

Thierry Pradier

▶ thierry.pradier@iphc.cnrs.fr



Introduction

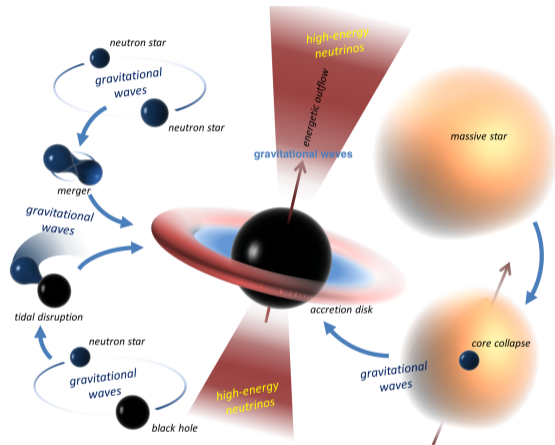


OGMA

Ondes Gravitationnelles
& Messagers pour l'Astronomie

Ce matin

Aspects "Ondes Gravitationnelles"



OGMA

- Depuis 2001 - Astronomie Neutrino & Multimessagers
- Depuis 2019 - aussi Ondes Gravitationnelles
- Equipe DRS créée en 2021

Introduction



OGMA

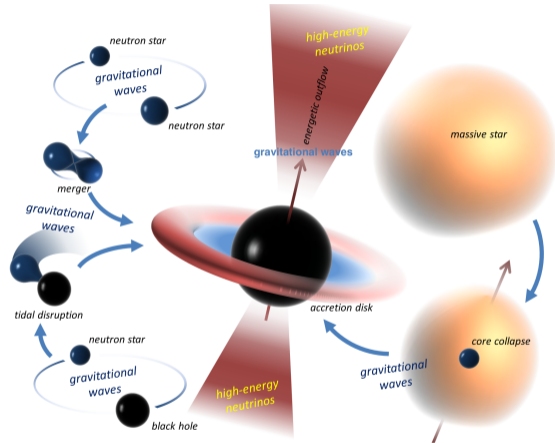
Ondes Gravitationnelles
& Messagers pour l'Astronomie

Maintenant

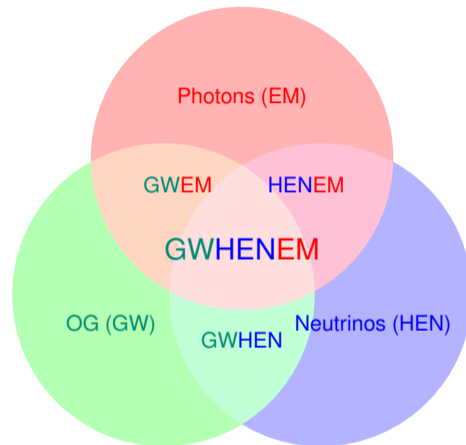
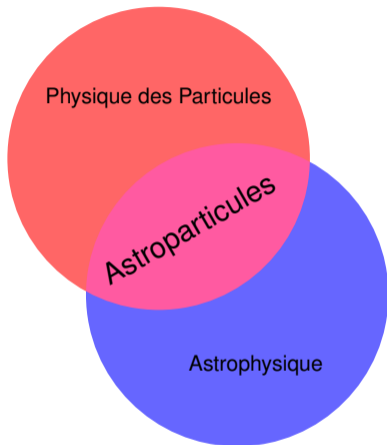
Aspects "Astronomie Multimessagers"

Lexique

- GW = Gravitational Waves (Ondes Gravitationnelles)
- HEN = High Energy Neutrinos (Neutrinos de Haute Energie)
- EM = Emissions ElectroMagnétiques (Photons)



Introduction - Astroparticules, Multimessagers...



