

Introduction

Influence des
corrections
statiques

Corrections
statiques de terrain

Statiques
résiduelles

Exemples

Référence

GEO1303 – Méthodes sismiques

5 - Corrections statiques

Bernard Giroux
(bernard.giroux@ete.inrs.ca)

Institut national de la recherche scientifique
Centre Eau Terre Environnement

Version 1.1.5
Automne 2019

Introduction

Séquence de traitement
type

Influence des
corrections
statiques

Corrections
statiques de terrain

Statiques
résiduelles

Exemples

Référence

Introduction

Objectif

Introduction

Séquence de traitement type

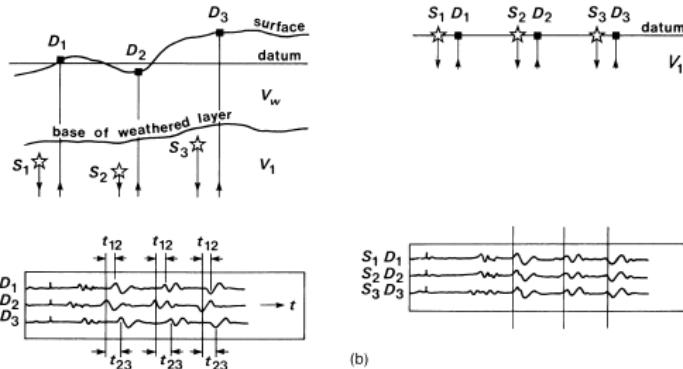
Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Exemples

Référence



- Ramener les points de tir et les traces à un plan de référence commun pour pouvoir faire la sommation (*stack*).
- Des retards, différents à chaque trace, sont causés par :
 - différences d'altimétrie;
 - épaisseur variable du mort-terrain;
 - variations latérales de vitesse dans les couches superficielles.
- Ces retards sont constants en fct du temps, d'où le nom de correction statique.

Raison d'être

Introduction

Séquence de traitement type

Influence des corrections statiques

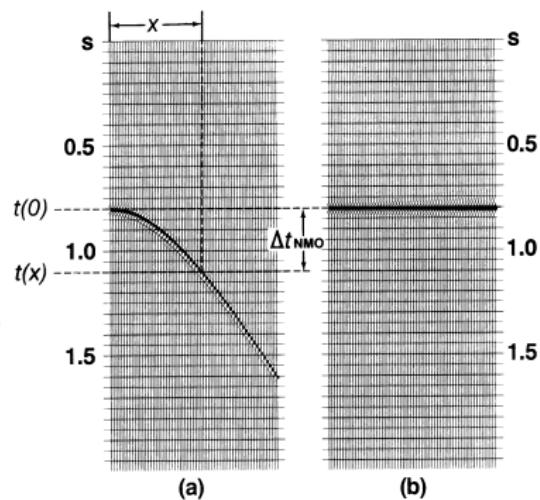
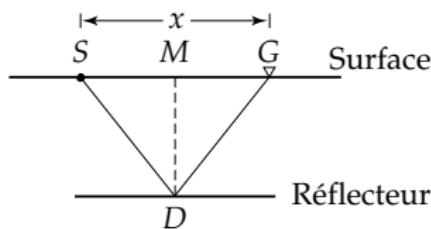
Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Exemples

Référence

- Les données en point miroir commun sont corrigées pour être sommées



Raison d'être

Introduction

Séquence de traitement
type

Influence des
corrections
statiques

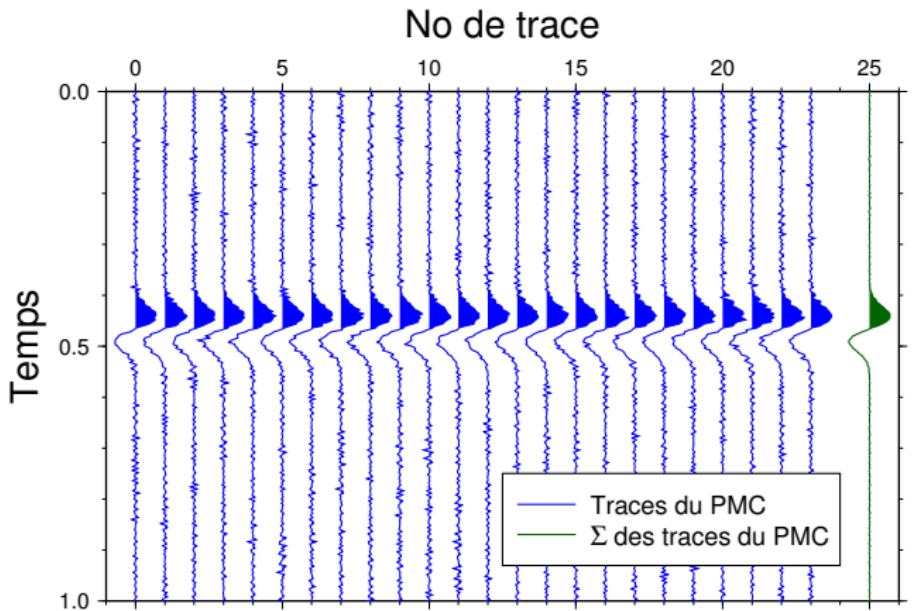
Corrections
statiques de terrain

Statiques
résiduelles

Exemples

Référence

- Rapport S/B amélioré sur la trace sommée
 - S/B augmente de $n^{1/2}$, où n est le nombre de trace et $n \gg 1$.



Séquence de traitement type

Introduction

Séquence de traitement
type

Influence des
corrections
statiques

Corrections
statiques de terrain

Statiques
résiduelles

Exemples

Référence

- ① Récupération des amplitudes & divergence géométrique;
- ② Déconvolution avant sommation;
- ③ Corrections statiques;
- ④ Regroupement des traces en point milieu commun;
- ⑤ Analyse de vitesse et corrections dynamiques;
- ⑥ Sommation;
- ⑦ Déconvolution après sommation;
- ⑧ Migration;
- ⑨ Filtrage & gain.

Introduction

Influence des
corrections
statiques

Corrections
statiques de terrain

Statiques
résiduelles

Exemples

Référence

Influence des corrections statiques

Deux scénarios

Introduction

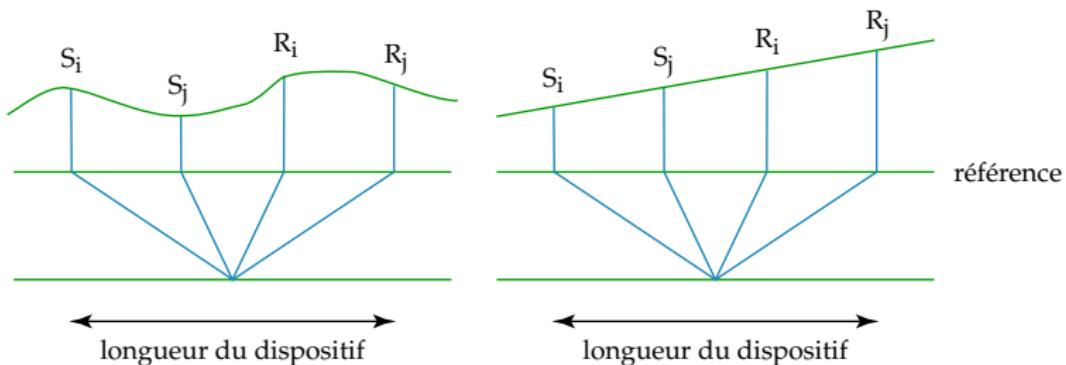
Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Exemples

Référence



- Variations latérales de
 - ➊ Faible longueur d'onde p/r au dispositif;
 - ➋ Grande longueur d'onde p/r au dispositif.

Exemple 1 – faible longueur d'onde

Introduction

Influence des corrections statiques

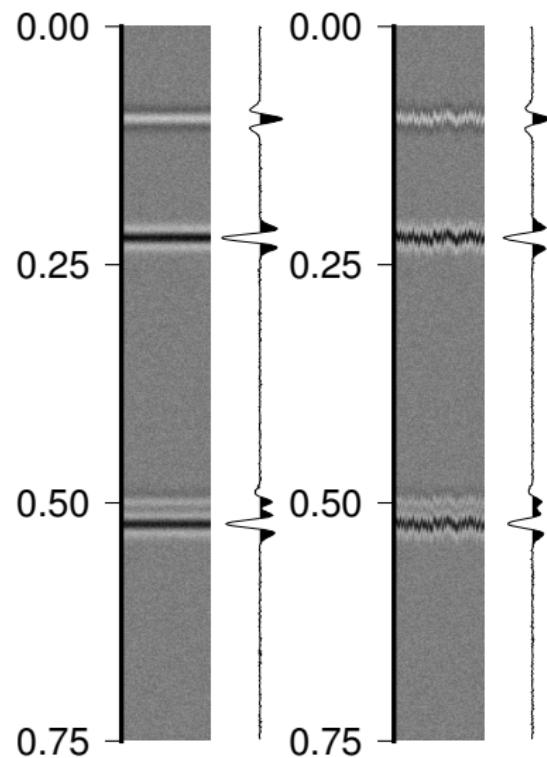
Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Exemples

Référence

- Données synthétiques
- Erreur aléatoire (distr. uniforme) de ± 10 ms.
- Dégrade la sommation.



Exemple 1 – faible longueur d'onde

Introduction

Influence des
corrections
statiques

Corrections
statiques de terrain

Statiques
résiduelles

Exemples

Référence

- Données synthétiques
- Erreur aléatoire (distr. uniforme) de ± 10 ms.
- Dégrade la sommation.



Exemple 2 – grande longueur d'onde

Introduction

Influence des corrections statiques

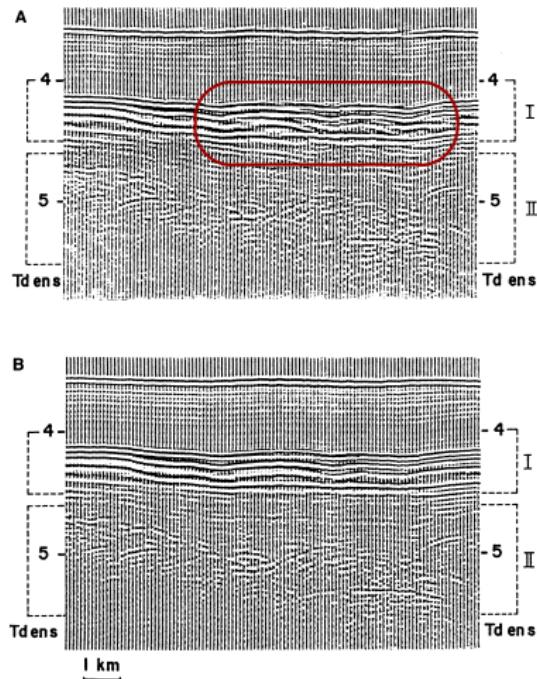
Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Exemples

Référence

- Section de sismique marine altérée pour illustrer l'effet;
- Erreur répartie linéairement de -15 à +15 ms;
- Création d'anomalie structurale.



Introduction

Influence des
corrections
statiques

**Corrections
statiques de terrain**

Définitions

Cas du tir en forage

Sismique réfraction

Premières arrivées

Sismique réfraction –
cas général

Méthode Plus-Minus

Méthode GRM

Inverse généralisée

Statiques
résiduelles

Exemples

Référence

Corrections statiques de terrain

Définitions

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Définitions

Cas du tir en forage

Sismique réfraction

Premières arrivées

Sismique réfraction – cas général

Méthode Plus-Minus

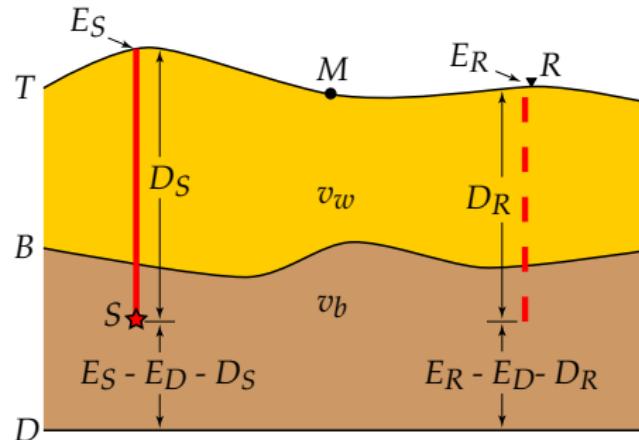
Méthode GRM

Inverse généralisée

Statiques résiduelles

Exemples

Référence



- $S = \text{tir}, R = \text{récepteur};$
- $T = \text{topographie}, B = \text{bedrock}, D = \text{Datum};$
- $v_b = \text{vitesse dans le bedrock}, v_w = \text{vitesse dans le mort-terrain}.$

Cas du tir en forage

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Définitions

Cas du tir en forage

Sismique réfraction

Premières arrivées

Sismique réfraction – cas général

Méthode Plus-Minus

Méthode GRM

Inverse généralisée

Statiques résiduelles

Exemples

Référence

Si la source est de type impulsif et qu'elle est placée dans un forage sous le mort-terrain :

- on mesure t_{UH} , le temps de parcours entre le fond du trou et la surface (D_S), pour chaque point de tir;
- on associe les t_{UH} aux récepteurs correspondants $\rightarrow t_{UH}|_R$ (on interpole aux récepteurs n'ayant pas de trou);
- on applique la correction à la trace associée au point milieu M :

$$\Delta\tau_D = -\frac{E_S - E_D - D_S}{v_b} - \frac{E_R - E_D - D_R}{v_b} - t_{UH}|_R. \quad (1)$$

Sismique réfraction

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Définitions

Cas du tir en forage

Sismique réfraction

Premières arrivées

Sismique réfraction – cas général

Méthode Plus-Minus

Méthode GRM

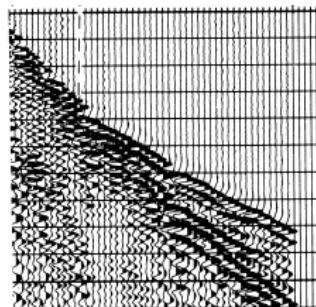
Inverse généralisée

Statiques résiduelles

Exemples

Référence

Lorsque la source est en surface (mort-terrain trop épais ou vibroseis), on doit procéder par sismique réfraction.



