

# Attention

- Ne pas confondre
- **entropie**
- Et **anthropique**

# Tendance naturelle.

- Lorsqu'elles sont laissées à elle mêmes, les choses ont tendance à se détériorer ..
- Ordre -> désordre
- Organisation -> désorganisation
- L'entropie mesure le degré de détérioration .

# Entropie et flèche du temps

# Temps réel



# Temps réel



On inverse le sens du passage du film

# Temps inversé



# Temps inversé



# Entropie et flèche du temps

- L'entropie augmente avec le temps réel
- Diminue avec le temps inverse.
- Son augmentation indique le sens du temps réel

# Entropie : sens et comptabilité des transformations

- L'histoire de l'univers est une séquence de transformations
- accompagnées de changement de forme d'énergies

# Energie chimique en lumière



# Energie Nucléaire en énergie lumineuse et cinétique



# Chimique en cinétique et chaleur



# E. gravitationnelle en e. thermique



- L'entropie et la flèche du temps .
- L'entropie engendrée par les transformations augmente avec le temps

# Règle d'or pour le calcul

- L'entropie est proportionnelle au nombre de particules dans le système.
- Augmenter l'entropie équivaut à augmenter le nombre de particules dans l'univers
- Créer de nouveaux photons

- Les étoiles sont la principale source d'entropie dans l'univers
-



- Les étoiles transforment leur masse en photons ( et neutrinos)

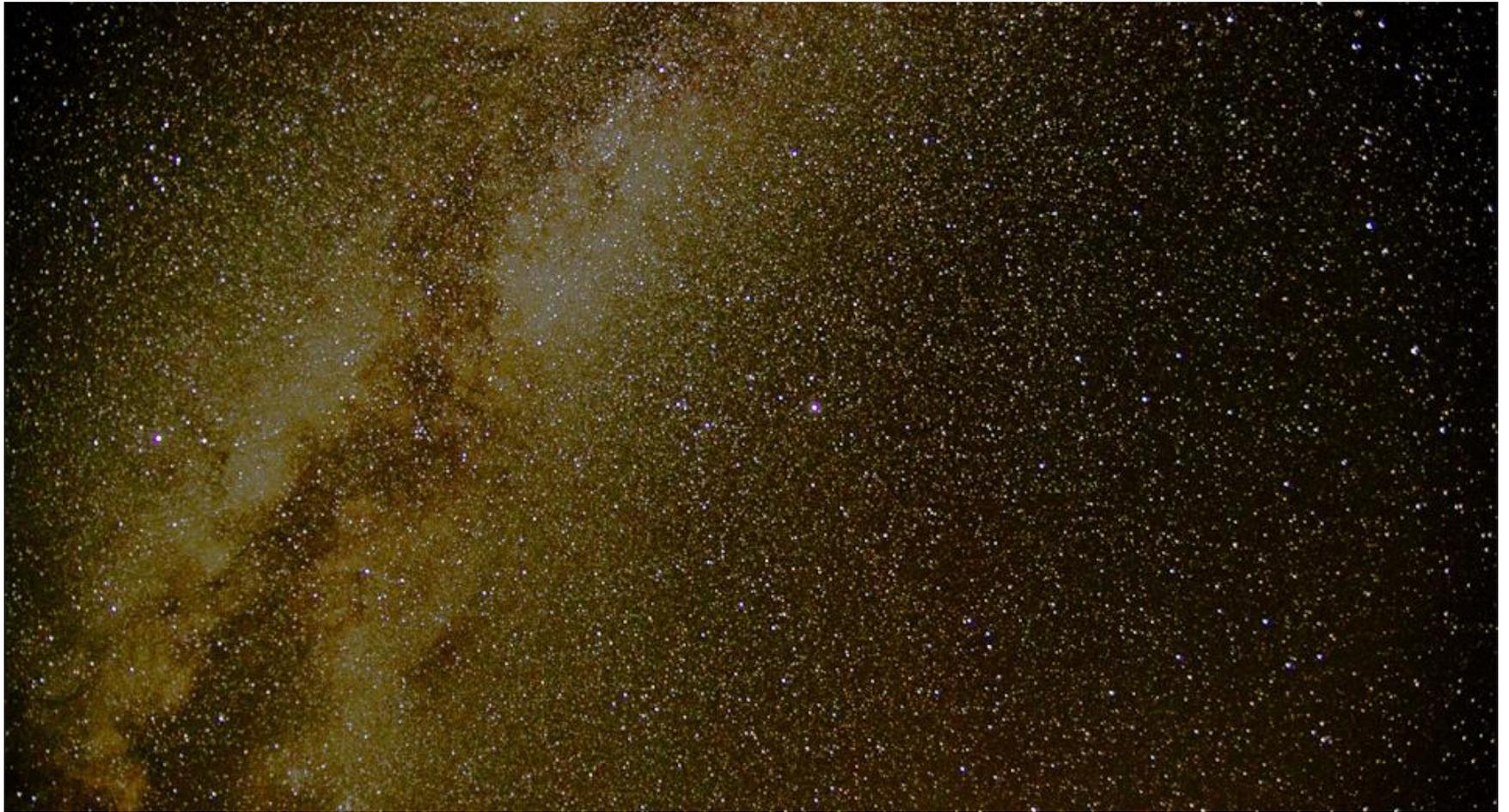
# Energie nucléaire transformée en lumière



