

Réponse hydroacoustique d'un événement sismique sous-marin

*Claude Guennou, Guillaume Jamet, Laurent Guillon,
Jean-Yves Royer, Camille Mazoyer*

Calculer la réponse hydro-acoustique des événements sismiques sous-marins

1) Pourquoi?

La sismicité des domaines océaniques

Les réseaux d'écoute de la sismicité océanique

Les questions et hypothèses autour des ondes T

2) Comment ?

Le code SPECFEM

Le cas du séisme du 2 mars 2008 à 1h34mn19s GMT,
sur l'axe de la dorsale medio-Atlantique

3) Conclusions

Les chantiers à venir

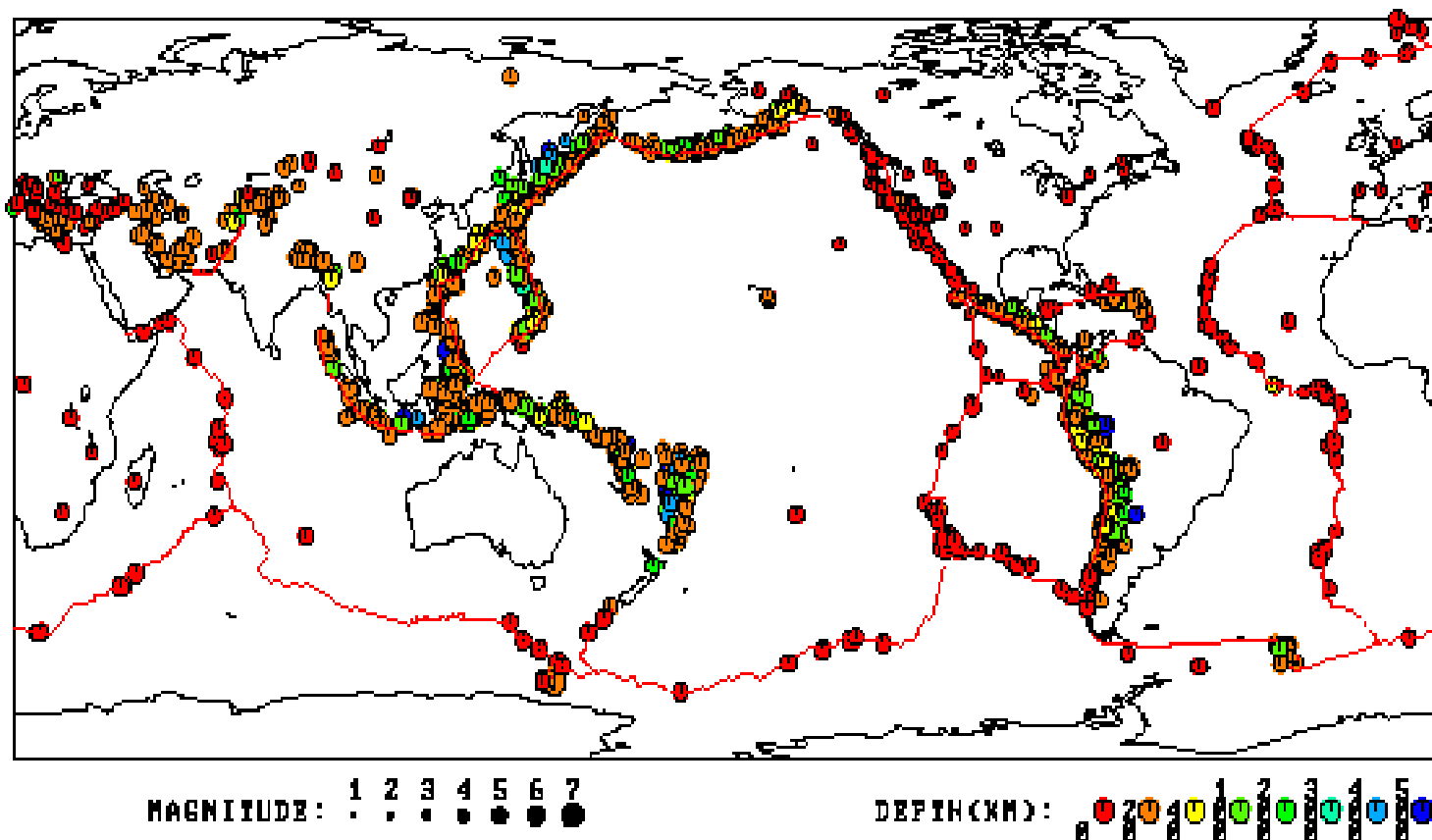
Les possibilités de Caparmor



Sismicité des domaines océaniques

WORLD EARTHQUAKES OF 1998 M > 4.0

Wed Jan 6 06:01:59 CST 1999



Surveillance globale par les réseaux sismologiques terrestres



Les ondes générées par les séismes des domaines océaniques, ont un long trajet à faire dans la croûte et le manteau terrestre pour atteindre les réseaux sismologiques terrestres.

>> elles sont fortement atténuées à leur arrivée

>> les séismes des domaines océaniques sont donc difficilement détectés -et encore plus difficilement localisés avec précision- par les réseaux sismologiques terrestres

Les domaines océaniques :

