

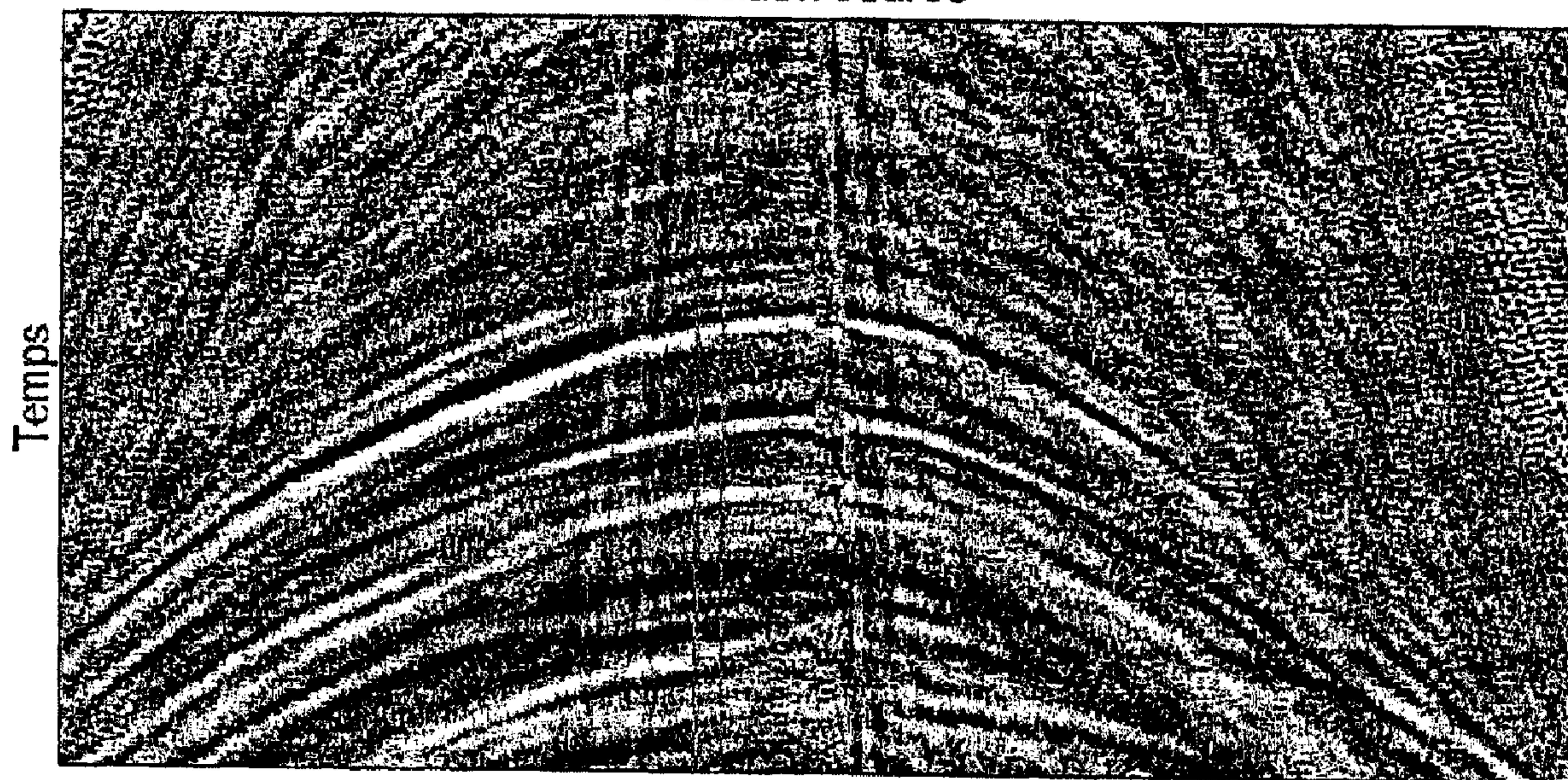


(22) Date de dépôt/Filing Date: 2004/04/26
(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 2004/10/29
(30) Priorité/Priority: 2003/04/29 (03/05.292) FR

(51) Cl.Int.⁷/Int.Cl.⁷ E21B 47/14
(71) Demandeur/Applicant:
INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE, FR
(72) Inventeur/Inventor:
BROTO, KARINE, FR
(74) Agent: ROBIC

(54) Titre : METHODE POUR DETERMINER UN MODELE DE VITESSE D'ONDES SISMIQUES DANS UNE
FORMATION SOUTERRAINE HETEROGENE
(54) Title: METHOD OF DETERMINING A MODEL FOR SEISMIC WAVE VELOCITY IN A HETEROGENEOUS
SUBSURFACE FORMATION

Position source



(57) Abrégé/Abstract:

- Méthode pour déterminer un modèle de vitesse d'ondes sismiques captées par des récepteurs sismiques couplés avec une formation souterraine, en réponse à l'émission d'ondes sismiques dans le sous-sol par une source sismique, après réflexion sur des interfaces géologiques de la dite formation, d'après des enregistrements multi-déports de ces ondes. - A partir du pointé sur les enregistrements sismiques d'un ou plusieurs événements pour différents couples source-capteur associés au déport le plus faible d'un dispositif sismique d'acquisition, on prédit la géométrie des événements considérés pour toute la gamme de déports du dispositif d'acquisition et pour différentes valeurs de vitesse prises autour d'une vitesse de couche de référence, et ce à l'aide de techniques cinématiques d'inversion et de modélisation. Puis, pour différentes positions latérales du dispositif d'acquisition, on sélectionne la courbe, de temps de trajet prédite approchant au mieux l'événement sismique considéré. Les temps de trajet ainsi obtenus sont alors fournis à une méthode d'inversion avant sommation telle qu'une tomographie de temps de trajet. - Applications à l'imagerie sismique du sous-sol par exemple.