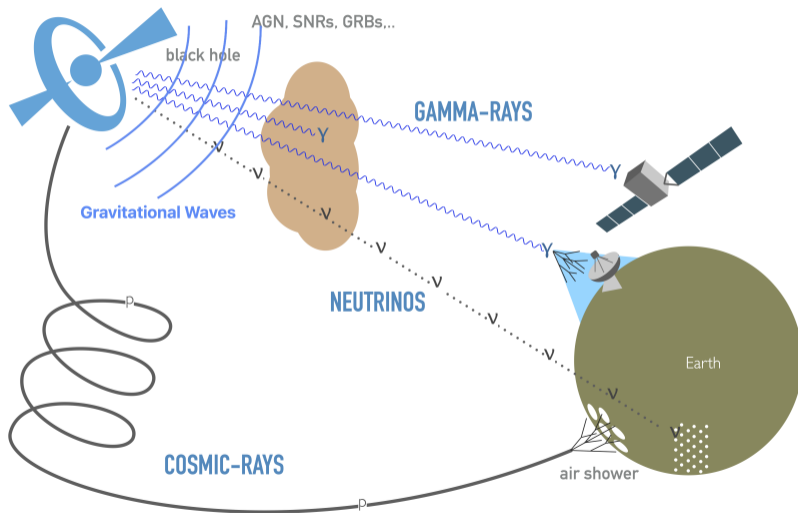
Physique des Astroparticules

Interface de la Physique des Particules - Astrophysique

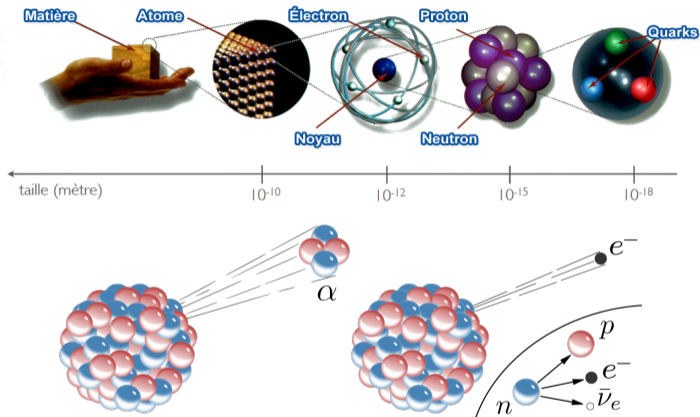
Astronomie Multimessagers

Utilisant de multiples *messagers* : photons, neutrinos, OG

Rayonnements cosmiques : Neutrinos & autres Messagers



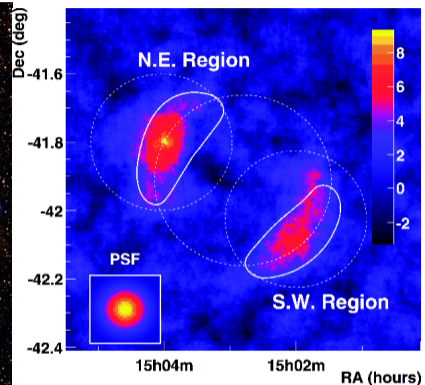
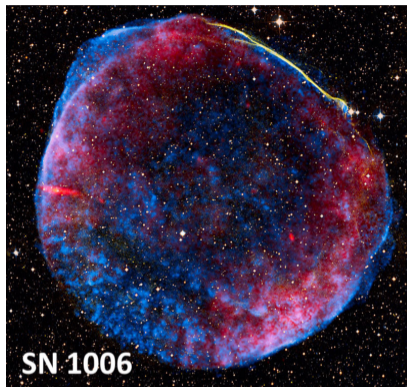
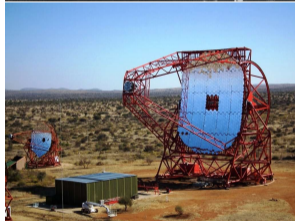
Késako le Neutrino ?



Le neutrino - une particule commune mais dure à détecter !

- Radioactivité terrestre : 50 milliards/s/personne - Corps humain : 300 millions/jour
- 1/65 milliards interagit dans un cube de matière de $100m^3$!

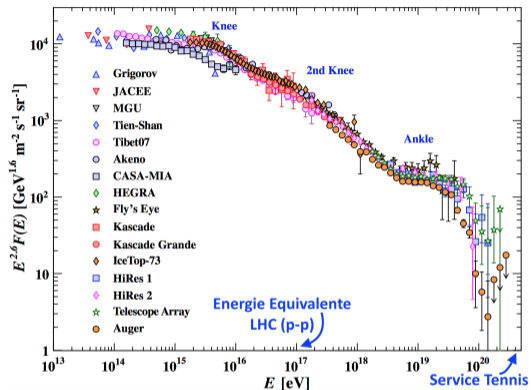
Rayonnements cosmiques : Neutrinos & autres Messagers



De Victor HESS au Télescope HESS - d'où viennent les Rayons Cosmiques ?

- Ces photons gammas sont-ils produits à partir de protons, noyaux - **Processus hadroniques** - neutrinos produits ?
- Ces gammas sont-ils produits à partir d'électrons etc - **Processus leptoniques** - pas de neutrinos produits ?

