

# GEO1303 – Méthodes sismiques

## 5 - Corrections statiques

Bernard Giroux

([bernard.giroux@ete.inrs.ca](mailto:bernard.giroux@ete.inrs.ca))

Institut national de la recherche scientifique  
Centre Eau Terre Environnement

Version 1.1.6  
Automne 2020

Introduction

Séquence de traitement  
type

Influence des  
corrections  
statiques

Corrections  
statiques de terrain

Statiques  
résiduelles

Exemples

Référence

# Introduction

# Objectif

Introduction

Séquence de traitement type

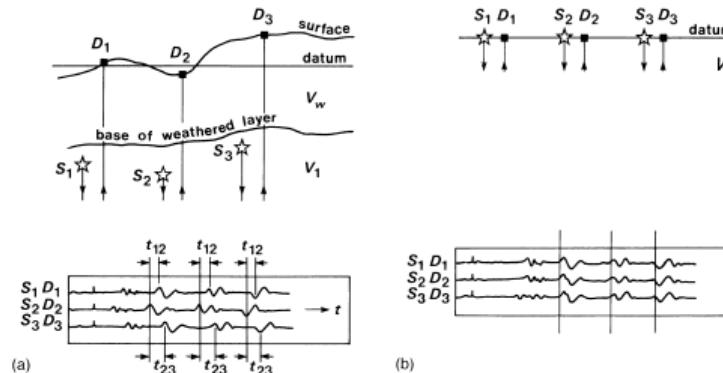
Influence des corrections statiques

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

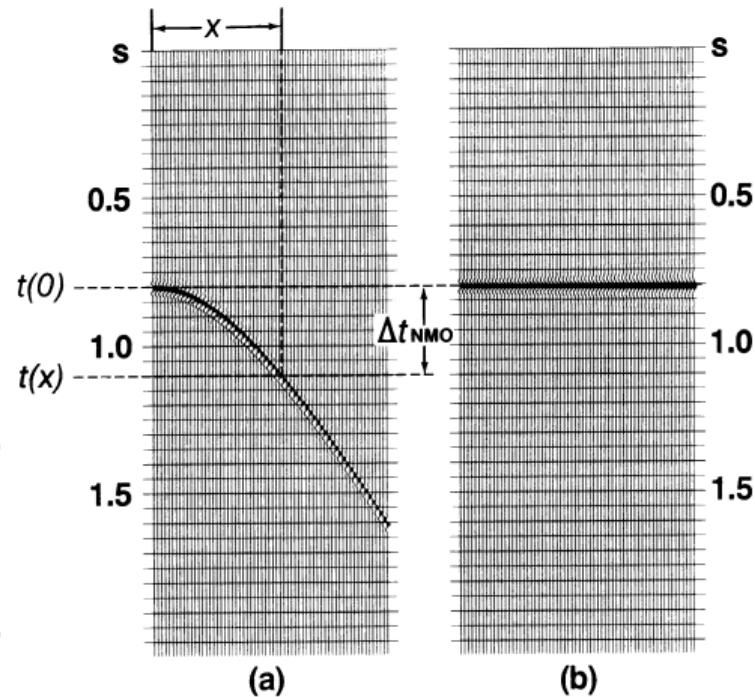
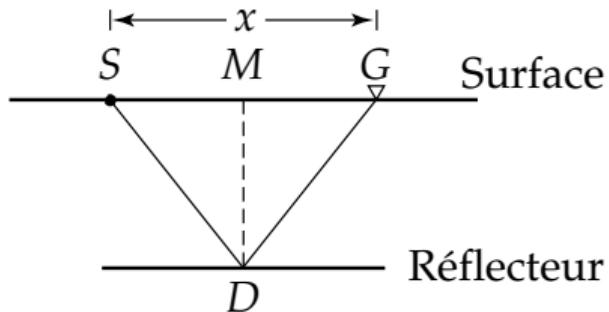
Corrections  
statiques de terrain

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

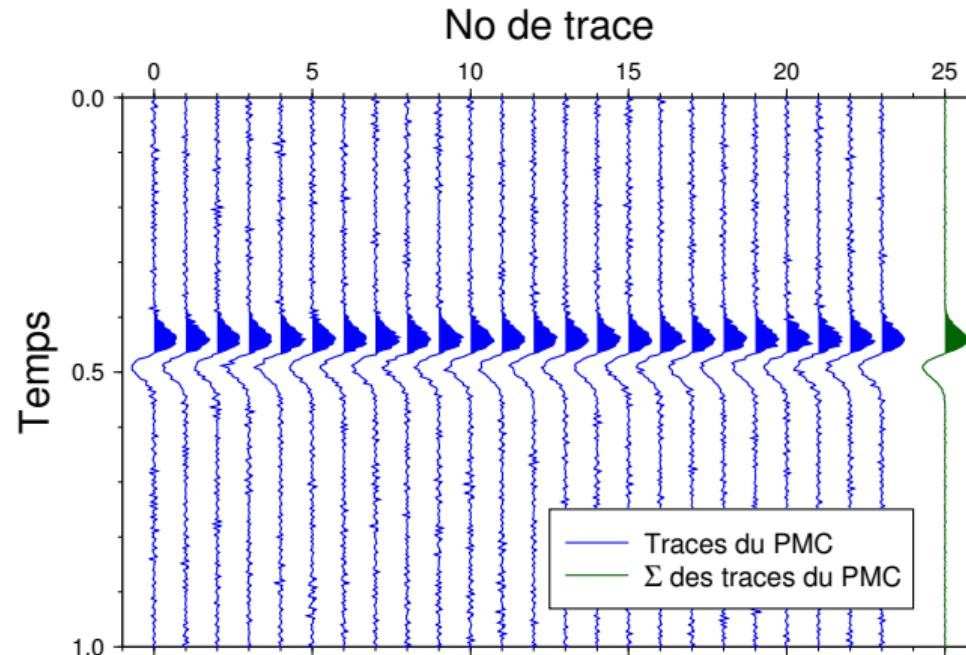
Corrections statiques de terrain

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

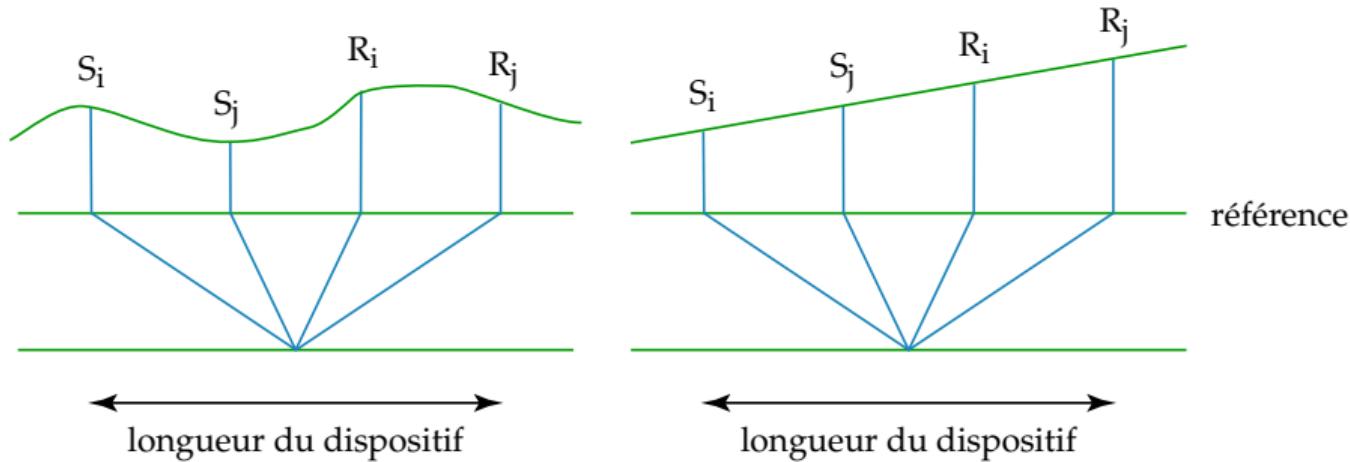
Influence des corrections statiques

Corrections statiques de terrain

Statiques résiduelles

Exemples

Référence

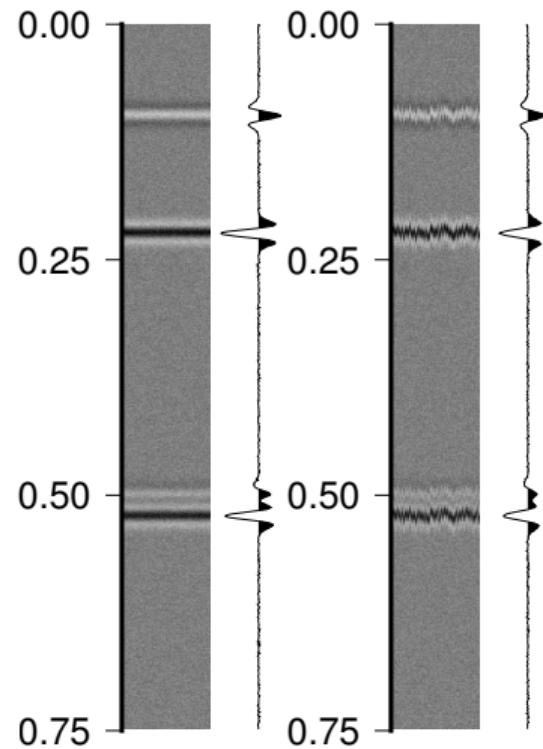


- Variations latérales de
  - 1 Faible longueur d'onde p/r au dispositif;
  - 2 Grande longueur d'onde p/r au dispositif.

# 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  $\pm 10$  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  $\pm 10$  ms.
- Dégrade la sommation.



# Exemple 2 – grande longueur d'onde

Introduction

Influence des corrections statiques

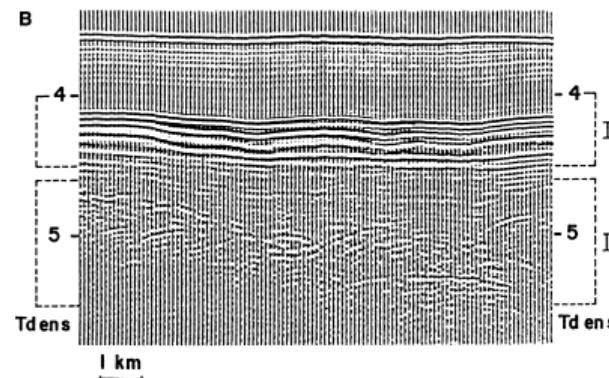
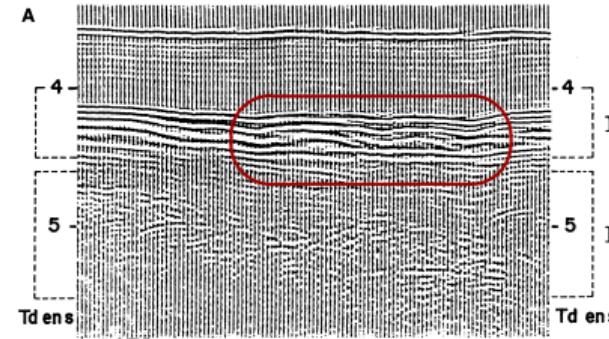
Corrections statiques de terrain

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

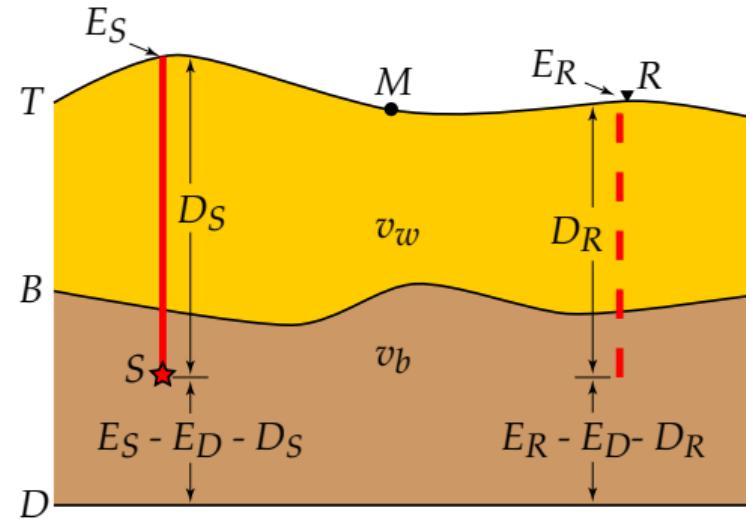
Exemples

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



- $S$  = tir,  $R$  = récepteur ;
- $T$  = topographie,  $B$  = bedrock,  $D$  = Datum ;
- $v_b$  = vitesse dans le bedrock,  $v_w$  = 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 impulsive et qu'elle est placée dans un forage sous le mort-terrain :

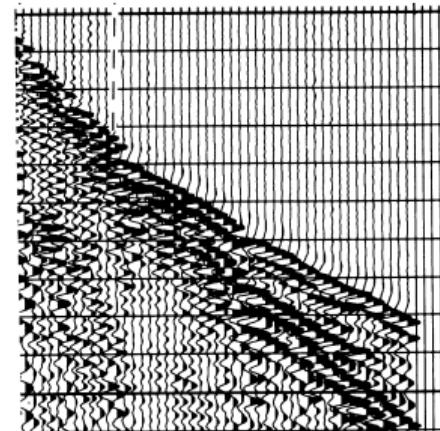
- on mesure  $t_{UH}$ , le temps de parcours entre le fond du trou et la surface ( $D_S$ ), pour chaque point de tir;
- on associe les  $t_{UH}$  aux récepteurs correspondants  $\rightarrow t_{UH}|_R$  (on interpole aux récepteurs n'ayant pas de trou);
- on applique la correction à la trace associée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

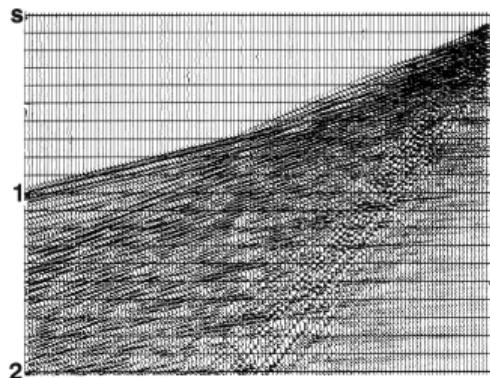
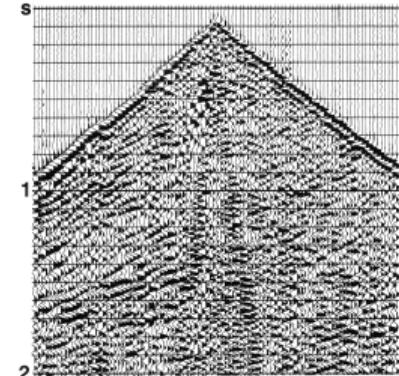
Référence

- 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<sup>re</sup> 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<sup>re</sup> 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.