PRECIS DE LA DIVULGATION

- Méthode pour déterminer un modèle de vitesse d'ondes sismiques captées par des récepteurs sismiques couplés avec une formation souterraine, en réponse à l'émission d'ondes sismiques dans le sous-sol par une source sismique, après réflexion sur des interfaces géologiques de la dite formation, d'après des enregistrements multi-déports de ces ondes.
- A partir du pointé sur les enregistrements sismiques d'un ou plusieurs événements pour différents couples source-capteur associés au déport le plus faible d'un dispositif sismique d'acquisition, on prédit la géométrie des événements considérés pour toute la gamme de déports du dispositif d'acquisition et pour différentes valeurs de vitesse prises autour d'une vitesse de couche de référence, et ce à l'aide de techniques cinématiques d'inversion et de modélisation. Puis, pour différentes positions latérales du dispositif d'acquisition, on sélectionne la courbe de temps de trajet prédite approchant au mieux l'événement sismique considéré. Les temps de trajet ainsi obtenus sont alors fournis à une méthode d'inversion avant sommation telle qu'une tomographie de temps de trajet.
- Applications à l'imagerie sismique du sous-sol par exemple.

5

METHODE POUR DETERMINER UN MODELE DE VITESSE D'ONDES SISMIQUES DANS UNE FORMATION SOUTERRAINE HETEROGENE

La présente invention concerne une méthode permettant de déterminer un modèle
10 de vitesse d'ondes sismiques captées par des récepteurs couplés avec une formation
souterraine, d'après des enregistrements multi-déports de ces ondes.

La méthode permet un accès facilité à l'information cinématique avant sommation
associée aux événements contenus dans les enregistrements sismiques, qui est combiné à
une technique d'inversion cinématique avant sommation en vue de l'imagerie des interfaces
15 géologiques du sous-sol.

Par "information cinématique avant sommation", nous entendons les temps de trajet
associés aux réflexions enregistrées par des couples source-capteur situés à des distances
variables l'un de l'autre. A "accès facilité", nous opposons un pointé manuel des
événements sismiques dans les collections multi-déports. Par "méthode d'inversion
20 cinématique avant sommation", nous entendons une méthode permettant, à partir de
l'information cinématique extraite des enregistrements sismiques (et non d'une
approximation de cette information cinématique), de retrouver la géométrie des réflecteurs
associés ainsi que les vitesses de couche.

ETAT DE LA TECHNIQUE

25 La sismique réflexion est largement utilisée en exploration pétrolière, notamment
pour produire des images de la subsurface à partir de l'information contenue dans les ondes
qui se sont propagées et réfléchies sur les discontinuités géologiques du sous-sol.

Plus précisément, les méthodes d'imagerie utilisent l'information cinématique associée aux réflexions sismiques majeures (i.e. les temps de trajet des ondes s'étant réfléchies sur les discontinuités principales du sous-sol) pour déterminer un macro modèle de vitesse du sous-sol, qui servira lui-même à transformer les enregistrements sismiques temporels en une image profondeur de la subsurface.

L'accès à l'information cinématique nécessaire à la détermination du modèle de vitesse requiert l'interprétation des événements sismiques dans les enregistrements sismiques multi-déports. Or les données sismiques multi-déports sont généralement caractérisées par un mauvais rapport signal sur bruit, d'où une défaillance des pointés automatiques classiques et la nécessité d'effectuer un pointé des données sismiques manuel long et coûteux. Par ailleurs, pour les campagnes sismiques 3D (prédominantes de nos jours par rapport aux campagnes 2D), la quantité de données à interpréter est un volume 4D qui peut atteindre des tailles de l'ordre de la centaine de GigaOctets, voire de l'ordre du TeraOctets, rendant la tâche interprétative encore plus longue et fastidieuse.

Afin d'éviter cette étape d'interprétation des collections sismiques multi-déports, les géophysiciens ont développé des méthodes basées sur des approximations de la géométrie des événements sismiques dans les collections multi-déports. Pour établir ces approximations, ces méthodes émettent des hypothèses sur la complexité du sous-sol, hypothèses qui peuvent porter sur la géométrie des discontinuités géologiques du sous-sol et sur les variations de vitesse de couches. On citera par exemple la méthode décrite dans Taner et Kohler (1969) qui suppose un milieu stratifié composé de couches planes horizontales à vitesses de couches homogènes et isotropes, celle décrite dans Levin (1971) qui étend la méthode précédente à des couches pentées. D'autres variantes ont été proposées, mais de façon générale, les méthodes existantes sont basées sur une hypothèse hyperbolique de la courbe des temps de trajet dans les collections multi-déports. Or cette hypothèse est violée dès que les discontinuités géologiques du sous-sol ne sont plus planes et/ou dès que les vitesses de couche présentent des variations latérales.

