# Géophysique marine

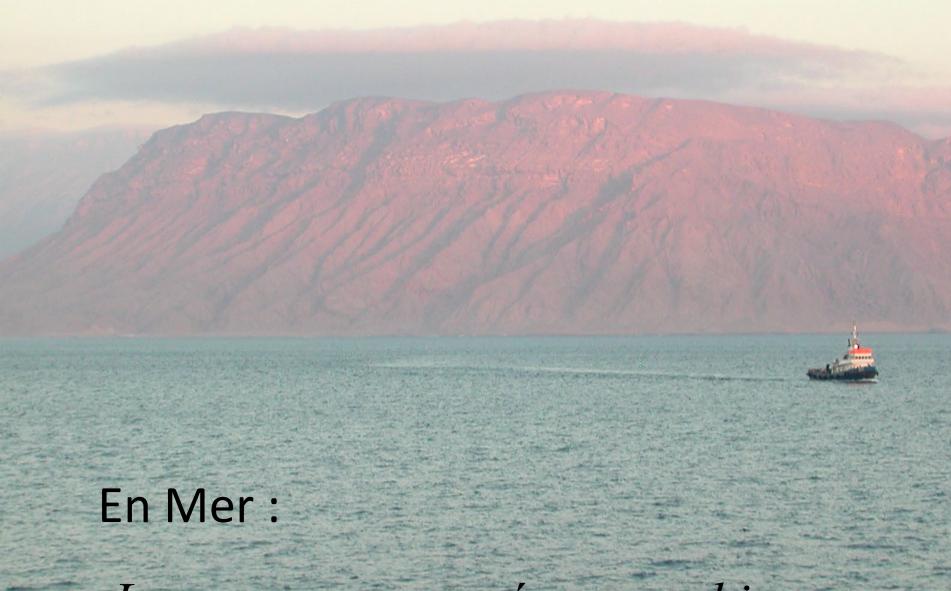
Les Campagnes océanographiques Méthodes d'imagerie sismique

#### Elia d'Acremont

**Institut des Sciences de la Terre de Paris Sorbonne Université** 





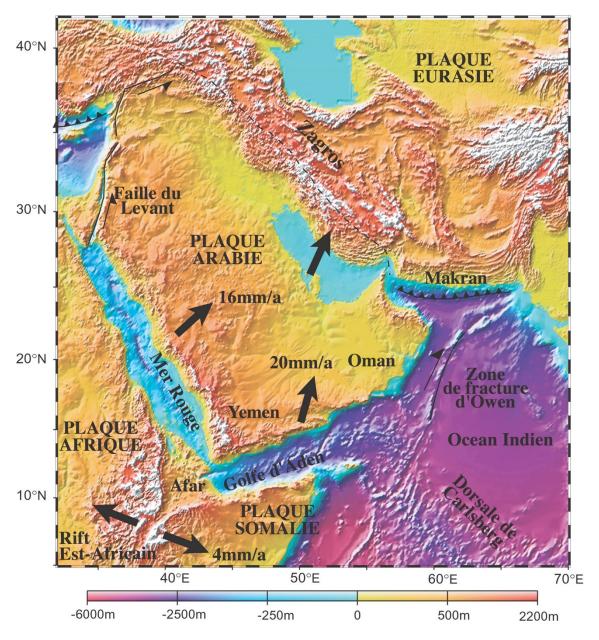


Les campagnes océanographiques

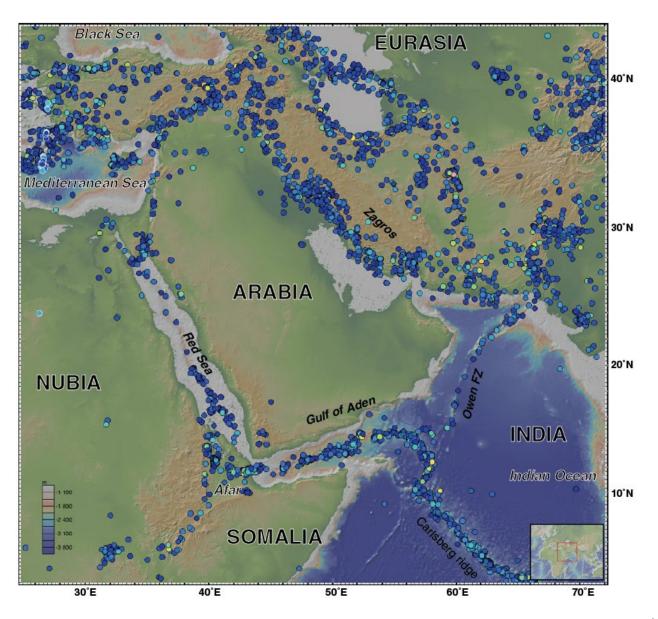
#### CAMPAGNE ENCENS-SHEBA



#### La plaque Arabe



### La plaque Arabe

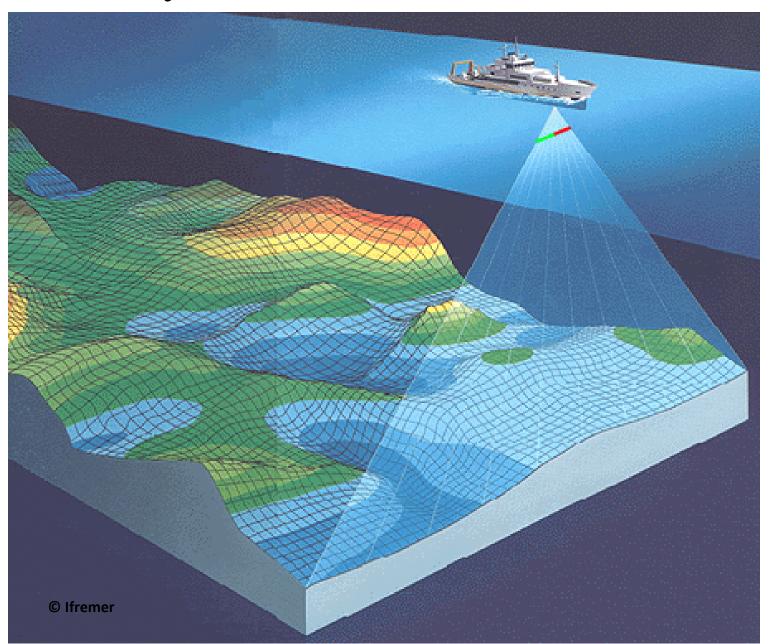


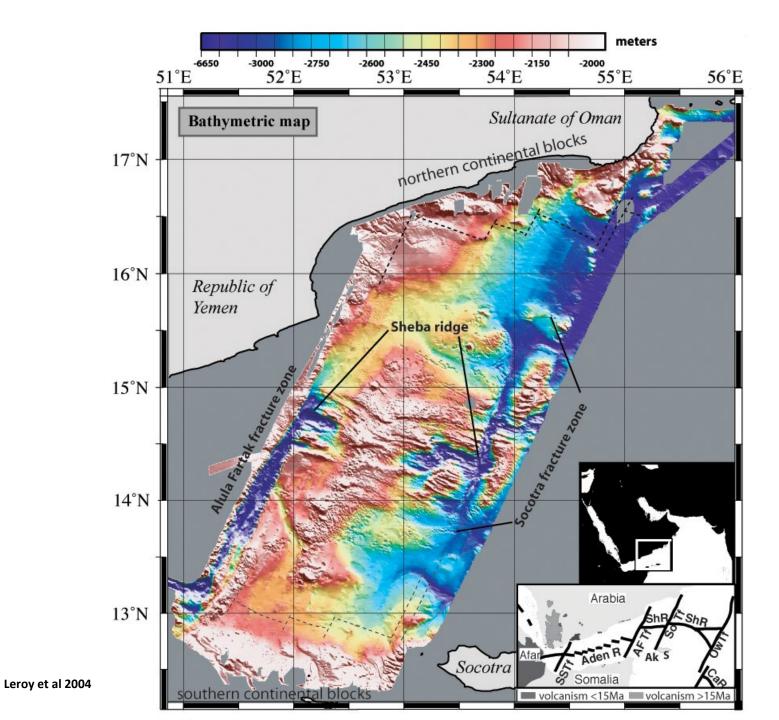
- ✓ Bathymétrie multifaisceaux
- ✓ Flux de Chaleur
- Magnétisme
- ✓ Echantillonnage des reliefs sous-marins
- ✓ Sismique Réflexion
- ✓ Sismique Réfraction

