

Introduction

Réflexion à une
interface

Méthodes de l'AVO

Séquence de
traitement

Références

GEO1303 – Méthodes sismiques

9 - AVO – *Amplitude Variation with Offset*

Bernard Giroux

(bernard.giroux@ete.inrs.ca)

Institut national de la recherche scientifique
Centre Eau Terre Environnement

Version 1.0.5
Automne 2019

Introduction

Vp/Vs

Réflexion à une
interface

Méthodes de l'AVO

Séquence de
traitement

Références

Introduction

Introduction

Introduction

Vp/Vs

Réflexion à une
interface

Méthodes de l'AVO

Séquence de
traitement

Références

- Années 70 : début de l'interprétation des amplitudes pour identifier les réservoirs de gaz.
 - Contraste d'impédance ↑ avec des shales : réflexion anormalement élevée (*bright-spot*);
 - Taux de succès appréciable ds Golfe du Mexique;
 - Approche empirique : intrusion volcanique → fausse alerte (polarité de la réflexion pour discriminer);
- Avec la sismique 3D, génération de coupes en temps (*time slice*) : importance accrue des amplitudes.
- Question : comment utiliser les amplitudes réfléchies pour estimer les propriétés élastiques de façon *quantitative* (ou *semi-quantitative*)?
 - l'AVO est un outil;
 - les cubes d'impédance (obtenus par inversion) et la modélisation numérique sont deux autres outils.

Introduction

Introduction

Vp/Vs

Réflexion à une
interface

Méthodes de l'AVO

Séquence de
traitement

Références

- Une onde incidente à une interface entre deux milieux d'impédances différentes se partitionne en ondes réfléchies et transmises et subit une conversion;
- La fraction de l'énergie réfléchie dépend entre autre de l'angle d'incidence;
- L'étude de la variation des amplitudes réfléchies en fonction du déport, donc de l'angle d'incidence, permet de déterminer les paramètres acoustiques et les caractéristiques lithologiques des roches réservoirs;
 - Note : on retrouve parfois dans la littérature la désignation AVA (*amplitude variation with angle*) qu'il faut prendre soin de ne pas confondre avec *amplitude variation with azimuth*, qui est une analyse qui permet de caractériser l'anisotropie.
- Les équations de Zoeppritz constituent le point départ de l'AVO;

Introduction

Introduction

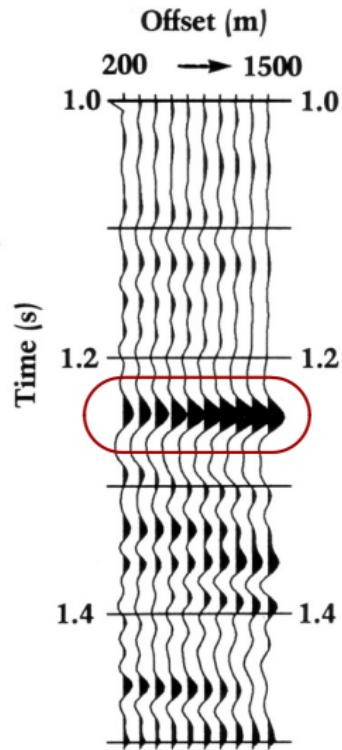
Vp/Vs

Réflexion à une
interface

Méthodes de l'AVO

Séquence de
traitement

Références



Vp/Vs

Introduction

Vp/Vs

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

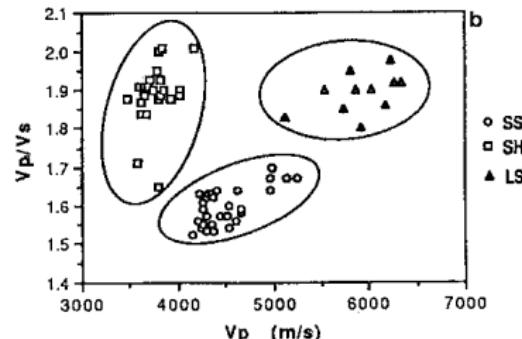
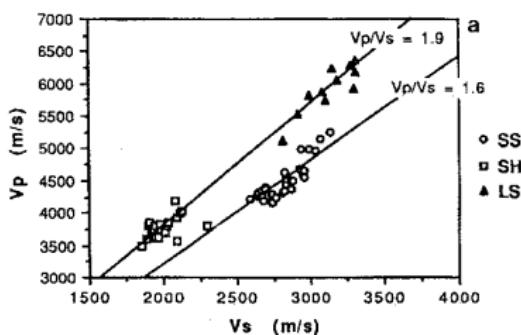
Séquence de traitement

Références

- Le rapport V_p/V_s (ou α/β) est directement lié au coefficient de Poisson σ

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{2 - 2\sigma}{1 - 2\sigma}} \quad \sigma = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1}; \quad (1)$$

- Les sédiments non consolidés ou les réservoirs saturés ont une faible rigidité et un coefficient de Poisson élevé.



SS : sandstone, SH : shale, LS : limestone

Introduction

Réflexion à une interface

Conditions aux frontières

Équations de Zoeppritz

Réflecteur courbe

Couche mince et tuning

Convention

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

Références

Réflexion à une interface

Conditions aux frontières

Introduction

Réflexion à une
interface

Conditions aux
frontières

Équations de Zoeppritz

Réflecteur courbe

Couche mince et tuning

Convention

Méthodes de l'AVO

Séquence de
traitement

Références

- À la frontière entre deux milieux solides, les contraintes τ et les déplacements \mathbf{u} doivent être continus;
- De ces conditions, quatre équations résultent, desquelles découlent quatre variables;
- Ainsi, de façon générale, une onde P (ou S) incidente à l'interface génère
 - une onde P réfléchie et une onde P réfractée;
 - une onde S réfléchie et une onde S réfractée.

Conditions aux frontières

Introduction

Réflexion à une interface

Conditions aux frontières

Équations de Zoeppritz

Réflecteur courbe

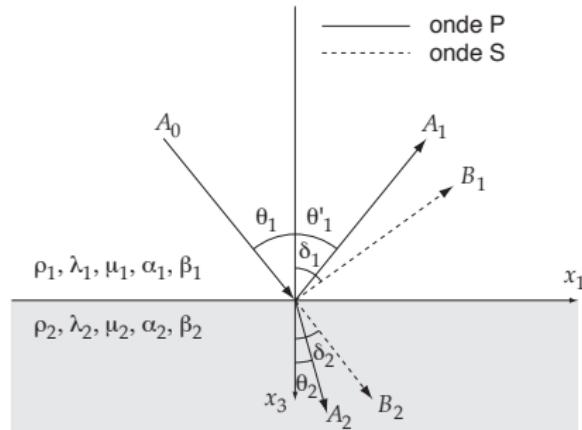
Couche mince et tuning

Convention

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

Références



- Forme générale de la loi de Snell-Descartes :

$$\frac{\sin \theta_1}{\alpha_1} = \frac{\sin \delta_1}{\beta_1} = \frac{\sin \theta_2}{\alpha_2} = \frac{\sin \delta_2}{\beta_2} = p. \quad (2)$$

- La conversion, la réflexion ou la transmission ne change pas la composante de la lenteur parallèle à l'interface.

Introduction

Réflexion à une interface

Conditions aux frontières

Équations de Zoeppritz

Réflecteur courbe

Couche mince et tuning

Convention

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

Références

- Considérons des ondes dans le plan (x_1 - x_3) et une onde incidente

$$\begin{aligned}
 \varphi_0 &= A_0 \exp[i\omega(lx_1 + nx_3)/\alpha_1] \\
 &= A_0 \exp[i\omega(x_1 \sin \theta_1 - x_3 \cos \theta_1)/\alpha_1] \\
 &= A_0 \exp[i\omega p(x_1 - x_3 \cot \theta_1)] \\
 &= A_0 e^{i\omega \zeta_0}
 \end{aligned} \tag{3}$$

avec

- p le paramètre du rai;
- $\zeta_0 = p(x_1 - x_3 \cot \theta_1)$
- Note : le facteur $e^{-i\omega t}$ est omis car il s'annule par la suite.

Introduction

Réflexion à une interface

Conditions aux frontières

Équations de Zoeppritz

Réflecteur courbe

Couche mince et tuning

Convention

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

Références

- À l'interface, cette onde génère

$$\begin{aligned}\varphi_1 &= A_1 e^{i\omega\zeta_1}, & \varphi_2 &= A_2 e^{i\omega\zeta_2}, \\ \varphi'_1 &= B_1 e^{i\omega\zeta'_1}, & \varphi'_2 &= B_2 e^{i\omega\zeta'_2}\end{aligned}\tag{4}$$

où

$$\begin{aligned}\zeta_1 &= p(x_1 + x_3 \cot \theta_1), & \zeta_2 &= p(x_1 - x_3 \cot \theta_2), \\ \zeta'_1 &= p(x_1 + x_3 \cot \delta_1), & \zeta'_2 &= p(x_1 - x_3 \cot \delta_2).\end{aligned}\tag{5}$$

et le symbole ' signifie que la perturbation est une onde S.

Introduction

Réflexion à une interface

Conditions aux frontières

Équations de Zoeppritz

Réflecteur courbe

Couche mince et tuning

Convention

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

Références

- Le déplacement \mathbf{u} est la somme de ces ondes;
- Les composantes du déplacement sont :

$$\begin{aligned} u_1|_1 &= A_0 \sin \theta_1 e^{i\omega\zeta_0} + A_1 \sin \theta_1 e^{i\omega\zeta_1} + B_1 \cos \delta_1 e^{i\omega\zeta'_1} \\ u_1|_2 &= A_2 \sin \theta_2 e^{i\omega\zeta_2} - B_2 \cos \delta_2 e^{i\omega\zeta'_2} \\ u_3|_1 &= -A_0 \cos \theta_1 e^{i\omega\zeta_0} + A_1 \cos \theta_1 e^{i\omega\zeta_1} - B_1 \sin \delta_1 e^{i\omega\zeta'_1} \\ u_3|_2 &= -A_2 \cos \theta_2 e^{i\omega\zeta_2} - B_2 \sin \delta_2 e^{i\omega\zeta'_2} \end{aligned}$$

- À $x_3 = 0$, les conditions sont telles que

$$u_1|_1 = u_1|_2, \quad u_3|_1 = u_3|_2, \quad \tau_{13}|_1 = \tau_{13}|_2, \quad \tau_{33}|_1 = \tau_{33}|_2$$

et tout les facteurs exponentiels se réduisent à $e^{i\omega p x_1}$.

Introduction

Réflexion à une interface

Conditions aux frontières

Équations de Zoeppritz

Réflecteur courbe

Couche mince et tuning

Convention

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

Références

- À partir des équations précédentes et en utilisant la loi de Hooke, on trouve les équations de Zoeppritz :

$$(-A_0 + A_1) \cos \theta_1 - B_1 \sin \delta_1 = -A_2 \cos \theta_2 - B_2 \sin \delta_2 \quad (6)$$

$$(A_0 + A_1) \sin \theta_1 + B_1 \cos \delta_1 = A_2 \sin \theta_2 - B_2 \cos \delta_2 \quad (7)$$

$$\begin{aligned} (A_0 + A_1) Z_1 \cos 2\delta_1 - B_1 W_1 \sin 2\delta_1 \\ = A_2 Z_2 \cos 2\delta_2 + B_2 W_2 \sin 2\delta_2 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} (-A_0 + A_1) \frac{\beta_1}{\alpha_1} W_1 \sin 2\theta_1 + B_1 W_1 \cos 2\delta_1 \\ = -A_2 \frac{\beta_2}{\alpha_2} W_2 \sin 2\theta_2 + B_2 W_2 \cos 2\delta_2 \end{aligned} \quad (9)$$

où $Z_i = \rho_i \alpha_i$ et $W_i = \rho_i \beta_i$ sont les impédances.

Introduction

Réflexion à une interface

Conditions aux frontières

Équations de Zoeppritz

Réflecteur courbe

Couche mince et tuning

Convention

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

Références

- En utilisant la loi de Snell pour trouver les angles et en posant A_0 , il reste quatre inconnues aux équations de Zoeppritz.
- Des équations similaires peuvent être dérivées pour une onde S incidente.
- À incidence normale ($\theta_1 = 0$), on trouve $B_1 = B_2 = 0$, i.e. il n'y a pas de conversion;
 - Les coefficients de réflexion R et transmission T valent

$$R = \frac{A_1}{A_0} = \frac{\alpha_2 \rho_2 - \alpha_1 \rho_1}{\alpha_2 \rho_2 + \alpha_1 \rho_1} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}, \quad (10)$$

$$T = \frac{A_2}{A_0} = \frac{2\alpha_1 \rho_1}{\alpha_2 \rho_2 + \alpha_1 \rho_1} = \frac{2Z_1}{Z_2 + Z_1}.$$

- De façon générale, on peut considérer que si $\theta_0 < 15^\circ$ les résultats pour une incidence normale s'appliquent;

Zoeppritz

Introduction

Réflexion à une
interface

Conditions aux
frontières

Équations de Zoeppritz

Réflecteur courbe

Couche mince et tuning

Convention

Méthodes de l'AVO

Séquence de
traitement

Références

On peut trouver des utilitaires web interactifs pour calculer les coefficients de réflexion sur le site du consortium CREWES :
<http://www.crewes.org/ResearchLinks/ExplorerPrograms/>

Introduction

Réflexion à une interface

Conditions aux frontières

Équations de Zoeppritz

Réflecteur courbe

Couche mince et tuning

Convention

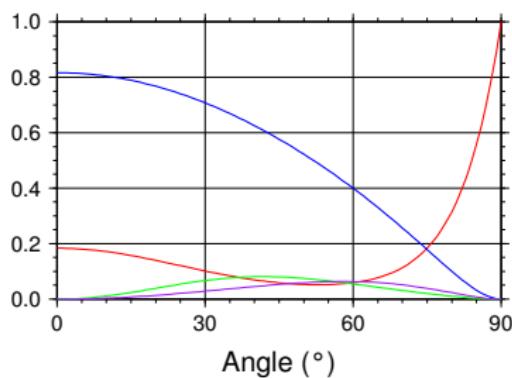
Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