Nous proposons ici une méthode pour approcher au mieux les temps de trajet des collections multi-déports dans le cas où les discontinuités géologiques du sous-sol ont une géométrie quelconque et où les vitesses de couche sont modérément variables latéralement, et ce, tout en limitant le temps humain requis pour l'interprétation des enregistrements sismiques. Les temps de trajet obtenus seront alors traités par une méthode d'inversion

cinématique avant sommation qui permet de prendre en compte des cinématiques complexes telle que la tomographie de temps de trajet, décrite par exemple dans le document suivant :

- Bishop, T. et al, 1985, « Tomographic Determination of Velocity and Depth in Laterally Varying Media » Geophysics, 50 N°6, 903-923.

La méthode pourra également s'appliquer dans les cas où les vitesses de couche sont variables latéralement, mais de façon itérative, le modèle de vitesse après mise à jour à une itération donnée par application d'une méthode d'inversion cinématique avant sommation telle que la tomographie de réflexion précédemment citée servant de modèle initial pour l'itération suivante.

LA METHODE SELON L'INVENTION

La méthode selon l'invention permet de déterminer un modèle de vitesse d'ondes sismiques captées par des récepteurs sismiques couplés avec une formation souterraine, en réponse à l'émission d'ondes sismiques dans le sous-sol par une source sismique, après réflexion sur des interfaces géologiques de la dite formation, à partir d'enregistrements multi-dépôts de ces ondes.

Pour chaque événement sismique repéré sur les enregistrements et pour chaque couche délimitée par les dites interfaces, la méthode comporte au moins les étapes suivantes :

a) à partir des enregistrements sismiques avant sommation, on construit une collection iso-dépôt, dont on extrait une information cinématique ou des temps de trajet associés à l'événement ;

b) on choisit une gamme de vitesse autour d'une vitesse de référence dans la dite couche que l'on échantillonne avec un pas défini ;

c) pour chaque échantillon de vitesse, on applique une technique d'inversion à vitesse fixée afin de déterminer, à partir des temps de trajet extraits de la collection iso-dépôt, la géométrie de la dite interface pour l'échantillon de vitesse en question de façon à obtenir une série de couples interface/ vitesse pour le dit événement ;

d) on calcule l'information cinématique associée à chaque couple interface/vitesse obtenu, pour des couples source-récepteur correspondants à des collections multi-déports existant dans les enregistrements sismiques ;

5 e) pour chaque couple interface/vitesse et pour chaque collection multi-déports sélectionnée, on évalue la cohérence entre les temps de trajet multi-déports ainsi calculés et les enregistrements sismiques, et on sélectionne pour chaque collection multi-déports la courbe de temps de trajet offrant la cohérence maximale avec les enregistrements sismiques ;

10 f) on applique une méthode d'inversion cinématique avant sommation en utilisant les temps de trajet multi-déports obtenus pour l'ensemble des collections multi-déports sélectionnées, afin de déterminer la géométrie et la vitesse de la couche considérée ; et

g) on itère n fois ($n \geq 0$) les étapes a) à f) en considérant à chaque itération le modèle de vitesse obtenu à l'itération précédente comme modèle de référence pour définir la vitesse de référence de la nouvelle itération.

15 Suivant un mode de mise en œuvre convenant au cas où la gamme de vitesse choisie ne s'avère pas assez précise à l'issue soit de l'itération précédente soit des étapes a) à f), on réalise n fois l'étape g) avec $n \geq 1$.

20 Suivant un autre mode de mise en œuvre convenant au cas où la distribution des vitesses varie fortement latéralement et/ou dans la cas où l'on ne dispose pas d'une connaissance a priori suffisamment précise sur la distribution de vitesse dans la couche considérée, on réalise l'étape g) sur des gammes de déports de plus en plus larges au fur et à mesure des itérations.

25 Suivant un autre mode de mise en œuvre convenant au cas où la distribution des vitesses varie fortement latéralement et/ou dans le cas où l'on ne dispose pas d'une connaissance a priori suffisamment précise sur la distribution de vitesse dans la couche considérée, on réalise l'étape g) sur des grilles de collections multi-déports de plus en plus fines au fur et à mesure des itérations.

30 Suivant un mode de mise en œuvre convenant au cas où la géométrie de l'interface recherchée est génératrice de triplications, on réalise l'étape e) en considérant les branches de triplications dans les collections multi-déports indépendamment les unes des autres. On

utilise par exemple des outils de tracé de rayons et d'inversion permettant de prendre en compte des arrivées multi-valuées.

Suivant un exemple de mise en œuvre, à l'étape a) on construit de préférence une collection iso-déport à déport nul ou à déport proche.

5 Suivant un autre exemple de mise en œuvre, à l'étape c) on applique avantageusement une technique d'inversion cinématique à vitesse fixée telle qu'une migration de carte.

10 Suivant un autre exemple de mise en œuvre, on calcule à l'étape d) l'information cinématique en traçant des rayons multi-déports sur l'interface de chaque couple interface-vitesse.

Suivant un autre exemple de mise en œuvre, on réalise avantageusement l'étape f) en appliquant une méthode d'inversion cinématique avant sommation telle qu'une tomographie de temps de trajet avant sommation.

15 Dans sa définition la plus générale correspondant au cas où le nombre n d'itérations à réaliser peut éventuellement être nul, la méthode s'applique par exemple si la distribution de vitesse dans chaque couche est peu variable latéralement et/ou dans le cas où l'on dispose d'un a priori sur la distribution de vitesse dans la couche considérée suffisamment précis.

20 Dans sa définition plus restrictive où le nombre n d'itérations à réaliser est au moins égal à 1, la méthode s'applique par exemple dans le cas où la distribution des vitesses dans les couches de la formation géologique est fortement variable latéralement et/ou dans le cas où l'on ne dispose pas d'un a priori suffisamment précis sur la distribution de vitesse dans la couche considérée.

