

# ANTARES - KM3NET/ORCA

Des télescopes sous-marins pour  
la physique et l'astrophysique des neutrinos, du MeV au PeV

Thierry Pradier - [pradier@in2p3.fr](mailto:pradier@in2p3.fr)

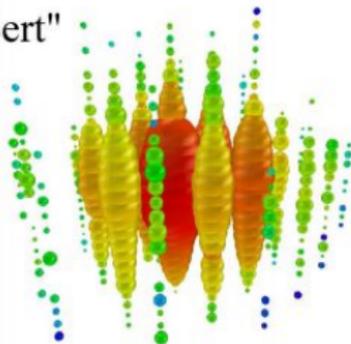


- + UHA-GRPHE : A. Albert, D. Drouhin
- + peut-être, 1 post-doc *IN2P3* courant 2015

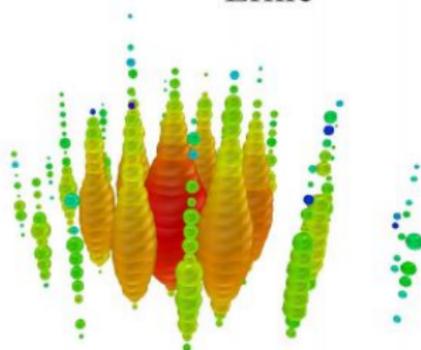


# ICECUBE, ses Neutrinos au PeV, et ANTARES

"Bert"



"Ernie"



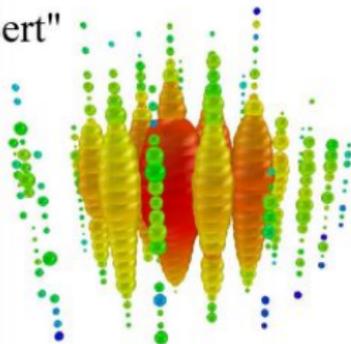
Quantité de lumière détectée dans chaque PMT après interaction d'un  $\nu$

L'avènement de l'astronomie neutrino à haute énergie

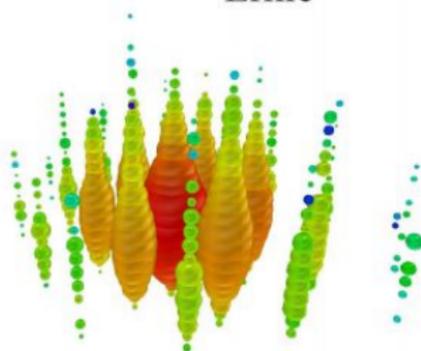
- **Mai 2013** : ICECUBE (1 km<sup>3</sup> de glace instrumenté, US, Antarctique) annonce 1<sup>ère</sup> détection de  $\nu$  cosmiques au PeV ( $\sim 30$ )  
⇒ Flux diffus, pas de source ponctuelle identifiée

# ICECUBE, ses Neutrinos au PeV, et ANTARES

"Bert"



"Ernie"



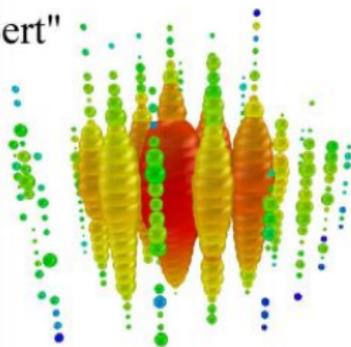
Quantité de lumière détectée dans chaque PMT après interaction d'un  $\nu$

L'avènement de l'astronomie neutrino à haute énergie

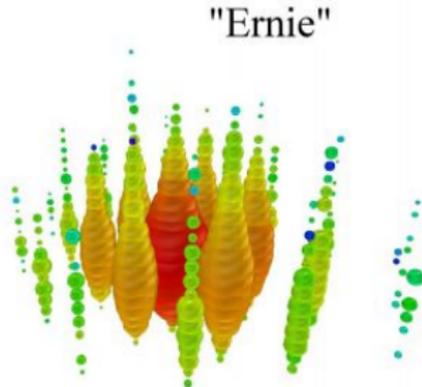
- **Juillet 2013** : ANTARES (0.1 km<sup>3</sup> d'eau instrumenté, UE, Méditerranée) rejette l'hypothèse d'une **source ponctuelle unique**,
- mais voit un **léger excès à 2.3 $\sigma$  ailleurs...**

# ICECUBE, ses Neutrinos au PeV, et ANTARES

"Bert"



"Ernie"