Premières arrivées

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Définitions

Cas du tir en forage

Sismique réfraction

Premières arrivées

Sismique réfraction – cas général

Méthode Plus-Minus

Méthode GRM

Inverse généralisée

Statiques résiduelles

Exemples

Référence

- L'énergie réfractée à la base du mort-terrain apparaît en premier sur un enregistrement en point de tir commun (*shot gather*) ;
 - Le mouvement initial de la 1^{re} arrivée est souvent nommé *first break*.
- Pour faire la correction statique, il faut connaître à quel temps se produit le mouvement initial ;
 - il faut faire le pointé des 1^{re} arrivées (*first break picking*).
- Le pointé peut être fait automatiquement à l'aide d'algorithme spécialisés, ou manuellement ;
 - en général, les pointés automatiques sont retouchés manuellement pour améliorer la précision.

Premières arrivées

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Définitions

Cas du tir en forage

Sismique réfraction

Premières arrivées

Sismique réfraction – cas général

Méthode Plus-Minus

Méthode GRM

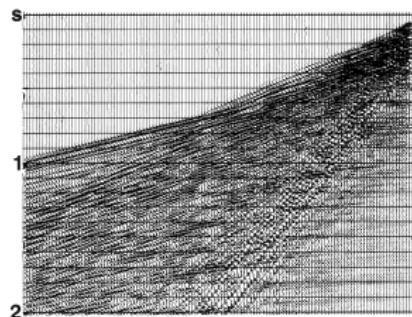
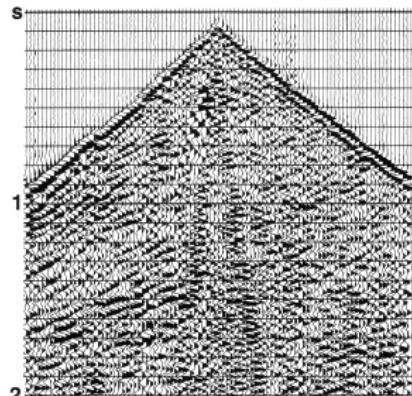
Inverse généralisée

Statiques résiduelles

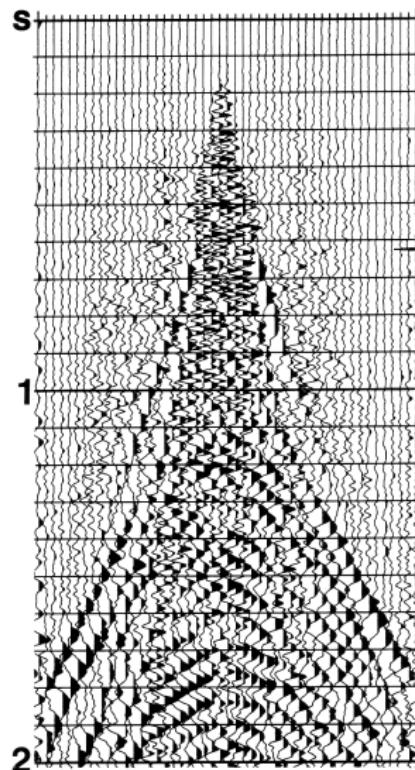
Exemples

Référence

1^{re} arrivées distinctes



1^{re} arrivées bruités



Sismique réfraction – réfracteur droit

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Définitions

Cas du tir en forage

Sismique réfraction

Premières arrivées

Sismique réfraction – cas général

Méthode Plus-Minus

Méthode GRM

Inverse généralisée

Statiques résiduelles

Exemples

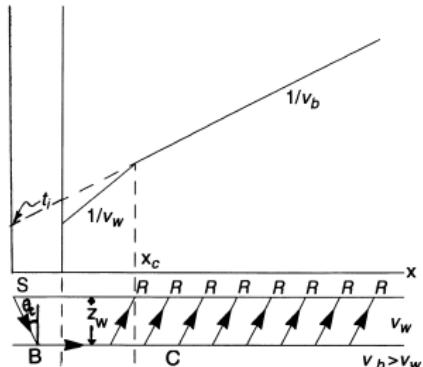
Référence

- Considérons le cas où la surface et le réfracteur sont horizontaux ;
- Le temps de parcours entre la source S et le géophone R

$$t = \frac{SB}{v_w} + \frac{BC}{v_b} + \frac{CR}{v_w},$$

ce qui peut aussi s'écrire

$$t = \frac{z_w}{v_w \cos \theta_c} + \frac{x - 2z_w \tan \theta_c}{v_b} + \frac{z_w}{v_w \cos \theta_c}.$$



- Par ailleurs, l'angle critique de réfraction θ_c est lié aux vitesses par

$$\sin \theta_c = \frac{v_w}{v_b} \quad (2)$$

Sismique réfraction – réfracteur droit

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Définitions

Cas du tir en forage

Sismique réfraction

Premières arrivées

Sismique réfraction – cas général

Méthode Plus-Minus

Méthode GRM

Inverse généralisée

Statiques résiduelles

Exemples

Référence

- En réarrangeant, on trouve

$$t = \frac{2z_w \sqrt{v_b^2 - v_w^2}}{v_b v_w} + \frac{x}{v_b},$$

qui est l'équation d'une droite $t = t_i + \frac{x}{v_b}$, où

$$t_i = \frac{2z_w \sqrt{v_b^2 - v_w^2}}{v_b v_w}$$

est le temps d'intercepte.

- La vitesse dans le bedrock est obtenu par la pente de la dromochronique;
- La vitesse dans le mort-terrain est généralement estimée (nombre insuffisant de géophones assez près de la source).

Sismique réfraction – réfracteur droit

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Définitions

Cas du tir en forage

Sismique réfraction

Premières arrivées

Sismique réfraction – cas général

Méthode Plus-Minus

Méthode GRM

Inverse généralisée

Statiques résiduelles

Exemples

Référence

- L'épaisseur du mort-terrain vaut

$$z_w = \frac{v_b v_w t_i}{2\sqrt{v_b^2 - v_w^2}}, \quad (3)$$

avec t_i le temps d'intercepte.

- La correction statique vaut

$$\Delta\tau_D = -\frac{2z_w}{v_w} + \frac{2(E_D - E_S + z_w)}{v_b}, \quad (4)$$

où E_S est l'élévation en surface.

Sismique réfraction – réfracteur incliné

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Définitions

Cas du tir en forage
Sismique réfraction

Premières arrivées
Sismique réfraction – cas général

Méthode Plus-Minus

Méthode GRM

Inverse généralisée

Statiques résiduelles

Exemples

Référence

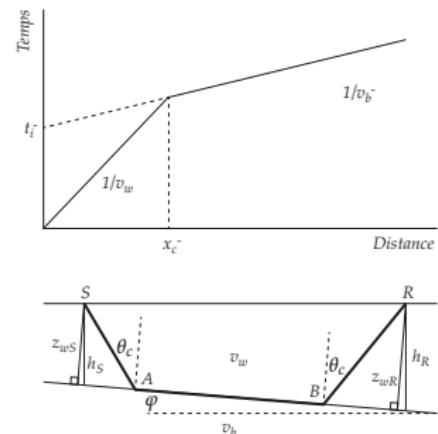
Si le réfracteur est incliné, l'inverse de la pente de l'arrivée réfractée n'est pas v_b .

- On doit faire un tir à chaque bout du dispositif;
- Le temps de parcours pour le tir en haut de pente est

$$t^- = \frac{SA}{v_w} + \frac{AB}{v_b} + \frac{BR}{v_w},$$

ce qui peut aussi s'écrire

$$t^- = \frac{z_{wS}}{v_w \cos \theta_c} + \frac{x \cos \varphi - z_{wS} \tan \theta_c - (z_{wS} + x \sin \varphi) \tan \theta_c}{v_b} + \frac{z_{wS} + x \sin \varphi}{v_w \cos \theta_c}$$



Sismique réfraction – réfracteur incliné

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Définitions

Cas du tir en forage

Sismique réfraction

Premières arrivées

Sismique réfraction – cas général

Méthode Plus-Minus

Méthode GRM

Inverse généralisée

Statiques résiduelles

Exemples

Référence

- Après un peu d'algèbre, on trouve

$$t^- = \frac{2z_{wS} \cos \theta_c \cos \varphi}{v_w} + \frac{x \sin(\theta_c + \varphi)}{v_w},$$

ce qui correspond à l'équation d'une droite $t^- = t_i^- + \frac{x}{v_b^-}$, où

$$t_i^- = \frac{2z_{wS} \cos \theta_c \cos \varphi}{v_w} \quad \text{et} \quad v_b^- = \frac{v_w}{\sin(\theta_c + \varphi)}.$$

- Similairement, pour le tir en bas de pente on trouve $t^+ = t_i^+ + \frac{x}{v_b^+}$, avec

$$t_i^+ = \frac{2z_{wR} \cos \theta_c \cos \varphi}{v_w} \quad \text{et} \quad v_b^+ = \frac{v_w}{\sin(\theta_c - \varphi)}.$$

Sismique réfraction – réfracteur incliné

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Définitions

Cas du tir en forage

Sismique réfraction

Premières arrivées

Sismique réfraction – cas général

Méthode Plus-Minus

Méthode GRM

Inverse généralisée

Statiques résiduelles

Exemples

Référence

- L'angle du réfracteur est déterminé à partir de v_b^- et v_b^+ , et vaut :

$$\varphi = \frac{1}{2} \left(\arcsin \frac{v_w}{v_b^-} - \arcsin v_w v_b^+ \right);$$

- La vitesse dans le bedrock est aussi déterminée à partir de v_b^- et v_b^+ , que l'on écrit

$$\frac{1}{v_b^-} = \frac{\sin \theta_c \cos \varphi + \sin \varphi \cos \theta_c}{v_w}$$

et

$$\frac{1}{v_b^+} = \frac{\sin \theta_c \cos \varphi - \sin \varphi \cos \theta_c}{v_w}.$$

- En utilisant la relation de l'angle critique $\sin \theta_c = v_w/v_b$, on trouve

$$v_b = \frac{2 \cos \varphi}{\left(\frac{1}{v_b^-} + \frac{1}{v_b^+} \right)};$$

Sismique réfraction – réfracteur incliné

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Définitions

Cas du tir en forage

Sismique réfraction

Premières arrivées

Sismique réfraction – cas général

Méthode Plus-Minus

Méthode GRM

Inverse généralisée

Statiques résiduelles

Exemples

Référence

- Finalement, l'épaisseur du mort-terrain à S et à R vaut

$$h_S = \frac{z_{wS}}{\cos \varphi} \quad \text{et} \quad h_R = \frac{z_{wR}}{\cos \varphi}$$

avec

$$z_{wS} = \frac{v_w t_i^-}{2 \cos \theta_c} \quad \text{et} \quad z_{wR} = \frac{v_w t_i^+}{2 \cos \theta_c}.$$

Sismique réfraction – cas général

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Définitions

Cas du tir en forage

Sismique réfraction

Premières arrivées

Sismique réfraction – cas général

Méthode Plus-Minus

Méthode GRM

Inverse généralisée

Statiques résiduelles

Exemples

Référence

En général,

- le réfracteur est ondulé, ce qui rend les interceptes difficiles à interpréter;
- la topographie affecte les dromochroniques;
- la vitesse v_w est difficile à évaluer de façon fiable (peu de géophones), et il faut souvent *assumer* une valeur raisonnable.

Sismique réfraction – méthode Plus-Minus

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Définitions

Cas du tir en forage

Sismique réfraction

Premières arrivées

Sismique réfraction – cas général

Méthode Plus-Minus

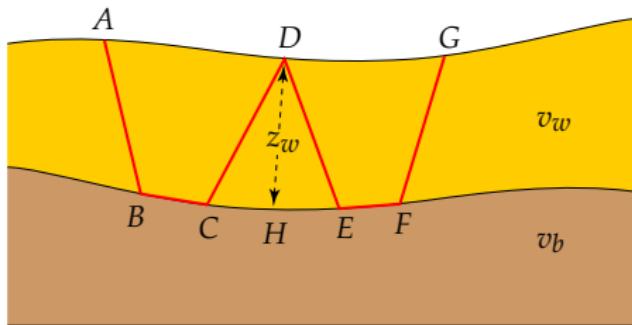
Méthode GRM

Inverse généralisée

Statiques résiduelles

Exemples

Référence



- On part avec deux temps, t_+ et t_- , déterminés à partir du pointé des 1^{re} arrivées t_{ABCD} , t_{DEFG} et t_{ABFG}

$$t_+ = t_{ABCD} + t_{DEFG} - t_{ABFG} \quad (5)$$

$$t_- = t_{ABCD} - t_{DEFG} + t_{ABFG}.$$

Sismique réfraction – méthode Plus-Minus

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Définitions

Cas du tir en forage

Sismique réfraction

Premières arrivées

Sismique réfraction – cas général

Méthode Plus-Minus

Méthode GRM

Inverse généralisée

Statiques résiduelles

Exemples

Référence

- À partir de la géométrie, on peut montrer que

$$t_+ = \frac{2z_w \sqrt{v_b^2 - v_w^2}}{v_b v_w}, \quad t_- = t_+ + \frac{2AD}{v_b}.$$

- On peut donc déterminer v_b connaissant t_- et t_+ ;
- On assume toujours une valeur pour v_w ;
- En comparant avec l'équation (3), on remarque que $t_+ \equiv t_i$;
- On peut ainsi calculer (éq. (3)) l'épaisseur au point D , que l'on nomme z_D ;
- La correction statique au point D vaut :

$$\Delta\tau_D = -\frac{z_D}{v_w} + \frac{E_D - E_S + z_D}{v_b}. \quad (6)$$

avec E_D et E_S les élévations du datum et en surface au point D .