PRESENTATION SUCCINCTE DES FIGURES

25 Les caractéristiques et avantages de la méthode selon l'invention, apparaîtront plus clairement à la lecture de la description ci-après d'exemples non limitatifs de mise en œuvre, en se référant aux dessins annexés où :

- les figures 1a à 1c montrent respectivement une application de la méthode à une collection multi-déports de type récepteur commun (Fig.1a), à une collection récepteur commun sur laquelle ont été superposés les temps de trajet multi-déports obtenus avec différentes valeurs de vitesse de couche (Fig.1b) et à une collection récepteur commun sur laquelle a été superposée la courbe de temps de trajet multi-déports prédite montrant le plus de cohérence avec l'événement sismique considéré (Fig.1c).

DESCRIPTION DETAILLEE

On dispose d'enregistrements sismiques que l'on a obtenus au moyen d'un dispositif sismique comportant une source sismique émettant des ondes sismiques qui se propagent dans le sous-sol, un ensemble de récepteurs sismiques couplés avec le milieu qui captent les ondes renvoyées par les discontinuités du sous-sol en réponse aux ondes émises, et d'un laboratoire d'enregistrement des signaux sismiques captés.

I - Cas standard

Nous présentons ci-après un premier mode de mise en œuvre de la méthode, dans le cas où la distribution des vitesses dans la formation géologique précédant la couche en question étant connue ou ayant été estimée par ailleurs, la géométrie de la couche en question ne donnant pas lieu à des triplications, la vitesse à déterminer étant peu variable latéralement ou un a priori suffisamment précis existant sur cette vitesse. On réalise les étapes suivantes :

I-1 A partir des enregistrements sismiques avant sommation ou encore multi-déports, on construit une collection à déport constant, de préférence à déport nul (en réalité une approximation d'une collection à déport nul, connue sous le nom de « stack », caractérisée par un meilleur rapport signal sur bruit que les sections iso-déport individuelle) ou à déport proche (correspondant au déport le plus faible des enregistrements multi-déports).

Si une interprétation cohérente et suffisamment complète de l'événement sismique en cours est réalisable dans cette collection, on procède à son pointé directement dans cette collection; sinon, afin d'accéder aux temps de trajet associés à l'événement en question, on pourra avoir recours à un détour dans le domaine migré temps ou profondeur suivi d'une démigration temps ou profondeur, comme selon la méthode décrite dans :

- Ehinger, A., and Lailly, P., 1995, Velocity model determination by the SMART method, Part 1: Theory: 65th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, pages 739-742.

I-2 On se donne une vitesse de référence pour la couche en question, ainsi
5 qu'une incertitude sur cette vitesse de référence et un pas d'échantillonnage de la
gamme de vitesse ainsi formée; on obtient ainsi une série d'échantillons de vitesse pour
la couche en question ; la vitesse de référence peut être quelconque (i.e. variable
latéralement et verticalement); en particulier, si l'on dispose d'une distribution de
vitesse obtenue par ailleurs, on pourra utiliser cette vitesse comme vitesse de référence;
10 si l'on ne dispose pas d'information a priori sur la vitesse de la couche, on pourra par
exemple prendre une vitesse de référence homogène latéralement et verticalement.

I-3 Pour chacun des échantillons de vitesse, on applique une technique
d'inversion de type cinématique à vitesse fixée telle qu'une migration de carte par
exemple, afin de déterminer, à partir des temps de trajet extraits de la section à départ
15 constant, la géométrie de la dite interface pour l'échantillon de vitesse en question ; on
obtient ainsi une série de couples interface/ vitesse pour l'événement en question; on
trouvera une description de la migration de carte par exemple dans la référence
suivante :

- Yilmaz, O., 2001, Seismic Data Analysis - Processing, Inversion and Interpretation
20 of Seismic Data: Society of Exploration Geophysicists.

Il peut éventuellement s'avérer impossible de trouver un modèle d'interface
expliquant les temps de trajet pour la vitesse fixée en cours (impossibilité d'atteindre la
convergence). Pour une plus grande efficacité de la méthode, on peut ne sélectionner que
des couples interface/vitesse pour lesquels l'écart entre les temps de trajet observés et les
25 temps de trajet calculés sur le modèle obtenu après convergence est inférieur à un certain
seuil.

A noter que cette inversion à vitesse fixée peut tout aussi bien être réalisée par toute
autre technique cinématique équivalente.

I-4 On calcule l'information cinématique associée à chaque couple
30 interface/vitesse obtenu par exemple par un tracé de rayons multi-dépôts sur l'interface

de chaque couple interface/vitesse ainsi obtenu et pour des couples source-récepteur correspondant à des collections multi-déports existantes dans les enregistrements sismiques ; on choisit de préférence de travailler dans des collections point milieu commun, en particulier si la vitesse réelle présente des variations latérales non prises en compte dans le modèle de référence.

I-5 Pour chaque couple interface/vitesse et pour chaque collection multi-déports sélectionnée, on évalue la cohérence entre les temps de trajet multi-déports ainsi calculés et les enregistrements sismiques ; on peut par exemple employer une technique dite de calcul de semblance, pour laquelle on somme l'énergie rencontrée dans les données sismiques le long d'une courbe qui correspondra ici aux temps de trajet multi-déports calculés par tracé de rayons. Dans un cas idéal, il existera un échantillon de vitesse pour lequel la courbe de temps de trajet prédite se superposera parfaitement à l'événement sismique considéré, ce qui se traduira par une mesure de cohérence maximale. Il est à noter que cette évaluation pourra se faire sur une gamme limitée de départ, définie par l'utilisateur ou automatiquement, par exemple par examen de la courbe montrant l'évolution de la cohérence en fonction de la gamme de déports.

