t \sim 10^{-12} \rightarrow 10^{-4}s$
- $T \sim 10^{13}K$
- La température descend suffisamment pour que l'interaction forte confine les quarks
  - Création de hadrons (sensibles à l'interaction forte)
  - Baryons : association de trois quarks
- Des baryons sont créés et annihilés constamment. Cependant, la température baissant, les photons n'ont plus assez d'énergie pour créer des baryons
  - Disparition des anti-neutrons et anti-protons par annihilation (subsistent les protons et neutrons non annihilés)
  - Créations d'électrons (demande moins d'énergie)

La Nuit des Temps

Ère leptonique

- $t \sim 10^{-4} \rightarrow 1s$
- Création de leptons (insensibles à l'interaction forte)
  - Par exemple : électrons
- L'Univers est dominé par les réactions de production et d'annihilation de paires électron-antiélectron.
- La température diminue toujours, les électrons ne sont plus créés
  - L'asymétrie matière-antimatière provoque la disparition totale des antiélectrons

La Nuit des Temps

Nucléosynthèse primordiale

- t ~ 1s →3min
- Disparition d'un grand nombre d'électrons
  - Univers dominé par le rayonnement (photons).
- Lorsque la température de l'Univers descend sous le milliard de degrés, les photons deviennent trop peu énergétiques pour casser la liaison interne des noyaux qui se forment.
  - Création des noyaux légers



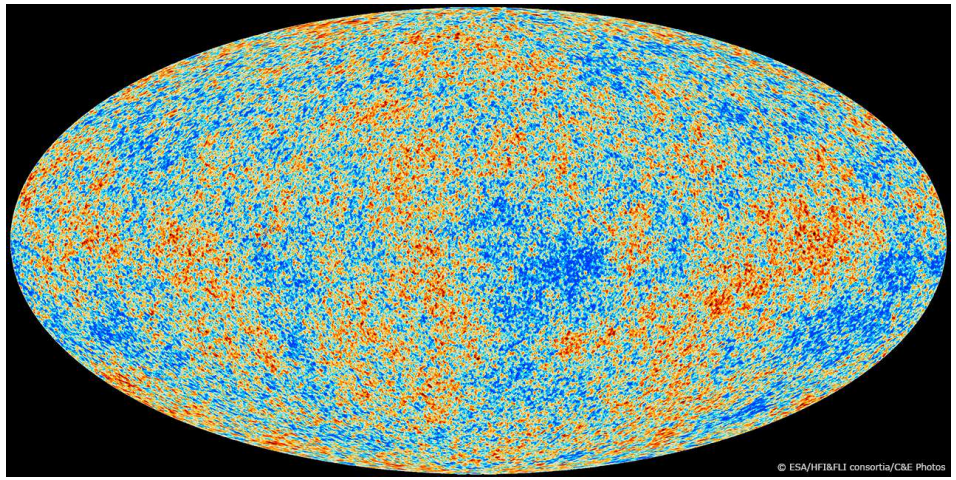
Protons et électrons sont libres : les atomes ne peuvent toujours pas exister et les Photons ont des durées de vie courtes → Univers opaque.

