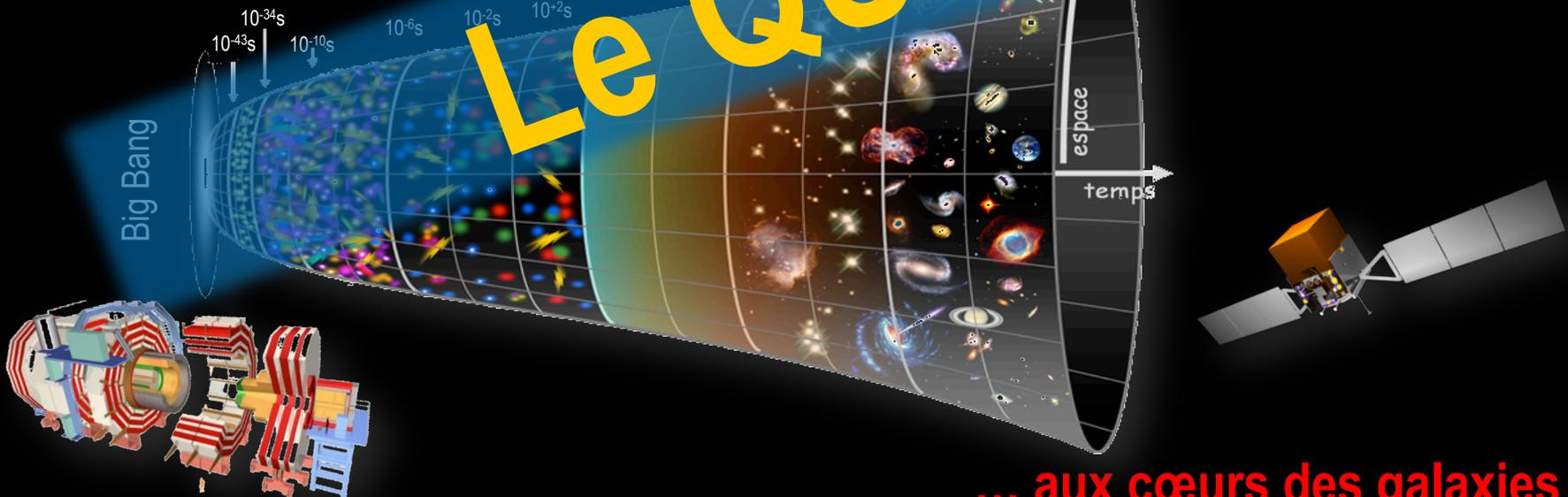


# VERS L'INFINI ET AU-DELÀ...



Laboratoire Leprince-Ringuet

des particules élémentaires ...

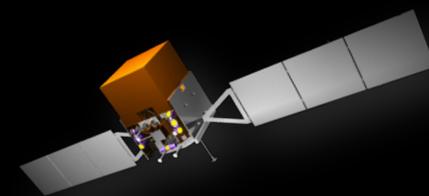


# VERS L'INFINI ET AU-DELÀ...

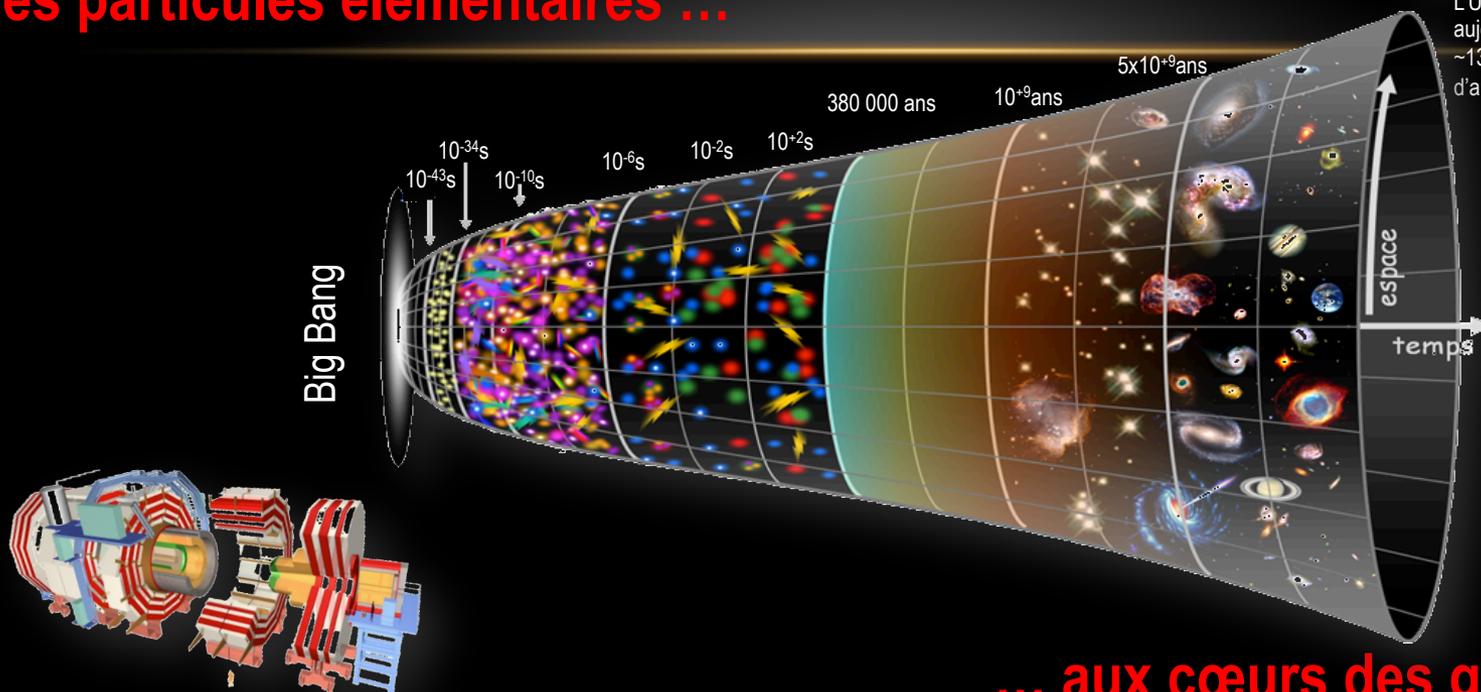
*LR*

Laboratoire Leprince-Ringuet

des particules élémentaires ...



L'Univers  
aujourd'hui  
~13.7 milliards  
d'années



... aux cœurs des galaxies

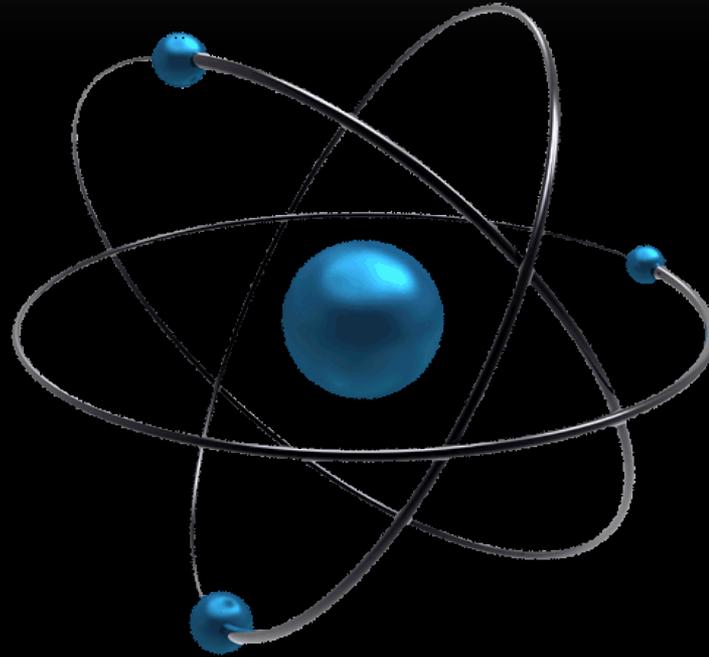
# L'INFINIMENT PETIT ET L'INFINIMENT GRAND

---

Voyage au cœur de la matière

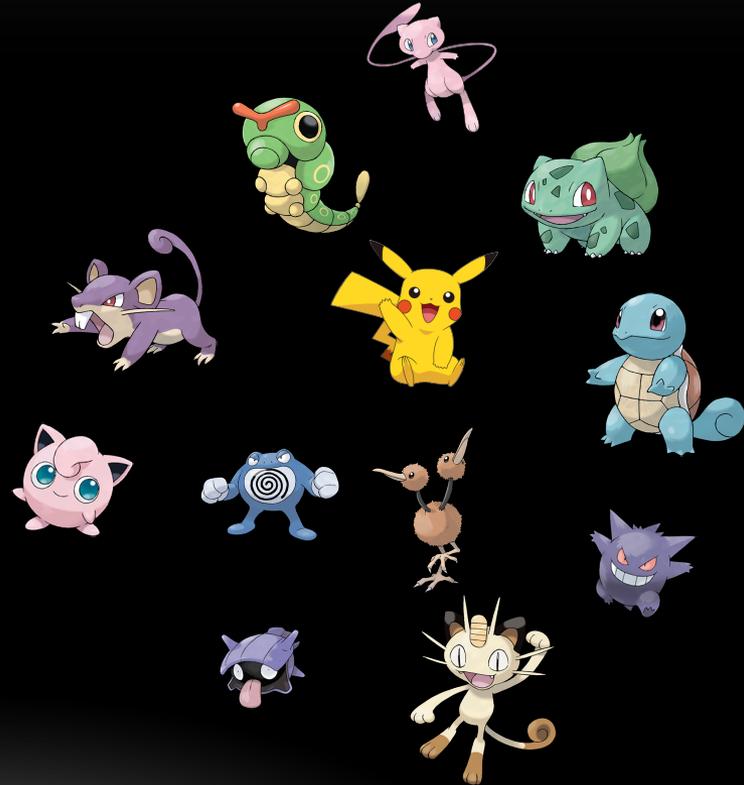
Les messagers du cosmos

# L'INFINIMENT PETIT



# QUELS SONT LES CONSTITUANTS FONDAMENTAUX DE LA MATIÈRE ?

- A. Les électrons
- B. Les protons
- C. Les mégatrons
- D. Les quarks
- E. Les minisculons



# QU'EST CE QUE LA MATIERE?

Nous sommes tous fait de molécules...  
Le vivant est caractérisé par les molécules.

