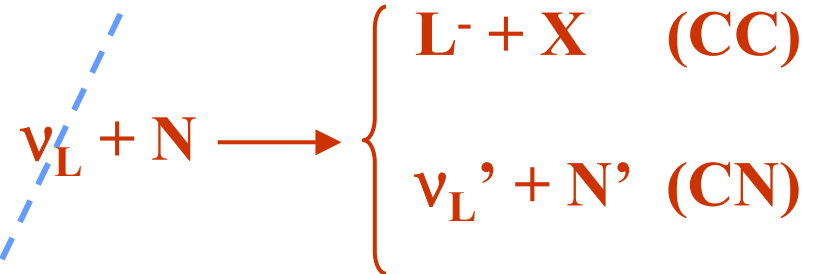
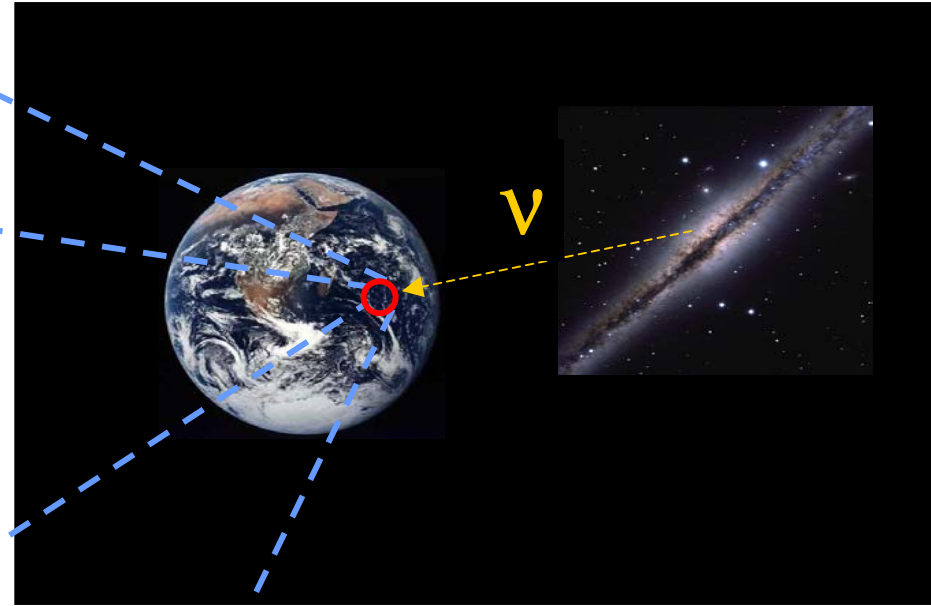
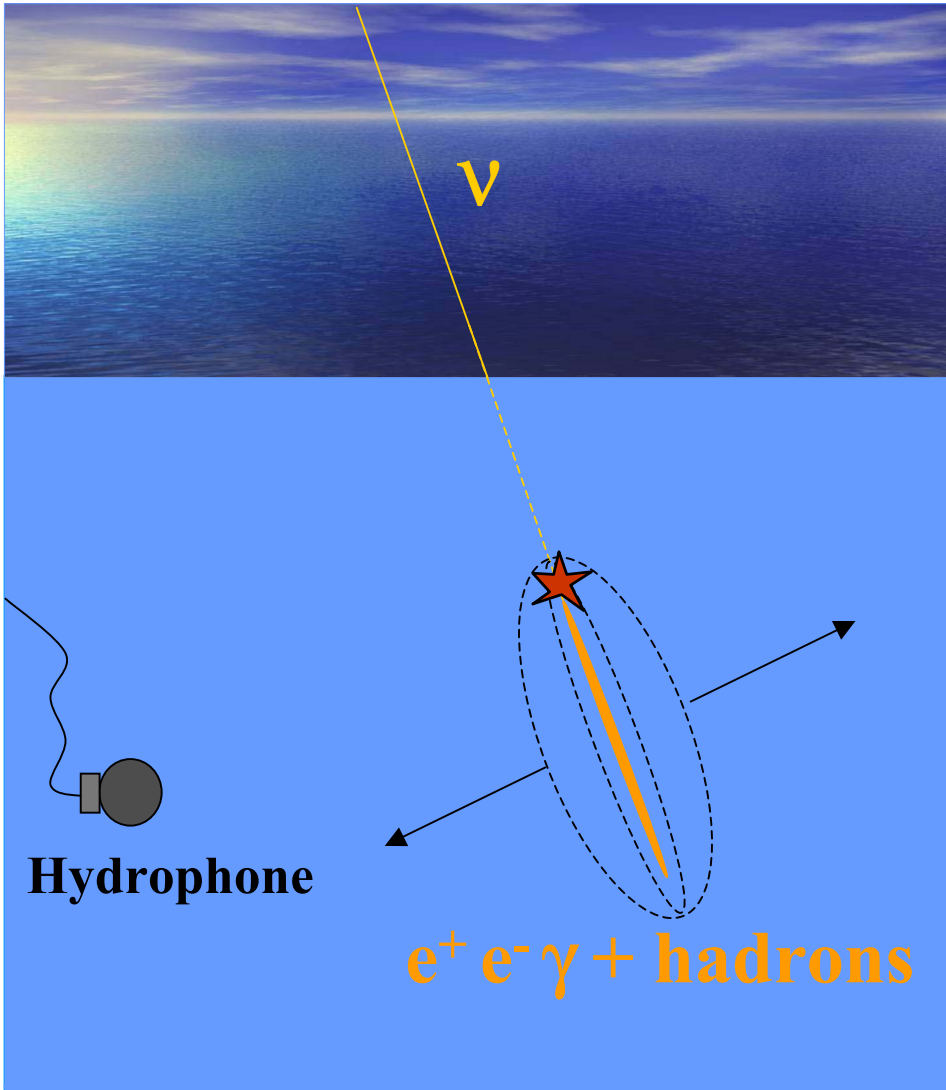


