

Atelier IN2P3/INSHS

G. CHARDIN, CNRS/IN2P3

But de cette introduction

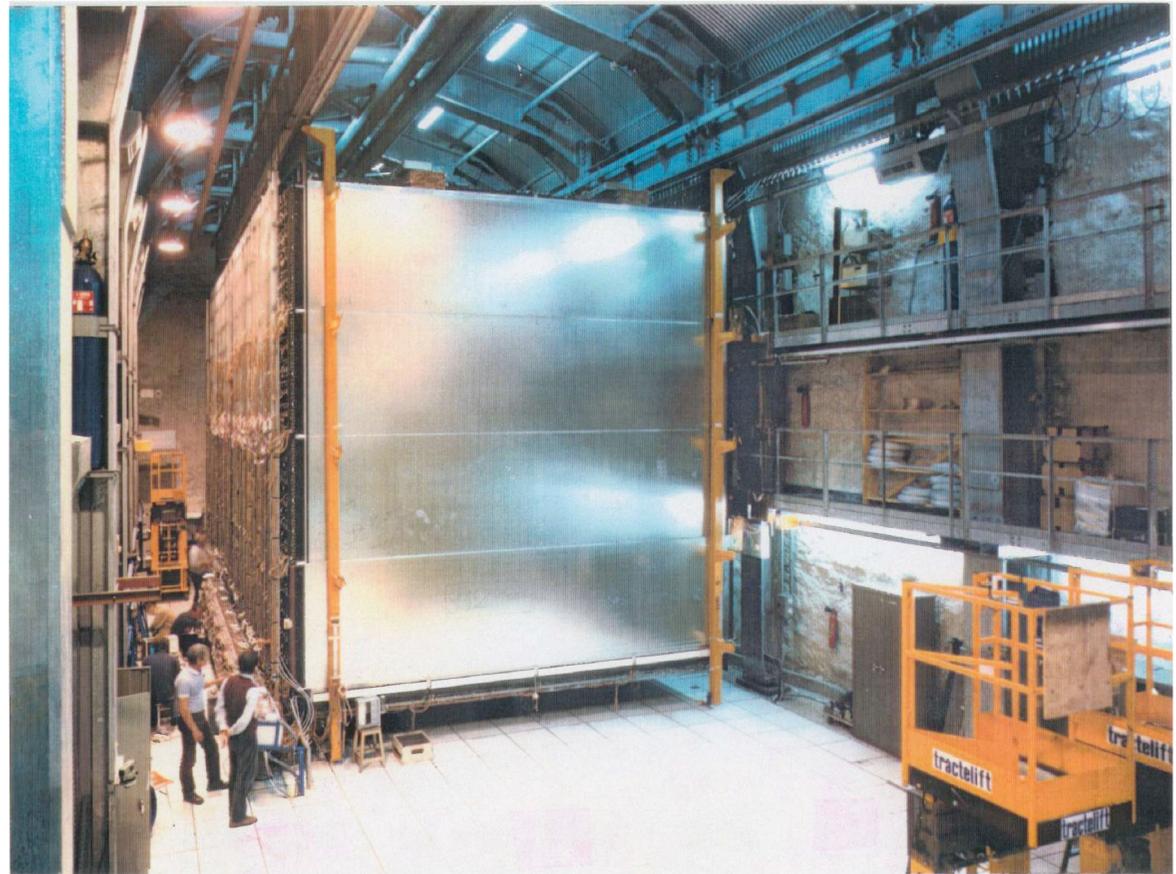
- Brefs éléments historiques de la naissance des astroparticules (et de la découverte de l'énergie noire)
- Quelques éléments de réflexion sur la suite possible donnée à cette journée INSHS-IN2P3
- Cette introduction n'est pas destinée à être un historique du domaine des astroparticules.
- Voir à ce sujet la récente conférence de Michel Spiro:
 - <https://indico.ijclab.in2p3.fr/event/7348/>

Premières expériences d'astroparticules

- Expériences de mesure de la désintégration du nucléon
 - Prédiction des modèles de grande unification (forces faible, électromagnétique et forte)
 - IMB (USA), TAUP (France-Allemagne), Kamioka (Japon)
 - Échelle d'unification : environ 10^{15} GeV (un million de milliards de fois l'énergie de masse du proton, accélérateur de taille supérieure au diamètre du système solaire, laisser la Nature faire les choses à travers l'effet tunnel)
 - Recherche de sujets connexes utilisant ces (très) gros détecteurs: **neutrinos**, rayons cosmiques
- Le cas de Cygnus X-3, particules cosmiques observées à travers d'énormes masses de roche : nécessairement une nouvelle particule, mais laquelle ?
- Observations initiales non confirmées, effondrement des observations initiales (nombreuses) de l'astronomie gamma de haute énergie, avant la première observation de la Nébuleuse du Crabe par Trevor Weekes (1990)
- “ Experimental particle physics without accelerators ”, J. Rich, M. Spiro, J. Lloyd-Owen, Phys. Rep. 151 (1987) 239-364.
- Création aux USA du CfPA par Bernard Sadoulet, membre de l'expérience UA1 (bosons intermédiaires)