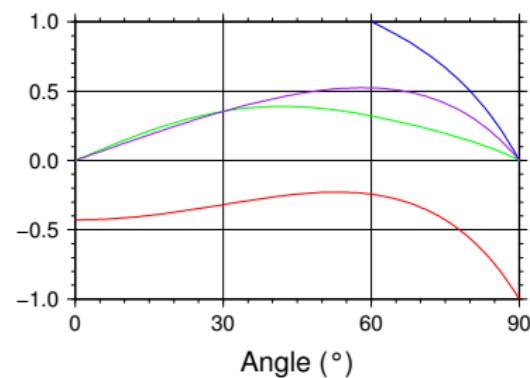
Références

$$\alpha_2/\alpha_1=0.5, \rho_2/\rho_1=0.8, \sigma_1=0.3, \sigma_2=0.25$$

Énergie



Amplitude



— A_1 — A_2 — B_1 — B_2

Introduction

Réflexion à une interface

Conditions aux frontières

Équations de Zoeppritz

Réflecteur courbe

Couche mince et tuning

Convention

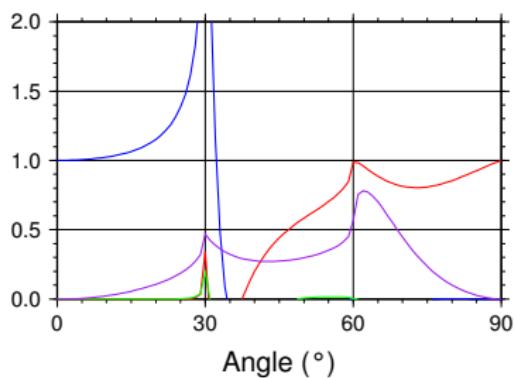
Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

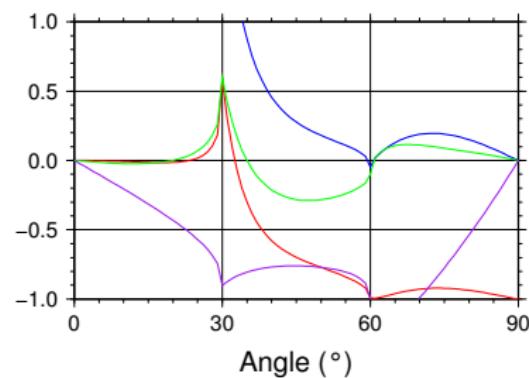
Références

$$\alpha_2/\alpha_1=2.0, \rho_2/\rho_1=0.5, \sigma_1=0.3, \sigma_2=0.25$$

Énergie



Amplitude



— A₁

— A₂

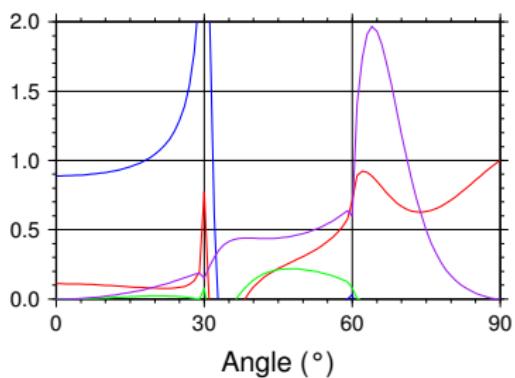
— B₁

— B₂

[Introduction](#)[Réflexion à une interface](#)[Conditions aux frontières](#)[Équations de Zoeppritz](#)[Réflecteur courbe](#)[Couche mince et tuning](#)[Convention](#)[Méthodes de l'AVO](#)[Séquence de traitement](#)[Références](#)

$$\alpha_2/\alpha_1=2.0, \rho_2/\rho_1=1.0, \sigma_1=0.25, \sigma_2=0.25$$

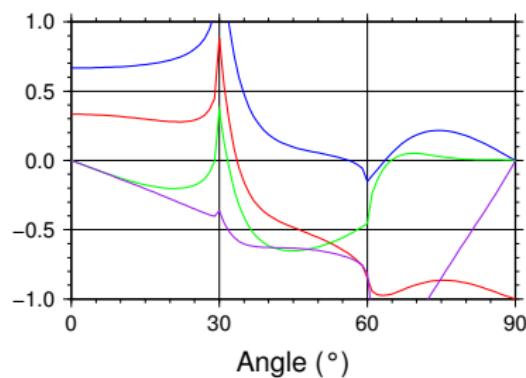
Énergie



— A_1

— A_2

Amplitude



— B_1

— B_2

Réflecteur courbe

Introduction

Réflexion à une interface

Conditions aux frontières

Équations de Zoeppritz

Réflecteur courbe

Couche mince et tuning

Convention

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

Références

- Si le réflecteur est courbe, l'énergie sera focalisée ou dispersée selon le sens de la courbure;
- Soit la courbure C , de rayon r , positive pour un réflecteur anticinal et négative pour un synclinal;
- Soit le ratio CE défini comme le rapport de l'amplitude réfléchie par un réflecteur courbe sur l'amplitude réfléchie par un réflecteur plat,

$$CE = \frac{A_{\text{courbe}}}{A_{\text{plat}}};$$

- L'effet de la courbure C sur la variation de l'amplitude en fonction de l'angle d'incidence θ à une profondeur z est

$$CE(\theta) = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{z}{C \cos^2 \theta}}}.$$
(11)

où $C = r$, + pour anticinal, - pour synclinal.

Réflecteur courbe

Introduction

Réflexion à une interface

Conditions aux frontières

Équations de Zoeppritz

Réflecteur courbe

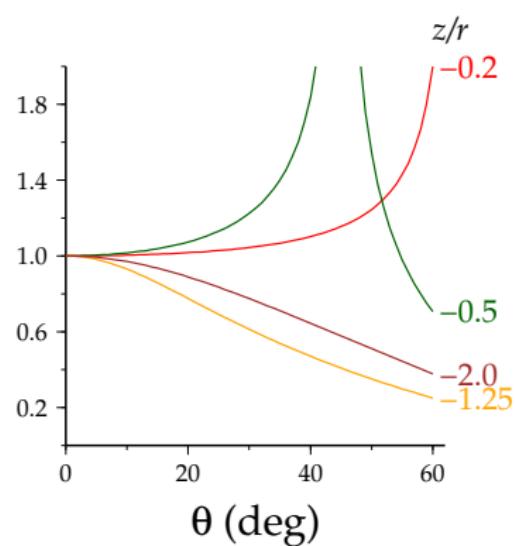
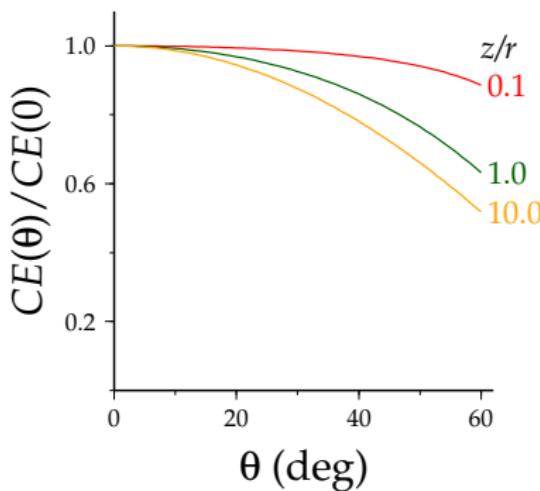
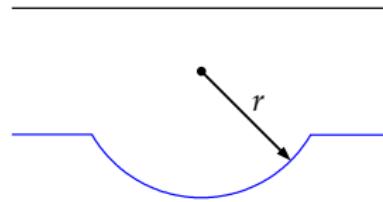
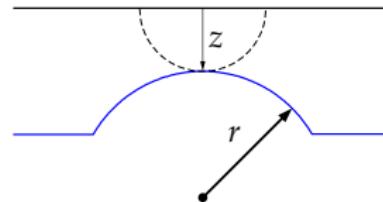
Couche mince et tuning

Convention

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

Références



Couche mince et *tuning*

Introduction

Réflexion à une
interface

Conditions aux
frontières

Équations de Zoeppritz

Réflecteur courbe

Couche mince et tuning

Convention

Méthodes de l'AVO

Séquence de
traitement

Références

- Si les réflecteurs sont rapprochés, il y aura un effet de *tuning* qui va affecter l'amplitude des ondes réfléchies ;
- Le contraste des propriétés physiques n'est plus le seul facteur affectant le coefficient de réflexion ;
- Soit la réponse au sommet d'une couche épaisse :

$$d(t, y) = R(y)p(t),$$

où

- y est le déport,
- R est le coefficient de réflexion,
- $p(t)$ est l'ondelette sismique.

Couche mince et tuning

Introduction

Réflexion à une interface

Conditions aux frontières

Équations de Zoeppritz

Réflecteur courbe

Couche mince et tuning

Convention

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

Références

- Bakke et Ursin (1998) ont montré que la réponse pour une couche mince de vitesse V est

$$d(t, y) \approx R(y)\Delta T(0)C(y)p'(t),$$

où

- $p'(t)$ est la dérivée de $p(t)$,
- $\Delta T(0)$ est le temps de parcours dans la couche pour $y=0$

et

$$C(y) = \frac{T(0)}{T(y)} \left[1 + \frac{V_{RMS}^2 - V^2}{2T(0)^2 V_{RMS}^4} y^2 \right]$$

où la vitesse RMS est calculée jusqu'à la couche.

- On observe :

- l'ondelette change de forme et passe de $p(t)$ à $p'(t)$;
- l'amplitude à incidence normale passe de $R(0)$ à $R(0)\Delta T(0)$;
- la réponse AVO est modifiée par $C(y)$.

Convention de polarité de l'ondelette

Introduction

Réflexion à une interface

Conditions aux frontières

Équations de Zoeppritz

Réflecteur courbe

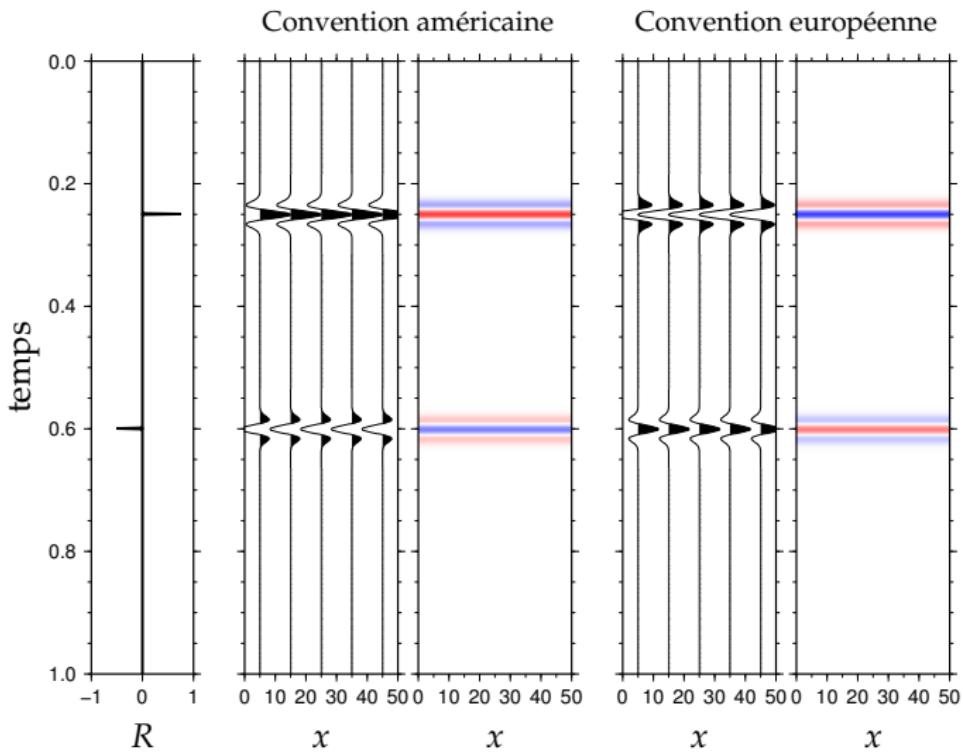
Couche mince et tuning

Convention

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

Références



Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_P - R_S$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_P - R_S$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

- L'utilisation des équations de Zoeppritz demande l'inversion d'une matrice 4×4 avec des termes complexes;
- On cherche une expression plus pratique pour l'amplitude de l'onde P réfléchie, soit le coefficient A_1 des équations de Zoeppritz, ou son équivalent le coefficient de réflexion R ;
- On examine ensuite comment la variation d'une ou plusieurs propriétés affecte R .

Approximation de Aki & Richards

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_p - R_s$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

- En considérant que les variations de propriétés sont faibles, on peut écrire

$$R(\theta) = \left[\frac{1}{2} (1 + \tan^2 \theta) \right] \frac{\Delta\alpha}{\alpha} - \left[4 \frac{\beta^2}{\alpha^2} \sin^2 \theta \right] \frac{\Delta\beta}{\beta} + \left[\frac{1}{2} \left(1 - 4 \frac{\beta^2}{\alpha^2} \sin^2 \theta \right) \right] \frac{\Delta\rho}{\rho}, \quad (12)$$

avec

- $\alpha = (\alpha_1 + \alpha_2)/2$, la vitesse moyenne de l'onde P;
- $\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$;
- $\beta = (\beta_1 + \beta_2)/2$, la vitesse moyenne de l'onde S;
- $\Delta\beta = \beta_2 - \beta_1$;
- $\rho = (\rho_1 + \rho_2)/2$, la densité moyenne;
- $\Delta\rho = \rho_2 - \rho_1$;
- $\theta = (\theta_1 + \theta_2)/2$, la moyenne de l'angle d'incidence et de l'onde transmise.