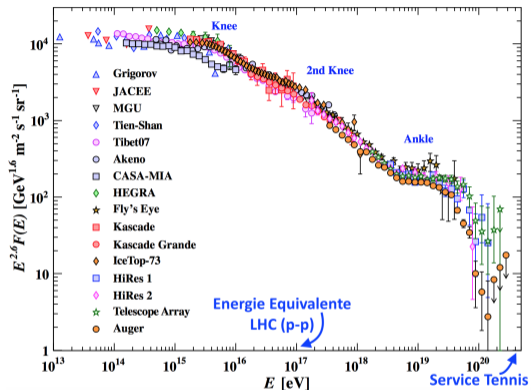
Neutrinos & autres Messagers - connection avec les Rayons Cosmiques



Un « rayonnement » hadronique

- 98% de protons et noyaux légers → 100 J !
- **Neutrinos de haute énergie garantis !**

Neutrinos & autres Messagers - connection avec les Rayons Cosmiques



Un « rayonnement » hadronique

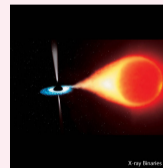
- 98% de protons et noyaux légers → 100 J!
- Neutrinos de haute énergie garantis!

Des sources compactes

- Extra-Galactiques :
⇒ Noyaux Actifs de Galaxies, Gamma-Ray Bursts

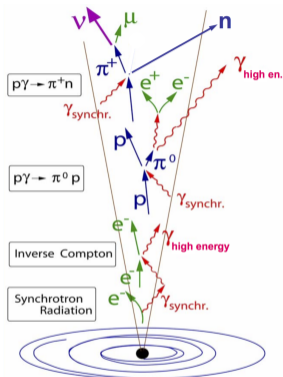


- Galactiques :
⇒ Restes de Supernovae, Microquasars...



⇒ Jets de matière, chocs

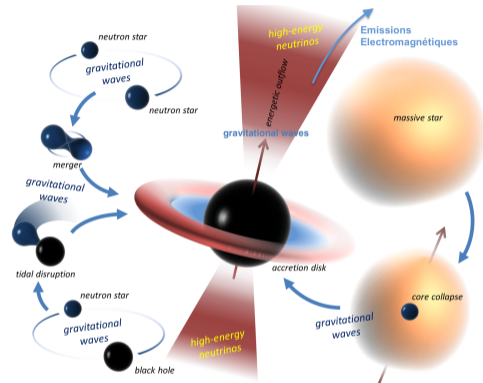
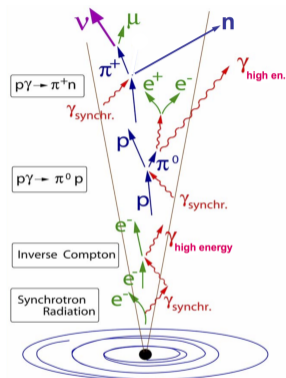
Neutrinos & autres Messagers - connection avec les Rayons Cosmiques



Astronomie Neutrino HE

- ν signalent les processus avec Rayons Cosmiques !
- Flux ν dépend du contenu en protons, électrons...

Neutrinos & autres Messagers - connection avec les Rayons Cosmiques



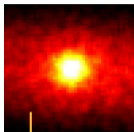
Astronomie Neutrino HE

- ν signalent les processus avec Rayons Cosmiques !
- Flux ν dépend du contenu en protons, électrons...

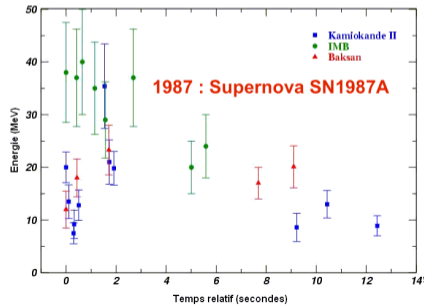
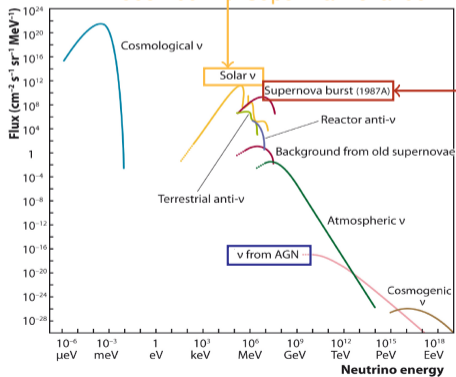
Astronomie gravitationnelle

- $P \propto \text{asymétrie}^2 \times \text{compacité}^2 \times \text{vitesse}^6$
 \Rightarrow Sources de HEN !