# Contribution solaire à l'entropie du cosmos

- Le Soleil perd 400 millions de tonnes de matière chaque seconde.
- 
- soit  $2 \times 10^{25}$  photons par seconde
-

Il y a environ  $10^{22}$  étoiles dans l'univers observable



# Contribution stellaire à l'entropie cosmique

- Il y a environ  $10^{22}$  étoiles dans l'univers observable

- Nombre de photons émis par seconde par les étoiles  $= 10^{47}$

Depuis  $3 \times 10^{17}$  sec  $= 3 \times 10^{64}$

Nombre de photons émis au total =

- $= 3 \times 10^{64}$

Comparé a entropie totale  $= 4 \times 10^{86}$

# Entropie de l'univers observable

- Somme de toutes les transformations
- Egale le nombre de photons dans l'univers

# Entropie de l'univers

- Nombre de photons dans l'univers .
- Nombre de photons =  $400 \text{ cm}^{-3}$
- Volume de l'univers observable
- =  $10^{84} \text{ cm}^3$
- 
- Entropie cosmique  $4 \times 10^{86}$

# Origine de l'entropie cosmique

- Tout les phénomènes dans le Big
- Bang
- Inflation ?
- Transitions de désunification des forces

La transition de grande unification , $T = 10^{24}$   
K

La transition électrofaible  $T=10^{11}$  K  
Donne la masse aux quarks et aux neutrinos