Atome

Electron (première particule découverte)

**Proton**  
**Proton :**

2 quarks up

1 quark down

Interaction électromagnétique

Interaction forte

**Neutron :**

1 quark up

2 quarks down

$10^{-15}$  m

Noyau

$10^{-10}$  m

$10^{-10}$  m

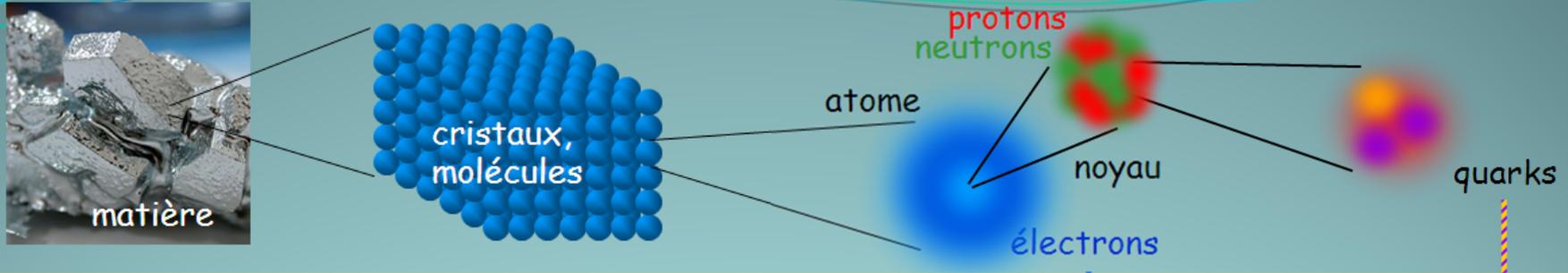
La matière ordinaire est faite de l'assemblage précis de briques élémentaires: quarks, électrons... Nous les regroupons sous le terme de particules mais il y a bien plus que des quarks et électrons.

MAIS APRÈS LES QUARKS ET ÉLECTRONS,  
EXISTE-T-IL DES PARTICULES ENCORE  
PLUS ÉLÉMENTAIRES ?

- A. Oui, mais c'est « Secret-Défense »
- B. Non, le job est fini !
- ✓ C. Peut-être...
- D. Pas aujourd'hui !

**CLASSIFIED**

# LES PARTICULES DU « MODÈLE STANDARD »



Ces 2 Quarks et 1 Lepton (+neutrinos) constituent tout L'Univers connu

## Quarks

## Leptons



Up/haut



Charm/  
charme



Top/  
top



electron



muon



tau



Down/bas



Strange/  
étrange



Bottom-  
Beauty/  
beauté



neutrino  
électronique



neutrino  
muonique



neutrino  
tauique

# COMMENT FAIT-ON DES RECHERCHES FONDAMENTALES SUR LA MATIÈRE ET SES INTERACTIONS ?

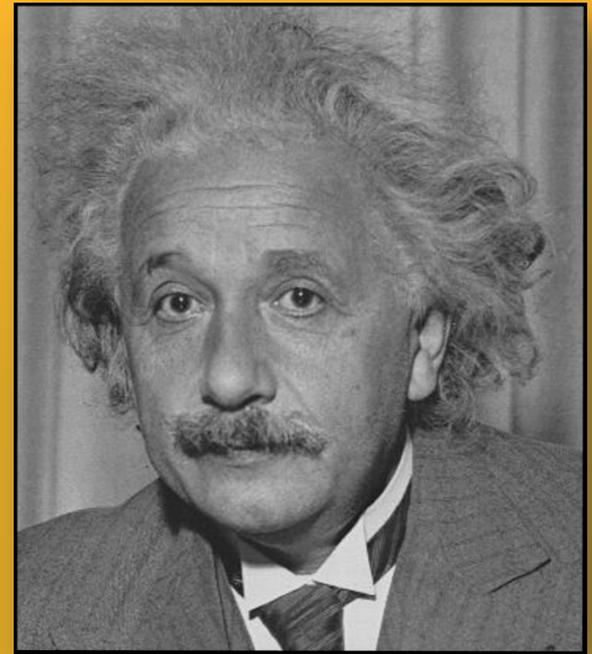
- A. en chantant
- B. en étudiant les chocs entre particules
- C. en utilisant des détecteurs spéciaux
- D. en cassant des cailloux



# Collisions de particules

- La masse (donc aussi la matière) est une forme d'énergie !

$$E = m c^2$$



Énergie



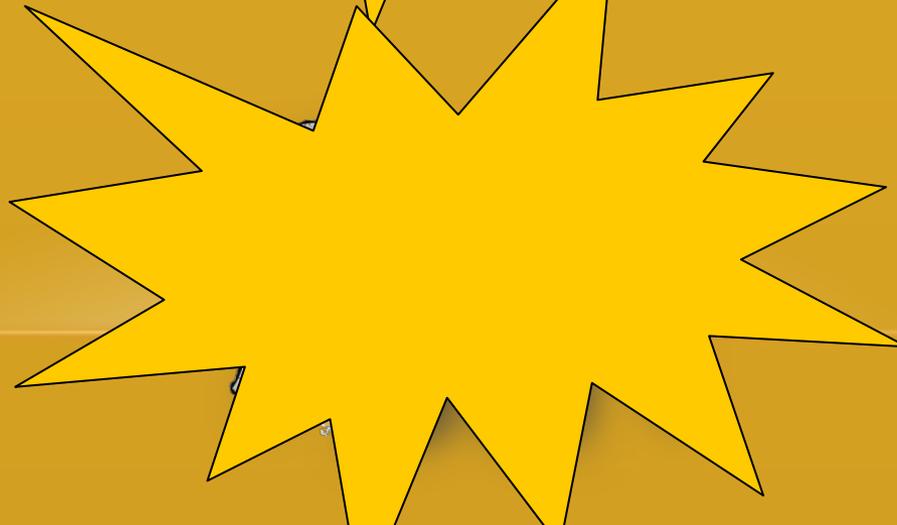
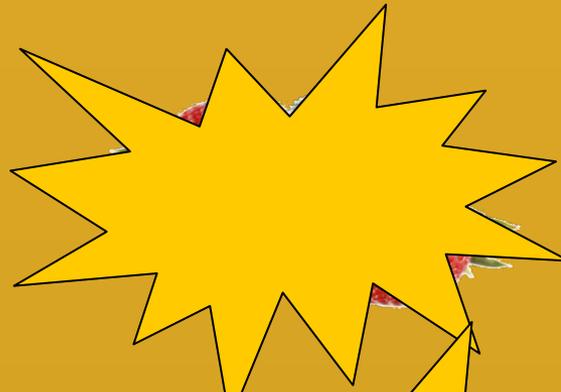
Égale



Masse

$$E = M C^2$$

Ou « comment créer des particules dans des chocs »



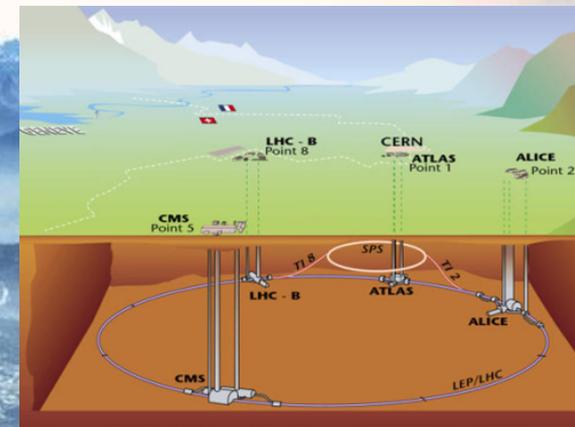
Pour étudier les collisions de particules les plus violentes que l'on sache faire sur Terre, la plus grande machine jamais construite : le LHC du CERN

Genève

lac Léman

aéroport

CERN



le LHC (Large Hadron Collider)

27 km de circonférence

50 à 175 m sous terre

Champ magnétique : 8.3 T (200 000 x le chp terrestre)