Détection Acoustique de Cascades Sous-Marines de Ultra Haute Énergie

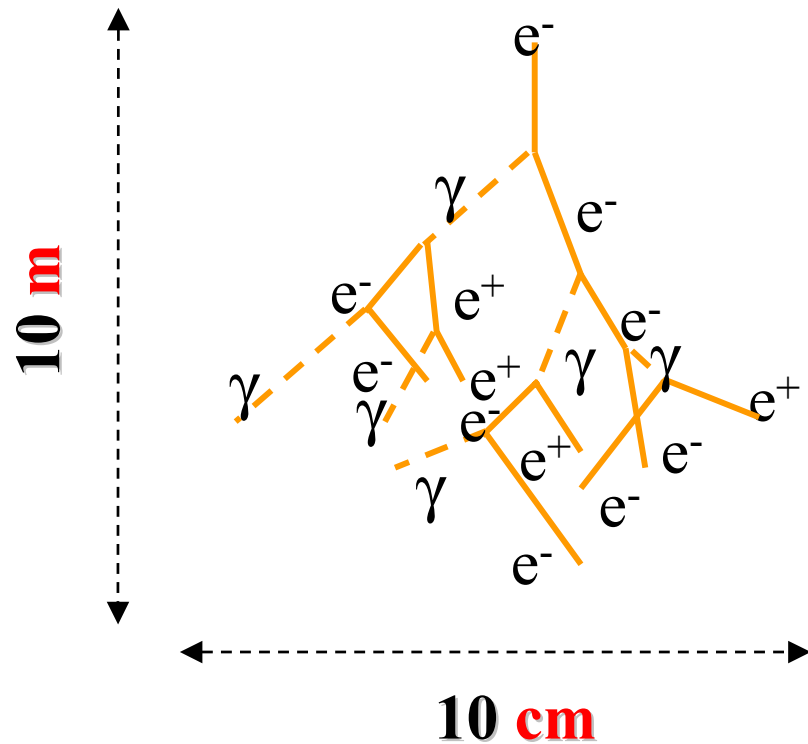
V. Niess
CPPM

Principe Général

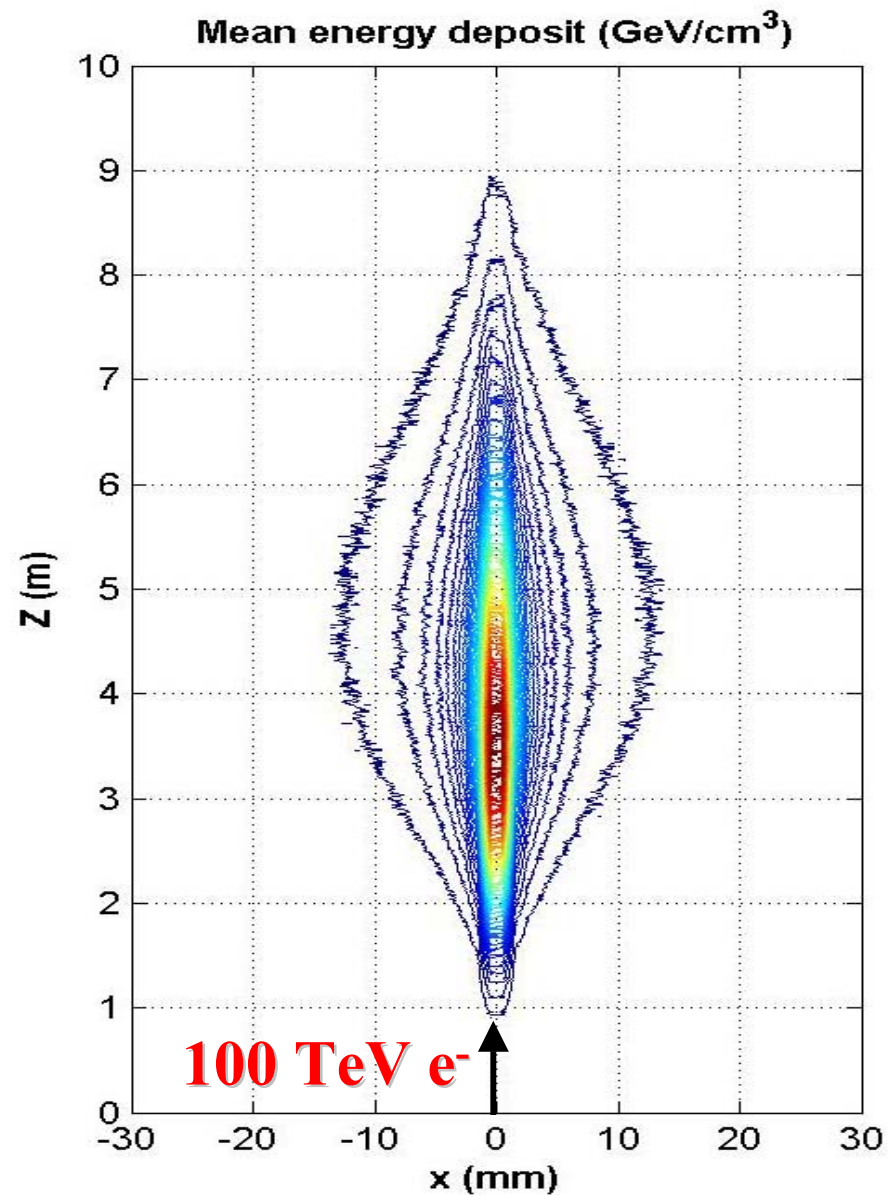


Dépôt d'énergie

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \rho_{\text{air}}$$



**Dépôt d'énergie 'compacte'
et asymétrique**

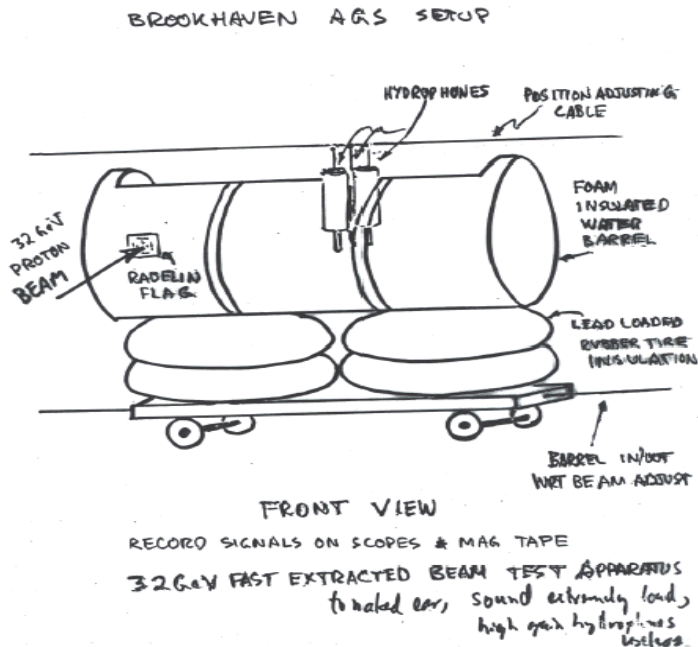


Génération du Signal Acoustique

$$\Delta p - \frac{1}{c_s^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = - \frac{\alpha}{C_p} \frac{\partial^2 q}{\partial t^2}$$

