

Centre de physique des particules de Marseille (CPPPM)

Un laboratoire au coeur de l'Univers et de la matière

Atelier Cinésciences
Lycée René Char

Yann Coadou

30 avril 2019



Le CPPM



Le Centre de Physique des Particules de Marseille

Les tutelles :

- ▶ le CNRS/IN2P3

Institut National de Physique Nucléaire et
de Physique des Particules



Depuis 80 ans, nos connaissances
bâtissent de nouveaux mondes

- ▶ Aix-Marseille Université



Le personnel : ~ 185 personnes

- ▶ ~40 chercheurs et enseignants chercheurs
- ▶ ~90 ingénieurs et techniciens
- ▶ ~30 doctorants
- ▶ + 60 visiteurs étrangers
- ▶ + 30 stagiaires

Les laboratoires de l'IN2P3 :



Vocation

Recherche

► fondamentale

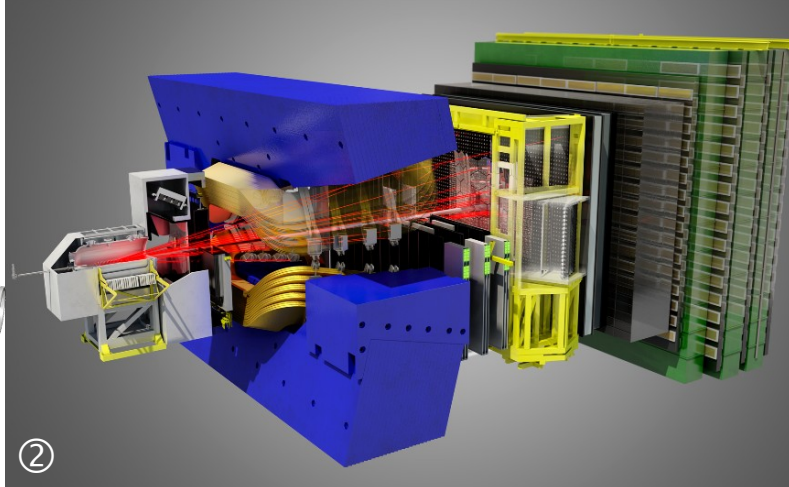
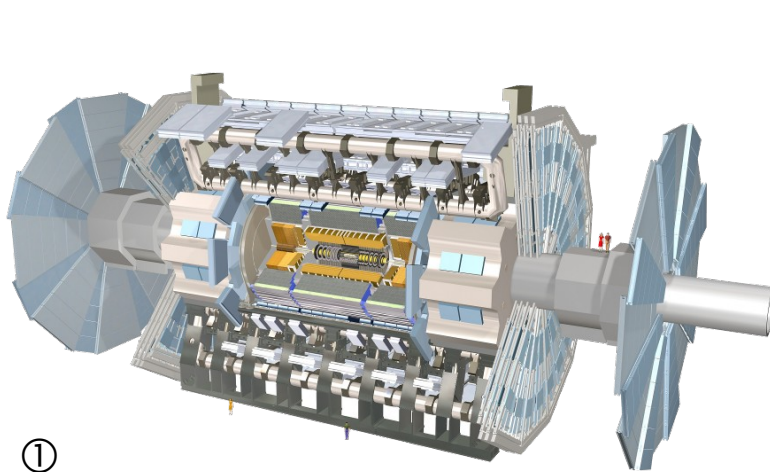
- **physique des particules**
étude des constituants élémentaires de la matière et de leurs interactions
- **astroparticules**
observation des particules élémentaires dans l'Univers
- **cosmologie observationnelle**
compréhension de la composition de l'Univers primordial et de son évolution

► expérimentale

- participation à de grands projets internationaux
- mise en œuvre de moyens techniques avancés en **électronique**, en **mécanique**, en **informatique** et en **instrumentation**

Interdisciplinarité & valorisation

- application des techniques développées pour la physique fondamentale à d'autres thématiques



②

③

①

Auprès d'accélérateurs :

- ATLAS ① et LHCb ② @ LHC (Genève) p-p

En profondeur :

- sous les montagnes : SuperNemo (Modane) ③
- fond marin : Antares, KM3NeT, ORCA (Méditerranée) ④

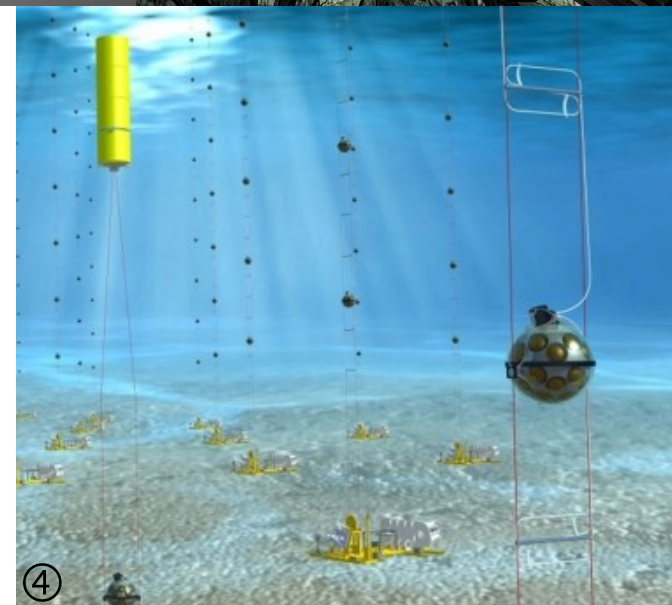
Face au ciel :

- dans le désert : HESS (Namibie)⑤, CTA (Chili, Canaries)⑥
- au sommet des montagnes : eBOSS, LSST ⑦
- dans l'espace : SVOM, EUCLID ⑧

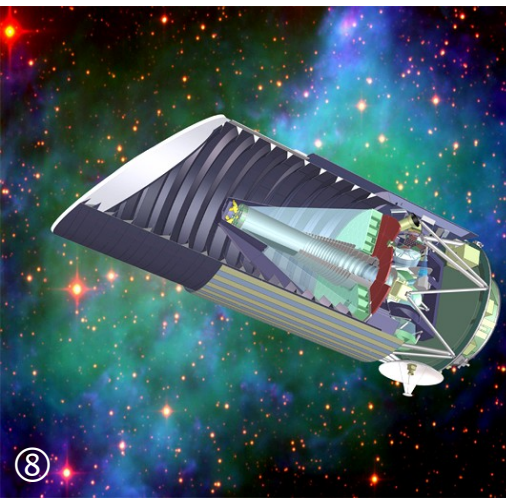
Etude des constituants élémentaires
Recherche de nouvelle physique

Astronomie neutrino, gamma
Approche multi-messagers

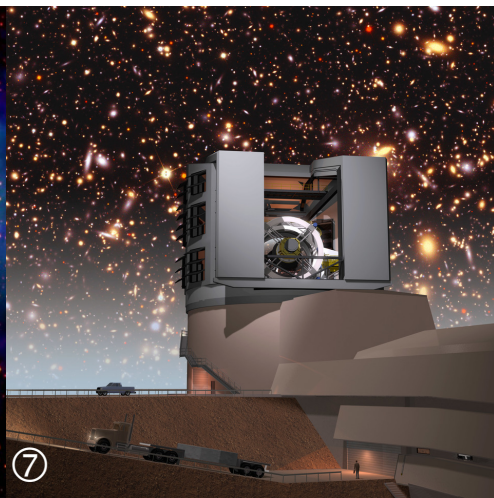
Caractérisation de l'énergie noire
Approche multi-sondes



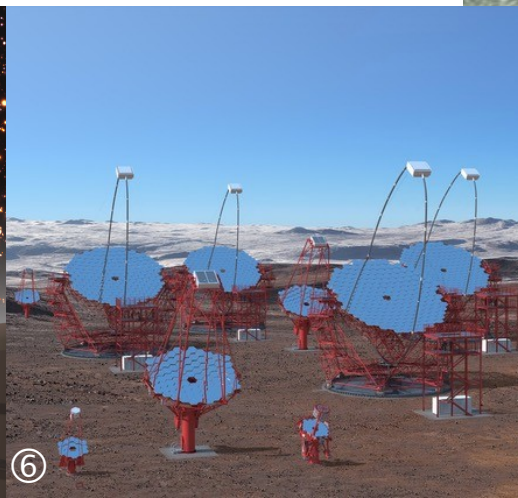
④



⑧



⑦



⑥



⑤

CPPM at the heart of international experiments



The Euclid Satellite
Space telescope of the European Space Agency (ESA), with the French National Centre for Space Research (CNES)

The SVOM Satellite
Space telescope of the China-National Space Administration (CNSA) and the French-National Centre for Space Research (CNES)



The SNLS experiment
The CFHT Telescope
Hawaii (USA)

The BOSS/eBOSS experiments
Sloan Telescope
New Mexico (USA)

The F-GT Telescope
Baja California (Mexico)

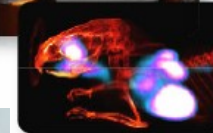
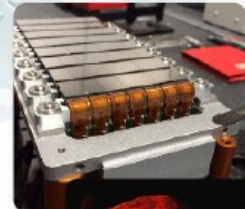


The LHCb detector
LHC/CERN
Geneva (Switzerland)



The ATLAS detector
LHC/CERN
Geneva (Switzerland)

Hybrid pixel detectors
SOLEIL synchrotron Saint-Aubin (France)
ESRF D2am Grenoble (France)

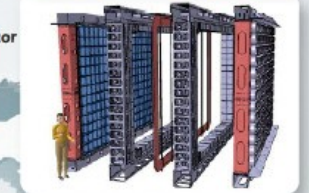


Hybrid pixel detectors
Cerimed Marseille (France)

The MEUST/NUMerEnv deep-sea infrastructure
Mediterranean Sea (off Toulon, France)

The CTA Telescope
Canary Islands (Spain)

The SuperNEMO Detector
Modane Underground Laboratory (France)

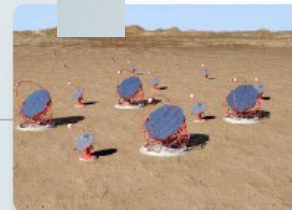


The KM3NeT Deep-sea neutrino Telescope
Mediterranean Sea (France and Italy)



The ANTARES Deep-sea neutrino Telescope
Mediterranean Sea (off Toulon, France)

The HESS Telescope
Gamsberg (Namibia)



The CTA Telescope
Paranal (Chile)

The LSST Telescope
Cerro Pachón (Chile)



PARTICLE PHYSICS

- **ATLAS**
- **LHCb**
- **KM3NeT/ORCA**
- **SuperNEMO**

ASTROPARTICLE PHYSICS

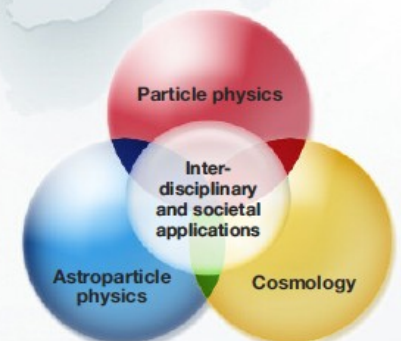
- **HESS**
- **CTA**
- **ANTARES**
- **KM3NeT**
- **SVOM & F-GT**

COSMOLOGY

- **SNLS**
- **BOSS/eBOSS**
- **LSST**
- **Euclid**

INTERDISCIPLINARY AND SOCIETAL APPLICATIONS

- Pixel detectors for medical imaging
- GRID computing
- MEUST/NUMerEnv deep-sea infrastructure

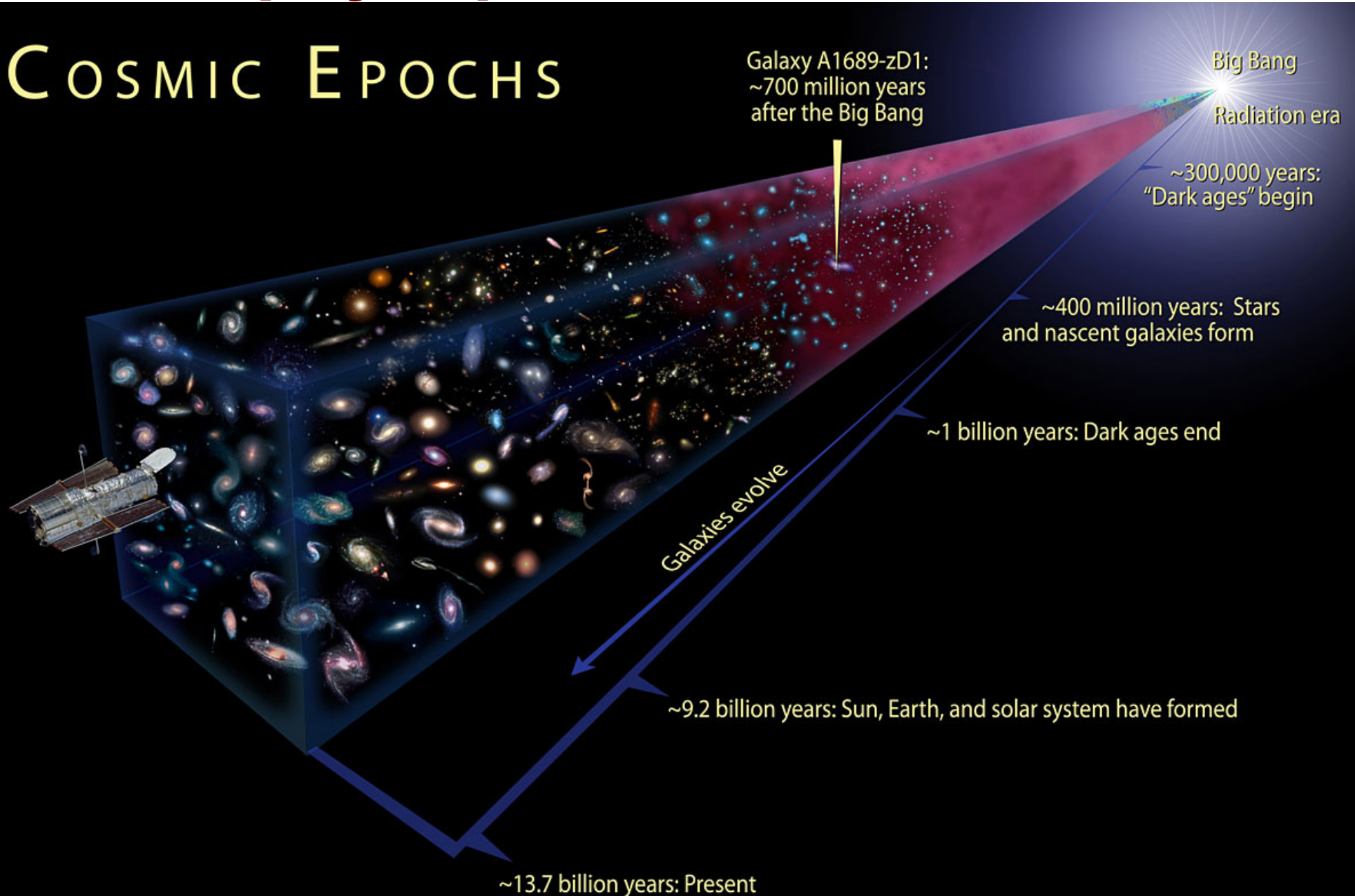


Beaucoup d'énergie

- Augmenter l'énergie permet de :
 - ▶ sonder des distances plus courtes ($E = hc/\lambda$)
 - ▶ produire des particules plus massives ($E=mc^2$)
 - ▶ « remonter » dans le temps (conditions qui prévalaient au début de l'univers quand il était plus chaud)
- Sources d'énergie :
 - ▶ accélérateurs de particules
 - le LHC au CERN (présentation suivante)
 - ▶ premiers âges de l'Univers
 - cosmologie
 - ▶ phénomènes cosmiques violents
 - rayons cosmiques et astroparticules