Approximation de Aki & Richards

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_p - R_s$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

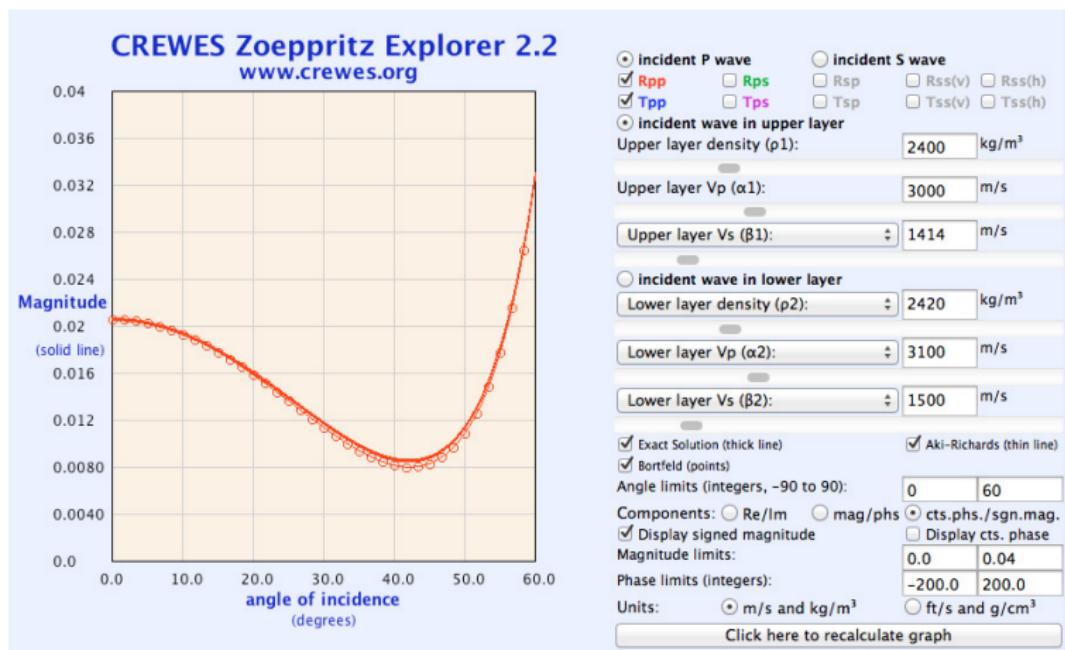
Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

Faibles contrastes



Approximation de Aki & Richards

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_p - R_s$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

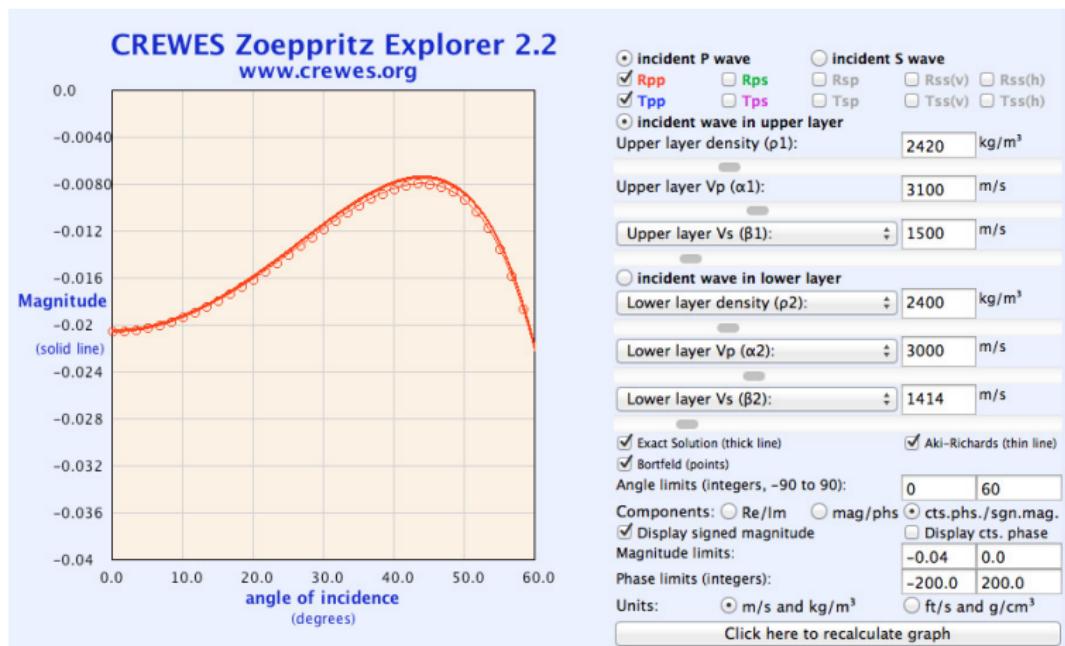
Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

Faibles contrastes (couches inter-changées)



Approximation de Aki & Richards

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_p - R_s$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

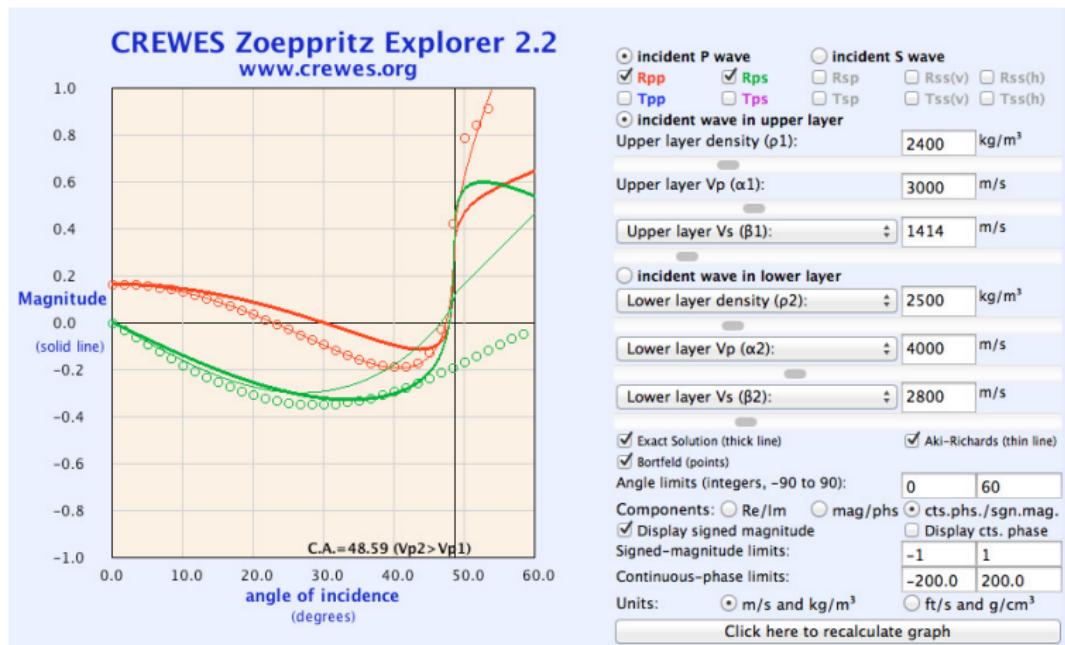
Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

Contrastes plus prononcés



Approximation de Shuey

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_P - R_S$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

- Reprenons l'approximation de Aki & Richards

$$R(\theta) = \underbrace{\left[\frac{1}{2} (1 + \tan^2 \theta) \right] \frac{\Delta\alpha}{\alpha}}_1 - \underbrace{\left[4 \frac{\beta^2}{\alpha^2} \sin^2 \theta \right] \frac{\Delta\beta}{\beta}}_2 + \underbrace{\left[\frac{1}{2} \left(1 - 4 \frac{\beta^2}{\alpha^2} \sin^2 \theta \right) \right] \frac{\Delta\rho}{\rho}}_3.$$

- Les 3 termes décrivent séparément les variations de la vitesse de l'onde P, de l'onde S, et de la densité;
- En pratique, on observe l'effet combiné des variations de ces 3 paramètres;
- Il est plus pratique de récrire l'équation (12) en fonction de l'angle d'incidence.

Approximation de Shuey

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_p - R_s$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

- Ainsi, nous obtenons

$$\begin{aligned}
 R(\theta) = & \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\Delta\alpha}{\alpha} + \frac{\Delta\rho}{\rho} \right) \right] \\
 & + \left[\frac{1}{2} \frac{\Delta\alpha}{\alpha} - 4 \frac{\beta^2}{\alpha^2} \frac{\Delta\beta}{\beta} - 2 \frac{\beta^2}{\alpha^2} \frac{\Delta\rho}{\rho} \right] \sin^2 \theta \quad (13) \\
 & + \left[\frac{1}{2} \frac{\Delta\alpha}{\alpha} \right] (\tan^2 \theta - \sin^2 \theta).
 \end{aligned}$$

- Pour caractériser un réservoir, il est intéressant de quantifier le coefficient de Poisson σ , relié au fluide saturant la roche;
- La relation avec les vitesses α et β est

$$\beta^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{1 - 2\sigma}{1 - \sigma} \right) \alpha^2. \quad (14)$$

Approximation de Shuey

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_P - R_S$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

- En dérivant l'équation (14), on trouve

$$\frac{\Delta\beta}{\beta} = \frac{\Delta\alpha}{\alpha} - \frac{1}{2} \frac{\Delta\sigma}{(1-\sigma)(1-2\sigma)}. \quad (15)$$

- Par ailleurs, l'amplitude de la réflexion à incidence normale est

$$R_P = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta\alpha}{\alpha} + \frac{\Delta\rho}{\rho} \right). \quad (16)$$

- En définissant

$$H = \frac{\Delta\alpha/\alpha}{\Delta\alpha/\alpha + \Delta\rho/\rho}, \quad (17)$$

on remarque que

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = 2R_PH \quad \text{et} \quad \frac{\Delta\rho}{\rho} = 2R_P(1-H). \quad (18)$$

Approximation de Shuey

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_P - R_S$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

- Après quelques substitutions, on arrive à

$$R(\theta) = R_P + \left[R_P H_0 + \frac{\Delta\sigma}{(1-\sigma)^2} \right] \sin^2 \theta + \left[\frac{1}{2} \frac{\Delta\alpha}{\alpha} \right] (\tan^2 \theta - \sin^2 \theta), \quad (19)$$

avec

$$H_0 = H - 2(1+H) \frac{1-2\sigma}{1-\sigma}. \quad (20)$$

- L'équation (19) est connue sous le nom d'équation de Shuey à trois termes.

Approximation de Shuey

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_P - R_S$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

- Aux angles intermédiaires ($0 < \theta < 30^\circ$), le 3^e terme est négligeable, et nous avons l'équation de Shuey à deux termes

$$R(\theta) = R_P + G \sin^2 \theta, \quad (21)$$

avec

$$G = R_P H_0 + \frac{\Delta\sigma}{(1 - \sigma)^2}. \quad (22)$$

- En pratique, on met en graphiques les amplitudes pointées après correction NMO/migration *pre-stack* en fonction de $\sin^2 \theta$, ce qui permet d'ajuster une droite ;
 - la pente donne le «gradient AVO», relié à la variation du coefficient de Poisson;
 - l'ordonnée donne «l'intercepte AVO», la réflectivité à incidence normale R_P , ce qui permet de déterminer l'impédance acoustique qui est liée à la porosité.

Approximation de Shuey

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_p - R_s$ et produit AVO

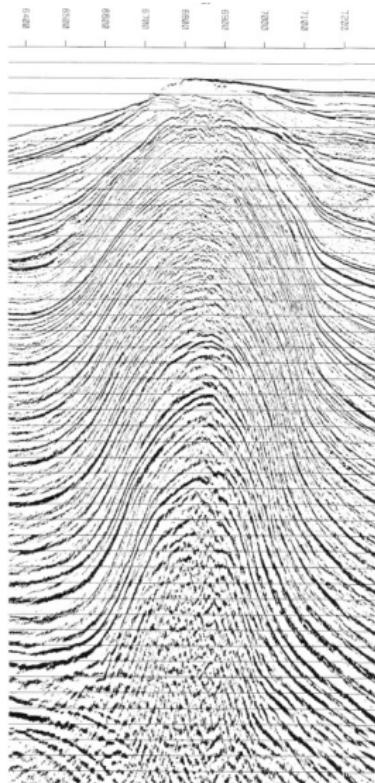
Méthode de Smith & Gidlow

Méthode de Goodway

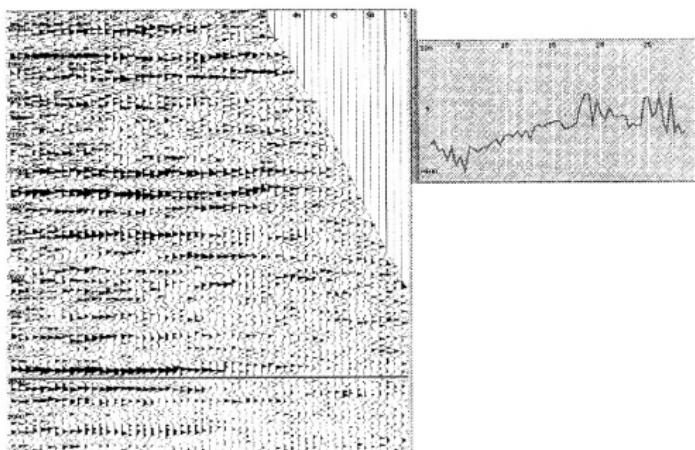
Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références