La Bathymétrie multifaisceaux

Cartographie du fond des océans

## La Bathymétrie multifaisceaux





Les mesures de flux de chaleur

Préciser la nature de la croûte terrestre

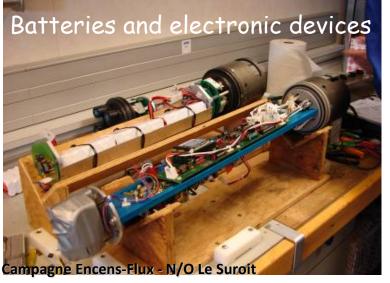
### Instrument de mesure





Lucazeau et al 2007





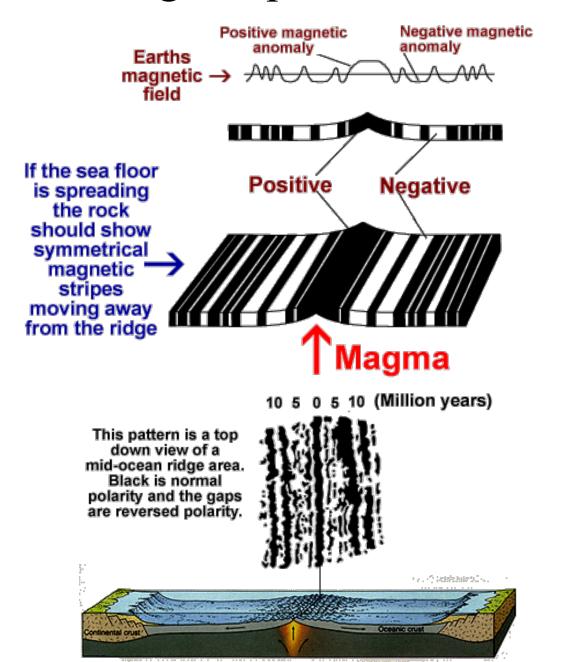
Les anomalies magnétiques

Dater les fonds des océans

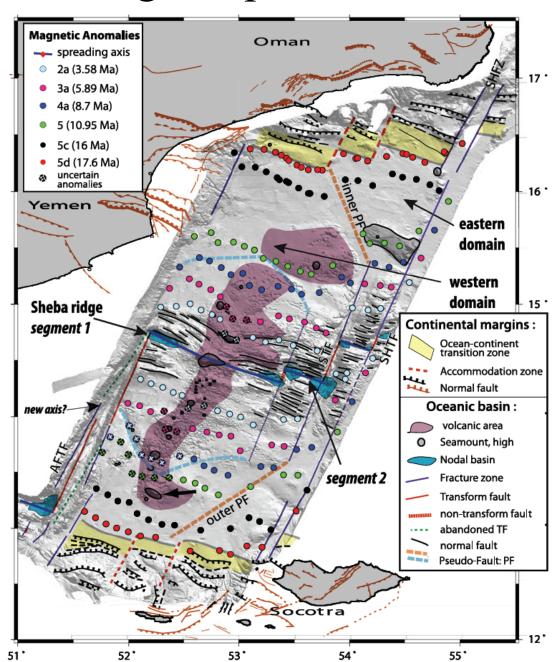
### Instrument de mesure



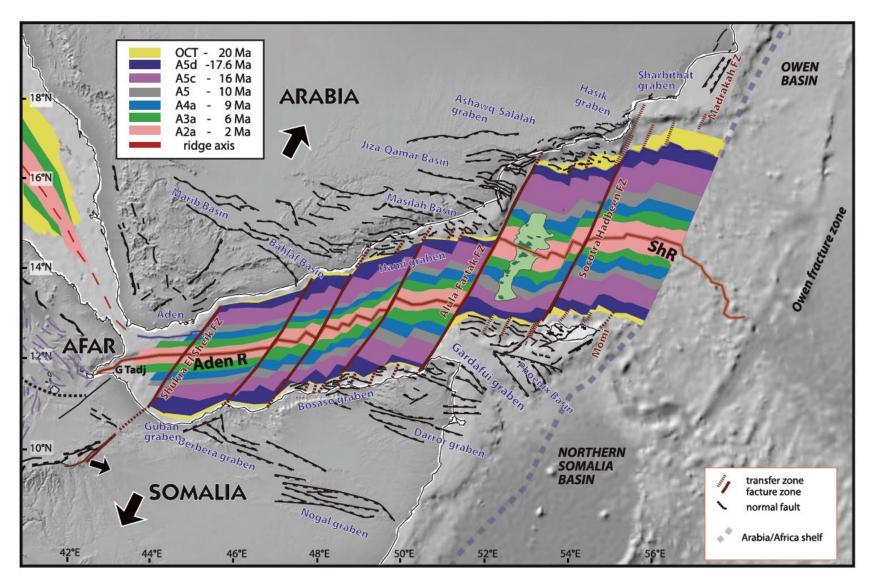
#### Les anomalies magnétiques



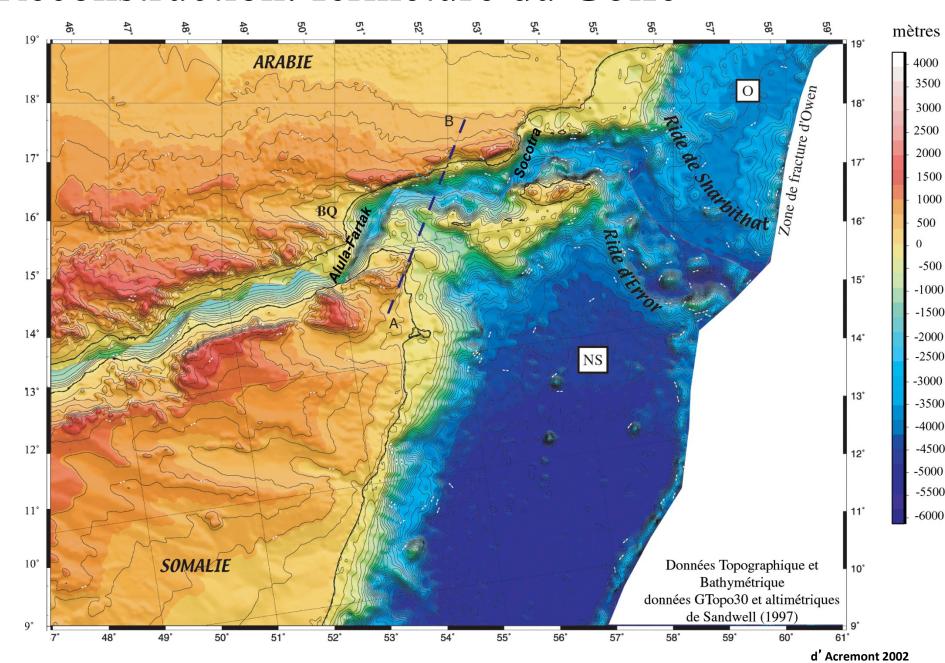
### Les anomalies magnétiques



### Cas du golfe d' Aden

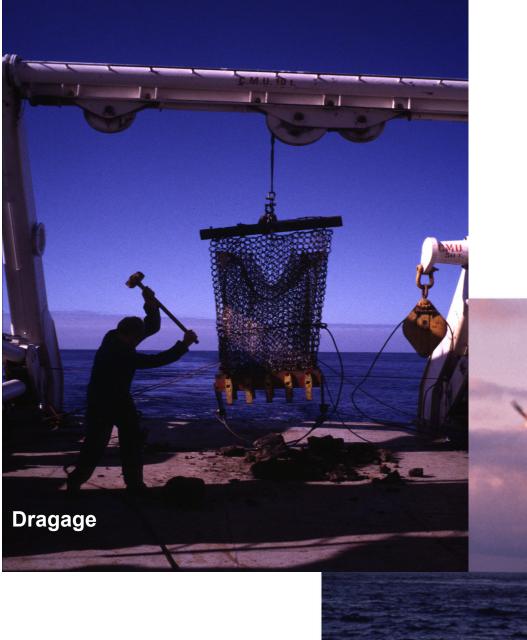


#### Reconstruction: fermeture du Golfe



Echantillonnage des reliefs sous-marins

Connaître la nature et l'âge des reliefs sous-marins



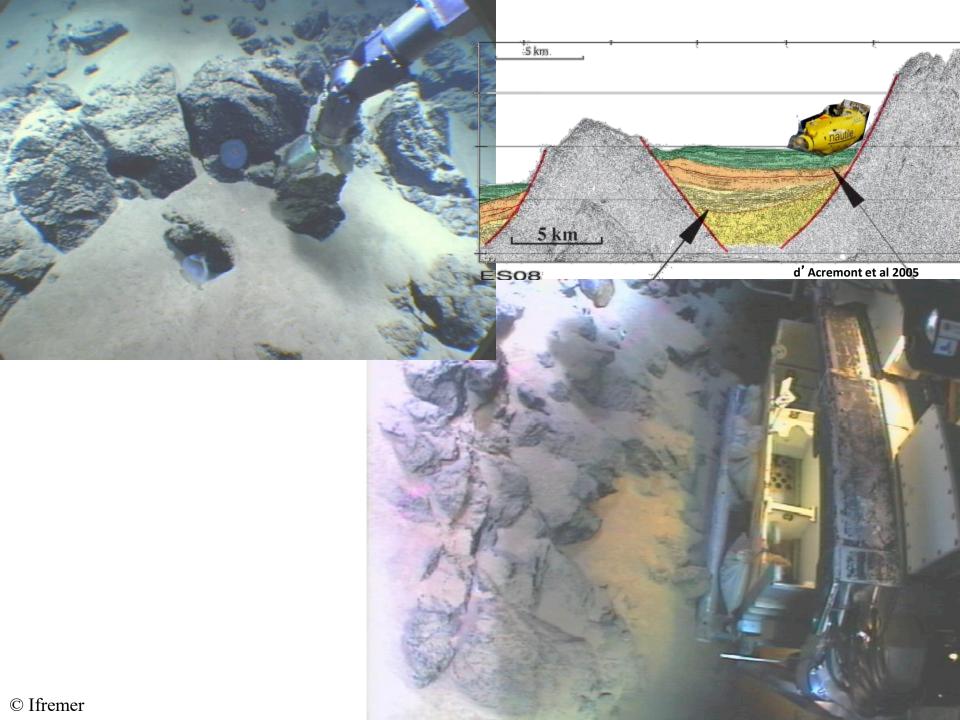


Forage

R/V Joides Resolution du programme ODP/IODP











#### La sismique réflexion

Imager la colonne sédimentaire et la croûte terrestre sous les océans

### La sismique réfraction

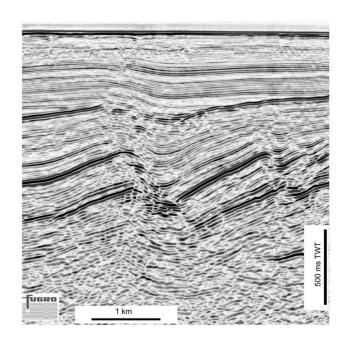
Préciser la nature de la croûte terrestre,
quantifier les vitesses
et obtenir la géométrie de
la base de la croûte

### IMAGERIE SISMIQUE

- ✓ Sismique Réflexion
- ✓ Sismique Réfraction

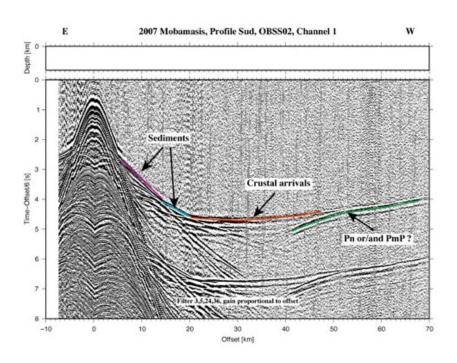
- 1) Principes
- 2) Dispositif d'acquisition sismique
- 3) Visualisation des données
- 4) Exemples de profils

#### Ne pas confondre



#### Sismique réflexion

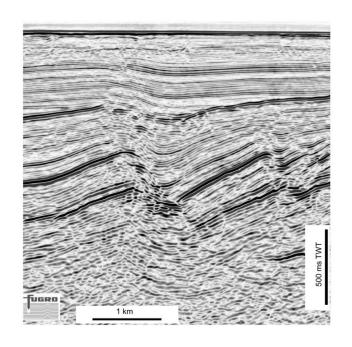
Source artificielle / active Cible: Ecorce terrestre superficielle (cm > 30km)

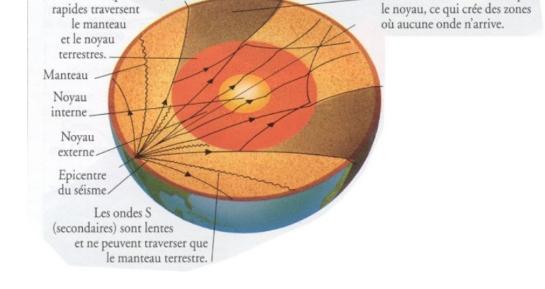


#### Sismique réfraction

Source artificielle / active Cible: échelle crustale superficielle (1km > 30km)

#### Ne pas confondre





Les ondes P sont réfractées par

#### Sismique réflexion

Source artificielle / active Cible: Ecorce terrestre superficielle (cm > 30km)

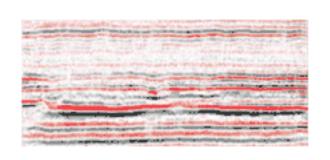
#### **Sismologie**

Les ondes P (primaires)

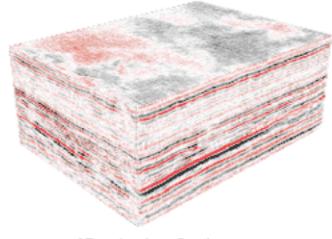
Source naturelle/ passive (séismes) Cible: structure terrestre profonde (->6378 km)

