



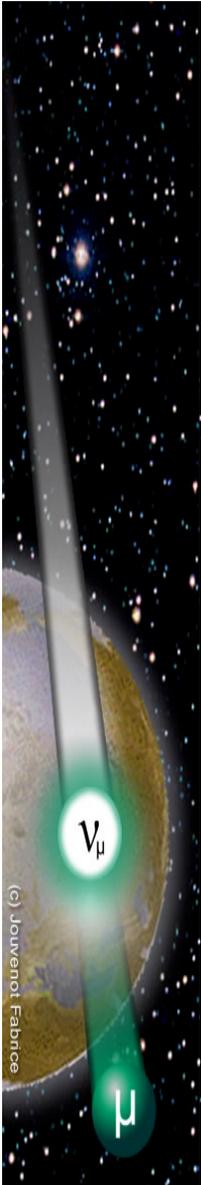
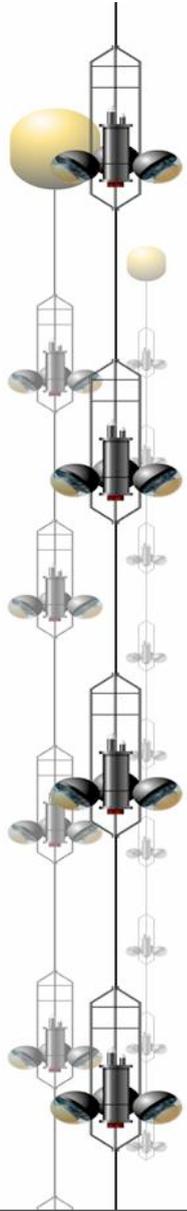
Le télescope à neutrinos ANTARES

<http://antares.in2p3.fr>



Journée Astroparticules
CNRS Paris, 7/09/07

A. Kouchner
Université Paris 7
Laboratoire APC





La collaboration ANTARES

- ❖ CPPM, Marseille
- ❖ DSM/DAPNIA/CEA, Saclay
- ❖ APC Paris
- ❖ IPHC (IReS), Strasbourg
- ❖ Univ. de H.-A., Mulhouse
- ❖ IFREMER, Toulon/Brest
- ❖ COM. Marseille
- ❖ LAM, Marseille
- ❖ GeoAzur Villefranche

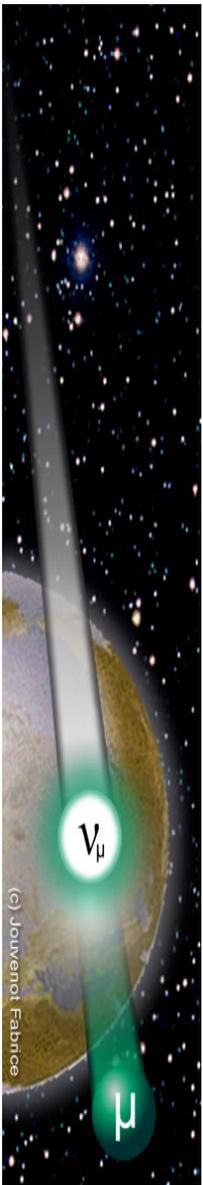
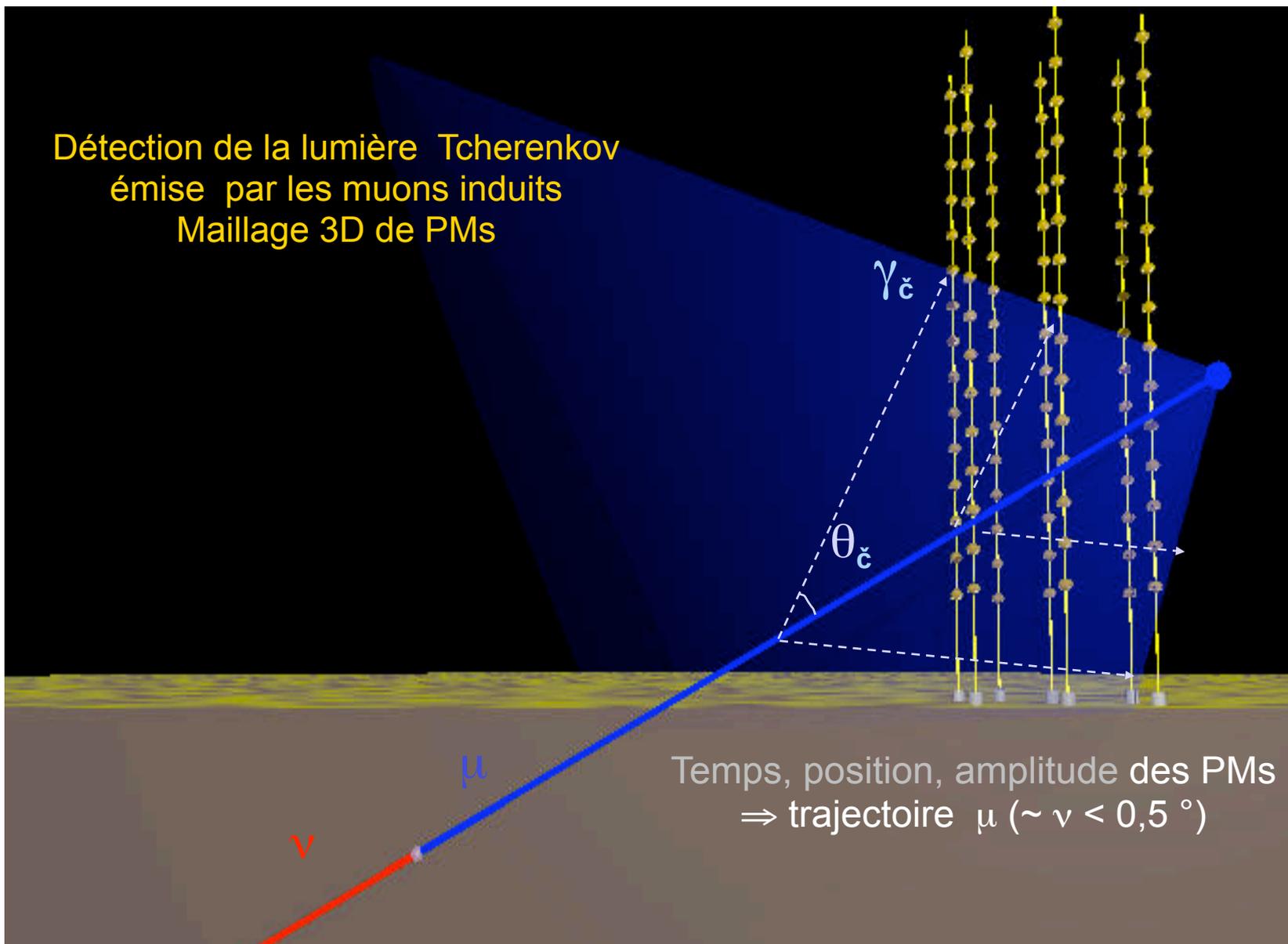


Réunion Collaboration
Cassis, Mars 2006



Principes de détection

Détection de la lumière Tcherenkov
émise par les muons induits
Maillage 3D de PMs



(c) Jouvencot Fabrice

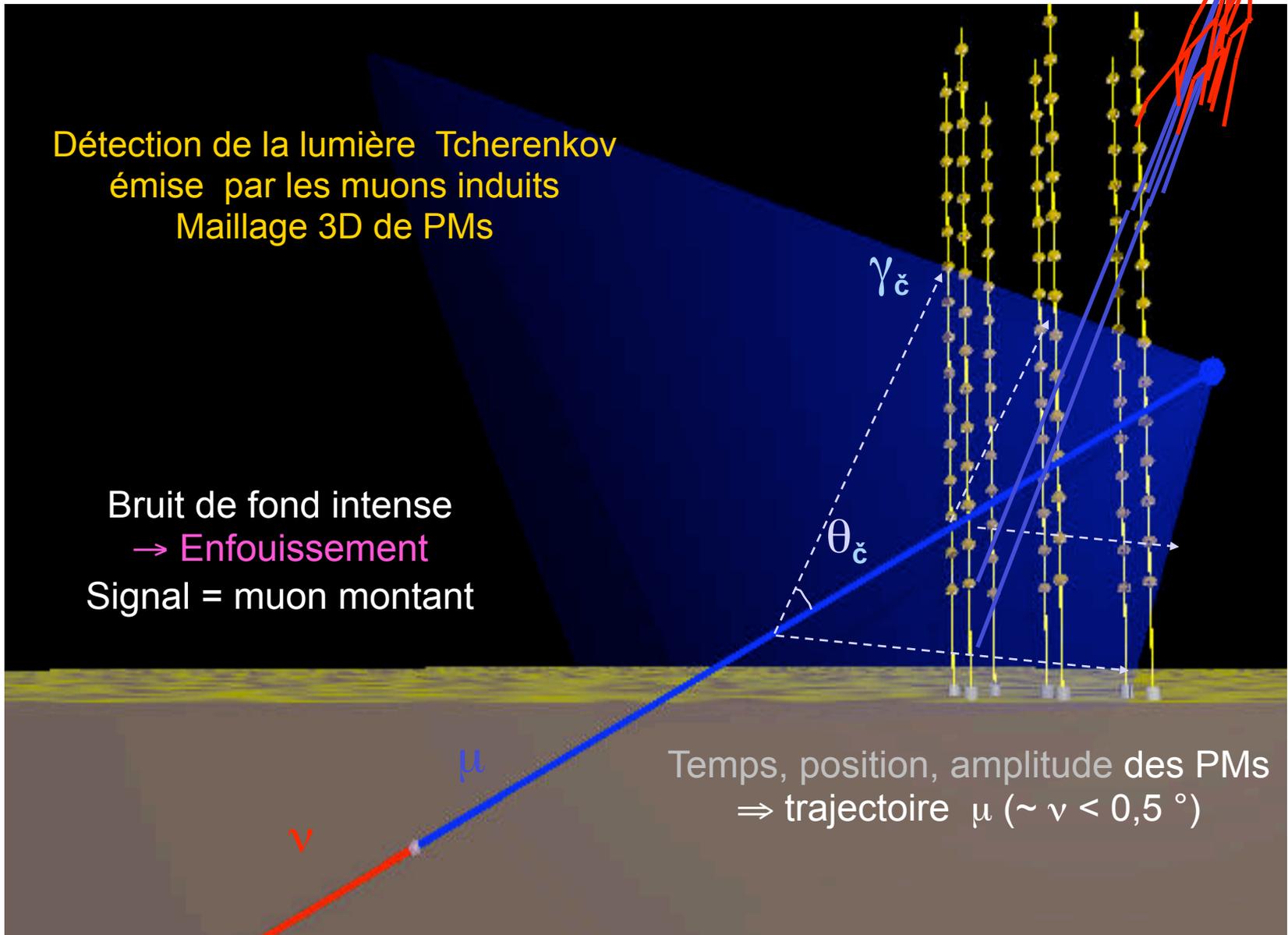
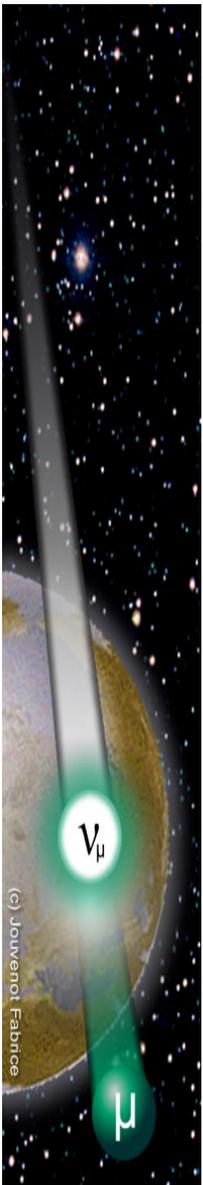


Principes de détection

Détection de la lumière Tcherenkov
émise par les muons induits
Maillage 3D de PMs

Bruit de fond intense
→ Enfouissement
Signal = muon montant

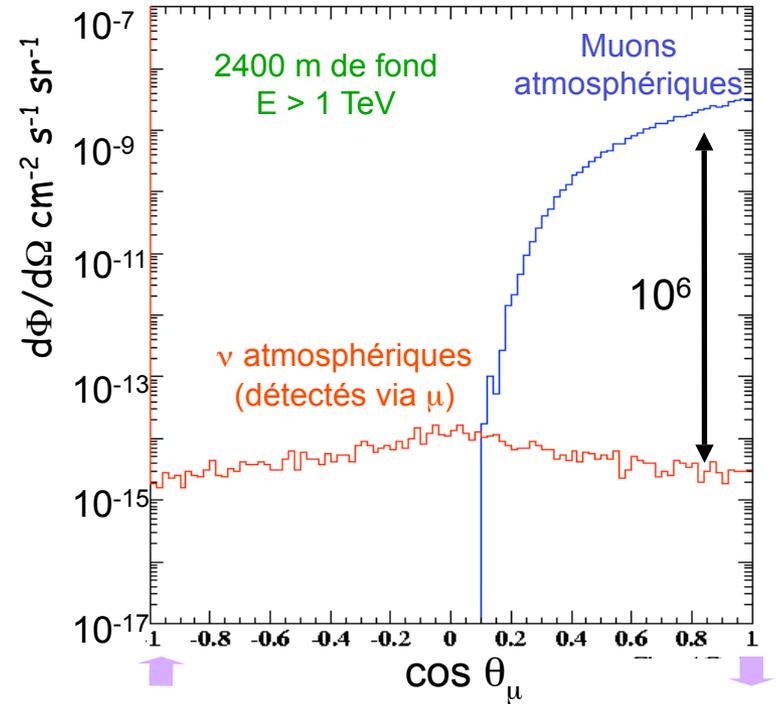
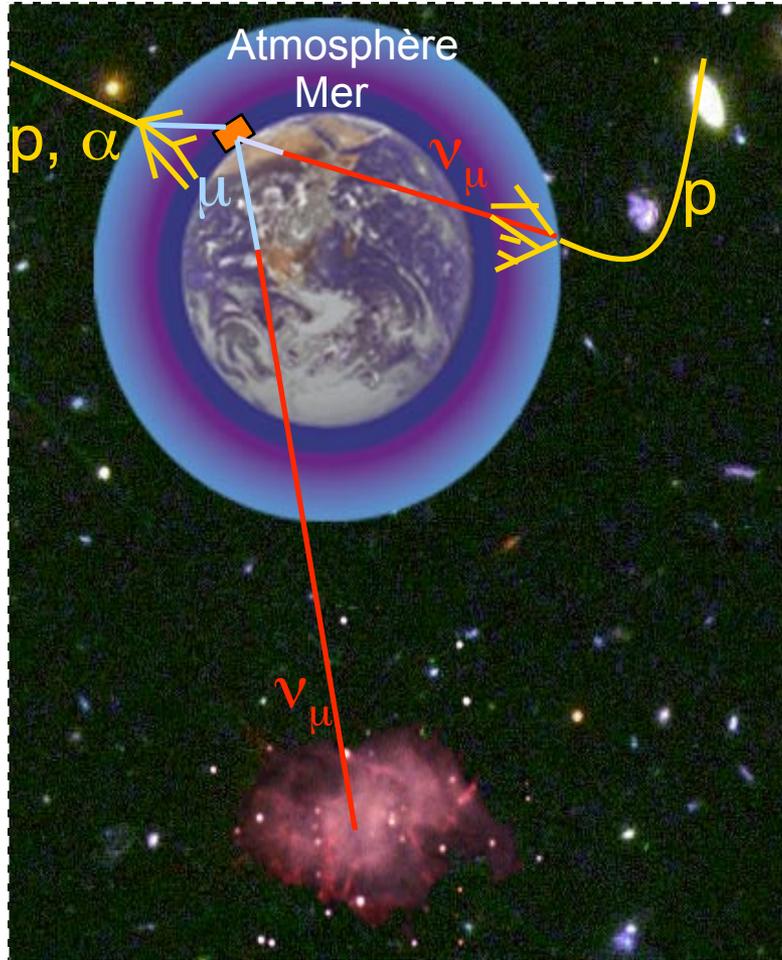
Temps, position, amplitude des PMs
⇒ trajectoire μ ($\sim \nu < 0,5^\circ$)



