

# Sismicité de la Dorsale Médio-Atlantique dans la région MoMAR à l'échelle régionale observée par des hydrophones autonomes

Nuno Mendes Simão



## Table de Matières:

Section 1: Dorsale Médio Atlantique et la Région MoMAR

Section 2: Ondes T et Dispositifs de Hydrophones Autonomes (AuH)

Section 3: Analyse de la sismicité enregistrée par les AuH

Section 4: Analyse des séquences des séismes enregistrées par les AuH

Section 5: Conclusions

## Section 1

# Dorsale Médio Atlantique et la Région MoMAR

# Dorsale Médio Atlantique (MAR)

La Dorsale Medio Atlantique nord est la frontière entre quatre plaques tectoniques.

Région d'accrétion océanique avec un taux d'accrétion qui varie entre ~14 - 25 mm/year (dorsale lente).

Structures majeures:

Le plateau des Açores

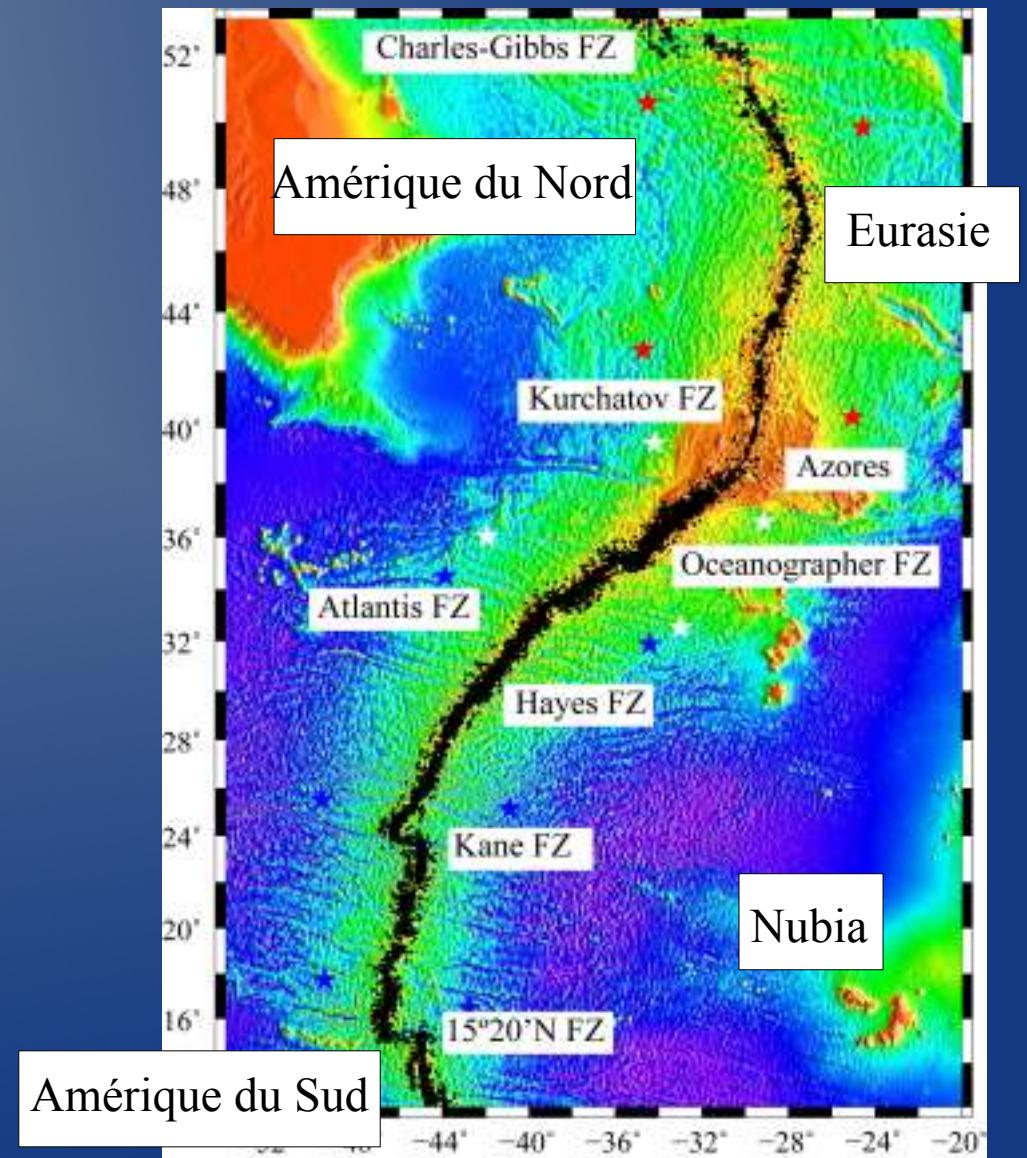
Les Zones de Fracture Majeures

Sections entre les Zones de Fracture

Structures mineures:

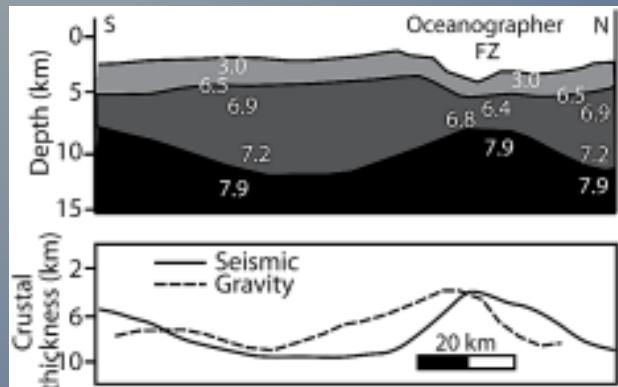
Segments

Discontinuités non transformantes.

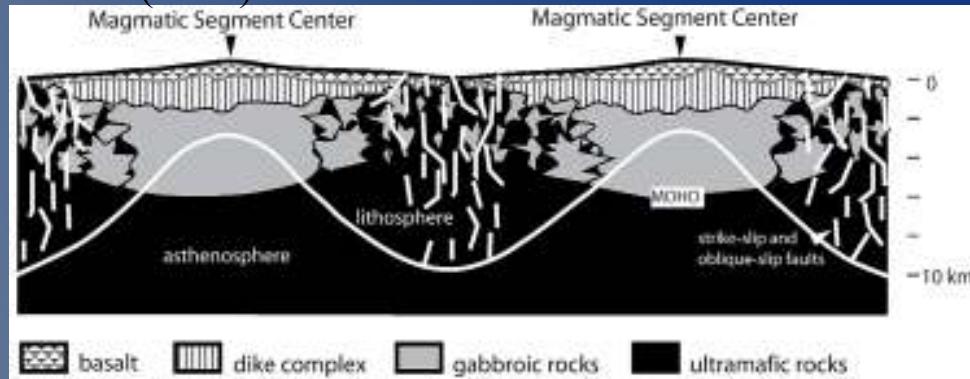


# Morphologie, rhéologie et épissure des segments de la MAR

Detrick et al. (1995).



Cannat (1993)



- Croute plus épaisse et superficiel dans le centre de segment.
- Une rhéologie hétérogène dans la croute.
- Lithosphère moins épais dans le centre qu'en extrémité de segment.

Régime thermique de la croute

mise en place et  
extrusion  
de magma

Circulation hydrothermale

Formation de failles normales  
ou de détachement

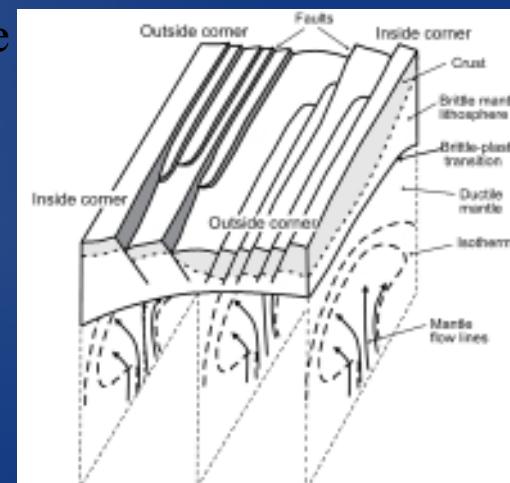
Accrétion  
symétrique

Accrétion  
asymétrique

Contraintes de tension

Flexion de la croute  
due à l'accrétion

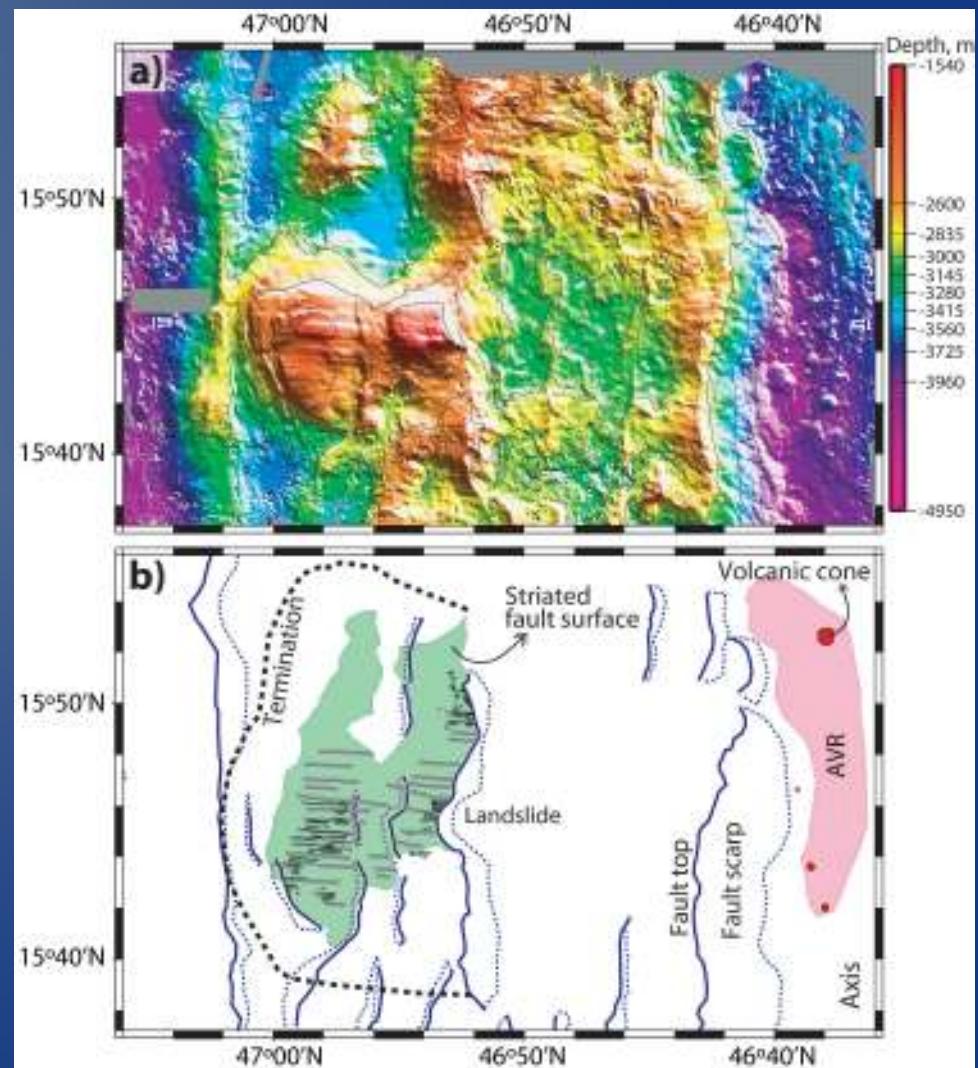
► Séismes



Searle & Escartin (2004)

# Failles de détachement

- Surfaces sous-horizontales, lisses, courbes et avec des ondulations parallèles à la direction de propagation (Buck, 1998; Tucholke et al., 1998).
- L'extension tectonique dans est focalisée dans un des flancs du rift (Lavier et al., 1999).
- Localisation de la déformation pendant de longues périodes de temps (Lavier et al., 1999).
- Présente des **taux élevés de sismicité** enregistrée pas les AuH (Escartin et al., 2008a)



# Région MoMAR

Emplacement des quatre grandes sites hydrothermales qui ont été découverts jusqu'à présent. Plus grande densité des sites hydrothermaux découverts de toute la MAR:

- Menez Gwen (850 m de profondeur)

- Fumeurs noirs
- Haute température des fluides
- fixé sur des roches **basaltiques** près du sommet d'un édifice volcanique dans le **centre de segment** du rift.

- Lucky Strike (1700 m de profondeur)

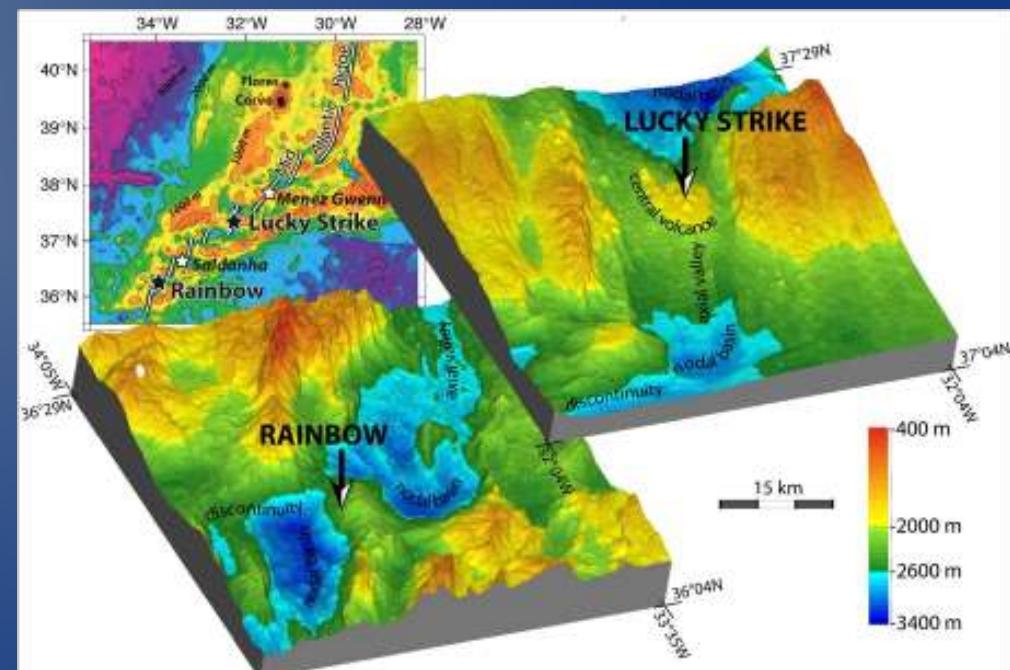
- Fumeurs noirs
- Haute température des fluides
- fixé sur des roches **basaltiques** près du sommet d'un édifice volcanique dans le **centre de segment** du rift.