### IMAGERIE SISMIQUE

Ondes élastiques réfléchies par des structures présentant un contraste d'impédance (produit densité-vitesse)



2D seismic reflection



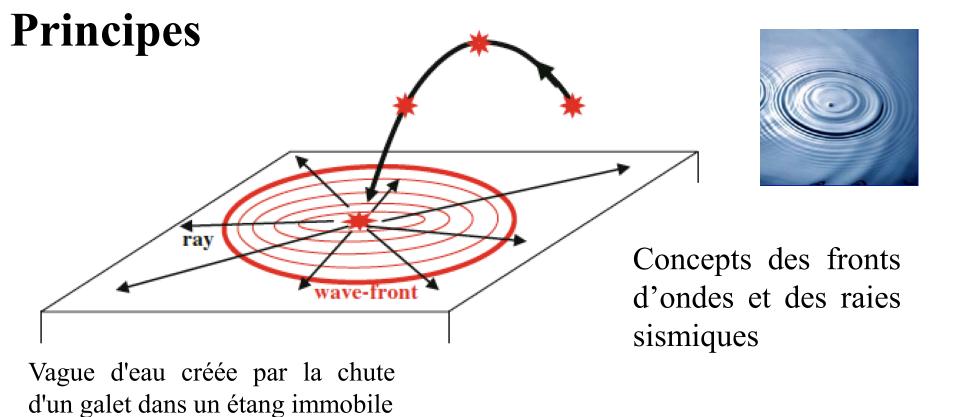
3D seismic reflection

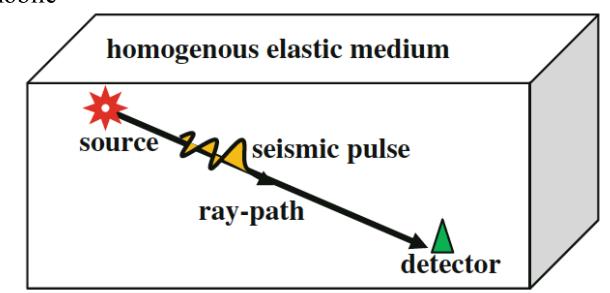
Intérêts académique et industriel:

- -Topographie du socle
- -Délinéation des zones fracturées
- -Etude stratigraphique et structurale
- -Recherche de réservoirs

### PRINCIPES DE LA SISMIQUE:

Réflexion / Réfraction

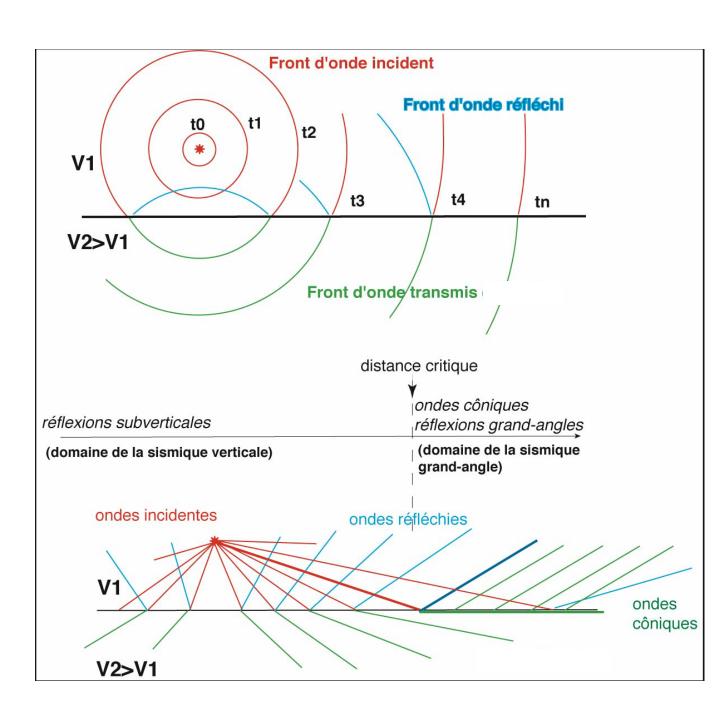




#### **Principes**

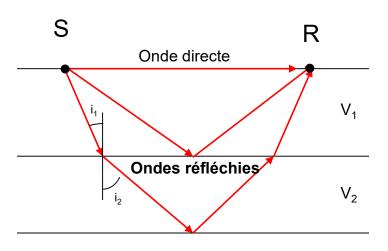
- Trajet des ondes sismiques
- Front d'onde
- Rais sismiques

Les rais sismiques sont toujours orthogonaux au front d'onde

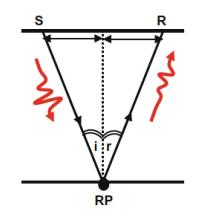


#### Principes

#### Loi de Snell-Descartes



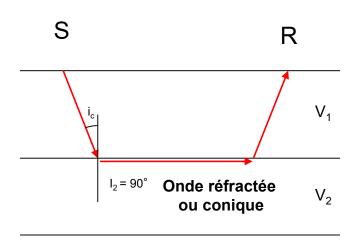
$$\frac{\sin i_1}{\mathbf{V}_1} = \frac{\sin i_2}{\mathbf{V}_2}$$



 Propagation des ondes acoustiques

Ces lois sont celles de l'optique

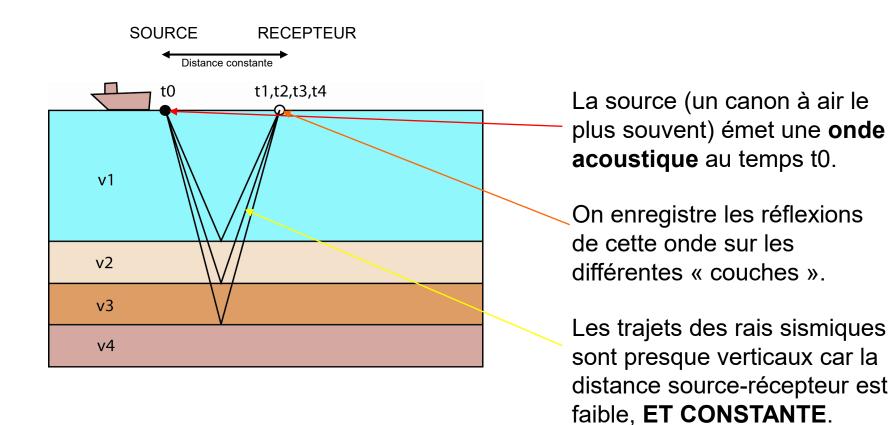
#### Cas particulier:



$$i_2 = 90^{\circ}$$
  
 $i_1 = i_c$  (incidence critique)

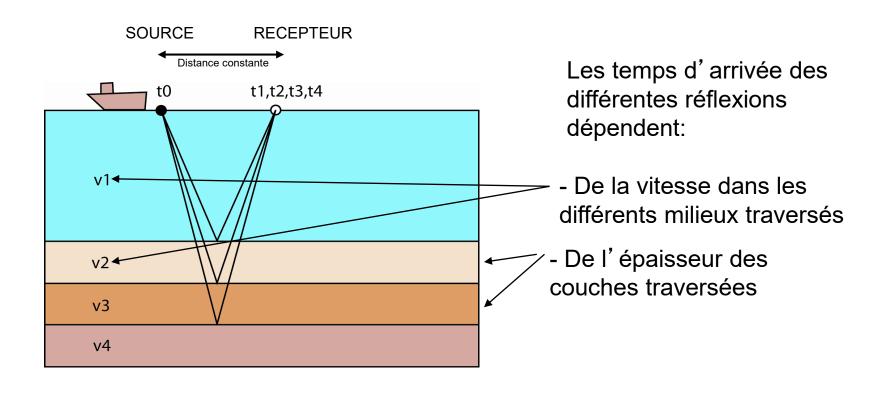
$$\sin(i\mathbf{c}_1) = \frac{\mathbf{v}_1}{\mathbf{v}_2}$$

# La sismique réflexion



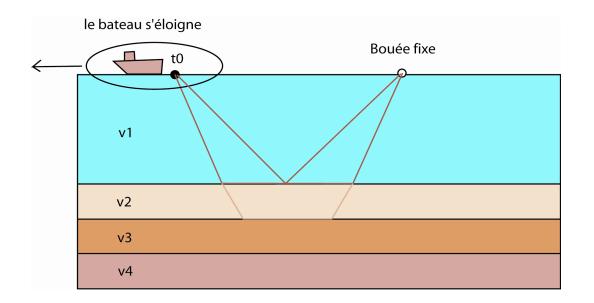
ON PARLE DONC AUSSI DE SISMIQUE VERTICALE

# La sismique réflexion



# La sismique réfraction

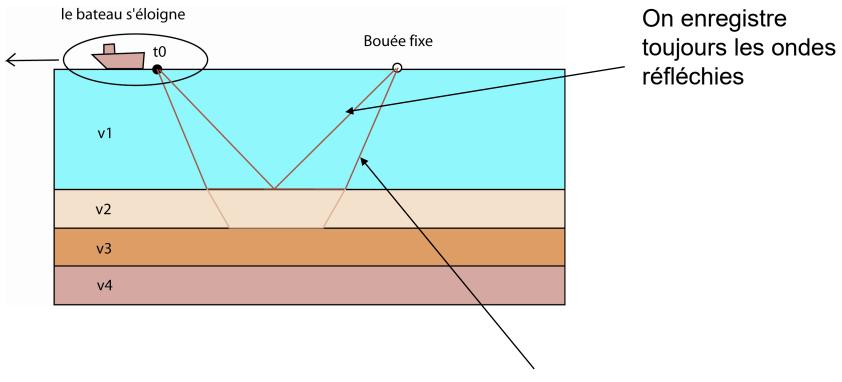




Cette fois la distance source-récepteur augmente car le bateau s'éloigne de la bouée.

Connaissance de la structure profonde: propagation des ondes P et S.