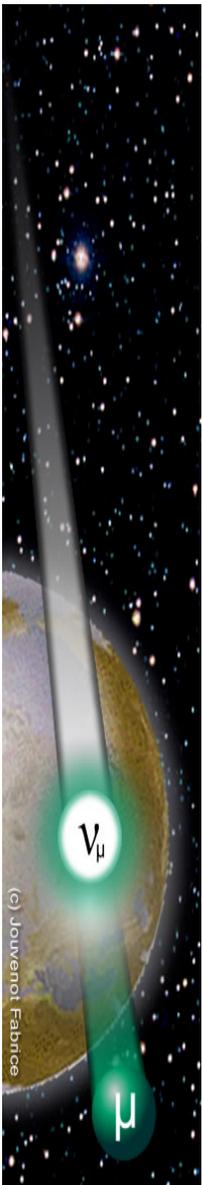
(c) Jouvencot Fabrice



Contraintes des bruits de fond

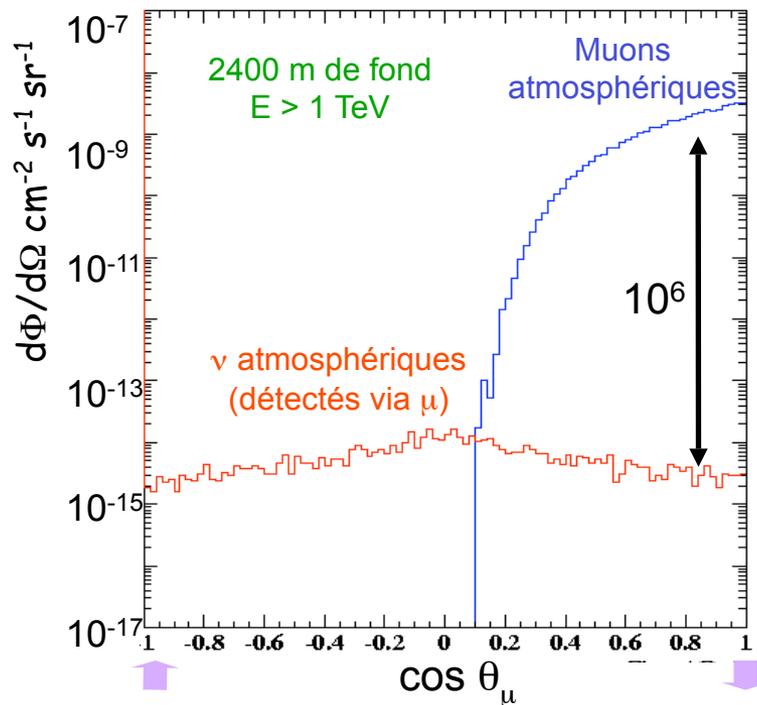
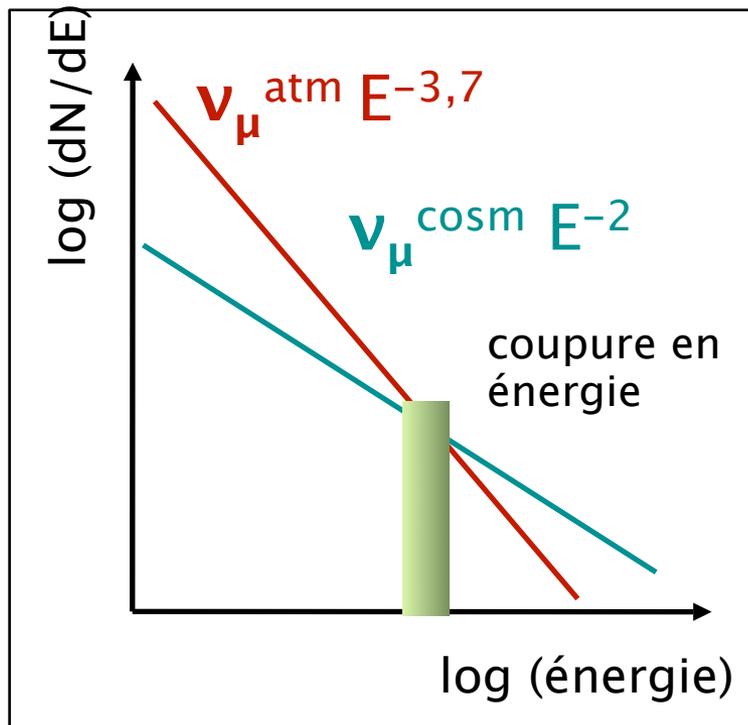


⇒ Blindage : Terre en dessous, Mer en dessus
⇒ Signal = muons montants



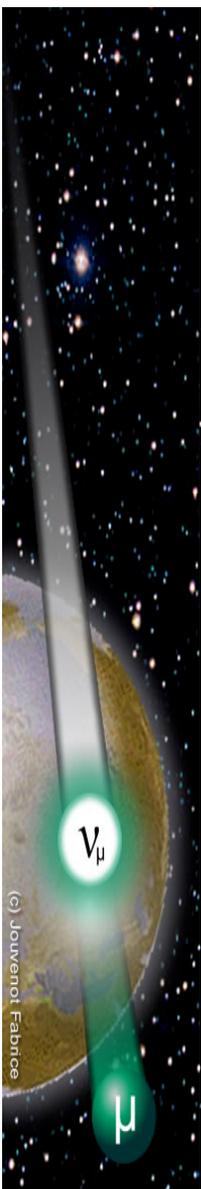


Contraintes des bruits de fond



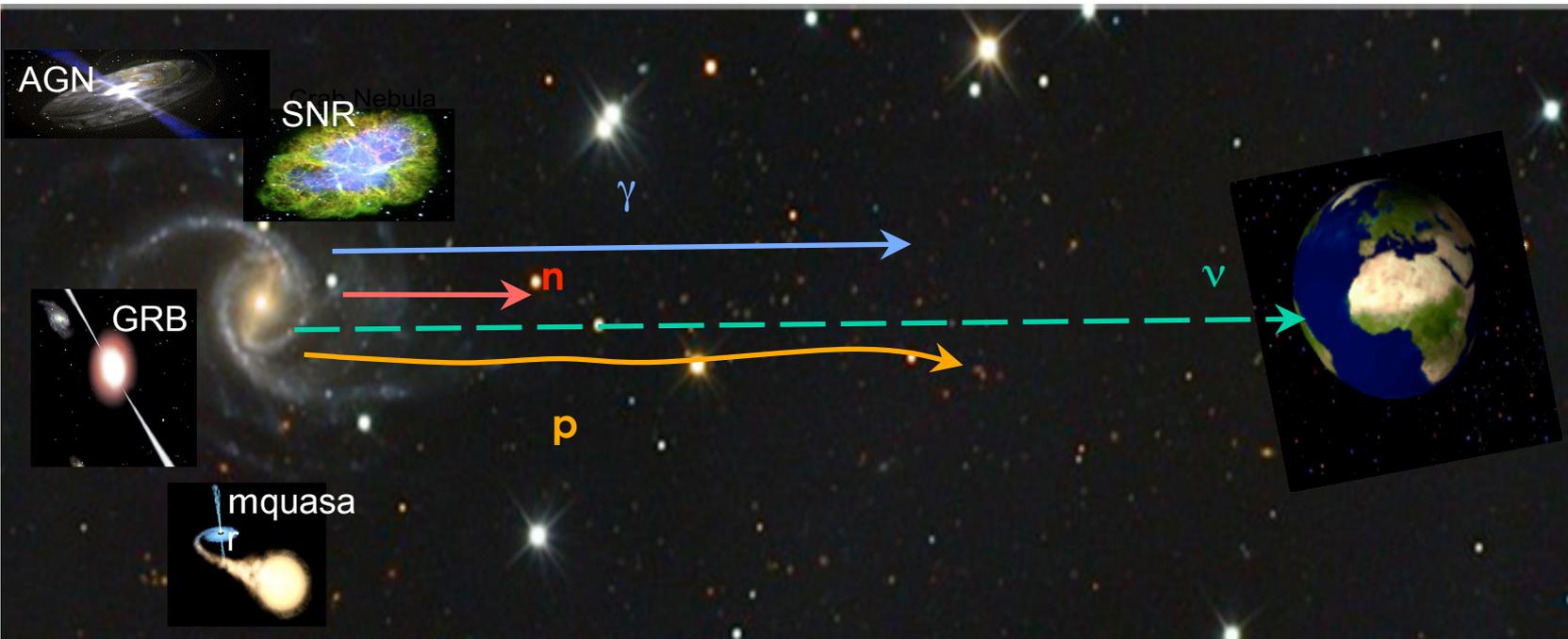
⇒ Flux de ν cosmiques : un excès par rapport au spectre de ν atmosphériques

⇒ Blindage : Terre en dessous, Mer en dessus
⇒ Signal = muons montants





Astronomie neutrino

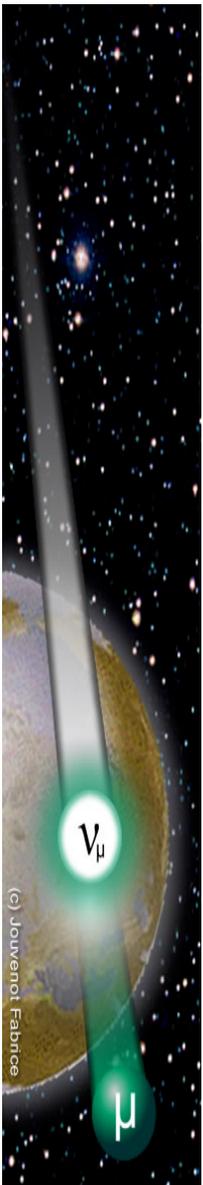


❖ Scénario de production de neutrino

- Cosmic ray interactions: $p+A/g \rightarrow \text{mesons} \rightarrow n$
- Désintégration de particules lourdes
- Annihilation de WIMP: $DM + DM \rightarrow \dots \rightarrow n$

❖ Etudes interdisciplinaires:

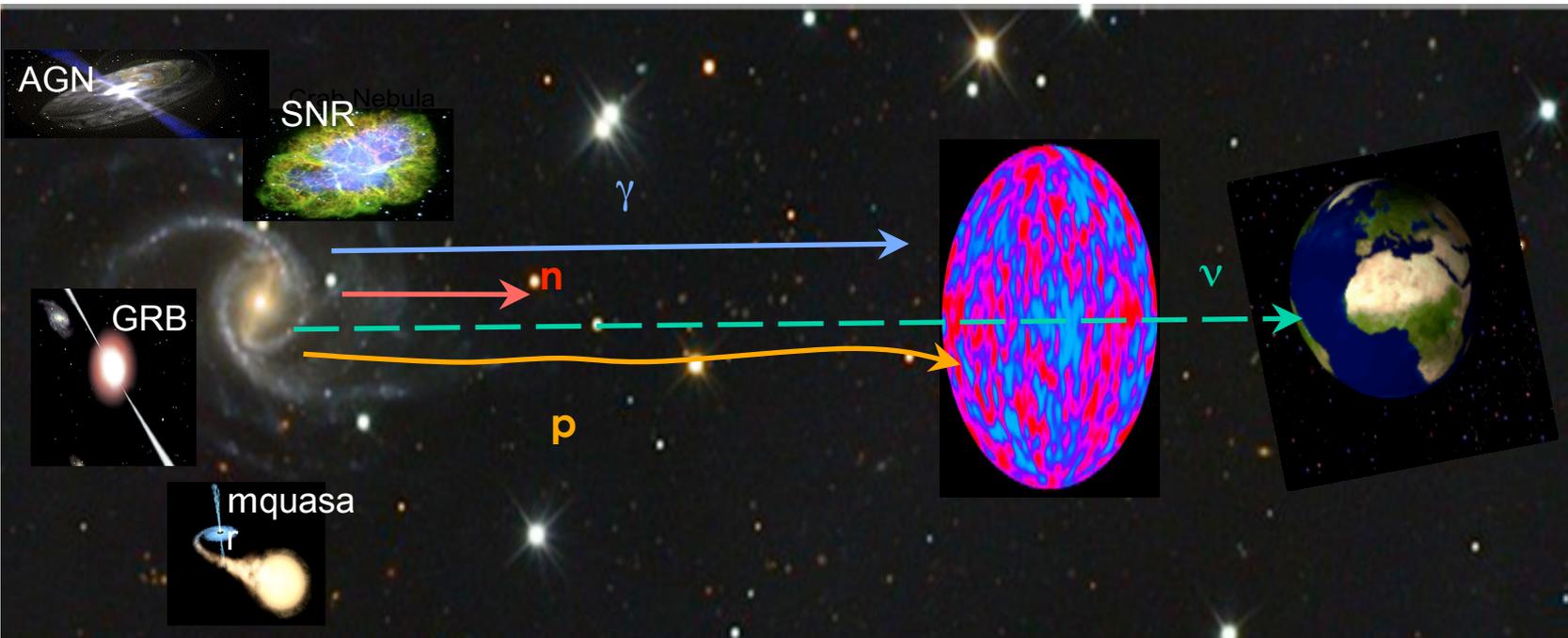
- océanographie, biologie sous-marine, sismologie...



(c) Jouvencot, Fabrice



Astronomie neutrino

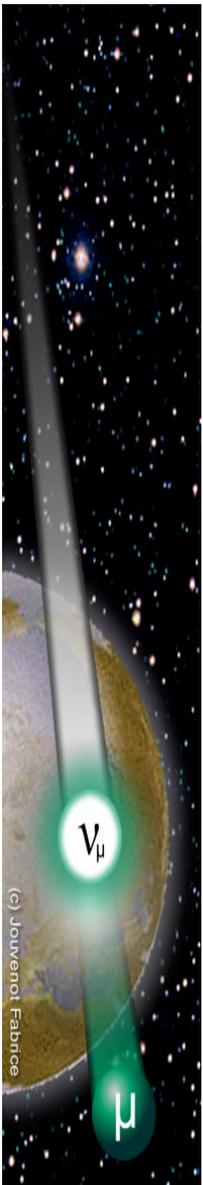


❖ Scénario de production de neutrino

- Cosmic ray interactions: $p+A/g \rightarrow \text{mesons} \rightarrow n$
- Désintégration de particules lourdes
- Annihilation de WIMP: $DM + DM \rightarrow \dots \rightarrow n$

❖ Etudes interdisciplinaires:

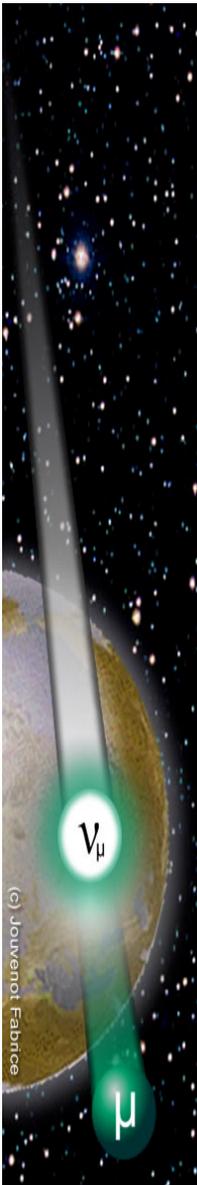
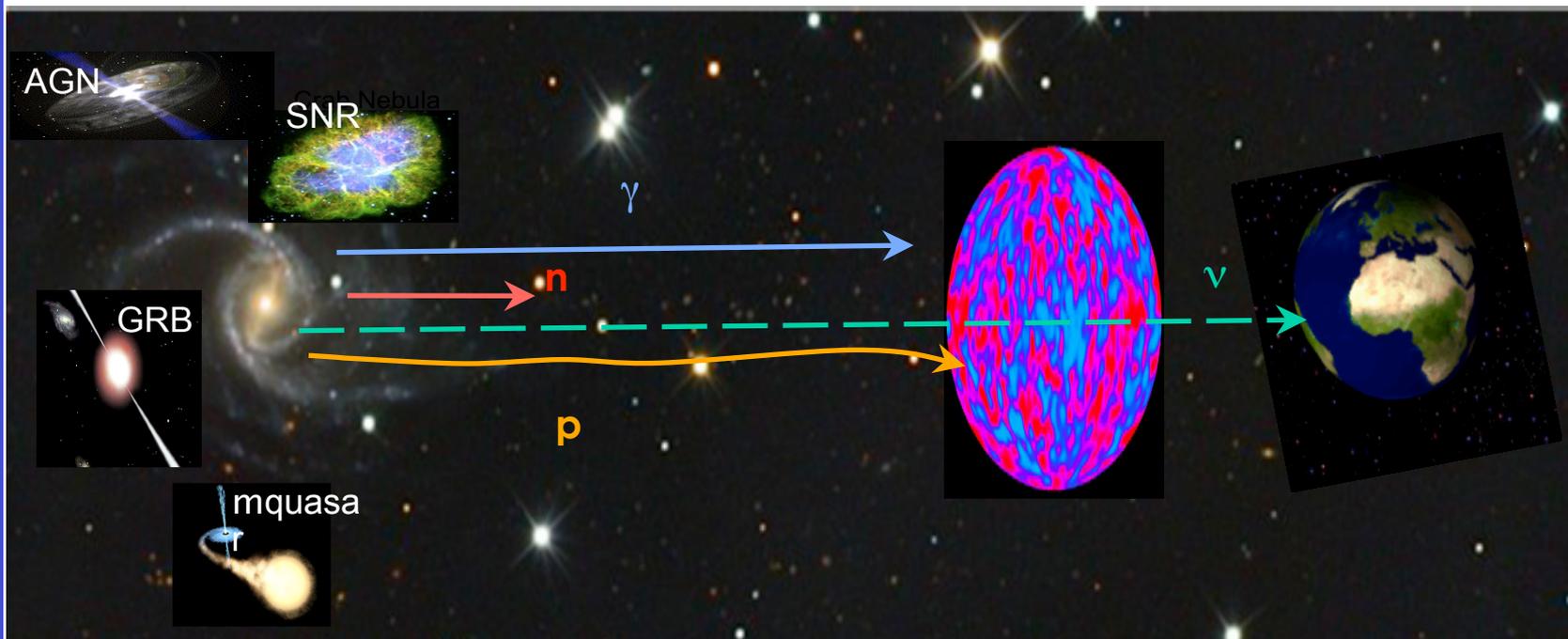
- océanographie, biologie sous-marine, sismologie...