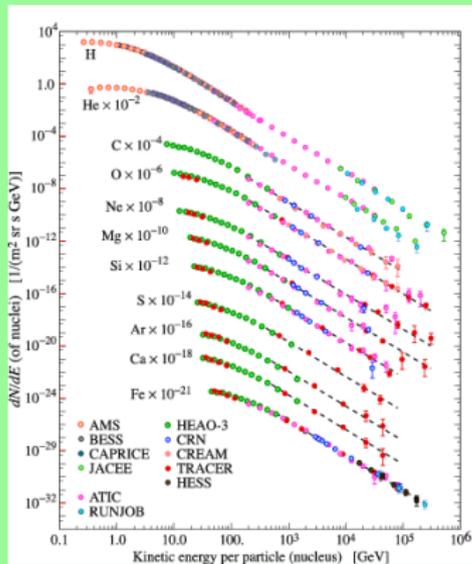
Quantité de lumière détectée dans chaque PMT après interaction d'un  $\nu$

L'avènement de l'astronomie neutrino à haute énergie

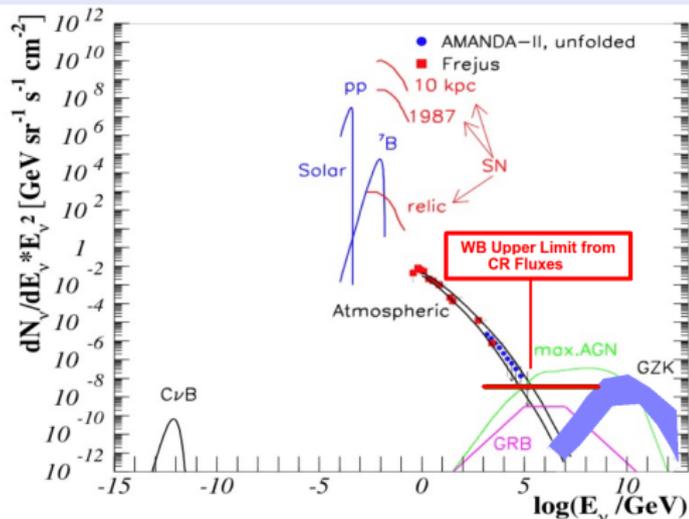
- ⇒ Les  $\nu$  cosmiques au TeV-PeV existent !
- ⇒ pas de source identifiée  $> \text{MeV}$  (Soleil, SN 1987A)