Sismique réfraction – méthode GRM

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Définitions

Cas du tir en forage

Sismique réfraction

Premières arrivées

Sismique réfraction – cas général

Méthode Plus-Minus

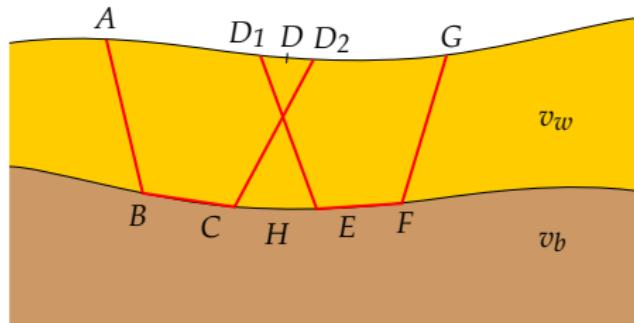
Méthode GRM

Inverse généralisée

Statiques résiduelles

Exemples

Référence



- En pratique, on n'a pas toujours des arrivées coïncidentes à D ;
- La *generalized reciprocal method* (GRM) permet de tenir compte du déport D_1D_2 ;
- Les temps t_+ et t_- deviennent

$$t_+ = t_{ABCD_2} + t_{D_1EFG} - t_{ABFG} - \frac{D_1D_2}{v_b} \quad (7)$$

$$t_- = t_{ABCD_2} - t_{D_1EFG} + t_{ABFG}.$$

Inverse généralisée

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Définitions

Cas du tir en forage

Sismique réfraction

Premières arrivées

Sismique réfraction – cas général

Méthode Plus-Minus

Méthode GRM

Inverse généralisée

Statiques résiduelles

Exemples

Référence

- Le cas se complique s'il y a plus d'une couche avant le bedrock;
- Une solution consiste à procéder par inversion des pointés;
- Il s'agit de minimiser l'erreur quadratique entre les pointés mesurés et les temps calculés à partir d'un modèle multi-couches (ou uni-couche) donné;
- Plusieurs paramétrisations sont possibles :
 - ① épaisseur variable du mort-terrain;
 - ② vitesse variable dans le mort-terrain;
 - ③ multi-couches
- en général : (1) et (2) produisent des résultats équivalents pour éliminer les statiques de grandes longueurs d'onde.

Inverse généralisée

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Définitions

Cas du tir en forage

Sismique réfraction

Premières arrivées

Sismique réfraction – cas général

Méthode Plus-Minus

Méthode GRM

Inverse généralisée

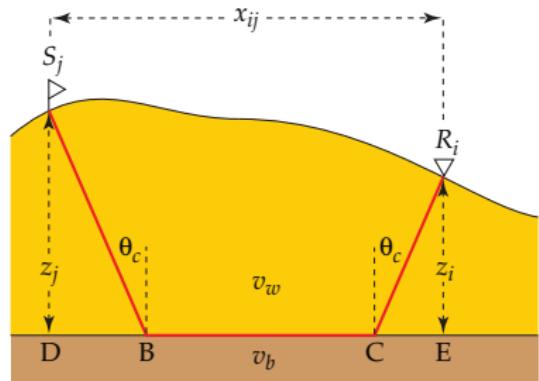
Statiques résiduelles

Exemples

Référence

- Voyons en détail le cas d'une couche d'épaisseur variable;
- Le temps de la source S_j au géophone R_i est

$$t'_{ij} = t_{SjB} + t_{BC} + t_{CR_i}.$$



- Si le réflecteur est plat ou quasi-plat

$$\begin{aligned} t'_{ij} &= \frac{S_j B}{v_w} + \frac{DE - DB - CE}{v_b} + \frac{CR_i}{v_w} \\ &= \underbrace{\frac{z_j \sqrt{v_b^2 - v_w^2}}{v_b v_w}}_{T_j} + \underbrace{\frac{z_i \sqrt{v_b^2 - v_w^2}}{v_b v_w}}_{T_i} + \frac{x_{ij}}{s_b x_{ij}} \end{aligned} \quad (8)$$

où s est la lenteur ($=1/v$).

Inverse généralisée

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Définitions

Cas du tir en forage

Sismique réfraction

Premières arrivées

Sismique réfraction – cas général

Méthode Plus-Minus

Méthode GRM

Inverse généralisée

Statiques résiduelles

Exemples

Référence

- Pour n localisations S_j & R_i et m pointés, on peut construire le système matriciel

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \vdots \\ t'_{ij} \\ \vdots \\ \vdots \\ \end{bmatrix}}_{m \times 1} = \underbrace{\begin{bmatrix} \dots & 1 & \dots & 1 & \dots & x_{ij} \end{bmatrix}}_{m \times (n+1)} \underbrace{\begin{bmatrix} \vdots \\ T_j \\ \vdots \\ T_i \\ \vdots \\ s_b \end{bmatrix}}_{(n+1) \times 1}$$

ou, en forme compacte,

$$\mathbf{t}' = \mathbf{L}\mathbf{p} \tag{9}$$

Inverse généralisée

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Définitions

Cas du tir en forage

Sismique réfraction

Premières arrivées

Sismique réfraction – cas général

Méthode Plus-Minus

Méthode GRM

Inverse généralisée

Statiques résiduelles

Exemples

Référence

- L'idée est de trouver \mathbf{p} qui va donner l'erreur entre \mathbf{t} (les observations) et \mathbf{t}' , soit $\mathbf{e} = \mathbf{t} - \mathbf{t}'$, qui soit la plus faible;
- En général, on minimise l'erreur quadratique, qui s'écrit

$$E = \mathbf{e}^T \mathbf{e} = (\mathbf{t} - \mathbf{L}\mathbf{p})^T (\mathbf{t} - \mathbf{L}\mathbf{p});$$

- On dérive E par rapport à \mathbf{p}
- Le minimum est à $\partial E / \partial \mathbf{p} = 0$;
- La solution est

$$\mathbf{p} = (\mathbf{L}^T \mathbf{L})^{-1} \mathbf{L}^T \mathbf{t}, \quad (10)$$

qui port le nom d'*inverse généralisée*.

- C'est une solution optimale au sens des moindres-carrés.
- Pour des raisons de stabilité, on fixe v_w *a priori*.

Inverse généralisée

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Définitions

Cas du tir en forage

Sismique réfraction

Premières arrivées

Sismique réfraction – cas général

Méthode Plus-Minus

Méthode GRM

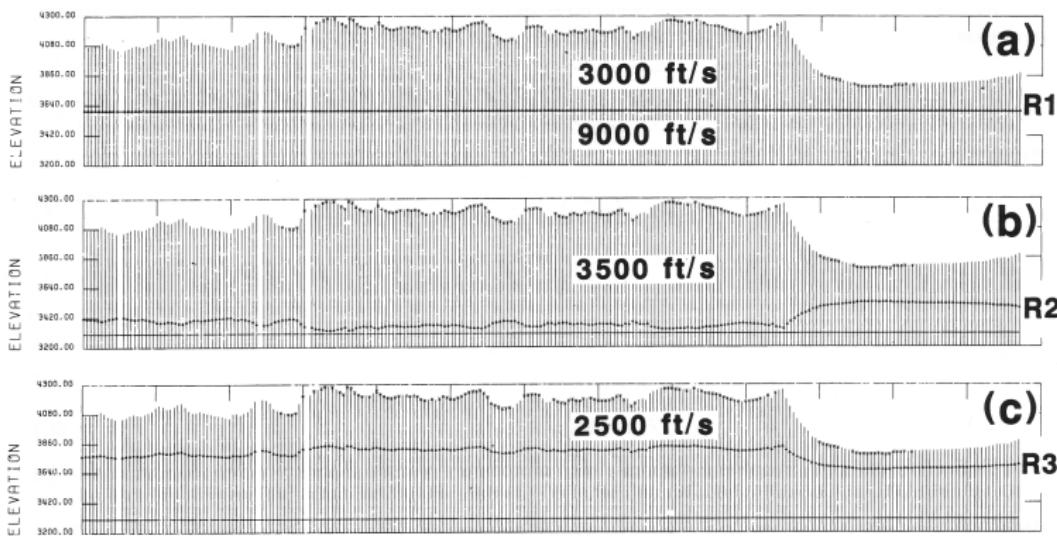
Inverse généralisée

Statiques résiduelles

Exemples

Référence

Influence du choix de v_w



(a) modèle réel, (b) v_w surévaluée, (c) v_w sous-évaluée.

Introduction

Influence des
corrections
statiques

Corrections
statiques de terrain

Statiques résiduelles

Séquence de traitement
Importance de l'analyse
de vitesse

Calcul des statiques
résiduelles

Statiques résiduelles –
Solution

Pointé des temps

Exemples

Référence

Statiques résiduelles

Statiques résiduelles – Motivation

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Séquence de traitement
Importance de l'analyse de vitesse

Calcul des statiques résiduelles

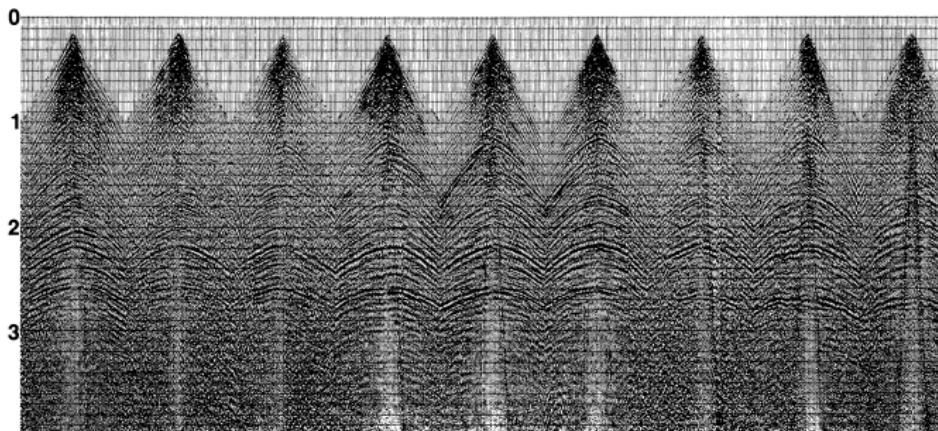
Statiques résiduelles – Solution

Pointé des temps

Exemples

Référence

- Les corrections précédentes assument une vitesse constante dans le mort-terrain ;
- Des irrégularités vont introduire des décalages entre les traces regroupées en point miroir commun (PMC, ou CMP).



Motivation

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Séquence de traitement
Importance de l'analyse de vitesse

Calcul des statiques résiduelles

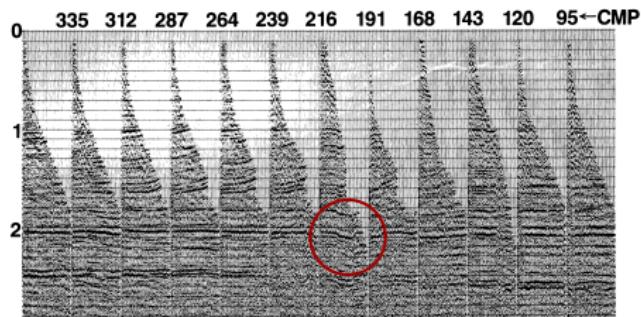
Statiques résiduelles – Solution

Pointé des temps

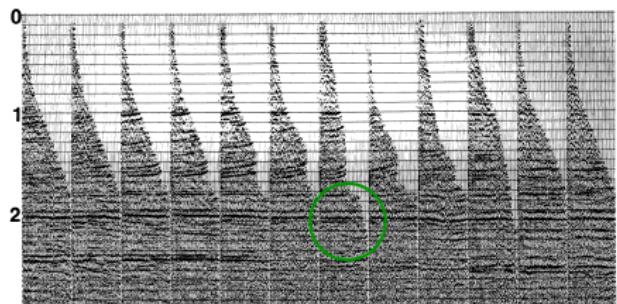
Exemples

Référence

- Une correction doit être appliquée sinon la sommation sera de mauvaise qualité.



(a)



(b)

Séquence de traitement

Introduction

Influence des
corrections
statiques

Corrections
statiques de terrain

Statiques
résiduelles

Séquence de traitement

Importance de l'analyse
de vitesse

Calcul des statiques
résiduelles

Statiques résiduelles –
Solution

Pointé des temps

Exemples

Référence

Pour appliquer les corrections résiduelles :

- ❶ Appliquer les corrections statiques de terrain, regrouper en PMC;
- ❷ Effectuer l'analyse de vitesse;
- ❸ Effectuer la correction par courbure d'indicatrice (NMO);
- ❹ Calculer et appliquer les statiques résiduelles;
- ❺ Effectuer la correction NMO inverse;
- ❻ Refaire l'analyse de vitesse;
- ❼ Effectuer la correction NMO avec le nouveau modèle de vitesse;
- ❽ Sommation.

Importance de la 2^e analyse de vitesse

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Séquence de traitement
Importance de l'analyse de vitesse

Calcul des statiques résiduelles

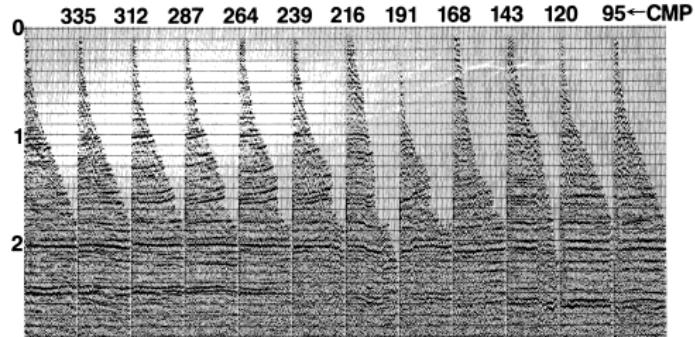
Statiques résiduelles – Solution

Pointé des temps

Exemples

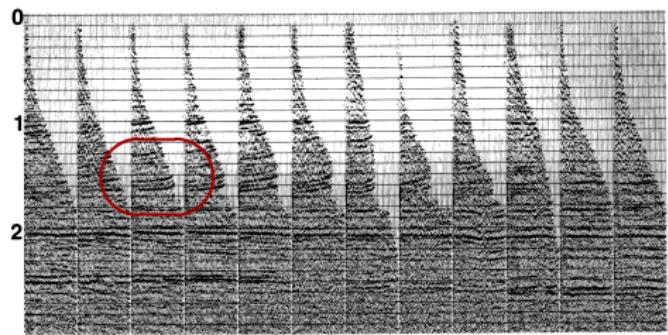
Référence

sans résiduelle



(a)

avec résiduelle



(b)

Importance de la 2^e analyse de vitesse

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Séquence de traitement
Importance de l'analyse de vitesse

Calcul des statiques résiduelles

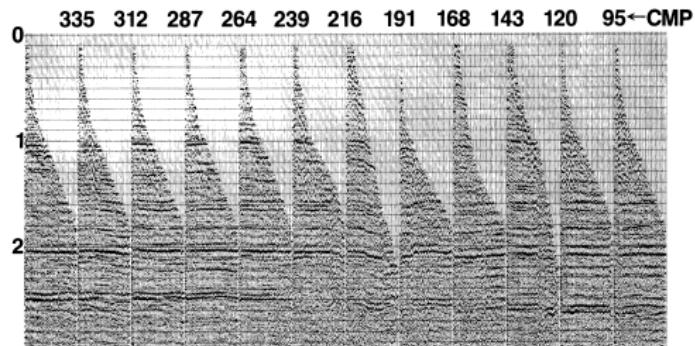
Statiques résiduelles – Solution

Pointé des temps

Exemples

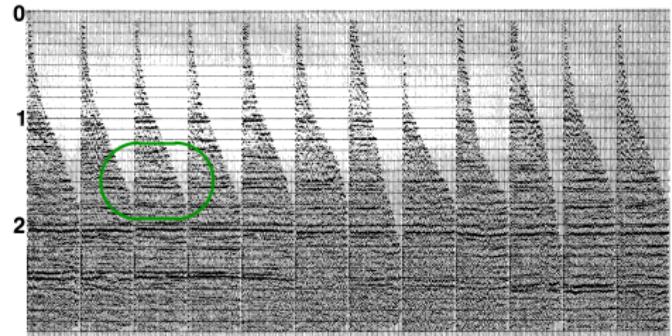
Référence

sans résiduelle



(a)

avec résiduelle + 2^e analyse de vitesse



(b)

Calcul des statiques résiduelles

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Séquence de traitement
Importance de l'analyse de vitesse

Calcul des statiques résiduelles

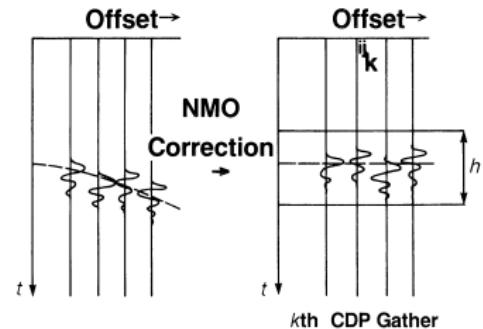
Statiques résiduelles – Solution

Pointé des temps

Exemples

Référence

- On veut calculer la déviation p/r à l'indicatrice;
- Hypothèse :
 - les rais sont quasi-verticaux (on assume verticaux).