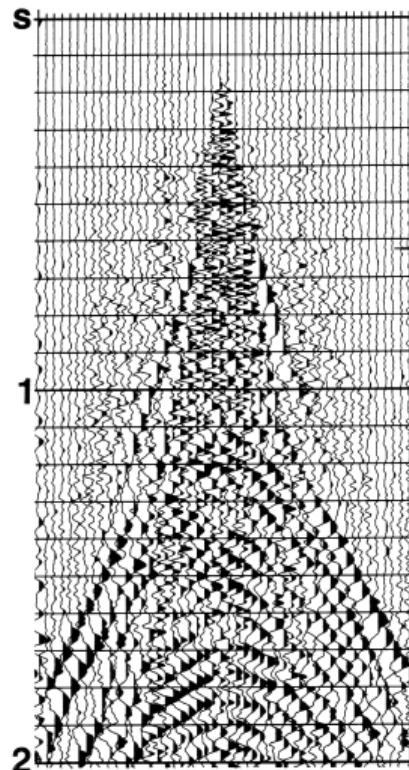
# Premières arrivées

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<sup>re</sup> arrivées distinctes*



*1<sup>re</sup> arrivées bruitées*



# 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

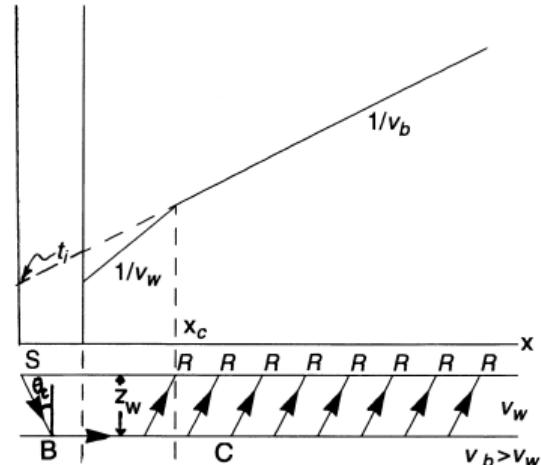
$$t = \frac{SB}{v_w} + \frac{BC}{v_b} + \frac{CR}{v_w},$$

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  $\theta_c$  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

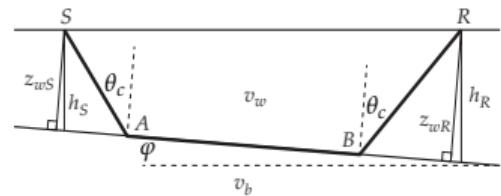
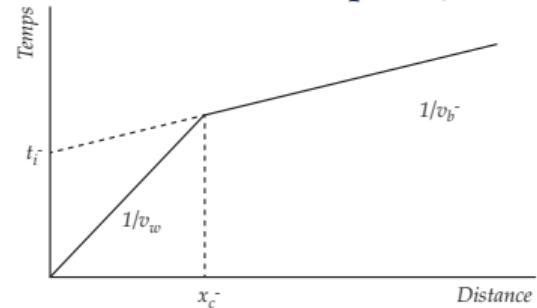
Si le réfracteur est incliné, l'inverse de la pente de l'arrivée refractée n'est pas  $v_b$ .

- 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

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



# 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

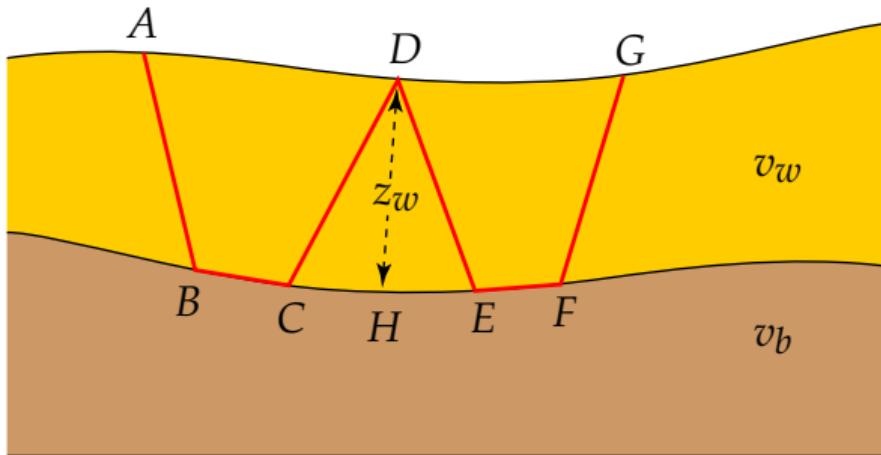
Introduction
Influence des corrections statiques
Corrections statiques de terrain
Définitions
Cas du tir en forage
Sismique réfraction
Premières arrivées
Sismique réfraction – cas général
Méthode Plus-Minus
Méthode GRM
Inverse généralisée
Statiques résiduelles
Exemples
Référence

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<sup>re</sup> arrivées  $t_{ABCD}$ ,  $t_{DEFG}$  et  $t_{ABFG}$

$$\begin{aligned} t_+ &= t_{ABCD} + t_{DEFG} - t_{ABFG} \\ t_- &= t_{ABCD} - t_{DEFG} + t_{ABFG}. \end{aligned} \tag{5}$$

# 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

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

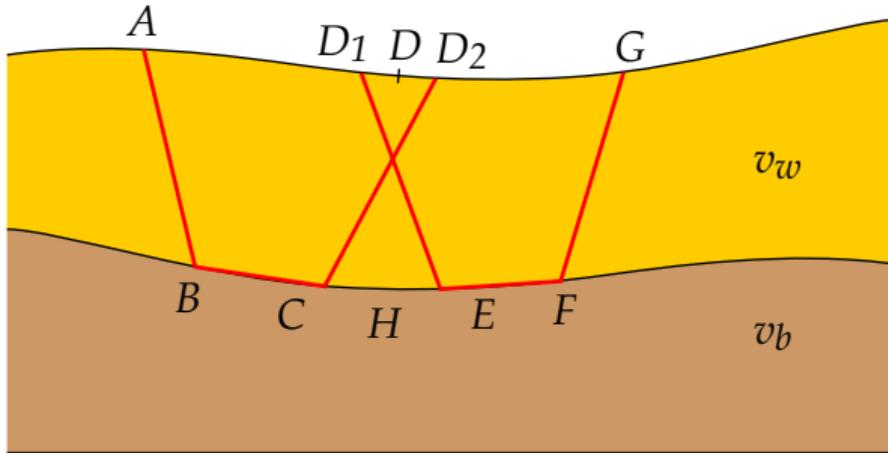
- On peut donc déterminer  $v_b$  connaissant  $t_-$  et  $t_+$ ;
- On assume toujours une valeur pour  $v_w$ ;
- En comparant avec l'équation (3), on remarque que  $t_+ \equiv t_i$ ;
- On peut ainsi calculer (éq. (3)) l'épaisseur au point  $D$ , que l'on nomme  $z_D$ ;
- La correction statique au point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

$$\begin{aligned} t_+ &= t_{ABCD_2} + t_{D_1EFG} - t_{ABFG} - \frac{D_1D_2}{v_b} \\ t_- &= t_{ABCD_2} - t_{D_1EFG} + t_{ABFG}. \end{aligned} \tag{7}$$

# 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

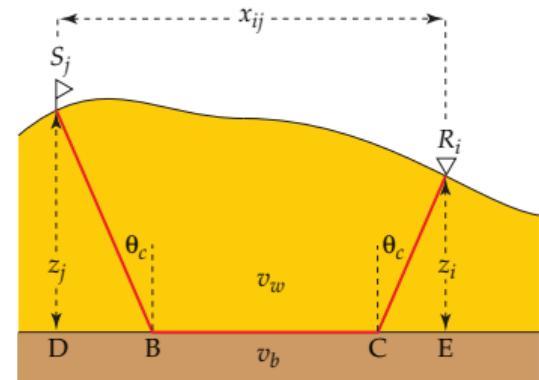
- Voyons en détail le cas d'une couche d'épaisseur variable;
- Le temps de la source  $S_j$  au géophone  $R_i$  est

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

- Si le réflecteur est plat ou quasi-plat

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

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

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

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

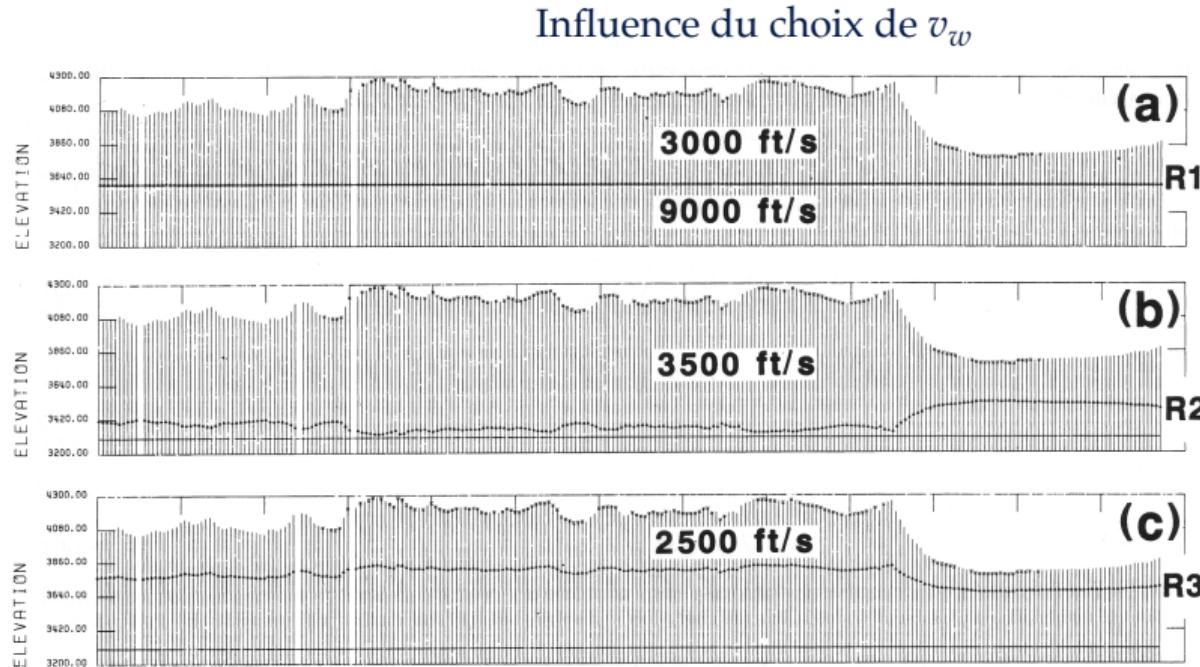
$$\mathbf{p} = (\mathbf{L}^T \mathbf{L})^{-1} \mathbf{L}^T \mathbf{t}, \quad (10)$$

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



(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

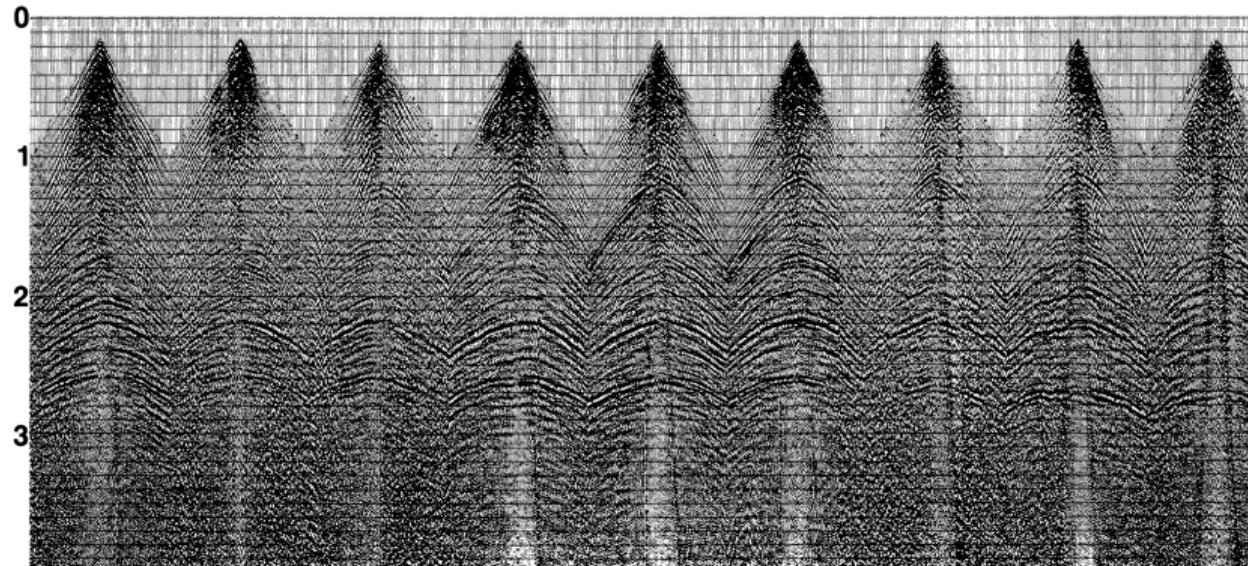
Référence

# 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

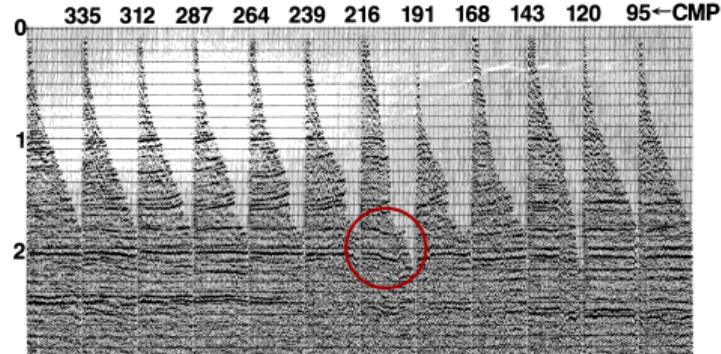
- Les corrections précédentes assument une vitesse constante dans le mort-terrain;
- Des irrégularités vont introduire des décalages entre les traces regroupées en point miroir commun (PMC, ou CMP).