# Rayons cosmiques et neutrinos de haute énergie

## Des RC hadroniques



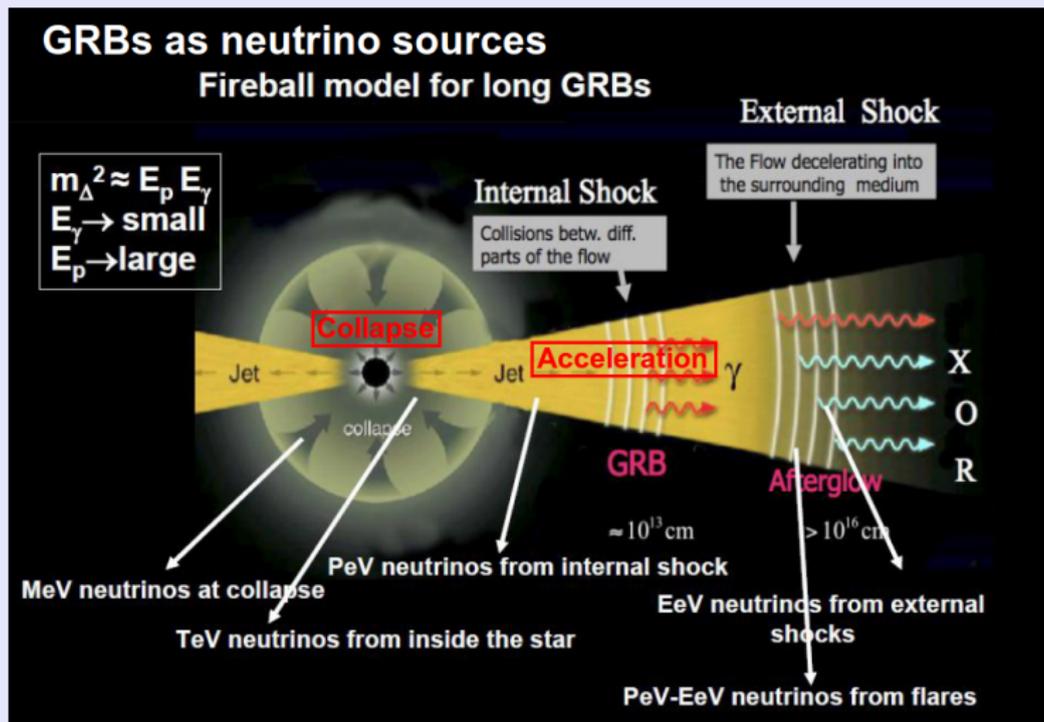
## Spectres des $\nu$ dans l'Univers



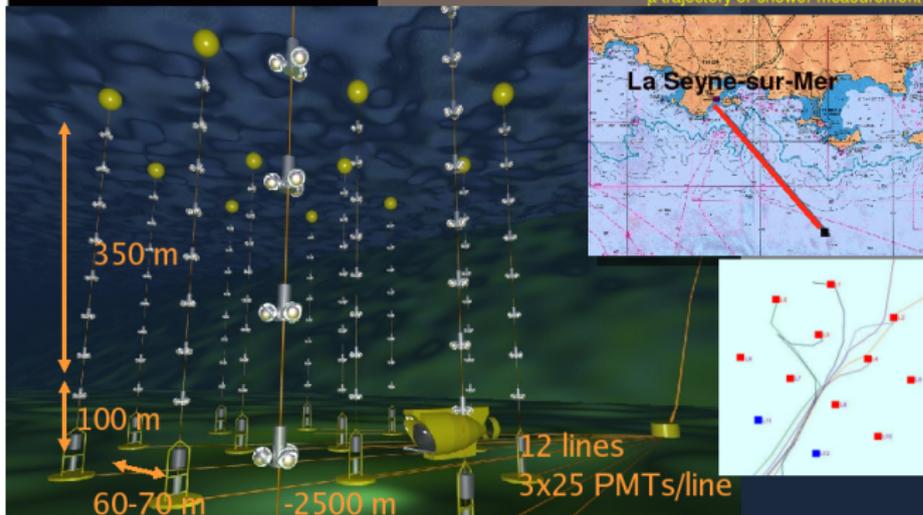
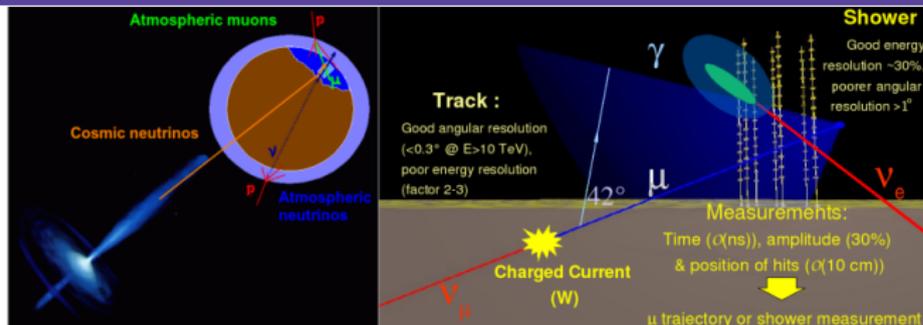
- $p/A + p/\gamma \rightarrow \pi^\pm \rightarrow \nu \Rightarrow E_\nu^2 \Phi_\nu \lesssim 4.5 \times 10^{-8} \text{ GeV/cm}^2/\text{s/sr}$  (flux **WB**)  
 $\Rightarrow$  Avec  $E_\nu = 100 \text{ TeV}$ ,  $A_{\text{eff}} \sim \text{km}^2$  nécessaire pour détection