- Rainbow (2300 m de profondeur)

- fumeurs noirs
- haute température des fluides
- fixé sur des roches **ultramafiques** près de la **discontinuité à l'axe du rift**

- Saldanha (2200 m de profondeur)

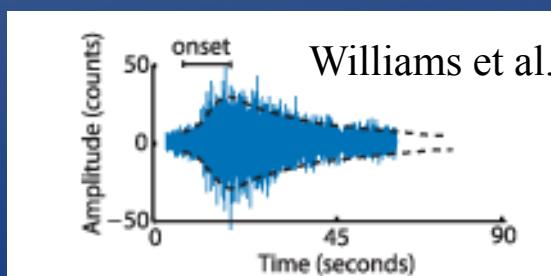
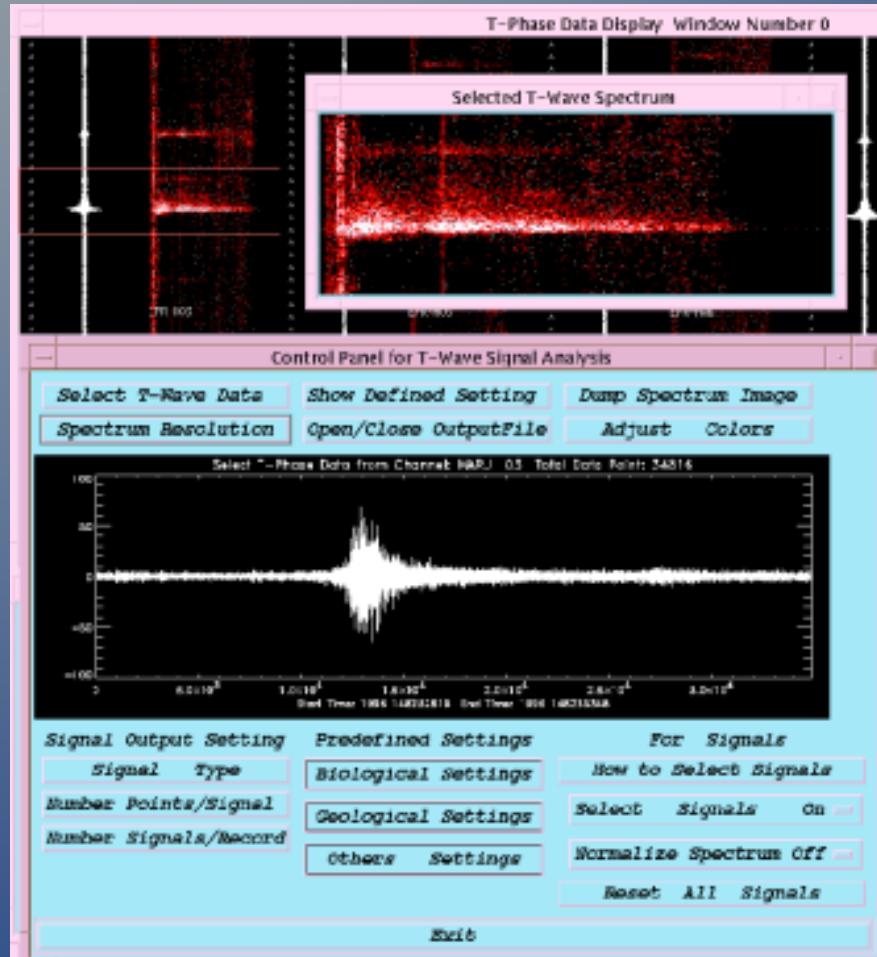
- site d'aération diffuse.
- fluides à basse température.
- fixé sur des roches **ultramafiques** près de la **discontinuité à l'axe du rift**



# Section 2

## Ondes T et Dispositifs de Hydrophones Autonomes (AuH)

# Onde T ou phase T



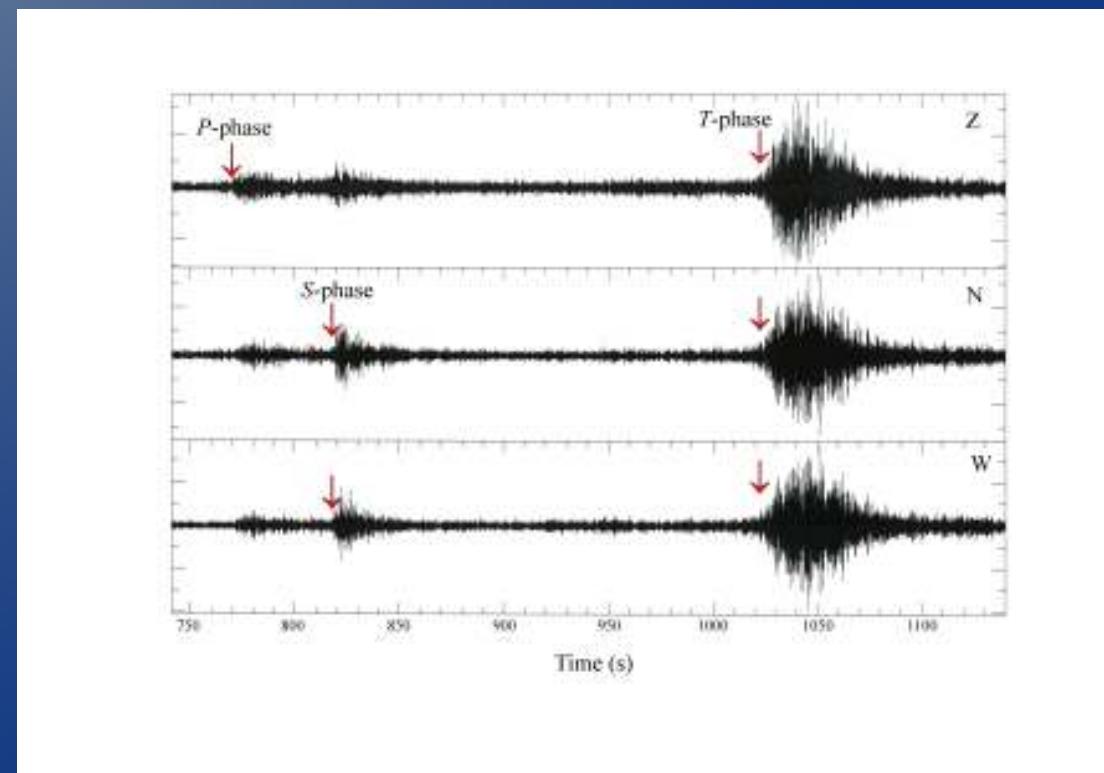
T pour “Tertiary”

Début d'onde prolongée dans le temps  $\sim 20$  s

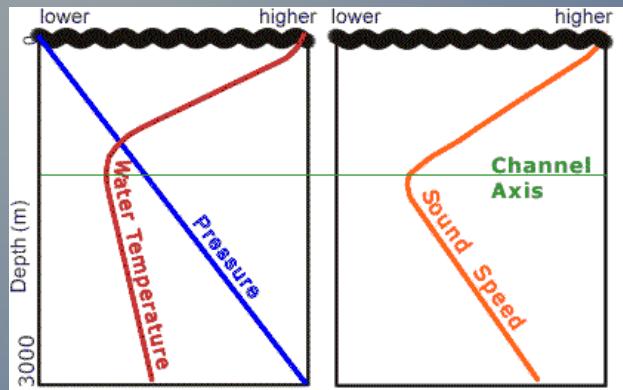
Fin d'onde encore plus prolongée

Fréquence entre  $\sim 2 - 50$  Hz.

Mesure d'énergie = Source Level (dB re 1  $\mu$ Pa at 1 m)

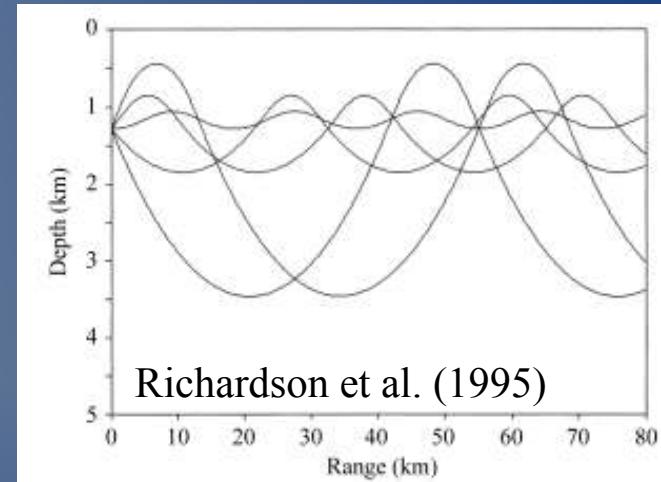


# Canal SOFAR



Colonne d'eau avec plusieurs couches discrètes en profondeur et infinies en longueur due à des variations de la température d'eau et de pression.

Canal avec un minimum de vitesse de propagation du son.



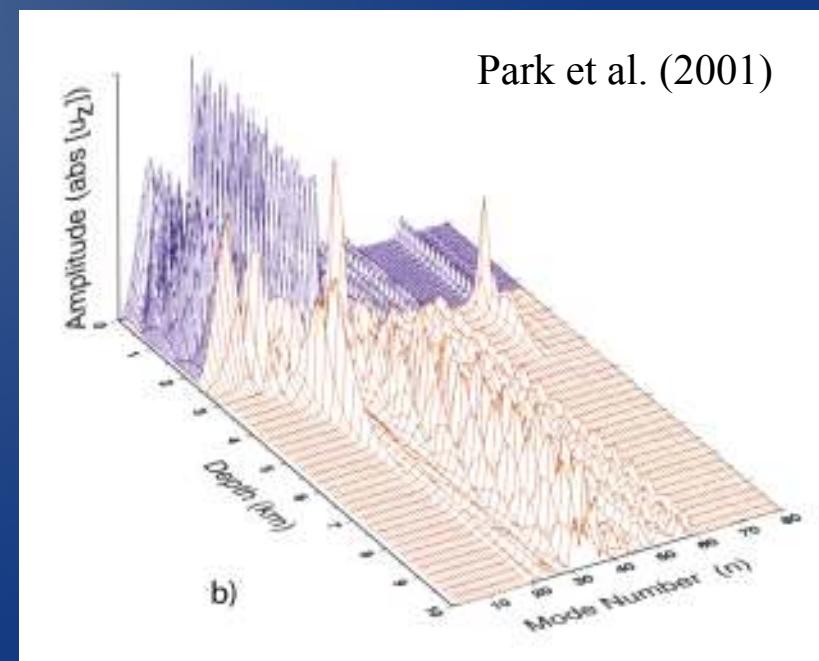
Propagation d'ondes acoustiques avec moins de pertes d'énergie

Vibration de toute la colonne d'eau avec un maximum d'énergie au niveau du canal SOFAR

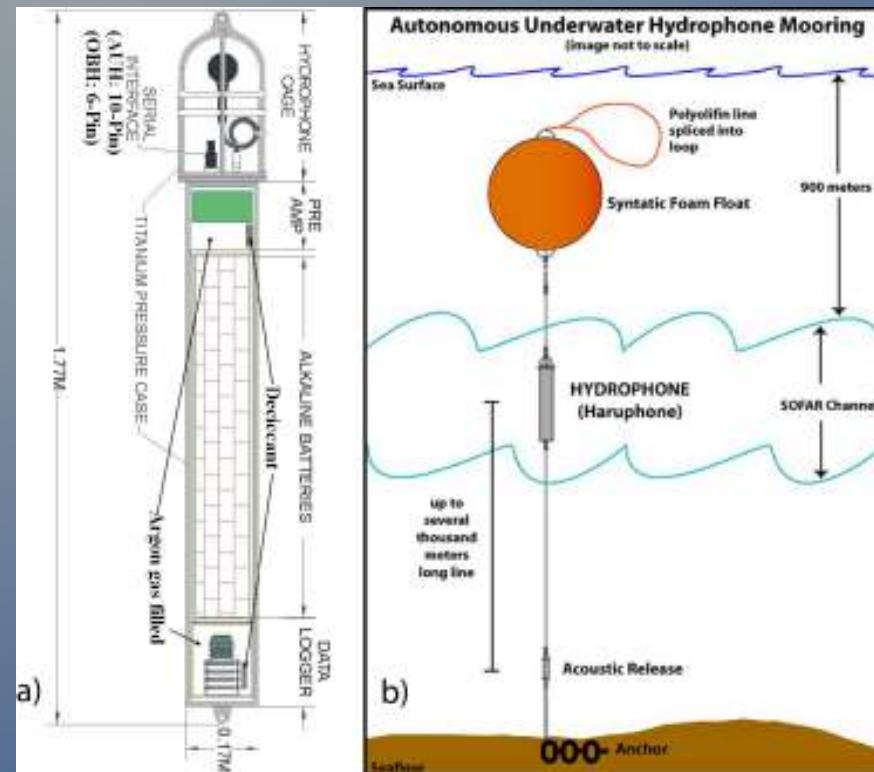
Conversion des phases sismiques en ondes T dans un socle océanique hétérogène

Park & Odom (1999)

Park et al. (2001)



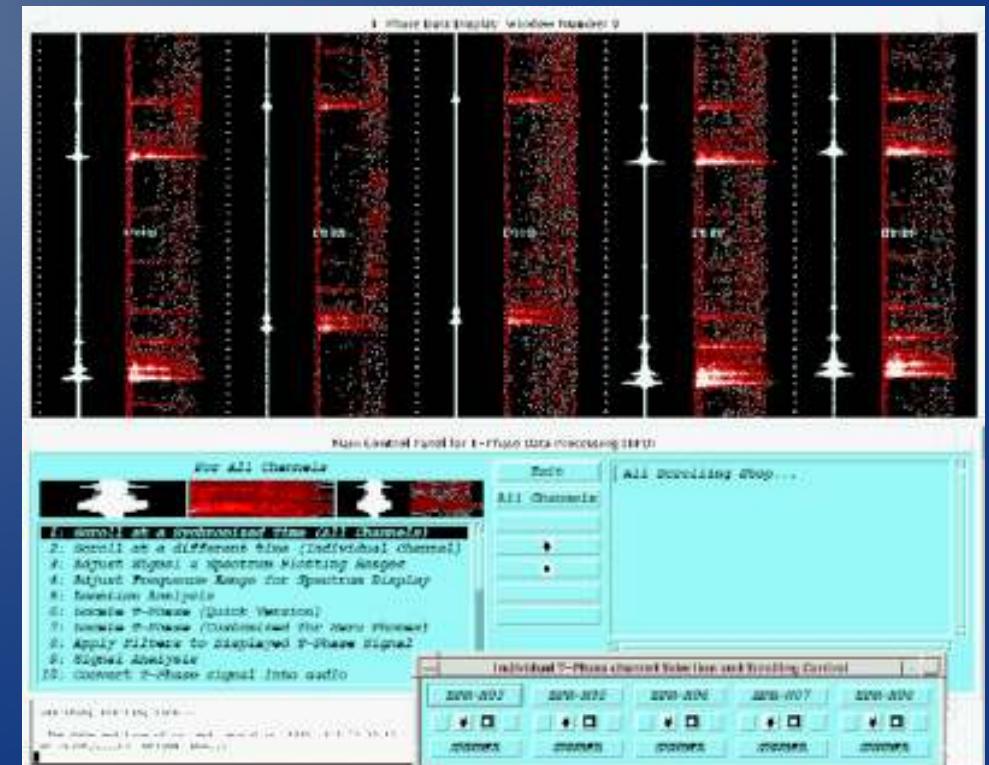
# Enregistrement et traitement des ondes T



Hydrophone Autonome avec son dispositif de mouillage.