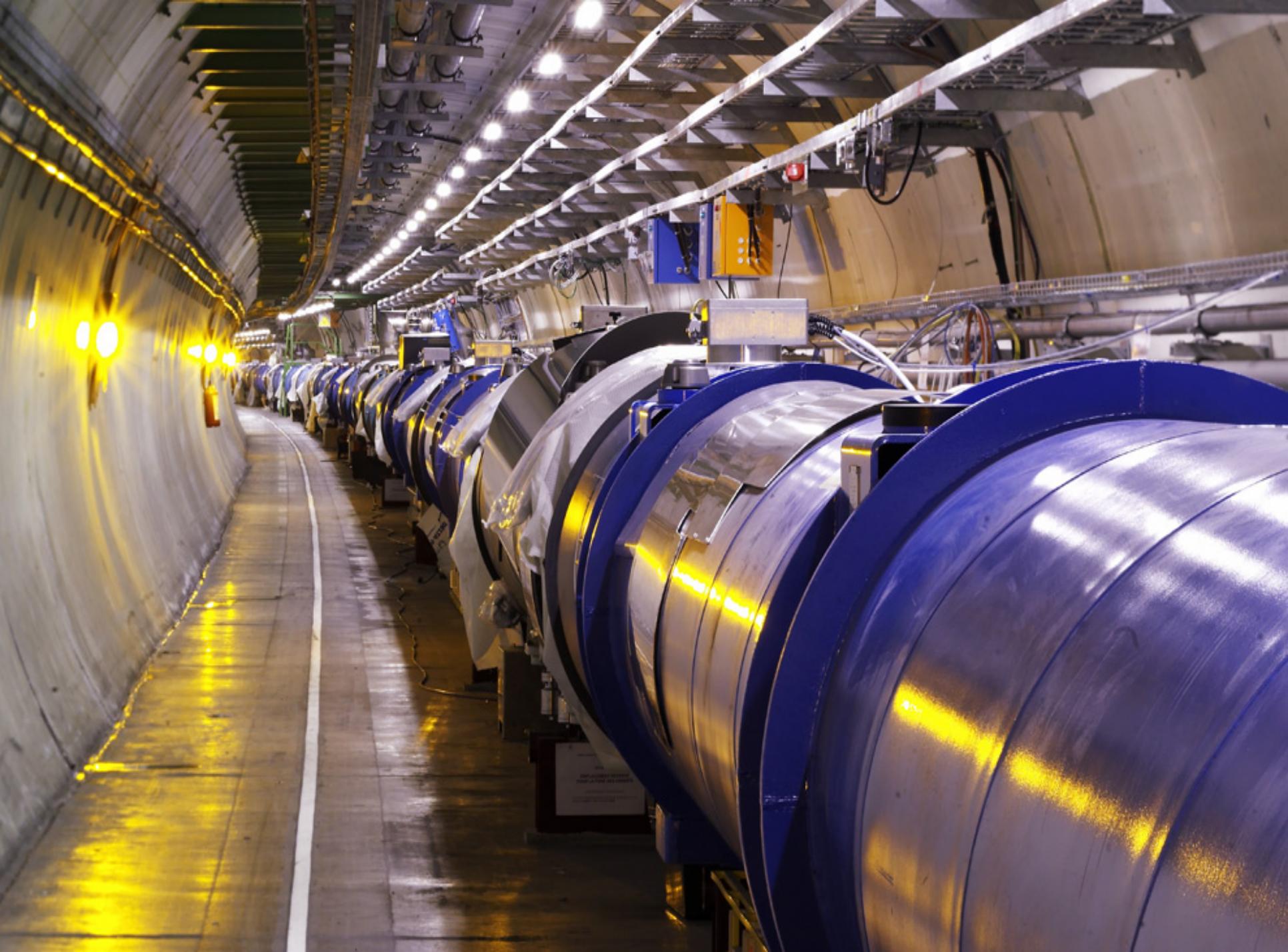
100 000 000 000 000 protons dans chaque sens