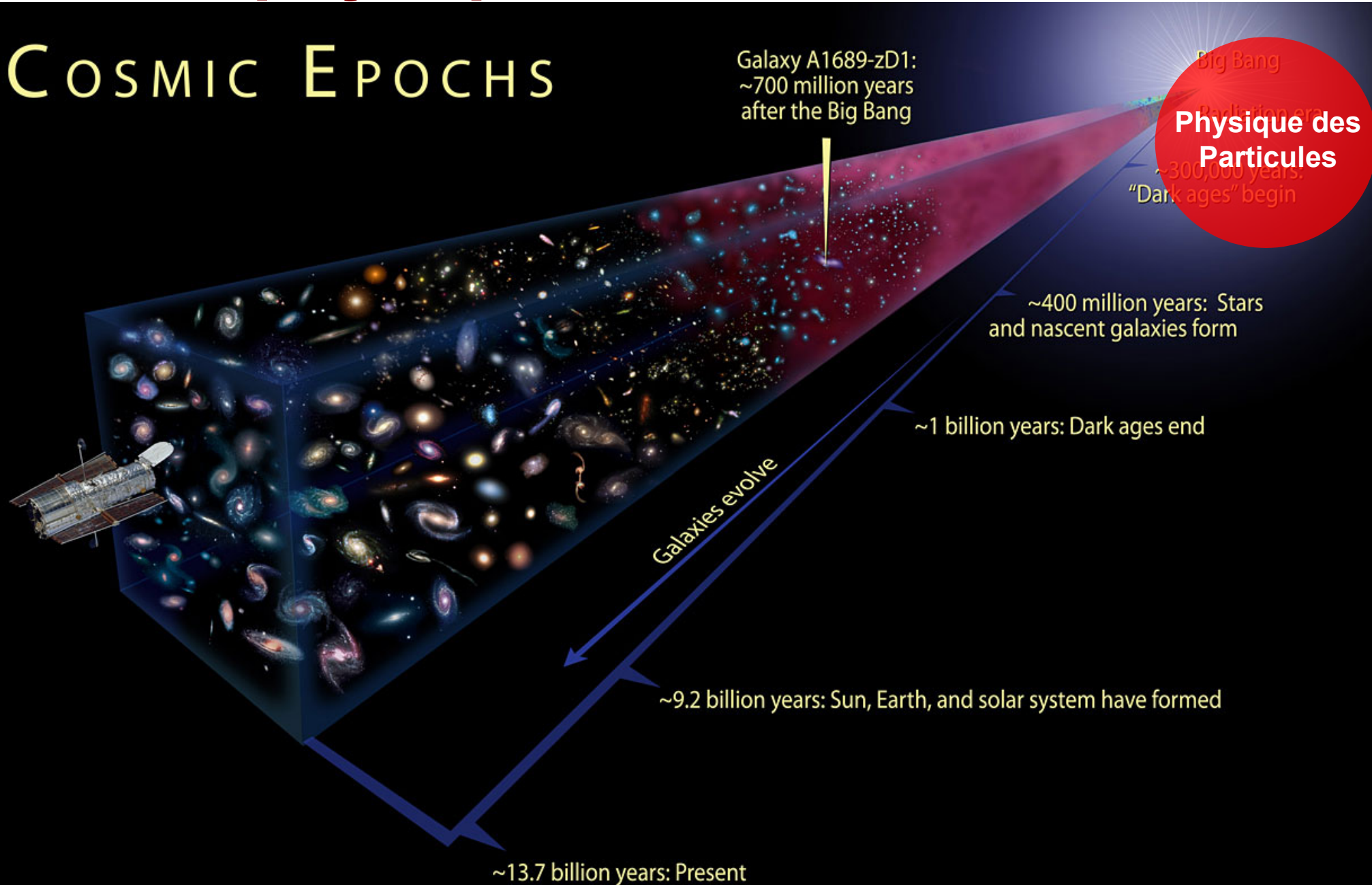
La recherche au CPPM : la physique des deux infinis !

COSMIC EPOCHS



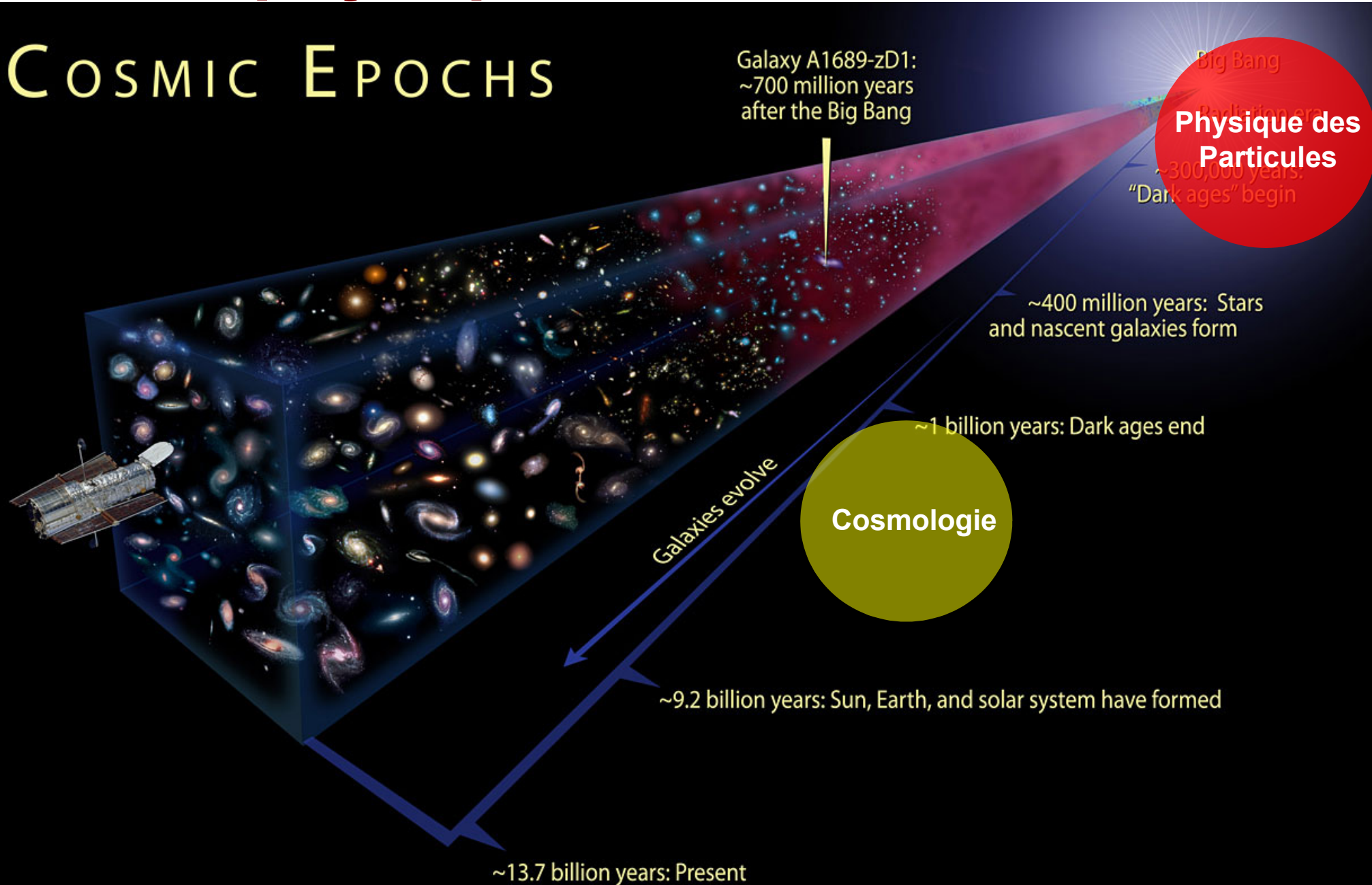
La recherche au CPPM : la physique des deux infinis !

COSMIC EPOCHS



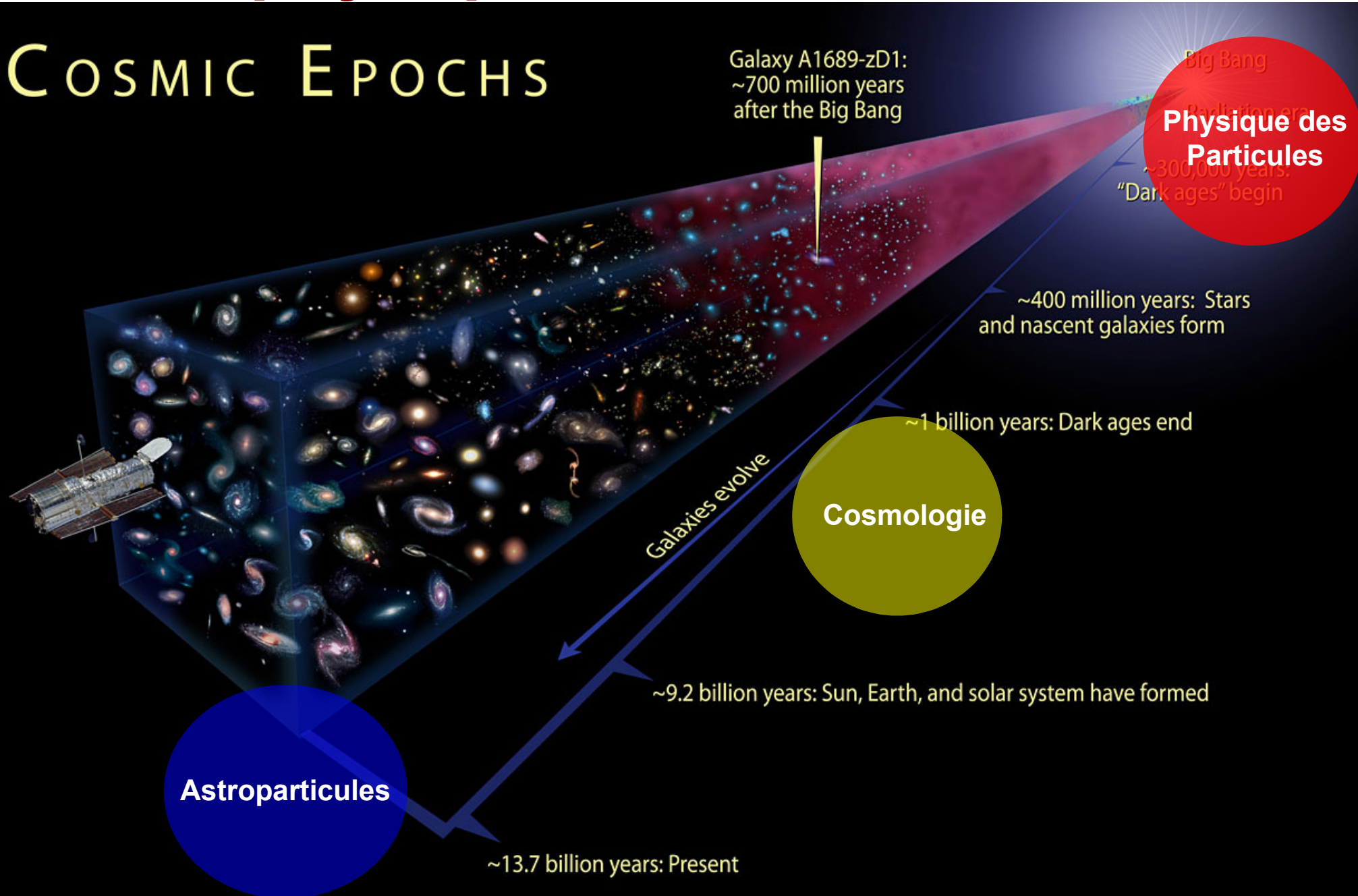
La recherche au CPPM : la physique des deux infinis !

COSMIC EPOCHS



La recherche au CPPM : la physique des deux infinis !