La transition quark-hadron  $T=10^8$  K

- donne la masse aux protons et aux neutrons

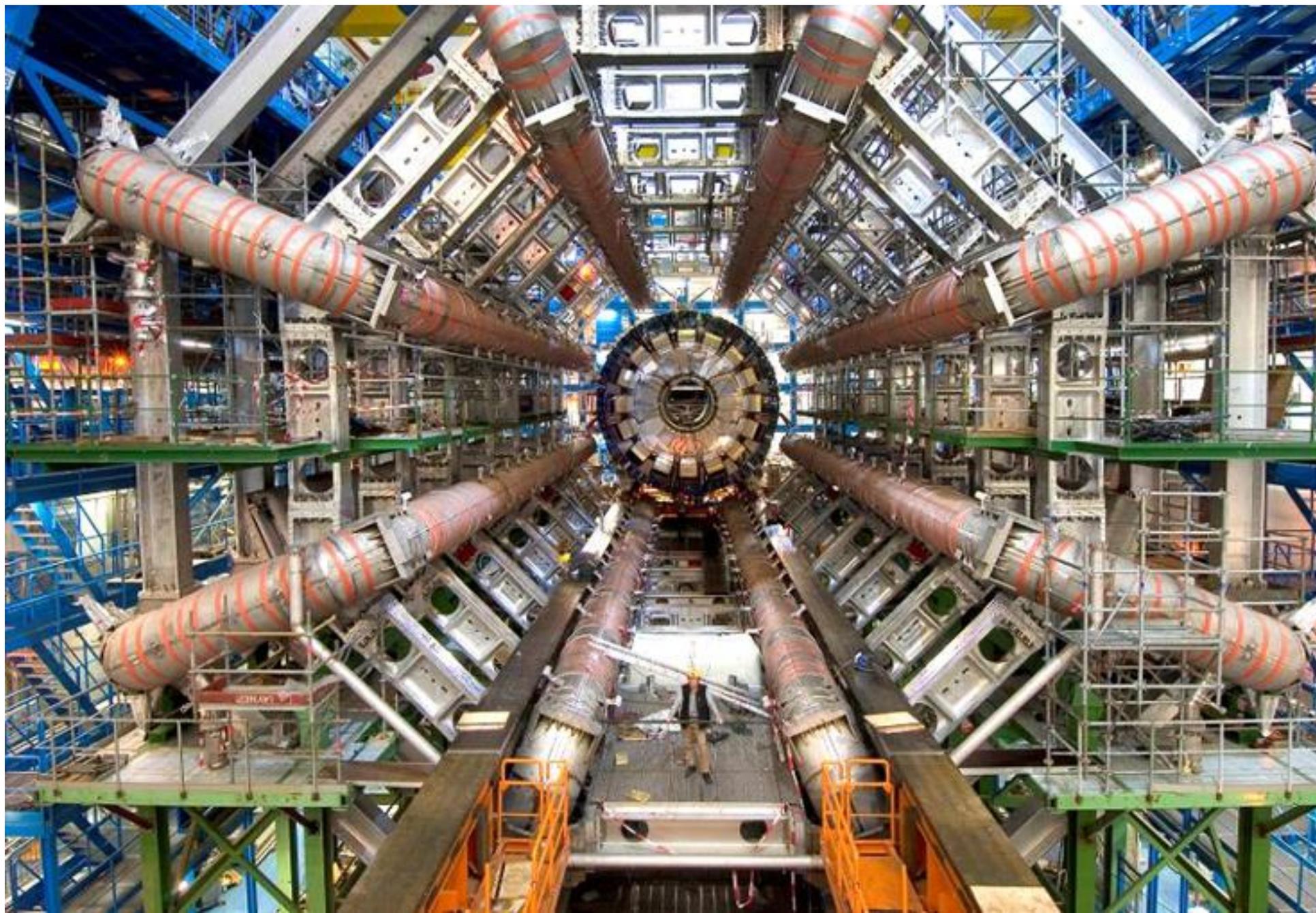
# Entropie et expansion du cosmos

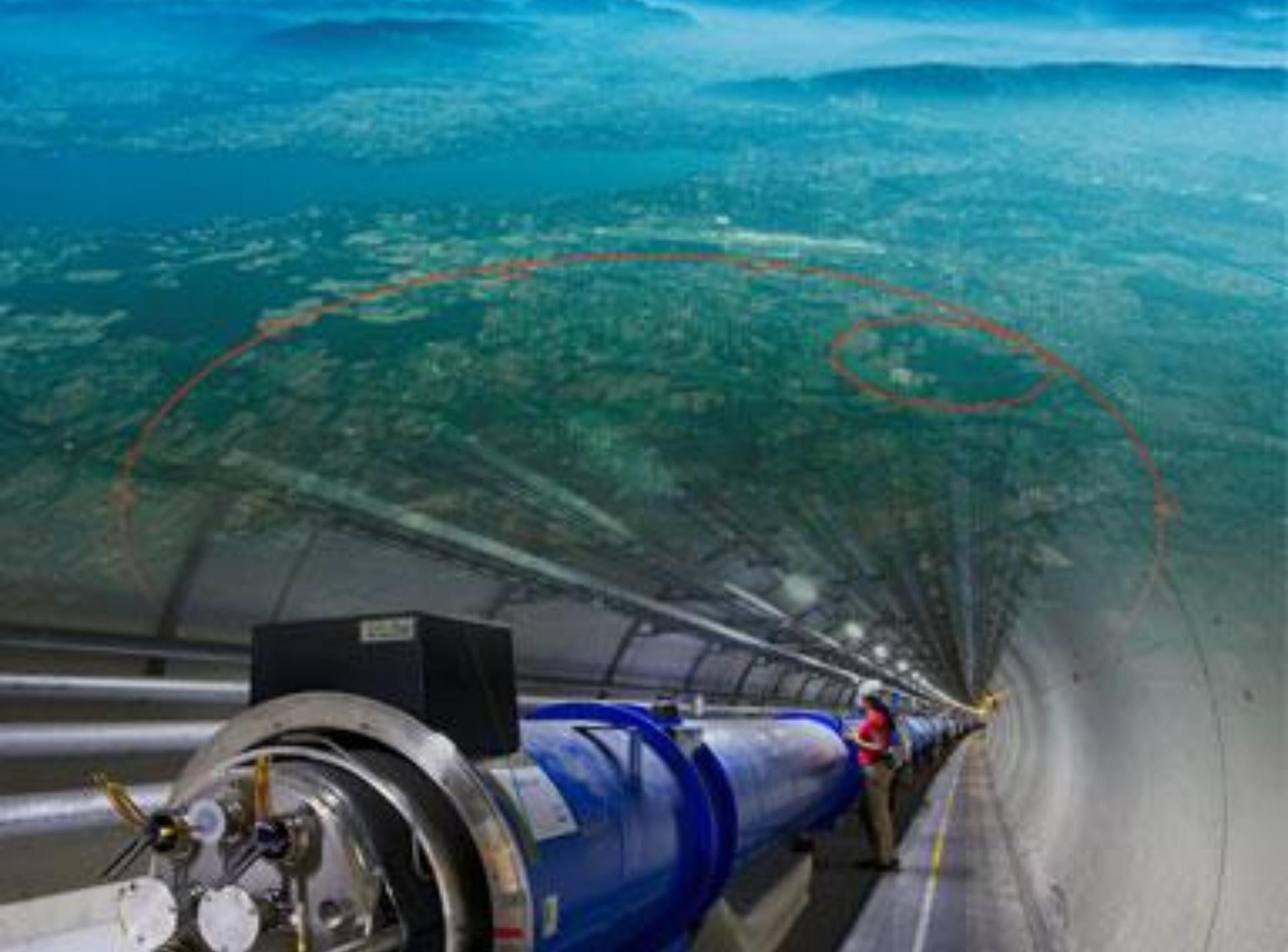
- Entropie et expansion de l'univers
- L'entropie stellaire est émise sous forme de rayonnement qui réchaufferait le ciel si l'espace n'était pas en expansion . La matière se thermaliserait .
- On se dirigerait vers la mort thermique du cosmos!