Calcul des statiques résiduelles

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Séquence de traitement
Importance de l'analyse de vitesse

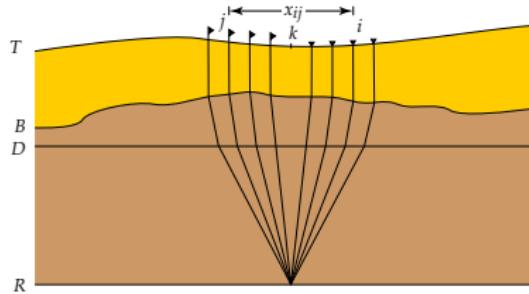
Calcul des statiques résiduelles

Statiques résiduelles – Solution

Pointé des temps

Exemples

Référence



- Le temps de parcours t'_{ijk} entre la j^e source et le i^e récepteur au k^e PMC est approximé par

$$t'_{ijk} = s_j + r_i + G_k + M_k x_{ij}^2, \quad (11)$$

où

- s_j est le délai résiduel à la source j ;
- r_i est le délai résiduel au récepteur i ;
- G_k est la différence entre le temps aller-retour à un PMC de référence et le temps aller-retour à k (terme «structural»);
- $M_k x_{ij}^2$ est le *moveout* résiduel parabolique.

Calcul des statiques résiduelles

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Séquence de traitement
Importance de l'analyse de vitesse

Calcul des statiques résiduelles

Statiques résiduelles – Solution

Pointé des temps

Exemples

Référence

- Soit un levé avec une couverture (*fold*) n_f et
 - n_s tirs;
 - n_r récepteurs;
 - n_G PMC.
- Le nombre de données est $n_G \times n_f$.
- Le nombre d'inconnues est $n_s + n_r + n_G + n_G$.
- En général, $(n_G \times n_f) > (n_s + n_r + n_G + n_G)$.
- On peut solutionner le problème par les moindres-carrés en minimisant l'erreur quadratique :

$$E = \sum_{ijk} \left(t_{ijk} - t'_{ijk} \right)^2$$

où t_{ijk} est le temps mesuré et t'_{ijk} est le temps modélisé avec l'équation (11).

Statiques résiduelles – Solution

Introduction

Influence des
corrections
statiques

Corrections
statiques de terrain

Statiques
résiduelles

Séquence de traitement
Importance de l'analyse
de vitesse

Calcul des statiques
résiduelles

Statiques résiduelles –
Solution

Pointé des temps

Exemples

Référence

- Partant de l'équation (11), on peut construire un système d'équation ayant la forme

$$\begin{bmatrix} \vdots \\ t'_{ij} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cdots & 1 & \cdots & 1 & \cdots & 1 & \cdots & x_{ij}^2 & \cdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vdots \\ s_j \\ \vdots \\ r_i \\ \vdots \\ G_k \\ \vdots \\ M_k \\ \vdots \end{bmatrix}$$

Statiques résiduelles – Solution

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Séquence de traitement
Importance de l'analyse de vitesse

Calcul des statiques résiduelles

Statiques résiduelles – Solution

Pointé des temps

Exemples

Référence

- On a alors un système de la forme

$$\mathbf{t}' = \mathbf{L}\mathbf{p};$$

- Soit le vecteur \mathbf{t} contenant les temps mesurés, l'erreur à minimiser est

$$\mathbf{e} = \mathbf{t} - \mathbf{t}';$$

- L'erreur quadratique est

$$E = \mathbf{e}^T \mathbf{e} = (\mathbf{t} - \mathbf{L}\mathbf{p})^T (\mathbf{t} - \mathbf{L}\mathbf{p});$$

- La solution au sens des moindres carrés est

$$\mathbf{p} = (\mathbf{L}^T \mathbf{L})^{-1} \mathbf{L}^T \mathbf{t}.$$

Statiques résiduelles – pointé des temps

Introduction

Influence des
corrections
statiques

Corrections
statiques de terrain

Statiques
résiduelles

Séquence de traitement
Importance de l'analyse
de vitesse

Calcul des statiques
résiduelles

Statiques résiduelles –
Solution

Pointé des temps

Exemples

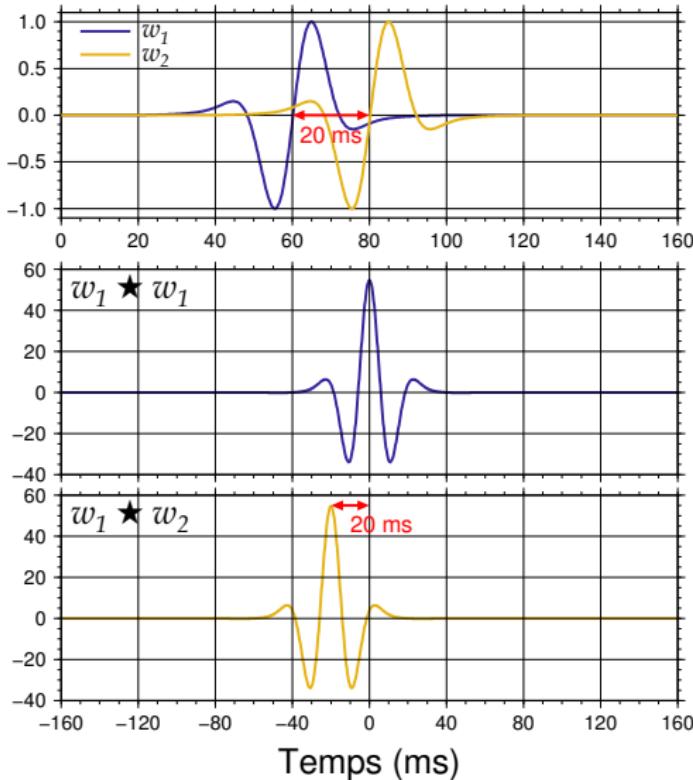
Référence

- Le terme t_{ijk} est un temps relatif par rapport à une référence donnée (*pilot trace*);
- Détermination de la référence : partant d'un PMC pas trop bruité :
 - on fait une première correction NMO;
 - on normalise les traces dans une fenêtre h donnée ;
 - on somme ;
 - on calcule l'*intercorrélation* des traces avec la trace sommée ;
 - les t_{ij} sont les délais aux maxima d'intercorrélation ;
 - on décale en fct des t_{ij} et on somme à nouveau ;
 - on recalcule l'intercorrélation des traces originales avec la nouvelle trace sommée ;
 - les nouveaux t_{ij} sont utilisés pour le PMC ;
 - on décale en fct des t_{ij} et on somme un dernière fois ;
 - la nouvelle trace sommée est la *pilot trace* de départ du prochain PMC ;
 - On procède ensuite ainsi pour tout les PMC.

Statiques résiduelles – pointé des temps

- Introduction
- Influence des corrections statiques
- Corrections statiques de terrain
- Statiques résiduelles
- Séquence de traitement
- Importance de l'analyse de vitesse
- Calcul des statiques résiduelles
- Statiques résiduelles – Solution
- Pointé des temps
- Exemples
- Référence

Détermination du délai par intercorrélation des traces



Statiques résiduelles – pointé des temps

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Séquence de traitement

Importance de l'analyse de vitesse

Calcul des statiques résiduelles

Statiques résiduelles – Solution

Pointé des temps

Exemples

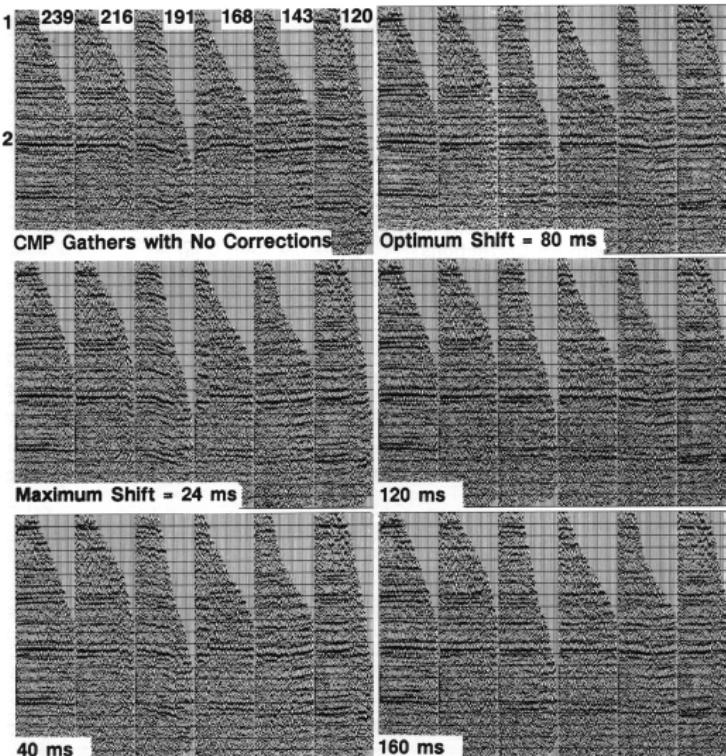
Référence

- La détermination des temps par intercorrélation est une opération délicate ;
- Pour stabiliser l'opération, on peut agir sur
 - le délai maximal acceptable ;
 - la longueur et la position de la fenêtre d'intercorrélation.

Statiques résiduelles – pointé des temps

- Introduction
- Influence des corrections statiques
- Corrections statiques de terrain
- Statiques résiduelles
 - Séquence de traitement
 - Importance de l'analyse de vitesse
 - Calcul des statiques résiduelles
 - Statiques résiduelles – Solution
 - Pointé des temps
- Exemples
- Référence

Influence du délai maximal – données classés en PMC



Statiques résiduelles – pointé des temps

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Séquence de traitement
Importance de l'analyse de vitesse

Calcul des statiques résiduelles

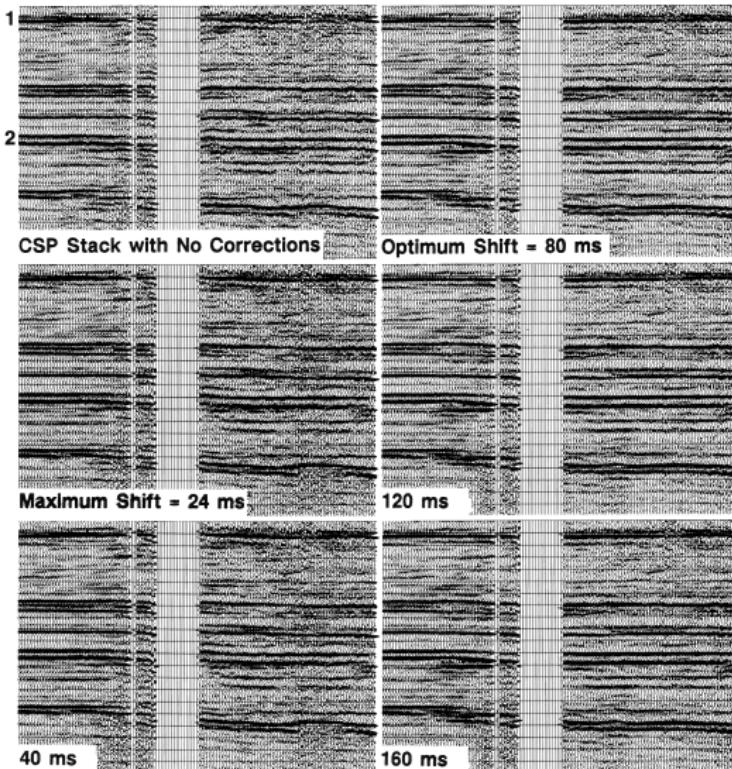
Statiques résiduelles – Solution

Pointé des temps

Exemples

Référence

Influence du délai maximal – classements tir commun sommés



Statiques résiduelles – pointé des temps

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Séquence de traitement
Importance de l'analyse de vitesse