Pour chaque collection multi-déports, on sélectionne la courbe de temps de trajet la plus en accord avec les enregistrements sismiques, et les temps de trajet multi-déports constituant cette courbe sont réservés. Il est à noter que la courbe de temps de trajet offrant la meilleure cohérence pourra être ajustée si nécessaire en cherchant dans une fenêtre verticale prédéfinie le maximum (ou le minimum en fonction de la polarité de l'événement considéré) d'amplitude le plus proche pour chaque trace sismique de la collection multi-déport considérée.

I-6 Les temps de trajet multi-déports ainsi recueillis pour l'ensemble des collections multi-déports sélectionnées sont alors injectés dans une méthode d'inversion cinématique avant sommation telle qu'une tomographie de temps de trajet afin de déterminer la géométrie et la vitesse de la couche en question.

I-7 Il est possible que l'on soit obligé d'itérer les étapes précédentes dans le cas où la cohérence avec les enregistrements sismiques n'est pas estimée globalement satisfaisante par l'opérateur.

II) Cas particuliers

II-1 Dans le cas où la distribution des vitesses dans les couches de la formation géologique est fortement variable latéralement et/ou dans le cas où l'on ne dispose pas d'un a priori suffisamment précis sur la distribution de vitesse dans la couche considérée, la méthode selon l'invention comporte les étapes suivantes :

L'ensemble des étapes précédentes est appliqué de façon itérative, les temps de trajet récoltés au cours d'une itération étant utilisés pour une mise à jour du modèle de vitesse par une méthode d'inversion cinématique avant sommation telle que la tomographie de temps de trajet, modèle qui sert alors de modèle de vitesse d'entrée pour une nouvelle itération de la méthode.

Il est à noter que, afin de s'affranchir au mieux des effets des variations latérales de vitesse qui auraient une longueur d'onde plus faible que le déport maximal des collections multi-dépôts, on pourra élargir la gamme de dépôts considérée par la méthode au fur et à mesure des itérations. Plus précisément, on initiera la méthode sur une gamme de déport limitée, puis la distribution de vitesse trouvée à partir de cette gamme restreinte de dépôts servira de modèle de référence pour une nouvelle itération de la méthode lors de laquelle on considérera une gamme de déport plus large, et ainsi de suite. Il est à noter que le choix de la gamme de dépôts considérée à une itération donnée pourra se faire par exemple par examen de la courbe montrant l'évolution de la cohérence en fonction de la gamme de dépôts.

Pour les cas où la distribution des vitesses varie très fortement latéralement, on pourra en plus adopter une approche multi-grilles, plus précisément, on initiera la méthode sur une grille lâche de collections multi-dépôts (afin de déterminer les grandes longueurs d'onde des variations de vitesse), puis l'on prendra en compte des grilles de collections multi-dépôts de plus en plus fines au fur et à mesure des itérations.

II-2 Dans le cas où la géométrie de l'interface recherchée est génératrice de triplications et si l'on souhaite également déterminer les zones de la couche considérée donnant lieu à ces triplications, il est avant tout nécessaire de disposer de méthodes d'inversion telles que des méthodes d'inversion cinématique (à vitesse fixée et avant sommation) par exemple permettant de prendre en compte des arrivées multi-valuées. Une telle méthode est décrite dans la référence suivante :

- Delprat-Jannaud, F. et Lailly, P., (1995), How to handle multiple arrivals? Journal of Geophysical Research, 100, no. B1, 703-715.

Les données d'entrée de ce type de méthode sont les temps de trajet multi-valués associés aux événements sismiques considérés, ainsi que les paramètres de rais associés à ces temps de trajet. Afin d'obtenir les temps de trajet multi-valués et les paramètres de rais associés aux données à départ constant, on pourra avoir recours à une boucle de migration-démigration (comme décrite dans la méthode Ehinger and Lailly (1995) précédemment citée), en effectuant l'étape de démigration à l'aide d'un tracé de rayons permettant le calcul d'arrivées multi-valuées. Un tel tracé de rayons est décrit par exemple dans :

- 10 - Jurado, F., Lailly, P., and Ehinger, A., (1998), Fast 3D two-point raytracing for travelttime tomography: Proceedings of SPIE, Mathematical Methods in Geophysical Imaging V, 3453, 70-81.

Puis, après avoir constitué les différents couples interface/vitesse par inversion cinématique à vitesse fixée sur les données temps/paramètres de rais ainsi obtenues, on calcule l'information cinématique, comme décrit dans le cas le plus général, par le biais par exemple de tracés des rayons multi-déports dans chacun de ces modèles et pour chacune des collections multi-déports sélectionnées, mais cette fois, adapté aux calculs des arrivées multi-valuées tel que celui décrit dans Jurado et al. (1998) précédemment cité. On obtient ainsi, pour chaque collection multi-déports sélectionnée, à la fois des temps de trajet multi-
20 valués avant sommation et leurs paramètres de rais associés.

Puis, l'analyse de cohérence entre les courbes de temps de trajet ainsi prédites et les événements considérés dans les données sismiques sera réalisée tel que décrit dans le cas le plus général, mais de façon indépendante pour chacune des branches des arrivées multi-valuées. Les temps de trajet ainsi récoltés pour chacune des branches des arrivées multi-
25 valuées seront alors injectés, avec leur paramètres de rais associés, dans une méthode d'inversion cinématique avant sommation permettant de prendre en compte les arrivées multi-valuées, telle que celle décrite dans Delprat-Jannaud et Lailly (1995) précédemment citée.