# Par exemple, Supernovae avec jets

## Supernovae gravitationnelles



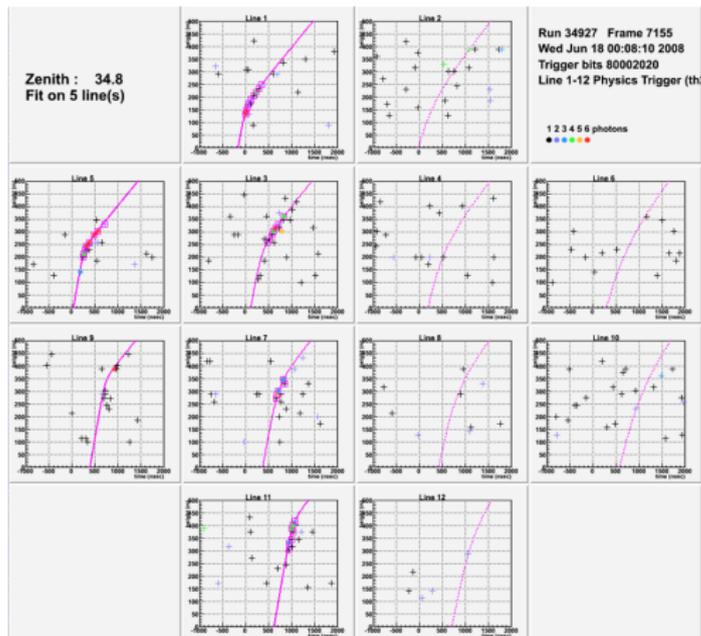
# Principe de détection - ANTARES



## 12 Lignes

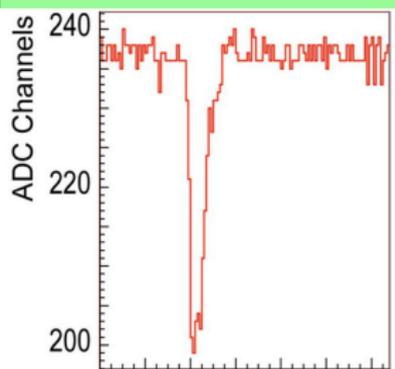
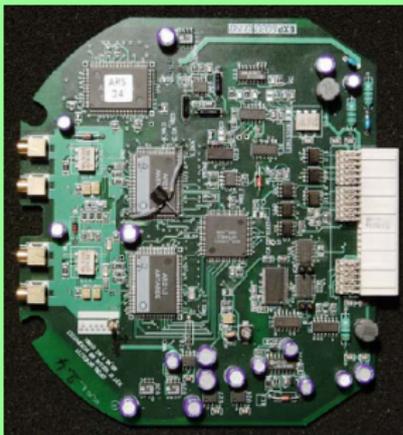
- **2000** : IPHC
- **Mars 2006**  
⇒ **1<sup>ère</sup> Ligne**
- **Janvier 2007**  
⇒ **Lignes 3-5**
- **Mai 2008**  
⇒ **12 Lignes**

# Un $\nu$ atmosphérique vu par ANTARES



# En Bref... Activités « proches de l'instrument »

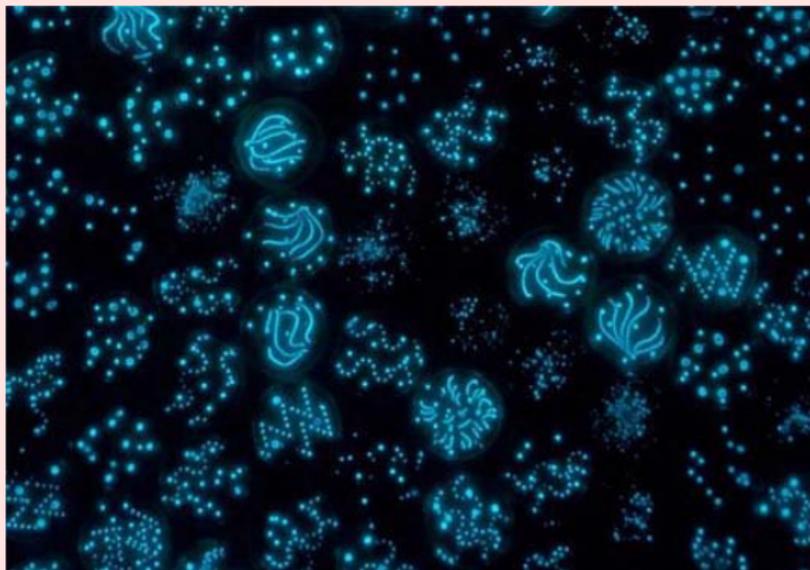
## Electronique frontale : Carte mère ARS



- Caractérisation, production et suivi des **900 cartes** (2004-2008)
- Après installation complète du détecteur (2006) :
  - Etalonnage en charge - via signal numérisé
  - Etalonnage en temps (*walk*) - **Thèse 2010**

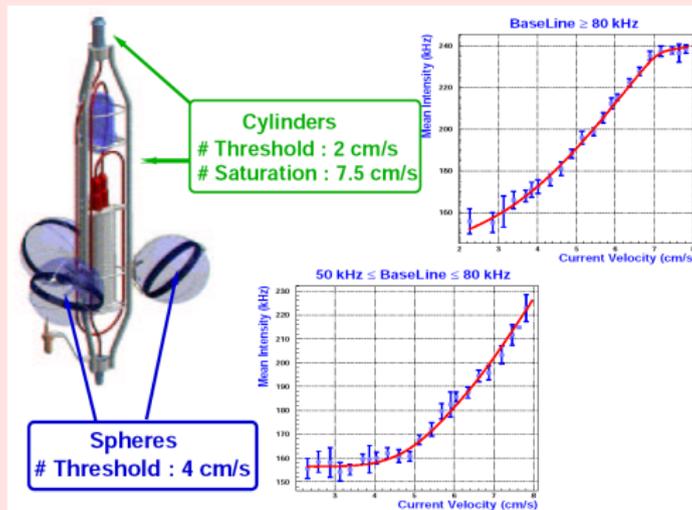
# En Bref... Activités « proches de l'instrument »