# La sismique réfraction

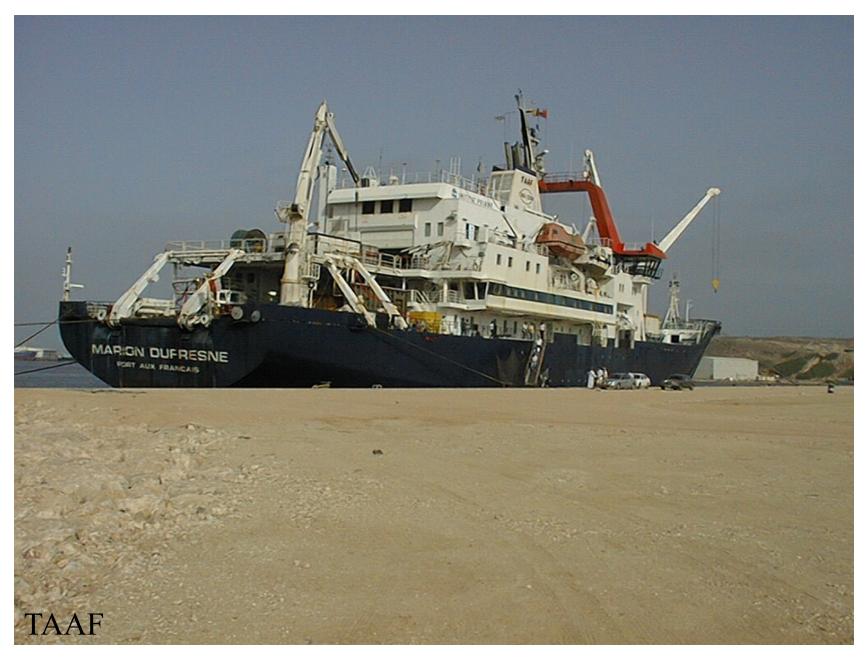


A partir d'une certaine distance on enregistre des ondes réfractées (ou coniques) qui se propagent le long des interfaces

# ACQUSITION SISMIQUE:

Les Campagnes Océanographiques

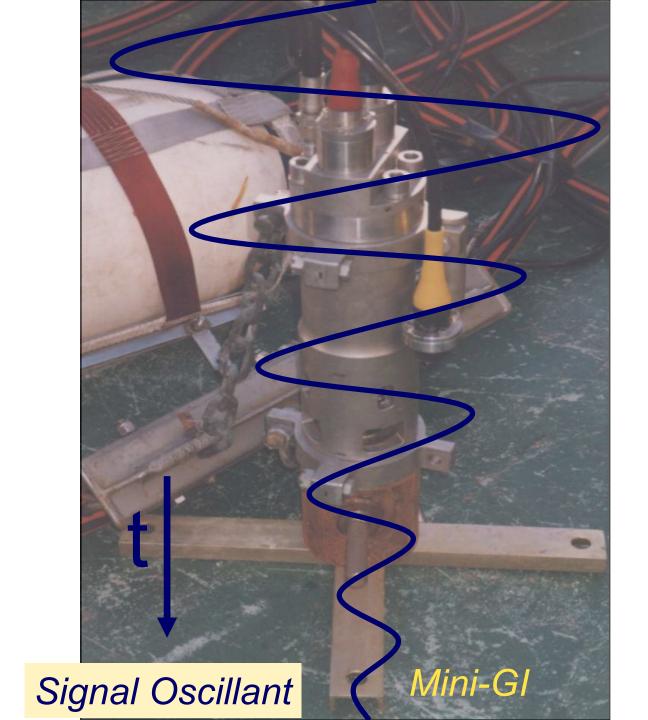
#### Navires



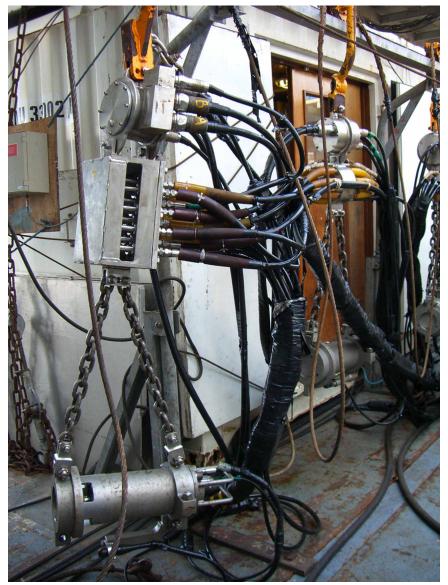
#### La Source:

le canon à air

La Source : Le Canon à Air



#### La Source: canon à air

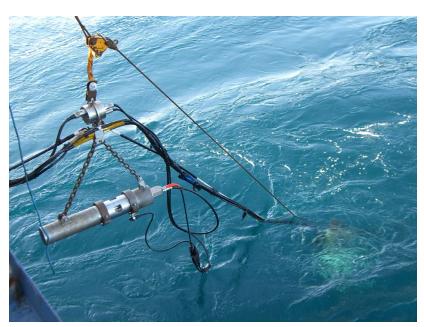




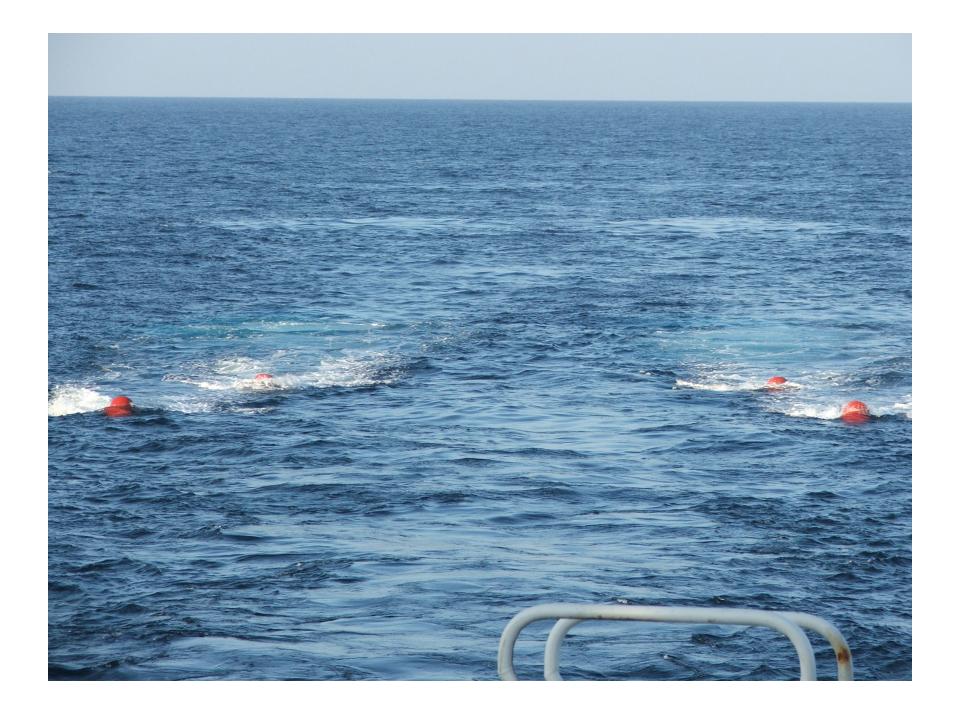
## La Source: mise à l'eau











# Le récepteur:

#### Flûte multitraces



• Flûte IFREMER: 400 T, 6 km

• Flûte GéoAzur: 8-14 T, ~300 m

Flûte « contracteurs » : 12 flûtes, 640 T, 8km



# Flûte multitraces

• Mise en œuvre: bouée de queue, avions, connexions





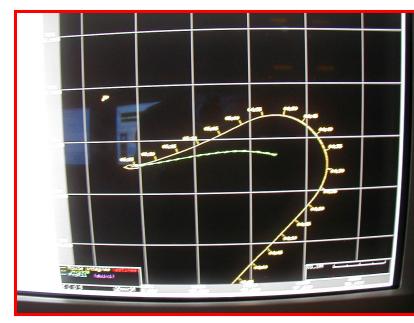




## Position de la flûte

- Contrôle en temps réel
- Corrections





# Le récepteur:

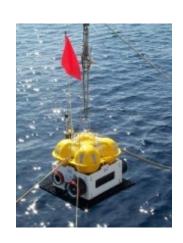
Sismique réfraction

#### Préparation des instruments à terre





- ✓ OBS (Ocean Bottom Seismometers)
- ✓ Sismographe faible consommation
- ✓ Conteneur étanche en verre