COSMIC EPOCHS



Interdisciplinarité, applications sociétales

Application interdisciplinaire :
imagerie bio-médicale

© Camille Moirenc

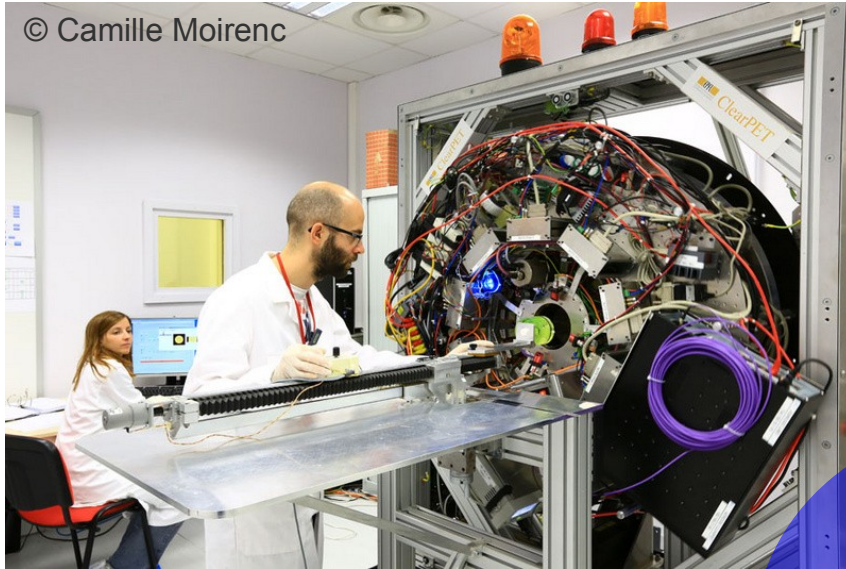
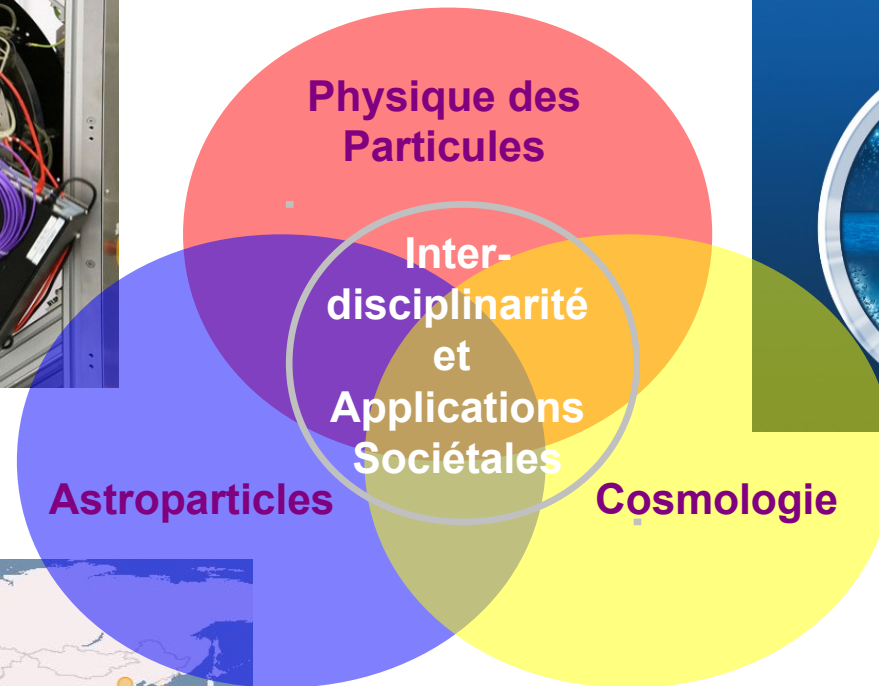
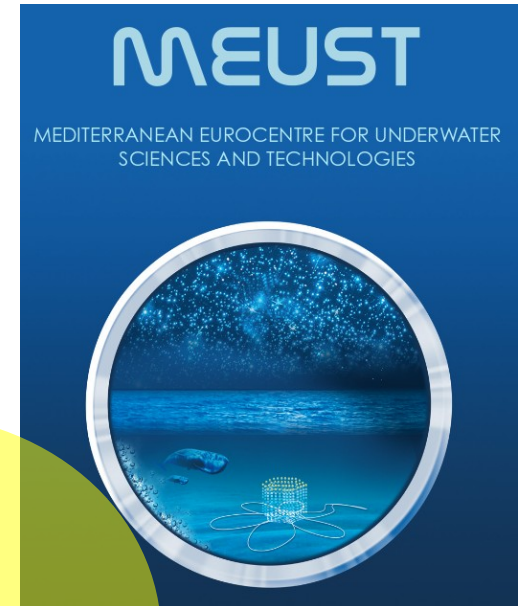
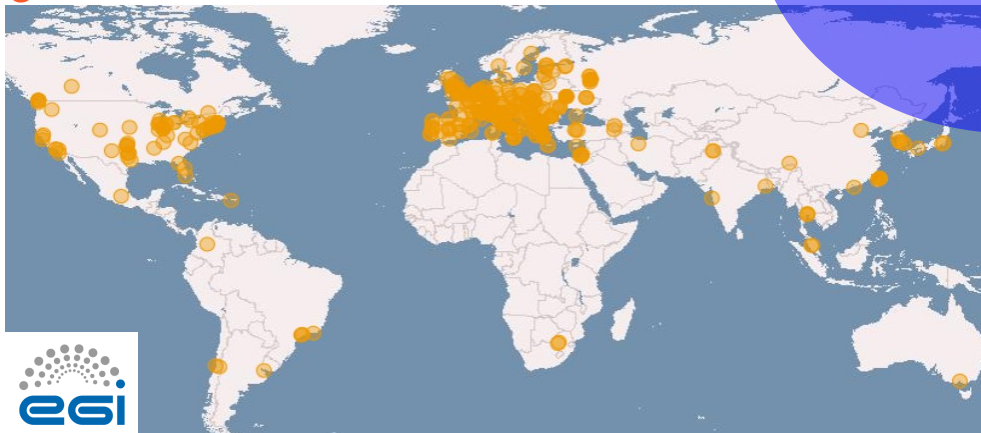


Plate-forme multi-disciplinaire :
détecteurs sous-marins



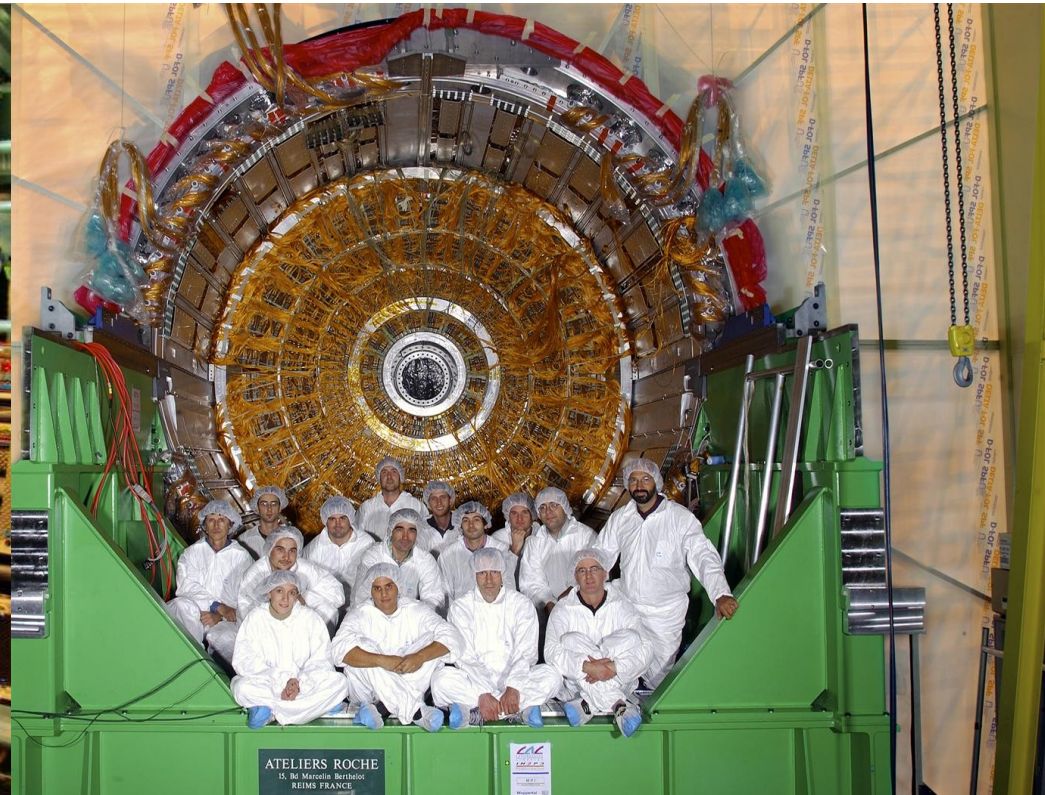
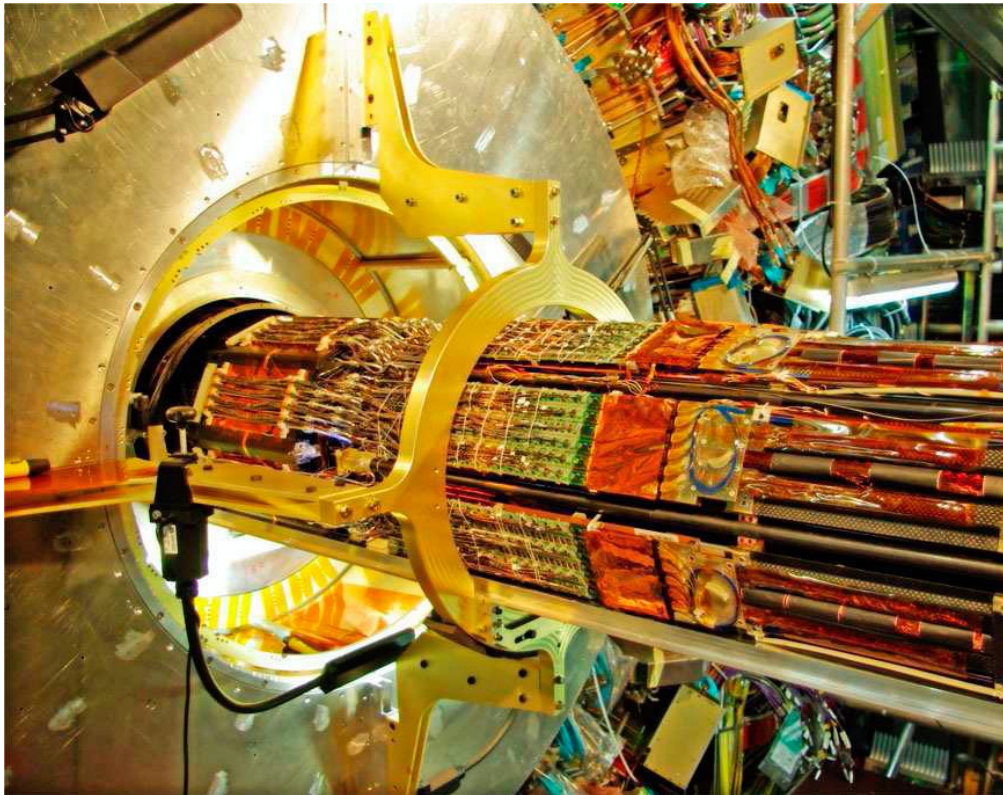
Mutualisation des ressources :
grille de calcul

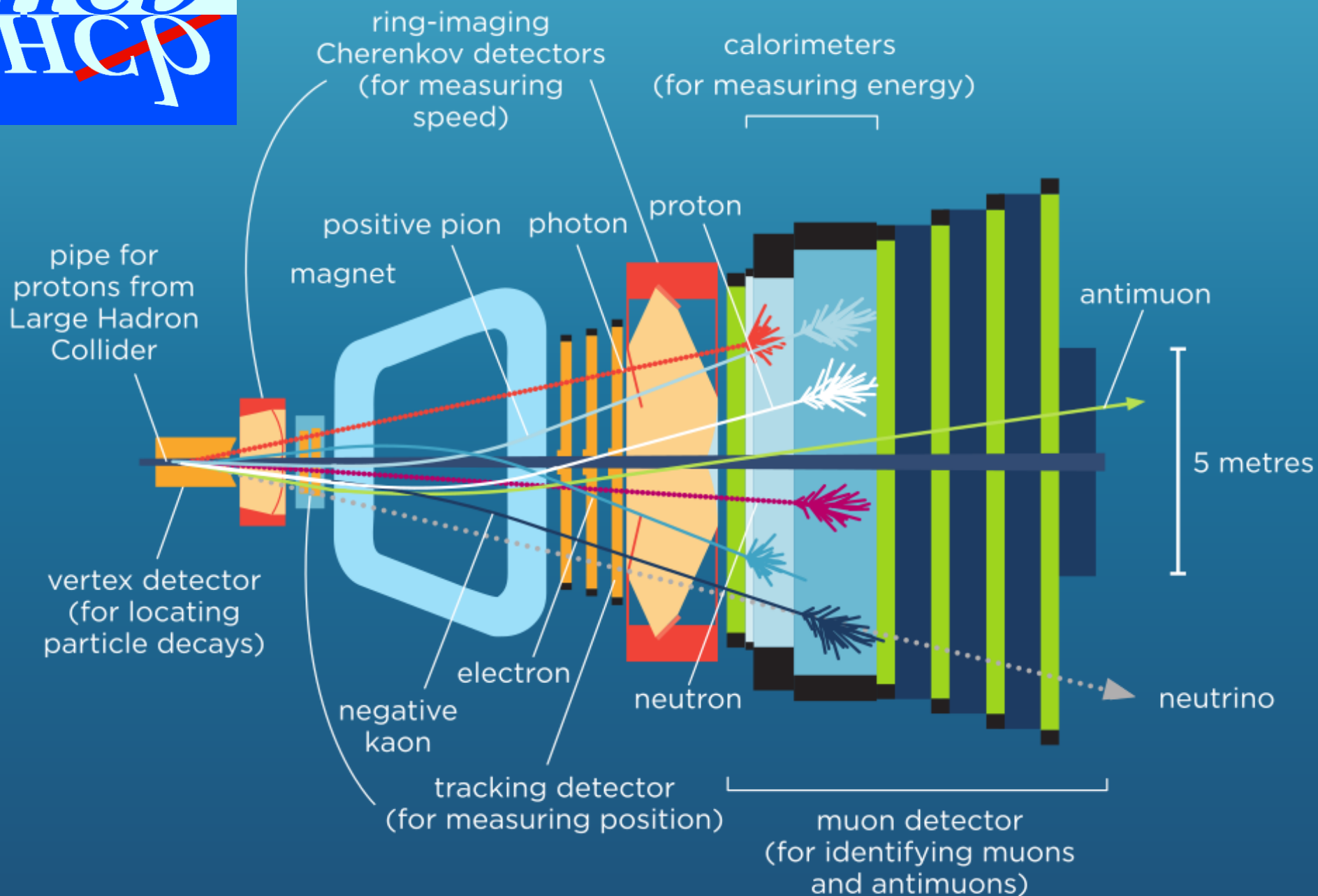


- Et aussi transferts vers
 - l'industrie
 - le monde académique
 - le grand public