De vastes régions où se produisent,

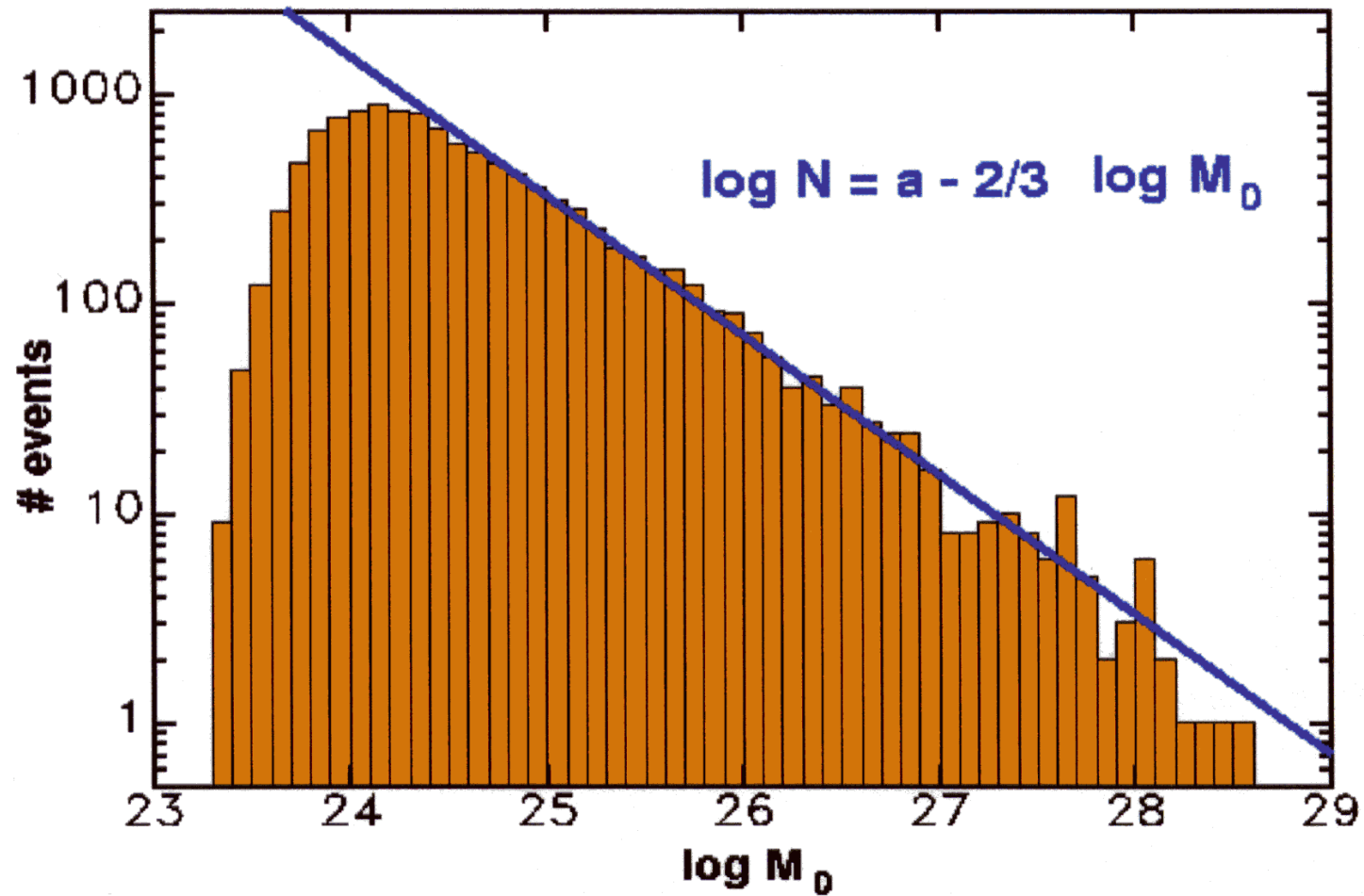
(à l'exception des zones de subduction),

peu de séismes de fortes magnitudes

beaucoup de séismes de faibles magnitudes



Loi de Gutenberg et Richter :



Nombre cumulé de séismes en fonction de leur magnitude

Les moyens d'écoute de la sismicité océanique

Les réseaux d'OBS

Campagnes depuis 1980

Couverture locale ~ qqs 10*10 km

Bon seuil détection (Magnitude > 2)

Les réseaux d'hydrophones

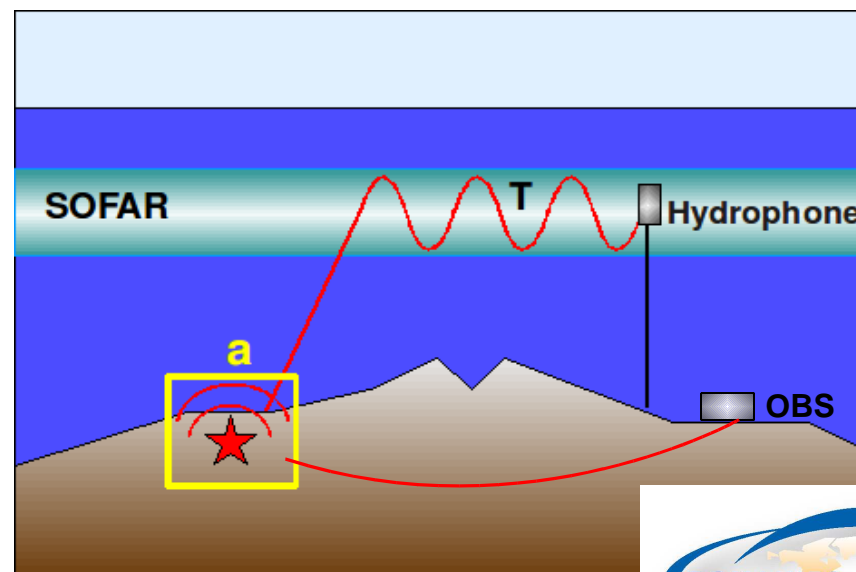
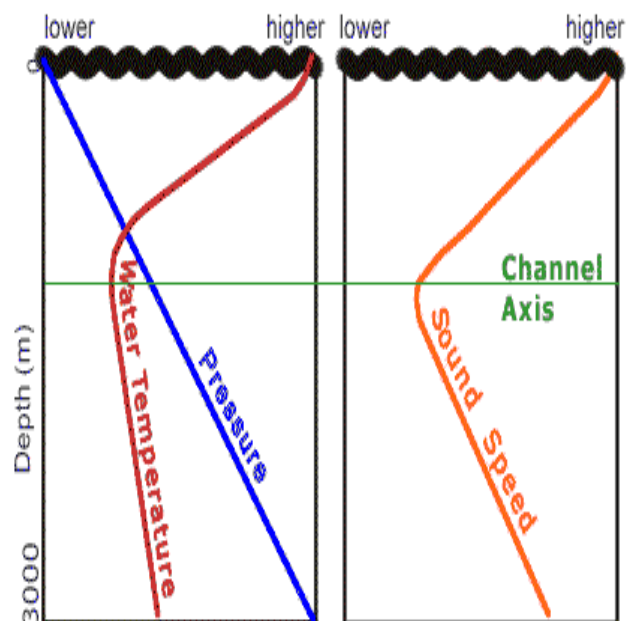
Pacifique : depuis 1996