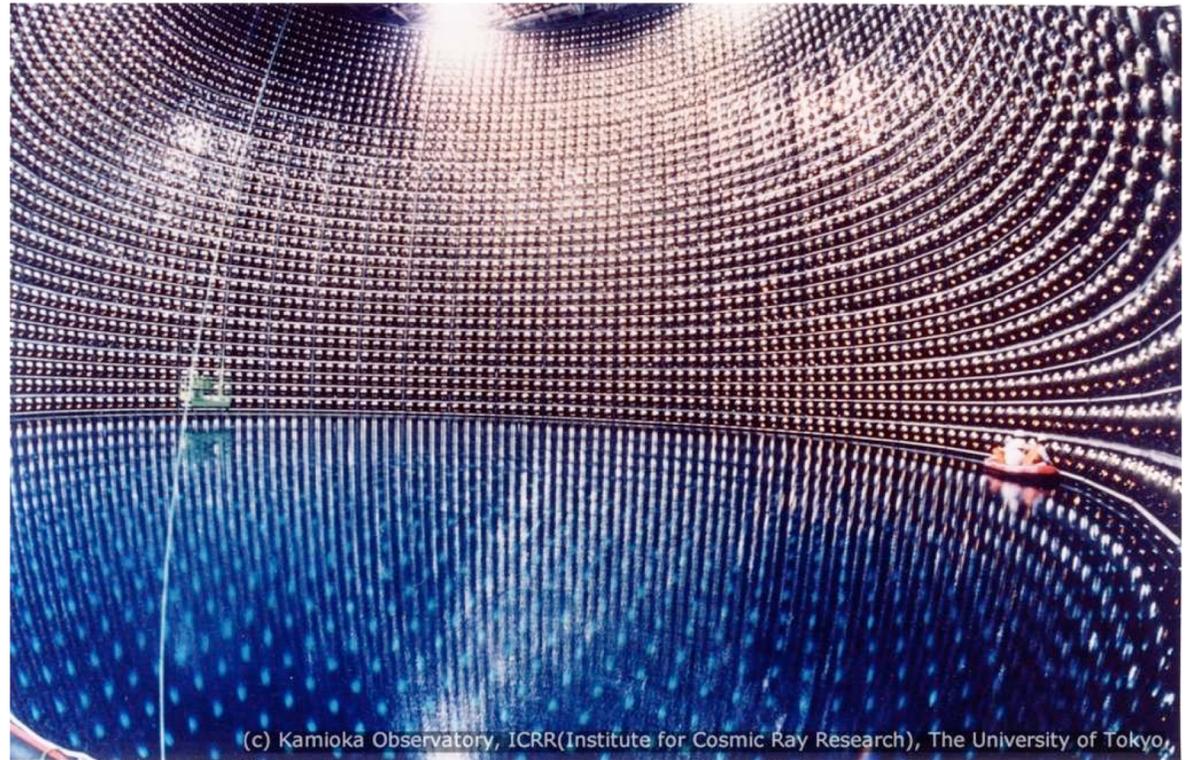
L'expérience TAUP de durée de vie du nucléon

- Un peu moins de 1000 tonnes
- Un million de canaux d'électronique
- La désintégration d'un nucléon unique peut être détectée avec une haute efficacité
- Résultat (après qqs années) : le modèle de grande unification SU(5) n'est pas « utilisé » par la Nature



Kamiokande et SuperKamiokande

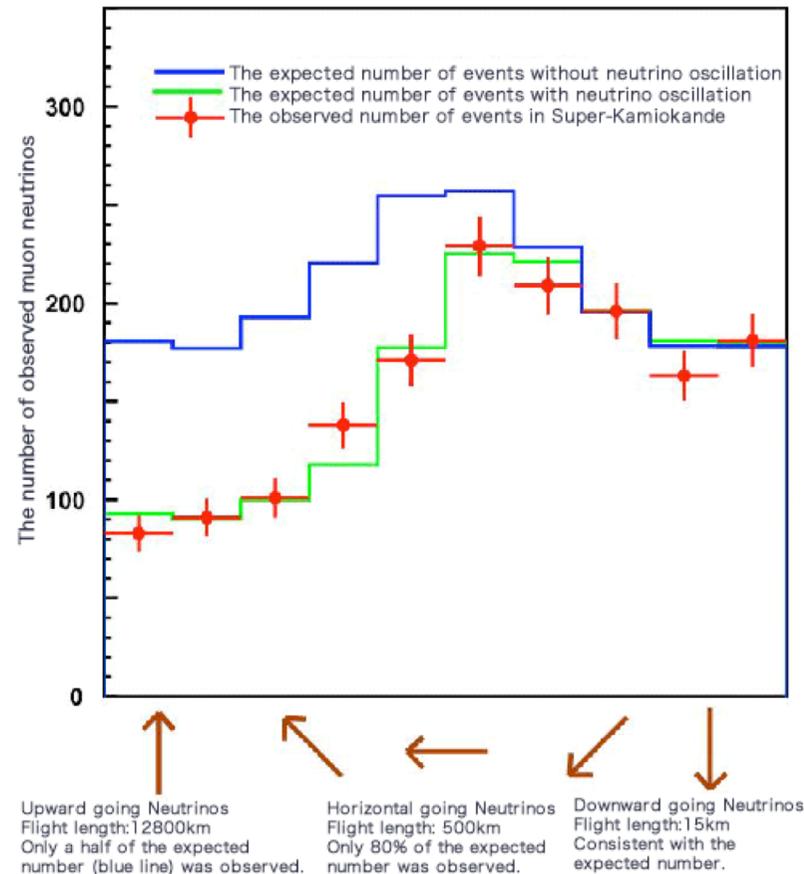
- Kamiokande : 3000 m³ d'eau entourés de photomultiplicateurs couvrant environ 20% de la surface
- SuperKamiokande: 50 000 m³ d'eau entourés de photomultiplicateurs couvrant près de la moitié de la surface



(c) Kamioka Observatory, ICRR(Institute for Cosmic Ray Research), The University of Tokyo.