Activités ATLAS

- Design, construction, tests en faisceau, installation et maintenance, opérations au jour le jour de plusieurs parties:
 - bouchon du calorimètre électromagnétique à argon liquide
 - bouchon du détecteur à pixels
 - système de déclenchement
- Physique : mesures du modèle standard, étude du quark top, découverte et étude du boson de Higgs, recherche de nouvelle physique
- R&D et construction d'un nouveau détecteur à pixels pour la suite du LHC





LHCb

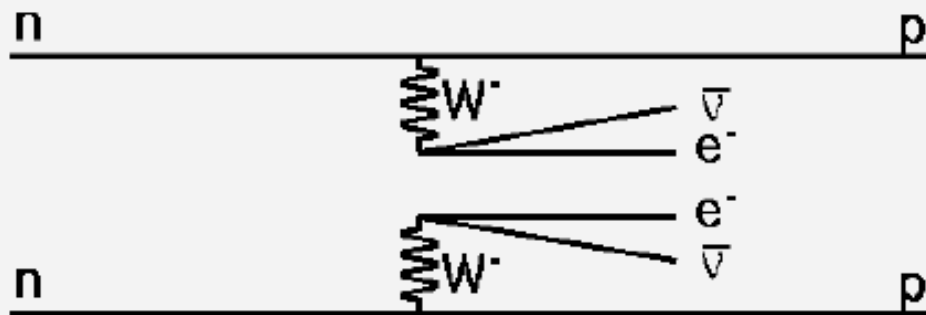
- Mesures de précision du Modèle Standard
- Etude de la violation de la symétrie matière/antimatière
- Recherches indirectes de Nouvelle Physique
- Trigger/DAQ pour le détecteur de μ

Etude de la nature du neutrino : SuperNEMO

• Désintégration double-béta :

► Avec émission de deux neutrinos

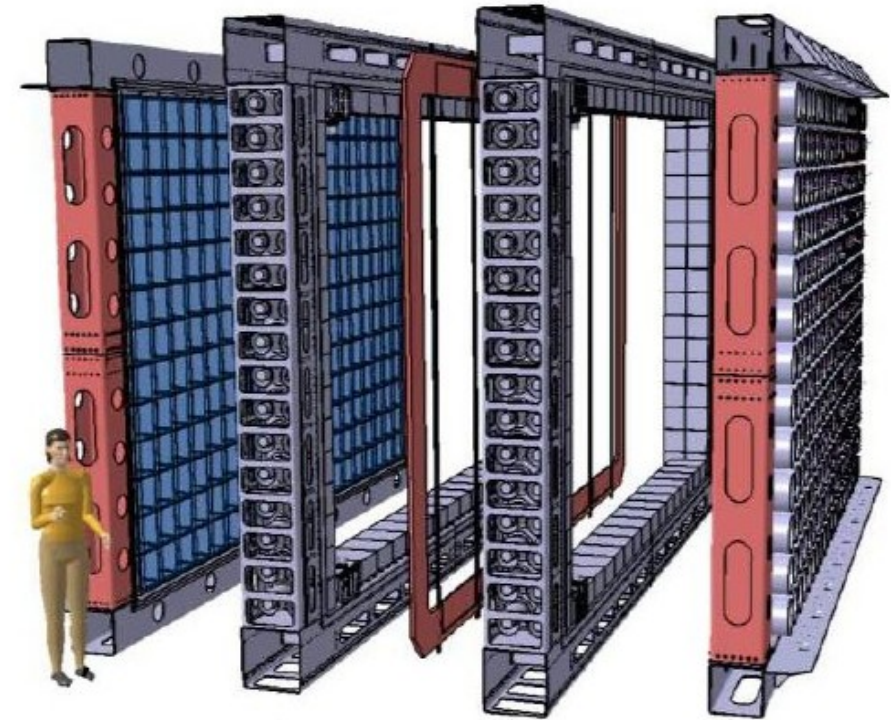
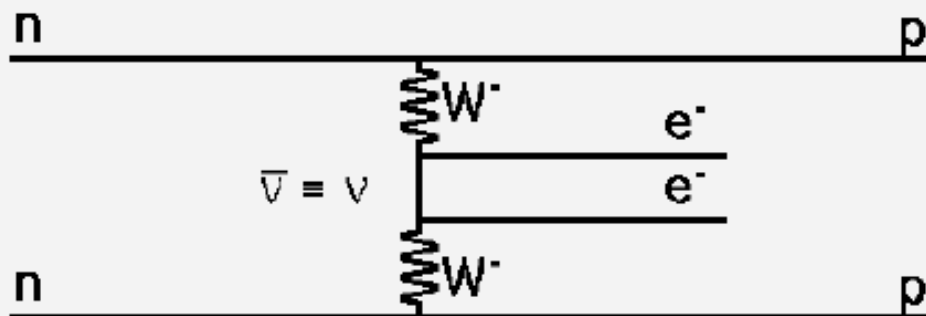
$$(Z,A) \rightarrow (Z+2,A) + e_1^- + e_2^- + \bar{\nu}_{e1} + \bar{\nu}_{e2}$$



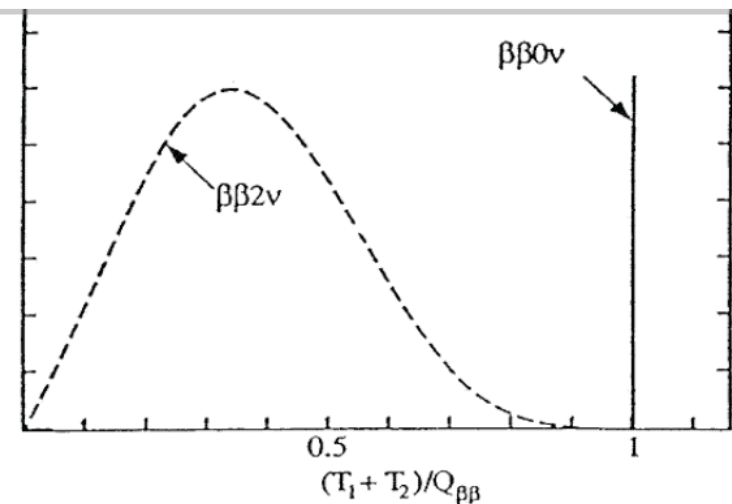
► Sans émission de neutrinos

- Seulement possible si neutrino = anti-neutrino

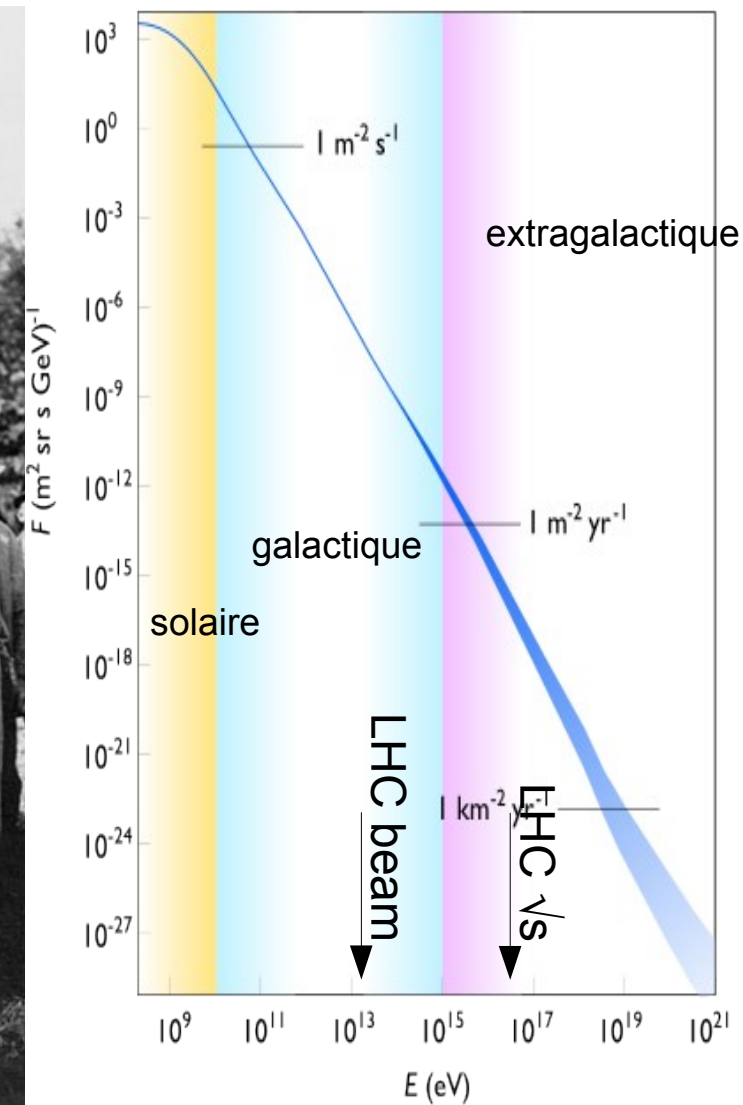
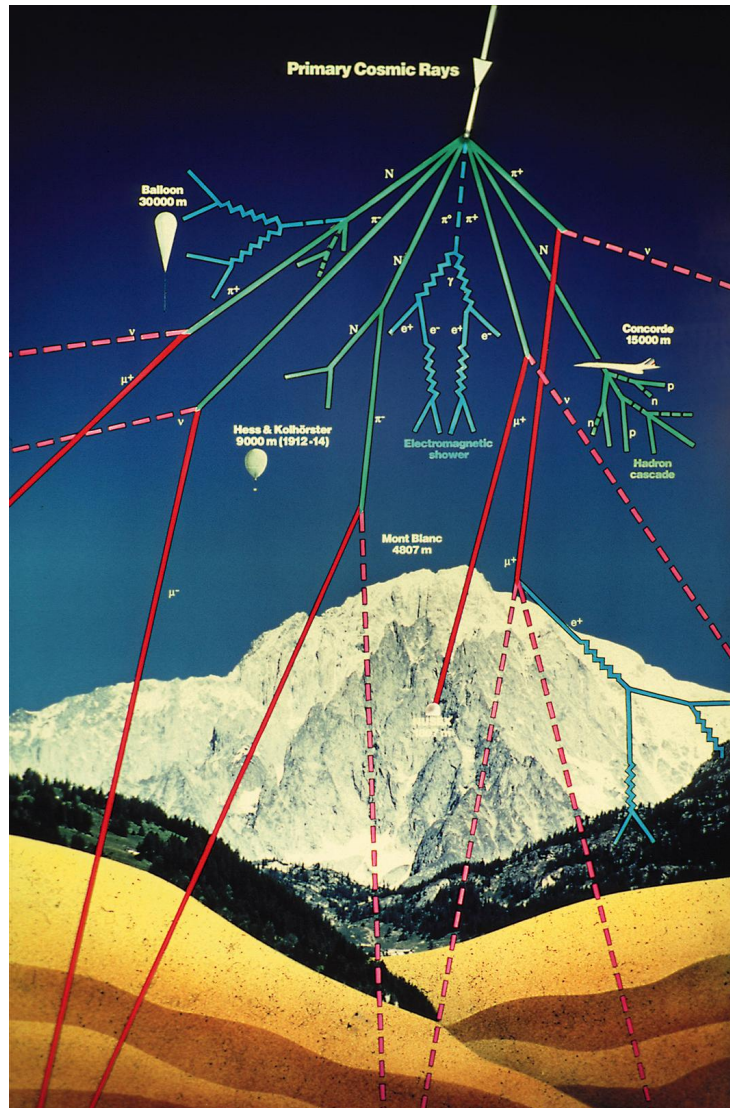
$$(Z,A) \rightarrow (Z+2,A) + e_1^- + e_2^-$$