# Détection du boson de Higgs

- Au Cerne à Genève 2012
- Une particule de masse 125 fois celle du proton .
- Confirme la théorie « standard » de la physique des particules







# LA 'PARTICULE DE DIEU' DÉCOUVERTE À GENÈVE!

TANT QU'ILS DÉCOUVRENT  
PAS MES COMPTES SUISSES ...



- En se désintégrant le boson de Higgs « donne » de la masse aux particules
- Électrons , quarks , neutrinos acquierent leurs masses.
-

# Chapitres du Big Bang

- A  $T > 10^{15}$  K :
- L'univers est une soupe de particules sans masse
- des photons , électrons, quarks, neutrinos
- sans masse
- et des bosons de Higgs massifs

# Histoire du Big Bang

- A  $T = 10^{15}$  K :
- Les bosons de Higgs disparaissent.
- Electrons, quarks et neutrinos acquièrent leurs masses.

# Chapitres du Big Bang

- A  $T = 10^{12}$  K les quarks s'unissent trois par trois et forment les protons et les neutrons
- La masse des protons et neutrons est donnée par l'énergie émise ( liaison des quarks)
-

# Chapitres du Big Bang

- $T < 10^{12}\text{K}$  les noyaux atomiques (helium, carbone , oxygene) se forment dans les étoiles, en émettant des photons.
- Nucléosynthèse! La vie!
- « God 's particle »