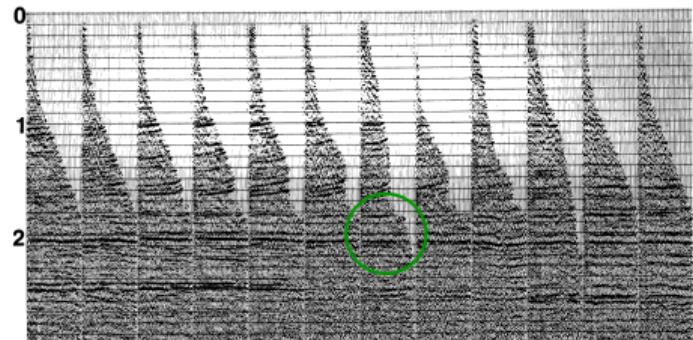
# Motivation

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

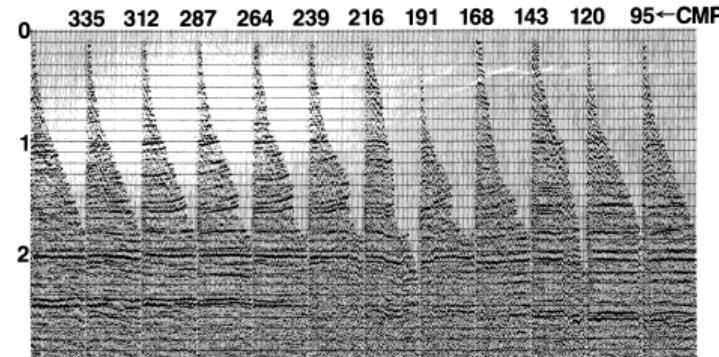
Pour appliquer les corrections résiduelles :

- ① Appliquer les corrections statiques de terrain, regrouper en PMC;
- ② Effectuer l'analyse de vitesse;
- ③ Effectuer la correction par courbure d'indicatrice (NMO);
- ④ Calculer et appliquer les statiques résiduelles;
- ⑤ Effectuer la correction NMO inverse;
- ⑥ Refaire l'analyse de vitesse;
- ⑦ Effectuer la correction NMO avec le nouveau modèle de vitesse;
- ⑧ Sommation.

# Importance de la 2<sup>e</sup> analyse de vitesse

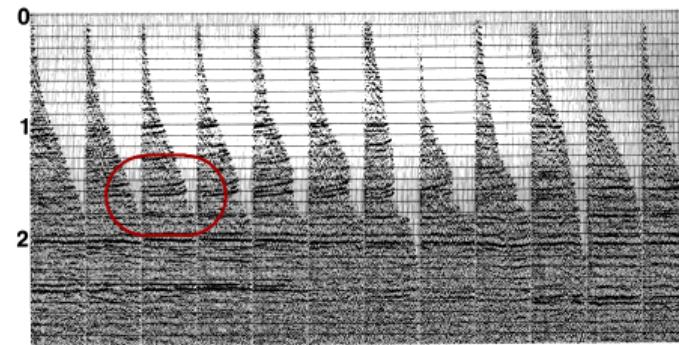
Introduction  
Influence des corrections statiques  
Corrections statiques de terrain  
Statiques résiduelles  
Séquence de traitement  
Importance de l'analyse de vitesse  
Calcul des statiques résiduelles  
Statiques résiduelles – Solution  
Pointé des temps  
Exemples  
Référence

sans résiduelle



(a)

avec résiduelle

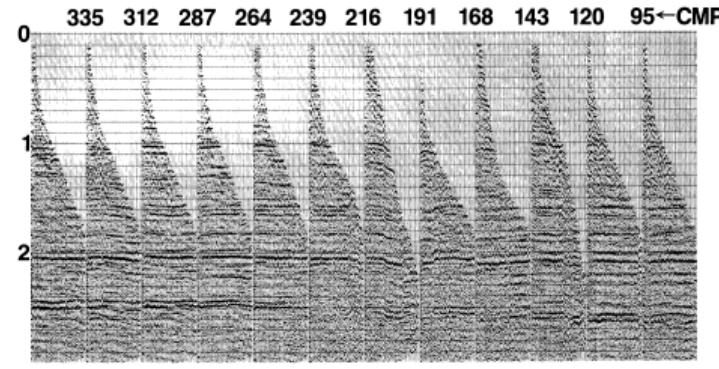


(b)

# Importance de la 2<sup>e</sup> analyse de vitesse

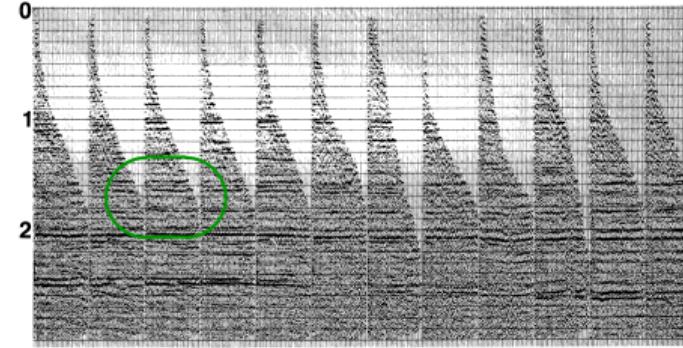
Introduction  
Influence des corrections statiques  
Corrections statiques de terrain  
Statiques résiduelles  
Séquence de traitement  
Importance de l'analyse de vitesse  
Calcul des statiques résiduelles  
Statiques résiduelles – Solution  
Pointé des temps  
Exemples  
Référence

sans résiduelle



(a)

avec résiduelle + 2<sup>e</sup> analyse de vitesse

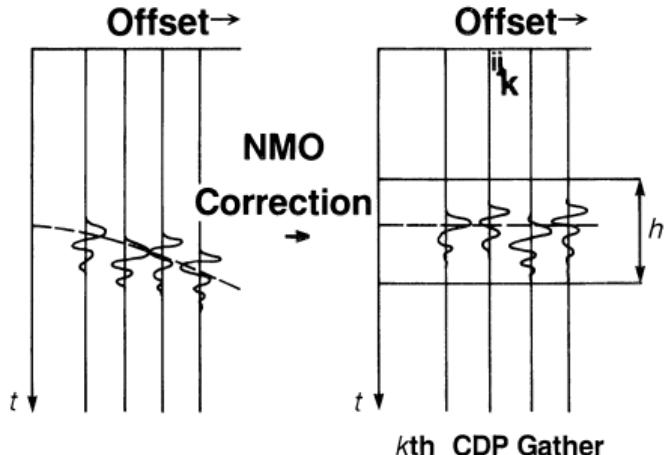


(b)

# Calcul des statiques résiduelles

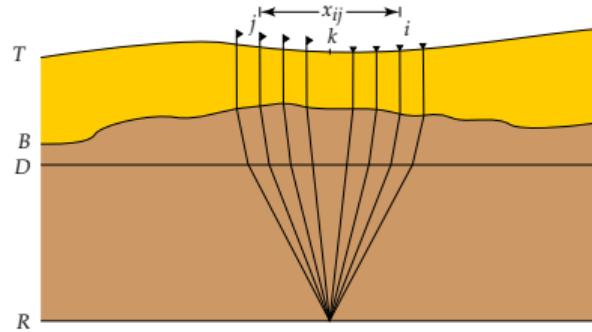
- Introduction
- Influence des corrections statiques
- Corrections statiques de terrain
- Statiques résiduelles
  - Séquence de traitement
  - Importance de l'analyse de vitesse
  - Calcul des statiques résiduelles
  - Statiques résiduelles – Solution
  - Pointé des temps
  - Exemples
  - Référence

- 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

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

# 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

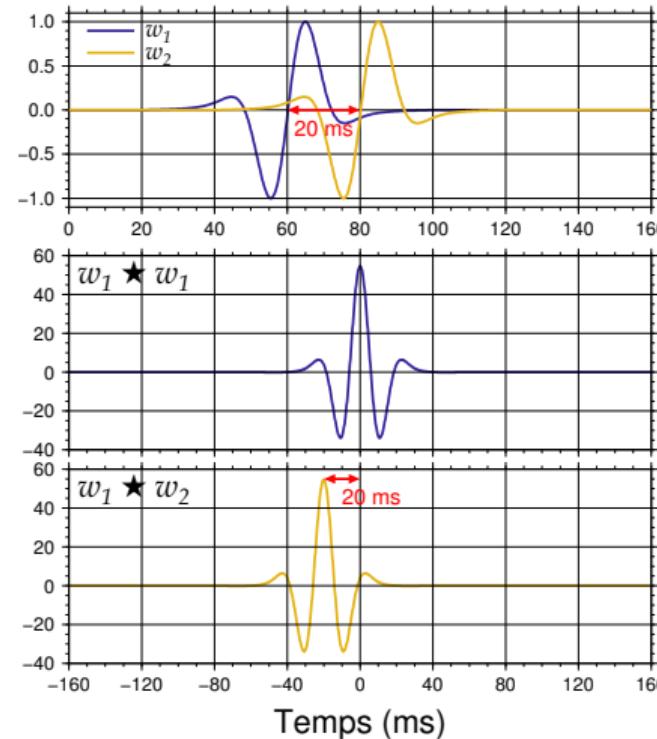
Introduction
Influence des corrections statiques
Corrections statiques de terrain
Statiques résiduelles
Séquence de traitement
Importance de l'analyse de vitesse
Calcul des statiques résiduelles
Statiques résiduelles – Solution
Pointé des temps
Exemples
Référence

- 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

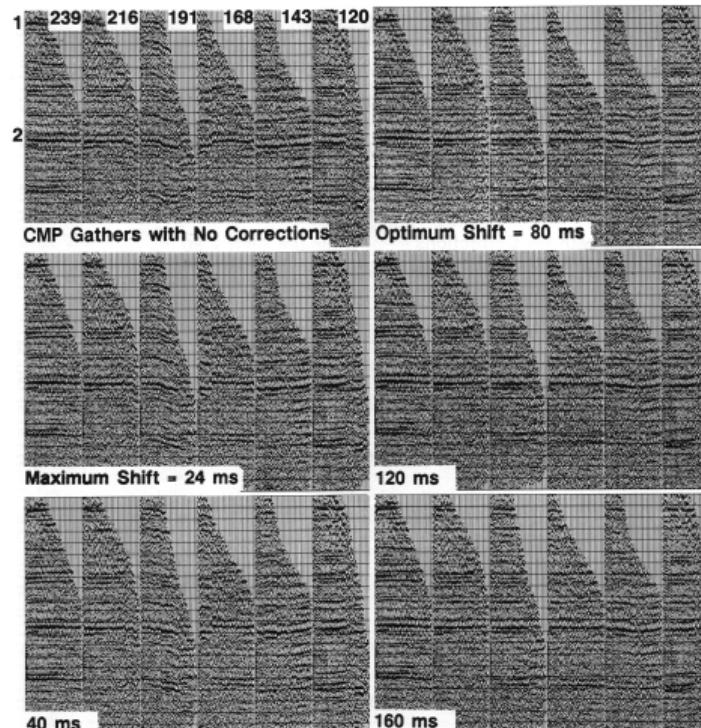
Référence

- 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

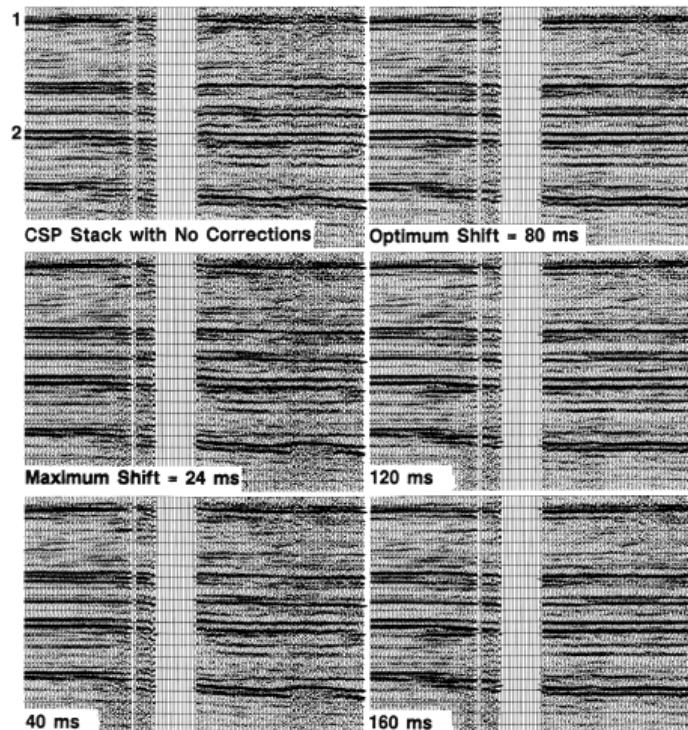
## Influence du délai maximal – données classés en PMC