On a décrit ici une application de la méthode à la détermination d'un modèle de
30 vitesse des ondes sismiques dans une formation souterraine. Il est bien évident toutefois que la méthode peut tout aussi bien s'appliquer à la détermination de la vitesse de

propagation d'autres types d'ondes dans un milieu hétérogène présentant des discontinuités.

Les réalisations de l'invention au sujet desquelles un droit exclusif de propriété ou de privilège est revendiqué, sont définis comme il suit :

- 1) Méthode pour déterminer un modèle de vitesse d'ondes sismiques captées par des récepteurs sismiques couplés avec une formation souterraine, en réponse à l'émission d'ondes sismiques dans le sous-sol par une source sismique, après réflexion sur des interfaces géologiques de la dite formation, à partir d'enregistrements multi-déports de ces ondes, caractérisée en ce qu'elle comporte au moins les étapes suivantes pour chaque événement sismique repéré sur les enregistrements et pour chaque couche délimitée par les dites interfaces :
 - a) à partir des enregistrements sismiques avant sommation, on construit une collection iso-déport, dont on extrait une information cinématique ou des temps de trajet associés à l'événement ;
 - b) on choisit une gamme de vitesse autour d'une vitesse de référence dans la dite couche que l'on échantillonne avec un pas défini ;
 - c) pour chaque échantillon de vitesse, on applique une technique d'inversion à vitesse fixée afin de déterminer, à partir des temps de trajet extraits de la collection iso-déport, la géométrie de la dite interface pour l'échantillon de vitesse en question de façon à obtenir une série de couples interface/ vitesse pour le dit événement ;
 - d) on calcule l'information cinématique associée à chaque couple interface/vitesse obtenu, pour des couples source-récepteur correspondants à des collections multi-déports existant dans les enregistrements sismiques ;
 - e) pour chaque couple interface/vitesse et pour chaque collection multi-déports sélectionnée, on évalue la cohérence entre les temps de trajet multi-déports ainsi calculés et les enregistrements sismiques, et on sélectionne pour chaque collection multi-déports la courbe de temps de trajet offrant la cohérence maximale avec les enregistrements sismiques ;

f) on applique une méthode d'inversion cinématique avant sommation en utilisant les temps de trajet multi-déports obtenus pour l'ensemble des collections multi-déports sélectionnées, afin de déterminer la géométrie et la vitesse de la couche considérée ; et

g) on itère n fois ($n \geq 0$) les étapes a) à f) en considérant à chaque itération le modèle de vitesse obtenu à l'itération précédente comme modèle de référence pour définir la dite vitesse de référence.

2) Méthode selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'on réalise n fois l'étape g) avec $n \geq 1$ dans le cas où la gamme de vitesse choisie ne s'avère pas assez précise à l'issue de l'itération précédente où des étapes a) à f).

3) Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que, dans le cas où la distribution des vitesses varie fortement latéralement et/ou dans le cas où l'on ne dispose pas d'une connaissance a priori suffisamment précise sur la distribution de vitesse dans la couche considérée, on réalise l'étape g) sur des gammes de déports de plus en plus larges au fur et à mesure des itérations.

4) Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que, dans le cas où la distribution des vitesses varie fortement latéralement et/ou dans le cas où l'on ne dispose pas d'une connaissance a priori suffisamment précise sur la distribution de vitesse dans la couche considérée, on réalise l'étape g) sur des grilles de collections multi-déports de plus en plus fines au fur et à mesure des itérations.

5) Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que, à l'étape e), dans le cas où la géométrie de l'interface recherchée est génératrice de triplications, on considère les branches de triplications dans les collections multi-déports indépendamment les unes des autres.

6) Méthode selon la revendication 5, caractérisée en ce que l'on réalise l'étape e) en utilisant des outils de tracé de rayons et d'inversion permettant de prendre en compte des arrivées multi-valuées.

7) Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'on construit à l'étape a) une collection iso-déport à déport nul ou à déport proche.

8) Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'on applique à l'étape c) une technique d'inversion cinématique à vitesse fixée telle qu'une migration de carte.

9) Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'on calcule à l'étape d) l'information cinématique en traçant des rayons multi-déports sur l'interface de chaque couple interface-vitesse.

10) Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'on réalise l'étape f) en appliquant une méthode d'inversion cinématique avant sommation telle qu'une tomographie de temps de trajet avant sommation.