(c) Jouvencot, Fabrice

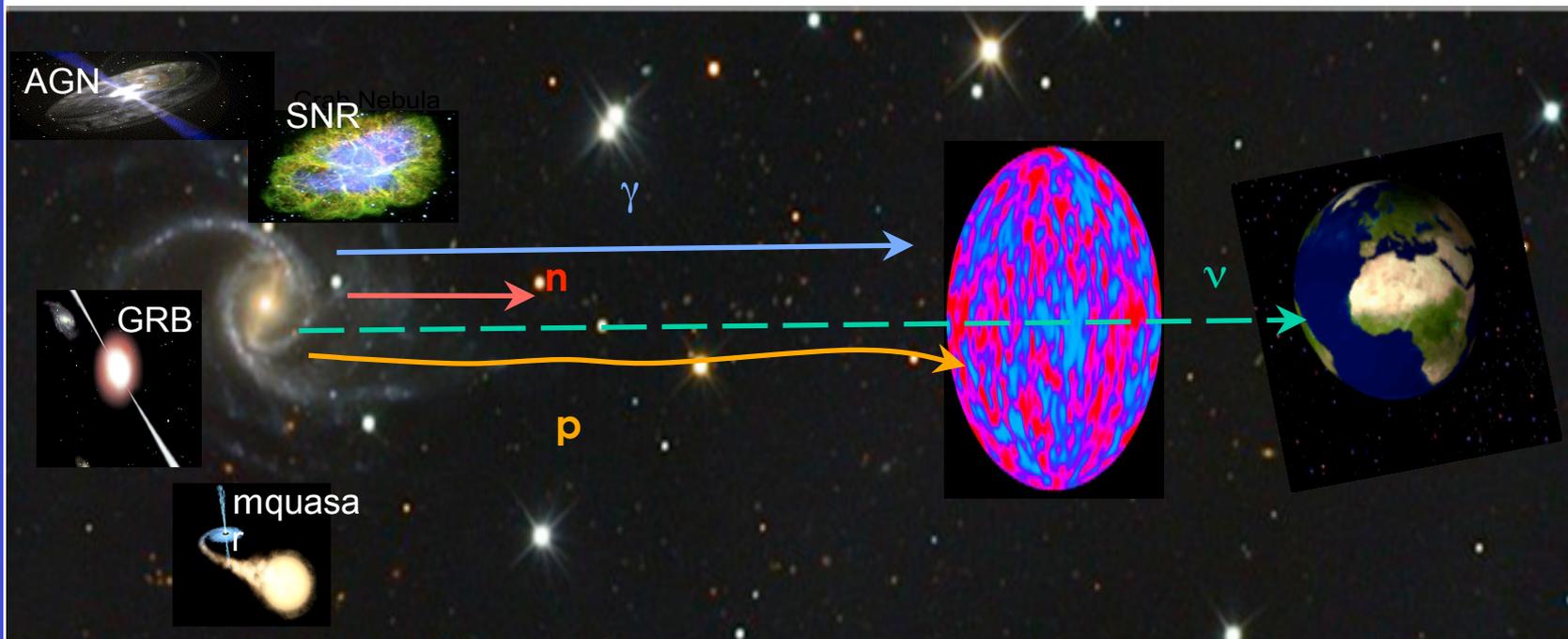


Astronomie neutrino

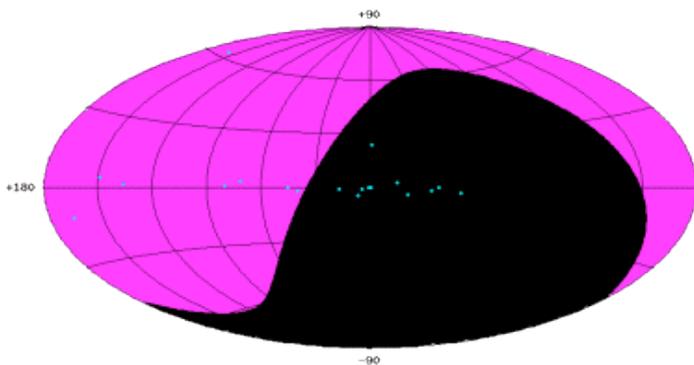




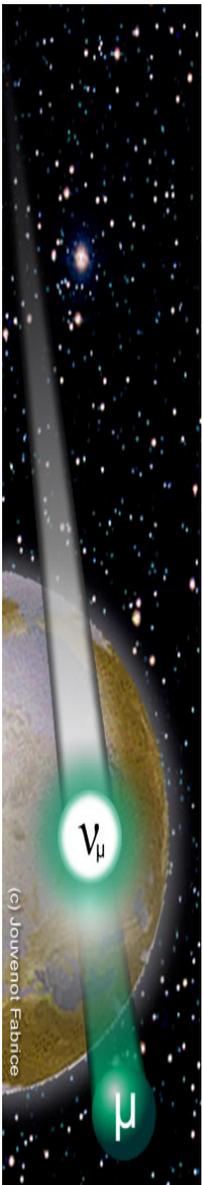
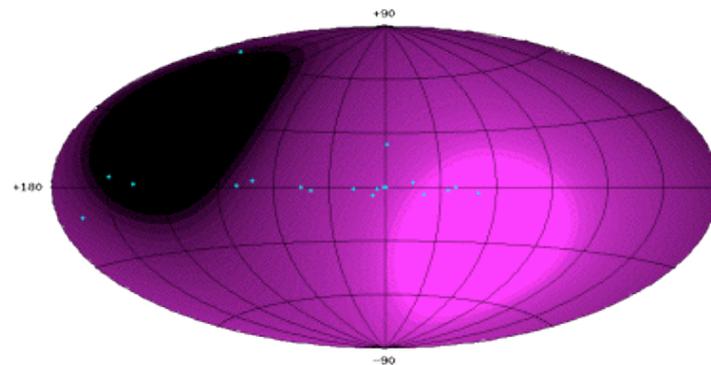
Astronomie neutrino



South Pole visible sky



Mediterranean visible sky

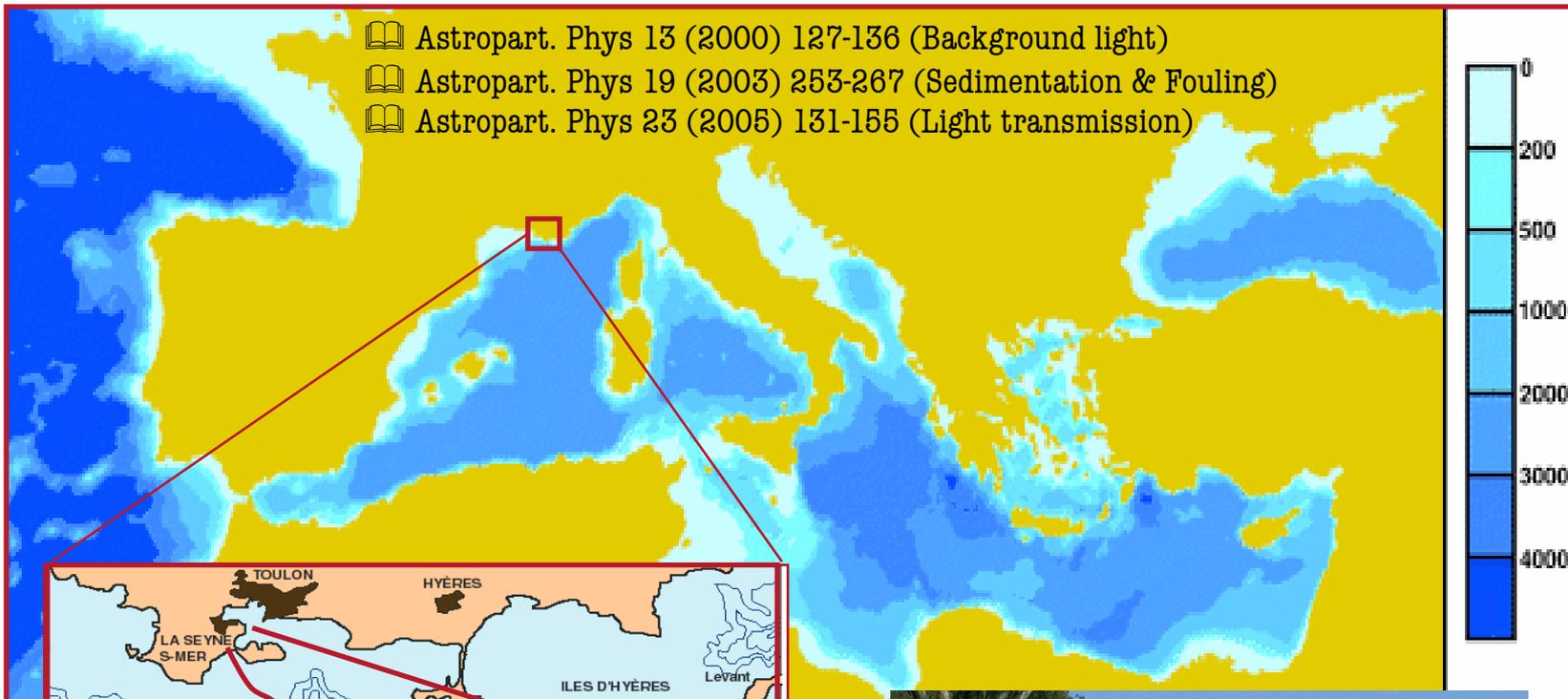


(c) Jouvevot, Fabrice

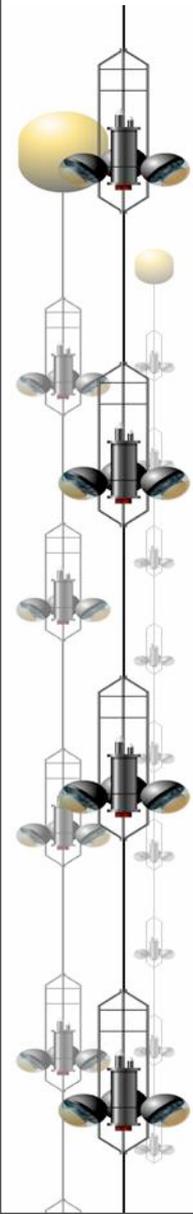


site ANTARES

- Astropart. Phys 13 (2000) 127-136 (Background light)
- Astropart. Phys 19 (2003) 253-267 (Sedimentation & Fouling)
- Astropart. Phys 23 (2005) 131-155 (Light transmission)