# 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

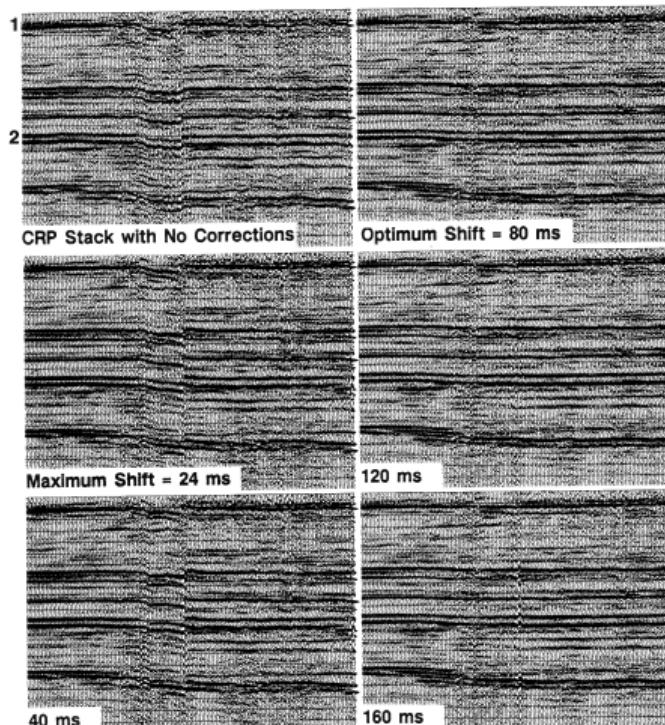
## Influence du délai maximal – classements tir commun sommés



# 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

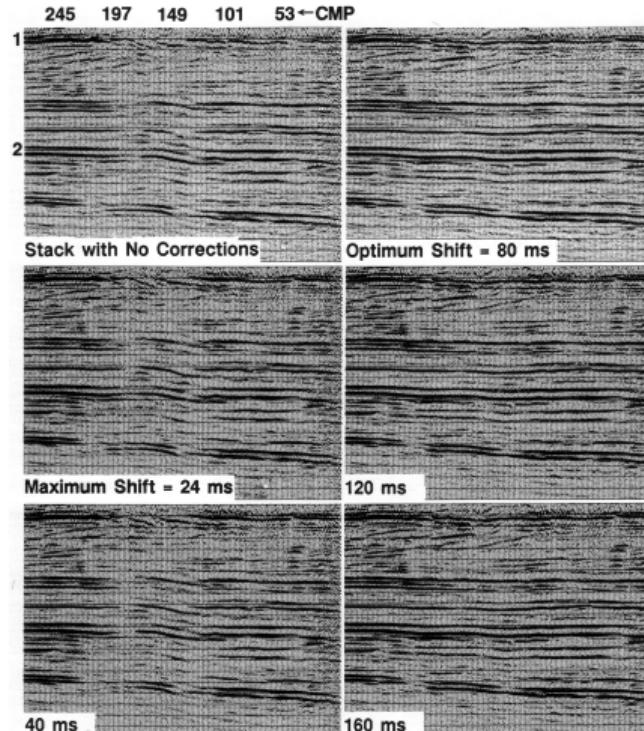
## Influence du délai maximal – classements récepteur commun sommés



# 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

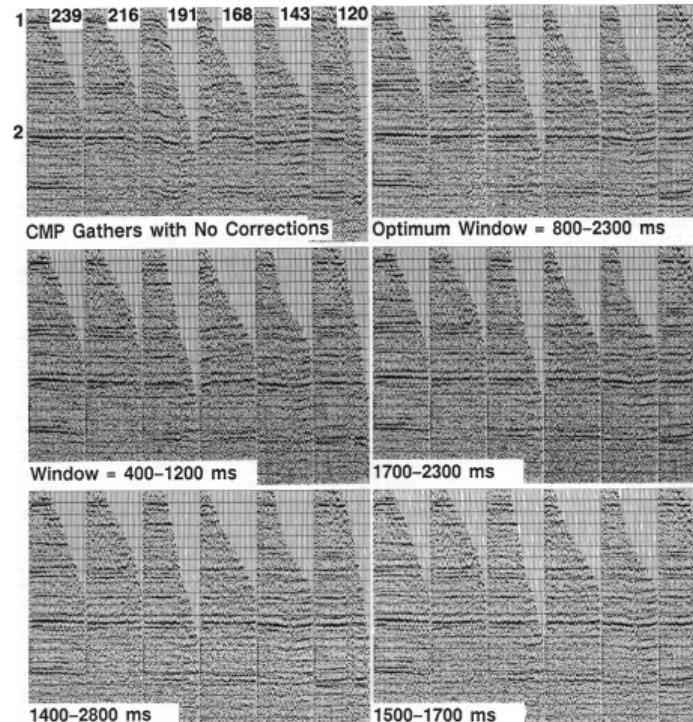
## Influence du délai maximal – PMC sommés



# 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

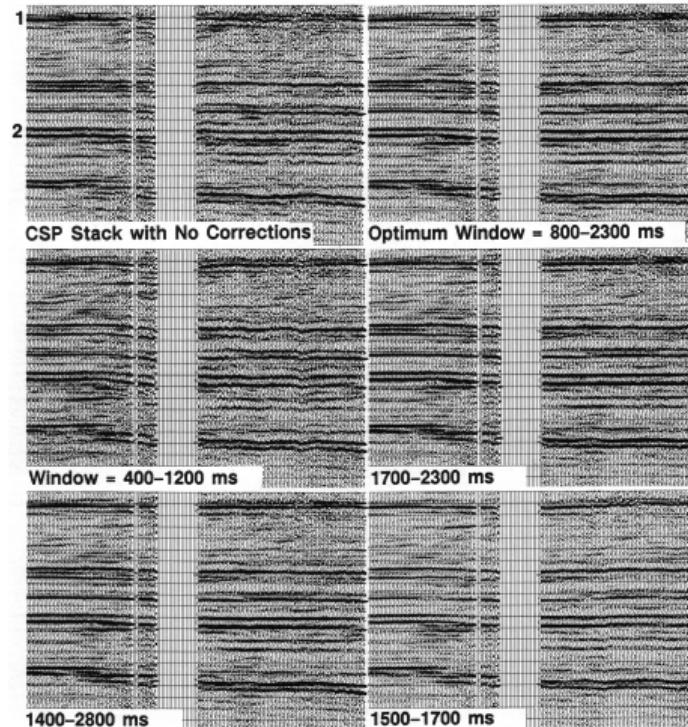
## Influence de la fenêtre – données classés en PMC



# 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

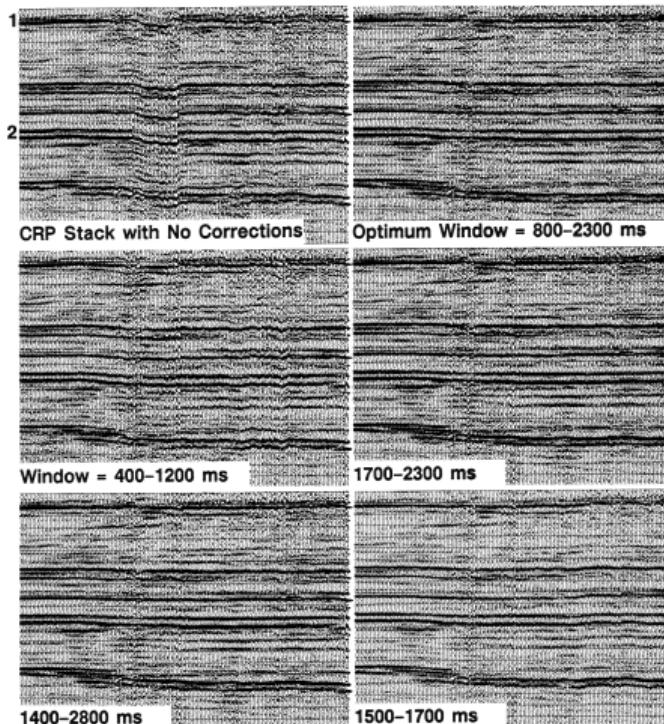
## Influence de la fenêtre – classements tir commun sommés



# 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

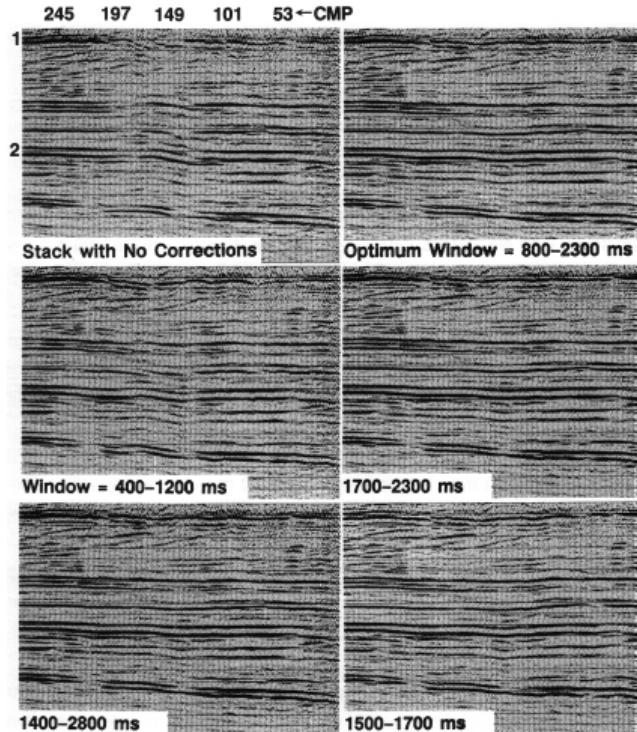
## Infl. de la fenêtre – classements récepteur commun sommés



# 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



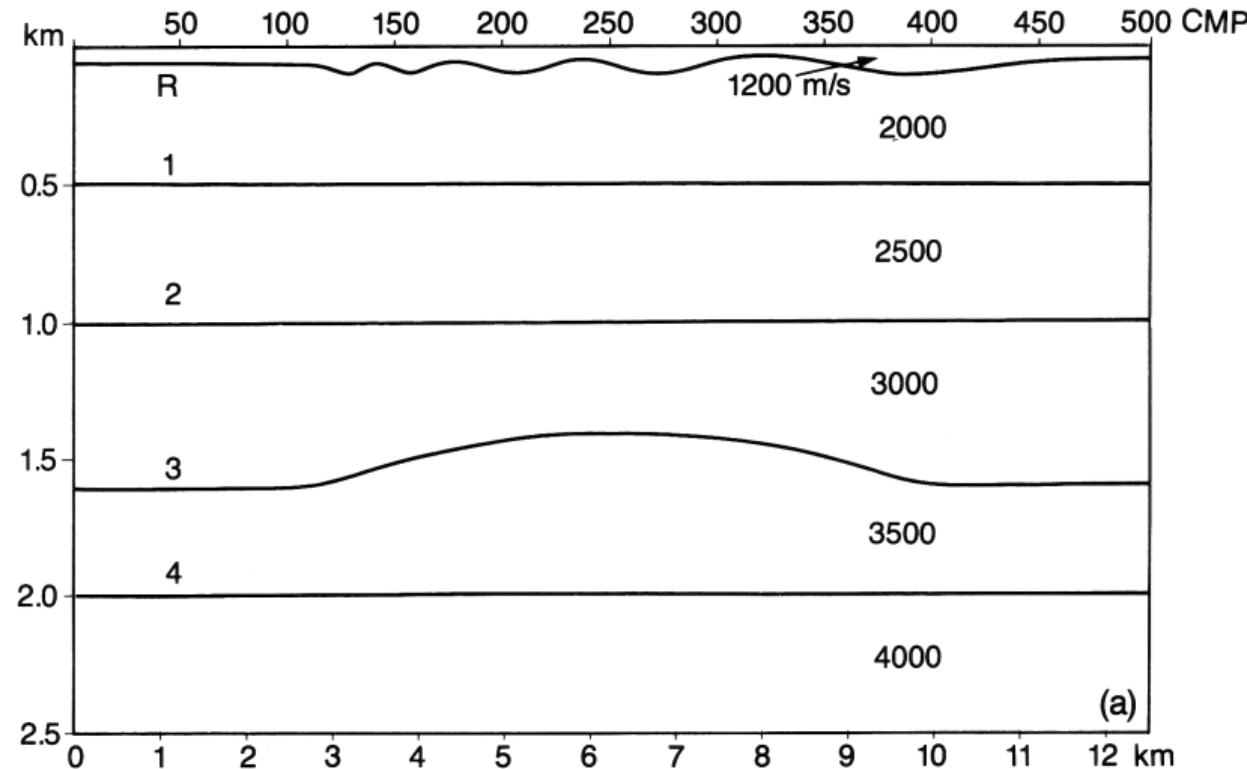
Introduction
Influence des corrections statiques
Corrections statiques de terrain
Statiques résiduelles
<b>Exemples</b>
Modèle synthétique
Cas réel 1
Cas réel 2
Référence