Radio-purification du gaz de détection

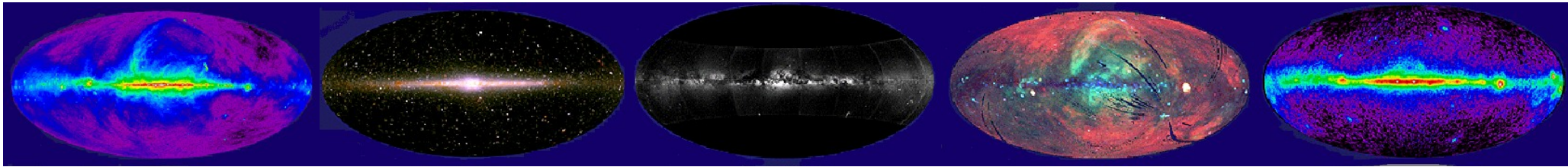


Rayons cosmiques



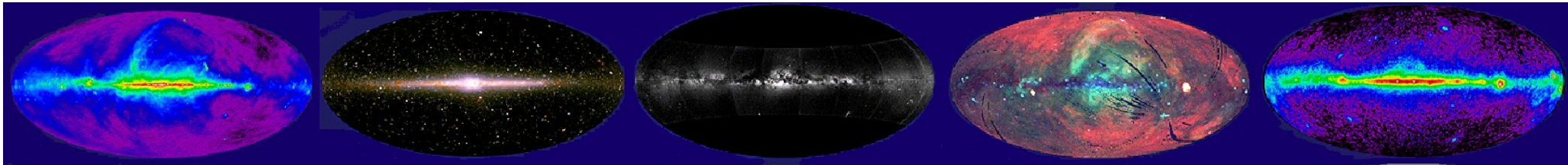
Astroparticules

- Connaissance de l'Univers par la lumière

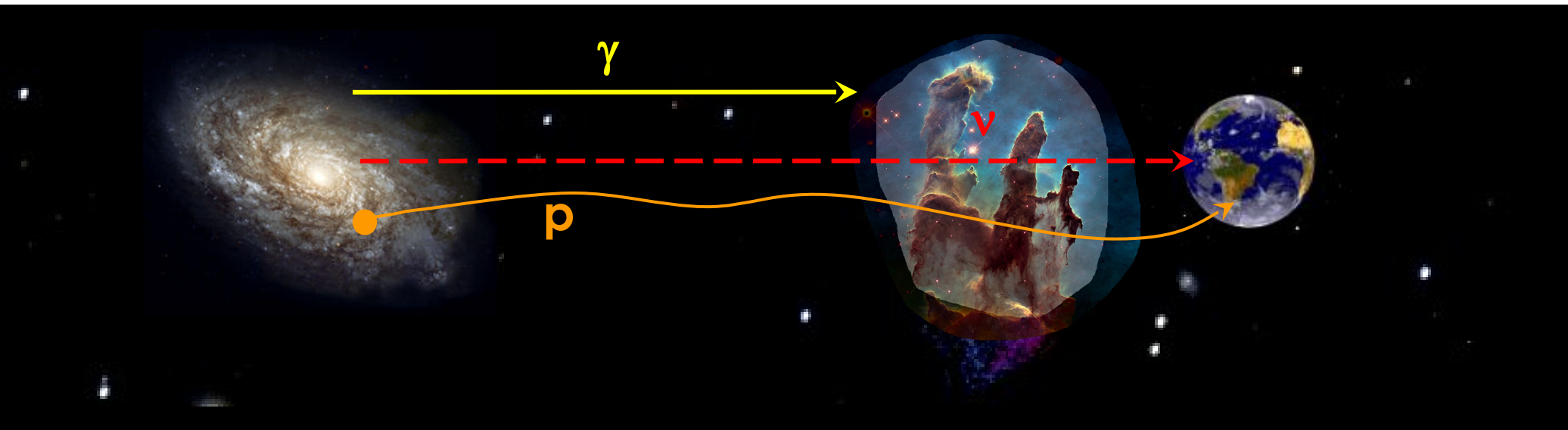


Astroparticules

- Connaissance de l'Univers par la lumière

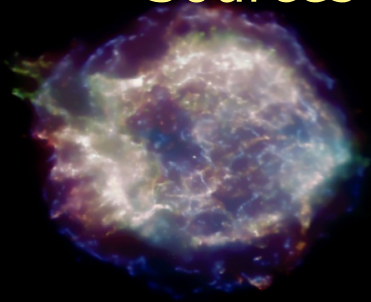


- Utilisation d'un nouveau messenger : le neutrino

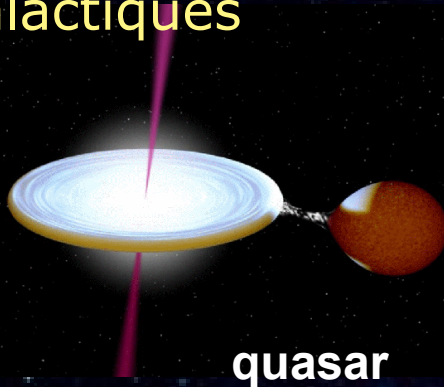


Sources potentielles de neutrinos/photons de haute énergie

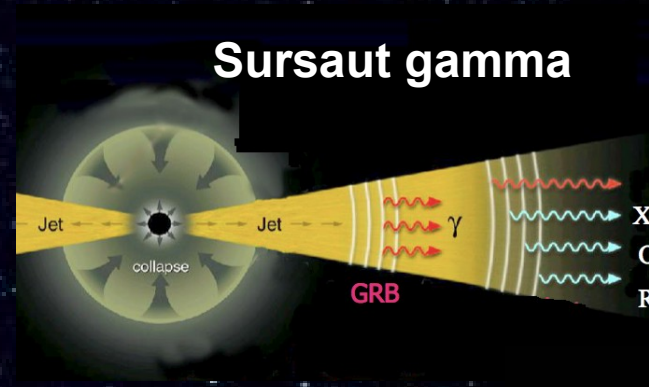
Sources galactiques



Restes de supernovae

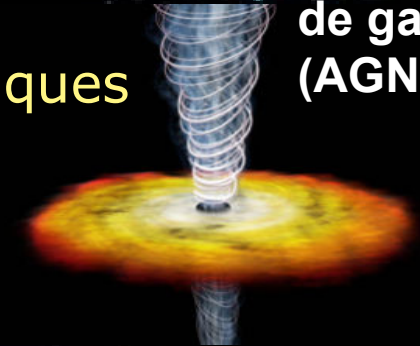


quasar



Sursaut gamma

Sources extragalactiques

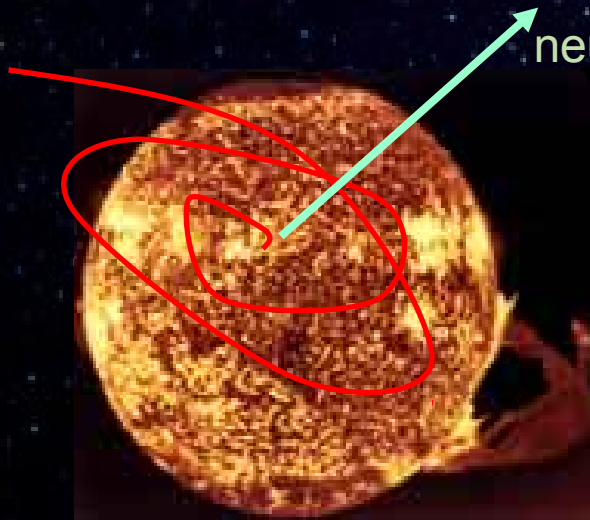


Noyau actif de galaxie (AGN)

Mais aussi de matière noire...

WIMP

Soleil



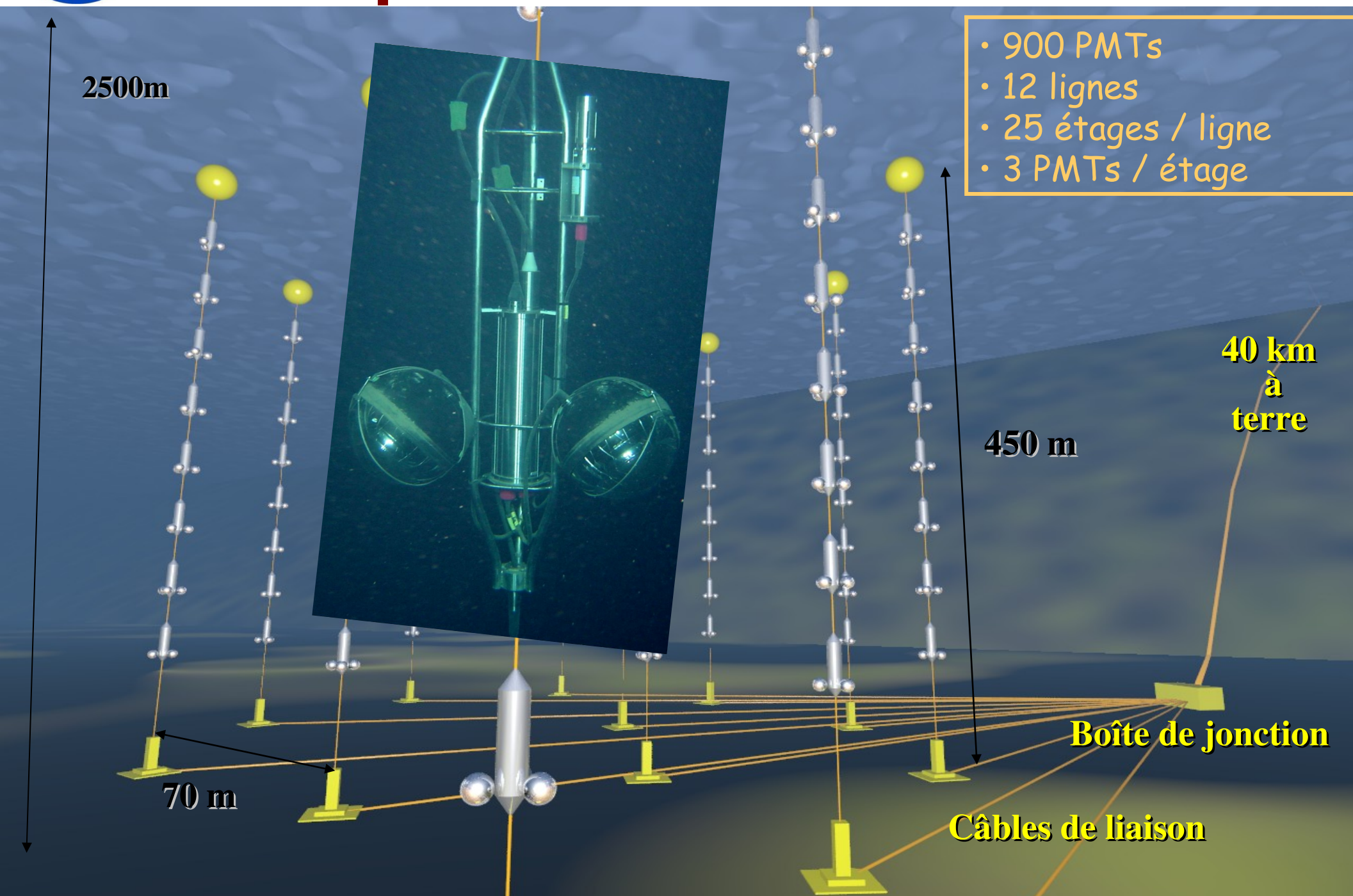
neutrinos

Accrétion dans le Soleil suivie d'auto-annihilations de particules de matière noire

Astronomie neutrino/gamma :
Carte des phénomènes les plus catastrophiques de l'Univers



Le pionnier : ANTARES





Le pionnier : ANTARES

2500m

- 900 PMTs
- 12 lignes
- 25 étages / ligne
- 3 PMTs / étage

40 km
à
terre

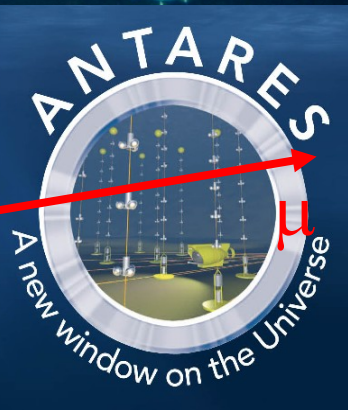
450 m

Boîte de jonction

Câbles de liaison

Neutrino

ν

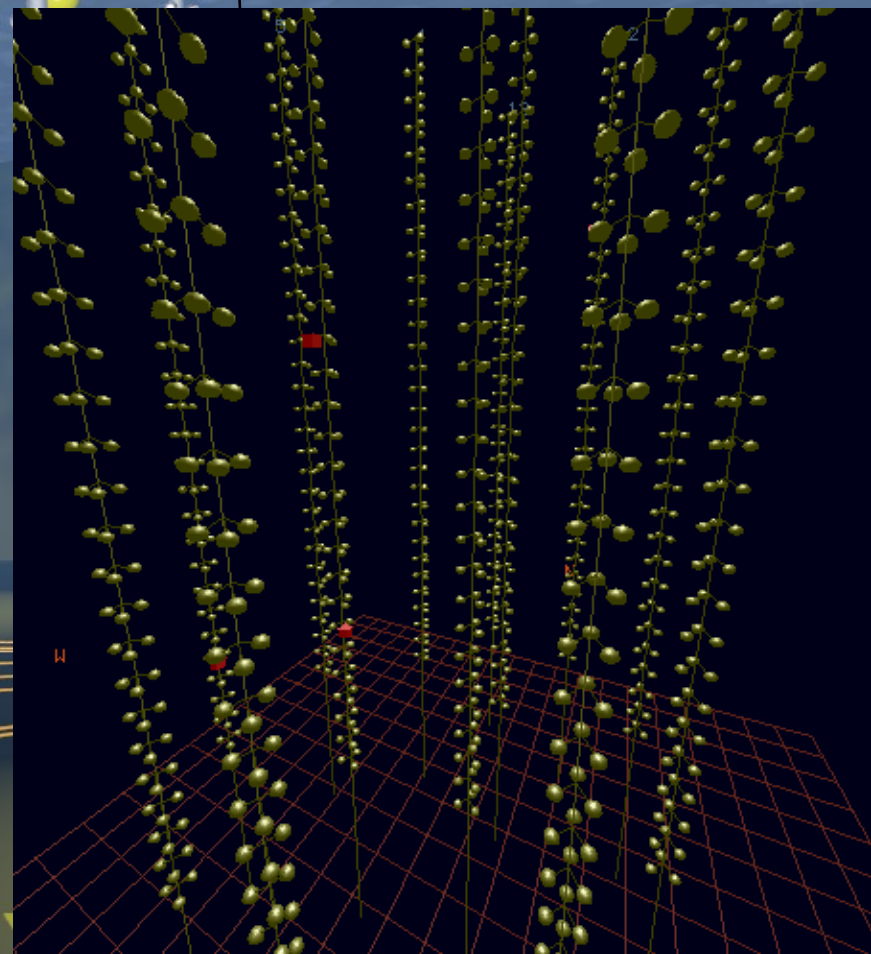
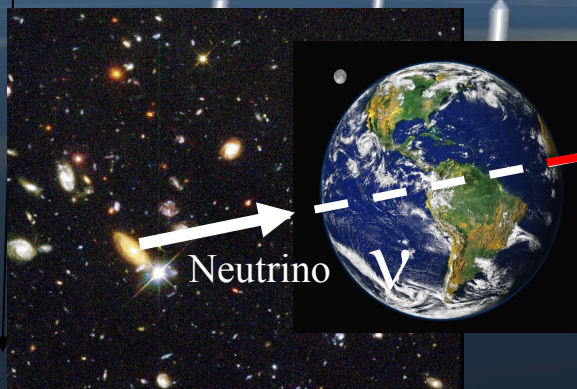
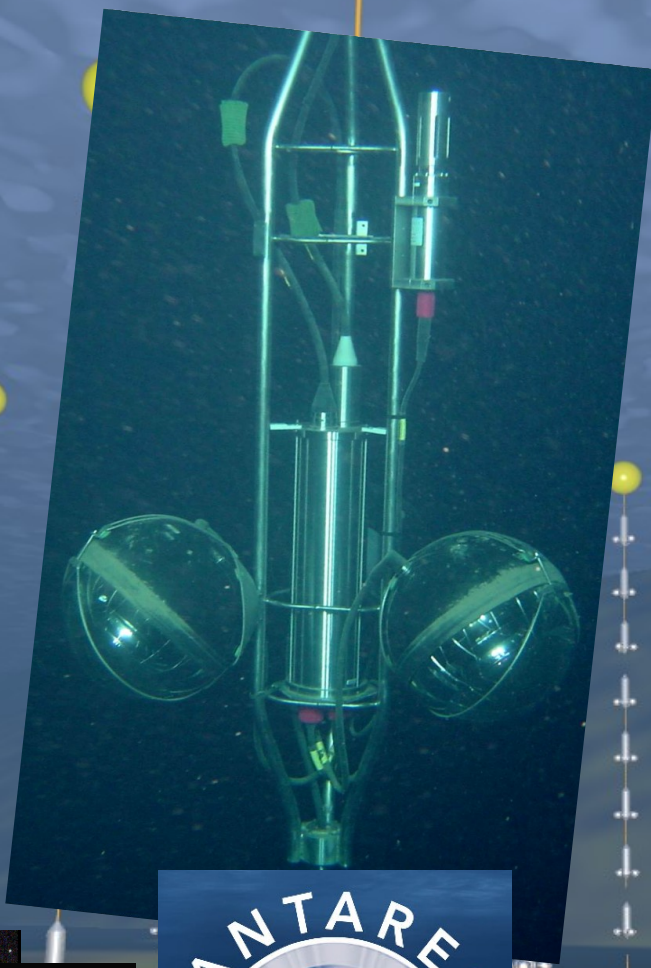