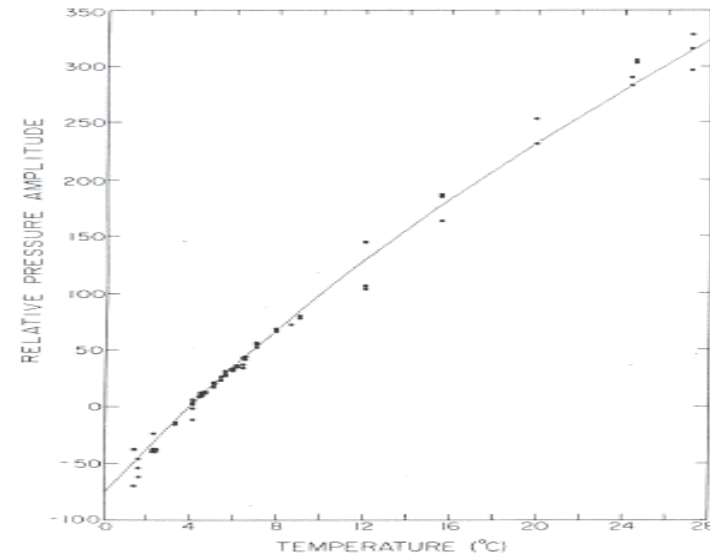
Coefficient de dilatation
Densité d'énergie
Capacité thermique

Modèle Thermo-acoustique
G. A. Askariyan (1957)

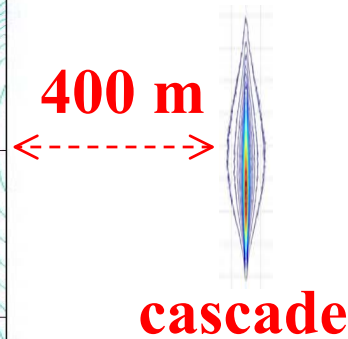
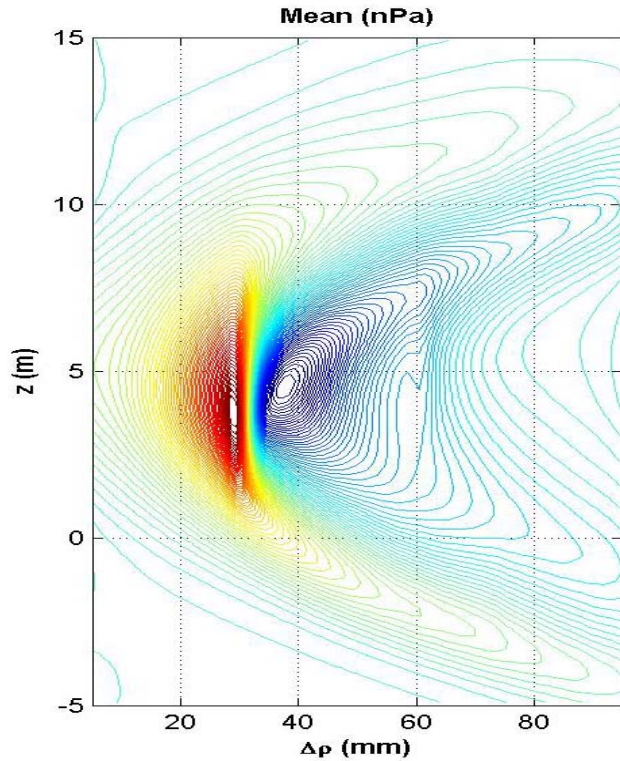


Brookhaven
(1976-1978)
32 MeV proton

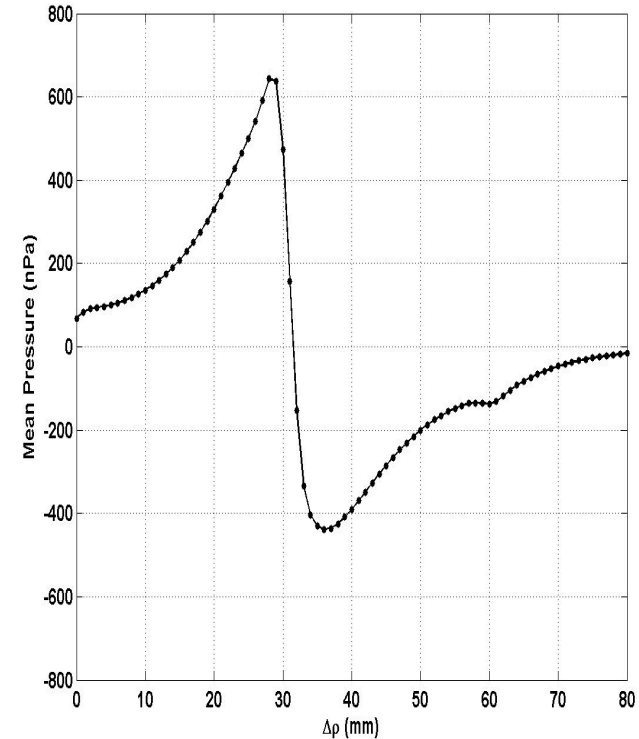
13,2 °C en Méditerranée



Caractéristiques du Signal



Coupe ($z = 4.6$ m)

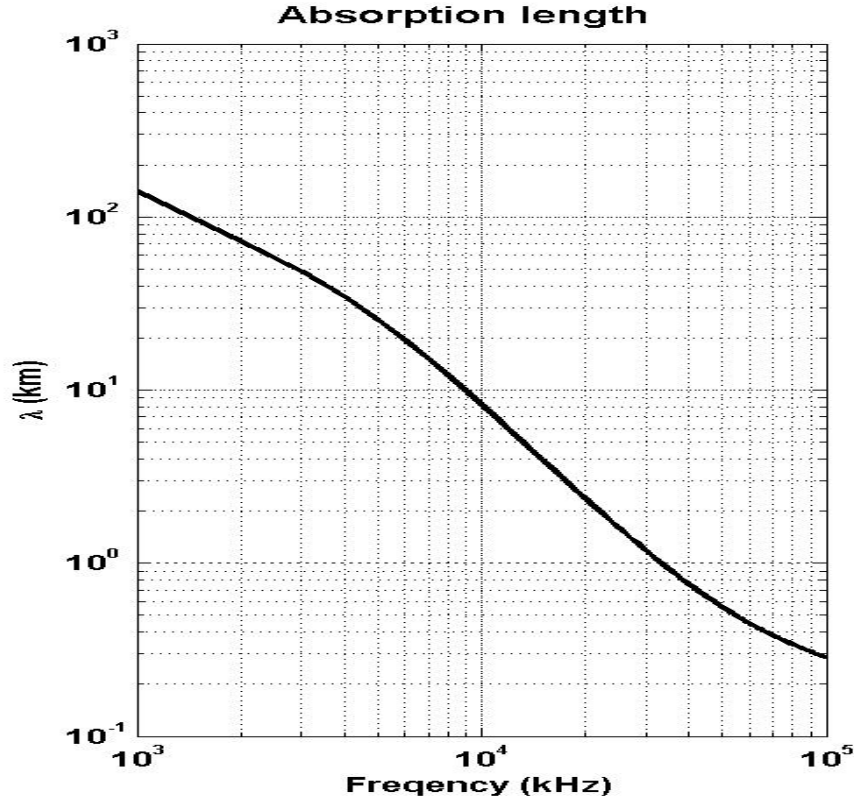


Radiation directive
Forme de disque
($\sim 1-2^\circ$ de divergence)
Efficacité en r^2