## Exemples

# Modèle synthétique

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

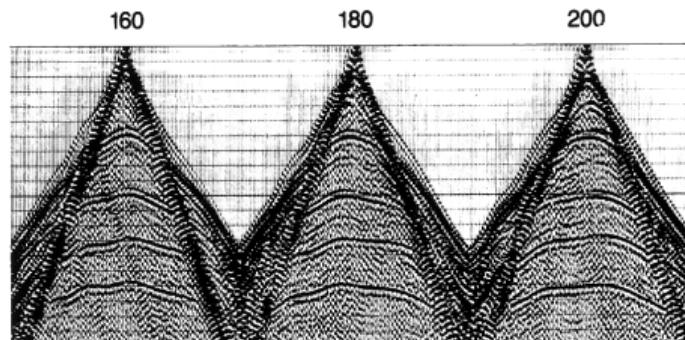
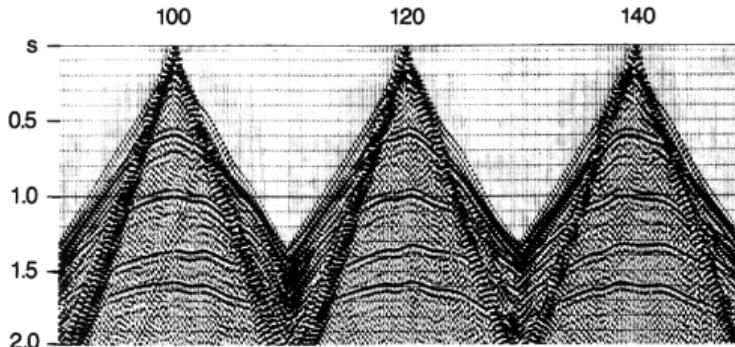
Référence



# Modèle synthétique

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

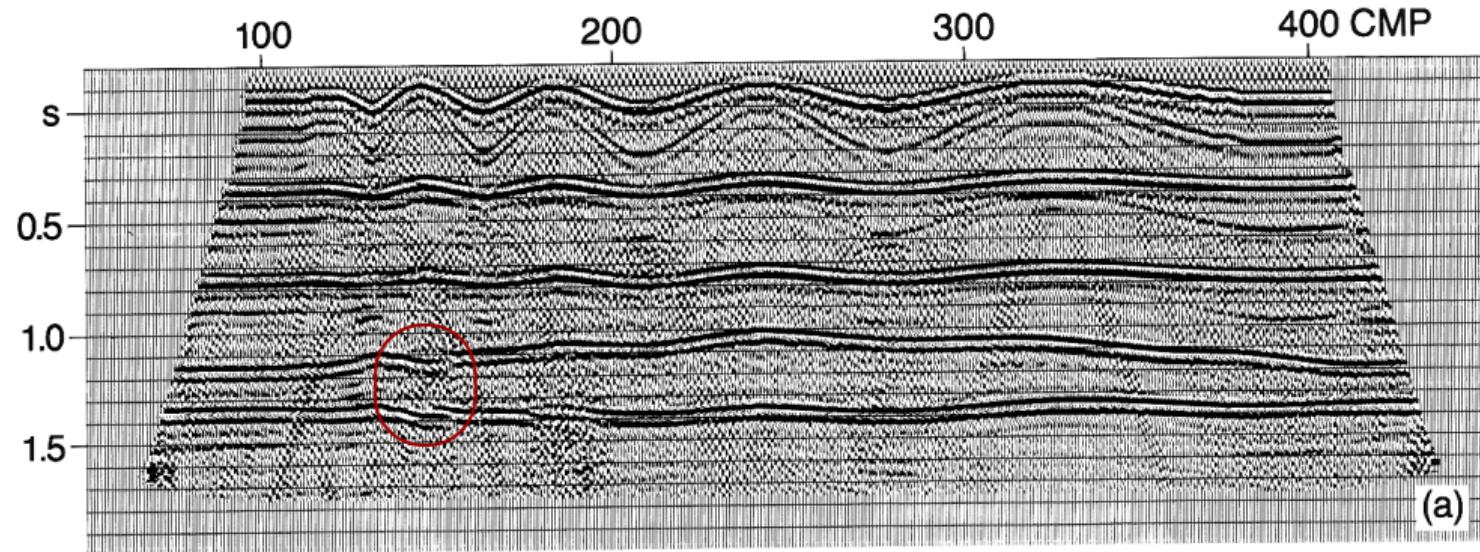
## Quelques points de tir modélisés



# Modèle synthétique

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

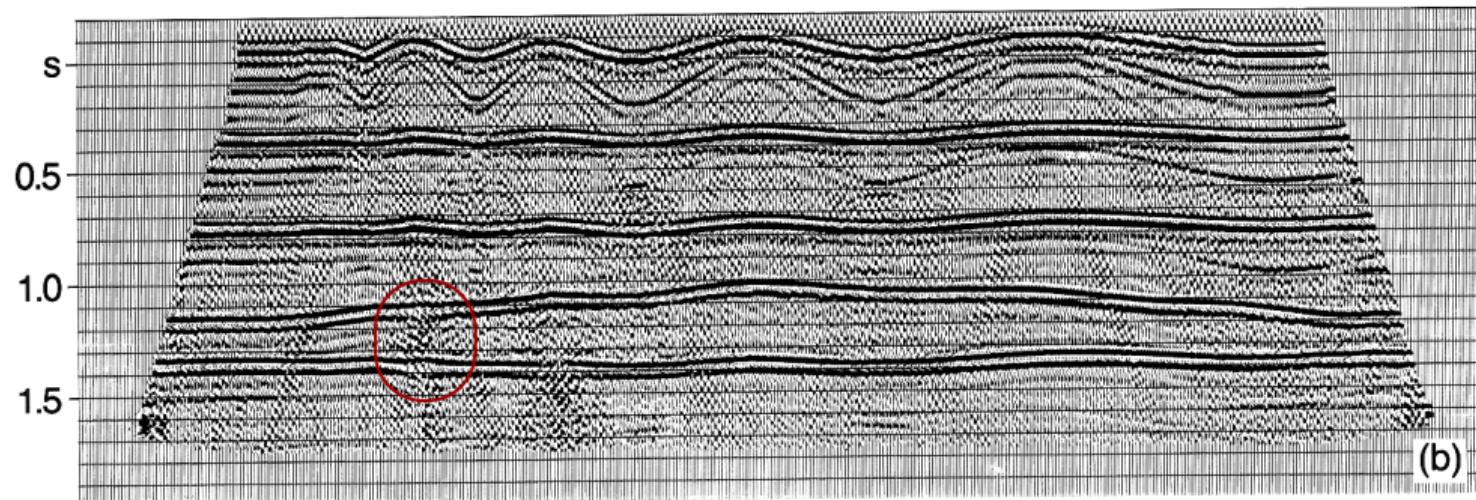
## Section après sommation, sans corrections statiques



# Modèle synthétique

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

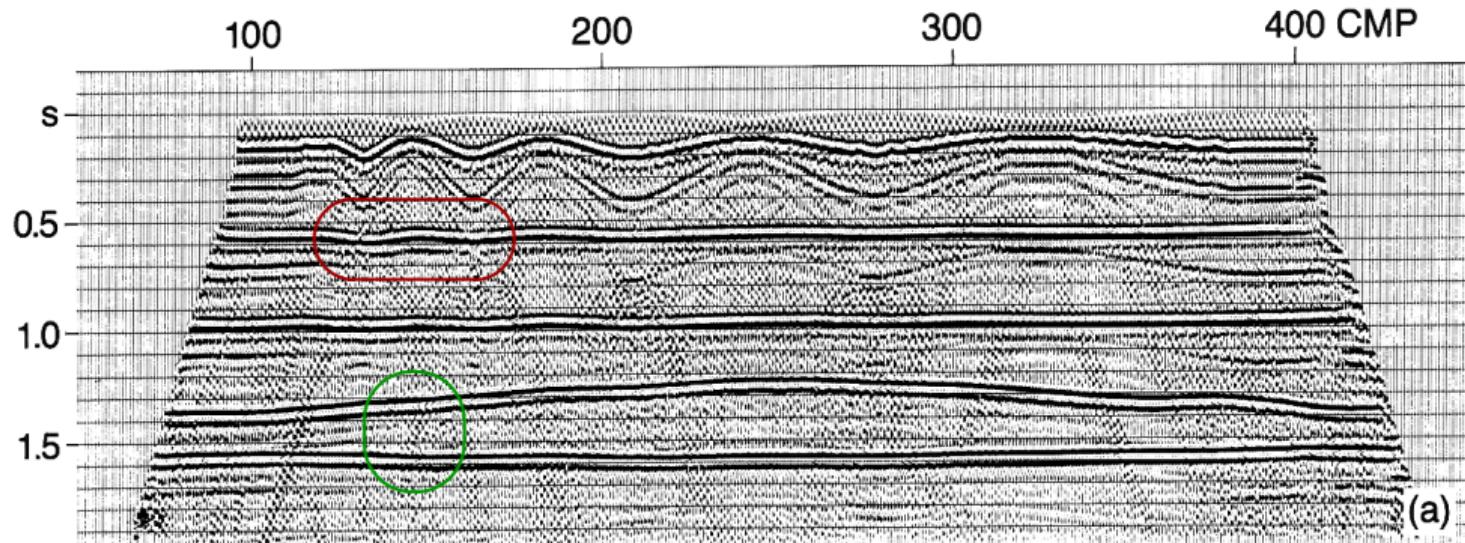
Section après sommation, avec statiques résiduelles seulement



# 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)



# Modèle synthétique

Introduction

Influence des  
corrections  
statiques

Corrections  
statiques de terrain

Statiques  
résiduelles

Exemples

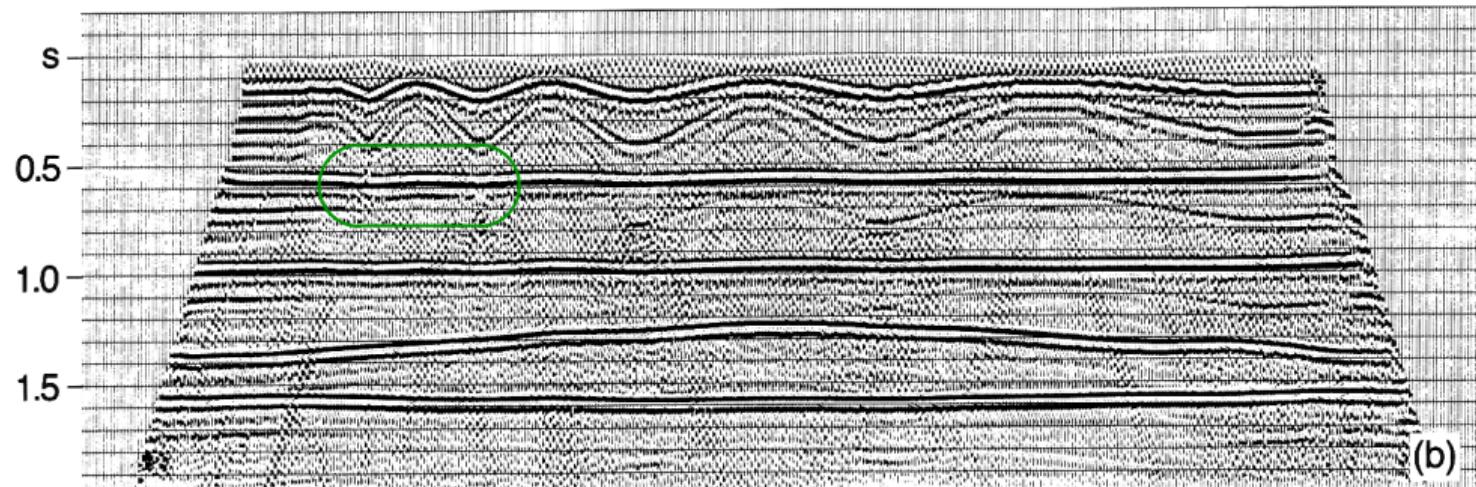
Modèle synthétique

Cas réel 1

Cas réel 2

Référence

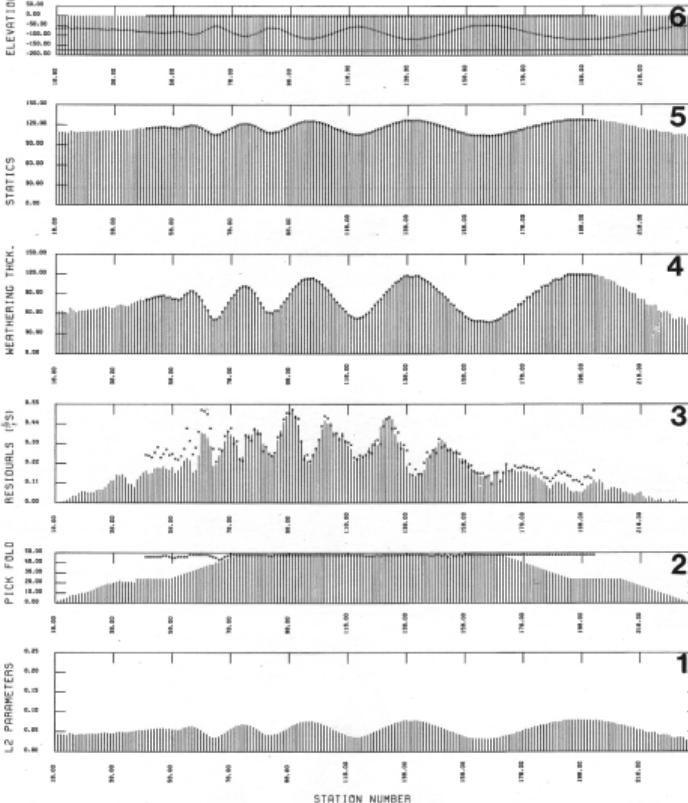
Section après sommation, avec corrections statiques de terrain (inversion,  $v_w=1200$  m/s) & résiduelles