← Section migrée avant sommation
↓ Portion d'un CMP et amplitudes pointées



Approximation de Shuey

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_p - R_s$ et produit AVO

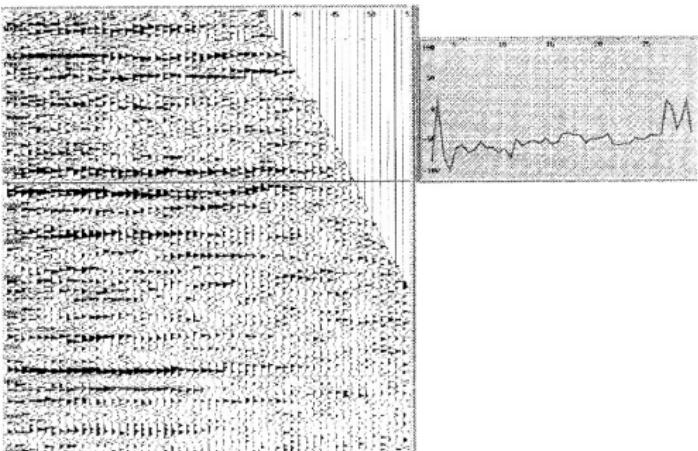
Méthode de Smith & Gidlow

Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références



← Section migrée avant sommation
↓ Portion d'un CMP et amplitudes pointées

Approximation de Shuey

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_p - R_s$ et produit AVO

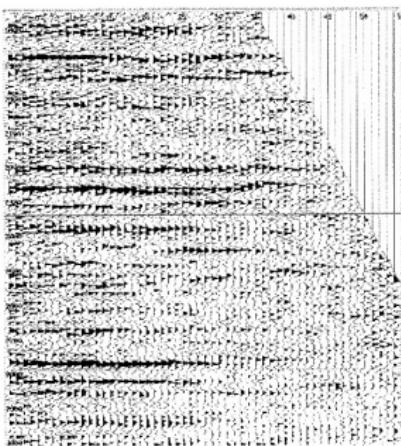
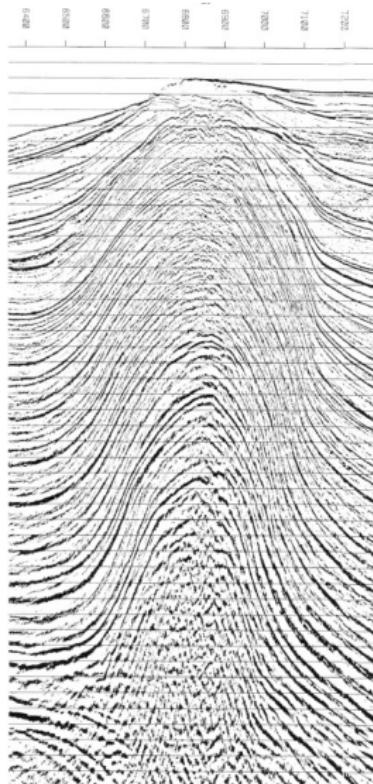
Méthode de Smith & Gidlow

Méthode de Goodway

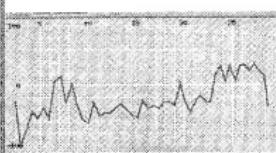
Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références



← Section migrée avant sommation
↓ Portion d'un CMP et amplitudes
pointées



Approximation de Shuey

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_p - R_s$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

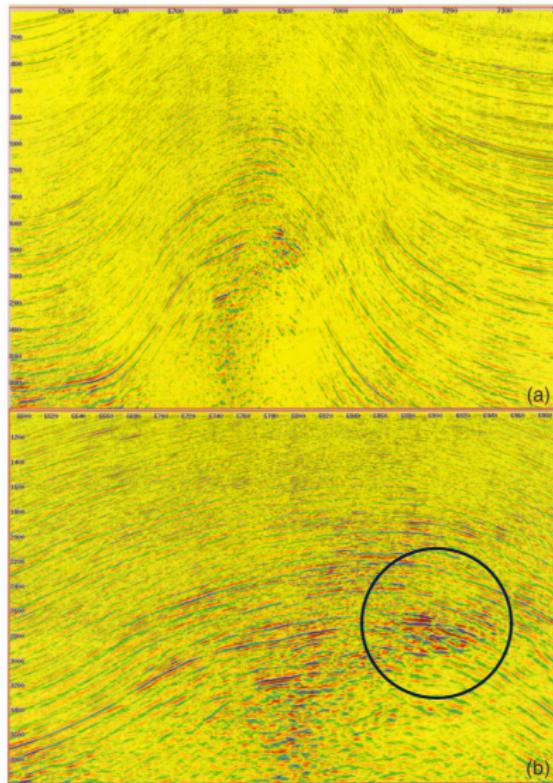
Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

Section du gradient AVO



Approximation de Shuey

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_p - R_s$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

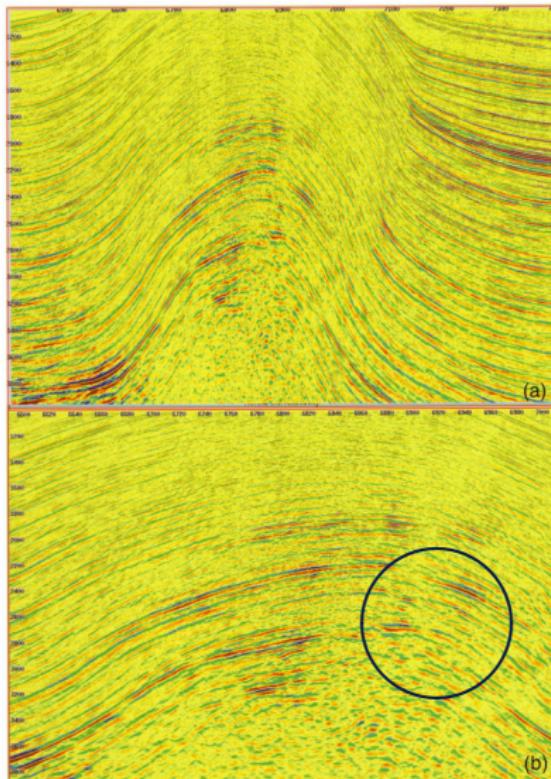
Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

Section de l'intercepte AVO



Classes AVO

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_p - R_s$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

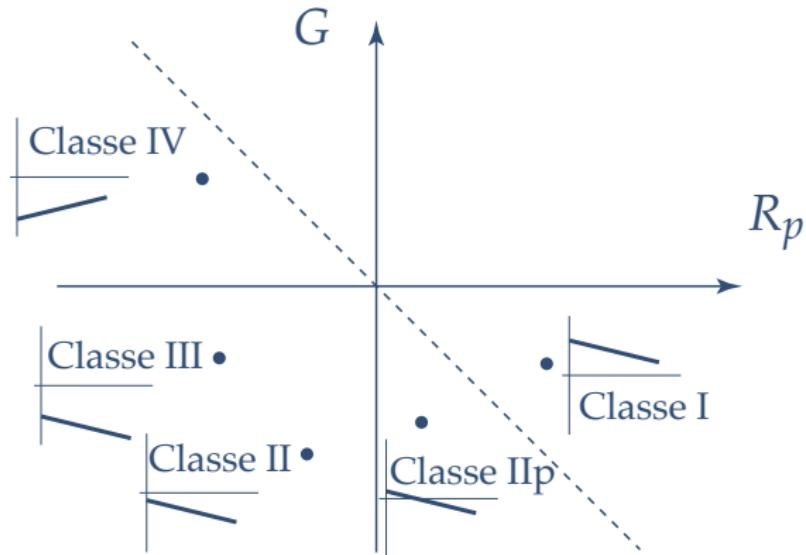
Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

- Une classification a été établie au fil du temps pour distinguer les anomalies AVO.



Classes AVO

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_p - R_s$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

Classe	Impédance relative	Quadrant	R_p	G	Produit AVO
I	Sable à impédance élevée	4^e	+	-	Négatif
II	Faible contraste	4^e	+	-	Négatif
IIp		3^e	-	-	Positif
III	Faible impédance	3^e	-	-	Positif
IV	Faible impédance	2^e	-	+	Négatif

Classes AVO

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_p - R_s$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

- La classe I représente des grès relativement rigides contenant des hydrocarbures. Ces grès présentent une faible sensibilité aux fluides, et peuvent ne pas présenter un *flat spot*, donc difficiles à détecter.
- Les anomalies de la classe II représentent des grès « transparents » avec hydrocarbures, qui apparaissent comme un réflecteur négatif faible. Il ont cependant un gradient G élevé, ce qui permet de les démarquer.
- La classe III est l'anomalie AVO classique avec des R_p et G négatifs. Elle représente des grès relativement «mous» avec une forte sensibilité à la présence de fluides.
- La classe IV est plus rare. Elle correspond à un grès mou saturé en gaz et recouvert d'un shale relativement rigide ayant un ratio V_p/V_s plus élevé que le grès.

Ces classes sont des indicateurs et ne doivent pas être interprétées comme garantes de la présence d'hydrocarbures.

Réflectivité des ondes S

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_P - R_S$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

- Puisque le cisaillement est nul dans les fluides, les ondes S ne sont pas influencées par la nature du fluide dans le réservoir.
- Comment utiliser cette propriété ?
- En éliminant le terme avec $\tan^2 \theta$ de l'équation (13), et en posant que la réflectivité des ondes S est

$$R_S = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta\beta}{\beta} + \frac{\Delta\rho}{\rho} \right), \quad (23)$$

on arrive à

$$\begin{aligned} R(\theta) = R_P + \left(R_P - 8 \frac{\beta^2}{\alpha^2} R_S \right) \sin^2 \theta \\ + \left(2 \frac{\beta^2}{\alpha^2} - \frac{1}{2} \right) \frac{\Delta\rho}{\rho} \sin^2 \theta. \end{aligned} \quad (24)$$

Réflectivité des ondes S

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_P - R_S$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

- Si $\beta/\alpha = 0.5$, le dernier terme de (24) disparaît, et il reste

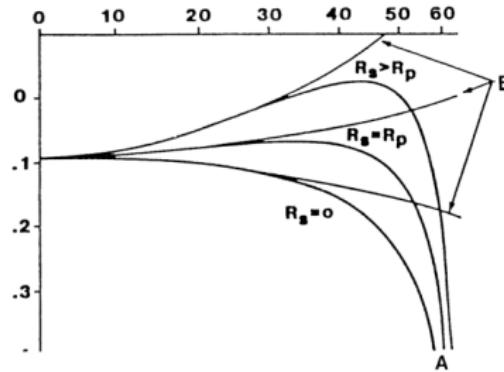
$$R(\theta) = R_P + (R_P - 2R_S) \sin^2 \theta. \quad (25)$$

- En comparant avec (21), on remarque que $G = R_P - 2R_S$, i.e.

$$R_S = \frac{1}{2}(R_P - G). \quad (26)$$

A : Zoepritz

B : Éq. (25)



$R_P - R_S$ et produit AVO

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_P - R_S$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

- La différence $R_P - R_S$ s'avère un bon paramètre pour discriminer des grès à gaz, efficace autant pour les classes I, II et III;
 - Un changement de fluide affecte R_P davantage que R_S , alors qu'un changement de lithologie a sensiblement le même effet sur les deux.
 - Note : on peut montrer que $R_P - R_S = (\Delta\alpha/\alpha - \Delta\beta/\beta)/2$;
- L'expérience a aussi montré que le produit AVO, défini par $R_P G$, est fort utile dans le cas des anomalies de classe III;
 - Des grès mous contenant des hydrocarbures présentent des valeurs de R_P et G fortement négatives et vont donner un produit AVO élevé.

Méthode de Smith & Gidlow

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_p - R_s$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

- À partir de l'équation de Aki & Richards, il est possible d'estimer $\Delta\alpha/\alpha$ et $\Delta\beta/\beta$ si on utilise la relation empirique

$$\rho = k\alpha^{1/4} \quad \text{où } k \text{ est une constante,}$$

et après dérivation

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{1}{4} \frac{\Delta\alpha}{\alpha}.$$

- Après réorganisation et simplification, on trouve

$$R(\theta) = \underbrace{\left[\frac{5}{8} - \frac{1}{2} \frac{\beta^2}{\alpha^2} \sin^2 \theta + \frac{1}{2} \tan^2 \theta \right]}_{a} \frac{\Delta\alpha}{\alpha} - \underbrace{\left[4 \frac{\beta^2}{\alpha^2} \sin^2 \theta \right]}_{b} \frac{\Delta\beta}{\beta}. \quad (27)$$

Méthode de Smith & Gidlow

Introduction

Réflexion à une
interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki &
Richards

Approximation de
Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S
 $R_p - R_s$ et produit AVO

Méthode de Smith &
Gidlow

Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de
traitement

Références

- Pour un CMP de couverture N , chaque point milieu est illuminé N fois ;
- Pour une réflexion donnée, nous avons donc plusieurs traces contenant l'information sur $\Delta\alpha/\alpha$ et $\Delta\beta/\beta$;
- Pour une i^e mesure, on peut écrire

$$R_i = a_i \frac{\Delta\alpha}{\alpha} + b_i \frac{\Delta\beta}{\beta}.$$

- On peut ainsi construire un système comportant N équations et 2 inconnues, que l'on résout par moindres-carrés.

Méthode de Smith & Gidlow

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki &
Richards

Approximation de
Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_p - R_s$ et produit AVO

Méthode de Smith &
Gidlow

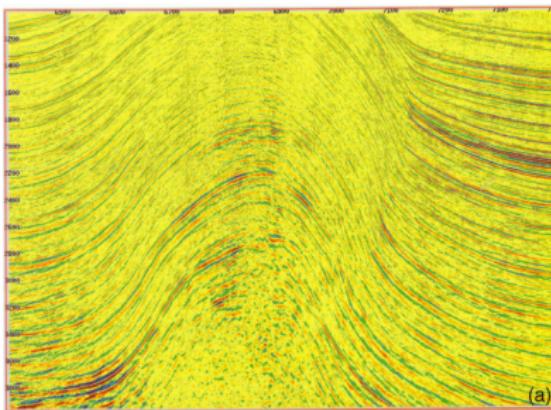
Méthode de Goodway

Relation déport – angle

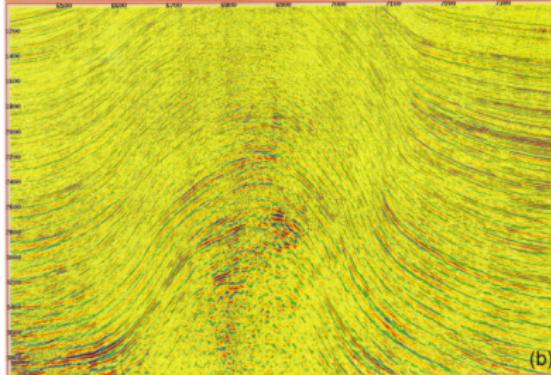
Séquence de
traitement

Références

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha}$$



$$\frac{\Delta\beta}{\beta}$$



Méthode de Smith & Gidlow

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_P - R_S$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

- On sait que les vitesses α et β sont liées au coefficient de Poisson;
- Smith & Gidlow ont défini la réflectivité pseudo-Poisson

$$\frac{\Delta\tilde{\sigma}}{\tilde{\sigma}} = \frac{\Delta\alpha}{\alpha} - \frac{\Delta\beta}{\beta}, \quad (28)$$

qui est équivalente à la différence $R_P - R_S$.