Logiciel utilisé pour localiser les évènements et calculer leurs Source Levels

Basée plutôt sur une approche de propagation acoustique dans les océans que sur des approches sismologiques.

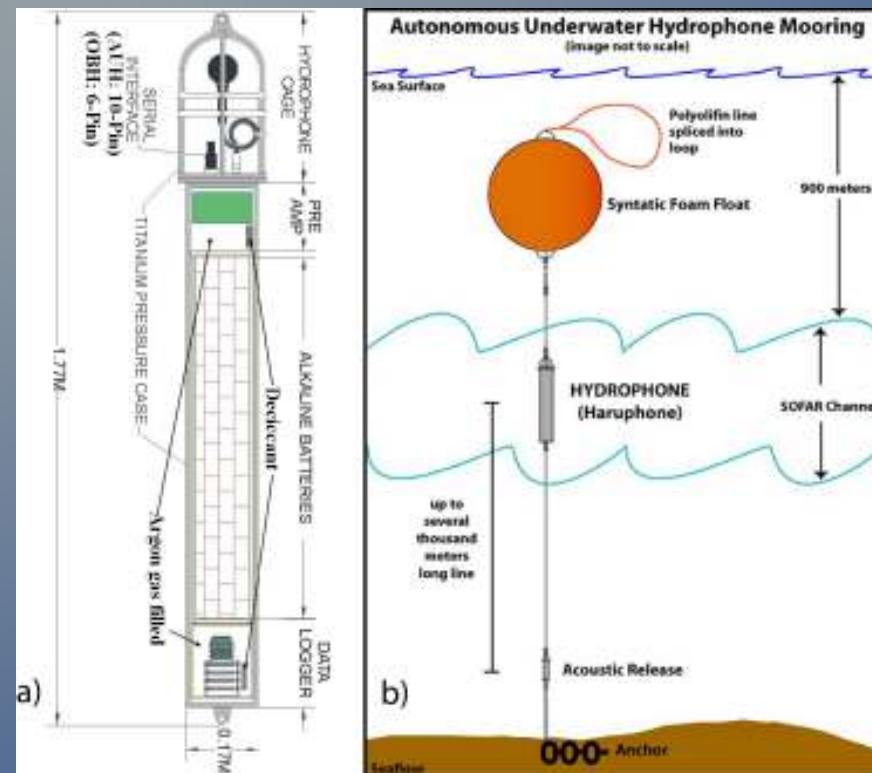


Les localisations sont calculées en utilisant un algorithme géodésique considérant la Terre comme un sphéroïde.

La vitesse du son le long de chaque voie est obtenue par une mise en œuvre du modèle de vitesses océaniques sonore (GDEM) (Teague et al., 1990).

Modèle avec une très bonne résolution.  
Ca permet des localisations très précises pour ces régions lointaines du océan.

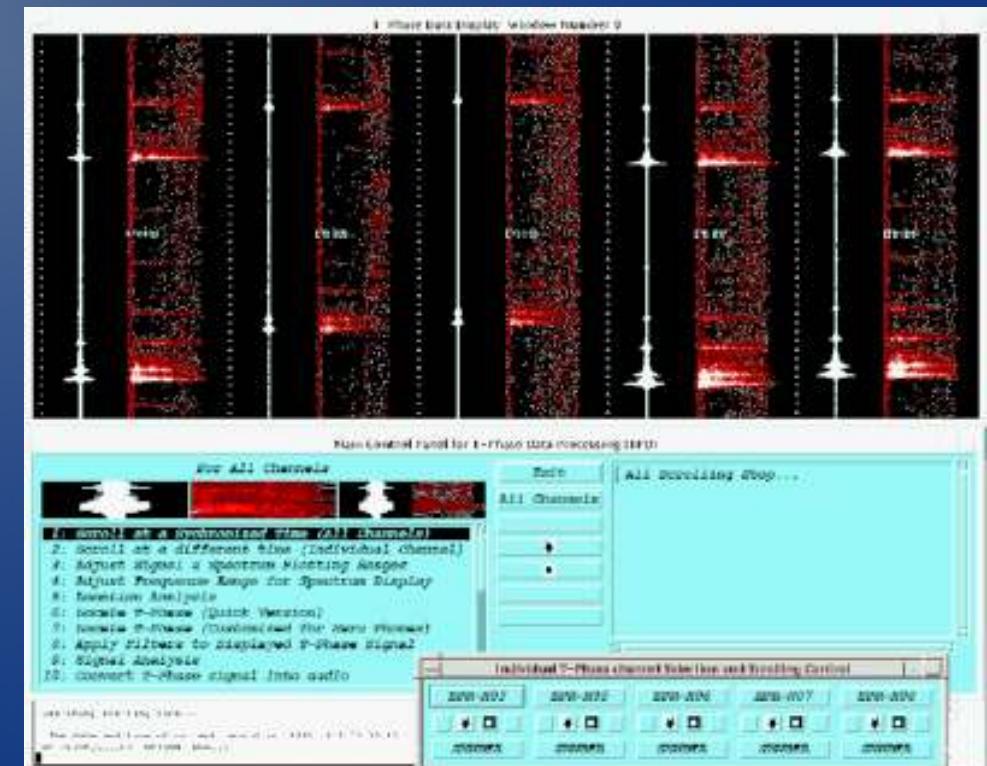
# Enregistrement et traitement des ondes T



Hydrophone Autonome avec son dispositif de mouillage.

Logiciel utilisé pour localiser les évènements et calculer leurs Source Levels

Basée plutôt sur une approche de propagation acoustique dans les océans que sur des approches sismologiques.

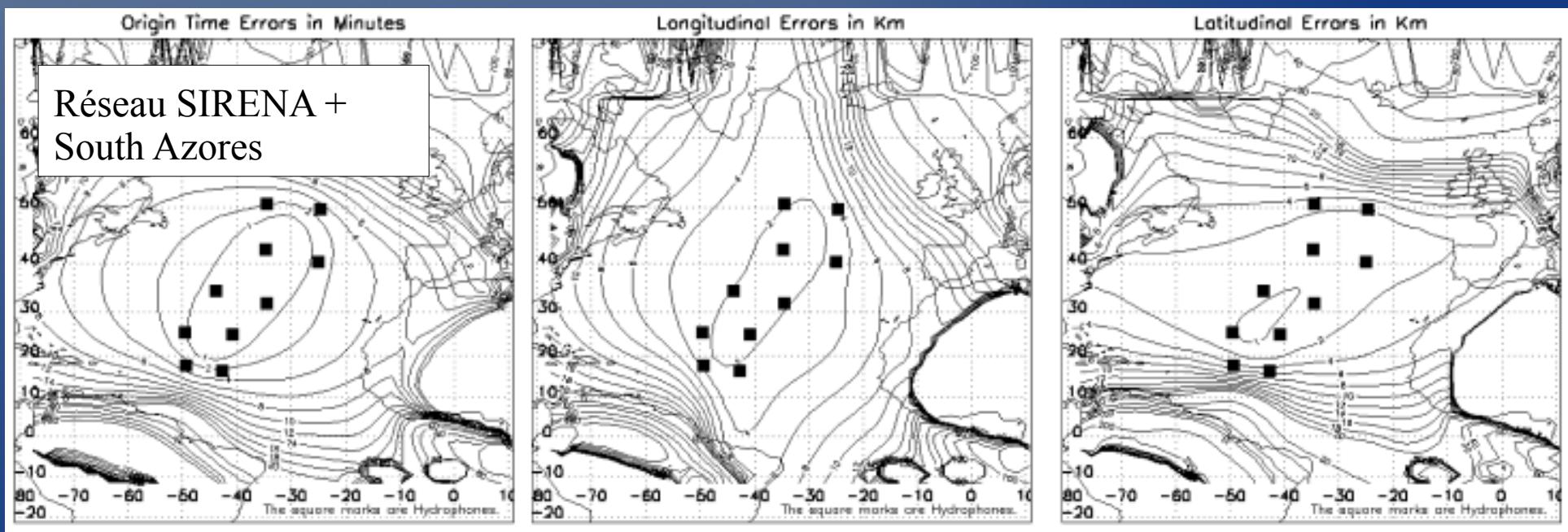
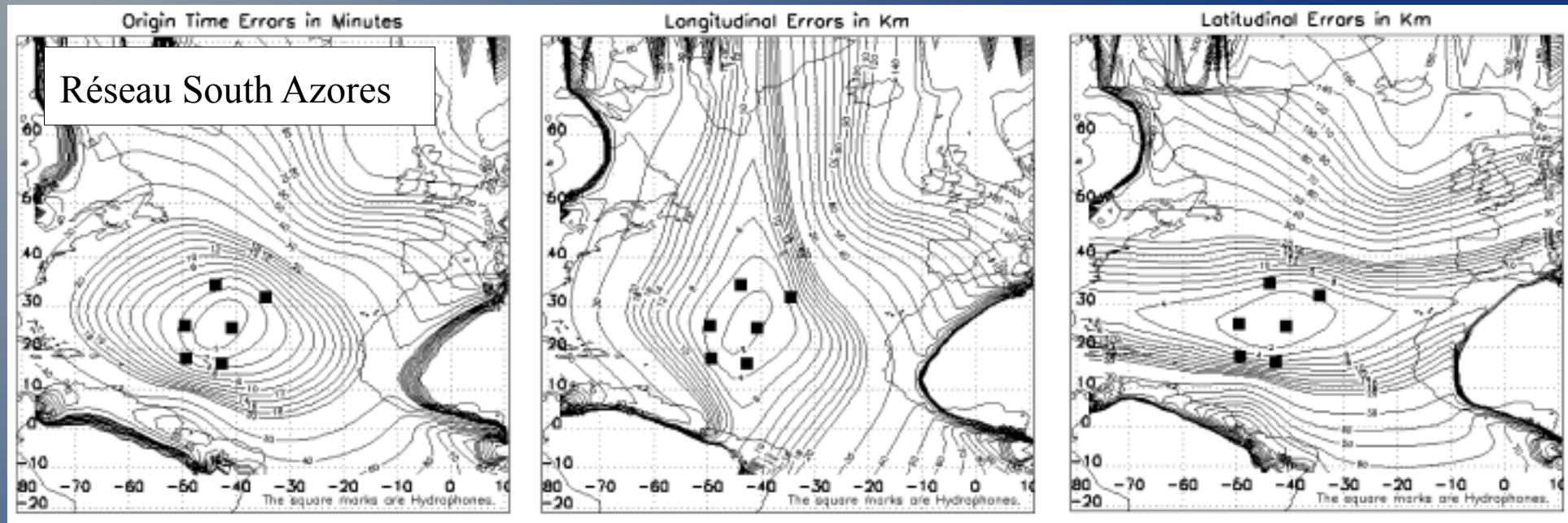


Les localisations sont calculées en utilisant un algorithme géodésique considérant la Terre comme un sphéroïde.

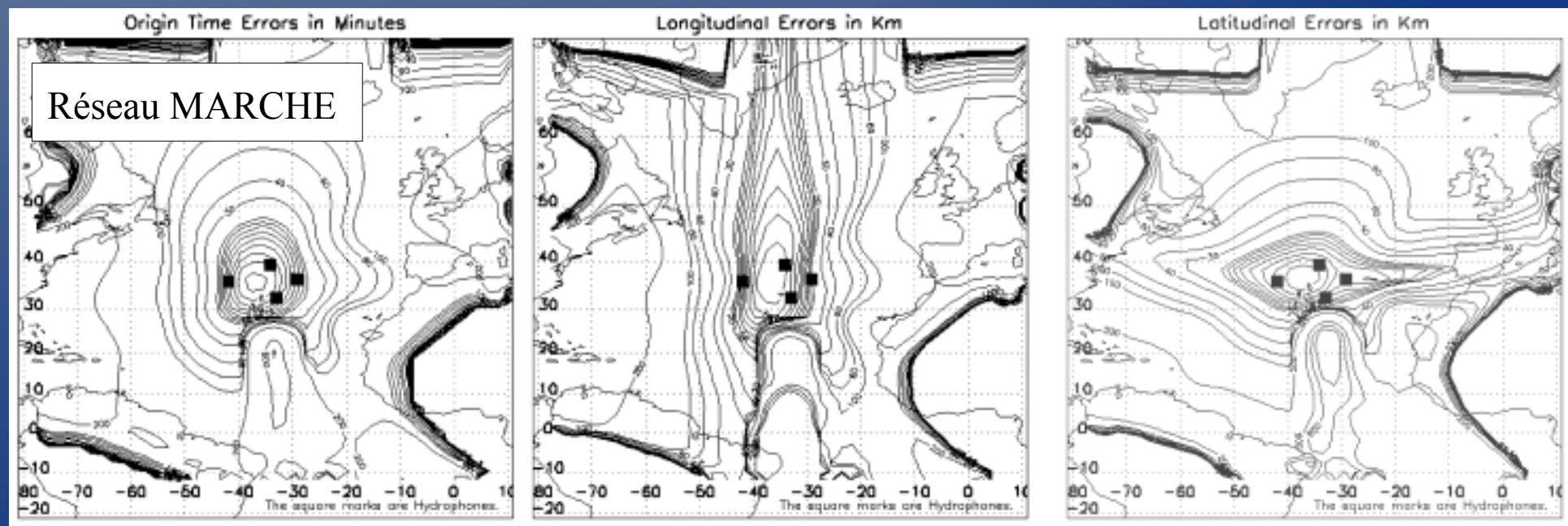
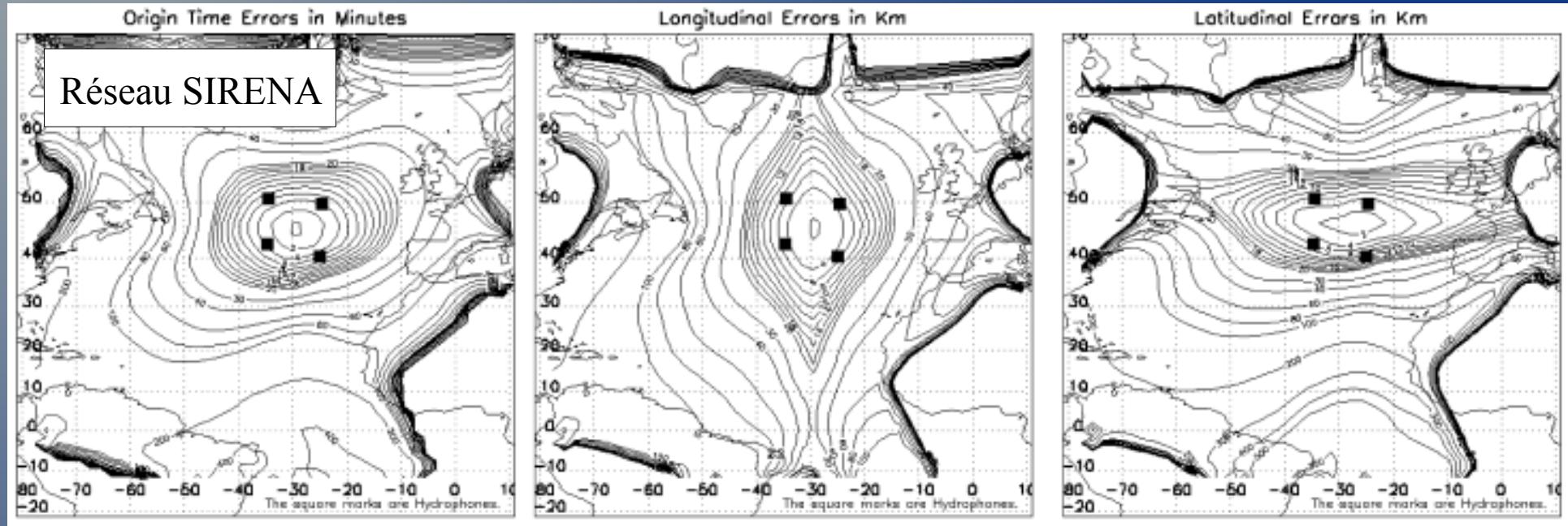
La vitesse du son le long de chaque voie est obtenue par une mise en œuvre du modèle de vitesses océaniques sonore (GDEM) (Teague et al., 1990).