Atlantique: depuis 1999

Autonomie ~2 ans

Couverture ~ qqs 1000*1000km

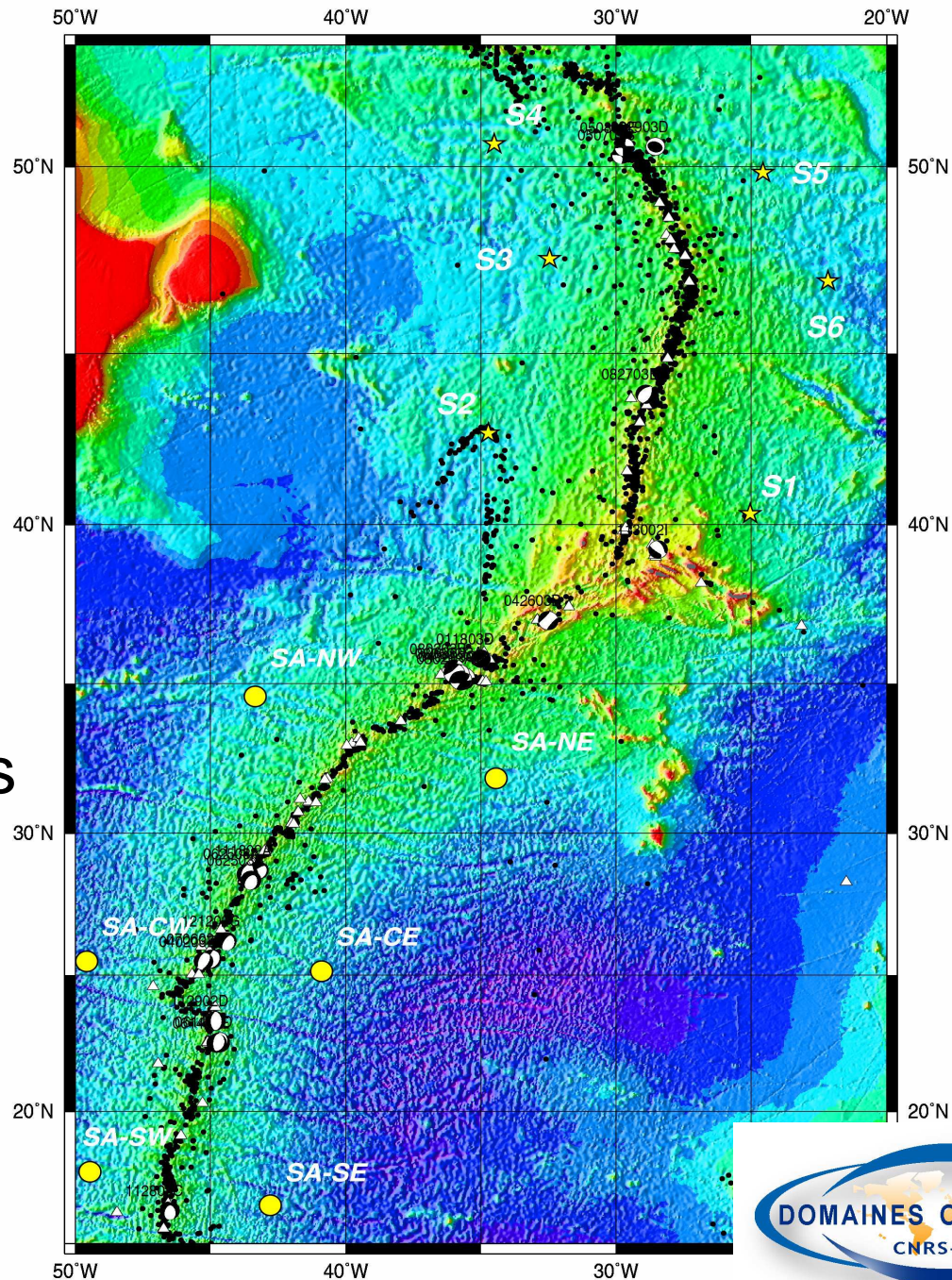
Bon seuil détection (Magnitude > 2)



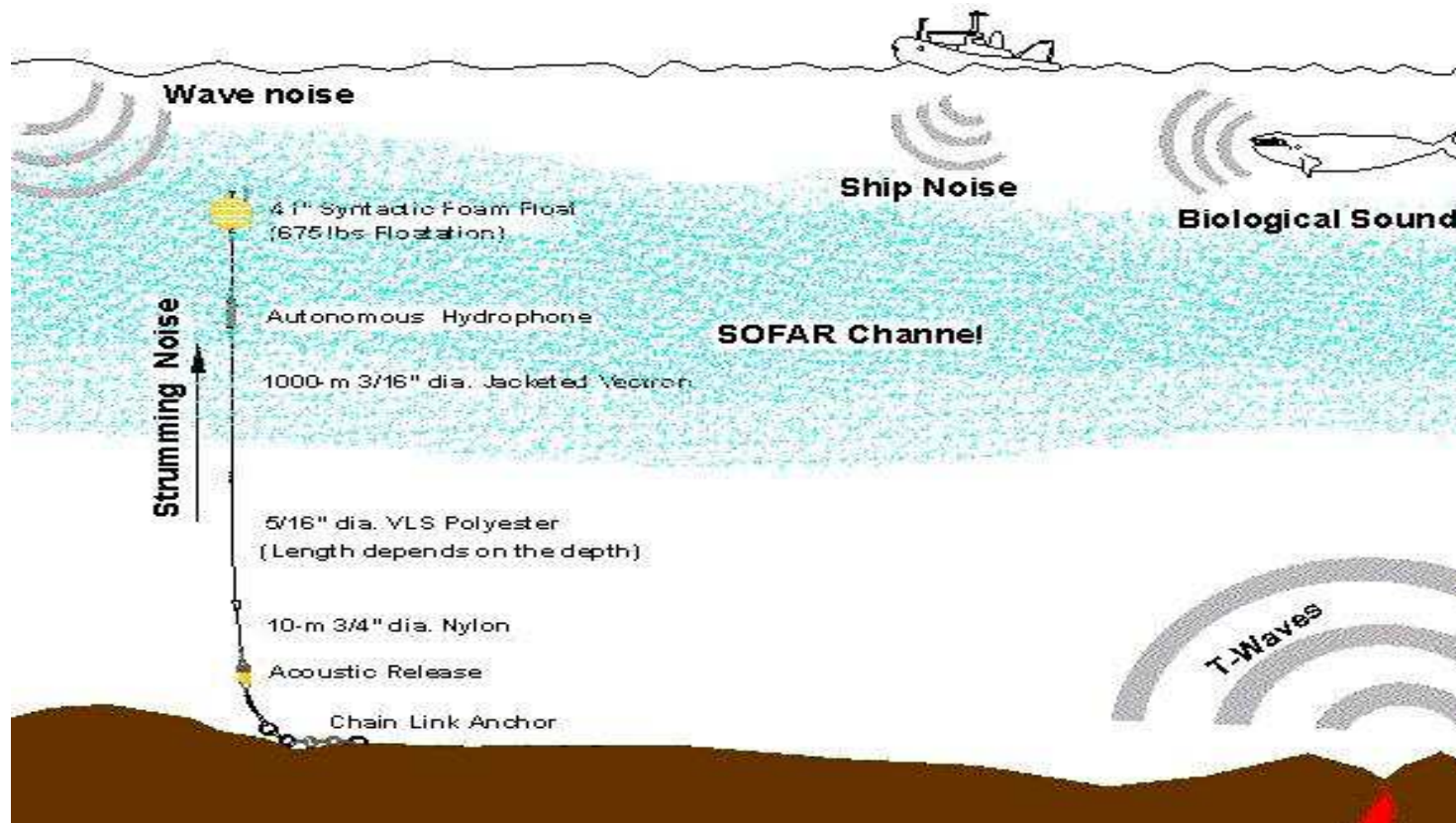
Sismicité Atlantique Nord et Central

durée des observations
~ 16 mois

Pour une même zone
océanique donnée,
les réseaux d'hydrophones
détectent **30 à 50 fois plus**
de séismes que les
réseaux terrestres



Le monde du silence du Commandant Cousteau!