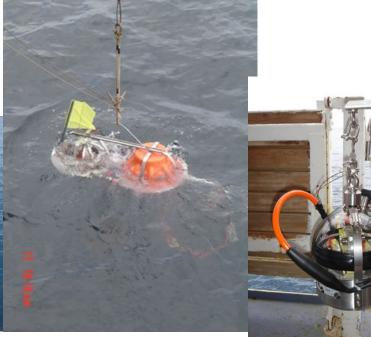
Mise à l'eau des OBS











#### Tirs avec l'Atalante







# Le PC scientifique



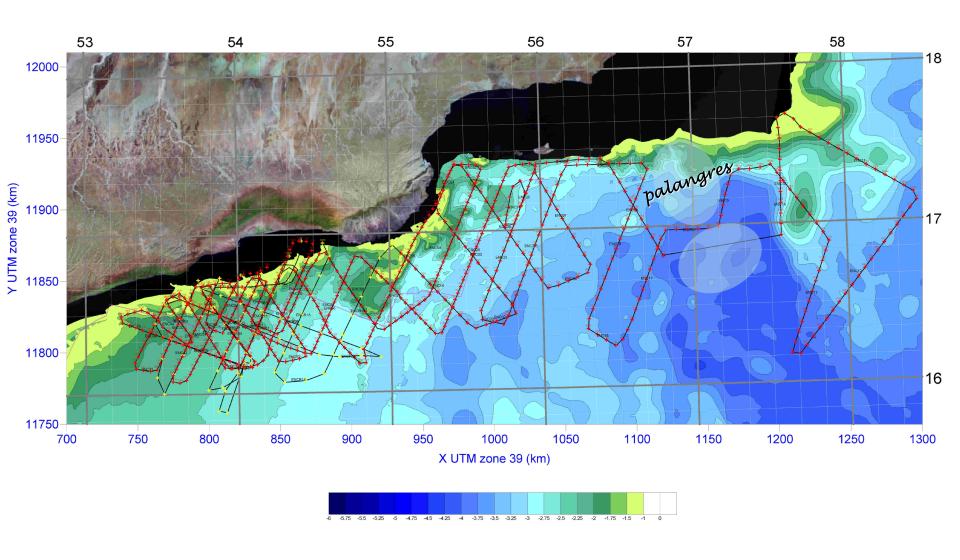






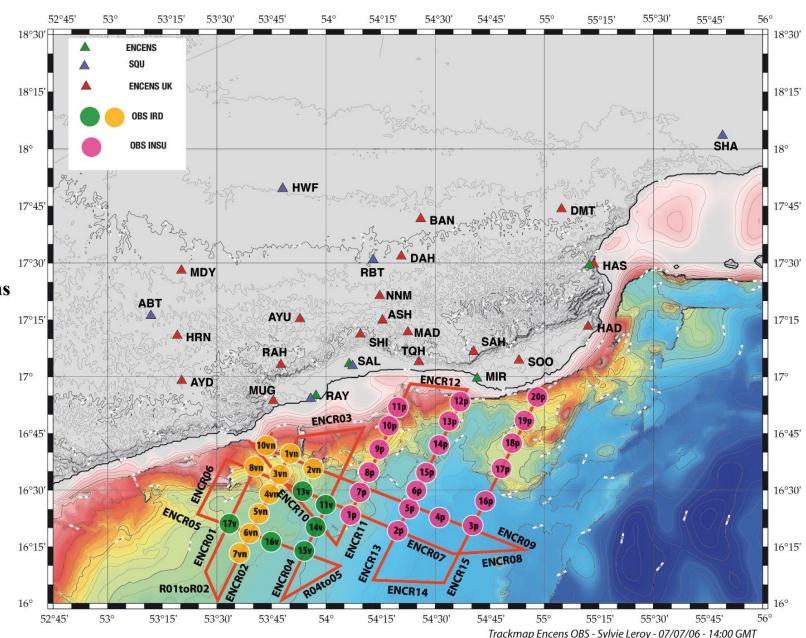


#### Acquisition des données: sismique réflexion



#### Acquisition des données: sismique réfraction

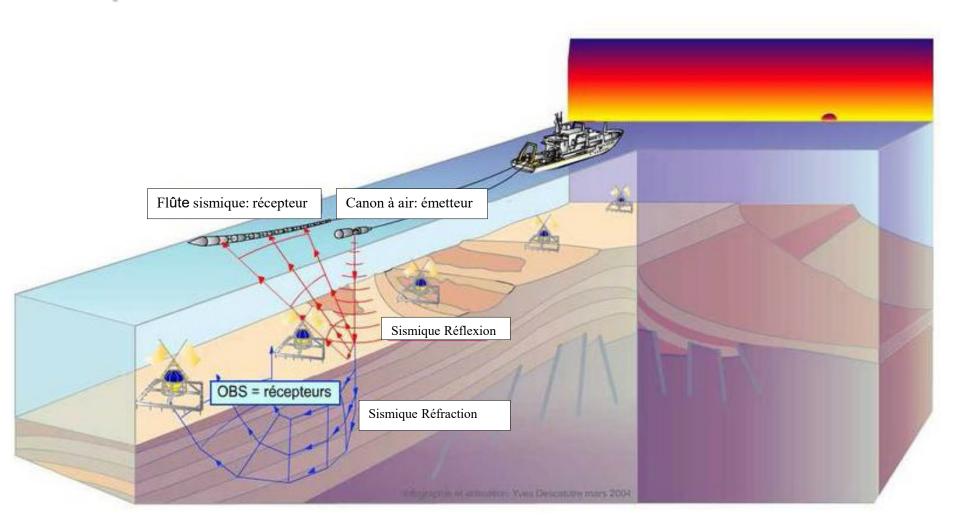
Plan de position des instruments et des profils de la campagne Encens



#### Acquisition des données:

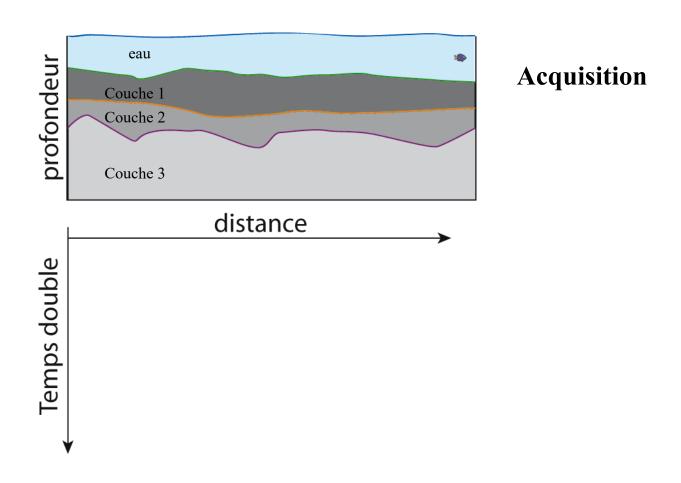
sismique réflexion

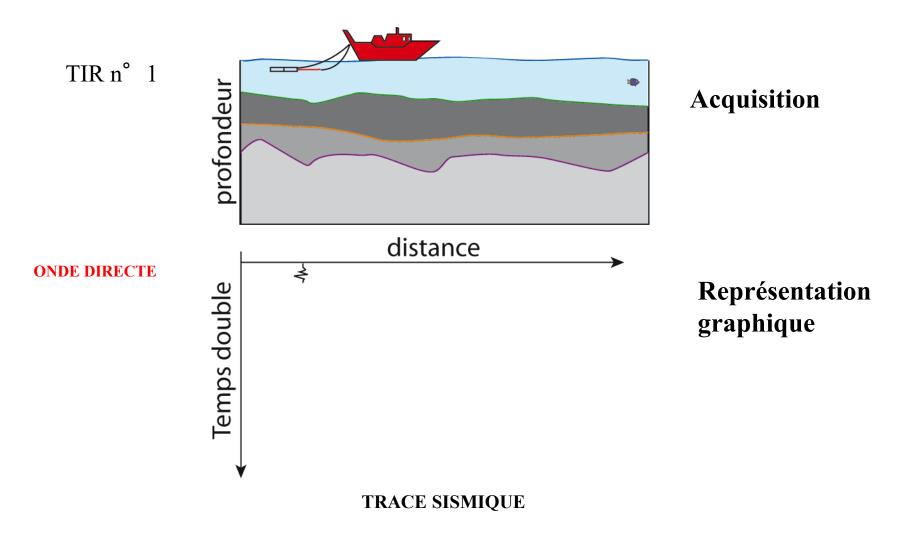
sismique réfraction

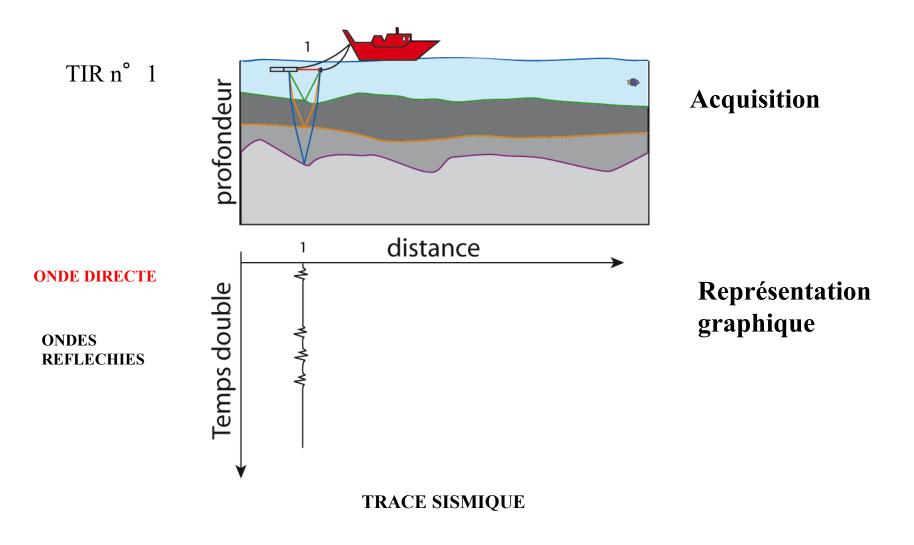


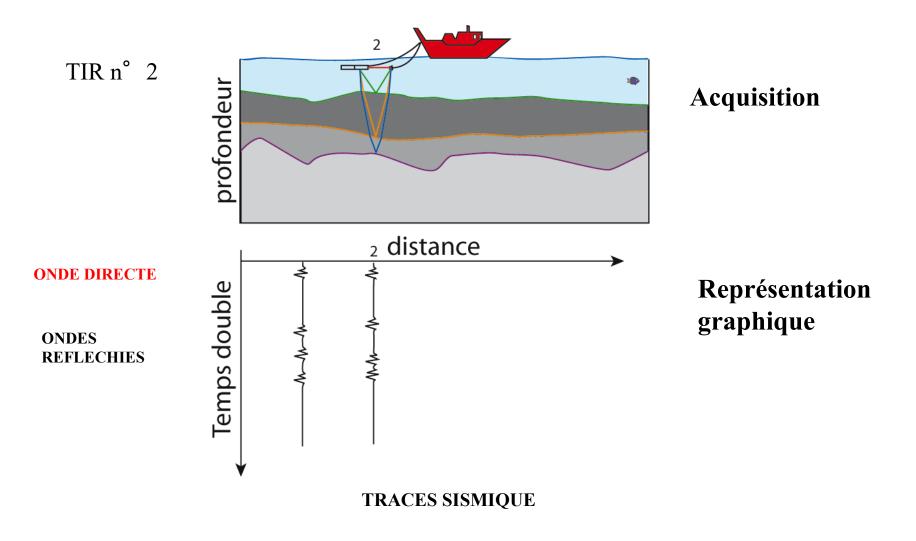
# SISMIQUE REFLEXION:

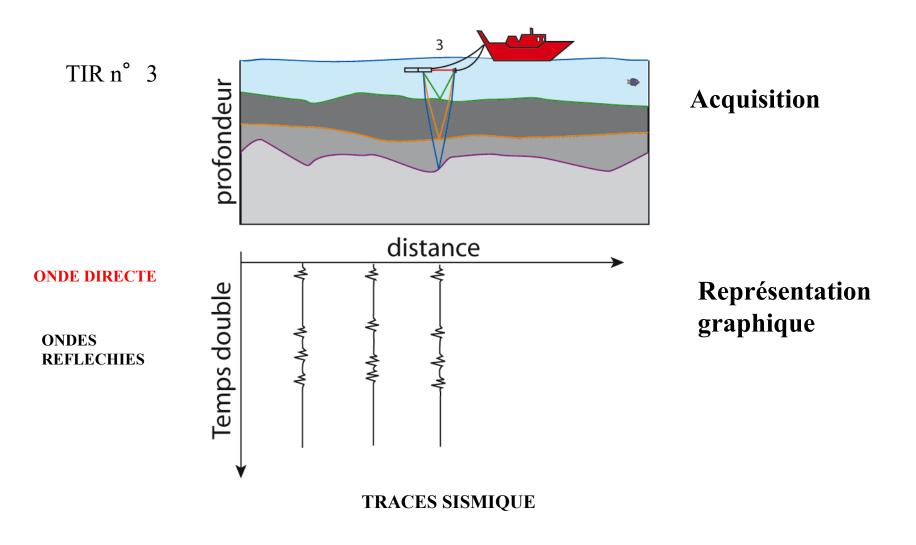
#### Visualisation des données

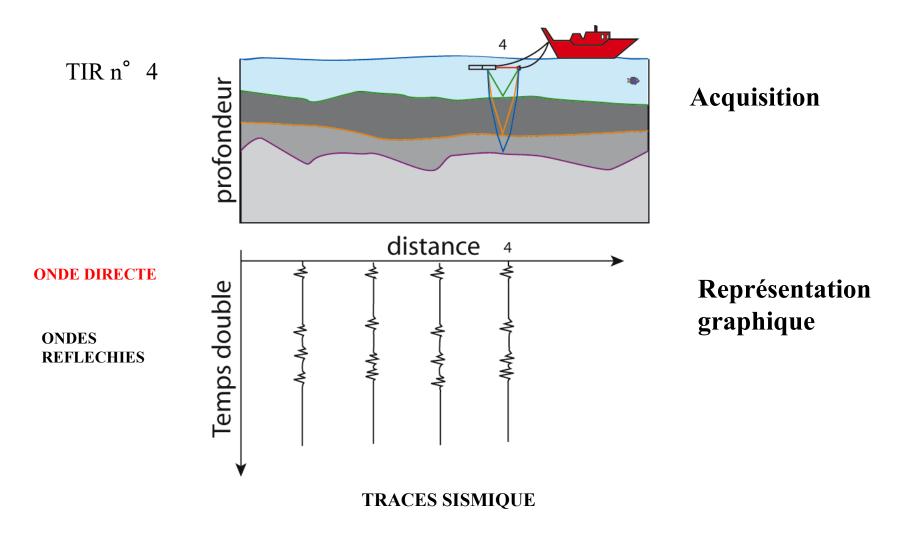


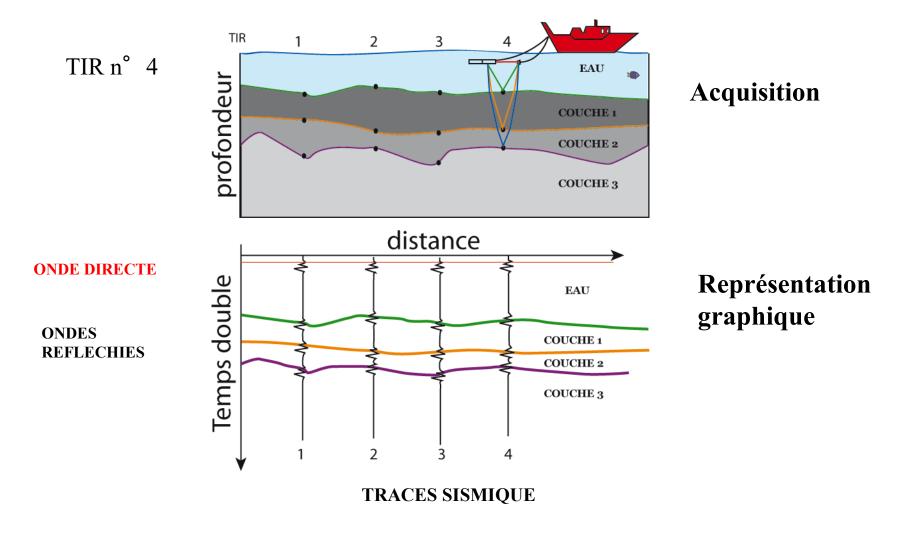


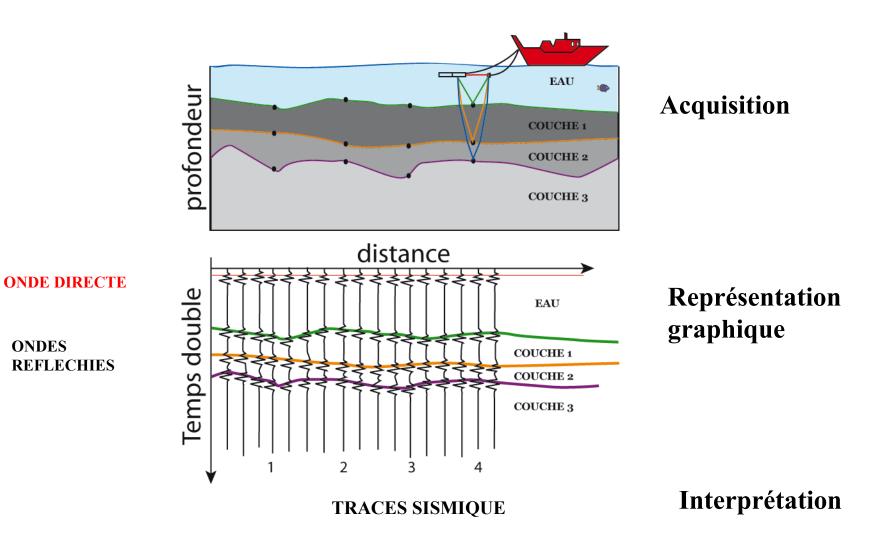




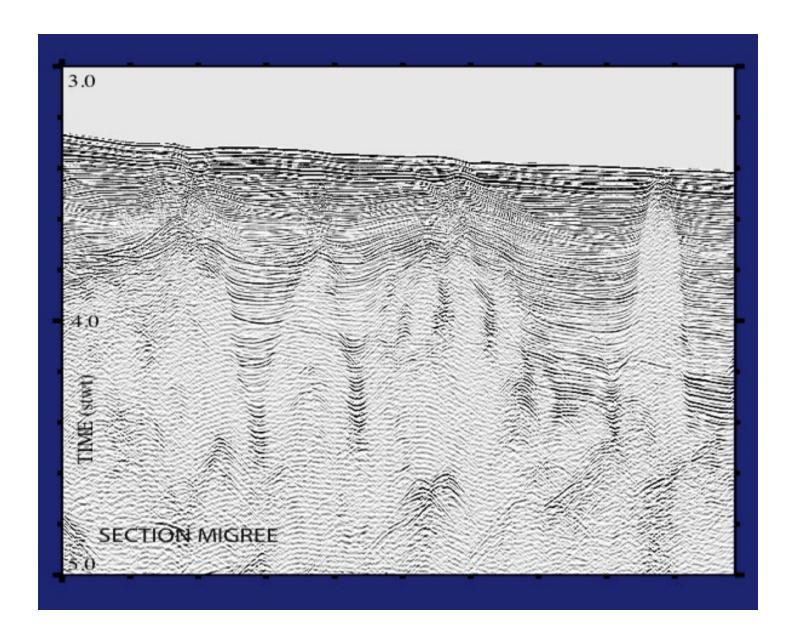






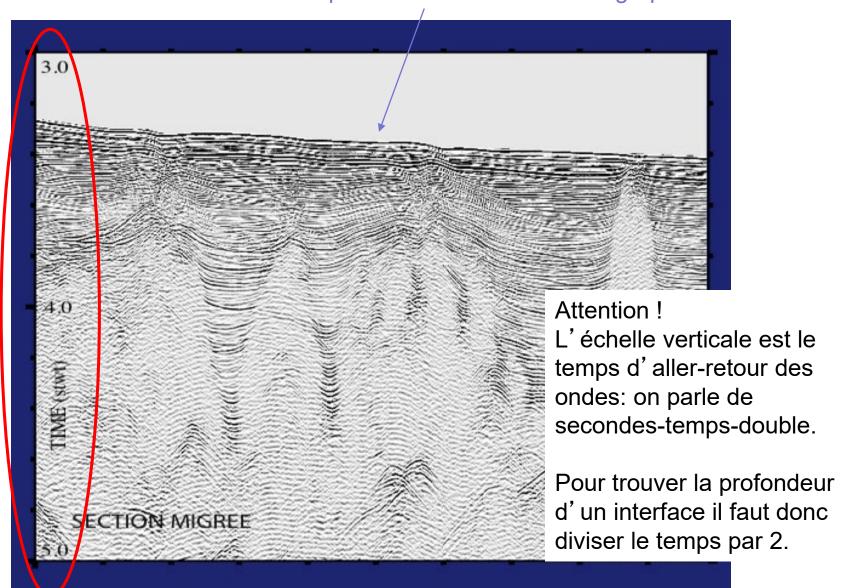


# Représentation Graphique



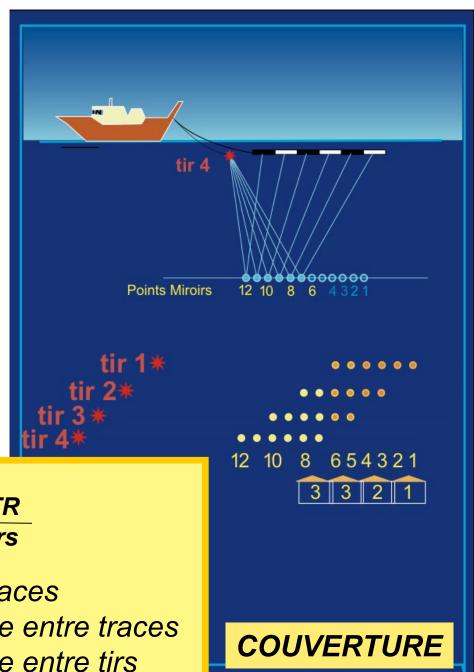
#### Représentation Graphique

On obtient ce qui ressemble à une « échographie » du sous-sol



#### Intérêt d'avoir une longue flûte

# Principe de la couverture multiple



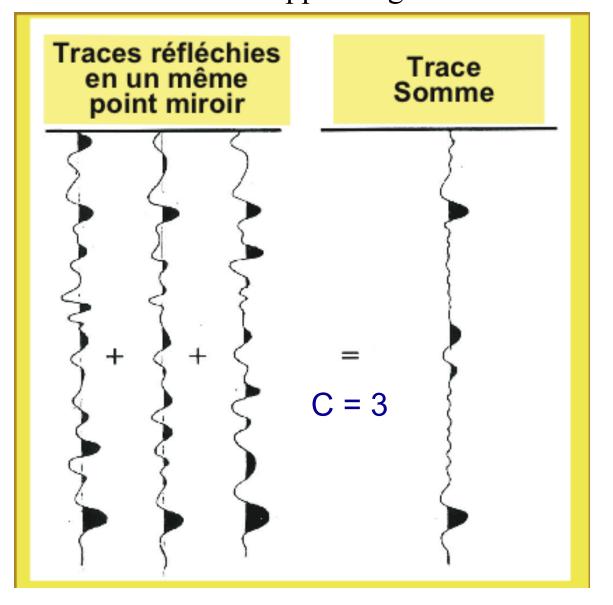
$$C = \frac{N \times dTR}{2 \times dtirs}$$