## Modélisation de la bioluminescence



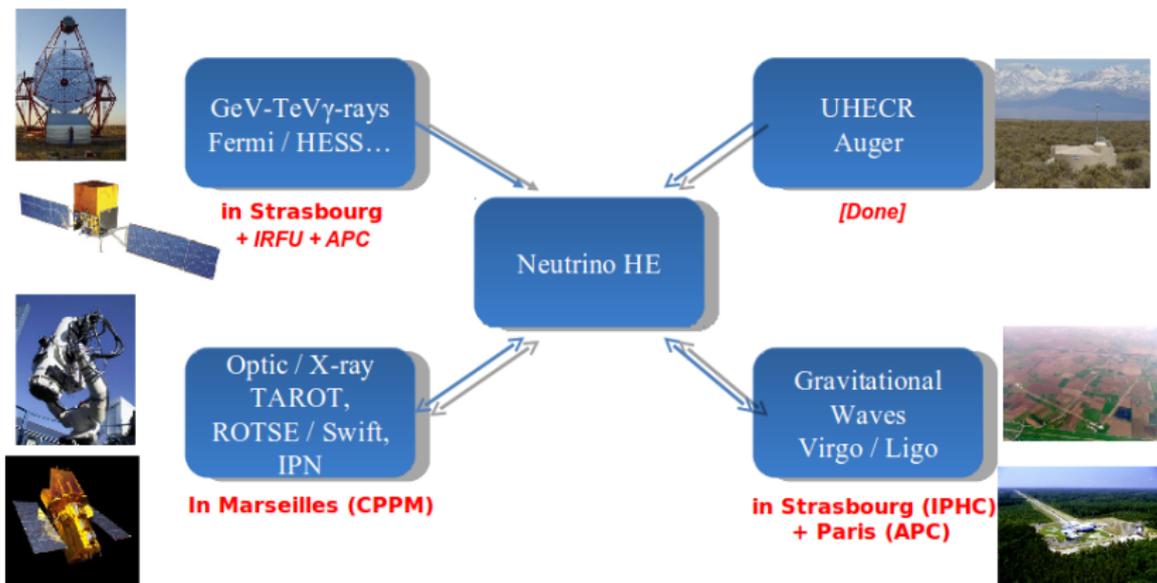
# En Bref... Activités « proches de l'instrument »

## Modélisation de la bioluminescence



- Discussions avec mécaniciens des fluides, biologistes
- Cisaillement  $\tau$  dépendant de la forme de la structure
- Population de plancton avec seuil d'excitation en  $\tau$   
 $\Rightarrow$  Prédiction Intensité lumineuse  $\propto \text{erf}(v^2)$

# En Bref... Astronomie Multi-Messagers



Distinguer un  $\nu$  cosmique d'un  $\nu$  non-cosmique

Corrélation (temps et/ou espace) avec d'autres messagers !

# GWHEN : Analyse jointe ANTARES+VIRGO/LIGO



	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
ANTARES	5L	0L	12L	12 Lines					ORCA/KM3	
Ice Cube	22s	40s	59s	79s	Ice Cube 86 strings					
LIGO	S5		S6			GEO Only				Advanced LIGO
VIRGO	VSR1		VSR2	VSR3	+ GEO					Advanced VIRGO
	<b>Completed</b>		<b>Analysis on-going</b>		<b>AstroWatch</b>			<b>Preparation of future analyses</b>		