Le laboratoire Domaines Océaniques dispose de 7 années d'enregistrement de signaux hydroacoustiques

On aimerait connaître la sismicité des domaines océaniques

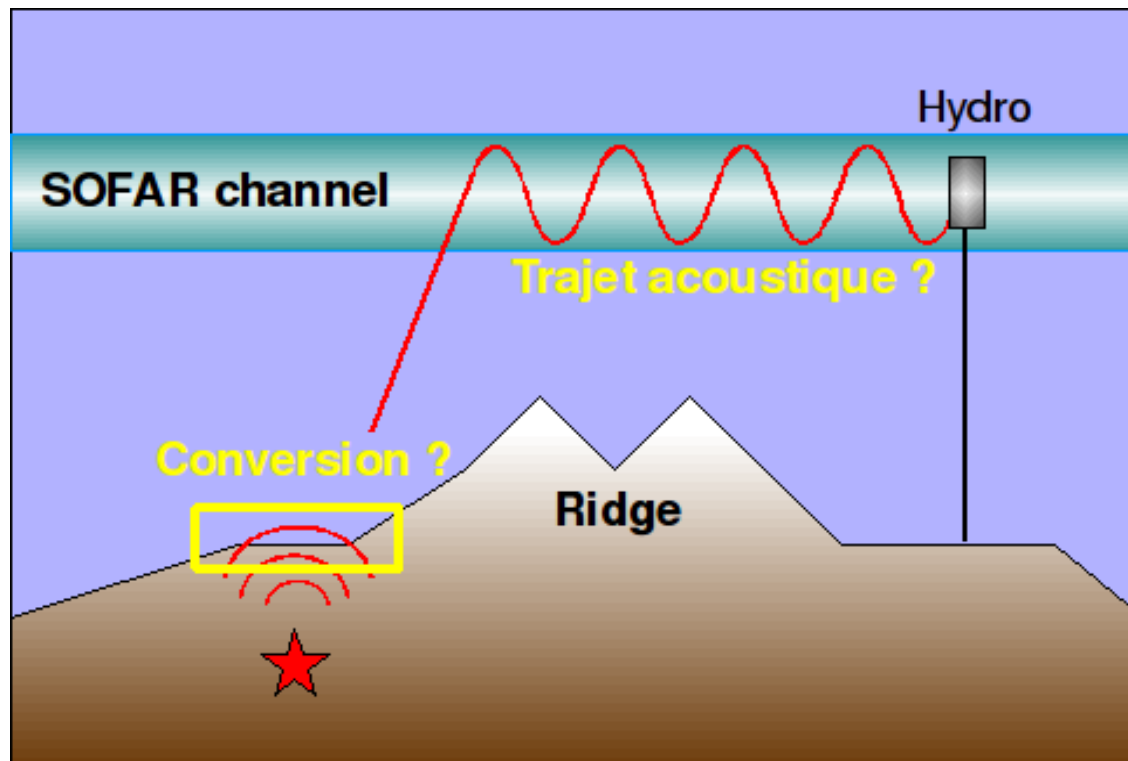
- les distributions des événements sismiques (temps / espace)
- la magnitude des séismes
- les mécanismes au foyer des séismes

Parce que

- les domaines océaniques sont des régions où se dissipe une part notable de l'énergie interne de la Terre, (séisme / volcanisme)
- la sismicité est une des rares observations directes des processus actifs au niveau des dorsales

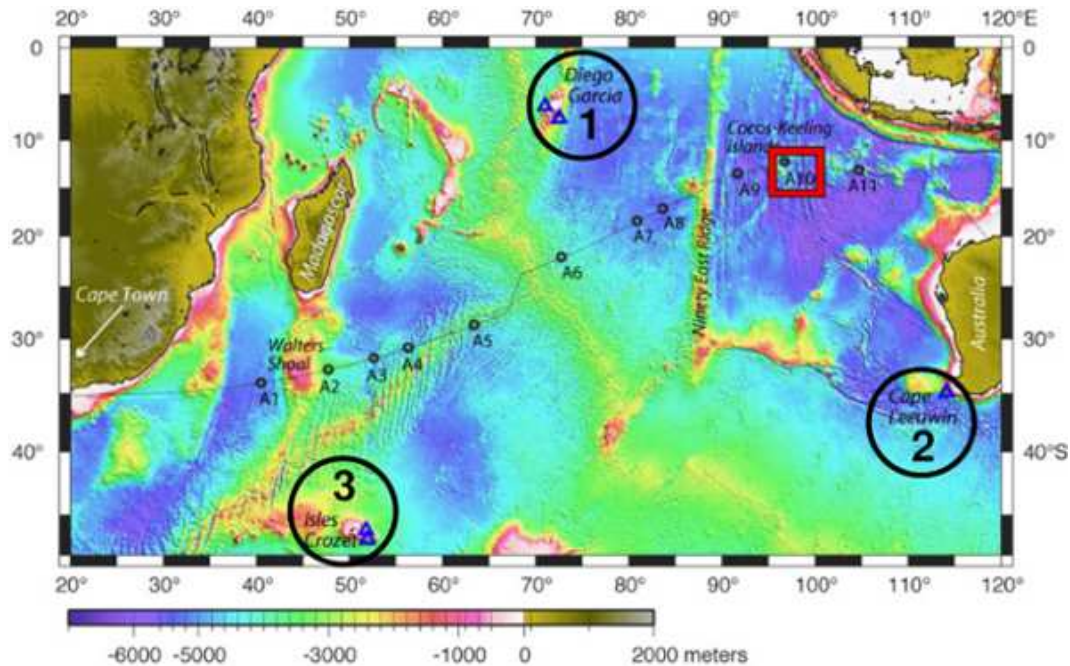


L'interprétation des signaux acoustiques (**ondes T**) ne permet pas de caractériser les séismes (**magnitude, mécanisme au foyer**) directement, comme le permet l'analyse des signaux sismiques enregistrés par les réseaux terrestres.

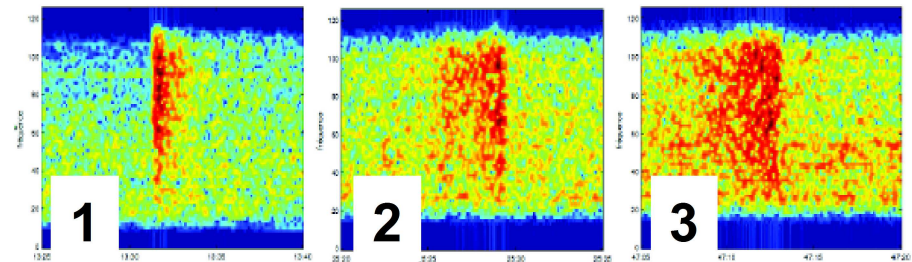


Ces deux questions sont des questions ouvertes....