- Par ailleurs, on a observé empiriquement une relation linéaire entre α et β , que l'on peut représenter par

$$\alpha = c_0 + c_1\beta. \quad (29)$$

- Les coefficients c_0 et c_1 diffèrent selon le type de roche.

Méthode de Smith & Gidlow

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki &
Richards

Approximation de
Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_p - R_s$ et produit AVO

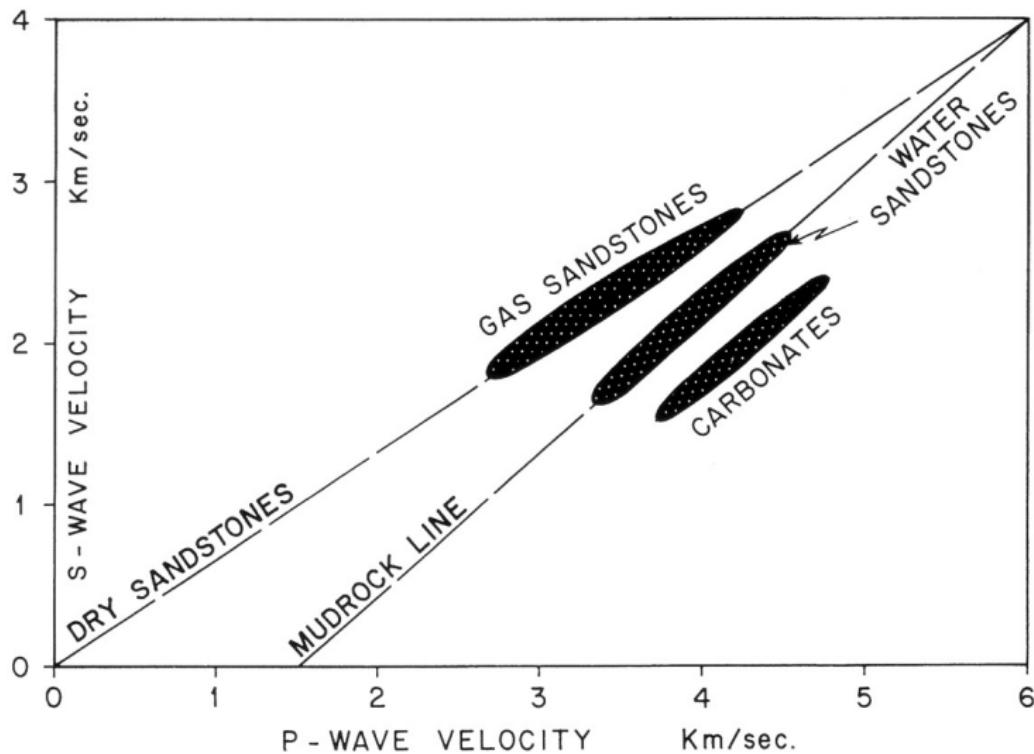
Méthode de Smith &
Gidlow

Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de
traitement

Références



Méthode de Smith & Gidlow

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki &
Richards

Approximation de
Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_p - R_s$ et produit AVO

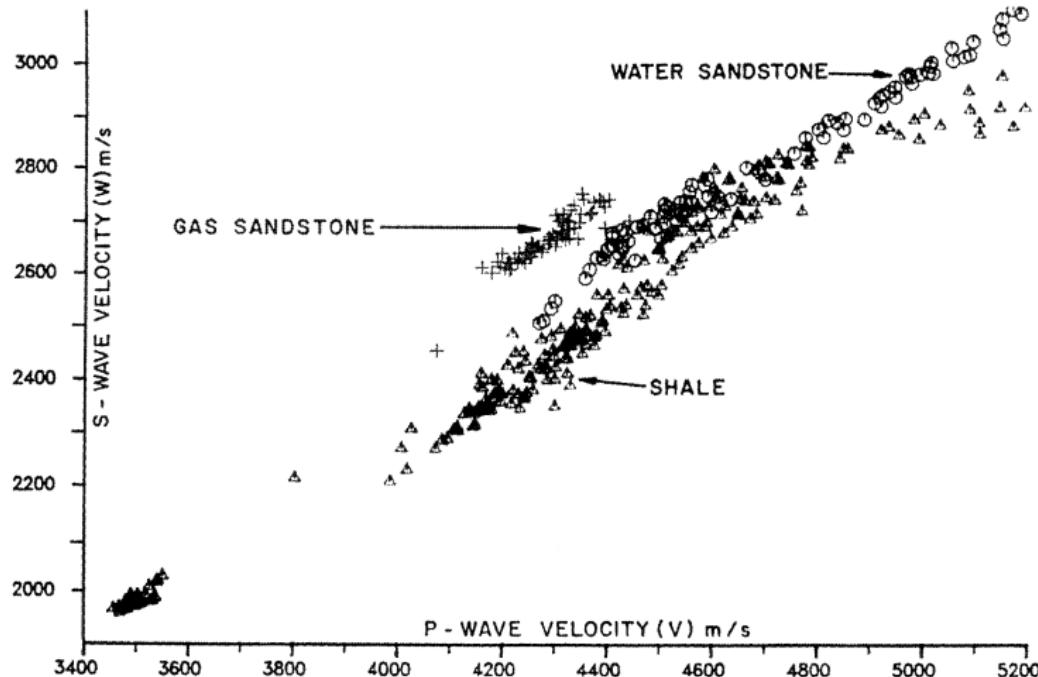
Méthode de Smith &
Gidlow

Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de
traitement

Références



Méthode de Smith & Gidlow

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_p - R_s$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

- Le *facteur fluide* permet de localiser une formation dans le graphe α vs β ;
- Ce facteur est obtenu en dérivant (29), ce qui permet d'écrire

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = c_1 \frac{\beta}{\alpha} \frac{\Delta\beta}{\beta}.$$

- Le *facteur fluide* est défini

$$\Delta F = \frac{\Delta\alpha}{\alpha} - c_1 \frac{\beta}{\alpha} \frac{\Delta\beta}{\beta}. \quad (30)$$

- Si ΔF est proche de 0, la roche est saturée en eau;
- Si le fluide est du gaz, $\Delta F < 0$ au toit et $\Delta F > 0$ à la base du réservoir.

Méthode de Smith & Gidlow

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki &
Richards

Approximation de
Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_p - R_s$ et produit AVO

Méthode de Smith &
Gidlow

Méthode de Goodway

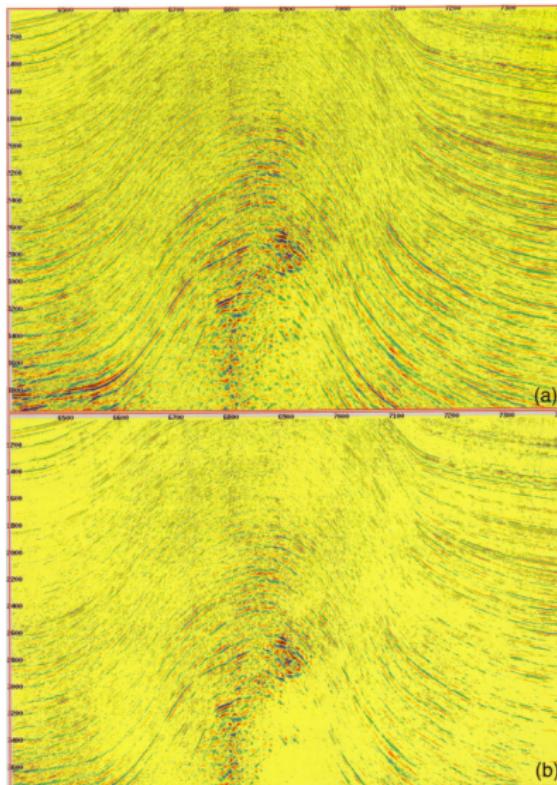
Relation déport – angle

Séquence de
traitement

Références

Pseudo- Poisson

Facteur fluide



Impédance et réflectivité

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_P - R_S$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

- La réflectivité, au sens strict du terme, est obtenu à partir de l'impédance (I), elle même égale au produit vitesse-densité ;
 - Pour les ondes P : $I_P = \alpha\rho$;
 - Pour les ondes S : $I_S = \beta\rho$.
- Ainsi, les réflectivités sont

$$\frac{\Delta I_P}{I_P} = \frac{\Delta\alpha}{\alpha} + \frac{\Delta\rho}{\rho} \quad (31)$$

et

$$\frac{\Delta I_S}{I_S} = \frac{\Delta\beta}{\beta} + \frac{\Delta\rho}{\rho}. \quad (32)$$

Méthode de Goodway

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_P - R_S$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

- Si $\beta/\alpha = 0.5$ et que l'on se restreint aux angles pour lesquels $\tan \theta \approx \sin \theta$, l'approximation de Aki & Richards peut se récrire

$$R(\theta) = \underbrace{(1 + \tan^2 \theta)}_a R_P - \underbrace{(2 \sin^2 \theta)}_b R_S. \quad (33)$$

- Comme dans le cas précédent, on peut construire un système d'équations, avec dans ce cas R_P et R_S comme inconnues;
- On peut ensuite estimer les réflectivités, sachant que

$$\frac{\Delta I_P}{I_P} = 2R_P \quad \text{et} \quad \frac{\Delta I_S}{I_S} = 2R_S.$$

Méthode de Goodway

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_P - R_S$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

- Puisque les vitesses sismiques sont reliées aux constantes de Lamé, les impédances le sont également;
- Ainsi, on trouve que

$$\mu\rho = I_S^2 \quad (34)$$

et

$$\lambda\rho = I_P^2 - 2I_S^2. \quad (35)$$

- Le graphe des attributs $\mu\rho$ vs $\lambda\rho$ permet de mieux distinguer les grès à gaz des grès peu perméables.

Méthode de Goodway

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_p - R_s$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

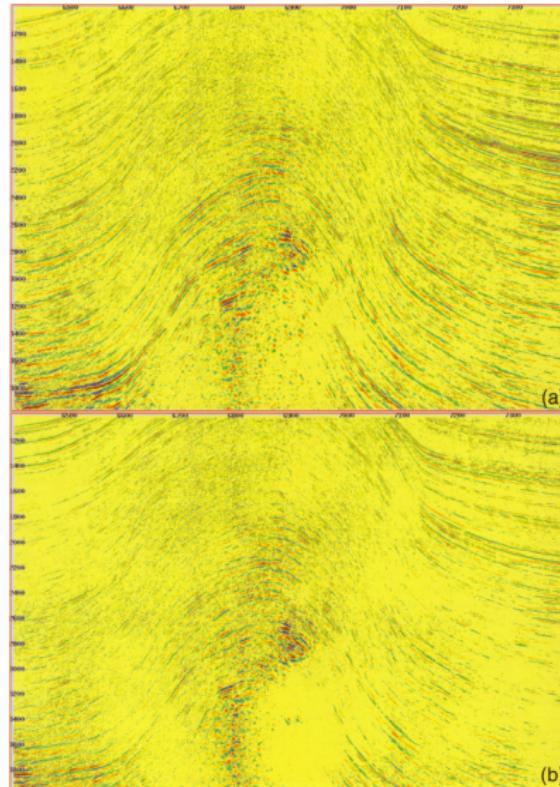
Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

$\mu\rho$



$\lambda\rho$

Méthode de Goodway

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S
 $R_p - R_s$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

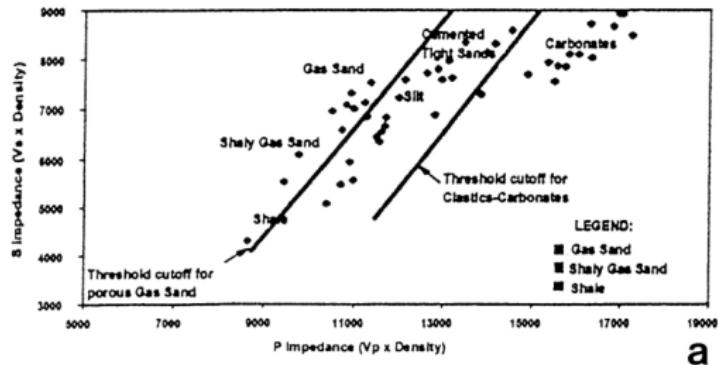
Méthode de Goodway

Relation déport – angle

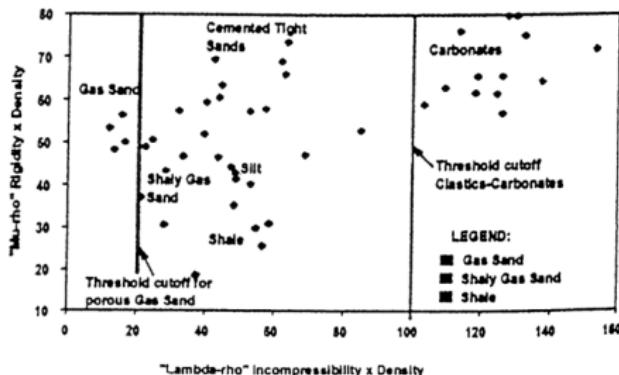
Séquence de traitement

Références

I_P vs I_S



a



b

Relation $x-\theta$

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Approximation de Aki & Richards

Approximation de Shuey

Classes AVO

Réflectivité des ondes S

$R_p - R_s$ et produit AVO

Méthode de Smith & Gidlow

Méthode de Goodway

Relation déport – angle

Séquence de traitement

Références

- Dans la pratique, les données sont classées en fonction du déport x , i.e. la conversion vers θ est requise ;
- Si on considère un milieu en *strates horizontales*, la courbure d'indicatrice est donnée par

$$t^2 = t_0^2 + \frac{x^2}{v_{rms}^2}. \quad (36)$$

- Par définition, le paramètre du rai p est égal à dx/dt , et également à $\sin \theta / v_{int}$ avec v_{int} la vitesse d'intervalle au dessus du réflecteur ;
- En dérivant (36) et en utilisant les définitions précédentes, on trouve que

$$\sin \theta = \frac{v_{int}}{v_{rms}^2} \frac{x}{t}; \quad (37)$$

- L'équation (37) permet donc de passer du domaine du déport x vers le domaine de l'angle d'incidence θ .