Non
périodique

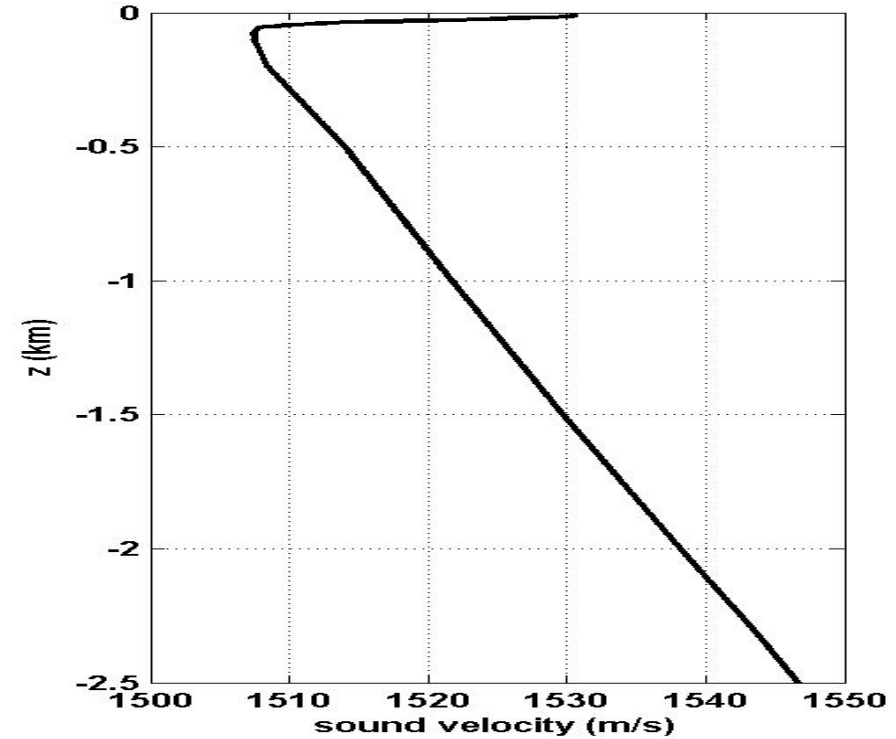
Pulse bipolaire
(50 μ s au maximum
d'amplitude)
Spectre large bande
(1-100 kHz)