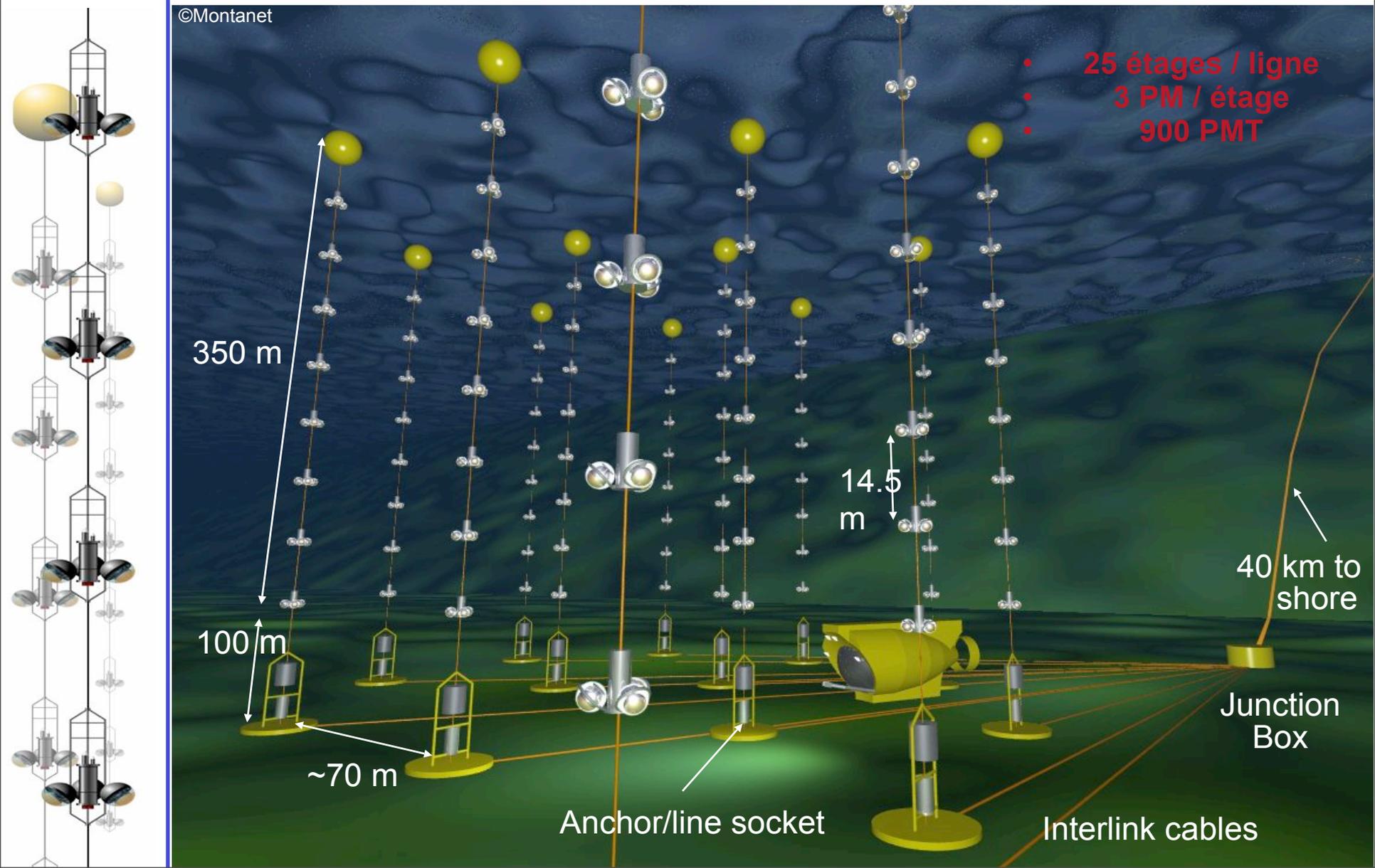
Station de contrôle, IMP





Les 12 lignes de détection

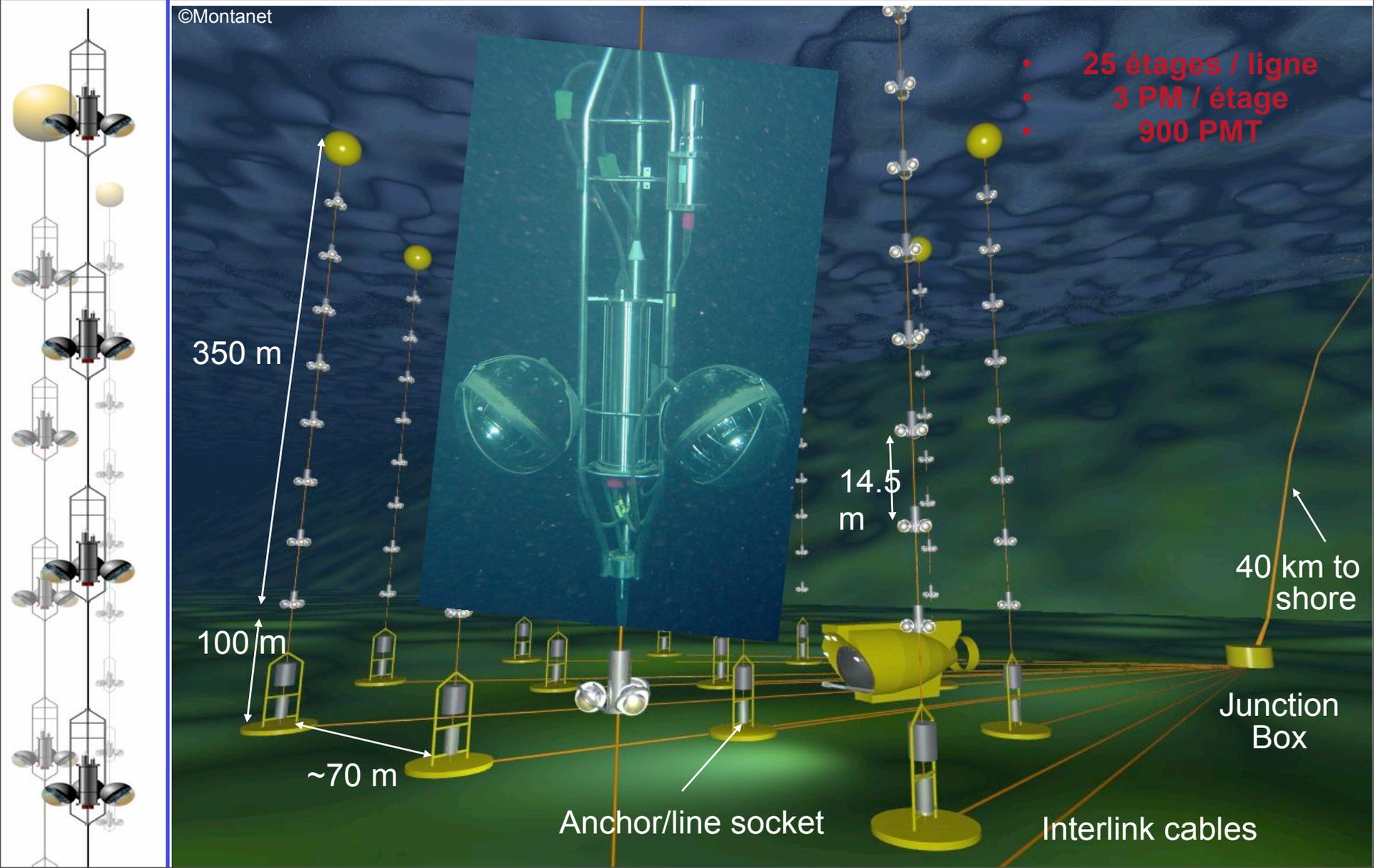
©Montanet





Les 12 lignes de détection

©Montanet

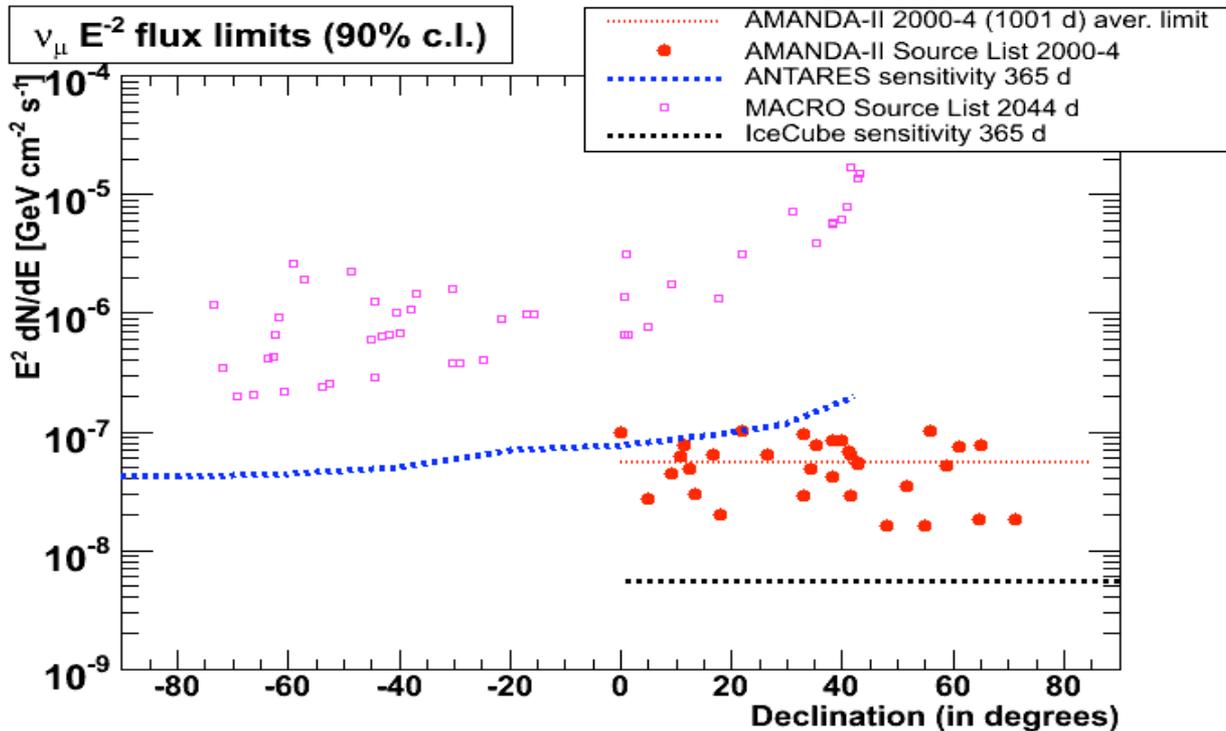
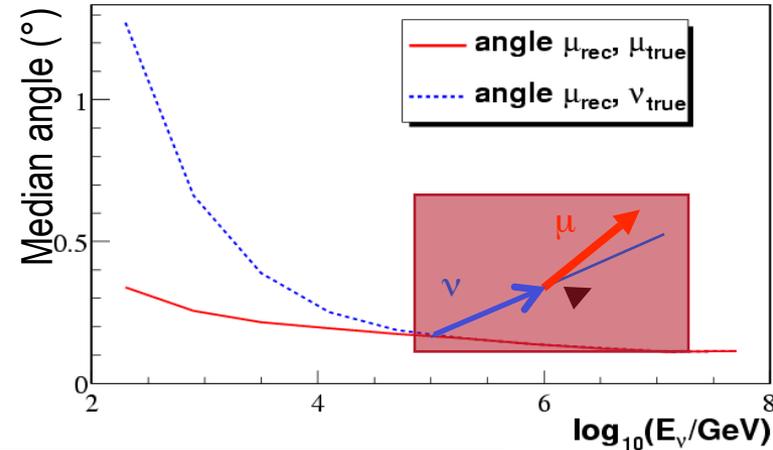




Sensibilité aux sources ponctuelles

➤ Angular resolution

- $E_\mu > 10 \text{ TeV} \Rightarrow \sim 0.2^\circ$
- $E_\mu < 10 \text{ TeV} \Rightarrow$ dominé par cinématique



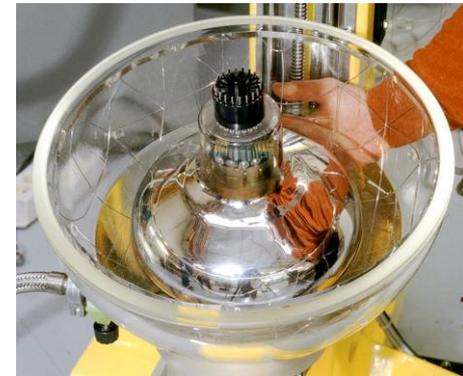


Un étage de détection

Cadre en Titane : support mécanique

Balise Optique
LEDs bleu:
Étalonnage temps

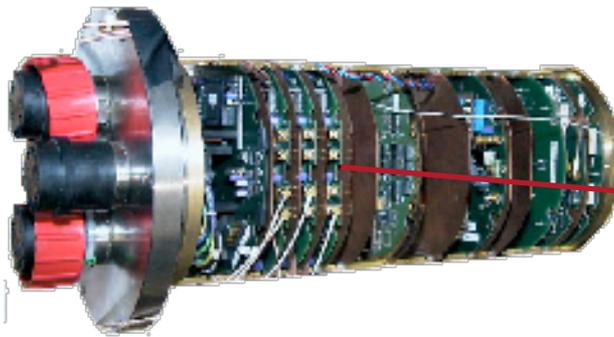
 NIM A578 (2007) 498



Module optique:
10" Hamamatsu PM
Photon-détection

 NIM A484 (2002) 369

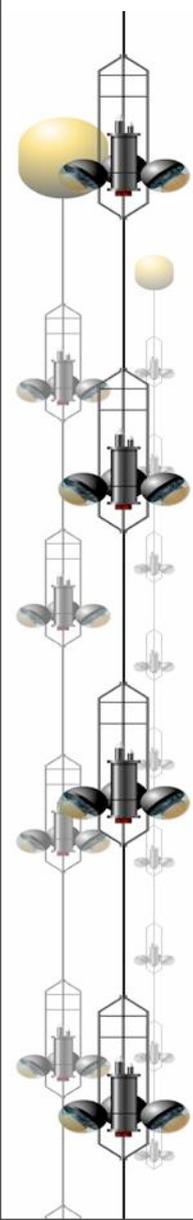
 NIM A555 (2005) 132



Local Control Module (Ti):
Front-end ASIC, DAQ/SC,
Horloge, tilt/compas



hydrophone:
Positionnement
acoustique





Intégration & étalonnage des lignes

5 étages (un secteur)

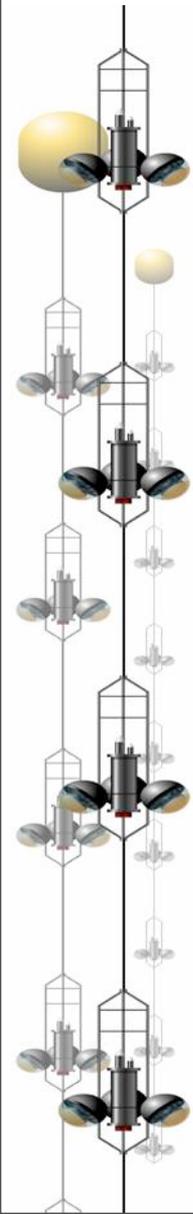


A Marseille

- Prototype Secteur Ligne
- MILOM, Ligne 0
- Lignes 1,2,4,6,8,MIL,10,12

A Saclay:

- Lignes 3,5,7,9,11





Intégration & étalonnage des lignes

5 étages (un secteur)

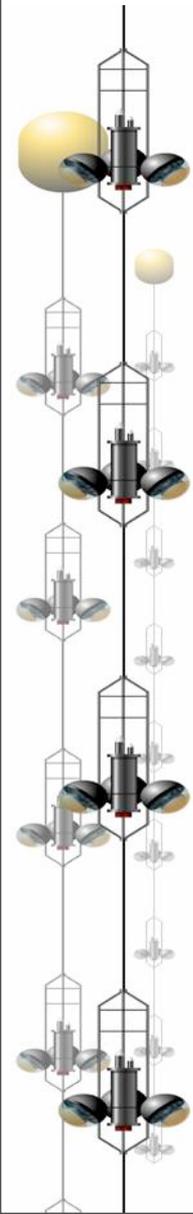


A Marseille

- Prototype Secteur Ligne
- MILOM, Ligne 0
- Lignes 1,2,4,6,8,MIL,10,12

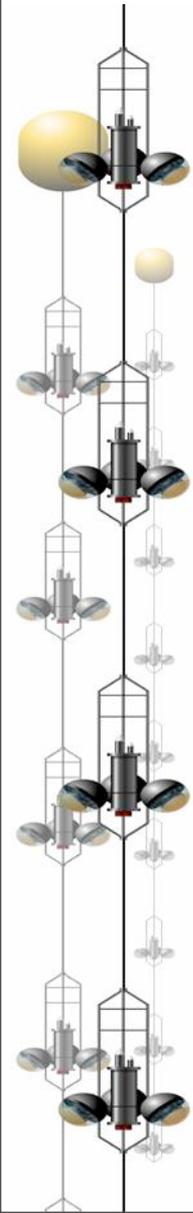
A Saclay:

- Lignes 3,5,7,9,11



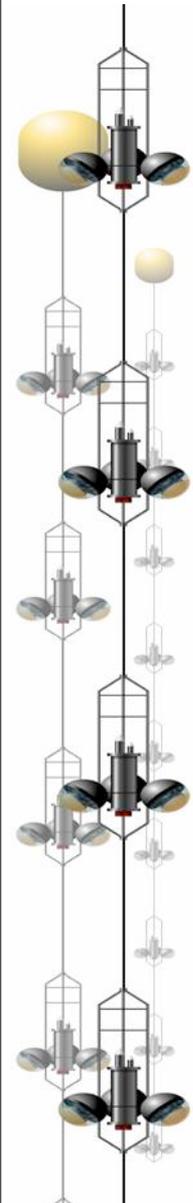
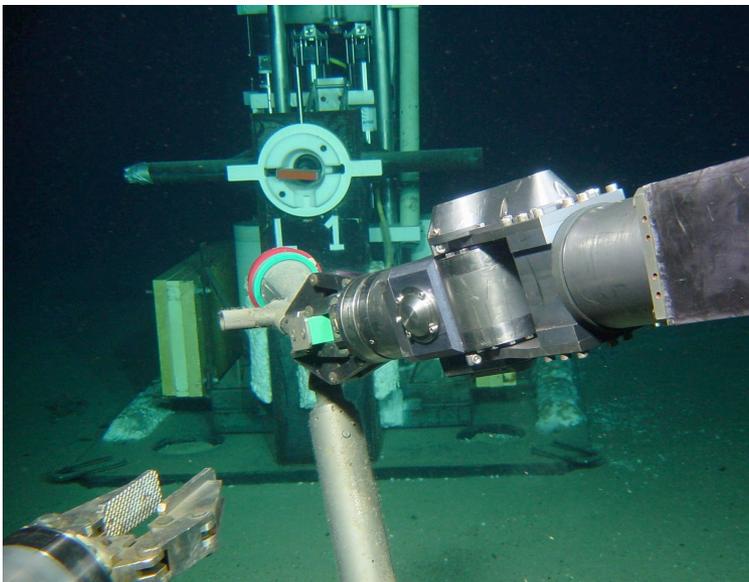
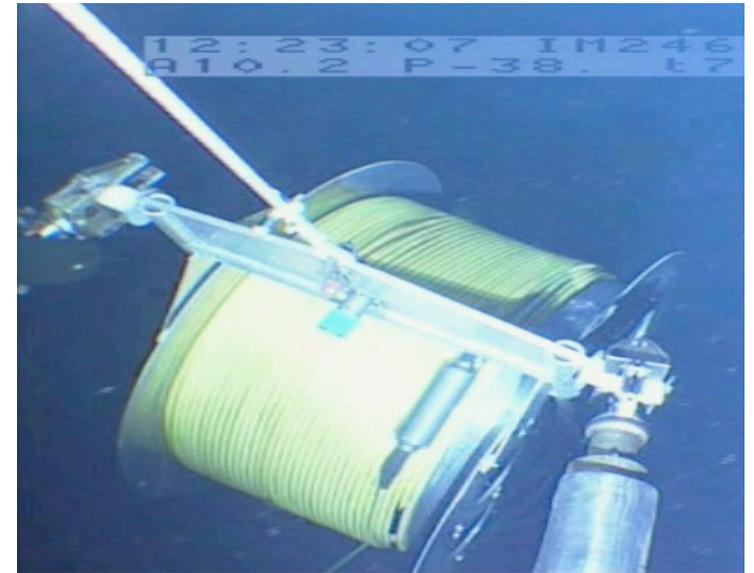


Assemblage et déploiement





Connexion sous-marine





Les grandes étapes de la construction

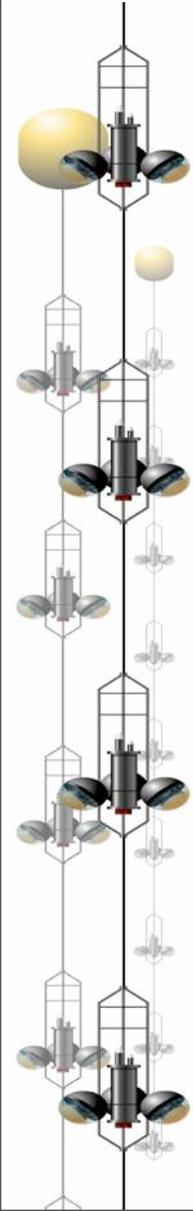


2001 – 2003:

- Câble électro-optique 2001
- Boîte de jonction 2002
- Prototype Secteur Line (PSL) & Mini-ligne instrumentée (MIL) 2003

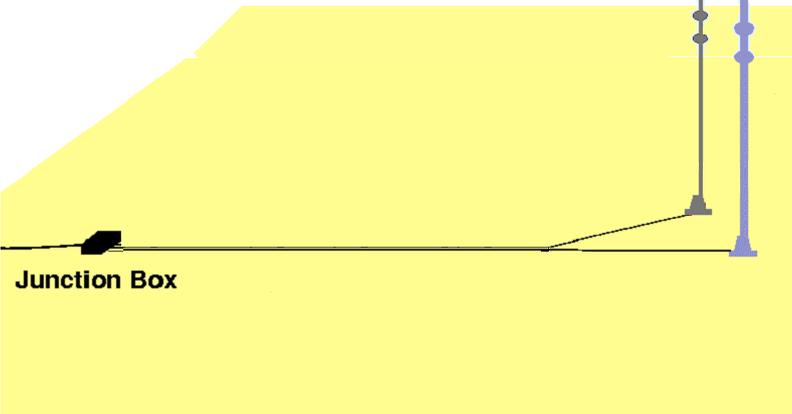
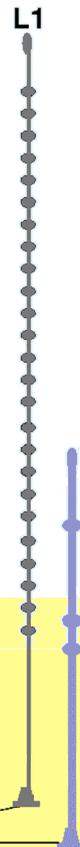


Junction Box





Les grandes étapes de la construction



2001 – 2003:

- Câble électro-optique 2001
- Boîte de jonction 2002
- Prototype Secteur Line (PSL) & Mini-ligne instrumentée (MIL) 2003

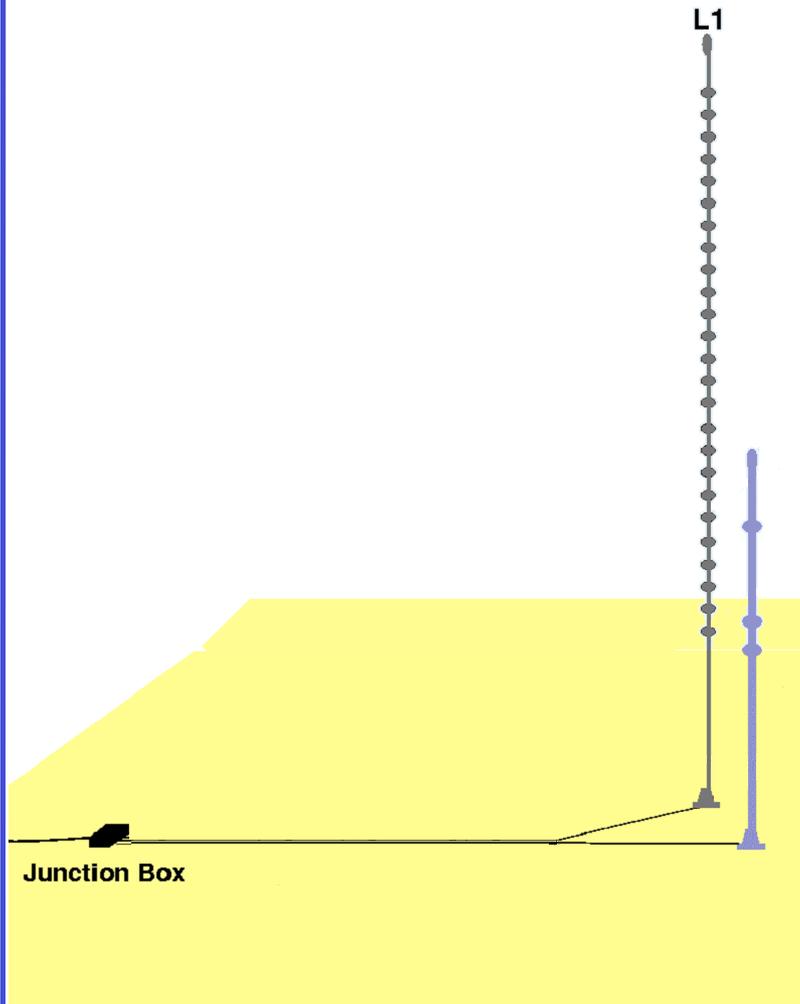
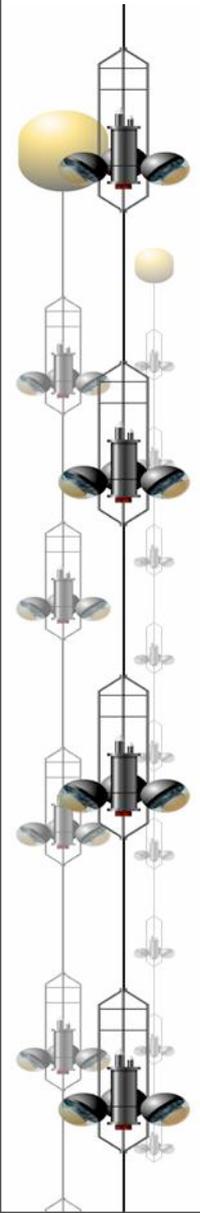
2005 – 2006:

- **Mini-ligne instrumentée + OMs (MILOM)**
12 April 2005 → 6 April 2007
📖 Astropart. Phys 26 (2006) 314
- **Ligne 1 en fonctionnement depuis le 2 Mars 2006**
- Ligne 2 depuis Sept 2006

Junction Box



Les grandes étapes de la construction



2001 – 2003:

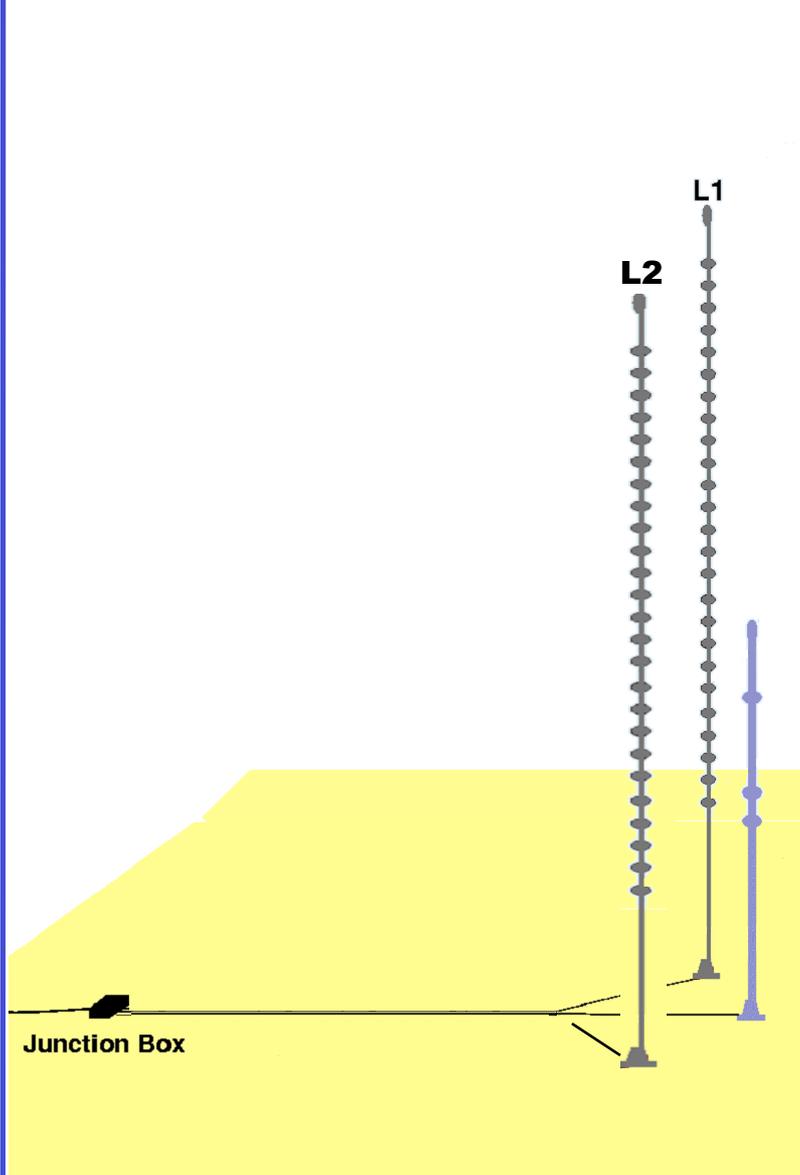
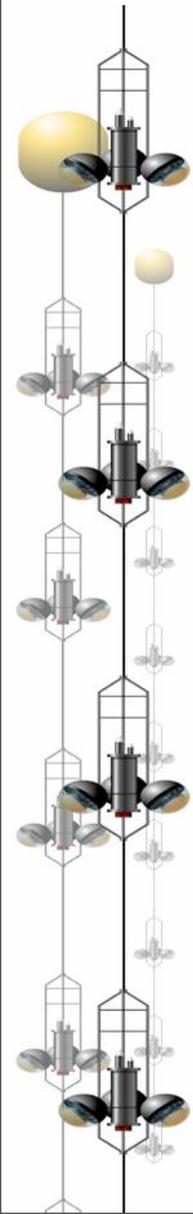
- Câble électro-optique 2001
- Boîte de jonction 2002
- Prototype Secteur Line (PSL) & Mini-ligne instrumentée (MIL) 2003

2005 – 2006:

- **Mini-ligne instrumentée + OMs (MILOM)**
12 April 2005 → 6 April 2007
 *Astropart. Phys* 26 (2006) 314
- **Ligne 1 en fonctionnement depuis le 2 Mars 2006**
- Ligne 2 depuis Sept 2006



Les grandes étapes de la construction



2001 – 2003:

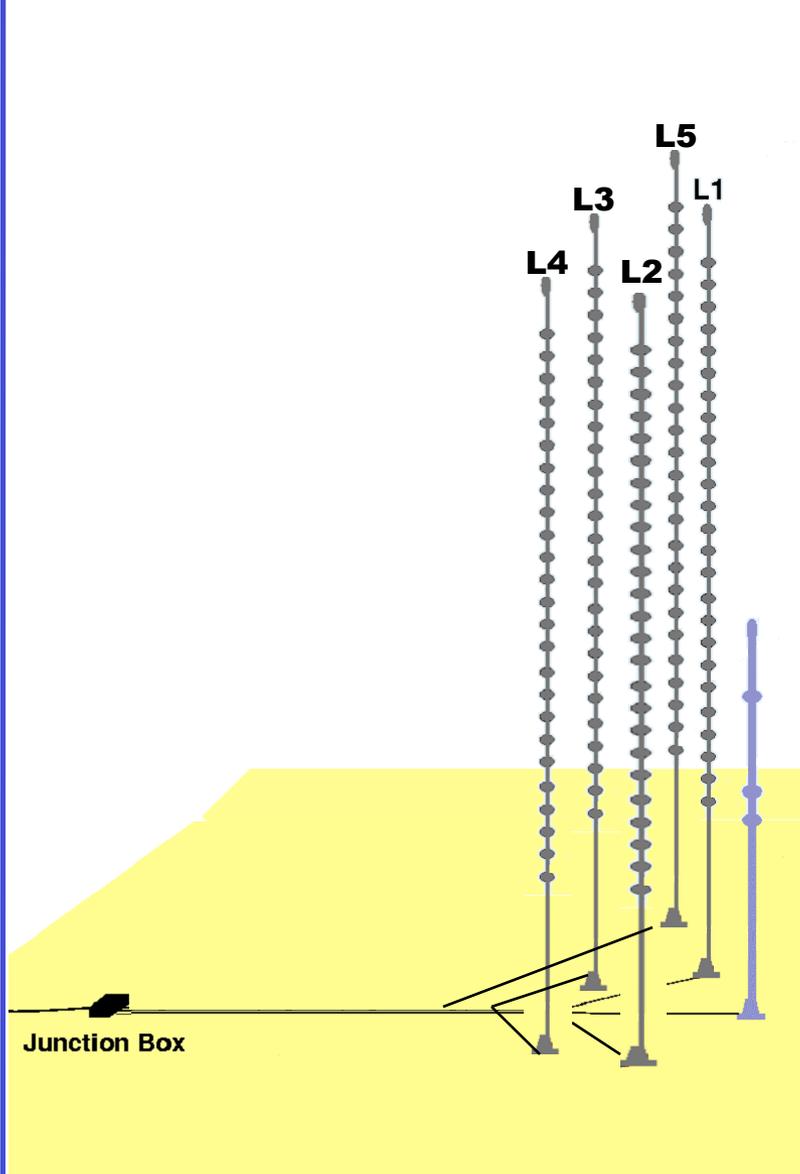
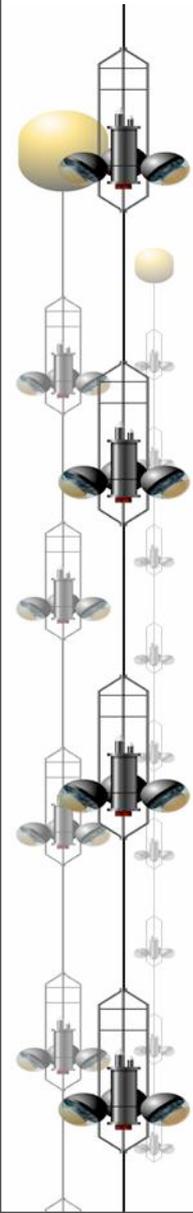
- Câble électro-optique 2001
- Boîte de jonction 2002
- Prototype Secteur Line (PSL) & Mini-ligne instrumentée (MIL) 2003

2005 – 2006:

- **Mini-ligne instrumentée + OMs (MILOM)**
12 April 2005 → 6 April 2007
 *Astropart. Phys* 26 (2006) 314
- **Ligne 1 en fonctionnement depuis le 2 Mars 2006**
- Ligne 2 depuis Sept 2006



Les grandes étapes de la construction



2001 – 2003:

- Câble électro-optique 2001
- Boîte de jonction 2002
- Prototype Secteur Line (PSL) & Mini-ligne instrumentée (MIL) 2003

2005 – 2006:

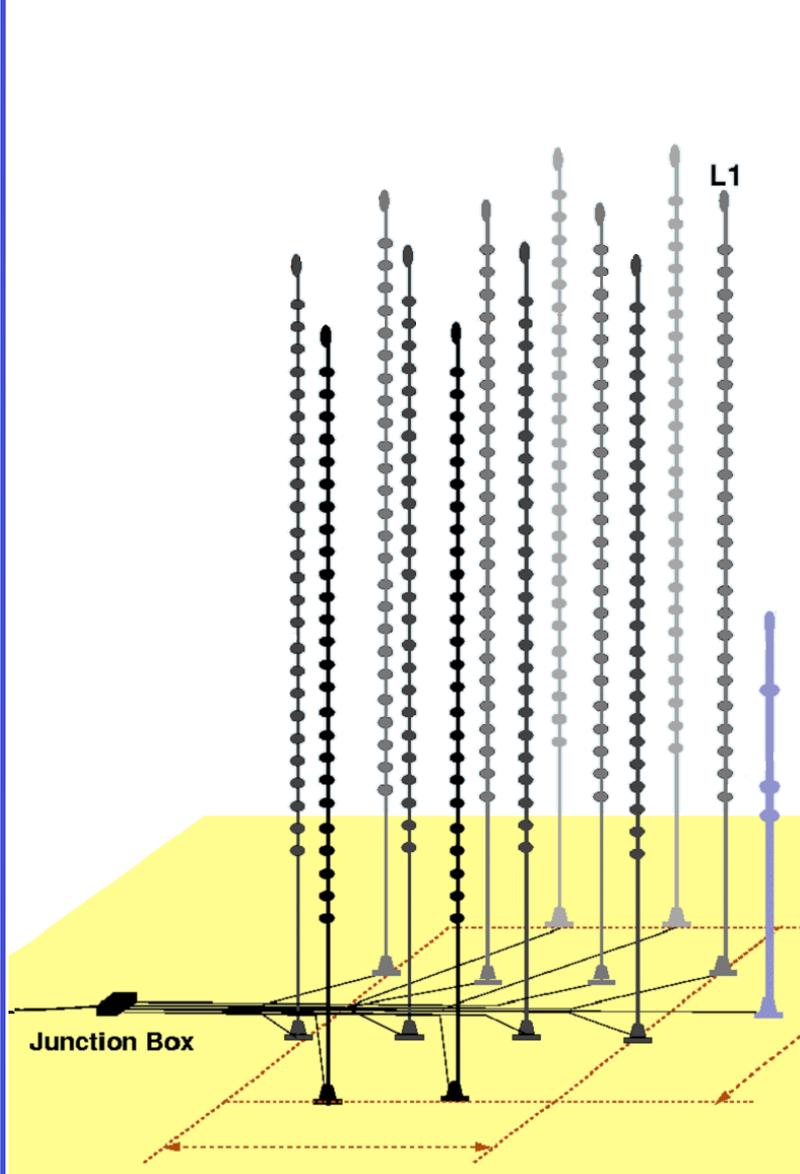
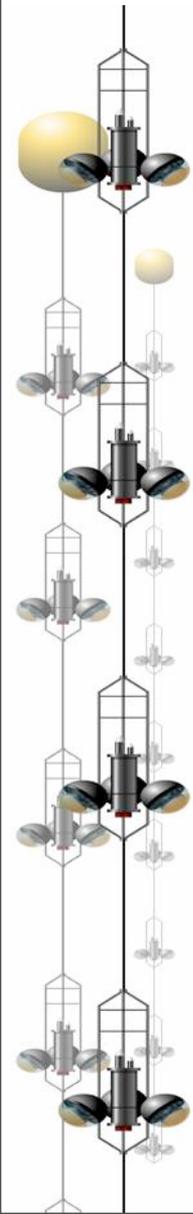
- **Mini-ligne instrumentée + OMs (MILOM)**
12 April 2005 → 6 April 2007
 *Astropart. Phys* 26 (2006) 314
- **Ligne 1 en fonctionnement depuis le 2 Mars 2006**
- Ligne 2 depuis Sept 2006

2006 – aujourd'hui:

- **Lignes 3,4,5 connectées Janvier 2007**
- Lignes 6,7,8 et 9 déployées
- Line instrumentée déployée



Les grandes étapes de la construction



2001 – 2003:

- Câble électro-optique 2001
- Boîte de jonction 2002
- Prototype Secteur Line (PSL) & Mini-ligne instrumentée (MIL) 2003

2005 – 2006:

- **Mini-ligne instrumentée + OMs (MILOM)**
12 April 2005 → 6 April 2007
📖 Astropart. Phys 26 (2006) 314
- **Ligne 1 en fonctionnement depuis le 2 Mars 2006**

- Ligne 2 depuis Sept 2006

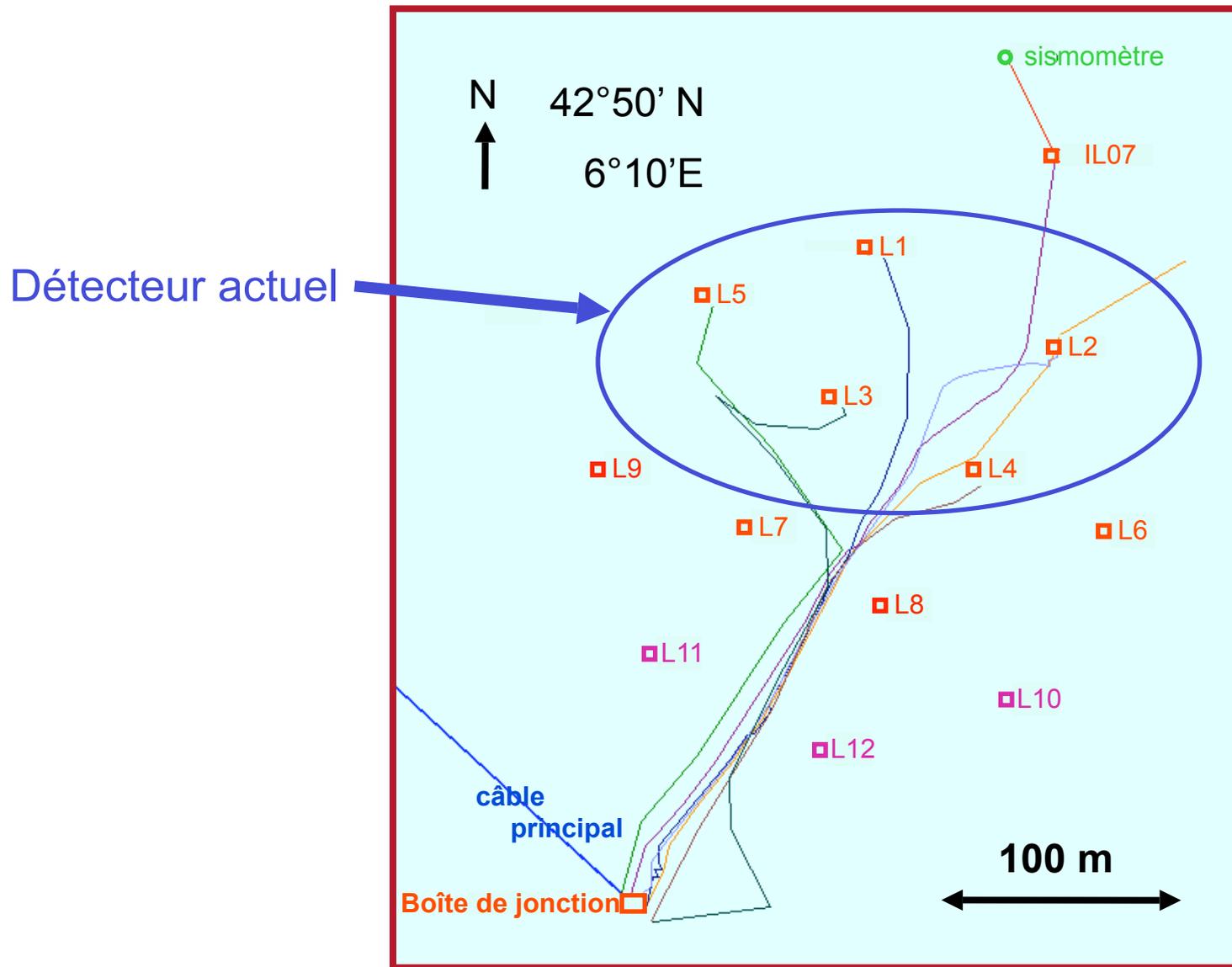
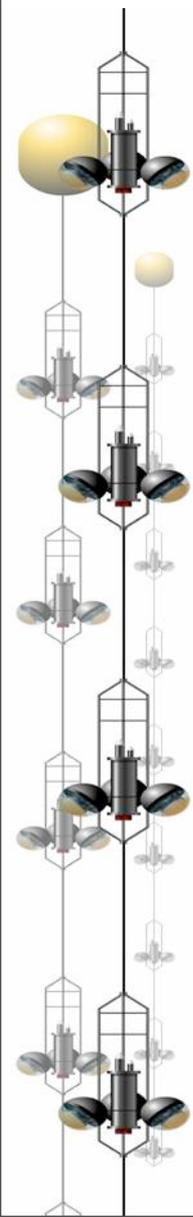
2006 – aujourd'hui:

- **Lignes 3,4,5 connectées Janvier 2007**
- Lignes 6,7,8 et 9 déployées
- Line instrumentée déployée

Détecteur final début 2008



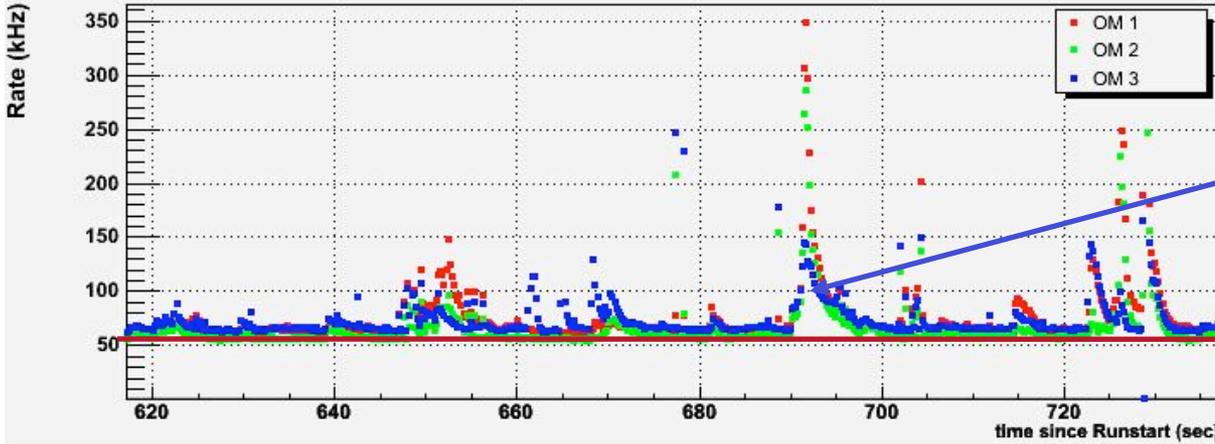
Configuration au sol





Bruit de fond optique

Run 27812 Line 1-5 Physics Trigger (thr=tuned, allsamp=1, HRV=500kHz) Line 4 Floor 13 Mon May 21 17:39:37 2007



Sursauts

Ligne de base

Sursauts de bio-luminescence:

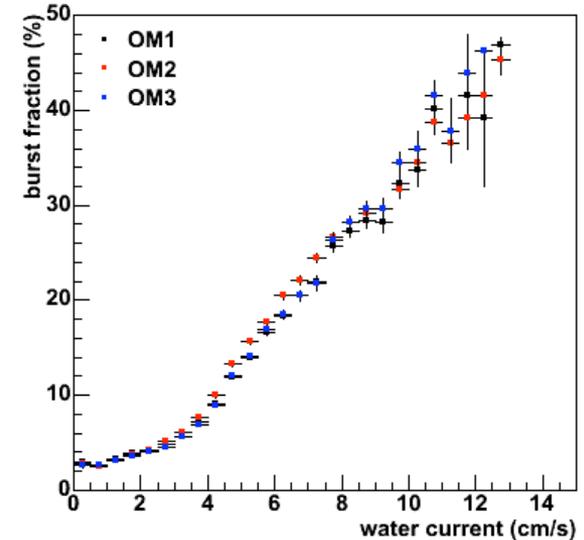


Espèces animales photo-émettrices

Ligne de base ^{40}K

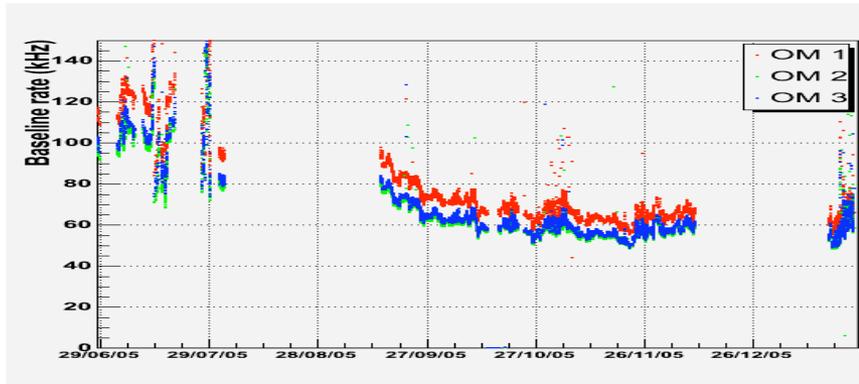
Bio-luminescence

MILOM data in 2005

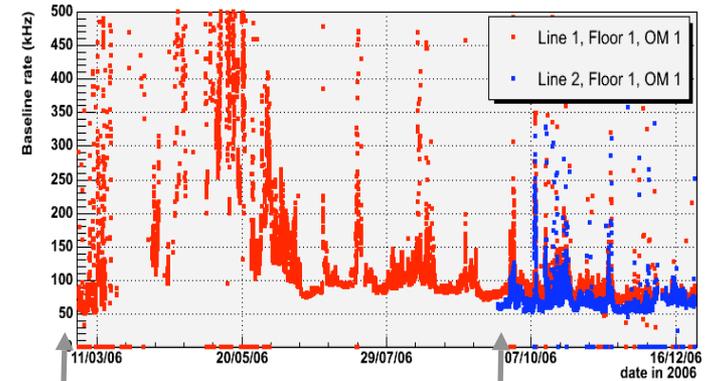




Evolution de l'activité 2005-2007

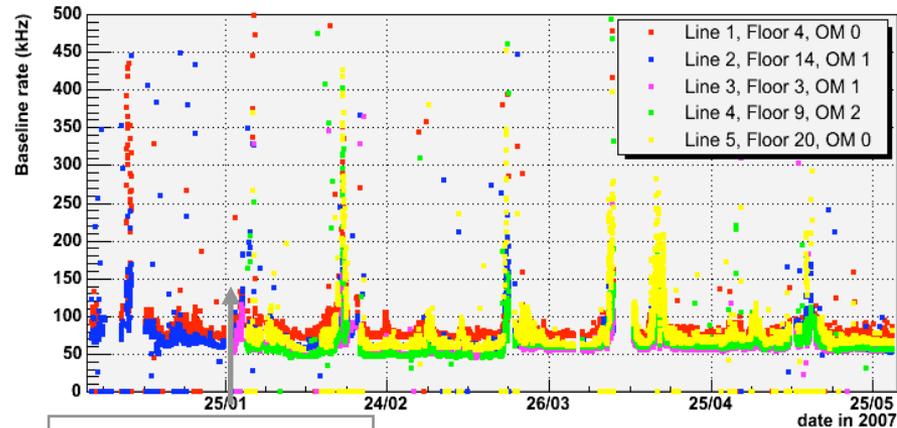


Mini-ligne instrumentée

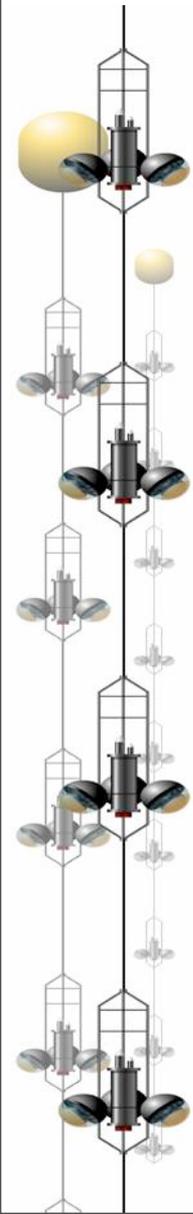


Ligne 1

Ligne 2



Lignes 3, 4 & 5





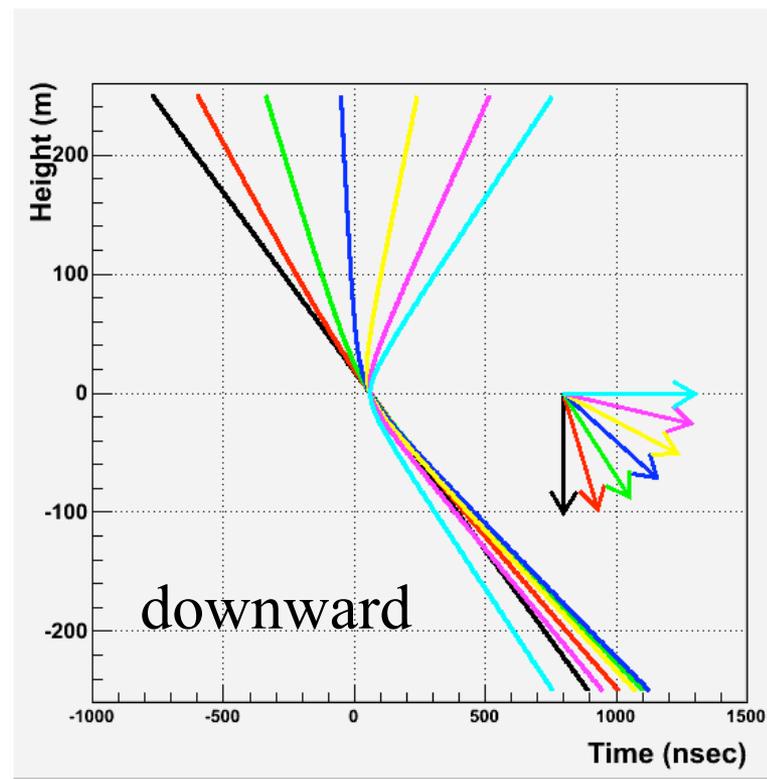
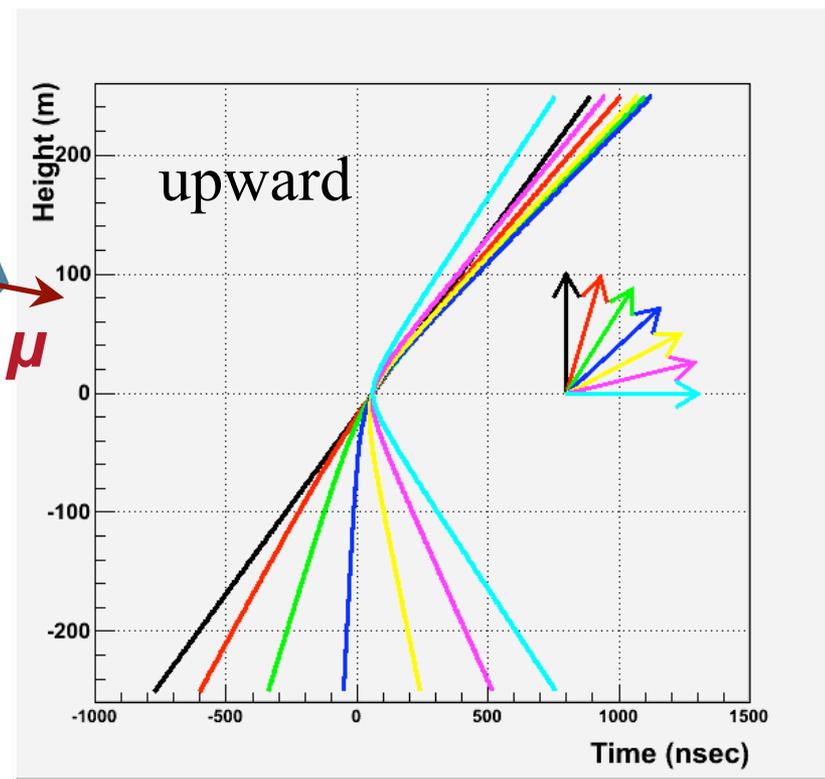
Evénements reconstruits

Temps d'arrivée (t) des γ en fonction de l'altitude (z)



Fonction de l'angle zénithal et de la distance

Plusieurs algorithmes utilisés par la collaboration 1D, 3D, χ^2 , ML

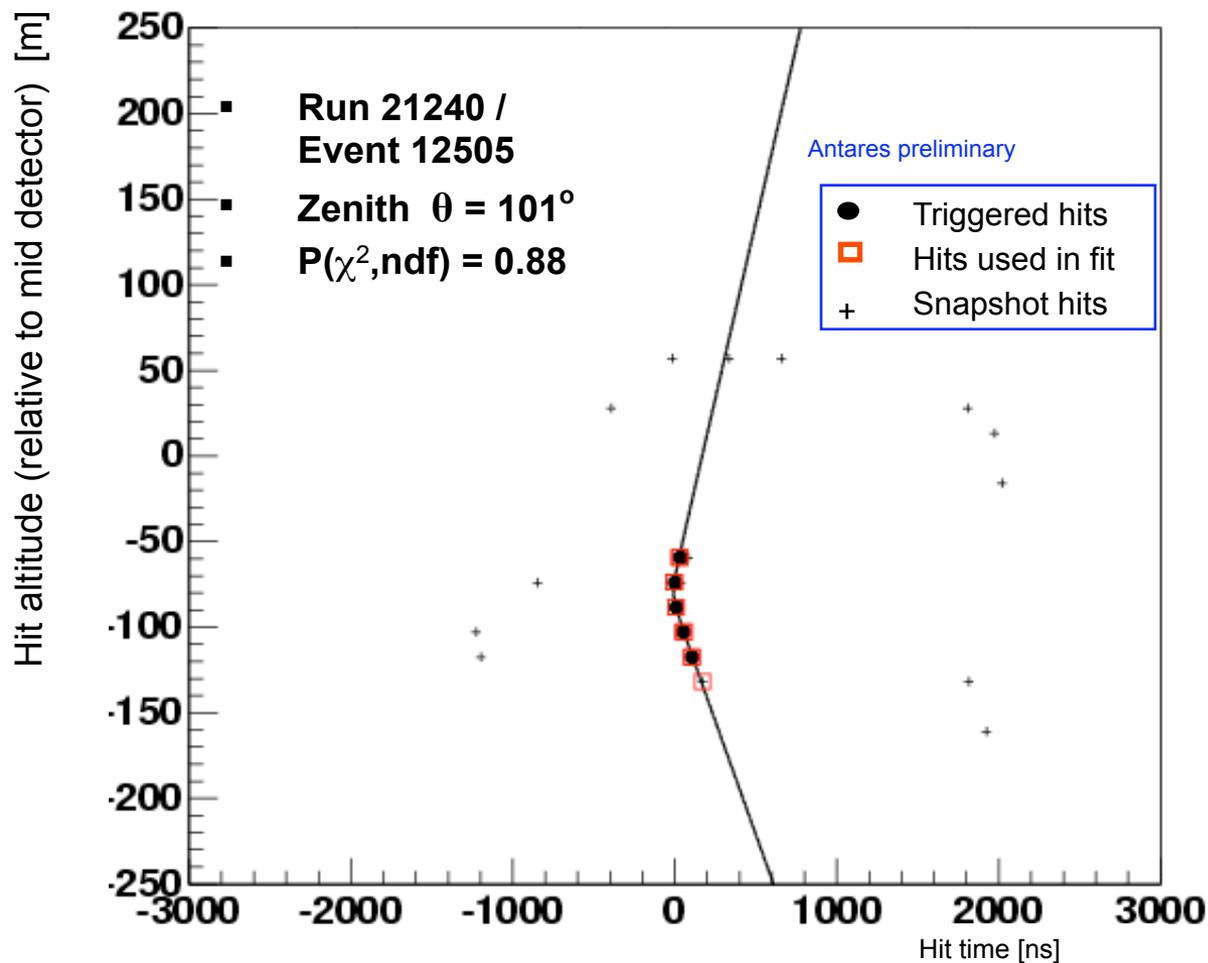
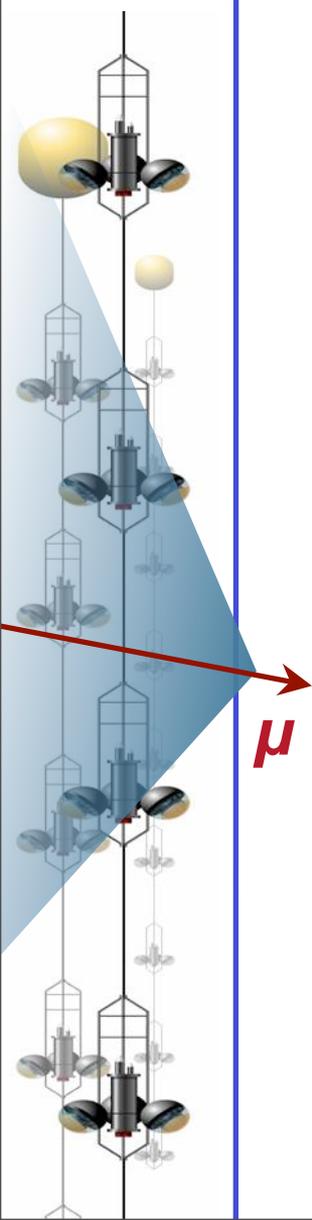