A propos du trajet acoustique longue distance des ondes T



(Blackman et al., 2003)



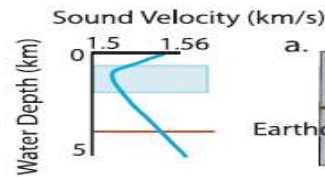
**3 signatures spatio-temporelles
différentes
du même tir pour chaque
hydrophone !**

- Propagation acoustique
 - Blocages bathymétriques
 - Effets 3D

A propos du piégeage des ondes T dans le canal SOFAR

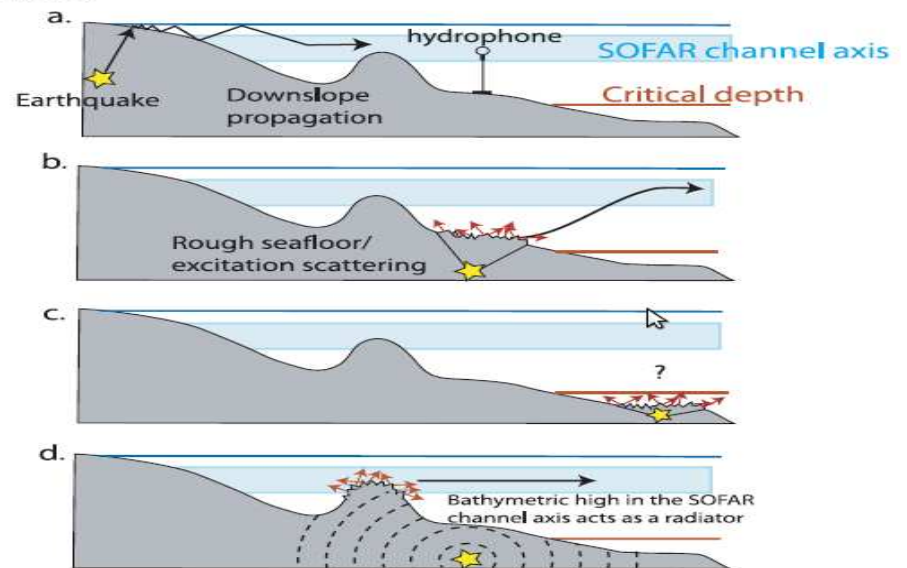
- Modèle géométrique ou « Down-slope Propagation »

- Depuis ~ 1960
- Pente topographique
- Réflexions surface/fond



- Modèle physique ou « Modal scattering »

- Depuis ~ 2000
- Théorie modale
- Effet de diffusion par la rugosité du fond



(Williams et al., 2006)

Ces hypothèses n'expliquent pas toutes les observations
(Paradoxe des ondes T abyssales)

A propos de l'interprétation des signaux acoustiques ondes T

Source Level / Magnitude

(*Fox and al. 2001, Yang and al. 2003*)

Énergie ondes T / Mécanisme au foyer

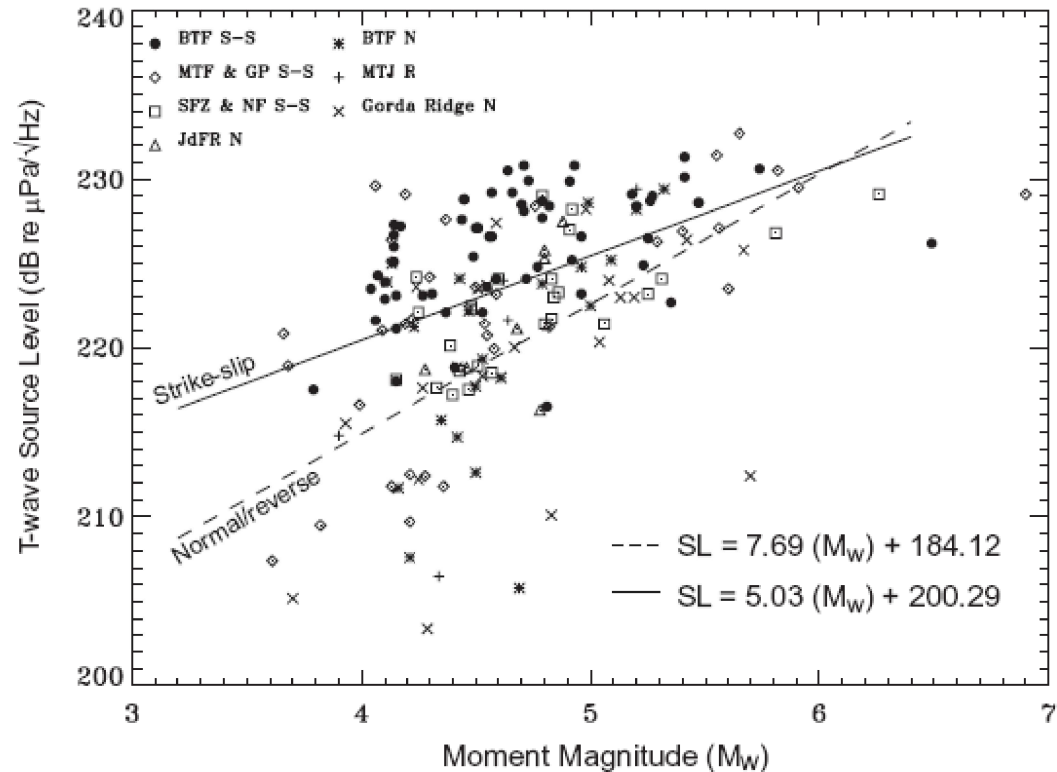
(*Dziak 2001*)

Contenu fréquentiel des ondes T

(*De Groot et Orcutt 2001*)

Temps de montée de la forme de l'onde T

(*Williams and al., 2006*)



(*Dziak et al., 2001*)