# Modèle synthétique

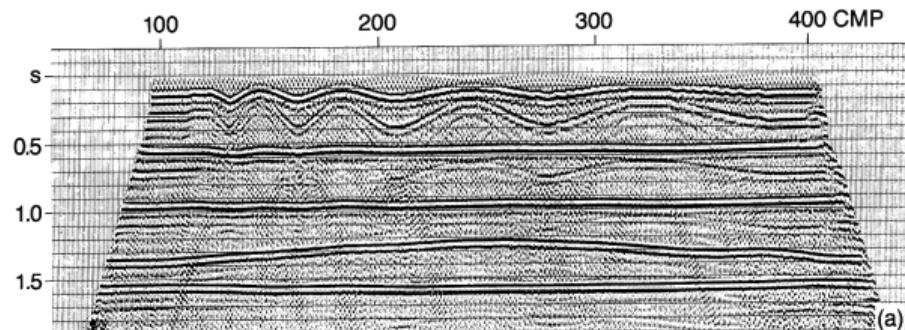
- Introduction
- Influence des corrections statiques
- Corrections statiques de terrain
- Statiques résiduelles
- Exemples
  - Modèle synthétique
  - Cas réel 1
  - Cas réel 2
- Référence

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

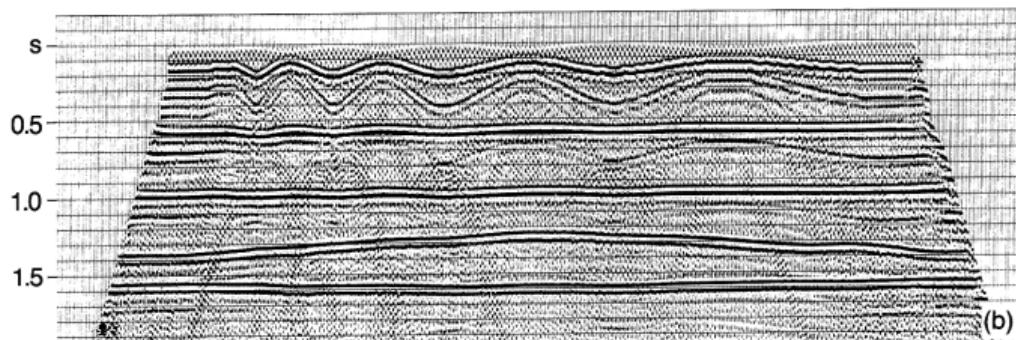


# Modèle synthétique – Influence de $v_w$

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



Weathering velocity = 1000 m/s

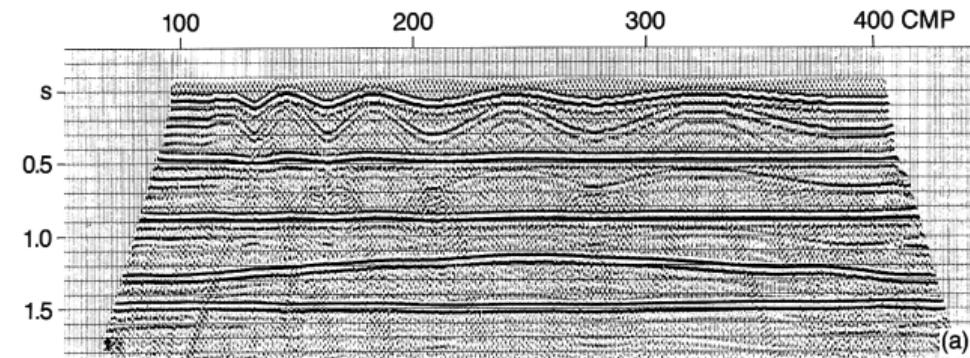


1400 m/s

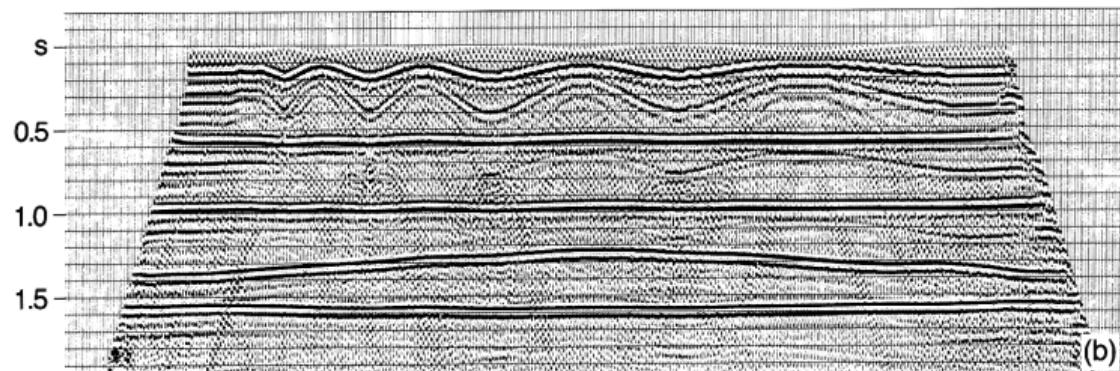
# Modèle synthétique

- 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)



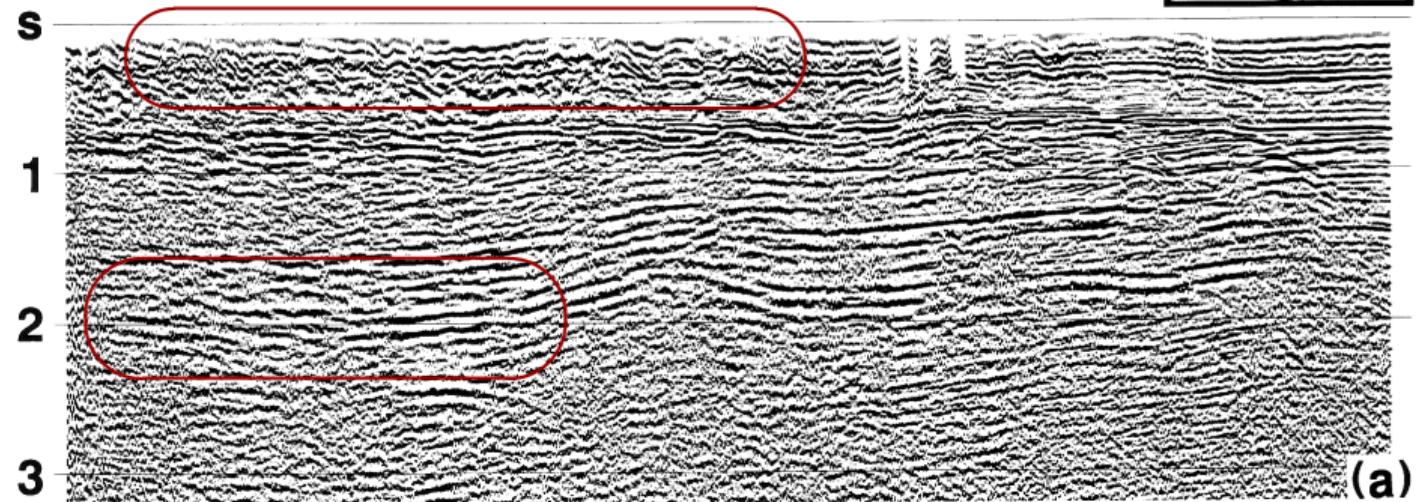
(b)

# 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

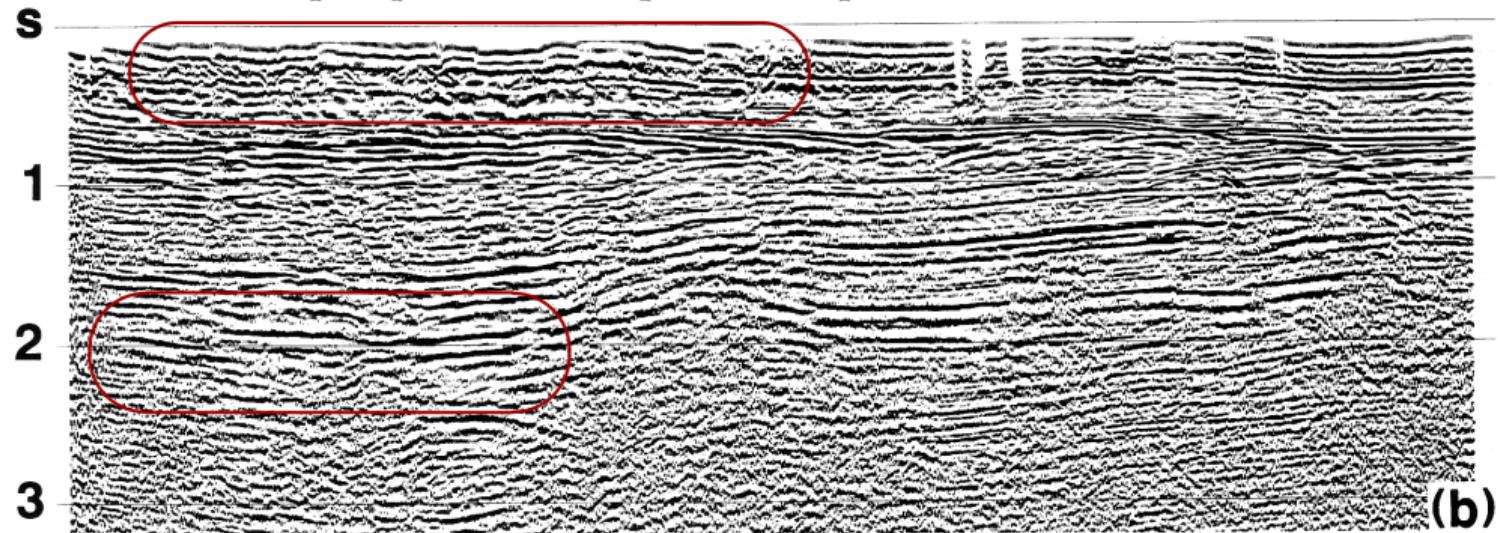
0 1 2km



# 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

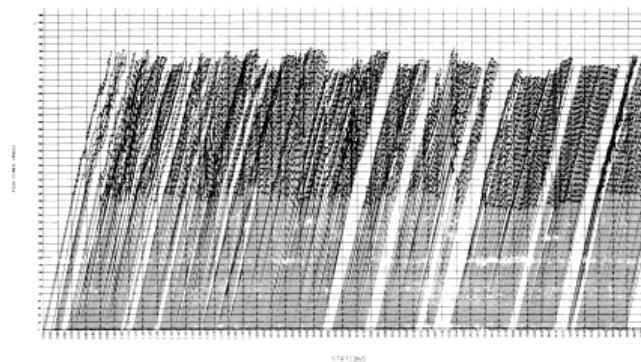
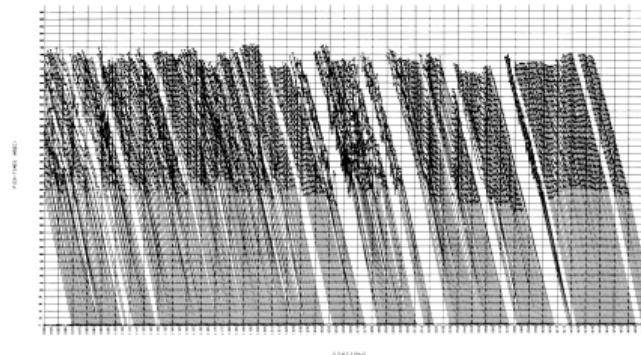


Amélioration notable, mais insuffisante.