99.999999 % de la vitesse de la lumière

Chaque faisceau a l'énergie d'un TGV à vitesse nominale

Vide : 1 atome / m<sup>3</sup>

Température : 1.9K



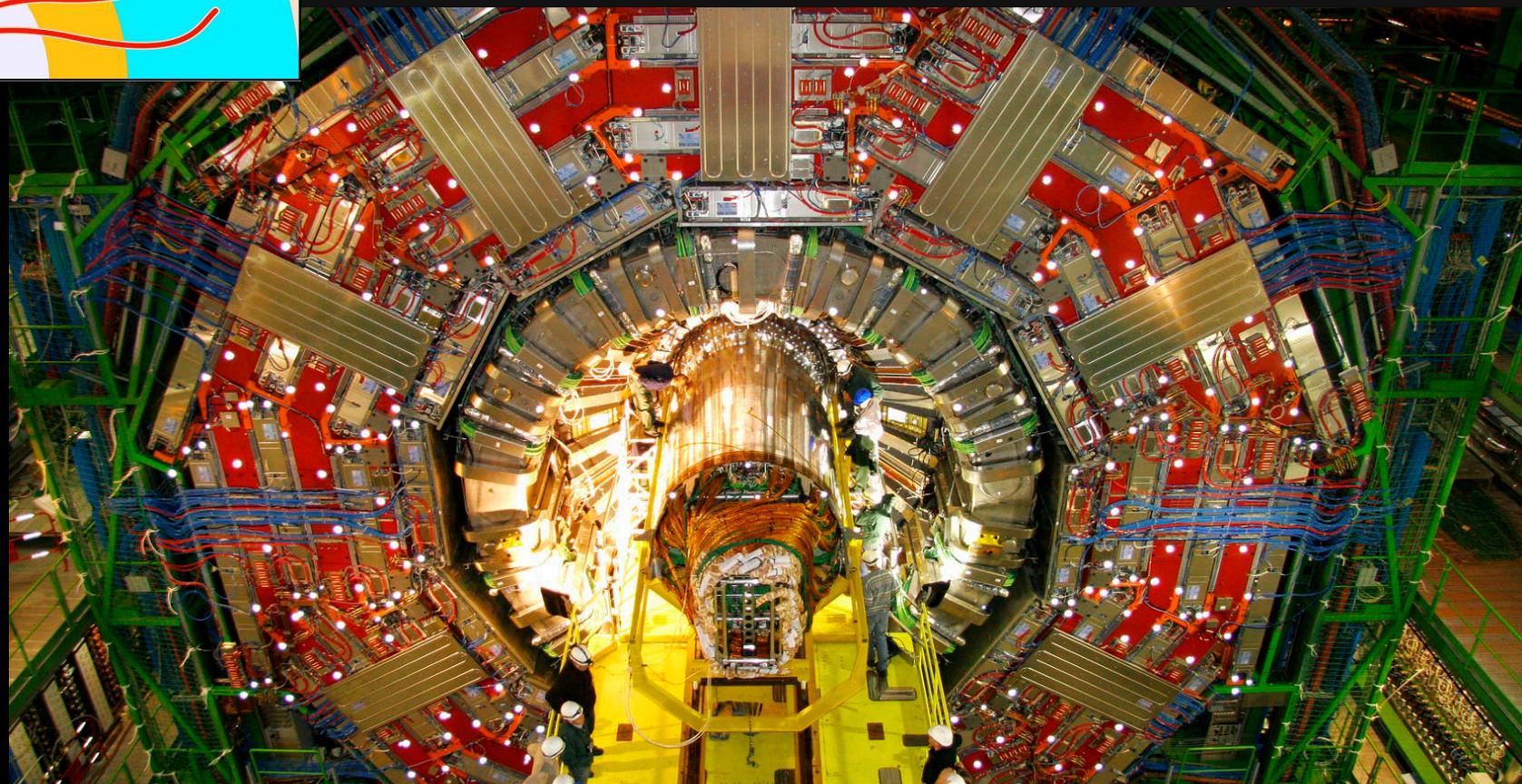
# NOTRE DÉTECTEUR : L'EXPÉRIENCE CMS

- 12500 tonnes à la pointe de la technologie

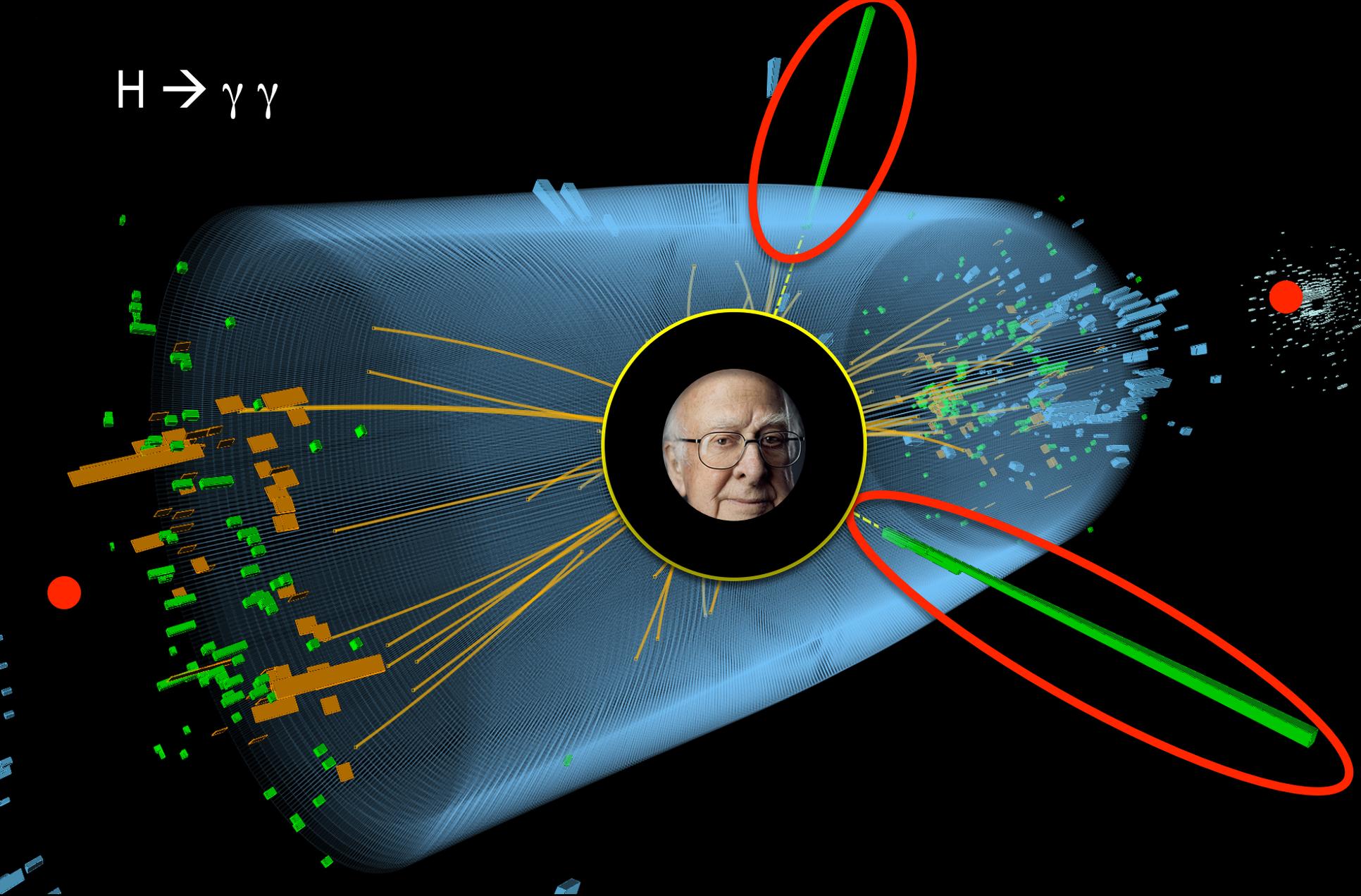




# EXPÉRIENCE CMS



$$H \rightarrow \gamma\gamma$$



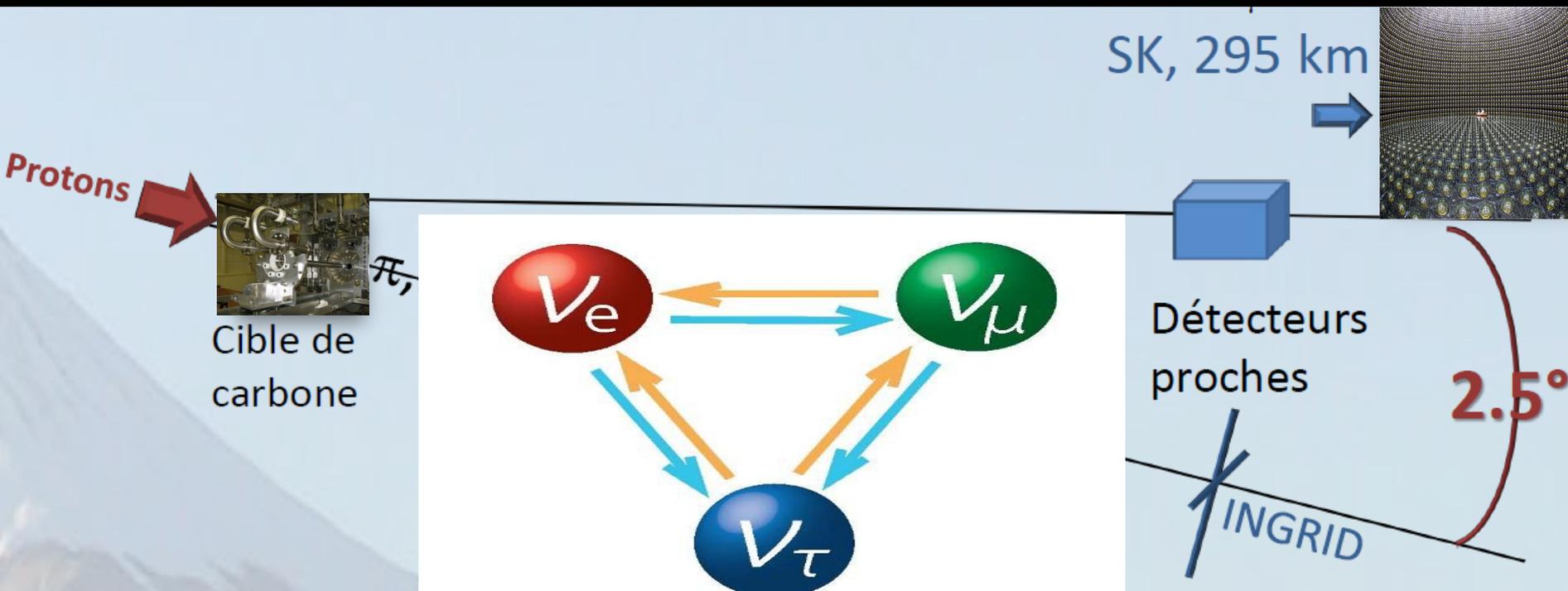
Une collision créant un « boson de Higgs », vue par CMS

# LES NEUTRINOS

- Découverts en 1956
- Très abondants....100 milliards par seconde
- Interagit très peu avec la matière
- Très difficile à détecter

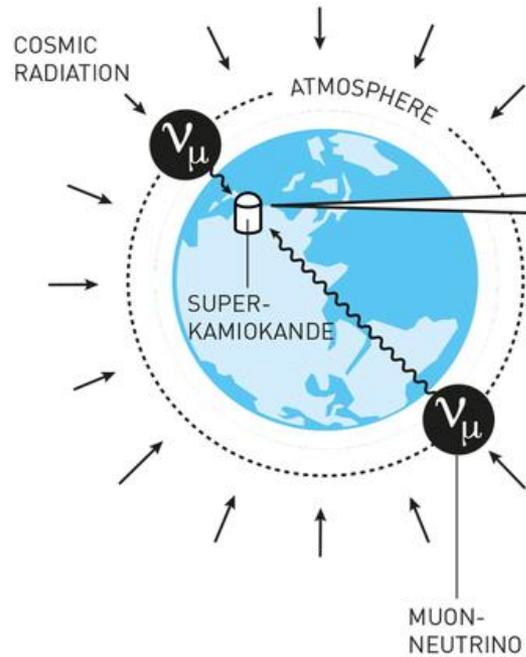
# TOKAI TO KAMIOKANDE (JAPON) OSCILLATIONS DE SAVEUR DES NEUTRINOS

- Neutrinos muons produits à Tokai
- Neutrinos ( $e/\mu$ ) détectés 295 km en aval

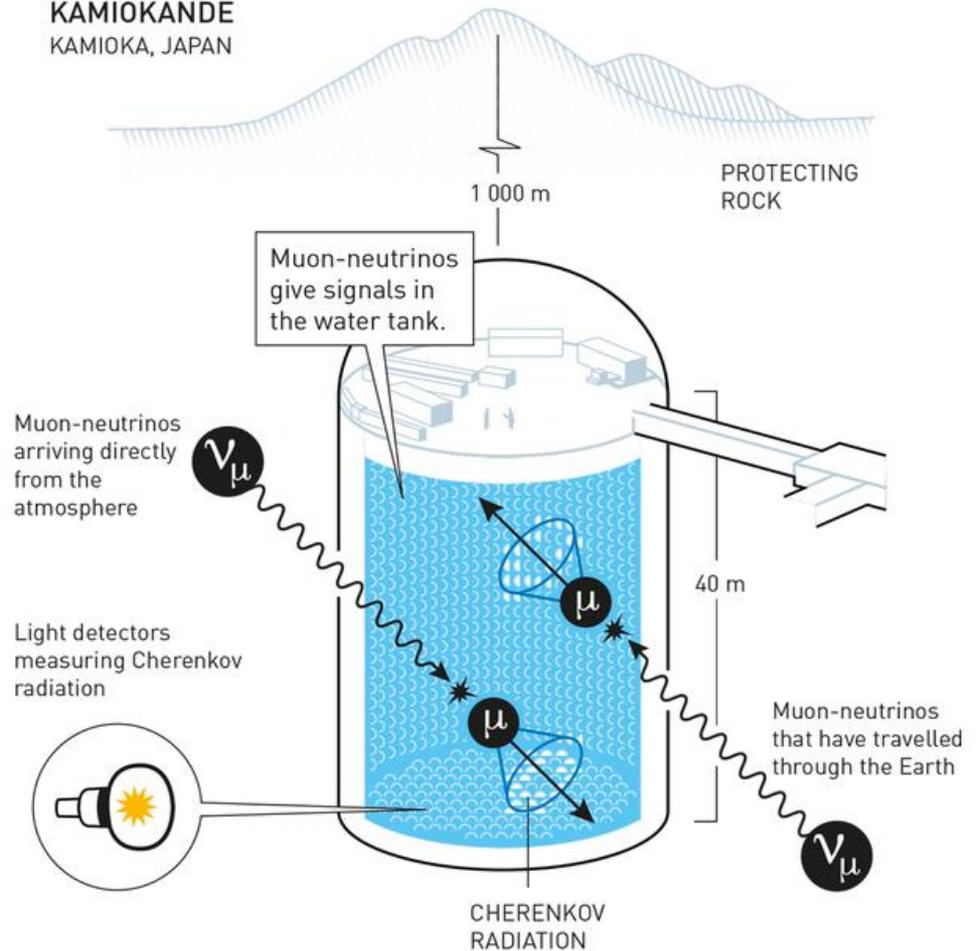


# SUPER KAMIOKANDE

## NEUTRINOS FROM COSMIC RADIATION



## SUPER-KAMIOKANDE KAMIOKA, JAPAN



# L'INFINIMENT GRAND



NGC1491

Copyright J-P Metsavainio  
[www.astroanarchy.zenfolio.com](http://www.astroanarchy.zenfolio.com)

# NOUS ÉTUDIONS LES CONSTITUANTS DE L'UNIVERS

Comment sonder l'Univers ?