Modèle avec une très bonne résolution.  
Ca permet des localisations très précises pour ces régions lointaines du océan.

# Erreurs Attendues de Latitude, Longitude et Temps d'origine



# Erreurs Attendues de Latitude, Longitude et Temps d'origine

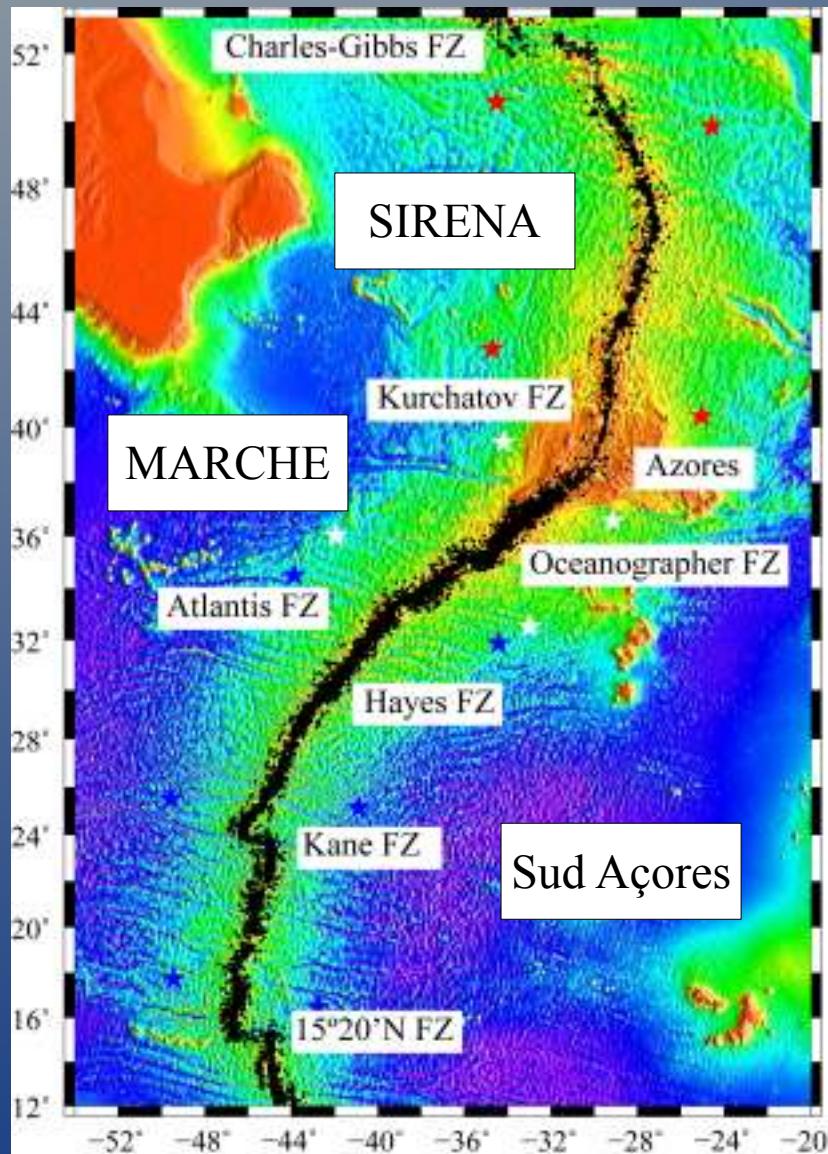


## Section 3

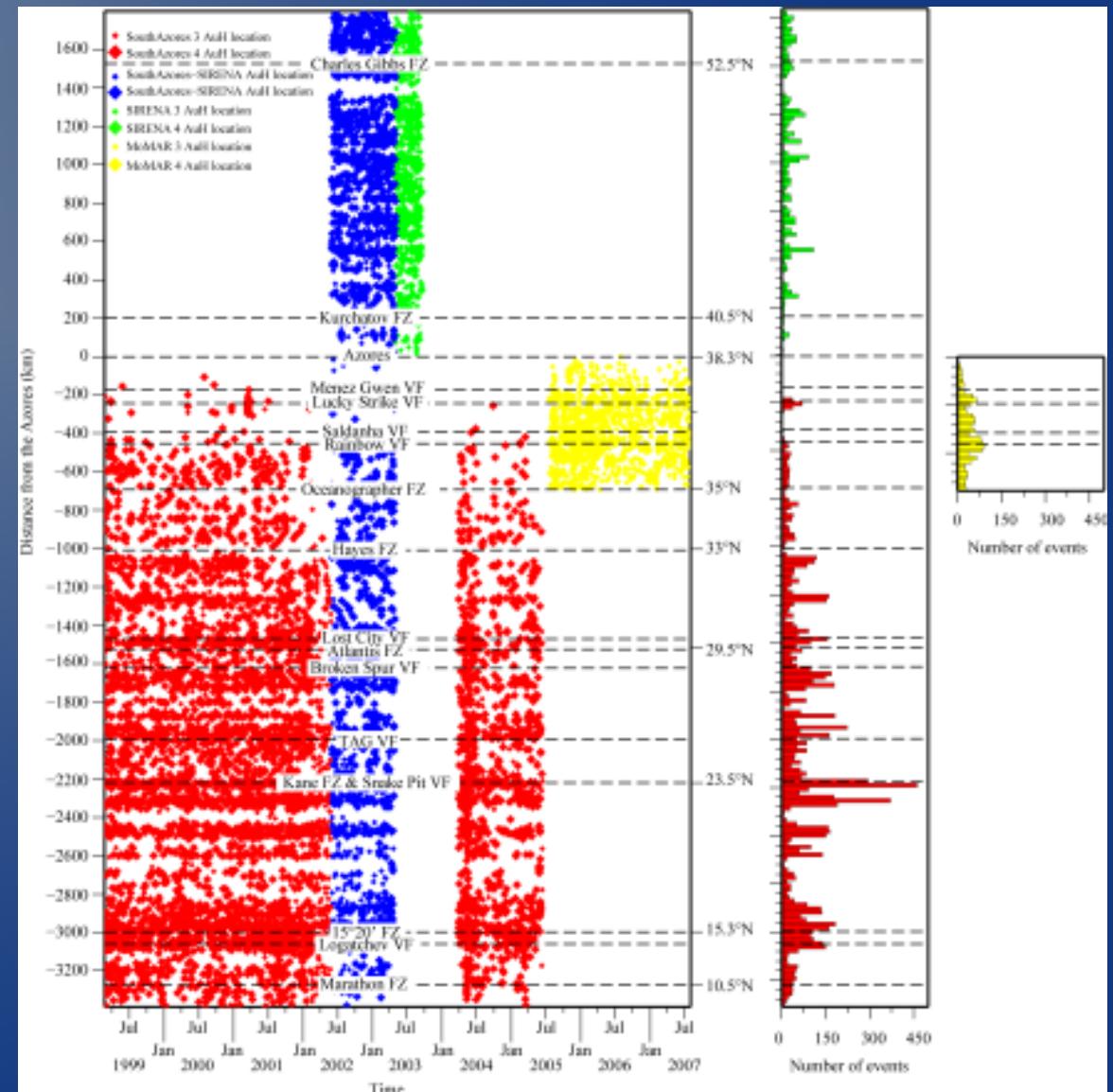
Analyse de la sismicité enregistré par  
les AuH

# Séismicité enregistrée par les dispositifs AuH dans la Dorsale Médio Atlantique

Latitude ( $^{\circ}$ N), Longitude ( $^{\circ}$ E)



Distance des Açores (km) avec les temps

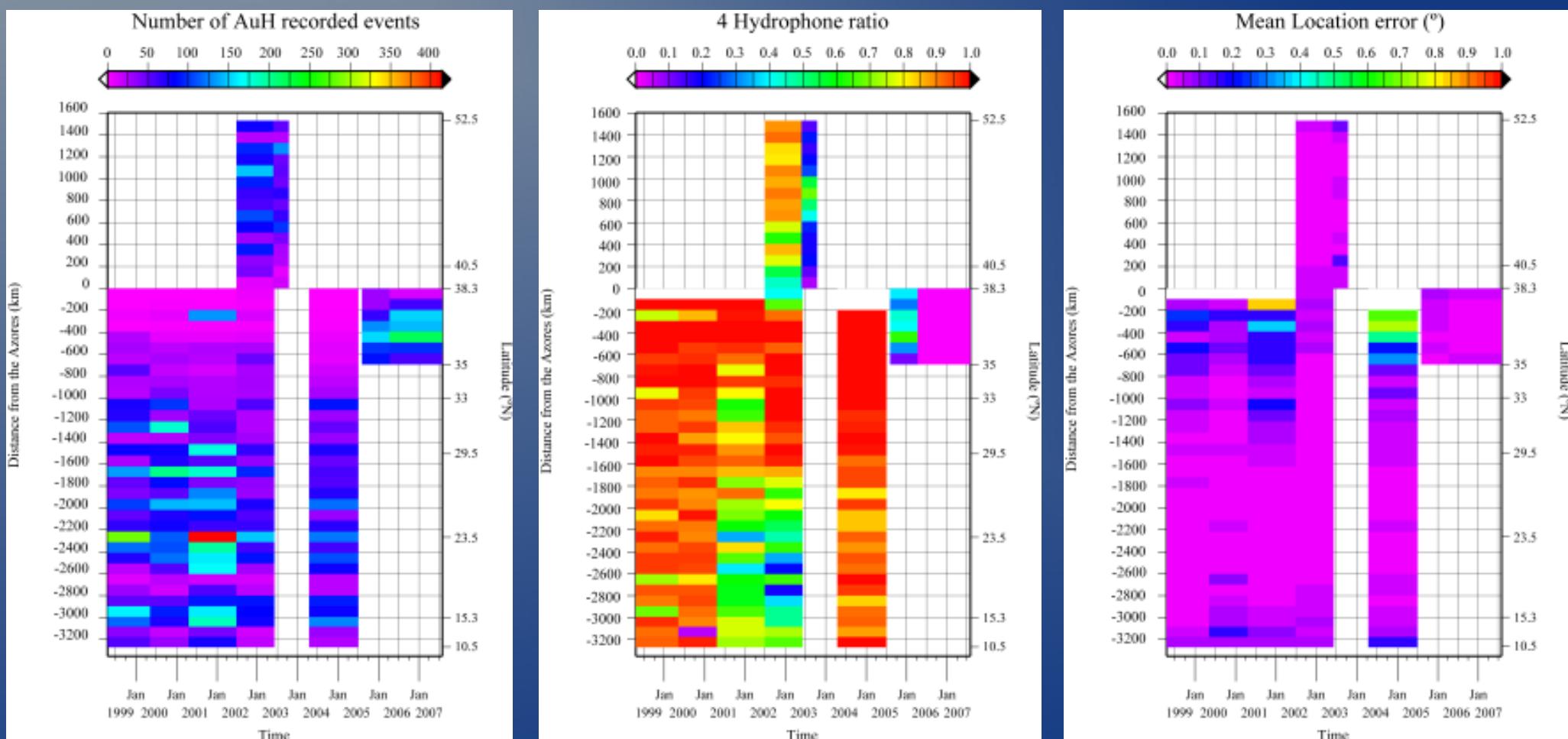


Bins de 20 km

# Quelques informations sur les données obtenues par les dispositifs AuH

Plus de **14500** évènements enregistres par les AuH dans une région qui vais de la Zone Fracture Marathon jusqu'à la Zone de fracture Charlie Gibbs et délimité a l'axe par l'anomalie magnétique 3A (5.69 Myr)  $\sim$  71km. **9890** évènements enregistres par 4 ou plus AuH.