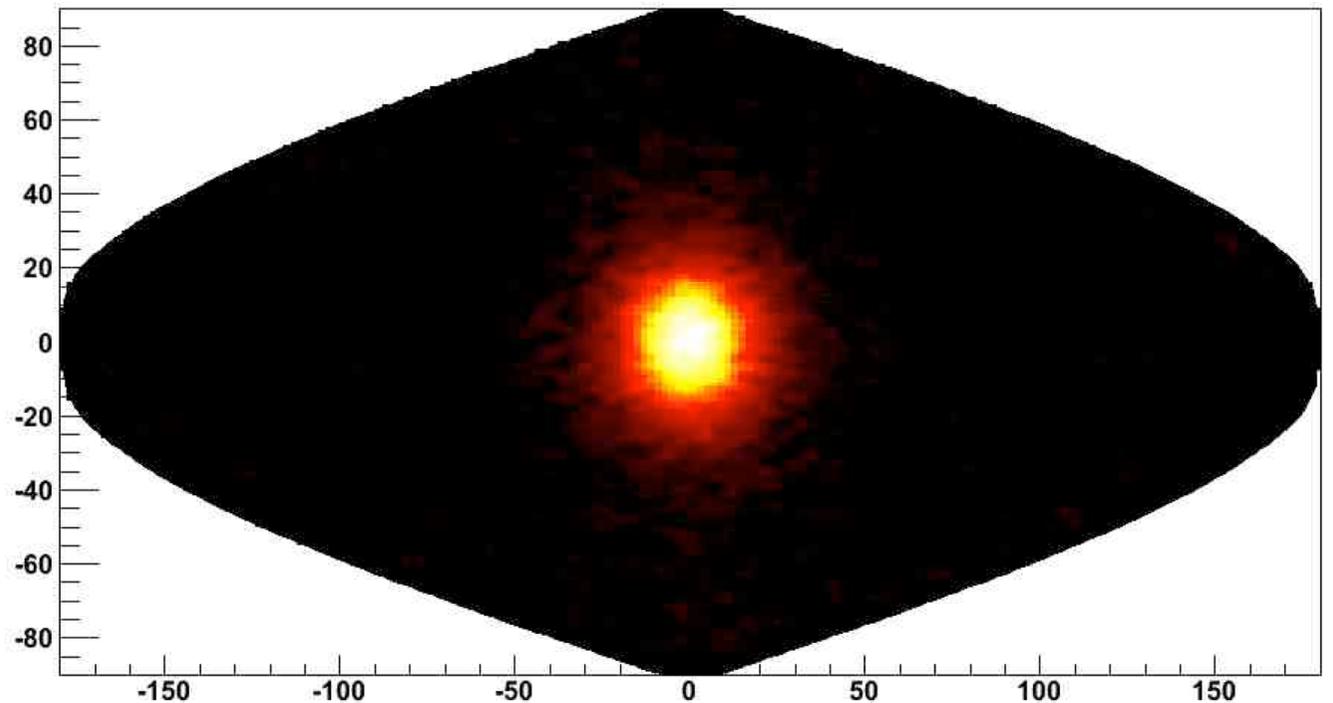
SuperKamiokande: première démonstration convaincante des oscillations de neutrino

- SuperKamiokande: 50 000 m³ d'eau entourés de photomultiplicateurs couvrant près de la moitié de la surface
- Courbe bleue: sans oscillation des neutrinos
- Courbe verte: avec oscillation neutrino
- En rouge: événements observés