Muon atmosphérique (L1)

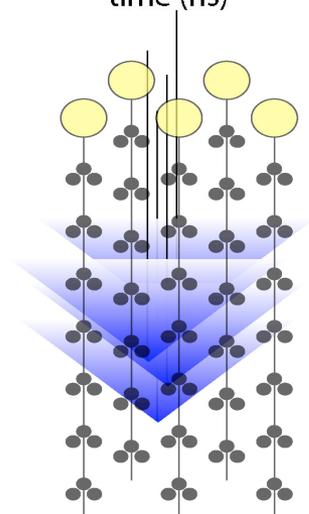
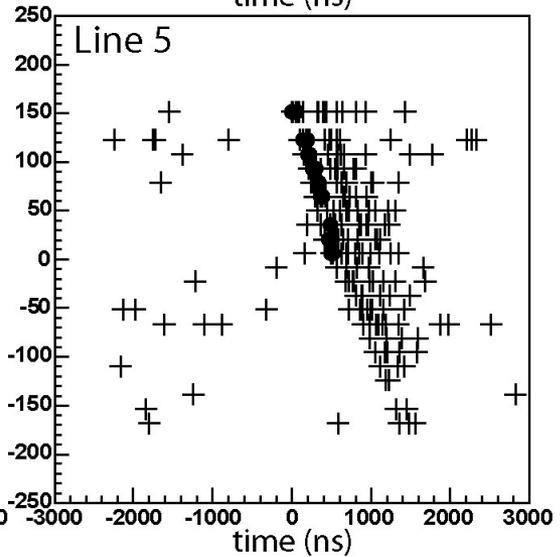
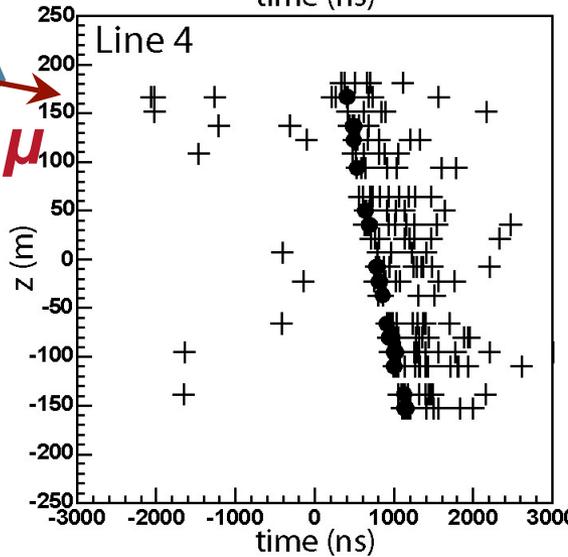
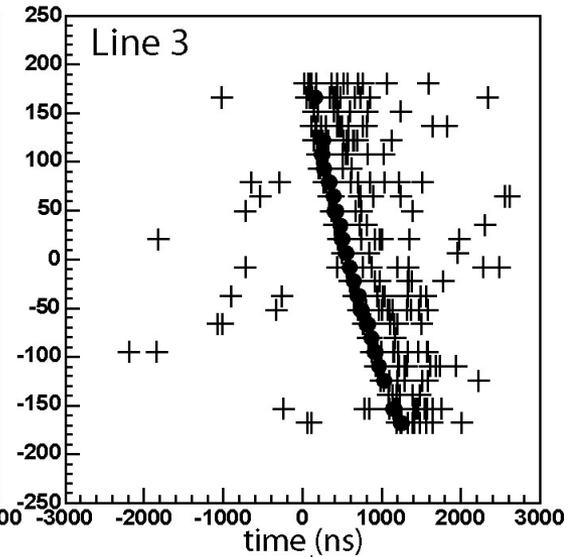
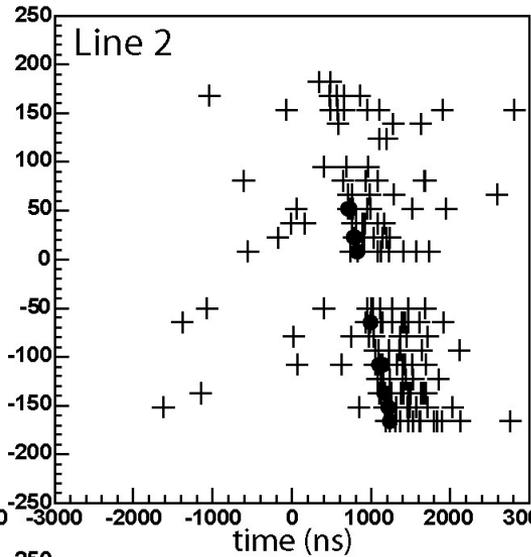
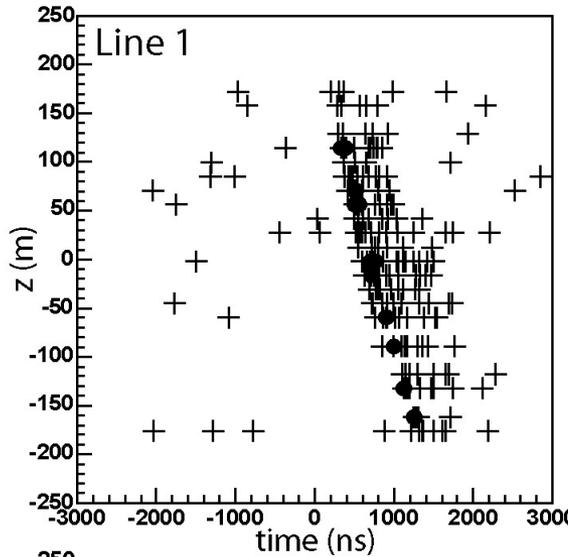
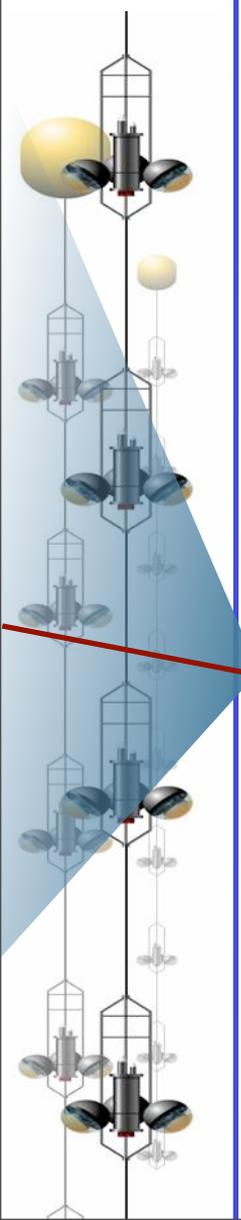
Reconstruction à 1 ligne (peu sensible à l'azimuth) :

Minimisation χ^2 pour estimer l'angle zénithal





Evénements à 5 lignes

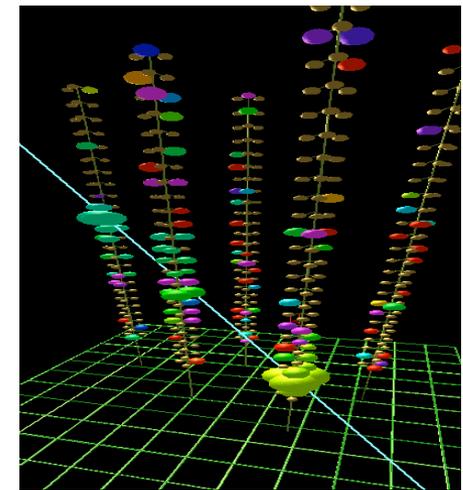
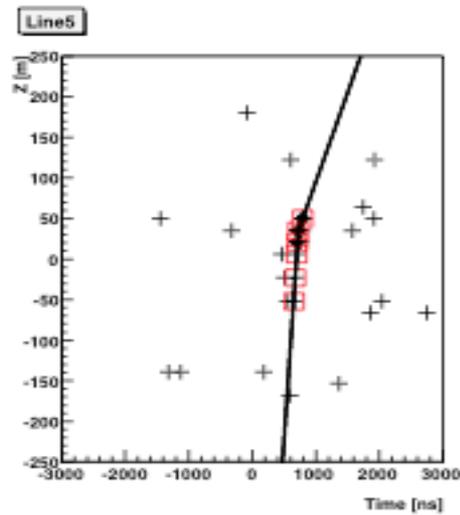
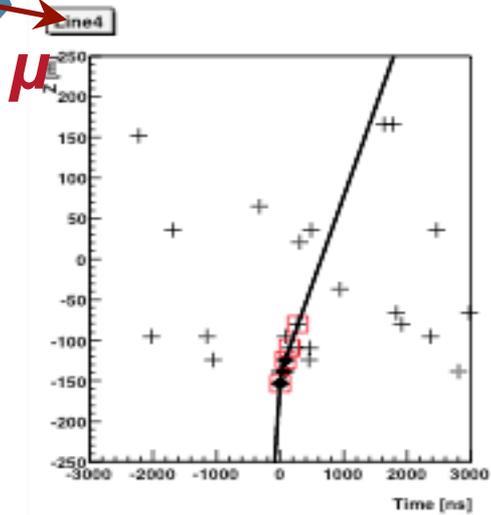
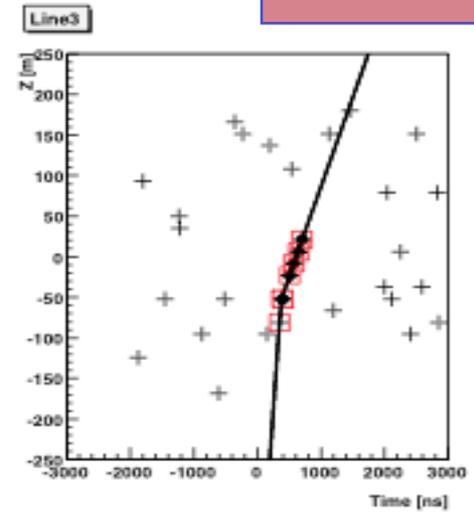
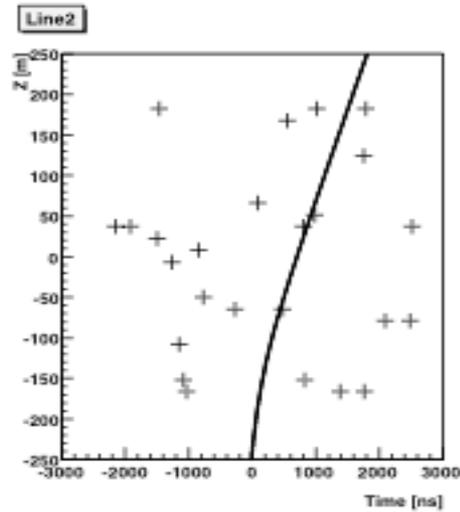
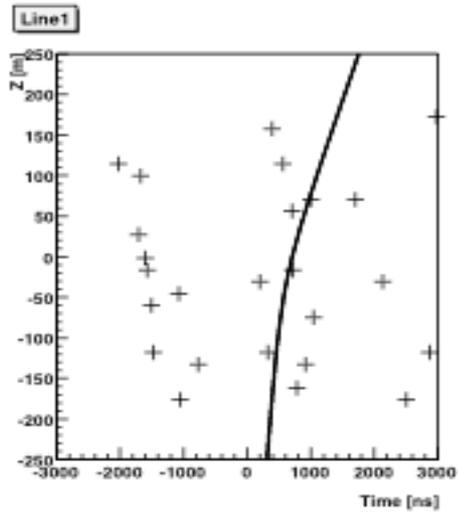




Candidat neutrino atmosphérique

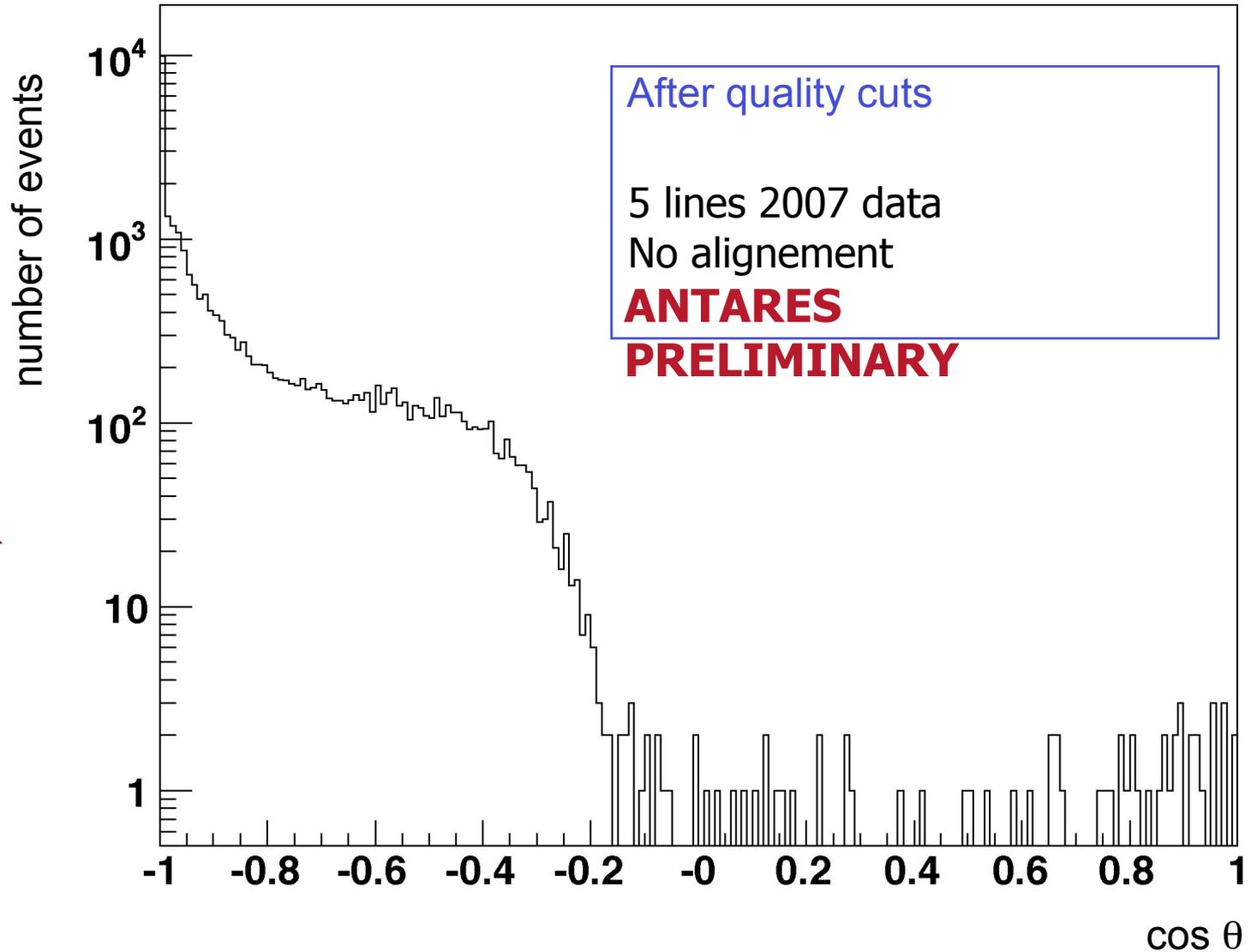
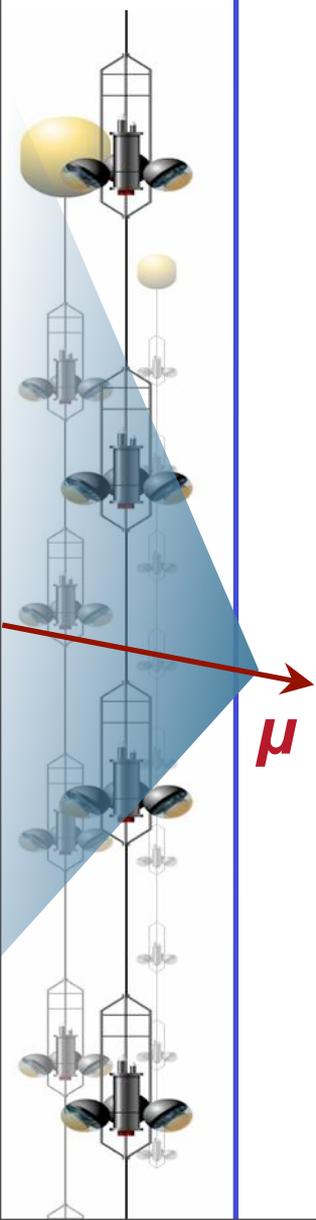
Run : 25929 Event : 6742 FrameTarget : 18 FrameIndex : 61770
a: 37.1597 b: 22.0716 t0: 164892932.2 θ : 0.61779 ϕ : -3.7146 # fits : 4