#NuitdesTemps

La Nuit des Temps

Recombinaison

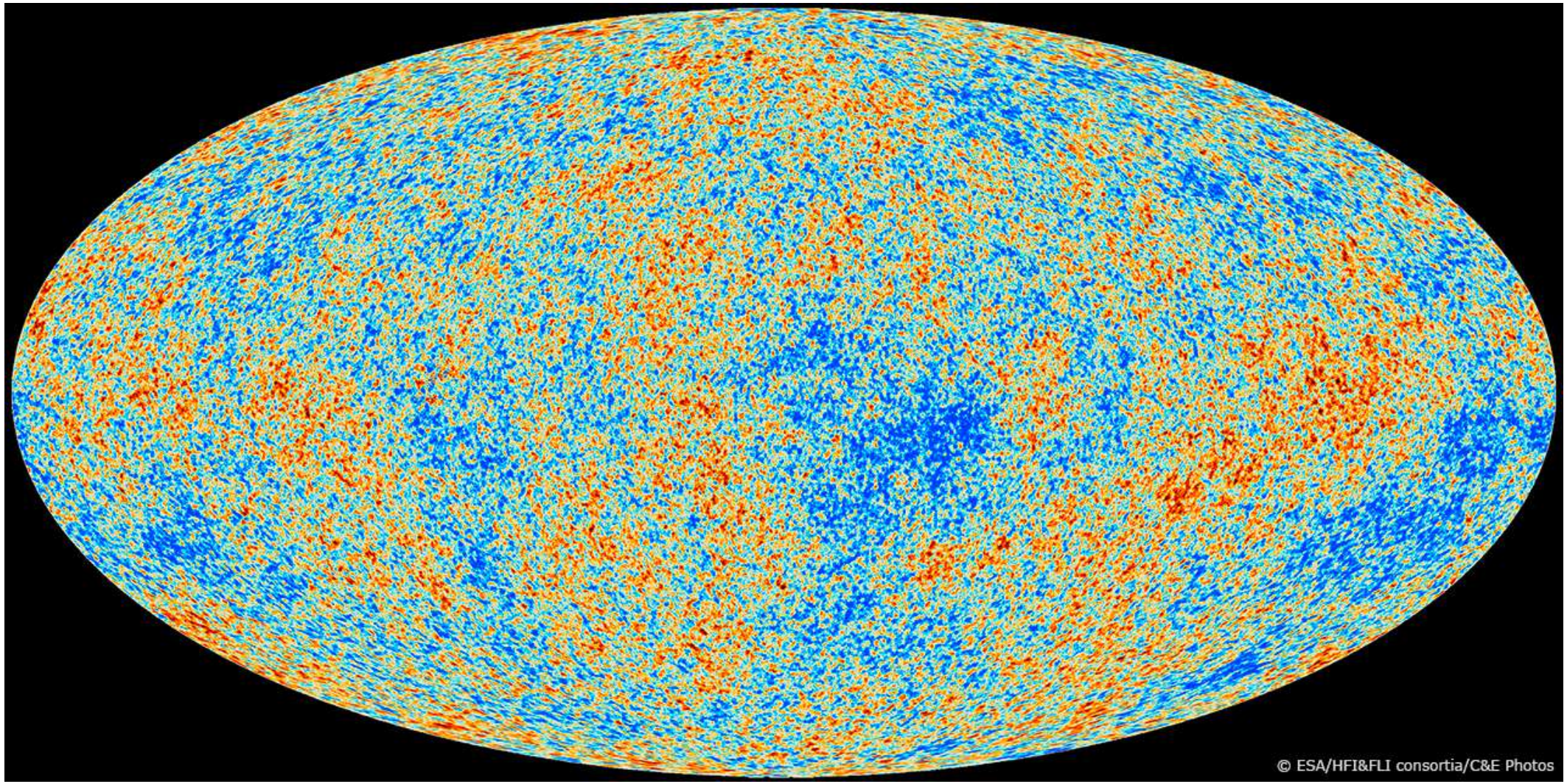
- t = +380 000 ans
- T ~3000K, liaison électron-proton possible
- Création des premiers atomes stables
  - Hydrogène : 1 proton + 1 électron
  - Hélium : 2 protons + 2 neutrons + 2 électrons
  - Lithium : 3 protons + 3 neutrons + 3 électrons
- Plus d'obstacle pour les photons, l'univers devient transparent



#NuitdesTemps

La Nuit des Temps

Recombinaison



#NuitdesTemps

La Nuit des Temps

Et l'expansion continue…

380 000 ans à 400 millions d'années : âge sombre

- Début de l'âge sombre, jusqu'à « l'allumage » de la première étoile
- Début de la formation des grandes structures (comme les galaxies)

400 millions à 1M d'années : réionisation

- Un grand nombre d'atomes existant dans l'Univers ont été ionisés par le rayonnement intense de la probable toute première génération d'étoiles

La Nuit des Temps

L'Univers aujourd'hui

- t = +13.7 Milliards d'années
- Univers peu dense et froid
  - T = 2.73K, soit -271°C
- Univers en expansion … accéléré !! (?)
  - Découvert par Saul Perlmutter et Adam Tiess (prix nobel 2011)
  - Introduction de l'énergie sombre
    - Se comporte comme une force gravitationnelle répulsive
  - Retour en force de la constante cosmologique dans les équations d'Einstein

La Nuit des Temps

Oui mais alors …

Qu'y avait il avant le Big Bang ?