Propagation



**Absorption des hautes fréquences
(Étirement du signal
lors de la propagation)**

**Mais amplitude max atténuée en r^{-n}
(Learned, Phys. Review 1979)**



**Vitesse du son variable
(avec l'immersion)
Réfraction des rayons
acoustiques**

Le Détecteur ANTARES

to be deployed by 2004-2006

900 PMTs
12 lines
25 storeys / line
3 PMTs / storey

4.5 m

a storey



350 m

100 m

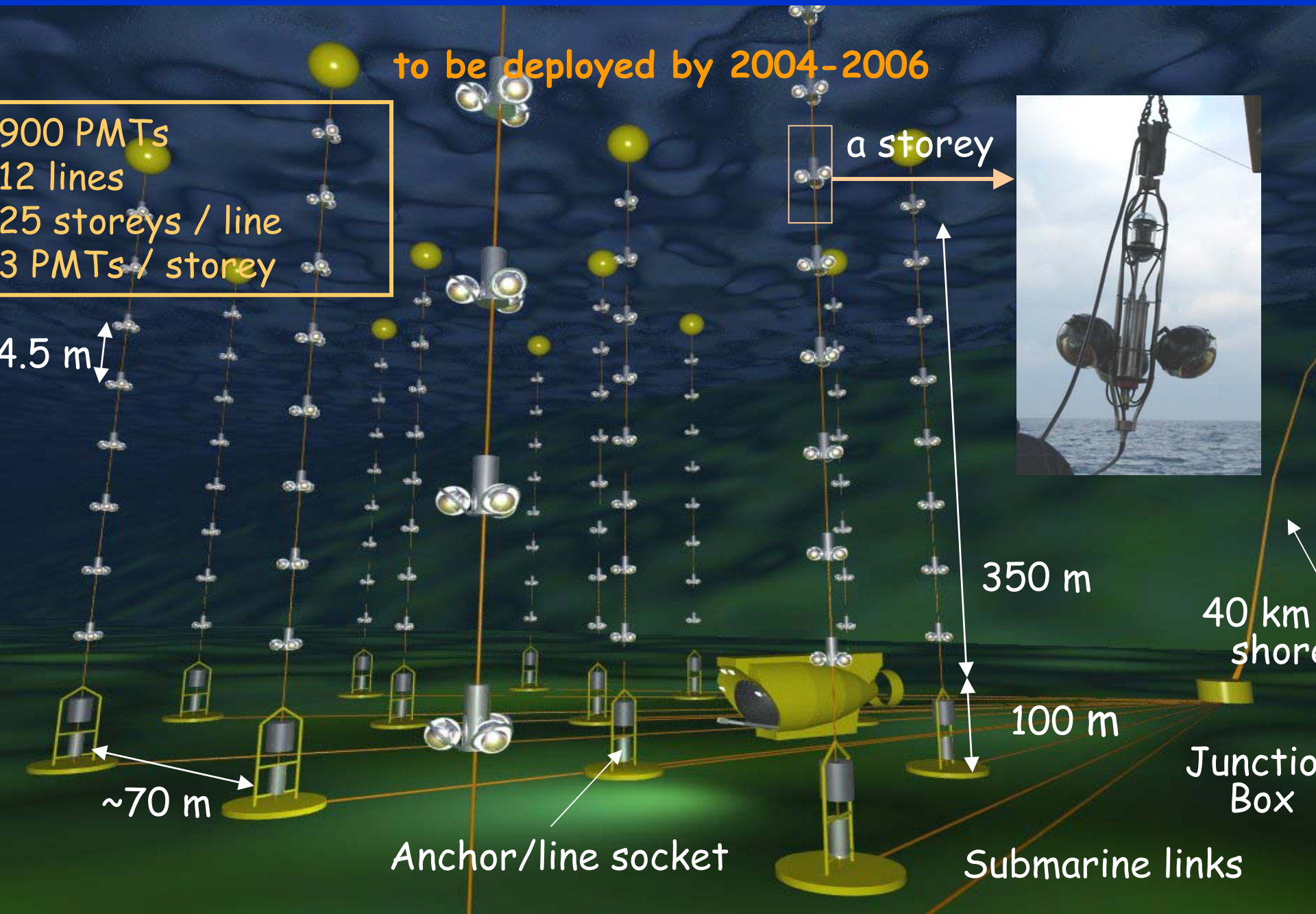
40 km
shore

Junction
Box

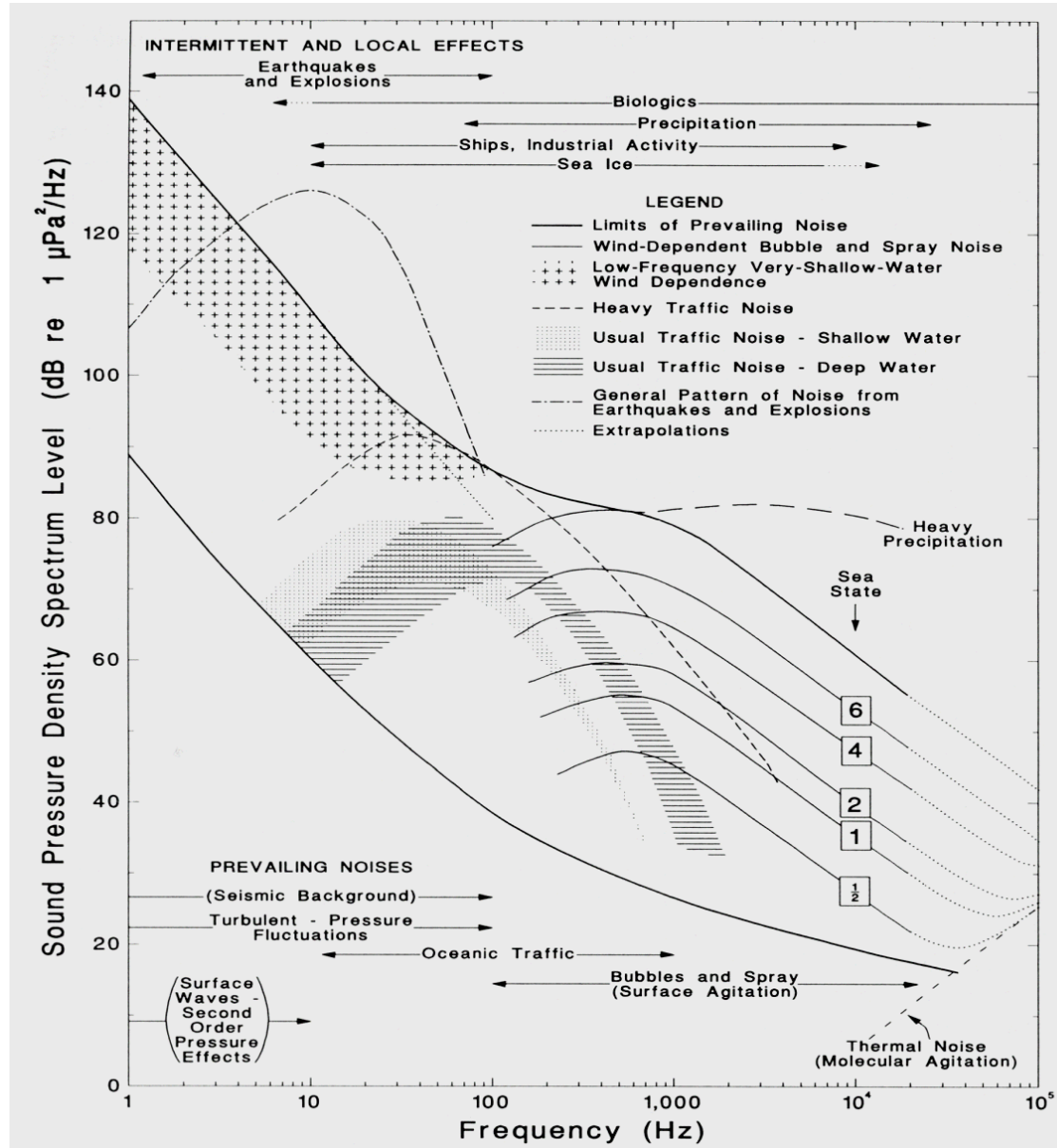
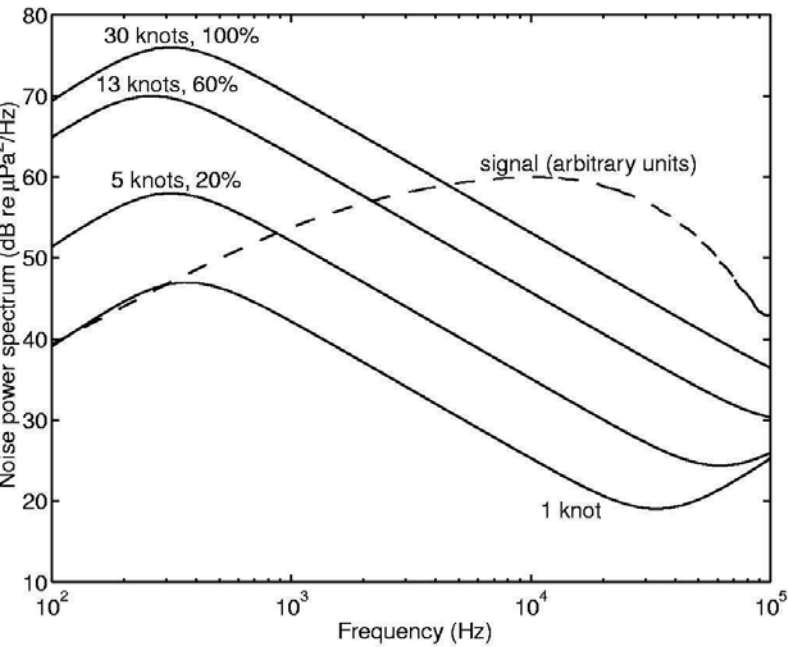
~70 m