- A. En remplissant des formulaires
- B. En regardant le ciel
- C. En détectant des particules
- D. En regardant la TV



# UNE EXPÉRIENCE EN ASTROPHYSIQUE



Ondes  
électromagnétiques

Messagers



Rayons cosmiques

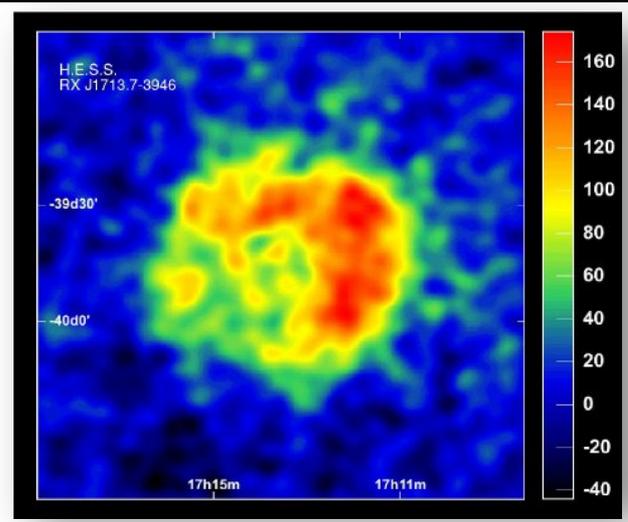
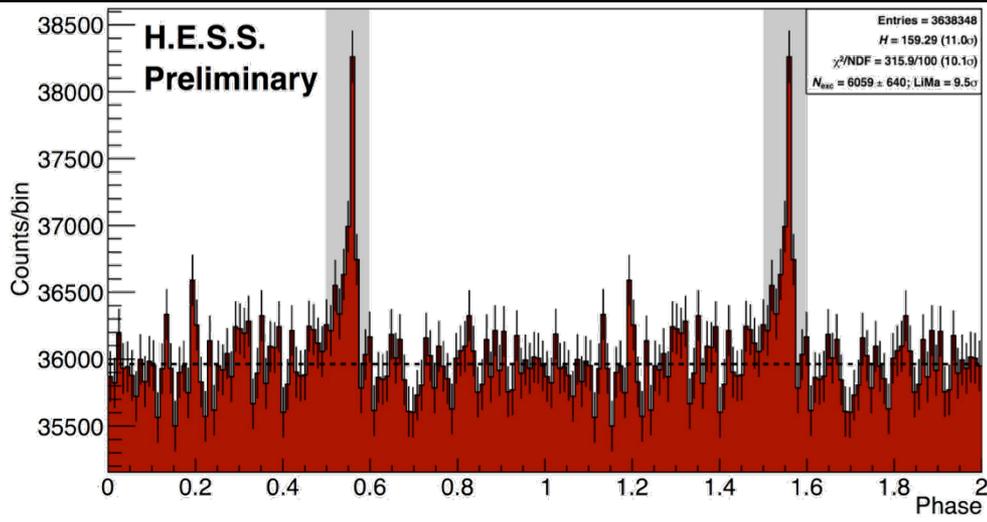
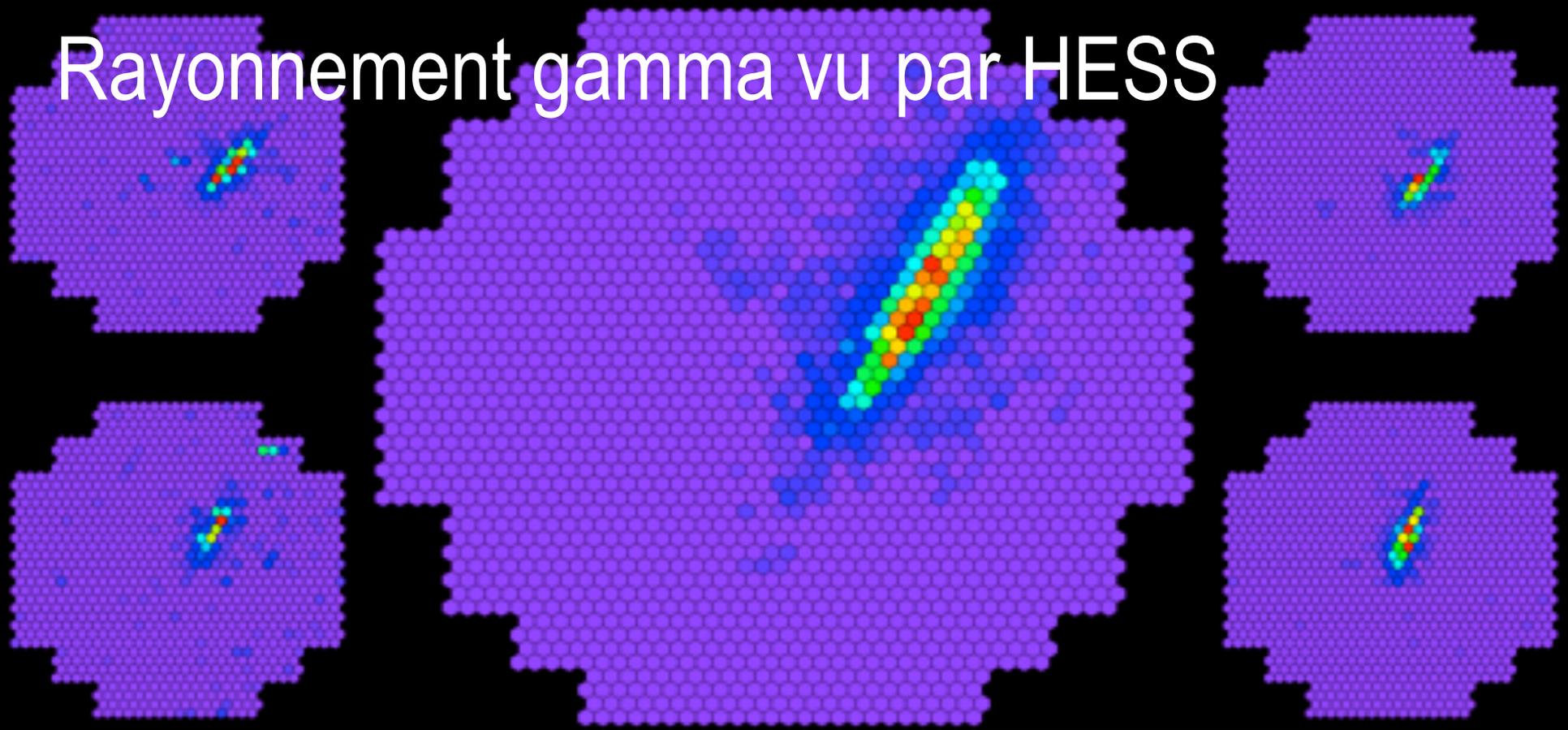
# DEPUIS LE SOL : TÉLESCOPES « CHERENKOV »

L'observatoire HESS (Namibie)

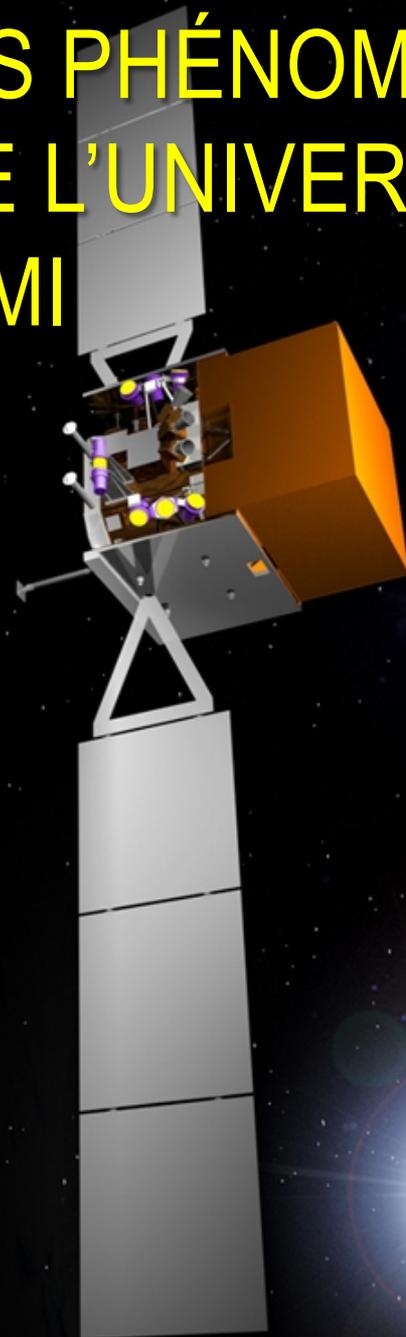
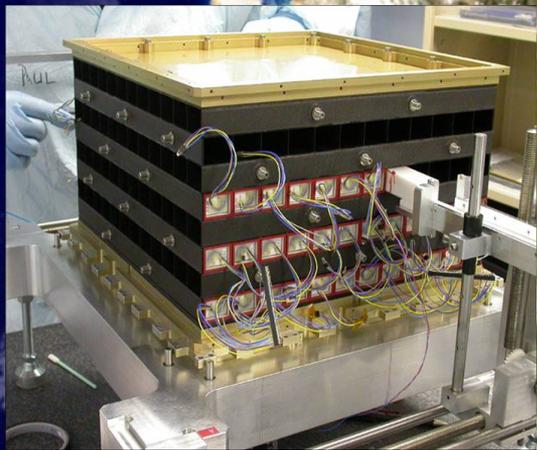
Détecte la lumière émise par l'arrêt des rayons gamma dans l'atmosphère