Position source

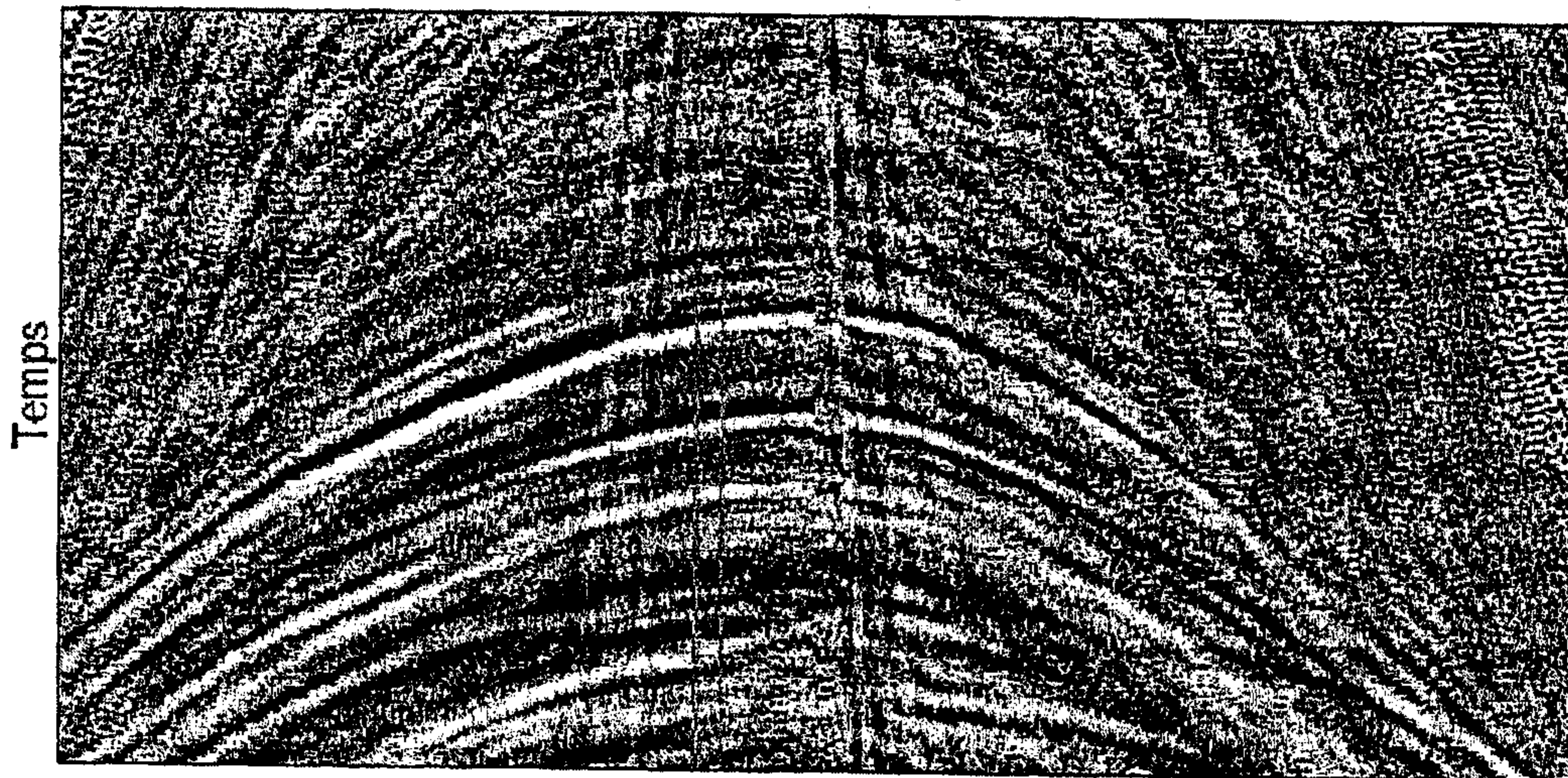


FIG.1A

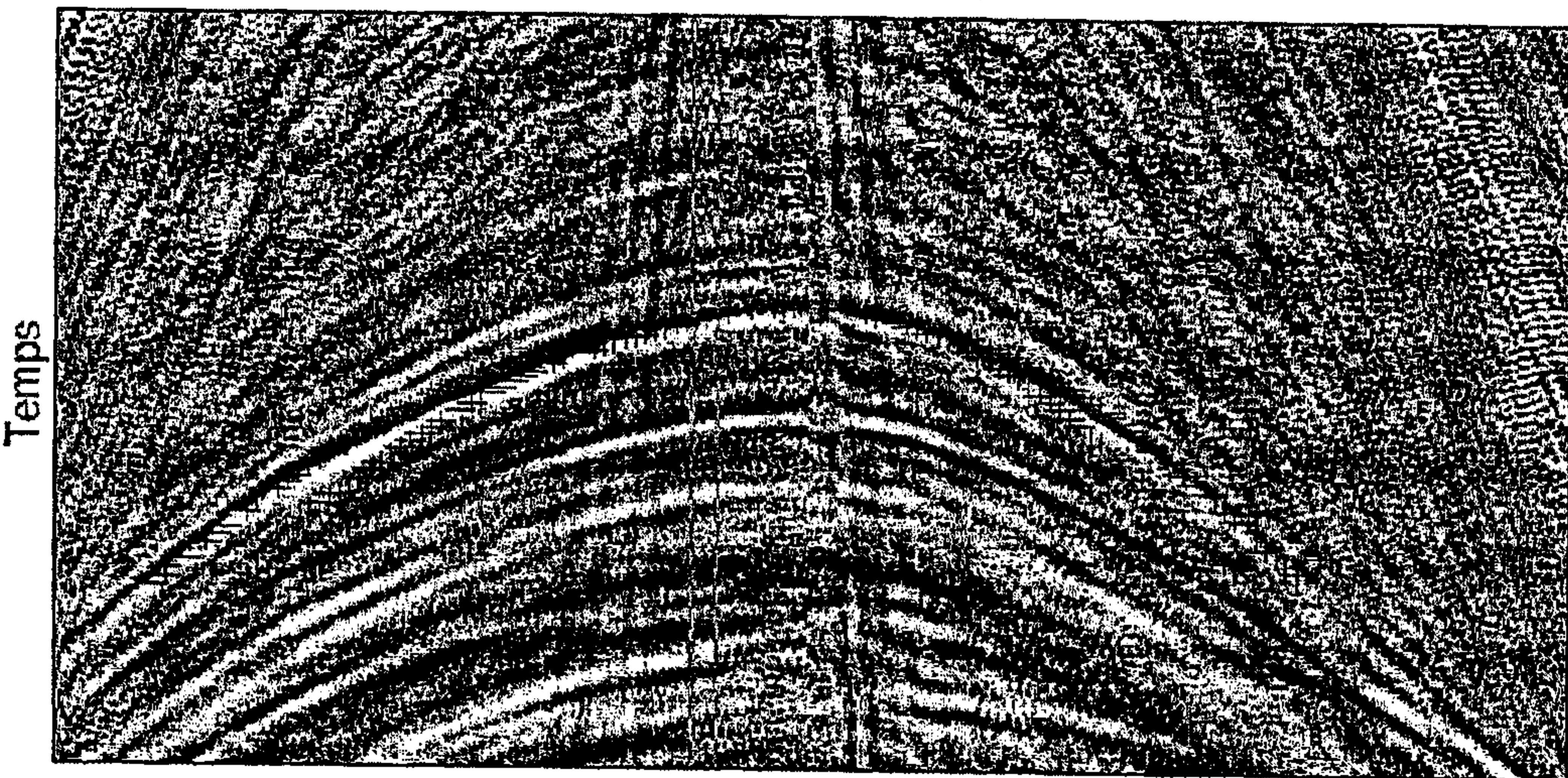