# 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

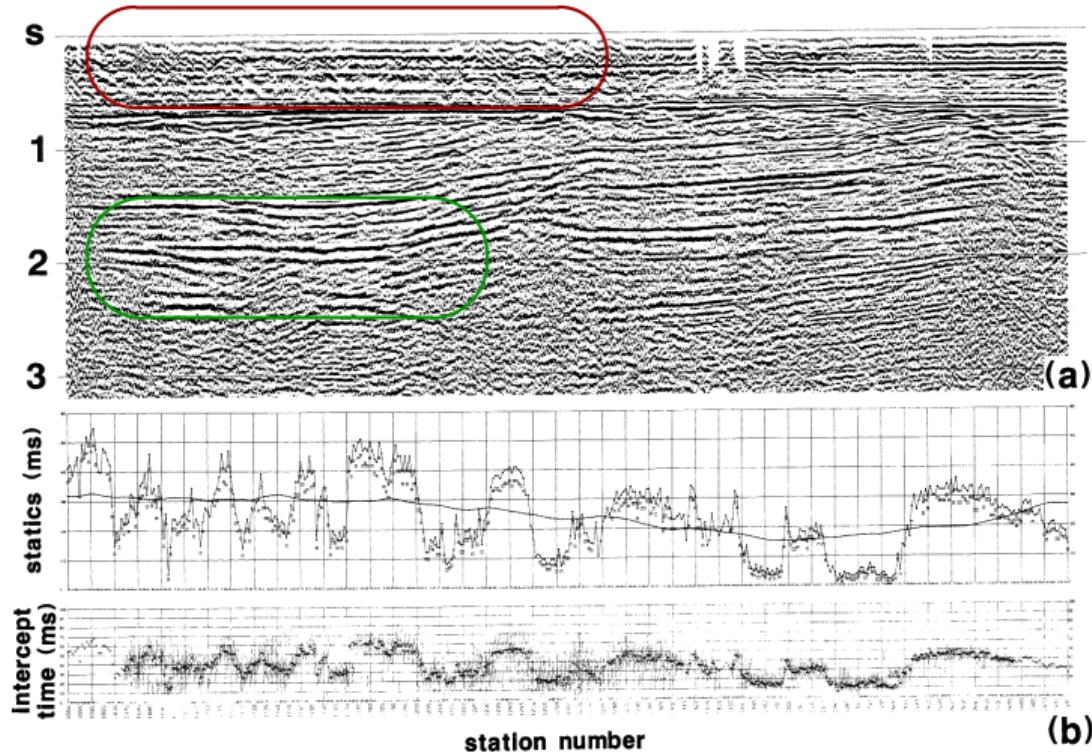
Pointé des 1<sup>re</sup> arrivées :  $\pm$  linéaires avec déviations locales



# 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

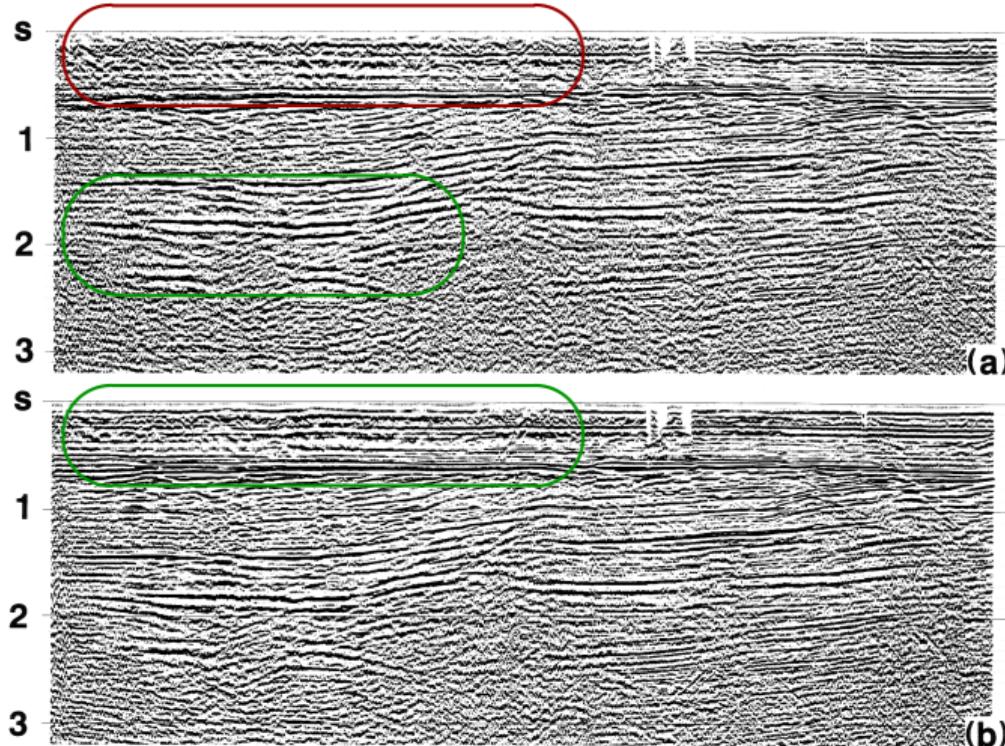
## Statiques de terrain, méthode GRM



# 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

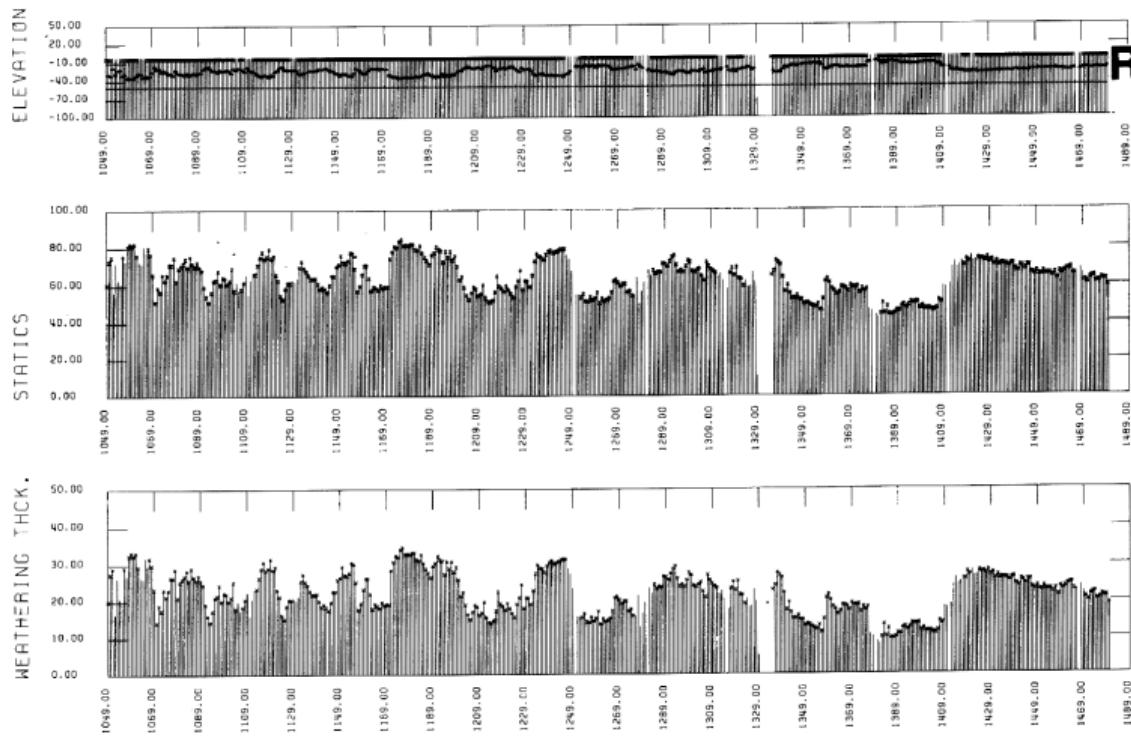
## Exemples

## Modèle synthétique

## Cas réel 1

## Cas réel 2

## Référence

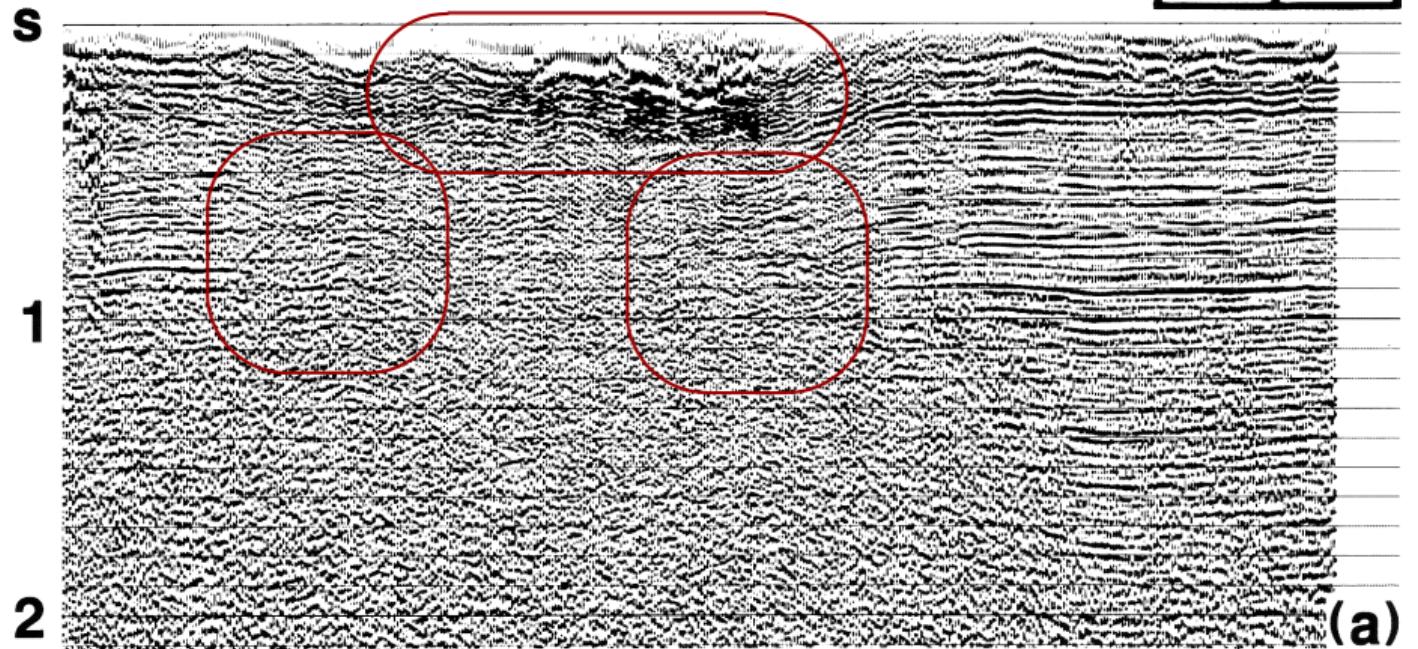


## 2 : Topo irrégulière & bedrock supposé plat

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

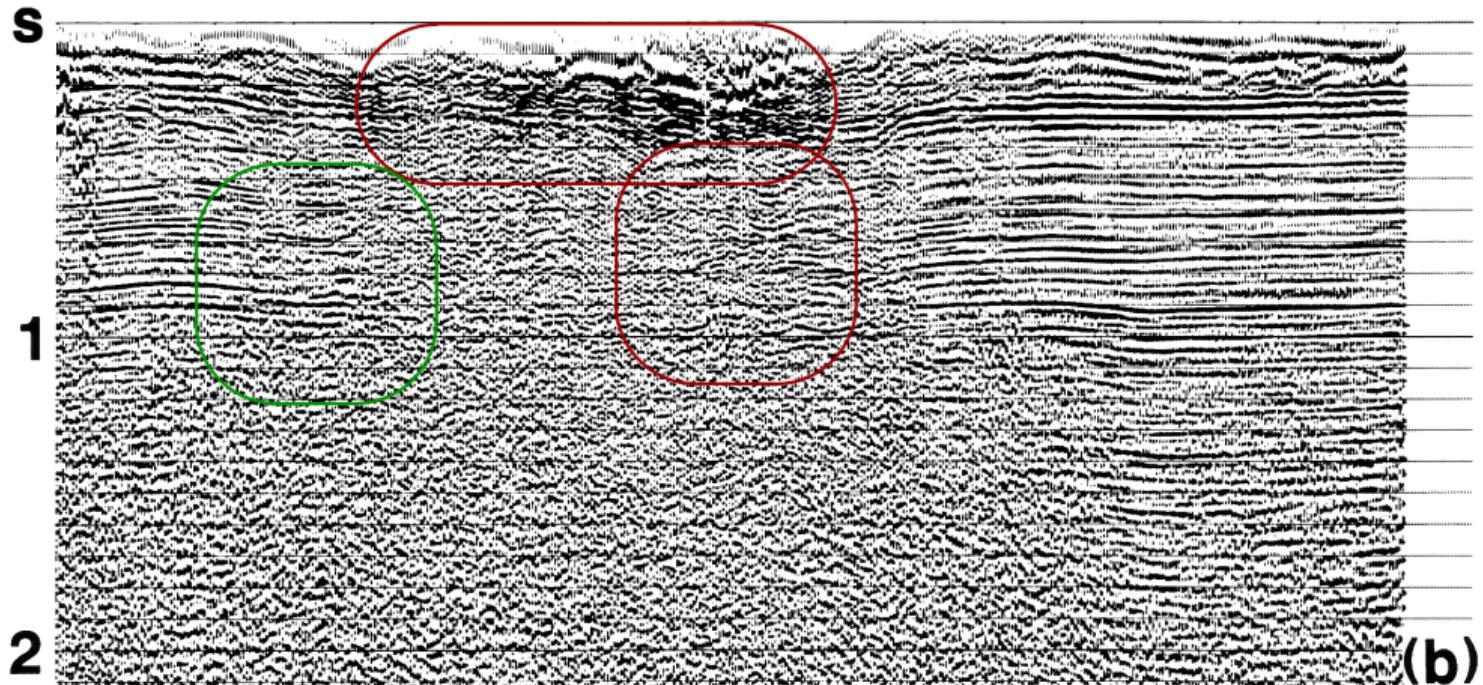
0 1 2km



## 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

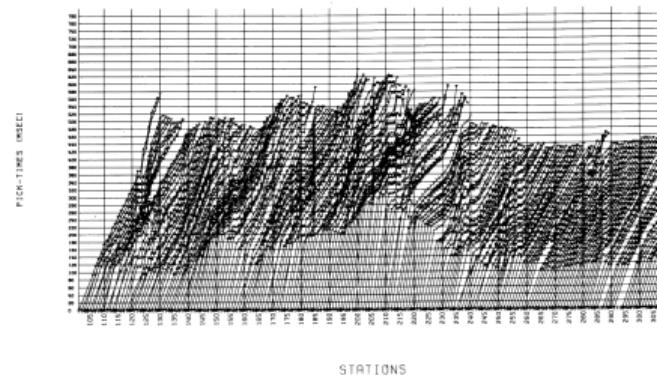
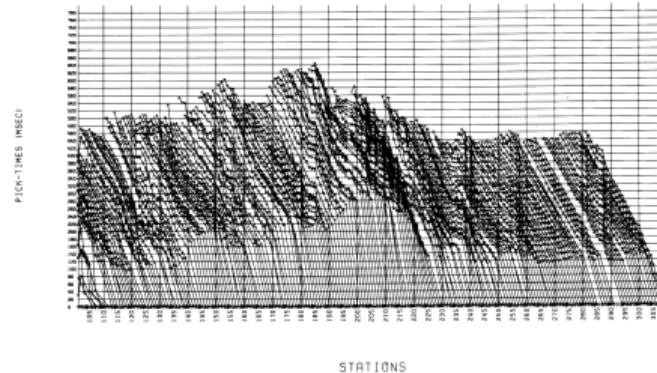
Corrections statiques pour bedrock plat + statiques résiduelles