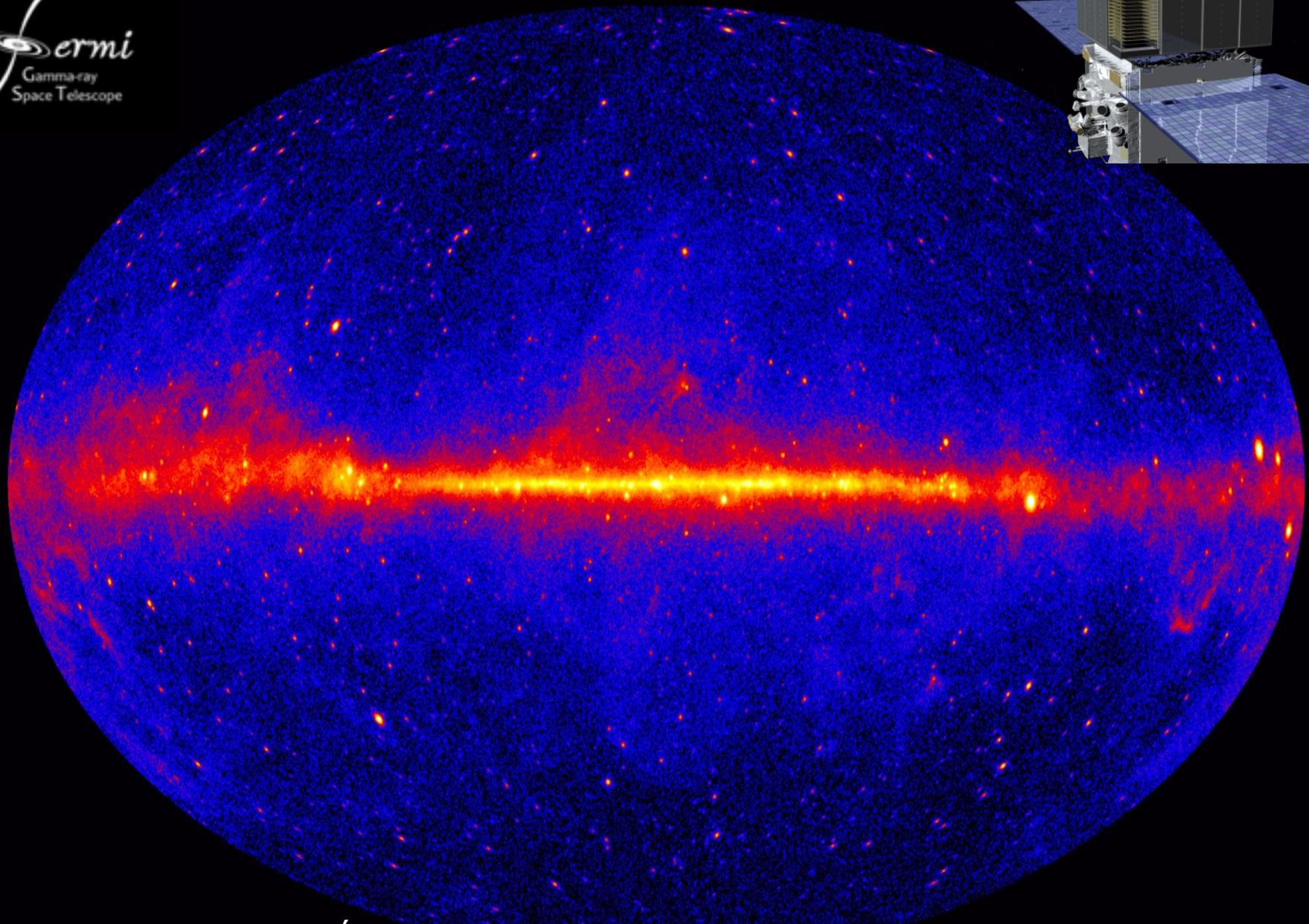


# Rayonnement gamma vu par HESS



# POUR ÉTUDIER LES PHÉNOMÈNES LES PLUS VIOLENTS DE L'UNIVERS : LE SATELLITE FERMI





SOURCES OBSERVÉES PAR LE SATELLITE FERMI

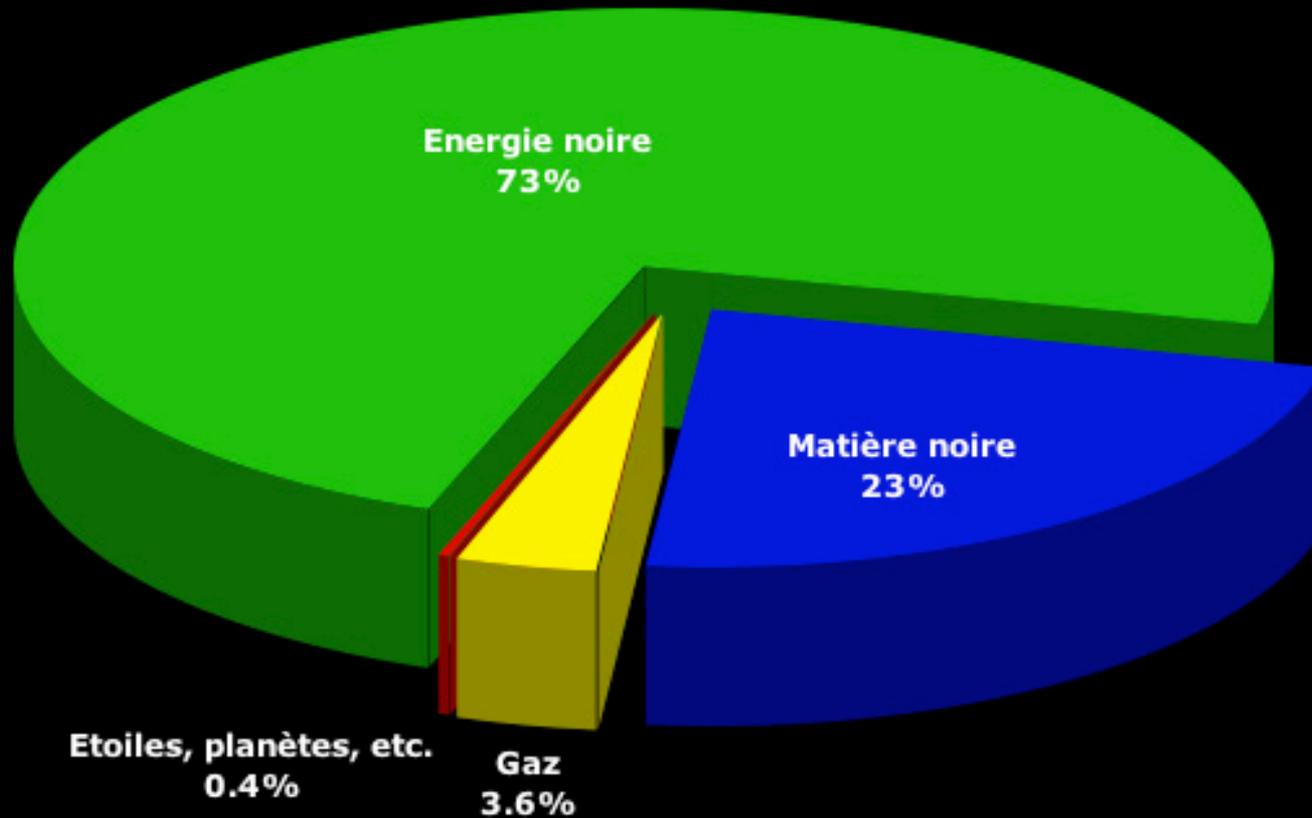
Matière noire



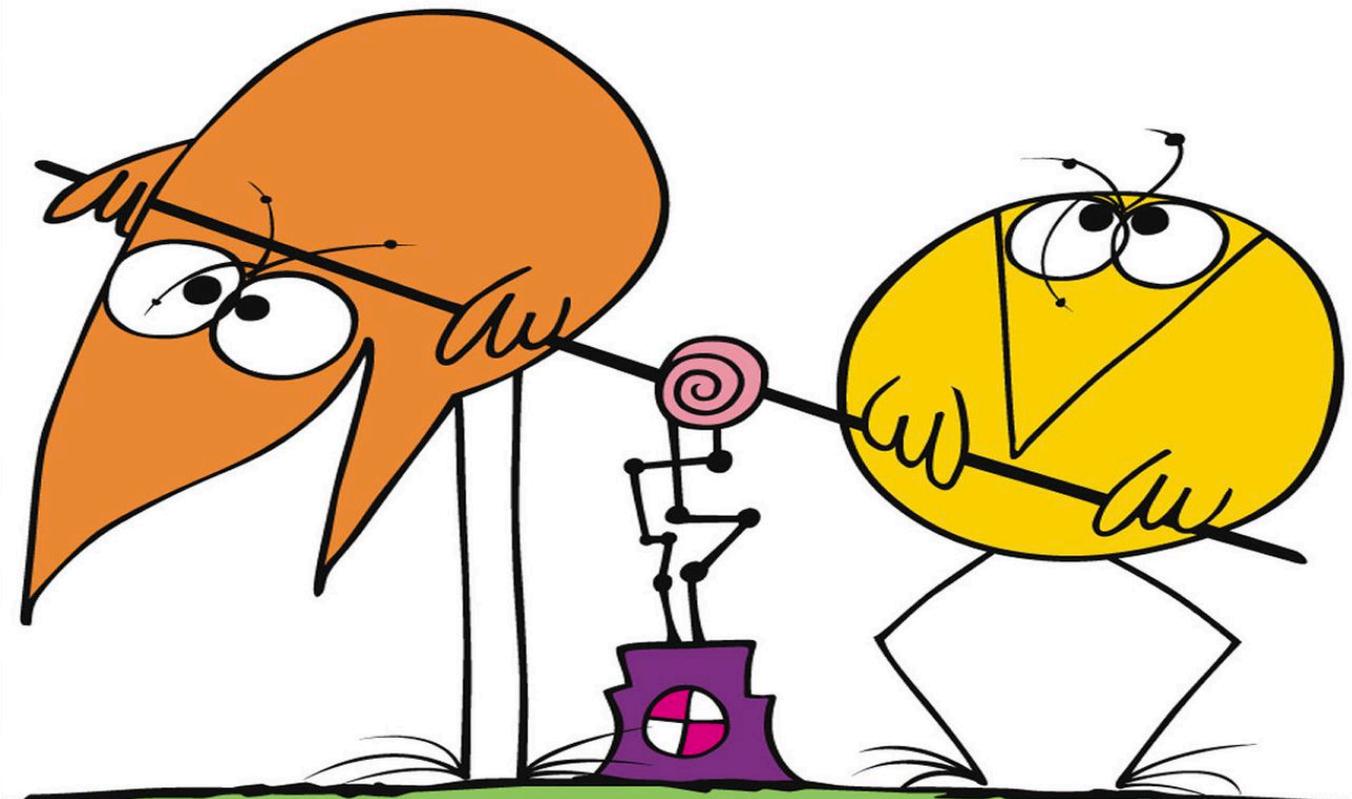
Energie noire

# ...NOIR C'EST NOIR...

## L'univers selon nos observations



NOUS CHE



Fouxel

LOI DU 19 JANVIER 2000

Supersymmetric "shadow" particles

NOUS CHERCHONS TOUJOURS À COMPRENDRE DE  
QUOI EST FAIT 96% DE NOTRE UNIVERS...