Donnés arrangés en bins de 100 km (spatiale) par périodes de déploiements des dispositifs AuH (temporel)



Dans les analyses de sismicité juste des évènements enregistrés par  $\geq 4$  AuH

# Seuil de détection des dispositifs AuH

Teleséismes (Gutenberg & Richter, 1944)

$$\log(n) = a + bM_c$$

Séismes enregistrés par les AuH  
(Bohnenstiehl et al., 2002)

$$\log(n) = a_t + b_t SL_c$$

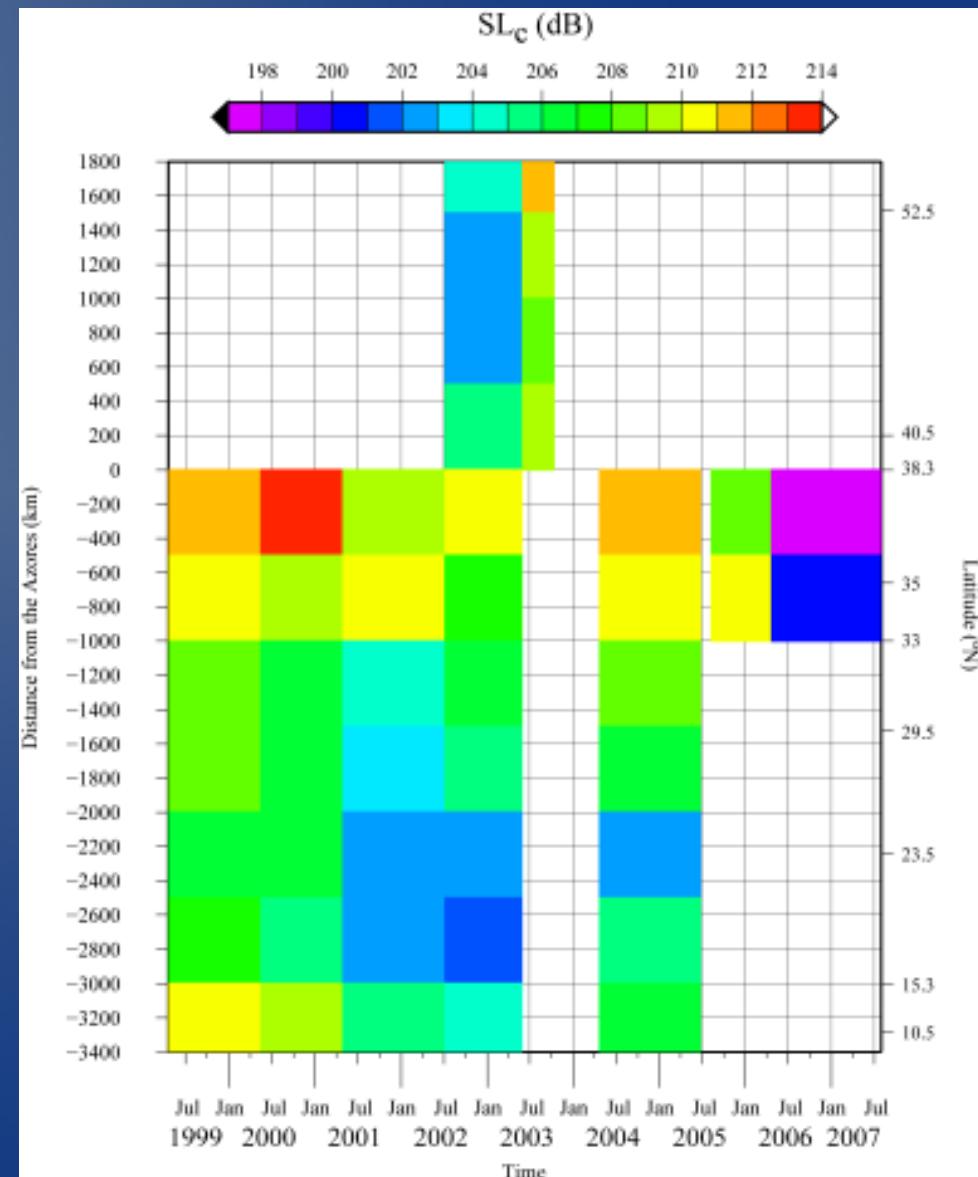
"**Magnitude of Completeness** ou **Source Level of Completeness**" sont la taille minimale du séisme à partir de laquelle un catalogue séismique est considéré complet

**a** ou **a<sub>t</sub>** sont des constantes dépendantes du numéro total de événements

**b** ou **b<sub>t</sub>** est représentatif de la relation taille-fréquence des séismes

Résolution de l'équation:  
Schorlemmer et al. (2003); Woessner & Wiemer (2005)

Données arrangées en bins de 500 km (spatiale)  
périodes de déploiements des dispositifs AuH (temporel)



# Catalogue de Teleséismes

Site internet International Seismological Centre

depuis 1964 jusque au présent: **~3200** évènements

Catalogues globaux:

NEIC (USGS)

IDC (CTBTO Preparatory Commission)

ISC

Mécanismes au foyer:

Harvard

NEIC

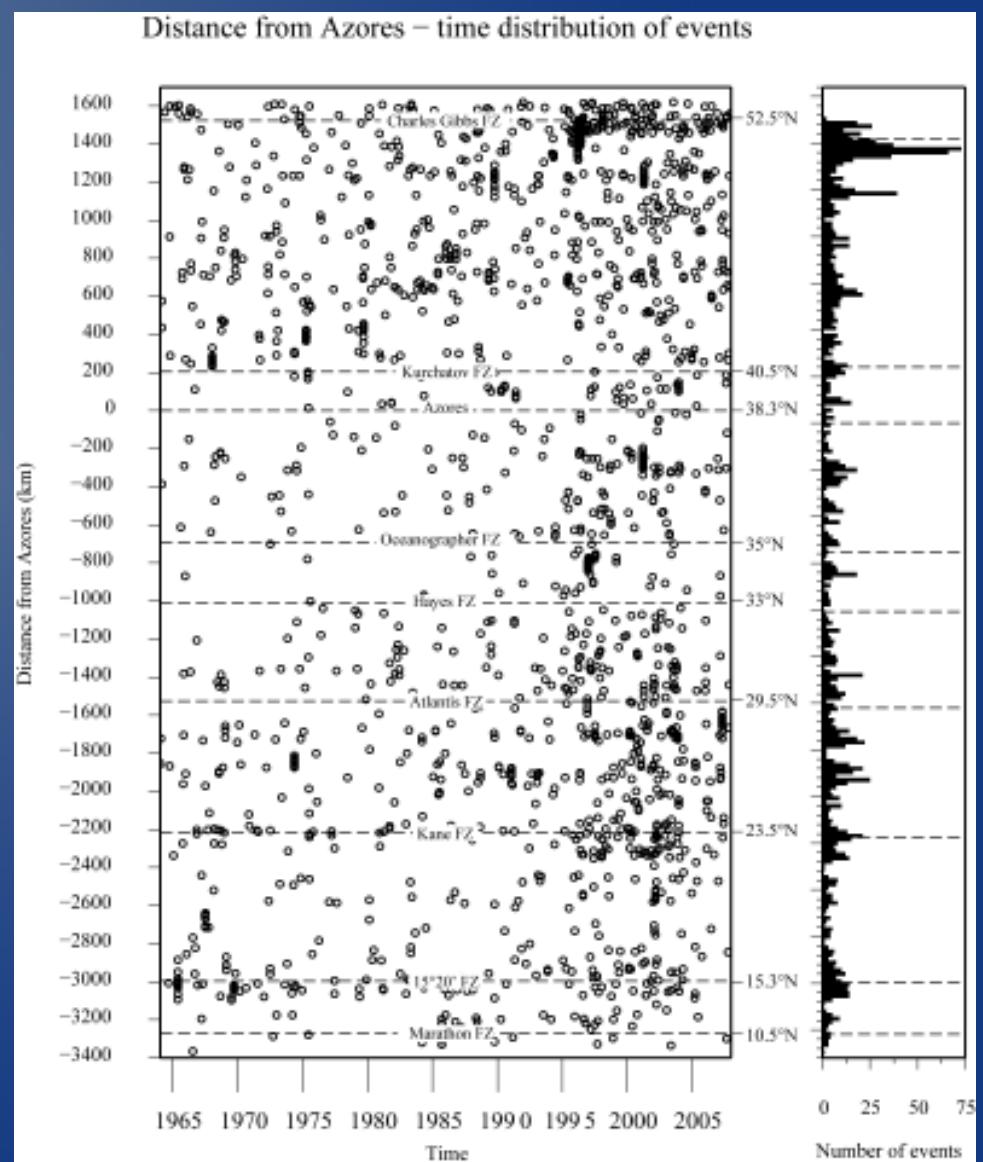
ZUR-RMT (ETHZ)

Seuil de détection

1964-1990 Mc ~ 3.8 et 4.0

1990-present Mc ~3.2

Bins de 20 km



# Comparaison entre les catalogues de Teleséismes et de AuH

Catalogue de telesismes ~50 ans de couverture.

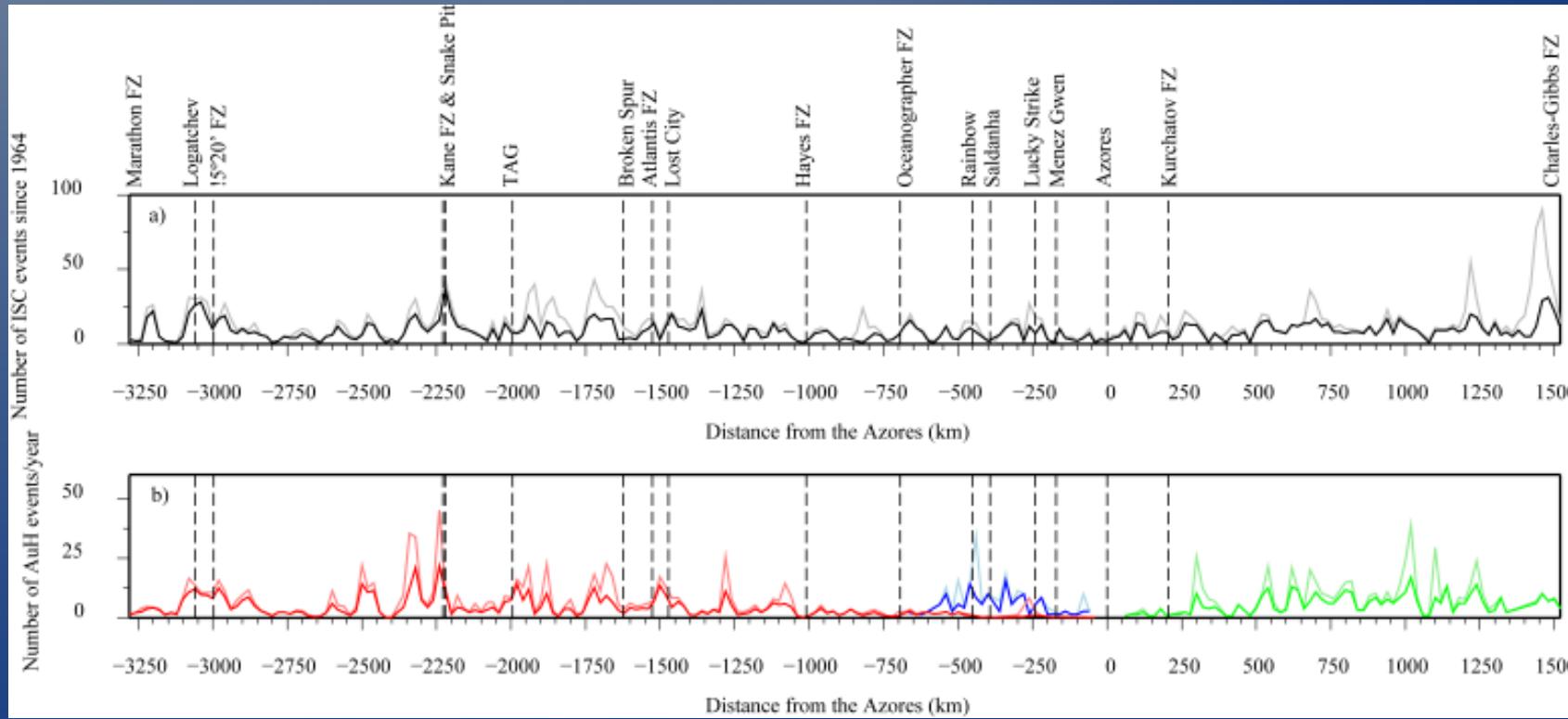
Catalogue de seismes enregistrés par les AuH varie entre ~1 an et 6 ans.

Single Link Cluster (Frohlich & Davis, 1990; Davis & Frohlich 1991)  
(dépendance spatial et temporel)

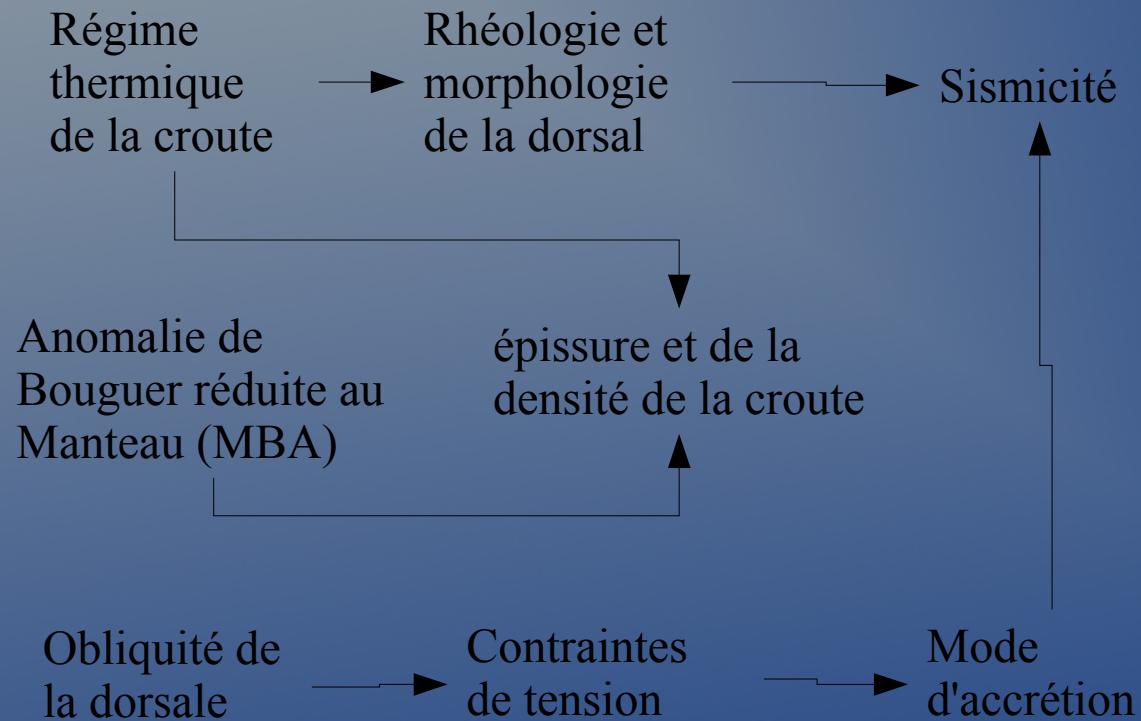
Identification des essaims

Processus sismiques permanents dans le temps.