Anchor/line socket

Submarine links



Bruit Ambient



Etat de mer 0

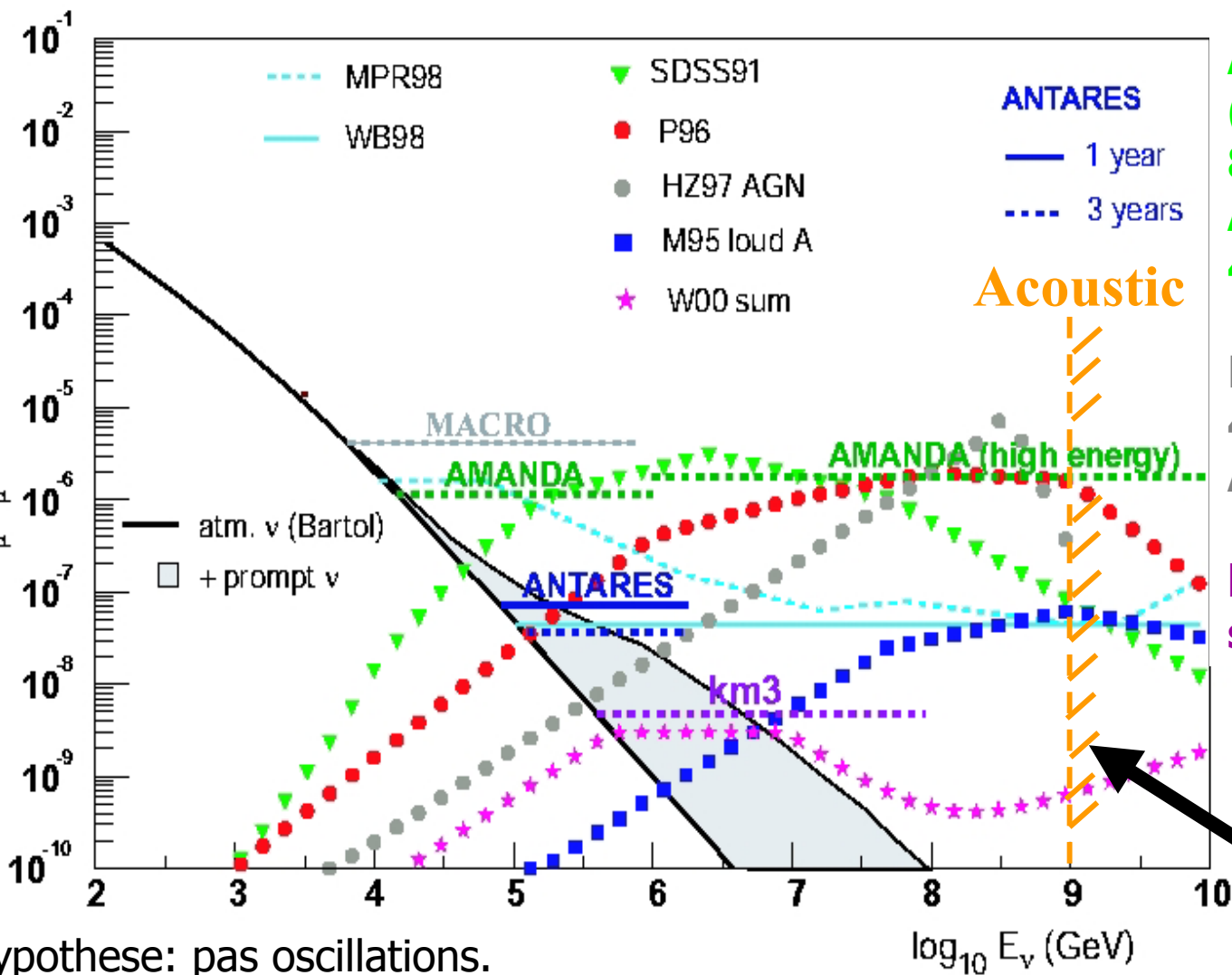
S/B ~ 1 @ 1 km pour

E $\sim 10^{18}$ eV

(LPM)

Mesures durant la 2GM

Flux diffus de ν_μ



AMANDA (ν_μ) 130 d
(astro-ph/030328):
 $8.4 \cdot 10^{-7} \text{ GeV cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$
AMANDA UHE $> 10^{16} \text{ eV}$:
 $4.8 \cdot 10^{-6} \text{ GeV cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$

MACRO:
 $4.1 \cdot 10^{-6} \text{ GeV cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$
 Astrop Phys 19 2003

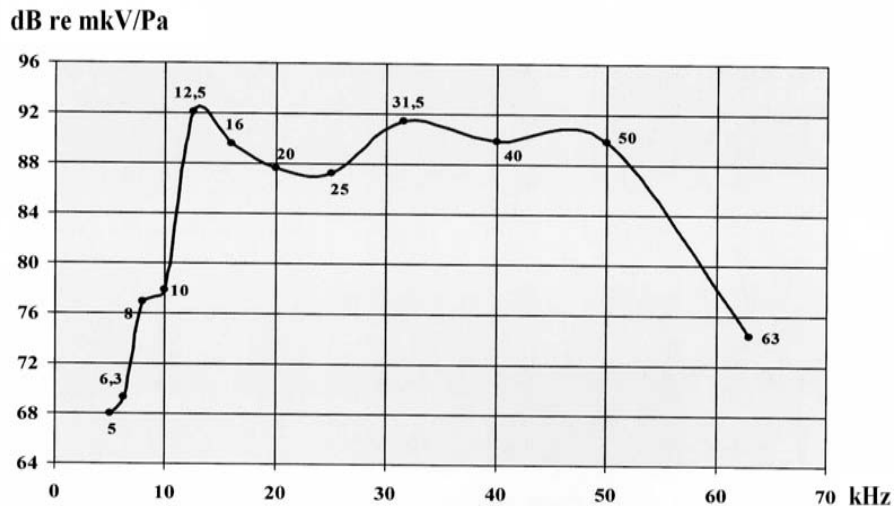
km3 (ICECUBE):
 sensibilité attendue

Limites
 expérimentales
 pour un
 spectre en E^{-2}

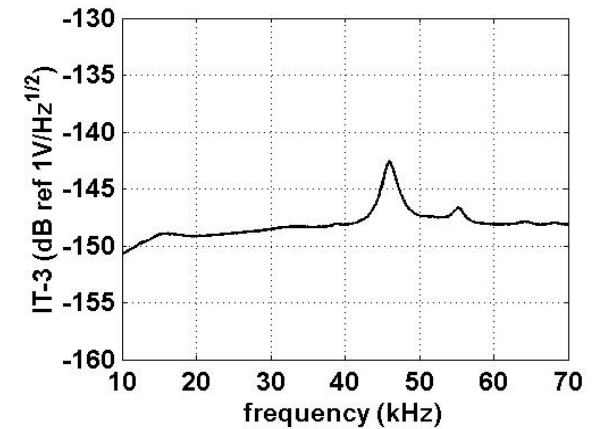
hypothèse: pas d'oscillations.
 réduire par un facteur ~ 2 si oscillations
 - un peu de régénération pour ν_τ)

Hydrophone

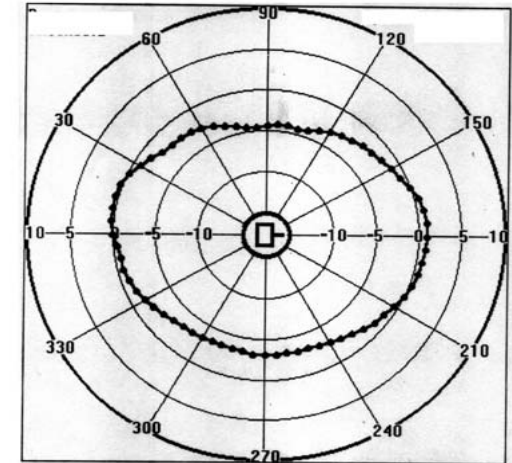
Récepteur Acoustique sous-marin :
Céramique piézoélectrique
+ pré-Ampli faible bruit
+ empaquetage (2500 m)