Calcul des statiques résiduelles

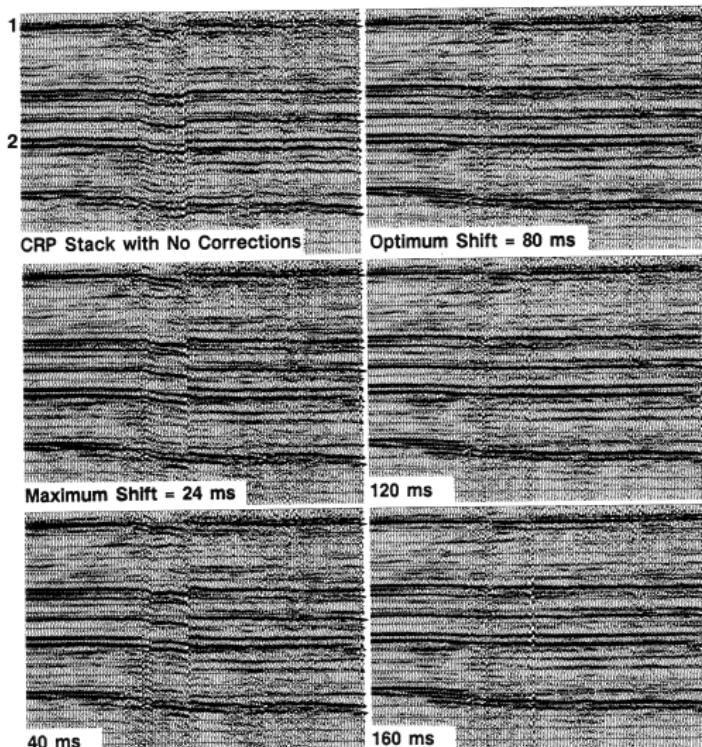
Statiques résiduelles – Solution

Pointé des temps

Exemples

Référence

Infl. du délai max. – classements récepteur commun sommés



Statiques résiduelles – pointé des temps

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Séquence de traitement
Importance de l'analyse de vitesse

Calcul des statiques résiduelles

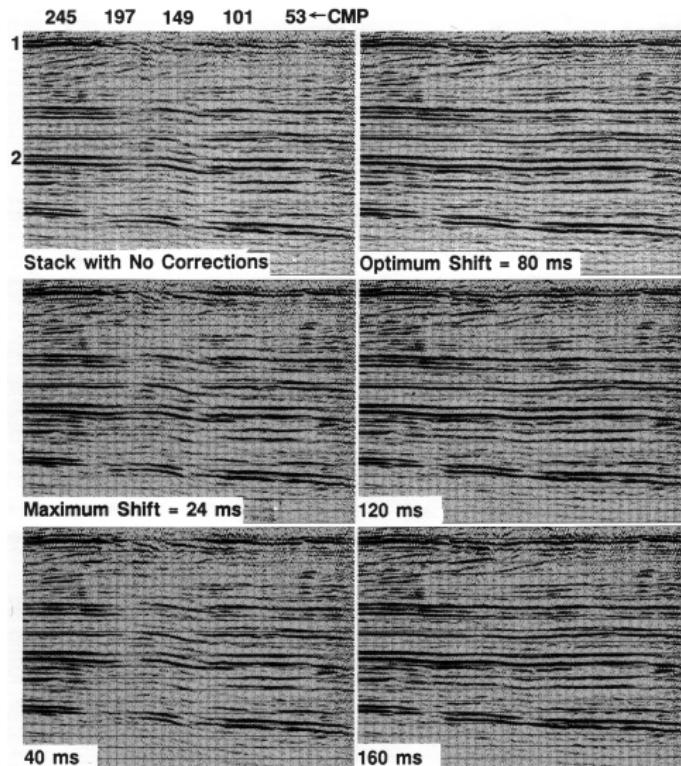
Statiques résiduelles – Solution

Pointé des temps

Exemples

Référence

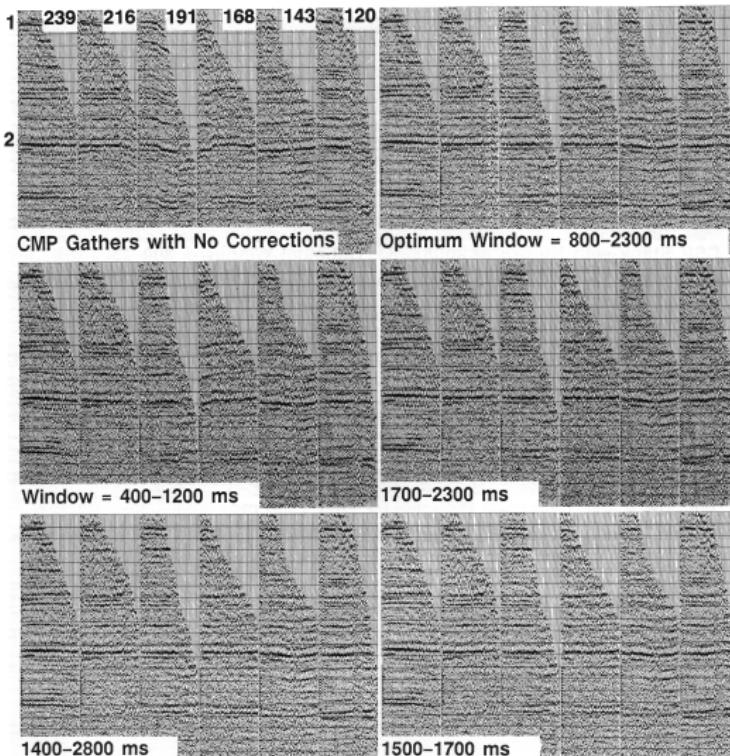
Influence du délai maximal – PMC sommés



Statiques résiduelles – pointé des temps

- Introduction
- Influence des corrections statiques
- Corrections statiques de terrain
- Statiques résiduelles
 - Séquence de traitement
 - Importance de l'analyse de vitesse
 - Calcul des statiques résiduelles
 - Statiques résiduelles – Solution
 - Pointé des temps
- Exemples
- Référence

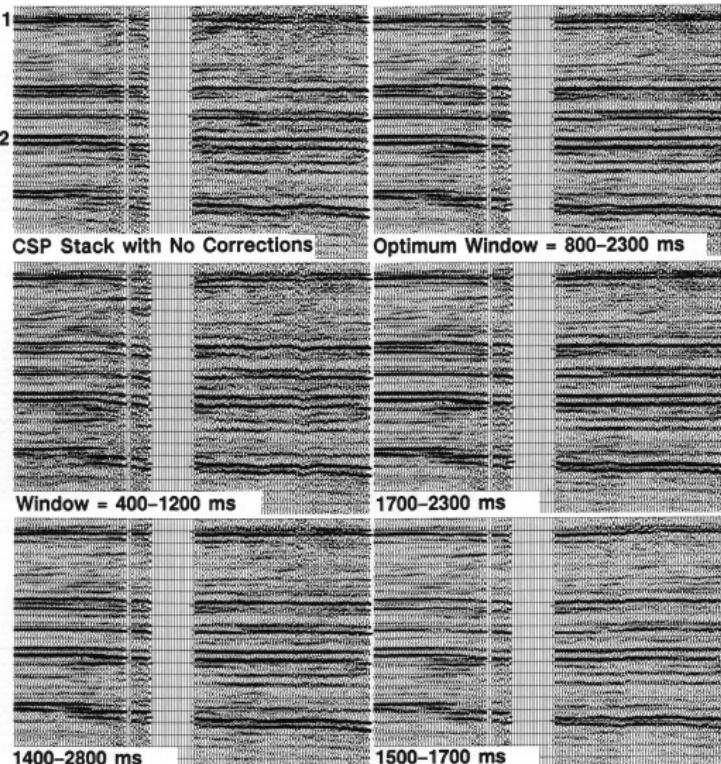
Influence de la fenêtre – données classés en PMC



Statiques résiduelles – pointé des temps

- Introduction
- Influence des corrections statiques
- Corrections statiques de terrain
- Statiques résiduelles
 - Séquence de traitement
 - Importance de l'analyse de vitesse
 - Calcul des statiques résiduelles
 - Statiques résiduelles – Solution
 - Pointé des temps
- Exemples
- Référence

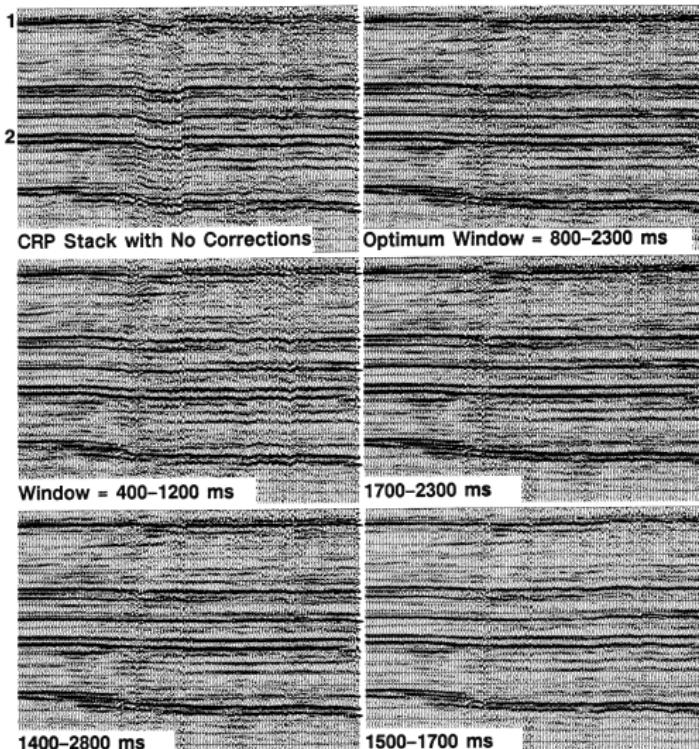
Influence de la fenêtre – classements tir commun sommés



Statiques résiduelles – pointé des temps

- Introduction
- Influence des corrections statiques
- Corrections statiques de terrain
- Statiques résiduelles
 - Séquence de traitement
 - Importance de l'analyse de vitesse
 - Calcul des statiques résiduelles
 - Statiques résiduelles – Solution
 - Pointé des temps
- Exemples
- Référence

Infl. de la fenêtre – classements récepteur commun sommés



Statiques résiduelles – pointé des temps

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Séquence de traitement

Importance de l'analyse de vitesse

Calcul des statiques résiduelles

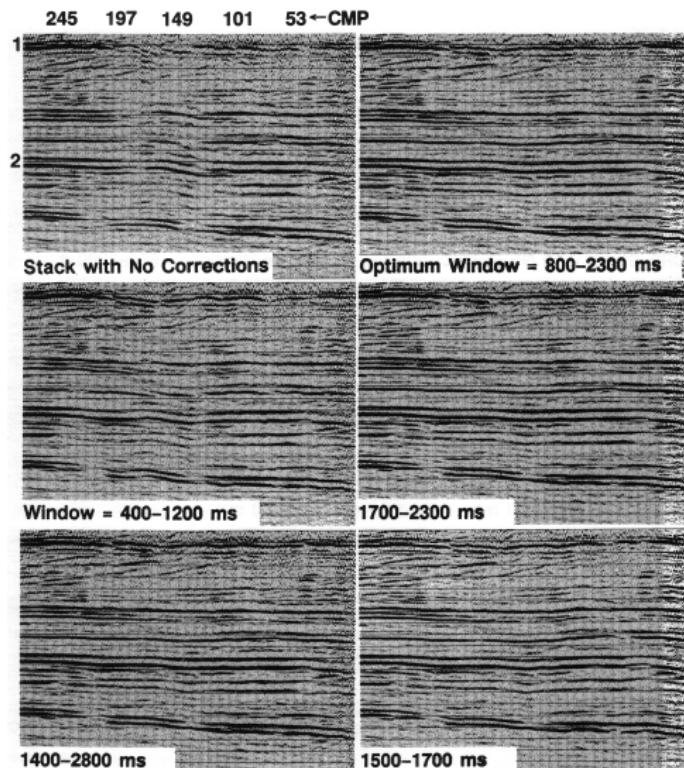
Statiques résiduelles – Solution

Pointé des temps

Exemples

Référence

Influence de la fenêtre – PMC sommés



Introduction

Influence des
corrections
statiques

Corrections
statiques de terrain

Statiques
résiduelles

Exemples

Modèle synthétique

Cas réel 1

Cas réel 2

Référence

Exemples

Modèle synthétique

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

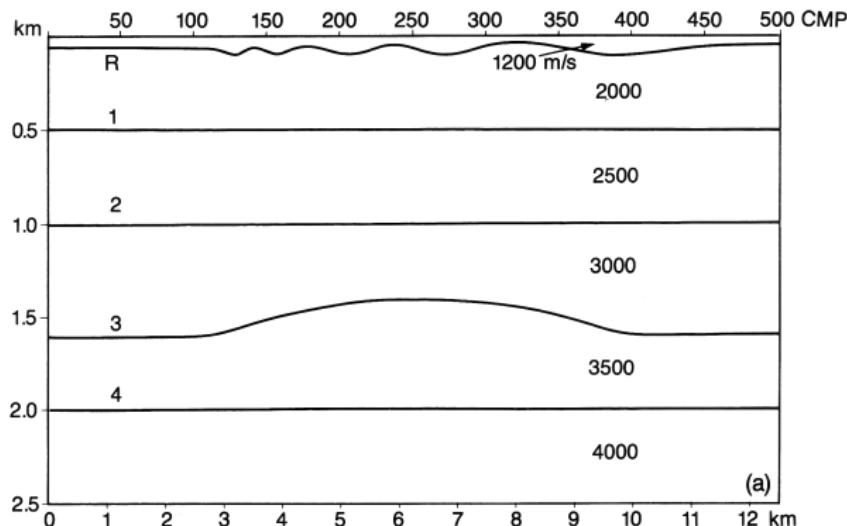
Exemples

Modèle synthétique

Cas réel 1

Cas réel 2

Référence



Modèle synthétique

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Exemples

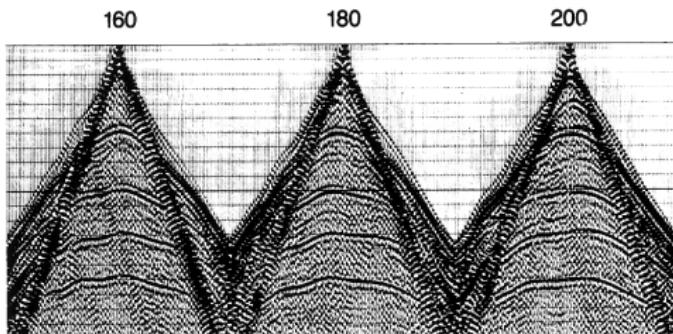
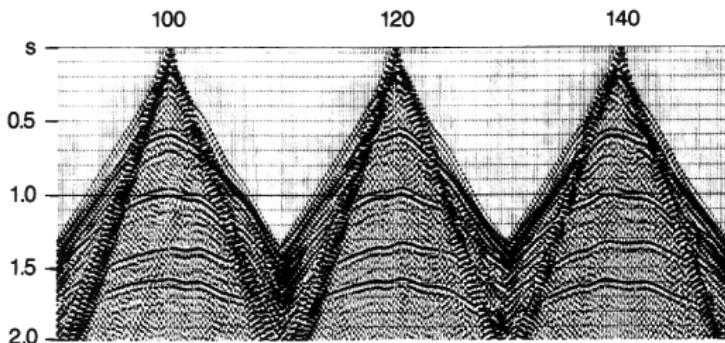
Modèle synthétique