Des études empiriques contradictoires

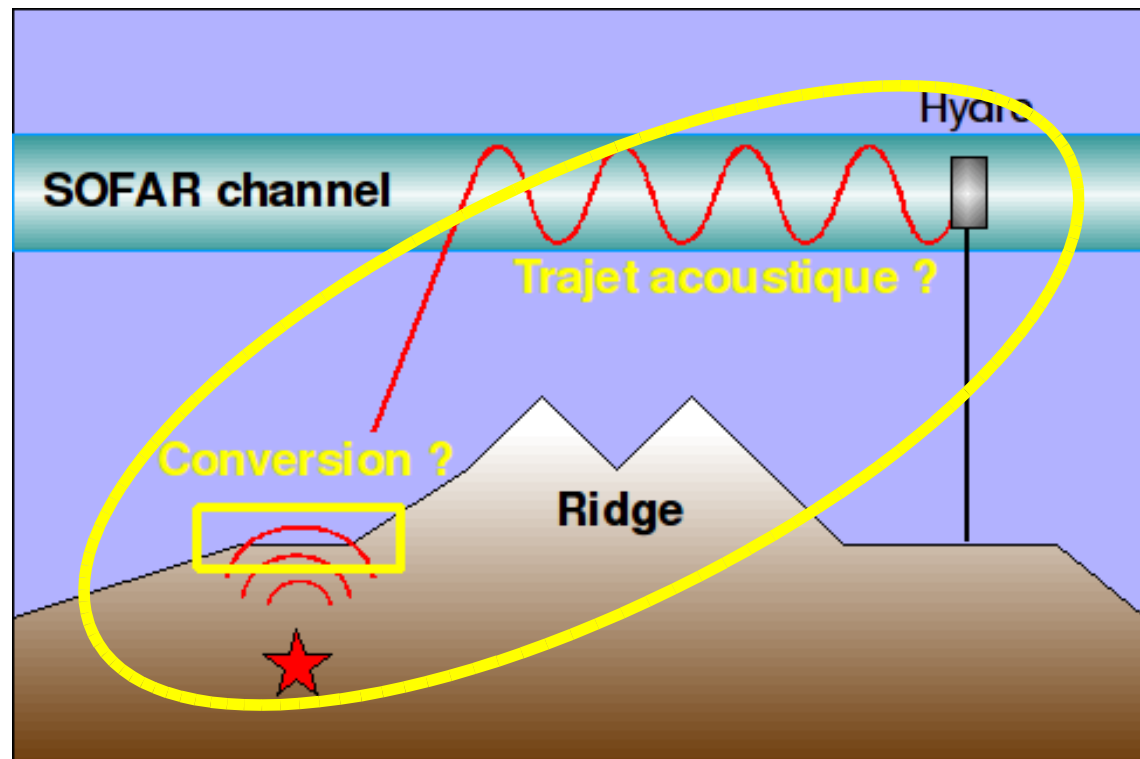
Le problème direct

Le code SPECFEM versions 2D & 3D cartésien

Méthode des éléments spectraux (élément finis + techniques spectrales)
1984 Patera pour des applications en dynamique des fluides
2000 Komatisch & al pour des applications en géophysique

Prise en compte de :

- bathymétrie
- localisations du foyer du séisme et hydrophone
- profil de vitesse non-uniforme
- atténuation
- mécanisme au foyer (moment tensor)



L'événement sismique modélisé

Lat= 36.39

Lon= -33.77

Date: 2008/ 3/ 2

Centroid Time:

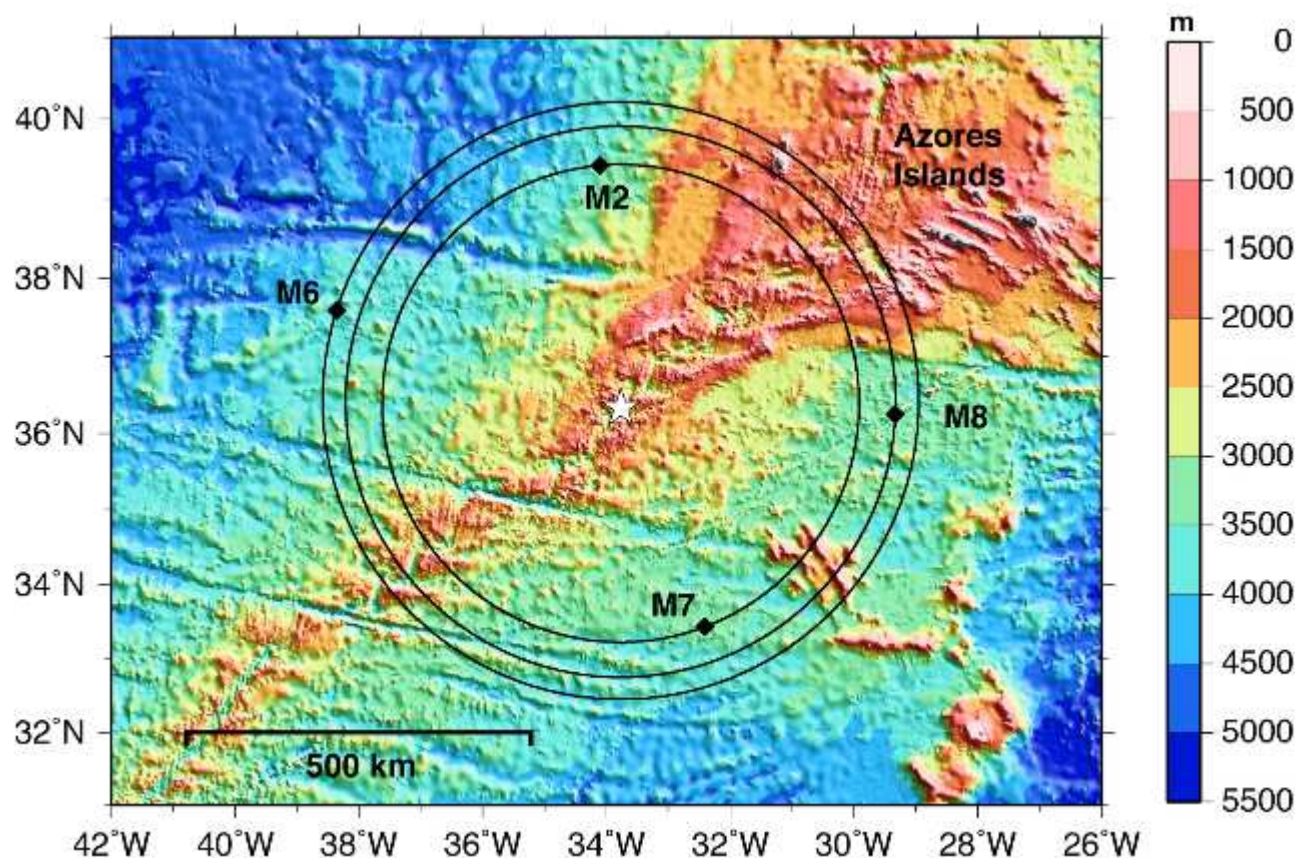
1:34:21.3 GMT

Half duration= 0.9

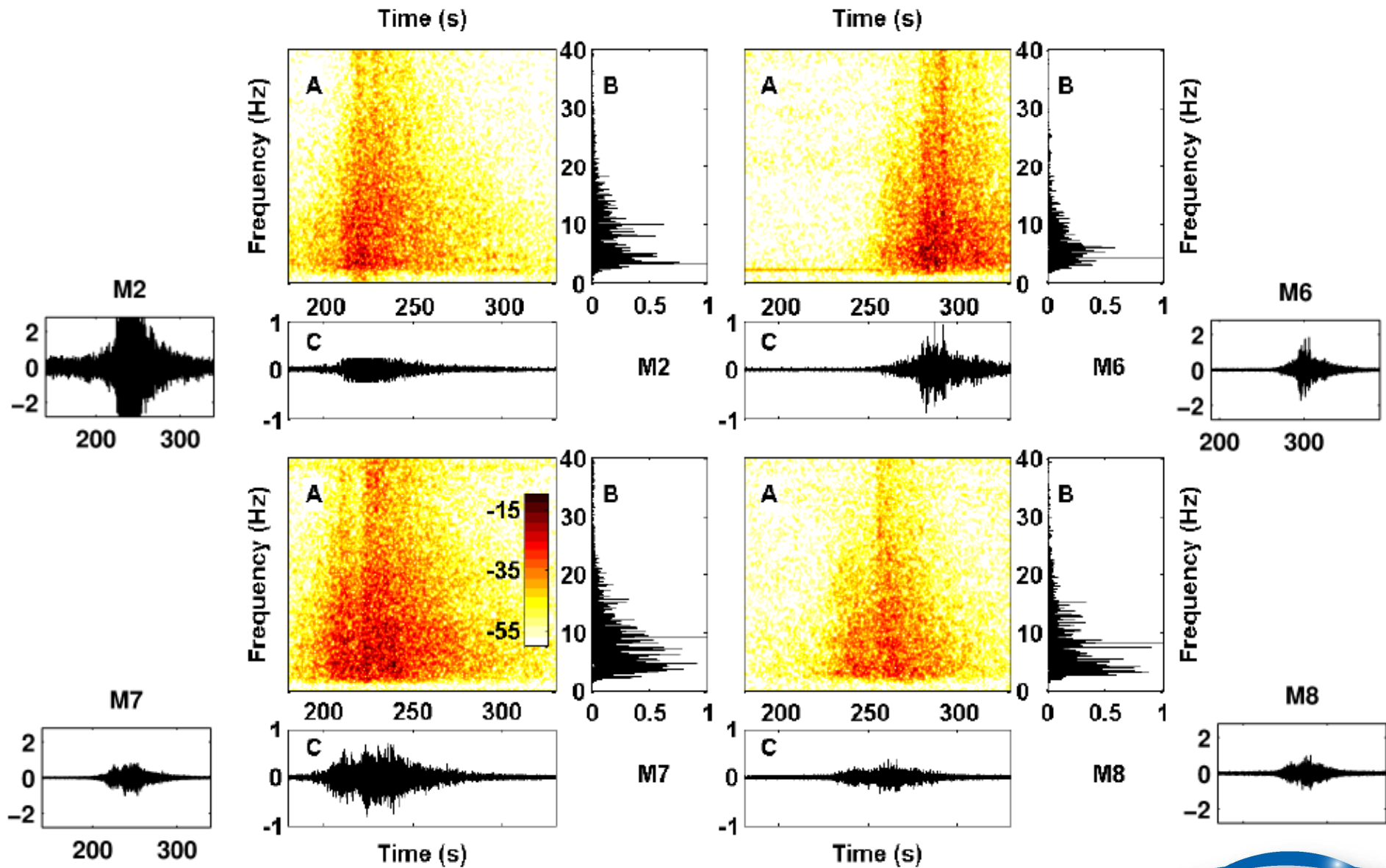
Moment Tensor
exprimé dans la base

(\vec{z}, Sud, Est)

$$\begin{bmatrix} -5.510 & 1.610 & 0.784 \\ 1.610 & 2.420 & 2.780 \\ 0.784 & 2.780 & 3.090 \end{bmatrix} 10^{23} \text{ Dyne/cm}$$

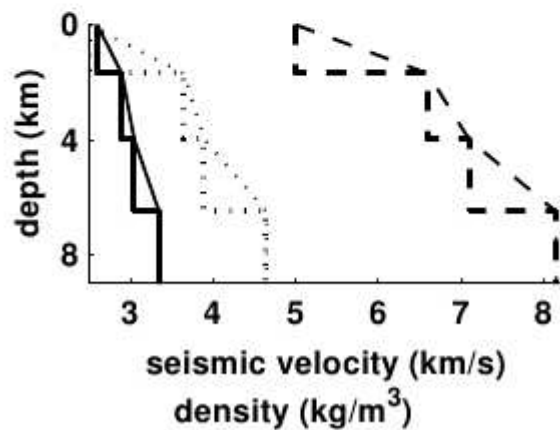
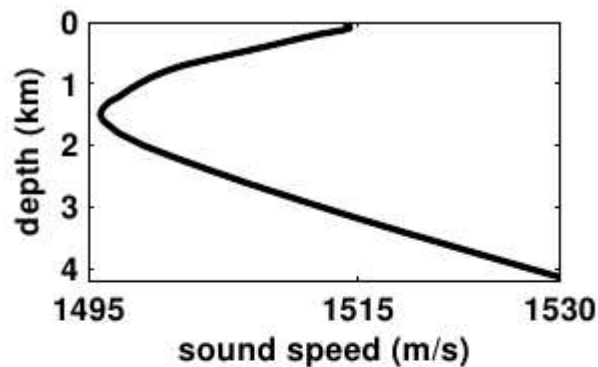


Les signaux hydroacoustiques observés



Du problème 3D à 4 problèmes 2D (4 plans de propagation)

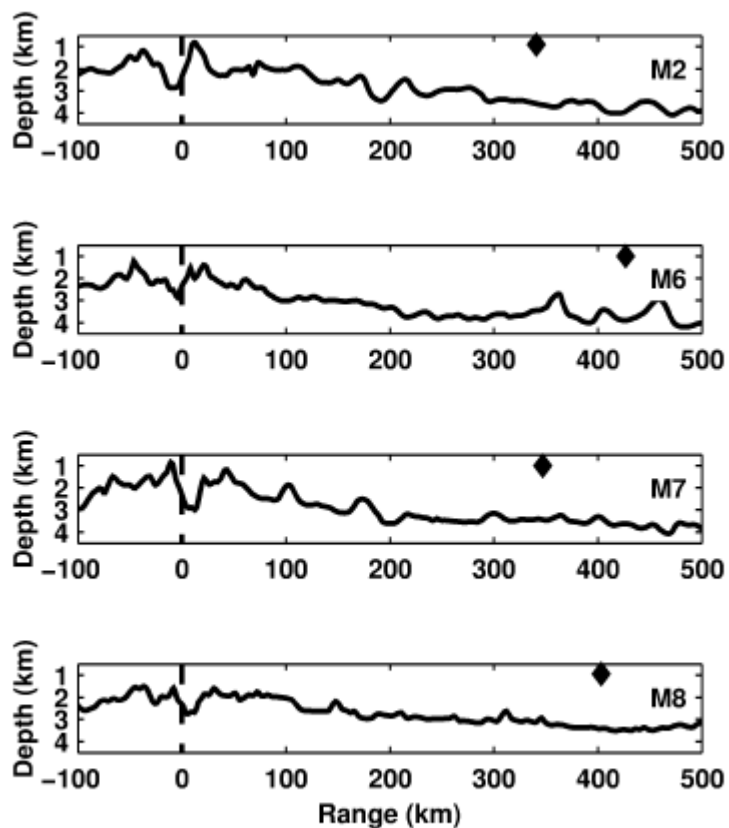
Velocities profiles



GDEM
(Teague et al., 1990)