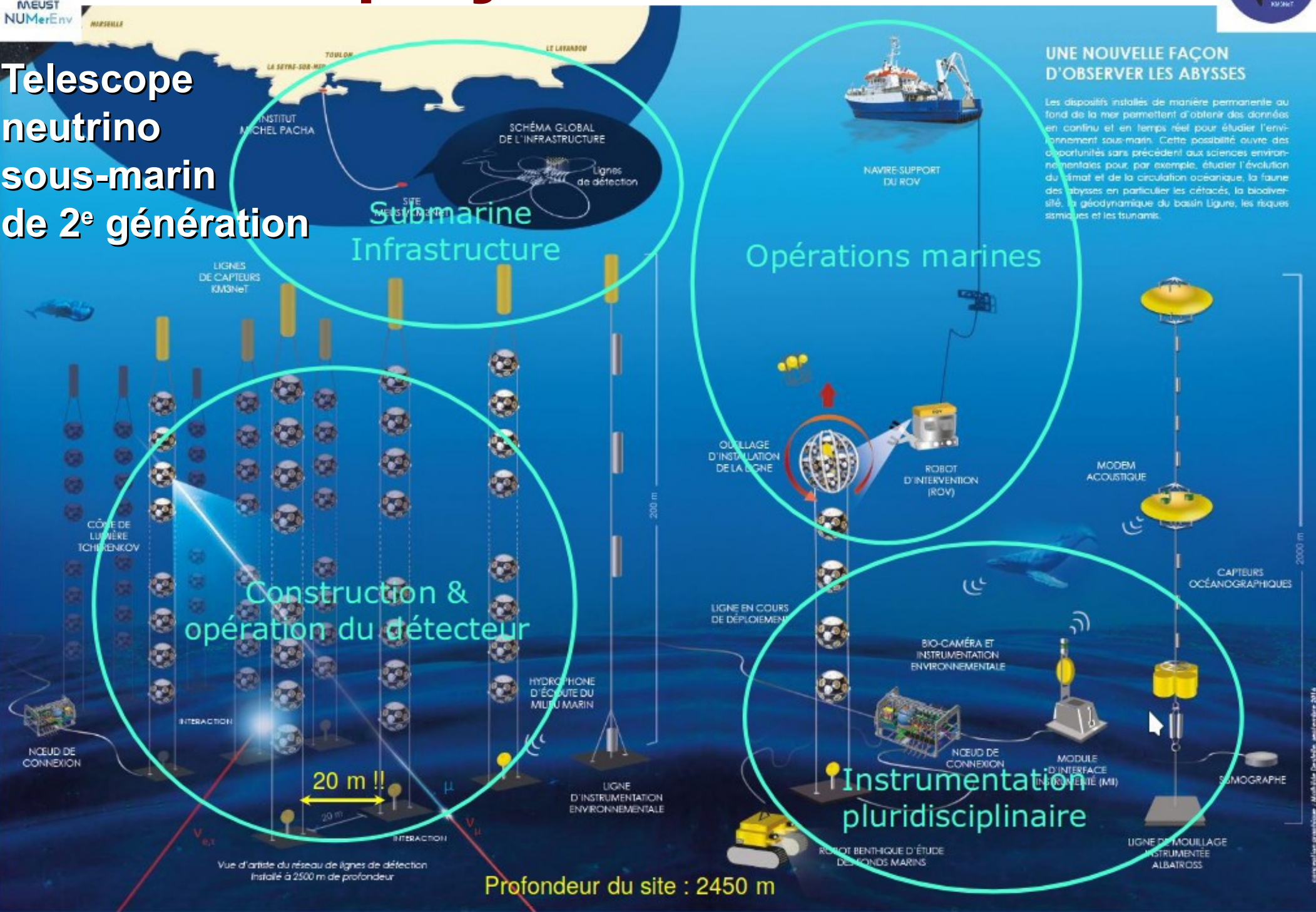
Le pionnier : ANTARES

2500m

- 900 PMTs
- 12 lignes
- 25 étages / ligne
- 3 PMTs / étage



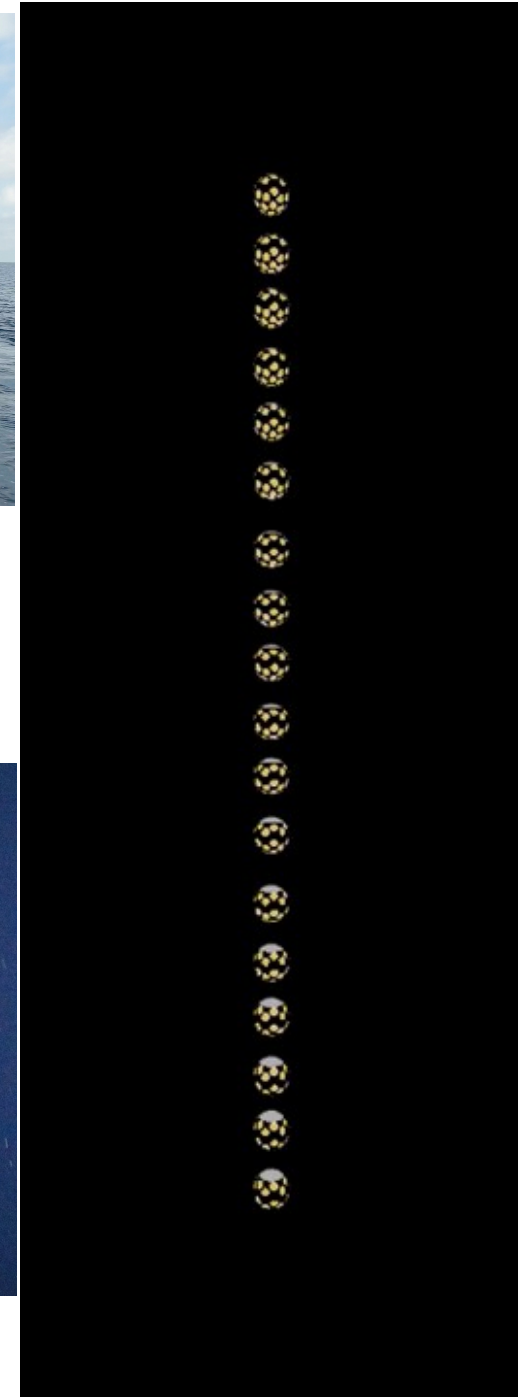
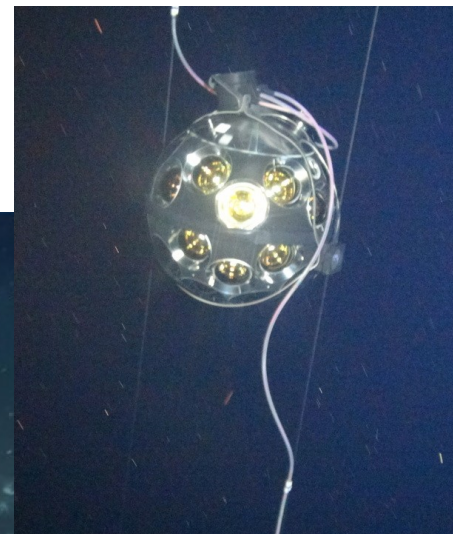
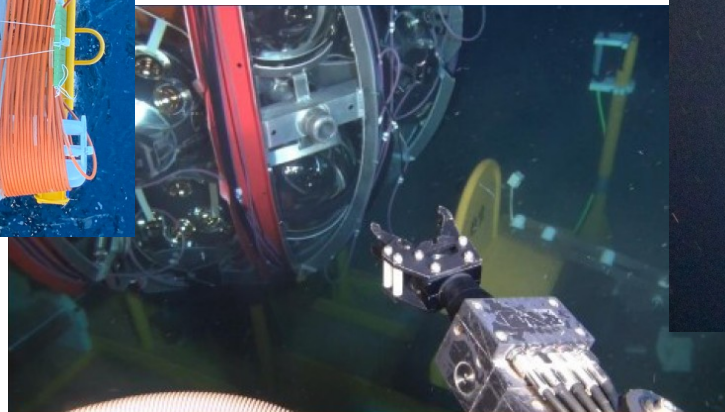
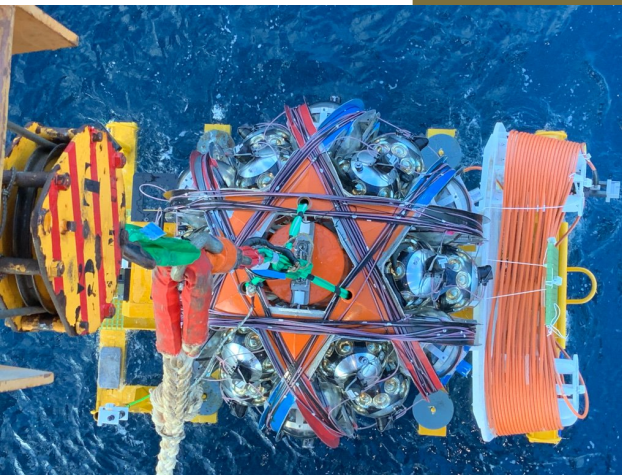
Telescope neutrino sous-marin de 2^e génération