Cas réel 1

Cas réel 2

Référence

Quelques points de tir modélisés



Modèle synthétique

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Exemples

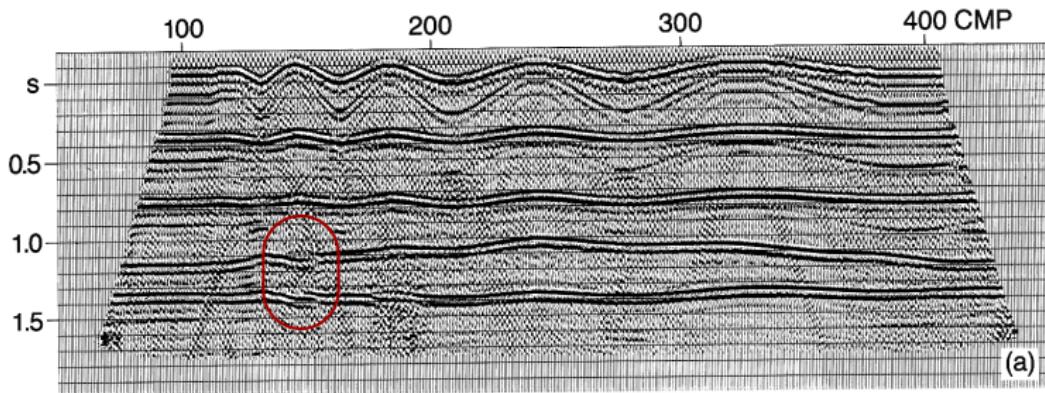
Modèle synthétique

Cas réel 1

Cas réel 2

Référence

Section après sommation, sans corrections statiques



Modèle synthétique

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Exemples

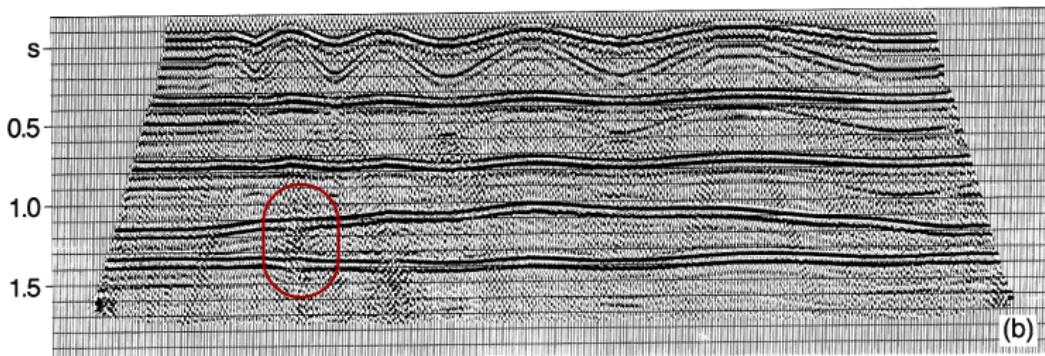
Modèle synthétique

Cas réel 1

Cas réel 2

Référence

Section après sommation, avec statiques résiduelles seulement



Modèle synthétique

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Exemples

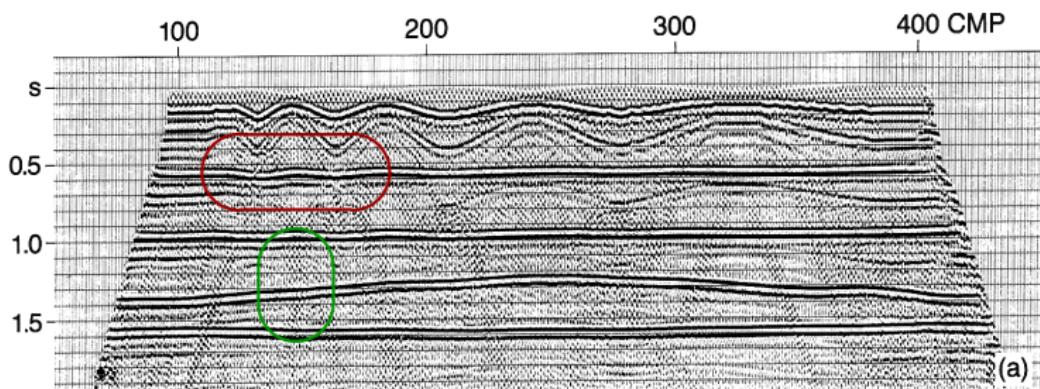
Modèle synthétique

Cas réel 1

Cas réel 2

Référence

Section après sommation, avec corrections statiques de terrain
(inversion, $v_w=1200$ m / s)



(a)

Modèle synthétique

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Exemples

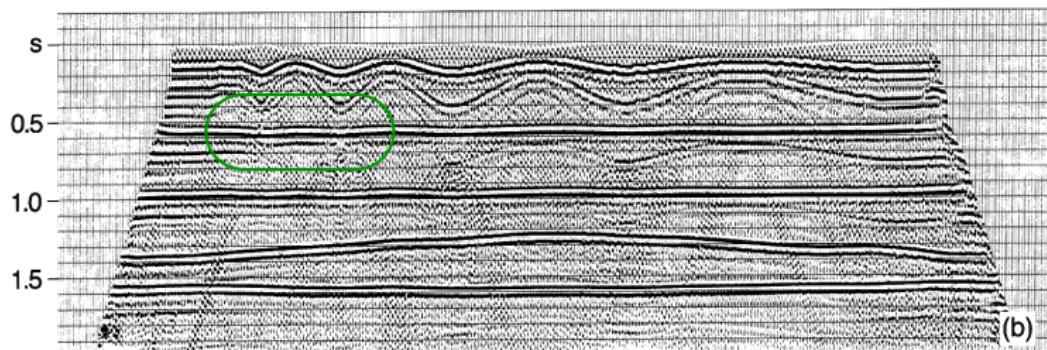
Modèle synthétique

Cas réel 1

Cas réel 2

Référence

Section après sommation, avec corrections statiques de terrain (inversion, $v_w=1200$ m/s) & résiduelles



Modèle synthétique

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Exemples

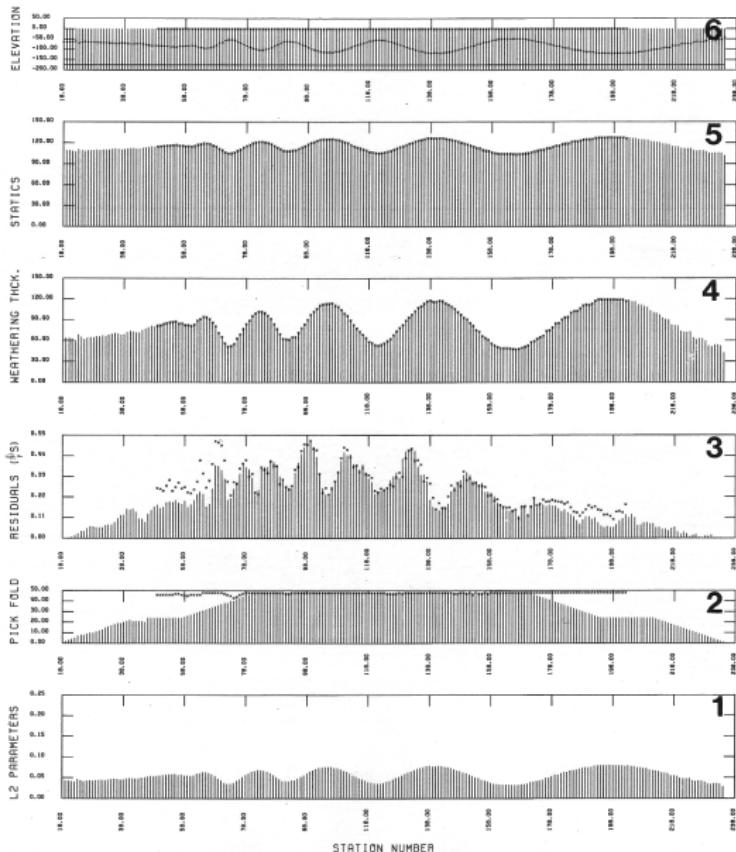
Modèle synthétique

Cas réel 1

Cas réel 2

Référence

Corrections obtenues par inversion
($v_w=1200$ m/s)



Modèle synthétique – Influence de v_w

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

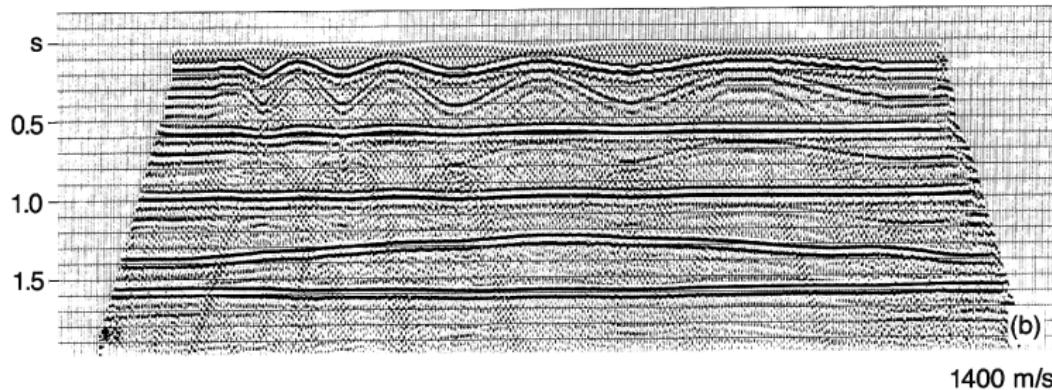
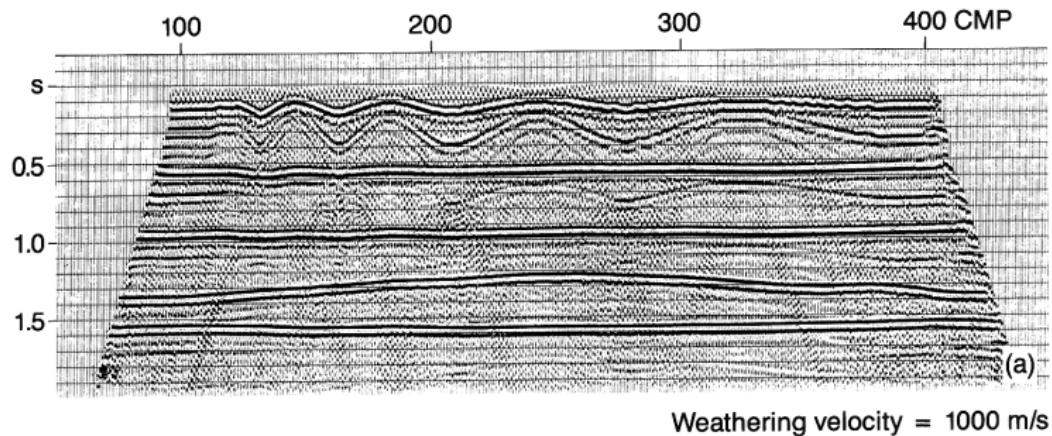
Exemples

Modèle synthétique

Cas réel 1

Cas réel 2

Référence



Modèle synthétique

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Exemples

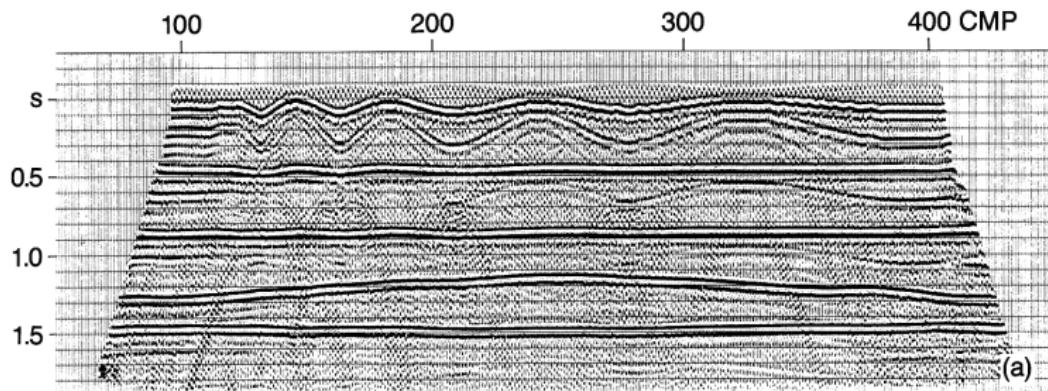
Modèle synthétique

Cas réel 1

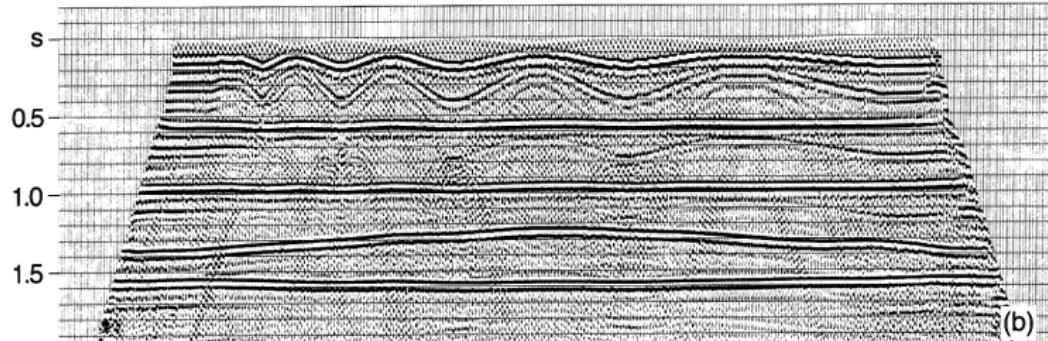
Cas réel 2

Référence

Comparaison – GRM (haut) vs inversion (bas) ($v_w = 1200 \text{ m/s}$)



(a)



(b)