Suppression des essaims sismiques que sont associés à des phénomènes avec une durée limite dans le temps



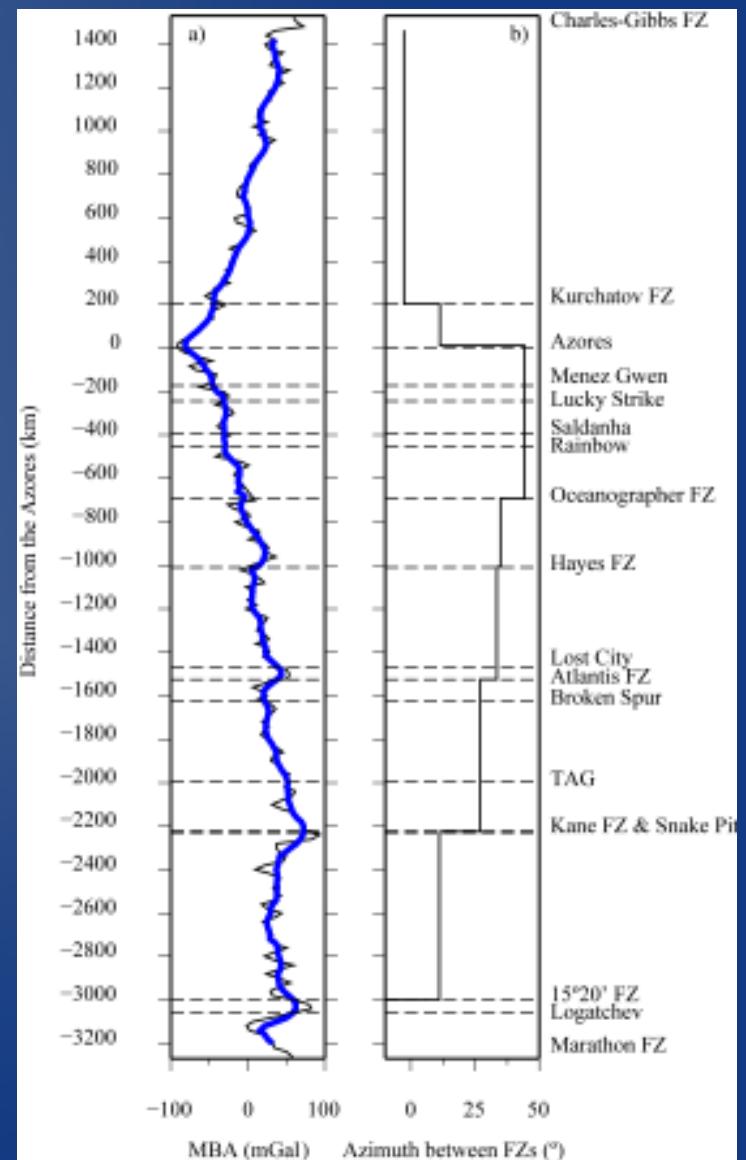
# MBA et obliquité de la MAR



Uniformisation de la MBA au nord et au sud des Açores:

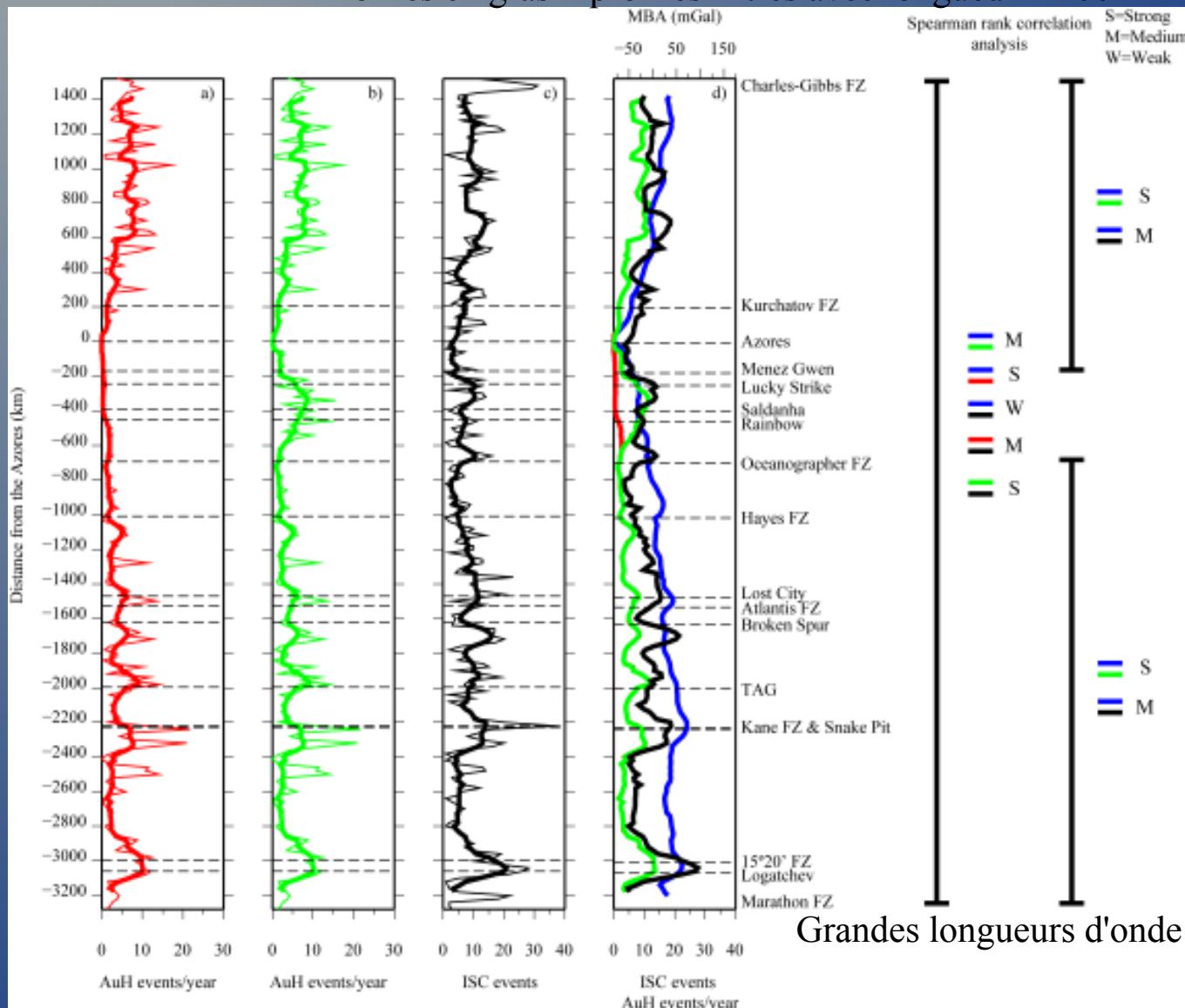
Calcule de la MBA entre la zone de fracture Marathon jusqu'à la zone de fracture Charles Gibbs en utilisant le méthode de multicouche de Maia & Arkani-Hamed (2002)

Ligne bleu = profile filtré avec longueur = 200 km



# Corrélation de la sismicité permanente avec la MBA

Profiles en gras = profiles filtrés avec longueur = 200 km



Sismicité entre +/- 200 km =>  
minimum a 0 km

Influence des Açores  
→ dans la sismicité de la  
MAR

Profiles de sismicité suivent  
les mêmes tendances de la  
MBA.

Régime thermique de la  
croûte influence la sismicité  
de la dorsal

Région plus oblique de la  
MAR => entre -200 km et la  
Zone de Fracture  
Oceanographer

Corrélation  
moins forte entre  
profils de MBA  
et sismicité

Profile de  
sismicité AuH  
avec  
MARCHE

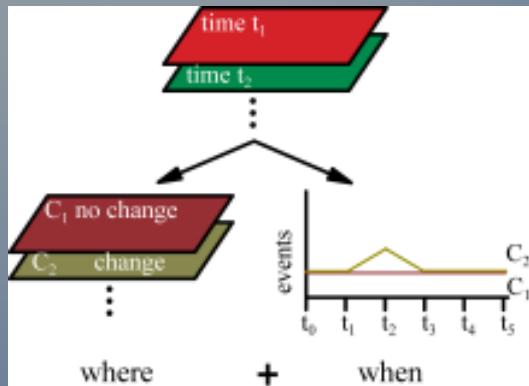
Profile de  
telesismicité

## Conclusions partiels

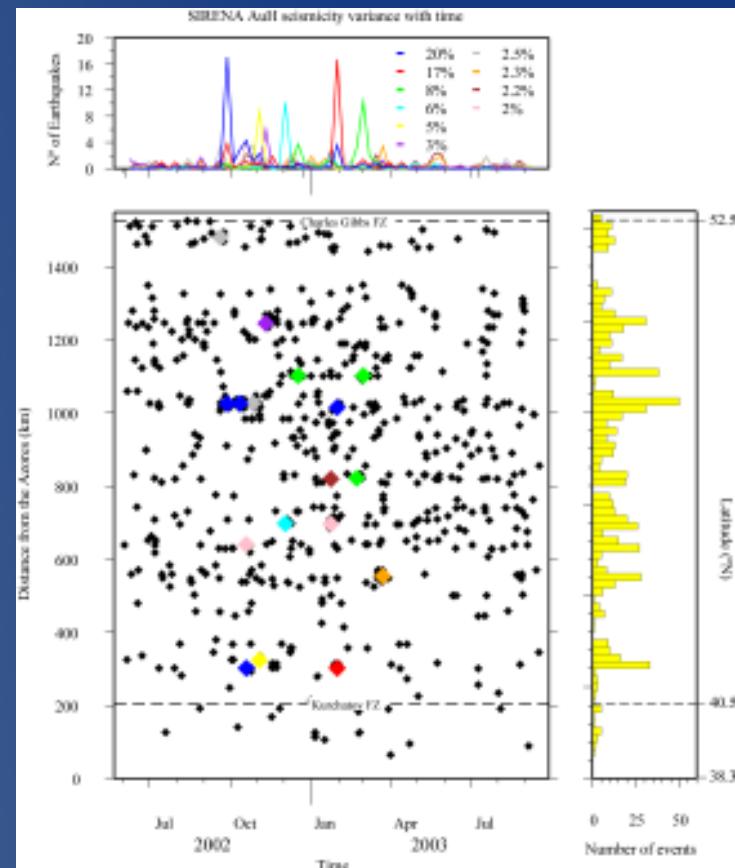
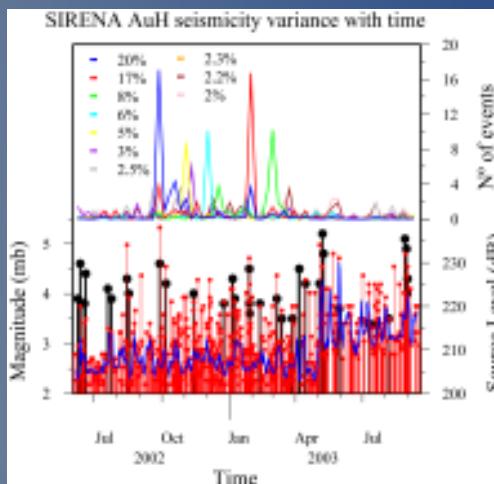
Distributions permanents dans le temps de la sismicité montrées par les réseaux a terre sont également visibles dans les réseaux des AuH beaucoup plus limites dans les temps.

Régime thermique de la croute influence les distributions des sismicité permanente de grande longueur d'onde au long de toute la dorsale a l'exception de la région ou le dorsale est le plus oblique

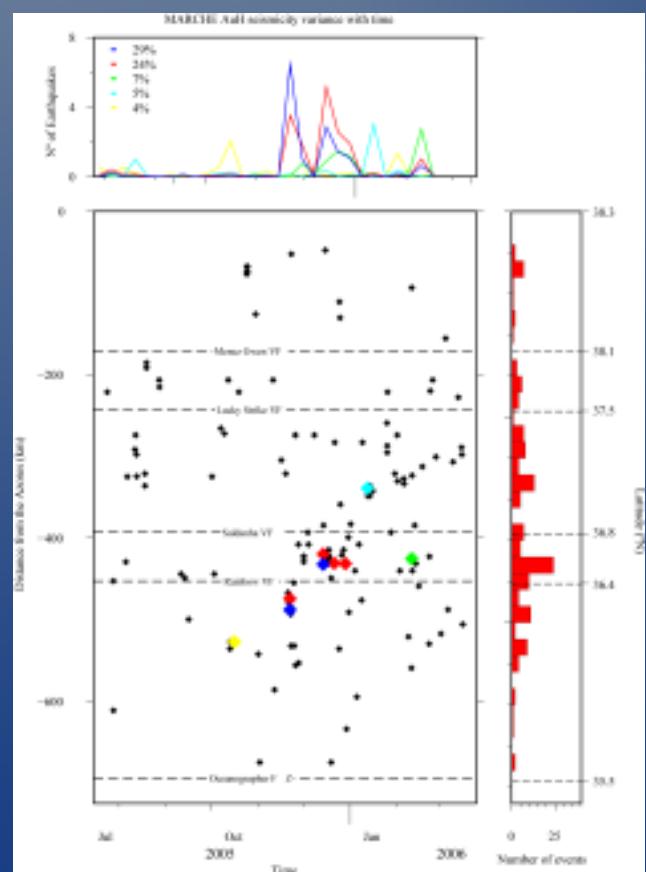
# Caractérisation des crises sismiques (clusters) de sismicité enregistrées par les AuH en utilisant une méthodologie de Composants Principaux (Goltz, 2001)



Modifiée de Goltz (2001)



Relation entre fluctuations dans le niveau de sismicité AuH et teleséismes n'est pas claire



Source Level généralement n'augmente pas pendant ces fluctuations

Les sections plus sismiques sont celles qui ont eu des fluctuations de sismicité AuH plus importantes