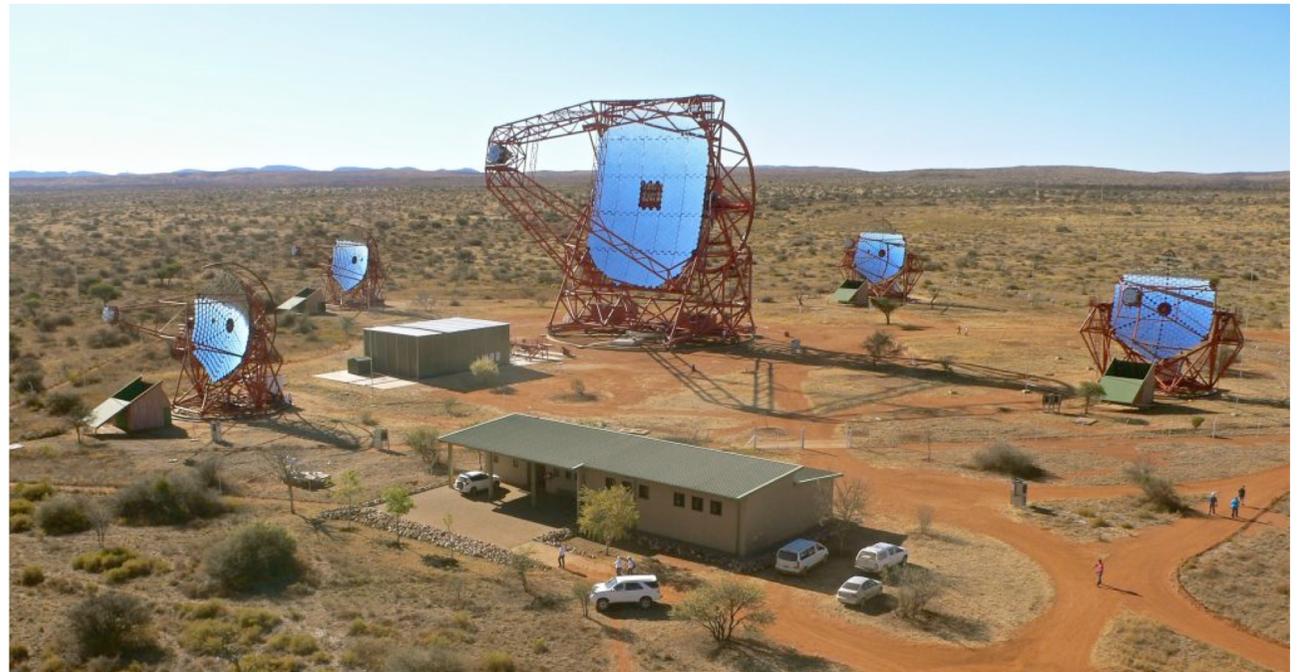
SuperKamiokande: astronomie des neutrinos de notre Soleil

- Reconstruction de la direction des neutrinos (queue de relativement haute énergie) pointant extrêmement clairement en direction du Soleil



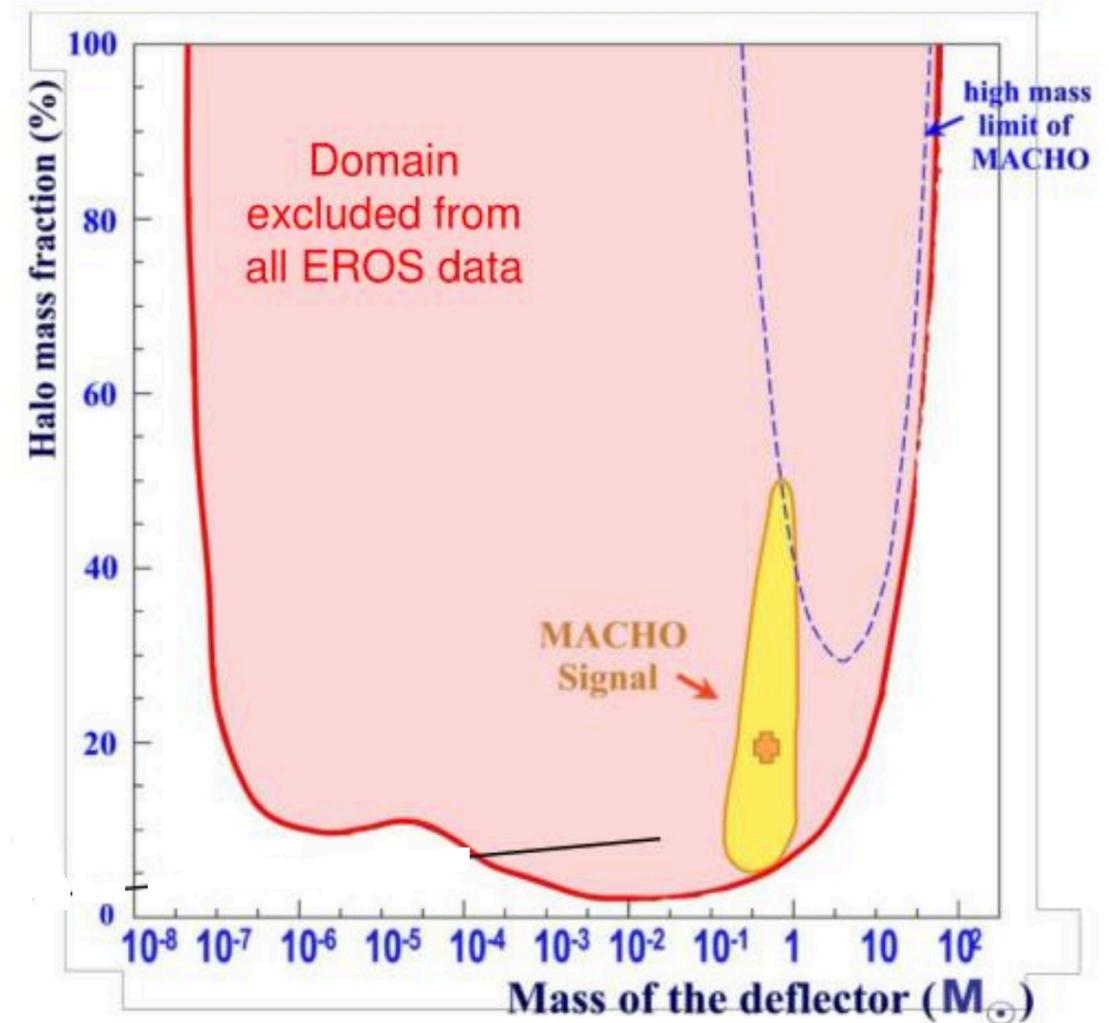
Après l'expérience TAUP : astronomie gamma