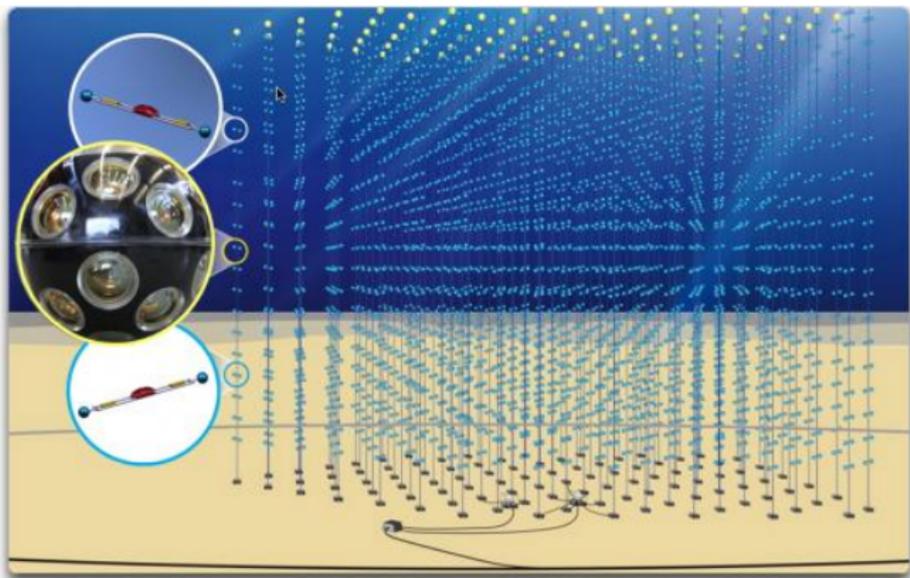
## GWHEN

- Coord. IPHC
- 1ère publication ici
- Collaboration :
  - ⇒ APC
  - ⇒ VIRGO/LIGO

## Thèse, partie Analyse des Données ANTARES

- Possibilité de prendre part à *GWHEN-3*, fin 2015

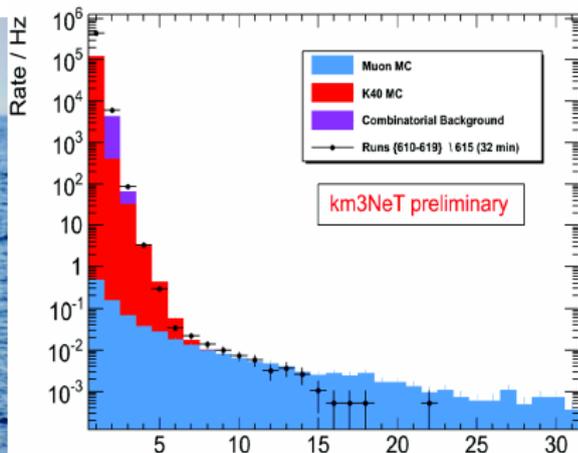
# KM3NET



KM3NET : télescope 2-3 km<sup>3</sup>, sur 2 sites (Fr, It)

⇒ Début de construction vers 2015 ?

# KM3NeT



Avril 2013, Toulon (site d'ANTARES, -2500m)

Un Digital Optical Module **KM3NeT** prend déjà des données !

# KM3NET

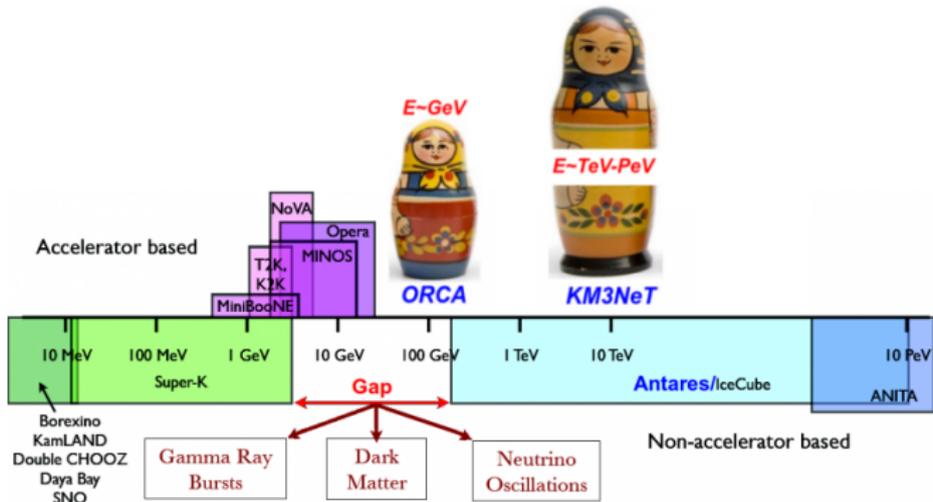


Mai 2014, Capo Passero (Sicile, -3500m)

Ligne prototype avec **3 DOM** en fonctionnement !