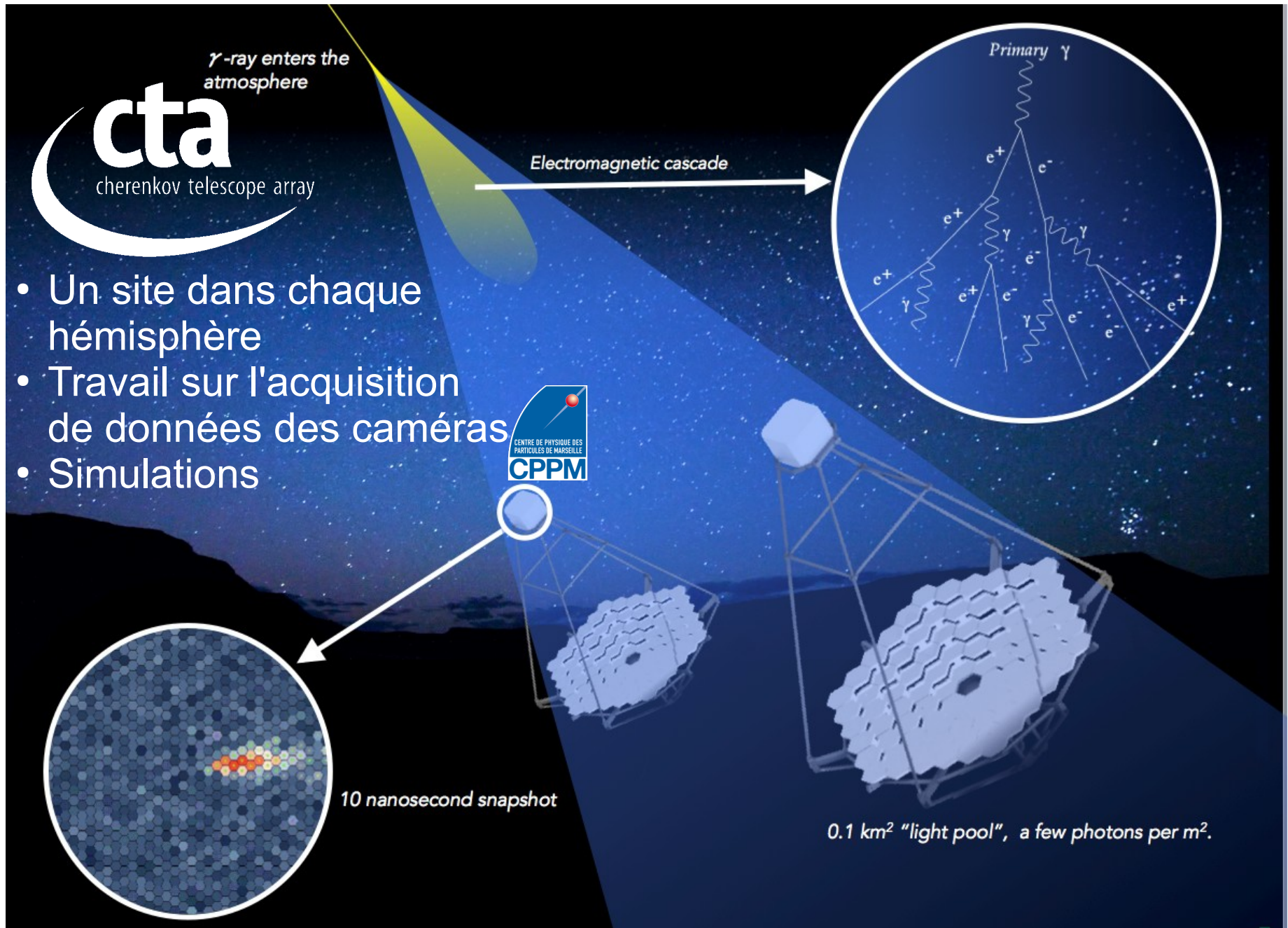
Le remplaçant : KM3NeT/ORCA



**Configuration de référence:
115 lignes de 18 modules optiques
séparées de 20 m**



HESS & CTA



Cosmologie

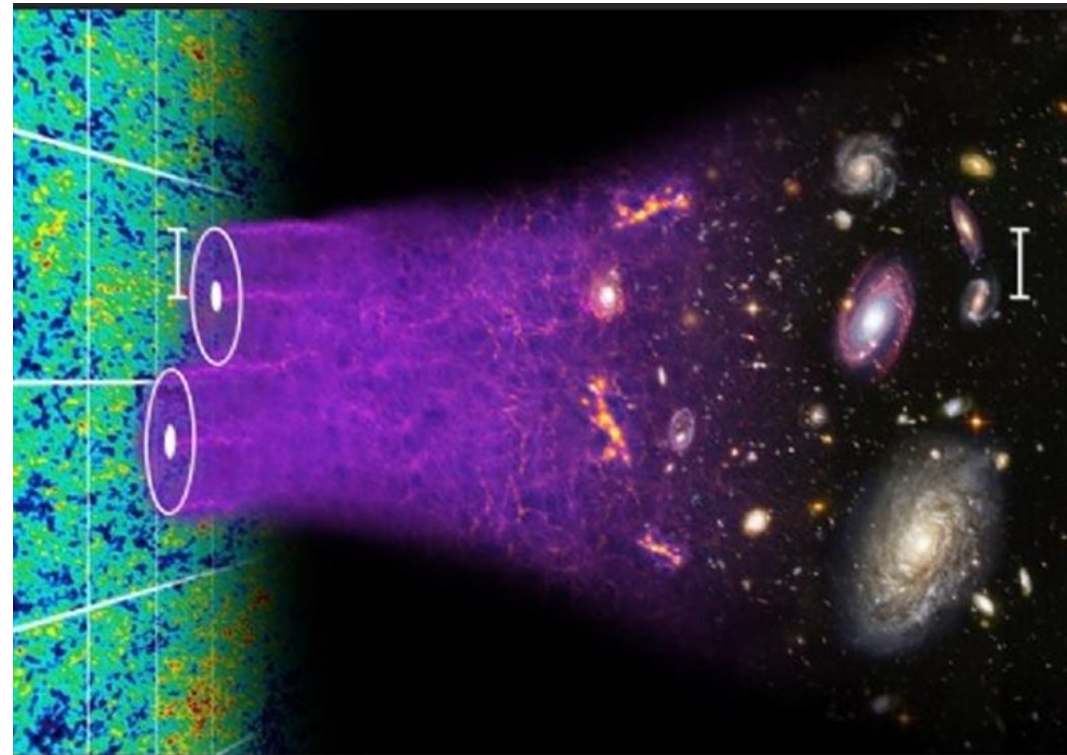
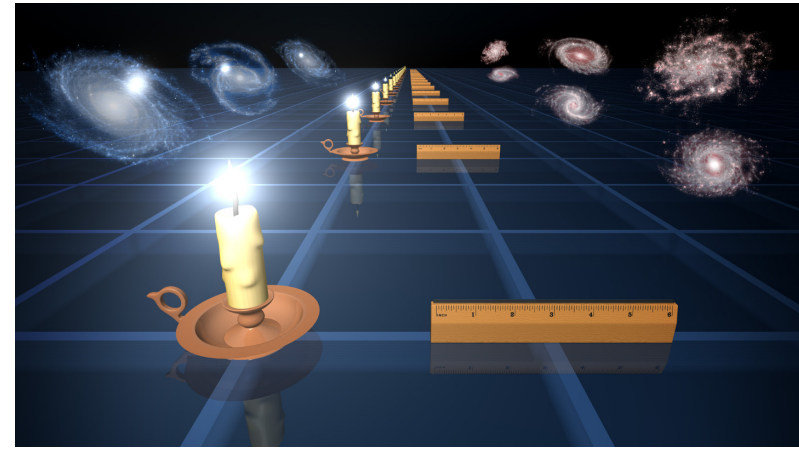
**95% du contenu de l'Univers
est d'une nature inconnue**

Mesure des propriétés
de l'énergie noire et
de la matière noire



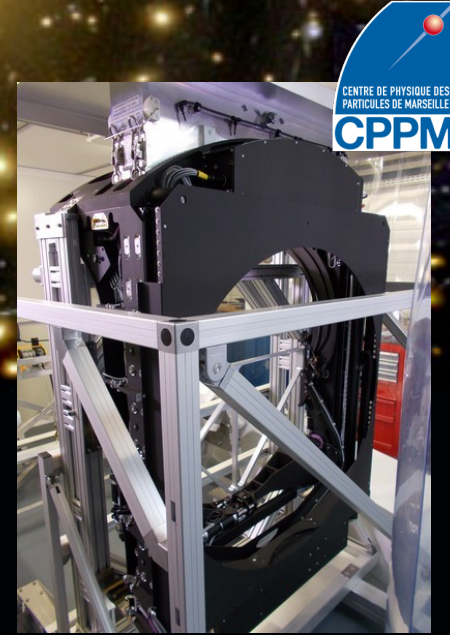
Cosmologie

- Observation photométrique et spectroscopique de supernovæ pour contraindre les paramètres cosmologiques (SNLS, SNfactory)
- Cartographie 3D de 1,5 millions de galaxies et 160000 quasars (BOSS-SDSS-III) pour mesurer les oscillations acoustiques baryoniques



LSST

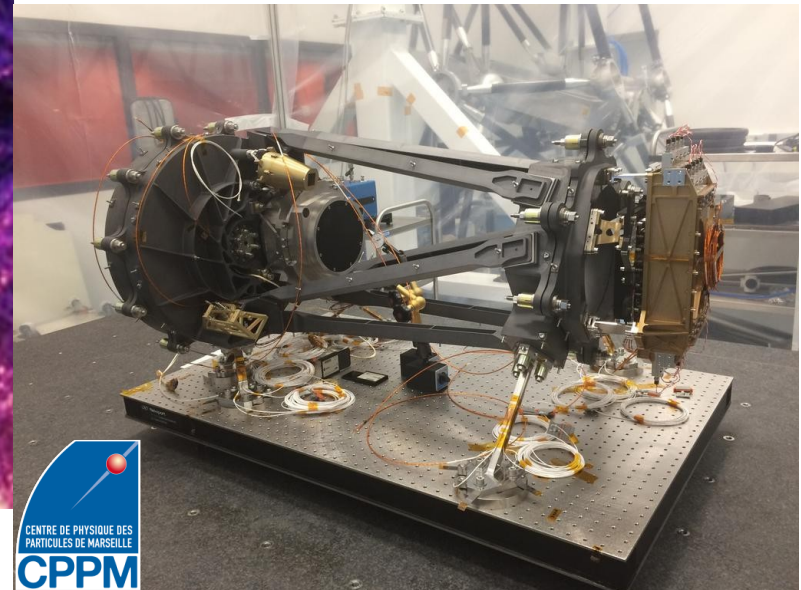
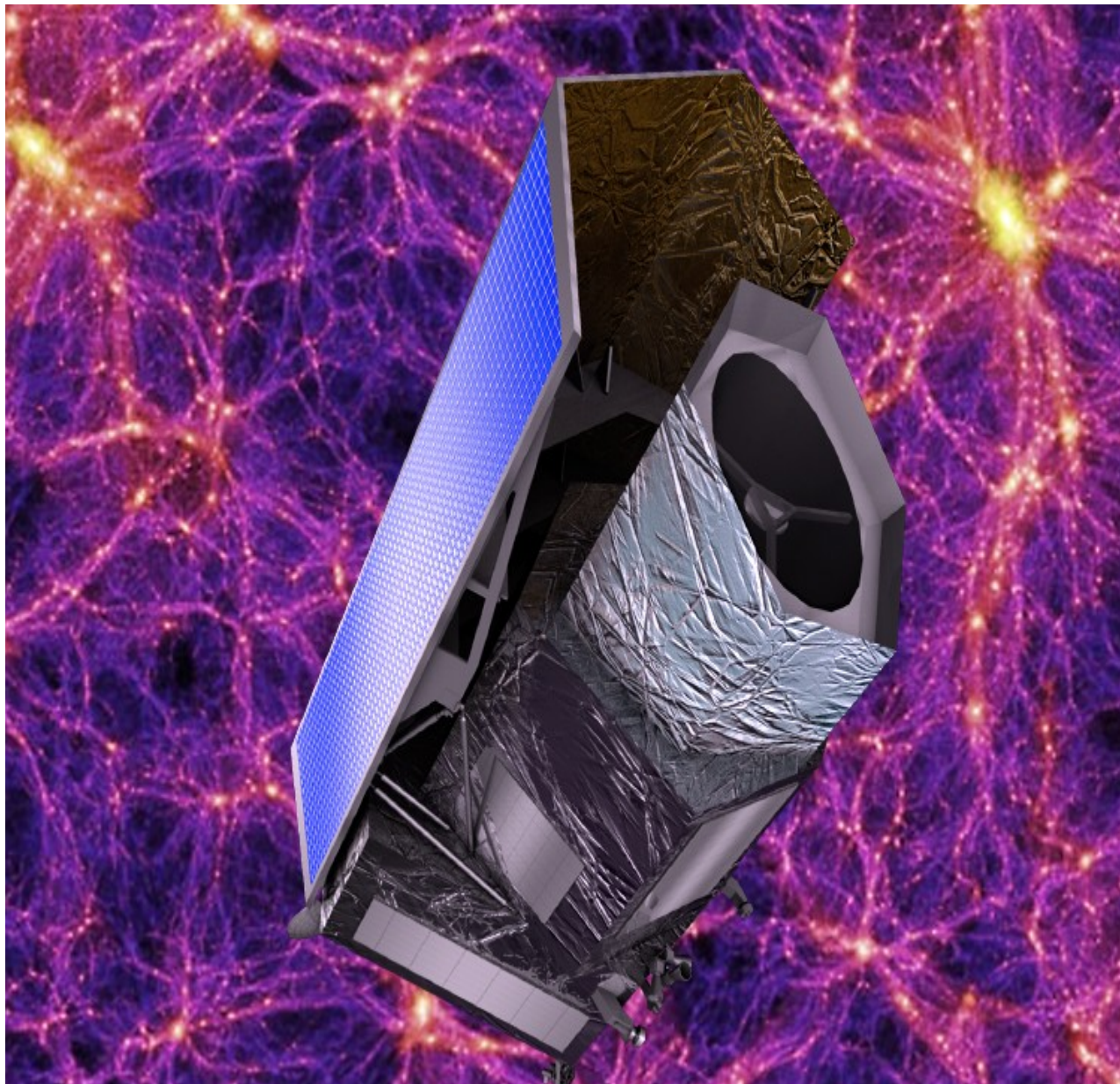
LSST
Large Synoptic Survey Telescope