Introduction

Réflexion à une
interface

Méthodes de l'AVO

**Séquence de
traitement**

Pré-traitement

Attributs AVO

Attributs AVO 3D

Références

Séquence de traitement

Considérations générales

Introduction

Réflexion à une
interface

Méthodes de l'AVO

Séquence de
traitement

Pré-traitement

Attributs AVO

Attributs AVO 3D

Références

- Il faut veiller à préserver les amplitudes relatives des enregistrements en utilisant une séquence de traitement préliminaire parcimonieuse;
- Il faut veiller à garder le contenu fréquentiel et la largeur de bande du signal;
- Les attributs AVO doivent être obtenus des données (avant sommation) classées en point miroir commun, et non en point milieu commun. Il faut donc faire une migration avant sommation.

Pré-traitement

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

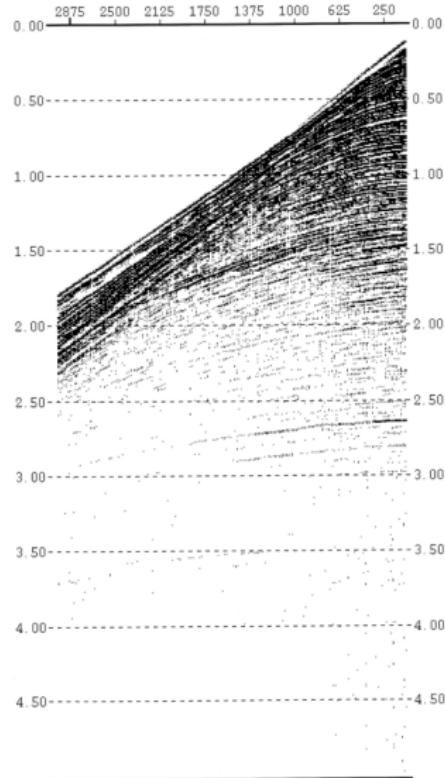
Pré-traitement

Attributs AVO

Attributs AVO 3D

Références

- Levé 2D marin
- Gisement de gaz, Mer du Nord
- Données brutes



Pré-traitement

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

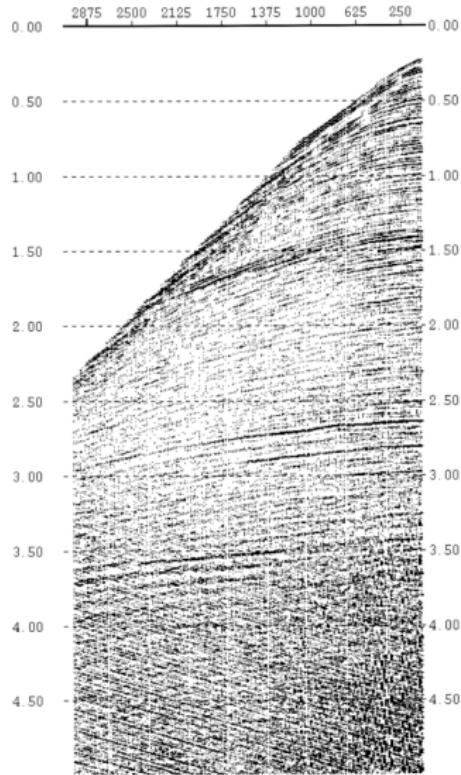
Pré-traitement

Attributs AVO

Attributs AVO 3D

Références

- Élimination des ondes guidées
- Correction de la divergence géométrique



Pré-traitement

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

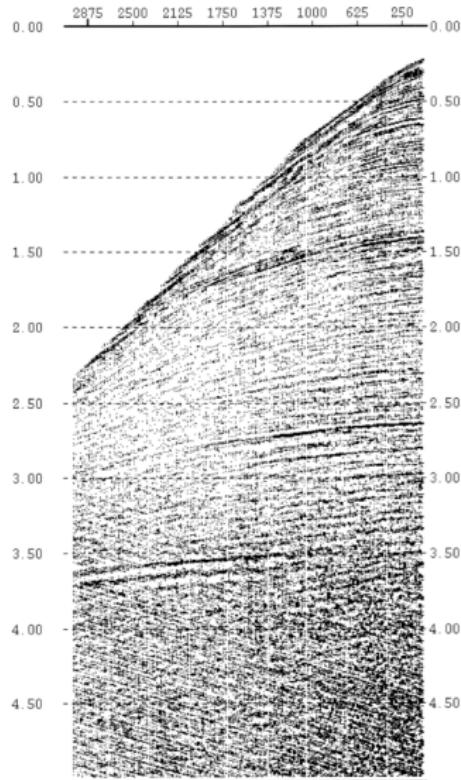
Pré-traitement

Attributs AVO

Attributs AVO 3D

Références

- Application de la *spiking deconvolution* avec un long opérateur (élimination des multiples)



Pré-traitement

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

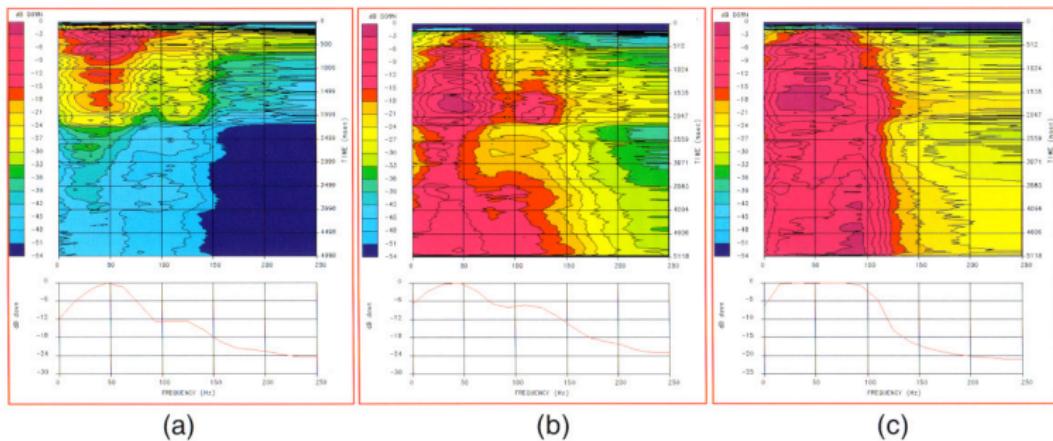
Séquence de traitement

Pré-traitement

Attributs AVO

Attributs AVO 3D

Références



Spectres d'amplitude

- (a) données brutes;
- (b) après élimination des ondes guidées et correction de la divergence géométrique (t^2);
- (c) après la *spiking deconvolution*.

Pré-traitement

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

Pré-traitement

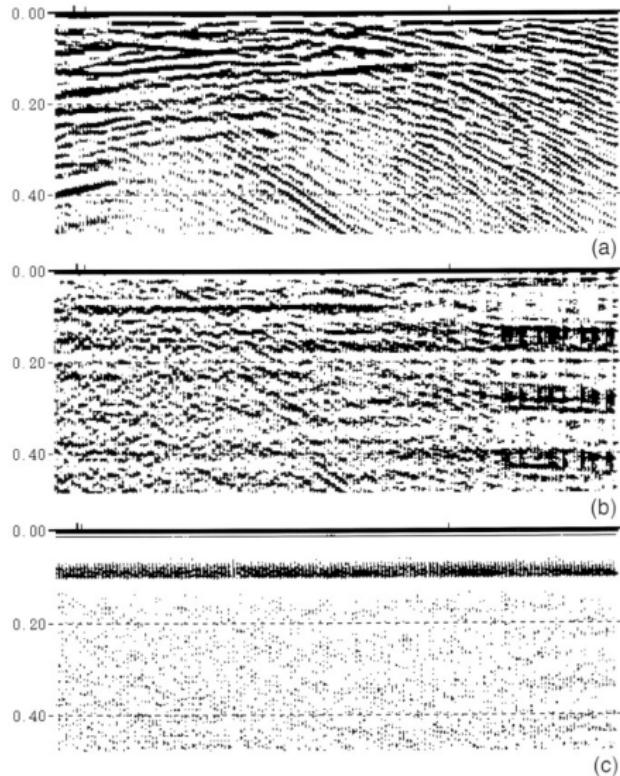
Attributs AVO

Attributs AVO 3D

Références

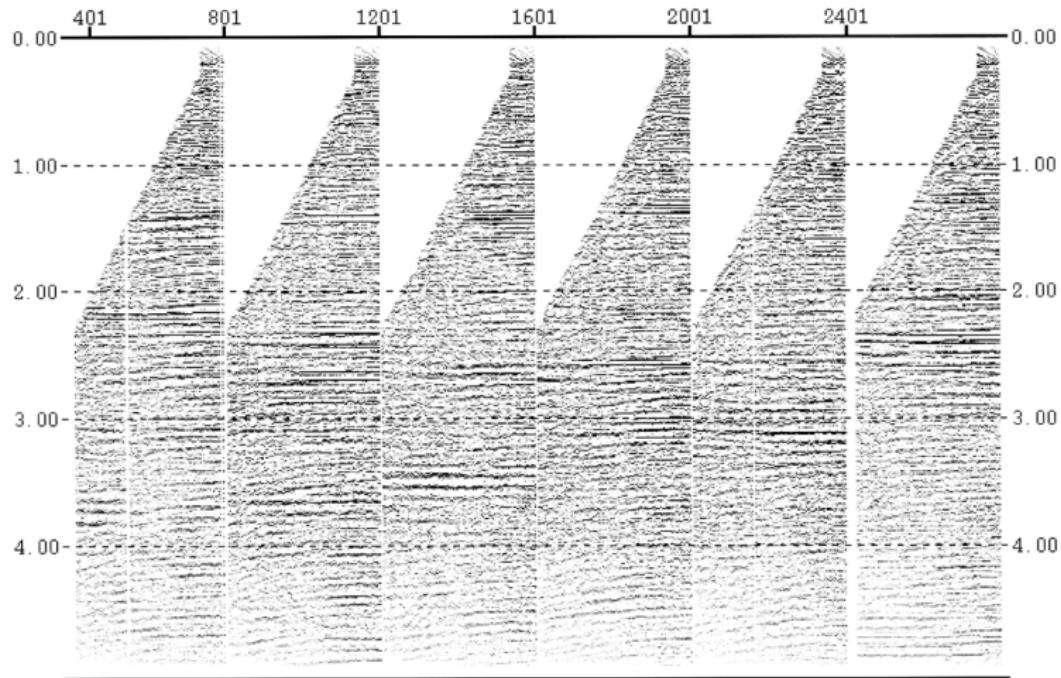
Autocorrélation

- (a) données brutes ;
- (b) après élimination des ondes guidées et correction de la divergence géométrique (t^2) ;
- (c) après la *spiking deconvolution* (multiples éliminés).



Migration temps avant sommation

- Introduction
- Réflexion à une interface
- Méthodes de l'AVO
- Séquence de traitement
- Pré-traitement
- Attributs AVO
- Attributs AVO 3D
- Références



Collections en point miroir commun sélectionnées, migrées
avec modèle de vitesse non optimal