FIG.1B

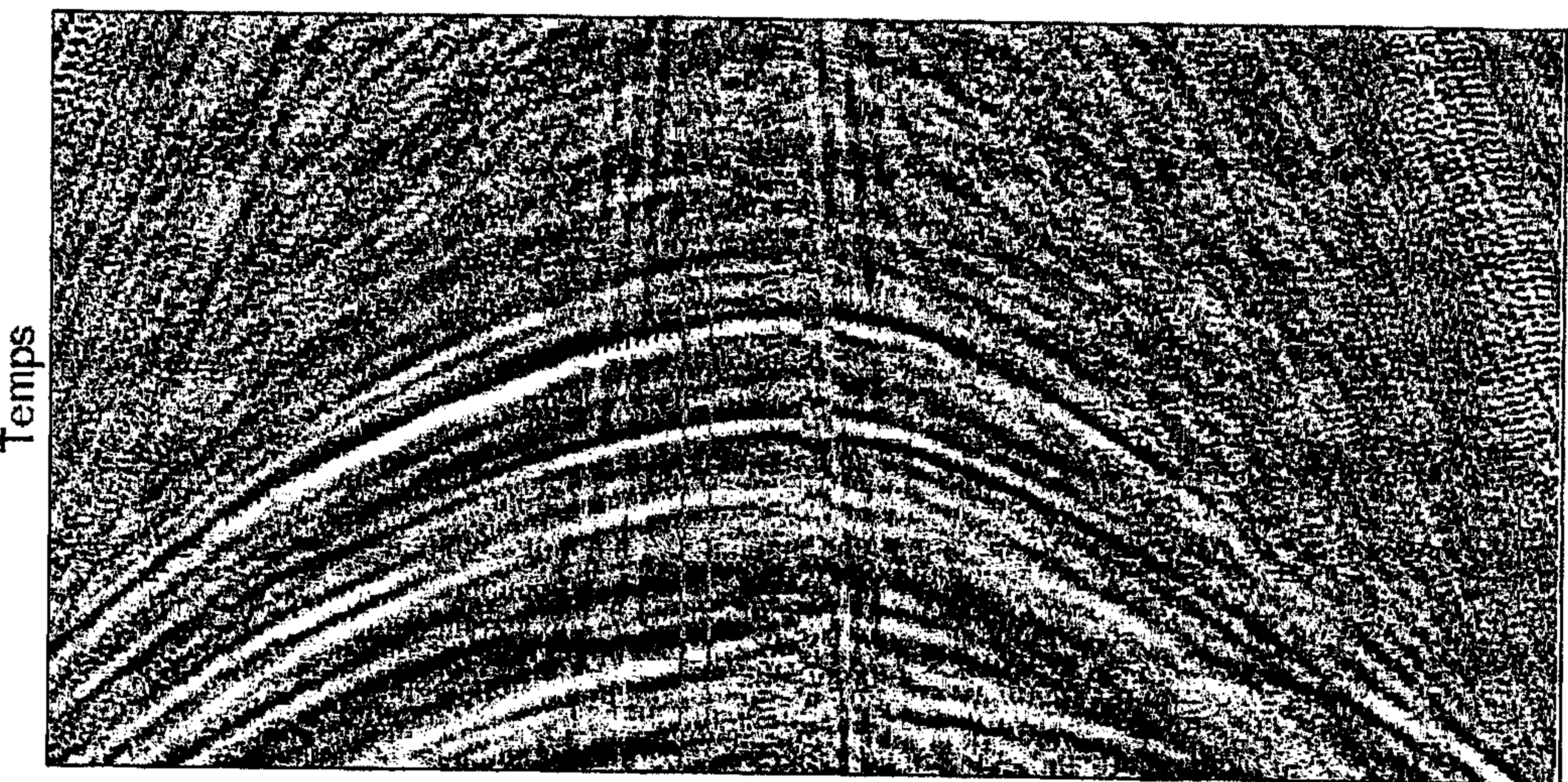


FIG.1C

Position source

Temps