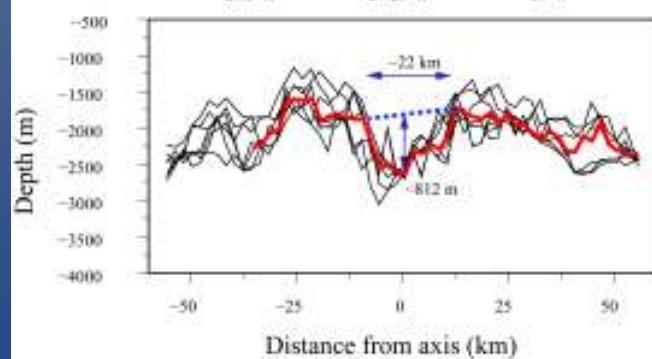
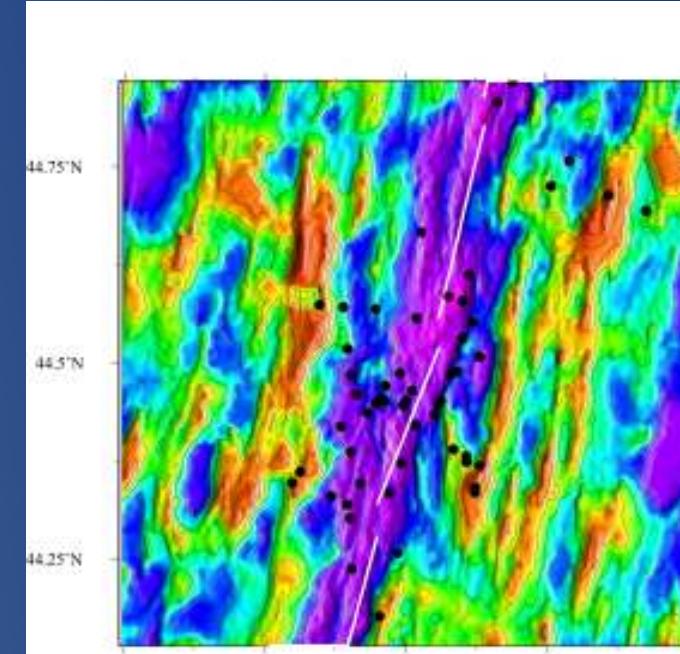
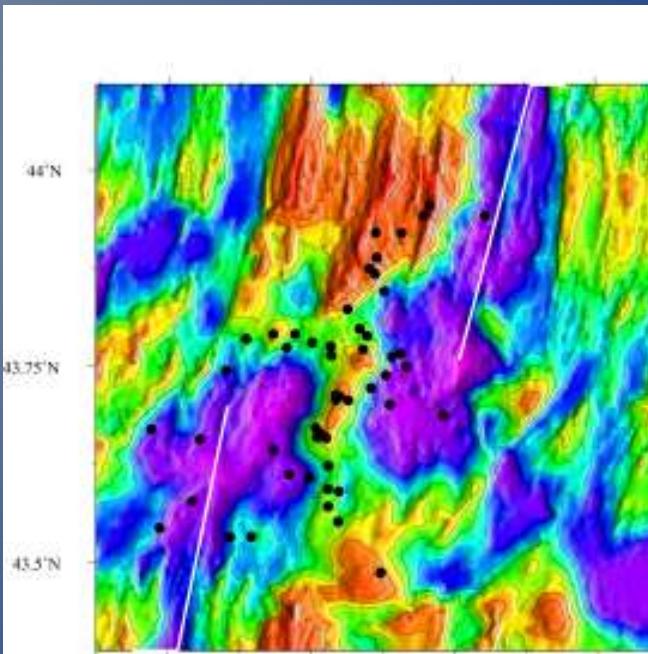
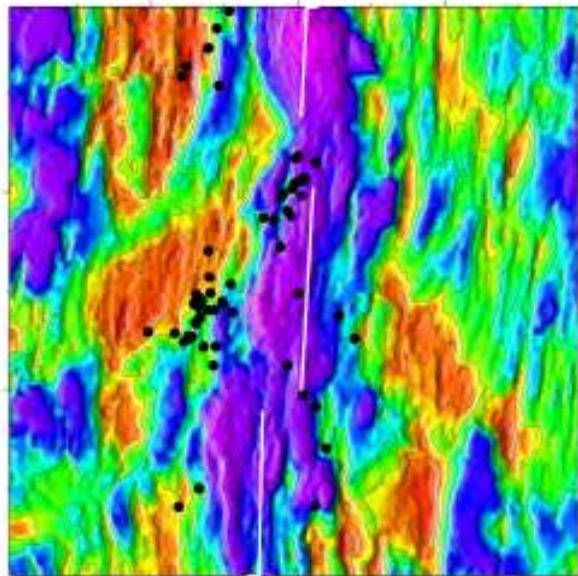
# Sections plus sismiques de la dorsale au nord des Açores

Vallée axiale inexiste ou peu profonde => segment en état thermique chaud

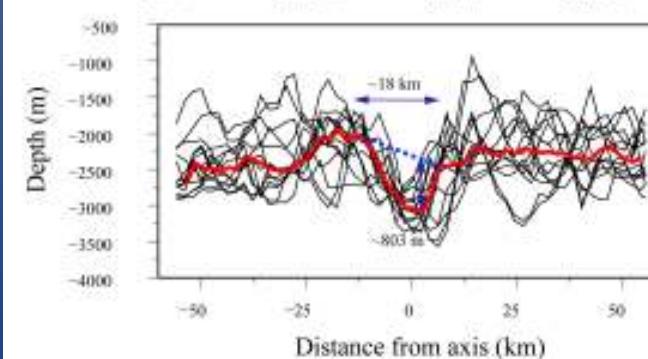
Vallée axiale bien développée et profonde => segment en état thermique froid

(Cannat et al., 1999;

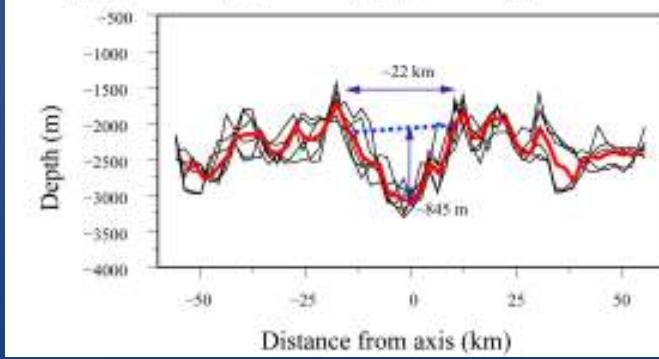
Thibaud et al., 1998)



Sismicité en extrémité et dans un des flancs de segment



Sismicité en extrémité de segment



Sismicité au long de tout le segment

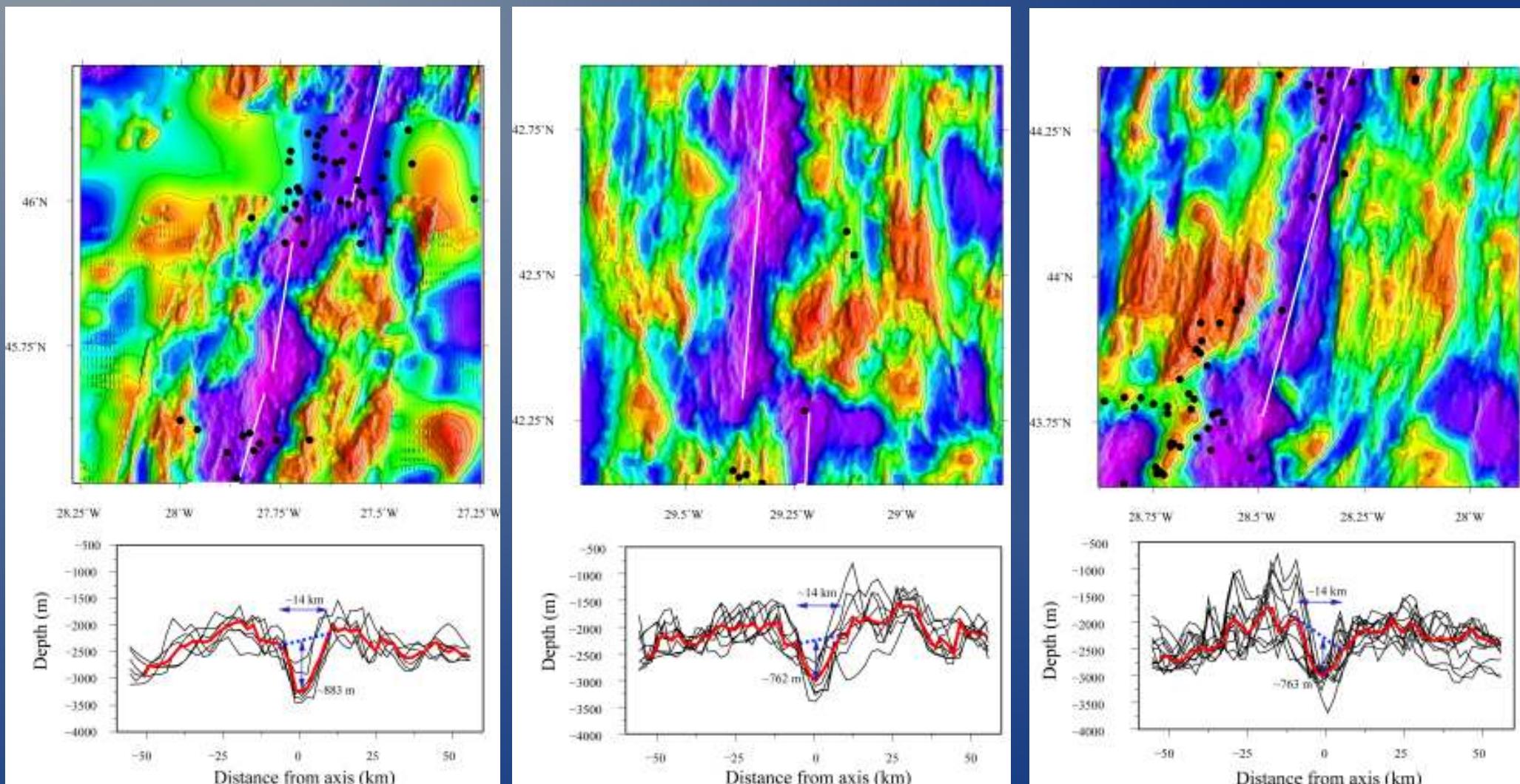
# Sections asismiques de la dorsale au nord des Açores

Vallée axiale inexiste ou peu profonde => segment en état thermique chaud

Vallée axiale bien développée et profonde => segment en état thermique froid

(Cannat et al., 1999;

Thibaud et al., 1998)



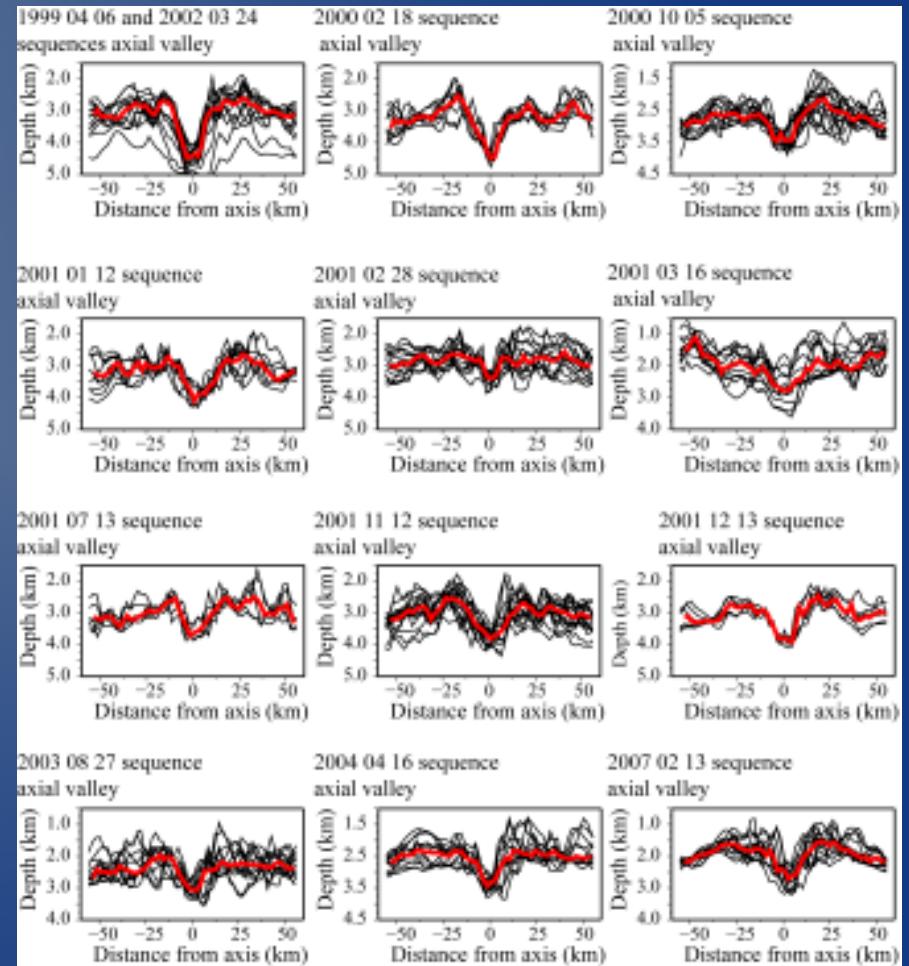
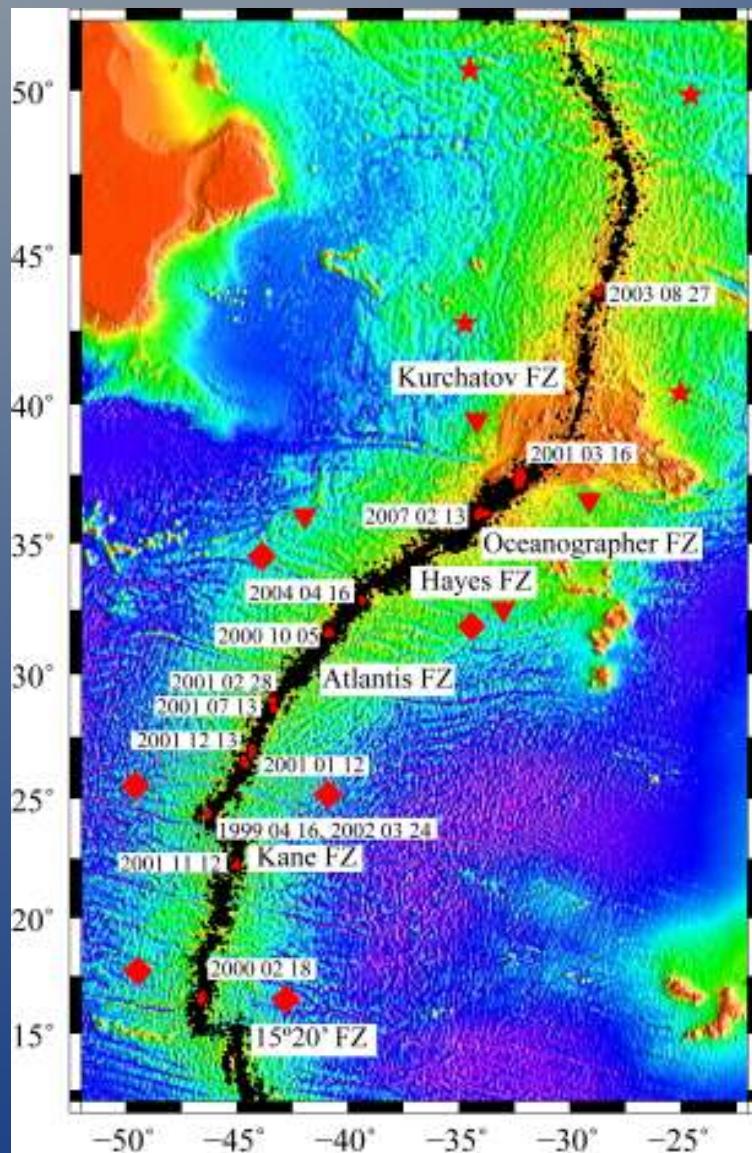
Sections asismiques ont eu lieu dans des parties de la dorsale avec une morphologie plus symétrique et en segments avec des vallées axiales relativement plus étroites