Migration temps avant sommation

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

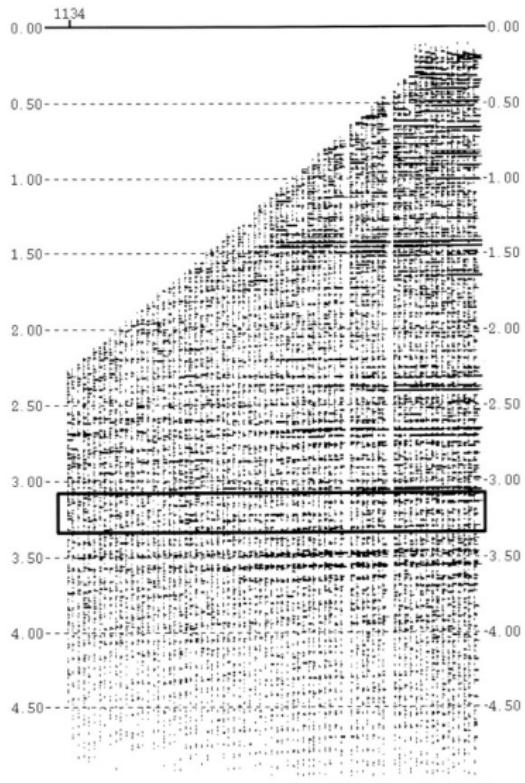
Pré-traitement

Attributs AVO

Attributs AVO 3D

Références

- Zoom sur un PMC
- Réservoir coïncide avec le rectangle



Migration temps avant sommation

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

Pré-traitement

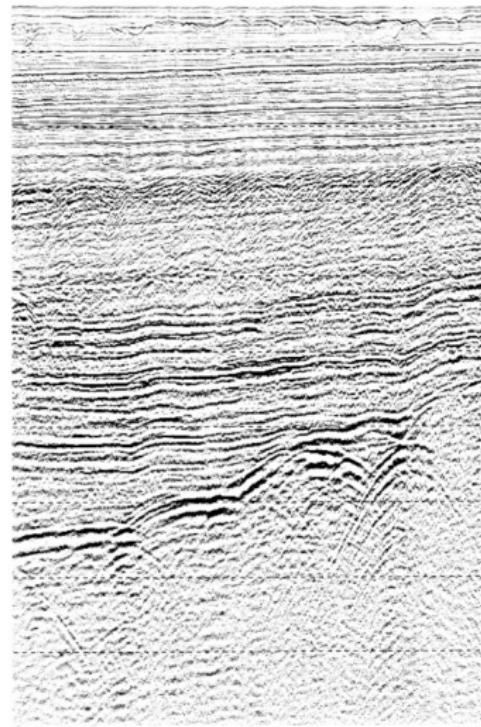
Attributs AVO

Attributs AVO 3D

Références

- Données sommées « démigrées » en utilisant le modèle de vitesse non optimal

:4 564 764 964 1164 1364 1564 1764 1964 2164 23



Migration temps avant sommation

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

Pré-traitement

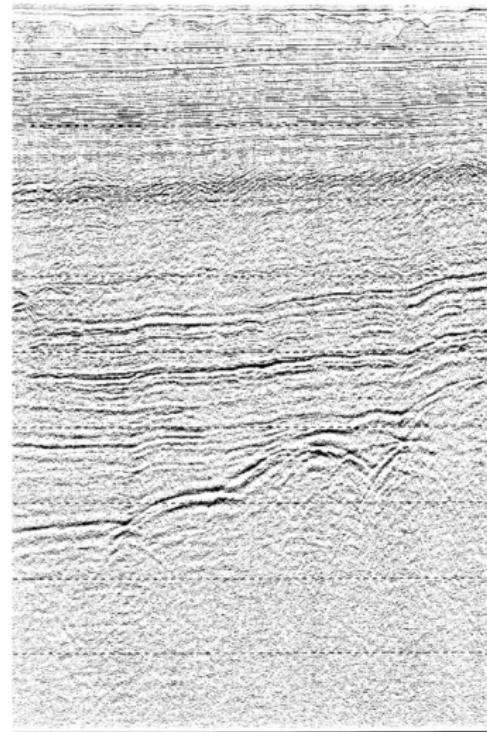
Attributs AVO

Attributs AVO 3D

Références

- Données sommées « démigrées » après déconvolution

14 564 764 964 1164 1364 1564 1764 1964 2164 23



Migration temps avant sommation

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

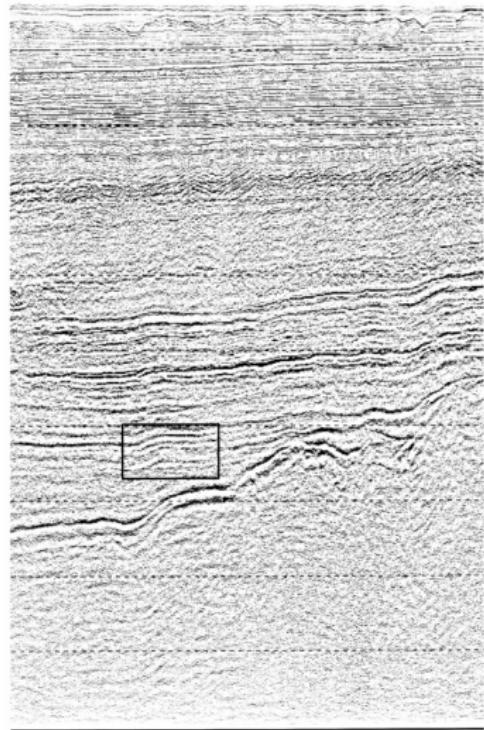
Pré-traitement

Attributs AVO

Attributs AVO 3D

Références

4 564 764 964 1164 1364 1564 1764 1964 2164 23



- Section précédente après migration en utilisant le modèle de vitesse optimal

Migration temps avant sommation

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

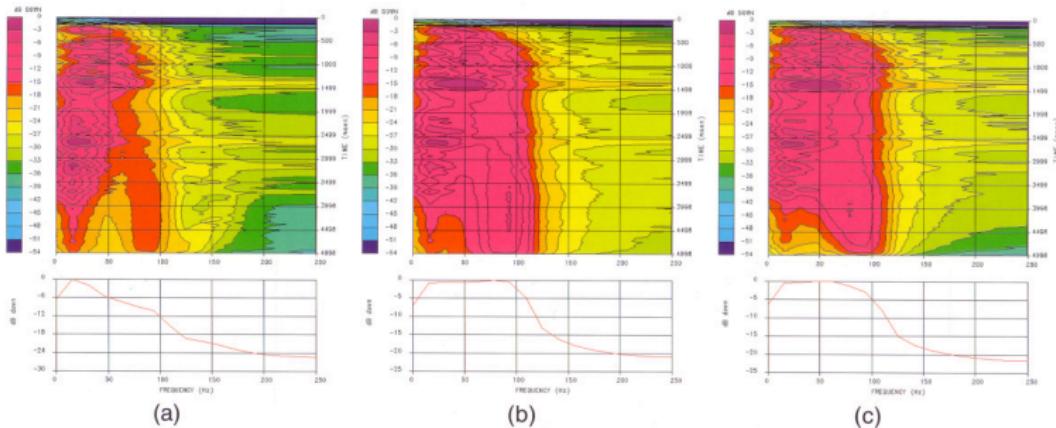
Séquence de traitement

Pré-traitement

Attributs AVO

Attributs AVO 3D

Références



Spectres d'amplitude

- (a) données sommées « démigrées »;
- (b) données sommées après déconvolution;
- (c) section précédente après migration.

Estimation de l'angle d'incidence

Introduction

Réflexion à une
interface

Méthodes de l'AVO

Séquence de
traitement

Pré-traitement

Attributs AVO

Attributs AVO 3D

Références

- L'estimation de l'angle d'incidence requiert la connaissance du modèle de vitesse en fonction de la profondeur;
- La procédure suivante est généralement applicable
 - Relever des horizons sur la section migrée après sommation, dans le domaine du temps;
 - Localiser ces horizons sur le modèle de vitesse (rms), et construire des profils de vitesse rms;
 - Obtenir les profils de vitesse d'intervalle correspondants avec la formule de Dix;
 - Convertir les horizons dans le domaine du temps en profondeur en utilisant les profils de vitesse d'intervalle;
 - Combiner les horizons aux profils de vitesse d'intervalle pour construire le modèle.
- Une fois le modèle obtenu, une modélisation par tracé de rais permet de calculer les angles.

Estimation de l'angle d'incidence

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

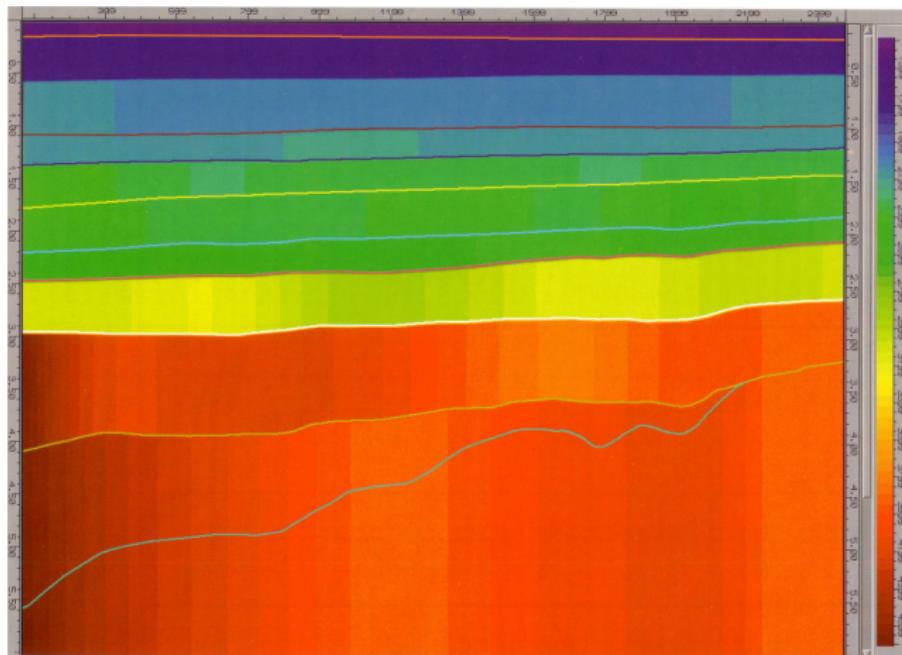
Séquence de traitement

Pré-traitement

Attributs AVO

Attributs AVO 3D

Références



Modèle de vitesse en fonction de la profondeur

Modélisation préliminaire

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

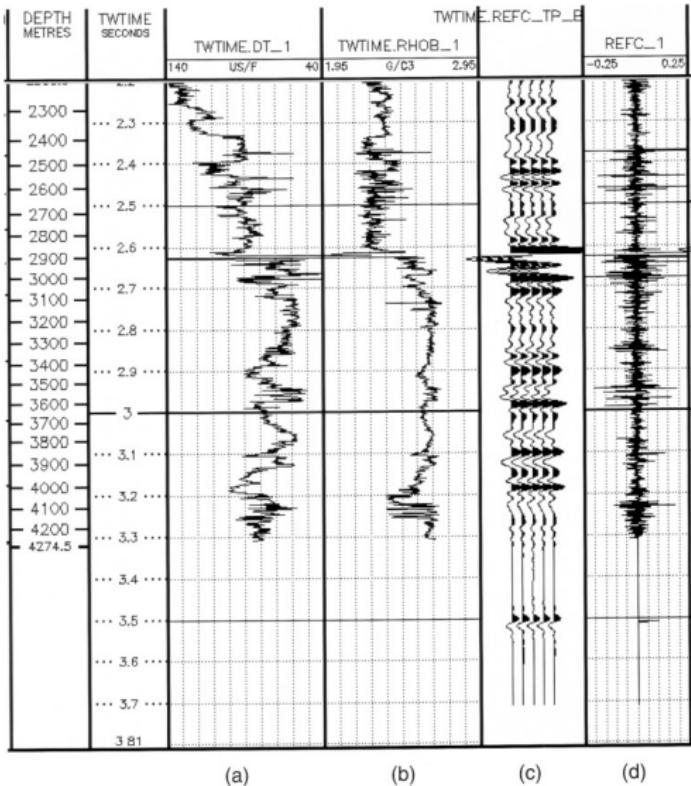
Pré-traitement

Attributs AVO

Attributs AVO 3D

Références

- (a) log sonic;
- (b) log de densité;
- (c) sismogramme synthétique;
- (d) réflectivité calculée avec (a) et (b).



Modélisation préliminaire

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

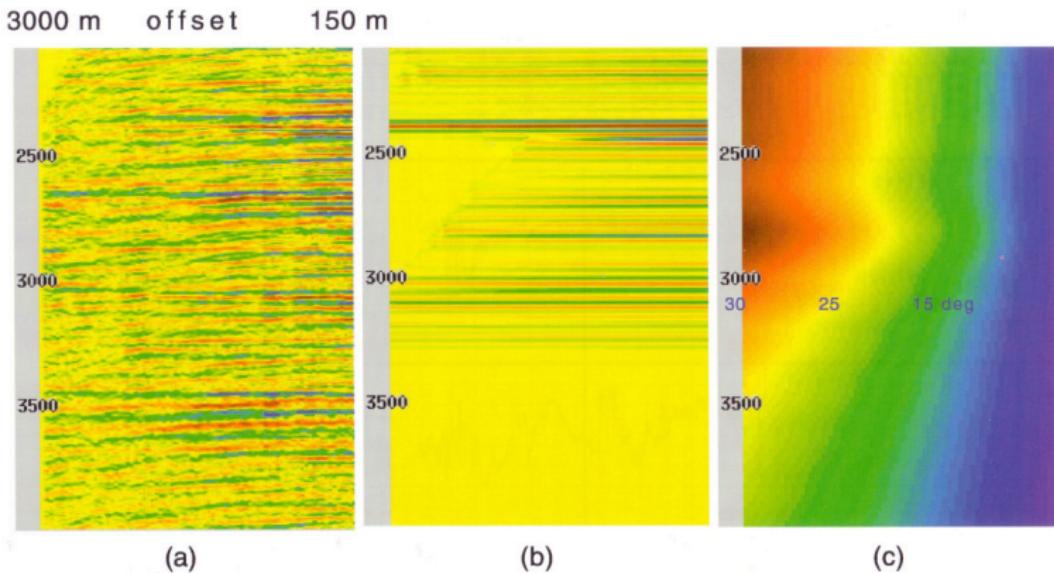
Séquence de traitement

Pré-traitement

Attributs AVO

Attributs AVO 3D

Références



- (a) Portion des données;
- (b) PMC synthétique calculé avec les données de diagraphie, la relation (29) et le modèle de vitesse;
- (c) Angle θ en fonction de x .

Attributs AVO

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

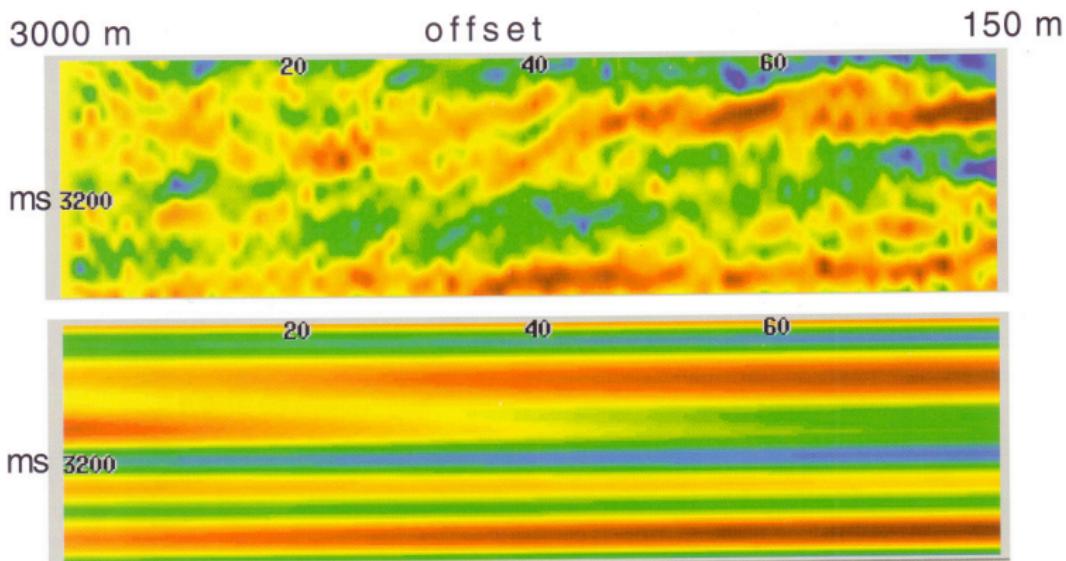
Séquence de traitement

Pré-traitement

Attributs AVO

Attributs AVO 3D

Références



Zoom sur une portion concomitante des données réelles et synthétiques

Attributs AVO

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

Pré-traitement

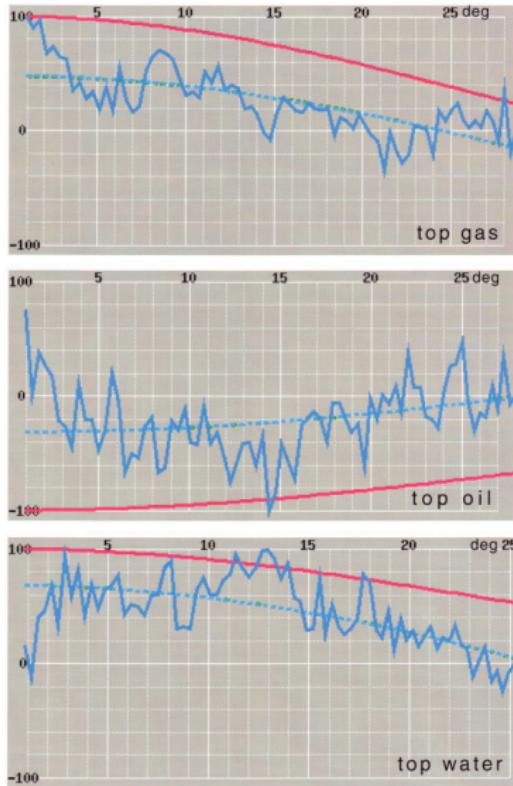
Attributs AVO

Attributs AVO 3D

Références

- bleu plein : amplitudes extraites
- bleu pointillé : amplitudes ajustées
- rouge : amplitudes synthétiques (Zoeppritz)