1: Faible topo & bedrock supposé irrégulier

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Exemples

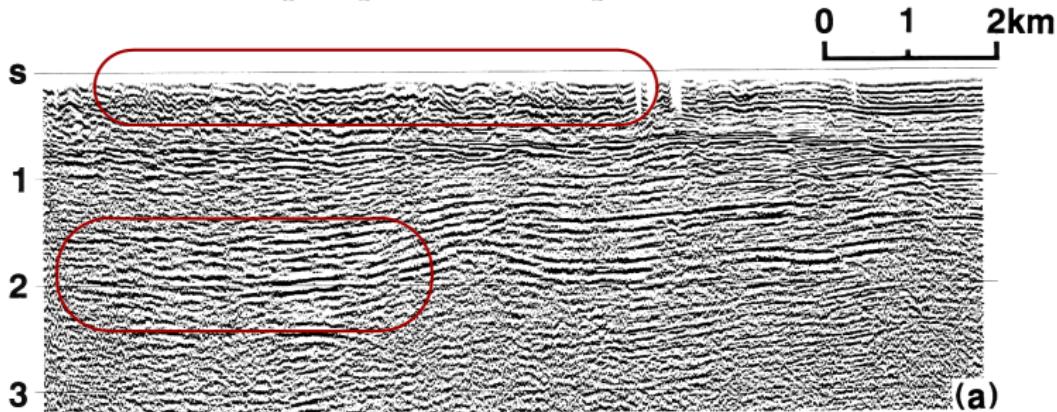
Modèle synthétique

Cas réel 1

Cas réel 2

Référence

Corrections statiques pour bedrock plat et v_w constante



1: Faible topo & bedrock supposé irrégulier

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Exemples

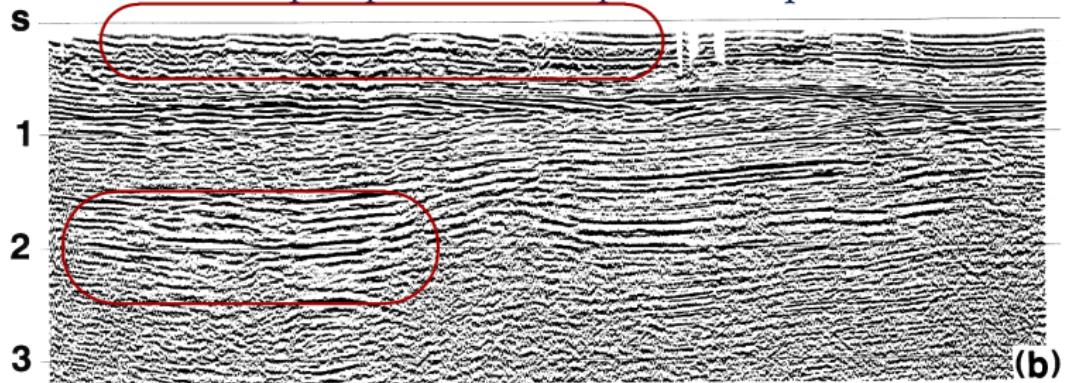
Modèle synthétique

Cas réel 1

Cas réel 2

Référence

Corrections statiques pour bedrock plat + statiques résiduelles



Amélioration notable, mais insuffisante.

1: Faible topo & bedrock supposé irrégulier

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Exemples

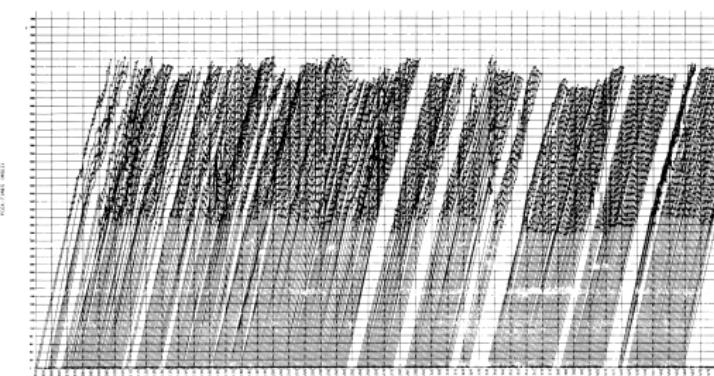
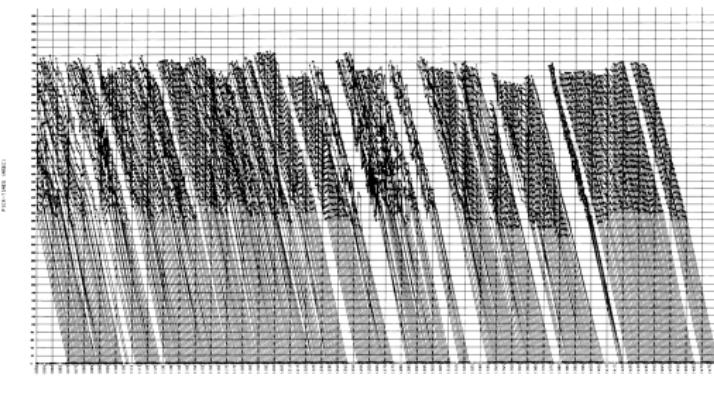
Modèle synthétique

Cas réel 1

Cas réel 2

Référence

Pointé des 1^{re} arrivées : \pm linéaires avec déviations locales



1: Faible topo & bedrock supposé irrégulier

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Exemples

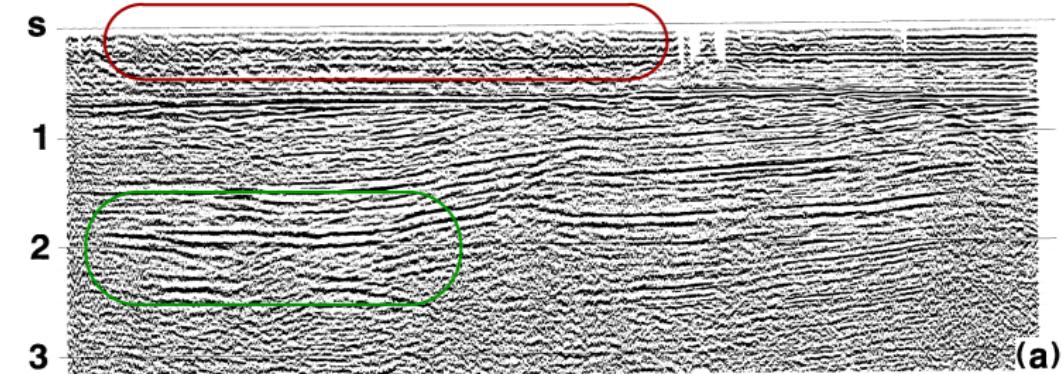
Modèle synthétique

Cas réel 1

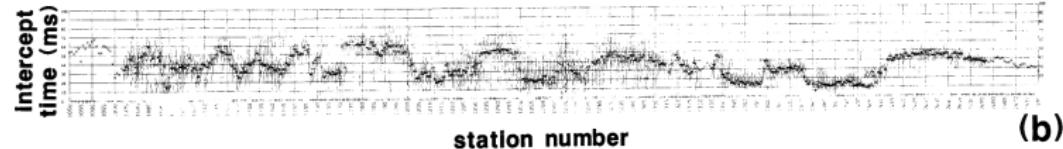
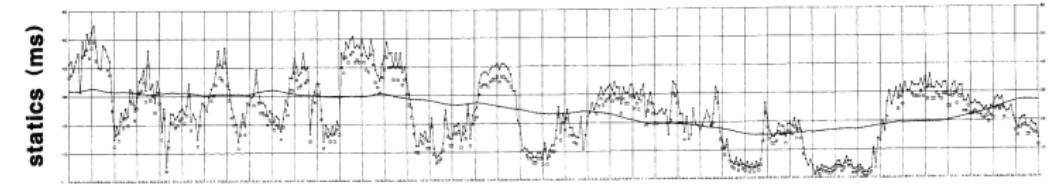
Cas réel 2

Référence

Statiques de terrain, méthode GRM



(a)



(b)

1: Faible topo & bedrock supposé irrégulier

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Exemples

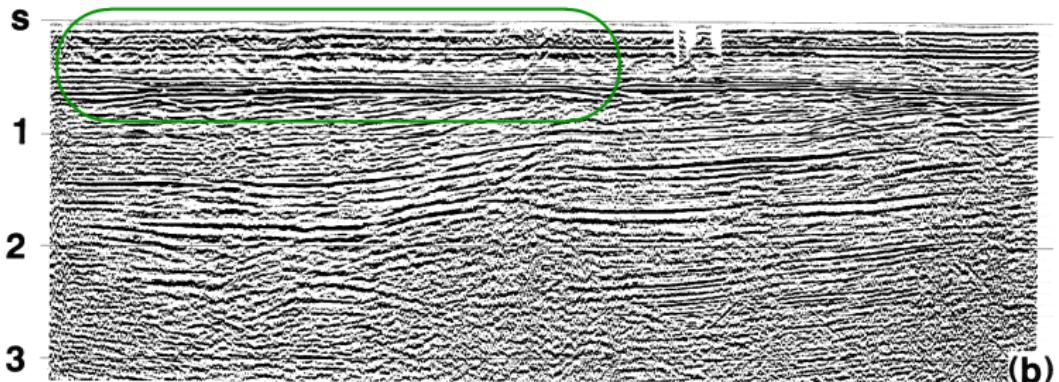
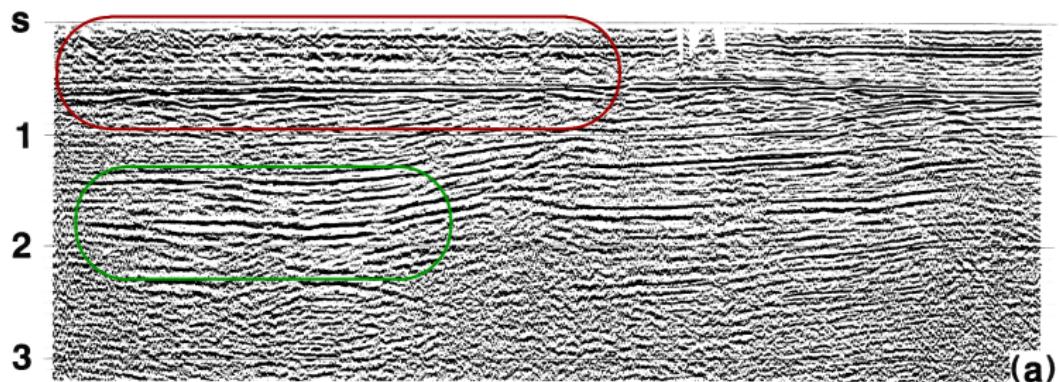
Modèle synthétique

Cas réel 1

Cas réel 2

Référence

Statiques de terrain → inversion (a) + statiques résiduelles (b)