# ORCA : détecteur dense sur site KM3NET français

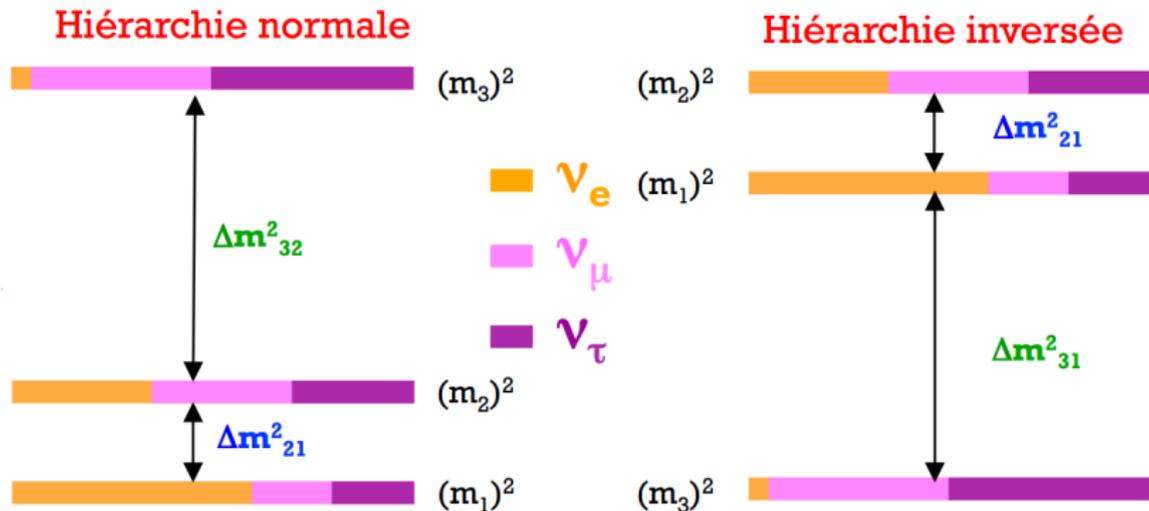
## Oscillation Research with Cosmics in the Abyss



Un télescope (ultra-) dense pour atteindre  $E \sim GeV$

- 1 - Hiérarchie de masse des neutrinos
- 2 - Astrophysique au GeV !

# ORCA - oscillations des neutrinos



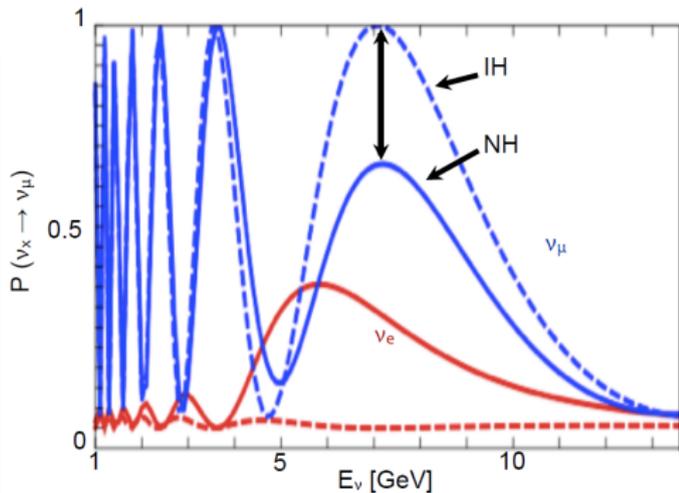
La valeur de  $\theta_{13}$  rend possible la détermination de la hiérarchie dans un télescope sous-marin !

# ORCA - oscillations des neutrinos

ORCA :  $E \sim 1 - 10 \text{ GeV}$



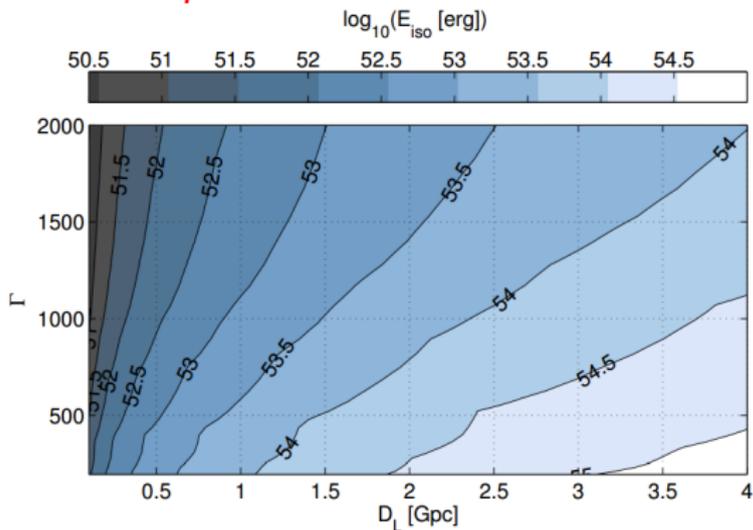
- **Oscillations** des  $\nu$  atmosphériques  $\Rightarrow$  **Hiérarchie de masse**
- $\Rightarrow$  Des lignes plus proches, plus compactes que KM3NeT
- $\Rightarrow$  **Résolution** ( $E, \theta$ ) ?