$$\theta = 35^\circ$$



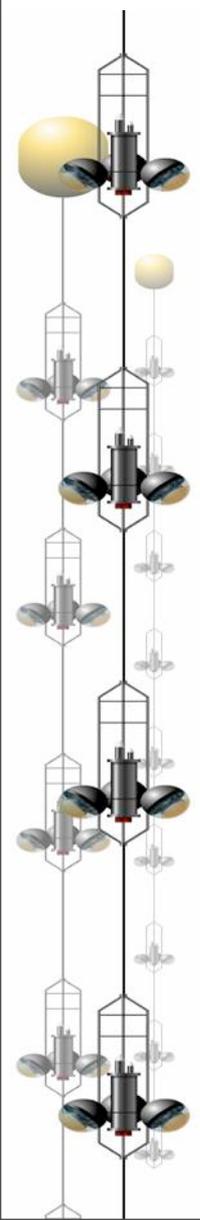


Distribution zénithale





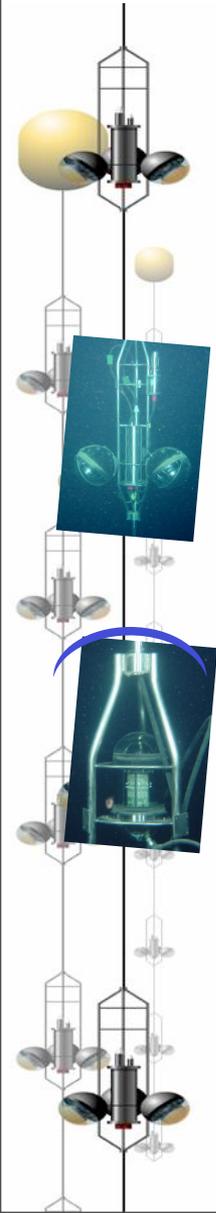
Etalonnage du détecteur





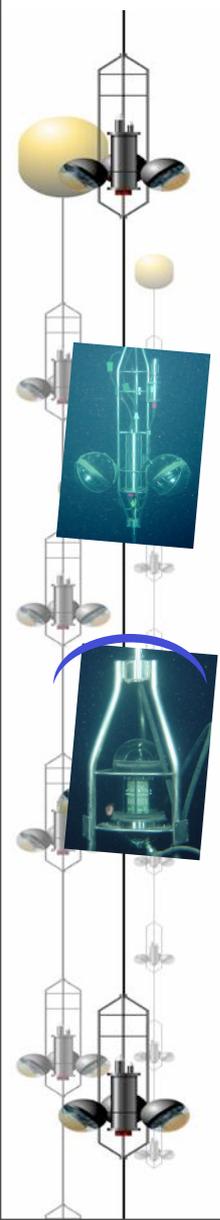
Etalonnage du détecteur

Balise optique
Forte intensité
lumineuse :
TTS PM
négligeable



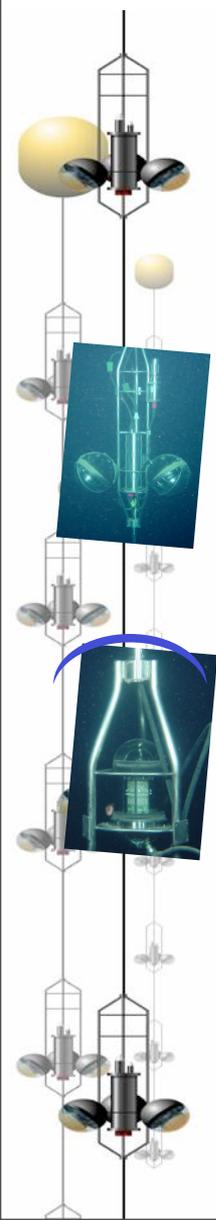


Etalonnage du détecteur





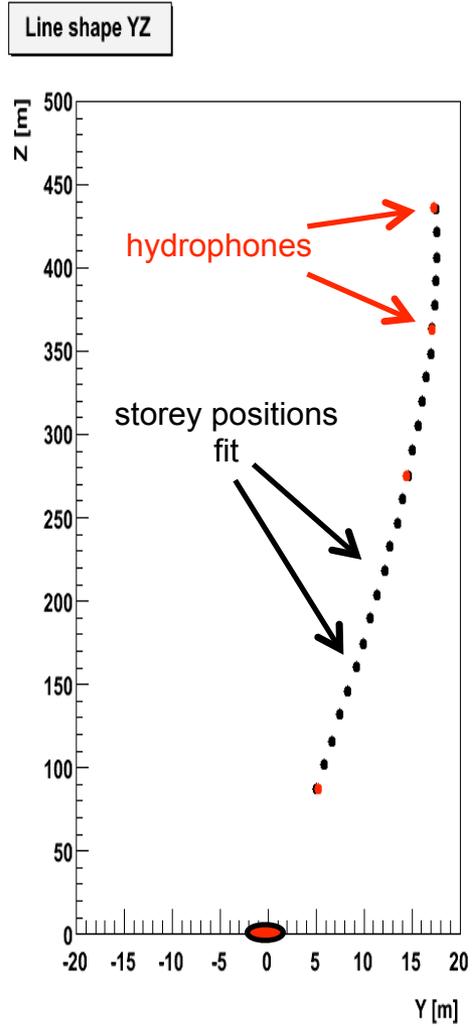
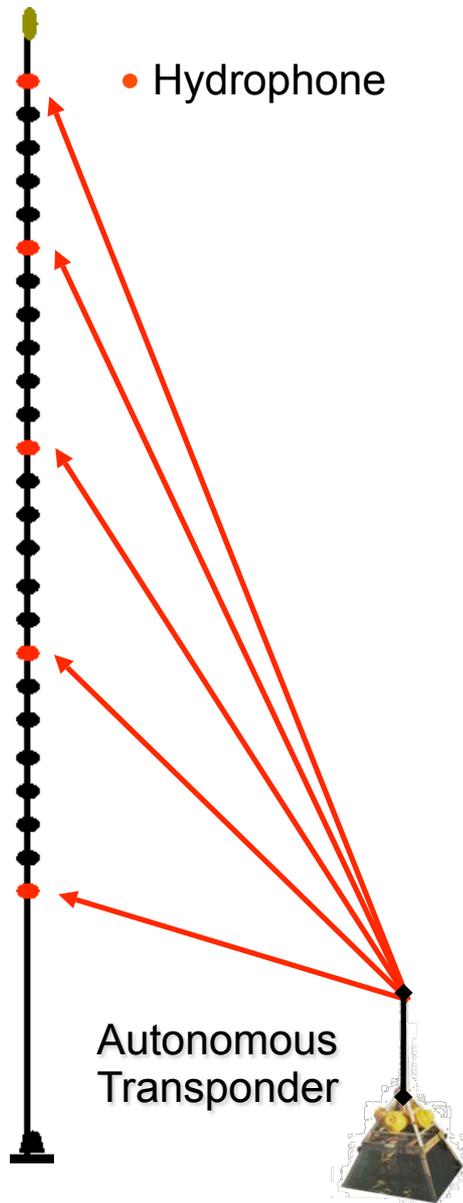
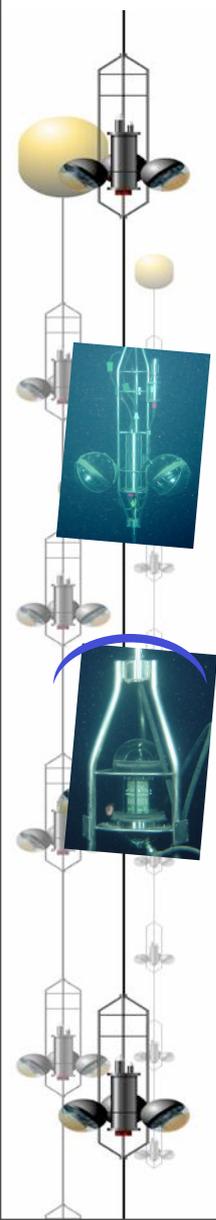
Etalonnage du détecteur



Résolution
en temps
(électronique)
 $\sim 0.5\text{ns}$



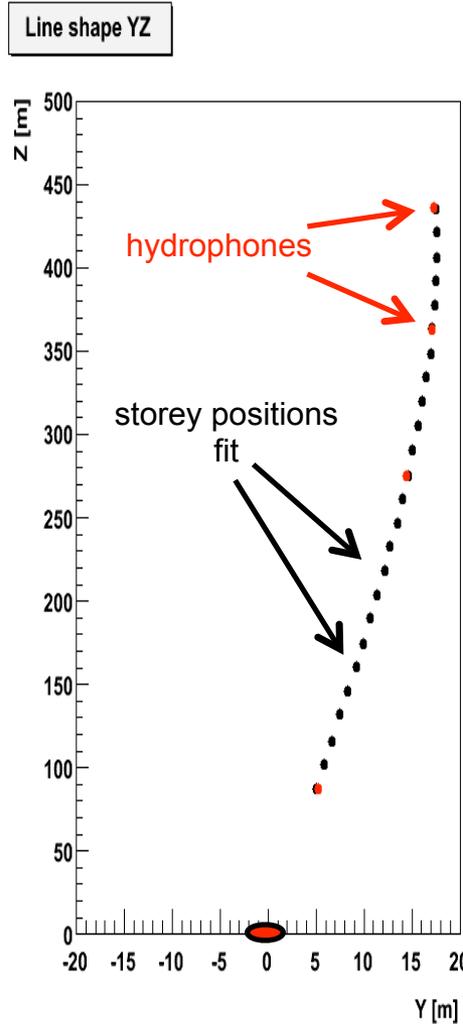
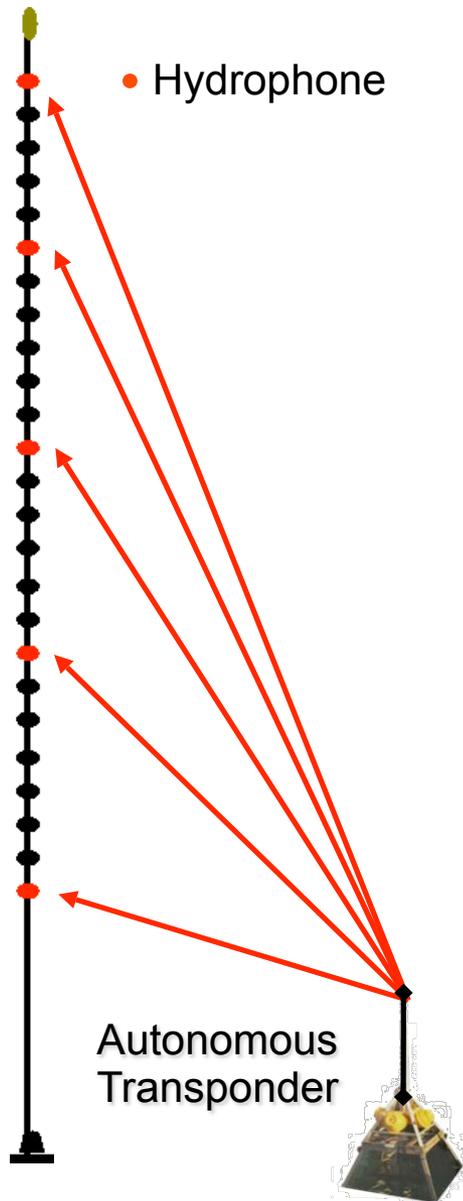
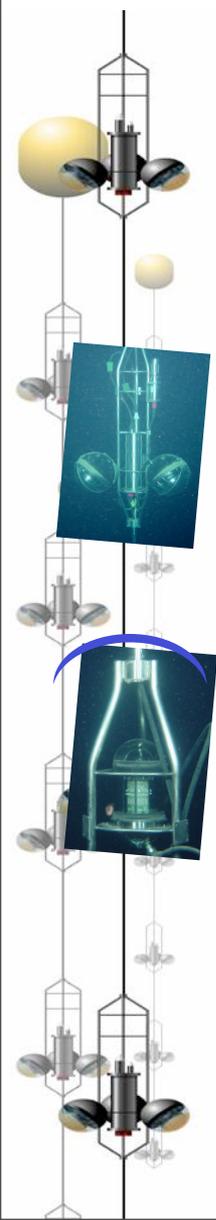
Etalonnage du détecteur



Résolution en temps (électronique) $\sim 0.5\text{ns}$



Etalonnage du détecteur

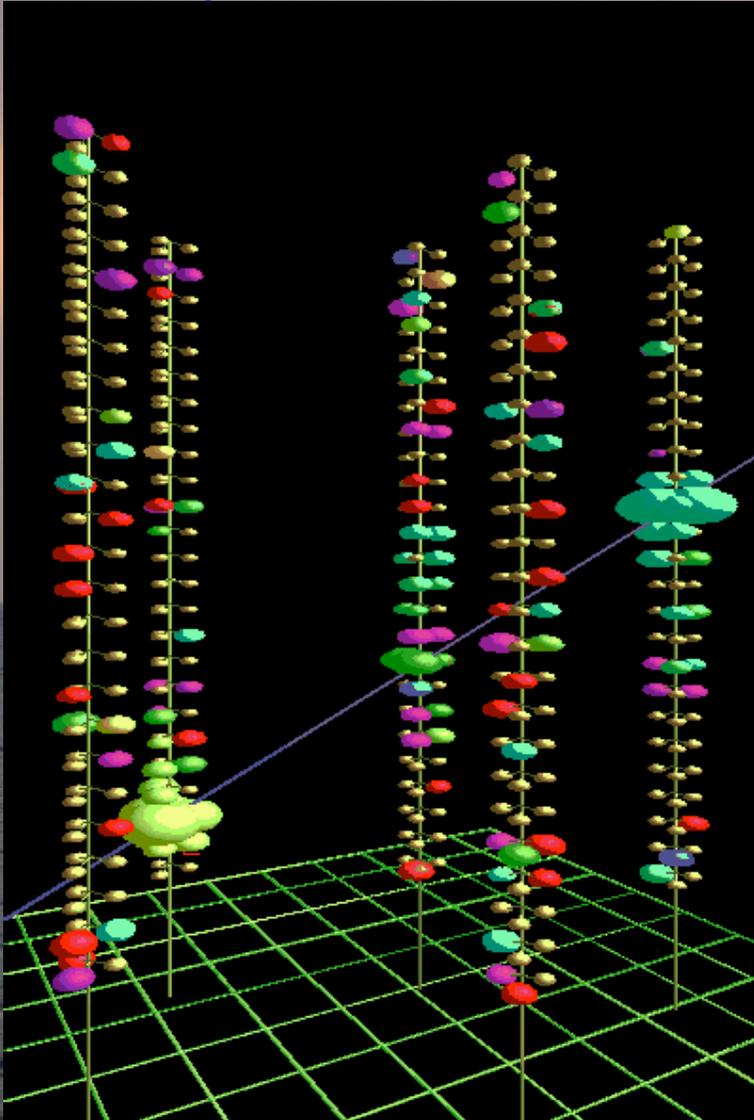


Résolution en temps (électronique) $\sim 0.5\text{ns}$

Résolution spatiale $< 10\text{ cm}$



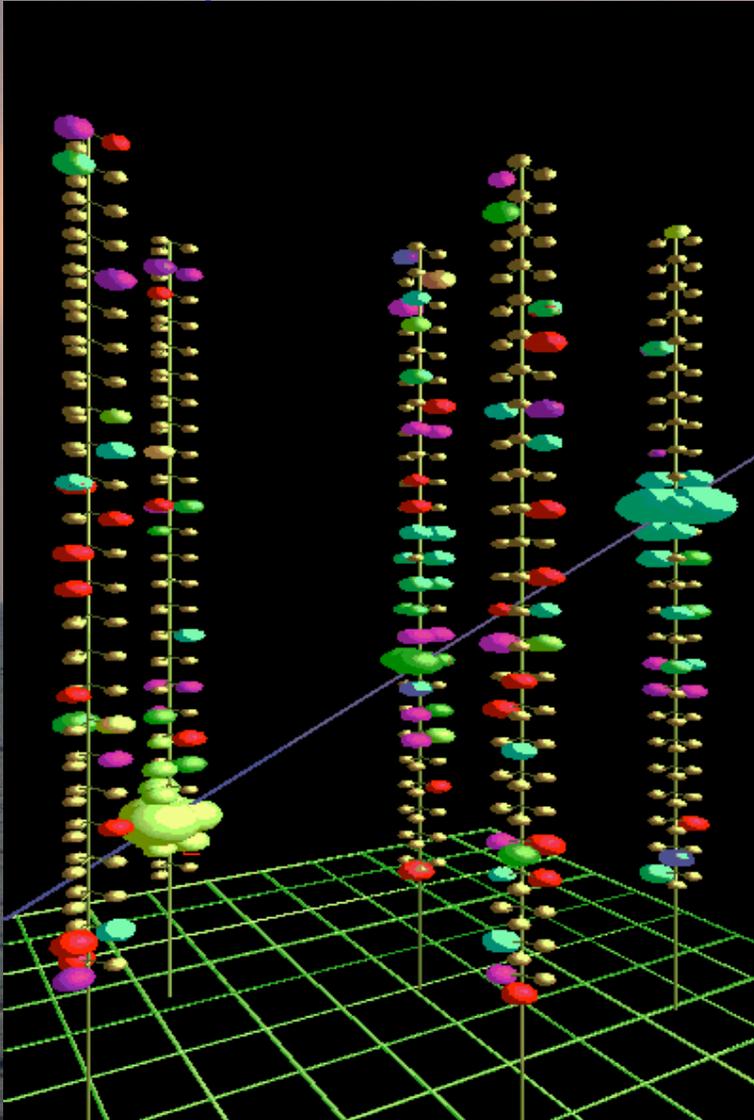
Conclusions



- Avancées décisives au cours de l'année
- Fonctionnement conforme au cahier des charges :
 - Boîte de jonction opérationnelle depuis 2002
 - Données à 5 lignes depuis janvier 2007
 - Difficultés techniques surmontées
- Surveillance activité optique sur long terme
- Détecteur final 12 lignes début 2008 :
Exploitation scientifique ≥ 5 ans
- Etape majeure vers un détecteur KM^3 méditerranéen



Conclusions



- Avancées décisives au cours de l'année
- Fonctionnement conforme au cahier des charges :
 - Boîte de jonction opérationnelle depuis 2002
 - Données à 5 lignes depuis janvier 2007
 - Difficultés techniques surmontées
- Surveillance activité optique sur long terme
- Détecteur final 12 lignes début 2008 :
Exploitation scientifique ≥ 5 ans
- Etape majeure vers un détecteur KM^3 méditerranéen

**Candidats premiers
neutrinos sous-marins !!**