# L'information a tendance à se perdre

- Tombeaux égyptiens
- Stockage des déchets nucléaires
- La mémoire se perd

# Entropie et ignorance

## Information et connaissance

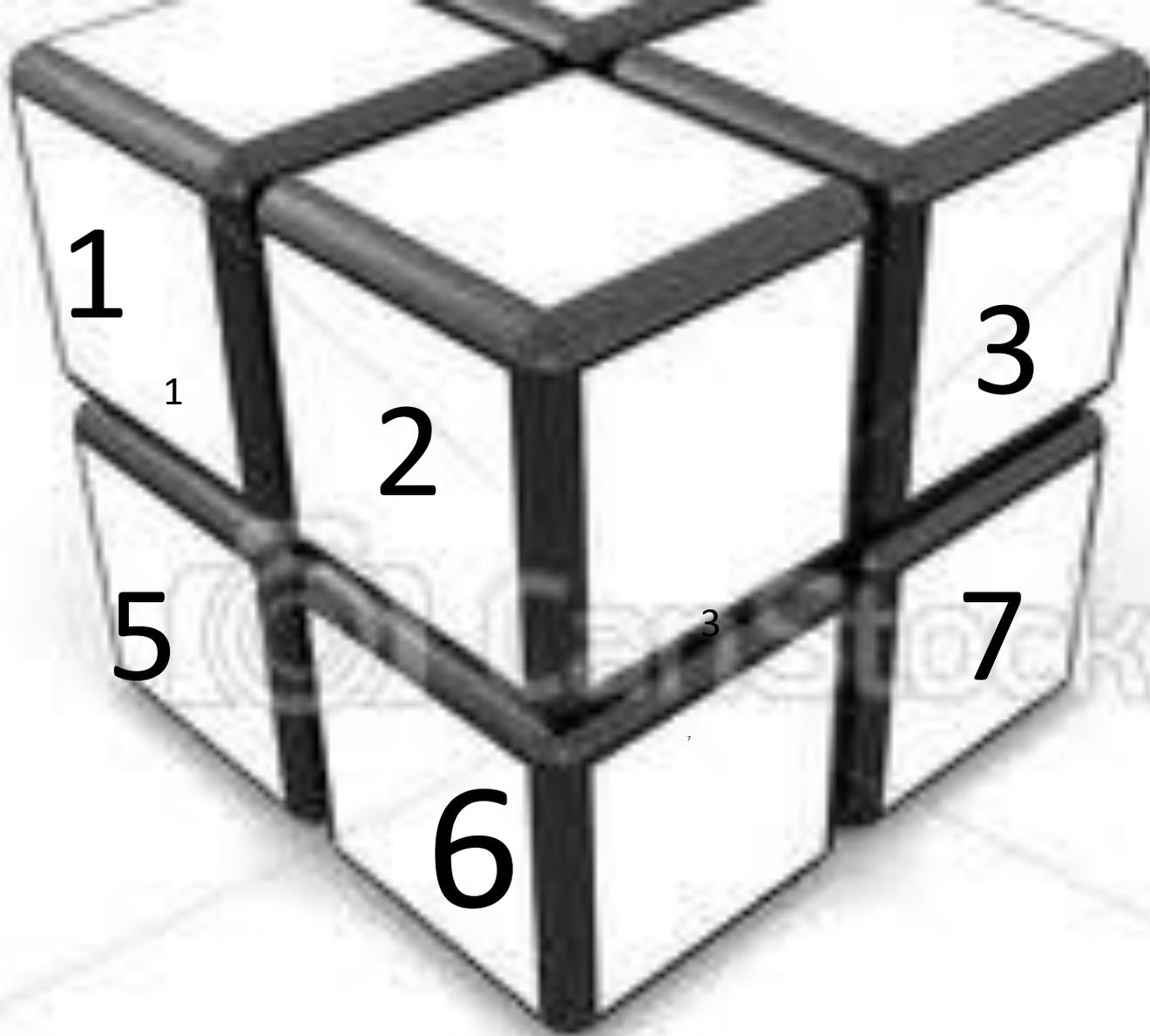
# Entropie et information

- Entropie maximale = ignorance maximale
- Information maximale = Entropie minimale
- Réduire l'entropie = poser des questions

# Histoire du poulailler

UN œuf est caché dans une des huit cases .

Combien de questions pour le trouver  
( réponse: « oui » ou « non »  
seulement!)



Histoire du poulailler

# Entropie et information

- Entropie = nombre de questions à poser
- Information = nombre de réponses déjà obtenues
- Entropie maximale = ignorance totale = 3
-

- .
- Un cube subdivisé en 8 petits cubes numérotés
- Combien de questions (oui ou non) ?
  - 1 question : est ce à l'étage du bas ?
  - 2 question : est ce a l'avant ?
  - 3 question: est ce à gauche?

- L'entropie est proportionnelle au logarithme du nombre de questions à poser pour avoir l'information maximale .

- Ludwig Boltzmann



- Le logarithme (a base 2) de 8 égale 3



# Entropie nucléaire

- Information nucléaire maximale
- Transformer les protons en fer
- Gain 8 Mev / proton
- Energie des photons  $T = 3K$   $E = 3 \text{ meV}$   
(rayonnement fossile)

$$\Delta N = (8 \text{ MeV /protons}) \times$$

- $(5 \text{ protons/m}^3) / (3 \text{ meV}) = 4 \times 10^7 / \text{m}^3$
-



# Nucleosynthèse

- Cœur du Soleil 15 Million de degrés = 1,2 keV
- Photons gammas
- Surface du Soleil : 6000 K = 0,5 eV
- Photons visibles
- 2000 nouveaux photons
- Résultat  $4\text{H} \Rightarrow \text{He4}$  nucléosynthèse
- Convection et hélioséismie