- Le temps est créé en même temps que le Big Bang
  - La notion de « Avant » n'a donc pas de sens
- La relativité générale parle de singularité (densité infinie, taille en un point)

→ Nécessite un nouveau modèle, la fameuse « Théorie du Tout ».

- Théorie des cordes
- Gravité quantique à boucle

La Nuit des Temps

Théorie des Cordes

- Une particule est une corde
- Sa vibration définie le type de particule
- Plus de singularité en « remontant » le temps
- Nécessité d'avoir 10 dimensions pour marcher
- Introduction de la supersymétrie
  - Pourrait être vérifié au LHC
- On peut fabriquer jusqu'à 10^{100} théories des cordes différentes (en changeant des paramètres initiaux)
  - Introduction des multivers (Univers déconnectés les uns des autres obéissant à leur propres lois physiques)

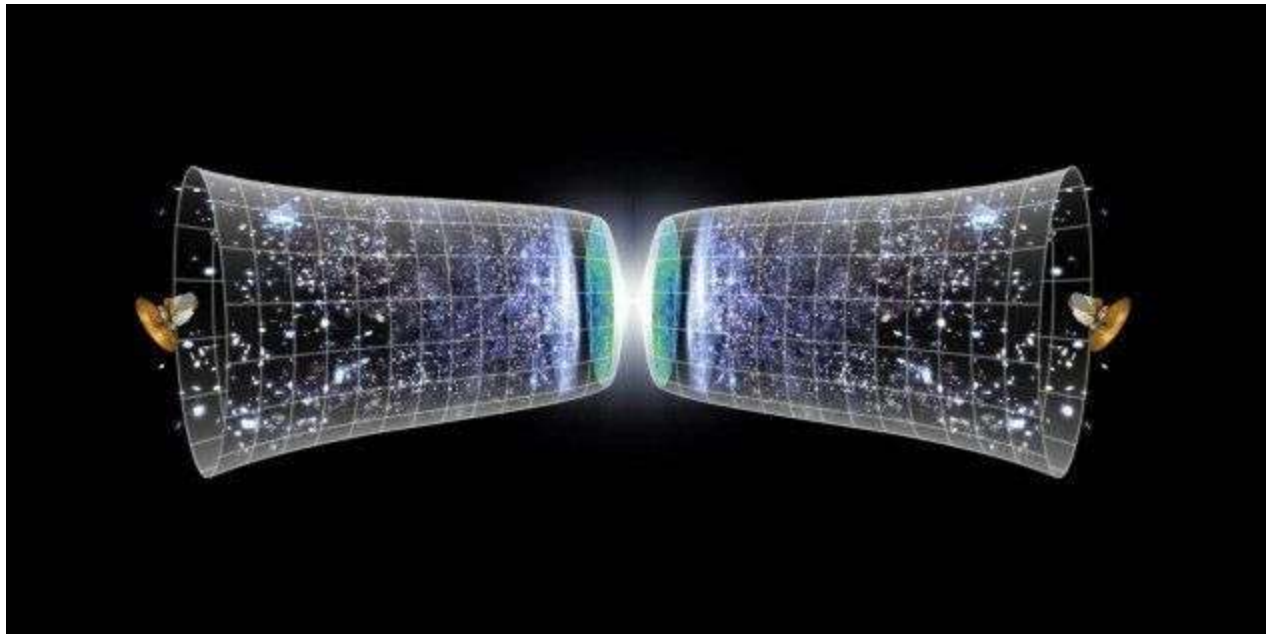
La Nuit des Temps

Gravité quantique à boucle

Quantification de l'espace temps

- Densité maximum : $5x10^{96}$ kg/m^3
- Introduction du « Big Bounce »