On sait ce que ce n'est pas, on ne sait pas ce que c'est...

# LA PHYSIQUE S'APPLIQUE

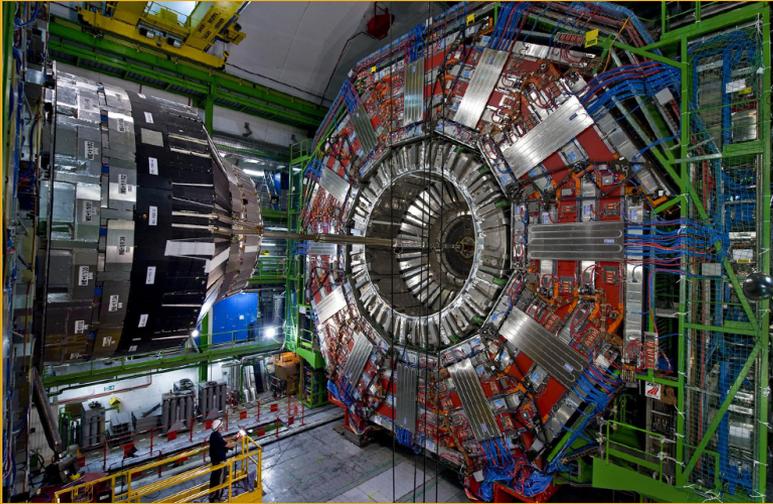


Courtesy of IBA

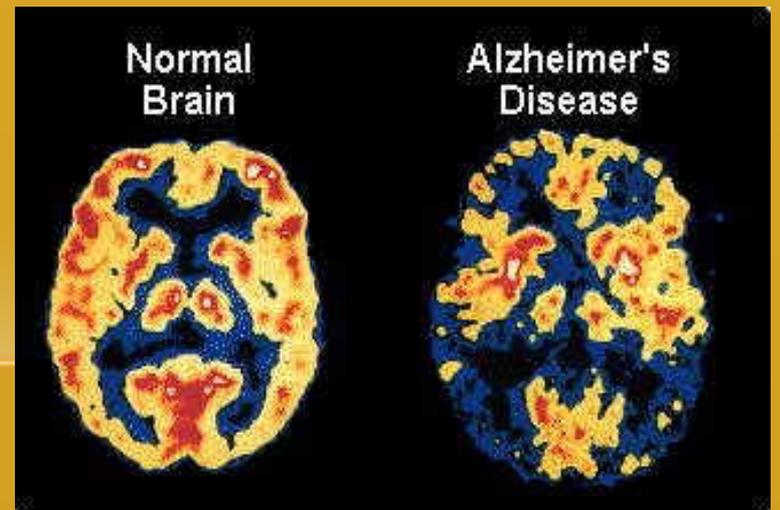
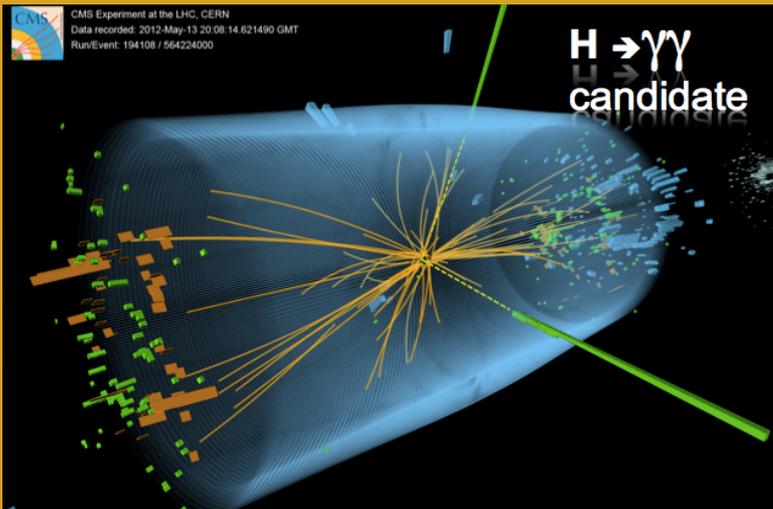
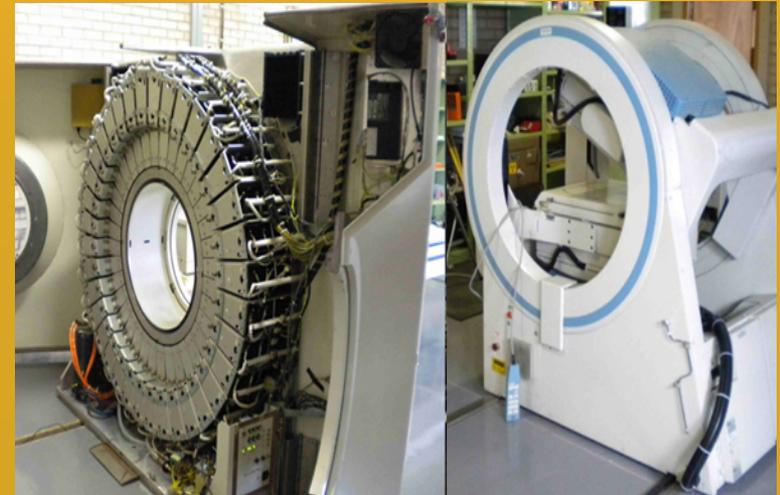
# L'IMAGERIE MEDICALE

## Des challenges similaires

CMS detector



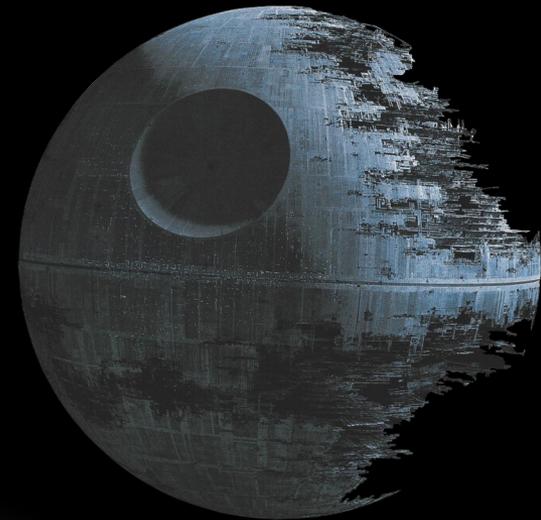
PET camera



# LES ACCÉLÉRATEURS DE PARTICULES

En plus de la recherche fondamentale, peut-on utiliser des accélérateurs de particules?