N = nbre de traces

dTR = distance entre traces

dtirs = distance entre tirs

# Sommation des traces amélioration du rapport Signal/Bruit

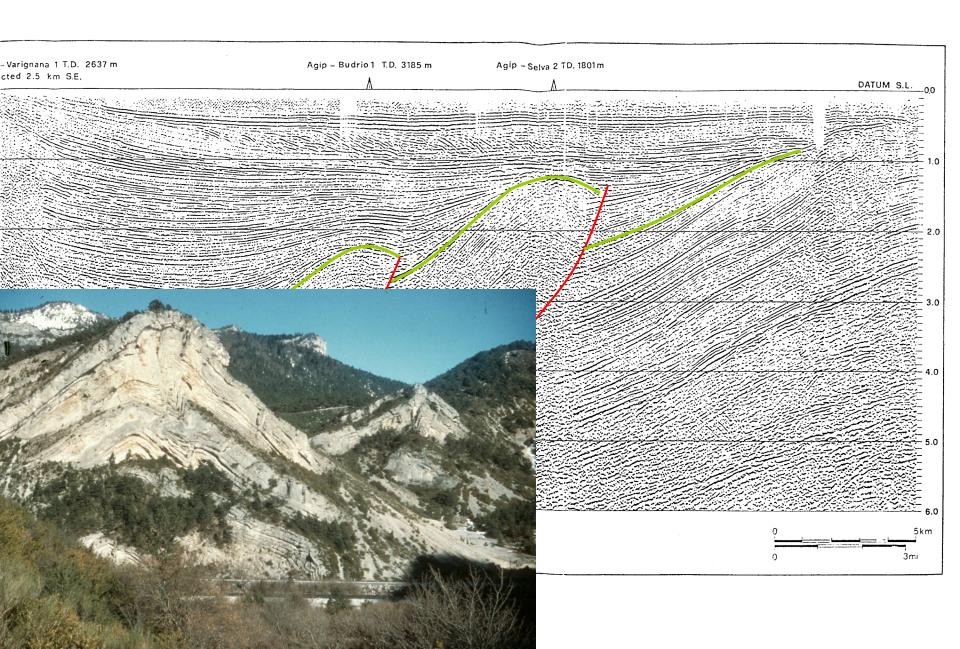


# SISMIQUE REFLEXION:

# Exemples profils de sismique réflexion

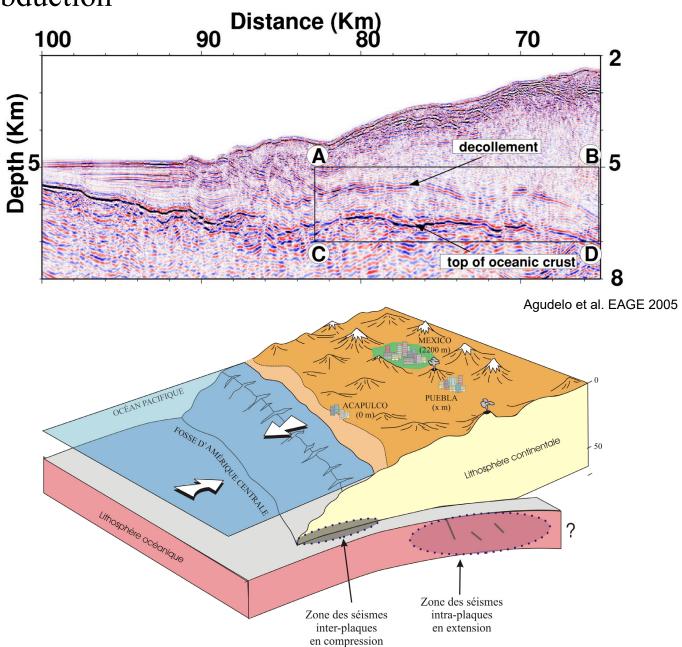
# CONTEXTE COMPRESSIF:

#### Plis et failles inverses



#### CONTEXTE COMPRESSIF:

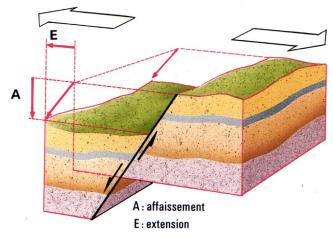
#### Zone de subduction



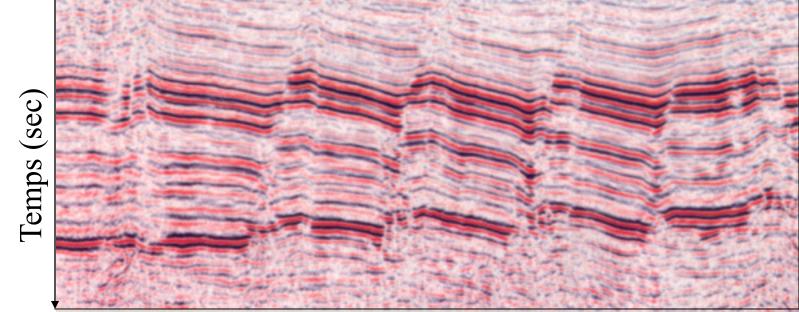
#### CONTEXTE EXTENSIF:

#### Failles normales

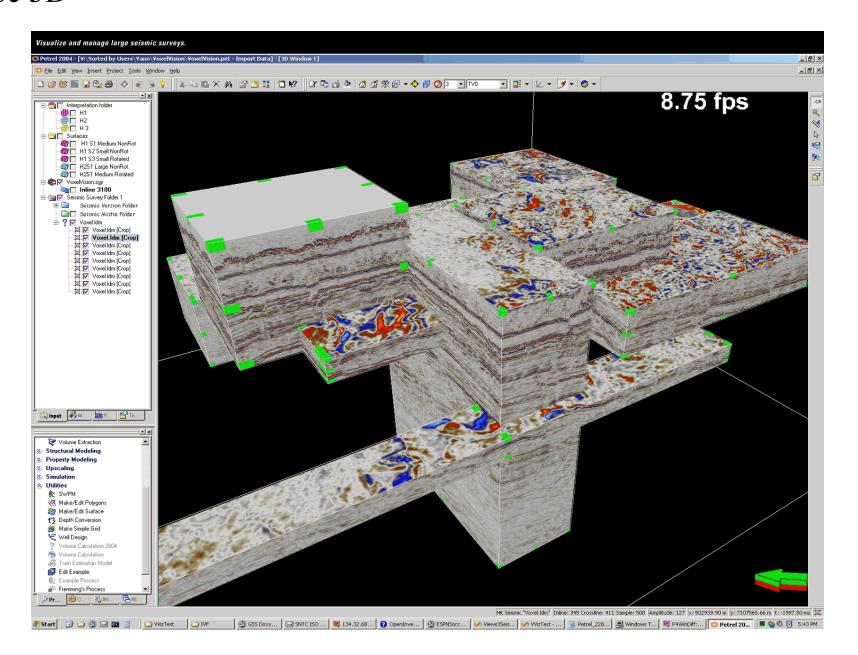
#### faille normale



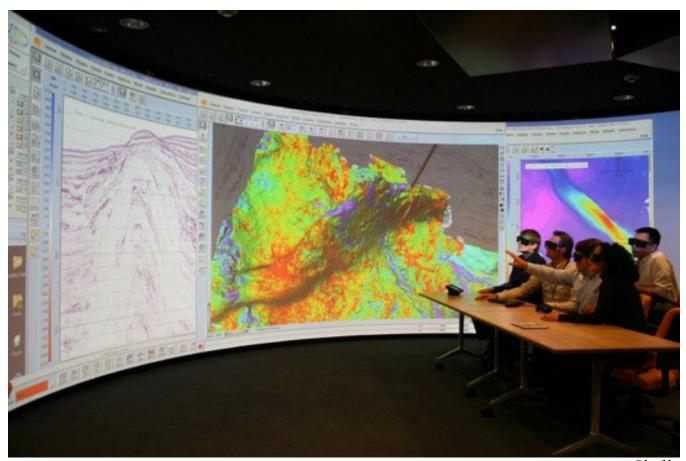




#### SISMIQUE PETROLIERE Bloc 3D



#### SISMIQUE PETROLIERE Bloc 3D



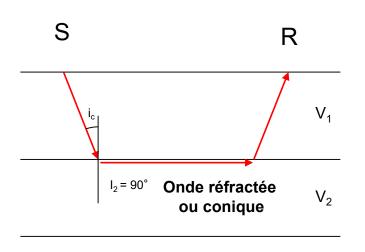
Shell

## SISMIQUE REFRACTION:

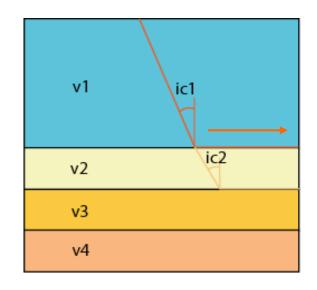
### Visualisation des données

- Pointé des premières arrivées
- Modèle de vitesse et structure profonde

# La réfraction se fait selon un angle critique qui obéit à la loi de Snell-Descartes:



$$i_2 = 90^{\circ}$$
  
 $i_1 = i_c$  (incidence critique)



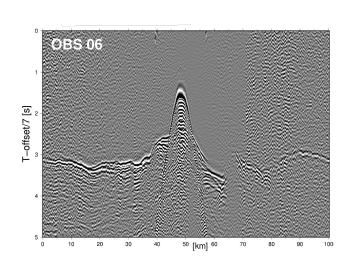
$$\sin(ic_1) = \frac{v_1}{v_2}$$

$$\sin(i\mathbf{c}_2) = \frac{\mathbf{v}_2}{\mathbf{v}_3}$$

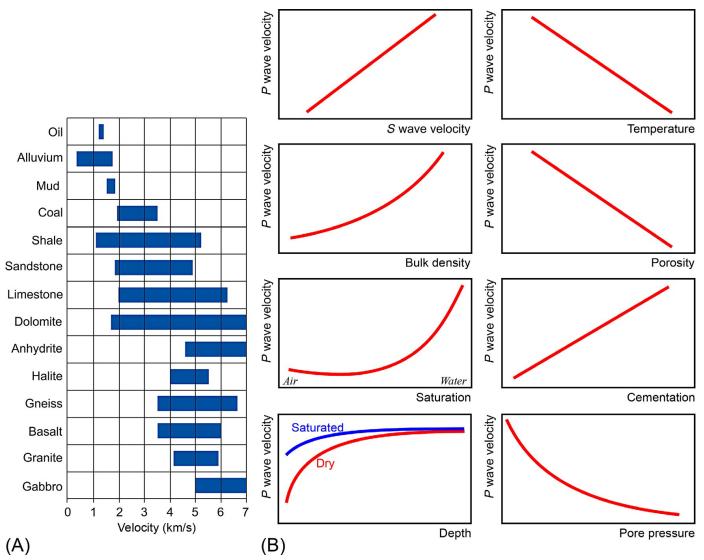
# Objectif de la sismique réfraction

On obtient non pas une image du sous-sol « *interprétable directement* » mais des vitesses et des épaisseurs de couches, résolution plus faible.

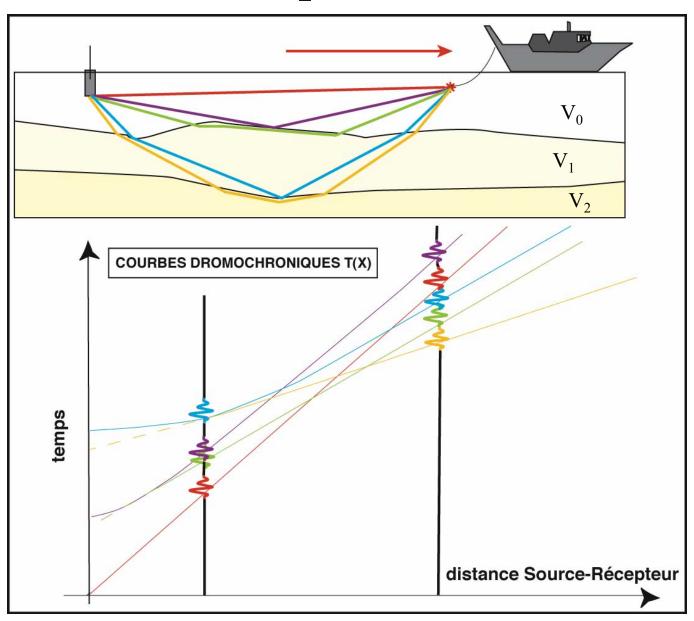
- Structure de la croûte (épaisseurs, géométrie)
- « nature » des roches
- Autres propriétés des roches (anisotropie, poisson, ect...)
- En synergie avec MCS, gravimétrie, magnétisme, ect...