## Section 4

Analyse des séquences des séismes  
Mainshock-Aftershocks enregistrés  
par les AuH

# Identification et analyse des séquences de séismes Mainshock-Aftershock

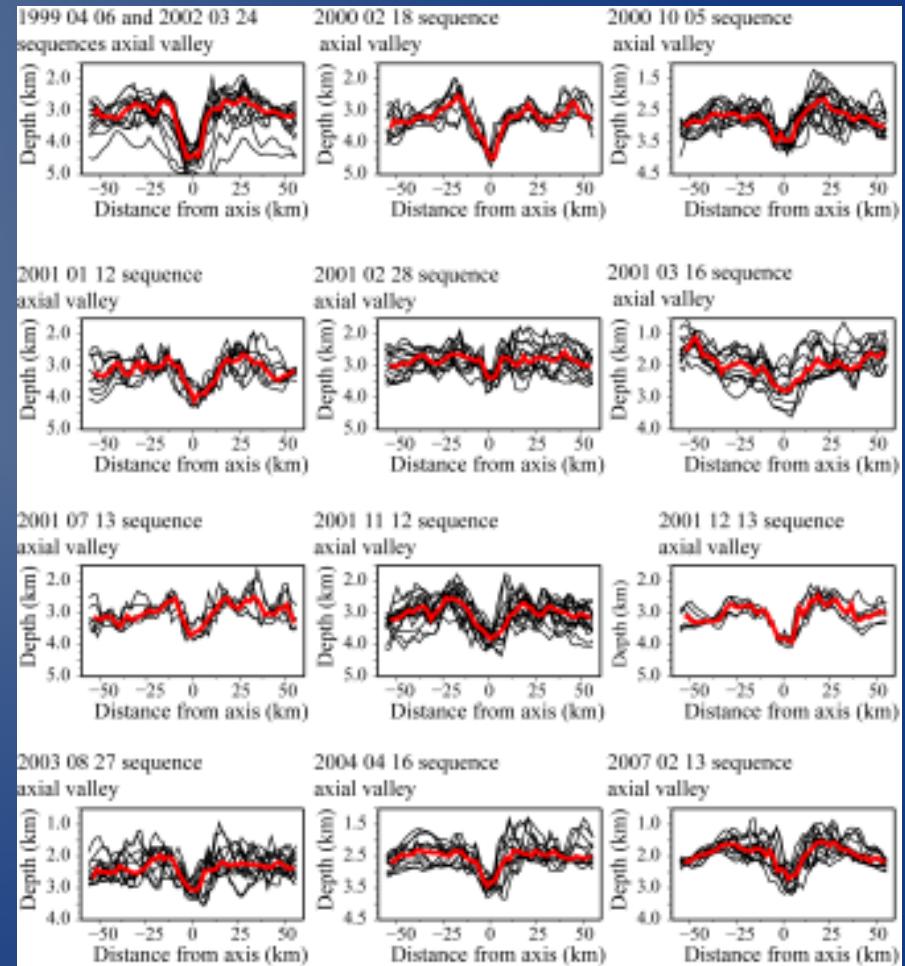
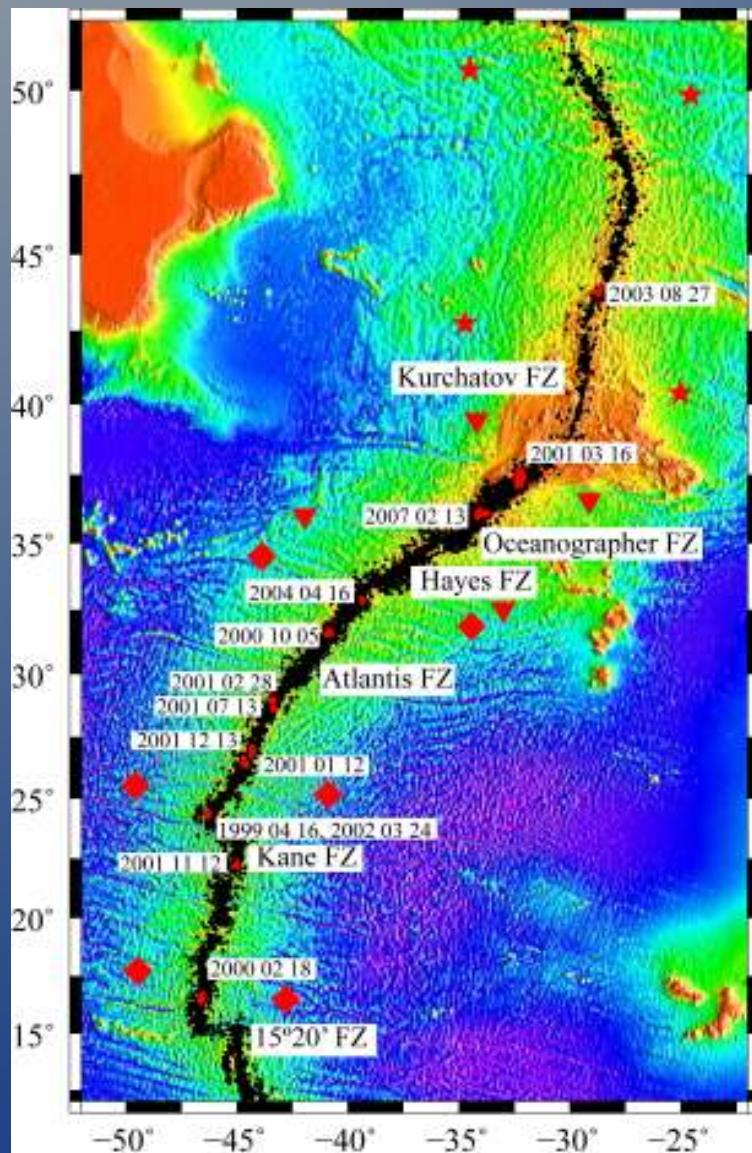
Plusieurs dizaines de clusters => 13 séquences sismiques Mainshock-Aftershock



Vallées axiales bien définis typiques de segments en régime thermique froid

# Identification et analyse des séquences de séismes Mainshock-Aftershock

Plusieurs dizaines de clusters => 13 séquences sismiques Mainshock-Aftershock



Vallées axiales bien définis typiques de segments en régime thermique froid

# Taux de décroissance du nombre de Aftershocks

## Loi d'Omori Modifié

Un Mainshock origine des Aftershocks avec une cadence d'occurrence que suivi:

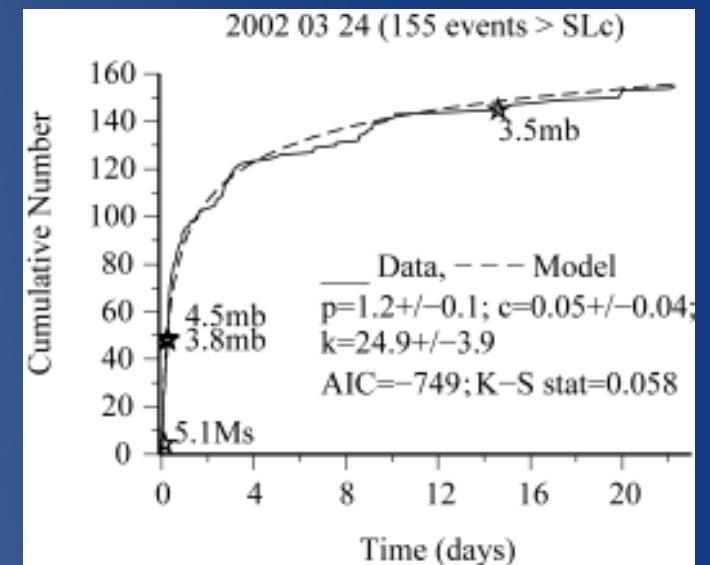
$$n(t) = \frac{K}{(c+t)^p}$$

**n** est le numéro d'évènements, **K** est une constante qui reflet le numéro total d'évènements, **c** reflet le taux d'activité au début de la séquence, **t** est le temps et **p** est le taux de décroissance dans le nombre des Aftershocks.

Le méthode Ogata & Shimazaki (1984) et Wiemer et al. (2002) était utilisé pour résoudre l'équation.

**p** ↑ décroissance du nombre de répliques plus rapide => relaxation plus rapide des contraintes dans la faille

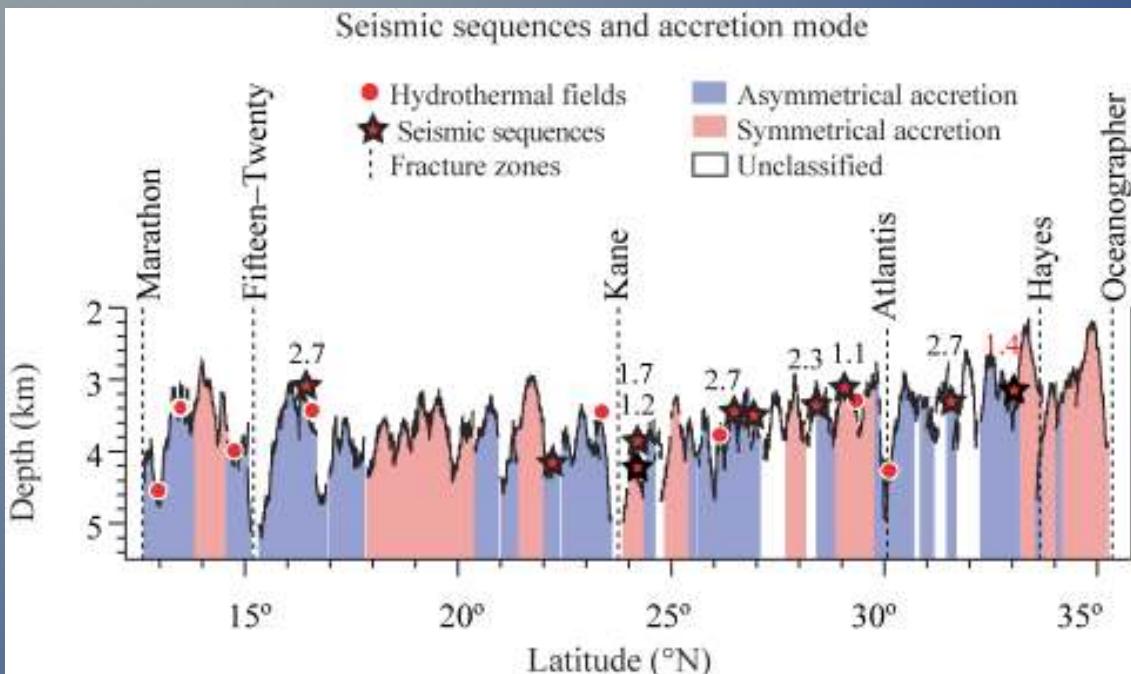
**p** ↓ décroissance du nombre de répliques plus lente => relaxation plus lente des contraintes dans la faille



Le **taux de décroissance du nombre de répliques** **p** reflète le processus **d'assouplissement** des concentrations des **contraintes** produite par la rupture de la faille principale (Dieterich, 1994; Scholz, 1990).

# Analyse des séquences de séismes Mainshock-Aftershock

Modifiée de Escartin et al., (2008b)



Des 13 séquences juste 8 on eu des MOL suffisamment bien contraintes pour être interprétées.

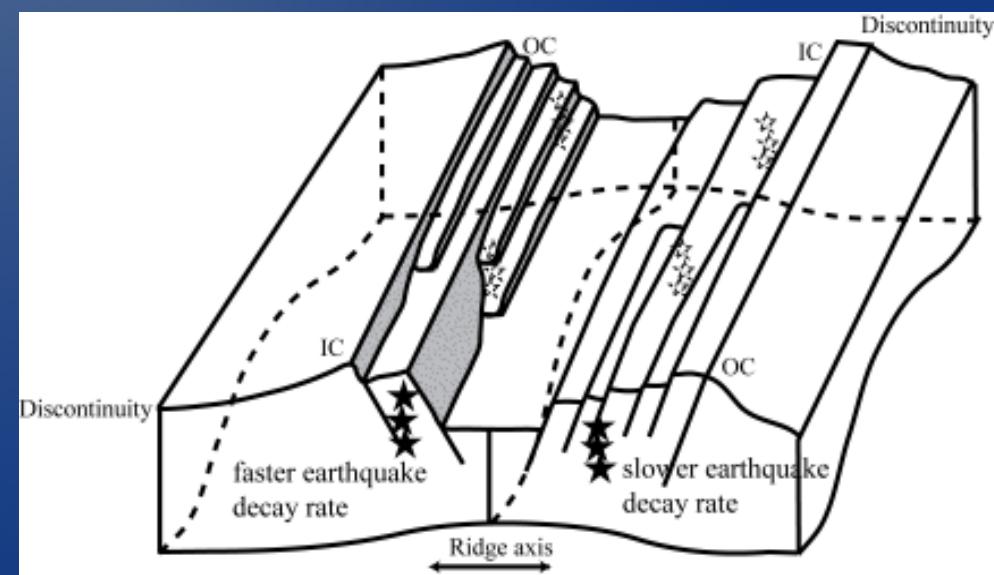
Valeur  $p$  entre 1 et 2.7

$p$  plus grands => accrétion asymétrique  
 $p$  plus petits => accrétion symétrique

Failles de détachement sont caractérisées par la présence de minéraux faibles (serpentinite) et par la concentration de fluides au long de toute la faille (Escartin et al., 2003a)

Focalisation de la déformation

Taux décroissance du nombre de répliques plus rapide



## Section 5

### Conclusions

# Conclusions

- L'analyse conjointe de la sismicité permanente enregistré par les dispositifs d'AuH et les réseaux a terre montre les mêmes distributions de sismicité.
- Le régime thermique de la croute influence les distributions de sismicité de la dorsal a l'exception ou la dorsale est le plus oblique.
- Sismicité au nord des Acores montre des sections avec une activité presque continue et d'autres sections presque asismiques, les sections plus actives son liées a sections ou il a eu les plus fortes fluctuations de sismicité. Ces sections montrent une morphologie plus asymétrique que occurront en segments relativement plus froides.
- La localisation des séquences sismiques montre que elles peuvent être enregistrées dans le milieu de la vallée axiale (plus profond) comme dans les flancs (plus superficielle). Dans tout les cas les séquences sont observées dans de segments avec des régime thermique froides, en sections ou failles étaient identifiés et ou il y à eu un maximum local de la MBA a l'échèle du segment.
- L'analyse du taux de décroissance dans le numéro des répliques des séquences sismique montre que les failles de détachement créées par accrétion asymétrique on moins de contraintes que les failles normales probablement => due a une plus grande circulation hydrothermale et serpentinisation.