- CAT et Thémistocle en astronomie gamma (observation des blazars Markarian 501 et Markarian 421, notamment)
- HESS (Allemagne et France très principalement, site en Namibie)
- Conception de CTA (Cerenkov Telescope Array)



Après l'expérience TAUP : à la recherche de la Matière Noire

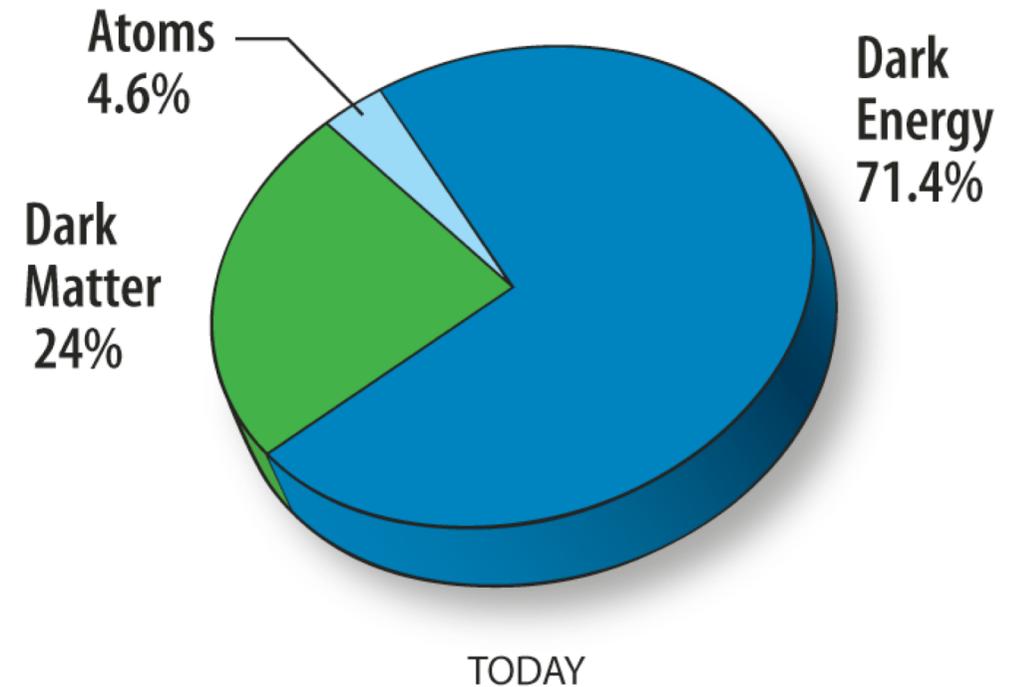
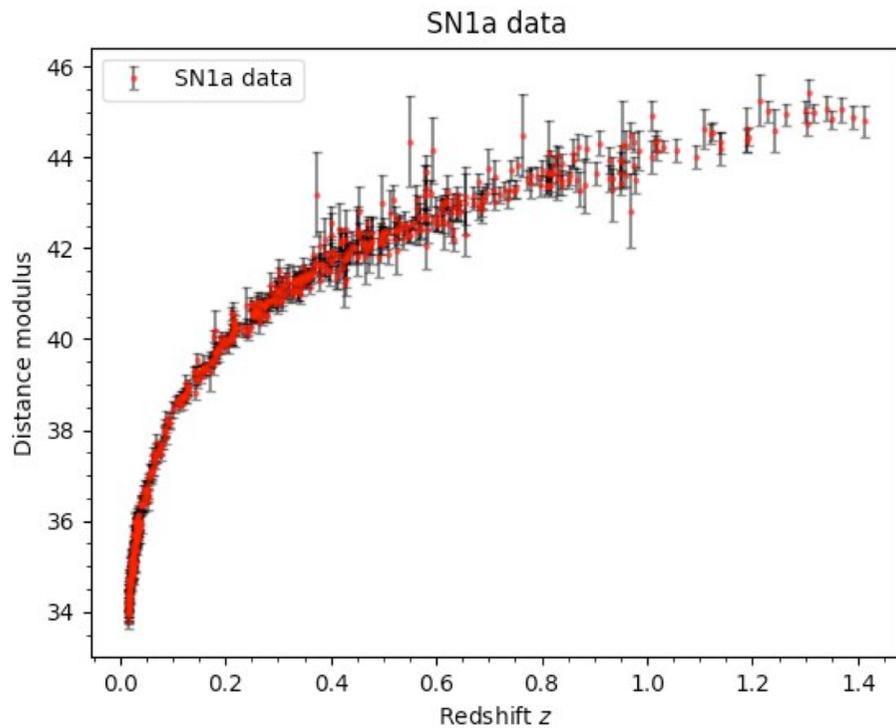
- EROS (vs. MACHO, OGLE) recherchent la Matière noire sous forme d'objets compacts peu lumineux (brown dwarfs, etc.)
- EDELWEISS (vs. CDMS, XENON, DAMA, etc.) cherche la Matière noire sous formes de particules à très faible interaction : les WIMPs