Céramique = oscillateur
(coupure haute ~ 10-100 kHz)



Bruit propre céramique

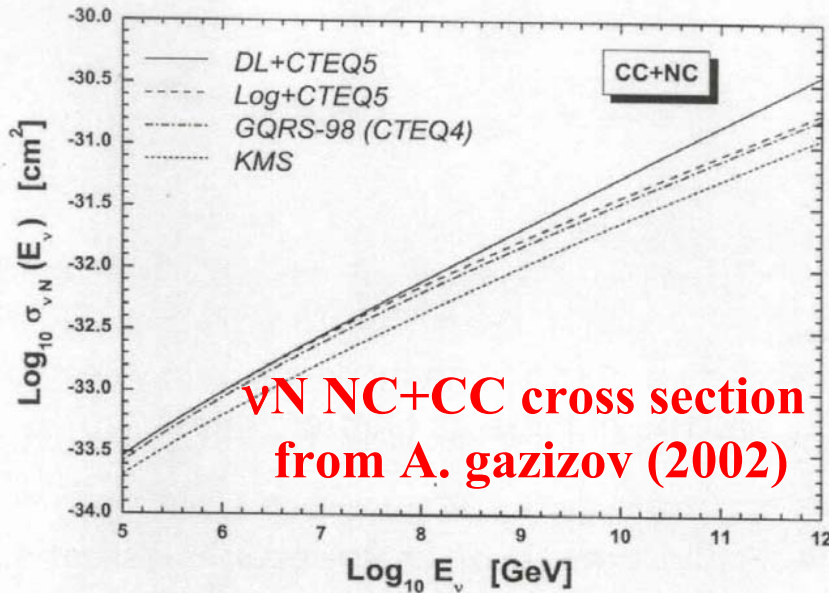


Directivité de la céramique
+ empaquetage

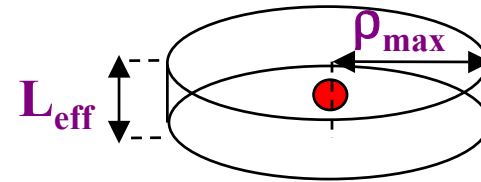
Notre Choix : l'Hydrophone ITEP !



Taux d'événements



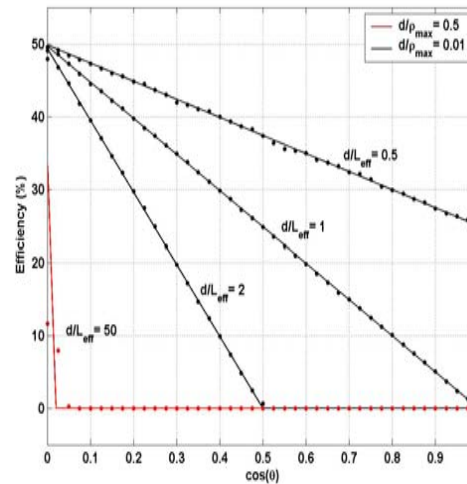
Estimation par modèle géométrique



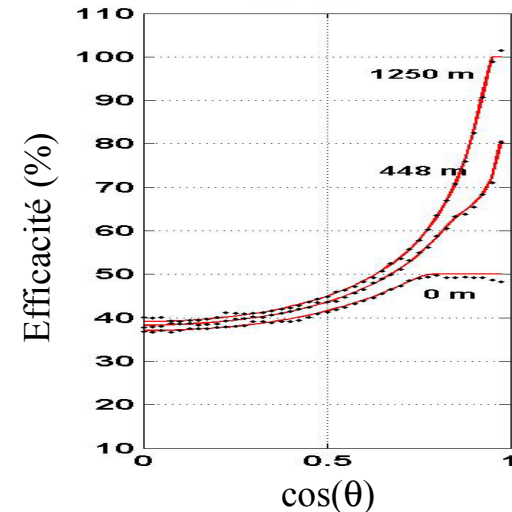
$$V_{eff} = \pi \rho_{max}^2 L_{eff}$$

Grande variabilité
Surface efficace de détection
LPM+bruit+ σ

Surface efficace
1/100 km² à 3 km²
@ 10²⁰ eV

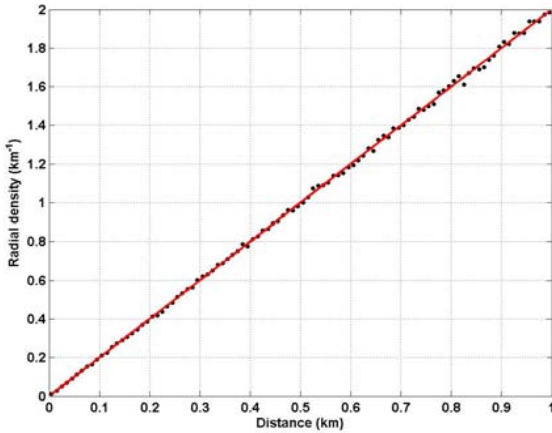


Coïncidences

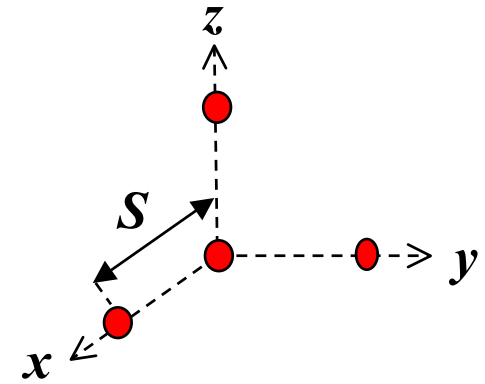


Limitations
Surface/fond

Reconstruction – Triangulation -

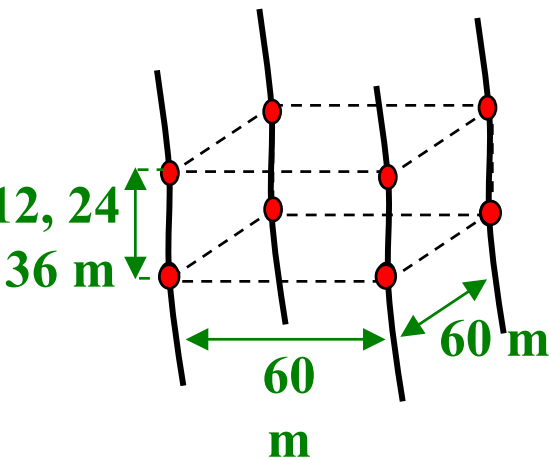


Géométrie éclatée
Meilleure précision
Mais inefficace

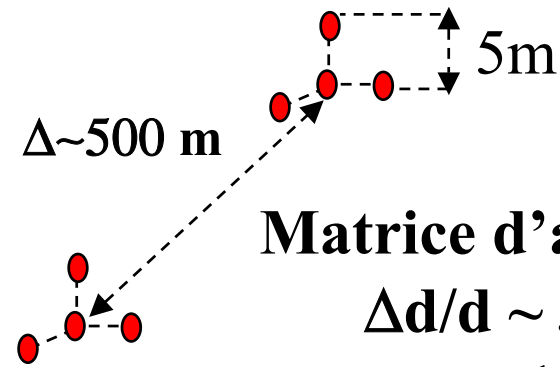


Statistique dominée
par evts. lointains

Hydrophones en Antenne
Reconstruction précise
direction arrivée du son (<1°)