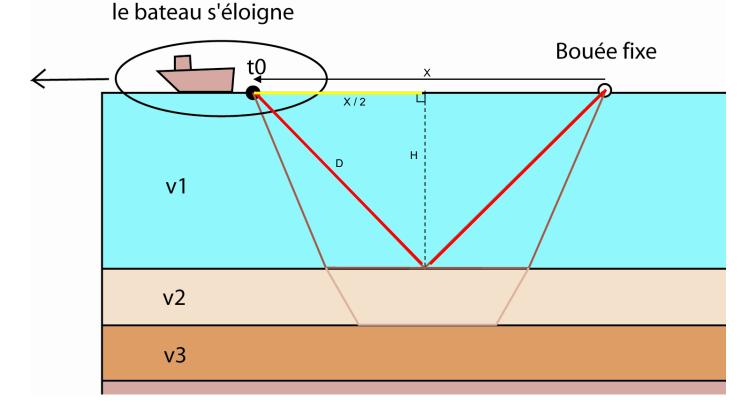


#### Vitesse de propagation – effets de différents facteurs



# Acquisition





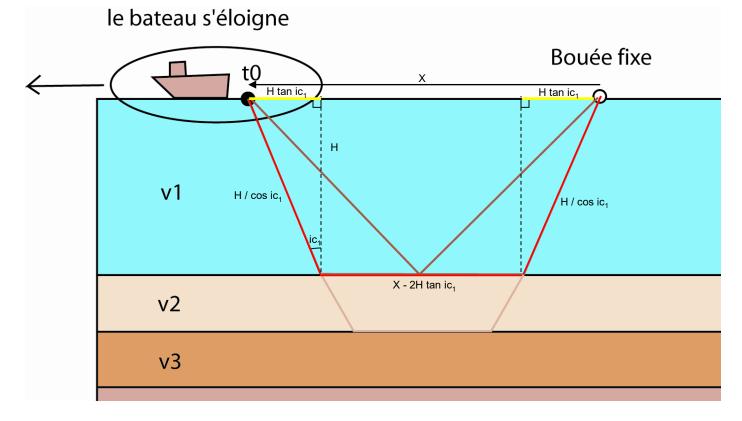
Pour les ondes réfléchies, la distance et le temps de parcours sont:

$$D^2(X) = (\frac{X}{2})^2 + H^2$$

$$T^2(X) = \frac{X^2}{V^2} + \frac{4H^2}{V^2}$$

C' est donc une hyperbole, dont l' asymptote est T = X / V.

$$\Gamma = \frac{1}{V_1} \sqrt{X^2 + 4H^2}$$

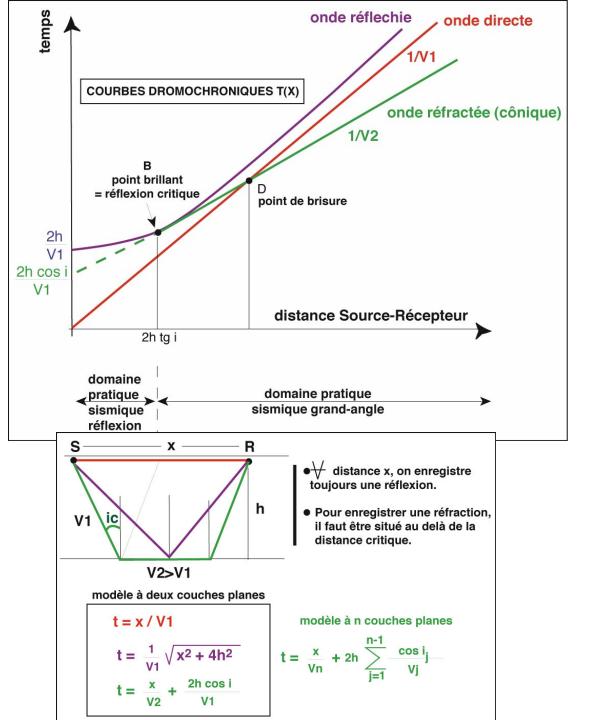


Pour la première réfractée, le temps de parcours est :

$$T(X) = \frac{2H}{v_1 \cos(ic_1)} + \frac{X}{v_2} - \frac{2H \tan(ic_1)}{v_2}$$

$$T(X) = \frac{2H\cos(ic_1)}{v_1} + \frac{X}{v_2}$$

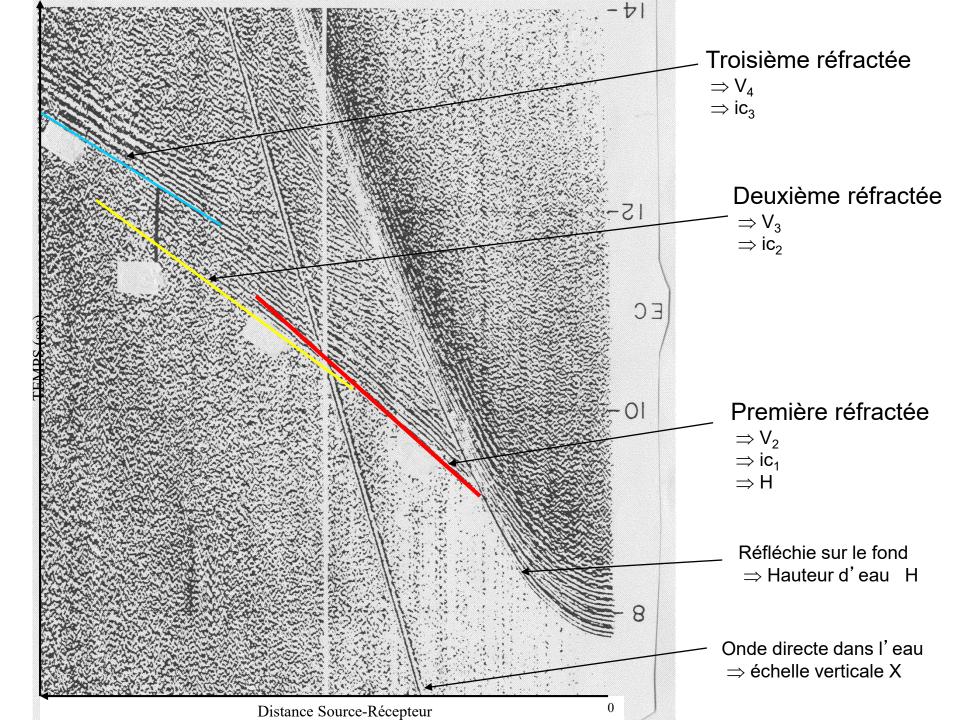
C' est donc une droite, dont la pente est 1/V2



# Présentation des données

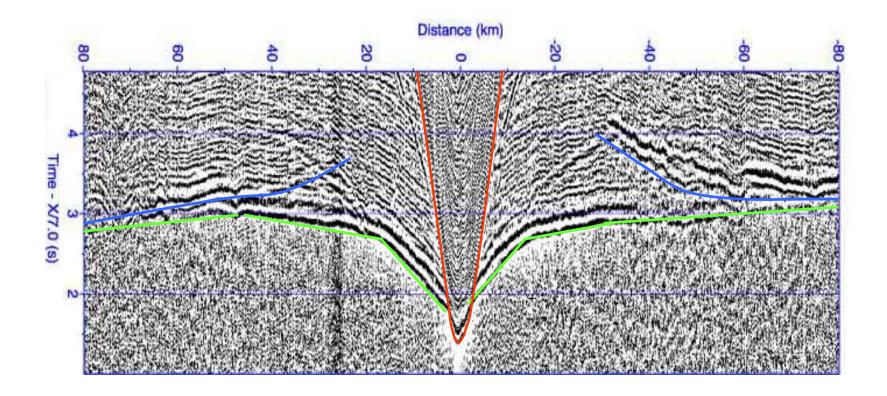
#### Equations des ondes

- Onde directe
- Onde réfléchie
- Onde conique

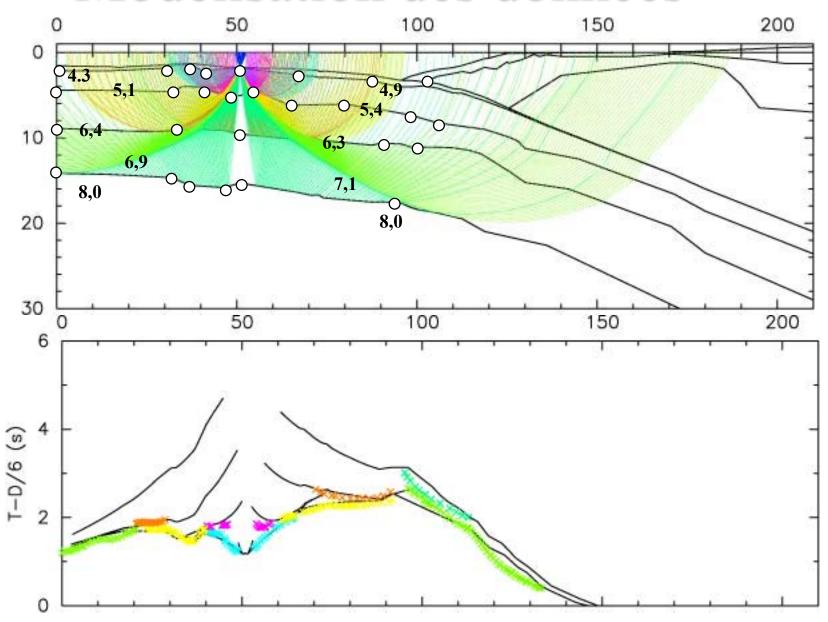


# Interprétation des données

• Interprétation : hodochrones

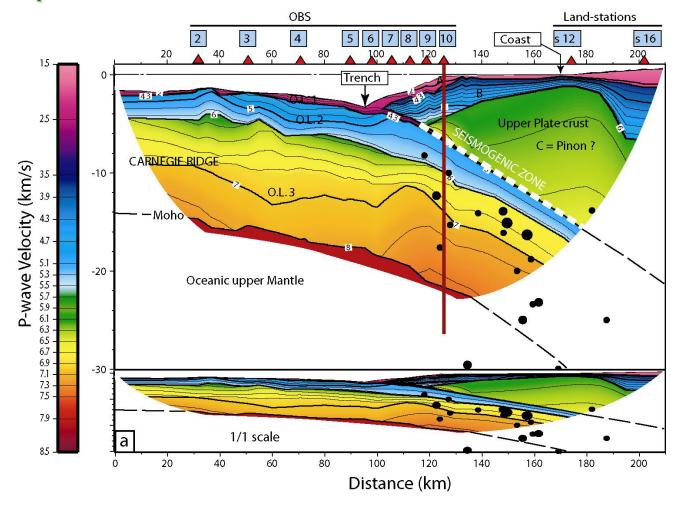


# Modélisation des données



## Modèle de vitesse

#### Exemple Equateur



## CONCLUSION

Deux méthodes bien différentes mais complémentaires:

- **Sismique réflexion**: distance S-R fixe, obtention d'un profil sismique s'apparentant à une « échographie du sous-sol ». Interprétation des formations et structures superficielles à profondes.
- Sismique réfraction: distance S-R augmente, obtention d'un diagramme « dromochronique » permettant d' obtenir les vitesses de propagation des ondes et les épaisseurs des formations traversées. Objectif plus profond, résolution plus faible.

### IMAGERIE GEOPHYSIQUE

Nécessité de combiner le maximum d'outils géophysiques (Bathymétrie, Sismique réflexion, réfraction, gravimétrie, magnétisme,...) afin d'imager au mieux les objets géologiques