# 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

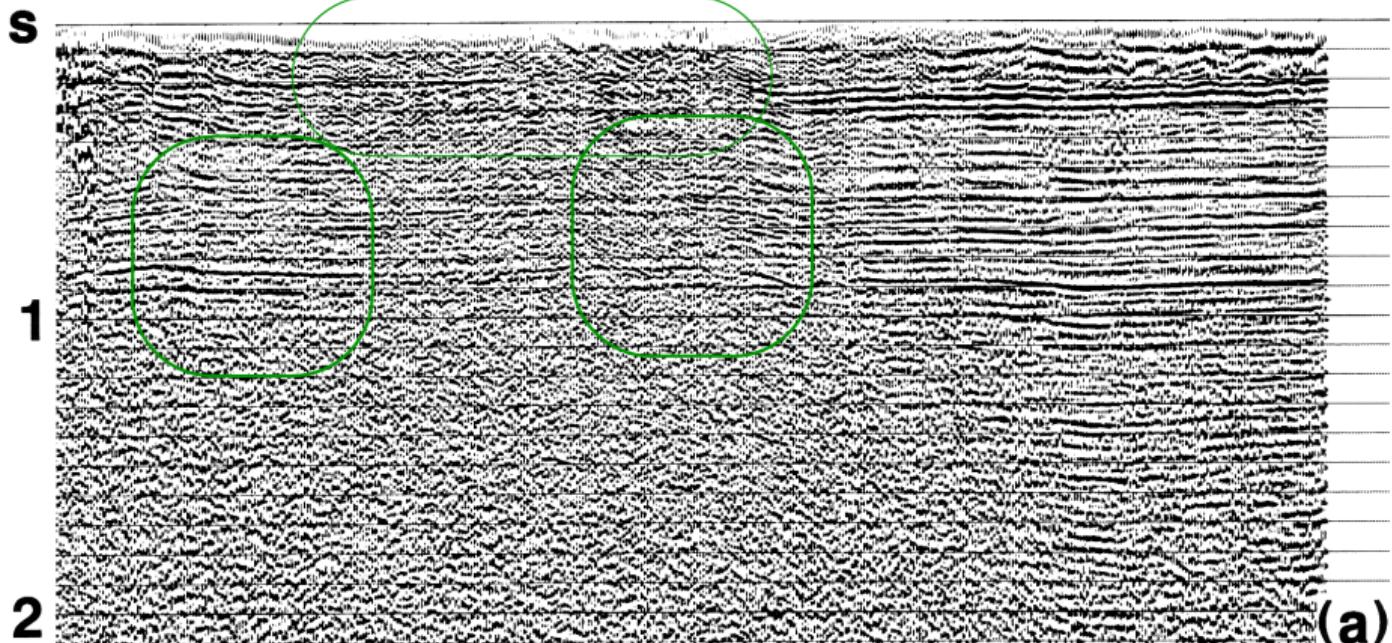
Pointé des 1<sup>re</sup> arrivées : déviations importantes au centre



## 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

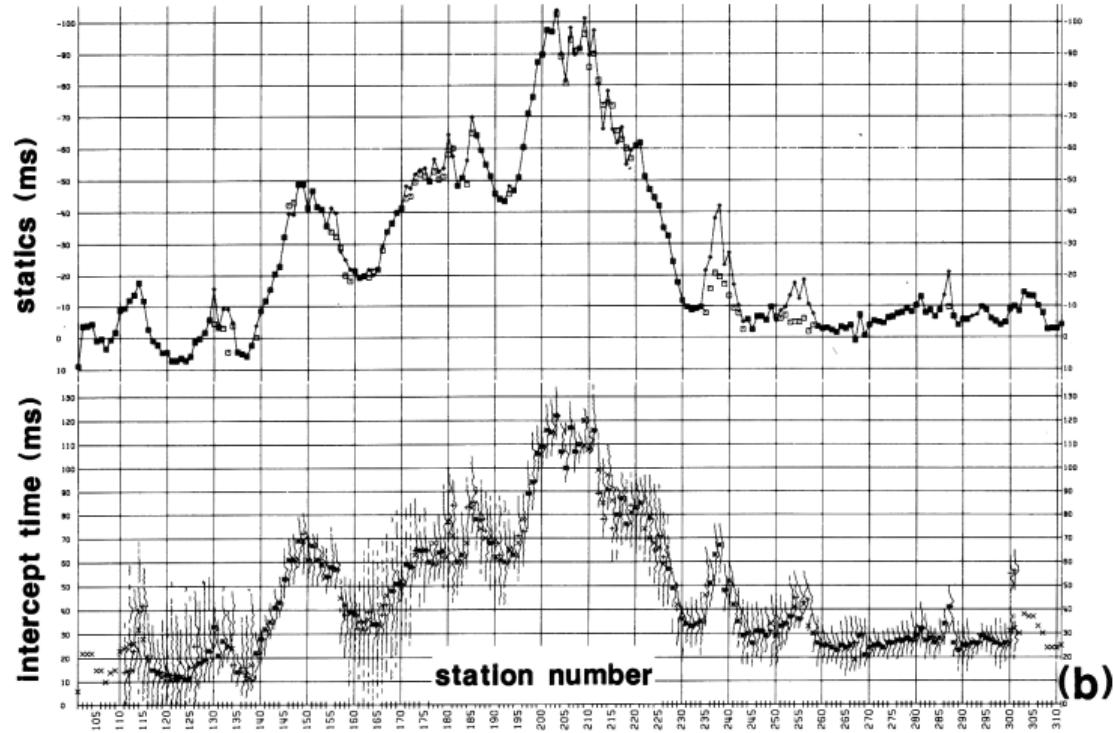


Amélioration, mais variations de moyennes et grandes longueur d'onde subsistent

## 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

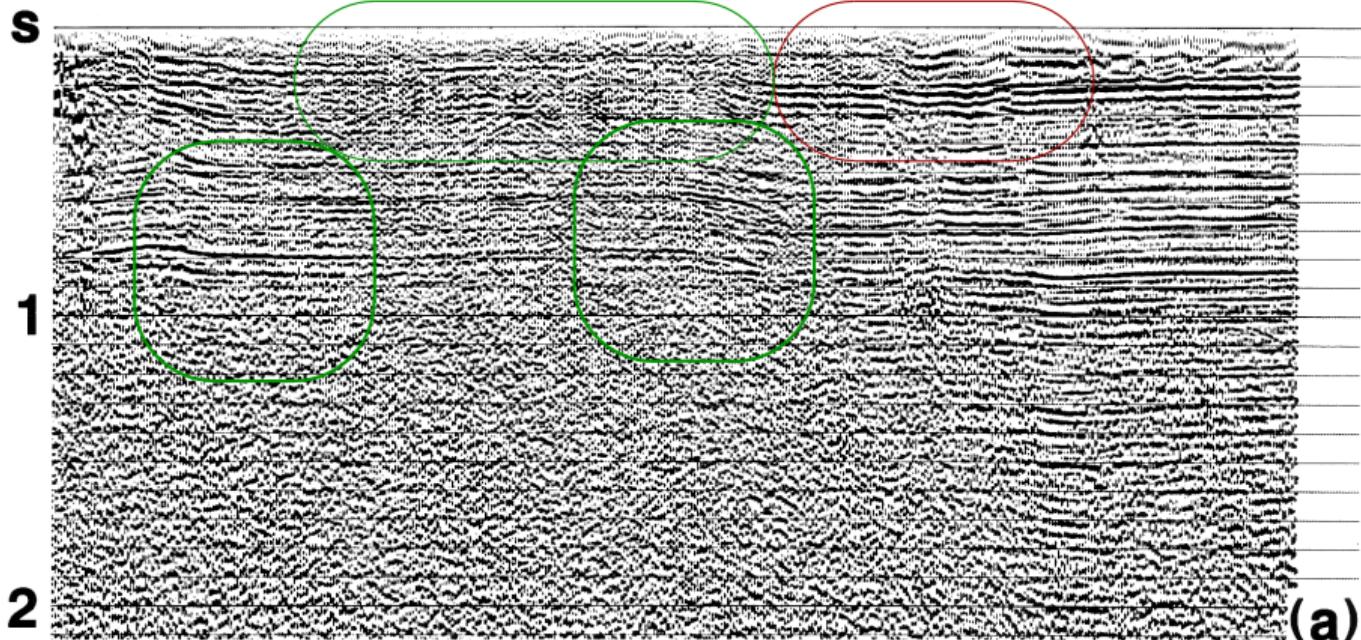
### Statiques de terrain, méthode GRM



## 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

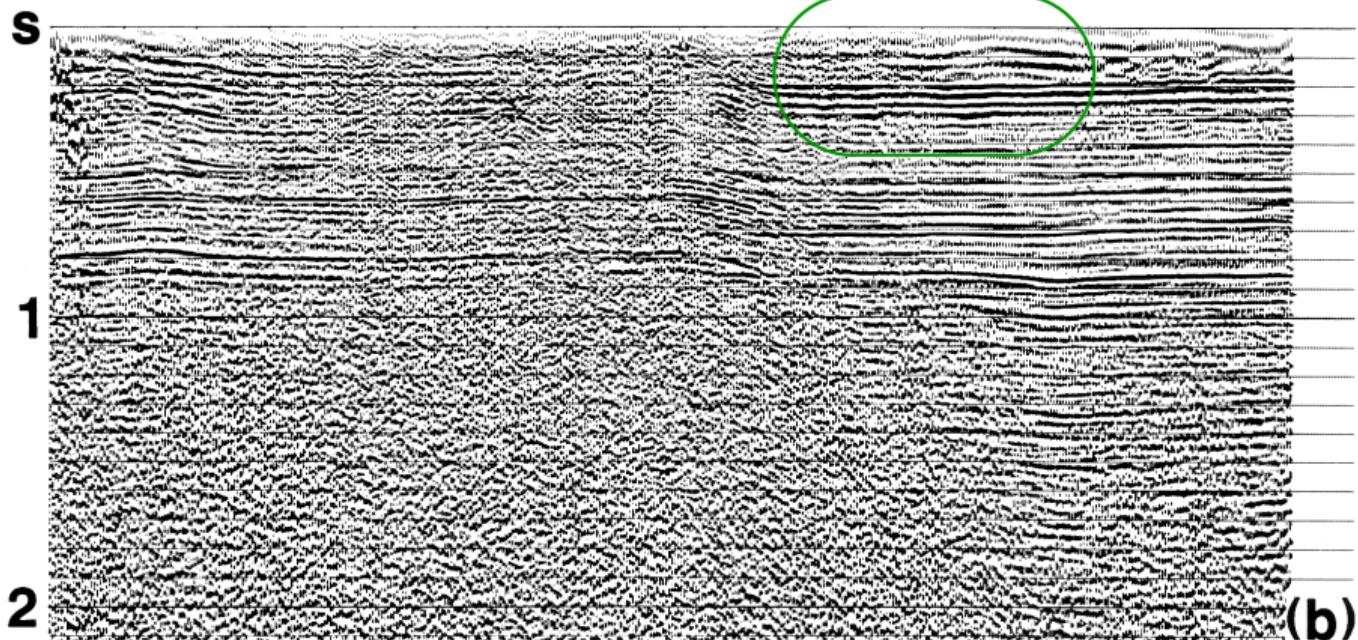
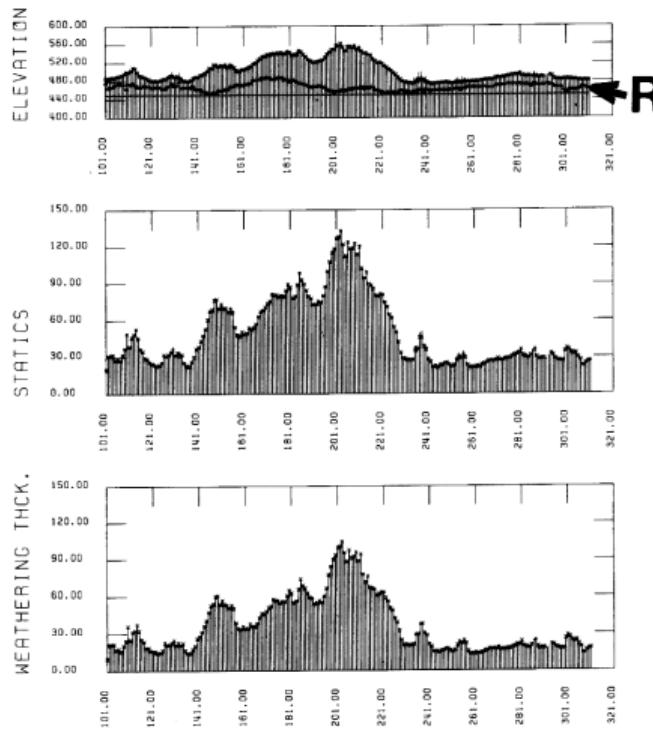


Image offrant la meilleure continuité des réflecteurs

# 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