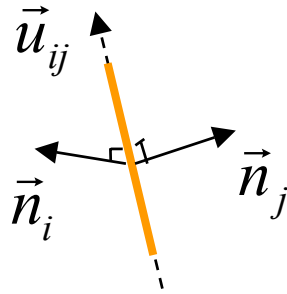


Polygone compact
 $\Delta d/d \sim$
200%-300%
 $\varepsilon \sim 10\%$



Matrice d'antennes
 $\Delta d/d \sim 33\%$
 $\varepsilon \sim 1\%$

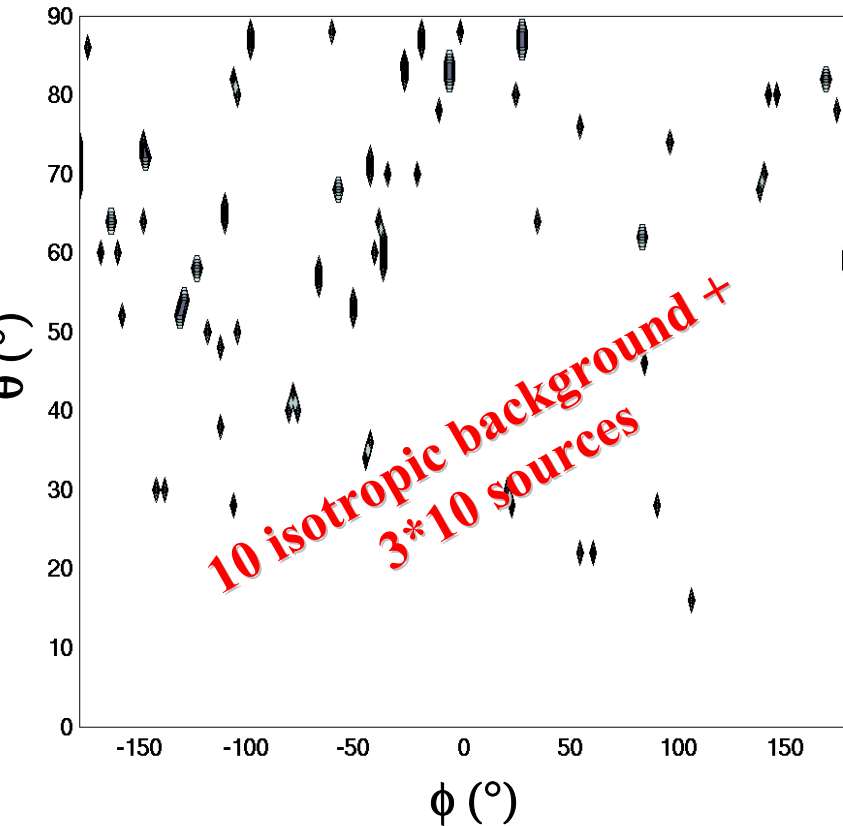
Reconstruction – Méthodes statistiques -



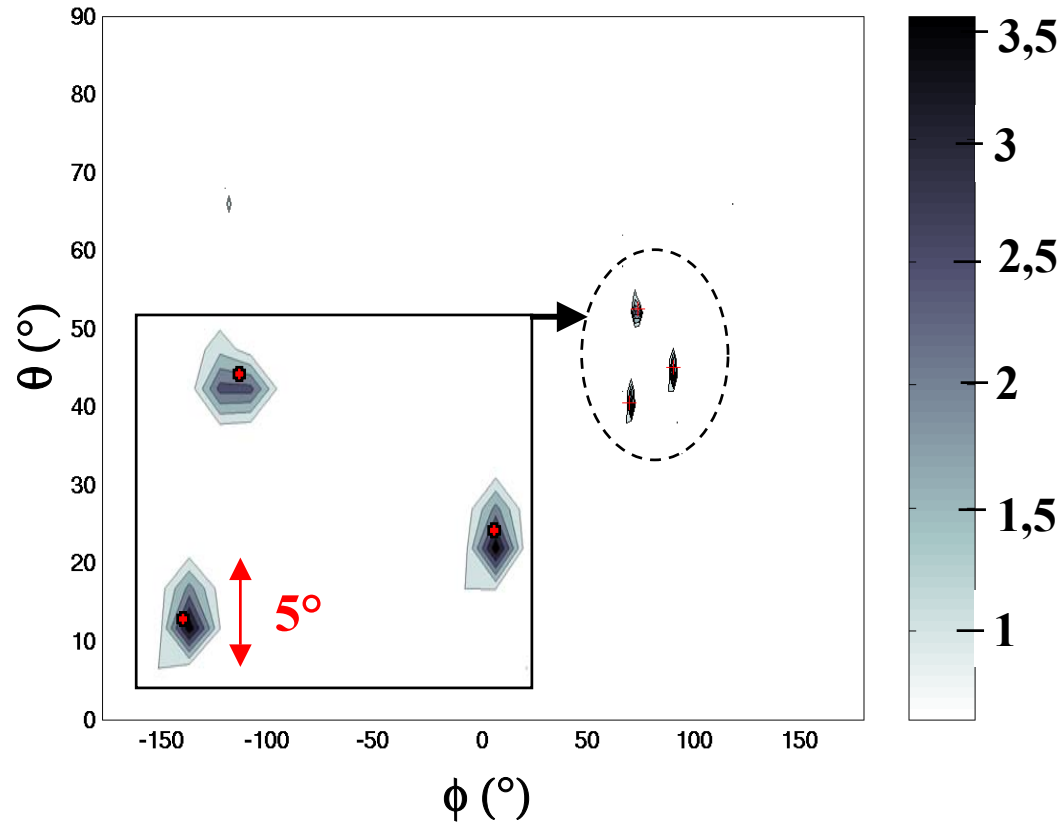
$$\vec{u}_{ij} = \frac{\vec{n}_i \wedge \vec{n}_j}{|\vec{n}_i \wedge \vec{n}_j|}$$

Résolution angulaire 1° (95% CI)
sur la direction d'incidence
Pas de réfraction
Pas de mouvement relatif

Events angular distribution



$-\log_{10}(p)$



Perspectives

Mesure du bruit ambiant sur site
(Hydrophone(s) interconnecté ligne ANTARES)

Antenne (Autonome) Démonstrateur

Schematic