Un programme scientifique très riche

- Outre astronomie gamma, rayons cosmiques, recherche matière cachée, oscillations de neutrinos, un programme très riche
- GALLEX (vs. SAGE): mesure des neutrinos « majoritaires » pp, calibration avec une source neutrino très intense de ^{51}Cr
- ANTARES (vs. ICECUBE), précurseur de KM3Net, détection extrêmement claire par ORCA de l'oscillation neutrinos atmosphériques
- AUGER : rayons cosmiques d'ultra haute énergie (jusqu'à quelques 10^{20} eV)
- Chooz, Double-Chooz: oscillations neutrino et mesure de l'angle θ_{13}

Irruption de la cosmologie: découverte de la “ Dark Energy ” (1998)

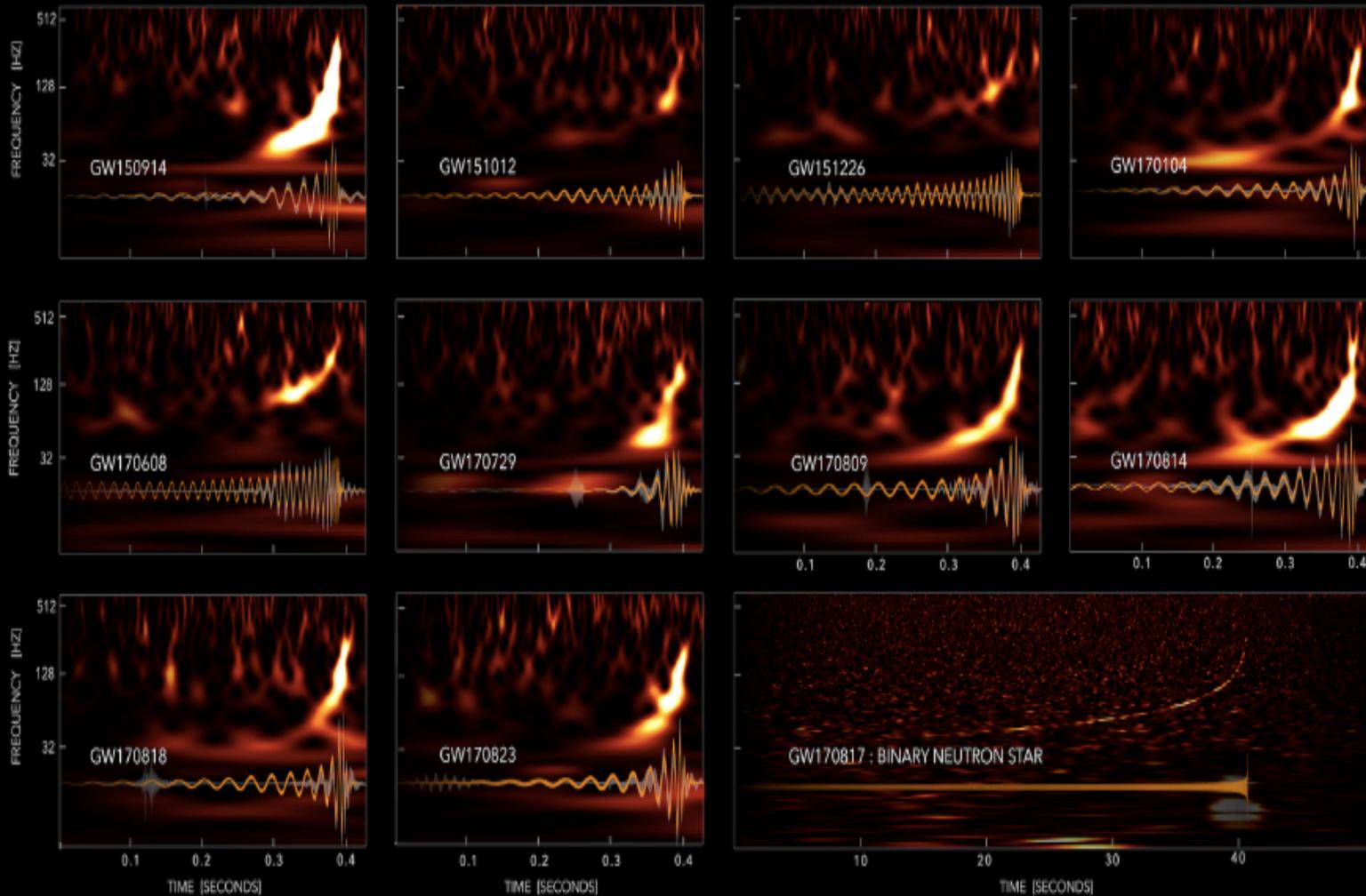


LIGO et VIRGO: ondes gravitationnelles

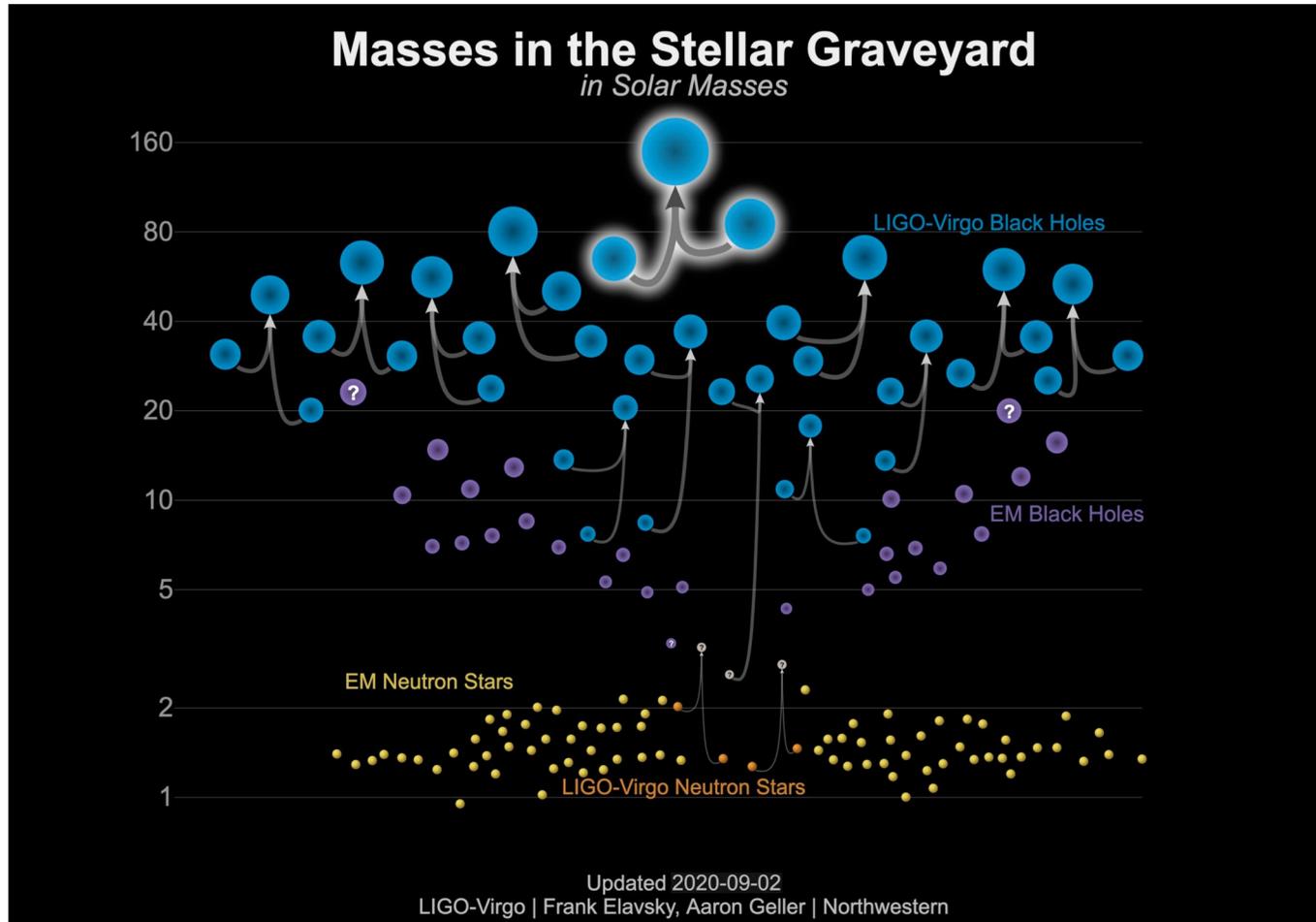
- Un immense tube à ultravide
- Deux bras de 3 km de long (4 km pour les deux installations de LIGO aux USA)
- Interféromètre optique de très grande sensibilité



GRAVITATIONAL-WAVE TRANSIENT CATALOG-1



LIGO et VIRGO: ondes gravitationnelles



Changements de paradigme, révolutions

- **« Le génie de Newton a consisté à dire que la Lune tombe alors que tout le monde voit bien qu'elle ne tombe pas. »
Paul Valéry**
- **« Il fallait le génie d'Einstein pour remarquer que la Lune ne tombe pas, alors que tout le monde voit bien qu'elle tombe. »
John Archibald Wheeler**
- **Introduction des masses négatives réalistes (avec interactions) en Relativité Générale et étude des conséquences: univers de Dirac-Milne, expériences de mesure de la gravitation sur des atomes d'antihydrogène au CERN (ALPHA-g, Gbar, AEGIS)**

Toucher quel(s) public(s) ?

- Le « Passeport des deux infinis » (Dunod) a rencontré un vif succès auprès des professeurs et plus généralement du public
- Maintenant dans le domaine public (le pdf peut être téléchargé librement)
- Ouvrage du même type à l'occasion des 50 ans de l'IN2P3:
« Incroyables, étonnants, surprenants infinis ! », encore dans les limbes et destiné à paraître chez CNRS Editions

À quoi ça sert, les astroparticules ?