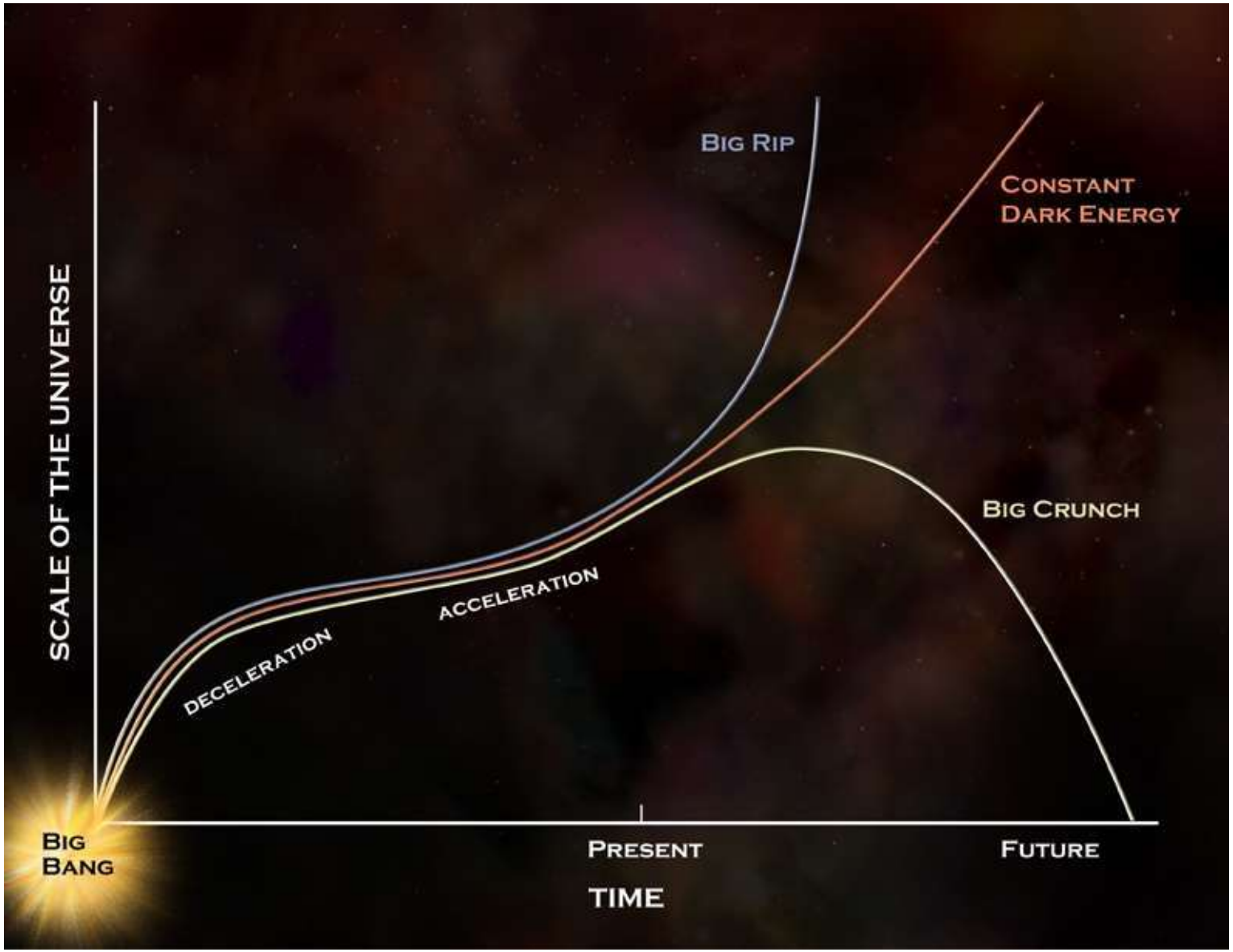
Possibilité de détecter cette quantification avec des évènements de haute énergie ?



#NuitdesTemps

La Nuit des Temps

Quel avenir pour l'Univers?



#NuitdesTemps