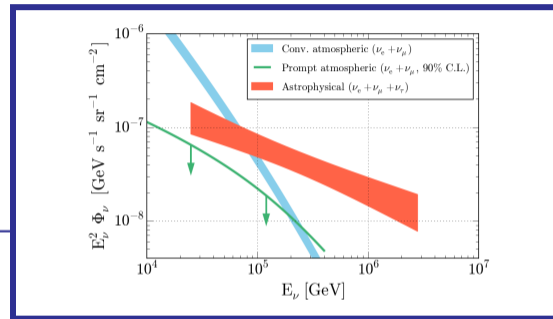
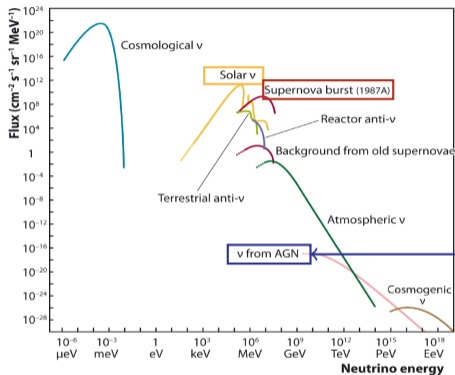
Neutrinos de basse énergie : Soleil et Supernovae



1968-2001 ⇒ Super-Kamiokande



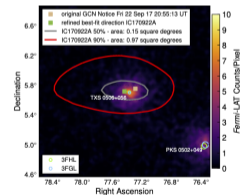
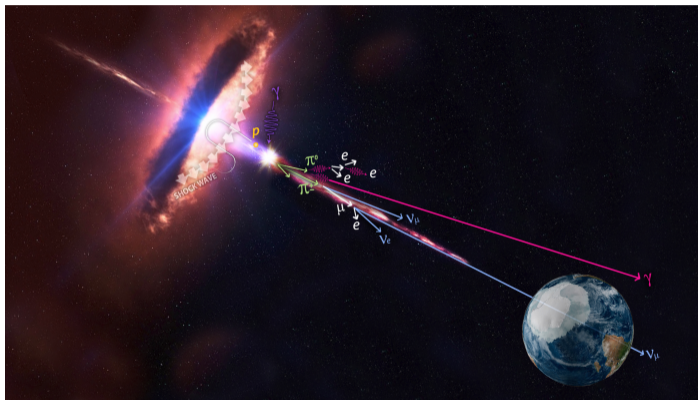
Neutrinos de haute énergie : origine des rayons cosmiques



Découverte d'ICECUBE- 2013

Flux diffus astrophysique $\Phi_\nu \approx 20 / \text{km}^2/\text{an!}$

Connection Neutrinos - Photons - Ondes Gravitationnelles



2017 - Connection établie entre Photons & Neutrinos (HENEM)...

...grâce au Blazar TXS0506+056 (Fermi-LAT, MAGIC)

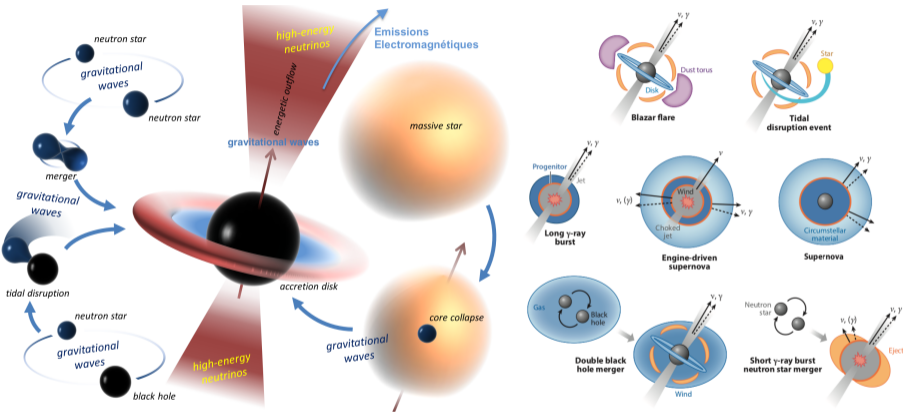
Connection Neutrinos - Photons - Ondes Gravitationnelles



2017 - Connection établie entre Photons & Ondes Gravitationnelles (GWEM)