1: Faible topo & bedrock supposé irrégulier

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Exemples

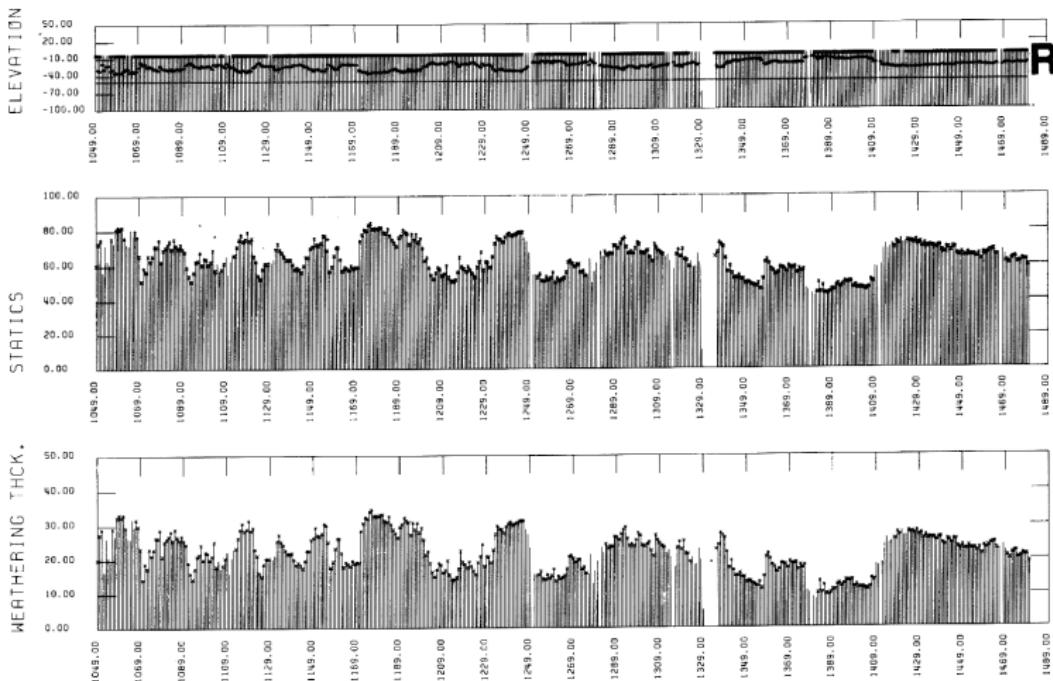
Modèle synthétique

Cas réel 1

Cas réel 2

Référence

Corrections statiques obtenues par inversion



2 : Topo irrégulière & bedrock supposé plat

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Exemples

Modèle synthétique

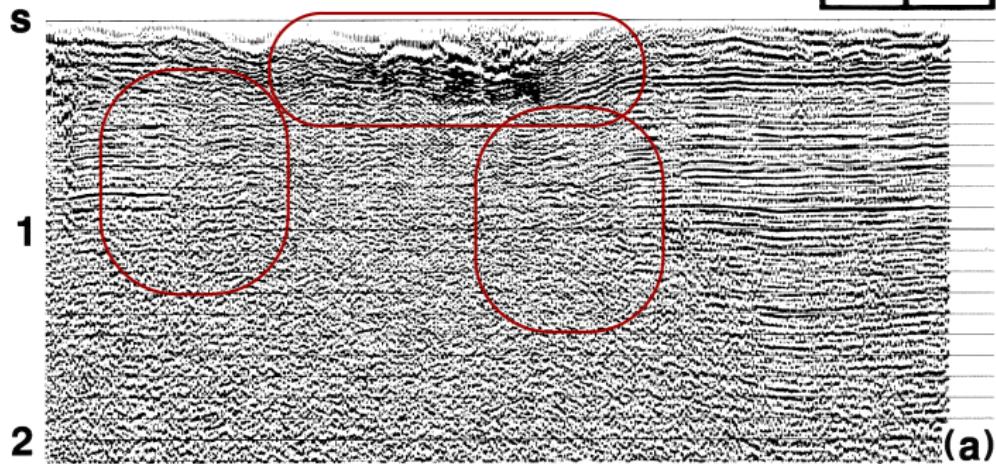
Cas réel 1

Cas réel 2

Référence

Corrections statiques pour bedrock plat

0 1 2km



2 : Topo irrégulière & bedrock supposé plat

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Exemples

Modèle synthétique

Cas réel 1

Cas réel 2

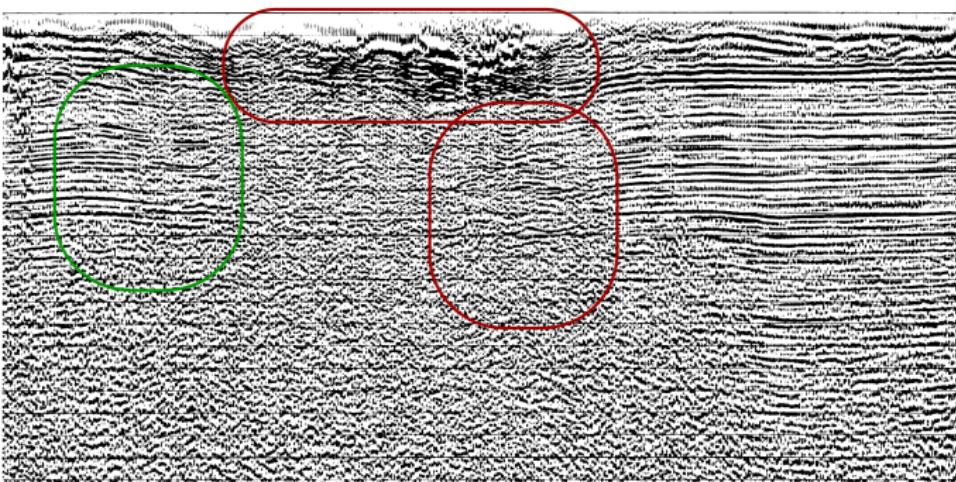
Référence

Corrections statiques pour bedrock plat + statiques résiduelles

S

1

2

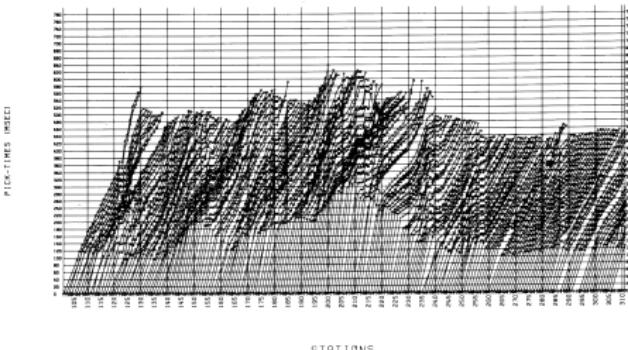
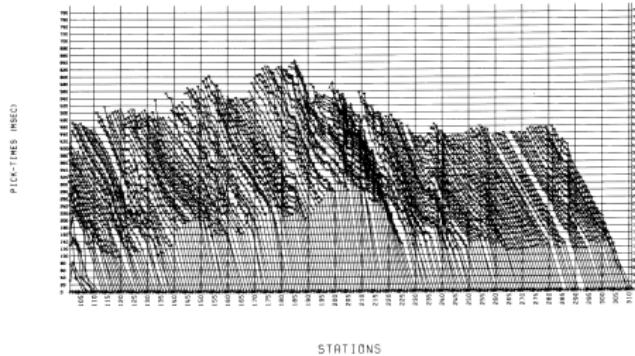


(b)

2 : Topo irrégulière & bedrock supposé plat

- Introduction
- Influence des corrections statiques
- Corrections statiques de terrain
- Statiques résiduelles
- Exemples
 - Modèle synthétique
 - Cas réel 1
 - Cas réel 2
- Référence

Pointé des 1^{re} arrivées : déviations importantes au centre



2 : Topo irrégulière & bedrock supposé plat

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Exemples

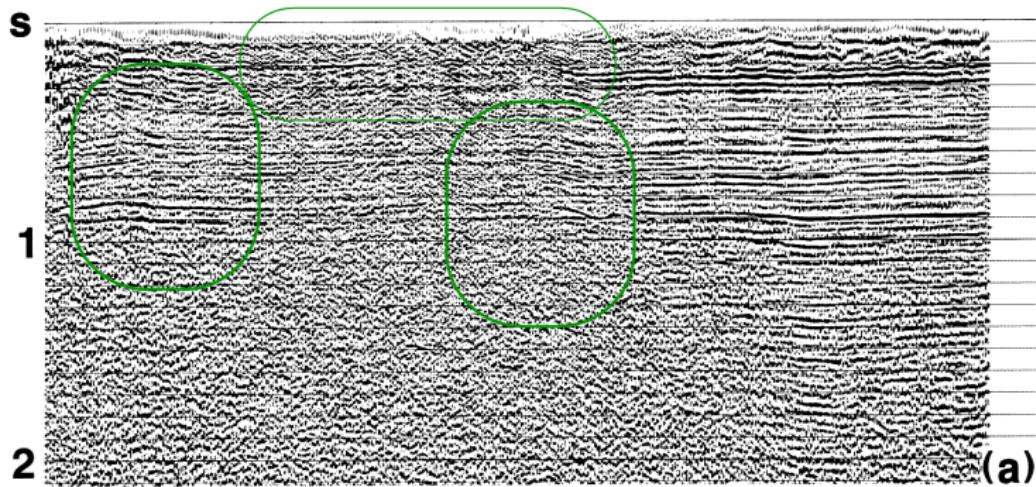
Modèle synthétique

Cas réel 1

Cas réel 2

Référence

Statiques de terrain, méthode GRM



Bonne amélioration, mais des variations de moyennes et grandes longueur d'onde subsistent

2 : Topo irrégulière & bedrock supposé plat

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Exemples

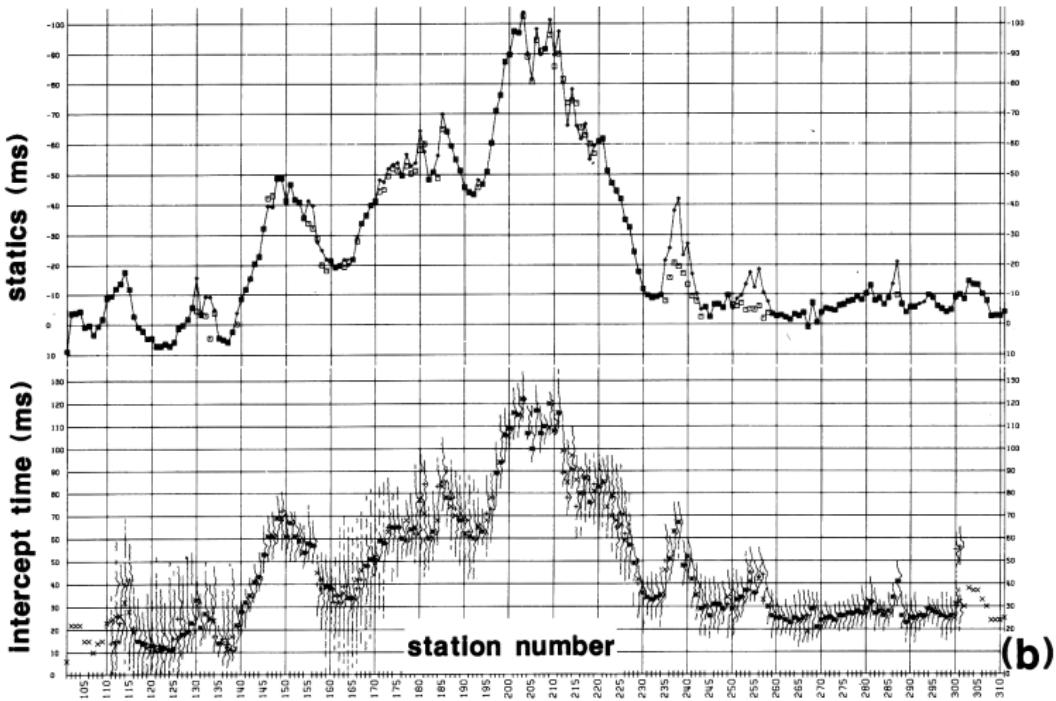
Modèle synthétique

Cas réel 1

Cas réel 2

Référence

Statiques de terrain, méthode GRM



2 : Topo irrégulière & bedrock supposé plat

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Exemples

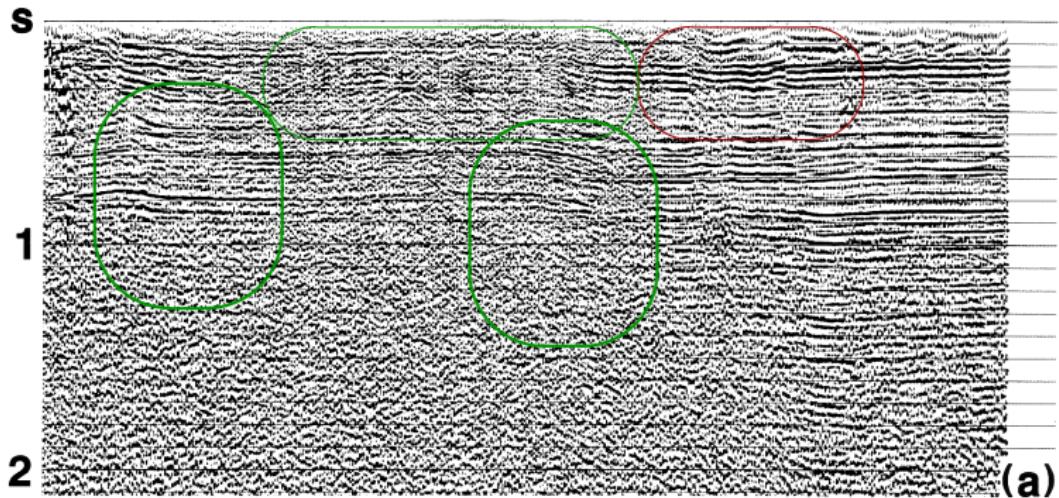
Modèle synthétique

Cas réel 1

Cas réel 2

Référence

Statiques de terrain → inversion



Amélioration significative au centre du profil

2 : Topo irrégulière & bedrock supposé plat

Introduction

Influence des
corrections
statiques

Corrections
statiques de terrain

Statiques
résiduelles

Exemples

Modèle synthétique

Cas réel 1

Cas réel 2

Référence

Statiques de terrain → inversion + statiques résiduelles

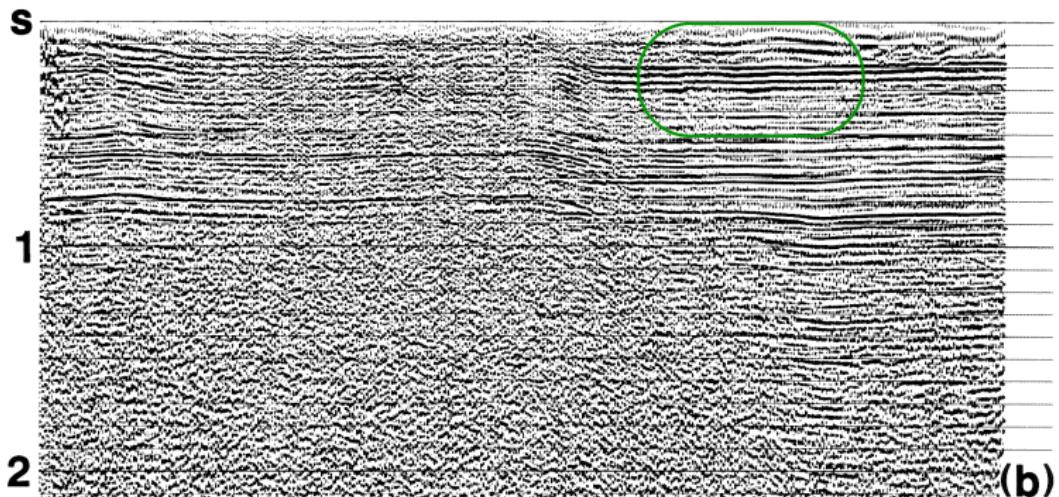


Image offrant la meilleure continuité des réflecteurs

2 : Topo irrégulière & bedrock supposé plat

Introduction

Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Exemples

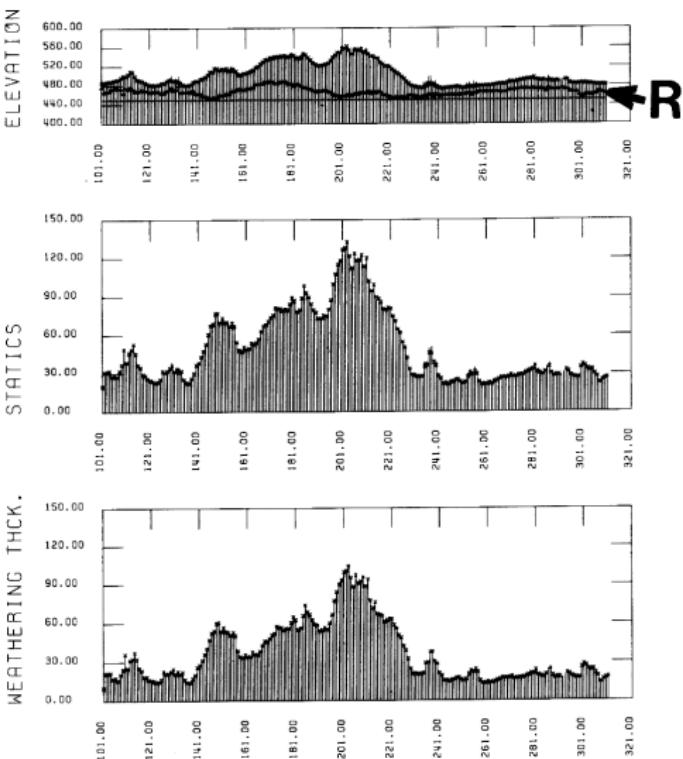
Modèle synthétique

Cas réel 1

Cas réel 2

Référence

Corrections statiques obtenues par inversion



Introduction

Influence des
corrections
statiques

Corrections
statiques de terrain

Statiques
résiduelles

Exemples

Référence

Référence

Référence

Introduction

Influence des
corrections
statiques

Corrections
statiques de terrain

Statiques
résiduelles

Exemples

Référence

- Yilmaz, O. (2001). *Seismic data Analysis*, volume 1. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, Oklahoma