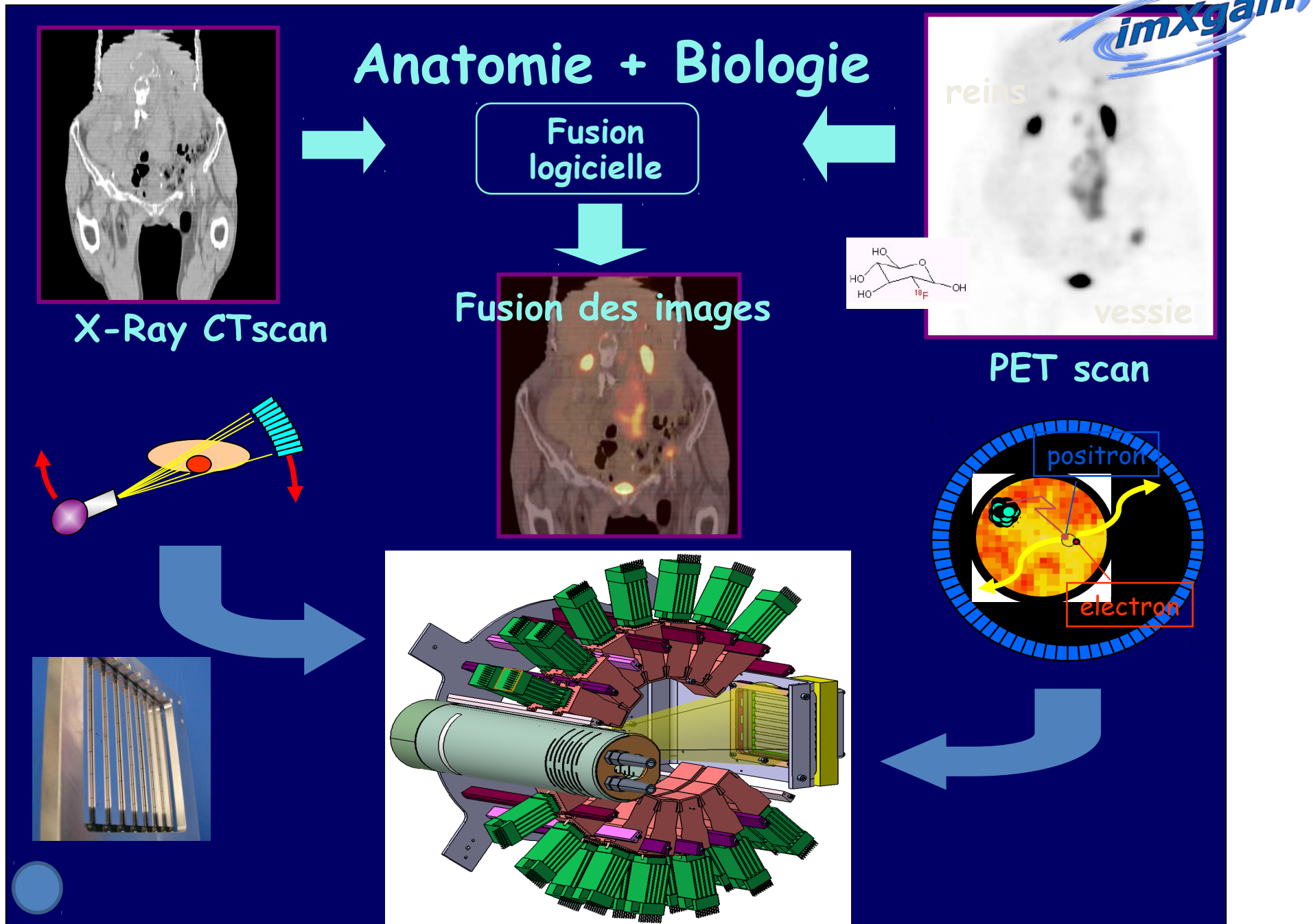
- Première lumière : 2020
- 10 millions de supernovæ !
- CPPM : changeur de filtre, simulation, préparation de l'analyse

Euclid

- Dans l'espace en 2022
- 1,5 milliards de galaxies en weak gravitational lensing
- 50 millions de galaxies en spectroscopie
- Cartographie de l'univers sombre
- CPPM : spectromètre IR, segment sol



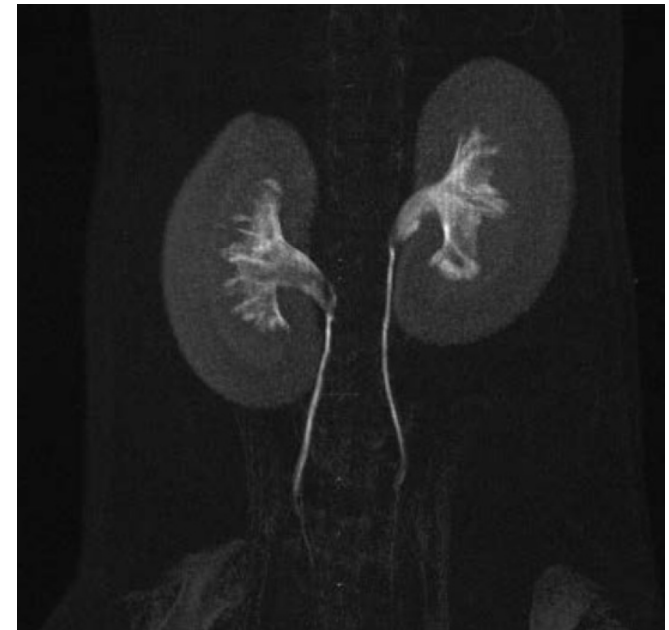
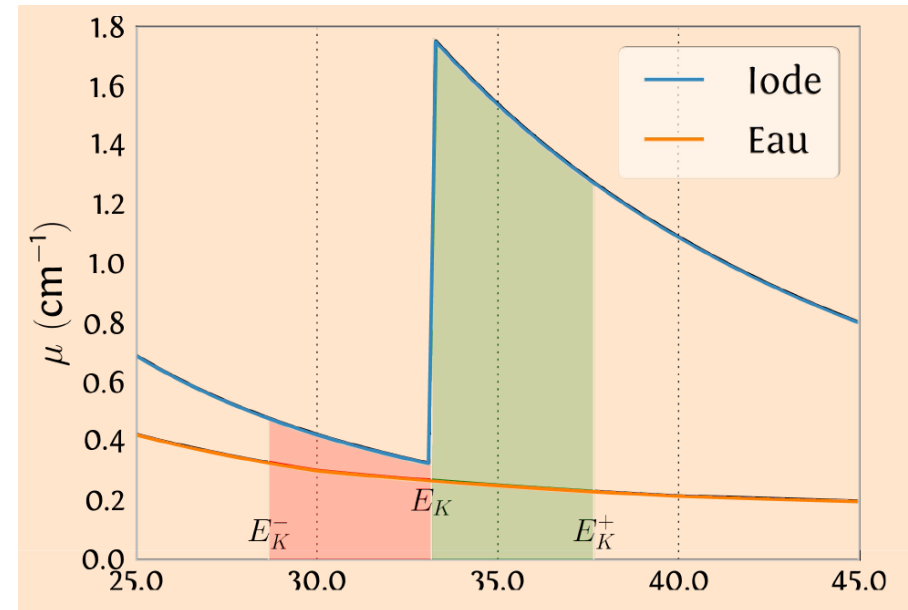
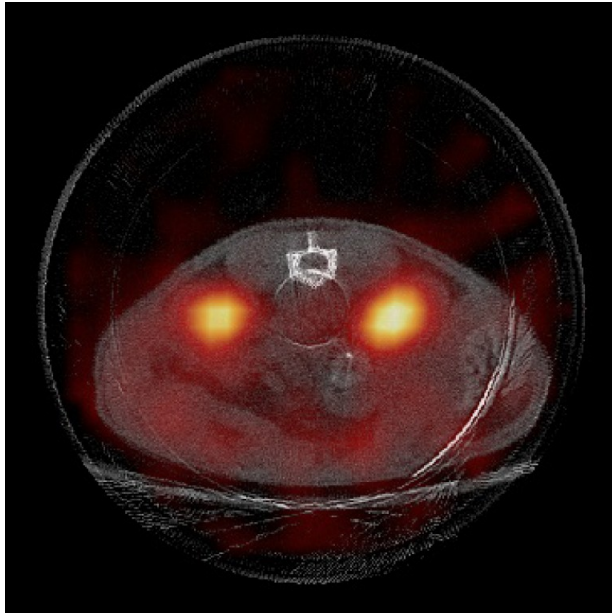
Imagerie biomédicale par rayons X



ClearPET/XPAD3 au CPPM



Imagerie biomédicale par rayons X



Compétences techniques

Micro-électronique planaire et 3D, y compris résistante aux radiations

- Détecteurs pixels pour la physique des particules (ATLAS)
- Transfert à l'imagerie à rayons X (imXgam) => 4 brevets
création startup



Acquisition et traitement de très grandes quantités de données

Acquisition rapide et transmissions sur fibres optiques (LHCb)

- Conception générique pour pouvoir être transférée et valorisée

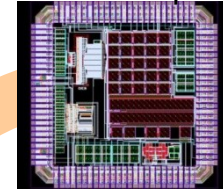
Caractérisation de détecteurs infrarouge pour le spatial (RENOIR)

- Laboratoire bien identifié par le CNES et l'ESA

Infrastructures sous-marines (ANTARES/KM3NeT)

- Systèmes en équipression
- Connectique sous-marine => 2 brevets;
startup **POWERSEA**, intérêt des industriels
(pétroliers et énergies renouvelables)

Electronique



DAQ/info



Instrumentation



**Très Fortes
Compétences
Techniques**

Mécanique



Niveaux de formation

- Adjoint(e) technique
 - CAP (diplôme niveau V)
- Technicien(ne)
 - BAC,... (diplôme niveau IV)
- Assistant(e) ingénieur
 - BTS,... (diplôme niveau III)
- Ingénieur(e) d'études
 - Licence, diplôme d'ingénieur
- Ingénieur(e) de recherche
 - Doctorat, agrégation, certains diplômes d'ingénieur
- Chargé(e) - Directeur/directrice de Recherche – Enseignant(e)-chercheur
 - Doctorat

Une grande variété : du CAP au doctorat !

Les métiers du CNRS

- Grande variété de métiers
- Compétences variées dans de nombreuses disciplines

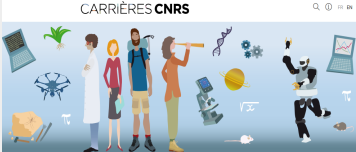
Catégories professionnelles :

- ▶ Chercheur.e.s
- ▶ Ingénieurs
- ▶ Technicien.ne.s
- Au CPPM :
 - ▶ exemples :
 - Chercheuse en physique des particules
 - Ingénieur en calcul scientifique
 - Assistante en fabrication mécanique
 - Technicien en gestion administrative
- À l'université :
 - ▶ Similaire, avec également :
 - Enseignant.e-chercheur.e

Astrophysiciens
Enseignant-chercheur
Electroniciens
Informaticiens Instrumentalistes
Physiciens
Gestionnaires
Cosmologistes
Mécaniciens

Travailler au CNRS

CARRIÈRES CNRS



<http://carrieres.cnrs.fr/fr>

CNRS : portail des métiers

 Sciences de la vie	 Sciences chimiques et sciences des matériaux	 Sciences de l'ingénieur et instrumentation scientifique	 Sciences humaines et sociales
 Informatique, statistique, mathématiques	 Documentation, Culture, Communication, Études TIC	 Paléontologie, archéologie, préhistoire, anthropologie	 Gestion et pilotage



<http://metiersit.dsi.cnrs.fr>

Transmission du savoir

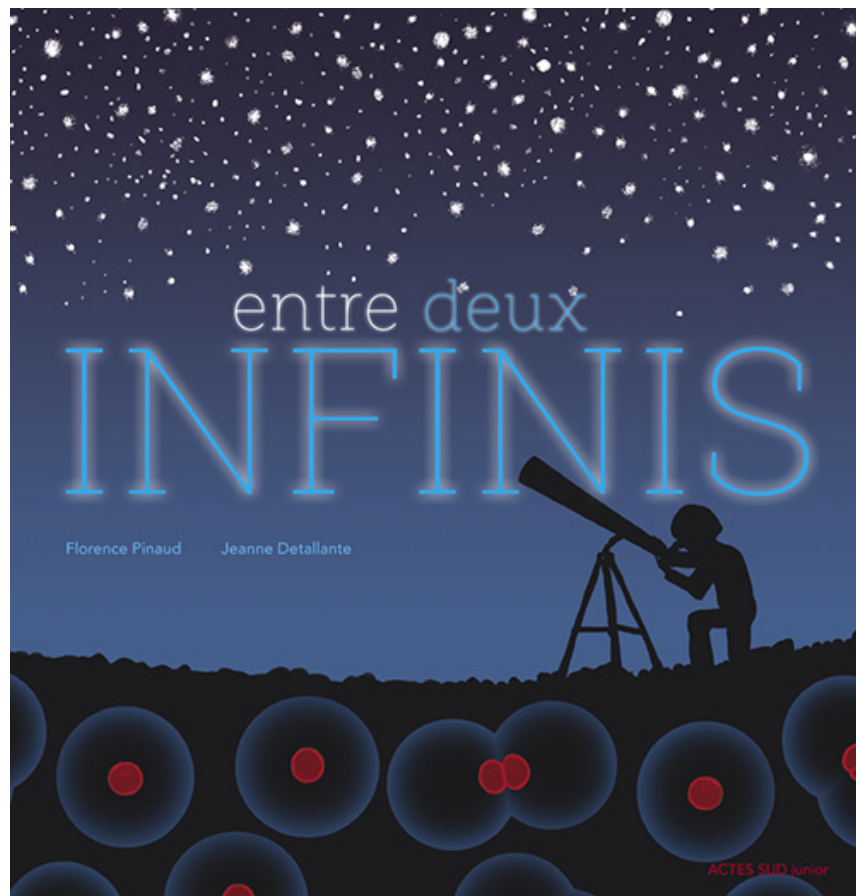
- Université et écoles d'ingénieurs
 - Fort investissement dans les formations et l'administration
- Formation des jeunes par la recherche
 - En moyenne, 30 doctorants et 40 stagiaires par an
- Communication scientifique
 - Organisation régulière de conférences scientifiques et ateliers à portée nationale et internationale
- Actions de communication & diffusion de culture scientifique
 - En direction des jeunes (primaires, collégiens, lycéens), professeurs, étudiants et grand public :
 - Outils didactiques (roue cosmique, cosmophone, e-Peron,...)
 - Cycle de conférences mensuelles grand public depuis 2005
 - Masterclasses de physique des particules <https://www.cppm.in2p3.fr/Masterclasses>
 - Expositions, Fête de la Science,...
 - CPPM@Twitter :  <https://twitter.com/CPPLuminy>

Livre à partir de 10 ans

Entre deux infinis

FLORENCE PINAUD

JEANNE DETALLANTE - ILLUSTRATEUR



Dans l'univers, il y a l'infiniment grand : planètes, étoiles, galaxies, trous noirs... Un monde dont on ne connaît qu'une minuscule partie et où l'on compte en années-lumière. Et il y a l'infiniment petit : molécules, cellules, particules élémentaires, quarks... Un autre monde que l'on n'a pas fini non plus de découvrir. Et moi dans tout ça... ? Un livre pour aider à comprendre la complexité de l'univers.

Actes Sud Junior

Hors collection

Avril 2019 / 23,0 x 23,0 / 56 pages

ISBN 978-2-330-12102-0

prix indicatif : 15, 90€

> [Où trouver ce livre ?](#)



<https://www.actes-sud.fr/catalogue/jeunesse/entre-deux-infinis>