- Beaucoup d'appelés parmi les apprentis chercheurs, peu d'élus...
- Monde ouvert vers l'extérieur: Formation en instrumentation, en analyse de données, au métier de chercheur...
- Les développements de Virgo semblent ésotériques mais donnent lieu à des avancées dans la recherche pétrolière (senseurs de position de précision subnanométrique à faible coût, centrales inertielles optiques (aviation, espace))
- La recherche fondamentale est sans doute le meilleur investissement à moyen et long terme

À quoi ça sert (2) ?

- Rencontre avec quatre processus changeant complètement les perspectives énergétiques de notre monde:
 - Trous noirs de la masse d'une montagne (rayonne à température de 1 MeV l'énergie de 10 centrales nucléaires pendant 10 milliards d'années)
 - Fusion avec comme catalyseur des muons de charge négative (le processus fonctionne, mais est limité par le « sticking effect »)
 - Catalyse de la désintégration du nucléon par des monopôles magnétiques (effet Rubakov, reste à produire ou isoler les monopôles magnétiques...)
 - Univers de Dirac-Milne: il reste autant de matière que d'antimatière, celle-ci résidant dans des nuages froids et de densité quasi uniforme, malheureusement loin des structures de matière

Le rôle des infrastructures à l'IN2P3

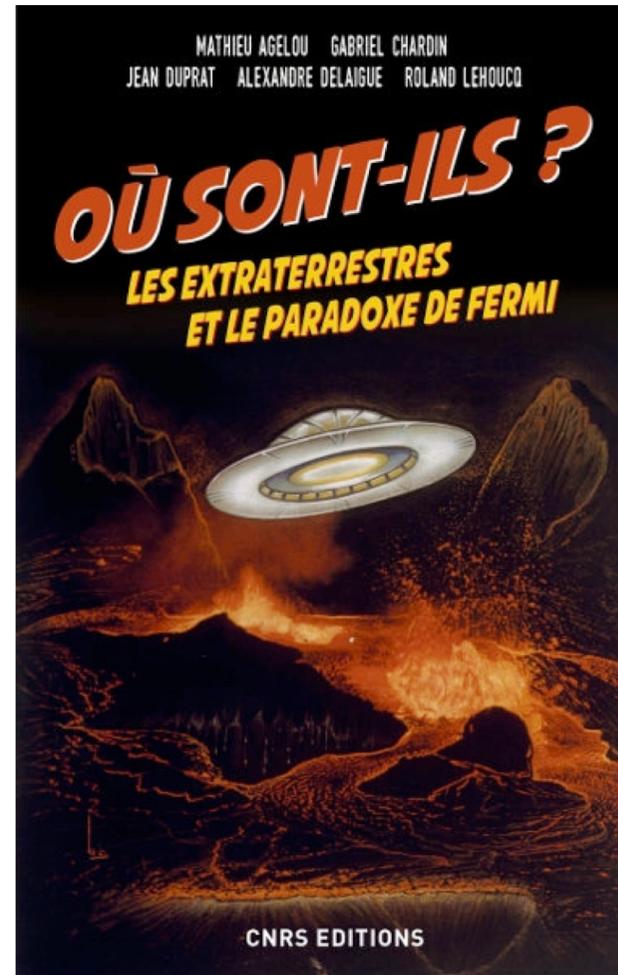
- L'IN2P3 est un important utilisateur (et créateur) d'infrastructures
- CERN : 3000 employés, > 10 000 utilisateurs, budget annuel avec ressources propres ≈ 1.2 G€
- Mais aussi SPIRAL-2 et FAIR en physique nucléaire
- EGO-Virgo (Pise, Italie) a longtemps été la seule TGIR astroparticules
- CTA sur le point de lancer la construction avec la création de CTAO-ERIC
- Grand nombre d'actions IR (infrarouge de recherche) de taille intermédiaire (contribution IN2P3 ≈ 1 M€/an): Rubin/LSST, Auger, KM3Net/Antares, Double Chooz, ...
- Quels choix effectuer pour le futur de l'IN2P3 ? Quel programme pour le CERN ?

Pour lancer la discussion...

- Que souhaitons-nous réaliser à travers cet atelier INSHS-IN2P3 ?
- Quel impact visons-nous, notamment sur la taille et le type de l'audience (grand public, amateurs éclairés, politiques, communautés scientifiques INSHS et IN2P3, professeurs et élèves...) ?
- Attention à ne pas faire un nouvel ouvrage sur la physique des deux infinis...
- Un des enjeux peu abordés: apprentissage de la démarche scientifique, lutte contre le « bruit » des réseaux sociaux, penser de façon critique: voir par exemple l'exposition actuellement sur les « Fake news » à la Fondation EDF (jusqu'au 30 janvier 2022)

Autre thème « résonnant » avec le public: le paradoxe de Fermi

- Mathieu Agelou, Gabriel Chardin, Jean Duprat, Alexandre Delaigue, Roland Lehoucq



Le paradoxe de Fermi comme réflexion sur nos sociétés

- G. Chardin, A. Delaigue,
« Croissance, à quelle distance sommes-nous de nos limites ? »
- <https://www.nouvelobs.com/rue89/rue89-planete/20150228.RUE8019/croissance-a-quelle-distance-sommes-nous-de-nos-limites.html>