Bonne correspondance, à une constante près



Attributs AVO

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

Pré-traitement

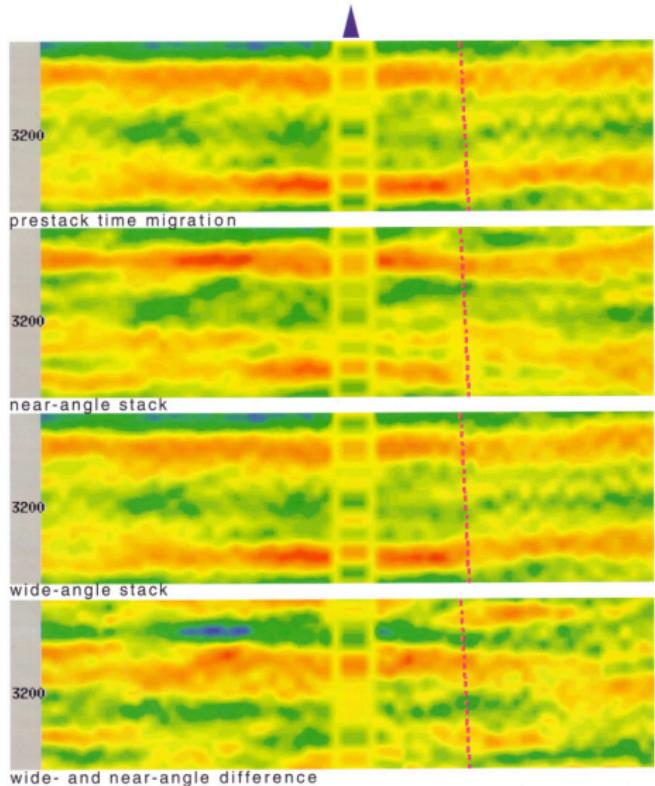
Attributs AVO

Attributs AVO 3D

Références

Autre vérification de la présence d'indicateur AVO : on compare les sections sommées avec $\theta < 15^\circ$ et $\theta > 15^\circ$

On poursuit l'analyse si différence notable



Attributs AVO

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

Pré-traitement

Attributs AVO

Attributs AVO 3D

Références

Trait pointillé :

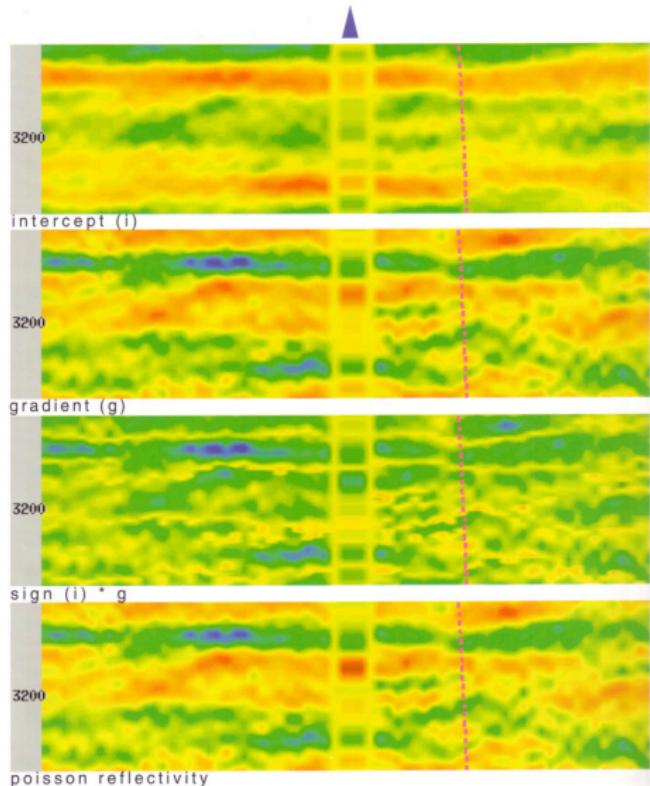
- trajectoire du forage en profondeur

Code de couleur des attributs :

- rouge : valeur élevée
- vert : valeur faible

Intercepte :

- vert : grès
- orange pâle : lits de shale



Attributs AVO

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

Pré-traitement

Attributs AVO

Attributs AVO 3D

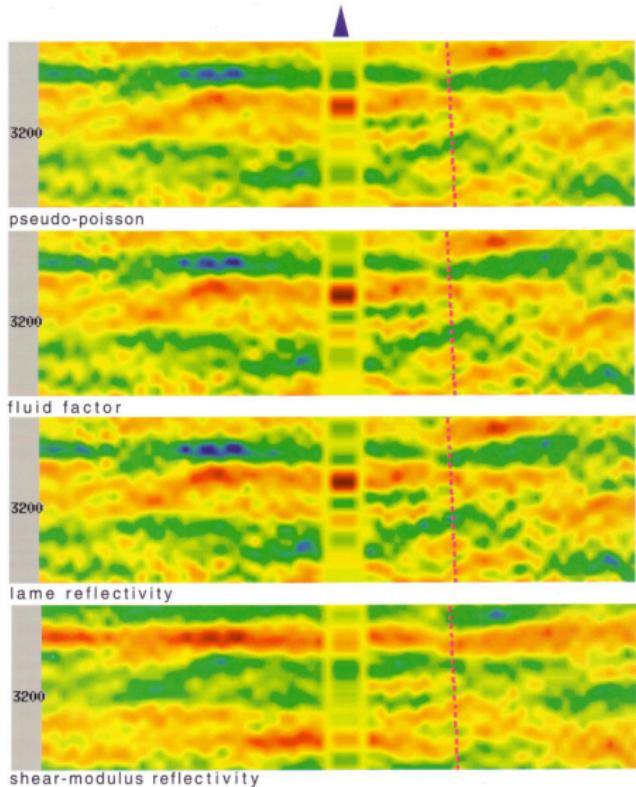
Références

Pseudo-Poisson

- permet d'inférer la saturation

Facteur fluide

- orange : grès saturé de gaz



Attributs AVO

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

Pré-traitement

Attributs AVO

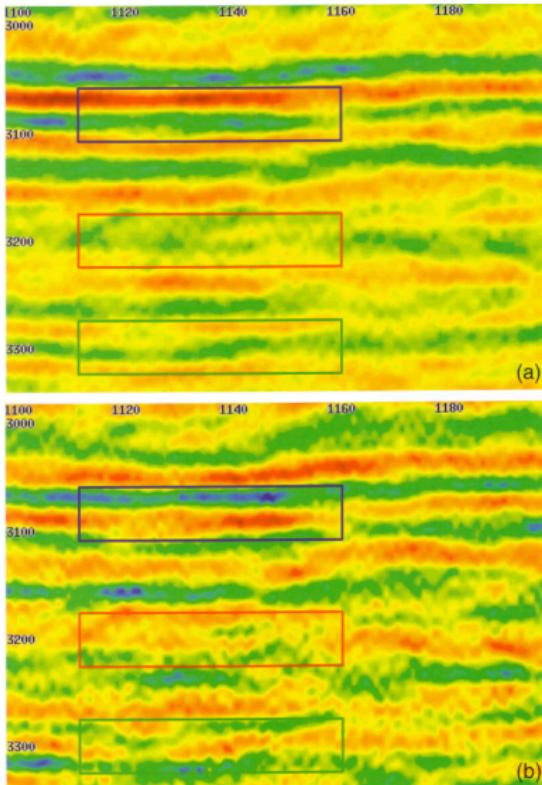
Attributs AVO 3D

Références

(a) R_p
(b) G

Rectangles

- bleu : zone postérieure au réservoir
- rouge : réservoir
- vert : zone antérieure au réservoir



Attributs AVO

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

Pré-traitement

Attributs AVO

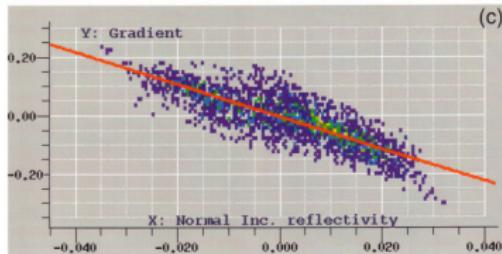
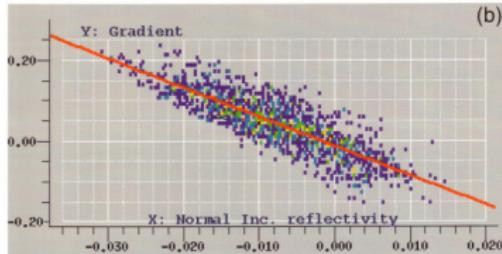
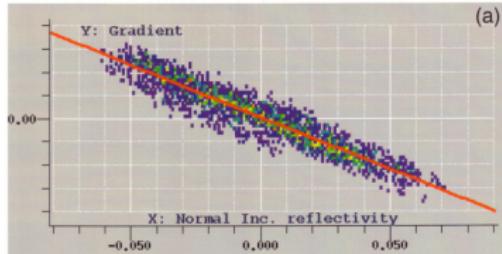
Attributs AVO 3D

Références

Pentes R_P vs G

- zone postérieure : -4.5
- réservoir : -7.5
- zone antérieure : -5.5

Une augmentation de la pente indique que $G \uparrow$ et donc que le coeff. de Poisson varie, soit une indication d'un grès à gaz.



Attributs AVO 3D

Introduction

Réflexion à une interface

Méthodes de l'AVO

Séquence de traitement

Pré-traitement

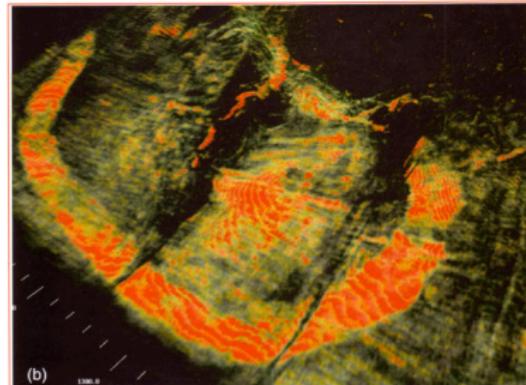
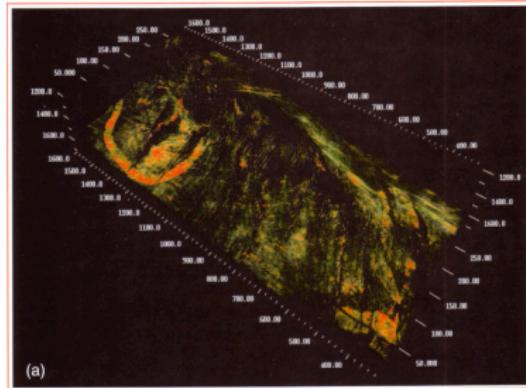
Attributs AVO

Attributs AVO 3D

Références

But ultime : construire
un modèle du
réservoir

Gradient AVO



Attributs AVO 3D

Introduction

Réflexion à une
interface

Méthodes de l'AVO

Séquence de
traitement

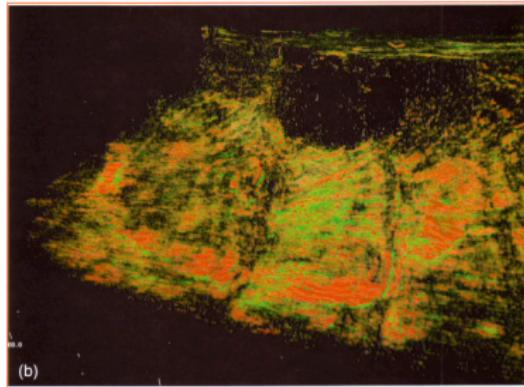
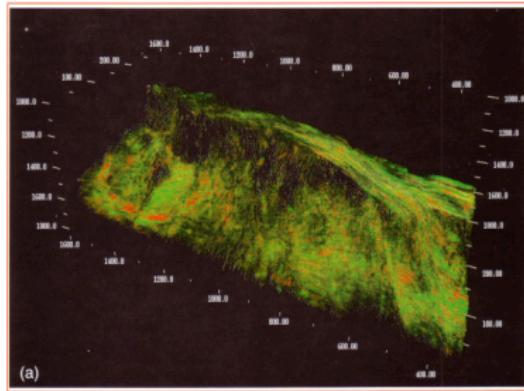
Pré-traitement

Attributs AVO

Attributs AVO 3D

Références

Intercepte AVO



Introduction

Réflexion à une
interface

Méthodes de l'AVO

Séquence de
traitement

Références

Références

Références

Introduction

Réflexion à une
interface

Méthodes de l'AVO

Séquence de
traitement

Références

- Avseth, P., Mukerji, T., and Mavko, G. (2005). *Quantitative Seismic Interpretation : Applying Rock Physics Tools to Reduce Interpretation Risk*. Cambridge University Press
- Bakke, N. E. and Ursin, B. (1998). Thin-bed AVO effects. *Geophysical Prospecting*, 46(6) :571–587
- Yilmaz, O. (2001). *Seismic data Analysis*. Number 10 in Investigations in Geophysics. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, Oklahoma