*Mass hierarchy determination with atmospheric neutrinos in large volume ice/water Cherenkov detectors*, D. Franco et al. - JHEP 2013, 4 (2013)

# ORCA - astrophysique neutrino

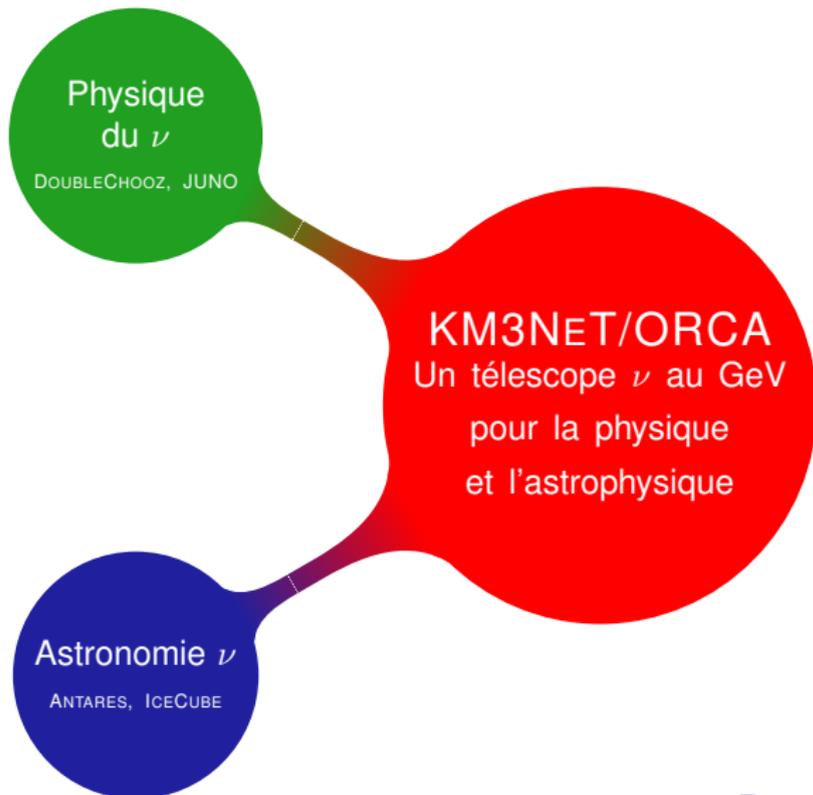
**Energie d'un Sursaut Gamma vs Facteur de Lorentz vs Distance  
pour 1 neutrino détecté dans ORCA**



Performances à évaluer pour sources astrophysiques

- 1 - Sursauts gammas ?
- 2 - **Supernovae gravitationnelles -  $\nu$  du MeV au GeV ?**

# ANTARES → KM3NET et ORCA



# ANTARES → KM3NET et ORCA

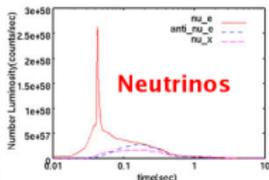
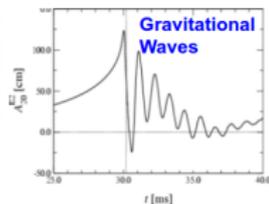
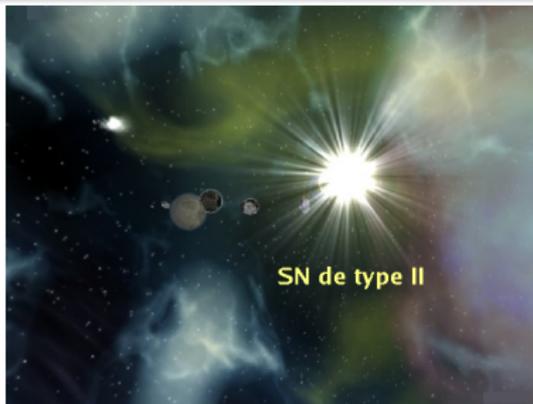
## Sujet(s) de stage/thèse...

### 1 - ANTARES :

- ⇒ Signal périodique en  $\nu$  ?
- ⇒ Recherche de  $\nu$  de SN II/lbc passés (depuis 2008)

### 2 - ORCA :

- ⇒ Performances d'ORCA pour  $\nu$  de SN II ( $E \sim \text{MeV} - \text{GeV}$ )
- ⇒ Optimisation résolution angulaire/énergie pour hiérarchie de masse



# Pour toute question...

## Contactez-moi !

- [pradier@in2p3.fr](mailto:pradier@in2p3.fr) - 03 88 10 66 20
- Bureau 210 - Bâtiment 21
- Option « **AstroParticules et Cosmologie Observationnelle** »