...grâce à GW170817

Astronomie Multimessagers - comprendre les Rayonnements Cosmiques



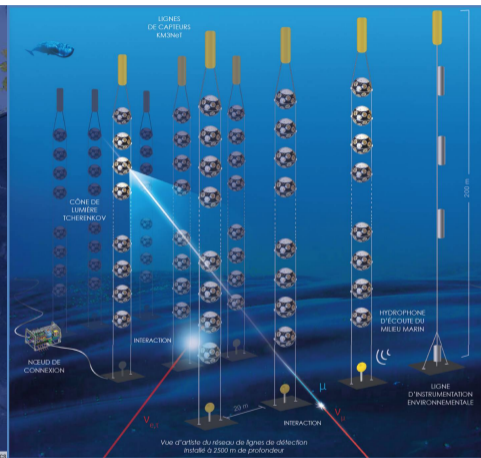
Lexique

- GRB = Gamma-Ray Burst (Sursaut Gamma)
- AGN = Noyau Actif de Galaxie (Blazar)
- TDE = Événement de Rupture par Effet de marée (TDE)

Comprendre le(s) Rayonnement(s) Cosmique(s) à l'IPHC

- Relier l'Effondrement/Fusion à la production du jet : **GWHEN** [GW - Ondes Gravitationnelles / HEN - Neutrinos de Haute Energie]
- Relier la dynamique du jet à la production de HEN : **HENEM** - [HEN - Neutrinos de Haute Energie / EM - ElectroMagnétiques (Radio \rightarrow γ)]

Les Télescopes à Neutrinos : ANTARES, KM3NET, ICECUBE



Télescopes à Neutrinos en Europe et ailleurs

- En Méditerranée : ANTARES (2008-2022), KM3NET en construction (ORCA, ARCA) ~ 20% construit

Les Télescopes à Neutrinos : ANTARES, KM3NET, ICECUBE



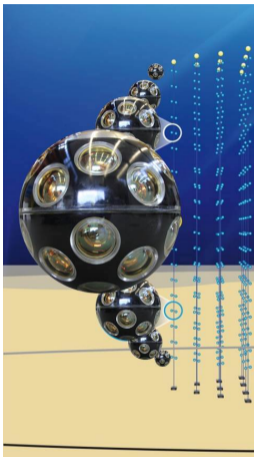
Dans le domaine électromagnétique aussi !

Particule qui va plus vite que la vitesse de la lumière dans le milieu \Rightarrow Emission de lumière

Les Télescopes à Neutrinos : ANTARES, KM3NET, ICECUBE



Les Télescopes à Neutrinos : ANTARES, KM3NET, ICECUBE



Des télescopes particuliers

- Élément essentiel : le Module Optique Digital (DOM) - IPHC a déjà produit l'équivalent de 5 lignes depuis 2018 !

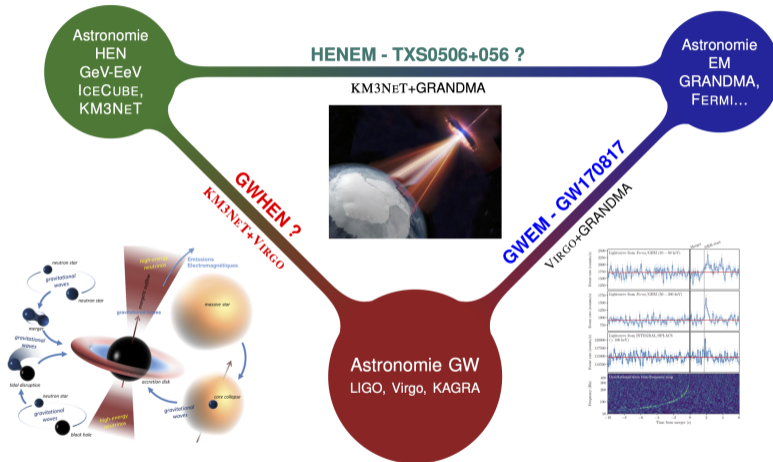
Conclusions - vers de nouvelles découvertes !



Un événement astrophysique dans KM3NET (Neutrino 2024)

Plusieurs dizaines de PeV $\approx 10000 \times$ Energie du LHC!

Conclusions - vers de nouvelles découvertes !



OGMA

- **GW - VIRGO**
- ↳ Détecter les OG !
- ↳ Corrélations GWHEN
- **HEN - KM3NeT**
- ↳ Détecter les HEN !
- ↳ Corrélations GWHEN
- ↳ Corrélations HENEM
- **EM - GRANDMA**