- A. Oui, pour soigner des cancers
- B. Oui, pour irradier des bananes
- C. Oui, pour détruire l'Etoile Noire
- D. Non, c'est bien trop compliqué



# LES ACCELERATEURS DE PARTICULES

Plus de 13000 accélérateurs de particules en service dans le monde

## General industrial use:

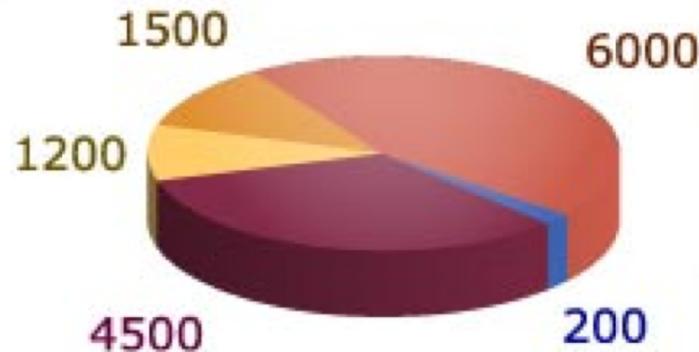
Sterilisation, imaging

## Research accelerators:

Particles, synchrotron light used in biomedical, physics, chemistry, biology, material research

## Radiotherapy:

Cancer treatment with X-rays, protons and other particles



## Ion implantation, surface modifications:

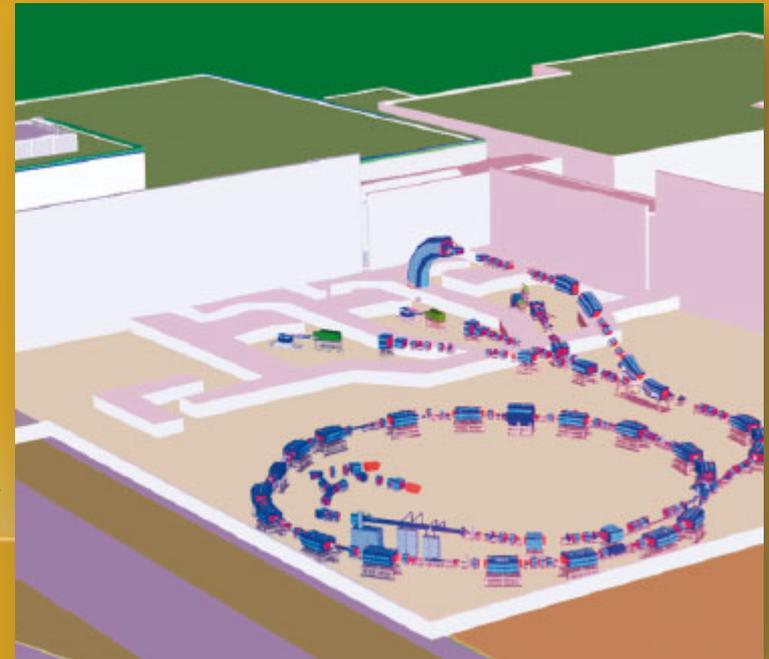
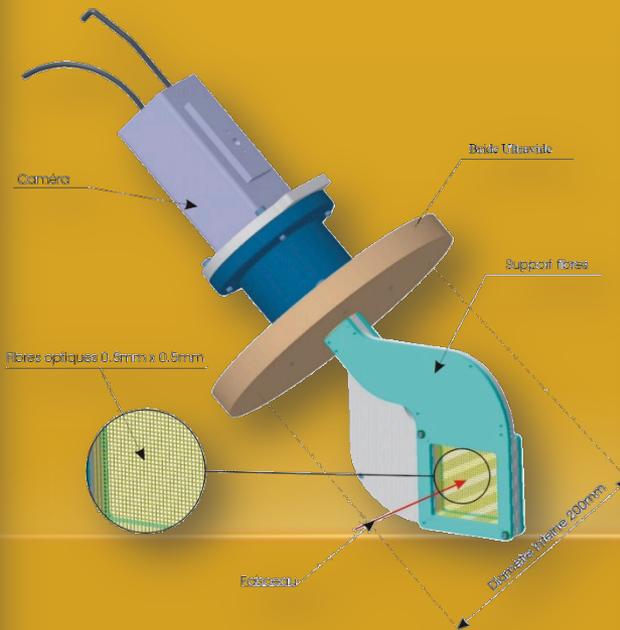
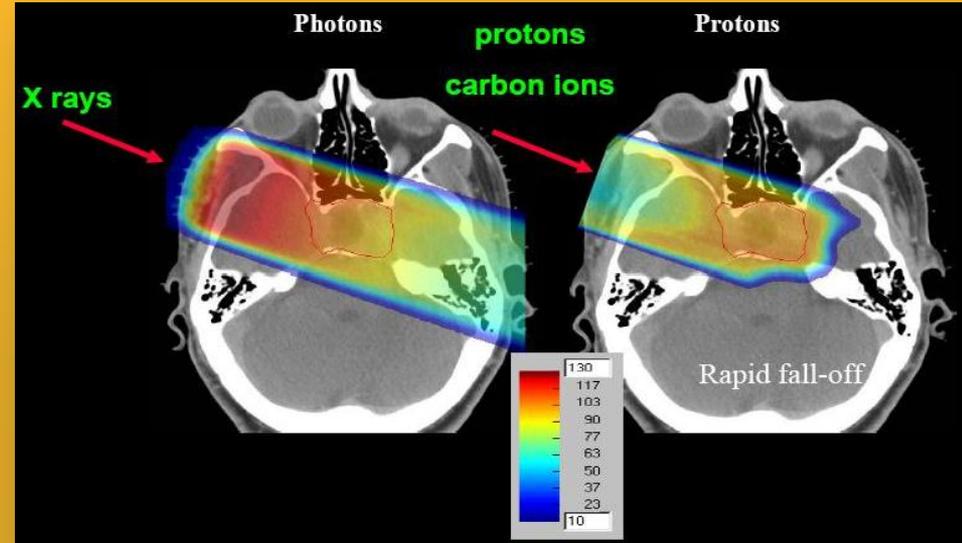
Controlled semiconductor doping; Changing properties of surfaces

## Radioisotope production:

Cancer treatment; imaging organs for medical use

# HADRONTHÉRAPIE

- Permet de soigner certains cancers par faisceaux de protons ou de noyaux
- Notre laboratoire conçoit des détecteurs pour cette application

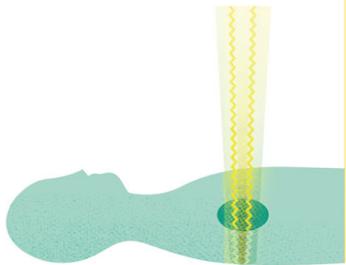


# HADRONTHERAPY

## X-RAY VS. CHARGED-PARTICLE THERAPY

### X-RAYS

X-rays used in radiation treatment pass straight through the body, damaging healthy tissue both coming and going.



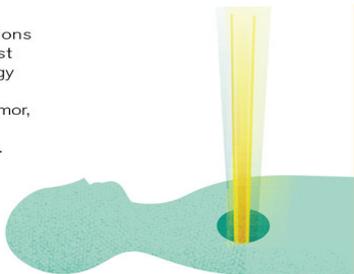
### EFFECT ON TUMOR DNA

Tumors may repair or resist some X-ray damage to their DNA.



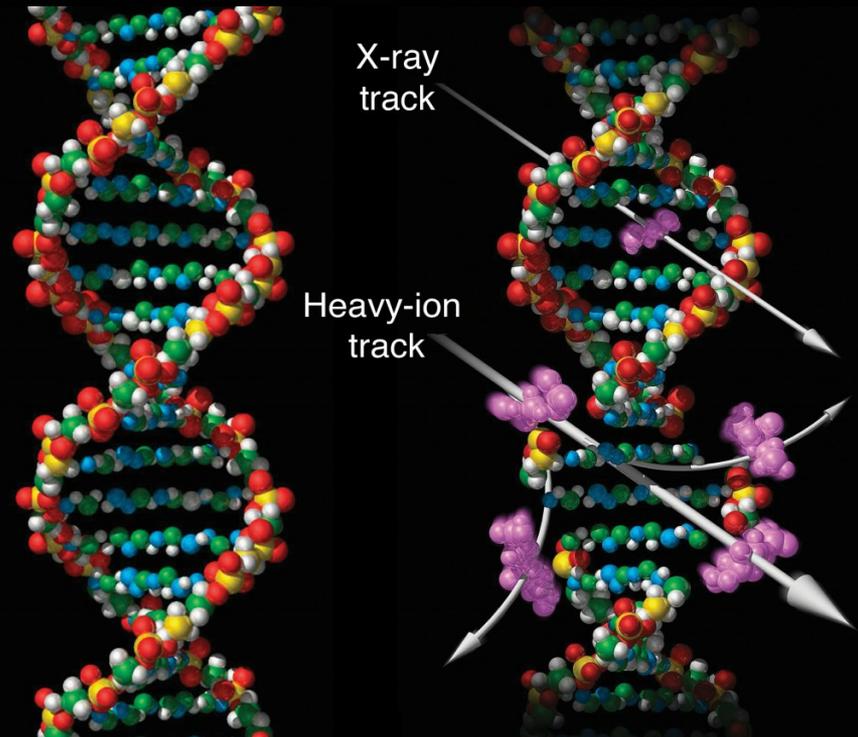
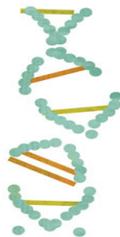
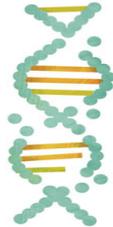
### CHARGED PARTICLES

Protons and ions deposit almost all their energy where they stop in the tumor, sparing more healthy tissue.



### EFFECT ON TUMOR DNA

Protons, left, cause slightly more damage than X-rays to tumor DNA. Carbon ions, right, cause 2-3 times more damage.



# POURQUOI FAIT-ON CE TYPE DE RECHERCHES QUI COÛTE POURTANT TRÈS CHER ?

- A. parce que certaines de ces découvertes trouveront une application un jour
- B. parce que cela produit des connaissances nouvelles
- C. parce que tout ce qui n'a pas été découvert ne pourra jamais être utilisé
- D. parce que ces recherches poussent les ingénieurs et les industriels à mettre au point des technologies utiles par la suite
- E. parce que c'est dans la nature de l'Humanité d'essayer de comprendre le monde qui nous entoure