CRUST2.0 model
(Bassin et al., 2000)

Bathymetry

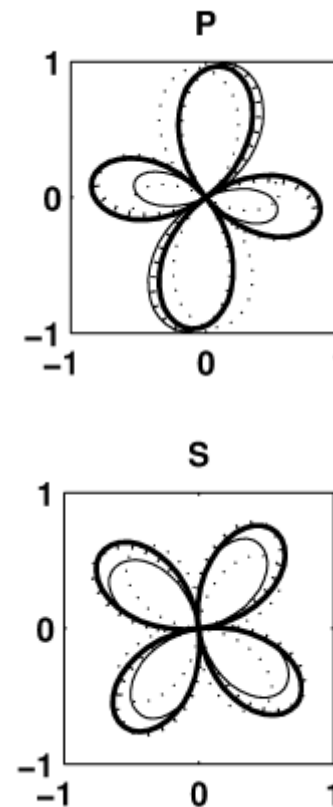


ETOPO1
(Amante and Eakins, 2009)

Attenuation

$\alpha_p = 0.1 \text{ dB}/\lambda$
 $\alpha_s = 0.2 \text{ dB}/\lambda$

Radiation Patterns



M2 Thin solid
M6 Thick solid
M7 Thick dashed
M8 thin dashed



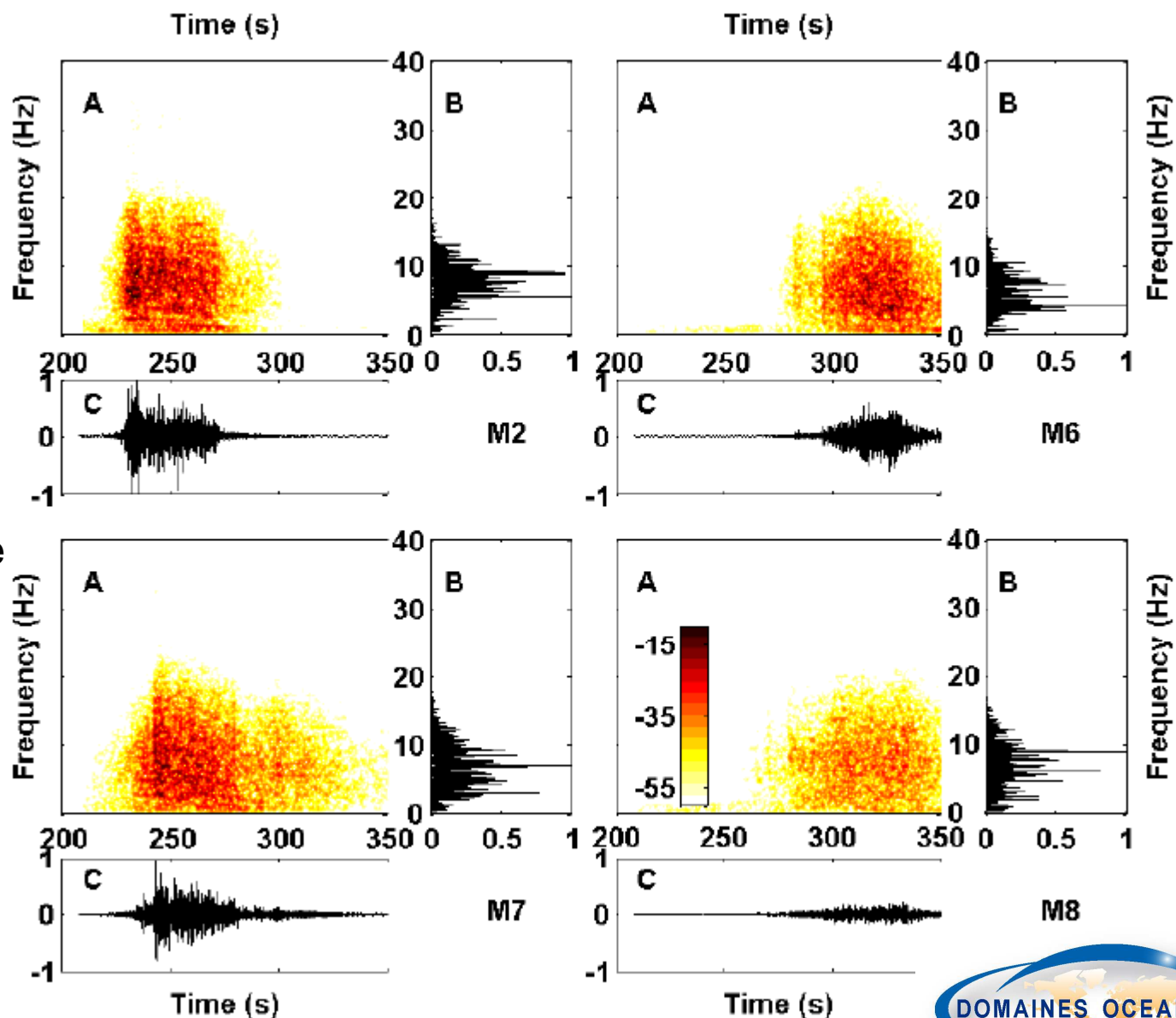
Les signaux hydroacoustiques calculés (profil « à gradient »)

Source
Gaussienne
Frequence 10 Hz

Discrétisation spatiale
8610x202 mailles

Discrétisation temporelle
636373
pas de temps

Temps de calcul
4 fois (4 plans)
14h 10mn
(256 procs)



Confrontation « observés / calculés »

Pas si mal pour un début !

bien en terme de temps d'arrivée relatifs
bien en terme d'amplitudes relatives

peut mieux faire en terme de contenu fréquentiel
peut mieux faire en terme de temps d'arrivée absolus

tout est à faire en terme d'amplitudes absolues

Les efforts sont à porter sur

le signal temporel de la source
le modèle du sol marin (couche sédimentaire superficielle)
Le passage en 3D



Conclusions

Les chantiers à venir

Améliorer la modélisation de notre séisme actuel :

rajout une couche sédimentaire

Élévation de la fréquence principale de la source (15 Hz)

passage en 3D

Les possibilités de Caparmor

NON

NON

NON

Modéliser d'autres événements (propagation longues distances)

Distances horizontales de 1000 à 2000 km

(2D comme 3D)

NON

Modéliser localement (10 x 10 km autour de l'épicentre)

le phénomène de conversion sismo-acoustique

Le phénomène de canalisation SOFAR

(le tout début de la propagation acoustique)

OUI (2D & 3D)

